



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών  
Εργαστήριο Βιοϊατρικών Προσομοιώσεων και Απεικονιστικής Τεχνολογίας  
(BIOSIM)

**Ανάπτυξη ερμηνεύσιμων μοντέλων εκτίμησης του  
κινδύνου εμφάνισης υπογλυκαιμικών και  
υπεργλυκαιμικών επεισοδίων με χρήση των  
Αναδρομικών Δικτύων Μακράς Βραχείας Μνήμης**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

της

**Δούνια Θεώνης**

**Επιβλέπων:** Κωνσταντίνα Νικήτα  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

**Συνεπιβλέπων:** Κωνσταντία Ζαρχογιάννη  
Μέλος ΕΔΙΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών

**Ανάπτυξη ερμηνεύσιμων μοντέλων εκτίμησης του  
κινδύνου εμφάνισης υπογλυκαιμικών και  
υπεργλυκαιμικών επεισοδίων με χρήση των  
Αναδρομικών Δικτύων Μακράς Βραχείας Μνήμης**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

της

**Δούνια Θεώνης**

**Επιβλέπων:** Κωνσταντίνα Νικήτα  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

**Συνεπιβλέπων:** Κωνσταντία Ζαρκογιάννη  
Μέλος ΕΔΙΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 28/02/2022.

.....  
Κωνσταντίνα Νικήτα  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....  
Ανδρέας-Γεώργιος Σταφυλοπάτης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γεώργιος Στάμου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022.

Copyright ©- All rights reserved Δούνια Θεώνη, 2022. Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

.....

**Δούνια Θεώνη**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

# Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η σχεδίαση, ανάπτυξη, και αξιολόγηση ερμηνεύσιμου εξατομικευμένου μοντέλου εκτίμησης του κινδύνου εμφάνισης υπεργλυκαιμικών και υπογλυκαιμικών επεισοδίων σε άτομα με Σακχαρώδη Διαβήτη Τύπου 1 (ΣΔΤ1) που εφαρμόζουν Διατάξεις Συνεχούς Μέτρησης Γλυκόζης (ΔΣΜΓ). Ο Σακχαρώδης Διαβήτης (ΣΔ) είναι μία χρόνια μεταβολική ασθένεια που χαρακτηρίζεται από αυξημένα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα. Ο γλυκαιμικός έλεγχος, που συνίσταται στην τακτική μέτρηση των επιπέδων γλυκόζης και, για τον ΣΔΤ1, στην εξωγενή χορήγηση ινσουλίνης, έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη επιπλοκών. Αν και υπάρχουν ποικίλα βιβλιογραφικά διαθέσιμα προβλεπτικά μοντέλα για την εξαγωγή βραχυχρόνιων εκτιμήσεων του μελλοντικού προφίλ γλυκόζης, είναι περιορισμένα τα μοντέλα για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης υπεργλυκαιμικών και υπογλυκαιμικών. Επιπλέον, η αδυναμία ερμηνείας των εξαγόμενων αποφάσεων περιορίζει τον βαθμό κατανόησης και εμπιστοσύνης των ασθενών και των επαγγελματιών υγείας, και δυσχεραίνει την ενσωμάτωση των μοντέλων σε συστήματα υποστήριξης ιατρικών αποφάσεων προς την αυτοδιαχείριση της νόσου.

Η ανάπτυξη του μοντέλου βασίζεται στα Αναδρομικά Δίκτυα Μακράς-Βραχείας Μνήμης (Long Short Term Memory Neural Network-LSTM). Το μοντέλο δέχεται ως είσοδο προηγούμενες καταγραφές του προφίλ γλυκόζης και τις αντίστοιχες τιμές του ρυθμού μεταβολής των επιπέδων γλυκόζης και εκτιμά την πιθανότητα εμφάνισης υπεργλυκαιμικών και υπογλυκαιμικών επεισοδίων για διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες πρόβλεψης. Προς αυτή την κατεύθυνση, η εργασία εστιάζει σε δύο επιμέρους LSTM δίκτυα, που εκπαιδεύονται ανεξάρτητα με στόχο την ανίχνευση επερχόμενων υπεργλυκαιμικών και υπογλυκαιμικών επεισοδίων, αντίστοιχα. Κάθε LSTM δίκτυο ενισχύεται με έναν μηχανισμό προσοχής για την εξαγωγή ερμηνεύσιμων συμπερασμάτων. Για τη διαχείριση της μη ισορροπημένης φύσης των δεδομένων, διερευνώνται ποικίλες τεχνικές υποδειγματοληψίας, υπερδειγματοληψίας, και μάθησης με ευαισθησία κόστους. Για την ανάπτυξη και αξιολόγηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα καταγραφών από ΔΣΜΓ 12 ατόμων με ΣΔΤ1 που παραχωρήθηκαν από την Α΄ Παιδιατρική Κλινική, Διαβητολογικό Κέντρο του Νοσοκομείου Π. Α. Κυριακού.

**Λέξεις Κλειδιά:** Σακχαρώδης Διαβήτης, μοντέλα εκτίμησης κινδύνου, μοντέλα εκτίμησης πιθανότητας, ερμηνευσιμότητα, ερμηνευσιμότητα στον βιοϊατρικό τομέα, ερμηνεύσιμη τεχνητή νοημοσύνη, μη ισορροπημένα δεδομένα, υποδειγματοληψία, υπερδειγματοληψία, εκπαίδευση κόστους

# Abstract

The present thesis aims at the design, development, and evaluation of an interpretable personalized model for assessing the risk of hyperglycemic and hypoglycemic events in individuals with Type 1 Diabetes Mellitus (T1DM), applying Continuous Glucose Monitoring Systems (CGMS). Diabetes Mellitus (DM) is a chronic metabolic disorder, characterized by elevated blood glucose levels. Optimal glyceic control, which comprises regular monitoring of glucose levels and, in the case of T1DM, exogenous insulin administration, has been shown to facilitate the prevention of complications. Despite the multitude of predictive models focusing on providing short-term estimations of the future glucose profile, only few models have been proposed for predicting the risk of upcoming hyperglycemic and hypoglycemic events. Moreover, the absence of interpretability modalities in these models limits human understanding on the reasoning process behind the models' decisions, thus inhibiting user trust and hampering the models' adoption in clinical practice and disease self-management.

The proposed model's development is based on the use of Long Short Term Memory Neural Networks (LSTM). Previous glucose records along with the corresponding values of the rate of glucose change are fed as input into the model with the aim of assessing the risk of upcoming hyperglycemic and hypoglycemic events for different prediction horizons. To this end, the thesis comprises two LSTM networks, which are trained independently towards the calculation of the risk of upcoming hyperglycemic and hypoglycemic events, respectively. An attention mechanism is integrated in each network in order to shed light on specific glucose profile features, guiding the model's decisions. Moreover, different undersampling and oversampling techniques as well as cost sensitive learning and ensemble learning strategies are investigated with the aim of handling the unbalanced nature of the used dataset. CGMS data of 12 patients with T1DM, which have been granted from the Diabetes Center, First Department of Pediatrics, P. A. Kyriakou Children's Hospital, Athens, are used for development and evaluation purposes.

**Key Words:** Diabetes Mellitus, risk prediction models, probability prediction models, explainability, explainability in medical sector, explainable artificial intelligence, unbalanced dataset, undersampling, oversampling, cost-sensitive training

# Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Κ. Νικήτα για την μοναδική ευκαιρία που μου προσέφερε να ενασχοληθώ με ένα επίκαιρο και σημαντικό θέμα που μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση της καθημερινότητας πολλών ανθρώπων. Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Ζαρκογιάννη και την κ. Αθανασίου για την συνεχή στήριξη και καθοδήγησή τους καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την ενθάρυνσή τους τόσο κατά την διάρκεια ανάπτυξης και συγγραφής της εργασίας αλλά και για όλο το προηγούμενο διάστημα των σπουδών και σχολικών χρόνων.

# Περιεχόμενα

|   |           |
|---|-----------|
| Περίληψη  | ii        |
| Abstract  | iii       |
| Ευχαριστίες   | iv        |
| Κατάλογος σχημάτων  | viii      |
| Κατάλογος πινάκων   | xii       |
| <b>1 Εισαγωγή</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Το ερευνητικό πρόβλημα                                  | 1         |
| 1.2 Κίνητρο   | 2         |
| 1.3 Δομή της εργασίας                                       | 2         |
| <b>2 Μεταβολισμός Γλυκόζης</b>                              | <b>4</b>  |
| 2.1 Ομοίωση Γλυκόζης  | 4         |
| 2.2 Σακχαρώδης Διαβήτης                                     | 8         |
| 2.2.1 Τύποι   | 8         |
| 2.2.2 Επιπλοκές   | 9         |
| 2.2.3 Διάγνωση  | 11        |
| 2.2.4 Διαχείριση και Γλυκαιμικός Έλεγχος                    | 12        |
| 2.2.5 Επιδημιολογικά Χαρακτηριστικά                         | 14        |
| <b>3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα</b>                           | <b>18</b> |
| 3.1 Βασικές έννοιες   | 19        |
| 3.2 Αναδρομικά Νευρωνικά Δίκτυα                             | 24        |
| 3.2.1 Simple RNN  | 24        |
| 3.2.2 Αλγόριθμος Back Propagation Through Time (BPTT)       | 26        |
| 3.2.3 LSTM  | 28        |
| 3.3 Τεχνικές εκπαίδευσης και αξιολόγησης νευρωνικών δικτύων | 32        |
| 3.3.1 Εκπαίδευση  | 33        |
| 3.3.2 Αξιολόγηση  | 34        |
| 3.4 Τεχνικές διαχείρισης μη ισορροπημένων δεδομένων         | 36        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>4</b> | <b>Ερμηνευσιμότητα</b>                                     | <b>43</b>  |
| 4.1      | Ταξινόμηση Μεθόδων Ερμηνευσιμότητας . . . . .              | 43         |
| 4.2      | Διαδεδομένες post-hoc μέθοδοι ερμηνευσιμότητας . . . . .   | 45         |
| 4.3      | Ερμηνευσιμότητα στον Βιοϊατρικό Τομέα . . . . .            | 47         |
| <b>5</b> | <b>Βιβλιογραφική Επισκόπηση</b>                            | <b>49</b>  |
| 5.1      | Μοντέλα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων . . . . .           | 49         |
| 5.1.1    | Μοντέλα πρόβλεψης χρονοσειρών . . . . .                    | 50         |
| 5.1.2    | Μοντέλα πρόβλεψης πιθανότητας . . . . .                    | 54         |
| 5.2      | Εφαρμογές ερμηνευσιμότητας . . . . .                       | 57         |
| <b>6</b> | <b>Ανάπτυξη μοντέλου</b>                                   | <b>61</b>  |
| 6.1      | Δεδομένα και Επεξεργασία . . . . .                         | 61         |
| 6.1.1    | Δεδομένα . . . . .   | 62         |
| 6.1.2    | Προεπεξεργασία δεδομένων . . . . .                         | 62         |
| 6.1.3    | Δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης και αξιολόγησης . . . . . | 64         |
| 6.2      | Μοντέλο και Ερμηνευσιμότητα . . . . .                      | 65         |
| 6.2.1    | Μοντέλο . . . . .  | 66         |
| 6.2.2    | Μέθοδος αξιολόγησης . . . . .                              | 66         |
| 6.2.3    | Μέθοδος ερμηνευσιμότητας . . . . .                         | 67         |
| 6.2.4    | Μέθοδοι βελτιστοποίησης . . . . .                          | 67         |
| <b>7</b> | <b>Αποτελέσματα – Συζήτηση</b>                             | <b>70</b>  |
| 7.1      | Αξιολόγηση Μοντέλων . . . . .                              | 70         |
| 7.2      | Αποτελέσματα Ερμηνευσιμότητας . . . . .                    | 86         |
| 7.2.1    | Περιγραφή Αποτελεσμάτων . . . . .                          | 86         |
| 7.2.2    | Πλατφόρμα Ερμηνευσιμότητας . . . . .                       | 97         |
| <b>8</b> | <b>Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις</b>             | <b>100</b> |
|          | <b>Βιβλιογραφία</b>  | <b>113</b> |
|          | <b>Παράρτημα Α</b>   | <b>114</b> |
|          | <b>Παράρτημα Β</b>   | <b>193</b> |



# Κατάλογος σχημάτων

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Σχηματικό διάγραμμα των μηχανισμών που ενεργοποιούνται κατά τη φυσιολογική λειτουργία [11] . . . . .  | 7  |
| 2.2  | Σχηματικό διάγραμμα μεταβολισμού γλυκόζης [106] . . . . .   | 7  |
| 2.3  | Δημογραφική κατανομή ΣΔΤ1 [29] . . . . .  | 16 |
| 2.4  | Δημογραφική κατανομή ΣΔΤ2 [29] . . . . .  | 17 |
| 3.1  | Γραφική αναπαράσταση Νευρώνα . . . . .  | 19 |
| 3.2  | Γραφικής παράσταση γραμμικής συνάρτησης ενεργοποίησης [90] . . . . .  | 20 |
| 3.3  | Γραφικής παράσταση σιγμοειδούς συνάρτησης ενεργοποίησης [90] . . . . .  | 21 |
| 3.4  | Γραφικής παράσταση συνάρτησης ενεργοποίησης ReLu [90] . . . . .   | 21 |
| 3.5  | Γραφική Αναπαράσταση Νευρώνα πολλών επιπέδων . . . . .  | 22 |
| 3.6  | Απλό νευρωνικό δίκτυο 4 επιπέδων [92] . . . . .   | 24 |
| 3.7  | Αφαιρετική μορφή αναδρομικού δικτύου . . . . .  | 25 |
| 3.8  | Αρχιτεκτονική RNN . . . . .   | 25 |
| 3.9  | Σχηματική αναπαράσταση αλγορίθμου BPTT [104] . . . . .  | 27 |
| 3.10 | Σχηματική αναπαράσταση του προβλήματος της εξασθένησης των συσχετίσεων (vanishing gradient problem) στα RNN δίκτυα [18] . . . . .   | 29 |
| 3.11 | Η αρχιτεκτονική των LSTM δικτύων . . . . .  | 29 |
| 3.12 | Η αρχιτεκτονική της Μονάδας . . . . .   | 30 |
| 3.13 | Μονάδα Μνήμης . . . . .   | 31 |
| 3.14 | Forget Gate . . . . .   | 31 |
| 3.15 | Πύλη ελέγχου (Control Gate) . . . . .   | 32 |
| 3.16 | Πύλη εξόδου . . . . .   | 32 |
| 3.17 | Διάγραμμα απεικόνισης της τεχνικής του K-fold Cross Validation [91] . . . . .   | 34 |
| 3.18 | Το Hosmer-Lemeshow test [1] . . . . .   | 37 |
| 3.19 | Η τεχνική SMOTE [73] . . . . .  | 39 |
| 3.20 | BSMOTE και SMOTE: Στην πρώτη εικόνα βλέπουμε τις δύο κλάσεις μετά την εφαρμογή της τεχνικής Borderline SMOTE ενώ στην δεύτερη έχουμε τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή της τεχνική SMOTE [97] . . . . . | 39 |
| 3.21 | (α) Ταξινόμηση σε πρόβλημα μη ισορροπημένων δεδομένων, (β) Ταξινόμηση μετά από NearMiss1, (γ) Ταξινόμηση μετά από NearMiss2, (δ) Ταξινόμηση μετά από NearMiss3 [51] . . . . .                           | 40 |
| 3.22 | Σχηματική περιγραφή της στρατηγικής Bagging . . . . .   | 41 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.23 | Σχηματική περιγραφή της στρατηγικής Boosting [1]                                     | 42 |
| 4.1  | Ταξινόμηση μεθόδων ερμηνευσιμότητας [65]   | 44 |
| 4.2  | Τα black box μοντέλα   | 45 |
| 4.3  | Η μέθοδος LIME εφαρμοσμένη σε ένα πρόβλημα ταξινόμησης κειμένου [65]                 | 46 |
| 5.1  | Διαδικασία δημιουργίας του συνόλου εκπαίδευσης [56]                                  | 52 |
| 5.2  | Παράδειγμα οπτικοποίησης ερμηνευσιμότητας με θερμικό χάρτη [30]                      | 60 |
| 6.1  | Σχηματική αναπαράσταση δημιουργίας των δειγμάτων εκπαίδευσης και αξιολόγησης         | 65 |
| 7.1  | Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία | 77 |
| 7.2  | Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία    | 77 |
| 7.3  | Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία    | 78 |
| 7.4  | Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία | 85 |
| 7.5  | Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία    | 85 |
| 7.6  | Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία    | 86 |
| 7.7  | Θερμικός χάρτης αληθώς θετικής περίπτωσης - Υπεργλυκαιμία                            | 88 |
| 7.8  | Θερμικός χάρτης ψευδώς αρνητικής περίπτωσης - Υπεργλυκαιμία                          | 89 |
| 7.9  | Θερμικός χάρτης ψευδώς θετικής περίπτωσης - Υπεργλυκαιμία                            | 95 |
| 7.10 | Θερμικός χάρτης αληθώς αρνητικής πρόβλεψης - Υπεργλυκαιμία                           | 95 |
| 7.11 | Θερμικός χάρτης αληθώς θετικής περίπτωσης - Υπογλυκαιμία                             | 96 |
| 7.12 | Θερμικός χάρτης ψευδώς αρνητικής περίπτωσης - Υπογλυκαιμία                           | 96 |
| 7.13 | Θερμικός χάρτης ψευδώς θετικής περίπτωσης - Υπογλυκαιμία                             | 98 |
| 7.14 | Θερμικός χάρτης αληθώς αρνητικής περίπτωσης - Υπογλυκαιμία                           | 98 |
| 7.15 | Αποτελέσματα πλατφόρμας ερμηνευσιμότητας   | 99 |

# Κατάλογος πινάκων

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.1  | Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου . . . . .  | 57 |
| 6.1  | Χαρακτηριστικά ασθενών . . . . .   | 63 |
| 6.2  | Χαρακτηριστικά δεδομένων ασθενών . . . . .   | 63 |
| 6.3  | Ποσοστά Υπεργλυκαιμίας στους 12 ασθενείς . . . . .   | 67 |
| 6.4  | Ποσοστά Υπογλυκαιμίας στους 12 ασθενείς . . . . .  | 68 |
| 7.1  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπεργλυκαιμία . . . . .                   | 71 |
| 7.2  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπεργλυκαιμία . . . . .                      | 72 |
| 7.3  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία . . . . .                      | 72 |
| 7.4  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτά - Υπεργλυκαιμία . . . . .      | 75 |
| 7.5  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτά - Υπεργλυκαιμία . . . . . | 75 |
| 7.6  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρα - Υπεργλυκαιμία . . . . .         | 75 |
| 7.7  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρα - Υπεργλυκαιμία . . . . .    | 76 |
| 7.8  | Αποτελέσματα ttest για την μετρική Accuracy για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία . . . . .              | 76 |
| 7.9  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία . . . . .        | 76 |
| 7.10 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία . . . . .   | 77 |
| 7.11 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία . . . . .                    | 79 |
| 7.12 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία . . . . .                       | 80 |
| 7.13 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία . . . . .                       | 80 |
| 7.14 | Βέλτιστα κατώφλια για το κλασικό μοντέλο με dropout 0 . . . . .  | 82 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 7.15 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία . . . . .              | 83  |
| 7.16 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία . . . . .         | 83  |
| 7.17 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία . . . . .                 | 83  |
| 7.18 | Ασθενής 1: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία . . . . . | 84  |
| 7.19 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία . . . . .                 | 84  |
| 7.20 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία . . . . .            | 84  |
| 7.21 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – Αληθώς θετική περίπτωση - Υπεργλυκαιμία . . . . .                                    | 88  |
| 7.22 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς αρνητική περίπτωση - Υπεργλυκαιμία . . . . .                                  | 90  |
| 7.23 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς θετικής περίπτωση - Υπεργλυκαιμία . . . . .                                   | 90  |
| 7.24 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – αληθώς αρνητική περίπτωση - Υπεργλυκαιμία . . . . .                                  | 91  |
| 7.25 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – αληθώς θετική περίπτωση - Υπογλυκαιμία . . . . .                                     | 92  |
| 7.26 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς αρνητική περίπτωση - Υπογλυκαιμία . . . . .                                   | 93  |
| 7.27 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς αρνητική περίπτωση - Υπογλυκαιμία . . . . .                                   | 94  |
| 7.28 | Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – αληθώς αρνητική περίπτωση - Υπογλυκαιμία . . . . .                                   | 96  |
| 8.1  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .  | 116 |
| 8.2  | Ασθενής1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 118 |
| 8.3  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . .  | 120 |
| 8.4  | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . .  | 122 |
| 8.5  | Ασθενής 2: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .  | 125 |
| 8.6  | Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .   | 127 |
| 8.7  | Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . .  | 129 |
| 8.8  | Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . .  | 131 |
| 8.9  | Ασθενής 3: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .  | 134 |
| 8.10 | Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .   | 136 |
| 8.11 | Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . .  | 138 |
| 8.12 | Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . .  | 140 |
| 8.13 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .  | 142 |
| 8.14 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .   | 144 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 8.15 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 146 |
| 8.16 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 148 |
| 8.17 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .     | 151 |
| 8.18 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 153 |
| 8.19 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 155 |
| 8.20 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 157 |
| 8.21 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .     | 160 |
| 8.22 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 162 |
| 8.23 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 164 |
| 8.24 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 166 |
| 8.25 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .     | 168 |
| 8.26 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 170 |
| 8.27 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 172 |
| 8.28 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 174 |
| 8.29 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .     | 177 |
| 8.30 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 179 |
| 8.31 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 181 |
| 8.32 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 183 |
| 8.33 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία . . . . .     | 186 |
| 8.34 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 188 |
| 8.35 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 190 |
| 8.36 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 192 |
| 8.37 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 195 |
| 8.38 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 197 |
| 8.39 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 199 |
| 8.40 | Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 201 |
| 8.41 | Ασθενής 2: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 204 |
| 8.42 | Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 206 |
| 8.43 | Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 208 |
| 8.44 | Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 210 |
| 8.45 | Ασθενής 3: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 213 |
| 8.46 | Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 215 |
| 8.47 | Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 217 |
| 8.48 | Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 219 |
| 8.49 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 221 |
| 8.50 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 223 |
| 8.51 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 225 |
| 8.52 | Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 227 |
| 8.53 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 230 |
| 8.54 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 232 |
| 8.55 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 234 |
| 8.56 | Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 236 |
| 8.57 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 239 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 8.58 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 241 |
| 8.59 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 243 |
| 8.60 | Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 245 |
| 8.61 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 247 |
| 8.62 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 249 |
| 8.63 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 251 |
| 8.64 | Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 253 |
| 8.65 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 256 |
| 8.66 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 258 |
| 8.67 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 260 |
| 8.68 | Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 262 |
| 8.69 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης . . . . .                     | 265 |
| 8.70 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6 . . . . .  | 267 |
| 8.71 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12 . . . . . | 269 |
| 8.72 | Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24 . . . . . | 271 |

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Το ερευνητικό πρόβλημα

Ο Σακχαρώδης Διαβήτης (ΣΔ) είναι μία μεταβολική ασθένεια η οποία χαρακτηρίζεται από απορρύθμιση στην μεταβολή της γλυκόζης από τον ανθρώπινο οργανισμό. Η συγκεκριμένη απορρύθμιση βασίζεται είτε στην ολική ανικανότητα (Σακχαρώδης Διαβήτης Τύπου 1 - ΣΔΤ1) του ανθρώπινου οργανισμού να μεταβολίσει την γλυκόζη που εισέρχεται στο αίμα, τόσο λόγω ενδογενών διεργασιών όσο και λόγω προσλαμβανόμενης γλυκόζης από την τροφή, είτε στην εν μέρη ανικανότητα (Σακχαρώδης Διαβήτης Τύπου 2 - ΣΔΤ2) του ανθρώπινου οργανισμού. Τα υψηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα μπορούν να οδηγήσουν σε μία πληθώρα προβλημάτων υγείας τόσο μακροχρόνιων όσο και βραχυπρόθεσμων που χρήζουν άμεσης νοσηλείας. Η μεγάλη εξάπλωση του ΣΔ καθιστά επιτακτική την ανάγκη τόσο πρόληψης της συγκεκριμένης ασθένειας, στις περιπτώσεις που αυτό είναι δυνατό, όσο και διαχείρισης αυτής μέσω της ρύθμισης των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα και τελικά την πρόληψη εμφάνισης επιπλοκών. Εξάλλου, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό υγείας, ο τακτικός γλυκαιμικός έλεγχος στις περιπτώσεις ατόμων με ΣΔ μπορεί να προλάβει την εμφάνιση τόσο των βραχυπρόθεσμων όσο και των μακροπρόθεσμων. Επιπλέον, μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που προκύπτουν κατά τον σχεδιασμό μεθόδων γλυκαιμικού ελέγχου, είναι το διαφορετικό γλυκαιμικό προφίλ που παρατηρείται μεταξύ ασθενών με αποτέλεσμα, να απαιτούνται εξατομικευμένοι μέθοδοι ρύθμισης των τιμών γλυκόζης στο αίμα. Επιπλέον, οι οξείες διακυμάνσεις των επιπέδων γλυκόζης, καθιστούν δύσκολο για το ιατρικό προσωπικό να κατανοήσει τους βαθύτερους μηχανισμούς που προκαλούν τις εν λόγω μεταβολές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο γλυκαιμικός έλεγχος να πραγματοποιείται κατά βάση εμπειρικά και να απαιτεί τακτική επαναξιολόγηση.

Στην εποχή της τεχνητής νοημοσύνης, οπότε μοντέλα μηχανικής μάθησης εφαρμόζονται διαρκώς για την επίλυση όλο και πιο περίπλοκων προβλημάτων, σημειώνονται αντίστοιχες τεχνικές και στον τομέα υγείας. Η τάση αυτή φαίνεται να έχει αποτελέσματα και στην περίπτωση του ΣΔ όπου όλο και περισσότερα μοντέλα μηχανικής μάθησης αναπτύσσονται για την υποστήριξη κλινικών αποφάσεων και την

ενδυνάμωση των ατόμων με ΣΔ προς την αυτοδιαχείριση της υγείας τους.

## 1.2 Κίνητρο

Έχει παρατηρηθεί στην βιβλιογραφία ότι ενώ υπάρχουν πολλά μοντέλα μηχανικής μάθησης τα οποία χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών γλυκόζης, δεν υπάρχουν μοντέλα τα οποία να εστιάζουν στην εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας. Επιπλέον, καθώς ο τομέας υγείας είναι ευαίσθητος όσον αφορά την εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης και σε συνδυασμό με τον όλο και αναπτυσσόμενο τομέα εφαρμογών ερμηνείας του τρόπου με τον οποίο τα δίκτυα μηχανικής μάθησης λαμβάνουν αποφάσεις, οδηγούμαστε σε μία τάση για ευρεία εφαρμογή αυτής της ερμηνευσιμότητας στον τομέα της υγείας.

Τις παραπάνω προκλήσεις αντιμετωπίζει η παρούσα διπλωματική εργασία, αντικείμενο της οποίας είναι η ανάπτυξη ερμηνεύσιμων μοντέλων βαθιάς μάθησης βασισμένων σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μακράς-βραχείας μνήμης (Long-Short Term Memory – LSTM) για την πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης υπεργλυκαιμικών και υπογλυκαιμικών επεισοδίων εντός προκαθορισμένου χρονικού ορίζοντα.

## 1.3 Δομή της εργασίας

Το παρόν έγγραφο οργανώνεται σε 8 κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, τα κεφάλαια 2, 3, 4, και 5 καλύπτουν το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο απαιτείται τόσο για την σε βάθος κατανόηση της διπλωματικής εργασίας όσο για την ανάπτυξή της. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται με μία γενική περιγραφή το περιεχόμενο καθενός από τα 8 συνολικά κεφάλαια που ακολουθούν.

Το **Κεφάλαιο 1**, είναι ένα εισαγωγικό κεφάλαιο που παρουσιάζει το αντικείμενο και το κίνητρο της διπλωματικής εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 2**, περιγράφεται ο μεταβολισμός της γλυκόζης και η παθολογική απορρύθμισή του στην περίπτωση του ΣΔ. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται οι βασικές λειτουργίες του φυσιολογικού μεταβολισμού γλυκόζης και στην συνέχεια παρουσιάζεται το πρόβλημα του ΣΔ τόσο από άποψη ορισμού της ασθένειας όσο και από άποψη επιπλοκών που προκαλεί, καθώς και οι τρόποι διαχείρισης του ΣΔ και κάποια στατιστικά στοιχεία τα οποία υποδηλώνουν εύρος στο οποίο επηρεάζει ο ΣΔ την ανθρωπότητα.

Στο **Κεφάλαιο 3**, γίνεται μία εισαγωγή στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και συγκεκριμένα έχουμε την εκτενέστερη ανάλυση του των αναδρομικών νευρωνικών δικτύων και των δικτύων Μακράς-Βραχείας Μάθησης. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η εκπαίδευση και αξιολόγηση των δικτύων μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με την απαραίτητη προεπεξεργασία στην οποία υποβάλλονται τα δεδομένα εκπαίδευση για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων.



Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια της ερμηνευσιμότητας όπως αυτή ορίζεται από την επιστημονική κοινότητα και αναφέρονται περιπτώσεις εφαρμογής συγκεκριμένα στον τομέα της υγείας.

Το **Κεφάλαιο 5** καλύπτει την βιβλιογραφική επισκόπηση που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας για την εύρεση και ανάλυση αντίστοιχων ερευνών που πραγματεύονται τα θέματα της εργασίας είτε συνδυαστικά είτε μεμονωμένα.

Το **Κεφάλαιο 6** αναφέρεται στον πρακτικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας, δηλαδή στα δεδομένα και την επεξεργασία τους καθώς και στην ανάπτυξη των διαφόρων μοντέλων υπό μελέτη.

Στην συνέχεια, στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται το πλαίσιο αξιολόγησης καθώς και τα αποτελέσματα που σχετίζονται τόσο με την εκπαίδευση των μοντέλων όσο και με την εφαρμογή της ερμηνευσιμότητας.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 8** περιλαμβάνει γενικά συμπεράσματα σχετικά με το εξεταζόμενο πρόβλημα και μία κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα.

Η Εργασία ολοκληρώνεται με την βιβλιογραφία.

Τα παραρτήματα, **Παράρτημα Α** και **Παράρτημα Β**, περιλαμβάνουν τους πίνακες με τα σχετικά αποτελέσματα της εργασίας.

## Κεφάλαιο 2

# Μεταβολισμός Γλυκόζης

Ο ΣΔ είναι μία ασθένεια η οποία σχετίζεται με μία διαταραχή στον μεταβολισμό της γλυκόζης των λιπιδίων και των πρωτεϊνών αποτελώντας παγκοσμίως μία από τις σοβαρότερες και εκτενώς διαδεδομένες ασθένειες που προκαλούν σοβαρά προβλήματα τόσο σε ατομικό όσο και σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Η ασθένεια σχετίζεται με τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα και συγκεκριμένα αυξημένες τιμές γλυκόζης συνεπάγονται υπεργλυκαιμία. Η διαχείριση της υπεργλυκαιμίας από τον οργανισμό γίνεται κυρίως με την ορμόνης της ινσουλίνης και διαταραχές στην παραγωγή της ή στην επίδρασή της συνδέονται άμεσα με τον σακχαρώδη διαβήτη. Καθώς η γλυκόζη είναι το βασικό συστατικό για την λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού και λαμβάνεται από οποιαδήποτε τροφή, αφού αυτή μετατρέπεται σε γλυκόζη κατά την πέψη, είναι αναμενόμενο πως διαταραχές στην διαχείρισή της είναι κομβικής σημασίας για την φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού. Στην συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ομοίωση της γλυκόζης και τις ορμόνες από τις οποίες εξαρτάται η διαχείρισή της καθώς και βασικά στοιχεία για την κατανόηση του σακχαρώδη διαβήτη και της επίδρασής του όσον αφορά την υγεία του ασθενή αλλά και σε δημογραφικό επίπεδο.

### 2.1 Ομοίωση Γλυκόζης

Ο ανθρώπινος οργανισμός χρησιμοποιεί την γλυκόζη ως το βασικότερο συστατικό για τον κυτταρικό μεταβολισμό και συγκεκριμένα κάθε τροφή που προσλαμβάνεται μετατρέπεται σε γλυκόζη. Για την χρήση από την πλευρά των κυττάρων της γλυκόζης είναι απαραίτητη η ινσουλίνη η οποία εκκρίνεται από το πάγκρεας και δρα ως το μέσο για την είσοδο της γλυκόζης στο κύτταρο. Το πάγκρεας είναι ένας αδένας που τοποθετείται στον οπισθοπεριτοναϊκό χώρο και παράγει σημαντικές ορμόνες για την φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού τις οποίες θα δούμε στην συνέχεια. Στην συνέχεια, αφού η γλυκόζη έχει εισέλθει στο εσωτερικό του κυττάρου, αυτή αντιδρά χημικά με το οξυγόνο σε συνδυασμό με έναν αριθμό από ένζυμα και τελικά πραγματοποιείται απελευθέρωση ενέργειας. Η ενέργεια αυτή καταναλώνεται για την

πραγματοποίηση κάθε λειτουργίας του οργανισμού ενώ η περίσσια γλυκόζη αποθηκεύεται στο ήπαρ και στον μυϊκό ιστό. Επιπλέον, υπό φυσιολογικές συνθήκες, η γλυκόζη είναι το μόνο συστατικό που χρησιμοποιείται από τα εγκεφαλικά κύτταρα και το κεντρικό νευρικό σύστημα [123].

Προκειμένου η γλυκόζη να φτάσει στα κύτταρα στα οποία πρόκειται και να διασπαστεί, έχουμε την είσοδό της στο κυκλοφορικό σύστημα και συγκεκριμένα στο πλάσμα. Η συγκέντρωση της γλυκόζης στο πλάσμα προκύπτει από την αναλογία του ρυθμού εισαγωγής της γλυκόζης στο κυκλοφορικό προς το ρυθμό απομάκρυνσης της γλυκόζης από αυτό. Για την είσοδο της γλυκόζης στο κυκλοφορικό σύστημα έχουμε 3 σημεία: 1) εντερική απορρόφηση, 2) γλυκογονόλυση, και 3) γλυκονεογένεση. Από τις 3 η 1η είναι αυτή που πραγματοποιείται κατά τη λήψη του φαγητού και θα καθορίσει το πόσο γρήγορα θα περάσει η γλυκόζη στο αίμα [53] ενώ οι υπόλοιπες συνδέονται με ηπατικές λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα, κατά την διαδικασία της γλυκογονόλυσης παράγεται το γλυκογόνο ενώ κατά την διαδικασία της γλυκονεογένεσης παράγεται γλυκόζη από οργανικά μόρια όπως είναι το πυροσταφυλικό οξύ, η λακτόζη, η γλυκερόλη και τα αμινοξέα. Οι δύο αυτές διαδικασίες ελέγχονται μερικώς από την γλυκαγόνη (ορμόνη που παράγεται από τα α-κύτταρα του παγκρέατος). Επιπλέον, η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης στο αίμα συνεπάγεται και την έκκριση ινσουλίνης (παράγεται από τα β-κύτταρα του παγκρέατος όπως και η αμυλίνη) και μειώνει την παραγωγή γλυκόζης από το ήπαρ ενώ προωθεί τη χρήση και την αποθήκευση της γλυκόζης προκειμένου να αποκατασταθούν τα φυσιολογικά επίπεδα περιεκτικότητας [106].

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι τα επίπεδα της γλυκόζης ρυθμίζονται από πολλές διαφορετικές ορμόνες και στην συνέχεια παρουσιάζουμε με λεπτομέρεια τις βασικότερες από αυτές [106].

## Ινσουλίνη

Η ινσουλίνη είναι μία πρωτεΐνη η οποία παράγεται από τα β-κύτταρα του παγκρέατος και αποτελείται από 2 πολυπεπτιδικές αλυσίδες με 51 αμινοξέα. Εκκρίνεται στην περίπτωση που τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα αυξηθούν, συνήθως μετά από κάποιο γεύμα, και ο πρωταρχικός της ρόλος είναι η απομάκρυνση της γλυκόζης. Σε αντίστοιχία με τη λειτουργία της πλειοψηφίας των πρωτεϊνών, και η ινσουλίνη, βασίζει την λειτουργία της σε ειδικούς υποδοχείς που βρίσκονται στα διάφορα κύτταρα του οργανισμού με τους οποίους και συνδέονται. Η ινσουλίνη λοιπόν, σηματοδοτεί την ταχύτερη απορρόφηση της γλυκόζης από τους περιφερειακούς ιστούς και αναστέλλει την παραγωγή γλυκαγόνης η οποία και παράγεται από τα α-κύτταρα του παγκρέατος με αποτέλεσμα να συντελεί και στην αναστολή των διεργασιών της γλυκογονόλυσης και γλυκονεογένεσης. Επιπλέον, η ινσουλίνη εκκρίνεται μόνο όταν η συγκέντρωση της γλυκόζης είναι μεγαλύτερη από 3.3 mmol/l και μπορεί να εκκρίνεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα αν η συγκέντρωση δεν πέσει στα επιθυμητά επίπεδα. Παρόλο που η γλυκόζη είναι ο βασικός λόγος για την έκκριση της ινσουλίνης, υπάρχουν και άλλες ορμόνες και αμινοξέα τα οποία μπορεί να προκαλέσουν την έκκρισή της.

## Αμυλίνη

Η αμυλίνη είναι μία πεπτιδική ορμόνη που αποτελείται από 37 αμινοξέα και βρίσκεται μαζί με την ινσουλίνη στα β-κύτταρα του παγκρέατος. Εκκρίνεται μαζί με την ινσουλίνη και συντελεί και αυτή στον έλεγχο της γλυκόζης στο αίμα συμπληρώνοντας την δράση της ινσουλίνης. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί είναι επιβραδύνοντας της γαστρική κένωση με αποτέλεσμα οι τροφές να μετατρέπονται σε γλυκόζη και να εισέρχονται στο κυκλοφορικό σύστημα σε αργότερη χρονική στιγμή, παρέχοντας έτσι ένα χρονικό διάστημα ασφαλείας για την αντιμετώπιση της υψηλής συγκέντρωσης που ήδη υπάρχει. Επιπλέον, ενισχύει της αίσθηση του κορεσμού με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποσότητα του γεύματος που τελικά εισέρχεται στον οργανισμό.

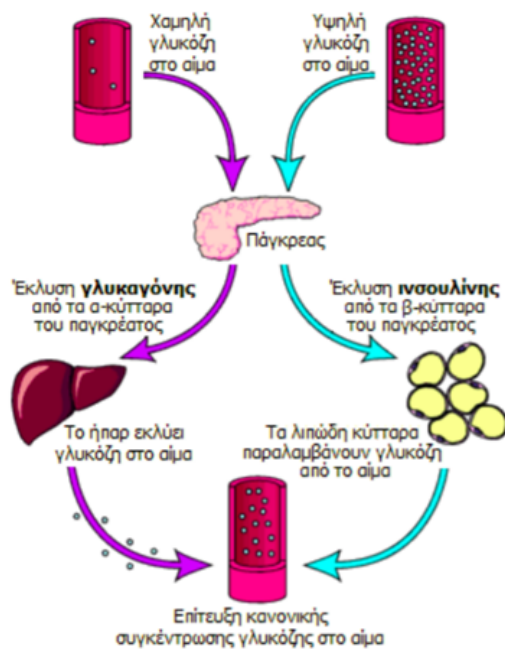
## Γλυκαγόνη

Η γλυκαγόνη έχει εντελώς αντίθετη δράση από τις προηγούμενες δύο ορμόνες. Παράγεται από το πάγκρεας στην περίπτωση που η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα πέσει κάτω από κάποια επίπεδα. Είναι πεπτιδική ορμόνη που παράγεται συγκεκριμένα από τα α-κύτταρα του παγκρέατος και αποτελείται από 29 αμινοξέα. Η δράση της γλυκαγόνης γίνεται με την διάσπαση του γλυκογόνου που είναι αποθηκευμένο στο ήπαρ και στους μύες που έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση γλυκόζης ενώ παράλληλα ενεργοποιεί της διαδικασία της γλυκονεογένεσης. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η ενδογενής παραγωγή γλυκόζης δεν είναι απαραίτητα όταν λαμβάνει χώρα κάποιο γεύμα το οποίο από μόνο του αυξάνει τα επίπεδα γλυκόζης.

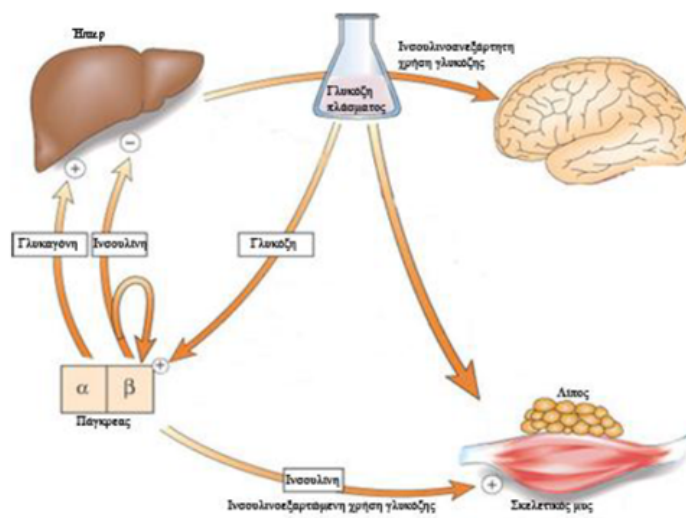
## Άλλες ορμόνες

Δύο ακόμη ορμόνες οι οποίες συμβάλουν στον μηχανισμό της ομοιόστασης της γλυκόζης είναι οι ορμόνες GIP και GLP-1. Οι δύο ορμόνες εκκρίνονται από το έντερο κατά την πρόσληψη γλυκόζης με την μορφή τροφής, προκειμένου να διεγείρουν την έκκριση ινσουλίνης για να γίνει η διαχείριση της γλυκόζης. Πιο συγκεκριμένα, η δράση της ορμόνης GIP σχετίζεται με την προώθηση της έκκρισης ινσουλίνης και την ρύθμιση του μεταβολισμού των λιπών και τα επίπεδά της συγκεκριμένης ορμόνης, για άτομα με σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2, είναι φυσιολογικά ή ελαφρώς αυξημένα. Η ορμόνη GLP-1 εκκρίνεται σε μεγαλύτερες ποσότητες από την GIP και παίζει σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση της γλυκόζης μετά το γεύμα προωθώντας την έκκριση ινσουλίνης ενώ επίσης προωθεί το αίσθημα του κορεσμού. Αντιθέτως, σε περιόδους νηστείας προκαλεί ελάχιστη διέγερση στα β-κύτταρα για την παραγωγή της. Επιπλέον, η ορμόνη GLP-1 αναστέλλει την παραγωγή γλυκαγόνης και συμβάλλει στην καθυστέρηση της γαστρική κένωσης όπως και η αμυλίνη.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο μεταβολισμός της γλυκόζης είναι μία περίπλοκη διαδικασία σε έναν υγιή οργανισμό και αποτελείται από πολλούς παράγοντες. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται σχηματικά και αφαιρετικά οι διαδικασίες που περιγράφηκαν.



Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα των μηχανισμών που ενεργοποιούνται κατά τη φυσιολογική λειτουργία [11]



Σχήμα 2.2: Σχηματικό διάγραμμα μεταβολισμού γλυκόζης [106]

## 2.2 Σακχαρώδης Διαβήτης

Ο Σακχαρώδης Διαβήτης (Diabetes Mellitus) είναι μεταβολική ασθένεια η οποία χαρακτηρίζεται από την διαταραχή του μεταβολισμού της γλυκόζης, είτε λόγω μειωμένης έκκρισης ινσουλίνης στον οργανισμό είτε λόγω μειωμένης δράσης της ινσουλίνης, που οφείλεται στην ελάττωση της ευαισθησίας των κυττάρων στην ινσουλίνη [123].

Ο ΣΔ είναι μία από τις πιο ραγδαία αναπτυσσόμενες ασθένειες και προβλέπεται να προσβάλει τα 693 εκατομμύρια ενηλίκων παγκοσμίως μέχρι το 2045 [21], ενώ σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας το 2007 υπήρχαν 246 εκατομμύρια ασθενείς με ΣΔ [10].

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία σχετικά με τον Σακχαρώδη Διαβήτη που σχετίζονται με τους τύπους στους οποίους κατηγοριοποιείται, τις επιπλοκές που μπορεί να επιφέρει, τους τρόπους με τους οποίους αντιμετωπίζεται σήμερα καθώς και μερικά ακόμη σχετικά στατιστικά χαρακτηριστικά.

### 2.2.1 Τύποι

Διακρίνονται τριών ειδών τύποι σακχαρώδη διαβήτη, ο Σακχαρώδης Διαβήτης Τύπου 1 (ΣΔΤ1), ο σακχαρώδης διαβήτης Τύπου 2 και ο Σακχαρώδης Διαβήτης Κύησης [123].

#### Σακχαρώδης Διαβήτης Τύπου 1 (ΣΔΤ1)

Ο ΣΔΤ1 είναι γνωστός και ως ινσουλινοεξαρτώμενος ή νεανικός διαβήτης και είναι ένα αυτοάνοσο νόσημα το οποίο χαρακτηρίζεται από την καταστροφή των β-κυττάρων του παγκρέατος με αποτέλεσμα αυτό να προκαλεί την ταχτική εμφάνιση υψηλών επιπέδων γλυκόζης στο αίμα λόγω της ολοκληρωτικής έλλειψης ή της ελάχιστης έκκρισης ινσουλίνης στον οργανισμό. Ο συγκεκριμένος τύπος διαβήτη σχετίζεται με την γενετική προδιάθεση και συναντάται κυρίως σε παιδιά αλλά μπορεί να εμφανιστεί και σε ενήλικες. Σύμφωνα με τα στατιστικά είναι από τους πιο σπάνιους τύπους ΣΔ.

#### Σακχαρώδης Διαβήτης Τύπου 2 (ΣΔΤ2)

Ο ΣΔΤ2 είναι γνωστός και ως μη-ινσουλινοεξαρτώμενος διαβήτης και προέρχεται από έναν συνδυασμό τόσο μειωμένης έκκρισης ινσουλίνης όσο και ελαττωμένης ευαισθησίας των κυττάρων στην ινσουλίνη. Παρόλο που τα επίπεδα ινσουλίνης στον οργανισμό συναντώνται αυξημένα, η μειωμένη δράση της ινσουλίνης αποτελεί την κύρια διαταραχή και ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια της νόσου. Ο ΣΔΤ2 είναι η συχνότερη αιτία διαβήτη στην ομάδα των ενηλίκων και παράγοντες που αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισής του σχετίζονται με την παχυσαρκία, την ηλικία και το οικογενειακό ιστορικό. Σύμφωνα με στατιστικά, ο ΣΔΤ2 αντιπροσωπεύει περίπου το 90% του συνολικού αριθμού των ατόμων με διαβήτη.

## Σακχαρώδης Διαβήτης Κύησης

Ο συγκεκριμένος τύπος διαβήτη σχετίζεται αποκλειστικά με την περίοδο εγκυμοσύνης και εμφανίζεται κατά την διάρκειά της ενώ εξαφανίζεται μετά τον τοκετό. Ένα ποσοστό σε εύρος 3 – 5% των κυήσεων προσβάλλεται από ΣΔ Κύησης. Επιπλέον, ο τρόπος λειτουργίας του ΣΔ Κύησης ακολουθεί αυτόν του ΣΔΤ2 και συγκεκριμένα χαρακτηρίζεται από μειωμένη έκκριση ινσουλίνης σε συνδυασμό με ελαττωμένη ευαισθησία των κυττάρων στην δράση της ινσουλίνης. Η παχυσαρκία είναι ένας παράγοντας που αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης αυτού του τύπου διαβήτη, ενώ ένα ποσοστό 30 – 40% των γυναικών που εμφανίζουν ΣΔ Κύησης εμφανίζουν και ΣΔΤ2 μετέπειτα στην ζωή τους.

### 2.2.2 Επιπλοκές

Ο Σακχαρώδης διαβήτης είναι αιτία για βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπλοκές στην υγεία του ατόμου. Τα αυξημένα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, στην περίπτωση που δεν αντιμετωπιστούν μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρές επιπλοκές που μπορεί να οδηγήσουν και στον θάνατο. Επιπλέον, η διαδικασία συνεχούς παρακολούθησης στην οποία υποβάλλεται ο ασθενής αλλά και η διαρκής πιθανότητα να εμφανιστούν επιπλοκές, έχουν συχνά επίδραση και στην ψυχολογία του ασθενούς προκαλώντας, σύμφωνα με μελέτες, κατάθλιψη [19]. Παρακάτω περιγράφονται οι μερικές από τις βασικότερες και πιο συχνές επιπλοκές που συνδέονται με τον ΣΔ [99].

### Οξείες επιπλοκές

Ο ΣΔ χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα (υπεργλυκαιμίες), τα οποία οφείλονται στην έλλειψη ή αντοχή των κυττάρων στην ινσουλίνη. Η αυξημένη γλυκόζη στο αίμα, αν δεν αντιμετωπιστεί σωστά, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπλοκές στην καθημερινότητα του ασθενή. Δύο από τις σημαντικότερες επιπλοκές αυτής της κατηγορίας είναι η διαβητική κετοξέωση (diabetic keto acidoses – DKA) και η μη κετωτική υπερωσμωτική υπεργλυκαιμική κατάσταση (non-ketotic hyperosmolar state – NKHS). Από τις 2, η 1η εμφανίζεται περισσότερο σε άτομα με ΣΔΤ1, ενώ η 2η σε άτομα με ΣΔΤ2.

### Διαβητική Κετοξέωση – DKA

Στην συγκεκριμένη κατάσταση έχουμε παράλληλα με την έλλειψη γλυκόζης και περίσσεια ποσότητα αντιρυθμιστικών ορμονών (π.χ. γλυκαγόνη, κατεχολαμίνη, κορτιζόλη, αυξητική ορμόνη) με αποτέλεσμα αυτή η διαφορά αναλογίας που δημιουργείται να προκαλεί γλυκονεογένεση, γλυκογονόλυση, κέτωση, και επιπλέον αυξάνει και την μεταφορά λιπαρών οξέων και αμινοξέων από το λίπος και τους μυς προς το ήπαρ. Τελικά, η κέτωση προκύπτει από την σημαντική αύξηση των επιπέδων των ελεύθερων λιπαρών οξέων λόγω αυξημένης λιπόλυσης. Επιπλοκές της συγκεκριμένη κατάστα-

σης που συναντώνται συχνά είναι η ναυτία ενώ σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να προκαλέσει και κώμα.

### Μη-Κετωτική Υπερωσμωτική Υπεργλυκαιμική Κατάσταση – NKHS

Η συγκεκριμένη κατάσταση χαρακτηρίζεται κατά βάση από συχνοουρία, ορθοστατική υπόταση, και μία ευρεία γκάμα από νευρολογικά συμπτώματα όπως αλλοιωμένη ψυχική κατάσταση, λήθαργο, επιληπτικές κρίσεις, και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και κώμα. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, η NKHS συναντάται σε άτομα με ΣΔΤ2 και συγκεκριμένα σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας.

### **Χρόνιες επιπλοκές**

Η συνεχόμενη ύπαρξη αυξημένης γλυκόζης στο αίμα προκαλεί και χρόνιες επιπτώσεις οι οποίες επηρεάζουν ένα πλήθος οργάνων και ευθύνονται για την πλειοψηφία των περιπτώσεων νοσηρότητας και θνησιμότητας που σχετίζονται με την περίπτωση του ΣΔ. Οι χρόνιες επιπλοκές διαχωρίζονται σε αγγειακές και μη αγγειακές. Πιο συγκεκριμένα, οι αγγειακές επιπλοκές χωρίζονται σε μικροαγγειακές (αμφιβληστροειδοπάθεια, νευροπάθεια, νεφροπάθεια) και μικροαγγειακές (στεφανιαία νόσο, περιφερική αγγειακή νόσο, εγκεφαλοαγγειακή νόσο), ενώ οι μακροαγγειακές επιπλοκές περιλαμβάνουν προβλήματα όπως γαστροπόρωση, σεξουαλική δυσλειτουργία και δερματικές αλλαγές. Ως συνέπεια των χρόνιων επιπλοκών, ο ΣΚ αποτελεί την πλέον συνήθης αιτία για τύφλωση σε ενήλικους, για μία ποικιλία εξουθενωτικών νευροπαθειών, και για καρδιακές και εγκεφαλικές διαταραχές.

### Διαβητική Αμφιβληστροειδοπάθεια

Συναντάται στο 75% των ατόμων που πάσχουν από ΣΚ για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 15 χρόνων και συχνά οδηγεί σε τύφλωση. Πρόκειται για φθορά του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του ματιού που έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της όρασης και σε ορισμένες περιπτώσεις μη αποτελεσματικής αντιμετώπισης την τύφλωση. Προκαλείται από υψηλή αρτηριακή πίεση και χοληστερόλη, φαινόμενα τα οποία όταν συνδυάζονται με υψηλά επίπεδα γλυκόζης έχουν αυτό το αποτέλεσμα [20].

### Διαβητική Νευροπάθεια

Ένα ποσοστό της τάξεως του 50% των ατόμων με ΣΔ εμφανίζουν και διαβητική νευροπάθεια. Πρόκειται για απώλεια της αισθητηριακής λειτουργίας των νευρών των περιφερικών κάτω άκρων και συνοδεύεται από πόνο και νοσηρότητα. Έχει αποδειχθεί ότι η διατήρηση της γλυκόζης σε σταθερά επίπεδα είναι αποτελεσματική για την συγκεκριμένη ασθένεια στα άτομα με ΣΔΤ1 ενώ για εκείνα με ΣΔΤ2 τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο καλά. [8]

### Διαβητική Νεφροπάθεια

Πρόκειται για βλάβη στα μικρά αιμοφόρα αγγεία των νεφρών που συντελεί στην



μη αποτελεσματική λειτουργία τους ενώ η διατήρηση της γλυκόζης σε φυσιολογικά επίπεδα μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή αντίστοιχων περιστατικών. Η διαβητική νεφροπάθεια είναι μία από τις βασικότερες αιτίες που προκαλούν νεφρική νόσο τελικού σταδίου τόσο σε υπό ανάπτυξη όσο και σε ανεπτυγμένες χώρες. Χρόνια υπεργλυκαιμία και υψηλή πίεση είναι οι βασικοί παράγοντες που μπορεί να συντελέσουν στην εμφάνισή της ενώ χρειάζεται συστηματικός έλεγχος μετά την διάγνωση του ΣΔ. Σε κάθε περίπτωση, ο γλυκαιμικός έλεγχος και ο έλεγχος της πίεσης είναι σημαντικοί αποτρεπτικοί παράγοντες [88].

### Καρδιαγγειακή Νοσηρότητα και Θνησιμότητα

Σοβαρές καρδιαγγειακές ασθένειες όπως είναι η καρδιακή ανεπάρκεια, η στεφανιαία νόσος, και το έμφραγμα του μυοκαρδίου είναι φαινόμενα που προκύπτουν στην περίπτωση του ΣΔ και είναι αιτίες που μπορεί να προκαλέσουν ξαφνικό θάνατο. Παρόλο που έχει αποδειχθεί ότι ο γλυκαιμικός έλεγχος μπορεί να ελαττώσει τις μικροαγγειακές ασθένειες, στην περίπτωση μακροαγγειακών ασθενειών είναι πιθανό να μην έχει επίδραση.

### **2.2.3 Διάγνωση**

Συμπτώματα που μπορεί να υποδεικνύουν την εμφάνιση ΣΔ είναι συνήθως τα εξής:

- Συχνή Δίψα
- Συχνουρία
- Αυξημένη όρεξη
- Υπερβολική κόπωση
- Απώλεια βάρους
- Θολή όραση

Ωστόσο, η διάγνωση για ΣΔ γίνεται με τον κλινικό έλεγχο. Σίγουρα τα παραπάνω συμπτώματα αποτελούν ενδείξεις και συντελούν στην διάγνωση αλλά ο κλινικός έλεγχος είναι απαραίτητος και πρέπει να λαμβάνει χώρα σε κάθε περίπτωση. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την έγκυρη διάγνωση είναι οι παρακάτω [4].

### **Μέτρηση της γλυκοζυλιώμενης αιμοσφαιρίνης (HbA1c)**

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μία εργαστηριακή εξέταση που λαμβάνει χώρα ως μία εξέταση αίματος και στην συνέχεια το αίμα που έχει ληφθεί υποβάλλεται σε εξέταση. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα για τους τελευταίους 2 – 3 μήνες και δεν επηρεάζεται από βραχυπρόθεσμες αλλαγές που

μπορεί να παρατηρούνται στα επίπεδα της γλυκόζης. Καθώς με την μέθοδο αυτή δεν μπορεί να γίνει αξιολόγηση οξέων επεισοδίων, είναι περισσότερο χρησιμοποιούμενη για την διάγνωση ΣΔΤ2. Οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται σε ποσοστό 4 – 6%, και συγκεκριμένα για τιμές >6.5% συμπεραίνεται η ύπαρξη ΣΔΤ2 ενώ οι τιμές που βρίσκονται στο εύρος 5.7 – 6.4% σημαίνουν σημαντική ένδειξη.

### **Μέτρηση της γλυκόζης πλάσματος νηστείας (FPG)**

Απαιτεί την στέρηση κάθε είδους τροφής και υγρών, με εξαίρεση το νερό, για τουλάχιστον 8 ώρες πριν την πραγματοποίηση της εξέτασης. Και σε αυτή την μέθοδο απαιτείται η συλλογή αίματος από τον ασθενή, του οποίου το πλάσμα στην συνέχεια χρησιμοποιείται συνδυαστικά με χημικές ουσίες οι οποίες υποδεικνύουν τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα. Τα φυσιολογικά ποσοστά βρίσκονται σε τιμές <100mg/dL και για τιμές >126mg/dL συμπεραίνεται ότι το άτομο πάσχει από ΣΔ ενώ σοβαρή πιθανότητα να πάσχει υποδεικνύουν οι τιμές σε εύρος 100 – 125 mg/dL.

### **Δοκιμασία ανοχής γλυκόζης (OGTT)**

Η μέθοδος χρησιμοποιείται ως εξέταση της ικανότητας του εν δυνάμει ασθενεί να διαχειριστεί σε επίπεδο οργανισμού μία συγκεκριμένη ποσότητα γλυκόζης. Η διαδικασία έχει ως εξής: Αρχικά γίνεται λήψη αίματος από τον ασθενή ο οποίος στην συνέχεια καταναλώνει ένα υγρό με συγκεκριμένη περιεκτικότητα σε γλυκόζη. Δύο ώρες μετά την κατανάλωση, γίνεται και πάλι λήψη αίματος και τελικά συγκρίνονται τα επίπεδα γλυκόζης των δύο δειγμάτων. Αν η τιμή που μετρηθεί μετά το γεύμα είναι >200 mg/dL τότε γίνεται διάγνωση ΣΔ, αν η τιμή είναι στο εύρος 140 – 199 mg/dL υπάρχει σοβαρή πιθανότητα, ενώ αν είναι <139 mg/dL υποδεικνύει μία φυσιολογική τιμή.

## **2.2.4 Διαχείριση και Γλυκαιμικός Έλεγχος**

Οι περισσότερες από τις επιπλοκές που σχετίζονται με τον ΣΔ, όπως αναφέρεται και στην ενότητα 2.2.2, μπορούν να προληφθούν με γλυκαιμικό έλεγχο. Ο γλυκαιμικός έλεγχος περιλαμβάνει την μέτρηση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα ανά τακτά χρονικά διαστήματα και τη λήψη δράσης για την διατήρησή τους σε φυσιολογικά επίπεδα (μεταξύ των τιμών 70 – 110 mg/dL). Ωστόσο, τόσο εξωγενείς παράγοντες, όπως είναι η χορηγούμενη ινσουλίνη, η άσκηση, η δίαιτα, το άγχος, και συνοδευτικές θεραπευτικές αγωγές, όσο και ενδογενείς, όπως είναι η λειτουργία του ήπατος, του εγκεφάλου, των μυών, των νεφρών, και του εντέρου, προκαλούν μην προβλέψιμες μεταβολές στην τιμή της γλυκόζης με αποτέλεσμα η διατήρησή της σε φυσιολογικά επίπεδα να είναι δύσκολη, ειδικότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας οπότε και περισσότεροι από τους αναφερόμενους παράγοντες δρουν. Εξαιτίας των παραπάνω δυσκολιών, δεν υπάρχει κάποιος αντικειμενικός κανόνας που να ορίζει την αλληλουχία πράξεων που πρέπει να ακολουθήσει ένας ασθενής προκειμένου να επιτύχει τον γλυκαιμικό έλεγχο.

## Μέτρηση Γλυκόζης

Η μέτρησης της γλυκόζης είναι μία σημαντική διαδικασία προκειμένου να δημιουργηθεί μία κλινική εικόνα για τις μεταβολές στα επίπεδα γλυκόζης στις οποίες και υποβάλλεται ο ασθενής αλλά και ώστε να δημιουργηθεί μία βάση για τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν προκειμένου να προληφθούν επιπλοκές. Η μέτρηση γλυκόζης, μέχρι πρόσφατα, βασιζόταν σχεδόν αποκλειστικά, σε συμβατικές διατάξεις μέτρησης οι οποίες βασίζονται στην μέτρηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης σε μικρή ποσότητα τριχοειδικού αίματος που λαμβάνεται από το ακροδάχτυλο με χρήση λεπτής βελόνας για το τρύπημα. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται σε μετρήσεις που πραγματοποιεί χειροκίνητά ο ασθενής και άρα αυτές δεν μπορεί να είναι πάρα πολύ συχνές ή να λαμβάνουν χώρα καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της νύχτας [123]. Τα τελευταία χρόνια είναι εμπορικές διαθέσιμες προηγμένες Διατάξεις Συνεχούς Μέτρησης και καταγραφής της Γλυκόζης (ΔΣΜΓ). Οι ΔΣΜΓ αποτελούνται από έναν αισθητήρα ο οποίος εμφυτεύεται στον υποδόριο ιστό και μία φορητή συσκευή για την εμφάνιση και αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Οι συγκεκριμένες συσκευές λαμβάνουν μετρήσεις κάθε 5 λεπτά και απαιτούν καθημερινή βαθμονόμηση (3 – 4 φορές την ημέρα) μέσω της τιμής που μετράται με την συμβατική μέθοδο που περιγράφηκε προηγουμένως. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η μέτρηση της γλυκόζης στο υποδόριο ιστό παρουσιάζει καθυστέρηση 5 – 15 λεπτά συγκριτικά με αυτή απευθείας από το αίμα, ενώ οι τιμές της είναι και λίγο χαμηλότερες [38].

## Χορήγηση Ινσουλίνης

Στην περίπτωση του ΣΔΤ1 όπου και δεν έχουμε καθόλου παραγωγή ινσουλίνης από τον οργανισμό, είναι απαραίτητη η εξωτερική χορήγηση. Αντίστοιχα αυτό μπορεί να κριθεί απαραίτητο και σε ασθενείς με ΣΔΤ2 καθώς η παραγωγή μπορεί να είναι σε χαμηλά επίπεδα ή να υπάρχει ανθεκτικότητα. Συνηθέστερος τρόπος έγχυσης ινσουλίνης, μέχρι πρόσφατα, ήταν η έγχυση με ενέσιμη μορφή η οποία βασιζόταν σε πολλαπλές ημερήσιες δόσεις ινσουλίνης με την χρήση είτε την κλασικής σύριγγας είτε άλλων συσκευών όπως αυτών που έχουν την μορφή στυλό (insulin pens).

Τα τελευταία χρόνια είναι εμπορικά διαθέσιμες και συσκευές οι οποίες επιτρέπουν την συνεχή έγχυση ινσουλίνης στο υποδόριο χώρο. Οι συσκευές αυτές ονομάζονται αντλίες έγχυσης ινσουλίνης και επιτρέπουν την καθημερινή έγχυση ινσουλίνης με απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο, προσεγγίζοντας έτσι την λειτουργία του παγκρέατος. Η αντλία αποτελείται από ένα δοχείο ινσουλίνης και από ένα υπολογιστικό μηχανισμό ο οποίος μπορεί να προγραμματίζεται βάσει αναγκών ώστε να ακολουθεί ένα προκαθορισμένο ρυθμό έγχυσης ινσουλίνης τόσο γενικότερα όσο και συγκεκριμένα τις χρονικές στιγμές σηματοδοτούν την αρχή κάποιου γεύματος. Η αντλία συνδέεται μέσω ενός λεπτού πλαστικού σωλήνα με ένα στόμιο παροχής, τοποθετημένο στον υποδόριο χώρο κάτω από το δέρμα, μέσω του οποίου διέρχεται η ινσουλίνη [123].

Για τη σωστή ρύθμιση της ποσότητας της ινσουλίνης που θα χορηγείται στον ασθενή έχουν δημιουργηθεί και χρησιμοποιούνται πολλές πλατφόρμες οι οποίες ενσωματώνουν την παρακολούθηση, την διαχείριση, και την εξαγωγή σχήματος θερα-

πείας για τον ασθενή, συνδυάζοντας προηγμένες προσεγγίσεις για την λειτουργία τους ([79], [77], [75], [117], [111], [113])

## Δίαιτα και Φυσική Άσκηση

Συγκεκριμένα για την περίπτωση του ΣΔΤ2, έχει αποδειχθεί ότι η δίαιτα και η φυσική άσκηση είναι δύο παράγοντες οι οποίοι μπορούν να συντελέσουν σημαντικά τόσο στην πρόληψη όσο και στην αποφυγή εμφάνισης ΣΔ [39]. Από την άλλη πλευρά, η δίαιτα μπορεί να συντελέσει σημαντικά και στην αποφυγή οξέων επεισοδίων υπεργλυκαιμίας γενικότερα στα άτομα που πάσχουν από ΣΔ.

Τόσο στην περίπτωση της πρόληψης όσο και στην περίπτωση της διαχείρισης είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η δίαιτα δεν συνεπάγεται τη διακοπή πρόσληψης ζάχαρης αλλά μία μεγαλύτερη προσοχή στις λαμβανόμενες τροφές. Για παράδειγμα, οι υδατάνθρακες έχουν μεγαλύτερη επίδραση στα επίπεδα σακχάρου στο αίμα και άρα επεξεργασμένοι υδατάνθρακες όπως είναι το λευκό ψωμί, τα ζυμαρικά, το ρύζι, οι καραμέλες, και τα σνακ πρέπει να περιορίζονται και να αντικαθιστούνται με υδατάνθρακες με υψηλή περιεκτικότητα σε ίνες, όπως η ακατέργαστη βρόμη, οι οποίοι επιβραδύνουν την διαδικασία την πέψης βοηθώντας στον γλυκαιμικό έλεγχο [71].

Όσον αφορά την σωματική άσκηση, σημειώνεται ότι και αυτή μπορεί να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης ΣΔ αλλά και να βοηθήσει στην διαχείριση. Συγκεκριμένα για την περίπτωση του ΣΔΤ2 όπου και ο οργανισμός παρουσιάζει ανοχή στην γλυκόζη, η σωματική άσκηση μπορεί να βοηθήσει καθώς με αυτή μειώνεται η αντίσταση στην ινσουλίνη η οποία σε μεγάλο βαθμό μπορεί να οφείλεται σε συσσώρευση λίπους στο ήπαρ [98]. Επιπλέον, σύμφωνα με την Αμερικάνικη Ένωση Διαβήτη [3], η σωματική άσκηση, βελτιώνει την διαχείριση της γλυκόζης, μειώνει την αρτηριακή πίεση, βελτιώνει τα λίπη στο αίμα, και επίσης μειώνει την ποσότητα ινσουλίνης που πρέπει να χορηγηθεί λόγω απώλειας βάρους.

### 2.2.5 Επιδημιολογικά Χαρακτηριστικά

Τα συνεχώς αυξανόμενα ποσοστά στα άτομα που πάσχουν από ΣΔ, αποτελούν τεράστιο βάρος τόσο για τα ίδια τα άτομα (επηρεάζει την καθημερινότητά τους, την καριέρα τους, την υγεία τους) όσο και για την κοινωνία και την ιατρική κοινότητα. Η ραγδαία ποσοστιαία αύξηση οφείλεται όλο και περισσότερο στον σύγχρονο τρόπο ζωής ο οποίος ενσωματώνει όλο και περισσότερο την αδράνεια, την έλλειψη αθλητικής δραστηριότητας και την ανθυγιεινή διατροφή. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες, ο παράγοντας του τρόπου ζωής επηρεάζει περισσότερο την εμφάνιση του ΣΔΤ2, οποίος ξεπερνά σημαντικά σε ποσοστά τον ΣΔΤ1, αλλά μπορεί να οδηγήσει και στην εμφάνιση περισσότερων επιπλοκών και στις δύο περιπτώσεις. Το φαινόμενο αυτό είναι στενά συνδεδεμένο και γεωγραφικά χαρακτηριστικά και έτσι στην ενότητα αυτή πρόκειται να δούμε κάποια ποσοστά εμφάνισης των 2 τύπων ΣΔ τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και συγκεκριμένα για την χώρα μας. [29]

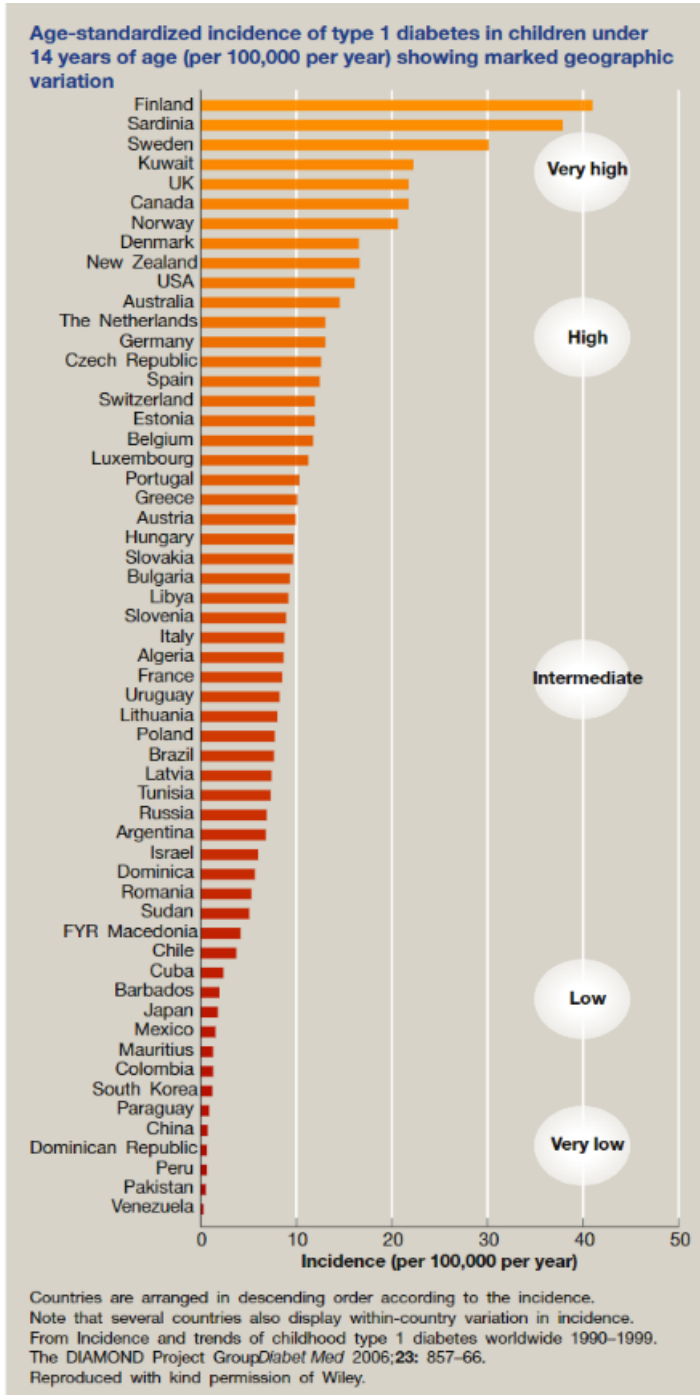
## ΣΔΤ1

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ομοσπονδία Διαβήτη, από το 2017, έχουμε ετησίως περισσότερες από 96,000 νέες διαγνώσεις ΣΔΤ1 σε παιδιά και εφήβους. Οι 10 χώρες με τα υψηλότερα ποσοστά σε αριθμό ατόμων που πάσχουν από ΣΔΤ1 είναι με τη σειρά οι: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Ινδία, Βραζιλία, Κίνα, Ηνωμένο Βασίλειο, Ρωσική Ομοσπονδία, Αλγερία, Σαουδική Αραβία, Νιγηρία, και Γερμανία, και στις οποίες τελικά οφείλεται περίπου το 60% των νέων περιστατικών. Αναφορικά με τις περιπτώσεις σε παιδιά έχουμε αναλογία 400 προς 1 μεταξύ κάποιων χωρών και πιο συγκεκριμένα για παιδιά μικρότερα της ηλικίας των 14 ετών φαίνεται το ποσοστό να είναι 0.1 ανά 100,000 ετησίως για της περιοχές της Βενεζουέλας, σε αντίθεση με την Σαρδηνία που είναι 40.9 και την Κίνα που είναι 37.8. Για τις χώρες της Ευρώπης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.3 έχουμε υψηλά έως μεσαία ποσοστά.

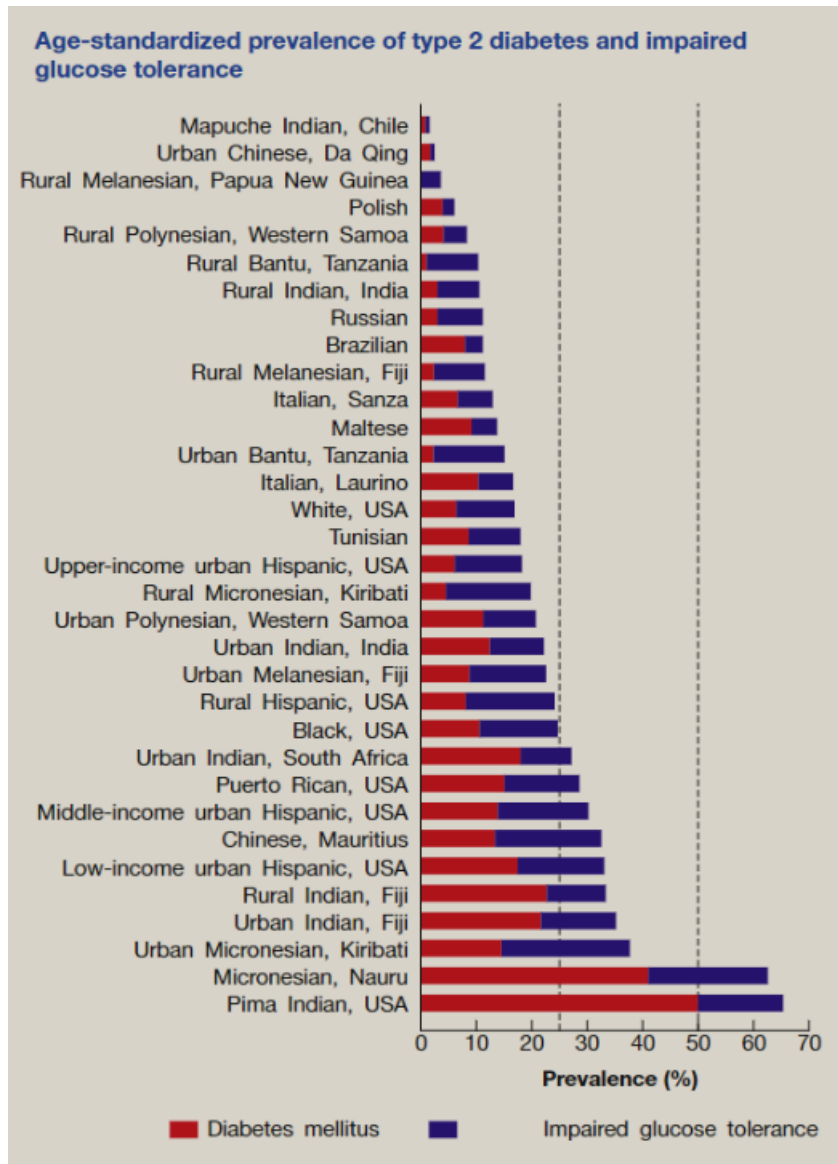
Επιπλέον, τα ποσοστά του ΣΔΤ1 σχετίζονται και με την ηλικία το φύλο, και την εθνικότητα. Παρόλο που ο διαβήτης μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή της ζωής του ανθρώπου, είναι σπάνια η εμφάνισή του στα πρώτα δύο χρόνια ζωής του ανθρώπου. Για ηλικίες έως 15 ετών έχουμε μία σταθερή αύξηση στα ποσοστά εμφάνισης σε αντίθεση με τις ηλικίες 15 – 29 ετών ενώ για ηλικίες μεγαλύτερες των 35 δεν υπάρχουν σημαντικά ποσοστά. Μικρές διαφορές παρατηρούνται επίσης και σχετικά με το φύλο, όπου σε χώρες με υψηλά ποσοστά περιστατικών ο αριθμός εμφάνισης σε αγόρια νεαρής ηλικίας είναι αυξημένος, ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε χώρες με μικρότερα ποσοστά περιστατικών.

## ΣΔΤ2

Σύμφωνα με την Διεθνή Ομοσπονδία Διαβήτη, το 2017, περίπου 425 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως υπολογίστηκαν να πάσχουν από ΣΔΤ2. Όπως φαίνεται στην 2.4, αντίστοιχα με την περίπτωση του ΣΔΤ1, έχουμε έντονη γεωγραφική διαφορά όσον αναφορά την εμφάνιση του ΣΔΤ2 και πιο συγκεκριμένα, τα ποσοστά είναι χαμηλά στις χώρες υπό ανάπτυξη, μεσαίου μεγέθους στις υπόλοιπες χώρες, με εξαίρεση περιπτώσεις χωρών στις οποίες έχει υιοθετηθεί εκτεταμένα ο δυτικός τρόπος ζωής.



Σχήμα 2.3: Δημογραφική κατανομή ΣΔΤ1 [29]



Σχήμα 2.4: Δημογραφική κατανομή ΣΔΤ2 [29]

## Κεφάλαιο 3

# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Ο εγκέφαλος είναι το κέντρο της νοημοσύνης του ανθρώπου και αποτελείται από περίπου 86 δισεκατομμύρια νευρώνες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία και μεταφορά των πληροφοριών από και προς τον εγκέφαλο [40]. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα προσπαθούν να προσομοιώσουν την λειτουργία του εγκεφάλου αποτελούμενα από έναν αριθμό κόμβων (νευρώνες) που συνδέονται μεταξύ τους.

Ο τρόπος με τον οποίο είναι δομημένοι οι νευρώνες ενός νευρωνικού δικτύου σχετίζεται στενά με τον αλγόριθμο μάθησης που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του δικτύου. Ορίζονται 3 θεμελιώδεις αρχιτεκτονικές δικτύων [35]:

1. Δίκτυα ενός επιπέδου Πρόσθιας Τροφοδότησης. Σε ένα νευρωνικό δίκτυο οι νευρώνες οργανώνονται σε μορφή επιπέδων. Στην απλούστερη μορφή νευρωνικού δικτύου έχουμε ένα επίπεδο εισόδου το οποίο συνδέεται με ένα επίπεδο κόμβων εξόδου και η ροή της πληροφορίας επιτρέπεται μόνο προς μία κατεύθυνση (από την είσοδο προς την έξοδο), όπως φαίνεται στην Εικόνα .
2. Πολυεπίπεδα Δίκτυα Πρόσθιας Τροφοδότησης. Η δεύτερη κατηγορία δικτύου πρόσθιας τροφοδότησης χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός ή περισσότερων κρυφών επιπέδων (hidden layers) τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ του επιπέδου εισόδου και του επιπέδου εξόδου προσφέροντας στο δίκτυο την δυνατότητα να εξαγάγει στατιστικά υψηλότερης τάξης από την είσοδό του.
3. Αναδρομικά Δίκτυα. Η Τρίτη κατηγορία διαφέρει από τις δύο προηγούμενες στο ότι έχει τουλάχιστον έναν βρόγχο ανάδρασης. Η παρουσία βρόγχων ανάδρασης έχει κομβική επίδραση στην δυνατότητα μάθησης του δικτύου και στην απόδοσή του. Περισσότερες λεπτομέρειες για την συγκεκριμένη κατηγορία νευρωνικών δικτύων παρέχονται στην ενότητα 3.2.

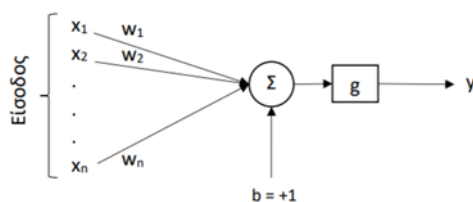


## 3.1 Βασικές έννοιες

### Νευρώνας (Perceptron)

Ένας νευρώνας δέχεται ως είσοδο ένα διάνυσμα  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  και ένα σταθερό όρο  $b$ , γνωστό ως bias. Στην συνέχεια, ο γραμμικός συνδυασμός του διανύσματος εισόδου και ενός διανύσματος βαρών καθώς και ο όρος  $b$  εισέρχονται ως άθροισμα σε μία συνάρτηση  $g$  και το αποτέλεσμα αποτελεί την έξοδο  $y$  του νευρώνα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.1. Πιο συγκεκριμένα, κάθε νευρώνας χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο βαρών  $w$  τα οποία και πολλαπλασιάζονται γραμμικά με την είσοδο και από μία συνάρτηση ενεργοποίησης (activation function) η οποία και καθορίζει την έξοδο [15]. Με βάση τα παραπάνω, η σχέση που χαρακτηρίζει έναν νευρώνα είναι η ακόλουθη:

$$y = g \left( \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \right)$$



Σχήμα 3.1: Γραφική αναπαράσταση Νευρώνα

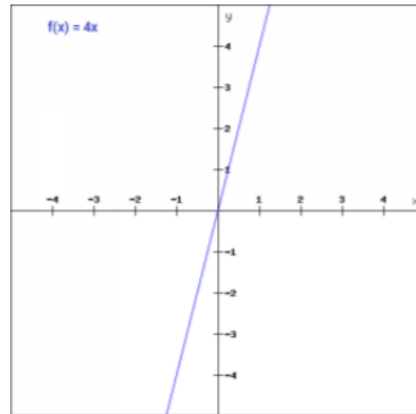
### Συναρτήσεις ενεργοποίησης (Activation Functions)

Βάσει του ορισμού των νευρώνων που συντελούν ένα νευρωνικό δίκτυο είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνταν συναρτήσεις ενεργοποίησης η τελική έξοδος του νευρωνικού δικτύου θα ήταν μία γραμμική συνάρτηση της εισόδου. Ωστόσο, η χρήση των νευρωνικών δικτύων απαιτεί να αναπαράσταση και λύση περίπλοκων προβλημάτων και ως εκ τούτου μία περίπλοκη αρχιτεκτονική. Με την χρήση συναρτήσεων ενεργοποίησης (activation functions) [90] προστίθεται μία μη γραμμικότητα στο δίκτυο η οποία μπορεί να συντελέσει στην ικανότητα του δικτύου να μπορεί να εξάγει περίπλοκες πληροφορίες από τα δεδομένα εισόδου. Μερικές από τις πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες συναρτήσεις ενεργοποίησης περιγράφονται στην συνέχεια.

#### Γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης (linear activation function)

Η έξοδος του νευρώνα είναι ευθέως ανάλογη της εισόδου του. Μπορεί να οριστεί από την επόμενη σχέση:

$$g(x) = ax$$



Σχήμα 3.2: Γραφικής παράσταση γραμμικής συνάρτησης ενεργοποίησης [90]

#### Σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης (sigmoid activation function)

Μετασχηματίζει την είσοδο στο διάστημα  $[0, 1]$  και δεν είναι συμμετρική ως προς την αρχή των αξόνων. Δίνεται από την σχέση:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

#### Συνάρτηση ενεργοποίησης συνεφαπτομένης (tanh activation function)

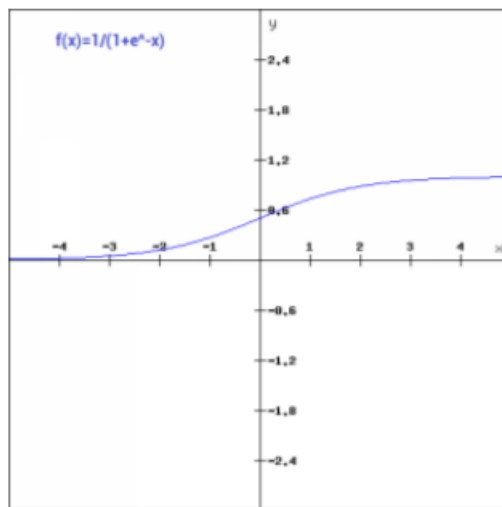
Η συνάρτηση ενεργοποίησης συνεφαπτομένης μετασχηματίζει την είσοδο στο διάστημα  $[-1, 1]$  και δίνεται από την σχέση:

$$\tanh(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1$$

#### SoftMax συνάρτηση ενεργοποίησης

Η συνάρτηση SoftMax μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για περιπτώσεις ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων και αποτελεί έναν συνδυασμό από σιγμοειδείς συναρτήσεις. Μπορεί να θεωρηθεί ότι επιστρέφει την πιθανότητα το δείγμα να ανήκει στην εκάστοτε κλάση και δίνεται από την σχέση:

$$\text{softmax}(x)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \text{ για } i = 1, \dots, K \text{ όπου } K \text{ οι διαφορετικές κλάσεις}$$

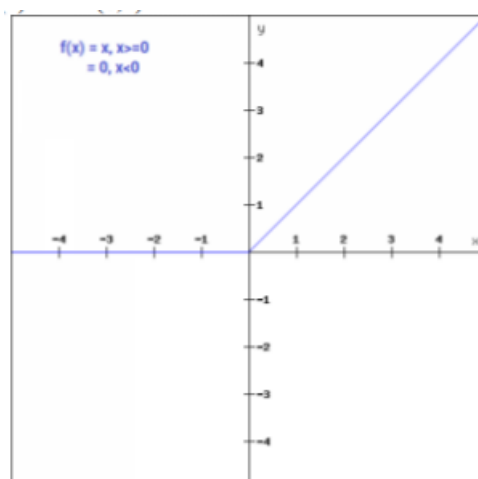


Σχήμα 3.3: Γραφικής παράσταση σιγμοειδούς συνάρτησης ενεργοποίησης [90]

#### Rectified Linear Unit (ReLU) συνάρτηση ενεργοποίησης

Σημαντικό για την συγκεκριμένη συνάρτηση ενεργοποίησης είναι το γεγονός ότι όταν χρησιμοποιείται δεν ενεργοποιούνται όλοι οι νευρώνες την ίδια στιγμή. Πιο συγκεκριμένα, ένας νευρώνας «απενεργοποιείται» όταν ο γραμμικός μετασχηματισμός της εισόδου είναι μικρότερος του 0. Δίνεται από την σχέση:

$$relu(x) = \max(x, 0)$$

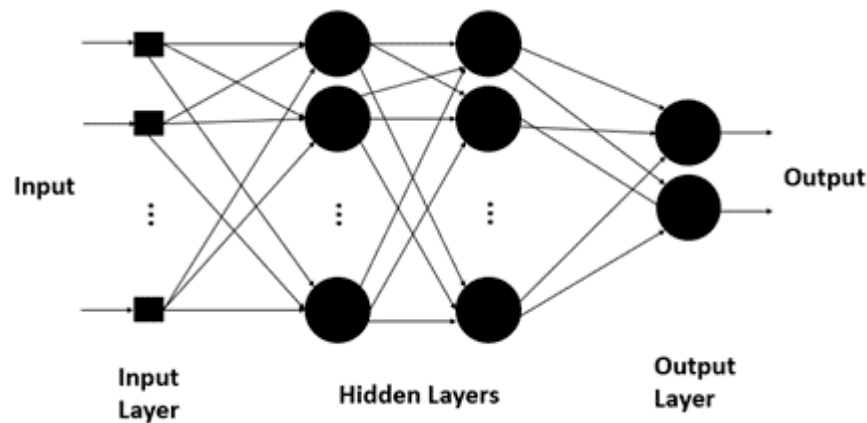


Σχήμα 3.4: Γραφικής παράσταση συνάρτησης ενεργοποίησης ReLu [90]

## Νευρώνας πολλαπλών επιπέδων (Multilayer Perceptron)

Οι νευρώνες οργανώνονται σε επίπεδα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους (οι νευρώνες του εκάστοτε επιπέδου δέχονται ως είσοδο τις εξόδους του προηγούμενου επιπέδου) συντελώντας τελικά ένα νευρωνικό δίκτυο. Η απλή και συνήθης μορφή νευρωνικού δικτύου είναι αυτή του Νευρώνα πολλών επιπέδων (Multilayer Perceptron – MLP)[31] και φαίνεται στην 3.5. Το MLP δίκτυο χαρακτηρίζεται από τα επόμενα:

- Αποτελεί ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο, δηλαδή για κάθε επίπεδο του δικτύου έχουμε οι νευρώνες του συνδέονται με όλους τους νευρώνες του επόμενου δικτύου.
- Είναι αποκλειστικά δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης, δηλαδή η ροή της πληροφορίας γίνεται μόνο από αριστερά προς τα δεξιά.
- Οι συναρτήσεις ενεργοποίησης των νευρώνων τουλάχιστον ενός επιπέδου είναι μη γραμμικές. Η μη γραμμικότητα στις συναρτήσεις ενεργοποίησης έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν να απεικονιστούν τόσο γραμμικές όσο και μη-γραμμικές συναρτήσεις που χαρακτηρίζουν το πρόβλημα το οποίο καλείται να λύσει το νευρωνικό δίκτυο. Μάλιστα θεωρείται ότι ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να προσεγγίσει οποιαδήποτε συνάρτηση και οποιαδήποτε ακρίβεια [43].
- Η εκπαίδευση των βαρών του δικτύου γίνεται με την τεχνική της διάδοσης σφάλματος προς τα πίσω (back propagation algorithm).



Σχήμα 3.5: Γραφική Αναπαράσταση Νευρώνα πολλών επιπέδων

## Αλγόριθμος Διάδοσης Σφάλματος προς τα πίσω (Back Propagation)

Ο αλγόριθμος back propagation ([37], [16]) είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική εκπαίδευσης των νευρωνικών δικτύων και βασίζεται τον κανόνα της αλυσίδας (chain rule)

της μαθηματικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, κατά τον συγκεκριμένο αλγόριθμο έχουμε πρώτα ένα εμπρόσθιο πέρασμα του νευρωνικού δικτύου στο οποίο εφαρμόζεται προκειμένου να υπολογιστούν οι διάφοροι έξοδοι και στην συνέχεια έχουμε ένα πέρασμα προς τα πίσω το οποίο βάσει συνάρτησης σφάλματος (loss function) χρησιμοποιείται για την προσαρμογή των παραμέτρων των νευρώνων (βάρος και όροι bias).

Ως συνάρτηση σφάλματος για τον αλγόριθμο back propagation ορίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της εξόδου το δικτύου και της επιθυμητής εξόδου. Αν θεωρήσουμε ότι  $y$  είναι η έξοδος και  $\hat{y}$  είναι η επιθυμητή έξοδος τότε η συνάρτηση σφάλματος δίνεται από την σχέση:

$$L = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2$$

όπου  $y_i$  αντιστοιχεί στην έξοδο για την είσοδο  $x_i$

Σκοπός είναι να βρεθούν οι κατάλληλες παράμετροι οι οποίοι θα ελαχιστοποιούν την συνάρτηση κόστους. Για κάθε βάρος  $w_{jk}$ , όπου το  $j$  συμβολίζει το επίπεδο και το  $k$  συμβολίζει τον κόμβο του επιπέδου, υπολογίζεται η παράγωγος της συνάρτησης κόστους ως προς το συγκεκριμένο βάρος και έτσι προκύπτει η τιμή του βάρους που την μηδενίζει και ως εκ τούτου ελαχιστοποιεί την συνάρτηση κόστους για την δεδομένη είσοδο και έξοδο.

Για να δούμε την παραπάνω διαδικασία στην πράξη θεωρούμε το νευρωνικό δίκτυο που φαίνεται στην Εικόνα 3.6 για το οποίο ισχύουν τα εξής:

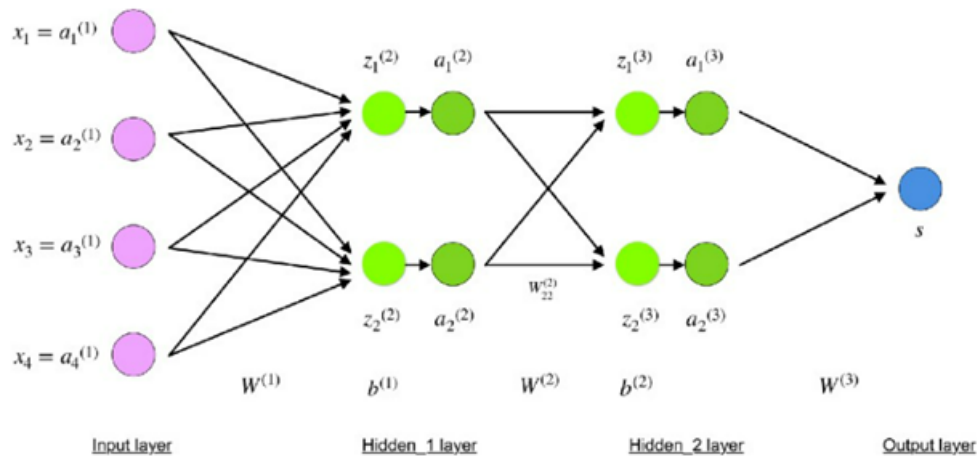
- Με  $x_i, i = 1, 2, 3, 4$  συμβολίζουμε την είσοδο του δικτύου.
- Ως  $z^{(j)}$  έχουμε την γραμμικό συνδυασμό της εισόδου του κάθε κρυφού επιπέδου βάσει των βαρών του εκάστοτε επιπέδου, δηλαδή  $z^j = W^j x + b^j, j = 1, 2, 3$ .
- Ως  $a^j, j = 1, 2, 3$  ορίζουμε την συνάρτηση ενεργοποίησης του κάθε επιπέδου.

Για το βάρος  $w_{22}^2$ , βάσει του κανόνα της αλυσίδας έχουμε:

$$\frac{\partial L}{\partial w_{22}^{(2)}} = \frac{\partial L}{\partial z_2^{(3)}} \cdot \frac{\partial z_2^{(3)}}{\partial w_{22}^{(3)}} = \frac{\partial L}{\partial a_2^{(3)}} \cdot \frac{\partial a_2^3}{\partial z_2^{(3)}} \cdot a_2^3$$

Με αντικατάσταση και για γνωστή συνάρτηση ενεργοποίησης τελικά μπορούμε να υπολογίζουμε την παράγωγο και να βρούμε τα την τιμή του βάρους  $w_{22}^{(2)}$  που την ελαχιστοποιεί.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα βάρη και τελικά σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου υπολογίζεται ένα νέο σύνολο βαρών για το δίκτυο το οποίο προσεγγίζει κάθε φορά και περισσότερο την συνάρτηση του προβλήματος το οποίο καλείται να λύσει.



Σχήμα 3.6: Απλό νευρωνικό δίκτυο 4 επιπέδων [92]

## 3.2 Αναδρομικά Νευρωνικά Δίκτυα

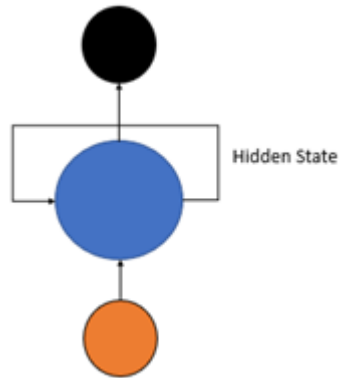
Τα αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα αποτελούν την βάση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφού αυτή πρόκειται για την ανάπτυξη ερμηνεύσιμου μοντέλου βασισμένο σε δίκτυο μακράς βραχείας μνήμης για την πρόβλεψη την πιθανότητας εμφάνισης υπογλυκαιμικών ή υπεργλυκαιμικών επεισοδίων σε άτομα που πάσχουν από σακχαρώδη διαβήτη (ΣΚ). Με βάση αυτό, η παρούσα ενότητα είναι αφιερωμένη στο να εισάγει τον αναγνώστη στο θεωρητικό υπόβαθρο των αναδρομικών δικτύων δίνοντας έμφαση τόσο στα δομικά τους χαρακτηριστικά γενικότερο όσο και συγκεκριμένα στην περίπτωση του LSTM δικτύου.

### 3.2.1 Simple RNN

Τα Απλά Αναδρομικά Νευρωνικά Δίκτυα (Recurrent Neural Networks - RNNs) είναι μία κατηγορία νευρωνικών δικτύων τα οποία είναι γνωστά για την αποτελεσματικότητά τους όσον αφορά την διαχείριση ακολουθιακών δεδομένων. Βασίζουν την λειτουργία τους σε μία δομή που περιέχει αναδρομικούς βρόγχους και η οποία επιτρέπει στην πληροφορία να ταξιδέψει στο εσωτερικό του δικτύου. Συγκεκριμένα, διαθέτουν μία μεταβλητή κατάστασης που ονομάζεται Κρυφή Κατάσταση (Hidden State) και η οποία επιτρέπει την μεταφορά της πληροφορίας από το παρελθόν (Εικόνα 3.7).

Στην συνέχεια θα εξηγήσουμε με λεπτομέρεια την αρχιτεκτονική των RNNs ([22], [47], [119]) εξηγώντας έτσι περισσότερο και την έννοια της κρυφής κατάστασης.

Θεωρούμε ότι είσοδος του μοντέλου θα είναι μία ακολουθία μήκους  $T$  ( $x_1, x_2, \dots, x_T$ ). Στόχος του μοντέλου είναι ο υπολογισμός της από κοινού πιθανότητας της ακολουθίας, η οποία υπολογίζεται από την επόμενη σχέση:



Σχήμα 3.7: Αφαιρετική μορφή αναδρομικού δικτύου

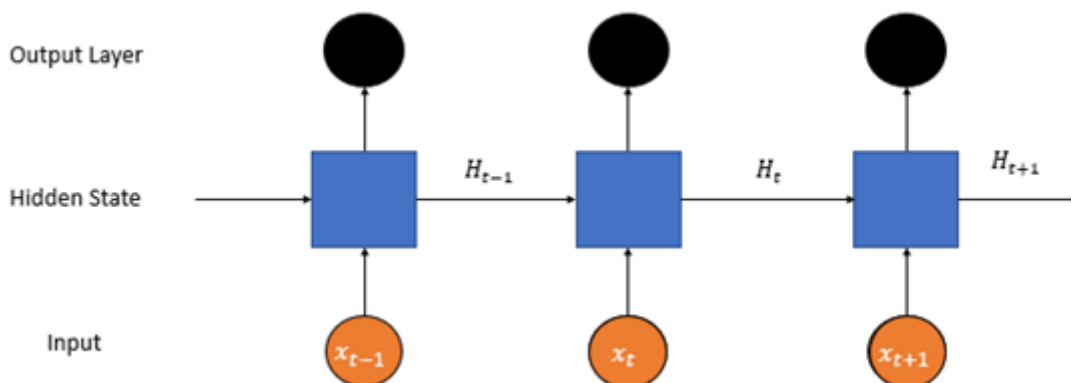
$$P(x_1, x_2, \dots, x_T) = \prod_{t=1}^T P(x_t | x_1, \dots, x_{t-1})$$

Χρησιμοποιώντας τους κανόνες της Θεωρίας των Πιθανοτήτων, η παραπάνω εξίσωση μπορεί να αναλυθεί στην επόμενη:

$$p(x_1, \dots, x_T) = p(x_1)p(x_2|x_1)p(x_3|x_2x_1) \dots p(x_T|x_1, \dots, x_{T-1})$$

Μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την κάθε υπό συνθήκη πιθανότητα ως  $p(x_t|x_1, \dots, x_{t-1}) = g(h_t)$ , όπου  $h_t$  είναι η κρυφή κατάσταση η οποία είναι η μεταβλητή που περιέχει όλη την πληροφορία που έχει εμφανιστεί μέχρι την χρονική στιγμή  $t$  και συγκεκριμένα ισχύει  $h_t = f(x_t, h_{t-1})$ .

Ξετυλίγοντας τον αναδρομικό βρόγχο της Εικόνα 3.7 μπορούμε να απεικονίσουμε την αρχιτεκτονική ενός RNN όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8.



Σχήμα 3.8: Αρχιτεκτονική RNN

Σε κάθε βήμα  $t$ , κάθε προηγούμενη κρυφή κατάσταση  $H_{t-1}$  παραμένει αποθηκευμένη και επιπλέον εισάγεται ένας πίνακας βαρών  $W_{hh} \in \mathbb{R}^{h \times h}$  ο οποίος περιγράφει πώς οι κρυφές μεταβλητές από τα προηγούμενα βήματα θα χρησιμοποιηθούν στο παρόν βήμα. Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογισμός της κρυφής κατάστασης του βήματος  $t$  θα υπολογιστεί τόσο βάσει της εισόδου του τρέχοντος βήματος όσο και βάσει της κρυφής κατάστασης του προηγούμενου βήματος ως εξής:

$$H_t = \phi(X_t W_{xh} + H_{t-1} W_{hh} + b_h) \quad (3.1)$$

Επιπλέον, για κάθε βήμα  $t$ , η έξοδος του RNN υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$O_t = H_t W_{hq} + b_q \quad (3.2)$$

Όπως φαίνεται από τις εξισώσεις (3.1) και (3.2) οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται από ένα απλό RNN είναι τα βάρη  $W_{xh} \in \mathbb{R}^{d \times h}$ ,  $W_{hh} \in \mathbb{R}^{h \times h}$ , και ο όρος bias  $b_h \in \mathbb{R}^{1 \times h}$  της κρυφής κατάστασης, καθώς και τα βάρη  $W_{hq} \in \mathbb{R}^{h \times q}$  και ο όρος bias  $b_q \in \mathbb{R}^{1 \times q}$  του στρώματος εξόδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα διαφορετικά βήματα της χρονοσειράς εισόδου, τα RNN, ανανεώνουν τους ίδιους πίνακες βαρών με αποτέλεσμα ακόμη και σε μεγάλες ακολουθίες εισόδου να μην έχουμε αύξηση του κόστους παραμετροποίησης.

Ο όρος  $H_{t-1} W_{hh}$  της εξίσωσης (3.1) συνδέει τις κρυφές καταστάσεις μεταξύ γειτονικών χρονικών βημάτων επιτρέποντας στην ιστορικότητα της πληροφορίας να διατηρείται μέχρι το τρέχον βήμα.

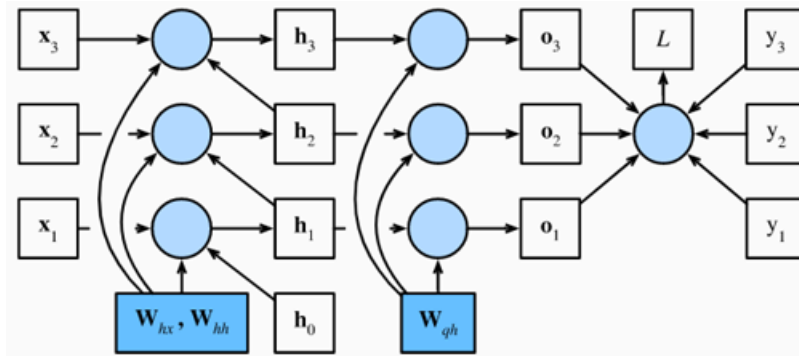
Παραλλαγές του απλού RNN μπορούν να πραγματοποιηθούν αλλάζοντας τον τρόπο ορισμού της κρυφής κατάστασης που δίνεται από την εξίσωση (3.1).

### 3.2.2 Αλγόριθμος Back Propagation Through Time (BPTT)

Η εκπαίδευση των αναδρομικών δικτύων γίνεται μέσω του αλγορίθμου Οπισθοδιάγνωσης Διαμέσω Χρόνου (Back Propagation through time - BPTT) ([104], [48]), ο οποίος είναι μία παραλλαγή του απλού αλγορίθμου Οπισθοδιάγνωσης (Back Propagation) ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση εμπροσθοτροφοδοτούμενων νευρωνικών δικτύων (feedforward neural networks) και περιγράφεται στην ενότητα 3.1. Ο λόγος για τον οποίο ο αλγόριθμος Back Propagation δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση των RNNs είναι επειδή προϋποθέτει την ύπαρξη αποκλειστικά ακυκλικών συνδέσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου ώστε να μπορεί να γίνει η διάδοση του σφάλματος προς τα πίσω. Αντιθέτως, ο αλγόριθμος BPTT πραγματοποιεί εκδίπλωση των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου σε ξεχωριστά χρονικά βήματα δημιουργώντας πανομοιότυπα αντίγραφα, και επιπλέον ανακατευθύνει τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων ώστε να προκύψει τελικά ένα feedforward δίκτυο.

Καθώς στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν χρησιμοποιούμε άμεσα στον αλγόριθμο BPTT και η αναφορά σε αυτόν γίνεται προκειμένου να κατα-





Σχήμα 3.9: Σχηματική αναπαράσταση αλγορίθμου BPTT [104]

νοήσουμε τον γενικότερο τρόπο λειτουργίας των αναδρομικών δικτύων και ως επέκταση των δικτύων μακράς βραχύχρονης μνήμης (LSTMs), θεωρούμε μία απλοποιημένη μορφή λειτουργίας των αναδρομικών δικτύων στην οποία η κρυφή κατάσταση και η έξοδος ορίζονται ως:

$$h_t = f(x_t, h_{t-1}, w_h) \quad o_t = g(h_t, w_o)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις  $x_t, h_t, o_t$  είναι αντιστοίχως η είσοδος, η κρυφή κατάσταση και η έξοδος για κάθε χρονική στιγμή της ακολουθίας,  $w_h, w_o$  είναι τα βάρη των κρυφών επιπέδων και του επιπέδου εξόδου αντίστοιχα, και  $f, g$  είναι οι μετασχηματισμοί που πραγματοποιούνται στα κρυφά επίπεδα και στο επίπεδο εξόδου αντίστοιχα.

Το εμπρόσθιο πέρασμα του δικτύου γίνεται εύκολα και για κάθε χρονικό βήμα υπολογίζονται τα  $(x_t, y_t, o_t)$ . Αν ορίσουμε ως απώλεια (loss) ενός συγκεκριμένου χρονικού βήματος την διαφορά της εξόδου  $o_t$  με την ετικέτα  $y_t$  και την συμβολίζουμε με  $l(o_t, y_t)$  τότε η συνολική συνάρτηση απωλειών για όλα τα χρονικά βήματα της ακολουθίας  $T$  θα δίνεται από την σχέση:

$$L = \sum_{t=1}^T \|y(t) - o(t)\|^2 = \sum_{t=1}^T l(o_t, y_t)$$

Όπως και στην περίπτωση του απλού back propagation, και στο BPTT προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε την παραπάνω συνάρτηση κόστους βρίσκοντας τις κατάλληλες παραμέτρους που μηδενίζουν την μερική παράγωγη αυτής με κάθε ένα από τα βάρη του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τον κανόνα της αλυσίδας έχουμε:

$$\begin{aligned}\frac{\partial L}{\partial w_h} &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{\partial l(y_t, o_t)}{\partial w_h} \\ &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{\partial l(y_t, o_t)}{\partial o_t} \cdot \frac{\partial g(h_t, w_o)}{\partial h_t} \cdot \frac{h_t}{w_h}\end{aligned}$$

Για τους πρώτους δύο όρους της παραπάνω σχέσης δεν έχουμε εξαρτήσεις με προηγούμενες χρονικές στιγμές και άρα ο υπολογισμός τους είναι εύκολος. Για τον τελευταίο όρο όμως αυτό δεν ισχύει αφού σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται να υπολογιστεί αναδρομικά η επίδραση της παραμέτρου  $w_h$  στην κρυφή κατάσταση  $h_t$ . Με αυτό το δεδομένο και χρησιμοποιώντας τον κανόνα της αλυσίδας έχουμε:

$$\frac{\partial h_t}{\partial w_h} = \frac{\partial f(x_t, h_{t-1}, w_h)}{\partial w_h} + \frac{\partial f(x_t, h_{t-1}, w_h)}{\partial h_{t-1}} \cdot \frac{\partial h_{t-1}}{\partial w_h}$$

Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας την ιδιότητα που λέει ότι για ακολουθίες  $\{a_t\}$ ,  $\{b_t\}$ ,  $\{c_t\}$  με  $a_0$  και  $a_t = b_t + c_t a_{t-1}$  για  $t = 1, 2, \dots$  ισχύει η εξής σχέση:

$$a_t = b_t + \sum_{i=1}^{t-1} \left( \prod_{j=i+1}^t c_j \right) b_i$$

καταλήγουμε στο παρακάτω:

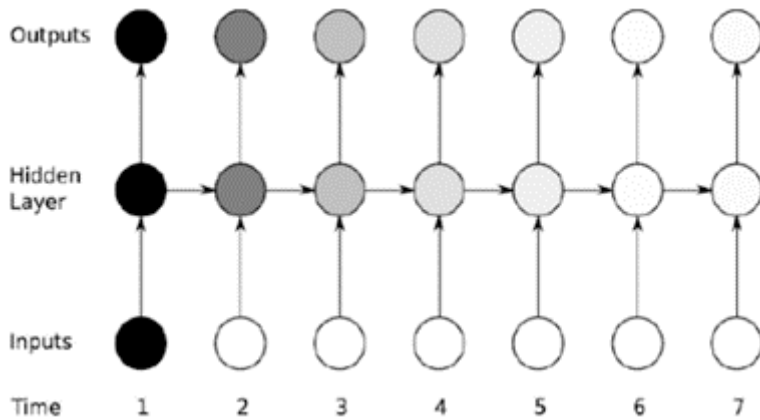
$$\frac{\partial h_t}{\partial w_h} = \frac{\partial f(x_t, h_{t-1}, w_h)}{\partial w_h} + \sum_{i=1}^{t-1} \left( \prod_{j=i+1}^t \frac{\partial f(x_j, h_{j-1}, w_h)}{\partial h_{j-1}} \right) \frac{\partial f(x_i, h_{i-1}, w_h)}{\partial w_h}$$

Η τελευταία σχέση στην οποία καταλήξαμε αποτελείται από όρους που υπολογίζονται εύκολα και άρα μπορούν να βρεθούν οι κατάλληλες τιμές των βαρών που ελαχιστοποιούν την συνάρτηση κόστους.

### 3.2.3 LSTM

Όπως αναφέρεται από τους Hochreiter και Schmidhuber το 1997 [42], το Δίκτυο Μακράς Βραχύχρονης Μνήμης, γνωστό ως LSTM (Long Short Term Memory) είναι μία παραλλαγή του δικτύου RNN. Το δίκτυο LSTM αποτελεί λύση στο γνωστό πρόβλημα της “Μακροχρόνιας Εξάρτησης” εισάγοντας τις έννοιες “μνήμη” και “πύλη”. Αν και στην θεωρία, τα κλασικά RNNs φαίνεται να είναι ικανά να διαχειριστούν το προαναφερθέν πρόβλημα, στην πράξη, εμφανίζουν προβλήματα όσον αφορά το να μάθουν να ενώνουν αποτελεσματικά την παρελθοντική με την νέα πληροφορία για μεγάλες χρονικές περιόδους. Στην βιβλιογραφία το πρόβλημα αυτό αναφέρεται ως “vanishing gradient problem” ([41], [18]) και τα LSTM δίκτυα έρχονται να δώσουν

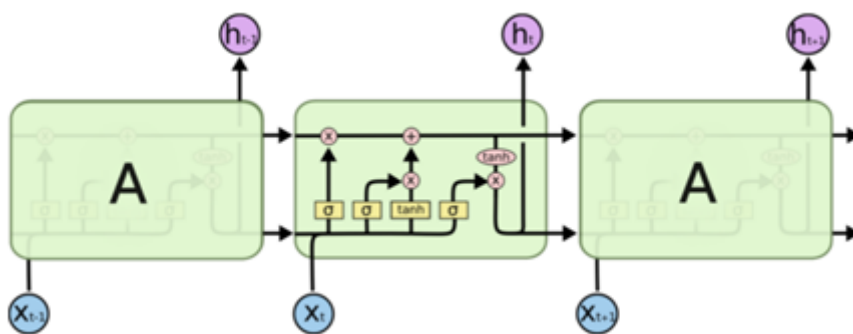
λύση καθώς είναι σχεδιασμένα ειδικά για να θυμούνται την παρελθοντική πληροφορία. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.10 η ευαισθησία του κάθε βήματος στην είσοδο της στιγμής μειώνεται με την πάροδο του χρόνου (αυτό γίνεται φανερό με την σκίαση των κόμβων), με αποτέλεσμα καθώς νέες εισόδους αντικαθιστούν αυτές των κρυφών επιπέδων προκαλώντας έτσι στο δίκτυο να ξεχάσει τις πρώτες εισόδους.



Σχήμα 3.10: Σχηματική αναπαράσταση του προβλήματος της εξασθένησης των συσχετίσεων (vanishing gradient problem) στα RNN δίκτυα [18]

### Αρχιτεκτονική

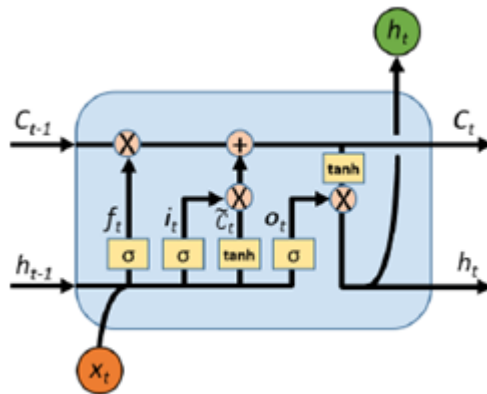
Η αρχιτεκτονική των LSTM [35] ακολουθεί αυτή των υπολοίπων RNNs δεδομένου ότι απαρτίζονται από έναν αριθμό μονάδων (modules) τα οποία είναι αλυσιδωτά συνδεδεμένα μεταξύ τους για κάθε ένα από τα επίπεδα των συνολικού δικτύου.



Σχήμα 3.11: Η αρχιτεκτονική των LSTM δικτύων

Η διαφορά έγκειται στην δομή καθενιάς από αυτές τις μονάδες, οι οποίες, στην περίπτωση των LSTMs, αποτελούνται πλέον από 4 πύλες (gates). Η χρήση αυτών των πυλών διασφαλίζει την αποθήκευση και πρόσβαση στις πληροφορίες ακόμη και

μετά την διέλευση μεγάλου χρονικού διαστήματος. Πιο συγκεκριμένα, στην Εικόνα 3.12 φαίνεται η δομή μιας μονάδας του LSTM δικτύου η οποία έχει τις εξής 4 πύλες: 1) την πύλη εισόδου  $i$ , 2) την πύλη επιλεκτικής συγκράτησης (forget gate)  $f$ , 3) την πύλη ελέγχου  $c$  και 4) την πύλη εξόδου  $o$ .



Σχήμα 3.12: Η αρχιτεκτονική της Μονάδας

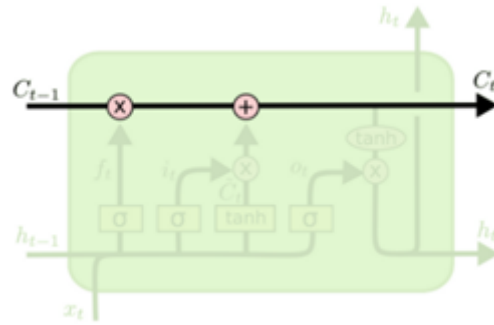
Στην συνέχεια θα δούμε αναλυτικά την επίδραση των 4 αυτών πυλών στην λειτουργία του δικτύου.

Το βασικότερο στοιχείο είναι η οριζόντια γραμμή η οποία διασχίζει το πάνω μέρος του διαγράμματος της Εικόνα 3.12 και φαίνεται μεμονωμένα στην Εικόνα 3.13. Η συγκεκριμένη γραμμή απεικονίζει την κατάσταση των μονάδων της μνήμης (cell state) του LSTM. Για να κατανοήσουμε την λειτουργία της μπορούμε να την φανταστούμε ως μία αλυσίδα η οποία διασχίζει όλες τις μονάδες της αρχιτεκτονικής και παράλληλα αλληλεπιδρά ελάχιστα, παρά μόνο με γραμμικές αλληλεπιδράσεις, με τα υπόλοιπα στοιχεία, αφήνοντας έτσι την πληροφορία να περάσει σχεδόν αναλλοίωτη. Ουσιαστικά, η αλληλεπίδραση πραγματοποιείται μέσω των πυλών που αναφέρθηκαν προηγουμένως και οι οποίες αποτελούνται από μία σιγμοειδή συνάρτηση, που μπορεί να πάρει τιμές στο εύρος  $[0, 1]$ , και μία πράξη πολλαπλασιασμού ή πρόσθεσης, καθορίζοντας έτσι το ποσοστό της πληροφορίας που θα περάσει στο cell state.

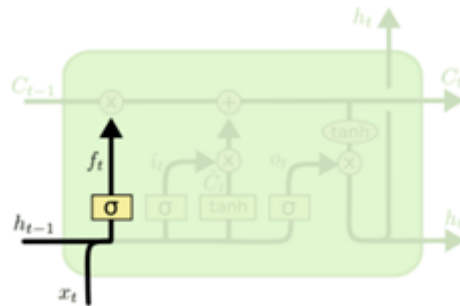
Πιο συγκεκριμένα, η πύλη forget (βλ. Εικόνα 3.14) είναι η πρώτη πύλη από την οποία θα περάσει η πληροφορία, και αυτή που τελικά θα καθορίσει ποια πληροφορία θα βγάλουμε εκτός του cell state. Η πύλη forget ορίζεται ως εξής:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

Το επόμενο βήμα είναι να καθοριστεί ποια είναι η νέα πληροφορία που πρέπει να αποθηκευτεί στο cell state. Η συγκεκριμένα διαδικασία καθορίζεται με τον συνδυασμό δύο βημάτων (όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.15). Πρώτα η πύλη εισόδου “ $i$ ” καθορίζει ποιες από τις υπάρχουσες πληροφορίες θα παραμείνουν στην μνήμη και στην συνέχεια η συνάρτηση  $\tanh$  δημιουργεί ένα νέο διάστημα από πληροφορίες υποψήφιας να προστεθούν στην μνήμη. Το βήμα αυτό περιγράφεται από τις επόμενες συναρτήσεις:



Σχήμα 3.13: Μονάδα Μνήμης



Σχήμα 3.14: Forget Gate

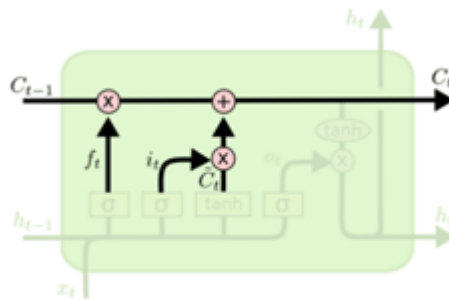
$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

Συνδυάζοντας τα 2 προηγούμενα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελούν μία νέα πύλη (βλ. Εικόνα 3.15) την οποία και ονομάζουμε πύλη ελέγχου [95] και η οποία θα καθορίσει αν θα γίνει ενημέρωση της κατάστασης του κελιού από  $C_{t-1}$  σε  $C_t$  βάση της εξίσωσης:

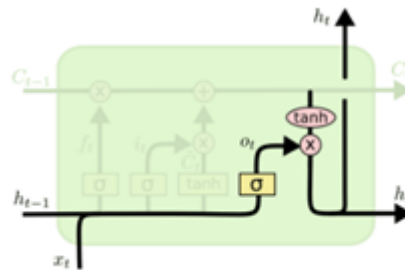
$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t$$

Τέλος, η πύλη εξόδου είναι υπεύθυνη αφενός για την παραγωγή της εξόδου του κελιού και αφετέρου για να ενημερώσει την κρυφή κατάσταση  $h_{t-1}$ . Πιο συγκεκριμένα, η συγκεκριμένη έξοδος θα είναι μία φιλτραρισμένη εκδοχή της κατάστασης της μνήμης. Η σιγμοειδής συνάρτηση θα αποφασίσει ποιο μέρος της εισόδου θα περάσει ενώ η συνάρτηση  $\tanh$  είναι υπεύθυνη να οριοθετήσει τις τιμές μεταξύ -1 και 1. Πολλαπλασιάζοντας τελικά τα δύο αυτά αποτελέσματα παίρνουμε μόνο τα μέρη της μνήμης που υποδεικνύει η σιγμοειδής. Η διαδικασία που ακολουθείται ορίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις και απεικονίζεται στην Εικόνα 3.16:

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) h_t = o_t \cdot \tanh(C_t)$$



Σχήμα 3.15: Πύλη ελέγχου (Control Gate)



Σχήμα 3.16: Πύλη εξόδου

### 3.3 Τεχνικές εκπαίδευσης και αξιολόγησης νευρωνικών δικτύων

Με τον ίδιο τρόπο που οι άνθρωποι μαθαίνουν με διαφορετικούς τρόπους από το περιβάλλον τους και για τα νευρωνικά δίκτυα υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες βάσει των οποίων γίνεται η εκπαίδευσή τους. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν τις διαδικασίες μάθησης μέσω των οποίων μαθαίνουν τα νευρωνικά δίκτυα σε δύο γενικότερες κατηγορίες: 1) μάθηση με εκπαιδευτή και 2) μάθηση χωρίς εκπαιδευτή. Με το ίδιο κριτήριο η δεύτερη μορφή μάθησης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω σε μη επιβλεπόμενη μάθηση και ενισχυτική μάθηση [35]. Πιο συγκεκριμένα για τις τρεις κατηγορίες μάθησης που αναγνωρίζονται έχουμε τα ακόλουθα:

- Μάθηση με εκπαιδευτή ή επιβλεπόμενη μάθηση (supervised machine learning). Στην συγκεκριμένη μορφή μάθησης θεωρούμε ότι ο εκπαιδευτής έχει γνώση του περιβάλλοντος και η συγκεκριμένη γνώση αναπαρίσταται από ένα σύνολο παραδειγμάτων εισόδου – εξόδου. Από την άλλη πλευρά το περιβάλλον για το νευρωνικό δίκτυο είναι άγνωστο και καλείται γνωρίζοντας την επιθυμητή έξοδο να εξάγει ένα σύνολο κανόνων με βάσει τους οποίους θα την προβλέπει βάσει της εισόδου που παρέχεται από τον εκπαιδευτή.
- Ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning). Στην ενισχυτική μάθηση, η εκ-

μάθηση μιας αντιστοίχισης εισόδου – εξόδου γίνεται μέσω συνεχούς αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον με στόχο την ελαχιστοποίηση ενός βαθμωτού δείκτη απόδοσης. Στόχος της ενισχυτικής μάθησης είναι να ελαχιστοποιήσει μία συνάρτηση τρέχοντος κόστους η οποία ορίζεται ως πρόβλεψη του αθροιστικού κόστους ενεργειών που εκτελούνται σε μία αλληλουχία βημάτων αντί απλώς του άμεσου κόστους μιας ενέργειας.

- Μη επιβλεπόμενη μάθηση (unsupervised learning). Στην μη επιβλεπόμενη μάθηση δεν υπάρχει εξωτερικός εκπαιδευτής που να επιβλέπει την διαδικασία μάθησης αλλά ένα ανεξάρτητο από την εργασία μέτρο ποιότητας της αναπαράστασης, το οποίο καλείται να μάθει το δίκτυο και έτσι οι ελεύθερες παράμετροι του δικτύου βελτιστοποιούνται με βάση αυτό το μέτρο. Αφού το δίκτυο συντονιστεί στις στατιστικές κανονικότητες των δεδομένων εισόδου, το δίκτυο αναπτύσσει την δυνατότητα να σχηματίζει εσωτερικές αναπαραστάσεις για τα χαρακτηριστικά της εισόδου και τελικά να δημιουργεί νέες κλάσει αυτόματα.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε βαθιά νευρωνικά δίκτυα τα οποία ακολουθούν εκπαίδευση με επίβλεψη.

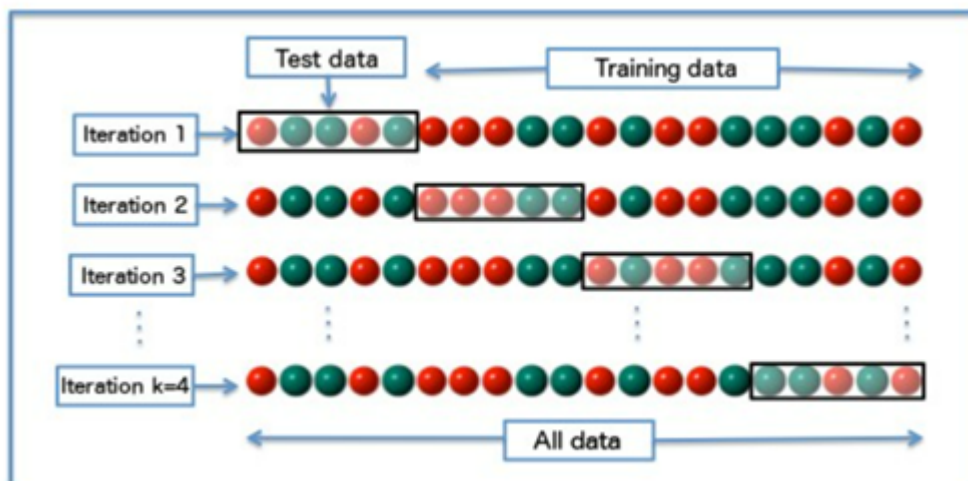
### 3.3.1 Εκπαίδευση

Για την επιτυχή εκπαίδευση και στην συνέχεια αξιολόγηση ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης είναι απαραίτητος ο χωρισμός των διαθέσιμων δεδομένων σε δεδομένα εκπαίδευσης (training set), δεδομένα επιβεβαίωσης (validation set) και δεδομένα εξέτασης (testing set). Κάθε ένα από τα προαναφερθέντα σύνολα δεδομένων αποτελείται, στην περίπτωση της εκπαίδευσης με επίβλεψη, από ένα σύνολο δεδομένων εισόδου και τις αντίστοιχες ετικέτες που χαρακτηρίζουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα δεδομένα εκπαίδευσης και επιβεβαίωσης χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου, με τα πρώτα να αποτελούν την βάση πάνω στην οποία θα βασιστεί το μοντέλο για να εξάγει τα επιθυμητά βάρη τα οποία θα οδηγήσουν στην πρόβλεψη και τα δεύτερα να αποτελούν το μέσο με το οποίο αξιολογούνται οι υπερπαραμέτροι του μοντέλου κατά την εκπαίδευση. Τέλος, τα δεδομένα εξέτασης χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του μοντέλου. Ο συγκεκριμένος τρόπος εκπαίδευσης, αν και ευρέως χρησιμοποιούμενος, πολλές φορές μπορεί να μην είναι ενδεικτικός της επαρκούς εκπαίδευσης του μοντέλου δεδομένου ότι μπορεί ο χωρισμός των αρχικών δεδομένων μπορεί να ωφελεί την εκπαίδευση και αν για παράδειγμα το μοντέλο εκτεθεί στο να εκπαιδευτεί σε ένα διαφορετικό σύνολο δεδομένων μπορεί να μην έχει τελικά την ίδια απόδοση.

Η μέθοδος διασταυρωμένης επικύρωσης (cross validation) προσφέρει λύση στο παραπάνω πρόβλημα. Βασίζεται στο διαχωρισμό των διαθέσιμων δεδομένων του προβλήματος σε  $k$  διαφορετικά σύνολα από τα οποία το ένα χρησιμοποιείται ως σύνολο εξέτασης και τα υπόλοιπα  $k-1$  χρησιμοποιούνται ως ένα σύνολο εκπαίδευσης. Με τον τρόπο αυτό το μοντέλο μπορεί να εκπαιδευτεί και να αξιολογηθεί σε  $k$  διαφορετικά σύνολα δεδομένων, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα εμφάνισης καλής απόδοσης

λόγω τυχαίας καταλληλότητας των δεδομένων. Επιπλέον, στις περιπτώσεις που το διαθέσιμο σύνολο δεδομένων δεν είναι μεγάλο μπορεί να εμφανιστεί το πρόβλημα είτε θα αφήσουμε ένα μικρό ποσοστό για δεδομένα εξέτασης είτε ένα μικρό ποσοστό για δεδομένα εκπαίδευσης με αποτέλεσμα να έχουμε μη αξιόπιστα αποτελέσματα. Και αυτό το πρόβλημα λύνεται με την μέθοδο cross validation κατά την οποία όλα τα δεδομένα χρησιμοποιούνται.

Για κάθε ένα από τα  $k$  διαφορετικά μοντέλα έχουμε διαφορετικές μετρικές αξιολόγησης οι οποίες στο τέλος της εκπαίδευσης σταθμίζονται από κοινού προκειμένου να προκύψει μία γενική εικόνα για το μοντέλο. Οι μετρικές αυτές αντιστοιχούν σε διαφορετικές εκπαίδευσης του μοντέλου δίνοντας έτσι ένα ευρύτερο φάσμα για την ποιότητα των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 3.17: Διάγραμμα απεικόνισης της τεχνικής του K-fold Cross Validation [91]

### 3.3.2 Αξιολόγηση

Μετά την εκπαίδευση του μοντέλου στα δεδομένα εκπαίδευσης έρχεται η σειρά της αξιολόγησης η οποία μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: αναφορικά με την ικανότητα διάκρισης μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών και με την ικανότητα βαθμονόμησης, πόσο κοντά δηλαδή βρίσκονται οι προβλέψεις στις πραγματικές τιμές. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν μετρικές όπως precision, recall, f1-score, accuracy, AUC, ενώ στην δεύτερη ανήκουν τεχνικές όπως το Hosmer-Lemeshow test και το Brier Score.

Στην συνέχεια, πρόκειται να ορίσουμε ορισμένες από τις υπάρχουσες τεχνικές αξιολόγησης και οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν τελικά στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αρχικά όμως πρέπει να ορίσουμε ορισμένους όρους που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν:



- True Positive (TP): Αναφέρεται στο σύνολο των δειγμάτων για τα οποία η πρόβλεψη είναι θετική ενώ και η πραγματική τιμή είναι επίσης θετική και άρα η ταξινόμηση πραγματοποιείται σωστά.
- True Negative (TN): Αναφέρεται στο σύνολο των δειγμάτων για τα οποία η πρόβλεψη είναι αρνητική ενώ η πραγματική τιμή είναι θετική και άρα η ταξινόμηση πραγματοποιείται λανθασμένα.
- False Positive (FP): Αναφέρεται στο σύνολο των δειγμάτων για τα οποία η πρόβλεψη είναι θετική ενώ η πραγματική τιμή είναι αρνητική και άρα η ταξινόμηση πραγματοποιείται λανθασμένα.
- False Negative (FN): Αναφέρεται στο σύνολο των δειγμάτων για τα οποία η πρόβλεψη είναι αρνητική ενώ και η πραγματική τιμή είναι επίσης αρνητική και άρα η ταξινόμηση πραγματοποιείται σωστά.

### Ακρίβεια (accuracy)

Εκφράζει το ποσοστό επιτυχίας του μοντέλου στην ταξινόμηση των δειγμάτων στις σωστές κατηγορίες επί του συνόλου και δίνεται από την σχέση:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{total}$$

### Αξιοπιστία (precision)

Εκφράζει το ποσοστό των θετικών προβλέψεων που ήταν πραγματικά σωστές και δίνεται από την σχέση:

$$prec = \frac{TP}{TP + FP}$$

### Ανάκληση (recall)

Εκφράζει το ποσοστό των πραγματικών θετικών δειγμάτων τα οποία προβλέφθηκαν σωστά και δίνεται από την σχέση:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

### F1-score

Είναι ο γεωμετρικός μέσος των μεγεθών precision και recall και εκφράζει την ικανότητα του μοντέλου να ταξινομεί σωστά τόσο στην θετική όσο και στην αρνητική κλάση. Δίνεται από την σχέση:

$$F1 = 2 \times \frac{\text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}$$

### Area Under the Curve

Στο διάγραμμα ROC απεικονίζεται το ποσοστό των πραγματικά θετικών τιμών (sensitivity ή recall) σε συνάρτηση με το ποσοστό των λανθασμένα θετικά τιμών (specificity). Κάθε σημείο της καμπύλης αντιπροσωπεύει ένα ζευγάρι sensitivity και specificity για μία συγκεκριμένη τιμή της παραμέτρου που ορίζει το κατώφλι απόφασης για την ταξινόμηση του εκάστοτε δείγματος στις πιθανές κλάσεις. Η περιοχή κάτω από την καμπύλη (AUC) είναι μία ένδειξη της διακριτικής ικανότητας του μοντέλου και όσο υψηλότερη η τιμή τόσο καλύτερα μπορεί το μοντέλο τελικά να διαχωρίσει μεταξύ των κλάσεων.

### Hosmer-Lemeshow Test

Δείχνει την ικανότητα βαθμονόμησης του μοντέλου, δηλαδή πόσο κοντά είναι οι προβλέψεις στις πραγματικές τιμές. Πιο συγκεκριμένα, αφού γίνει εκτίμηση της πιθανότητας για κάθε ένα από τα δεδομένα εισόδου έχουμε στην συνέχεια ταξινόμηση των δεδομένων με βάση την συγκεκριμένη πιθανότητα. Έπειτα, τα ταξινομημένα δεδομένα χωρίζονται σε 10 σύνολα και χρησιμοποιείται η εξίσωση  $G_{HL}^2 = \sum_{j=1}^{10} \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j(1 - E_j/n_j)}$ , όπου  $j$  είναι το άθροισμα των παρατηρήσεων για το  $j$ οστο σύνολο,  $E_j$  είναι το άθροισμα των προβλέψεων για το  $j$ οστο σύνολο και  $n_j$  είναι ο αριθμός των δεδομένων του  $j$ οστού συνόλου. Τελικά παίρνουμε δύο τιμές, μία chi-square τιμή και μία p-value τιμή. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι να έχουμε τιμές p-value μεγαλύτερες του 0.05 ώστε να μην απορρίπτεται το null-hypothesis και άρα να έχουμε μεγάλη συσχέτιση των τιμών. Στην Εικόνα X φαίνεται η σχηματικά η διαδικασία που ακολουθεί το συγκεκριμένο τεστ για την περίπτωση διαχωρισμού σε 10 σύνολα.

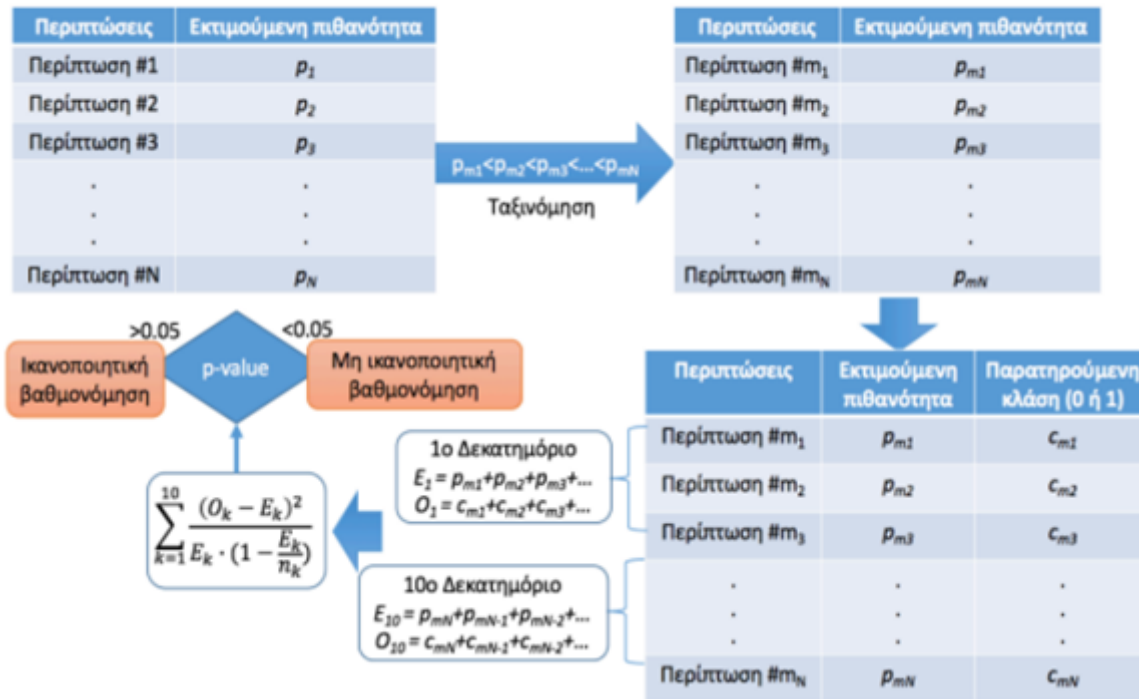
### Brier Score

Είναι και αυτό ένα μέτρο αξιολόγησης των μοντέλων, όσον αφορά την ακρίβεια των προβλέψεων και για το οποίο υπολογίζεται η μέση τετραγωνική απόκλιση των εκτιμώμενων πιθανοτήτων κάποιων γεγονότων και του αποτελέσματός τους. Όσο πιο κοντά είναι η τιμή του στο 0 τόσο καλύτερο είναι το αποτέλεσμα.

## 3.4 Τεχνικές διαχείρισης μη ισορροπημένων δεδομένων

Ένα μη ισορροπημένο σύνολο δεδομένων ορίζεται ως ένα σύνολο δεδομένων στο οποίο τα ποσοστά των δεδομένων που ανήκουν στις διαφορετικές κλάσεις ταξινόμησης διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Το συγκεκριμένο πρόβλημα εμφανίζεται τόσο

# Hosmer Lemeshow Test



Σχήμα 3.18: Το Hosmer-Lemeshow test [1]

σε δυαδικά προβλήματα αξιολόγησης όσο και σε προβλήματα με περισσότερες κλάσεις. Η εκπαίδευση μοντέλων μηχανικής εκμάθησης σε σύνολα που χαρακτηρίζονται από ανισορροπία δεδομένων έχει αποδειχθεί ότι στην πράξη εμφανίζει πολύ μεγάλη ακρίβεια ταξινόμησης για τα δεδομένα που ανήκουν στην κλάση με την πλειοψηφία δεδομένων ενώ πολύ μικρή ακρίβεια ταξινόμησης για τα δεδομένα που ανήκουν στην κλάση με την μειοψηφία δεδομένων. Το πρόβλημα αυτό υποδεικνύει ότι το μοντέλο μηχανικής μάθησης δεν μπορεί να εκπαιδευτεί αποδοτικά στα υπάρχοντα δεδομένα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην εφαρμογή του. [36]

Τεχνικές για την αντιμετώπιση του προβλήματος των μη ισορροπημένων δεδομένων έχουν αναπτυχθεί και παρουσιάζονται στην συνέχεια:

## Μέθοδος υπερδειγματοληψίας (Oversampling )

Η μέθοδος υπερδειγματοληψίας [69] στηρίζεται στην λογική παραγωγής περισσότερων δεδομένων που ανήκουν στην μειοψηφική κλάση προκειμένου τα ποσοστά των δύο κλάσεων να πλησιάσουν και τελικά να δημιουργηθεί ένα ισορροπημένο σύνολο δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλές τεχνικές υπερδειγματοληψίας οι οποίες όλες στηρίζονται στον παραπάνω κανόνα. Μία διαδεδομένη τεχνική είναι

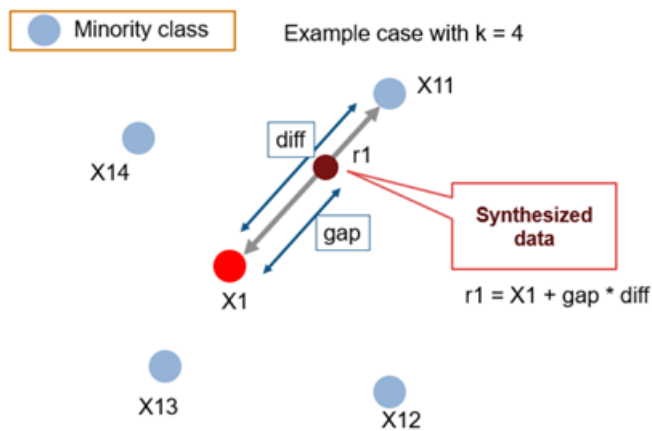
αυτή της τυχαίας υπερδειγματοληψίας κατά την οποία τυχαία επιλεγμένα δείγματα της μικρότερης κλάσης αναπαράγονται και στην συνέχεια προστίθενται στο αρχικό σύνολο.

Μία ακόμη πρωταρχική τεχνική υπερδειγματοληψίας είναι αυτή της συνθετικής μειονότητας (Synthetic Minority Oversampling Technique – SMOTE) κατά την οποία τα νέα δείγματα της κλάσης μειονότητας παράγονται ακολουθώντας συγκεκριμένες διεργασίες που πραγματοποιούνται πάνω στα ήδη υπάρχοντα δείγματα. Πιο συγκεκριμένα, αναλόγως με την τελική αναλογία που επιδιώκεται να επιτευχθεί επιλέγονται  $N$  τυχαία δείγματα της μειονότητας (στιγμιότυπα) και για κάθε ένα από αυτά υπολογίζονται οι  $k$  κοντινότεροι γείτονες ( $k$  nearest neighbors) που ικανοποιούν την αναλογία. Επιπλέον, μετά τον υπολογισμό των  $k$  κοντινότερων γειτόνων, για κάθε έναν από αυτούς, γίνεται υπολογισμός της διαφοράς μεταξύ αυτού και του διανύσματος γνωρισμάτων του αντίστοιχου στιγμιότυπου και τελικά το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται με ένα αριθμό στο διάστημα  $[0, 1]$  και το πηλίκο προστίθεται στο αρχικό διάνυσμα παράγοντας έτσι το νέο δείγμα. Για τον αριθμό των στιγμιότυπων που απαιτούνται για να επιτευχθεί η επιθυμητή αναλογία μεταξύ των κλάσεων επαναλαμβάνεται η προηγούμενη διαδικασία και τα νέα στιγμιότυπα προστίθενται στο αρχικό σύνολο. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι η τεχνική SMOTE παράγει τα συνθετικά δεδομένα με παρεμβολή των αρχικών δεδομένων της κλάσης μειονότητας με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται υπερεκπαίδευση και τα νέα δεδομένα μπορεί να περιέχουν σημαντικά χαρακτηριστικά για την εκπαίδευση. Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνική στηρίζεται στο γεγονός ότι ο τοπικός χώρος μεταξύ δύο θετικών τιμών ανήκει στην κλάση μειονότητας γεγονός που δεν ισχύει στην περίπτωση που οι κλάσεις δεν είναι γραμμικά διαχωρίσιμες. ([67], [103])

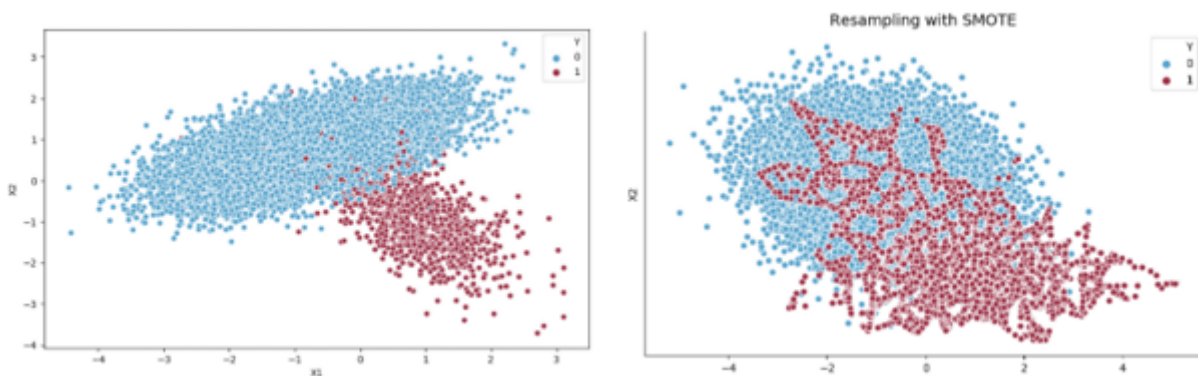
Τέλος, μία τεχνική η οποία ξεπερνά το πρόβλημα που δημιουργείται στην τεχνική SMOTE είναι η τεχνική συνθετικής μειονότητας διαχωριστικής γραμμής (Borderline SMOTE) [34] η οποία, όπως υποδηλώνει και το όνομα, αντί να επιλέγει δείγματα τυχαία, επιλέγει μόνο εκείνα τα οποία βρίσκονται πάνω στην διαχωριστική γραμμή των κλάσεων.

## Μέθοδος υποδειγματοληψίας (Undersampling)

Αντίθετα με την υπερδειγματοληψία, η μέθοδος υποδειγματοληψίας βασίζεται στην λογική μείωσης του ποσοστού των δεδομένων που ανήκουν στην κλάση πλειοψηφίας επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό το επιθυμητό ποσοστό ανάμεσα στις δύο κλάσεις ([50], [59]). Πιο συγκεκριμένα, η υποδειγματοληψία μπορεί να πραγματοποιηθεί τυχαία (random undersampling) [12], οπότε και τα δείγματα της κλάσης πλειοψηφίας που πρόκειται να αφαιρεθούν επιλέγονται με τυχαίο τρόπο, ενώ μπορεί να πραγματοποιηθεί και με επιλεκτικό τρόπο ακολουθώντας κάποιον προκαθορισμένο αλγόριθμο [105]. Για παράδειγμα, μία ακόμη μέθοδος υποδειγματοληψίας ονομάζεται NearMiss1 και σύμφωνα με αυτή επιλέγονται τα δείγματα της πλειοψηφίας τα οποία βρίσκονται πιο κοντά στα δείγματα της μειοψηφίας βάσει του κανόνα της μικρότερης μέσης απόστασης από τα 3 κοντινότερα δείγματα μειοψηφίας. Αντίστοιχα, ορίζεται και



Σχήμα 3.19: Η τεχνική SMOTE [73]

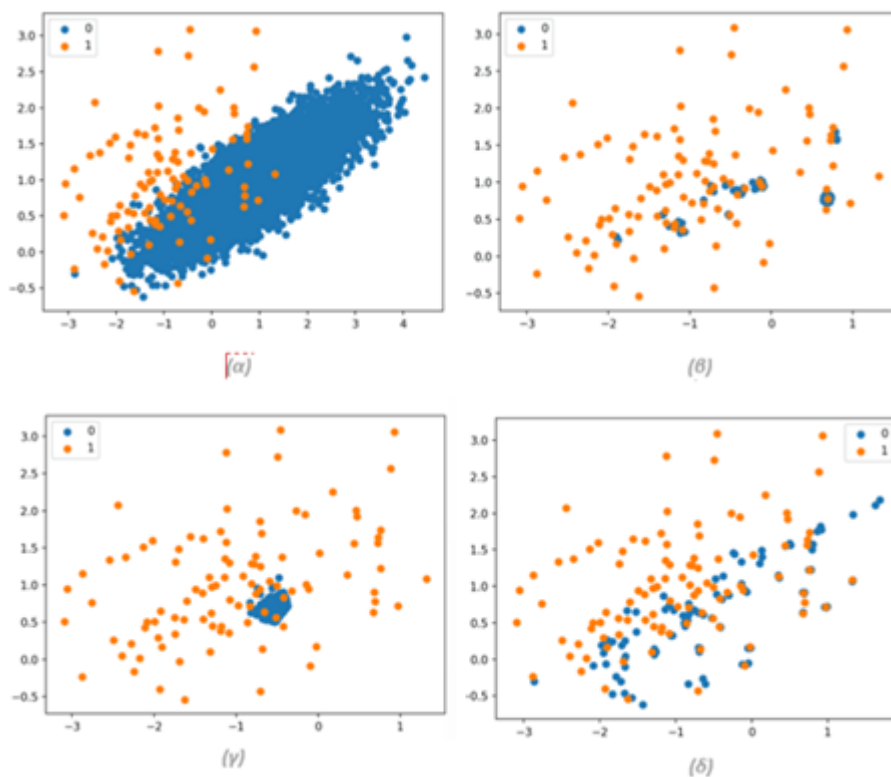


Σχήμα 3.20: BSMOTE και SMOTE: Στην πρώτη εικόνα βλέπουμε τις δύο κλάσεις μετά την εφαρμογή της τεχνική Borderline SMOTE ενώ στην δεύτερη έχουμε τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή της τεχνική SMOTE [97]

η τεχνική NearMiss2 με την διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή επιλέγονται τα δείγματα επιλέγονται βάσει του κανόνα της μικρότερης μέσης απόστασης από τα 3 δείγματα μειοψηφίας που βρίσκονται πιο μακριά. Τέλος, έχουμε την τεχνική NearMiss3 στην οποία για κάθε δείγμα μειοψηφίας επιλέγονται ένας αριθμός δειγμάτων πλειοψηφίας τα οποία βρίσκονται στην κοντινότερη απόσταση.

### Εκπαίδευση με ευαισθησία κόστους (cost sensitive training)

Το συγκεκριμένο είδος ορίζει κατά την εκπαίδευση διαφορετικά βάρη για τις περιπτώσεις που η κατηγοριοποίηση είναι λανθασμένη με αποτέλεσμα η ποινή που επιβάλλεται σε περίπτωση λανθασμένης ταξινόμησης δείγματος μειοψηφίας να είναι



Σχήμα 3.21: (α) Ταξινόμηση σε πρόβλημα μη ισορροπημένων δεδομένων, (β) Ταξινόμηση μετά από NearMiss1, (γ) Ταξινόμηση μετά από NearMiss2, (δ) Ταξινόμηση μετά από NearMiss3 [51]

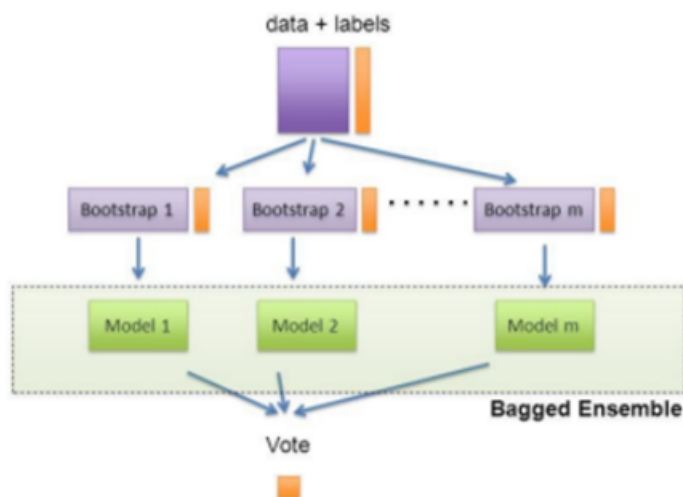
σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη που επιβάλλεται στην περίπτωση λανθασμένη ταξινόμησης δείγματος πλειοψηφίας. Με τον τρόπο αυτό αντισταθμίζεται το πρόβλημα του μικρού αριθμού δειγμάτων στην μία από τις δύο κλάσεις με το μεγάλο κόστος το οποίο επιβάλλεται στην περίπτωση λάθους. [64]

### Συλλογική Μάθηση (ensemble learning)

Η συλλογική μάθηση [17] είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από τα μη ισορροπημένα δεδομένα και ουσιαστικά συνδυάζει αδύναμους ταξινομητές προκειμένου να προκύψει ένα ισχυρότερο αποτέλεσμα. Για τον συνδυασμό των αδύναμων ταξινομητών αναγνωρίζονται δύο βασικές περιπτώσεις: η στρατηγική bagging, στην οποία οι αδύναμοι ταξινομητές τοποθετούνται παράλληλα και δεν έχουν εξάρτηση μεταξύ τους, και η στρατηγική boosting, στην οποία οι αδύναμοι ταξινομητές τοποθετούνται στην σειρά με αποτέλεσμα να έχουν ισχυρές εξαρτήσεις μεταξύ τους.

## Στρατηγική Bagging

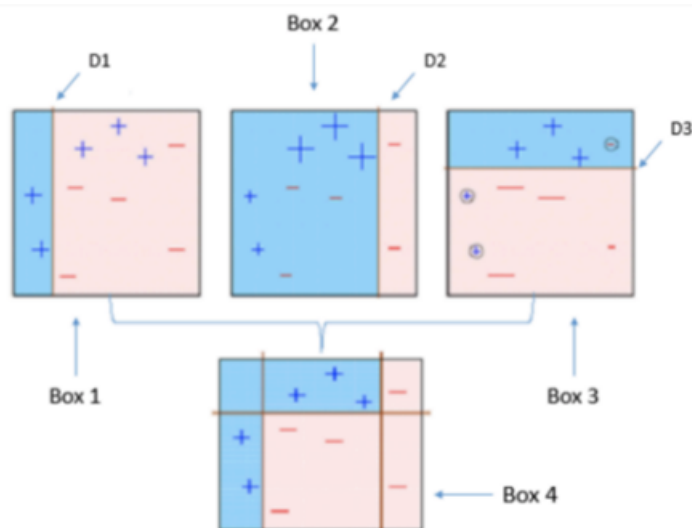
Για να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργία της στρατηγικής bagging (Bootstrap AGGregatING) αρχικά θεωρούμε ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης αποτελούνται από  $N$  συνολικά δείγματα. Για την εκπαίδευση καθενός από τους αδύναμους ταξινομητές, δημιουργείται ένα σύνολο δειγμάτων μεγέθους  $M$  από τα αρχικό σύνολο δειγμάτων. Κατά την δημιουργία των υποσυνόλων έχουμε επανάληψη των αρχικών δεδομένων, σε αυτά καθώς το κάθε υποσύνολο δεν αποτελείται από ένα μοναδικό σύνολο των αρχικών δεδομένων. Στην συνέχεια το αποτέλεσμα προκύπτει με μία απλή διαδικασία ψηφοφορίας μεταξύ των αποτελεσμάτων των ταξινομητών. Η διαδικασία περιγράφεται και στην Εικόνα 3.22.



Σχήμα 3.22: Σχηματική περιγραφή της στρατηγικής Bagging

## Στρατηγική Boosting

Αντίθετα με την στρατηγική bagging, στην στρατηγική boosting χρησιμοποιείται όλο το σύνολο των δεδομένων για τις εκάστοτε εκπαιδεύσεις των συμμετεχόντων αδύναμων ταξινομητών. Πιο συγκεκριμένα, ο πρώτος από τους ταξινομητές εκπαιδεύεται στα δεδομένα εισόδου. Στην συνέχεια, στα λάθος ταξινομημένα δείγματα τοποθετούνται υψηλά βάρη πριν τροφοδοτηθεί ο επόμενος ταξινομητής με αποτέλεσμα να εστιάζει τελικά στα δείγματα που ταξινομήθηκαν λάθος. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για όλους τους αδύναμους ταξινομητές και τελικά η απόφαση προκύπτει από σταθμισμένη ψηφοφορία μεταξύ των ταξινομητών. Η διαδικασία περιγράφεται και στην Εικόνα 3.23.



Σχήμα 3.23: Σχηματική περιγραφή της στρατηγικής Boosting [1]



# Κεφάλαιο 4

## Ερμηνευσιμότητα

Κατά την τελευταία δεκαετία, ο τομέας της Τεχνητής Νοημοσύνης έχει παρουσιάσει σημαντικές εξελίξεις και εντυπωσιακά αποτελέσματα, με καλύτερη απόδοση από τις τεχνικές που βασίζονται στον άνθρωπο, σε πληθώρα εφαρμογών με αποτέλεσμα η χρήση αλγορίθμων μηχανική μάθησης να υιοθετείται όλο και περισσότερο στην βιομηχανία ([52], [63]). Αυτό το νέο κύμα αλγορίθμων επηρεάζει πολλές διαφορετικές πτυχές που κυμαίνονται για παράδειγμα από το λιανεμπόριο και τις τραπεζικές εργασίες ([61], [62]), μέχρι τον ιατρικό τομέα και τον τομέα υγείας ([26], [27]).

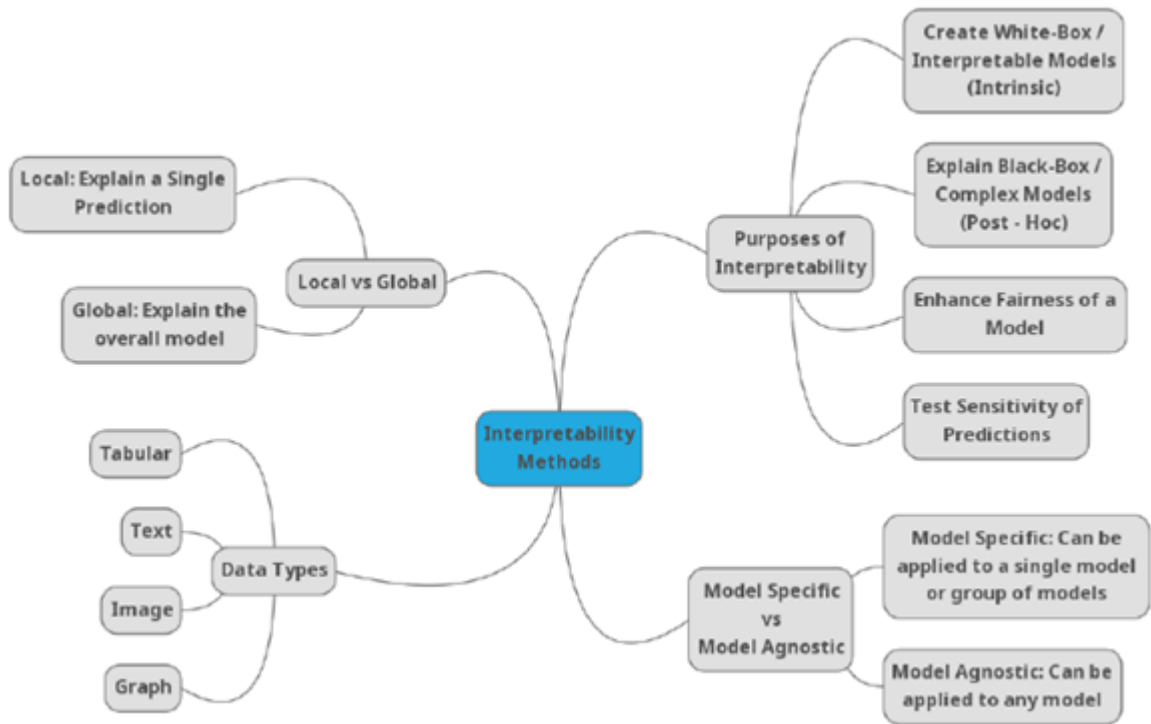
Η πολυπλοκότητα των μοντέλων μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με το ότι βρίσκουν εφαρμογή σε όλο και περισσότερους τομείς, δημιουργεί την ανάγκη ανάπτυξης μηχανισμών οι οποίοι θα βοηθούν στην κατανόηση και ερμηνεία τόσο της λειτουργίας των μοντέλων όσο και του τρόπου με τον οποίο παίρνονται οι αποφάσεις. Το πεδίο της μηχανικής μάθησης που ασχολείται με την ανάπτυξη τέτοιων μηχανισμών ονομάζεται Επεξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη (Explainable Artificial Intelligence - XAI) [33].

Αναλόγως με τον σκοπό για τον οποίο πρόκειται να εφαρμοστεί μία μέθοδος ερμηνευσιμότητας προκύπτει ότι υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις όσον αφορά την κατηγοριοποίηση αυτών των μεθόδων.

### 4.1 Ταξινόμηση Μεθόδων Ερμηνευσιμότητας

Το ευρύ πεδίο της ερμηνευσιμότητας υποστηρίζει πολλαπλές απόψεις για την ταξινόμηση των μεθόδων. Για παράδειγμα, το είδος των αλγορίθμων πάνω στους οποίους πρόκειται να εφαρμοστεί κάποια μέθοδος ερμηνευσιμότητας και πιο συγκεκριμένα το αν η μέθοδος θα είναι σχεδιασμένη βάσει συγκεκριμένου μοντέλου (model specific) ή αν μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε μοντέλο (model agnostic). Επιπλέον, το είδος των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται καθώς, η κλίμακα ερμηνείας (global ή local) η οποία επιλέγεται και ο σκοπός για τον οποίο πρόκειται για εφαρμοστεί

ορίζουν μερικές ακόμη περιπτώσεις κατηγοριοποίησης της ερμηνευσιμότητας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1 [65].



Σχήμα 4.1: Ταξινόμηση μεθόδων ερμηνευσιμότητας [65]

#### Γνωστική και Αγνωστική ως προς το μοντέλο ερμηνευσιμότητα

Σε αυτή την περίπτωση διαχωρίζουμε τις μεθόδους ερμηνευσιμότητας αναλόγως με το αν βασίζονται σε συγκεκριμένες εσωτερικές διεργασίες του μοντέλου (model specific) ή αν μπορούν να εφαρμοστούν σε πληθώρα διαφορετικών μοντέλων (model agnostic) [74]. Πιο συγκεκριμένα, μέθοδοι οι οποίοι σχετίζονται με την εγγενή ερμηνευσιμότητα και αναλύουν για παράδειγμα τα βάρη του μοντέλου, είναι εξ ορισμού model specific. Αντιθέτως, οι model agnostic μέθοδοι ερμηνευσιμότητας βασίζονται στην ανάλυση των χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου του μοντέλου που πρόκειται να ερμηνεύσουν, αδιαφορώντας αν το μοντέλο αποτελεί μαύρο κουτί ή όχι. Για παράδειγμα, μία συνήθης model agnostic μέθοδος είναι η χρήση ενός δεύτερου απλού μοντέλου το οποίο εκπαιδεύεται στις εισόδους και τις εξόδους του αρχικού μοντέλου, δίνοντας ερμηνεία στον τρόπο που προβλέπονται τα αποτελέσματα. Μία πολύ βασική ιδιότητα των model agnostic μοντέλων είναι ότι, καθώς αυτές βασίζονται σε τεχνικές οι οποίες δεν επηρεάζουν την δομή του μοντέλου, δεν επηρεάζουν την ακρίβεια και την απόδοση [66].

### Τοπική και καθολική ερμηνευσιμότητα

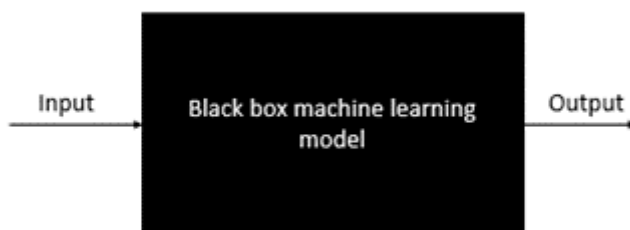
Μία μέθοδος ερμηνευσιμότητας μπορεί να εστιάζει είτε στην ερμηνεία μίας πολύ συγκεκριμένης πρόβλεψης (local) είτε στην ερμηνεία της συμπεριφοράς του μοντέλου στο σύνολό του (global) [74].

### Εγγενής και εκ των υστέρων ερμηνευσιμότητα

Οι μέθοδοι ερμηνευσιμότητας μπορούν να χαρακτηριστούν αναλόγως με το ποια στιγμή της εκπαίδευση του μοντέλου εμφανίζονται: κατά τη διάρκεια ή μετά. Η in-model ή αλλιώς εγγενής ερμηνευσιμότητα αφορά την δημιουργία μοντέλων τα οποία έχουν την ερμηνεία ενσωματωμένη σε αυτά. Τα μοντέλα αυτή της κατηγορίας συχνά ονομάζονται white-box μοντέλα και συνήθως είναι γραμμικά μοντέλα, μοντέλα δέντρου αποφάσεων ή και πιο περίπλοκα μοντέλα τα οποία και πάλι είναι εύκολο να ερμηνευτούν. Από την άλλη πλευρά, η post-hoc ή εκ των υστέρων ερμηνεία αναφέρεται στην ανάπτυξη ερμηνευσιμότητας μετά την δημιουργία και εκπαίδευση του μοντέλου. [65]

## 4.2 Διαδεδομένες post-hoc μέθοδοι ερμηνευσιμότητας

Στις εφαρμογές μηχανικής μάθησης είναι σύνηθες ότι ένα προεκπαιδευμένο δίκτυο χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη του αποτελέσματος και συχνά είναι επιθυμητό να γίνει ερμηνεία του τρόπου με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις από αυτό το δίκτυο. Οι post-hoc μέθοδοι ερμηνευσιμότητας αντιπροσωπεύουν ακριβώς αυτή την ερμηνεία μοντέλων που θεωρούνται ως μαύρα κουτιά (black-boxes).

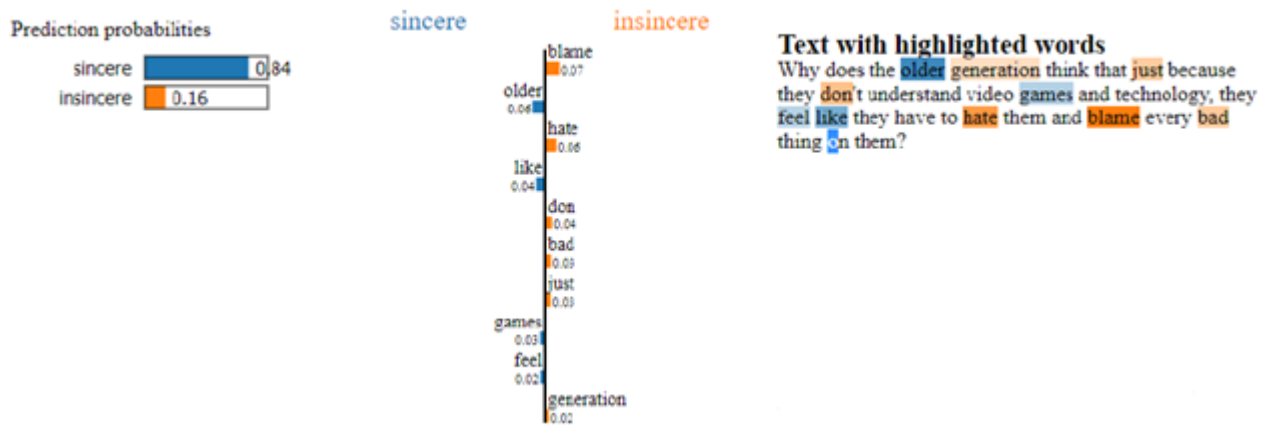


Σχήμα 4.2: Τα black box μοντέλα

Μερικές από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές ερμηνευσιμότητας παρουσιάζονται στην συνέχεια.

## LIME

Η μέθοδος LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) [84] αποτελεί μία τεχνική τοπικής ερμηνευσιμότητας, είναι model-agnostic, και βασίζεται στην υπόθεση ότι η τελική απόφαση ενός πολύπλοκου μοντέλου λαμβάνεται με γραμμικό τρόπο, τοπικά, γύρω από μία συγκεκριμένη παρατήρηση για την οποία αναζητείται ερμηνεία. Η μέθοδος στηρίζεται στην διαταραχή των δεδομένων εισόδου βάσει της οποίας τελικά μπορεί να καταλάβει πως αλλάζουν οι προβλέψεις του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, για ένα συγκεκριμένο δεδομένο εισόδου, η μέθοδος κάνει μικρές αλλαγές στα χαρακτηριστικά του δείγματος και βλέπει πώς αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν την έξοδο του μοντέλου. Σημαντικό χαρακτηριστικό του LIME είναι ο παραστατικός τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων ερμηνευσιμότητας καθιστώντας τα εύκολα ερμηνεύσιμα από οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο.



Σχήμα 4.3: Η μέθοδος LIME εφαρμοσμένη σε ένα πρόβλημα ταξινόμησης κειμένου [65]

## SHAP

Η μέθοδος SHAP (SHapley Additive exPlanations) [68] βασίζεται στην θεωρία παιγνίων και εφαρμόζεται με σκοπό να αναγνωριστεί και να ερμηνευτεί η συνεισφορά κάθε χαρακτηριστικού στο αποτέλεσμα μιας πρόβλεψης. Αρχικά, οι δημιουργοί του SHAP, ορίζουν την οικογένεια μεθόδων προσθετικής συμβολής των χαρακτηριστικών (additive feature attribution method) η οποία περιλαμβάνει έξι μεθόδους, όπως το LIME για παράδειγμα, και για την οποία ισχύει ότι το αποτέλεσμα είναι μία γραμμική συνάρτηση των χαρακτηριστικών. Στην συνέχεια, υποστηρίζουν ότι υπάρχει μόνο μία μέθοδος που να ανήκει στην οικογένεια και να ικανοποιεί και τις τρεις παρακάτω ιδιότητες: τοπική ακρίβεια (local accuracy), απουσία (missingness), και συνέπεια (consistency) και η λύση δίνεται από τις τιμές SHAP. Τέλος, προτείνουν πολλές

μεθόδους για τον υπολογισμό αυτών των τιμών και παρουσιάζουν αποτελέσματα τα οποία αναδουκείνουν την υπεροχή της μεθόδου όχι μόνο όσον αφορά την διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών εξόδων αλλά και όσον αφορά την ευθυγράμμιση των αποτελεσμάτων με την ανθρώπινη διαίσθηση.

## **Anchors**

Η μέθοδος Άγκυρες (Anchors) [85] είναι και αυτή μία τοπική, model agnostic τεχνική. Πιο συγκεκριμένα, παράγει ένα σύνολο κανόνων απλής γλώσσας υψηλής ακρίβειας για την ερμηνεία των τοπικών κανόνων που συμβάλλουν στην πρόβλεψη. Αυτό το σύνολο κανόνων που ονομάζονται άγκυρες είναι ικανό ώστε να αποφασίσει αποδοτικά την πρόβλεψη με αποτέλεσμα να μην υπάρχει περιθώριο να επηρεαστεί από χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί να μην είναι σημαντικά για την συγκεκριμένη πρόβλεψη.

## **4.3 Ερμηνευσιμότητα στον Βιοϊατρικό Τομέα**

Η φύση της εγγενούς ερμηνευσιμότητας, το γεγονός δηλαδή ότι τα μοντέλα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι χρησιμοποιούνται με απλό τρόπο ώστε να γίνεται εύκολα η διαδικασία της ερμηνευσιμότητας, καθιστά την συγκεκριμένη μέθοδο, την πρώτη που χρησιμοποιήθηκε στον κλάδο της βιοϊατρικής επιστήμης. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε εφαρμογή δέντρων απόφασης, ήδη από το 1994, σε μία διαδικασία πρόβλεψης της πρόπτωσης της μιτροειδούς βαλβίδας για εφαρμογή στον τομέα της καρδιολογίας [57]. Επιπλέον, τεχνικές που ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία ερμηνευσιμότητας, όπως είναι τα μοντέλα παλινδρόμησης ή ο ταξινομητής Naive Bayes χρησιμοποιούνται ακόμη σε εφαρμογές όπως είναι η ουρολογία, η τοξικολογία, η ενδοκρινολογία, η νευρολογία, η καρδιολογία, και η ψυχιατρική. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια, ιατρικές ενέργειες όπως είναι η πρόβλεψη της αρθρίτιδας γονάτου, η πρόβλεψη του καρκίνου του μαστού, η πρόβλεψη του καρκίνου του προστάτη, εισάγουν τεχνικές εγγενούς ερμηνευσιμότητας που στηρίζονται σε αλγορίθμους όπως αυτός του κοντινότερου γείτονα ή τα δέντρα αποφάσεων. ([121], [120], [94], [122], [87], [32], [49], [2])

Ωστόσο, υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση της απόδοσης του μοντέλου και της ικανότητάς του να παράγει ερμηνεύσιμα αποτελέσματα [65]. Επιπλέον, σύνθετες εφαρμογές όπως αυτές του βιοϊατρικού τομέα συχνά απαιτούν πιο περίπλοκα μοντέλα και μοντέλα βαθιάς μάθησης προκειμένου να πετύχουν state-of-the-art αποτελέσματα. Παρόλο που υπάρχουν μοντέλα βαθιάς μάθησης τα οποία ανήκουν στην κατηγορία εγγενούς ερμηνευσιμότητας [65], υπάρχει και μία πληθώρα μοντέλων που χρησιμοποιούνται στον εν λόγω τομέα και δεν μπορούν να ερμηνευτούν με αυτές τις τεχνικές. Έτσι, τεχνικές post-hoc ερμηνευσιμότητας γνωρίζουν όλο και περισσότερες εφαρμογές. Επιπλέον, στην μελέτη [55] παρουσιάζεται η δημιουργία τριών

μοντέλων μηχανικής μάθησης τα οποία εστιάζουν στην κατάταξη όγκων σε καλοήθεις και κακοήθεις και τα οποία στην συνέχεια ερμηνεύτηκαν με χρήση των μεθόδων Global Surrogate, Individual Conditional Expectation και Shapley Values.

Παρόλο που μέθοδοι ερμηνευσιμότητας βρίσκουν εφαρμογή και σε τομείς που εστιάζουν σε ασθενείς σακχαρώδη διαβήτη ([44], [100]), κατά τη βιβλιογραφική επισκόπηση δεν βρέθηκε κάποια έρευνα η οποία να εφαρμόζει κάποια μέθοδο ερμηνευσιμότητας σε μοντέλα που σχετίζονται με την πρόβλεψη επεισοδίων υπεργλυκαιμίας ή υπογλυκαιμίας. Καθώς στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πρόκειται να παρουσιάσουμε την εφαρμογή LSTM μοντέλου για την πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας σε άτομα που πάσχουν από ΣΔ, έγινε έρευνα συγκεκριμένα για μεθόδους ερμηνευσιμότητας που σχετίζονται με LSTM μοντέλα. Ενδιαφέρουσες βρέθηκαν δύο μελέτες ([54], [30]) οι οποίες εφαρμόζουν την τεχνική του attention mechanism για την ερμηνεία των αποφάσεων του μοντέλου. Οι έρευνες αυτές παρουσιάζονται με λεπτομέρεια σε επόμενο κεφάλαιο.

# Κεφάλαιο 5

## Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Πριν την έναρξη της εκπόνησης του πρακτικού μέρους της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική επισκόπηση για την εύρεση μελετών που αντιστοιχούν στο ίδιο μήκος εφαρμογών με αυτών του θέματος της εργασίας. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζουμε τις σημαντικότερες εκ των μελετών που βρέθηκαν και λήφθηκαν υπόψιν ως βάση για την μεθοδολογία που τελικά ακολουθήθηκε.

Παράλληλα, μελετήθηκαν και οι [76], [81], [45], [78], [80], [93], [118], [24], [112], [114], [23], [115], [110], [25], [109], [28], [116], [6], [7], [5], [107], [102] προκειμένου να γίνει καλύτερη κατανόηση του ευρύτερου προβλήματος αντιμετώπισης υπογλυκαιμικών και υπεργλυκαιμικών επεισοδίων καθώς οι παραπάνω μελέτες περιλαμβάνουν τόσο αποτελέσματα μοντέλων τεχνητής για την υποστήριξη του γλυκαιμικού ελέγχου όσο και εφαρμογές ερμηνευσιμότητας.

### 5.1 Μοντέλα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων

Βασισμένοι στην βιβλιογραφική επισκόπηση που έγινε για την παρούσα διπλωματική εργασία συμπεραίνεται ότι η επιστημονική κοινότητα έχει εστιάσει σημαντικά στην ανάπτυξη μοντέλων μηχανικής μάθησης τα οποία μπορούν να προβλέψουν μελλοντικές τιμές γλυκόζης για ασθενείς με σακχαρώδη διαβήτη. Σχετικές έρευνες παρουσιάζονται συνοπτικά στην συνέχεια, ενώ στις υποενότητες 5.1.1 και 5.1.2 παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τόσο έρευνες που σχετίζονται συγκεκριμένα με την πρόβλεψη τιμών γλυκόζης χρησιμοποιώντας μοντέλα LSTM (υποενότητα 5.1.1) όσο και έρευνες που προβλέπουν πιθανότητα εμφάνισης κρίσιμης τιμής γλυκόζης σε μελλοντικές χρονικές στιγμές.

Στην έρευνα [83] παρουσιάζεται η πρόβλεψη της τιμής γλυκόζης μετά από διάστημα 15, 30, και 45 λεπτά από μια δεδομένη χρονική στιγμή χρησιμοποιώντας ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο και δεδομένα συνεχούς μέτρησης γλυκόζης από 15 ασθενείς με ΣΔΤ1. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (root mean square error – RMSE),

μία ανάλυση συνεχούς πλέγματος σφαλμάτων γλυκόζης ( continuous glucose error grid analysis – CG-EMA), και η μέση απόλυτη ποσοστιαία διαφορά (mean absolute difference percentage – MAD), χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του μοντέλου. Για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα διαστήματα πρόβλεψης βρέθηκαν RMSE τιμές ίσες με 10, 18, και 27 mg/dL αντιστοίχως.

Στην έρευνα [82] έγινε συλλογή δεδομένων γλυκόζης από 27 ασθενείς με ΣΔΤ1 χρησιμοποιώντας την τεχνική της συνεχούς μέτρησης της τιμής γλυκόζης. Το δίκτυο το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι ένα εμπροσθοτροφοδοτούμενο νευρωνικό δίκτυο το οποίο προέβλεπε την τιμή της γλυκόζης σε χρονικό ορίζοντα 75 λεπτών. Για τις τιμές RMSE και MAD που επιτεύχθηκαν έχουμε 43.9 mg/dL και 22.1 αντίστοιχα. Επιπλέον, η πλειοψηφία των προβλεπόμενων τιμών βρέθηκαν να ανήκουν στις περιοχές A και B της CG-EMA ανάλυσης και άρα τα αποτελέσματα της μελέτης θεωρήθηκαν κλινικώς αποδεκτά.

Στην έρευνα [108] έγινε αξιολόγηση τεσσάρων μοντέλων πρόβλεψης γλυκόζης για ασθενείς με ΣΔΤ1 χρησιμοποιώντας δεδομένα συνεχούς μέτρησης γλυκόζης. Τα 4 μοντέλα που μελετήθηκαν ήταν ένα νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης, ένα δίκτυο χαρτών με αυτόματη οργάνωση (self-organizing map – SOM), ένα νευροασαφές δίκτυο με κυματίδια ως συνάρτηση ενεργοποίησης (neuro-fuzzy network with wavelets as activation functions – WFNN), και ένα δίκτυο γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression model – LRM). Για κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα έγινε πρόβλεψη της τιμής γλυκόζης μετά από χρονικό διάστημα 30, 60, και 120 λεπτών και έγινε σύγκριση της διακριτικής τους ικανότητας, με το SOM να έχει καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον, για το καλύτερο μοντέλου επιτεύχθηκαν αποτελέσματα RMSE ίσα με 12.29, 12.06, και 33.68 mg/dL για κάθε ένα από τα διαστήματα πρόβλεψης αντίστοιχα.

Στην έρευνα [72] έγινε ανάλυση κλινικών δεδομένων από 25 ασθενείς με ΣΔΤ1 βασισμένη σε δεδομένα συνεχούς μέτρησης γλυκόζης και εξετάστηκε η ικανότητα πρόβλεψης της τιμής γλυκόζης για χρονικό ορίζοντα 30 λεπτών βαθιών νευρωνικών δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν βαθιά συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα. Επιπλέον, ενώ οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν στην εκπαίδευση και αξιολόγηση του εκάστοτε μοντέλου σε κάθε ασθενή ξεχωριστά, στην συγκεκριμένη μελέτη ένα ποσοστό των ασθενών χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων ενώ οι υπόλοιποι ασθενείς χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της εκπαίδευσης των μοντέλων.

Στην μελέτη [70] χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα συνεχούς μέτρησης γλυκόζης από 6 ασθενείς με ΣΔΤ1 για την εκπαίδευση και αξιολόγηση αναδρομικού νευρωνικού δικτύου. Επιτεύχθηκε τιμή RMSE ίση με 18.867 και 31.403 mg/dL για ορίζοντες πρόβλεψης 30 και 60 λεπτά αντίστοιχα.

### 5.1.1 Μοντέλα πρόβλεψης χρονοσειρών

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται δύο έρευνες οι οποίες μελετήθηκαν εκτενώς με σκοπό την βαθύτερη κατανόηση του προβλήματος που πραγματεύεται η δι-



πλωματική εργασία και την εύρεση του καταλληλότερου τρόπου προσέγγισης. Πιο συγκεκριμένα, οι δύο αυτές έρευνες εστιάζουν στην χρήση αναδρομικών μοντέλων και μοντέλων LSTM για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών γλυκόζης βάσει μίας προηγούμενης ακολουθίας τιμών. Δεδομένου ότι για την εργασία καλούμαστε να αναπτύξουμε ένα δίκτυο LSTM, εστιάζουμε στα σημεία των ερευνών που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά εισόδου και τον τρόπο χρήσης τους. Επιπλέον, καθώς το δικό μας πρόβλημα προσανατολίζεται σε πρόβλεψη πιθανότητας εμφάνισης υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας, δεν ενδιαφερόμαστε στα αποτελέσματα των δύο ερευνών με σκοπό την σύγκριση.

## **Ανάπτυξη προσωποποιημένου μοντέλου πρόβλεψης γλυκόζης με χρήση αναδρομικών νευρωνικών δικτύων**

Η μελέτη που παρουσιάζεται στο [56] εστιάζει στην εξέταση μοντέλων μηχανικής μάθησης συγκεκριμένα για ασθενείς με ΣΔΤ2 για ασθενείς που βρίσκονται υπό νοσοκομειακή νοσηλεία. Καθώς οι περισσότερες από τις προηγούμενες μελέτες εστιάζουν σε ασθενείς με ΣΔΤ1 οι οποίοι δεν βρίσκονται υπό νοσοκομειακή μέριμνα προκύπτει η ανάγκη για την συγκεκριμένη μελέτη δεδομένου κιόλας ότι οι ασθενείς που νοσηλεύονται μπορεί να κινδυνεύουν περισσότερο λόγω πρόσθετων άλλων ασθενειών ([46], [101]). Επιπλέον, μία τέτοια μελέτη σε πρακτική εφαρμογή μπορεί να διευκολύνει σημαντικά τους επαγγελματίες υγείας δεδομένου ότι μέχρι στιγμής η πρόβλεψη των επιπέδων γλυκόζης σε μελλοντικές στιγμές, προκειμένου να καθοριστεί η κατάλληλη αγωγή, βασίζεται στην εμπειρία, ενισχύοντας έτσι τις ευθύνες του ιατρικού προσωπικού καθώς και λάθη που μπορεί να βασίζονται στον ανθρώπινο παράγοντα καθώς.

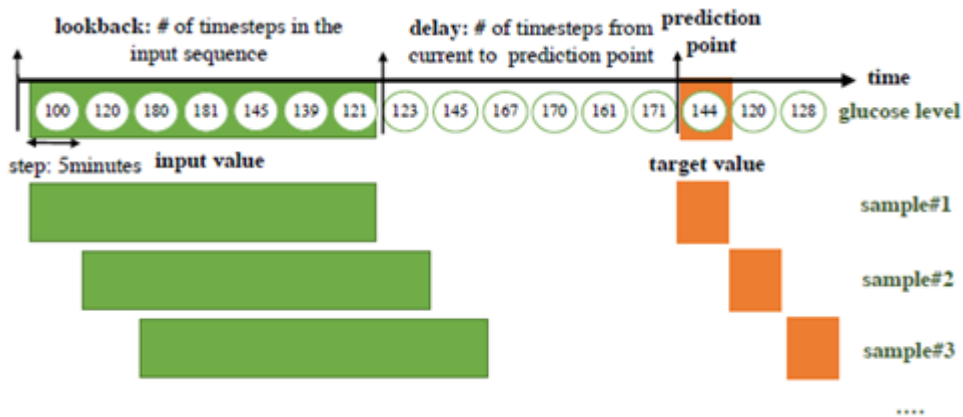
### Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη βασίζονται στην συνεχή μέτρηση της γλυκόζης με την χρήση CGM μετρητή για 20 ασθενείς που πάσχουν από ΣΔΤ2 και βρίσκονται υπό νοσοκομειακή μέριμνα. Ο μετρητής που χρησιμοποιήθηκε καταγράφει για τον κάθε ασθενή την τιμή της γλυκόζης στο αίμα κάθε 5 λεπτά και για συνολικό διάστημα 3-7 ημερών.

### Εξαγωγή δεδομένων εκπαίδευσης

Καθώς στην συγκεκριμένη μελέτη πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μοντέλα που δέχονται σαν είσοδο χρονοσειρά (π.χ. RNN) και επιπλέον η μελέτη εστιάζει σε προσωποποιημένη εκπαίδευση για τον κάθε ασθενή, χρειάζεται να γίνει εξαγωγή χρονοσειρών ξεχωριστά για τον κάθε έναν από τους 12 ασθενείς. Με βάση το προηγούμενο, για κάθε ασθενή χρησιμοποιείται ένα κυλιόμενο παράθυρο το οποίο μετακινείται κατά 1 τιμές γλυκόζης (δηλαδή 5 λεπτά) προκειμένου να εξάγει το κάθε δείγμα. Το παράθυρο έχει μέγεθος 7 τιμών γλυκόζης (δηλαδή 35 λεπτά) και η τιμή πρόβλεψης ορίζεται ως η τιμή που απέχει διάστημα 7 τιμών γλυκόζης μετά το πέρας του παραθύρου. Για

οπτική κατανόηση της διαδικασίας εξαγωγής των δειγμάτων παρατίθεται η παρακάτω Εικόνα 5.1 [56].



Σχήμα 5.1: Διαδικασία δημιουργίας του συνόλου εκπαίδευσης [56]

Μετά από μελέτη αναφέρεται ότι επιλέχθηκαν ως δεδομένα εκπαίδευσης το 70% των συνολικών δεδομένων για τον κάθε ασθενή ενώ το υπόλοιπο 30% χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της απόδοσης του εκάστοτε μοντέλου.

#### Μοντέλα

Όπως αναφέρεται και στην προηγούμενη ενότητα, η συγκεκριμένη μελέτη πρόκειται να αναλύσει μοντέλα τα οποία εκπαιδεύονται προσωποποιημένα για τον κάθε ασθενή. Επιπλέον τα μοντέλα θα δέχονται σαν είσοδο μία χρονοσειρά τιμών γλυκόζης. Έτσι τα μοντέλα που αξιολογούνται είναι α) ένα απλό Recurrent Neural Network μοντέλο (RNN), β) ένα Gated Recurrent Units μοντέλο (GRU) και γ) ένα Long-Short Memory μοντέλο (LSTM).

#### Μετρικές Αξιολόγησης και αποτελέσματα

Η αξιολόγηση των μοντέλων στην συγκεκριμένη μελέτη έγινε σε διαφορετικά επίπεδα. Αρχικά, για την αξιολόγηση και την σύγκριση μεταξύ των παραπάνω μοντέλων χρησιμοποιείται η ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (Root Mean Square Error - RMSE) και βρέθηκε ότι το GRU μοντέλο παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα με  $RMSE = 22.26 \text{ mg/dL}$ . Στην συνέχεια, για το καλύτερο μοντέλο (GRU), έγινε και αξιολόγηση στο επίπεδο εύρεσης της καταλληλότερης αρχιτεκτονικής. Δοκιμάστηκαν τα εξής: α) η εισαγωγή συνάρτησης ενεργοποίησης στο RNN επίπεδο του GRU, το οποίο έριξε την απόδοση του μοντέλου, β) η εκπαίδευση αμφίδρομου και 2-επιπέδων μοντέλου, το οποίο έδειξε ότι και πάλι τα αποτελέσματα δεν βελτιώθηκαν. Επιπλέον, εξετάστηκε μεταβολή των ποσοστών στα δεδομένα εκπαίδευσης και αξιολόγησης και αποδείχθηκε ότι η αναλογία 70-30 είχε τα καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος, εξετάστηκε και η επίδραση διαφορετικών υπερπαραμέτρων εκπαίδευσης. Τα

αποτελέσματα έδειξαν ότι: α) η τυχαία ανακατανομή των δεδομένων εκπαίδευσης βελτιώνει το τελικό αποτέλεσμα και β) η αύξηση των εποχών εκπαίδευσης χωρίς όμως να συμβαίνει υπερπροσαρμογή (overfit) βελτιώνει το τελικό αποτέλεσμα.

## Πρόβλεψη γλυκόζης με χρήση δικτύων LSTM και αμφίδρομου LSTM

Είναι γνωστό πως η χρήση LSTM μοντέλων είναι διαδεδομένη στις περιπτώσεις που αναφέρονται σε προβλέψεις βασισμένες σε δεδομένα από χρονοσειρές. Η μελέτη που περιγράφεται στο [96] εστιάζει στην ανάπτυξη ενός αποδοτικού Long Short Memory μοντέλου (LSTM) το οποίο να μπορεί να προβλέπει την τιμή της συγκέντρωσης γλυκόζης στο αίμα ενός ασθενή σε μία μελλοντική χρονική στιγμή. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι να εισάγει μία μέθοδο μηχανικής μάθησης η οποία να στηρίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα γλυκόζης με αποτέλεσμα αυτή να μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει μεθόδους όπως η συνεχής υποδόρια έγχυση ινσουλίνης (continuous subcutaneous insulin infusion - CSII) και η θεραπεία με χρήση αντλίας ινσουλίνης ενισχυμένη με αισθητήρες (sensor-augmented pump - SAP) [14].

### Δεδομένα

Για την συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τόσο από πραγματικούς ασθενείς όσο και από προσομοιώσεις. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 20 πραγματικούς ασθενείς με ΣΔΤ1 τα οποία συλλέχθηκαν με χρήση συστήματος συνεχούς μέτρησης της γλυκόζης στο αίμα (continuous glucose monitoring - CGM) και αντιστοιχούν σε μετρήσεις που λαμβάνονται σε διαστήματα 5 λεπτών και για συνολικό χρονικό διάστημα τουλάχιστον 5 ημερών. Αναφορικά με τα δεδομένα προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε ο προσομοιωτής FDA-accepted UVa/Padova T1D με τον οποίο προέκυψαν δεδομένα 11 ασθενών τα οποία και πάλι αντιστοιχούσαν σε τιμές γλυκόζης που απέχουν διάστημα 5 λεπτών η μία από την άλλη και σε συνολικό χρονικό διάστημα 38 ημερών.

### Εξαγωγή δεδομένων εκπαίδευσης

Ένα ποσοστό των παραπάνω πραγματικών δεδομένων σε συνδυασμό με δεδομένα προσομοίωσης, χρησιμοποιήθηκε για την προεκπαίδευση του εξεταζόμενου μοντέλου και τα υπόλοιπα πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία εκπαίδευσης. Επιπλέον, τα δεδομένα χωρίστηκαν σε χρονοσειρές μήκους τουλάχιστον 1500 μετρήσεων (το οποίο αντιστοιχεί σε διάστημα 5 ημερών).

### Μοντέλα

Η συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιεί ένα LSTM μοντέλο το οποίο αποτελείται από τα εξής επίπεδα: 1) ένα απλό LSTM επίπεδο, 2) ένα αμφίδρομο LSTM επίπεδο και 3) τέσσερα πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα. Επιπλέον για λόγους σύγκρισης χρησι-

μοποιήθηκαν τα μοντέλα ARIMA (Autoregressive integrated moving average) και SVR (Support Vector Regression).

#### Μετρικές Αξιολόγησης και Αποτελέσματα

Για την αξιολόγηση και την σύγκριση των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις στατιστικές μετρικές: η ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (Root Mean Square Error - RMSE), ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient - CC), η χρονική καθυστέρηση (time lag - TL), και η καταλληλότητα (fit) και βρέθηκε ότι το μοντέλο LSTM κατάφερε να σημειώσει την καλύτερη απόδοση συγκριτικά με τα άλλα δύο μοντέλα όσον αφορά όλες τις μετρικές αξιολόγησης.

### 5.1.2 Μοντέλα πρόβλεψης πιθανότητας

Κατά τη βιβλιογραφική επισκόπηση, όπως φαίνεται στις προηγούμενες ενότητες, βρέθηκαν αρκετές μελέτες οι οποίες χρησιμοποιούσαν τεχνικές μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη χρονοσειρών από επίπεδα γλυκόζης για μία επιθυμητή χρονική περίοδο ή για την πρόβλεψη της τιμής γλυκόζης μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ωστόσο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη ενός μοντέλου το οποίο τελικά θα εξάγει την πιθανότητα εμφάνισης κάποιου γλυκαιμικού επεισοδίου στο επιθυμητό χρονικό διάστημα που εξετάζεται. Η μελέτη των Wonju Seo κ.α. στο [89] παρουσιάζει τα αποτελέσματα εκπαίδευσης τεσσάρων διαφορετικών μοντέλων όσον αφορά την πρόβλεψη εμφάνισης υπογλυκαιμικού επεισοδίου μετά το γεύμα και παρουσιάζεται στην συνέχεια. Τόσο η μέθοδος που ακολουθήθηκε όσο και τα αποτελέσματα της μελέτης είναι σημαντικά για λόγους σύγκρισης όσο και για την κατανόηση των διαφορών στην προσέγγιση των δύο περιπτώσεων.

#### **Χρήση μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη υπογλυκαιμίας μετά το γεύμα**

Στόχος της μελέτης [89] είναι η ανάπτυξη ενός υπολογιστικά αποδοτικού και εύκολου στην χρήση μοντέλου μηχανικής μάθησης το οποίο θα προβλέπει την εμφάνιση υπογλυκαιμίας, κάποιο χρονικό διάστημα μετά το γεύμα, για έναν ασθενή με σακχαρώδη διαβήτη. Σκοπός είναι η πρόβλεψη να γίνεται βασισμένη σε χαρακτηριστικά τα οποία θα προκύπτουν απευθείας από τα δεδομένα γλυκόζης, χωρίς να απαιτείται περαιτέρω είσοδος από τον χρήστη, μειώνοντας έτσι λάθη που βασίζονται στον ανθρώπινο παράγοντα. Ένα τέτοιο μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει την εφαρμογή Τεχνητού Παγκρέατος (Artificial Pancreas - AP ([60], [58])) η οποία εμφανίζει περιορισμούς λόγω μέτρων που έχουν ως σκοπό να προβλέψουν λάθη ελλιπούς εκπαίδευσης των χρηστών [13]. Επιπλέον, πιο σύνθετες εφαρμογές [86] αυξάνουν τις ανάγκες σε υπολογιστική ισχύ με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν ευρέως χρησιμοποιούμενα αποτελέσματα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα προαναφερθέντα μοντέλα εμφανίζουν σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε και τα γεύματα είναι περιορισμένα.

## Δεδομένα

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την συγκεκριμένη μελέτη αντιστοιχούν σε 411 ασθενείς οι οποίοι υποβλήθηκαν στην διαδικασία Συνεχούς Μέτρησης Γλυκόζης (Continuous Glucose Monitoring - CGM). Μετά από την εφαρμογή διαφόρων κριτηρίων για την επιλογή των κατάλληλων μεταξύ των ασθενών, 104 ασθενείς, 72 διαγνωσμένοι με διαβήτη τύπου-1 και 72 διαγνωσμένοι με διαβήτη τύπου-2, συμπεριλήφθηκαν στην έρευνα. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, αντιστοιχούσαν σε 107 τριήμερα σύνολα δεδομένων που αντιπροσωπεύουν την λήψη των τιμών γλυκόζης ανά διάστημα 5 λεπτών. Περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων σήμανε τις χρονικές στιγμές που θεωρήθηκαν σαν γεύμα, ενώ παράλληλα αφαιρέθηκαν και τα δεδομένα που αντιστοιχούσαν σε ώρες ύπνου (23:00 - 07:00).

## Εξαγωγή δεδομένων εκπαίδευσης

Με βάση την προσέγγιση που ακολουθείται στο [13], κάθε μία από τις 107 χρονοσειρές γλυκόζης θα συμβολίζεται ως  $CGM_{i,:} = (CGM_{i,t})$  με  $t = 1, \dots, N_i$ , όπου  $N_i$  είναι το μέγεθος την εκάστοτε χρονοσειράς. Καθώς η συγκεκριμένη μελέτη εστιάζει σε χρονικές στιγμές που ακολουθούν το γεύμα του ασθενούς, κρατούνται οι χρονικές στιγμές που αντιστοιχούν σε τιμές γλυκόζης από τη χρονική στιγμή που αναγνωρίστηκε ως γεύμα και έπειτα. Ως εξής θα συμβολίζουμε αυτά τα δεδομένα ως  $CGM_{i,j,t} = CGM_{i,(meal_{i,j}),t}$  με  $t \in \{1, \dots, W\}$ , όπου  $meal_{i,j}$  είναι η χρονική στιγμή του jοστού γεύματος την χρονοσειράς i και W είναι η περίοδος που επιλέγεται για παρατήρηση μετά το γεύμα. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθούν χρονικές στιγμές που αντιστοιχούν σε διάστημα 5 λεπτά έως 3.5 ώρες μετά την χρονική στιγμή που έχει αναγνωριστεί ως γεύμα. Μετά από έρευνα, αναγνωρίστηκαν 3 χαρακτηριστικά τα οποία θεωρήθηκαν σημαντική ως προς τον καθορισμό εμφάνισης υπογλυκαιμίας μετά από κάποιο γεύμα. Ειδικότερα, έχουμε τα εξής:

1. Ρυθμός αύξησης της τιμής της γλυκόζης (rate of increase in glucose - RIG): Είναι ο ρυθμός μεταβολής της γλυκόζης ανάμεσα στην χρονική στιγμή του γεύματος και την μέγιστη τιμή που συναντάται στην συνέχεια. Πιο συγκεκριμένα ως RIG ορίζεται  $RIG_{i,j,t} = \frac{CGM_{i,j,peak_t} - CGM_{i,j,0}}{TD_{meal-to-peak}}$ , όπου  $CGM_{i,j,peak_t}$  είναι η υψηλότερη τιμή γλυκόζης της ισοτής χρονοσειράς που παρατηρήθηκε μετά την χρονική στιγμή του γεύματος,  $CGM_{i,j,0}$  είναι η χρονική στιγμή του jοστού γεύματος της ισοτής χρονοσειράς και  $TD_{meal-to-peak}$  είναι η χρονική διαφορά μεταξύ των δύο χρονικών στιγμών. Στην περίπτωση που δεν βρεθεί χρονική στιγμή με υψηλότερη τιμή γλυκόζης τότε η τιμή του RIG τίθεται στο 0.
2. Ρυθμός μεταβολής της γλυκόζης (glucose rate of change - GRC). Είναι ο ρυθμός μεταβολής της γλυκόζης μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται ως:  $GRC_{i,j,t} = \frac{CGM_{i,j,t} - CGM_{i,j,t-1}}{5}$ , όπου  $CGM_{i,j,t}$  είναι η τιμή γλυκόζης της ισοτής χρονοσειράς του jοστού γεύματος κατά την χρο-

νική στιγμή  $t$  η οποία ταυτίζεται με την χρονική στιγμή της πρόβλεψης, ενώ  $CGM_{i,j,t-1}$  είναι η τιμή της γλυκόζης ακριβώς μία χρονική στιγμή πριν.

3. Η τιμές της γλυκόζης κατά την χρονική στιγμή της πρόβλεψης για την  $i$ -στής χρονοσειράς του  $j$ οστού γεύματος και η οποία συμβολίζεται ως  $CGM_{i,j,t}$

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξάγονται τα δείγματα τα οποία πρόκειται να αποτελέσουν τα δεδομένα εκπαίδευσης για τα εξεταζόμενα μοντέλα. Έτσι κάθε δείγμα θα αποτελείται από τα εξής:  $D = \{(CGM_{i,j,t}, RIG_{i,j,t}, GRC_{i,j,t}, Label_{i,j,t})\}$ ,  $i = 1, \dots, 107$ ,  $j = 1, \dots, M_i$ ,  $t = 1, \dots, 42$ , όπου  $M_i$  είναι ο συνολικός πλήθος ανακοινώσεων γευμάτων της  $i$ οστής CGM χρονοσειράς. Επιπλέον, για την εξαγωγή της ετικέτας κάθε δείγματος χρησιμοποιείται η τιμή της γλυκόζης την χρονική στιγμή  $t+30$  λεπτά, δηλαδή  $CGM_{i,j,t+6}$ . Στην περίπτωση που είναι  $CGM_{i,j,t+6} < 70mg/dL$  θεωρείται πως υπάρχει συμβάν υπογλυκαιμίας και η ετικέτα ορίζεται ως  $Label_{i,j,t} = 1$  και διαφορετικά η τιμή της τίθεται στο 0.

### Μοντέλα

Στην συγκεκριμένη μελέτη τα 4 μοντέλα μηχανικής μάθησης που εξετάζονται ως προς την ικανότητα πρόβλεψης υπογλυκαιμίας κατά το χρονικό διάστημα μετά το γεύμα είναι α) Random Forest (RF) μοντέλο, β) Support vector machine μοντέλο το οποίο χρησιμοποιεί είτε γραμμική συνάρτηση (SVM-LN) είτε συνάρτηση ακτινικής βάσης (SVM-RBF), γ) K-nearest neighbor μοντέλο και δ) Logistic Regression (LR) μοντέλο.

Για την εκπαίδευση και την αξιολόγηση των παραπάνω μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του 5-fold cross validation ενώ για την τελική επιλογή των υπερπαραμέτρων εκπαίδευσης χρησιμοποιείται αναζήτηση πλέγματος.

### Μετρικές αξιολόγησης

Συνολικά τέσσερις στατιστικές μετρικές χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της εκπαίδευσης των τεσσάρων μοντέλων που βρίσκονται υπό εξέταση. Οι μετρικές αυτές είναι οι: α) Area Under the Curve (AUC), β) Sensitivity (ή Recall), γ) Specificity και δ) F1-score.

Καθώς χρησιμοποιείται η τεχνική του 5-fold cross validation συνολικά, για κάθε μία από τις εξεταζόμενες μετρικές, προκύπτουν 5 τιμές. Προκειμένου να μπορέσει να γίνει μία γενική αξιολόγηση του μοντέλου, υπολογίζεται ο μέσος όρος των πέντε τιμών που έχουν προκύψει από τα πέντε μοντέλα του 5-fold cross validation.

Επιπροσθέτως, προκειμένου να γίνει ουσιαστική σύγκριση μεταξύ των αντίστοιχων μετρικών των τεσσάρων μοντέλων χρειάζεται να υπολογιστεί και αν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των τιμών από τις οποίες έχει προκύψει ο μέσος όρος. Για τον σκοπό αυτό, στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται η τεχνική one-way analysis of variance (ANOVA).

### Αποτελέσματα

Μετά από υπολογισμό των προαναφερθέντων μετρικών, την ανάλυσή τους και την διαδικασία σύγκρισης, η μελέτη της έρευνας υπό αναφορά καταλήγει στο συμπέρασμα ότι μοντέλο RF έχει την καλύτερη απόδοση αναφορικά με την πρόβλεψη την υπογλυκαιμίας μετά το γεύμα. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα των μετρικών αξιολόγησης για αυτό το καλύτερο μοντέλο φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα καλύτερου μοντέλου

|                      | <b>Sensitivity</b> | <b>Specificity</b> | <b>F1-score</b> | <b>AUC</b> |
|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------|
| <i>Random Forest</i> | 89.6               | 91.3               | 0.543           | 0.966      |

## 5.2 Εφαρμογές ερμηνευσιμότητας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η εφαρμογή ερμηνευσιμότητας σε LSTM που προορίζεται για την πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας σε άτομα που πάσχουν από ΣΔ. Κατά τη βιβλιογραφική επισκόπηση δεν βρέθηκαν έρευνες που να ικανοποιούν αυτούς τους περιορισμούς. Ωστόσο βρέθηκαν δύο έρευνες που εφαρμόζουν μηχανισμούς προσοχής (attention mechanisms) σε βιοϊατρικές εφαρμογές προκειμένου να ερμηνεύσουν την συνεισφορά των χαρακτηριστικών των δεδομένων στην τελική απόφαση του δικτύου LSTM. Τα κοινά σημεία ενδιαφέροντος είναι ο τρόπος εφαρμογής του attention mechanism, ο τρόπος εμφάνισης των αποτελεσμάτων που σχετίζονται με την ερμηνευσιμότητα καθώς τα αποτελέσματα σχετικά με αυτήν. Επομένως παρουσιάζοντας τις δύο μελέτες στην συνέχεια, αυτά είναι τα στοιχεία στα οποία θα εστιάσουμε.

### Εφαρμογή μηχανισμού προσοχής σε μοντέλο βαθιάς μάθηση για περιστατικά σε μονάδα εντατικής θεραπείας

Οι Kaji κ.α. στην μελέτη που δημοσίευσαν το 2019 [54] παρουσιάζουν τα αποτελέσματα εκπαίδευσης ενός LSTM νευρωνικού δικτύου το οποίο ενσωματώνει την τεχνική του attention mechanism για να προβλέψει τρία κλινικά περιστατικά: την σήψη, την ισχαιμία του μυοκαρδίου, και την χορήγηση αντιβιοτικού βανκομυκίνης. Ο μεγάλος αριθμός ασθενών που βρίσκονται σε μονάδες εντατικής θεραπείας σε συνδυασμό με τον περιορισμένο αριθμό ιατρικού προσωπικού αλλά και την χρισιμότητα στην οποία βρίσκεται η υγεία των συγκεκριμένων ασθενών, αποτελεί κίνητρο για την ανάπτυξη αυτής της μελέτης. Νευρωνικά δίκτυα βαθιάς μάθησης μπορούν να βοηθήσουν το ιατρικό προσωπικό όχι μόνο παρέχοντας ένα αποτέλεσμα πρόβλεψης αλλά και αναδεικνύοντας τα χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδων που οδήγησαν σε αυτή την απόφαση αυξάνοντας έτσι τον βαθμό εμπιστοσύνης στο αποτέλεσμα του δικτύου.

## Attention Mechanism

Αρχικά η τεχνική του attention mechanism εφαρμόστηκε σαν μέσο βελτίωσης της απόδοσης (accuracy) δικτύων LSTM [9]. Ένα attention διάνυσμα αποτελείται από βάρη  $a_i$  που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου  $x_i$  και τα οποία εκπαιδεύονται προκειμένου να αναδείξουν τα σημαντικότερα features στο επόμενο επίπεδο. Συγκεκριμένα για την περίπτωση του LSTM, τα βάρη αυτά εκπαιδεύονται με τρόπο τέτοιο ώστε να αντιστοιχούν στην κατάσταση της εκάστοτε LSTM μονάδας για τις διαφορετικές χρονικές στιγμές. Για να επιτευχθεί η ερμηνεία σε επίπεδο χαρακτηριστικών των δεδομένων εισόδου, εισάγονται βάρη  $W_k$  για τον υπολογισμό του attention  $a_k$  για κάθε ένα από τα  $k$  χαρακτηριστικά ως εξής:

$$a_k = \text{softmax}(W_k x_k)$$

όπου το  $x_k$  αναπαριστά ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό στην διάρκεια του χρόνου. Για παράδειγμα, για χρονοσειρά μήκους 14 χρονικών στιγμών έχουμε ότι παίρνουμε ένα διάνυσμα  $a_k$  μήκους 14. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αναδείξουμε την συνεισφορά της τιμής κάθε χρονικής στιγμής για ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Τελικά, πριν την είσοδο των δεδομένων στο LSTM γίνεται ζύγισμα των χαρακτηριστικών βάσει του attention και η νέα είσοδος υπολογίζεται από την σχέση:

$$y_k = a_k \odot x_k$$

## Μοντέλο

Η υλοποίηση του attention mechanism για το LSTM μοντέλο γίνεται με την πρόσθεση ενός Dense Layer το οποίο χρησιμοποιεί ως συνάρτηση ενεργοποίησης την softmax ακριβώς πριν το LSTM. Έτσι, τα δεδομένα εισόδου περνούν αρχικά από το attention layer το οποίο ζυγίζει τα χαρακτηριστικά και στην συνέχεια η νέα είσοδος εισάγεται στο LSTM και το νευρωνικό ολοκληρώνεται με ένα ακόμη dense layer με softmax activation function υπεύθυνο για να εξάγει την επιθυμητή πιθανότητα. Η έξοδος του attention layer είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί για την ερμηνευσιμότητα του συνολικού μοντέλου.

## Οπτικοποίηση και αξιολόγηση του attention mechanism

Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του attention layer χρησιμοποιήθηκαν θερμικοί χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν στην μία διάσταση τα χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου ενώ στην άλλη διάσταση απεικονίζουν τις χρονικές στιγμές της χρονοσειράς εισόδου.



## Ερμηνευσιμότητα χρονικών ακολουθιών σε μοντέλα βαθιάς μάθησης: Μία μελέτη για καρδιαγγειακούς ασθενείς στην μονάδα εντατικής θεραπείας

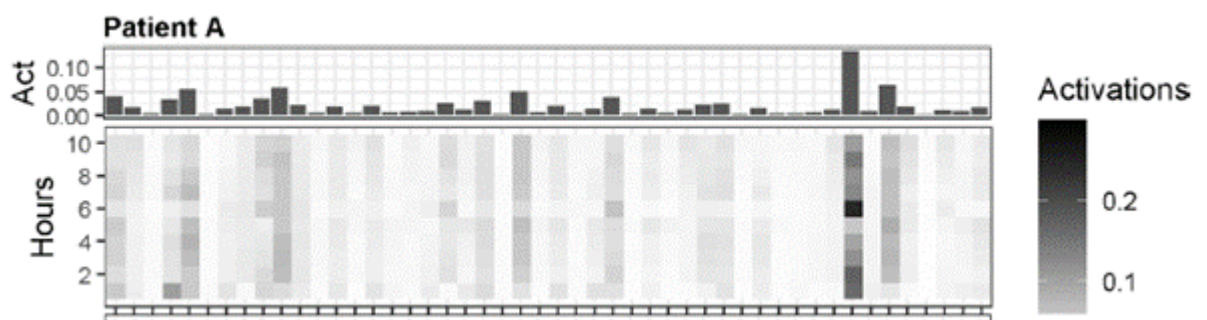
Οι Gardin κ.α. παρουσιάζουν μία ακόμη εφαρμογή του attention mechanism σε LSTM νευρωνικά δίκτυα προκειμένου να ερμηνευτεί η συνεισφορά του κάθε χαρακτηριστικού των δεδομένων εισόδου στην τελική πρόβλεψη του δικτύου [30]. Η έρευνα εστιάζει στην πρόβλεψη θνησιμότητας ασθενών που πάσχουν από καρδιαγγειακά προβλήματα με τεχνικές βαθιάς μάθησης και πιο συγκεκριμένα στην αξιολόγηση του μηχανισμού attention ως προς την ικανότητά του να αναδεικνύει τα χαρακτηριστικά εκείνα τα οποία θεωρήθηκαν πιο σημαντικά.

### Attention Mechanism και Μοντέλο

Ο μηχανισμός attention που χρησιμοποιήθηκε ακολουθεί ακριβώς την λογική του [54] με την μόνη διαφορά ότι πλέον εφαρμόζεται στην ανάστροφη είσοδο προκειμένου να δοθεί έμφαση στο πόσο σημαντικό είναι κάποιο χαρακτηριστικό για το τελικό αποτέλεσμα και όχι στο ποια χρονική στιγμή είναι πιο σημαντική στο εκάστοτε χαρακτηριστικό. Δεδομένου ότι κάθε δείγμα του συνόλου των δεδομένων εισόδου έχει διαστάσεις (timesteps x features) προκύπτει ότι αναστρέφοντας την είσοδο πριν το dense layer του attention mechanism τα βάρη α εφαρμόζονται στον άξονα του χρόνου και δείχνουν την καθολική επιρροή του κάθε χαρακτηριστικού.

### Οπτικοποίηση και αξιολόγηση του attention mechanism

Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και πάλι χρησιμοποιήθηκαν θερμικοί χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν τις τιμές των βαρών του attention layer φανερώνοντας ποιο χαρακτηριστικό θεωρήθηκε πιο σημαντικό κατά την πρόβλεψη. Ο κάθε θερμικός χάρτης αναφέρεται μεμονωμένα σε κάθε ασθενή και αντιστοιχεί σε μία τυχαία είσοδο την φορά. Προκειμένου να καθοριστεί ποιο χαρακτηριστικό ήταν όντως το πιο σημαντικό γίνεται άθροιση ως προς τον χρόνο για κάθε χαρακτηριστικό των τιμών των attention layer βαρών όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.2.



Σχήμα 5.2: Παράδειγμα οπτικοποίησης ερμηνευσιμότητας με θερμικό χάρτη [30]

# Κεφάλαιο 6

## Ανάπτυξη μοντέλου

Οι προηγούμενες ενότητες εστίασαν στο να πληροφορήσουν τον αναγνώστη σχετικά με το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίστηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Ωστόσο, βασικό προϊόν της εργασίας από το πρακτικό μέρος κατά το οποίο γίνεται ανάπτυξη κώδικα για την εκπαίδευση και αξιολόγηση του μοντέλου προς εξέταση. Η συγκεκριμένη ενότητα είναι χωρισμένη σε δύο βασικά μέρη: 1) περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και της επεξεργασίας στην οποία αυτά υποβλήθηκαν και 2) περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για της ανάπτυξη των μοντέλων και της ερμηνευσιμότητας αυτών.

Για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους χρησιμοποιήσαμε την γλώσσα προγραμματισμού Python και συγκεκριμένα την έκδοση 3.7.12. Η βιβλιοθήκη Keras που παρέχει η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού ήταν αυτή που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη και εκπαίδευση του εξεταζόμενου μοντέλου.

### 6.1 Δεδομένα και Επεξεργασία

Ένας ασθενής με ΣΔ, χαρακτηρίζεται από αυξημένα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, γεγονός που, ανάλογα με τον τύπο του διαβήτη από τον οποίο πάσχει ο ασθενής, μπορεί να οφείλεται είτε σε ολική έλλειψη της ορμόνης της ινσουλίνης από τον ανθρώπινο οργανισμό είτε, στην περίπτωση που η ορμόνη παράγεται, από μειωμένη παραγωγή της ή/και αντίσταση των κυττάρων στην δράση της. Σε κάθε περίπτωση, η επίτευξη του γλυκαιμικού ελέγχου είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα για αποφυγή ανεπιθύμητων παρενεργειών. Ειδικότερα στην περίπτωση του ΣΔΤ1 είναι απαραίτητη η εξωγενής χορήγηση ινσουλίνης. Η διαχείριση των επιπέδων γλυκόζης στον οργανισμό μέσω της χορήγησης ινσουλίνης μπορεί να οδηγήσει σε κατάσταση υπογλυκαιμίας, κάτι που μπορεί να είναι απειλητικό για τη ζωή του ασθενούς.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάζουμε την πιθανότητα, κάποιο άτομο που πάσχει από ΣΔΤ1, να εμφανίσει επεισόδιο υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας. Οι δύο περιπτώσεις εξετάζονται ξεχωριστά για τον κάθε ασθενή, ενώ τα δεδομένα προκύπτουν με την κατάλληλη προεπεξεργασία για κάθε μία από τις περι-

πτώσεις της υπεργλυκαιμίας και υπογλυκαιμίας, όπως θα δούμε με λεπτομέρεια στις επόμενες ενότητες.

### 6.1.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της λύσης του προβλήματος αντιστοιχούν σε 12 άτομα με ΣΔΤ1 που εφαρμόζουν αισθητήρες συνεχούς καταγραφής γλυκόζης και αντλίες συνεχούς έγχυσης ινσουλίνης. Πιο συγκεκριμένα, από τα ημερολόγια των 12 ατόμων (5 γυναίκες και 7 άντρες) συλλέχθηκαν τα εξής δεδομένα: 1) καταγραφές γλυκόζης από Διάταξη Συνεχούς Καταγραφής Γλυκόζης (ΔΣΚΓ), 2) μετρήσεις γλυκόζης από τριχοειδικό αίμα, 3) βασικοί ρυθμοί έγχυσης ινσουλίνης, 4) προγευματικές δόσεις ινσουλίνης, 5) ώρες λήψης γευμάτων, και 6) το περιεχόμενο των υδατανθράκων στα λαμβανόμενα γεύματα. Τα δεδομένα αυτά αντιστοιχούν σε συνολικό χρονικό διάστημα 10 ημερών με συχνότητα δειγματοληψίας 5 λεπτών. Επιπλέον, πρέπει να σημειώσουμε ότι οι μετρήσεις λαμβάνονται σε πραγματικές συνθήκες και για το λόγο αυτό μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο να λείπουν ορισμένες τιμές μέτρησης.

Από τους 12 στο σύνολο ασθενείς δεν λήφθηκαν υπόψιν στην διαδικασία εκπαίδευσης και αξιολόγησης 3 ασθενείς. Ο λόγος για την παραπάνω επιλογή βασίζεται στο γεγονός ότι το ποσοστό των υπογλυκαιμιών ή υπεργλυκαιμιών για τους συγκεκριμένους ασθενείς επί του συνόλου των δεδομένων ήταν πολύ μικρό (<1%). Η εκπαίδευση ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης στην περίπτωση τόσο μικρού ποσοστού δεδομένων να ανήκουν στην θετική κλάση θα ήταν αποπροσανατολιστική για την αξιολόγηση της ικανότητας του μοντέλου να λύσει το πρόβλημα.

Στους πίνακες 6.1 και 6.2 φαίνονται μερικά στατιστικά αναφορικά με τους ασθενείς που συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη, καθώς και μερικά στατιστικά των αντίστοιχων δεδομένων των ασθενών, αντιστοίχως.

### 6.1.2 Προεπεξεργασία δεδομένων

Κίνητρο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μοντέλου το οποίο να μπορεί να λειτουργεί ως βοηθός τόσο για το ιατρικό προσωπικό όσο και για τον ίδιο τον ασθενή. Η χρήση δεδομένων τα οποία μπορούν να είναι άμεσα και εύκολα διαθέσιμα είναι σημαντική προκειμένου να μπορέσει να δημιουργηθεί ένα απλό σύστημα εύκολο στην χρήση. Δεδομένου ότι πλέον, η μέτρηση της τιμής γλυκόζης στο αίμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με ευκολία από πληθώρα συσκευών (π.χ. έξυπνο ρολόι, CGM System, κλπ.), η επιλογή της τιμής της γλυκόζης στο αίμα σαν το χαρακτηριστικό που θα χρησιμοποιηθεί για είσοδος στο μοντέλο υπό ανάπτυξη, είναι αξιόλογη. Επιπλέον από την βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε έγινε φανερό ότι ο ρυθμός μεταβολής της γλυκόζης μπορεί επίσης να αποτελέσει σημαντική είσοδο στην πρόβλεψη ενός μοντέλου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην πρόβλεψη υπογλυκαιμιών και υπεργλυκαιμιών. Το προηγούμενο σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο ρυθμός μεταβολής γλυκόζης προκύπτει άμεσα με μία μαθηματική

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά ασθενών

| A/A Ατόμου                         | Ηλικία (έτη) | Φύλλο | Διάρκεια του Διαβήτη (έτη) | Δείκτης Μάζας Σώματος (kg/m <sup>2</sup> ) | HbA1c       |
|------------------------------------|--------------|-------|----------------------------|--|-------------|
| 1                                  | 3            | A     | 2                          | 18.9                                       | 6.3         |
| 2                                  | 3            | A     | 1                          | 16.69                                      | 8           |
| 3                                  | 9            | Θ     | 5                          | 16.47                                      | 6.6         |
| 4                                  | 18           | Θ     | 12                         | 18.25                                      | 7.2         |
| 5                                  | 18           | A     | 16                         | 19.83                                      | 7.8         |
| 6                                  | 20           | Θ     | 10                         | 24.41                                      | 6.2         |
| 7                                  | >35          | A     | -                          | -  | -           |
| 8                                  | 35           | A     | 22                         | 19.84                                      | 5.7         |
| 9                                  | 38           | A     | 19                         | 27.44                                      | 6           |
| <b>Μέση Τιμή ± Τυπική Απόκλιση</b> | 19.83 ±12.28 | -     | 12.67 ± 7.74               | 22.00 ± 4.88                               | 6.78 ± 0.94 |

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά δεδομένων ασθενών

| A/A Ατόμου | Αριθμός Δεδομένων | min γλυκόζης (mg/dl) | max γλυκόζης (mg/dl) | Μέση τιμή γλυκόζης (mg/dl) | Τυπική απόκλιση | % Υπογλυκαμιών (<70mg/dl) | % Υπεργλυκαμιών (>180mg/dl) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1          | 2730              | 40                   | 400                  | 161.31                     | 61.6            | 4.1                       | 33.91                       |
| 2          | 2653              | 46                   | 400                  | 171.89                     | 63.43           | 2.29                      | 40.33                       |
| 3          | 2798              | 54                   | 338                  | 129.21                     | 46.97           | 2.93                      | 14.43                       |
| 4          | 2674              | 46                   | 288                  | 143.93                     | 47.71           | 4.93                      | 21.31                       |
| 5          | 2449              | 44                   | 260                  | 131.61                     | 44.8            | 8.86                      | 15.43                       |
| 6          | 2819              | 54                   | 214                  | 117.5                      | 28.47           | 3.61                      | 1.52                        |
| 7          | 2818              | 40                   | 310                  | 150.04                     | 57.39           | 4.75                      | 30.34                       |
| 8          | 2664              | 52                   | 280                  | 129.34                     | 37.34           | 2.85                      | 8.89                        |
| 9          | 2802              | 40                   | 330                  | 149.21                     | 51.92           | 3.31                      | 26.15                       |

πράξη, από τις διαδοχικές τιμές γλυκόζης, μας οδήγησε ώστε να χρησιμοποιήσουμε και αυτό το χαρακτηριστικό ως είσοδο. Πιο συγκεκριμένα, ο ρυθμός μεταβολής της γλυκόζης (Glucose Rate of Change – GRC) δίνεται από την σχέση:

$$GRC_{i,j,t} = \frac{CGM_{i,j,t} - CGM_{i,j,t-1}}{5} \quad (6.1)$$

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι καθώς τα δεδομένα που έχουμε στην διάθεσή μας προέρχονται από πραγματικούς ασθενείς σε ρεαλιστικές συνθήκες μέτρησης, είναι λογικό να υπάρχουν χρονικές στιγμές που δεν έγινε καταγραφή της τιμής της γλυκόζης. Ανατρέχοντας στο αρχείο με τα δεδομένα, αυτό είναι φανερό από την τιμή 0 που είναι καταχωρημένη σε κάποιες από τις χρονικές στιγμές.

Οι τιμές που λείπουν είναι γνωστές ως missing values και για να αντιμετωπίσουμε αυτό το φαινόμενο ακολουθήσαμε την παρακάτω διαδικασία:

- Στην περίπτωση που οι τιμές που λείπουν είναι το πολύ 4 σε σειρά (το διάστημα αυτό αντιστοιχεί σε χρόνο 20 λεπτών), πραγματοποιούμε spline interpolation προκειμένου να τις υπολογίσουμε.
- Στην περίπτωση που περισσότερες από 4 τιμές στην σειρά έχουν τιμή 0, αφαιρούμε εντελώς το διάστημα με τις μηδενικές τιμές γλυκόζης.

Με βάση την παραπάνω διαδικασία, αφού γίνει αντιμετώπιση των missing values, υπολογίζουμε για κάθε τιμή γλυκόζης και την αντίστοιχη τιμή GRC που δίνεται από την σχέση 6.1.

Τελικά καταλήγουμε να έχουμε 2 χαρακτηριστικά στην διάθεσή μας: 1) την τιμή της γλυκόζης στο αίμα για κάθε διαθέσιμη χρονική στιγμή και 2) την τιμή του ρυθμού μεταβολής της γλυκόζης για κάθε διαθέσιμη χρονική στιγμή.

### 6.1.3 Δημιουργία δεδομένων εκπαίδευσης και αξιολόγησης

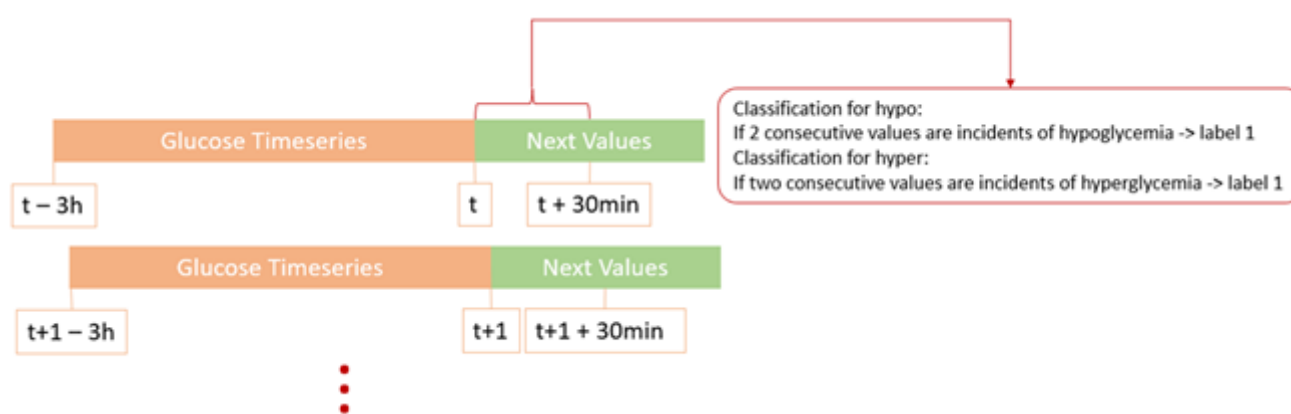
Στην παράγραφο αυτή πρόκειται να παρουσιάσουμε την μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε τόσο για την παραγωγή του συνόλου εκπαίδευσης όσο και την ανάθεση ταμπέλας (labeling) σε κάθε ένα από τα δείγματα του συνόλου.

Το ενδεχόμενο πρόβλεψης που εξετάζουμε είναι το εξής: βασιζόμενοι σε μία χρονοσειρά μεγέθους  $T$ , να γίνει πρόβλεψη αν στο χρονικό διάστημα μήκους  $T_1$  που ακολουθεί το  $T$ , έχουμε εμφάνιση υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας (αναλόγως με την περίπτωση την οποία εξετάζουμε). Αξίζει να σημειωθεί πως για την περίπτωση που εξετάζουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, θεωρούμε ότι έχουμε εμφάνιση υπεργλυκαιμίας όταν δύο διαδοχικές τιμές γλυκόζης είναι μεγαλύτερες του 180 mg/dL ενώ έχουμε εμφάνιση υπογλυκαιμίας όταν δύο διαδοχικές τιμές γλυκόζης είναι μικρότερες του 70 mg/dL.

Σκοπός, λοιπόν, είναι η δημιουργία της χρονοσειράς  $T$  η οποία για κάθε χρονική στιγμή θα περιλαμβάνει τις τιμές δύο χαρακτηριστικών (γλυκόζη, GRC) και η οποία θα χαρακτηρίζεται από μία τιμή που θα υποδεικνύει αν στο επόμενο χρονικό διάστημα διάρκειας  $T_1$  ο ασθενής εμφανίζει υπεργλυκαιμία ή υπογλυκαιμία.

Η χρονοσειρά που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα υπό εξέταση (lookback) επιλέγεται να έχει χρονική διάρκεια 3 ωρών, το οποίο αντιστοιχεί σε 36 τιμές γλυκόζης, δεδομένου ότι οι μετρήσεις απέχουν μεταξύ τους διάστημα 5 λεπτών, ενώ το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί στην πρόβλεψη (prediction horizon - ph) επιλέγεται να έχει μεταβλητό μήκος. Συγκεκριμένα, πρόκειται να εξετάσουμε 3 διαφορετικές περιπτώσεις για την τιμή του prediction horizon οι οποίες είναι οι εξής: 1)  $ph = 6$  τιμές γλυκόζης που αντιστοιχούν σε χρονικό διάστημα μισής ώρας, 2)  $ph = 12$  τιμές γλυκόζης που αντιστοιχούν σε χρονικό διάστημα μίας ώρας και 3)  $ph = 24$  τιμές γλυκόζης που αντιστοιχούν σε χρονικό διάστημα δύο ωρών.

Με βάση τα παραπάνω, για την εξαγωγή του συνόλου των δεδομένων θα χρησιμοποιηθεί ένα κυλιόμενο παράθυρο μήκους 36 το οποίο για την δημιουργία κάθε δείγματος θα μετακινείται κατά μία τιμή γλυκόζης θετικά ως προς τον άξονα του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι βρισκόμαστε στην χρονική στιγμή  $t$  για το δείγμα υπ' αριθμό  $n$ . Τότε, τα δεδομένα εισόδου θα αντιστοιχούν στις χρονικές στιγμές  $[t - 3h, t]$  ενώ η ανάθεση της ταμπέλας (label) στο δείγμα θα γίνει κοιτώντας το διάστημα  $[t + 1, t + 31 \text{ min}]$  βάσει της παραδοχής για τον ορισμό της υπεργλυκαιμίας και της υπογλυκαιμίας που έγινε παραπάνω. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιγράφεται σχηματικά και στην Εικόνα 6.1.



Σχήμα 6.1: Σχηματική αναπαράσταση δημιουργίας των δειγμάτων εκπαίδευσης και αξιολόγησης

Τέλος είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης και αξιολόγησης εξάγονται ξεχωριστά για καθέναν από τους 12 ασθενείς. Με δεδομένο ότι για τον κάθε οργανισμό είναι διαφορετική η συμπεριφορά του ΣΚ, θέλουμε να εκπαιδεύσουμε το υπό εξέταση μοντέλο προσωποποιημένα για τον κάθε ασθενή και ως εκ τούτου το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης και αξιολόγησης θα είναι διαφορετικό για τον κάθε ασθενή.

## 6.2 Μοντέλο και Ερμηνευσιμότητα

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα διαφορετικά μοντέλα που αναπτύσσονται και μελετώνται στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Όπως θα δούμε στην συνέχεια εφαρμόζονται διαφορετικές τεχνικές διαχείρισης μη ισορροπημένων δεδομένων και για κάθε μία από αυτές, έχουμε εκ νέου εκπαίδευση και αξιολόγηση στα αντίστοιχα δεδομένα εκπαίδευσης και αξιολόγησης. Συνολικά μελετώνται δύο διαφορετικές περιπτώσεις: 1) πιθανότητα εμφάνισης υπεργλυκαιμίας και 2) πιθανότητα εμφάνισης υπογλυκαιμίας), και άρα, όλες οι τεχνικές που εφαρμόζονται παρουσιάζονται και αξιολογούνται ξεχωριστά για τις δύο περιπτώσεις.

## 6.2.1 Μοντέλο

Το μοντέλο το οποίο εκπαιδεύουμε και αξιολογούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα Αναδρομικό Δίκτυο Μακράς Βραχείας Μνήμης (LSTM) το οποίο ενισχύεται με την τεχνική ερμηνευσιμότητας που περιγράφεται στο [54]. Γίνεται εκπαίδευση και αξιολόγηση ξεχωριστά για τις δύο περιπτώσεις της υπογλυκαιμίας και υπεργλυκαιμίας.

Πιο συγκεκριμένα η κανονικοποιημένη είσοδος μεγέθους (samples x timesteps x features) τροφοδοτεί αρχικά ένα απλό νευρωνικό δίκτυο ενός επιπέδου το οποίο έχει softmax συνάρτηση ενεργοποίησης. Το δίκτυο αυτό εξάγει βάρη  $a_j$  όπου  $j = 1, \dots, 36$  τα οποία, λόγω της softmax, έχουν συνολικό άθροισμα ίσο με 1 για κάθε ένα από τα δύο χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου, με αποτέλεσμα κατά την εκπαίδευση το νευρωνικό να εκπαιδεύεται με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνει τις μεγαλύτερες τιμές στις πιο σημαντικές χρονικές στιγμές για κάθε χαρακτηριστικό. Στην συνέχεια, τα βάρη που βρίσκονται στην έξοδο του νευρωνικού πολλαπλασιάζονται με την αρχική είσοδο και η έξοδος  $X_{new}$  προκύπτει ως:

$$X_{new} = A \odot X$$

Η νέα πλέον είσοδος στην συνέχεια τροφοδοτείται στο LSTM δίκτυο η έξοδος του οποίου τροφοδοτεί ένα ακόμη νευρωνικό ενός επιπέδου με συνάρτηση ενεργοποίησης sigmoid προκειμένου να υπολογιστεί από την έξοδο του LSTM η ζητούμενη πιθανότητα.

## 6.2.2 Μέθοδος αξιολόγησης

Για την εκπαίδευση και αξιολόγηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος διασταυρωμένης επικύρωσης (cross validation) και συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε 10-fold cross validation. Ειδικότερα, για την αξιολόγηση της απόδοσης του εκπαιδευμένου μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μετρικές αξιολόγησης:

- Ακρίβεια (Accuracy)
- Precision
- Recall
- F1-score
- AUC

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε ένα fold του 10-fold cross validation, υπολογίστηκαν οι παραπάνω μετρικές για το εκάστοτε σύνολο αξιολόγησης (test set) και στην συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος τους που τελικά χαρακτηρίζει την απόδοση του μοντέλου.



Όπως πρόκειται να περιγράψουμε και στην ενότητα 6.2.4 δοκιμάσαμε κάποιες τεχνικές βελτιστοποίησης, εκπαιδεύοντας εκ νέου το μοντέλο της παραγράφου 6.2.1, προκειμένου να βελτιώσουμε την εκπαίδευση και κατ' επέκταση τα αποτελέσματα. Προκειμένου να συγκρίνουμε τις τεχνικές αυτές μεταξύ τους και να καταλήξουμε καθολικά στο καλύτερο μοντέλο για τον κάθε ασθενή, χρειάστηκε να εφαρμόσουμε την t-test ανάλυση για κάθε μία από τις 5 μετρικές βάσει των τιμών τους στο κάθε fold του 10-fold cross validation.

### 6.2.3 Μέθοδος ερμηνευσιμότητας

Στην αρχιτεκτονική που χρησιμοποιήσαμε και περιγράφεται στην παράγραφο 6.2.1, το νευρωνικό δίκτυο που βρίσκεται πριν το LSTM, πρακτικά, δεν συνεισφέρει στην εκπαίδευση παρά μόνο, τα βάρη που παράγει, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα μέσο ερμηνευσιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, κατά την εκπαίδευση, τα βάρη αυτά εκπαιδεύονται βάσει των προβλέψεων που κάνει το LSTM, με αποτέλεσμα τελικά να απεικονίζουν με μεγαλύτερα βάρη τις χρονικές στιγμές που έπαιξαν σημαντικότερο ρόλο στην πρόβλεψη του LSTM. Παίρνοντας, λοιπόν, την έξοδο αυτού του νευρωνικού δικτύου μπορούμε να σχηματίσουμε μία άποψη για το ποιες χρονικές στιγμές ήταν περισσότερο καθοριστικές για το LSTM.

Με τον τρόπο που περιγράφεται παραπάνω, έχουμε υλοποιήσει μια τεχνική ερμηνευσιμότητας τα αποτελέσματα της οποίας μπορούμε εύκολα να απεικονίσουμε και να χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο κάνει προβλέψεις ένα τόσο περίπλοκο δίκτυο όσο το LSTM.

### 6.2.4 Μέθοδοι βελτιστοποίησης

Ο κάθε ασθενής στην καθημερινότητα του προσπαθεί να προλαμβάνει τα περιστατικά υπεργλυκαιμίας και υπογλυκαιμίας παρακολουθώντας τις τιμές της γλυκόζης στο αίμα και λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα (π.χ. έγχυση ινσουλίνης, διατροφή, κλπ.) για να κρατήσει τις κρατήσεις σε φυσιολογικά επίπεδα. Σε κάθε περίπτωση, υπεργλυκαιμίες και υπογλυκαιμίες συμβαίνουν στην καθημερινότητα του ασθενή με τις πρώτες να είναι πιο συχνές από τις δεύτερες. Αυτό εξηγεί τον λόγο για τον οποίο τα δεδομένα που έχουμε στην διάθεσή μας είναι μη ισορροπημένα. Πιο συγκεκριμένα, στον παρακάτω Πίνακα 6.3 φαίνεται η αναλογία των δεδομένων για κάθε ένα από τα διαφορετικά σενάρια που εξετάσαμε ενδεικτικά για τον κάθε ασθενή για την περίπτωση της υπεργλυκαιμίας ενώ στον Πίνακα 6.4 για την περίπτωση της υπογλυκαιμίας.

Πίνακας 6.3: Ποσοστά Υπεργλυκαιμίας στους 12 ασθενείς

| Hyperglycemia Classification |   |          |        |        |
|------------------------------|---|----------|--------|--------|
|                              |   | 30 λεπτά | 1 ώρα  | 2 ώρες |
| Patient1                     | 0 | 72.29%   | 62.97% | 47.03% |
|                              | 1 | 27.71%   | 37.03% | 52.97% |

|          |   |        |        |        |
|----------|---|--------|--------|--------|
| Patient2 | 0 | 62.35% | 52.69% | 36.41% |
|          | 1 | 37.65% | 47.31% | 63.59% |
| Patient3 | 0 | 86.29% | 81.49% | 72.36% |
|          | 1 | 13.71% | 18.51% | 27.64% |
| Patient4 | 0 | 80.66% | 76.28% | 68.91% |
|          | 1 | 19.34% | 23.72% | 31.09% |
| Patient5 | 0 | 86.73% | 83.14% | 75.58% |
|          | 1 | 13.27% | 16.86% | 24.42% |
| Patient6 | 0 | 98.75% | 97.99% | 96.45% |
|          | 1 | 1.25%  | 2.01%  | 3.55%  |
| Patient7 | 0 | 72.07% | 67.40% | 59.27% |
|          | 1 | 27.93% | 32.60% | 40.73% |
| Patient8 | 0 | 92.88% | 90.44% | 86.28% |
|          | 1 | 7.12%  | 9.56%  | 13.72% |
| Patient9 | 0 | 71.47% | 63.14% | 50.41% |
|          | 1 | 28.53% | 36.86% | 49.59% |

Πίνακας 6.4: Ποσοστά Υπογλυκαιμίας στους 12 ασθενείς

| Hypoglycemia Classification |   |          |        |        |
|-----------------------------|---|----------|--------|--------|
|                             |   | 30 λεπτά | 1 ώρα  | 2 ώρες |
| Patient1                    | 0 | 95.84%   | 91.57% | 83.57% |
|                             | 1 | 4.16%    | 8.43%  | 16.43% |
| Patient2                    | 0 | 98.11%   | 96.84% | 94.87% |
|                             | 1 | 1.89%    | 3.16%  | 5.13%  |
| Patient3                    | 0 | 99.43%   | 98.10% | 95.95% |
|                             | 1 | 0.57%    | 1.90%  | 4.05%  |
| Patient4                    | 0 | 95.72%   | 93.07% | 87.80% |
|                             | 1 | 4.28%    | 6.93%  | 12.20% |
| Patient5                    | 0 | 92.30%   | 87.69% | 79.59% |
|                             | 1 | 7.70%    | 12.31% | 20.41% |
| Patient6                    | 0 | 98.93%   | 98.18% | 96.64% |
|                             | 1 | 1.07%    | 1.82%  | 3.36%  |
| Patient7                    | 0 | 96.55%   | 93.29% | 88.97% |
|                             | 1 | 3.45%    | 6.71%  | 11.03% |
| Patient8                    | 0 | 99.47%   | 98.80% | 97.38% |
|                             | 1 | 0.53%    | 1.20%  | 2.62%  |
| Patient9                    | 0 | 96.74%   | 93.87% | 88.03% |
|                             | 1 | 3.26%    | 6.13%  | 11.97% |

Μη ισορροπημένα δεδομένα προκαλούν προβλήματα στην εκπαίδευση και έχουν ως αποτέλεσμα το εκπαιδευόμενο μοντέλο να μην μαθαίνει να ταξινομεί σε ικανοποι-

ητικό βαθμό τα δεδομένα εισόδου και άρα οι προβλέψεις που γίνονται, και συγκεκριμένα εκείνες που ανήκουν στην μικρή κλάση, δεν γίνονται αποδοτικά. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήσαμε μερικές τεχνικές υποδειγματοληψίας και υπερδειγματοληψίας για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος, καθώς και εκπαίδευση με εκτίμηση κόστους. Πιο συγκεκριμένα, εξετάσαμε 4 είδη υποδειγματοληψίας (τυχαία υποδειγματοληψία, Near Miss 1, Near Miss 2, Near Miss 3) και 3 είδη υπερδειγματοληψίας (τυχαία υπερδειγματοληψία, SMOTE, Borderline SMOTE). Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την αντιμετώπιση του προβλήματος των μη ισορροπημένων δεδομένων και τις τεχνικές που εφαρμόστηκαν, παρέχονται στην ενότητα 3.4.

# Κεφάλαιο 7

## Αποτελέσματα – Συζήτηση

Για την διευκόλυνση της ανάγνωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τα αποτελέσματα αναφορικά με την εκπαίδευση και αξιολόγηση για το σύνολο των ασθενών που εξετάστηκαν, παρατίθενται στα Παραρτήματα Α και Β. Πιο συγκεκριμένα, στο Παράρτημα Α, γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων αναφορικά με την εκπαίδευση στην περίπτωση της υπεργλυκαιμίας, ενώ στο Παράρτημα Β γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων αναφορικά με την εκπαίδευση της υπογλυκαιμίας. Η οργάνωση των αποτελεσμάτων, τόσο στο Παράρτημα Α όσο και στο Παράρτημα Β γίνεται σε πίνακες αναφορικά με τον κάθε ασθενή. Έτσι, για κάθε ασθενή παρατίθενται 4 πίνακες συνολικά, ο πρώτος αντιστοιχεί στα αποτελέσματα της εκπαίδευσης για κάθε έναν από τους ορίζοντες πρόβλεψης και οι υπόλοιποι 3 είναι για τα αποτελέσματα του t-test για κάθε ένα από τους 3 ορίζοντες πρόβλεψης αντίστοιχα. Στην παρούσα ενότητα γίνεται λεπτομερής ανάλυση των αποτελεσμάτων του πρώτου ασθενή και παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν.

### 7.1 Αξιολόγηση Μοντέλων

Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενη ενότητα η εφαρμογή του εκάστοτε μοντέλου εκπαίδευσης γίνεται εξατομικευμένα για τον κάθε ασθενή. Τα δεδομένα του κάθε ασθενούς που έχουμε στην διάθεσή μας υπόκεινται στην ίδια επεξεργασία και ένα σύνολο από δεδομένα εκπαίδευσης δημιουργείται για τον κάθε ασθενή ξεχωριστά.

Στην συνέχεια αυτής της παραγράφου παρουσιάζουμε ξεχωριστά για τις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις της υπεργλυκαιμίας και της υπογλυκαιμίας, την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την ανάδειξη τόσο του καλύτερου μοντέλου (αναφορικά με την τεχνική διαχείρισης μη ισορροπημένων δεδομένων που χρησιμοποιείται) όσο και της καταλληλότητάς του για το συγκεκριμένο πρόβλημα κατηγοριοποίησης. Για πρακτικούς λόγους παρουσιάζονται με λεπτομέρεια τα αποτελέσματα που αφορούν τον 1ο από τους 9 συνολικά εξεταζόμενους ασθενείς, καθώς η αξιολόγηση για τους υπόλοιπους ασθενείς μπορεί εύκολα να ακολουθήσει την ίδια συλλογιστική πορεία (τα αποτελέσματα εκπαίδευσης και αξιολόγησης για όλους τους ασθενείς υπό μελέτη πα-

ρατίθενται στα παραρτήματα Α και Β). Επιπλέον παρουσιάζονται ορισμένα γενικά συμπεράσματα που παρατηρήθηκαν και έχουν καθολική εφαρμογή για όλους τους ασθενείς.

## Υπεργλυκαιμία

### Ασθενής 1

Στους επόμενους Πίνακες (Πίνακας 7.1, Πίνακας 7.2, Πίνακας 7.3) μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα των μετρικών αξιολόγησης που εξετάζονται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για τις τρεις εξεταζόμενες περιπτώσεις για τιμές ορίζοντα πρόβλεψης ίσες με 6, 12, 24 (30 λεπτά, 1 ώρα, και 2 ώρες αντίστοιχα). Οι μετρικές οι οποίες μας ενδιαφέρουν περισσότερο και θα αναδείξουν το καλύτερο μοντέλο για τον δεδομένο ασθενή είναι οι F1-score και AUC. Δεδομένου ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης είναι μη ισορροπημένα, η μετρική της ακρίβειας δεν μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για την απόδοση του μοντέλου. Αντιθέτως, η τιμή F1-score μας δίνει πληροφορίες σχετικά με τις θετικές προβλέψεις (στην προκειμένη περίπτωση υπεργλυκαιμίες) και έχουμε ότι όσο πιο κοντά είναι η συγκεκριμένη τιμή στο 1 τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη. Επιπλέον, στους παρουσιαζόμενους πίνακες χρωματίζεται με κόκκινο χρώμα η καλύτερη τιμή που υπολογίστηκε ανάμεσα στα διαφορετικά μοντέλα για την κάθε μία από τις μετρικές.

Πίνακας 7.1: Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπεργλυκαιμία

|              |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|--------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| classic 0    | mean | 88.391%  | 0.833     | 0.731  | 0.775    | 0.936 |
|              | std  | 1.532%   | 0.031     | 0.084  | 0.040    | 0.008 |
| classic 0.2  | mean | 83.229%  | 0.857     | 0.479  | 0.610    | 0.925 |
|              | std  | 1.276%   | 0.052     | 0.066  | 0.049    | 0.009 |
| under random | mean | 82.133%  | 0.736     | 0.698  | 0.657    | 0.903 |
|              | std  | 3.272%   | 0.149     | 0.248  | 0.139    | 0.018 |
| Near Miss 1  | mean | 83.896%  | 0.688     | 0.810  | 0.739    | 0.898 |
|              | std  | 3.858%   | 0.077     | 0.045  | 0.034    | 0.016 |
| Near Miss 2  | mean | 83.564%  | 0.676     | 0.810  | 0.731    | 0.907 |
|              | std  | 1.388%   | 0.049     | 0.095  | 0.023    | 0.006 |
| Near Miss 3  | mean | 85.283%  | 0.799     | 0.629  | 0.700    | 0.907 |
|              | std  | 2.349%   | 0.048     | 0.097  | 0.064    | 0.016 |
| over random  | mean | 86.910%  | 0.723     | 0.864  | 0.786    | 0.927 |
|              | std  | 2.328%   | 0.048     | 0.033  | 0.032    | 0.013 |
| SMOTE        | mean | 82.988%  | 0.652     | 0.876  | 0.743    | 0.920 |
|              | std  | 3.150%   | 0.061     | 0.062  | 0.022    | 0.013 |
|              | mean | 83.134%  | 0.643     | 0.907  | 0.750    | 0.928 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
| BSMOTE         | std  | 2.639% | 0.048 | 0.044 | 0.025 | 0.012 |
| Cost Sensitive | mean | 85.380 | 0.720 | 0.797 | 0.750 | 0.917 |
|                | std  | 1.033  | 0.051 | 0.087 | 0.015 | 0.009 |

Πίνακας 7.2: Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπεργλυκαιμία

|                |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|----------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| classic 0      | mean | 80.610%  | 0.790     | 0.658  | 0.713    | 0.840 |
|                | std  | 1.944%   | 0.050     | 0.086  | 0.044    | 0.023 |
| classic 0.2    | mean | 76.393%  | 0.841     | 0.446  | 0.582    | 0.822 |
|                | std  | 2.222%   | 0.036     | 0.055  | 0.054    | 0.018 |
| under random   | mean | 73.048%  | 0.623     | 0.741  | 0.668    | 0.816 |
|                | std  | 1.695%   | 0.051     | 0.113  | 0.025    | 0.027 |
| Near Miss 1    | mean | 77.555%  | 0.721     | 0.682  | 0.690    | 0.828 |
|                | std  | 2.383%   | 0.077     | 0.102  | 0.032    | 0.021 |
| Near Miss 2    | mean | 77.460%  | 0.684     | 0.737  | 0.708    | 0.828 |
|                | std  | 2.733%   | 0.047     | 0.052  | 0.033    | 0.016 |
| Near Miss 3    | mean | 77.460%  | 0.684     | 0.737  | 0.708    | 0.828 |
|                | std  | 2.733%   | 0.047     | 0.052  | 0.033    | 0.016 |
| over random    | mean | 77.846%  | 0.696     | 0.721  | 0.707    | 0.826 |
|                | std  | 2.974%   | 0.046     | 0.054  | 0.037    | 0.023 |
| SMOTE          | mean | 76.880%  | 0.688     | 0.720  | 0.695    | 0.820 |
|                | std  | 3.169%   | 0.062     | 0.100  | 0.045    | 0.028 |
| BSMOTE         | mean | 76.005%  | 0.650     | 0.778  | 0.706    | 0.833 |
|                | std  | 2.559%   | 0.042     | 0.061  | 0.030    | 0.020 |
| Cost Sensitive | mean | 77.122   | 0.704     | 0.698  | 0.691    | 0.817 |
|                | std  | 3.141    | 0.071     | 0.103  | 0.045    | 0.023 |

Πίνακας 7.3: Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία

|              |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|--------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| classic 0    | mean | 68.648%  | 0.746     | 0.635  | 0.681    | 0.754 |
|              | std  | 2.163%   | 0.060     | 0.058  | 0.020    | 0.022 |
| classic 0.2  | mean | 68.049%  | 0.723     | 0.668  | 0.681    | 0.749 |
|              | std  | 2.164%   | 0.050     | 0.135  | 0.070    | 0.017 |
| under random | mean | 69.095%  | 0.757     | 0.615  | 0.677    | 0.756 |
|              | std  | 2.572%   | 0.029     | 0.051  | 0.034    | 0.019 |
|              | mean | 69.245%  | 0.734     | 0.666  | 0.694    | 0.757 |

|                |      |         |       |       |       |       |
|----------------|------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Near Miss 1    | std  | 2.545%  | 0.036 | 0.077 | 0.039 | 0.020 |
|                | mean | 68.647% | 0.750 | 0.637 | 0.679 | 0.750 |
| Near Miss 2    | std  | 1.471%  | 0.065 | 0.102 | 0.043 | 0.015 |
|                | mean | 69.544% | 0.797 | 0.576 | 0.666 | 0.760 |
| Near Miss 3    | std  | 2.160%  | 0.047 | 0.051 | 0.031 | 0.015 |
|                | mean | 69.545% | 0.731 | 0.676 | 0.701 | 0.759 |
| over random    | std  | 1.711%  | 0.030 | 0.028 | 0.015 | 0.020 |
|                | mean | 68.048% | 0.699 | 0.701 | 0.699 | 0.749 |
| SMOTE          | std  | 1.494%  | 0.026 | 0.034 | 0.014 | 0.016 |
|                | mean | 68.397% | 0.798 | 0.552 | 0.647 | 0.759 |
| BSMOTE         | std  | 0.727%  | 0.056 | 0.073 | 0.034 | 0.014 |
|                | mean | 68.646  | 0.785 | 0.564 | 0.655 | 0.751 |
| Cost Sensitive | std  | 1.545   | 0.021 | 0.046 | 0.028 | 0.015 |

Με βάση τα παραπάνω, στην περίπτωση του 1ου ασθενή, και συγκεκριμένα για prediction horizon 6, παρατηρούμε πως η καλύτερη τιμή για το F1-score και το AUC είναι 0.786 και 0.936 αντίστοιχα. Ωστόσο, οι τιμές αυτές δεν ανήκουν και οι δύο στο ίδιο μοντέλο εκπαίδευσης αλλά στα Classic με dropout = 0 (F1-score = 0.775 και AUC = 0.936) και Random Oversampling (F1-score = 0.786 και AUC = 0.927), όπου και παρατηρούμε ότι οι τιμές για τις 2 μετρικές είναι πολύ κοντά και άρα μπορούμε να πούμε πως έχουμε παρόμοια τελική απόδοση. Σε κάθε περίπτωση, για να αποφανθούμε για το ποιο μοντέλο είναι τελικά καλύτερο πρέπει να δούμε και τα αποτελέσματα του ttest για τους διάφορους συνδυασμούς μοντέλων. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 7.4 και Πίνακας 7.5) βλέπουμε τα αποτελέσματα του ttest, που αντιστοιχούν στον 1ο ασθενή, για τις δύο μετρικές που λαμβάνουμε υπόψιν με σκοπό την επιλογή του καλύτερου μοντέλου. Με κόκκινα γράμματα είναι σημειωμένες οι τιμές που είναι μικρότερες του 0.05 και άρα δείχνουν στατιστική ανεξαρτησία. Βλέπουμε ότι για τον συνδυασμό που εξετάζουμε (κλασικό μοντέλο με dropout = 0 και Random Oversampling), αν και υπάρχει στατιστική ανεξαρτησία για την μετρική AUC, δεν ισχύει το ίδιο και για την μετρική F1-score. Επίσης παρατηρούμε ότι για πολλούς συνδυασμούς μοντέλων, τόσο για το AUC όσο και για το F1-score δεν μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση (null hypothesis) και άρα επί του συνόλου δεν είναι ξεκάθαρο ποιο μοντέλο είναι καλύτερο, παρά το γεγονός ότι από μία πρώτη επαφή φαίνονται σημαντικές διαφορές στις τιμές της εκάστοτε μετρικής. Σε κάθε περίπτωση όμως μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι μετρικές αξιολόγησης κατά μήκος των διαφορετικών μοντέλων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με μικρές αποκλίσεις. Αυτό άλλωστε ήταν και αναμενόμενο δεδομένου ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης ήταν μεν μη ισορροπημένα αλλά με ποσοστό της θετικής κλάσης 27.71% δεν έχουμε ισχυρή ανισορροπία.

Προχωρώντας στην περίπτωση του prediction horizon 12 μπορούμε να παρατηρήσουμε πως τα καλύτερα αποτελέσματα για τις μετρικές ενδιαφέροντος συμπίπτουν για την περίπτωση του κλασικού μοντέλου με dropout = 0 και συγκεκριμένα πε-

τυχαίνουμε  $F1\text{-score} = 0.713$  και  $AUC = 0.840$ . Από τους Πίνακες 7.6 και 7.7 με τα  $t$ -test αποτελέσματα παρατηρούμε ότι και πάλι δεν έχουμε στατιστική ανεξαρτησία για όλους τους συνδυασμούς μοντέλων. Το ίδιο συμβαίνει και στην προσπάθεια σύγκρισης του μοντέλου Classic με dropout = 0 με κάθε ένα από τα υπόλοιπα μοντέλα οπότε αν και έχουμε στατιστική ανεξαρτησία με πολλά από τα άλλα μοντέλα αυτό δεν συμβαίνει με όλα. Τέλος, για την περίπτωση του prediction horizon 24, μπορούμε πλέον να θεωρήσουμε άξια προς μελέτη και την μετρική της ακρίβειας καθώς η αναλογία μεταξύ των δύο κλάσεων είναι σε ποσοστά 52.97% για την θετική κλάση και 47.03% για την αρνητική κλάση. Έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα να δίνουν στις μετρικές Accuracy, AUC και F1-score τις τιμές 69.55%, 0.76 και 0.701, αντίστοιχα. Οι δύο πρώτες αντιστοιχούν στο μοντέλο Random Oversampling ενώ η τελευταία σε αυτό του Near Miss 3. Ωστόσο από τους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 7.8, Πίνακας 7.9, Πίνακας 7.10, παρατηρούμε ότι α) για την μετρική AUC, για τα δύο μοντέλα, δεν έχουμε στατιστική ανεξαρτησία και οι τιμές είναι πολύ κοντινές (0.76 για Near Miss 3 και 0.759 για Random Oversampling), β) για την μετρική Accuracy, για τα δύο μοντέλα, δεν έχουμε στατιστική ανεξαρτησία και οι τιμές είναι πολύ κοντινές (66.54% για Near Miss 3 και 69.55% για Random Oversampling), γ) για την περίπτωση της μετρικής F1-score έχουμε τιμή p value πολύ κοντά στην στατιστική ανεξαρτησία μεταξύ των δύο μοντέλων και η τιμή για το Random Oversampling είναι πολύ καλύτερη (0.701 έναντι 0.666 που είναι για το Near Miss 1) με αποτέλεσμα να μπορούμε να αποφανθούμε ότι το καλύτερο μοντέλο για την εξεταζόμενη περίπτωση είναι το Random Oversampling.

Ωστόσο η συγκεκριμένη παρατήρηση έρχεται σε αντίθεση με το γεγονός ότι εφόσον πλέον τα δεδομένα μας θεωρούνται ισορροπημένα, οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την διαχείριση των μη ισορροπημένων δεδομένων δεν θα έπρεπε να παρουσιάζουν διαφορές με την κλασική περίπτωση. Αν παρατηρήσουμε με λεπτομέρεια τα αποτελέσματα είναι εύκολο να παρατηρήσουμε ότι οι τιμές κατά μήκος όλων των μετρικών είναι πολύ κοντινές και άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι πέφτουν μέσα στα όρια των διαφορών που επιτρέπονται λόγω του μικρού βαθμού τυχαιότητας που υπάρχει κατά την εκπαίδευση του μοντέλου (για παράδειγμα κατά της αρχικοποίηση των βαρών εκπαίδευσης αυτή γίνεται τυχαία). Το εγχείρημα αυτό ενισχύεται και από τα αποτελέσματα του  $t$ -test όπου και δεν επιβεβαιώνεται η στατιστική ανεξαρτησία.

### Γενικά Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα όλων των ασθενών για την περίπτωση της υπεργλυκαιμίας, μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποιους βασικούς κανόνες που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά του κάθε μοντέλου γενικά. Για την υποστήριξη των γενικών συμπερασμάτων παραθέτουμε στις Εικόνες ??, ??, ??, με την μορφή ραβδογράμματος, τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων κατά μήκος όλων των ασθενών για τις μετρικές F1-score και AUC.

Αρχικά, προσθέτοντας dropout στο κλασικό μοντέλο παρατηρούμε σε κάθε μία από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις ότι δεν έχουμε καθόλου βελτίωση σε καμία από τις μετρικές που υπολογίζουμε και άρα μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι



Πίνακας 7.4: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτά - Υπεργλυκαιμία

| AUC                   | classic 0 | classic 0.2 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|-------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.0265    | -           | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.0248    | 0.0271      | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.027     | 0.08        | 0.7369       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.0025    | 0.0026      | 0.6084       | 0.4198  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.0432    | 0.11        | 0.6861       | 0.3482  | 0.9599  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.037     | 0.6302      | 0.0568       | 0.0877  | 0.0347  | 0.1683  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.0807    | 0.382       | 0.0087       | 0.1331  | 0.0785  | 0.277   | 0.3461      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.3382    | 0.502       | 0.0103       | 0.0536  | 0.0048  | 0.0232  | 0.9038      | 0.2653     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.0029    | 0.0152      | 0.13891      | 0.1604  | 0.042   | 0.279   | 0.07788     | 0.583      | 0.09004     |

Πίνακας 7.5: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτά - Υπεργλυκαιμία

| F1-score              | classic 0 | classic 0.2 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|-------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.0073    | -           | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.1387    | 0.4767      | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.3854    | 0.0173      | 0.3558       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.1256    | 0.0129      | 0.359        | 0.6994  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.2039    | 0.1159      | 0.6491       | 0.1053  | 0.3302  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.3936    | 0.0013      | 0.0907       | 0.2192  | 0.0587  | 0.1346  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.3297    | 0.0119      | 0.3448       | 0.7907  | 0.5206  | 0.1989  | 0.1735      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.4236    | 0.007       | 0.2433       | 0.4993  | 0.122   | 0.0951  | 0.1982      | 0.6828     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.2996    | 0.0038      | 0.22296      | 0.5909  | 0.097   | 0.176   | 0.08055     | 0.6678     | 0.97861     |

Πίνακας 7.6: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρα - Υπεργλυκαιμία

| AUC                   | classic 0 | classic 0.2 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|-------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.0191    | -           | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.0154    | 0.2884      | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.0505    | 0.1864      | 0.0916       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.0099    | 0.0478      | 0.5354       | 0.0629  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.1659    | 0.1867      | 0.1877       | 0.9771  | 0.0357  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.004     | 0.3407      | 0.1167       | 0.4971  | 0.0689  | 0.7429  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.0177    | 0.7814      | 0.2203       | 0.3178  | 0.2977  | 0.4423  | 0.3435      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.2083    | 0.1344      | 0.0763       | 0.4168  | 0.0434  | 0.5379  | 0.2942      | 0.136      | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.0061    | 0.3594      | 0.82984      | 0.1909  | 0.21    | 0.249   | 0.15147     | 0.5661     | 0.10648     |

το μοντέλο προς εκπαίδευση δεν πάσχει από το φαινόμενο της υπερπροσαρμογής. Τα κακά αποτελέσματα του μοντέλου οφείλονται στο γεγονός της ανισορροπίας των δεδομένων. Κατά γενική βάση, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι με την μέθοδο του Undersampling δεν καταφέρνουμε καλύτερα αποτελέσματα στις μετρικές μας. Από μία άποψη αυτό είναι αναμενόμενο και αποδεκτό δεδομένου ότι το πρόβλημα της αξιολόγησης εμφάνισης υπεργλυκαιμίας βάσει προηγούμενων τιμών γλυκόζης είναι περίπλοκο και τα λίγα δεδομένα στην θετική κλάση ακόμη και αν αυτά είναι σε ίση

Πίνακας 7.7: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρα - Υπεργλυκαιμία

| <i>F1-score</i>       | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.0272    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.0518    | 0.0188     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.0491    | 0.0333     | 0.1397       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.0398    | 0.048      | 0.6517       | 0.1147  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.4893    | 0.0236     | 0.0396       | 0.0145  | 0.0313  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.5674    | 0.0137     | 0.011        | 0.1279  | 0.023   | 0.9296  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.0724    | 0.0272     | 0.1013       | 0.6546  | 0.1176  | 0.2978  | 0.115       | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.5693    | 0.0278     | 0.0705       | 0.0473  | 0.0402  | 0.783   | 0.9374      | 0.5417     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.1381    | 0.0266     | 0.14983      | 0.9832  | 0.136   | 0.298   | 0.0405      | 0.5897     | 0.40823     |

Πίνακας 7.8: Αποτελέσματα ttest για την μετρική Accuracy για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία

| <i>Accuracy</i>       | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.1536    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.704     | 0.4155     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.3821    | 0.2156     | 0.8359       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.9995    | 0.6504     | 0.687        | 0.6271  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.4696    | 0.2072     | 0.6673       | 0.7909  | 0.5597  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.2051    | 0.1177     | 0.5639       | 0.5287  | 0.3618  | 0.9993  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.5152    | 0.999      | 0.4265       | 0.3108  | 0.6538  | 0.0504  | 0.1057      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.7921    | 0.7274     | 0.5818       | 0.4565  | 0.7886  | 0.2676  | 0.13        | 0.5435     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.9985    | 0.5059     | 0.62461      | 0.4259  | 0.999   | 0.221   | 0.04488     | 0.2894     | 0.62191     |

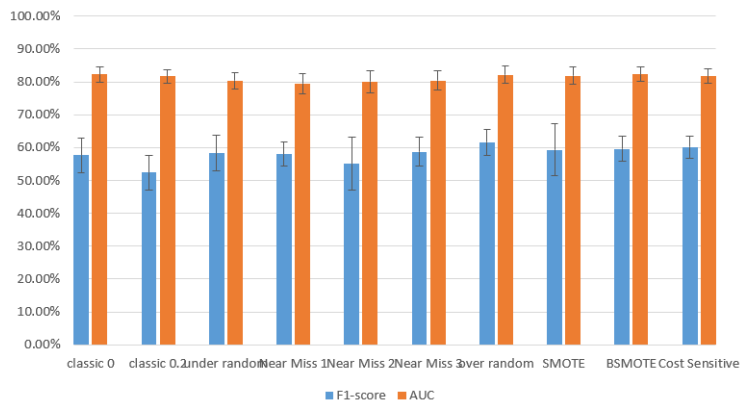
Πίνακας 7.9: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία

| <i>AUC</i>            | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.2799    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.3705    | 0.041      | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.4113    | 0.0673     | 0.8651       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.6055    | 0.68       | 0.3229       | 0.1247  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.2347    | 0.0537     | 0.3311       | 0.4852  | 0.0717  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.0411    | 0.0535     | 0.4144       | 0.5898  | 0.1252  | 0.7482  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.223     | 0.8565     | 0.0594       | 0.0981  | 0.7425  | 0.0166  | 0.0057      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.3199    | 0.0104     | 0.4672       | 0.5629  | 0.0289  | 0.643   | 0.9708      | 0.0158     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.569     | 0.627      | 0.15812      | 0.2986  | 0.933   | 0.006   | 0.05981     | 0.5296     | 0.07398     |

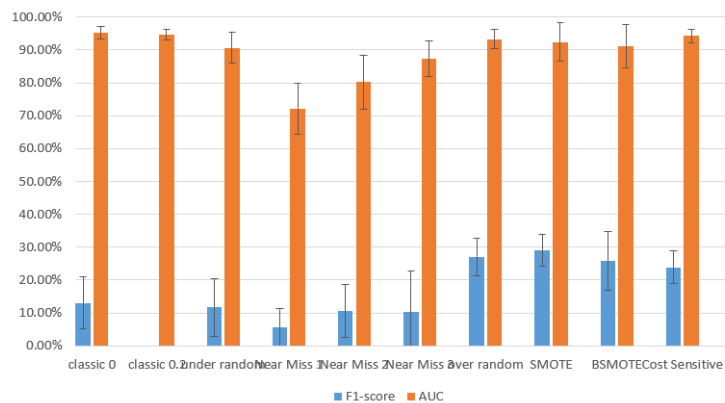
αναλογία με τα αρνητικά δεν μπορούν να είναι κατατοπιστικά για την σωστή εκπαίδευση του μοντέλου. Επιπλέον, με την τεχνική την υποδειματοληψίας έχουμε «αφαίρεση» δεδομένων από την αρνητική κλάση (κλάση πλειοψηφίας) με αποτέλεσμα, αυτά που αφαιρούνται, στην περίπτωση που περιέχουν σημαντική πληροφορία για το μοντέλο, να προκαλέσουν αρνητική επίπτωση. Αντίθετα στην περίπτωση της υπερδειματοληψίας, οπότε και όλα τα δεδομένα της αρνητικής κλάσης συμπεριλαμβάνονται και επιπλέον τα δεδομένα της θετικής κλάσης είτε επαναλαμβάνονται αυτούσια

Πίνακας 7.10: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ώρες - Υπεργλυκαιμία

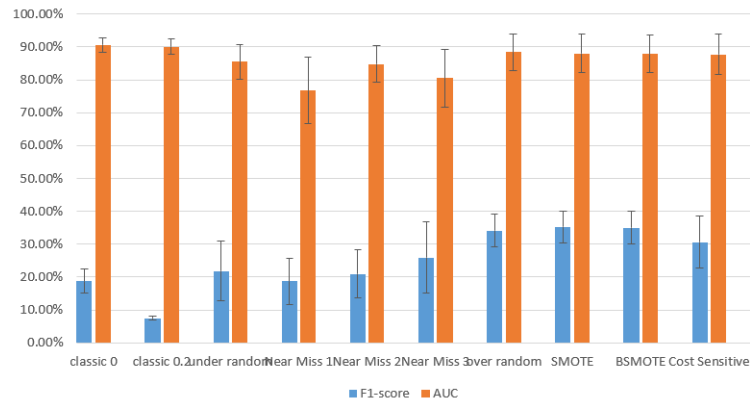
| F1-score              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.9859    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.805     | 0.9057     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.5107    | 0.7209     | 0.373        | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.886     | 0.9636     | 0.9605       | 0.6801  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.5553    | 0.709      | 0.6135       | 0.2949  | 0.7388  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.1508    | 0.5378     | 0.0801       | 0.6715  | 0.433   | 0.0614  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.1813    | 0.595      | 0.1994       | 0.748   | 0.4826  | 0.0838  | 0.6404      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.1904    | 0.4396     | 0.3698       | 0.1097  | 0.3647  | 0.3964  | 0.0544      | 0.031      | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.1928    | 0.3905     | 0.28641      | 0.0596  | 0.491   | 0.516   | 0.01434     | 0.0063     | 0.62278     |



Σχήμα 7.1: Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία



Σχήμα 7.2: Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία



Σχήμα 7.3: Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία

είτε προκύπτουν βάσει κανόνων νέα, που μπορεί να περιέχουν επιπλέον πληροφορία, παρατηρούνται καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος, στην τεχνική εκπαίδευσης κόστους, παρόλο που σε κανέναν ασθενή δεν αναδεικνύεται αυτό ως το καλύτερο μοντέλο, παρατηρούμε πως στις περιπτώσεις που έχουμε ανισορροπία τα αποτελέσματα είναι καλύτερα από την χειρότερη περίπτωση και αρκετά κοντά στην καλύτερη.

Συγκρίνοντας μεταξύ των διαφορετικών prediction horizons που εξετάζονται, παρατηρούμε πως παρόλο που καθώς μεγαλώνει ο ορίζοντας πρόβλεψης και άρα τα ποσοστά μεταξύ των δύο κλάσεων έχουν καλύτερη αναλογία, τα αποτελέσματα των μετρικών ενδιαφέροντος είναι σε ένα βαθμό χειρότερα, γεγονός που υποδεικνύει την ικανότητα του βασικού μοντέλου να κάνει καλύτερα προβλέψεις για το κοντινό μέλλον.

Γενικότερα, επιβεβαιώνεται το αναμενόμενο συμπέρασμα ότι όσο καλύτερη είναι η αναλογία μεταξύ των δύο κλάσεων, τόσο καλύτερα αποτελέσματα έχουμε συνολικά για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα μοντέλα. Επιπλέον, παρατηρώντας την συνδυαστική εικόνα για τους διαφορετικούς ασθενείς μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι παρόλο που στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση και να συμπεράνουμε στατιστική ανεξαρτησία για την απόδειξη του καλύτερου μοντέλου, φαίνεται πως τα μοντέλα Classic με dropout = 0 και Random Oversampling φέρνουν τα καλύτερα αποτελέσματα ή τουλάχιστον αποτελέσματα πολύ κοντά στα καλύτερα αποτελέσματα. Αν και τις περισσότερες φορές και τα αποτελέσματα μεταξύ αυτών των δύο μοντέλων είναι πραγματικά πολύ κοντινά μεταξύ τους, το πιο από τα δύο τελικά θα υπερισχύσει οφείλεται στην αρχική αναλογία μεταξύ των δύο κλάσεων. Αν η αναλογία υποδηλώνει μη ισορροπημένα δεδομένα τότε το Random Oversampling παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα ενώ στην αντίθετη περίπτωση δεν έχουμε συγκεκριμένο κανόνα αφού υπάρχει και ο παράγοντας της τυχαιότητας που αναφέραμε στην περίπτωση του ορίζοντα πρόβλεψης 24 για τον ασθενή 1.

## Υπογλυκαιμία

### Ασθενής 1

Στην περίπτωση της υπογλυκαιμίας βλέπουμε ότι η αναλογία μεταξύ των διαφορετικών κλάσεων υποδηλώνει μεγάλη ανισορροπία με την μικρή κλάση να βρίσκεται σε ποσοστό επί του συνόλου μόλις 4.16% για ορίζοντα πρόβλεψης 6, 8.43% για ορίζοντα πρόβλεψης 12, και 16.43% για ορίζοντα πρόβλεψης 24. Είναι εύκολο λοιπόν να παρατηρήσουμε ότι η καλύτερη αναλογία για την περίπτωση της υπογλυκαιμίας είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή της χειρότερης αναλογίας για την περίπτωση της υπεργλυκαιμίας. Αντίστοιχα, λοιπόν, με την αξιολόγηση των μοντέλων για την υπεργλυκαιμία, θα χρησιμοποιήσουμε τις μετρικές F1-score και AUC για να αποφανθούμε για το καλύτερο μοντέλο στα διαφορετικά μοντέλα εκπαίδευσης στους τρεις εξεταζόμενους ορίζοντες πρόβλεψης. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 7.11, Πίνακας 7.12, και Πίνακας 7.13) βλέπουμε τα αποτελέσματα για την εκπαίδευση των μοντέλων και με κόκκινο χρώμα φαίνεται η καλύτερη τιμή κατά μήκος μία μετρικής.

Πίνακας 7.11: Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία

|                |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|----------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| classic 0      | mean | 95.700%  | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.924 |
|                | std  | 0.209%   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.025 |
| classic 0.2    | mean | 95.843%  | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.913 |
|                | std  | 0.114%   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.034 |
| under random   | mean | 87.060%  | 0.096     | 0.476  | 0.160    | 0.903 |
|                | std  | 7.025%   | 0.079     | 0.395  | 0.130    | 0.024 |
| Near Miss 1    | mean | 70.121%  | 0.028     | 0.400  | 0.052    | 0.841 |
|                | std  | 33.517%  | 0.038     | 0.490  | 0.070    | 0.108 |
| Near Miss 2    | mean | 55.609%  | 0.039     | 0.556  | 0.071    | 0.858 |
|                | std  | 40.569%  | 0.040     | 0.461  | 0.071    | 0.036 |
| Near Miss 3    | mean | 90.826%  | 0.196     | 0.400  | 0.220    | 0.905 |
|                | std  | 5.310%   | 0.128     | 0.331  | 0.131    | 0.024 |
| over random    | mean | 81.657%  | 0.182     | 0.907  | 0.301    | 0.923 |
|                | std  | 5.755%   | 0.036     | 0.109  | 0.050    | 0.032 |
| SMOTE          | mean | 85.287%  | 0.211     | 0.884  | 0.338    | 0.921 |
|                | std  | 3.579%   | 0.033     | 0.124  | 0.045    | 0.024 |
| BSMOTE         | mean | 85.955%  | 0.229     | 0.796  | 0.343    | 0.916 |
|                | std  | 7.388%   | 0.055     | 0.181  | 0.060    | 0.027 |
| Cost Sensitive | mean | 81.561%  | 0.170     | 0.873  | 0.284    | 0.913 |
|                | std  | 2.977%   | 0.020     | 0.121  | 0.031    | 0.024 |

Πίνακας 7.12: Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία

|                |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|----------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| classic 0      | mean | 91.226%  | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.842 |
|                | std  | 0.285%   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.031 |
| classic 0.2    | mean | 91.566%  | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.843 |
|                | std  | 0.091%   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.033 |
| under random   | mean | 71.356%  | 0.200     | 0.714  | 0.304    | 0.818 |
|                | std  | 7.744%   | 0.060     | 0.159  | 0.058    | 0.041 |
| Near Miss 1    | mean | 65.184%  | 0.131     | 0.674  | 0.216    | 0.810 |
|                | std  | 19.235%  | 0.073     | 0.349  | 0.117    | 0.022 |
| Near Miss 2    | mean | 87.446%  | 0.362     | 0.317  | 0.265    | 0.841 |
|                | std  | 3.939%   | 0.156     | 0.205  | 0.102    | 0.030 |
| Near Miss 3    | mean | 87.446%  | 0.362     | 0.317  | 0.265    | 0.841 |
|                | std  | 3.939%   | 0.156     | 0.205  | 0.102    | 0.030 |
| over random    | mean | 72.467%  | 0.213     | 0.828  | 0.339    | 0.858 |
|                | std  | 3.786%   | 0.031     | 0.100  | 0.045    | 0.031 |
| SMOTE          | mean | 73.292%  | 0.214     | 0.805  | 0.338    | 0.839 |
|                | std  | 2.684%   | 0.028     | 0.075  | 0.040    | 0.035 |
| BSMOTE         | mean | 62.836%  | 0.203     | 0.821  | 0.316    | 0.791 |
|                | std  | 27.293%  | 0.062     | 0.145  | 0.084    | 0.115 |
| Cost Sensitive | mean | 70.043%  | 0.205     | 0.769  | 0.316    | 0.831 |
|                | std  | 10.884%  | 0.048     | 0.135  | 0.048    | 0.036 |

Πίνακας 7.13: Ασθενής 1: Αποτελέσματα αξιολόγησης για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία

|              |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|--------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| classic 0    | mean | 83.425%  | 0.400     | 0.009  | 0.018    | 0.753 |
|              | std  | 0.408%   | 0.374     | 0.007  | 0.015    | 0.027 |
| classic 0.2  | mean | 83.575%  | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.744 |
|              | std  | 0.089%   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.014 |
| under random | mean | 64.052%  | 0.282     | 0.751  | 0.408    | 0.731 |
|              | std  | 4.221%   | 0.024     | 0.051  | 0.016    | 0.032 |
| Near Miss 1  | mean | 64.796%  | 0.305     | 0.684  | 0.389    | 0.724 |
|              | std  | 11.659%  | 0.075     | 0.209  | 0.041    | 0.028 |
| Near Miss 2  | mean | 60.810%  | 0.243     | 0.653  | 0.351    | 0.673 |
|              | std  | 4.675%   | 0.010     | 0.128  | 0.025    | 0.016 |
| Near Miss 3  | mean | 72.292%  | 0.343     | 0.620  | 0.429    | 0.746 |
|              | std  | 6.999%   | 0.070     | 0.105  | 0.036    | 0.037 |
|              | mean | 61.657%  | 0.274     | 0.796  | 0.407    | 0.761 |

|                |      |         |       |       |       |       |
|----------------|------|---------|-------|-------|-------|-------|
| over random    | std  | 4.373%  | 0.021 | 0.062 | 0.025 | 0.024 |
| SMOTE          | mean | 62.207% | 0.272 | 0.772 | 0.401 | 0.753 |
|                | std  | 2.489%  | 0.012 | 0.071 | 0.017 | 0.022 |
| BSMOTE         | mean | 64.754% | 0.286 | 0.751 | 0.413 | 0.754 |
|                | std  | 3.967%  | 0.027 | 0.024 | 0.029 | 0.012 |
| Cost Sensitive | mean | 67.694% | 0.220 | 0.593 | 0.321 | 0.719 |
|                | std  | 8.108%  | 0.111 | 0.305 | 0.162 | 0.048 |

Για την περίπτωση του prediction horizon 6, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι καλύτερη τιμή για το AUC έχει το κλασικό μοντέλο με dropout 0 ενώ για το F1-score το μοντέλο με Borderline SMOTE και συγκεκριμένα έχουμε 0.924 και 0.343 αντίστοιχα. Ωστόσο, στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι εύκολο να καταλάβουμε ότι η μηδενική τιμή στο F1-score για το κλασικό μοντέλο με dropout 0 είναι σοβαρός λόγος ώστε να μην θεωρηθεί αξιόλογη η συγκεκριμένη εκπαίδευση. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στο Borderline SMOTE σημειώνεται AUC 0.916 που όχι μόνο είναι πολύ κοντά στην καλύτερη τιμή αλλά και ανάμεσα στις καλύτερες της εξεταζόμενης περίπτωσης γενικά, μας οδηγεί στο συμπέρασμα της υπεροχής του μοντέλου Borderline SMOTE. Επιπλέον, παρατηρώντας τον Πίνακα 7.15 με τα αποτελέσματα του ttest για το AUC, βλέπουμε ότι δεν υπάρχει στατιστική ανεξαρτησία στις περισσότερες περιπτώσεις σύγκρισης και άρα είναι αποδεκτό να αποφανθούμε το παραπάνω. Αντιθέτως, στον Πίνακα 7.16 με τα αποτελέσματα του ttest για το F1-score, παρατηρούμε ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση στους περισσότερους από τους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν το μοντέλο Borderline SMOTE, γεγονός που επιβεβαιώνει τον ισχυρισμό ότι το συγκεκριμένο μοντέλο έχει τα καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι για την περίπτωση του Borderline SMOTE έχουμε και τον καλύτερο συνδυασμό precision και recall γεγονός που υποδηλώνει ότι το καλύτερο F1-score επιτυγχάνεται τόσο με καλή τιμή precision και καλή τιμή recall.

Ένα ακόμη σημείο άξιο σχολιασμού αποτελεί η υψηλή τιμή accuracy που παρατηρείται για το κλασικό μοντέλο με dropout 0 που έρχεται σε αντίθεση με τα υπόλοιπα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τον ισχυρισμό ότι το accuracy δεν είναι η κατάλληλη μετρική για την αξιολόγηση ενός μοντέλου το οποίο βασίζεται σε μη ισορροπημένα δεδομένα. Όπως, λοιπόν, μπορούμε να παρατηρήσουμε, η τιμή του accuracy περίπου 96% αντικατοπτρίζει ακριβώς το ποσοστό αναλογίας της μεγάλης κλάσης (95.84%) αποδεικνύοντας ότι οφείλεται στην σωστή ταξινόμηση των δειγμάτων της αρνητικής κλάσης και μόνο.

Μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει ακόμη σχετίζεται με την υψηλή τιμή του AUC, πάλι για την περίπτωση του κλασικού μοντέλου με dropout 0 που έρχεται σε ισχυρή αντίθεση με την μηδενική τιμή των μετρικών precision, recall, και f1-score. Για να δώσουμε απάντηση στο γιατί παρατηρείται αυτό το παράδοξο αποτέλεσμα αρκεί να εξετάσουμε το βέλτιστο κατώφλι εκπαίδευσης. Δεδομένου ότι η εκπαίδευση πραγματοποιείται με την τεχνική του 5-fold cross validation, θα έχουμε ένα βέλτιστο



κατώφλι για κάθε ένα από τα μοντέλα των 5 folds. Τα 5 βέλτιστα κατώφλια φαίνονται στον Πίνακα 7.14. Μπορούμε, λοιπόν, να παρατηρήσουμε ότι σε όλα τα folds έχουμε πολύ χαμηλές τιμές κατωφλίου και σε συνδυασμό με το ότι το κατώφλι που έχουμε ορίσει κατά την εκπαίδευση βρίσκεται στην τιμή 0.5 εξηγούνται τα αποτελέσματα. Ωστόσο, το να ρίξουμε το κατώφλι διαχωρισμού των δύο κλάσεων σε μία τόσο χαμηλή τιμή για να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα σε μία μόνο συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι ούτε συνετό, ούτε επιθυμητό, καθώς αυτό θα ήταν μία προσωρινή λύση που απλώς βελτιώνει τα συγκεκριμένα αποτελέσματα και όχι την διακριτική ικανότητα του μοντέλου.

Πίνακας 7.14: Βέλτιστα κατώφλια για το κλασικό μοντέλο με dropout 0

|                   | fold #1 | fold #2 | fold #3 | fold #4 | fold #5 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Optimal Threshold | 0.03    | 0.03    | 0.13    | 0.06    | 0.01    |

Προχωρώντας στην περίπτωση της εκπαίδευσης για prediction horizon 12, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως τα καλύτερα αποτελέσματα F1-score και AUC συμπίπτουν για το μοντέλο Random Oversampling και συγκεκριμένα έχουμε 0.339 F1-score και 0.858 AUC. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των πινάκων (Πίνακας 7.17 και Πίνακας 7.18) προκύπτει ότι για την περίπτωση του F2-score, το καλύτερο μοντέλο παρουσιάζει στατιστική ανεξαρτησία με τα περισσότερα εκ των υπολοίπων, γεγονός που δεν συμβαίνει για την περίπτωση του AUC.

Τέλος, για ορίζοντα πρόβλεψης ίσο με 24, τα καλύτερα αποτελέσματα συναντώνται στα μοντέλα Near Miss 3 και Random Oversampling και για ακόμη μία φορά δεν συμπίπτουν στο ίδιο μοντέλο. Συγκεκριμένα, έχουμε συνολικά για το μοντέλο Near Miss 3 F1-score 0.429 και AUC 0.746 ενώ για το μοντέλο Random Oversampling F1-score 0.407 και AUC 0.761. Ωστόσο η μηδενική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί και πάλι σύμφωνα με τους Πίνακες 7.19 και 7.20 και άρα δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε ένα καθολικά καλύτερο μοντέλο με σιγουριά.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρώντας τις διάφορες τιμές AUC βλέπουμε ότι σε γενικές γραμμές κυμαίνονται γύρω από την ίδια τιμή. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι μπορούμε να δούμε στατιστική ανεξαρτησία στους συνδυασμούς των δύο κλασικών μοντέλων με τα όλα τα υπόλοιπα για την μετρική F1-score γεγονός που μας οδηγεί ασφαλώς στο συμπέρασμα ότι η μέθοδοι που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση της ανισορροπίας των δεδομένων υπερδειγματοληψία, υποδειγματοληψία, και μάθηση κόστους) είναι αποτελεσματικές για την καλύτερη πρόβλεψη της πιθανότητα εμφάνισης υπογλυκαιμίας του 1ου ασθενή.

### Γενικά Συμπεράσματα

Προσπαθώντας να μεταφέρουμε τις παρατηρήσεις για τον κάθε ασθενή ξεχωριστά, σε ένα γενικότερο πλαίσιο κανόνων που να ισχύει καθολικά για όλους τους ασθενείς παρουσιάζουμε στις Εικόνες 7.4, 7.5, 7.6 με την μορφή ραβδογράμματος την μέση απόδοση των μοντέλων με τις διαφορετικές τεχνικές βελτιστοποίησης για τα αποτελέσματα των μετρικών F1-score και AUC. Μπορούμε αρχικά να σημειώσουμε ότι το



Πίνακας 7.15: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία

| AUC                   | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.0975    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.1131    | 0.5381     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.226     | 0.3056     | 0.3258       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.0172    | 0.0579     | 0.0055       | 0.7605  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.0822    | 0.5299     | 0.8724       | 0.2719  | 0.0456  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.9237    | 0.4536     | 0.2904       | 0.2197  | 0.0495  | 0.1421  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.5966    | 0.3982     | 0.1968       | 0.2417  | 0.0306  | 0.1411  | 0.7664      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.2348    | 0.7954     | 0.3262       | 0.2491  | 0.032   | 0.165   | 0.2688      | 0.2368     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.007     | 0.9837     | 0.3105       | 0.2831  | 0.0254  | 0.3925  | 0.4053      | 0.174      | 0.7009      |

Πίνακας 7.16: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία

| F1-score              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0</i>      | -         | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>classic 0.2</i>    | 0.0705    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.0705    | 0.0705     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.214     | 0.214      | 0.1954       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.1133    | 0.1133     | 0.2228       | 0.5521  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.0282    | 0.0282     | 0.568        | 0.0467  | 0.021   | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.0003    | 0.0003     | 0.1476       | 0.0002  | 0.003   | 0.25    | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.0001    | 0.0001     | 0.071        | 0.0042  | 0.006   | 0.1821  | 0.4106      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.0003    | 0.0003     | 0.0827       | 0.0012  | 0.0008  | 0.0416  | 0.2424      | 0.9015     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.0001    | 0.0001     | 0.1749       | 0.0035  | 0.0087  | 0.4044  | 0.5493      | 0.0199     | 0.1023      |

Πίνακας 7.17: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία

| AUC                   | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.5751    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.6918    | 0.7061     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.0128    | 0.0127     | 0.2063       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.0271    | 0.0252     | 0.1113       | 0.1148  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.6533    | 0.6241     | 0.6757       | 0.0256  | 0.0303  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.1458    | 0.1963     | 0.9837       | 0.0035  | 0.0153  | 0.1143  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.7813    | 0.7496     | 0.677        | 0.0997  | 0.0335  | 0.8575  | 0.0638      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.309     | 0.2941     | 0.3337       | 0.6944  | 0.6443  | 0.3431  | 0.2048      | 0.3743     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.1791    | 0.1782     | 0.5045       | 0.0816  | 0.0801  | 0.2838  | 0.045       | 0.5814     | 0.3821      |

ποσοστό που αναλογεί στην μικρή κλάση παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των τελικών αποτελεσμάτων. Όσο πιο αυξημένο είναι το ποσοστό της θετικής κλάσης τόσο καλύτερα τα διάφορα μοντέλα μπορούν να μάθουν να παράγουν την επιθυμητή έξοδο και άρα τελικά να έχουμε πιο καλά στατιστικά αποτελέσματα.

Συγκρίνοντας στην συνέχεια τα αποτελέσματα που προκύπτουν όταν μεταβάλλεται ο ορίζοντας πρόβλεψης δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε κάποιο συγκεκριμένο

Πίνακας 7.18: Ασθενής 1: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία

| F1-score              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.1516    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.1516    | 0.1516     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.0206    | 0.0206     | 0.1403       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.0844    | 0.0844     | 0.4281       | 0.1712  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.0065    | 0.0065     | 0.0246       | 0.6282  | 0.1402  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.0001    | 0.0001     | 0.003        | 0.1195  | 0.0123  | 0.1847  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.0001    | 0.0001     | 0.0047       | 0.0947  | 0.011   | 0.2331  | 0.9742      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.0017    | 0.0017     | 0.0132       | 0.2514  | 0.0153  | 0.3155  | 0.4014      | 0.4609     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.0002    | 0.0002     | 0.0067       | 0.2164  | 0.0359  | 0.1558  | 0.4633      | 0.5077     | 0.9964      |

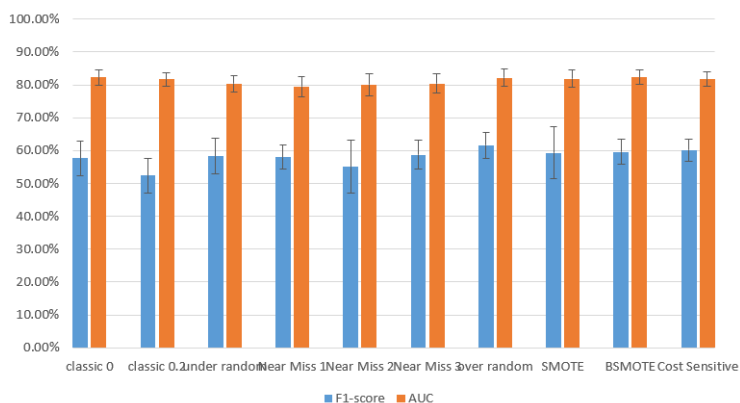
Πίνακας 7.19: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική AUC για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία

| AUC                   | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.3013    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0.1258    | 0.3123     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0.0686    | 0.186      | 0.6789       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0.0119    | 0.003      | 0.0438       | 0.061   | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0.576     | 0.8979     | 0.504        | 0.1228  | 0.0413  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0.5387    | 0.1918     | 0.1145       | 0.0008  | 0.0066  | 0.3132  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0.9789    | 0.1552     | 0.1861       | 0.1158  | 0.004   | 0.6551  | 0.5767      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0.8591    | 0.0205     | 0.1372       | 0.0791  | 0.0021  | 0.6182  | 0.5774      | 0.8295     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.241     | 0.3438     | 0.7034       | 0.8769  | 0.127   | 0.4443  | 0.2737      | 0.1843     | 0.1773      |

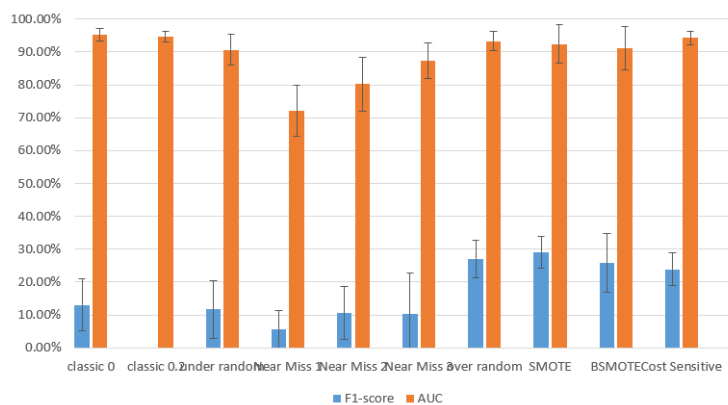
Πίνακας 7.20: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για την μετρική F1-score για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία

| F1-score              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| <i>classic 0.2</i>    | 0.0705    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under random</i>   | 0         | 0          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 1</i>        | 0         | 0          | 0.3175       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 2</i>        | 0         | 0          | 0.0176       | 0.2069  | -       | -       | -           | -          | -           |
| <i>under 3</i>        | 0         | 0          | 0.2443       | 0.133   | 0.0549  | -       | -           | -          | -           |
| <i>over random</i>    | 0         | 0          | 0.8876       | 0.242   | 0.0667  | 0.1727  | -           | -          | -           |
| <i>over smote</i>     | 0         | 0          | 0.5666       | 0.5597  | 0.035   | 0.2036  | 0.7356      | -          | -           |
| <i>over bsmote</i>    | 0         | 0          | 0.7528       | 0.4374  | 0.0427  | 0.4304  | 0.7775      | 0.4029     | -           |
| <i>cost sensitive</i> | 0.0229    | 0.0166     | 0.3734       | 0.5214  | 0.736   | 0.2787  | 0.3859      | 0.3746     | 0.3016      |

κανόνα ο οποίος να υποδεικνύει ότι η συνολική βελτίωση του μοντέλου βελτιώνεται ή όχι. Πιο συγκεκριμένα, για την μετρική F1-score παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα μεταξύ των καλύτερων μοντέλων για τον κάθε ορίζοντα πρόβλεψης όσον αφορά τον εκάστοτε ασθενή και μερικές φορές μάλιστα παρατηρούμε καλύτερες τιμές για μεγαλύτερους ορίζοντες πρόβλεψης γεγονός που οφείλεται σε ένα βαθμό και στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων που ανήκουν στην θετική κλάση. Ωστόσο, για την μετρική του AUC παρατηρούμε κατά βάση μείωση της τιμής της με την αύξηση



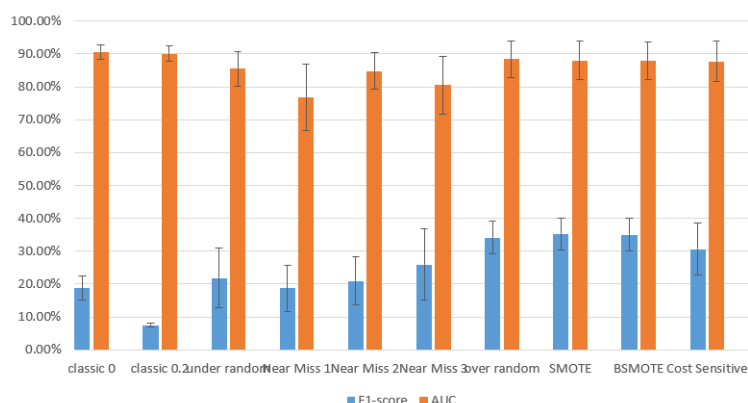
Σχήμα 7.4: Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 30 λεπτών - Υπογλυκαιμία



Σχήμα 7.5: Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 1 ώρας - Υπογλυκαιμία

του ορίζοντα πρόβλεψης.

Τέλος, σε όλο το σύνολο των ασθενών μπορούμε να παρατηρήσουμε πως το κλασικό μοντέλο δεν έχει καθόλου καλή απόδοση και μάλιστα φαίνεται να μην μπορεί να αντιμετωπίσει καθόλου την μην ισορροπία των δεδομένων εισόδου αφού αν όχι σε όλους αλλά στους περισσότερους ασθενείς φαίνεται να μην μπορεί να μάθει να ταξινομεί σωστά την κλάση μειοψηφίας και άρα να εξάγει το συμπέρασμα ότι όλα τα δεδομένα που εισόδου προς αξιολόγηση ανήκουν στην αρνητική κλάση. Η προσθήκη dropout δεν έχει ουσιαστικά αποτελέσματα, όπως είναι και αναμενόμενο, αφού το πρόβλημα δεν οφείλεται σε υπερπροσαρμογή αλλά στο μη ισορροπημένο σύνολο δεδομένων. Οι τεχνικές διαχείρισης των μη ισορροπημένων δεδομένων φαίνονται να προσδίδουν σημαντική βελτίωση στη συνολική εικόνα του μοντέλου και μάλιστα η τεχνική της υπερδεδειγματοληψίας φαίνεται να ξεχωρίζει προσφέροντας τα καλύτερα



Σχήμα 7.6: Μέση απόδοση για όλους τους ασθενείς για ορίζοντα πρόβλεψης 2 ωρών - Υπογλυκαιμία

αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, με την υποδειγματοληψία, έχουμε μεν μία καλύτερη ταξινόμηση από την κλασική περίπτωση αλλά το μικρό ποσοστό δειγμάτων θετικής κλάσης δεν επιτρέπει στο μοντέλο να μάθει αποδοτικά τις αλληλουχίες που οδηγούν σε υπογλυκαιμία. Βέβαια, υπάρχουν και ορισμένες εξαιρέσεις όπου κάποια μέθοδος υποδειγματοληψίας φαίνεται να έχει τα καλύτερα αποτελέσματα αλλά η συγκεκριμένη παρατήρηση συνδέεται με περιπτώσεις που το ποσοστό δειγμάτων της θετικής κλάσης είναι σχετικά υψηλό συγκρίνοντας με τον γενικό κανόνα.

## 7.2 Αποτελέσματα Ερμηνευσιμότητας

Ένα LSTM μοντέλο, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιεί περίπλοκους υπολογισμούς στα εσωτερικά του επίπεδα προκειμένου να καταφέρει να αντιστοιχίσει αποδοτικά την δοσμένη είσοδο με την αναμενόμενη έξοδο με στόχο να μπορέσει να παράγει έναν γενικό κανόνα ο οποίος να μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε πιθανή είσοδο. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες παραγράφους, η κατανόηση αυτών των μηχανισμών είναι σημαντική διαδικασία και ειδικότερα όταν αναφερόμαστε σε μία εφαρμογή στον τομέα υγείας. Στην παράγραφο αυτή θα δούμε τα αποτελέσματα της τεχνική ερμηνευσιμότητας που περιγράφηκε στην ενότητα 6.2.3 καθώς και μία πλατφόρμα ερμηνείας που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας για χρήση αναφορικά με την ανάγνωση των ερμηνειών του μοντέλου.

### 7.2.1 Περιγραφή Αποτελεσμάτων

Το απλό νευρωνικό δίκτυο ενός επιπέδου που χρησιμοποιείται πριν την προώθηση της εισόδου στο LSTM δίκτυο δρα ως ένα μέσο για την κατανόηση της λειτουργία του

LSTM δικτύου. Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενη ενότητα, η έξοδος του απλού νευρωνικού αναπαριστά βάρη τα οποία κατά την εκπαίδευση αναπροσαρμόζονται μέσω των εσωτερικών βαρών του απλού νευρωνικού, τα οποία και εκπαιδεύονται, ώστε τελικά να αναπαριστούν ένα σταθμισμένο διάνυσμα αναφορικά με τις σημαντικότερες χρονικές στιγμές που πρόκειται να διαμορφώσουν την έξοδο του συνολικού δικτύου.

Προκειμένου να αναπαραστήσουμε τα βάρη αυτά με έναν απλό και κατανοητό, ο οποίος να είναι παράλληλα και εύκολα ερμηνεύσιμος από τον άνθρωπο χρησιμοποιήσαμε, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θερμικούς χάρτες. Αυτοί οι θερμικοί χάρτες, παραδείγματα των οποίων θα δούμε στην συνέχεια, θα απεικονίζουν για κάθε ένα από τα δύο χαρακτηριστικά των δεδομένων εισόδου, πόσο σημαντική ήταν η κάθε χρονική στιγμή.

Στην συνέχεια πρόκειται να παρουσιάσουμε, για τον 1ο ασθενή, ενδεικτικά, τους θερμικούς χάρτες που προκύπτουν για μερικά από τα μοντέλα εκπαίδευσης τα οποία εξετάζουμε. Συγκεκριμένα, για κάθε μία από τις περιπτώσεις της υπεργλυκαιμίας και της υπογλυκαιμίας, πρόκειται να παρουσιάσουμε κάποια αποτελέσματα για τις εξής περιπτώσεις:

- Αληθώς θετική περίπτωση
- Ψευδώς αρνητική περίπτωση
- Ψευδώς θετική περίπτωση
- Αληθώς αρνητική περίπτωση

Χρησιμοποιούμε την Εικόνα 7.7 αναφορικά προκειμένου να περιγράψουμε τα βασικά σημεία του θερμικού χάρτη που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για την παρουσίαση της ερμηνευσιμότητας του μοντέλου.

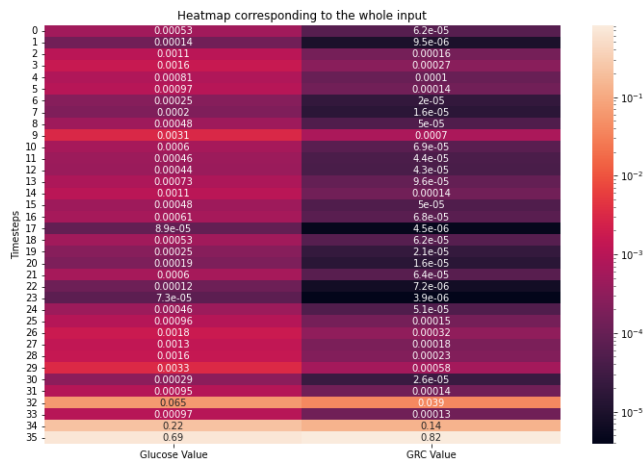
Στην εικόνα παρατηρούμε πως με φωτεινότερα χρώματα παρουσιάζονται οι χρονικές στιγμές με το υψηλότερο βάρος και αντίστοιχα όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα τόσο λιγότερο σημαντική θεωρήθηκε από το μοντέλο η συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Επιπλέον, για κάθε ένα από τα δύο χαρακτηριστικά, έχουμε ότι τα βάρη τα οποία προκύπτουν είναι ανεξάρτητα με αυτά του άλλου και άρα στην κάθετο θα έχουμε άθροισμα 1. Οι τιμές που φαίνονται για στην κάθε χρονική στιγμή για το κάθε χαρακτηριστικό αντιστοιχούν στις τιμές των βαρών που αποδόθηκαν κατά την εκπαίδευση και τοποθετούνται στον θερμικό χάρτη για να διευκολύνουν την κατανόηση και το διάβασμά του. Επιπλέον, πρέπει να αναφέρουμε ότι οι 36 χρονικές στιγμές που φαίνονται αναφέρονται σε διάστημα 3 ωρών πριν από την χρονική στιγμή που σηματοδοτεί την έναρξη του διαστήματος για το οποίο μας ενδιαφέρει να γίνει η πρόβλεψη. Έτσι, η χρονική στιγμή 35 αντιστοιχεί στην πιο πρόσφατη χρονική στιγμή ενώ η χρονική στιγμή 0 στην παλαιότερη.

## Υπεργλυκαιμία

### Ασθενής 1

Στην Εικόνα 7.7, βλέπουμε τα αποτελέσματα του θερμικού χάρτη για την περίπτωση του 1ου ασθενή και συγκεκριμένα για οριζόντια πρόβλεψη ίσο με 6. Επιλέγουμε να παρουσιάσουμε το μοντέλο με την καλύτερη απόδοση, βάσει του πως αυτή ορίζεται στην παράγραφο 7.1, το οποίο αντιστοιχεί στο μοντέλο που εκπαιδεύεται με την τεχνική Random Oversampling. Από τα 5 μοντέλα που έχουμε εκπαιδεύσει μέσω του 5-fold cross validation επιλέγουμε τυχαία ένα για να ερμηνεύσουμε.

Όπως παρατηρούμε για την συγκεκριμένη περίπτωση, σημαντικότερες φαίνονται να είναι οι πιο πρόσφατες χρονικές στιγμές και συγκεκριμένα αυτές που αντιστοιχούν στα χρονικά βήματα 32, 34, 35, με μεγαλύτερη έμφαση στο βήμα 35. Για να δώσουμε μία φυσική ερμηνεία στις παρατηρήσεις μας, παρουσιάζουμε στον Πίνακα 7.21 τις πραγματικές τιμές των χαρακτηριστικών για το δεδομένο εξεταζόμενο δείγμα εισόδου. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι κατά τις χρονικές στιγμές ενδιαφέροντος έχουμε υψηλές τιμές γλυκόζης με ρυθμό μεταβολή θετικό και βάσει αυτών προβλέπεται ότι κατά το επόμενο χρονικό διάστημα θα υπάρχει υπεργλυκαιμία.



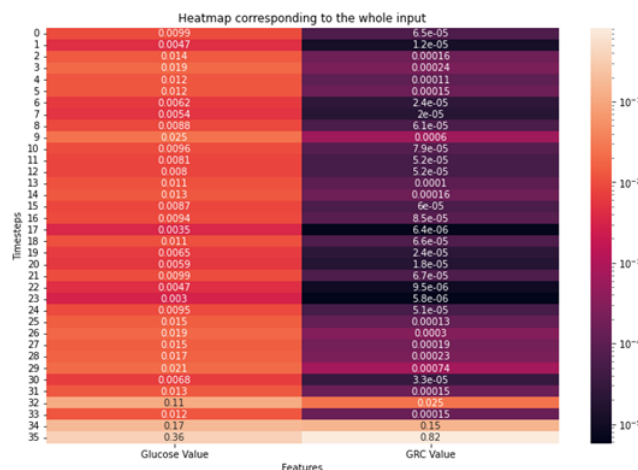
Σχήμα 7.7: Θερμικός χάρτης αληθώς θετικής περίπτωσης - Υπεργλυκαιμία

Πίνακας 7.21: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – Αληθώς θετική περίπτωση - Υπεργλυκαιμία

|   | Glucose Value | GRC Value |    | Glucose Value | GRC Value |
|---|---------------|-----------|----|---------------|-----------|
| 0 | 158           | 0         | 17 | 180           | 0         |
| 1 | 156           | -0.4      | 18 | 180           | 0         |
| 2 | 156           | 0         | 19 | 180           | 0         |
| 3 | 158           | 0.4       | 20 | 180           | 0         |
| 4 | 158           | 0         | 21 | 180           | 0         |
| 5 | 158           | 0         | 22 | 182           | 0.4       |
| 6 | 158           | 0         | 23 | 184           | 0.4       |
| 7 | 158           | 0         | 24 | 186           | 0.4       |

|    |     |     |  |    |     |      |
|----|-----|-----|--|----|-----|------|
| 8  | 158 | 0   |  | 25 | 186 | 0    |
| 9  | 162 | 0.8 |  | 26 | 184 | -0.4 |
| 10 | 166 | 0.8 |  | 27 | 182 | -0.4 |
| 11 | 170 | 0.8 |  | 28 | 180 | -0.4 |
| 12 | 174 | 0.8 |  | 29 | 178 | -0.4 |
| 13 | 178 | 0.8 |  | 30 | 174 | -0.8 |
| 14 | 180 | 0.4 |  | 31 | 172 | -0.4 |
| 15 | 180 | 0   |  | 32 | 170 | -0.4 |
| 16 | 180 | 0   |  | 33 | 170 | 0    |
| 17 | 180 | 0   |  | 34 | 172 | 0.4  |
| 18 | 180 | 0   |  | 35 | 174 | 0.4  |

Στην παρακάτω Εικόνα 7.8, βλέπουμε τα αποτελέσματα μίας θετικής τιμής η οποία όμως προβλέφθηκε ως αρνητική από το μοντέλο. Και πάλι παρατηρούμε τις ίδιες χρονικές στιγμές να θεωρούνται ως οι πιο σημαντικές. Ωστόσο, βλέπουμε μία διαφορετική εικόνα όσον αφορά το κάθε χαρακτηριστικό ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση της τιμής της γλυκόζης βλέπουμε πιο φωτεινά χρώματα σε όλες τις χρονικές στιγμές γεγονός που μεταφράζεται ως ότι όλες θεωρούνται περισσότερο σημαντικές από ότι σε άλλες περιπτώσεις που εξετάζουμε. Αντιθέτως, στο χαρακτηριστικό του ρυθμού μεταβολής, έχουμε κατά βάση πιο σκούρα χρώματα στις χρονικές στιγμές, με εξαίρεση τις 32, 34, 35, οπότε και τα χρώματα είναι πολύ έντονα. Στον Πίνακα 7.22 με τις πραγματικές τιμές των χαρακτηριστικών, βλέπουμε στις χρονικές στιγμές ενδιαφέροντος φυσιολογικές τιμές γλυκόζης με θετικό ρυθμό μεταβολής και αρκετά μεγάλο σε απόλυτη τιμή, γεγονός που υποδηλώνει ραγδαία αύξηση της γλυκόζης. Ωστόσο, η πρόβλεψη γίνεται ως αρνητική.



Σχήμα 7.8: Θερμικός χάρτης ψευδώς αρνητικής περίπτωσης – Υπεργλυκαιμία

Πίνακας 7.22: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς αρνητική περίπτωση - Υπεργλυκαιμία

|    | Glucose Value | GRC Value |    | Glucose Value | GRC Value |
|----|---------------|-----------|----|---------------|-----------|
| 0  | 142           | -0.8      | 18 | 100           | -0.8      |
| 1  | 138           | -0.8      | 19 | 96            | -0.8      |
| 2  | 132           | -1.2      | 20 | 94            | -0.4      |
| 3  | 126           | -1.2      | 21 | 90            | -0.8      |
| 4  | 122           | -0.8      | 22 | 88            | -0.4      |
| 5  | 118           | -0.8      | 23 | 86            | -0.4      |
| 6  | 114           | -0.8      | 24 | 84            | -0.4      |
| 7  | 112           | -0.4      | 25 | 86            | 0.4       |
| 8  | 112           | 0         | 26 | 86            | 0         |
| 9  | 112           | 0         | 27 | 88            | 0.4       |
| 10 | 112           | 0         | 28 | 86            | -0.4      |
| 11 | 112           | 0         | 29 | 88            | 0.4       |
| 12 | 112           | 0         | 30 | 88            | 0         |
| 13 | 112           | 0         | 31 | 90            | 0.4       |
| 14 | 110           | -0.4      | 32 | 90            | 0         |
| 15 | 108           | -0.4      | 33 | 92            | 0.4       |
| 16 | 108           | 0         | 34 | 96            | 0.8       |
| 17 | 104           | -0.8      | 35 | 104           | 1.6       |
| 18 | 180           | 0         | 35 | 174           | 0.4       |

Ενδιαφέρον ωστόσο έχει να παρατηρήσουμε και την περίπτωση που περιγράφεται στην Εικόνα 7.9 και η οποία αντιστοιχεί σε θετική πρόβλεψη που στην πραγματικότητα είναι αρνητική. Παρατηρούμε αντίστοιχα ότι σημαντικότερες χρονικές στιγμές θεωρήθηκαν και πάλι οι 32, 34, και 35. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε υψηλές τιμές γλυκόζης αλλά ταυτόχρονα αρνητικό ρυθμό μεταβολής, γεγονός που υποδηλώνει ότι έχουμε πτώση στην τιμή της γλυκόζης. Ωστόσο, οι υψηλές τιμές γλυκόζης μέχρι τελευταία στιγμή, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.23 ωθούν το μοντέλο να προβλέψει πως υπάρχει υπεργλυκαιμία.

Πίνακας 7.23: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς θετικής περίπτωση - Υπεργλυκαιμία

|   | Glucose Value | GRC Value |    | Glucose Value | GRC Value |
|---|---------------|-----------|----|---------------|-----------|
| 0 | 156           | 1.2       | 18 | 186           | -0.8      |
| 1 | 160           | 0.8       | 19 | 186           | 0         |
| 2 | 162           | 0.4       | 20 | 186           | 0         |
| 3 | 162           | 0         | 21 | 188           | 0.4       |
| 4 | 160           | -0.4      | 22 | 186           | -0.4      |
| 5 | 160           | 0         | 23 | 186           | 0         |



|    |     |      |  |    |     |      |
|----|-----|------|--|----|-----|------|
| 6  | 162 | 0.4  |  | 24 | 188 | 0.4  |
| 7  | 164 | 0.4  |  | 25 | 188 | 0    |
| 8  | 168 | 0.8  |  | 26 | 188 | 0    |
| 9  | 176 | 1.6  |  | 27 | 188 | 0    |
| 10 | 184 | 1.6  |  | 28 | 188 | 0    |
| 11 | 188 | 0.8  |  | 29 | 186 | -0.4 |
| 12 | 192 | 0.8  |  | 30 | 186 | 0    |
| 13 | 194 | 0.4  |  | 31 | 188 | 0.4  |
| 14 | 196 | 0.4  |  | 32 | 186 | -0.4 |
| 15 | 194 | -0.4 |  | 33 | 184 | -0.4 |
| 16 | 192 | -0.4 |  | 34 | 182 | -0.4 |
| 17 | 190 | -0.4 |  | 35 | 182 | 0    |
| 18 | 180 | 0    |  | 35 | 174 | 0.4  |

Τέλος, στην Εικόνα 7.10, βλέπουμε τα αποτελέσματα για την τελευταία περίπτωση όπου έχουμε μία αρνητική τιμή δείγματος και η πρόβλεψη που γίνεται είναι και αυτή αρνητική. Παρατηρούμε τις σημαντικότερες χρονικές στιγμές να είναι οι 32, 34, 35, με πιο σημαντική εξ αυτών την χρονική στιγμή 35. Οι τιμές γλυκόζης είναι λίγο πάνω των φυσιολογικών (Πίνακας 7.24) και έχουμε αρνητικό ρυθμό μεταβολής, γεγονός που υποδεικνύει τάση πτώσης στην τιμή της γλυκόζης. Βάσει αυτών των πληροφοριών, το μοντέλο, προβλέπει ότι δεν θα υπάρχει υπεργλυκαιμία στις επόμενες χρονικές στιγμές για τον δεδομένο ορίζοντα πρόβλεψης.

Πίνακας 7.24: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – αληθώς αρνητική περίπτωση - Υπεργλυκαιμία

|    | Glucose Value | GRC Value |    | Glucose Value | GRC Value |
|----|---------------|-----------|----|---------------|-----------|
| 0  | 162           | 0         | 18 | 178           | 0.8       |
| 1  | 160           | -0.4      | 19 | 180           | 0.4       |
| 2  | 160           | 0         | 20 | 180           | 0         |
| 3  | 160           | 0         | 21 | 180           | 0         |
| 4  | 158           | -0.4      | 22 | 180           | 0         |
| 5  | 158           | 0         | 23 | 180           | 0         |
| 6  | 156           | -0.4      | 24 | 180           | 0         |
| 7  | 156           | 0         | 25 | 180           | 0         |
| 8  | 158           | 0.4       | 26 | 180           | 0         |
| 9  | 158           | 0         | 27 | 182           | 0.4       |
| 10 | 158           | 0         | 28 | 184           | 0.4       |
| 11 | 158           | 0         | 29 | 186           | 0.4       |
| 12 | 158           | 0         | 30 | 186           | 0         |
| 13 | 158           | 0         | 31 | 184           | -0.4      |

|    |     |     |  |    |     |      |
|----|-----|-----|--|----|-----|------|
| 14 | 162 | 0.8 |  | 32 | 182 | -0.4 |
| 15 | 166 | 0.8 |  | 33 | 180 | -0.4 |
| 16 | 170 | 0.8 |  | 34 | 178 | -0.4 |
| 17 | 174 | 0.8 |  | 35 | 174 | -0.8 |
| 18 | 180 | 0   |  | 35 | 174 | 0.4  |

## Υπογλυκαιμία

### Ασθενής 1

Σε πλήρη αντιστοιχία με την περίπτωση της υπεργλυκαιμίας, στην Εικόνα 7.11, παρατίθεται ο θερμικός χάρτης για τον 1ο ασθενή στην περίπτωση που εξετάζεται η πιθανότητα εμφάνισης υπογλυκαιμίας, και συγκεκριμένα για το μοντέλο εκπαίδευσης στο οποίο εφαρμόστηκε η τεχνική Borderline SMOTE. Αρχικά εξετάζουμε τα αποτελέσματα για ένα δείγμα το οποίο έχει θετική τιμή και το μοντέλο προβλέπει για αυτό επίσης θετική τιμή. Από την εικόνα, μπορούμε να παρατηρήσουμε μία βασική διαφορά συγκριτικά με την περίπτωση της υπογλυκαιμίας. Βλέπουμε ότι το μοντέλο διανέμει βάρη στις χρονικές στιγμές με τρόπο ο οποίος υποδεικνύει ότι χρονικές στιγμές που βρίσκονται πίσω στον χρόνο μπορούν να λάβουν σχετικά υψηλά βάρη επίσης.

Βάσει της εικόνας, πιο σημαντικές θεωρούνται οι χρονικές στιγμές 27, 32, 33, 34, οπότε και με βάση τον Πίνακα 7.25, παρατηρούμε ότι ναι μεν έχουμε φυσιολογικές τιμές γλυκόζης, οι οποίες όμως βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το όριο της υπογλυκαιμίας, και ο ρυθμός μεταβολής είναι αρνητικός, γεγονός που υποδηλώνει τάση πτώσης των τιμών γλυκόζης. Το μοντέλο, σε αυτή την περίπτωση, προβλέπει ότι στο επόμενο χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος ο ασθενής υπάρχει πιθανότητα να εμφανίσει υπογλυκαιμία.

Πίνακας 7.25: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – αληθώς θετική περίπτωση - Υπογλυκαιμία

|   | Glucose Value | GRC Value |  | Glucose Value | GRC Value |      |
|---|---------------|-----------|--|---------------|-----------|------|
| 0 | 198           | -0.8      |  | 18            | 158       | -0.8 |
| 1 | 192           | -1.2      |  | 19            | 152       | -1.2 |
| 2 | 188           | -0.8      |  | 20            | 148       | -0.8 |
| 3 | 186           | -0.4      |  | 21            | 144       | -0.8 |
| 4 | 182           | -0.8      |  | 22            | 142       | -0.4 |
| 5 | 180           | -0.4      |  | 23            | 140       | -0.4 |
| 6 | 178           | -0.4      |  | 24            | 140       | 0    |
| 7 | 176           | -0.4      |  | 25            | 140       | 0    |
| 8 | 176           | 0         |  | 26            | 138       | -0.4 |
| 9 | 172           | -0.8      |  | 27            | 136       | -0.4 |

|    |     |      |  |    |     |      |
|----|-----|------|--|----|-----|------|
| 10 | 170 | -0.4 |  | 28 | 130 | -1.2 |
| 11 | 168 | -0.4 |  | 29 | 124 | -1.2 |
| 12 | 168 | 0    |  | 30 | 118 | -1.2 |
| 13 | 168 | 0    |  | 31 | 110 | -1.6 |
| 14 | 168 | 0    |  | 32 | 98  | -2.4 |
| 15 | 168 | 0    |  | 33 | 88  | -2   |
| 16 | 166 | -0.4 |  | 34 | 84  | -0.8 |
| 17 | 162 | -0.8 |  | 35 | 78  | -1.2 |
| 18 | 180 | 0    |  | 35 | 174 | 0.4  |

Στην Εικόνα 7.12 βλέπουμε για τον 1ο ασθενή, μία περίπτωση δείγματος το οποίο έχει θετική τιμή αλλά προβλέφθηκε από το μοντέλο να έχει αρνητική. Στην συγκεκριμένη αξιολόγηση μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι έχουμε φωτεινά χρώματα σε πολλές χρονικές στιγμές σε όλο το μήκος του χρονικού παραθύρου εισόδου. Οι πιο σημαντικές χρονικές στιγμές φαίνεται να είναι οι 32, 33, 34, και από τον Πίνακα 7.26 καταλαβαίνουμε ότι σε αυτές τις χρονικές στιγμές έχουμε φυσιολογικές τιμές γλυκόζης και σε μικρή απόσταση από το όριο κάτω από το οποίο προκύπτει υπογλυκαιμία. Ο ρυθμός μεταβολής που περνάει από θετική τιμή σε αρνητική και το μοντέλο, βάσει αυτών των πληροφοριών, βγάζει το συμπέρασμα ότι στο επόμενο χρονικό διάστημα δεν θα υπάρξει υπογλυκαιμία.

Πίνακας 7.26: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς αρνητική περίπτωση - Υπογλυκαιμία

|    | Glucose Value | GRC Value |  | Glucose Value | GRC Value |      |
|----|---------------|-----------|--|---------------|-----------|------|
| 0  | 148           | 4.4       |  | 18            | 116       | -1.6 |
| 1  | 154           | 1.2       |  | 19            | 114       | -0.4 |
| 2  | 154           | 0         |  | 20            | 116       | 0.4  |
| 3  | 156           | 0.4       |  | 21            | 118       | 0.4  |
| 4  | 156           | 0         |  | 22            | 118       | 0    |
| 5  | 158           | 0.4       |  | 23            | 114       | -0.8 |
| 6  | 158           | 0         |  | 24            | 110       | -0.8 |
| 7  | 160           | 0.4       |  | 25            | 104       | -1.2 |
| 8  | 162           | 0.4       |  | 26            | 102       | -0.4 |
| 9  | 162           | 0         |  | 27            | 106       | 0.8  |
| 10 | 158           | -0.8      |  | 28            | 104       | -0.4 |
| 11 | 150           | -1.6      |  | 29            | 102       | -0.4 |
| 12 | 140           | -2        |  | 30            | 104       | 0.4  |
| 13 | 136           | -0.8      |  | 31            | 110       | 1.2  |
| 14 | 136           | 0         |  | 32            | 114       | 0.8  |
| 15 | 136           | 0         |  | 33            | 114       | 0    |
| 16 | 130           | -1.2      |  | 34            | 112       | -0.4 |

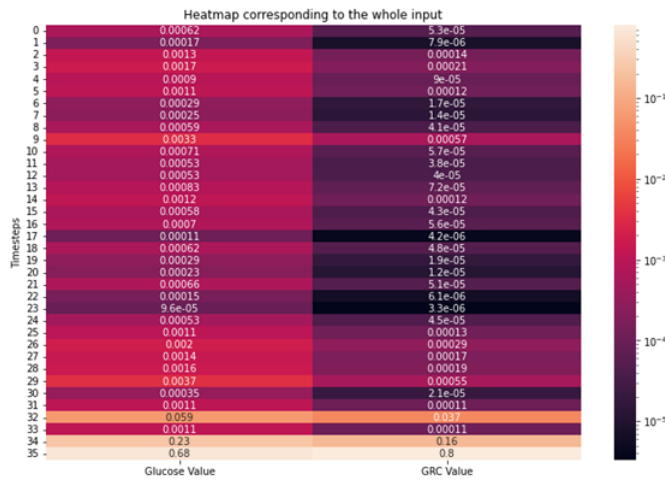
|    |     |      |  |    |     |      |
|----|-----|------|--|----|-----|------|
| 17 | 124 | -1.2 |  | 35 | 106 | -1.2 |
| 18 | 180 | 0    |  | 35 | 174 | 0.4  |

Στην Εικόνα 7.13. Θερμικός χάρτης αρνητικής τιμής που προβλέφθηκε ως θετική – Υπογλυκαιμία, βλέπουμε μία περίπτωση δείγματος για το οποίο η πραγματική τιμή είναι αρνητική αλλά το μοντέλο κάνει θετική πρόβλεψη. Σημαντικές φαίνονται να είναι οι χρονικές στιγμές που ακολουθούν την 25, και συγκεκριμένα οι 27, 33, 34. Βάσει του αντίστοιχου πίνακα 7.27, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε όλες τις χρονικές στιγμές με μεγάλο βάρος είχαμε μία φυσιολογική τιμή γλυκόζης με αρνητικό ρυθμό μεταβολής και μάλιστα με μεγάλη απόλυτη τιμή, γεγονός που υποδηλώνει ραγδαία μείωση της τιμής της γλυκόζης. Βάσει αυτών των πληροφοριών, το μοντέλο προβλέπει ότι στο επόμενο χρονικό διάστημα πρόκειται να πραγματοποιηθεί υπογλυκαιμία ενώ στην πραγματικότητα δεν υπήρξε τέτοιο συμβάν για το διάστημα μισής ώρας που ακολουθεί.

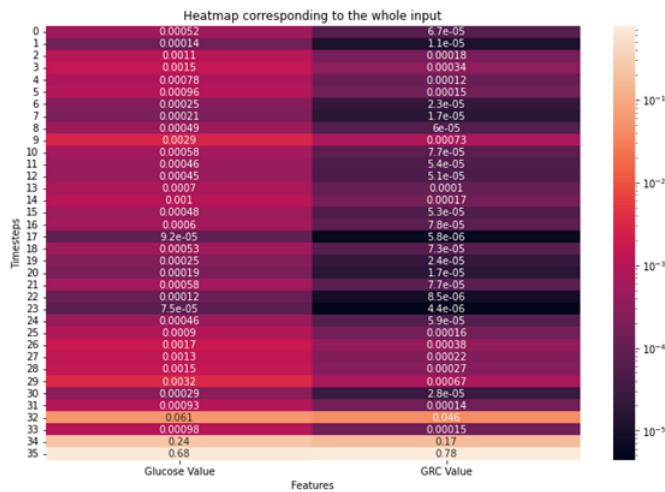
Πίνακας 7.27: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – ψευδώς αρνητική περίπτωση - Υπογλυκαιμία

|    | Glucose Value | GRC Value |  | Glucose Value | GRC Value |      |
|----|---------------|-----------|--|---------------|-----------|------|
| 0  | 148           | 4.4       |  | 18            | 116       | -1.6 |
| 1  | 154           | 1.2       |  | 19            | 114       | -0.4 |
| 2  | 154           | 0         |  | 20            | 116       | 0.4  |
| 3  | 156           | 0.4       |  | 21            | 118       | 0.4  |
| 4  | 156           | 0         |  | 22            | 118       | 0    |
| 5  | 158           | 0.4       |  | 23            | 114       | -0.8 |
| 6  | 158           | 0         |  | 24            | 110       | -0.8 |
| 7  | 160           | 0.4       |  | 25            | 104       | -1.2 |
| 8  | 162           | 0.4       |  | 26            | 102       | -0.4 |
| 9  | 162           | 0         |  | 27            | 106       | 0.8  |
| 10 | 158           | -0.8      |  | 28            | 104       | -0.4 |
| 11 | 150           | -1.6      |  | 29            | 102       | -0.4 |
| 12 | 140           | -2        |  | 30            | 104       | 0.4  |
| 13 | 136           | -0.8      |  | 31            | 110       | 1.2  |
| 14 | 136           | 0         |  | 32            | 114       | 0.8  |
| 15 | 136           | 0         |  | 33            | 114       | 0    |
| 16 | 130           | -1.2      |  | 34            | 112       | -0.4 |
| 17 | 124           | -1.2      |  | 35            | 106       | -1.2 |
| 18 | 180           | 0         |  | 35            | 174       | 0.4  |

Τέλος, στην Εικόνα 7.14, έχουμε μία περίπτωση δείγματος για την οποία τόσο η πραγματική τιμή όσο και η πρόβλεψη του μοντέλου είναι αρνητικές. Πιο σημαντικές, και πάλι, είναι οι χρονικές στιγμές 27, 32, 33, 34 οπότε και από τον αντίστοιχο πίνακα

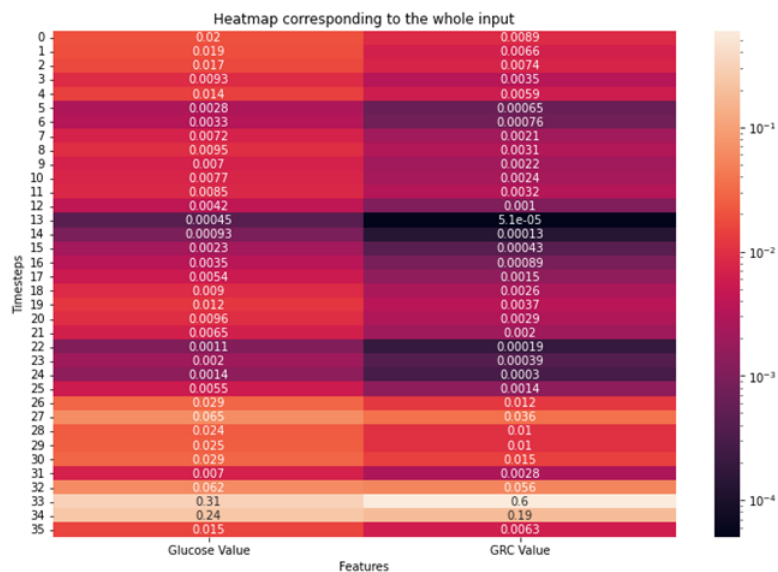


Σχήμα 7.9: Θερμικός χάρτης ψευδώς θετικής περίπτωσης - Υπεργλυκαιμία

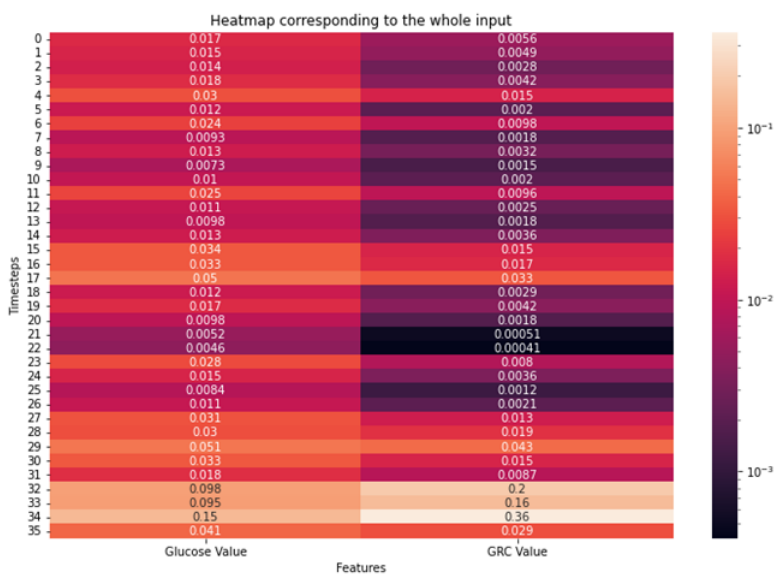


Σχήμα 7.10: Θερμικός χάρτης αληθώς αρνητικής πρόβλεψης - Υπεργλυκαιμία

7.28 παρατηρούμε ότι έχουμε τιμές γλυκόζης πολύ μεγαλύτερες του ορίου για την υπογλυκαιμία και με ρυθμό μεταβολής θετικό, και άρα υποδηλώνει περαιτέρω αύξηση της τιμής γλυκόζης. Με βάση αυτές τις πληροφορίες το μοντέλο προβλέπει για το επόμενο χρονικό διάστημα της μισής ώρας που εξετάζεται στην προκειμένη περίπτωση πως δεν υπάρχει πιθανότητα ο ασθενής να εμφανίσει υπογλυκαιμία.



Σχήμα 7.11: Θερμικός χάρτης αληθώς θετικής περίπτωσης – Υπογλυκαιμία



Σχήμα 7.12: Θερμικός χάρτης ψευδώς αρνητικής περίπτωσης – Υπογλυκαιμία

Πίνακας 7.28: Πραγματικές τιμές χαρακτηριστικών – αληθώς αρνητική περίπτωση - Υπογλυκαιμία

|   | Glucose Value | GRC Value |    | Glucose Value | GRC Value |
|---|---------------|-----------|----|---------------|-----------|
| 0 | 182           | -0.4      | 18 | 176           | -0.8      |

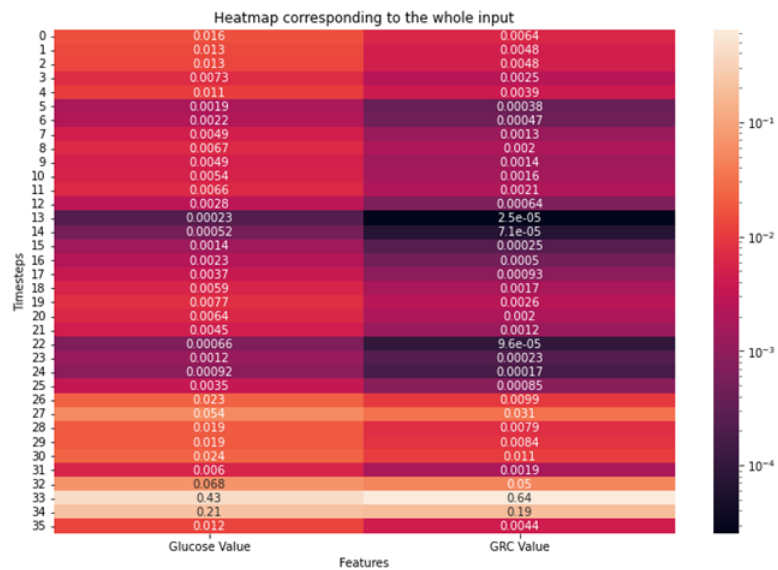
|    |     |      |  |    |     |      |
|----|-----|------|--|----|-----|------|
| 1  | 180 | -0.4 |  | 19 | 174 | -0.4 |
| 2  | 178 | -0.4 |  | 20 | 170 | -0.8 |
| 3  | 174 | -0.8 |  | 21 | 168 | -0.4 |
| 4  | 172 | -0.4 |  | 22 | 164 | -0.8 |
| 5  | 170 | -0.4 |  | 23 | 162 | -0.4 |
| 6  | 170 | 0    |  | 24 | 158 | -0.8 |
| 7  | 172 | 0.4  |  | 25 | 156 | -0.4 |
| 8  | 174 | 0.4  |  | 26 | 154 | -0.4 |
| 9  | 178 | 0.8  |  | 27 | 152 | -0.4 |
| 10 | 182 | 0.8  |  | 28 | 150 | -0.4 |
| 11 | 184 | 0.4  |  | 29 | 146 | -0.8 |
| 12 | 186 | 0.4  |  | 30 | 142 | -0.8 |
| 13 | 188 | 0.4  |  | 31 | 138 | -0.8 |
| 14 | 186 | -0.4 |  | 32 | 132 | -1.2 |
| 15 | 184 | -0.4 |  | 33 | 126 | -1.2 |
| 16 | 182 | -0.4 |  | 34 | 122 | -0.8 |
| 17 | 180 | -0.4 |  | 35 | 118 | -0.8 |
| 18 | 180 | 0    |  | 35 | 174 | 0.4  |

## 7.2.2 Πλατφόρμα Ερμηνευσιμότητας

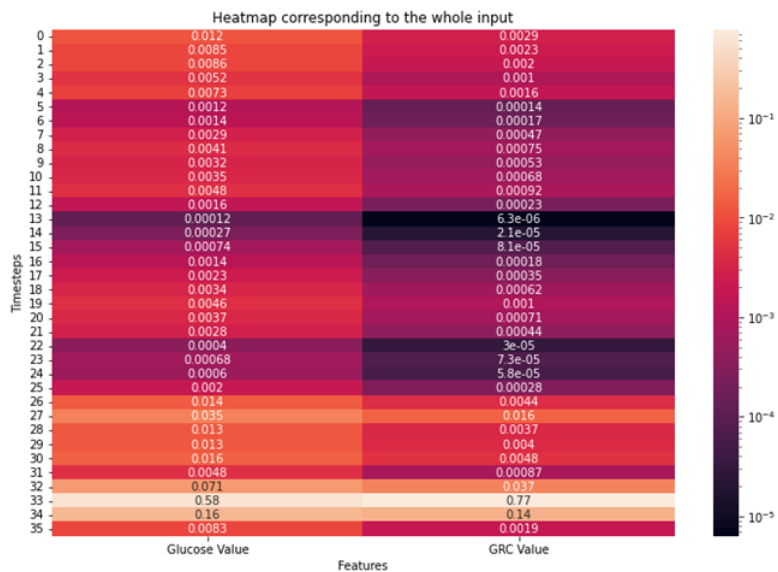
Σκοπός της εφαρμογής ερμηνευσιμότητας σε ένα πρόβλημα σαν αυτό του διαβήτη είναι η μετέπειτα χρήση της, τόσο από ασθενείς όσο και από ιατρικό προσωπικό, με σκοπό να υπάρξει κατανόηση των αυτόματων προβλέψεων που παράγονται από το μοντέλο και τελικά να γίνει η αξιολόγηση που θα οδηγήσει σε μία προληπτική πράξη. Η ερμηνευσιμότητα μπορεί να προσθέσει στον βαθμό εμπιστοσύνης που έχει ο άνθρωπος σε ένα μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης και ειδικότερα όταν πρόκειται για ένα θέμα υγείας. Με αφορμή το παραπάνω, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δημιουργήσαμε μία πλατφόρμα ερμηνευσιμότητας η οποία εξηγεί στον πιθανό χρήστη τις βασικότερες παραμέτρους που οδήγησαν στην απόφαση του μοντέλου.

Η εν λόγω πλατφόρμα επιστρέφει στον χρήστη τον θερμικό χάρτη όπως τον είδαμε στην προηγούμενη ενότητα και επιπλέον τις 5 πιο σημαντικές χρονικές στιγμές και τις αντίστοιχες τιμές των χαρακτηριστικών, βάσει των βαρών του θερμικού χάρτη. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι επίσης και το γεγονός ότι η πλατφόρμα επιστρέφει στον χρήστη και το ποσοστό εμφάνισης υπογλυκαιμίας ή υπεργλυκαιμίας στην αντίστοιχη περίπτωση, το οποίο υπολογίζει το μοντέλο. Τέλος, η βασική λειτουργία της πλατφόρμα είναι ότι εμφανίζει στον χρήστη την απόφαση του δικτύου με μορφή κειμένου, υποδεικνύοντας υπογλυκαιμία (ή υπεργλυκαιμία, αντίστοιχα) ή φυσιολογικές τιμές γλυκόζης για το χρονικό διάστημα πρόβλεψης.

Στην Εικόνα 7.15 μπορούμε να δούμε το αποτέλεσμα τις πλατφόρμας ερμηνευσιμότητας για μία περίπτωση όπου το δείγμα ταξινομείται από το μοντέλο στην θετική κλάση. Η πλατφόρμα πληροφορεί τον χρήστη ότι για το διάστημα της επόμενης μι-



Σχήμα 7.13: Θερμικός χάρτης ψευδώς θετικής περίπτωσης – Υπογλυκαιμία



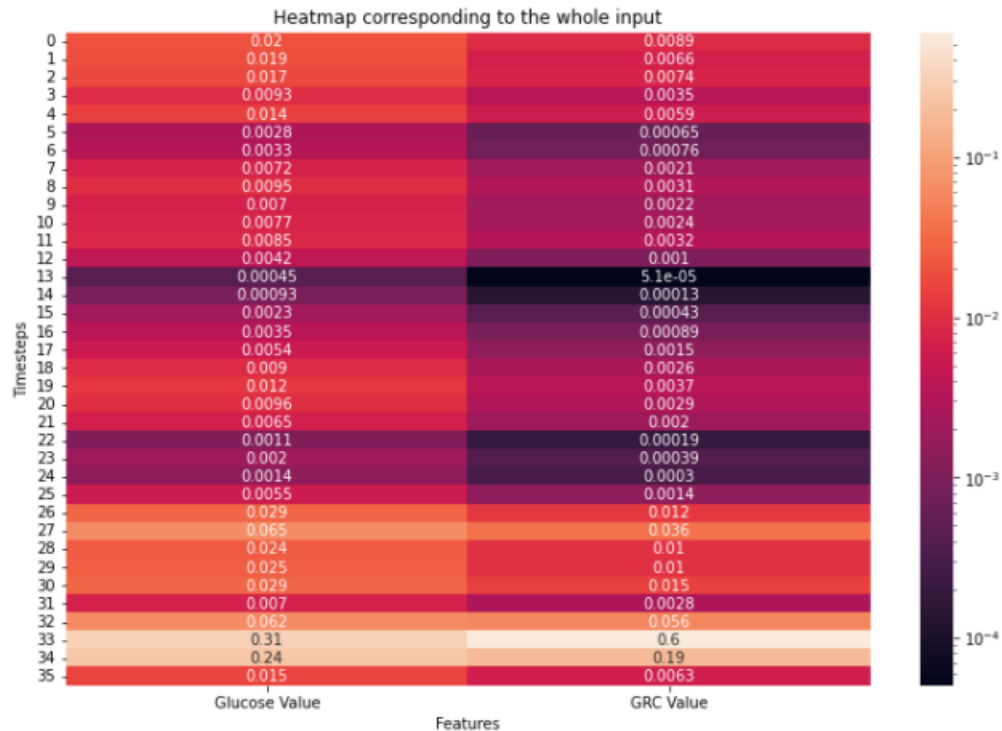
Σχήμα 7.14: Θερμικός χάρτης αληθώς αρνητικής περίπτωσης – Υπογλυκαιμία

σής ώρας πρόκειται να εμφανίσει υπογλυκαιμία με πιθανότητα 93.13% και επιπλέον επισημαίνει τις σημαντικότερες χρονικές στιγμές που οδήγησαν το μοντέλο στην συγκεκριμένη απόφαση. Αυτές τυχαίνει να συμπίπτουν για το χαρακτηριστικό της γλυκόζης και για αυτό του ρυθμού μεταβολής συγκεκριμένα για κάποιες χρονικές στιγμές. Για παράδειγμα, πιο σημαντικές είναι οι χρονικές στιγμές 33 και 34, με πιο



σημαντική από τις δύο την στιγμή 33 και αυτός ο κανόνας ισχύει και για τα δύο χαρακτηριστικά. Αντίθετα, για τον τρίτο σε σημαντικότητα συνδυασμό παρατηρούμε ότι αποτελείται από τις χρονικές στιγμές 27 για την γλυκόζη και 32 για τον ρυθμό μεταβολής.

The Heatmap corresponding to the whole input is:



The prediction is hypoglycemia with probability 93.12585592269897 %

The reason is the following (moving from lower to higher importance)

During timestamp 30 glucose = 118  
 During timestamp 30 and grc = -1.2

During timestamp 32 glucose = 136  
 During timestamp 27 and grc = -0.4

During timestamp 27 glucose = 98  
 During timestamp 32 and grc = -2.4

During timestamp 34 glucose = 84  
 During timestamp 34 and grc = -0.8

During timestamp 33 glucose = 88  
 During timestamp 33 and grc = -2.0

Σχήμα 7.15: Αποτελέσματα πλατφόρμας ερμηνευσιμότητας

## Κεφάλαιο 8

# Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία δείχνει την αξιοπιστία και πιθανή εφαρμογή δύο μοντέλων μηχανικής μάθησης τα οποία προβλέπουν την πιθανότητα εμφάνισης υπεργλυκαιμίας και υπογλυκαιμίας, αντίστοιχα, σε άτομα που πάσχουν από ΣΔΤ1. Η ερμηνευσιμότητα που εφαρμόζεται προσφέρει διορατικότητα με την μορφή θερμικού χάρτη, υποδεικνύοντας τις σημαντικότερες χρονικές στιγμές που συμβάλουν στην τελική απόφαση του εκάστοτε μοντέλου. Καθώς τα δεδομένα εκπαίδευσης χαρακτηρίζονται από ισχυρή ανισορροπία μεταξύ των δύο κλάσεων των δεδομένων, οι τεχνικές υπερδειγματοληψίας, υποδειγματοληψίας, και μάθησης με ευαισθησία κόστους που εφαρμόζονται, ενισχύουν την διακριτική ικανότητα του μοντέλου και αυξάνουν την αξιοπιστία του.

Βάσει της ανάλυσης και της αξιολόγησης που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας μπορούμε να συμπεράνουμε πως η εφαρμογή ερμηνεύσιμων μοντέλων μηχανικής μάθησης για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης υπεργλυκαιμικών και υπογλυκαιμικών επεισοδίων εντός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος πρόβλεψης, μπορεί να επιτύχει αξιοπιστία και ακρίβεια. Ο τύπος ερμηνευσιμότητας που εφαρμόστηκε παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο γίνονται οι προβλέψεις με μία μέθοδο η οποία είναι εύκολα κατανοητή και αναγνώσιμη από κάποιον μη ειδικευμένο σε τεχνικές μηχανικής μάθησης. Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να συντελέσουν ως βάση για περαιτέρω μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, ως ενδεικτικοί τομείς μελλοντικής εργασίας αναγνωρίζονται οι επόμενοι:

- Κατά την αξιολόγηση του εξεταζόμενου μοντέλου και του αντίστοιχου μοντέλου με εφαρμογή των διαφορετικών τεχνικών αντιμετώπισης των μη ισορροπημένων δεδομένων, παρατηρήθηκε πως καθοριστικό ρόλο στην συνολική απόδοση του μοντέλου έπαιξε το ποσοστό των δειγμάτων που ανήκουν στην μικρή κλάση. Με αυτή την παρατήρηση μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εφαρμογή του μοντέλου και των διαφόρων τεχνικών βελτιστοποίησης σε πολλά δια-

φορετικά σύνολα ασθενών, μπορεί να μας δώσει μία καλύτερη εικόνα για την συνολική αξιολόγηση των συγκεκριμένων τεχνικών.

- Τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την ανάλυση του πρακτικού μέρους της εργασίας περιλαμβάνουν και την παρατήρηση ότι οι τεχνικές διαχείρισης των μη ισορροπημένων δεδομένων προσφέρουν στο μοντέλο την ικανότητα να μπορεί να εξάγει με πιο αποδοτικό τρόπο προβλέψεις. Ωστόσο, οι τεχνικές που μελετήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία περιορίζονται σε ένα μικρό ποσοστό των συνολικών τεχνικών που είναι διαθέσιμες. Μία περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων που μπορούν να επιφέρουν οι τεχνικές αυτές θα έδινε μία συνολική εικόνα όσον αφορά την ικανότητα της προσέγγισης του LSTM μοντέλου για την λύση του προβλήματος.
- Θα μπορούσε επίσης να εξεταστεί η συμπεριφορά του LSTM μοντέλου στο συγκεκριμένο πρόβλημα με την προσθήκη επιπλέον χαρακτηριστικών στα δεδομένα εκπαίδευσης. Διαφορετικοί συνδυασμοί χαρακτηριστικών μπορούν να αναδείξουν κάποιο κανόνα ο οποίος να προσδίδει στο μοντέλο καλύτερη προσαρμογή των εσωτερικών βάρων που οδηγούν στην λύση του προβλήματος.
- Καθώς η μέθοδος ερμηνευσιμότητας που εξετάστηκε μπορεί να εφαρμοστεί, με τις κατάλληλες προσαρμογές, σε οποιοδήποτε μοντέλο μηχανικής μάθησης, ένα σημείο ενδιαφέροντος θα ήταν η εφαρμογή και άλλων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την λύση του προβλήματος. Εξάλλου, στην γενικότερη κατηγορία εφαρμογής αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την διαχείριση του ΣΔ, έχει αποδειχθεί πως πολλές τεχνικές μπορούν να παρουσιάσουν state-of-the-art αποτελέσματα. Η προσαρμογή, λοιπόν, και άλλων αλγορίθμων βαθιάς μάθησης στο πρόβλημα της πρόβλεψης πιθανότητας, μπορεί να δώσει μία συνολική και γενική εικόνα για την ικανότητα λύσης του προβλήματος μην τεχνική της τεχνητής νοημοσύνης.
- Θα ήταν ωφέλιμο για την καλύτερη αξιολόγηση της εφαρμοζόμενης μεθόδου ερμηνευσιμότητας, τα αποτελέσματά της να εξεταστούν και από εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό. Μία τέτοια διαδικασία θα συνεισφέρει στην περαιτέρω ανάπτυξη της μεθόδου καθώς θα ελεγχθεί η ορθότητα των αποφάσεων του μοντέλου και θα διαπιστωθεί κατά πόσο οι παραγόμενες ερμηνείες είναι λογικές. Επιπλέον, με την διαδικασία αυτή θα μπορέσει να αξιολογηθεί και το κατά πόσο είναι άξιο εμπιστοσύνης το συγκεκριμένο μοντέλο.
- Ο τομέας της ερμηνευσιμότητας είναι ραγδαία αναπτυσσόμενος και πολλές τεχνικές ερμηνευσιμότητας θα μπορούσαν να αξιολογηθούν ως προς την ποιότητα ερμηνείας των προβλέψεων του υπό εξέταση μοντέλου. Ακόμη, διαφορετικές τεχνικές ερμηνευσιμότητας μπορούν συνδυαστούν τόσο με το LSTM μοντέλο που παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία όσο και με άλλα μοντέλα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την λύση του προβλήματος.

# Βιβλιογραφία

- [1] Επεξεργασία και Ανάλυση βιοϊατρικής πληροφορίας.
- [2] Taye Oladele Aro, Hakeem Babalola Akande, Muhammed Besiru Jibrin, and Usman Abubakar Jauro. Homogenous ensembles on data mining techniques for breast cancer diagnosis. *Daffodil international university journal of science and technology*, 14(1):9–12, 2019.
- [3] American Diabetes Association. Standards of Medical Care in Diabetes—2007. *Diabetes Care*, 30(suppl<sub>1</sub>) : S4 – –S41, 012007.
- [4] American Diabetes Association. Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. *Diabetes Care*, 37(Supplement<sub>1</sub>) : S81 – –S90, 122013.
- [5] M Athanasiou, K Zarkogianni, S Monou, I Kosteria, I Vasilakis, C Kanaka-Gantenbein, and K Nikita. An interpretable lstm-based prediction model for assessing the risk of hospitalization and re-hospitalization in youth with type 1 diabetes mellitus. In *DIABETES TECHNOLOGY & THERAPEUTICS*, volume 23, pages A27–A28. MARY ANN LIEBERT, INC 140 HUGUENOT STREET, 3RD FL, NEW ROCHELLE, NY 10801 USA, 2021.
- [6] Maria Athanasiou, Konstantina Sfrintzeri, Konstantia Zarkogianni, Anastasia C Thanopoulou, and Konstantina S Nikita. An explainable xgboost-based approach towards assessing the risk of cardiovascular disease in patients with type 2 diabetes mellitus. In *2020 IEEE 20th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, pages 859–864. IEEE, 2020.
- [7] Maria Athanasiou, Konstantia Zarkogianni, Konstantinos Karytsas, and Konstantina S Nikita. An lstm-based approach towards automated meal detection from continuous glucose monitoring in type 1 diabetes mellitus. In *2021 IEEE 21st International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, pages 1–5. IEEE, 2021.
- [8] No authors listed. Diabetic neuropathy. *Nat Rev Dis Primers*, 5(1):42, Jun 2019.
- [9] Dzmitry Bahdanau, Kyunghyun Cho, and Yoshua Bengio. Neural machine translation by jointly learning to align and translate, 2016.

- [10] Coryn AL Bailer-Jones, David JC MacKay, and Philip J Withers. A recurrent neural network for modelling dynamical systems. *network: computation in neural systems*, 9(4):531, 1998.
- [11] Θανάσης Βαλαβανίδης and Κωνσταντίνος Ευσταθίου. Η χημική ένωση του μήντα. Διαθέσιμο στο: [http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem\\_caffeine.htm](http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_caffeine.htm), [ημερ. πρόσβασης 14.09. 2016], 2009.
- [12] Gustavo E. A. P. A. Batista, Ronaldo C. Prati, and Maria Carolina Monard. A study of the behavior of several methods for balancing machine learning training data. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 6(1):20–29, jun 2004.
- [13] Richard M. Bergenstal, Satish Garg, Stuart A. Weinzimer, Bruce A. Buckingham, Bruce W. Bode, William V. Tamborlane, and Francine R. Kaufman. Safety of a Hybrid Closed-Loop Insulin Delivery System in Patients With Type 1 Diabetes. *JAMA*, 316(13):1407–1408, 10 2016.
- [14] Richard M. Bergenstal, William V. Tamborlane, Andrew Ahmann, John B. Buse, George Dailey, Stephen N. Davis, Carol Joyce, Bruce A. Perkins, John B. Welsh, Steven M. Willi, and Michael A. Wood. Sensor-augmented pump therapy for a1c reduction (star 3) study: Results from the 6-month continuation phase. *Diabetes Care*, 34(11):2403–2405, November 2011.
- [15] Chris M Bishop. Neural networks and their applications. *Review of scientific instruments*, 65(6):1803–1832, 1994.
- [16] Christopher M Bishop and Nasser M Nasrabadi. *Pattern recognition and machine learning*, volume 4. Springer, 2006.
- [17] Peter Bühlmann. *Bagging, Boosting and Ensemble Methods*, pages 985–1022. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [18] Akhila C V. A survey on collaborative learning approach for speech and speaker recognition. pages 199–205, 06 2018.
- [19] J. I. Castillo-Quan, D. J. Barrera-Buenfil, J. M. Pérez-Osorio, and F. J. Alvarez-Cervera. [Depression and diabetes: from epidemiology to neurobiology]. *Rev Neurol*, 51(6):347–359, Sep 2010.
- [20] N. Cheung, P. Mitchell, and T. Y. Wong. Diabetic retinopathy. *Lancet*, 376(9735):124–136, Jul 2010.
- [21] NH1 Cho, JE Shaw, Suvi Karuranga, Yafang Huang, JD da Rocha Fernandes, AW Ohlrogge, and B Malanda. Idf diabetes atlas: Global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice*, 138:271–281, 2018.

- [22] Junyoung Chung, Caglar Gulcehre, KyungHyun Cho, and Yoshua Bengio. Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. *arXiv preprint arXiv:1412.3555*, 2014.
- [23] Arianna Dagliati, Lucia Sacchi, Mauro Bucalo, Daniele Segagni, Konstantia Zarkogianni, Antonio Martinez Millana, Jorge Cancela, Francesco Sambo, Giuseppe Fico, Maria Teresa Meneu Barreira, et al. A data gathering framework to collect type 2 diabetes patients data. In *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, pages 244–247. IEEE, 2014.
- [24] K Dalakleidi, K Zarkogianni, V Karamanos, and KS Nikita. A hybrid genetic algorithm for the selection of critical features for cardiovascular complications prognosis in type 2 diabetes patients. In *13th IEEE International Conference on Bioinformatics and BioEngineering (BIBE 2013)*, 2013.
- [25] Kalliopi Dalakleidi, Konstantia Zarkogianni, Anastasia Thanopoulou, and Konstantina Nikita. Comparative assessment of statistical and machine learning techniques towards estimating the risk of developing type 2 diabetes and cardiovascular complications. *Expert Systems*, 34(6):e12214, 2017.
- [26] Sumeet Dua, U Rajendra Acharya, and Prerna Dua. *Machine learning in healthcare informatics*, volume 56. Springer, 2014.
- [27] Andre Esteva, Alexandre Robicquet, Bharath Ramsundar, Volodymyr Kuleshov, Mark DePristo, Katherine Chou, Claire Cui, Greg Corrado, Sebastian Thrun, and Jeff Dean. A guide to deep learning in healthcare. *Nature medicine*, 25(1):24–29, 2019.
- [28] Giuseppe Fico, Liss Hernanvez, Jorge Cancela, Arianna Dagliati, Lucia Sacchi, Antonio Martinez-Millana, Jorge Posada, Lidia Manero, Jose Verdú, Andrea Facchinetti, et al. What do healthcare professionals need to turn risk models for type 2 diabetes into usable computerized clinical decision support systems? lessons learned from the mosaic project. *BMC medical informatics and decision making*, 19(1):1–16, 2019.
- [29] Nita Gandhi Forouhi and Nicholas J. Wareham. Epidemiology of diabetes. *Medicine*, 47(1):22–27, 2019.
- [30] Ilaria Gandin, Arjuna Scagnetto, Simona Romani, and Giulia Barbati. Interpretability of time-series deep learning models: A study in cardiovascular patients admitted to intensive care unit. *Journal of Biomedical Informatics*, 121:103876, 2021.
- [31] M.W Gardner and S.R Dorling. Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric Environment*, 32(14):2627–2636, 1998.

- [32] Augusto J Guimarães, Vinicius J Silva Araujo, Vanessa S Araujo, Lucas O Batista, and Paulo V de Campos Souza. A hybrid model based on fuzzy rules to act on the diagnosed of autism in adults. In *IFIP international conference on artificial intelligence applications and innovations*, pages 401–412. Springer, 2019.
- [33] David Gunning and David Aha. Darpa’s explainable artificial intelligence (xai) program. *AI magazine*, 40(2):44–58, 2019.
- [34] Hui Han, Wen-Yuan Wang, and Bing-Huan Mao. Borderline-smote: A new over-sampling method in imbalanced data sets learning. In De-Shuang Huang, Xiao-Ping Zhang, and Guang-Bin Huang, editors, *Advances in Intelligent Computing*, pages 878–887, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer Berlin Heidelberg.
- [35] Simon Haykin. *Neural networks and learning machines, 3/E*. Pearson Education India, 2010.
- [36] Haibo He and Edwardo A. Garcia. Learning from imbalanced data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 21(9):1263–1284, 2009.
- [37] Robert Hecht-Nielsen. Theory of the backpropagation neural network. In *Neural networks for perception*, pages 65–93. Elsevier, 1992.
- [38] L. Heinemann. Continuous Glucose Monitoring (CGM) or Blood Glucose Monitoring (BGM): Interactions and Implications. *J Diabetes Sci Technol*, 12(4):873–879, 07 2018.
- [39] B. Hemmingsen, G. Gimenez-Perez, D. Mauricio, M. Roqué I Figuls, M. I. Metzendorf, and B. Richter. Diet, physical activity or both for prevention or delay of type 2 diabetes mellitus and its associated complications in people at increased risk of developing type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Database Syst Rev*, 12:CD003054, 12 2017.
- [40] Suzana Herculano-Houzel. The remarkable, yet not extraordinary, human brain as a scaled-up primate brain and its associated cost. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(Supplement 1):10661–10668, 2012.
- [41] Sepp Hochreiter. The vanishing gradient problem during learning recurrent neural nets and problem solutions. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 6(02):107–116, 1998.
- [42] Sepp Hochreiter and Jürgen Schmidhuber. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8):1735–1780, 11 1997.
- [43] Kurt Hornik, Maxwell Stinchcombe, and Halbert White. Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural networks*, 2(5):359–366, 1989.
- [44] G. M. Huang, K. Y. Huang, T. Y. Lee, and J. Weng. An interpretable rule-based diagnostic classification of diabetic nephropathy among type 2 diabetes patients. *BMC Bioinformatics*, 16 Suppl 1:S5, 2015.

- [45] Dimitra Iliopoulou, Kostas Giokas, Stavroula Mougiakakou, John Stoitsis, Andriana Prentza, and Konstantina Nikita. A telematic system for diabetes management, reporting and patient advice. *The Journal on Information Technology in Healthcare*, 3(5):307–313, 2005.
- [46] S. E. Inzucchi. Clinical practice. Management of hyperglycemia in the hospital setting. *N Engl J Med*, 355(18):1903–1911, Nov 2006.
- [47] Herbert Jaeger. *Tutorial on training recurrent neural networks, covering BPPT, RTRL, EKF and the" echo state network" approach*, volume 5. GMD-Forschungszentrum Informationstechnik Bonn, 2002.
- [48] Herbert Jaeger. *Tutorial on training recurrent neural networks, covering BPPT, RTRL, EKF and the" echo state network" approach*, volume 5. GMD-Forschungszentrum Informationstechnik Bonn, 2002.
- [49] Afshin Jamshidi, Jean-Pierre Pelletier, and Johanne Martel-Pelletier. Machine-learning-based patient-specific prediction models for knee osteoarthritis. *Nature Reviews Rheumatology*, 15(1):49–60, 2019.
- [50] Nathalie Japkowicz. The class imbalance problem: Significance and strategies. In *Proc. of the Int'l Conf. on Artificial Intelligence*, volume 56, pages 111–117. Citeseer, 2000.
- [51] Brownlee Jason. Undersampling algorithms for imbalanced classification, January 2020. [Online; posted 20-January-2020].
- [52] M. I. Jordan and T. M. Mitchell. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245):255–260, 2015.
- [53] Hye-Kyung Jung. The incidence, prevalence, and survival of gastroparesis in olmsted county, minnesota, 1996-2006 (gastroenterology 2009; 136: 1225-1233). *J Neurogastroenterol Motil*, 16(1):99–100, 2010.
- [54] D. A. Kaji, J. R. Zech, J. S. Kim, S. K. Cho, N. S. Dangayach, A. B. Costa, and E. K. Oermann. An attention based deep learning model of clinical events in the intensive care unit. *PLoS One*, 14(2), 2019.
- [55] P. Karatza, K. Dalakleidi, M. Athanasiou, and K.S. Nikita. Interpretability methods of machine learning algorithms with applications in breast cancer diagnosis. In *2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine Biology Society (EMBC)*, pages 2310–2313, 2021.
- [56] D. Y. Kim, D. S. Choi, J. Kim, S. W. Chun, H. W. Gil, N. J. Cho, A. R. Kang, and J. Woo. Developing an Individual Glucose Prediction Model Using Recurrent Neural Network. *Sensors (Basel)*, 20(22), Nov 2020.



- [57] Peter Kokol, Marjan Mernik, Jernej Završnik, Kurt Kancler, and Ivan Malčič. Decision trees based on automatic learning and their use in cardiology. *Journal of Medical Systems*, 18(4):201–206, 1994.
- [58] Boris Kovatchev, William V. Tamborlane, William T. Cefalu, and Claudio Cobelli. The Artificial Pancreas in 2016: A Digital Treatment Ecosystem for Diabetes. *Diabetes Care*, 39(7):1123–1126, 04 2016.
- [59] Miroslav Kubat, Stan Matwin, et al. Addressing the curse of imbalanced training sets: one-sided selection. In *Icml*, volume 97, page 179. Citeseer, 1997.
- [60] Yogish C. Kudva, Rickey E. Carter, Claudio Cobelli, Rita Basu, and Ananda Basu. Closed-Loop Artificial Pancreas Systems: Physiological Input to Enhance Next-Generation Devices. *Diabetes Care*, 37(5):1184–1190, 04 2014.
- [61] Hong Hanh Le and Jean-Laurent Viviani. Predicting bank failure: An improvement by implementing a machine-learning approach to classical financial ratios. *Research in International Business and Finance*, 44:16–25, 2018.
- [62] Hong Hanh Le and Jean-Laurent Viviani. Predicting bank failure: An improvement by implementing a machine-learning approach to classical financial ratios. *Research in International Business and Finance*, 44:16–25, 2018.
- [63] Yann LeCun, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. Deep learning. *nature*, 521(7553):436–444, 2015.
- [64] Wei-Chao Lin, Chih-Fong Tsai, Ya-Han Hu, and Jing-Shang Jhang. Clustering-based undersampling in class-imbalanced data. *Information Sciences*, 409-410:17–26, 2017.
- [65] P. Linardatos, V. Papastefanopoulos, and S. Kotsiantis. Explainable AI: A Review of Machine Learning Interpretability Methods. *Entropy (Basel)*, 23(1), Dec 2020.
- [66] Zachary C. Lipton. The mythos of model interpretability, 2017.
- [67] Victoria López, Alberto Fernández, Salvador García, Vasile Palade, and Francisco Herrera. An insight into classification with imbalanced data: Empirical results and current trends on using data intrinsic characteristics. *Information sciences*, 250:113–141, 2013.
- [68] Scott M Lundberg and Su-In Lee. A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30, 2017.
- [69] Ruchika Malhotra and Shine Kamal. An empirical study to investigate oversampling methods for improving software defect prediction using imbalanced data. *Neurocomputing*, 343:120–140, 2019. Learning in the Presence of Class Imbalance and Concept Drift.

- [70] John Martinsson, Alexander Schliep, Björn Eliasson, and Olof Mogren. Blood glucose prediction with variance estimation using recurrent neural networks. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 4, 03 2020.
- [71] FIAEL Megahed, Assist Prof Dr Amina Ahmed Mohamed, Hassan Ali Abdelwahid, and Hanaa Kassem Farg. Quality of life of type 2 diabetic patients attending family medicine outpatient clinic of suez canal university hospitals in ismailia city thesis. *Published by MedCrave Group LLC. Port Said University, Egypt*, 2018.
- [72] Hrushikesh N. Mhaskar, Sergei V. Pereverzyev, and Maria D. van der Walt. A deep learning approach to diabetic blood glucose prediction. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 3, 2017.
- [73] Inoue Michio. Oversampling with smote with its relative algorithms, 2020. [Online].
- [74] Christoph Molnar. *Interpretable machine learning*. Lulu. com, 2020.
- [75] S Mougiakakou, K Nikita, M Protonotarios, and G Matsopoulos. Neural network based decision support system for outpatients diabetes management. *DIABETES NUTRITION AND METABOLISM*, 11:71–71, 1998.
- [76] S Mougiakakou, K Nikita, M Protonotarios, and G Matsopoulos. Neural network based decision support system for outpatients diabetes management. *DIABETES NUTRITION AND METABOLISM*, 11:71–71, 1998.
- [77] Stavroula Mougiakakou, Aikaterini Prountzou, Konstantia Zarkogianni, Christos Bartsocas, Konstantina Nikita, and Andriani Gerasimidi-Vazeou. Prediction of glucose profile in children with type 1 diabetes mellitus using continuous glucose monitors and insulin pumps. 2008.
- [78] Stavroula Mougiakakou, Aikaterini Prountzou, Konstantia Zarkogianni, Christos Bartsocas, Konstantina Nikita, and Andriani Gerasimidi-Vazeou. Prediction of glucose profile in children with type 1 diabetes mellitus using continuous glucose monitors and insulin pumps. 2008.
- [79] Stavroula G Mougiakakou, Christos S Bartsocas, Evangelos Bozas, Nikos Chaniotakis, Dimitra Iliopoulou, Ioannis Kouris, Sotiris Pavlopoulos, Aikaterini Prountzou, Marios Skevofilakas, Alexandre Tsoukalis, et al. Smartdiab: a communication and information technology approach for the intelligent monitoring, management and follow-up of type 1 diabetes patients. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(3):622–633, 2010.
- [80] Stavroula G Mougiakakou, Christos S Bartsocas, Evangelos Bozas, Nikos Chaniotakis, Dimitra Iliopoulou, Ioannis Kouris, Sotiris Pavlopoulos, Aikaterini Prountzou, Marios Skevofilakas, Alexandre Tsoukalis, et al. Smartdiab: a communication and information technology approach for the intelligent monitoring, management and follow-up of type 1 diabetes patients. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(3):622–633, 2010.

- [81] Stavroula G Mougiakakou and Konstantina S Nikita. A neural network approach for insulin regime and dose adjustment in type 1 diabetes. *Diabetes technology & therapeutics*, 2(3):381–389, 2000.
- [82] S. M. Pappada, B. D. Cameron, P. M. Rosman, R. E. Bourey, T. J. Papadimos, W. Olorunto, and M. J. Borst. Neural network-based real-time prediction of glucose in patients with insulin-dependent diabetes. *Diabetes Technol Ther*, 13(2):135–141, Feb 2011.
- [83] C. Pérez-Gandía, A. Facchinetti, G. Sparacino, C. Cobelli, E. J. Gómez, M. Rigla, A. de Leiva, and M. E. Hernando. Artificial neural network algorithm for online glucose prediction from continuous glucose monitoring. *Diabetes Technol Ther*, 12(1):81–88, Jan 2010.
- [84] Marco Tulio Ribeiro, Sameer Singh, and Carlos Guestrin. "why should i trust you?": Explaining the predictions of any classifier, 2016.
- [85] Marco Tulio Ribeiro, Sameer Singh, and Carlos Guestrin. Anchors: High-precision model-agnostic explanations. In *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence*, volume 32, 2018.
- [86] Steven J. Russell, Firas H. El-Khatib, Manasi Sinha, Kendra L. Magyar, Katherine McKeon, Laura G. Goergen, Courtney Balliro, Mallory A. Hillard, David M. Nathan, and Edward R. Damiano. Outpatient glycemic control with a bionic pancreas in type 1 diabetes. *New England Journal of Medicine*, 371(4):313–325, 2014. PMID: 24931572.
- [87] Ahad Salimi, Mohammad Ali Pourmina, and MOHAMMA-SHAHRAM MOIEN. Automatic prostate segmentation using multiobjective active appearance model in mr images. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(6):4361–4377, 2019.
- [88] N. Samsu. Diabetic Nephropathy: Challenges in Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment. *Biomed Res Int*, 2021:1497449, 2021.
- [89] W. Seo, Y. B. Lee, S. Lee, S. M. Jin, and S. M. Park. A machine-learning approach to predict postprandial hypoglycemia. *BMC Med Inform Decis Mak*, 19(1):210, 11 2019.
- [90] Sagar Sharma, Simone Sharma, and Anidhya Athaiya. Activation functions in neural networks. *towards data science*, 6(12):310–316, 2017.
- [91] Dima Shulga. Reasons why you should use cross-validation in your data science projects. *Towards Data Science*. <https://towardsdatascience.com/5-reasons-why-you-should-use-cross-validation-in-your-data-science-project-8163311a1e79> (retrieved Aug. 4, 2020), 2018.

- [92] Kistadinov Simeon. Understanding backpropagation algorithm, August 2019. [Online; posted 08-August-2019].
- [93] Marios Skevofilakas, Konstantia Zarkogianni, Basil G Karamanos, and Konstantina S Nikita. A hybrid decision support system for the risk assessment of retinopathy development as a long term complication of type 1 diabetes mellitus. In *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pages 6713–6716. IEEE, 2010.
- [94] Safae Sossi Alaoui, Brahim Aksasse, and Yousef Farhaoui. Data mining and machine learning approaches and technologies for diagnosing diabetes in women. In *International Conference on Big Data and Networks Technologies*, pages 59–72. Springer, 2019.
- [95] Qingnan Sun, Marko V. Jankovic, Lia Bally, and Stavroula G. Mougiakakou. Predicting blood glucose with an lstm and bi-lstm based deep neural network, 2018.
- [96] Qingnan Sun, Marko V. Jankovic, Lia Bally, and Stavroula G. Mougiakakou. Predicting blood glucose with an lstm and bi-lstm based deep neural network, 2018.
- [97] Satpathy Swastik. Overcoming class imbalance using smote techniques, October 2020. [Online; posted 06-October-2020].
- [98] T. Teich, D. P. Zaharieva, and M. C. Riddell. Advances in Exercise, Physical Activity, and Diabetes Mellitus. *Diabetes Technol Ther*, 21(S1):S112–S122, 02 2019.
- [99] Brajendra Kumar Tripathi and Arvind Kumar Srivastava. Diabetes mellitus: complications and therapeutics. *Med Sci Monit*, 12(7):130–47, 2006.
- [100] H. Y. Tsao, P. Y. Chan, and E. C. Su. Predicting diabetic retinopathy and identifying interpretable biomedical features using machine learning algorithms. *BMC Bioinformatics*, 19(Suppl 9):283, Aug 2018.
- [101] G. E. Umpierrez and F. J. Pasquel. Management of Inpatient Hyperglycemia and Diabetes in Older Adults. *Diabetes Care*, 40(4):509–517, Apr 2017.
- [102] Ioannis K Valavanis, Stavroula G Mougiakakou, Keith A Grimaldi, and Konstantina S Nikita. A multifactorial analysis of obesity as cvd risk factor: use of neural network based methods in a nutrigenetics context. *BMC bioinformatics*, 11(1):1–10, 2010.
- [103] Benjamin X Wang and Nathalie Japkowicz. Imbalanced data set learning with synthetic samples. In *Proc. IRIS machine learning workshop*, volume 19, page 435, 2004.

- [104] P.J. Werbos. Backpropagation through time: what it does and how to do it. *Proceedings of the IEEE*, 78(10):1550–1560, 1990.
- [105] Show-Jane Yen and Yue-Shi Lee. Cluster-based under-sampling approaches for imbalanced data distributions. *Expert Systems with Applications*, 36(3, Part 1):5718–5727, 2009.
- [106] Κωνσταντία Ζαρκογιάννη. *Ευφυή συστήματα υποστήριξης εξατομικευμένων ιατρικών αποφάσεων για τη διαχείριση του σακχαρώδους διαβήτη*. PhD thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και ..., 2011.
- [107] K Zarkogianni, M Athanasiou, K Mitsis, E Chatzidaki, N Polychronaki, K Perakis, D Vergeti, D Antonopoulou, E Papachristou, V Chioti, et al. A comprehensive approach to empower self-management of health in childhood obesity based on gamification mechanisms and biofeedback. In *DIABETES TECHNOLOGY & THERAPEUTICS*, volume 23, pages A57–A58. MARY ANN LIEBERT, INC 140 HUGUENOT STREET, 3RD FL, NEW ROCHELLE, NY 10801 USA, 2021.
- [108] K. Zarkogianni, K. Mitsis, E. Litsa, M. T. Arredondo, G. Fico, A. Fioravanti, and K. S. Nikita. Comparative assessment of glucose prediction models for patients with type 1 diabetes mellitus applying sensors for glucose and physical activity monitoring. *Med Biol Eng Comput*, 53(12):1333–1343, Dec 2015.
- [109] Konstantia Zarkogianni, Maria Athanasiou, Anastasia C Thanopoulou, and Konstantina S Nikita. Comparison of machine learning approaches toward assessing the risk of developing cardiovascular disease as a long-term diabetes complication. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 22(5):1637–1647, 2017.
- [110] Konstantia Zarkogianni, Eleni Litsa, Konstantinos Mitsis, Po-Yen Wu, Chanchala D Kaddi, Chih-Wen Cheng, May D Wang, and Konstantina S Nikita. A review of emerging technologies for the management of diabetes mellitus. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(12):2735–2749, 2015.
- [111] Konstantia Zarkogianni, Eleni Litsa, Andriani Vazeou, and Konstantina S Nikita. Personalized glucose-insulin metabolism model based on self-organizing maps for patients with type 1 diabetes mellitus. In *13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering*, pages 1–4. IEEE, 2013.
- [112] Konstantia Zarkogianni, Eleni Litsa, Andriani Vazeou, and Konstantina S Nikita. Personalized glucose-insulin metabolism model based on self-organizing maps for patients with type 1 diabetes mellitus. In *13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering*, pages 1–4. IEEE, 2013.
- [113] Konstantia Zarkogianni, Konstantinos Mitsis, M-T Arredondo, Giuseppe Fico, Alessio Fioravanti, and Konstantina S Nikita. Neuro-fuzzy based glucose prediction

- model for patients with type 1 diabetes mellitus. In *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, pages 252–255. Ieee, 2014.
- [114] Konstantia Zarkogianni, Konstantinos Mitsis, M-T Arredondo, Giuseppe Fico, Alessio Fioravanti, and Konstantina S Nikita. Neuro-fuzzy based glucose prediction model for patients with type 1 diabetes mellitus. In *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, pages 252–255. Ieee, 2014.
- [115] Konstantia Zarkogianni, Konstantinos Mitsis, Eleni Litsa, M-T Arredondo, G Fico, Alessio Fioravanti, and Konstantina S Nikita. Comparative assessment of glucose prediction models for patients with type 1 diabetes mellitus applying sensors for glucose and physical activity monitoring. *Medical & biological engineering & computing*, 53(12):1333–1343, 2015.
- [116] Konstantia Zarkogianni and Konstantina S Nikita. Personal health systems for diabetes management, early diagnosis and prevention. In *Consumer-Driven Technologies in Healthcare: Breakthroughs in Research and Practice*, pages 191–218. IGI Global, 2019.
- [117] Konstantia Zarkogianni, Andriani Vazeou, Stavroula G Mougiakakou, Aikaterini Prountzou, and Konstantina S Nikita. An insulin infusion advisory system based on autotuning nonlinear model-predictive control. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(9):2467–2477, 2011.
- [118] Konstantia Zarkogianni, Andriani Vazeou, Stavroula G Mougiakakou, Aikaterini Prountzou, and Konstantina S Nikita. An insulin infusion advisory system based on autotuning nonlinear model-predictive control. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(9):2467–2477, 2011.
- [119] Aston Zhang, Zachary C Lipton, Mu Li, and Alexander J Smola. Dive into deep learning. *arXiv preprint arXiv:2106.11342*, 2021.
- [120] Hui Zhang, Jin-Xiang Ma, Chun-Tao Liu, Ji-Xia Ren, and Lan Ding. Development and evaluation of in silico prediction model for drug-induced respiratory toxicity by using naïve bayes classifier method. *Food and chemical toxicology*, 121:593–603, 2018.
- [121] Hui Zhang, Ji-Xia Ren, Jin-Xiang Ma, and Lan Ding. Development of an in silico prediction model for chemical-induced urinary tract toxicity by using naïve bayes classifier. *Molecular diversity*, 23(2):381–392, 2019.
- [122] Yanxin Zhang and Ye Ma. Application of supervised machine learning algorithms in the classification of sagittal gait patterns of cerebral palsy children with spastic diplegia. *Computers in biology and medicine*, 106:33–39, 2019.

[123] Νικήτα Κωνσταντίνα. *Προσομοίωση Φυσιολογικών Συστημάτων*. Tziolas Publications, 2010.

# Παράρτημα Α

## Ασθενής 1

114

|                               |      | Accuracy (%) | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|--------------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |              |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 88.3909      | 0.8331    | 0.7310 | 0.7749   | 0.9361 |
|                               | std  | 1.5315       | 0.0313    | 0.0838 | 0.0401   | 0.0084 |
| classic 0.2                   | mean | 83.2292      | 0.8569    | 0.4793 | 0.6102   | 0.9248 |
|                               | std  | 1.2761       | 0.0523    | 0.0662 | 0.0494   | 0.0089 |
| under random                  | mean | 82.1328      | 0.7360    | 0.6983 | 0.6575   | 0.9030 |
|                               | std  | 3.2721       | 0.1486    | 0.2483 | 0.1395   | 0.0182 |
| Near Miss 1                   | mean | 83.8958      | 0.6880    | 0.8103 | 0.7392   | 0.8981 |
|                               | std  | 3.8577       | 0.0767    | 0.0450 | 0.0345   | 0.0160 |
| Near Miss 2                   | mean | 83.5643      | 0.6765    | 0.8103 | 0.7308   | 0.9071 |
|                               | std  | 1.3883       | 0.0495    | 0.0946 | 0.0226   | 0.0058 |
| Near Miss 3                   | mean | 85.2835      | 0.7993    | 0.6293 | 0.6997   | 0.9075 |
|                               | std  | 2.3494       | 0.0484    | 0.0969 | 0.0643   | 0.0161 |
| over random                   | mean | 86.9098      | 0.7231    | 0.8638 | 0.7860   | 0.9270 |



|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 2.3279  | 0.0481 | 0.0333 | 0.0322 | 0.0129 |
| SMOTE                       | mean | 82.9877 | 0.6518 | 0.8759 | 0.7425 | 0.9205 |
|                             | std  | 3.1497  | 0.0611 | 0.0623 | 0.0215 | 0.0132 |
| BSMOTE                      | mean | 83.1343 | 0.6428 | 0.9069 | 0.7500 | 0.9281 |
|                             | std  | 2.6387  | 0.0476 | 0.0441 | 0.0252 | 0.0123 |
| Cost Sensitive              | mean | 85.3796 | 0.7200 | 0.7966 | 0.7502 | 0.9170 |
|                             | std  | 1.0329  | 0.0513 | 0.0873 | 0.0151 | 0.0094 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 80.6099 | 0.7896 | 0.6585 | 0.7128 | 0.8400 |
|                             | std  | 1.9436  | 0.0497 | 0.0862 | 0.0443 | 0.0234 |
| classic 0.2                 | mean | 76.3932 | 0.8407 | 0.4463 | 0.5816 | 0.8220 |
|                             | std  | 2.2215  | 0.0355 | 0.0549 | 0.0538 | 0.0177 |
| under random                | mean | 73.0485 | 0.6230 | 0.7409 | 0.6679 | 0.8158 |
|                             | std  | 1.6953  | 0.0506 | 0.1127 | 0.0248 | 0.0269 |
| Near Miss 1                 | mean | 77.5553 | 0.7211 | 0.6821 | 0.6904 | 0.8281 |
|                             | std  | 2.3828  | 0.0772 | 0.1022 | 0.0322 | 0.0215 |
| Near Miss 2                 | mean | 77.4602 | 0.6841 | 0.7369 | 0.7077 | 0.8282 |
|                             | std  | 2.7331  | 0.0473 | 0.0518 | 0.0329 | 0.0156 |
| Near Miss 3                 | mean | 77.4602 | 0.6841 | 0.7369 | 0.7077 | 0.8282 |
|                             | std  | 2.7331  | 0.0473 | 0.0518 | 0.0329 | 0.0156 |
| over random                 | mean | 77.8455 | 0.6958 | 0.7213 | 0.7067 | 0.8262 |
|                             | std  | 2.9740  | 0.0460 | 0.0539 | 0.0367 | 0.0232 |
| SMOTE                       | mean | 76.8797 | 0.6877 | 0.7199 | 0.6954 | 0.8203 |
|                             | std  | 3.1694  | 0.0617 | 0.0998 | 0.0449 | 0.0276 |
| BSMOTE                      | mean | 76.0048 | 0.6497 | 0.7775 | 0.7056 | 0.8329 |
|                             | std  | 2.5592  | 0.0416 | 0.0605 | 0.0300 | 0.0200 |
| Cost Sensitive              | mean | 77.1218 | 0.7045 | 0.6977 | 0.6906 | 0.8173 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 3.1410  | 0.0708 | 0.1035 | 0.0446 | 0.0231 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 68.6476 | 0.7456 | 0.6353 | 0.6814 | 0.7535 |
|                             | std  | 2.1633  | 0.0598 | 0.0578 | 0.0201 | 0.0223 |
| classic 0.2                 | mean | 68.0486 | 0.7233 | 0.6682 | 0.6808 | 0.7487 |
|                             | std  | 2.1636  | 0.0498 | 0.1350 | 0.0697 | 0.0171 |
| under random                | mean | 69.0946 | 0.7574 | 0.6145 | 0.6771 | 0.7563 |
|                             | std  | 2.5715  | 0.0286 | 0.0512 | 0.0339 | 0.0192 |
| Near Miss 1                 | mean | 69.2454 | 0.7338 | 0.6663 | 0.6943 | 0.7569 |
|                             | std  | 2.5451  | 0.0361 | 0.0775 | 0.0393 | 0.0201 |
| Near Miss 2                 | mean | 68.6469 | 0.7502 | 0.6373 | 0.6788 | 0.7504 |
|                             | std  | 1.4705  | 0.0653 | 0.1018 | 0.0426 | 0.0150 |
| Near Miss 3                 | mean | 69.5443 | 0.7969 | 0.5758 | 0.6660 | 0.7602 |
|                             | std  | 2.1604  | 0.0467 | 0.0507 | 0.0306 | 0.0147 |
| over random                 | mean | 69.5450 | 0.7312 | 0.6758 | 0.7015 | 0.7590 |
|                             | std  | 1.7112  | 0.0296 | 0.0280 | 0.0146 | 0.0195 |
| SMOTE                       | mean | 68.0476 | 0.6989 | 0.7012 | 0.6991 | 0.7492 |
|                             | std  | 1.4939  | 0.0256 | 0.0338 | 0.0140 | 0.0164 |
| BSMOTE                      | mean | 68.3971 | 0.7984 | 0.5523 | 0.6466 | 0.7588 |
|                             | std  | 0.7273  | 0.0562 | 0.0734 | 0.0341 | 0.0142 |

Πίνακας 8.1: Ασθενής 1: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|            |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
|------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
|            | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
| ACCURACY   |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02 | 0.0069    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under random   | 0.0059 | 0.4852 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1701 | 0.7579 | 0.6288 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0227 | 0.7479 | 0.5121 | 0.8477 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1723 | 0.1690 | 0.2517 | 0.2995 | 0.1239 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1136 | 0.0296 | 0.0070 | 0.3670 | 0.0907 | 0.4907 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0750 | 0.8894 | 0.7912 | 0.3474 | 0.7352 | 0.1446 | 0.2064 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0553 | 0.9510 | 0.6992 | 0.6226 | 0.5670 | 0.0392 | 0.1448 | 0.9367 | -      |
| cost sensitive | 0.0641 | 0.1093 | 0.1998 | 0.4108 | 0.0303 | 0.9337 | 0.3832 | 0.1601 | 0.1183 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.4416 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2458 | 0.0840 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0170 | 0.0052 | 0.5551 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0061 | 0.0139 | 0.5646 | 0.7788 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0916 | 0.1517 | 0.4348 | 0.0300 | 0.0257 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0095 | 0.0456 | 0.8887 | 0.5772 | 0.2415 | 0.0789 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0025 | 0.0005 | 0.2658 | 0.0846 | 0.5366 | 0.0073 | 0.2203 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0031 | 0.0052 | 0.3537 | 0.2190 | 0.1691 | 0.0047 | 0.1092 | 0.8038 | -      |
| cost sensitive | 0.0276 | 0.0075 | 0.8468 | 0.3997 | 0.1792 | 0.1363 | 0.9488 | 0.0646 | 0.0797 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0109 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.7851 | 0.1304 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0408 | 0.0008 | 0.3482 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1778 | 0.0058 | 0.4977 | 1.0000 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2533 | 0.1019 | 0.6428 | 0.0412 | 0.0606 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0083 | 0.0008 | 0.2405 | 0.0354 | 0.2598 | 0.0109 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0004 | 0.0008 | 0.1788 | 0.0115 | 0.2334 | 0.0223 | 0.5520 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0033 | 0.0004 | 0.1787 | 0.0182 | 0.0358 | 0.0111 | 0.0426 | 0.2175 | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| cost sensitive | 0.2519 | 0.0005 | 0.4336 | 0.7483 | 0.7921 | 0.0846 | 0.1905 | 0.1122 | 0.0460 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0073 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1387 | 0.4767 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3854 | 0.0173 | 0.3558 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1256 | 0.0129 | 0.3590 | 0.6994 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2039 | 0.1159 | 0.6491 | 0.1053 | 0.3302 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3936 | 0.0013 | 0.0907 | 0.2192 | 0.0587 | 0.1346 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.3297 | 0.0119 | 0.3448 | 0.7907 | 0.5206 | 0.1989 | 0.1735 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4236 | 0.0070 | 0.2433 | 0.4993 | 0.1220 | 0.0951 | 0.1982 | 0.6828 | -      |
| cost sensitive | 0.2996 | 0.0038 | 0.2230 | 0.5909 | 0.0975 | 0.1762 | 0.0805 | 0.6678 | 0.9786 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0265 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0248 | 0.0271 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0270 | 0.0800 | 0.7369 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0025 | 0.0026 | 0.6084 | 0.4198 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0432 | 0.1100 | 0.6861 | 0.3482 | 0.9599 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0370 | 0.6302 | 0.0568 | 0.0877 | 0.0347 | 0.1683 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0807 | 0.3820 | 0.0087 | 0.1331 | 0.0785 | 0.2770 | 0.3461 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3382 | 0.5020 | 0.0103 | 0.0536 | 0.0048 | 0.0232 | 0.9038 | 0.2653 | -      |
| cost sensitive | 0.0029 | 0.0152 | 0.1389 | 0.1604 | 0.0420 | 0.2792 | 0.0779 | 0.5830 | 0.0900 |

Πίνακας 8.2: Ασθενής1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|          |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
|----------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
|          | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
| ACCURACY |           |            |              |         |         |         |             |            |             |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| classic 02     | 0.0430 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0078 | 0.1220 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1136 | 0.2500 | 0.0289 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0163 | 0.2915 | 0.7104 | 0.1738 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0277 | 0.6086 | 0.0529 | 0.9617 | 0.1094 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0173 | 0.4072 | 0.0690 | 0.8566 | 0.1516 | 0.7934 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0763 | 0.7922 | 0.1061 | 0.7210 | 0.2277 | 0.5940 | 0.6432 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0212 | 0.8691 | 0.0433 | 0.4532 | 0.1719 | 0.2725 | 0.3273 | 0.6629 | -      |
| cost sensitive | 0.0854 | 0.5192 | 0.1510 | 0.8133 | 0.2339 | 0.8583 | 0.7027 | 0.8749 | 0.6811 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1616 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0183 | 0.0050 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2398 | 0.0191 | 0.1091 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0206 | 0.0106 | 0.3917 | 0.2239 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0611 | 0.0059 | 0.1926 | 0.5363 | 0.2919 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0188 | 0.0017 | 0.1384 | 0.6109 | 0.2657 | 0.7543 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1191 | 0.0135 | 0.1802 | 0.4762 | 0.2929 | 0.9102 | 0.8810 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0251 | 0.0047 | 0.1519 | 0.2398 | 0.6214 | 0.2773 | 0.2204 | 0.3795 | -      |
| cost sensitive | 0.1323 | 0.0206 | 0.1935 | 0.6872 | 0.2653 | 0.6469 | 0.8778 | 0.5268 | 0.3535 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0227 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2077 | 0.0036 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.5812 | 0.0332 | 0.4447 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.3436 | 0.0039 | 0.0349 | 0.7104 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0889 | 0.0021 | 0.9456 | 0.3365 | 0.5512 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0883 | 0.0018 | 0.6555 | 0.4336 | 0.6851 | 0.6850 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2423 | 0.0094 | 0.6650 | 0.4853 | 0.7447 | 0.6416 | 0.9781 | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over bsmote    | 0.0337 | 0.0009 | 0.3589 | 0.1165 | 0.0546 | 0.1575 | 0.1202 | 0.0633 | -      |
| cost sensitive | 0.3851 | 0.0215 | 0.5283 | 0.7076 | 0.8720 | 0.3001 | 0.6712 | 0.3639 | 0.0816 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0272 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0518 | 0.0188 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0491 | 0.0333 | 0.1397 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0398 | 0.0480 | 0.6517 | 0.1147 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.4893 | 0.0236 | 0.0396 | 0.0145 | 0.0313 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.5674 | 0.0137 | 0.0110 | 0.1279 | 0.0230 | 0.9296 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0724 | 0.0272 | 0.1013 | 0.6546 | 0.1176 | 0.2978 | 0.1150 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.5693 | 0.0278 | 0.0705 | 0.0473 | 0.0402 | 0.7830 | 0.9374 | 0.5417 | -      |
| cost sensitive | 0.1381 | 0.0266 | 0.1498 | 0.9832 | 0.1355 | 0.2977 | 0.0405 | 0.5897 | 0.4082 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0191 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0154 | 0.2884 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0505 | 0.1864 | 0.0916 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0099 | 0.0478 | 0.5354 | 0.0629 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1659 | 0.1867 | 0.1877 | 0.9771 | 0.0357 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0040 | 0.3407 | 0.1167 | 0.4971 | 0.0689 | 0.7429 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0177 | 0.7814 | 0.2203 | 0.3178 | 0.2977 | 0.4423 | 0.3435 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2083 | 0.1344 | 0.0763 | 0.4168 | 0.0434 | 0.5379 | 0.2942 | 0.1360 | -      |
| cost sensitive | 0.0061 | 0.3594 | 0.8298 | 0.1909 | 0.2096 | 0.2489 | 0.1515 | 0.5661 | 0.1065 |

Πίνακας 8.3: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1536    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.7040    | 0.4155     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.3821    | 0.2156     | 0.8359       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.9995    | 0.6504     | 0.6870       | 0.6271  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.4696    | 0.2072     | 0.6673       | 0.7909  | 0.5597  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.2051    | 0.1177     | 0.5639       | 0.5287  | 0.3618  | 0.9993  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.5152    | 0.9990     | 0.4265       | 0.3108  | 0.6538  | 0.0504  | 0.1057      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.7921    | 0.7274     | 0.5818       | 0.4565  | 0.7886  | 0.2676  | 0.1300      | 0.5435     | -           |
| cost sensitive | 0.9985    | 0.5059     | 0.6246       | 0.4259  | 0.9995  | 0.2210  | 0.0449      | 0.2894     | 0.6219      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.6660    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.6649    | 0.3604     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.6468    | 0.8112     | 0.3560       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.8820    | 0.5878     | 0.7894       | 0.6951  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1893    | 0.1770     | 0.0901       | 0.0731  | 0.1336  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.5931    | 0.8295     | 0.0064       | 0.9053  | 0.5518  | 0.0299  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0895    | 0.4728     | 0.0399       | 0.0852  | 0.1722  | 0.0242  | 0.1779      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.3084    | 0.1761     | 0.2824       | 0.1123  | 0.2646  | 0.9478  | 0.1283      | 0.0376     | -           |
| cost sensitive | 0.3308    | 0.0667     | 0.1846       | 0.1220  | 0.2981  | 0.6092  | 0.0559      | 0.0113     | 0.5951      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.6996    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.5865    | 0.4059     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.4958    | 0.9822     | 0.2742       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.9675    | 0.7470     | 0.7408       | 0.7403  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.3097    | 0.3094     | 0.3751       | 0.1397  | 0.4183  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.2869 | 0.9141 | 0.0160 | 0.8276 | 0.5433 | 0.0166 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0570 | 0.6437 | 0.0351 | 0.2435 | 0.3311 | 0.0297 | 0.3500 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2080 | 0.2392 | 0.3599 | 0.0938 | 0.2578 | 0.5816 | 0.0653 | 0.0200 | -      |
| cost sensitive | 0.2011 | 0.1403 | 0.2347 | 0.0658 | 0.3171 | 0.7174 | 0.0207 | 0.0053 | 0.7250 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.9859 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.8050 | 0.9057 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.5107 | 0.7209 | 0.3730 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.8860 | 0.9636 | 0.9605 | 0.6801 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.5553 | 0.7090 | 0.6135 | 0.2949 | 0.7388 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1508 | 0.5378 | 0.0801 | 0.6715 | 0.4330 | 0.0614 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1813 | 0.5950 | 0.1994 | 0.7480 | 0.4826 | 0.0838 | 0.6404 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1904 | 0.4396 | 0.3698 | 0.1097 | 0.3647 | 0.3964 | 0.0544 | 0.0310 | -      |
| cost sensitive | 0.1928 | 0.3905 | 0.2864 | 0.0596 | 0.4911 | 0.5156 | 0.0143 | 0.0063 | 0.6228 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.2799 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3705 | 0.0410 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.4113 | 0.0673 | 0.8651 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.6055 | 0.6800 | 0.3229 | 0.1247 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2347 | 0.0537 | 0.3311 | 0.4852 | 0.0717 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0411 | 0.0535 | 0.4144 | 0.5898 | 0.1252 | 0.7482 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2230 | 0.8565 | 0.0594 | 0.0981 | 0.7425 | 0.0166 | 0.0057 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3199 | 0.0104 | 0.4672 | 0.5629 | 0.0289 | 0.6430 | 0.9708 | 0.0158 | -      |
| cost sensitive | 0.5690 | 0.6270 | 0.1581 | 0.2986 | 0.9332 | 0.0058 | 0.0598 | 0.5296 | 0.0740 |

Πίνακας 8.4: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24



## Ασθενής 2

123

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 88.892   | 0.891     | 0.804  | 0.844    | 0.952 |
|                               | std  | 2.201    | 0.023     | 0.061  | 0.035    | 0.011 |
| classic 0.2                   | mean | 85.108   | 0.889     | 0.696  | 0.775    | 0.943 |
|                               | std  | 2.615    | 0.035     | 0.104  | 0.053    | 0.008 |
| under random                  | mean | 87.348   | 0.872     | 0.784  | 0.820    | 0.940 |
|                               | std  | 2.501    | 0.032     | 0.105  | 0.051    | 0.013 |
| Near Miss 1                   | mean | 85.210   | 0.790     | 0.837  | 0.810    | 0.933 |
|                               | std  | 2.836    | 0.056     | 0.049  | 0.031    | 0.014 |
| Near Miss 2                   | mean | 83.563   | 0.753     | 0.864  | 0.800    | 0.928 |
|                               | std  | 3.436    | 0.077     | 0.046  | 0.028    | 0.012 |
| Near Miss 3                   | mean | 87.599   | 0.828     | 0.848  | 0.837    | 0.948 |
|                               | std  | 1.374    | 0.024     | 0.049  | 0.021    | 0.012 |
| over random                   | mean | 87.499   | 0.852     | 0.816  | 0.830    | 0.945 |
|                               | std  | 1.149    | 0.043     | 0.075  | 0.023    | 0.008 |
| SMOTE                         | mean | 86.102   | 0.838     | 0.794  | 0.811    | 0.931 |
|                               | std  | 3.373    | 0.070     | 0.078  | 0.046    | 0.022 |
| BSMOTE                        | mean | 85.954   | 0.767     | 0.910  | 0.831    | 0.945 |
|                               | std  | 2.165    | 0.048     | 0.038  | 0.021    | 0.014 |
| Cost Sensitive                | mean | 87.300   | 0.813     | 0.861  | 0.836    | 0.941 |
|                               | std  | 1.248    | 0.021     | 0.031  | 0.017    | 0.010 |
| Prediction Horizon 12 (1 h)   |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 80.570   | 0.822     | 0.752  | 0.786    | 0.875 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 1.123  | 0.018 | 0.016 | 0.011 | 0.016 |
| classic 0.2                 | mean | 79.896 | 0.845 | 0.714 | 0.770 | 0.875 |
|                             | std  | 1.106  | 0.051 | 0.066 | 0.018 | 0.015 |
| under random                | mean | 80.000 | 0.812 | 0.752 | 0.781 | 0.871 |
|                             | std  | 2.075  | 0.026 | 0.032 | 0.023 | 0.020 |
| Near Miss 1                 | mean | 79.171 | 0.814 | 0.729 | 0.768 | 0.866 |
|                             | std  | 1.610  | 0.034 | 0.046 | 0.021 | 0.024 |
| Near Miss 2                 | mean | 80.052 | 0.837 | 0.733 | 0.774 | 0.874 |
|                             | std  | 1.589  | 0.063 | 0.088 | 0.031 | 0.015 |
| Near Miss 3                 | mean | 80.570 | 0.773 | 0.849 | 0.806 | 0.895 |
|                             | std  | 3.223  | 0.059 | 0.040 | 0.021 | 0.013 |
| over random                 | mean | 80.466 | 0.828 | 0.755 | 0.785 | 0.877 |
|                             | std  | 1.858  | 0.062 | 0.070 | 0.021 | 0.012 |
| SMOTE                       | mean | 79.896 | 0.795 | 0.785 | 0.787 | 0.877 |
|                             | std  | 1.542  | 0.049 | 0.064 | 0.015 | 0.013 |
| BSMOTE                      | mean | 80.363 | 0.792 | 0.800 | 0.794 | 0.881 |
|                             | std  | 1.566  | 0.041 | 0.038 | 0.011 | 0.016 |
| Cost Sensitive              | mean | 80.725 | 0.830 | 0.751 | 0.785 | 0.874 |
|                             | std  | 1.746  | 0.033 | 0.080 | 0.032 | 0.015 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 72.942 | 0.778 | 0.807 | 0.791 | 0.798 |
|                             | std  | 1.650  | 0.027 | 0.025 | 0.009 | 0.018 |
| classic 0.2                 | mean | 71.814 | 0.757 | 0.824 | 0.788 | 0.794 |
|                             | std  | 2.297  | 0.032 | 0.037 | 0.015 | 0.021 |
| under random                | mean | 71.982 | 0.846 | 0.692 | 0.758 | 0.788 |
|                             | std  | 2.911  | 0.054 | 0.055 | 0.025 | 0.024 |
| Near Miss 1                 | mean | 72.942 | 0.827 | 0.727 | 0.772 | 0.793 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | std  | 2.726  | 0.009 | 0.065 | 0.033 | 0.029 |
| Near Miss 2    | mean | 61.106 | 0.667 | 0.488 | 0.561 | 0.771 |
|                | std  | 12.373 | 0.335 | 0.251 | 0.282 | 0.035 |
| Near Miss 3    | mean | 73.561 | 0.849 | 0.719 | 0.772 | 0.805 |
|                | std  | 2.533  | 0.043 | 0.093 | 0.041 | 0.021 |
| over random    | mean | 70.575 | 0.898 | 0.611 | 0.724 | 0.789 |
|                | std  | 1.467  | 0.041 | 0.058 | 0.028 | 0.022 |
| SMOTE          | mean | 72.097 | 0.871 | 0.664 | 0.749 | 0.799 |
|                | std  | 2.355  | 0.034 | 0.078 | 0.037 | 0.018 |
| BSMOTE         | mean | 71.252 | 0.854 | 0.664 | 0.743 | 0.794 |
|                | std  | 3.084  | 0.026 | 0.078 | 0.043 | 0.023 |
| Cost Sensitive | mean | 70.744 | 0.881 | 0.626 | 0.730 | 0.796 |
|                | std  | 3.126  | 0.032 | 0.053 | 0.037 | 0.025 |

Πίνακας 8.5: Ασθενής 2: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0149    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.2899    | 0.0724     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0766    | 0.9607     | 0.3613       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0055    | 0.3623     | 0.1321       | 0.5178  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.1781    | 0.0247     | 0.8256       | 0.2296  | 0.0382  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.2680    | 0.0915     | 0.8875       | 0.2975  | 0.0633  | 0.8588  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0660    | 0.2470     | 0.1835       | 0.7118  | 0.2151  | 0.2952  | 0.3800      | -          | -           |
| over bsmote  | 0.0744    | 0.6501     | 0.3380       | 0.7124  | 0.2553  | 0.2960  | 0.2342      | 0.9327     | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| cost sensitive | 0.2846 | 0.1563 | 0.9632 | 0.3531 | 0.1044 | 0.7144 | 0.4953 | 0.4758 | 0.2749 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.9339 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.4723 | 0.1448 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0395 | 0.0703 | 0.0820 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0178 | 0.0545 | 0.0809 | 0.5431 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0223 | 0.0945 | 0.1760 | 0.2679 | 0.0628 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2128 | 0.0269 | 0.1993 | 0.1701 | 0.1661 | 0.5198 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1366 | 0.3478 | 0.5389 | 0.3649 | 0.0220 | 0.7586 | 0.8022 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0077 | 0.0213 | 0.0421 | 0.4854 | 0.7847 | 0.0682 | 0.0651 | 0.0921 | -      |
| cost sensitive | 0.0068 | 0.0050 | 0.0295 | 0.5481 | 0.2117 | 0.4282 | 0.1305 | 0.5380 | 0.1088 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0547 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.7291 | 0.0723 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3170 | 0.0338 | 0.4303 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.2799 | 0.0848 | 0.3388 | 0.5299 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3876 | 0.0334 | 0.2807 | 0.6934 | 0.7011 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.6645 | 0.0164 | 0.4714 | 0.5720 | 0.4690 | 0.4872 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8649 | 0.1330 | 0.8742 | 0.3264 | 0.2212 | 0.0605 | 0.7143 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0128 | 0.0042 | 0.0596 | 0.0054 | 0.2963 | 0.0434 | 0.0303 | 0.0274 | -      |
| cost sensitive | 0.1678 | 0.0160 | 0.1196 | 0.4346 | 0.9447 | 0.5033 | 0.2308 | 0.0972 | 0.0418 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0224 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3952 | 0.0624 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1372 | 0.2712 | 0.7863 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0137 | 0.3453 | 0.5336 | 0.6247 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.6922 | 0.0249 | 0.4733 | 0.2365 | 0.0548 | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.3653 | 0.0466 | 0.6522 | 0.4404 | 0.0479 | 0.4320 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2029 | 0.0178 | 0.4404 | 0.9856 | 0.6926 | 0.1821 | 0.3594 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4169 | 0.0931 | 0.6400 | 0.3762 | 0.1138 | 0.7079 | 0.9434 | 0.4267 | -      |
| cost sensitive | 0.7109 | 0.0579 | 0.4531 | 0.3188 | 0.0935 | 0.9368 | 0.4669 | 0.2535 | 0.6375 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.2170 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0164 | 0.6910 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0217 | 0.2059 | 0.4054 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0423 | 0.0255 | 0.1662 | 0.6530 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.6567 | 0.3566 | 0.4219 | 0.1747 | 0.0382 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1695 | 0.6911 | 0.2911 | 0.2031 | 0.0213 | 0.5904 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0638 | 0.2911 | 0.3273 | 0.8171 | 0.8246 | 0.1197 | 0.1957 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0649 | 0.7874 | 0.0897 | 0.1519 | 0.1234 | 0.7745 | 0.9150 | 0.1000 | -      |
| cost sensitive | 0.0692 | 0.6734 | 0.8955 | 0.3975 | 0.1039 | 0.2617 | 0.1139 | 0.2649 | 0.3095 |

Πίνακας 8.6: Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.2347    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.4886    | 0.9101     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.1246    | 0.5266     | 0.5870       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.4859    | 0.8723     | 0.9385       | 0.4880  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 1.0000    | 0.6021     | 0.5237       | 0.5015  | 0.6999  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.9028    | 0.4029     | 0.6257       | 0.4122  | 0.6467  | 0.9196  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.5147    | 1.0000     | 0.9325       | 0.5763  | 0.7948  | 0.7093  | 0.5848      | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over bsmote    | 0.4320 | 0.5263 | 0.6677 | 0.1740 | 0.7087 | 0.8694 | 0.9172 | 0.6935 | -      |
| cost sensitive | 0.8605 | 0.2852 | 0.2635 | 0.3578 | 0.3771 | 0.8806 | 0.6584 | 0.4336 | 0.7323 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.4678 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0912 | 0.3510 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.5465 | 0.3003 | 0.8922 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.6894 | 0.7825 | 0.5082 | 0.5340 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1190 | 0.0359 | 0.1979 | 0.0899 | 0.0806 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.8820 | 0.5331 | 0.6902 | 0.6578 | 0.7005 | 0.1350 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4369 | 0.0688 | 0.6726 | 0.6068 | 0.3525 | 0.5967 | 0.3877 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1185 | 0.2109 | 0.2905 | 0.1249 | 0.3671 | 0.5275 | 0.4124 | 0.9333 | -      |
| cost sensitive | 0.7035 | 0.7325 | 0.3857 | 0.5847 | 0.8575 | 0.2160 | 0.9567 | 0.4244 | 0.2489 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3502 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.9985 | 0.4422 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.4206 | 0.6426 | 0.5821 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.7019 | 0.7345 | 0.6924 | 0.9481 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0227 | 0.0069 | 0.0380 | 0.0029 | 0.0696 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.9603 | 0.3432 | 0.9490 | 0.6134 | 0.5956 | 0.0440 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.3906 | 0.0314 | 0.4299 | 0.2364 | 0.2611 | 0.1516 | 0.3664 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0862 | 0.1111 | 0.0952 | 0.1096 | 0.3382 | 0.1307 | 0.3517 | 0.7683 | -      |
| cost sensitive | 0.9780 | 0.6163 | 0.9646 | 0.7405 | 0.7565 | 0.1499 | 0.9449 | 0.5773 | 0.3179 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1490 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.6509 | 0.4909 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1910 | 0.8786 | 0.5600 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.5173 | 0.8388 | 0.6848 | 0.7391 | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 3        | 0.0754 | 0.0240 | 0.0097 | 0.1113 | 0.1556 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.9182 | 0.3176 | 0.1277 | 0.4381 | 0.5344 | 0.0091 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8860 | 0.2499 | 0.5167 | 0.2157 | 0.2570 | 0.1323 | 0.8215 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0578 | 0.0319 | 0.2145 | 0.1196 | 0.3187 | 0.1192 | 0.3134 | 0.4130 | -      |
| cost sensitive | 0.9544 | 0.5060 | 0.6177 | 0.5415 | 0.5988 | 0.1237 | 0.9859 | 0.8959 | 0.5467 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.9712 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.5139 | 0.4671 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2733 | 0.3323 | 0.6790 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.9251 | 0.9203 | 0.4569 | 0.3424 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0027 | 0.0003 | 0.0113 | 0.0370 | 0.0146 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.6052 | 0.5663 | 0.1704 | 0.3240 | 0.3746 | 0.0093 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.6849 | 0.6862 | 0.3290 | 0.2279 | 0.4092 | 0.0156 | 0.8837 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2489 | 0.1957 | 0.0698 | 0.1651 | 0.1797 | 0.0222 | 0.4584 | 0.2065 | -      |
| cost sensitive | 0.9419 | 0.9331 | 0.5649 | 0.4984 | 0.9951 | 0.0229 | 0.4370 | 0.7408 | 0.4287 |

Πίνακας 8.7: Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.4659    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.5251    | 0.7918     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.9999    | 0.2596     | 0.4396       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.1010    | 0.1677     | 0.1528       | 0.1633  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.6627    | 0.1747     | 0.1658       | 0.5058  | 0.1312  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0971    | 0.5387     | 0.5356       | 0.2793  | 0.2099  | 0.1453  | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.4915 | 0.8335 | 0.9335 | 0.5681 | 0.1256 | 0.2955 | 0.4094 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4677 | 0.8238 | 0.7978 | 0.4431 | 0.2413 | 0.3085 | 0.5878 | 0.7270 | -      |
| cost sensitive | 0.3616 | 0.5128 | 0.5325 | 0.0397 | 0.2560 | 0.1007 | 0.9335 | 0.4473 | 0.7721 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3648 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0645 | 0.0457 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0222 | 0.0218 | 0.5793 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.5168 | 0.6173 | 0.3638 | 0.3883 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0445 | 0.0171 | 0.9392 | 0.3160 | 0.3178 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0154 | 0.0017 | 0.1330 | 0.0432 | 0.2614 | 0.2480 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0278 | 0.0066 | 0.5437 | 0.0704 | 0.3141 | 0.3360 | 0.4111 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0174 | 0.0001 | 0.7844 | 0.1657 | 0.3299 | 0.8254 | 0.0983 | 0.3589 | -      |
| cost sensitive | 0.0155 | 0.0006 | 0.2735 | 0.0577 | 0.2944 | 0.3318 | 0.3822 | 0.5941 | 0.0402 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.6584 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0637 | 0.0340 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3088 | 0.1973 | 0.3385 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1739 | 0.1878 | 0.2283 | 0.2301 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3389 | 0.3358 | 0.5341 | 0.9802 | 0.2255 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0109 | 0.0354 | 0.2616 | 0.1748 | 0.3154 | 0.1724 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0582 | 0.0848 | 0.6168 | 0.3183 | 0.2252 | 0.3150 | 0.4144 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1037 | 0.1492 | 0.6717 | 0.3672 | 0.3049 | 0.3699 | 0.3320 | 0.8671 | -      |
| cost sensitive | 0.0346 | 0.0258 | 0.2352 | 0.0270 | 0.3262 | 0.0973 | 0.8308 | 0.4163 | 0.5622 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.6584 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0637 | 0.0340 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3088 | 0.1973 | 0.3385 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.1739 | 0.1878 | 0.2283 | 0.2301 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3389 | 0.3358 | 0.5341 | 0.9802 | 0.2255 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0109 | 0.0354 | 0.2616 | 0.1748 | 0.3154 | 0.1724 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0582 | 0.0848 | 0.6168 | 0.3183 | 0.2252 | 0.3150 | 0.4144 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1037 | 0.1492 | 0.6717 | 0.3672 | 0.3049 | 0.3699 | 0.3320 | 0.8671 | -      |
| cost sensitive | 0.0346 | 0.0258 | 0.2352 | 0.0270 | 0.3262 | 0.0973 | 0.8308 | 0.4163 | 0.5622 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.2961 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1467 | 0.0650 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.6289 | 0.8782 | 0.4676 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0426 | 0.0824 | 0.2103 | 0.2250 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1926 | 0.0276 | 0.0180 | 0.2453 | 0.0336 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2421 | 0.2607 | 0.6833 | 0.6817 | 0.2271 | 0.0097 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8227 | 0.2531 | 0.0572 | 0.4661 | 0.1054 | 0.1775 | 0.0196 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.5121 | 0.9732 | 0.4033 | 0.9145 | 0.1108 | 0.0193 | 0.4772 | 0.3759 | -      |
| cost sensitive | 0.8473 | 0.6586 | 0.1433 | 0.3383 | 0.1181 | 0.2412 | 0.3272 | 0.6672 | 0.6909 |

Πίνακας 8.8: Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

### Ασθενής 3

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 93.8562  | 0.8574    | 0.6632 | 0.7439   | 0.9773 |
|                               | std  | 1.1902   | 0.0411    | 0.0957 | 0.0604   | 0.0083 |
| classic 0.2                   | mean | 90.6697  | 0.9018    | 0.3647 | 0.5007   | 0.9680 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 1.5503  | 0.0515 | 0.1426 | 0.1371 | 0.0151 |
| under random                | mean | 75.9161 | 0.5484 | 0.7668 | 0.5656 | 0.9366 |
|                             | std  | 25.6869 | 0.2536 | 0.1801 | 0.1540 | 0.0110 |
| Near Miss 1                 | mean | 84.6463 | 0.4942 | 0.8048 | 0.6033 | 0.9124 |
|                             | std  | 6.1768  | 0.1029 | 0.0557 | 0.0815 | 0.0123 |
| Near Miss 2                 | mean | 66.7882 | 0.3355 | 0.9543 | 0.4839 | 0.9322 |
|                             | std  | 20.9404 | 0.1076 | 0.0517 | 0.1224 | 0.0217 |
| Near Miss 3                 | mean | 70.0607 | 0.5515 | 0.8042 | 0.5313 | 0.9484 |
|                             | std  | 30.4531 | 0.3160 | 0.2460 | 0.1896 | 0.0399 |
| over random                 | mean | 91.1833 | 0.6407 | 0.9045 | 0.7443 | 0.9606 |
|                             | std  | 3.0850  | 0.1070 | 0.0340 | 0.0695 | 0.0140 |
| SMOTE                       | mean | 91.6385 | 0.6460 | 0.9003 | 0.7499 | 0.9588 |
|                             | std  | 2.2804  | 0.0757 | 0.0427 | 0.0564 | 0.0145 |
| BSMOTE                      | mean | 88.3948 | 0.5530 | 0.9543 | 0.6967 | 0.9690 |
|                             | std  | 2.8198  | 0.0691 | 0.0405 | 0.0505 | 0.0153 |
| Cost Sensitive              | mean | 89.5890 | 0.5824 | 0.9043 | 0.7063 | 0.9586 |
|                             | std  | 1.8732  | 0.0535 | 0.0431 | 0.0363 | 0.0081 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 90.2874 | 0.8350 | 0.5993 | 0.6935 | 0.9166 |
|                             | std  | 1.0184  | 0.0574 | 0.0685 | 0.0438 | 0.0072 |
| classic 0.2                 | mean | 86.1494 | 0.8888 | 0.2855 | 0.4303 | 0.9090 |
|                             | std  | 1.3030  | 0.0816 | 0.0576 | 0.0728 | 0.0125 |
| under random                | mean | 83.2184 | 0.5489 | 0.7637 | 0.6314 | 0.8777 |
|                             | std  | 3.8621  | 0.0756 | 0.0689 | 0.0381 | 0.0254 |
| Near Miss 1                 | mean | 77.0115 | 0.4390 | 0.6928 | 0.5285 | 0.8281 |
|                             | std  | 3.9776  | 0.0651 | 0.0959 | 0.0348 | 0.0184 |
| Near Miss 2                 | mean | 74.2529 | 0.5180 | 0.6457 | 0.5180 | 0.8498 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 20.4436 | 0.1633 | 0.2212 | 0.1281 | 0.0348 |
| Near Miss 3                 | mean | 77.6437 | 0.5846 | 0.7050 | 0.5699 | 0.8944 |
|                             | std  | 14.2494 | 0.2127 | 0.2095 | 0.0785 | 0.0169 |
| over random                 | mean | 83.7356 | 0.5562 | 0.8231 | 0.6588 | 0.8945 |
|                             | std  | 4.9358  | 0.0960 | 0.0282 | 0.0686 | 0.0165 |
| SMOTE                       | mean | 83.7356 | 0.5461 | 0.8324 | 0.6567 | 0.9023 |
|                             | std  | 3.0006  | 0.0555 | 0.0516 | 0.0404 | 0.0157 |
| BSMOTE                      | mean | 82.6437 | 0.5261 | 0.8726 | 0.6542 | 0.9184 |
|                             | std  | 3.7005  | 0.0631 | 0.0206 | 0.0487 | 0.0088 |
| Cost Sensitive              | mean | 85.0000 | 0.6077 | 0.7107 | 0.6395 | 0.8887 |
|                             | std  | 3.6997  | 0.1056 | 0.1100 | 0.0447 | 0.0176 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 81.4580 | 0.6390 | 0.4416 | 0.5185 | 0.7989 |
|                             | std  | 4.7477  | 0.3199 | 0.2344 | 0.2645 | 0.0269 |
| classic 0.2                 | mean | 79.2833 | 0.8661 | 0.2992 | 0.4409 | 0.7896 |
|                             | std  | 1.2523  | 0.0563 | 0.0561 | 0.0599 | 0.0148 |
| under random                | mean | 75.1804 | 0.6111 | 0.6499 | 0.6052 | 0.7826 |
|                             | std  | 11.4154 | 0.1297 | 0.1246 | 0.0586 | 0.0196 |
| Near Miss 1                 | mean | 68.8397 | 0.4643 | 0.6624 | 0.5434 | 0.7449 |
|                             | std  | 5.8755  | 0.0587 | 0.0415 | 0.0468 | 0.0443 |
| Near Miss 2                 | mean | 60.5625 | 0.4350 | 0.7583 | 0.5309 | 0.7616 |
|                             | std  | 17.4170 | 0.1010 | 0.1461 | 0.0558 | 0.0214 |
| Near Miss 3                 | mean | 70.7813 | 0.5313 | 0.7180 | 0.5889 | 0.7908 |
|                             | std  | 11.6370 | 0.1258 | 0.1184 | 0.0624 | 0.0190 |
| over random                 | mean | 77.6448 | 0.6040 | 0.6499 | 0.6204 | 0.7997 |
|                             | std  | 5.5635  | 0.0943 | 0.0541 | 0.0591 | 0.0190 |
| SMOTE                       | mean | 75.7004 | 0.5678 | 0.6477 | 0.5990 | 0.7976 |

|                |      |         |        |        |        |        |
|----------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                | std  | 5.1040  | 0.0864 | 0.0602 | 0.0483 | 0.0252 |
| BSMOTE         | mean | 78.2293 | 0.5906 | 0.6964 | 0.6387 | 0.7993 |
|                | std  | 1.7165  | 0.0270 | 0.0384 | 0.0273 | 0.0190 |
| Cost Sensitive | mean | 78.2293 | 0.5906 | 0.6964 | 0.6387 | 0.7993 |
|                | std  | 1.7165  | 0.0270 | 0.0384 | 0.0273 | 0.0190 |

Πίνακας 8.9: Ασθενής 3: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0141    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.2423    | 0.3100     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0327    | 0.1358     | 0.5846       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0591    | 0.0823     | 0.6214       | 0.0890  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1883    | 0.2363     | 0.8092       | 0.4314  | 0.8919  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.1560    | 0.7969     | 0.3282       | 0.1728  | 0.1060  | 0.2119  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.1198    | 0.5448     | 0.3123       | 0.1209  | 0.0925  | 0.2090  | 0.3817      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0145    | 0.2767     | 0.3905       | 0.3866  | 0.1323  | 0.2869  | 0.0760      | 0.0509     | -           |
| cost sensitive | 0.0256    | 0.3023     | 0.3407       | 0.2746  | 0.1107  | 0.2502  | 0.3223      | 0.1495     | 0.4983      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1688    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0718    | 0.0338     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0042    | 0.0053     | 0.7728       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0018    | 0.0018     | 0.2417       | 0.0188  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0942    | 0.0695     | 0.9863       | 0.7836  | 0.3617  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0047    | 0.0033     | 0.5369       | 0.1644  | 0.0433  | 0.4804  | -           | -          | -           |

|                |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
|----------------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|------------|
| over smote     | 0.0008 | 0.0014  | 0.5133      | 0.0991 | 0.0246 | 0.4977 | 0.7739     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0004 | 0.0002  | 0.9718      | 0.4572 | 0.0512 | 0.9922 | 0.0775     | 0.0411    | -          |
| cost sensitive | 0.0002 | 0.0001  | 0.7696      | 0.3148 | 0.0322 | 0.8319 | 0.2789     | 0.1460    | 0.4655     |
| RECALL         |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0114 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.159  | 0.02624 | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0493 | 0.00315 | 0.702412774 | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0039 | 0.0008  | 0.104761395 | 5E-05  | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.2561 | 0.02083 | 0.786126571 | 0.9964 | 0.3425 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0043 | 0.00088 | 0.172019129 | 0.04   | 0.146  | 0.4328 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0023 | 0.00122 | 0.13998164  | 0.0356 | 0.0987 | 0.4646 | 0.74311745 | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0015 | 0.00064 | 0.074815015 | 0.0116 | 1      | 0.2609 | 0.0005518  | 0.0030097 | -          |
| cost sensitive | 0.0015 | 0.00081 | 0.144131874 | 0.0306 | 0.1187 | 0.4346 | 0.98866856 | 0.6262816 | 0.00403625 |
| F1-SCORE       |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0150 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.1257 | 0.5360  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0064 | 0.2512  | 0.7466      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0088 | 0.8400  | 0.4599      | 0.0549 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.0872 | 0.7168  | 0.8259      | 0.5280 | 0.7331 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.9933 | 0.0399  | 0.1413      | 0.0687 | 0.0464 | 0.0591 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.8735 | 0.0297  | 0.1298      | 0.0373 | 0.0319 | 0.0533 | 0.5997     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.2070 | 0.0615  | 0.1778      | 0.1334 | 0.0507 | 0.1698 | 0.1348     | 0.0855    | -          |
| cost sensitive | 0.3715 | 0.0275  | 0.1328      | 0.1301 | 0.0397 | 0.1015 | 0.2855     | 0.1811    | 0.7498     |
| AUC            |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.1129 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0004 | 0.0004  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0003 | 0.0038  | 0.0383      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0061 | 0.0244 | 0.6672 | 0.0989 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1565 | 0.1940 | 0.4650 | 0.1497 | 0.3844 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0396 | 0.3933 | 0.0438 | 0.0033 | 0.0990 | 0.5575 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0224 | 0.2594 | 0.0465 | 0.0046 | 0.0986 | 0.5920 | 0.3331 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1036 | 0.8846 | 0.0079 | 0.0005 | 0.0042 | 0.2673 | 0.3174 | 0.2003 | -      |
| cost sensitive | 0.0090 | 0.2300 | 0.0222 | 0.0043 | 0.0848 | 0.6114 | 0.6882 | 0.9689 | 0.2271 |

Πίνακας 8.10: Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0086    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0426    | 0.1929     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0014    | 0.0080     | 0.1533       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1855    | 0.3088     | 0.4714       | 0.8074  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1448    | 0.3181     | 0.4996       | 0.9365  | 0.8296  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0373    | 0.4404     | 0.9074       | 0.0945  | 0.3254  | 0.4481  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0113    | 0.3095     | 0.8640       | 0.0901  | 0.3806  | 0.4192  | 1.0000      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0213    | 0.1923     | 0.7993       | 0.2069  | 0.4513  | 0.4953  | 0.7106      | 0.4692     | -           |
| cost sensitive | 0.0493    | 0.6456     | 0.5792       | 0.0281  | 0.3977  | 0.3419  | 0.7141      | 0.6008     | 0.4701      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2169    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0059    | 0.0024     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0000    | 0.0002     | 0.1561       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0383    | 0.0229     | 0.7802       | 0.4476  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0567    | 0.0583     | 0.7699       | 0.2152  | 0.7084  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0070 | 0.0125 | 0.9344 | 0.0684 | 0.6212 | 0.8028 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0034 | 0.0072 | 0.9634 | 0.0935 | 0.7222 | 0.7401 | 0.7749 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0057 | 0.0061 | 0.6152 | 0.2262 | 0.9189 | 0.6257 | 0.6089 | 0.4919 | -      |
| cost sensitive | 0.0089 | 0.0223 | 0.4429 | 0.0554 | 0.4902 | 0.8458 | 0.4937 | 0.2877 | 0.2811 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0014 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0241 | 0.0007 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1924 | 0.0005 | 0.3791 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.7422 | 0.0245 | 0.4201 | 0.7109 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.4128 | 0.0164 | 0.5620 | 0.9025 | 0.7652 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0025 | 0.0001 | 0.1747 | 0.0335 | 0.2183 | 0.2815 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0078 | 0.0001 | 0.1922 | 0.0088 | 0.1897 | 0.2040 | 0.6311 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0016 | 0.0000 | 0.0326 | 0.0119 | 0.1146 | 0.1564 | 0.0118 | 0.0797 | -      |
| cost sensitive | 0.1552 | 0.0001 | 0.4820 | 0.7746 | 0.5093 | 0.9636 | 0.1369 | 0.0947 | 0.0330 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0030 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1963 | 0.0062 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0038 | 0.0116 | 0.0151 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0286 | 0.1064 | 0.1961 | 0.8580 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0588 | 0.0973 | 0.2403 | 0.4561 | 0.5982 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1378 | 0.0168 | 0.6204 | 0.0419 | 0.0862 | 0.1784 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2309 | 0.0116 | 0.4399 | 0.0238 | 0.1202 | 0.1114 | 0.9411 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2936 | 0.0100 | 0.4588 | 0.0301 | 0.1247 | 0.0867 | 0.9073 | 0.8823 | -      |
| cost sensitive | 0.2048 | 0.0097 | 0.8016 | 0.0092 | 0.1847 | 0.1968 | 0.7060 | 0.6798 | 0.7606 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0633 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0302 | 0.0483 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 1        | 0.0003 | 0.0001 | 0.0169 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0130 | 0.0115 | 0.1455 | 0.0686 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0504 | 0.1600 | 0.0665 | 0.0060 | 0.0706 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0119 | 0.0248 | 0.2614 | 0.0022 | 0.0544 | 0.9952 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1743 | 0.5261 | 0.1129 | 0.0054 | 0.0556 | 0.3005 | 0.4668 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.6647 | 0.1411 | 0.0311 | 0.0007 | 0.0163 | 0.0316 | 0.0118 | 0.0428 | -      |
| cost sensitive | 0.0376 | 0.1110 | 0.1348 | 0.0093 | 0.1036 | 0.1747 | 0.6347 | 0.1946 | 0.0339 |

Πίνακας 8.11: Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.4162    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1402    | 0.5014     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0003    | 0.0205     | 0.0956       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0390    | 0.0883     | 0.0260       | 0.2585  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1158    | 0.2393     | 0.5590       | 0.7714  | 0.3516  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0085    | 0.5892     | 0.4876       | 0.0038  | 0.0665  | 0.2564  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.1068    | 0.1901     | 0.9226       | 0.0604  | 0.1024  | 0.5032  | 0.6034      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.2424    | 0.5080     | 0.6251       | 0.0371  | 0.1237  | 0.2486  | 0.8408      | 0.4619     | -           |
| cost sensitive | 0.2128    | 0.0654     | 0.7494       | 0.0621  | 0.1240  | 0.3509  | 0.9068      | 0.4905     | 0.5968      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2307    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.7881    | 0.0196     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2589    | 0.0003     | 0.0165       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1717    | 0.0013     | 0.0186       | 0.4986  | -       | -       | -           | -          | -           |





|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under random   | 0.0803 | 0.1894 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0160 | 0.0751 | 0.0602 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0835 | 0.0937 | 0.2719 | 0.5887 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.4097 | 0.6865 | 0.2429 | 0.0809 | 0.0844 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.9437 | 0.1245 | 0.0134 | 0.0296 | 0.0896 | 0.2949 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.7530 | 0.3192 | 0.0804 | 0.0255 | 0.0739 | 0.3619 | 0.8475 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.9581 | 0.0475 | 0.0046 | 0.0269 | 0.0602 | 0.1045 | 0.9561 | 0.7243 | -      |
| cost sensitive | 0.2976 | 0.9879 | 0.1357 | 0.0467 | 0.1190 | 0.8678 | 0.1876 | 0.2994 | 0.0564 |

Πίνακας 8.12: Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 4

140

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 93.9013  | 0.9008    | 0.7765 | 0.8292   | 0.9834 |
|                               | std  | 0.7484   | 0.0442    | 0.0818 | 0.0323   | 0.0023 |
| classic 0.2                   | mean | 90.1680  | 0.8683    | 0.6635 | 0.7182   | 0.9739 |
|                               | std  | 2.2849   | 0.1452    | 0.1802 | 0.0565   | 0.0019 |
| under random                  | mean | 86.1158  | 0.6547    | 0.8659 | 0.7207   | 0.9644 |
|                               | std  | 6.8620   | 0.1518    | 0.1203 | 0.0682   | 0.0078 |
| Near Miss 1                   | mean | 90.8073  | 0.8692    | 0.6541 | 0.7183   | 0.9683 |
|                               | std  | 2.1005   | 0.0981    | 0.1836 | 0.1103   | 0.0069 |
| Near Miss 2                   | mean | 88.9843  | 0.5961    | 0.6541 | 0.6235   | 0.9659 |
|                               | std  | 4.3395   | 0.2992    | 0.3301 | 0.3134   | 0.0071 |
| Near Miss 3                   | mean | 91.3538  | 0.7645    | 0.8071 | 0.7831   | 0.9627 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 2.1703  | 0.0616 | 0.0684 | 0.0518 | 0.0151 |
| over random                 | mean | 92.0798 | 0.7589 | 0.9035 | 0.8180 | 0.9792 |
|                             | std  | 2.4262  | 0.0854 | 0.0727 | 0.0374 | 0.0059 |
| SMOTE                       | mean | 91.3528 | 0.7192 | 0.9341 | 0.8088 | 0.9777 |
|                             | std  | 2.2483  | 0.0729 | 0.0540 | 0.0391 | 0.0062 |
| BSMOTE                      | mean | 89.7608 | 0.6824 | 0.9200 | 0.7791 | 0.9722 |
|                             | std  | 2.9001  | 0.0749 | 0.0688 | 0.0495 | 0.0148 |
| Cost Sensitive              | mean | 89.1673 | 0.6766 | 0.9318 | 0.7737 | 0.9764 |
|                             | std  | 2.9533  | 0.1135 | 0.0633 | 0.0419 | 0.0067 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 86.3349 | 0.9203 | 0.4831 | 0.5829 | 0.9438 |
|                             | std  | 4.7161  | 0.0717 | 0.2332 | 0.2571 | 0.0048 |
| classic 0.2                 | mean | 86.7100 | 0.9134 | 0.4911 | 0.6325 | 0.9291 |
|                             | std  | 1.2179  | 0.0408 | 0.0821 | 0.0582 | 0.0046 |
| under random                | mean | 83.2082 | 0.6601 | 0.8303 | 0.7219 | 0.9117 |
|                             | std  | 10.4654 | 0.1432 | 0.0375 | 0.0959 | 0.0298 |
| Near Miss 1                 | mean | 85.9150 | 0.7186 | 0.7296 | 0.7091 | 0.9080 |
|                             | std  | 1.9658  | 0.0952 | 0.1153 | 0.0306 | 0.0165 |
| Near Miss 2                 | mean | 68.8971 | 0.5806 | 0.7508 | 0.5324 | 0.9213 |
|                             | std  | 22.5404 | 0.2431 | 0.3105 | 0.1837 | 0.0083 |
| Near Miss 3                 | mean | 87.6929 | 0.7619 | 0.7516 | 0.7450 | 0.9283 |
|                             | std  | 2.5326  | 0.1108 | 0.0846 | 0.0302 | 0.0076 |
| over random                 | mean | 87.7416 | 0.7268 | 0.8046 | 0.7576 | 0.9346 |
|                             | std  | 2.1768  | 0.0694 | 0.0751 | 0.0296 | 0.0050 |
| SMOTE                       | mean | 87.5531 | 0.7038 | 0.8225 | 0.7582 | 0.9323 |
|                             | std  | 0.7377  | 0.0181 | 0.0196 | 0.0124 | 0.0090 |
| BSMOTE                      | mean | 84.4161 | 0.6190 | 0.9034 | 0.7339 | 0.9426 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 2.0433  | 0.0351 | 0.0330 | 0.0287 | 0.0121 |
| Cost Sensitive              | mean | 85.6822 | 0.6788 | 0.8008 | 0.7279 | 0.9201 |
|                             | std  | 2.4108  | 0.0785 | 0.0686 | 0.0225 | 0.0099 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 83.8362 | 0.8195 | 0.6252 | 0.7058 | 0.8576 |
|                             | std  | 1.7673  | 0.0678 | 0.0524 | 0.0311 | 0.0217 |
| classic 0.2                 | mean | 81.1101 | 0.9069 | 0.4402 | 0.5868 | 0.8437 |
|                             | std  | 2.2834  | 0.0476 | 0.0842 | 0.0743 | 0.0218 |
| under random                | mean | 79.9224 | 0.7126 | 0.6538 | 0.6676 | 0.8295 |
|                             | std  | 4.0737  | 0.0975 | 0.1127 | 0.0566 | 0.0324 |
| Near Miss 1                 | mean | 81.7048 | 0.7205 | 0.6826 | 0.6979 | 0.8361 |
|                             | std  | 1.2185  | 0.0444 | 0.0601 | 0.0247 | 0.0240 |
| Near Miss 2                 | mean | 80.4167 | 0.7222 | 0.6654 | 0.6659 | 0.8375 |
|                             | std  | 1.2883  | 0.0973 | 0.1641 | 0.0858 | 0.0261 |
| Near Miss 3                 | mean | 77.2867 | 0.6403 | 0.7563 | 0.6787 | 0.8535 |
|                             | std  | 5.7512  | 0.1218 | 0.0844 | 0.0407 | 0.0222 |
| over random                 | mean | 82.4493 | 0.7462 | 0.6665 | 0.7022 | 0.8477 |
|                             | std  | 1.8644  | 0.0514 | 0.0471 | 0.0321 | 0.0296 |
| SMOTE                       | mean | 81.3551 | 0.7088 | 0.7210 | 0.7097 | 0.8404 |
|                             | std  | 4.4541  | 0.0957 | 0.0284 | 0.0423 | 0.0276 |
| BSMOTE                      | mean | 81.7036 | 0.7191 | 0.6955 | 0.7025 | 0.8459 |
|                             | std  | 2.2136  | 0.0654 | 0.0640 | 0.0295 | 0.0299 |
| Cost Sensitive              | mean | 82.0006 | 0.7234 | 0.7002 | 0.7084 | 0.8411 |
|                             | std  | 2.2171  | 0.0674 | 0.0362 | 0.0210 | 0.0173 |

Πίνακας 8.13: Ασθενής 4: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0557    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0921    | 0.1941     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0375    | 0.7227     | 0.3074       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0987    | 0.4176     | 0.0978       | 0.5361  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0485    | 0.5835     | 0.2897       | 0.4651  | 0.4758  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.2507    | 0.0312     | 0.0586       | 0.5145  | 0.0330  | 0.7443  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0324    | 0.5958     | 0.2382       | 0.7192  | 0.4229  | 0.9994  | 0.7115      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0213    | 0.8677     | 0.4203       | 0.4398  | 0.8022  | 0.2190  | 0.3284      | 0.0719     | -           |
| cost sensitive | 0.0324    | 0.6084     | 0.4325       | 0.2742  | 0.9407  | 0.2846  | 0.1428      | 0.2240     | 0.6971      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.6070    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0215    | 0.0304     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.5717    | 0.9895     | 0.1103       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0853    | 0.0322     | 0.5752       | 0.1415  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0282    | 0.3438     | 0.2567       | 0.2415  | 0.3695  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0076    | 0.0753     | 0.0728       | 0.1880  | 0.2204  | 0.9280  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0160    | 0.1668     | 0.4919       | 0.0709  | 0.4787  | 0.3047  | 0.5734      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0115    | 0.1230     | 0.7749       | 0.0445  | 0.6299  | 0.0820  | 0.3341      | 0.0135     | -           |
| cost sensitive | 0.0100    | 0.0791     | 0.8218       | 0.0449  | 0.6101  | 0.2123  | 0.2904      | 0.3437     | 0.9047      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2173    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.2327    | 0.1032     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2601    | 0.9000     | 0.1787       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.5642    | 0.9715     | 0.3680       | 1.0000  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.4116    | 0.1208     | 0.1855       | 0.1867  | 0.4805  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0061 | 0.0493 | 0.5527 | 0.0567 | 0.2523 | 0.0274 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0143 | 0.0334 | 0.3151 | 0.0501 | 0.1926 | 0.0301 | 0.5565 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0952 | 0.0363 | 0.5086 | 0.0235 | 0.1936 | 0.0880 | 0.7952 | 0.7974 | -      |
| cost sensitive | 0.0258 | 0.0313 | 0.3619 | 0.0482 | 0.1987 | 0.0465 | 0.6363 | 0.8149 | 0.8257 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0375 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0628 | 0.9626 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1109 | 0.9993 | 0.9763 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.2805 | 0.5911 | 0.4758 | 0.6322 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0895 | 0.1215 | 0.3465 | 0.1961 | 0.4251 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.6923 | 0.0461 | 0.0079 | 0.1672 | 0.2370 | 0.4347 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0449 | 0.1008 | 0.1063 | 0.2002 | 0.3230 | 0.3536 | 0.7580 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0571 | 0.1733 | 0.2993 | 0.2196 | 0.4034 | 0.8421 | 0.2647 | 0.2134 | -      |
| cost sensitive | 0.1022 | 0.2215 | 0.2261 | 0.3480 | 0.3815 | 0.7801 | 0.1018 | 0.2459 | 0.7935 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0009 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0117 | 0.0571 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0043 | 0.1119 | 0.4206 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0043 | 0.0476 | 0.6785 | 0.1758 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0414 | 0.1777 | 0.7790 | 0.3092 | 0.4760 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1486 | 0.0791 | 0.0201 | 0.0019 | 0.0045 | 0.0460 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1208 | 0.2565 | 0.0148 | 0.0287 | 0.0166 | 0.0692 | 0.4618 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1727 | 0.8206 | 0.3936 | 0.5268 | 0.3139 | 0.1983 | 0.3776 | 0.5499 | -      |
| cost sensitive | 0.0424 | 0.4194 | 0.0782 | 0.0052 | 0.0203 | 0.0897 | 0.0820 | 0.6761 | 0.5644 |

Πίνακας 8.14: Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.8986    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.6368    | 0.5230     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.8088    | 0.6039     | 0.6267       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.2130    | 0.2022     | 0.3508       | 0.2111  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.7110    | 0.3161     | 0.4021       | 0.4034  | 0.1898  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.6732    | 0.4947     | 0.4426       | 0.3602  | 0.1421  | 0.9785  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.6493    | 0.3085     | 0.4515       | 0.2457  | 0.1668  | 0.9266  | 0.8414      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.3684    | 0.1489     | 0.8474       | 0.3253  | 0.2486  | 0.1925  | 0.1420      | 0.0410     | -           |
| cost sensitive | 0.8139    | 0.5835     | 0.6796       | 0.8695  | 0.1793  | 0.3713  | 0.1079      | 0.2085     | 0.5377      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.8878    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0360    | 0.0419     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0487    | 0.0063     | 0.5042       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0858    | 0.0498     | 0.5849       | 0.2792  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0774    | 0.1040     | 0.1894       | 0.6577  | 0.2957  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0258    | 0.0136     | 0.4285       | 0.9003  | 0.2023  | 0.6535  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0021    | 0.0007     | 0.5652       | 0.7653  | 0.3757  | 0.3854  | 0.5528      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0011    | 0.0000     | 0.6514       | 0.1051  | 0.7862  | 0.0872  | 0.0949      | 0.0127     | -           |
| cost sensitive | 0.0274    | 0.0036     | 0.8408       | 0.4768  | 0.3144  | 0.3512  | 0.1715      | 0.6010     | 0.2866      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.9602    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0469    | 0.0021     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2078    | 0.0024     | 0.1449       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.3111    | 0.1366     | 0.6267       | 0.8969  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1057    | 0.0201     | 0.1270       | 0.8129  | 0.9959  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0677 | 0.0017 | 0.5832 | 0.3403 | 0.6806 | 0.3589 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0470 | 0.0019 | 0.5580 | 0.1815 | 0.6714 | 0.1372 | 0.6988 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0233 | 0.0011 | 0.0469 | 0.0673 | 0.3730 | 0.0054 | 0.0529 | 0.0101 | -      |
| cost sensitive | 0.0861 | 0.0002 | 0.5446 | 0.2796 | 0.7264 | 0.4067 | 0.8856 | 0.6175 | 0.0425 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.7570 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.4041 | 0.1035 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3853 | 0.0537 | 0.7976 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.7967 | 0.3544 | 0.1906 | 0.1676 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3212 | 0.0039 | 0.6292 | 0.1446 | 0.0764 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2787 | 0.0140 | 0.5064 | 0.1525 | 0.0492 | 0.4063 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2527 | 0.0150 | 0.5039 | 0.0776 | 0.0593 | 0.4214 | 0.9492 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2837 | 0.0506 | 0.8449 | 0.4106 | 0.0752 | 0.6910 | 0.3102 | 0.1541 | -      |
| cost sensitive | 0.3318 | 0.0549 | 0.9047 | 0.3916 | 0.1053 | 0.4019 | 0.1211 | 0.0462 | 0.8009 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0164 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1143 | 0.3113 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0266 | 0.0401 | 0.8253 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0163 | 0.1938 | 0.4361 | 0.1909 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0433 | 0.8348 | 0.2816 | 0.0500 | 0.2213 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0202 | 0.1463 | 0.1897 | 0.0488 | 0.0566 | 0.1183 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0578 | 0.6592 | 0.2844 | 0.1061 | 0.1538 | 0.6277 | 0.7100 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.7885 | 0.1547 | 0.1470 | 0.0714 | 0.0598 | 0.1504 | 0.2056 | 0.0993 | -      |
| cost sensitive | 0.0235 | 0.1992 | 0.4698 | 0.2167 | 0.5545 | 0.1489 | 0.0606 | 0.1505 | 0.0629 |

Πίνακας 8.15: Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12



|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0610    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1486    | 0.4229     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0317    | 0.6728     | 0.5050       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0253    | 0.6522     | 0.8481       | 0.0385  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0408    | 0.2533     | 0.5472       | 0.1533  | 0.3441  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.1722    | 0.0894     | 0.2016       | 0.4772  | 0.1043  | 0.1495  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.1562    | 0.9205     | 0.6978       | 0.8529  | 0.6776  | 0.0382  | 0.6302      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0332    | 0.6113     | 0.4989       | 0.9988  | 0.2973  | 0.1033  | 0.4736      | 0.8332     | -           |
| cost sensitive | 0.0417    | 0.5686     | 0.4791       | 0.7115  | 0.2466  | 0.0581  | 0.7492      | 0.6456     | 0.6435      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0932    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1223    | 0.0319     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0966    | 0.0007     | 0.9155       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0500    | 0.0245     | 0.8708       | 0.9785  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0235    | 0.0097     | 0.4565       | 0.2530  | 0.0901  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0592    | 0.0136     | 0.5032       | 0.5667  | 0.6891  | 0.2233  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0783    | 0.0183     | 0.9684       | 0.7935  | 0.8232  | 0.1512  | 0.5700      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0106    | 0.0025     | 0.9218       | 0.9716  | 0.9246  | 0.0910  | 0.5425      | 0.8100     | -           |
| cost sensitive | 0.0721    | 0.0042     | 0.8943       | 0.9142  | 0.9806  | 0.0797  | 0.6770      | 0.5442     | 0.8698      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0383    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.6437    | 0.0242     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2752    | 0.0001     | 0.6163       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.6236    | 0.1089     | 0.9015       | 0.8733  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0582    | 0.0071     | 0.2045       | 0.2600  | 0.1498  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.2138 | 0.0068 | 0.7639 | 0.6216 | 0.9910 | 0.1929 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0709 | 0.0016 | 0.3274 | 0.2675 | 0.5393 | 0.3988 | 0.1813 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0646 | 0.0104 | 0.4696 | 0.7854 | 0.6375 | 0.0923 | 0.4971 | 0.5224 | -      |
| cost sensitive | 0.1509 | 0.0015 | 0.4940 | 0.5602 | 0.7021 | 0.2074 | 0.4082 | 0.0183 | 0.9055 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0400 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2504 | 0.0073 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.5160 | 0.0215 | 0.1827 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.4363 | 0.3188 | 0.9781 | 0.5308 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0641 | 0.0835 | 0.7131 | 0.2261 | 0.8083 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.8298 | 0.0138 | 0.0778 | 0.4443 | 0.4859 | 0.1980 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.6918 | 0.0294 | 0.1659 | 0.3673 | 0.4312 | 0.0055 | 0.6030 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.7982 | 0.0337 | 0.1981 | 0.6085 | 0.4128 | 0.1325 | 0.9810 | 0.5830 | -      |
| cost sensitive | 0.8436 | 0.0224 | 0.1601 | 0.2052 | 0.4260 | 0.0672 | 0.5734 | 0.9199 | 0.6179 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0154 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0156 | 0.2131 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0012 | 0.1532 | 0.4522 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0620 | 0.4191 | 0.5836 | 0.8665 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0729 | 0.0495 | 0.0396 | 0.0018 | 0.0627 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0755 | 0.5371 | 0.0387 | 0.0375 | 0.2755 | 0.2104 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0207 | 0.5665 | 0.2828 | 0.1426 | 0.7488 | 0.0425 | 0.1703 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0822 | 0.7249 | 0.1258 | 0.0460 | 0.2912 | 0.1441 | 0.5403 | 0.1509 | -      |
| cost sensitive | 0.0184 | 0.4851 | 0.3629 | 0.3329 | 0.5938 | 0.0301 | 0.4208 | 0.9177 | 0.5135 |

Πίνακας 8.16: Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 5

149

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 94.5956  | 0.8615    | 0.7133 | 0.7761   | 0.9710 |
|                               | std  | 0.5232   | 0.0487    | 0.0732 | 0.0337   | 0.0074 |
| classic 0.2                   | mean | 91.2785  | 0.9073    | 0.3824 | 0.5256   | 0.9643 |
|                               | std  | 1.5194   | 0.0602    | 0.1270 | 0.1252   | 0.0103 |
| under random                  | mean | 81.4375  | 0.5350    | 0.8114 | 0.5993   | 0.9262 |
|                               | std  | 16.1835  | 0.2107    | 0.1328 | 0.1371   | 0.0178 |
| Near Miss 1                   | mean | 75.6120  | 0.5920    | 0.7428 | 0.5818   | 0.9452 |
|                               | std  | 31.3263  | 0.2526    | 0.1931 | 0.1907   | 0.0190 |
| Near Miss 2                   | mean | 84.0551  | 0.4503    | 0.8266 | 0.5805   | 0.9197 |
|                               | std  | 2.2061   | 0.0436    | 0.0652 | 0.0339   | 0.0150 |
| Near Miss 3                   | mean | 84.4855  | 0.5962    | 0.6513 | 0.5043   | 0.9386 |
|                               | std  | 8.1705   | 0.2281    | 0.3011 | 0.1731   | 0.0139 |
| over random                   | mean | 90.4232  | 0.6364    | 0.8633 | 0.7092   | 0.9651 |
|                               | std  | 2.6365   | 0.1458    | 0.1247 | 0.0428   | 0.0090 |
| SMOTE                         | mean | 88.2314  | 0.5406    | 0.9316 | 0.6818   | 0.9653 |
|                               | std  | 2.9715   | 0.0682    | 0.0269 | 0.0567   | 0.0106 |
| BSMOTE                        | mean | 87.3718  | 0.5489    | 0.9078 | 0.6638   | 0.9646 |
|                               | std  | 3.4390   | 0.1345    | 0.1054 | 0.0475   | 0.0083 |
| Cost Sensitive                | mean | 89.1933  | 0.5643    | 0.9035 | 0.6921   | 0.9649 |
|                               | std  | 2.3788   | 0.0642    | 0.0460 | 0.0492   | 0.0099 |
| Prediction Horizon 12 (1 h)   |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 91.5139  | 0.8635    | 0.5954 | 0.7016   | 0.9174 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 0.7791  | 0.0524 | 0.0581 | 0.0356 | 0.0108 |
| classic 0.2                 | mean | 88.4087 | 0.9020 | 0.3523 | 0.4932 | 0.9246 |
|                             | std  | 1.7957  | 0.0276 | 0.1206 | 0.1338 | 0.0138 |
| under random                | mean | 80.3712 | 0.4672 | 0.7234 | 0.5601 | 0.8744 |
|                             | std  | 4.8726  | 0.0796 | 0.0647 | 0.0496 | 0.0155 |
| Near Miss 1                 | mean | 76.8789 | 0.4228 | 0.7763 | 0.5410 | 0.8579 |
|                             | std  | 7.2572  | 0.0767 | 0.0449 | 0.0614 | 0.0265 |
| Near Miss 2                 | mean | 72.0246 | 0.4866 | 0.7934 | 0.5693 | 0.9015 |
|                             | std  | 27.7444 | 0.1665 | 0.1185 | 0.1469 | 0.0241 |
| Near Miss 3                 | mean | 83.9171 | 0.5783 | 0.7293 | 0.6082 | 0.9071 |
|                             | std  | 4.6945  | 0.1577 | 0.1551 | 0.0405 | 0.0120 |
| over random                 | mean | 85.8578 | 0.5709 | 0.8089 | 0.6622 | 0.9261 |
|                             | std  | 3.3981  | 0.0752 | 0.0766 | 0.0410 | 0.0156 |
| SMOTE                       | mean | 82.5288 | 0.5061 | 0.8615 | 0.6297 | 0.9247 |
|                             | std  | 4.0562  | 0.0802 | 0.0747 | 0.0432 | 0.0131 |
| BSMOTE                      | mean | 81.5891 | 0.4788 | 0.8650 | 0.6150 | 0.9136 |
|                             | std  | 2.8776  | 0.0443 | 0.0370 | 0.0385 | 0.0161 |
| Cost Sensitive              | mean | 86.0833 | 0.6187 | 0.7465 | 0.6588 | 0.9145 |
|                             | std  | 6.4264  | 0.1258 | 0.0891 | 0.0624 | 0.0128 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 85.0376 | 0.8513 | 0.4733 | 0.6026 | 0.8331 |
|                             | std  | 1.5718  | 0.0397 | 0.0822 | 0.0684 | 0.0335 |
| classic 0.2                 | mean | 83.7817 | 0.8794 | 0.3901 | 0.5360 | 0.8321 |
|                             | std  | 2.0722  | 0.0555 | 0.0779 | 0.0813 | 0.0306 |
| under random                | mean | 75.6445 | 0.5370 | 0.6739 | 0.5780 | 0.7940 |
|                             | std  | 5.9637  | 0.1079 | 0.1179 | 0.0241 | 0.0326 |
| Near Miss 1                 | mean | 72.2320 | 0.4617 | 0.7059 | 0.5532 | 0.7808 |

|                |      |         |        |        |        |        |
|----------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                | std  | 3.2004  | 0.0315 | 0.0939 | 0.0139 | 0.0340 |
| Near Miss 2    | mean | 68.6369 | 0.4610 | 0.7843 | 0.5673 | 0.8181 |
|                | std  | 12.8240 | 0.1182 | 0.0557 | 0.0861 | 0.0348 |
| Near Miss 3    | mean | 76.1264 | 0.5163 | 0.7108 | 0.5916 | 0.8147 |
|                | std  | 3.6812  | 0.0494 | 0.1012 | 0.0422 | 0.0294 |
| over random    | mean | 82.5836 | 0.6575 | 0.6277 | 0.6320 | 0.8272 |
|                | std  | 3.1954  | 0.0770 | 0.1331 | 0.0865 | 0.0350 |
| SMOTE          | mean | 79.4757 | 0.4635 | 0.5866 | 0.5171 | 0.8105 |
|                | std  | 2.6056  | 0.2336 | 0.2979 | 0.2606 | 0.0632 |
| BSMOTE         | mean | 65.7628 | 0.4320 | 0.8263 | 0.5557 | 0.8338 |
|                | std  | 13.5875 | 0.0894 | 0.0887 | 0.0658 | 0.0301 |
| Cost Sensitive | mean | 81.6278 | 0.6119 | 0.6839 | 0.6456 | 0.8321 |
|                | std  | 1.5442  | 0.0325 | 0.0133 | 0.0222 | 0.0252 |

Πίνακας 8.17: Ασθενής 5: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0071    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.1742    | 0.2678     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.2894    | 0.3620     | 0.4953       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0006    | 0.0048     | 0.7725       | 0.6234  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0721    | 0.2167     | 0.7826       | 0.6320  | 0.9104  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0324    | 0.6469     | 0.3098       | 0.3834  | 0.0134  | 0.1459  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0174    | 0.0870     | 0.4375       | 0.4559  | 0.0919  | 0.4672  | 0.3904      | -          | -           |
| over bsmote  | 0.0106    | 0.0404     | 0.4536       | 0.4737  | 0.2549  | 0.6398  | 0.2961      | 0.7209     | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| cost sensitive | 0.0114 | 0.0742 | 0.3714 | 0.4205 | 0.0153 | 0.3443 | 0.5441 | 0.3139 | 0.4247 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1212 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0388 | 0.0164 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0756 | 0.0513 | 0.5839 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0001 | 0.0003 | 0.5024 | 0.3265 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0947 | 0.0785 | 0.7920 | 0.9863 | 0.2628 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0200 | 0.0057 | 0.4691 | 0.7689 | 0.0773 | 0.7816 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0011 | 0.0021 | 0.9590 | 0.6574 | 0.0923 | 0.6939 | 0.3727 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0188 | 0.0069 | 0.8227 | 0.7482 | 0.2761 | 0.7941 | 0.4829 | 0.9158 | -      |
| cost sensitive | 0.0007 | 0.0016 | 0.7911 | 0.8060 | 0.0107 | 0.8205 | 0.4687 | 0.4068 | 0.8451 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0039 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3140 | 0.0139 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.7821 | 0.0708 | 0.5803 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0324 | 0.0006 | 0.8566 | 0.4668 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.6997 | 0.0714 | 0.4726 | 0.7084 | 0.2751 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1054 | 0.0009 | 0.4900 | 0.4198 | 0.4616 | 0.2283 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0068 | 0.0015 | 0.1624 | 0.0977 | 0.0323 | 0.1416 | 0.3529 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0818 | 0.0083 | 0.1331 | 0.1940 | 0.3728 | 0.2459 | 0.6463 | 0.6880 | -      |
| cost sensitive | 0.0144 | 0.0014 | 0.2518 | 0.1508 | 0.0342 | 0.1723 | 0.4958 | 0.1336 | 0.9481 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0113 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0565 | 0.2303 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1192 | 0.5723 | 0.6977 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0006 | 0.3675 | 0.8041 | 0.9901 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0372 | 0.8257 | 0.1765 | 0.2799 | 0.4329 | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0985 | 0.0535 | 0.1648 | 0.2203 | 0.0082 | 0.0407 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0817 | 0.0542 | 0.2640 | 0.3095 | 0.0316 | 0.1075 | 0.4584 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0038 | 0.0525 | 0.2970 | 0.3881 | 0.0552 | 0.1382 | 0.2889 | 0.6457 | -      |
| cost sensitive | 0.0637 | 0.0264 | 0.2001 | 0.2815 | 0.0051 | 0.0794 | 0.5712 | 0.5441 | 0.4384 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0341 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0014 | 0.0022 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0340 | 0.1090 | 0.0344 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0010 | 0.0018 | 0.5258 | 0.1139 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0025 | 0.0113 | 0.1664 | 0.5371 | 0.0061 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0212 | 0.7994 | 0.0019 | 0.0625 | 0.0027 | 0.0074 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1675 | 0.8484 | 0.0021 | 0.0369 | 0.0059 | 0.0133 | 0.9237 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2138 | 0.9638 | 0.0064 | 0.0382 | 0.0083 | 0.0210 | 0.9135 | 0.8234 | -      |
| cost sensitive | 0.0407 | 0.8570 | 0.0022 | 0.0744 | 0.0026 | 0.0074 | 0.7832 | 0.8649 | 0.9580 |

Πίνακας 8.18: Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0062    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0148    | 0.0482     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0139    | 0.0181     | 0.4435       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.2336    | 0.3122     | 0.6192       | 0.7710  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0426    | 0.1980     | 0.1130       | 0.2337  | 0.4850  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0378    | 0.2983     | 0.0645       | 0.1131  | 0.3863  | 0.4572  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0060    | 0.0127     | 0.5892       | 0.1747  | 0.5119  | 0.7183  | 0.2502      | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over bsmote    | 0.0016 | 0.0015 | 0.6489 | 0.1176 | 0.5542 | 0.4711 | 0.1342 | 0.6064 | -      |
| cost sensitive | 0.1703 | 0.5086 | 0.1210 | 0.0994 | 0.4053 | 0.6001 | 0.9129 | 0.3158 | 0.1988 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.2424 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0016 | 0.0005 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0009 | 0.0002 | 0.3692 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0110 | 0.0050 | 0.8738 | 0.5547 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0284 | 0.0211 | 0.1040 | 0.1514 | 0.5957 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0007 | 0.0009 | 0.0578 | 0.0741 | 0.4361 | 0.9206 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0002 | 0.0009 | 0.5800 | 0.1532 | 0.8473 | 0.4792 | 0.3049 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0003 | 0.0001 | 0.7643 | 0.0502 | 0.9396 | 0.2603 | 0.1215 | 0.4783 | -      |
| cost sensitive | 0.0090 | 0.0087 | 0.0497 | 0.0235 | 0.3144 | 0.6686 | 0.3902 | 0.1186 | 0.0583 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0073 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0115 | 0.0029 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0164 | 0.0034 | 0.3330 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0525 | 0.0026 | 0.4529 | 0.7740 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1742 | 0.0192 | 0.9219 | 0.5869 | 0.6401 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0025 | 0.0017 | 0.0046 | 0.5428 | 0.8737 | 0.1850 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0070 | 0.0049 | 0.0273 | 0.1676 | 0.4976 | 0.1337 | 0.3258 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0012 | 0.0013 | 0.0033 | 0.0794 | 0.3765 | 0.1237 | 0.1707 | 0.9023 | -      |
| cost sensitive | 0.0122 | 0.0089 | 0.6483 | 0.6327 | 0.6489 | 0.8510 | 0.2381 | 0.0668 | 0.0615 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0163 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0193 | 0.4185 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0046 | 0.3634 | 0.5465 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1546 | 0.5261 | 0.9232 | 0.7648 | -      | -      | -      | -      | -      |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 3        | 0.0625 | 0.2543 | 0.2031 | 0.2427 | 0.6251 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3118 | 0.0934 | 0.0316 | 0.0402 | 0.2442 | 0.0593 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0158 | 0.0615 | 0.1490 | 0.0363 | 0.4543 | 0.5953 | 0.2710 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0136 | 0.0860 | 0.0662 | 0.0032 | 0.6104 | 0.8641 | 0.2055 | 0.5529 | -      |
| cost sensitive | 0.3614 | 0.0809 | 0.0199 | 0.0208 | 0.3444 | 0.2490 | 0.8863 | 0.4016 | 0.1877 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.2482 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0052 | 0.0098 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0020 | 0.0028 | 0.2897 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.3384 | 0.1437 | 0.2023 | 0.0741 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2747 | 0.0696 | 0.0325 | 0.0203 | 0.5214 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3011 | 0.7029 | 0.0142 | 0.0032 | 0.0636 | 0.0238 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2290 | 0.9887 | 0.0088 | 0.0017 | 0.0944 | 0.0242 | 0.6243 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.5825 | 0.1270 | 0.0371 | 0.0028 | 0.3003 | 0.3872 | 0.0423 | 0.0234 | -      |
| cost sensitive | 0.7159 | 0.1700 | 0.0115 | 0.0096 | 0.2638 | 0.0394 | 0.0786 | 0.0807 | 0.9065 |

Πίνακας 8.19: Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.2105    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0486    | 0.0404     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0027    | 0.0015     | 0.0826       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0555    | 0.0695     | 0.3987       | 0.6297  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0228    | 0.0331     | 0.8936       | 0.2031  | 0.3721  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.1173    | 0.4071     | 0.1184       | 0.0119  | 0.0476  | 0.1049  | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.0346 | 0.0851 | 0.3521 | 0.0478 | 0.1583 | 0.0621 | 0.2055 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0469 | 0.0765 | 0.3441 | 0.4578 | 0.7970 | 0.2325 | 0.0877 | 0.1236 | -      |
| cost sensitive | 0.0120 | 0.0544 | 0.1303 | 0.0079 | 0.0889 | 0.0593 | 0.3999 | 0.1559 | 0.0937 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.5497 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0070 | 0.0077 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0001 | 0.0003 | 0.1267 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0058 | 0.0003 | 0.4188 | 0.9920 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0007 | 0.0013 | 0.7057 | 0.1205 | 0.5018 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0171 | 0.0011 | 0.1198 | 0.0065 | 0.0033 | 0.0736 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0403 | 0.0270 | 0.5646 | 0.9885 | 0.9865 | 0.6077 | 0.2345 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0003 | 0.0012 | 0.3185 | 0.6317 | 0.7323 | 0.2100 | 0.0276 | 0.8319 | -      |
| cost sensitive | 0.0022 | 0.0000 | 0.2747 | 0.0040 | 0.0277 | 0.0450 | 0.2023 | 0.2686 | 0.0249 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0796 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0231 | 0.0267 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0076 | 0.0112 | 0.1859 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0062 | 0.0027 | 0.1103 | 0.1822 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0025 | 0.0081 | 0.1735 | 0.8327 | 0.2465 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0345 | 0.0358 | 0.2046 | 0.0842 | 0.0736 | 0.0242 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.5270 | 0.2831 | 0.6083 | 0.4531 | 0.2509 | 0.4808 | 0.8029 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0016 | 0.0003 | 0.1494 | 0.1503 | 0.5786 | 0.1787 | 0.0755 | 0.1622 | -      |
| cost sensitive | 0.0041 | 0.0009 | 0.8767 | 0.6688 | 0.0393 | 0.6133 | 0.4405 | 0.5558 | 0.0241 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1266 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.5268 | 0.2882 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1789 | 0.6745 | 0.0607 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.3802 | 0.6064 | 0.8074 | 0.7267 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.7772 | 0.3286 | 0.6344 | 0.1172 | 0.6160 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1845 | 0.1230 | 0.2939 | 0.1083 | 0.1002 | 0.3434 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.5948 | 0.9023 | 0.6583 | 0.7931 | 0.7453 | 0.5605 | 0.4696 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3726 | 0.7862 | 0.6409 | 0.9476 | 0.8365 | 0.3759 | 0.2057 | 0.8038 | -      |
| cost sensitive | 0.1900 | 0.0387 | 0.0031 | 0.0000 | 0.0837 | 0.0614 | 0.7171 | 0.3805 | 0.0794 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.8602 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0017 | 0.0005 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0137 | 0.0022 | 0.1756 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1928 | 0.0572 | 0.0442 | 0.0082 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2263 | 0.1016 | 0.0961 | 0.0030 | 0.7439 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.6158 | 0.4994 | 0.0258 | 0.0043 | 0.2071 | 0.1463 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4953 | 0.5107 | 0.5807 | 0.3562 | 0.8348 | 0.8846 | 0.6320 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.9266 | 0.8608 | 0.0131 | 0.0234 | 0.3192 | 0.2032 | 0.6096 | 0.4468 | -      |
| cost sensitive | 0.8509 | 0.9992 | 0.0026 | 0.0067 | 0.1346 | 0.1373 | 0.5828 | 0.5168 | 0.8242 |

Πίνακας 8.20: Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 6

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 98.7469  | 0.0000    | 0.0000 | 0.0000   | 0.9905 |
|                               | std  | 0.0016   | 0.0000    | 0.0000 | 0.0000   | 0.0048 |
| classic 0.2                   | mean | 98.7469  | 0.0000    | 0.0000 | 0.0000   | 0.9875 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 0.0016  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0075 |
| under random                | mean | 20.7516 | 0.0100 | 0.8000 | 0.0198 | 0.9743 |
|                             | std  | 38.9973 | 0.0050 | 0.4000 | 0.0099 | 0.0134 |
| Near Miss 1                 | mean | 39.5641 | 0.0075 | 0.6000 | 0.0149 | 0.8091 |
|                             | std  | 46.9327 | 0.0061 | 0.4899 | 0.0121 | 0.1797 |
| Near Miss 2                 | mean | 40.0643 | 0.0075 | 0.6000 | 0.0149 | 0.7576 |
|                             | std  | 47.4066 | 0.0061 | 0.4899 | 0.0121 | 0.1776 |
| Near Miss 3                 | mean | 20.8770 | 0.0100 | 0.8000 | 0.0198 | 0.6347 |
|                             | std  | 38.9353 | 0.0050 | 0.4000 | 0.0099 | 0.1692 |
| over random                 | mean | 93.9841 | 0.1776 | 0.9000 | 0.2914 | 0.9864 |
|                             | std  | 2.5047  | 0.0442 | 0.1225 | 0.0591 | 0.0076 |
| SMOTE                       | mean | 94.1722 | 0.1967 | 0.9500 | 0.3184 | 0.9814 |
|                             | std  | 2.2498  | 0.0885 | 0.1000 | 0.1163 | 0.0144 |
| BSMOTE                      | mean | 96.4283 | 0.2471 | 0.8000 | 0.3710 | 0.9381 |
|                             | std  | 1.3828  | 0.0889 | 0.2449 | 0.1213 | 0.0984 |
| Cost Sensitive              | mean | 67.3587 | 0.0694 | 0.7500 | 0.1123 | 0.9791 |
|                             | std  | 35.6132 | 0.0920 | 0.3873 | 0.1356 | 0.0101 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 97.9874 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9430 |
|                             | std  | 0.1541  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0389 |
| classic 0.2                 | mean | 97.9874 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9425 |
|                             | std  | 0.1541  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0375 |
| under random                | mean | 34.0881 | 0.0522 | 0.8667 | 0.0881 | 0.8780 |
|                             | std  | 36.7893 | 0.0532 | 0.1944 | 0.0769 | 0.0539 |
| Near Miss 1                 | mean | 27.4843 | 0.0179 | 0.8000 | 0.0350 | 0.8921 |
|                             | std  | 36.0732 | 0.0094 | 0.4000 | 0.0183 | 0.0737 |
| Near Miss 2                 | mean | 38.1132 | 0.0332 | 0.7429 | 0.0605 | 0.7808 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 44.2731 | 0.0374 | 0.3876 | 0.0642 | 0.1002 |
| Near Miss 3                 | mean | 59.2453 | 0.0482 | 0.4667 | 0.0660 | 0.8573 |
|                             | std  | 46.7091 | 0.0765 | 0.4522 | 0.0937 | 0.0899 |
| over random                 | mean | 82.7044 | 0.0870 | 0.7810 | 0.1553 | 0.9225 |
|                             | std  | 3.4904  | 0.0143 | 0.1486 | 0.0210 | 0.0479 |
| SMOTE                       | mean | 78.4277 | 0.0771 | 0.8143 | 0.1393 | 0.9141 |
|                             | std  | 7.6709  | 0.0215 | 0.1733 | 0.0361 | 0.0471 |
| BSMOTE                      | mean | 80.9434 | 0.1025 | 0.8476 | 0.1767 | 0.9290 |
|                             | std  | 10.3527 | 0.0389 | 0.1569 | 0.0541 | 0.0467 |
| Cost Sensitive              | mean | 62.7673 | 0.0528 | 0.6810 | 0.0927 | 0.9250 |
|                             | std  | 36.2226 | 0.0468 | 0.3748 | 0.0776 | 0.0375 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 96.4513 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9081 |
|                             | std  | 0.1245  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0254 |
| classic 0.2                 | mean | 96.4513 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.9016 |
|                             | std  | 0.1245  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0258 |
| under random                | mean | 44.1139 | 0.0865 | 0.7091 | 0.1249 | 0.8669 |
|                             | std  | 42.4741 | 0.1157 | 0.3958 | 0.1408 | 0.0295 |
| Near Miss 1                 | mean | 60.3946 | 0.0404 | 0.5500 | 0.0728 | 0.8360 |
|                             | std  | 38.1882 | 0.0445 | 0.4583 | 0.0768 | 0.0586 |
| Near Miss 2                 | mean | 64.8662 | 0.0294 | 0.4364 | 0.0526 | 0.8586 |
|                             | std  | 36.5227 | 0.0255 | 0.4650 | 0.0460 | 0.0541 |
| Near Miss 3                 | mean | 38.2331 | 0.0926 | 0.8303 | 0.1330 | 0.7904 |
|                             | std  | 36.4831 | 0.0889 | 0.2583 | 0.0875 | 0.1104 |
| over random                 | mean | 82.2614 | 0.1327 | 0.7303 | 0.2199 | 0.9003 |
|                             | std  | 4.4553  | 0.0090 | 0.2451 | 0.0279 | 0.0463 |
| SMOTE                       | mean | 86.5065 | 0.1709 | 0.6758 | 0.2639 | 0.9054 |

|                |      |         |        |        |        |        |
|----------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                | std  | 3.6630  | 0.0258 | 0.1713 | 0.0086 | 0.0320 |
| BSMOTE         | mean | 77.4340 | 0.1219 | 0.8379 | 0.2120 | 0.9016 |
|                | std  | 4.1076  | 0.0212 | 0.1071 | 0.0334 | 0.0311 |
| Cost Sensitive | mean | 77.6277 | 0.1319 | 0.8061 | 0.2210 | 0.8934 |
|                | std  | 9.4741  | 0.0394 | 0.1390 | 0.0518 | 0.0266 |

Πίνακας 8.21: Ασθενής 6: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0161    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0161    | 0.0161     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0652    | 0.0652     | 0.6300       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0685    | 0.0685     | 0.6232       | 0.9878  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0161    | 0.0161     | 0.3739       | 0.6323  | 0.6256  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0190    | 0.0190     | 0.0215       | 0.0750  | 0.0789  | 0.0215  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0153    | 0.0153     | 0.0169       | 0.0795  | 0.0881  | 0.0169  | 0.9253      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0285    | 0.0285     | 0.0166       | 0.0727  | 0.0742  | 0.0166  | 0.0970      | 0.0814     | -           |
| cost sensitive | 0.1527    | 0.1527     | 0.2722       | 0.3215  | 0.3962  | 0.2728  | 0.2049      | 0.2257     | 0.1884      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0161    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0161    | 0.0161     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0705    | 0.0705     | 0.6221       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0705    | 0.0705     | 0.6232       | 0.9985  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0161    | 0.0161     | 0.3739       | 0.6198  | 0.6209  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0013    | 0.0013     | 0.0014       | 0.0022  | 0.0022  | 0.0014  | -           | -          | -           |

|                |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
|----------------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|------------|
| over smote     | 0.0113 | 0.0113  | 0.0161      | 0.0124 | 0.0122 | 0.0161 | 0.7535     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0051 | 0.0051  | 0.0071      | 0.0054 | 0.0059 | 0.0071 | 0.2657     | 0.0302    | -          |
| cost sensitive | 0.2059 | 0.2059  | 0.2601      | 0.2380 | 0.2443 | 0.2600 | 0.1630     | 0.1585    | 0.0788     |
| RECALL         |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0161 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0161 | 0.0161  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0705 | 0.0705  | 0.6213      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0705 | 0.0705  | 0.6213      | 1.0000 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.0161 | 0.0161  |             | 0.6213 | 0.6213 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0001 | 0.0001  | 0.6885      | 0.2835 | 0.2835 | 0.6885 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000  | 0.5291      | 0.1836 | 0.2635 | 0.5291 | 0.3739     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0028 | 0.0028  | 1.0000      | 0.4766 | 0.4766 | 1.0000 | 0.1778     | 0.2080    | -          |
| cost sensitive | 0.0179 | 0.0179  | 0.8835      | 0.5291 | 0.7160 | 0.8835 | 0.4263     | 0.2420    | 0.7780     |
| F1-SCORE       |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0161 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0161 | 0.01613 | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0705 | 0.07048 | 0.622053336 | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0705 | 0.07048 | 0.623178254 | 0.9985 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.0161 | 0.01613 | 0.373900966 | 0.6198 | 0.6209 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0006 | 0.00059 | 0.000620518 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0006 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0054 | 0.00541 | 0.008913912 | 0.0061 | 0.006  | 0.0089 | 0.73041533 | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0036 | 0.00362 | 0.00561819  | 0.004  | 0.0043 | 0.0056 | 0.33419172 | 0.0361325 | -          |
| cost sensitive | 0.1729 | 0.17291 | 0.23570447  | 0.2085 | 0.2191 | 0.2357 | 0.11988365 | 0.1142477 | 0.06703745 |
| AUC            |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.1850 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0454 | 0.0511  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.1152 | 0.1216  | 0.1537      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0576 | 0.0615 | 0.0786 | 0.4698 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0126 | 0.0128 | 0.0148 | 0.2998 | 0.3089 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3472 | 0.7959 | 0.1672 | 0.1127 | 0.0596 | 0.0148 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2864 | 0.4355 | 0.5097 | 0.1138 | 0.0633 | 0.0168 | 0.2599 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3441 | 0.3555 | 0.4946 | 0.2793 | 0.1971 | 0.0436 | 0.3652 | 0.3857 | -      |
| cost sensitive | 0.0457 | 0.1367 | 0.2821 | 0.1397 | 0.0685 | 0.0137 | 0.3244 | 0.8254 | 0.4680 |

Πίνακας 8.22: Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0253    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0253    | 0.0253     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0173    | 0.0173     | 0.8420       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0539    | 0.0539     | 0.9197       | 0.4819  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1723    | 0.1723     | 0.5009       | 0.2887  | 0.5658  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0010    | 0.0010     | 0.0629       | 0.0388  | 0.1218  | 0.3482  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0073    | 0.0073     | 0.0898       | 0.0495  | 0.1406  | 0.4836  | 0.3107      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0299    | 0.0299     | 0.0440       | 0.0664  | 0.1880  | 0.3785  | 0.7060      | 0.7201     | -           |
| cost sensitive | 0.1245    | 0.1245     | 0.4313       | 0.2974  | 0.4160  | 0.8946  | 0.3236      | 0.4547     | 0.4058      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1211    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1211    | 0.1211     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0187    | 0.0187     | 0.2566       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1501    | 0.1501     | 0.6217       | 0.3913  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.2762    | 0.2762     | 0.9368       | 0.4694  | 0.7531  | -       | -           | -          | -           |



|                |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
|----------------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|------------|
| over random    | 0.0003 | 0.0003  | 0.3168      | 0.0003 | 0.0360 | 0.3894 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0020 | 0.0020  | 0.4316      | 0.0019 | 0.0271 | 0.5580 | 0.2874     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0062 | 0.0062  | 0.1741      | 0.0102 | 0.0952 | 0.2633 | 0.3967     | 0.2982    | -          |
| cost sensitive | 0.0871 | 0.0871  | 0.9894      | 0.2138 | 0.6155 | 0.9092 | 0.1667     | 0.4303    | 0.0154     |
| RECALL         |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0009 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0009 | 0.0009  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0161 | 0.0161  | 0.8033      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0186 | 0.0186  | 0.6505      | 0.3739 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.1079 | 0.1079  | 0.2420      | 0.1890 | 0.3126 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0005 | 0.0005  | 0.5624      | 0.9228 | 0.8544 | 0.1322 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0007 | 0.0007  | 0.7360      | 0.9409 | 0.7242 | 0.1237 | 0.3739     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0004 | 0.0004  | 0.8826      | 0.8570 | 0.6985 | 0.1433 | 0.3739     | 0.7040    | -          |
| cost sensitive | 0.0221 | 0.0221  | 0.5006      | 0.7344 | 0.8423 | 0.5655 | 0.6903     | 0.5965    | 0.4734     |
| F1-SCORE       |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0837 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0837 | 0.08372 | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0185 | 0.01854 | 0.228152554 | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.1326 | 0.13258 | 0.641131891 | 0.3939 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.2317 | 0.23171 | 0.734866088 | 0.5382 | 0.9286 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0001 | 0.00012 | 0.201722342 | 0.0001 | 0.027  | 0.1457 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0015 | 0.00152 | 0.287954511 | 0.0014 | 0.0192 | 0.2753 | 0.30117276 | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0028 | 0.00284 | 0.098020851 | 0.0052 | 0.0794 | 0.098  | 0.43748818 | 0.3222555 | -          |
| cost sensitive | 0.0752 | 0.07524 | 0.944286795 | 0.2199 | 0.6255 | 0.6281 | 0.15687797 | 0.3869172 | 0.02088156 |
| AUC            |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.7222 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0212 | 0.0211  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 1        | 0.0532 | 0.0620 | 0.6004 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0148 | 0.0143 | 0.0385 | 0.0504 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0380 | 0.0434 | 0.5473 | 0.0585 | 0.2001 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1020 | 0.1090 | 0.0143 | 0.2183 | 0.0154 | 0.0832 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1676 | 0.1732 | 0.0178 | 0.4765 | 0.0286 | 0.1570 | 0.4690 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1408 | 0.1663 | 0.0226 | 0.1359 | 0.0172 | 0.0575 | 0.1607 | 0.2967 | -      |
| cost sensitive | 0.0170 | 0.0083 | 0.0350 | 0.1906 | 0.0161 | 0.0932 | 0.7782 | 0.5274 | 0.6467 |

Πίνακας 8.23: Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0692    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0692    | 0.0692     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1322    | 0.1322     | 0.6273       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1584    | 0.1584     | 0.3306       | 0.8549  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0334    | 0.0334     | 0.8713       | 0.3304  | 0.3433  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0031    | 0.0031     | 0.1602       | 0.3324  | 0.4384  | 0.0866  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0053    | 0.0053     | 0.1220       | 0.2597  | 0.3300  | 0.0697  | 0.0062      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0008    | 0.0008     | 0.1987       | 0.4223  | 0.5020  | 0.0832  | 0.2978      | 0.0651     | -           |
| cost sensitive | 0.0169    | 0.0169     | 0.1972       | 0.3150  | 0.5100  | 0.0696  | 0.4875      | 0.2166     | 0.9712      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2093    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.2093    | 0.2093     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1438    | 0.1438     | 0.4944       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0825    | 0.0825     | 0.4367       | 0.5819  | -       | -       | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under random   | 0.0600 | 0.0998 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0176 | 0.0264 | 0.3068 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1635 | 0.2168 | 0.6569 | 0.5148 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1273 | 0.1368 | 0.2897 | 0.5884 | 0.3982 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.5998 | 0.9230 | 0.1816 | 0.0365 | 0.2700 | 0.1408 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8001 | 0.6847 | 0.0677 | 0.0468 | 0.1979 | 0.1078 | 0.5876 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.5831 | 0.9972 | 0.0841 | 0.0620 | 0.2223 | 0.1103 | 0.8966 | 0.1015 | -      |
| cost sensitive | 0.0993 | 0.1866 | 0.1530 | 0.0588 | 0.2845 | 0.1426 | 0.5265 | 0.0918 | 0.2052 |

Πίνακας 8.24: Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 7

166

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 93.4287  | 0.9061    | 0.8580 | 0.8788   | 0.9803 |
|                               | std  | 0.9364   | 0.0441    | 0.0582 | 0.0196   | 0.0049 |
| classic 0.2                   | mean | 93.0916  | 0.9494    | 0.7963 | 0.8648   | 0.9796 |
|                               | std  | 0.9374   | 0.0213    | 0.0485 | 0.0218   | 0.0046 |
| under random                  | mean | 91.9552  | 0.8205    | 0.9171 | 0.8647   | 0.9761 |
|                               | std  | 1.8299   | 0.0466    | 0.0392 | 0.0282   | 0.0086 |
| Near Miss 1                   | mean | 92.2910  | 0.8560    | 0.8824 | 0.8653   | 0.9745 |
|                               | std  | 1.5418   | 0.0685    | 0.0522 | 0.0222   | 0.0068 |
| Near Miss 2                   | mean | 91.8702  | 0.8436    | 0.8807 | 0.8583   | 0.9717 |
|                               | std  | 1.3620   | 0.0601    | 0.0547 | 0.0205   | 0.0061 |
| Near Miss 3                   | mean | 92.7553  | 0.8803    | 0.8628 | 0.8702   | 0.9761 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 1.7927  | 0.0582 | 0.0211 | 0.0276 | 0.0074 |
| over random                 | mean | 93.2183 | 0.8431 | 0.9351 | 0.8858 | 0.9811 |
|                             | std  | 1.5489  | 0.0453 | 0.0142 | 0.0219 | 0.0055 |
| SMOTE                       | mean | 92.9238 | 0.8459 | 0.9156 | 0.8787 | 0.9794 |
|                             | std  | 1.6751  | 0.0396 | 0.0314 | 0.0276 | 0.0060 |
| BSMOTE                      | mean | 90.7326 | 0.7763 | 0.9457 | 0.8514 | 0.9800 |
|                             | std  | 1.6916  | 0.0446 | 0.0304 | 0.0231 | 0.0056 |
| Cost Sensitive              | mean | 92.2075 | 0.8391 | 0.8989 | 0.8664 | 0.9770 |
|                             | std  | 1.7704  | 0.0544 | 0.0285 | 0.0254 | 0.0035 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 89.6005 | 0.8675 | 0.8110 | 0.8352 | 0.9554 |
|                             | std  | 1.2274  | 0.0486 | 0.0587 | 0.0207 | 0.0073 |
| classic 0.2                 | mean | 89.3456 | 0.8792 | 0.7825 | 0.8262 | 0.9498 |
|                             | std  | 1.7821  | 0.0334 | 0.0596 | 0.0353 | 0.0078 |
| under random                | mean | 88.0302 | 0.8087 | 0.8372 | 0.8203 | 0.9393 |
|                             | std  | 1.8562  | 0.0497 | 0.0507 | 0.0238 | 0.0125 |
| Near Miss 1                 | mean | 87.4787 | 0.8485 | 0.7708 | 0.7993 | 0.9378 |
|                             | std  | 1.7203  | 0.0836 | 0.0873 | 0.0282 | 0.0109 |
| Near Miss 2                 | mean | 89.3882 | 0.8500 | 0.8228 | 0.8345 | 0.9407 |
|                             | std  | 1.1755  | 0.0355 | 0.0462 | 0.0193 | 0.0089 |
| Near Miss 3                 | mean | 89.6427 | 0.8377 | 0.8515 | 0.8427 | 0.9528 |
|                             | std  | 1.3029  | 0.0406 | 0.0460 | 0.0192 | 0.0050 |
| over random                 | mean | 88.9214 | 0.8226 | 0.8463 | 0.8333 | 0.9495 |
|                             | std  | 1.7192  | 0.0476 | 0.0199 | 0.0223 | 0.0070 |
| SMOTE                       | mean | 89.0506 | 0.8387 | 0.8332 | 0.8327 | 0.9478 |
|                             | std  | 2.2163  | 0.0623 | 0.0544 | 0.0292 | 0.0111 |
| BSMOTE                      | mean | 87.6062 | 0.7806 | 0.8750 | 0.8221 | 0.9498 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 1.8339  | 0.0547 | 0.0478 | 0.0185 | 0.0071 |
| Cost Sensitive              | mean | 84.2513 | 0.6643 | 0.6540 | 0.6574 | 0.9157 |
|                             | std  | 8.4783  | 0.3334 | 0.3300 | 0.3289 | 0.0515 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 83.0603 | 0.8604 | 0.6974 | 0.7701 | 0.8796 |
|                             | std  | 1.8669  | 0.0253 | 0.0327 | 0.0268 | 0.0225 |
| classic 0.2                 | mean | 82.4569 | 0.8814 | 0.6603 | 0.7528 | 0.8714 |
|                             | std  | 2.3554  | 0.0395 | 0.0600 | 0.0391 | 0.0189 |
| under random                | mean | 82.3707 | 0.8278 | 0.7196 | 0.7677 | 0.8690 |
|                             | std  | 1.3927  | 0.0291 | 0.0576 | 0.0262 | 0.0227 |
| Near Miss 1                 | mean | 80.3448 | 0.7869 | 0.7111 | 0.7465 | 0.8563 |
|                             | std  | 2.0824  | 0.0327 | 0.0345 | 0.0267 | 0.0224 |
| Near Miss 2                 | mean | 81.8534 | 0.8629 | 0.6603 | 0.7473 | 0.8698 |
|                             | std  | 2.3228  | 0.0385 | 0.0418 | 0.0347 | 0.0237 |
| Near Miss 3                 | mean | 81.5086 | 0.7854 | 0.7566 | 0.7697 | 0.8728 |
|                             | std  | 2.0600  | 0.0469 | 0.0219 | 0.0203 | 0.0190 |
| over random                 | mean | 82.2414 | 0.8281 | 0.7164 | 0.7666 | 0.8780 |
|                             | std  | 2.1143  | 0.0463 | 0.0411 | 0.0270 | 0.0233 |
| SMOTE                       | mean | 82.8879 | 0.8464 | 0.7111 | 0.7716 | 0.8676 |
|                             | std  | 1.7855  | 0.0357 | 0.0427 | 0.0259 | 0.0229 |
| BSMOTE                      | mean | 82.2414 | 0.8252 | 0.7175 | 0.7663 | 0.8791 |
|                             | std  | 1.4335  | 0.0248 | 0.0469 | 0.0238 | 0.0209 |
| Cost Sensitive              | mean | 81.8534 | 0.8628 | 0.6624 | 0.7460 | 0.8651 |
|                             | std  | 2.6966  | 0.0368 | 0.0771 | 0.0487 | 0.0262 |

Πίνακας 8.25: Ασθενής 7: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.4609    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1744    | 0.1801     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0782    | 0.3630     | 0.7971       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0105    | 0.0643     | 0.9155       | 0.4460  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.2563    | 0.6931     | 0.4509       | 0.5816  | 0.1861  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.7041    | 0.8931     | 0.3405       | 0.0659  | 0.0709  | 0.5051  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.4296    | 0.8102     | 0.1538       | 0.4716  | 0.0385  | 0.7665  | 0.6982      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0146    | 0.0345     | 0.2832       | 0.0293  | 0.0553  | 0.0952  | 0.0160      | 0.0279     | -           |
| cost sensitive | 0.0842    | 0.3981     | 0.8488       | 0.8988  | 0.6464  | 0.2345  | 0.0752      | 0.4110     | 0.1898      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1006    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0684    | 0.0163     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2367    | 0.0637     | 0.4184       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0255    | 0.0230     | 0.5970       | 0.6163  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.5443    | 0.0575     | 0.1911       | 0.5306  | 0.4140  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0083    | 0.0037     | 0.5867       | 0.6853  | 0.9741  | 0.2870  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0899    | 0.0135     | 0.1793       | 0.7661  | 0.9477  | 0.2492  | 0.9240      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0018    | 0.0022     | 0.2509       | 0.0190  | 0.0032  | 0.0525  | 0.0181      | 0.0623     | -           |
| cost sensitive | 0.0834    | 0.0031     | 0.7074       | 0.6993  | 0.9010  | 0.1437  | 0.8499      | 0.8537     | 0.1384      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0645    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1081    | 0.0165     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.6079    | 0.1535     | 0.3719       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.2947    | 0.0357     | 0.3587       | 0.9668  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.9063    | 0.0802     | 0.0635       | 0.5492  | 0.6492  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0282 | 0.0029 | 0.4354 | 0.1288 | 0.0573 | 0.0137 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1259 | 0.0131 | 0.8707 | 0.3809 | 0.3921 | 0.0359 | 0.3518 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0111 | 0.0037 | 0.1731 | 0.1005 | 0.0241 | 0.0221 | 0.3842 | 0.2042 | -      |
| cost sensitive | 0.2143 | 0.0014 | 0.4794 | 0.6935 | 0.5223 | 0.0993 | 0.0579 | 0.4780 | 0.0561 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1876 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3421 | 0.9923 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2474 | 0.9790 | 0.9776 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0124 | 0.3777 | 0.5018 | 0.5947 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3483 | 0.7262 | 0.6703 | 0.7069 | 0.2049 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.5131 | 0.2540 | 0.2517 | 0.0102 | 0.0600 | 0.1547 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.9927 | 0.3076 | 0.1304 | 0.3739 | 0.0364 | 0.2922 | 0.5257 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0496 | 0.3043 | 0.3467 | 0.1923 | 0.4378 | 0.1792 | 0.0125 | 0.0255 | -      |
| cost sensitive | 0.1811 | 0.9215 | 0.9153 | 0.8981 | 0.4387 | 0.4670 | 0.0365 | 0.2909 | 0.2586 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.7825 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1816 | 0.4757 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0814 | 0.0652 | 0.7094 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0029 | 0.0410 | 0.1529 | 0.2442 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1761 | 0.3708 | 0.9758 | 0.5695 | 0.1178 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.7344 | 0.6218 | 0.1787 | 0.0226 | 0.0099 | 0.0161 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4703 | 0.9392 | 0.0956 | 0.1878 | 0.0076 | 0.1980 | 0.5169 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.8624 | 0.8551 | 0.2887 | 0.0152 | 0.0099 | 0.1193 | 0.5120 | 0.7947 | -      |
| cost sensitive | 0.0143 | 0.2168 | 0.7855 | 0.3482 | 0.0203 | 0.7390 | 0.1171 | 0.2010 | 0.1371 |

Πίνακας 8.26: Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6



|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.6920    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0359    | 0.2833     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1167    | 0.0750     | 0.7336       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.5886    | 0.9649     | 0.0520       | 0.2020  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.9133    | 0.7511     | 0.0376       | 0.1522  | 0.1778  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.2349    | 0.6309     | 0.1962       | 0.2715  | 0.5096  | 0.2701  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.6692    | 0.8421     | 0.4484       | 0.2989  | 0.8145  | 0.6929  | 0.9130      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.1687    | 0.1234     | 0.8093       | 0.6069  | 0.2618  | 0.2081  | 0.3747      | 0.3582     | -           |
| cost sensitive | 0.2357    | 0.2903     | 0.3395       | 0.5431  | 0.2455  | 0.2325  | 0.3075      | 0.3295     | 0.5342      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.6287    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0648    | 0.0132     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.6737    | 0.5089     | 0.5206       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.4018    | 0.2537     | 0.0656       | 0.9797  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1726    | 0.0730     | 0.1234       | 0.8345  | 0.3995  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.1937    | 0.0061     | 0.6151       | 0.5397  | 0.4435  | 0.6064  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.3698    | 0.3051     | 0.5141       | 0.8095  | 0.7790  | 0.9818  | 0.6620      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.1065    | 0.0686     | 0.6070       | 0.1245  | 0.1583  | 0.2264  | 0.3854      | 0.2496     | -           |
| cost sensitive | 0.2320    | 0.2399     | 0.3821       | 0.3367  | 0.2946  | 0.3120  | 0.3721      | 0.3393     | 0.5609      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.4063    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.4459    | 0.1317     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.3622    | 0.8486     | 0.3384       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.6033    | 0.2946     | 0.5227       | 0.3693  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1041    | 0.1512     | 0.5911       | 0.1198  | 0.1822  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.1813 | 0.0720 | 0.7515 | 0.1115 | 0.3706 | 0.8118 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0910 | 0.1403 | 0.8961 | 0.2371 | 0.5390 | 0.4622 | 0.5809 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1150 | 0.1324 | 0.3823 | 0.0533 | 0.1024 | 0.3369 | 0.3266 | 0.2477 | -      |
| cost sensitive | 0.4322 | 0.5089 | 0.3521 | 0.5664 | 0.3624 | 0.3264 | 0.3263 | 0.3549 | 0.2394 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.5166 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1650 | 0.7587 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0789 | 0.2264 | 0.3971 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.9194 | 0.6593 | 0.1124 | 0.1231 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2928 | 0.4252 | 0.0719 | 0.0529 | 0.0699 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.6812 | 0.6769 | 0.1262 | 0.1136 | 0.8377 | 0.1719 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8692 | 0.7577 | 0.3257 | 0.1924 | 0.9100 | 0.5632 | 0.9597 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3077 | 0.7900 | 0.9160 | 0.0415 | 0.4369 | 0.1961 | 0.4204 | 0.5089 | -      |
| cost sensitive | 0.3345 | 0.3655 | 0.3583 | 0.4651 | 0.3267 | 0.3145 | 0.3385 | 0.3500 | 0.3920 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0022 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0242 | 0.0692 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0131 | 0.0407 | 0.8107 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0028 | 0.0064 | 0.6358 | 0.5703 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2670 | 0.2043 | 0.0286 | 0.0343 | 0.0034 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0143 | 0.7951 | 0.0447 | 0.0402 | 0.0017 | 0.0582 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1045 | 0.6072 | 0.1218 | 0.0056 | 0.1324 | 0.3104 | 0.6380 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1070 | 0.9930 | 0.0241 | 0.0473 | 0.0032 | 0.1096 | 0.8401 | 0.6167 | -      |
| cost sensitive | 0.1685 | 0.2239 | 0.3969 | 0.4628 | 0.3573 | 0.2037 | 0.2383 | 0.2910 | 0.2477 |

Πίνακας 8.27: Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2360    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1548    | 0.9109     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0075    | 0.0556     | 0.0562       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0782    | 0.2056     | 0.4348       | 0.1979  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0439    | 0.2278     | 0.1573       | 0.3371  | 0.5275  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0340    | 0.7063     | 0.7948       | 0.0213  | 0.5078  | 0.3441  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.6286    | 0.5057     | 0.1447       | 0.0394  | 0.0922  | 0.0047  | 0.2468      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.2171    | 0.8213     | 0.6340       | 0.0700  | 0.6299  | 0.3683  | 1.0000      | 0.2809     | -           |
| cost sensitive | 0.0941    | 0.4449     | 0.4744       | 0.1863  | 1.0000  | 0.5846  | 0.4548      | 0.1157     | 0.6313      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1726    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.2393    | 0.1841     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0031    | 0.0130     | 0.1521       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.8949    | 0.5574     | 0.1220       | 0.0120  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0224    | 0.0158     | 0.2065       | 0.9628  | 0.0189  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0836    | 0.0540     | 0.9942       | 0.1273  | 0.1910  | 0.1207  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.5443    | 0.1697     | 0.5042       | 0.1258  | 0.5719  | 0.0137  | 0.5084      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0796    | 0.0881     | 0.8849       | 0.0199  | 0.1344  | 0.2793  | 0.9083      | 0.5078     | -           |
| cost sensitive | 0.9199    | 0.5794     | 0.1178       | 0.0239  | 0.9941  | 0.0309  | 0.3368      | 0.5693     | 0.1789      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1101    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.4096    | 0.2122     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0486    | 0.0777     | 0.6984       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0471    | 1.0000     | 0.0503       | 0.0130  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0613    | 0.0630     | 0.2254       | 0.1145  | 0.0215  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.3360 | 0.0417 | 0.9353 | 0.7897 | 0.1103 | 0.2354 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4923 | 0.1276 | 0.7500 | 1.0000 | 0.1431 | 0.0858 | 0.8470 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1817 | 0.0838 | 0.9336 | 0.6657 | 0.0032 | 0.2404 | 0.9729 | 0.8153 | -      |
| cost sensitive | 0.3549 | 0.9660 | 0.0510 | 0.2047 | 0.9457 | 0.0549 | 0.3408 | 0.2061 | 0.1043 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1411 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.7382 | 0.3985 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0122 | 0.6246 | 0.0709 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0386 | 0.6198 | 0.1125 | 0.9541 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.9591 | 0.3404 | 0.6431 | 0.0773 | 0.0789 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.4993 | 0.1522 | 0.9207 | 0.0122 | 0.1511 | 0.7842 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.7272 | 0.2112 | 0.4657 | 0.0135 | 0.0658 | 0.7722 | 0.5144 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.6245 | 0.3897 | 0.8469 | 0.1341 | 0.1023 | 0.5765 | 0.9765 | 0.3767 | -      |
| cost sensitive | 0.1867 | 0.7621 | 0.1506 | 0.9790 | 0.9329 | 0.1877 | 0.3375 | 0.1241 | 0.2155 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0365 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0084 | 0.3810 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0067 | 0.0182 | 0.0799 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0051 | 0.6793 | 0.8296 | 0.0268 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0298 | 0.5461 | 0.2447 | 0.0321 | 0.4410 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.6240 | 0.1698 | 0.1105 | 0.0021 | 0.0066 | 0.3006 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0348 | 0.5124 | 0.8263 | 0.0776 | 0.4465 | 0.3372 | 0.0150 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.7787 | 0.0529 | 0.0118 | 0.0136 | 0.0216 | 0.0324 | 0.7649 | 0.0450 | -      |
| cost sensitive | 0.0268 | 0.3417 | 0.5401 | 0.2461 | 0.4055 | 0.1715 | 0.1063 | 0.6973 | 0.0591 |

Πίνακας 8.28: Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 8

175

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 95.4863  | 0.7735    | 0.5464 | 0.6217   | 0.9616 |
|                               | std  | 0.4403   | 0.0733    | 0.1463 | 0.0810   | 0.0105 |
| classic 0.2                   | mean | 94.4771  | 0.9181    | 0.2527 | 0.3789   | 0.9567 |
|                               | std  | 0.6358   | 0.0702    | 0.1194 | 0.1371   | 0.0106 |
| under random                  | mean | 56.1729  | 0.0583    | 0.6000 | 0.1061   | 0.7473 |
|                               | std  | 31.4539  | 0.0490    | 0.4899 | 0.0887   | 0.3329 |
| Near Miss 1                   | mean | 55.0680  | 0.2960    | 0.8262 | 0.3390   | 0.9314 |
|                               | std  | 38.9346  | 0.2770    | 0.1739 | 0.1946   | 0.0277 |
| Near Miss 2                   | mean | 68.0003  | 0.1901    | 0.6593 | 0.2668   | 0.8220 |
|                               | std  | 32.4137  | 0.1510    | 0.3579 | 0.1858   | 0.1344 |
| Near Miss 3                   | mean | 83.4137  | 0.4455    | 0.7849 | 0.4849   | 0.9424 |
|                               | std  | 13.1152  | 0.2373    | 0.2137 | 0.1597   | 0.0149 |
| over random                   | mean | 89.0078  | 0.4112    | 0.8812 | 0.5509   | 0.9549 |
|                               | std  | 4.3478   | 0.1083    | 0.0487 | 0.0978   | 0.0200 |
| SMOTE                         | mean | 91.7145  | 0.4620    | 0.9105 | 0.6116   | 0.9647 |
|                               | std  | 1.1615   | 0.0427    | 0.0376 | 0.0376   | 0.0128 |
| BSMOTE                        | mean | 83.8542  | 0.3147    | 0.9476 | 0.4680   | 0.9636 |
|                               | std  | 5.1628   | 0.0625    | 0.0381 | 0.0695   | 0.0145 |
| Cost Sensitive                | mean | 73.7835  | 0.3534    | 0.8952 | 0.4801   | 0.9564 |
|                               | std  | 33.3450  | 0.1468    | 0.0762 | 0.1762   | 0.0091 |
| Prediction Horizon 12 (1 h)   |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 93.3731  | 0.7431    | 0.4890 | 0.5837   | 0.9106 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 0.5603  | 0.0816 | 0.0610 | 0.0361 | 0.0092 |
| classic 0.2                 | mean | 91.7440 | 0.7036 | 0.1594 | 0.2558 | 0.9055 |
|                             | std  | 0.8308  | 0.3589 | 0.0969 | 0.1481 | 0.0088 |
| under random                | mean | 71.0995 | 0.2718 | 0.7557 | 0.3851 | 0.8588 |
|                             | std  | 21.8527 | 0.0861 | 0.1062 | 0.0991 | 0.0143 |
| Near Miss 1                 | mean | 63.4320 | 0.2912 | 0.7452 | 0.3506 | 0.8673 |
|                             | std  | 29.0120 | 0.1849 | 0.2112 | 0.1141 | 0.0155 |
| Near Miss 2                 | mean | 77.7253 | 0.3029 | 0.6600 | 0.3915 | 0.8394 |
|                             | std  | 11.4816 | 0.1033 | 0.1329 | 0.0854 | 0.0129 |
| Near Miss 3                 | mean | 78.4289 | 0.3772 | 0.7570 | 0.4523 | 0.8902 |
|                             | std  | 11.9526 | 0.2038 | 0.1408 | 0.1409 | 0.0150 |
| over random                 | mean | 86.2582 | 0.3971 | 0.7957 | 0.5288 | 0.9106 |
|                             | std  | 2.4714  | 0.0485 | 0.0312 | 0.0500 | 0.0186 |
| SMOTE                       | mean | 88.1031 | 0.3608 | 0.6343 | 0.4496 | 0.9011 |
|                             | std  | 3.9084  | 0.2091 | 0.3199 | 0.2352 | 0.0265 |
| BSMOTE                      | mean | 84.4075 | 0.3902 | 0.7849 | 0.5076 | 0.9157 |
|                             | std  | 6.1336  | 0.0974 | 0.0802 | 0.0754 | 0.0112 |
| Cost Sensitive              | mean | 70.7012 | 0.3296 | 0.8400 | 0.4524 | 0.8951 |
|                             | std  | 30.5076 | 0.1185 | 0.0840 | 0.1387 | 0.0207 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 89.8121 | 0.8607 | 0.3156 | 0.4587 | 0.8218 |
|                             | std  | 0.7950  | 0.1125 | 0.0373 | 0.0419 | 0.0186 |
| classic 0.2                 | mean | 88.2751 | 0.9467 | 0.1574 | 0.2625 | 0.8121 |
|                             | std  | 0.7783  | 0.0686 | 0.0670 | 0.1030 | 0.0172 |
| under random                | mean | 71.0846 | 0.3022 | 0.6723 | 0.4063 | 0.7894 |
|                             | std  | 9.5790  | 0.0967 | 0.0722 | 0.0869 | 0.0218 |
| Near Miss 1                 | mean | 81.8436 | 0.3933 | 0.5392 | 0.4505 | 0.7890 |

|                |      |         |        |        |        |        |
|----------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                | std  | 2.7437  | 0.0540 | 0.0595 | 0.0354 | 0.0198 |
| Near Miss 2    | mean | 80.2980 | 0.4477 | 0.5851 | 0.4698 | 0.7787 |
|                | std  | 10.4244 | 0.1440 | 0.1447 | 0.0779 | 0.0840 |
| Near Miss 3    | mean | 72.1164 | 0.3680 | 0.6171 | 0.3995 | 0.7928 |
|                | std  | 14.7854 | 0.1726 | 0.1909 | 0.0579 | 0.0230 |
| over random    | mean | 82.8657 | 0.4441 | 0.6185 | 0.5060 | 0.8406 |
|                | std  | 4.5951  | 0.1006 | 0.0467 | 0.0519 | 0.0248 |
| SMOTE          | mean | 77.2373 | 0.3489 | 0.7010 | 0.4626 | 0.8406 |
|                | std  | 4.2850  | 0.0524 | 0.0301 | 0.0418 | 0.0214 |
| BSMOTE         | mean | 71.7217 | 0.3036 | 0.7588 | 0.4294 | 0.8318 |
|                | std  | 6.4783  | 0.0499 | 0.0887 | 0.0504 | 0.0174 |
| Cost Sensitive | mean | 71.9423 | 0.2858 | 0.6719 | 0.3995 | 0.8183 |
|                | std  | 4.1931  | 0.0410 | 0.0482 | 0.0428 | 0.0213 |

Πίνακας 8.29: Ασθενής 8: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0835    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0650    | 0.0713     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.1048    | 0.1150     | 0.9687       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.1618    | 0.1772     | 0.4701       | 0.5041  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.1464    | 0.1712     | 0.2856       | 0.2219  | 0.4900  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0449    | 0.0663     | 0.0956       | 0.1874  | 0.2868  | 0.4923  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0083    | 0.0099     | 0.0916       | 0.1383  | 0.2300  | 0.2579  | 0.2597      | -          | -           |
| over bsmote  | 0.0103    | 0.0211     | 0.1568       | 0.2091  | 0.4049  | 0.9505  | 0.1470      | 0.0422     | -           |

|                |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
|----------------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|------------|
| cost sensitive | 0.2612 | 0.2856  | 0.2588      | 0.5604 | 0.8042 | 0.6651 | 0.3705     | 0.3472    | 0.5447     |
| PRECISION      |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0473 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 2E-05  | 4.9E-05 | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0332 | 0.00789 | 0.191203298 | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0029 | 0.00266 | 0.150643536 | 0.6109 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.0239 | 0.02465 | 0.016827393 | 0.5157 | 0.1103 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.01   | 0.00111 | 0.004037797 | 0.5498 | 0.0632 | 0.8291 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0007 | 0.00019 | 8.15101E-05 | 0.339  | 0.0311 | 0.8926 | 0.34022942 | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0012 | 4.7E-05 | 0.001267799 | 0.8969 | 0.2428 | 0.3504 | 0.14611062 | 0.0156282 | -          |
| cost sensitive | 0.0179 | 0.00152 | 0.024594919 | 0.6957 | 0.2004 | 0.6284 | 0.4456282  | 0.2659483 | 0.54105575 |
| RECALL         |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0483 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.8711 | 0.2567  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.1245 | 0.0009  | 0.3939      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.6704 | 0.0584  | 0.7761      | 0.1925 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.0762 | 0.0095  | 0.6078      | 0.7603 | 0.6071 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0069 | 0.0016  | 0.3219      | 0.6369 | 0.3254 | 0.4244 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0068 | 0.0002  | 0.2960      | 0.3764 | 0.2359 | 0.2534 | 0.4612     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0073 | 0.0001  | 0.2388      | 0.1770 | 0.1647 | 0.1645 | 0.1701     | 0.0341    | -          |
| cost sensitive | 0.0253 | 0.0002  | 0.2933      | 0.3956 | 0.2118 | 0.3401 | 0.8119     | 0.6391    | 0.1065     |
| F1-SCORE       |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0537 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0028 | 0.0371  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0305 | 0.7993  | 0.1173      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0275 | 0.1973  | 0.1651      | 0.6875 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.3121 | 0.3621  | 0.0012      | 0.3494 | 0.1445 | -      | -          | -         | -          |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.3306 | 0.1073 | 0.0025 | 0.2000 | 0.0474 | 0.5511 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8662 | 0.0213 | 0.0003 | 0.0689 | 0.0237 | 0.1527 | 0.2433 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0381 | 0.4242 | 0.0014 | 0.2708 | 0.1512 | 0.8531 | 0.1456 | 0.0245 | -      |
| cost sensitive | 0.1030 | 0.4966 | 0.0274 | 0.3572 | 0.1902 | 0.9767 | 0.3558 | 0.2445 | 0.8725 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0063 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2677 | 0.2792 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0396 | 0.0580 | 0.3469 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1149 | 0.1244 | 0.7246 | 0.1798 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0028 | 0.0060 | 0.3109 | 0.1982 | 0.1546 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.5185 | 0.8460 | 0.2930 | 0.1257 | 0.1329 | 0.2663 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4111 | 0.0535 | 0.2686 | 0.0129 | 0.1009 | 0.0005 | 0.3616 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.7355 | 0.2509 | 0.2721 | 0.0109 | 0.0947 | 0.0066 | 0.4109 | 0.7295 | -      |
| cost sensitive | 0.2108 | 0.9231 | 0.2826 | 0.0887 | 0.1261 | 0.0520 | 0.8391 | 0.1439 | 0.3186 |

Πίνακας 8.30: Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0054    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.1137    | 0.1379     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.1081    | 0.1265     | 0.3150       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0513    | 0.0653     | 0.6724       | 0.4707  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0715    | 0.1048     | 0.5423       | 0.3452  | 0.9457  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0080    | 0.0149     | 0.2512       | 0.2103  | 0.1902  | 0.2638  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0563    | 0.1289     | 0.2430       | 0.1987  | 0.0713  | 0.2008  | 0.3082      | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over bsmote    | 0.0455 | 0.0746 | 0.3293 | 0.2536 | 0.1057 | 0.4315 | 0.5211 | 0.1227 | -      |
| cost sensitive | 0.2119 | 0.2351 | 0.9851 | 0.7837 | 0.7145 | 0.7081 | 0.3574 | 0.3348 | 0.4632 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.8116 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0040 | 0.1021 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0104 | 0.0705 | 0.8280 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0009 | 0.0683 | 0.7343 | 0.9329 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0390 | 0.2955 | 0.3120 | 0.5899 | 0.6135 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0034 | 0.1908 | 0.0708 | 0.4104 | 0.1230 | 0.8497 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0328 | 0.1760 | 0.5265 | 0.7054 | 0.6095 | 0.9300 | 0.7181 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0026 | 0.1506 | 0.1787 | 0.4684 | 0.0438 | 0.9158 | 0.8894 | 0.8272 | -      |
| cost sensitive | 0.0081 | 0.1134 | 0.4877 | 0.7546 | 0.7540 | 0.7564 | 0.3126 | 0.6270 | 0.5542 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0035 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0270 | 0.0010 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0977 | 0.0041 | 0.9172 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0497 | 0.0059 | 0.2777 | 0.5747 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0075 | 0.0003 | 0.9904 | 0.9155 | 0.3363 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0005 | 0.0002 | 0.5155 | 0.6236 | 0.1113 | 0.5702 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.3605 | 0.0389 | 0.5226 | 0.5321 | 0.8548 | 0.3225 | 0.3394 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0008 | 0.0007 | 0.6784 | 0.7368 | 0.0299 | 0.6570 | 0.7671 | 0.2925 | -      |
| cost sensitive | 0.0053 | 0.0008 | 0.3133 | 0.4868 | 0.1467 | 0.4785 | 0.4402 | 0.3607 | 0.5282 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0081 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0163 | 0.3162 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0092 | 0.4080 | 0.4952 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0177 | 0.0537 | 0.9454 | 0.6749 | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 3        | 0.1910 | 0.2432 | 0.3299 | 0.3154 | 0.5831 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2266 | 0.0281 | 0.0662 | 0.0862 | 0.0294 | 0.3251 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.3085 | 0.1709 | 0.6673 | 0.5665 | 0.6432 | 0.9870 | 0.4988 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1904 | 0.0232 | 0.1592 | 0.1243 | 0.0134 | 0.5539 | 0.5599 | 0.6752 | -      |
| cost sensitive | 0.1060 | 0.0756 | 0.4922 | 0.3843 | 0.4873 | 0.9991 | 0.3088 | 0.9609 | 0.5667 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0247 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0006 | 0.0019 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0008 | 0.0026 | 0.1944 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0001 | 0.0002 | 0.0897 | 0.0050 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0088 | 0.0195 | 0.0229 | 0.0120 | 0.0001 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.9947 | 0.3851 | 0.0034 | 0.0010 | 0.0002 | 0.0024 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4189 | 0.7029 | 0.0394 | 0.0281 | 0.0012 | 0.2053 | 0.3141 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4373 | 0.1982 | 0.0017 | 0.0011 | 0.0001 | 0.0213 | 0.5924 | 0.2263 | -      |
| cost sensitive | 0.0882 | 0.2446 | 0.0168 | 0.0055 | 0.0004 | 0.3600 | 0.0345 | 0.3224 | 0.0462 |

Πίνακας 8.31: Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0859    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0155    | 0.0246     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0041    | 0.0184     | 0.0595       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.1497    | 0.1772     | 0.3342       | 0.8151  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0761    | 0.0967     | 0.9349       | 0.2878  | 0.3920  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0552    | 0.0651     | 0.0739       | 0.6915  | 0.6324  | 0.2854  | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.0053 | 0.0104 | 0.2926 | 0.0472 | 0.6860 | 0.5358 | 0.1289 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0061 | 0.0075 | 0.9294 | 0.0587 | 0.2992 | 0.9582 | 0.0653 | 0.1226 | -      |
| cost sensitive | 0.0017 | 0.0018 | 0.8884 | 0.0076 | 0.2457 | 0.9819 | 0.0079 | 0.0158 | 0.9463 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1182 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0005 | 0.0001 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0017 | 0.0000 | 0.0551 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0041 | 0.0021 | 0.1885 | 0.5718 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0124 | 0.0033 | 0.6343 | 0.8135 | 0.4255 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0066 | 0.0014 | 0.0689 | 0.4273 | 0.9596 | 0.5388 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0026 | 0.0002 | 0.3893 | 0.1000 | 0.3520 | 0.8545 | 0.1595 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0018 | 0.0004 | 0.9821 | 0.0828 | 0.1833 | 0.5440 | 0.0581 | 0.1289 | -      |
| cost sensitive | 0.0015 | 0.0002 | 0.7725 | 0.0238 | 0.1132 | 0.4172 | 0.0194 | 0.0241 | 0.4122 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0379 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0015 | 0.0002 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0063 | 0.0002 | 0.0316 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0182 | 0.0084 | 0.2512 | 0.5306 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0465 | 0.0067 | 0.5733 | 0.3712 | 0.6996 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0001 | 0.0006 | 0.3763 | 0.1129 | 0.7101 | 0.9909 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0003 | 0.0000 | 0.5294 | 0.0060 | 0.2229 | 0.4059 | 0.0631 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0012 | 0.0003 | 0.1702 | 0.0190 | 0.1044 | 0.1613 | 0.0988 | 0.1901 | -      |
| cost sensitive | 0.0008 | 0.0001 | 0.9914 | 0.0102 | 0.2712 | 0.5021 | 0.3045 | 0.1836 | 0.0394 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0509 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3272 | 0.1227 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.7469 | 0.0370 | 0.1812 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.8553 | 0.0008 | 0.3100 | 0.6918 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2077 | 0.0564 | 0.9289 | 0.3188 | 0.2413 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3485 | 0.0043 | 0.0794 | 0.1364 | 0.2590 | 0.0714 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8928 | 0.0363 | 0.2360 | 0.5392 | 0.8990 | 0.1770 | 0.2348 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4978 | 0.0353 | 0.6603 | 0.4877 | 0.4440 | 0.4106 | 0.0690 | 0.1538 | -      |
| cost sensitive | 0.1840 | 0.0623 | 0.8836 | 0.1015 | 0.1809 | 0.9983 | 0.0058 | 0.0116 | 0.1289 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0018 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0055 | 0.0179 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0022 | 0.0089 | 0.8842 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.2694 | 0.3868 | 0.7506 | 0.7679 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0063 | 0.0232 | 0.4738 | 0.3154 | 0.6792 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0919 | 0.0379 | 0.0182 | 0.0120 | 0.1681 | 0.0252 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0742 | 0.0218 | 0.0164 | 0.0133 | 0.1831 | 0.0221 | 0.9964 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0591 | 0.0121 | 0.0071 | 0.0020 | 0.2097 | 0.0067 | 0.2818 | 0.3558 | -      |
| cost sensitive | 0.3150 | 0.1963 | 0.0300 | 0.0162 | 0.3105 | 0.0364 | 0.0204 | 0.0222 | 0.0226 |

Πίνακας 8.32: Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 9

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC    |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|--------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |        |
| classic 0                     | mean | 89.5611  | 0.8432    | 0.7865 | 0.8120   | 0.9442 |
|                               | std  | 2.2300   | 0.0697    | 0.0390 | 0.0371   | 0.0217 |
| classic 0.2                   | mean | 80.9646  | 0.8989    | 0.3724 | 0.5198   | 0.9289 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 3.0712  | 0.0636 | 0.1037 | 0.1080 | 0.0183 |
| under random                | mean | 82.5194 | 0.6614 | 0.8377 | 0.7345 | 0.9024 |
|                             | std  | 4.0988  | 0.0801 | 0.0616 | 0.0459 | 0.0366 |
| Near Miss 1                 | mean | 82.1441 | 0.6372 | 0.5318 | 0.5651 | 0.9081 |
|                             | std  | 6.0159  | 0.3319 | 0.3009 | 0.2906 | 0.0352 |
| Near Miss 2                 | mean | 84.4611 | 0.7439 | 0.6937 | 0.6962 | 0.9098 |
|                             | std  | 4.9239  | 0.0491 | 0.2209 | 0.1548 | 0.0408 |
| Near Miss 3                 | mean | 88.7588 | 0.8101 | 0.7897 | 0.7994 | 0.9355 |
|                             | std  | 2.7998  | 0.0414 | 0.0657 | 0.0533 | 0.0243 |
| over random                 | mean | 86.6333 | 0.7258 | 0.8626 | 0.7873 | 0.9283 |
|                             | std  | 2.5412  | 0.0507 | 0.0336 | 0.0354 | 0.0177 |
| SMOTE                       | mean | 84.9806 | 0.7412 | 0.7585 | 0.7247 | 0.9266 |
|                             | std  | 3.8564  | 0.0623 | 0.2101 | 0.1271 | 0.0184 |
| BSMOTE                      | mean | 86.7744 | 0.7278 | 0.8708 | 0.7908 | 0.9383 |
|                             | std  | 2.4028  | 0.0544 | 0.0409 | 0.0294 | 0.0221 |
| Cost Sensitive              | mean | 84.7881 | 0.7375 | 0.7826 | 0.7410 | 0.9266 |
|                             | std  | 3.1328  | 0.0924 | 0.1512 | 0.0638 | 0.0150 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 82.9929 | 0.8205 | 0.6933 | 0.7507 | 0.8667 |
|                             | std  | 1.8679  | 0.0469 | 0.0198 | 0.0223 | 0.0214 |
| classic 0.2                 | mean | 80.0475 | 0.8392 | 0.5761 | 0.6757 | 0.8582 |
|                             | std  | 2.3989  | 0.0510 | 0.1016 | 0.0597 | 0.0283 |
| under random                | mean | 77.5772 | 0.5946 | 0.6081 | 0.5993 | 0.7597 |
|                             | std  | 7.4625  | 0.3010 | 0.3059 | 0.3001 | 0.2127 |
| Near Miss 1                 | mean | 81.3777 | 0.7586 | 0.7294 | 0.7418 | 0.8483 |
|                             | std  | 0.7298  | 0.0210 | 0.0554 | 0.0211 | 0.0257 |
| Near Miss 2                 | mean | 79.7150 | 0.7128 | 0.7641 | 0.7353 | 0.8497 |

|                             |      |         |        |        |        |        |
|-----------------------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                             | std  | 2.8803  | 0.0518 | 0.0560 | 0.0353 | 0.0380 |
| Near Miss 3                 | mean | 80.8076 | 0.7670 | 0.7101 | 0.7308 | 0.8546 |
|                             | std  | 2.0510  | 0.0659 | 0.0827 | 0.0264 | 0.0242 |
| over random                 | mean | 78.6698 | 0.7038 | 0.7540 | 0.7224 | 0.8528 |
|                             | std  | 2.8161  | 0.0634 | 0.0751 | 0.0292 | 0.0269 |
| SMOTE                       | mean | 79.9050 | 0.7209 | 0.7526 | 0.7343 | 0.8531 |
|                             | std  | 1.6498  | 0.0430 | 0.0409 | 0.0135 | 0.0243 |
| BSMOTE                      | mean | 76.5796 | 0.6401 | 0.8389 | 0.7256 | 0.8622 |
|                             | std  | 2.1853  | 0.0289 | 0.0263 | 0.0209 | 0.0212 |
| Cost Sensitive              | mean | 80.1425 | 0.7285 | 0.7489 | 0.7351 | 0.8549 |
|                             | std  | 2.2160  | 0.0534 | 0.0605 | 0.0278 | 0.0263 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |         |        |        |        |        |
| classic 0                   | mean | 69.4375 | 0.7706 | 0.5990 | 0.6581 | 0.7528 |
|                             | std  | 3.6806  | 0.1017 | 0.1080 | 0.0216 | 0.0181 |
| classic 0.2                 | mean | 72.0332 | 0.8068 | 0.5823 | 0.6724 | 0.7596 |
|                             | std  | 1.9840  | 0.0555 | 0.0574 | 0.0322 | 0.0225 |
| under random                | mean | 70.8306 | 0.7954 | 0.5794 | 0.6599 | 0.7570 |
|                             | std  | 1.6261  | 0.0794 | 0.0905 | 0.0375 | 0.0164 |
| Near Miss 1                 | mean | 72.9938 | 0.7964 | 0.6163 | 0.6930 | 0.7628 |
|                             | std  | 1.5239  | 0.0369 | 0.0442 | 0.0217 | 0.0175 |
| Near Miss 2                 | mean | 71.7914 | 0.7772 | 0.6270 | 0.6873 | 0.7585 |
|                             | std  | 2.7736  | 0.0798 | 0.0640 | 0.0242 | 0.0138 |
| Near Miss 3                 | mean | 67.7066 | 0.6632 | 0.7229 | 0.6891 | 0.7611 |
|                             | std  | 1.4797  | 0.0366 | 0.0500 | 0.0068 | 0.0151 |
| over random                 | mean | 71.6485 | 0.7863 | 0.6056 | 0.6781 | 0.7561 |
|                             | std  | 2.2676  | 0.0718 | 0.0662 | 0.0281 | 0.0211 |
| SMOTE                       | mean | 68.2821 | 0.8356 | 0.4853 | 0.5617 | 0.7565 |

|                |      |         |        |        |        |        |
|----------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                | std  | 7.7914  | 0.0881 | 0.2195 | 0.2349 | 0.0157 |
| BSMOTE         | mean | 71.1191 | 0.7802 | 0.6008 | 0.6714 | 0.7590 |
|                | std  | 2.1044  | 0.0671 | 0.0773 | 0.0330 | 0.0148 |
| Cost Sensitive | mean | 71.9359 | 0.8009 | 0.5804 | 0.6717 | 0.7577 |
|                | std  | 0.9850  | 0.0282 | 0.0371 | 0.0185 | 0.0153 |

Πίνακας 8.33: Ασθενής 9: Αποτελέσματα εκπαίδευσης - Υπεργλυκαιμία

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0000    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0164    | 0.4747     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0577    | 0.7022     | 0.9262       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0219    | 0.0241     | 0.4866       | 0.5370  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1750    | 0.0000     | 0.0461       | 0.0597  | 0.0266  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0746    | 0.0141     | 0.1983       | 0.1015  | 0.3817  | 0.1057  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0076    | 0.0016     | 0.3505       | 0.4246  | 0.4138  | 0.0083  | 0.3895      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0915    | 0.0199     | 0.1528       | 0.2371  | 0.3355  | 0.2494  | 0.9438      | 0.3526     | -           |
| cost sensitive | 0.0152    | 0.0522     | 0.2667       | 0.2744  | 0.8882  | 0.0348  | 0.2809      | 0.9234     | 0.3599      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2249    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0109    | 0.0160     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2706    | 0.2070     | 0.8870       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0079    | 0.0211     | 0.0254       | 0.5327  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1837    | 0.0229     | 0.0243       | 0.3338  | 0.0318  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0153    | 0.0079     | 0.2909       | 0.5945  | 0.5824  | 0.0094  | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.0262 | 0.0448 | 0.1050 | 0.5579 | 0.9172 | 0.1145 | 0.6521 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0727 | 0.0036 | 0.2158 | 0.6212 | 0.6957 | 0.0604 | 0.9672 | 0.8196 | -      |
| cost sensitive | 0.1482 | 0.0330 | 0.2925 | 0.4821 | 0.9062 | 0.1589 | 0.8001 | 0.9560 | 0.8380 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0013 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2545 | 0.0004 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1756 | 0.3347 | 0.0993 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.4021 | 0.0153 | 0.2042 | 0.4382 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.9203 | 0.0001 | 0.1407 | 0.1489 | 0.3034 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0058 | 0.0005 | 0.3844 | 0.0966 | 0.1531 | 0.0437 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.7667 | 0.0124 | 0.4704 | 0.2993 | 0.2061 | 0.7253 | 0.3122 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0506 | 0.0002 | 0.0644 | 0.0773 | 0.1483 | 0.0194 | 0.7046 | 0.3278 | -      |
| cost sensitive | 0.9661 | 0.0031 | 0.4612 | 0.2591 | 0.4808 | 0.9259 | 0.3595 | 0.8638 | 0.2542 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0013 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0186 | 0.0065 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1604 | 0.7726 | 0.3163 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1280 | 0.0140 | 0.6301 | 0.4804 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2826 | 0.0008 | 0.0699 | 0.1675 | 0.1310 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2233 | 0.0046 | 0.1526 | 0.1755 | 0.2583 | 0.5294 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1416 | 0.0071 | 0.8856 | 0.3791 | 0.1749 | 0.1541 | 0.3239 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1703 | 0.0047 | 0.0969 | 0.2062 | 0.2220 | 0.7062 | 0.8748 | 0.2651 | -      |
| cost sensitive | 0.0502 | 0.0036 | 0.5405 | 0.2948 | 0.5702 | 0.1131 | 0.2623 | 0.8132 | 0.2173 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0131 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0856 | 0.1764 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0101 | 0.1012 | 0.7887 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0786 | 0.2305 | 0.5386 | 0.8963 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0163 | 0.2932 | 0.1497 | 0.0204 | 0.1533 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0468 | 0.9242 | 0.2696 | 0.2049 | 0.3820 | 0.3259 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0081 | 0.4918 | 0.1938 | 0.1023 | 0.2673 | 0.1224 | 0.8219 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0367 | 0.0858 | 0.1094 | 0.0232 | 0.1155 | 0.1679 | 0.1405 | 0.0344 | -      |
| cost sensitive | 0.0225 | 0.7114 | 0.2674 | 0.1923 | 0.3961 | 0.1730 | 0.7193 | 0.9975 | 0.0706 |

Πίνακας 8.34: Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0364    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1369    | 0.4751     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0841    | 0.2336     | 0.3456       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0149    | 0.8134     | 0.4990       | 0.2206  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.2007    | 0.6621     | 0.4120       | 0.6548  | 0.5609  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0292    | 0.3893     | 0.7875       | 0.1032  | 0.6049  | 0.4140  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0581    | 0.9167     | 0.5299       | 0.2171  | 0.9205  | 0.3068  | 0.5347      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0021    | 0.0541     | 0.7886       | 0.0088  | 0.1197  | 0.0968  | 0.0145      | 0.0808     | -           |
| cost sensitive | 0.0108    | 0.9135     | 0.4579       | 0.2389  | 0.7547  | 0.7340  | 0.1341      | 0.8683     | 0.0027      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.4499    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1594    | 0.1533     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1327    | 0.0599     | 0.3638       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0092    | 0.0017     | 0.4556       | 0.1900  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.3156    | 0.1483     | 0.3244       | 0.8006  | 0.2337  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0335 | 0.0173 | 0.5163 | 0.2043 | 0.8520 | 0.3479 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0391 | 0.0363 | 0.4274 | 0.2377 | 0.8554 | 0.2067 | 0.7074 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0013 | 0.0014 | 0.7733 | 0.0057 | 0.0823 | 0.0483 | 0.0253 | 0.0441 | -      |
| cost sensitive | 0.0216 | 0.0122 | 0.3918 | 0.4341 | 0.6956 | 0.5037 | 0.1821 | 0.8329 | 0.0033 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1218 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.6149 | 0.8238 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3031 | 0.0288 | 0.4043 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1015 | 0.0076 | 0.2885 | 0.1476 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.7338 | 0.0185 | 0.4738 | 0.4309 | 0.1231 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2564 | 0.0081 | 0.3593 | 0.5361 | 0.8083 | 0.3450 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0537 | 0.0255 | 0.3910 | 0.3217 | 0.7407 | 0.2323 | 0.9717 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0009 | 0.0070 | 0.1912 | 0.0058 | 0.0592 | 0.0260 | 0.0563 | 0.0047 | -      |
| cost sensitive | 0.2260 | 0.0080 | 0.3981 | 0.6021 | 0.7013 | 0.3654 | 0.6879 | 0.9065 | 0.0288 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0700 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3484 | 0.6038 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2492 | 0.0526 | 0.3722 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.2068 | 0.0831 | 0.3706 | 0.4932 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2379 | 0.0613 | 0.3964 | 0.3423 | 0.7338 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1105 | 0.0840 | 0.4440 | 0.0881 | 0.4440 | 0.6137 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1854 | 0.0831 | 0.4019 | 0.4058 | 0.9487 | 0.6883 | 0.4185 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0160 | 0.1577 | 0.4344 | 0.0921 | 0.5354 | 0.7590 | 0.7759 | 0.4266 | -      |
| cost sensitive | 0.2851 | 0.0361 | 0.3948 | 0.3538 | 0.9859 | 0.7406 | 0.0307 | 0.9501 | 0.4372 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1448 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3297 | 0.3500 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 1        | 0.0106 | 0.0271 | 0.4060 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1323 | 0.1782 | 0.3672 | 0.8555 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0316 | 0.3512 | 0.3785 | 0.0734 | 0.5436 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0378 | 0.0142 | 0.3793 | 0.0797 | 0.6431 | 0.5217 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0034 | 0.2237 | 0.3842 | 0.1745 | 0.6798 | 0.4924 | 0.9403 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3873 | 0.4927 | 0.3556 | 0.0079 | 0.2821 | 0.1056 | 0.0828 | 0.1016 | -      |
| cost sensitive | 0.0683 | 0.4712 | 0.3755 | 0.1444 | 0.5012 | 0.8735 | 0.5892 | 0.5413 | 0.2077 |

Πίνακας 8.35: Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.3814    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.5010    | 0.3351     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2358    | 0.1325     | 0.0911       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.4711    | 0.8341     | 0.5598       | 0.3291  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.3260    | 0.0501     | 0.0181       | 0.0151  | 0.0650  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.4903    | 0.5869     | 0.5582       | 0.0265  | 0.9128  | 0.0756  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.6203    | 0.4666     | 0.5316       | 0.3600  | 0.5071  | 0.8732  | 0.5312      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.5826    | 0.4486     | 0.8553       | 0.0706  | 0.4704  | 0.0743  | 0.5817      | 0.5848     | -           |
| cost sensitive | 0.2862    | 0.9192     | 0.1376       | 0.2047  | 0.8974  | 0.0036  | 0.8020      | 0.4091     | 0.4443      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.6626    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.6741    | 0.8281     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.7212    | 0.6591     | 0.9842       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.9291    | 0.6014     | 0.8292       | 0.6579  | -       | -       | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under random   | 0.3601 | 0.6093 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0681 | 0.3524 | 0.1992 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.3360 | 0.8769 | 0.5513 | 0.4798 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0137 | 0.7756 | 0.2716 | 0.5620 | 0.5754 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.5303 | 0.2187 | 0.7673 | 0.1222 | 0.6608 | 0.3218 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.5616 | 0.6450 | 0.9275 | 0.3319 | 0.7202 | 0.4162 | 0.9509 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3029 | 0.9390 | 0.4677 | 0.5575 | 0.6562 | 0.6732 | 0.6058 | 0.7045 | -      |
| cost sensitive | 0.2591 | 0.6705 | 0.6365 | 0.1393 | 0.7956 | 0.2244 | 0.6270 | 0.8012 | 0.7155 |

Πίνακας 8.36: Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

# Παράρτημα Β

## Ασθενής 1

193

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 95.700   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.924 |
|                               | std  | 0.209    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.025 |
| classic 0.2                   | mean | 95.843   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.913 |
|                               | std  | 0.114    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.034 |
| under random                  | mean | 87.060   | 0.096     | 0.476  | 0.160    | 0.903 |
|                               | std  | 7.025    | 0.079     | 0.395  | 0.130    | 0.024 |
| Near Miss 1                   | mean | 70.121   | 0.028     | 0.400  | 0.052    | 0.841 |
|                               | std  | 33.517   | 0.038     | 0.490  | 0.070    | 0.108 |
| Near Miss 2                   | mean | 55.609   | 0.039     | 0.556  | 0.071    | 0.858 |
|                               | std  | 40.569   | 0.040     | 0.461  | 0.071    | 0.036 |
| Near Miss 3                   | mean | 90.826   | 0.196     | 0.400  | 0.220    | 0.905 |
|                               | std  | 5.310    | 0.128     | 0.331  | 0.131    | 0.024 |
| over random                   | mean | 81.657   | 0.182     | 0.907  | 0.301    | 0.923 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 5.755  | 0.036 | 0.109 | 0.050 | 0.032 |
| SMOTE                       | mean | 85.287 | 0.211 | 0.884 | 0.338 | 0.921 |
|                             | std  | 3.579  | 0.033 | 0.124 | 0.045 | 0.024 |
| BSMOTE                      | mean | 85.955 | 0.229 | 0.796 | 0.343 | 0.916 |
|                             | std  | 7.388  | 0.055 | 0.181 | 0.060 | 0.027 |
| Cost Sensitive              | mean | 81.561 | 0.170 | 0.873 | 0.284 | 0.913 |
|                             | std  | 2.977  | 0.020 | 0.121 | 0.031 | 0.024 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 91.226 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.842 |
|                             | std  | 0.285  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.031 |
| classic 0.2                 | mean | 91.566 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.843 |
|                             | std  | 0.091  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.033 |
| under random                | mean | 71.356 | 0.200 | 0.714 | 0.304 | 0.818 |
|                             | std  | 7.744  | 0.060 | 0.159 | 0.058 | 0.041 |
| Near Miss 1                 | mean | 65.184 | 0.131 | 0.674 | 0.216 | 0.810 |
|                             | std  | 19.235 | 0.073 | 0.349 | 0.117 | 0.022 |
| Near Miss 2                 | mean | 87.446 | 0.362 | 0.317 | 0.265 | 0.841 |
|                             | std  | 3.939  | 0.156 | 0.205 | 0.102 | 0.030 |
| Near Miss 3                 | mean | 87.446 | 0.362 | 0.317 | 0.265 | 0.841 |
|                             | std  | 3.939  | 0.156 | 0.205 | 0.102 | 0.030 |
| over random                 | mean | 72.467 | 0.213 | 0.828 | 0.339 | 0.858 |
|                             | std  | 3.786  | 0.031 | 0.100 | 0.045 | 0.031 |
| SMOTE                       | mean | 73.292 | 0.214 | 0.805 | 0.338 | 0.839 |
|                             | std  | 2.684  | 0.028 | 0.075 | 0.040 | 0.035 |
| BSMOTE                      | mean | 62.836 | 0.203 | 0.821 | 0.316 | 0.791 |
|                             | std  | 27.293 | 0.062 | 0.145 | 0.084 | 0.115 |
| Cost Sensitive              | mean | 70.043 | 0.205 | 0.769 | 0.316 | 0.831 |



|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 10.884 | 0.048 | 0.135 | 0.048 | 0.036 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 83.425 | 0.400 | 0.009 | 0.018 | 0.753 |
|                             | std  | 0.408  | 0.374 | 0.007 | 0.015 | 0.027 |
| classic 0.2                 | mean | 83.575 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.744 |
|                             | std  | 0.089  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.014 |
| under random                | mean | 64.052 | 0.282 | 0.751 | 0.408 | 0.731 |
|                             | std  | 4.221  | 0.024 | 0.051 | 0.016 | 0.032 |
| Near Miss 1                 | mean | 64.796 | 0.305 | 0.684 | 0.389 | 0.724 |
|                             | std  | 11.659 | 0.075 | 0.209 | 0.041 | 0.028 |
| Near Miss 2                 | mean | 60.810 | 0.243 | 0.653 | 0.351 | 0.673 |
|                             | std  | 4.675  | 0.010 | 0.128 | 0.025 | 0.016 |
| Near Miss 3                 | mean | 72.292 | 0.343 | 0.620 | 0.429 | 0.746 |
|                             | std  | 6.999  | 0.070 | 0.105 | 0.036 | 0.037 |
| over random                 | mean | 61.657 | 0.274 | 0.796 | 0.407 | 0.761 |
|                             | std  | 4.373  | 0.021 | 0.062 | 0.025 | 0.024 |
| SMOTE                       | mean | 62.207 | 0.272 | 0.772 | 0.401 | 0.753 |
|                             | std  | 2.489  | 0.012 | 0.071 | 0.017 | 0.022 |
| BSMOTE                      | mean | 64.754 | 0.286 | 0.751 | 0.413 | 0.754 |
|                             | std  | 3.967  | 0.027 | 0.024 | 0.029 | 0.012 |
| Cost Sensitive              | mean | 67.694 | 0.220 | 0.593 | 0.321 | 0.719 |
|                             | std  | 8.108  | 0.111 | 0.305 | 0.162 | 0.048 |

Πίνακας 8.37: Ασθενής 1: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0705    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0650    | 0.0650     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2023    | 0.1998     | 0.4144       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1191    | 0.1181     | 0.2022       | 0.6817  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1400    | 0.1304     | 0.4399       | 0.3203  | 0.1178  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0076    | 0.0076     | 0.0641       | 0.5570  | 0.2581  | 0.0407  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0039    | 0.0040     | 0.6304       | 0.4141  | 0.2376  | 0.2542  | 0.3961      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0585    | 0.0567     | 0.8183       | 0.4167  | 0.2584  | 0.4481  | 0.4041      | 0.8590     | -           |
| cost sensitive | 0.0005    | 0.0006     | 0.0786       | 0.5411  | 0.2817  | 0.0594  | 0.9726      | 0.0377     | 0.2728      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0708    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0708    | 0.0708     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2182    | 0.2182     | 0.1646       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1226    | 0.1226     | 0.1864       | 0.5185  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0373    | 0.0373     | 0.2615       | 0.0259  | 0.0330  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0005    | 0.0005     | 0.1581       | 0.0003  | 0.0025  | 0.8027  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0002    | 0.0002     | 0.0728       | 0.0042  | 0.0053  | 0.8453  | 0.3927      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0012    | 0.0012     | 0.0616       | 0.0027  | 0.0011  | 0.5565  | 0.2061      | 0.5389     | -           |
| cost sensitive | 0.0001    | 0.0001     | 0.1947       | 0.0030  | 0.0073  | 0.7024  | 0.5444      | 0.0265     | 0.0907      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0737    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0737    | 0.0737     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1778    | 0.1778     | 0.8423       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0735    | 0.0735     | 0.7963       | 0.7052  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0730    | 0.0730     | 0.8021       | 1.0000  | 0.2082  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0001 | 0.0001 | 0.0773 | 0.0859 | 0.2371 | 0.0634 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0001 | 0.0001 | 0.0903 | 0.0874 | 0.2976 | 0.0927 | 0.4859 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0009 | 0.0009 | 0.2367 | 0.1500 | 0.4926 | 0.1896 | 0.3109 | 0.2871 | -      |
| cost sensitive | 0.0001 | 0.0001 | 0.0991 | 0.1003 | 0.2994 | 0.0876 | 0.0707 | 0.6076 | 0.4245 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     |        | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0705 | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2140 | 0.2140 | 0.1954 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1133 | 0.1133 | 0.2228 | 0.5521 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0282 | 0.0282 | 0.5680 | 0.0467 | 0.0210 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0003 | 0.0003 | 0.1476 | 0.0002 | 0.0030 | 0.2500 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0001 | 0.0001 | 0.0710 | 0.0042 | 0.0060 | 0.1821 | 0.4106 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0003 | 0.0003 | 0.0827 | 0.0012 | 0.0008 | 0.0416 | 0.2424 | 0.9015 | -      |
| cost sensitive | 0.0001 | 0.0001 | 0.1749 | 0.0035 | 0.0087 | 0.4044 | 0.5493 | 0.0199 | 0.1023 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0975 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1131 | 0.5381 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2260 | 0.3056 | 0.3258 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0172 | 0.0579 | 0.0055 | 0.7605 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0822 | 0.5299 | 0.8724 | 0.2719 | 0.0456 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.9237 | 0.4536 | 0.2904 | 0.2197 | 0.0495 | 0.1421 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.5966 | 0.3982 | 0.1968 | 0.2417 | 0.0306 | 0.1411 | 0.7664 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2348 | 0.7954 | 0.3262 | 0.2491 | 0.0320 | 0.1650 | 0.2688 | 0.2368 | -      |
| cost sensitive | 0.0070 | 0.9837 | 0.3105 | 0.2831 | 0.0254 | 0.3925 | 0.4053 | 0.1740 | 0.7009 |

Πίνακας 8.38: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για οριζοντια πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0517    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.2302    | 0.2276     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0551    | 0.0523     | 0.9955       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1720    | 0.1672     | 0.9885       | 0.9473  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1393    | 0.1051     | 0.3097       | 0.0783  | 0.2214  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0006    | 0.0006     | 0.7331       | 0.4571  | 0.6727  | 0.0125  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0002    | 0.0002     | 0.7017       | 0.4356  | 0.6464  | 0.0077  | 0.4059      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.1062    | 0.1028     | 0.9304       | 0.8994  | 0.9130  | 0.1711  | 0.4969      | 0.4679     | -           |
| cost sensitive | 0.0165    | 0.0164     | 0.7841       | 0.7298  | 0.8311  | 0.0623  | 0.7089      | 0.6171     | 0.5774      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1698    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1698    | 0.1698     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0230    | 0.0230     | 0.1312       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0897    | 0.0897     | 0.3748       | 0.1773  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0096    | 0.0096     | 0.0312       | 0.0522  | 0.0597  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0002    | 0.0002     | 0.0018       | 0.0940  | 0.0088  | 0.1803  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0001    | 0.0001     | 0.0035       | 0.0684  | 0.0078  | 0.1708  | 0.8872      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0027    | 0.0027     | 0.0150       | 0.2261  | 0.0167  | 0.2112  | 0.6441      | 0.6378     | -           |
| cost sensitive | 0.0010    | 0.0010     | 0.0090       | 0.2085  | 0.0398  | 0.1664  | 0.7796      | 0.7688     | 0.9348      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0743    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0743    | 0.0743     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0181    | 0.0181     | 0.7448       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0838    | 0.0838     | 0.8118       | 0.2377  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0366    | 0.0366     | 0.3851       | 0.1265  | 0.4738  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0001 | 0.0001 | 0.2595 | 0.4600 | 0.1155 | 0.0080 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.2870 | 0.5136 | 0.1442 | 0.0105 | 0.3358 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0003 | 0.0003 | 0.3065 | 0.4927 | 0.2225 | 0.0394 | 0.9473 | 0.8614 | -      |
| cost sensitive | 0.0003 | 0.0003 | 0.3422 | 0.6398 | 0.2397 | 0.0405 | 0.5269 | 0.6103 | 0.2643 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     |        | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1516 | 0.1516 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0206 | 0.0206 | 0.1403 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0844 | 0.0844 | 0.4281 | 0.1712 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0065 | 0.0065 | 0.0246 | 0.6282 | 0.1402 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0001 | 0.0001 | 0.0030 | 0.1195 | 0.0123 | 0.1847 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0001 | 0.0001 | 0.0047 | 0.0947 | 0.0110 | 0.2331 | 0.9742 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0017 | 0.0017 | 0.0132 | 0.2514 | 0.0153 | 0.3155 | 0.4014 | 0.4609 | -      |
| cost sensitive | 0.0002 | 0.0002 | 0.0067 | 0.2164 | 0.0359 | 0.1558 | 0.4633 | 0.5077 | 0.9964 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.5751 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.6918 | 0.7061 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0128 | 0.0127 | 0.2063 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0271 | 0.0252 | 0.1113 | 0.1148 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.6533 | 0.6241 | 0.6757 | 0.0256 | 0.0303 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1458 | 0.1963 | 0.9837 | 0.0035 | 0.0153 | 0.1143 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.7813 | 0.7496 | 0.6770 | 0.0997 | 0.0335 | 0.8575 | 0.0638 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3090 | 0.2941 | 0.3337 | 0.6944 | 0.6443 | 0.3431 | 0.2048 | 0.3743 | -      |
| cost sensitive | 0.1791 | 0.1782 | 0.5045 | 0.0816 | 0.0801 | 0.2838 | 0.0450 | 0.5814 | 0.3821 |

Πίνακας 8.39: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.4266    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0008    | 0.0008     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0322    | 0.0322     | 0.8939       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0005    | 0.0006     | 0.3362       | 0.5368  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0308    | 0.0314     | 0.1325       | 0.1385  | 0.0249  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0004    | 0.0005     | 0.4197       | 0.6560  | 0.6147  | 0.0731  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0001    | 0.0001     | 0.4803       | 0.7268  | 0.6637  | 0.0994  | 0.8244      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0009    | 0.0007     | 0.8028       | 0.9943  | 0.3504  | 0.1013  | 0.4841      | 0.3801     | -           |
| cost sensitive | 0.0169    | 0.0173     | 0.1819       | 0.6362  | 0.1429  | 0.4649  | 0.1427      | 0.2597     | 0.5766      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0993    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.5651    | 0.0000     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.6617    | 0.0013     | 0.5444       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.4428    | 0.0000     | 0.0313       | 0.2110  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.7754    | 0.0006     | 0.1797       | 0.1912  | 0.0628  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.5174    | 0.0000     | 0.5313       | 0.4760  | 0.0289  | 0.1248  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.5320    | 0.0000     | 0.4605       | 0.4627  | 0.0078  | 0.1345  | 0.8763      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.5931    | 0.0000     | 0.8398       | 0.5869  | 0.0677  | 0.1477  | 0.6130      | 0.3366     | -           |
| cost sensitive | 0.4197    | 0.0164     | 0.4049       | 0.3074  | 0.7135  | 0.0991  | 0.4327      | 0.4102     | 0.2965      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0705    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0000    | 0.0000     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0028    | 0.0028     | 0.5811       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0006    | 0.0005     | 0.2346       | 0.7893  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0003    | 0.0003     | 0.1566       | 0.5090  | 0.6232  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0000 | 0.0000 | 0.3335 | 0.4173 | 0.1606 | 0.0646 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.6133 | 0.5003 | 0.2555 | 0.1181 | 0.1984 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.9982 | 0.5896 | 0.2423 | 0.1100 | 0.1678 | 0.5175 | -      |
| cost sensitive | 0.0195 | 0.0177 | 0.2867 | 0.6625 | 0.7312 | 0.8993 | 0.2576 | 0.2862 | 0.3412 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0000 | 0.0000 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0000 | 0.0000 | 0.3175 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0000 | 0.0000 | 0.0176 | 0.2069 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0000 | 0.0000 | 0.2443 | 0.1330 | 0.0549 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0000 | 0.0000 | 0.8876 | 0.2420 | 0.0667 | 0.1727 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.5666 | 0.5597 | 0.0350 | 0.2036 | 0.7356 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.7528 | 0.4374 | 0.0427 | 0.4304 | 0.7775 | 0.4029 | -      |
| cost sensitive | 0.0229 | 0.0166 | 0.3734 | 0.5214 | 0.7360 | 0.2787 | 0.3859 | 0.3746 | 0.3016 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3013 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1258 | 0.3123 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0686 | 0.1860 | 0.6789 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0119 | 0.0030 | 0.0438 | 0.0610 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.5760 | 0.8979 | 0.5040 | 0.1228 | 0.0413 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.5387 | 0.1918 | 0.1145 | 0.0008 | 0.0066 | 0.3132 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.9789 | 0.1552 | 0.1861 | 0.1158 | 0.0040 | 0.6551 | 0.5767 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.8591 | 0.0205 | 0.1372 | 0.0791 | 0.0021 | 0.6182 | 0.5774 | 0.8295 | -      |
| cost sensitive | 0.2410 | 0.3438 | 0.7034 | 0.8769 | 0.1270 | 0.4443 | 0.2737 | 0.1843 | 0.1773 |

Πίνακας 8.40: Ασθενής 1: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 2

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 98.257   | 0.200     | 0.075  | 0.109    | 0.972 |
|                               | std  | 0.273    | 0.400     | 0.150  | 0.218    | 0.020 |
| classic 0.2                   | mean | 98.108   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.971 |
|                               | std  | 0.120    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.017 |
| under random                  | mean | 62.874   | 0.040     | 0.625  | 0.069    | 0.880 |
|                               | std  | 35.528   | 0.031     | 0.418  | 0.049    | 0.078 |
| Near Miss 1                   | mean | 19.308   | 0.020     | 0.875  | 0.039    | 0.634 |
|                               | std  | 23.133   | 0.002     | 0.250  | 0.005    | 0.142 |
| Near Miss 2                   | mean | 68.251   | 0.011     | 0.400  | 0.021    | 0.821 |
|                               | std  | 31.792   | 0.013     | 0.490  | 0.026    | 0.110 |
| Near Miss 3                   | mean | 96.665   | 0.180     | 0.200  | 0.156    | 0.907 |
|                               | std  | 3.316    | 0.312     | 0.245  | 0.238    | 0.070 |
| over random                   | mean | 91.536   | 0.182     | 0.946  | 0.304    | 0.962 |
|                               | std  | 2.027    | 0.029     | 0.066  | 0.042    | 0.013 |
| SMOTE                         | mean | 90.938   | 0.169     | 0.875  | 0.281    | 0.957 |
|                               | std  | 2.918    | 0.051     | 0.158  | 0.079    | 0.034 |
| BSMOTE                        | mean | 92.629   | 0.194     | 0.846  | 0.312    | 0.965 |
|                               | std  | 2.280    | 0.045     | 0.145  | 0.063    | 0.015 |
| Cost Sensitive                | mean | 70.832   | 0.113     | 0.975  | 0.198    | 0.954 |
|                               | std  | 34.479   | 0.052     | 0.050  | 0.086    | 0.021 |
| Prediction Horizon 12 (1 h)   |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 96.788   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.918 |



|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 0.127  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.022 |
| classic 0.2                 | mean | 96.839 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.903 |
|                             | std  | 0.104  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.028 |
| under random                | mean | 65.337 | 0.049 | 0.550 | 0.085 | 0.859 |
|                             | std  | 36.884 | 0.058 | 0.458 | 0.096 | 0.062 |
| Near Miss 1                 | mean | 78.083 | 0.006 | 0.200 | 0.012 | 0.820 |
|                             | std  | 37.487 | 0.012 | 0.400 | 0.024 | 0.166 |
| Near Miss 2                 | mean | 69.534 | 0.018 | 0.383 | 0.035 | 0.869 |
|                             | std  | 37.084 | 0.024 | 0.470 | 0.045 | 0.036 |
| Near Miss 3                 | mean | 74.819 | 0.219 | 0.492 | 0.220 | 0.843 |
|                             | std  | 36.380 | 0.217 | 0.334 | 0.182 | 0.033 |
| over random                 | mean | 80.259 | 0.138 | 0.919 | 0.237 | 0.926 |
|                             | std  | 5.128  | 0.034 | 0.049 | 0.049 | 0.023 |
| SMOTE                       | mean | 78.135 | 0.131 | 0.886 | 0.225 | 0.907 |
|                             | std  | 10.361 | 0.039 | 0.065 | 0.060 | 0.020 |
| BSMOTE                      | mean | 81.969 | 0.132 | 0.836 | 0.227 | 0.918 |
|                             | std  | 2.745  | 0.012 | 0.118 | 0.018 | 0.028 |
| Cost Sensitive              | mean | 66.477 | 0.107 | 0.872 | 0.186 | 0.917 |
|                             | std  | 26.288 | 0.045 | 0.104 | 0.072 | 0.026 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 94.870 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.781 |
|                             | std  | 0.111  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.031 |
| classic 0.2                 | mean | 94.870 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.772 |
|                             | std  | 0.111  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.033 |
| under random                | mean | 74.572 | 0.091 | 0.484 | 0.147 | 0.743 |
|                             | std  | 13.770 | 0.060 | 0.269 | 0.084 | 0.035 |
| Near Miss 1                 | mean | 30.605 | 0.036 | 0.566 | 0.067 | 0.354 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | std  | 20.883 | 0.016 | 0.342 | 0.030 | 0.027 |
| Near Miss 2    | mean | 82.361 | 0.109 | 0.382 | 0.156 | 0.747 |
|                | std  | 19.034 | 0.107 | 0.344 | 0.143 | 0.054 |
| Near Miss 3    | mean | 92.334 | 0.105 | 0.098 | 0.098 | 0.742 |
|                | std  | 1.720  | 0.090 | 0.086 | 0.083 | 0.036 |
| over random    | mean | 69.392 | 0.113 | 0.724 | 0.195 | 0.809 |
|                | std  | 1.561  | 0.013 | 0.081 | 0.022 | 0.037 |
| SMOTE          | mean | 66.682 | 0.112 | 0.747 | 0.192 | 0.807 |
|                | std  | 7.510  | 0.021 | 0.077 | 0.029 | 0.051 |
| BSMOTE         | mean | 68.096 | 0.123 | 0.845 | 0.215 | 0.822 |
|                | std  | 3.929  | 0.016 | 0.090 | 0.026 | 0.031 |
| Cost Sensitive | mean | 60.711 | 0.101 | 0.767 | 0.177 | 0.774 |
|                | std  | 12.853 | 0.029 | 0.125 | 0.040 | 0.030 |

Πίνακας 8.41: Ασθενής 2: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.3739    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.1182    | 0.1188     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0025    | 0.0025     | 0.0462       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.1331    | 0.1329     | 0.8390       | 0.0406  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.4227    | 0.4276     | 0.1247       | 0.0021  | 0.1285  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0023    | 0.0025     | 0.1901       | 0.0044  | 0.2173  | 0.0613  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0097    | 0.0076     | 0.1912       | 0.0031  | 0.2124  | 0.0012  | 0.7589      | -          | -           |
| over bsmote  | 0.0087    | 0.0091     | 0.1513       | 0.0029  | 0.1974  | 0.1042  | 0.5281      | 0.4663     | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| cost sensitive | 0.1855 | 0.1883 | 0.7995 | 0.1444 | 0.9330 | 0.2225 | 0.2755 | 0.3163 | 0.2834 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3739 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.4730 | 0.0614 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.4198 | 0.0001 | 0.2928 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.3896 | 0.1778 | 0.2321 | 0.1963 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.9443 | 0.3134 | 0.3900 | 0.3640 | 0.3468 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.9324 | 0.0002 | 0.0029 | 0.0004 | 0.0005 | 0.9922 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8943 | 0.0027 | 0.0203 | 0.0042 | 0.0051 | 0.9475 | 0.6831 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.9788 | 0.0010 | 0.0018 | 0.0014 | 0.0016 | 0.9318 | 0.5730 | 0.4853 | -      |
| cost sensitive | 0.6667 | 0.0122 | 0.1343 | 0.0228 | 0.0087 | 0.7261 | 0.0416 | 0.2287 | 0.0986 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3739 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0514 | 0.0404 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0034 | 0.0022 | 0.2577 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1926 | 0.1778 | 0.5816 | 0.1024 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2663 | 0.1778 | 0.1708 | 0.0385 | 0.4766 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0008 | 0.0000 | 0.2363 | 0.6405 | 0.0948 | 0.0046 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0054 | 0.0004 | 0.3262 | 1.0000 | 0.1658 | 0.0279 | 0.4085 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0051 | 0.0003 | 0.3961 | 0.8263 | 0.1717 | 0.0273 | 0.2591 | 0.3739 | -      |
| cost sensitive | 0.0008 | 0.0000 | 0.1836 | 0.4954 | 0.0923 | 0.0051 | 0.3739 | 0.1778 | 0.0834 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3739 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.7412 | 0.0494 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.5582 | 0.0001 | 0.3270 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.4374 | 0.1778 | 0.2425 | 0.1930 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.7819 | 0.2597 | 0.4597 | 0.3824 | 0.3347 | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.1630 | 0.0001 | 0.0016 | 0.0003 | 0.0004 | 0.3355 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2982 | 0.0021 | 0.0182 | 0.0035 | 0.0046 | 0.4150 | 0.6377 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1900 | 0.0006 | 0.0018 | 0.0009 | 0.0012 | 0.2725 | 0.7692 | 0.5340 | -      |
| cost sensitive | 0.4104 | 0.0103 | 0.1084 | 0.0206 | 0.0071 | 0.8057 | 0.0491 | 0.2455 | 0.1166 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.5774 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0421 | 0.0512 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0096 | 0.0101 | 0.0448 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0463 | 0.0452 | 0.3291 | 0.1868 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0675 | 0.0794 | 0.2365 | 0.0429 | 0.1259 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3173 | 0.3292 | 0.0809 | 0.0090 | 0.0561 | 0.1660 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1979 | 0.2926 | 0.0365 | 0.0098 | 0.0619 | 0.1174 | 0.6866 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2077 | 0.2439 | 0.0632 | 0.0092 | 0.0536 | 0.1249 | 0.5741 | 0.4773 | -      |
| cost sensitive | 0.3042 | 0.3279 | 0.1476 | 0.0065 | 0.1027 | 0.3181 | 0.4485 | 0.8463 | 0.4203 |

Πίνακας 8.42: Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.3739    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.1628    | 0.1620     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.3739    | 0.3739     | 0.6914       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.2150    | 0.2139     | 0.8002       | 0.7952  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.2944    | 0.2930     | 0.7807       | 0.9181  | 0.8351  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0030    | 0.0031     | 0.4856       | 0.9090  | 0.6144  | 0.7710  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0231    | 0.0228     | 0.5721       | 0.9981  | 0.7103  | 0.8781  | 0.7774      | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over bsmote    | 0.0005 | 0.0004 | 0.4388 | 0.8511 | 0.5415 | 0.6977 | 0.6059 | 0.4761 | -      |
| cost sensitive | 0.0828 | 0.0823 | 0.9698 | 0.6643 | 0.8946 | 0.1983 | 0.3269 | 0.4924 | 0.2698 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1698 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1698 | 0.1698 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3739 | 0.3739 | 0.1432 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1975 | 0.1975 | 0.4520 | 0.4742 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1132 | 0.1132 | 0.2201 | 0.1291 | 0.1428 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0012 | 0.0012 | 0.0912 | 0.0030 | 0.0046 | 0.4850 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0027 | 0.0027 | 0.0843 | 0.0040 | 0.0005 | 0.4679 | 0.8313 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.0502 | 0.0002 | 0.0007 | 0.4482 | 0.7441 | 0.9436 | -      |
| cost sensitive | 0.0091 | 0.0091 | 0.1283 | 0.0125 | 0.0447 | 0.2817 | 0.3163 | 0.5162 | 0.2576 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0743 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0743 | 0.0743 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3739 | 0.3739 | 0.2635 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1783 | 0.1783 | 0.6463 | 0.6423 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0419 | 0.0419 | 0.8834 | 0.4411 | 0.6133 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0000 | 0.0000 | 0.2088 | 0.0236 | 0.0858 | 0.0510 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.2633 | 0.0333 | 0.1041 | 0.0560 | 0.3739 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0001 | 0.0001 | 0.3589 | 0.0609 | 0.0936 | 0.0346 | 0.1890 | 0.3046 | -      |
| cost sensitive | 0.0001 | 0.0001 | 0.2764 | 0.0264 | 0.1261 | 0.0824 | 0.2021 | 0.8249 | 0.6599 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1516 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1516 | 0.1516 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3739 | 0.3739 | 0.1219 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1956 | 0.1956 | 0.4671 | 0.4798 | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 3        | 0.0735 | 0.0735 | 0.3018 | 0.1036 | 0.1230 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0007 | 0.0007 | 0.0762 | 0.0021 | 0.0038 | 0.8479 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0017 | 0.0017 | 0.0714 | 0.0030 | 0.0003 | 0.9616 | 0.8031 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.0488 | 0.0003 | 0.0007 | 0.9349 | 0.6792 | 0.9384 | -      |
| cost sensitive | 0.0067 | 0.0067 | 0.0966 | 0.0097 | 0.0450 | 0.6470 | 0.2947 | 0.5028 | 0.2763 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0438 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0727 | 0.1167 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2811 | 0.3407 | 0.5263 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0413 | 0.0864 | 0.7763 | 0.6109 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0064 | 0.0080 | 0.5944 | 0.7903 | 0.0522 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.4650 | 0.2057 | 0.0942 | 0.2654 | 0.0734 | 0.0227 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2485 | 0.7848 | 0.1815 | 0.3539 | 0.1261 | 0.0264 | 0.0273 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.9777 | 0.3913 | 0.1214 | 0.2896 | 0.1267 | 0.0404 | 0.2027 | 0.3630 | -      |
| cost sensitive | 0.9269 | 0.1963 | 0.0918 | 0.3009 | 0.0268 | 0.0027 | 0.5529 | 0.3185 | 0.9823 |

Πίνακας 8.43: Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0425    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0425    | 0.0425     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0036    | 0.0036     | 0.0246       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.2593    | 0.2593     | 0.6439       | 0.0068  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0399    | 0.0399     | 0.0627       | 0.0048  | 0.3552  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0000    | 0.0000     | 0.4678       | 0.0216  | 0.2623  | 0.0000  | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.0017 | 0.0017 | 0.4085 | 0.0177 | 0.1798 | 0.0050 | 0.5576 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0002 | 0.0002 | 0.4288 | 0.0284 | 0.2405 | 0.0007 | 0.5483 | 0.6948 | -      |
| cost sensitive | 0.0059 | 0.0059 | 0.3312 | 0.1032 | 0.0928 | 0.0088 | 0.2782 | 0.3790 | 0.2656 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     |        | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0388 | 0.0388 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0098 | 0.0098 | 0.2101 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1103 | 0.1103 | 0.7259 | 0.2849 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0800 | 0.0800 | 0.6822 | 0.2565 | 0.9090 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0001 | 0.0001 | 0.4807 | 0.0045 | 0.9439 | 0.8576 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0005 | 0.0005 | 0.5234 | 0.0077 | 0.9703 | 0.8880 | 0.8935 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0001 | 0.0001 | 0.3400 | 0.0032 | 0.7877 | 0.6611 | 0.2301 | 0.3476 | -      |
| cost sensitive | 0.0021 | 0.0021 | 0.7949 | 0.0120 | 0.9082 | 0.9450 | 0.5326 | 0.3480 | 0.1996 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0229 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0229 | 0.0229 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0297 | 0.0297 | 0.7704 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0902 | 0.0902 | 0.7465 | 0.4790 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0850 | 0.0850 | 0.0322 | 0.0926 | 0.1918 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0001 | 0.0001 | 0.1712 | 0.4774 | 0.1066 | 0.0000 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.1735 | 0.3320 | 0.0905 | 0.0008 | 0.7419 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.0375 | 0.2593 | 0.0613 | 0.0000 | 0.0648 | 0.1989 | -      |
| cost sensitive | 0.0002 | 0.0002 | 0.2026 | 0.3600 | 0.0408 | 0.0006 | 0.4129 | 0.7453 | 0.3627 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0253 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0253 | 0.0253 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0112 | 0.0112 | 0.2246 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0949 | 0.0949 | 0.8984 | 0.3470 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0780 | 0.0780 | 0.1377 | 0.6132 | 0.3780 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0001 | 0.0001 | 0.2839 | 0.0065 | 0.5755 | 0.0507 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0002 | 0.0002 | 0.3115 | 0.0073 | 0.6574 | 0.0612 | 0.8290 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0001 | 0.0001 | 0.1589 | 0.0043 | 0.4116 | 0.0230 | 0.1796 | 0.2508 | -      |
| cost sensitive | 0.0009 | 0.0009 | 0.5738 | 0.0089 | 0.8198 | 0.1534 | 0.4781 | 0.3391 | 0.1462 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0965 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0028 | 0.0033 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0001 | 0.0001 | 0.0002 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1041 | 0.1266 | 0.7980 | 0.0005 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0003 | 0.0089 | 0.9134 | 0.0002 | 0.7948 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0082 | 0.0027 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0156 | 0.0004 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4945 | 0.3430 | 0.1449 | 0.0001 | 0.1637 | 0.1556 | 0.9466 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1640 | 0.1282 | 0.0370 | 0.0000 | 0.1246 | 0.0350 | 0.6491 | 0.7259 | -      |
| cost sensitive | 0.6333 | 0.9042 | 0.1354 | 0.0001 | 0.3897 | 0.1253 | 0.0979 | 0.3964 | 0.0607 |

Πίνακας 8.44: Ασθενής 2: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

### Ασθενής 3

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 99.431   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.926 |
|                               | std  | 0.001    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.024 |
| classic 0.2                   | mean | 99.431   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.925 |



|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 0.001  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.018 |
| under random                | mean | 20.911 | 0.005 | 0.800 | 0.009 | 0.781 |
|                             | std  | 39.275 | 0.002 | 0.400 | 0.005 | 0.191 |
| Near Miss 1                 | mean | 43.056 | 0.003 | 0.500 | 0.007 | 0.451 |
|                             | std  | 35.086 | 0.003 | 0.447 | 0.006 | 0.061 |
| Near Miss 2                 | mean | 73.395 | 0.001 | 0.200 | 0.002 | 0.468 |
|                             | std  | 37.360 | 0.002 | 0.400 | 0.005 | 0.157 |
| Near Miss 3                 | mean | 50.035 | 0.005 | 0.600 | 0.010 | 0.560 |
|                             | std  | 42.155 | 0.005 | 0.490 | 0.010 | 0.102 |
| over random                 | mean | 80.325 | 0.024 | 0.800 | 0.047 | 0.886 |
|                             | std  | 7.694  | 0.009 | 0.245 | 0.016 | 0.033 |
| SMOTE                       | mean | 87.939 | 0.022 | 0.600 | 0.043 | 0.912 |
|                             | std  | 6.149  | 0.012 | 0.374 | 0.024 | 0.042 |
| BSMOTE                      | mean | 70.849 | 0.035 | 0.800 | 0.066 | 0.893 |
|                             | std  | 35.324 | 0.028 | 0.245 | 0.050 | 0.048 |
| Cost Sensitive              | mean | 51.432 | 0.007 | 0.700 | 0.015 | 0.929 |
|                             | std  | 32.287 | 0.005 | 0.400 | 0.009 | 0.028 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 98.103 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.896 |
|                             | std  | 0.141  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.025 |
| classic 0.2                 | mean | 98.103 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.892 |
|                             | std  | 0.141  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.021 |
| under random                | mean | 53.966 | 0.016 | 0.600 | 0.031 | 0.850 |
|                             | std  | 39.330 | 0.014 | 0.490 | 0.027 | 0.032 |
| Near Miss 1                 | mean | 57.529 | 0.007 | 0.400 | 0.015 | 0.503 |
|                             | std  | 45.494 | 0.009 | 0.490 | 0.018 | 0.192 |
| Near Miss 2                 | mean | 59.310 | 0.007 | 0.400 | 0.014 | 0.753 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 47.020 | 0.008 | 0.490 | 0.017 | 0.113 |
| Near Miss 3                 | mean | 37.356 | 0.020 | 0.733 | 0.038 | 0.698 |
|                             | std  | 33.275 | 0.010 | 0.389 | 0.020 | 0.113 |
| over random                 | mean | 58.736 | 0.048 | 0.800 | 0.089 | 0.735 |
|                             | std  | 28.869 | 0.032 | 0.400 | 0.060 | 0.258 |
| SMOTE                       | mean | 80.575 | 0.086 | 0.914 | 0.156 | 0.893 |
|                             | std  | 3.771  | 0.027 | 0.171 | 0.046 | 0.046 |
| BSMOTE                      | mean | 77.586 | 0.077 | 0.971 | 0.143 | 0.882 |
|                             | std  | 3.316  | 0.010 | 0.057 | 0.018 | 0.033 |
| Cost Sensitive              | mean | 80.287 | 0.053 | 0.714 | 0.099 | 0.881 |
|                             | std  | 8.649  | 0.027 | 0.394 | 0.050 | 0.021 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 95.951 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.840 |
|                             | std  | 0.113  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.044 |
| classic 0.2                 | mean | 95.951 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.844 |
|                             | std  | 0.113  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.041 |
| under random                | mean | 56.946 | 0.051 | 0.615 | 0.083 | 0.786 |
|                             | std  | 34.029 | 0.028 | 0.472 | 0.049 | 0.051 |
| Near Miss 1                 | mean | 58.766 | 0.016 | 0.400 | 0.032 | 0.356 |
|                             | std  | 44.639 | 0.020 | 0.490 | 0.039 | 0.065 |
| Near Miss 2                 | mean | 40.765 | 0.024 | 0.600 | 0.046 | 0.752 |
|                             | std  | 45.013 | 0.020 | 0.490 | 0.038 | 0.048 |
| Near Miss 3                 | mean | 40.339 | 0.040 | 0.677 | 0.074 | 0.692 |
|                             | std  | 37.098 | 0.022 | 0.414 | 0.039 | 0.064 |
| over random                 | mean | 68.362 | 0.100 | 0.829 | 0.177 | 0.839 |
|                             | std  | 8.252  | 0.016 | 0.195 | 0.026 | 0.029 |
| SMOTE                       | mean | 66.844 | 0.107 | 0.971 | 0.192 | 0.843 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | std  | 2.986  | 0.007 | 0.035 | 0.011 | 0.039 |
| BSMOTE         | mean | 49.328 | 0.084 | 0.986 | 0.153 | 0.784 |
|                | std  | 23.487 | 0.025 | 0.029 | 0.044 | 0.084 |
| Cost Sensitive | mean | 63.845 | 0.094 | 0.900 | 0.170 | 0.846 |
|                | std  | 6.367  | 0.011 | 0.107 | 0.018 | 0.039 |

Πίνακας 8.45: Ασθενής 3: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0162    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0162    | 0.0162     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0325    | 0.0325     | 0.5222       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.2358    | 0.2358     | 0.2404       | 0.1942  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0791    | 0.0791     | 0.4670       | 0.7495  | 0.2878  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0077    | 0.0077     | 0.0325       | 0.0830  | 0.7557  | 0.2086  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0202    | 0.0202     | 0.0271       | 0.0825  | 0.4901  | 0.1296  | 0.2001      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.1809    | 0.1809     | 0.0867       | 0.3995  | 0.9293  | 0.5308  | 0.6534      | 0.3740     | -           |
| cost sensitive | 0.0410    | 0.0410     | 0.0856       | 0.8079  | 0.5307  | 0.9650  | 0.1556      | 0.0625     | 0.3025      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0162    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0162    | 0.0162     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0786    | 0.0786     | 0.6038       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.3739    | 0.3739     | 0.2073       | 0.1549  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1222    | 0.1222     | 0.8533       | 0.6159  | 0.2278  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0046    | 0.0046     | 0.0087       | 0.0148  | 0.0076  | 0.0023  | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.0229 | 0.0229 | 0.0521 | 0.0527 | 0.0263 | 0.0178 | 0.7392 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0641 | 0.0641 | 0.1102 | 0.0724 | 0.0564 | 0.1101 | 0.5472 | 0.4282 | -      |
| cost sensitive | 0.0307 | 0.0307 | 0.1287 | 0.1992 | 0.1264 | 0.5975 | 0.0238 | 0.1325 | 0.1523 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0161 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0161 | 0.0161 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0890 | 0.0890 | 0.4676 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.3739 | 0.3739 | 0.2080 | 0.2080 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0705 | 0.0705 | 0.6213 | 0.7780 | 0.1778 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0028 | 0.0028 | 1.0000 | 0.3046 | 0.1087 | 0.4766 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0327 | 0.0327 | 0.4766 | 0.7990 | 0.2420 | 1.0000 | 0.3739 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0028 | 0.0028 | 1.0000 | 0.3739 | 0.0327 | 0.4766 | 1.0000 | 0.3739 | -      |
| cost sensitive | 0.0249 | 0.0249 | 0.3739 | 0.6483 | 0.2663 | 0.7780 | 0.6213 | 0.6213 | 0.7040 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0162 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0162 | 0.0162 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0787 | 0.0787 | 0.6028 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.3739 | 0.3739 | 0.2073 | 0.1552 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1213 | 0.1213 | 0.8587 | 0.6175 | 0.2271 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0044 | 0.0044 | 0.0083 | 0.0146 | 0.0074 | 0.0022 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0231 | 0.0231 | 0.0537 | 0.0546 | 0.0269 | 0.0180 | 0.7291 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0590 | 0.0590 | 0.1062 | 0.0671 | 0.0510 | 0.1066 | 0.5655 | 0.4403 | -      |
| cost sensitive | 0.0296 | 0.0296 | 0.1247 | 0.2020 | 0.1262 | 0.5996 | 0.0230 | 0.1355 | 0.1494 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.9497 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2252 | 0.2023 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0003 | 0.0002 | 0.0167 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0053 | 0.0049 | 0.0412 | 0.8523 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0014 | 0.0011 | 0.1290 | 0.2127 | 0.4575 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0582 | 0.0742 | 0.3881 | 0.0005 | 0.0094 | 0.0014 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4523 | 0.4599 | 0.2920 | 0.0007 | 0.0078 | 0.0004 | 0.0646 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2831 | 0.1877 | 0.3062 | 0.0004 | 0.0106 | 0.0005 | 0.7635 | 0.3670 | -      |
| cost sensitive | 0.8095 | 0.6985 | 0.2152 | 0.0004 | 0.0053 | 0.0006 | 0.0312 | 0.1572 | 0.1331 |

Πίνακας 8.46: Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0878    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0878    | 0.0878     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1492    | 0.1492     | 0.9251       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1753    | 0.1753     | 0.8913       | 0.9562  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0215    | 0.0215     | 0.4748       | 0.4737  | 0.6054  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0530    | 0.0530     | 0.8796       | 0.9725  | 0.9783  | 0.4968  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0008    | 0.0008     | 0.2549       | 0.3440  | 0.4130  | 0.0635  | 0.2295      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0002    | 0.0002     | 0.2743       | 0.4208  | 0.5024  | 0.0585  | 0.3039      | 0.2298     | -           |
| cost sensitive | 0.0150    | 0.0150     | 0.2303       | 0.4240  | 0.3888  | 0.0991  | 0.1759      | 0.9550     | 0.6302      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0834    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0834    | 0.0834     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1795    | 0.1795     | 0.3659       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1778    | 0.1778     | 0.3112       | 0.9273  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0203    | 0.0203     | 0.4795       | 0.1019  | 0.1890  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0421 | 0.0421 | 0.1320 | 0.0415 | 0.0752 | 0.1097 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0031 | 0.0031 | 0.0115 | 0.0069 | 0.0058 | 0.0151 | 0.2489 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0001 | 0.0001 | 0.0053 | 0.0008 | 0.0001 | 0.0046 | 0.1763 | 0.5825 | -      |
| cost sensitive | 0.0169 | 0.0169 | 0.0198 | 0.0514 | 0.0211 | 0.0716 | 0.8212 | 0.1624 | 0.1908 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0705 | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1778 | 0.1778 | 0.6213 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1778 | 0.1778 | 0.6213 | 1.0000 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0196 | 0.0196 | 0.5870 | 0.2980 | 0.4734 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0161 | 0.0161 | 0.6213 | 0.1778 | 0.1778 | 0.8466 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0004 | 0.0004 | 0.3404 | 0.0834 | 0.0834 | 0.4891 | 0.6541 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.2233 | 0.0716 | 0.0716 | 0.3119 | 0.3739 | 0.5870 | -      |
| cost sensitive | 0.0222 | 0.0222 | 0.6541 | 0.4506 | 0.1983 | 0.9578 | 0.7527 | 0.4543 | 0.2552 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0827 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0827 | 0.0827 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1794 | 0.1794 | 0.3705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1778 | 0.1778 | 0.3161 | 0.9286 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0199 | 0.0199 | 0.4850 | 0.1043 | 0.1940 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0410 | 0.0410 | 0.1376 | 0.0404 | 0.0756 | 0.1143 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0024 | 0.0024 | 0.0112 | 0.0059 | 0.0049 | 0.0145 | 0.2552 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0001 | 0.0001 | 0.0056 | 0.0008 | 0.0001 | 0.0047 | 0.1758 | 0.6182 | -      |
| cost sensitive | 0.0168 | 0.0168 | 0.0212 | 0.0542 | 0.0209 | 0.0791 | 0.8336 | 0.1743 | 0.1853 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3105 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0161 | 0.0227 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 1        | 0.0092 | 0.0107 | 0.0160 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0453 | 0.0475 | 0.1259 | 0.0436 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0228 | 0.0264 | 0.0317 | 0.1105 | 0.5692 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2583 | 0.2779 | 0.3894 | 0.1062 | 0.8999 | 0.7357 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.9165 | 0.9633 | 0.2502 | 0.0171 | 0.0416 | 0.0647 | 0.3409 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4198 | 0.5571 | 0.2544 | 0.0135 | 0.0742 | 0.0490 | 0.3028 | 0.6889 | -      |
| cost sensitive | 0.0582 | 0.0105 | 0.0561 | 0.0122 | 0.0543 | 0.0331 | 0.3114 | 0.6201 | 0.9614 |

Πίνακας 8.47: Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0833    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0833    | 0.0833     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1707    | 0.1707     | 0.9004       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0705    | 0.0705     | 0.6827       | 0.6261  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0398    | 0.0398     | 0.1061       | 0.2924  | 0.9913  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0027    | 0.0027     | 0.5816       | 0.7170  | 0.2801  | 0.2224  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0000    | 0.0000     | 0.5890       | 0.7434  | 0.3322  | 0.2285  | 0.7561      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0168    | 0.0168     | 0.7817       | 0.7668  | 0.6987  | 0.7615  | 0.1390      | 0.2218     | -           |
| cost sensitive | 0.0006    | 0.0006     | 0.7141       | 0.8428  | 0.3879  | 0.2809  | 0.1721      | 0.3698     | 0.2349      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0221    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0221    | 0.0221     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1778    | 0.1778     | 0.1041       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0707    | 0.0707     | 0.2293       | 0.6385  | -       | -       | -           | -          | -           |





|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under random   | 0.0023 | 0.0029 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0002 | 0.0002 | 0.0006 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0118 | 0.0079 | 0.2245 | 0.0002 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0135 | 0.0123 | 0.0387 | 0.0060 | 0.2730 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.9453 | 0.8218 | 0.0995 | 0.0004 | 0.0527 | 0.0025 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8529 | 0.9273 | 0.0042 | 0.0004 | 0.0275 | 0.0029 | 0.8201 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2503 | 0.2398 | 0.9680 | 0.0012 | 0.6018 | 0.1217 | 0.2807 | 0.2223 | -      |
| cost sensitive | 0.1120 | 0.5597 | 0.0020 | 0.0002 | 0.0077 | 0.0100 | 0.7401 | 0.7419 | 0.2110 |

Πίνακας 8.48: Ασθενής 3: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 4

219

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 95.903   | 0.543     | 0.365  | 0.384    | 0.976 |
|                               | std  | 0.206    | 0.046     | 0.235  | 0.184    | 0.005 |
| classic 0.2                   | mean | 95.721   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.967 |
|                               | std  | 0.089    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.005 |
| under random                  | mean | 77.391   | 0.089     | 0.600  | 0.152    | 0.968 |
|                               | std  | 23.521   | 0.087     | 0.490  | 0.146    | 0.002 |
| Near Miss 1                   | mean | 89.162   | 0.080     | 0.232  | 0.078    | 0.976 |
|                               | std  | 12.581   | 0.117     | 0.389  | 0.096    | 0.010 |
| Near Miss 2                   | mean | 95.767   | 0.308     | 0.313  | 0.285    | 0.968 |
|                               | std  | 0.308    | 0.253     | 0.328  | 0.266    | 0.009 |
| Near Miss 3                   | mean | 96.040   | 0.256     | 0.191  | 0.180    | 0.978 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 0.533  | 0.314 | 0.329 | 0.275 | 0.009 |
| over random                 | mean | 74.402 | 0.300 | 0.979 | 0.437 | 0.924 |
|                             | std  | 35.245 | 0.145 | 0.026 | 0.193 | 0.110 |
| SMOTE                       | mean | 93.035 | 0.387 | 0.958 | 0.548 | 0.980 |
|                             | std  | 1.852  | 0.064 | 0.039 | 0.065 | 0.004 |
| BSMOTE                      | mean | 71.261 | 0.237 | 0.902 | 0.351 | 0.795 |
|                             | std  | 33.980 | 0.126 | 0.132 | 0.164 | 0.311 |
| Cost Sensitive              | mean | 91.034 | 0.326 | 0.956 | 0.483 | 0.973 |
|                             | std  | 1.939  | 0.040 | 0.065 | 0.038 | 0.007 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 94.057 | 0.676 | 0.305 | 0.408 | 0.951 |
|                             | std  | 0.480  | 0.118 | 0.090 | 0.083 | 0.005 |
| classic 0.2                 | mean | 93.074 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.942 |
|                             | std  | 0.110  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.016 |
| under random                | mean | 87.929 | 0.179 | 0.467 | 0.254 | 0.898 |
|                             | std  | 5.438  | 0.156 | 0.385 | 0.213 | 0.024 |
| Near Miss 1                 | mean | 91.907 | 0.389 | 0.262 | 0.200 | 0.957 |
|                             | std  | 2.986  | 0.382 | 0.366 | 0.201 | 0.006 |
| Near Miss 2                 | mean | 90.265 | 0.241 | 0.400 | 0.260 | 0.935 |
|                             | std  | 4.390  | 0.214 | 0.398 | 0.220 | 0.018 |
| Near Miss 3                 | mean | 92.701 | 0.399 | 0.618 | 0.478 | 0.950 |
|                             | std  | 1.828  | 0.213 | 0.321 | 0.243 | 0.009 |
| over random                 | mean | 86.805 | 0.339 | 0.919 | 0.494 | 0.949 |
|                             | std  | 1.968  | 0.036 | 0.034 | 0.035 | 0.005 |
| SMOTE                       | mean | 88.397 | 0.370 | 0.919 | 0.526 | 0.956 |
|                             | std  | 1.803  | 0.030 | 0.045 | 0.028 | 0.006 |
| BSMOTE                      | mean | 87.974 | 0.359 | 0.899 | 0.511 | 0.954 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 1.877  | 0.033 | 0.056 | 0.026 | 0.006 |
| Cost Sensitive              | mean | 84.839 | 0.336 | 0.933 | 0.481 | 0.953 |
|                             | std  | 5.659  | 0.106 | 0.060 | 0.096 | 0.009 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 87.506 | 0.367 | 0.106 | 0.147 | 0.856 |
|                             | std  | 0.460  | 0.227 | 0.108 | 0.138 | 0.046 |
| classic 0.2                 | mean | 87.804 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.860 |
|                             | std  | 0.091  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.037 |
| under random                | mean | 79.079 | 0.374 | 0.593 | 0.428 | 0.812 |
|                             | std  | 9.701  | 0.115 | 0.145 | 0.073 | 0.039 |
| Near Miss 1                 | mean | 85.578 | 0.505 | 0.398 | 0.376 | 0.785 |
|                             | std  | 5.077  | 0.147 | 0.208 | 0.162 | 0.027 |
| Near Miss 2                 | mean | 85.325 | 0.459 | 0.411 | 0.399 | 0.803 |
|                             | std  | 3.752  | 0.144 | 0.156 | 0.086 | 0.041 |
| Near Miss 3                 | mean | 83.588 | 0.442 | 0.496 | 0.425 | 0.813 |
|                             | std  | 5.857  | 0.140 | 0.147 | 0.072 | 0.019 |
| over random                 | mean | 76.403 | 0.325 | 0.846 | 0.469 | 0.858 |
|                             | std  | 3.560  | 0.035 | 0.046 | 0.040 | 0.033 |
| SMOTE                       | mean | 76.746 | 0.322 | 0.809 | 0.459 | 0.854 |
|                             | std  | 2.530  | 0.019 | 0.097 | 0.026 | 0.038 |
| BSMOTE                      | mean | 75.265 | 0.324 | 0.850 | 0.462 | 0.852 |
|                             | std  | 5.973  | 0.056 | 0.107 | 0.049 | 0.034 |
| Cost Sensitive              | mean | 75.951 | 0.313 | 0.794 | 0.442 | 0.855 |
|                             | std  | 3.658  | 0.017 | 0.172 | 0.032 | 0.036 |

Πίνακας 8.49: Ασθενής 4: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2423    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1907    | 0.1936     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.3404    | 0.3589     | 0.4881       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.5536    | 0.8149     | 0.1933       | 0.3474  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.6747    | 0.2960     | 0.1948       | 0.3373  | 0.4770  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.2880    | 0.2940     | 0.9103       | 0.2641  | 0.2904  | 0.2872  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0371    | 0.0481     | 0.2676       | 0.5373  | 0.0314  | 0.0299  | 0.3359      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.2219    | 0.2231     | 0.8005       | 0.4184  | 0.2222  | 0.2174  | 0.9181      | 0.2798     | -           |
| cost sensitive | 0.0101    | 0.0075     | 0.3145       | 0.8026  | 0.0087  | 0.0055  | 0.4163      | 0.2746     | 0.2895      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0000    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0010    | 0.1119     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0013    | 0.2400     | 0.9328       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1712    | 0.0722     | 0.1978       | 0.1075  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1500    | 0.1783     | 0.4173       | 0.3784  | 0.8286  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0093    | 0.0144     | 0.0588       | 0.0638  | 0.9676  | 0.8358  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0068    | 0.0003     | 0.0043       | 0.0088  | 0.5541  | 0.4777  | 0.2201      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0209    | 0.0196     | 0.0677       | 0.2221  | 0.6473  | 0.9097  | 0.6476      | 0.1624     | -           |
| cost sensitive | 0.0059    | 0.0001     | 0.0076       | 0.0261  | 0.8930  | 0.6588  | 0.7927      | 0.2240     | 0.1489      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0362    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.5072    | 0.0705     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.4143    | 0.2997     | 0.4187       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.8021    | 0.1284     | 0.4507       | 0.6001  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.4984    | 0.3104     | 0.1699       | 0.8890  | 0.6773  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0076 | 0.0000 | 0.1941 | 0.0173 | 0.0132 | 0.0076 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0077 | 0.0000 | 0.2124 | 0.0178 | 0.0125 | 0.0100 | 0.1778 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0275 | 0.0002 | 0.2513 | 0.0573 | 0.0451 | 0.0228 | 0.3602 | 0.5092 | -      |
| cost sensitive | 0.0126 | 0.0000 | 0.1973 | 0.0321 | 0.0252 | 0.0116 | 0.6070 | 0.9712 | 0.1920 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0139 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1707 | 0.1061 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0175 | 0.1786 | 0.5646 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.6067 | 0.0987 | 0.4419 | 0.1713 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3291 | 0.2606 | 0.8762 | 0.5534 | 0.6685 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.7446 | 0.0105 | 0.0573 | 0.0433 | 0.5178 | 0.1678 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2496 | 0.0001 | 0.0060 | 0.0020 | 0.1228 | 0.0513 | 0.2513 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.7920 | 0.0127 | 0.0512 | 0.0689 | 0.6409 | 0.3869 | 0.6235 | 0.1284 | -      |
| cost sensitive | 0.3718 | 0.0000 | 0.0095 | 0.0021 | 0.1832 | 0.0887 | 0.7003 | 0.1774 | 0.1289 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0571 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0860 | 0.6892 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.9746 | 0.1974 | 0.2318 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1418 | 0.8788 | 0.9549 | 0.0513 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.6269 | 0.1248 | 0.0914 | 0.4467 | 0.0180 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3850 | 0.4693 | 0.4707 | 0.3892 | 0.4677 | 0.3909 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1248 | 0.0202 | 0.0125 | 0.3147 | 0.0359 | 0.5824 | 0.3675 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3103 | 0.3310 | 0.3257 | 0.3010 | 0.3178 | 0.2949 | 0.5040 | 0.2985 | -      |
| cost sensitive | 0.3034 | 0.2159 | 0.2456 | 0.3719 | 0.0956 | 0.2503 | 0.4064 | 0.0758 | 0.3107 |

Πίνακας 8.50: Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για οριζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0146    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0783    | 0.1267     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1727    | 0.4705     | 0.1376       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1770    | 0.2752     | 0.6176       | 0.6205  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1395    | 0.7051     | 0.1496       | 0.4352  | 0.3465  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0017    | 0.0031     | 0.7433       | 0.0273  | 0.2575  | 0.0073  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0024    | 0.0056     | 0.8536       | 0.0160  | 0.5086  | 0.0082  | 0.1819      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0021    | 0.0058     | 0.9882       | 0.0322  | 0.2911  | 0.0004  | 0.3970      | 0.6862     | -           |
| cost sensitive | 0.0284    | 0.0453     | 0.5648       | 0.0800  | 0.2099  | 0.0383  | 0.4373      | 0.3097     | 0.3076      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0003    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0022    | 0.0835     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2944    | 0.1116     | 0.4674       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0011    | 0.0875     | 0.5779       | 0.6244  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0238    | 0.0199     | 0.0491       | 0.9732  | 0.0805  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0028    | 0.0000     | 0.1242       | 0.8134  | 0.3674  | 0.5775  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0071    | 0.0000     | 0.1034       | 0.9202  | 0.2963  | 0.8073  | 0.1888      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0026    | 0.0000     | 0.0743       | 0.8878  | 0.2936  | 0.7237  | 0.3785      | 0.6125     | -           |
| cost sensitive | 0.0002    | 0.0031     | 0.1040       | 0.8304  | 0.2259  | 0.4526  | 0.9329      | 0.5713     | 0.6243      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0024    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.5265    | 0.0723     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.8446    | 0.2255     | 0.4037       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.6242    | 0.1149     | 0.8394       | 0.6847  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1716    | 0.0183     | 0.3310       | 0.1140  | 0.3612  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0002 | 0.0000 | 0.0825 | 0.0180 | 0.0635 | 0.1347 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0003 | 0.0000 | 0.0752 | 0.0153 | 0.0640 | 0.1180 | 0.9839 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0004 | 0.0000 | 0.0937 | 0.0171 | 0.0667 | 0.1370 | 0.3780 | 0.3102 | -      |
| cost sensitive | 0.0001 | 0.0000 | 0.0926 | 0.0171 | 0.0545 | 0.1349 | 0.4661 | 0.5714 | 0.2277 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0006 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3116 | 0.0754 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1470 | 0.1175 | 0.7616 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.2124 | 0.0768 | 0.9611 | 0.7550 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.6444 | 0.0171 | 0.0685 | 0.1536 | 0.0849 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1611 | 0.0000 | 0.0946 | 0.0448 | 0.0954 | 0.8962 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0327 | 0.0000 | 0.0846 | 0.0342 | 0.0776 | 0.7329 | 0.1607 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0889 | 0.0000 | 0.0689 | 0.0506 | 0.0814 | 0.7988 | 0.4000 | 0.4523 | -      |
| cost sensitive | 0.3846 | 0.0006 | 0.0731 | 0.0950 | 0.0722 | 0.9741 | 0.7440 | 0.4404 | 0.5079 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.2529 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0096 | 0.0189 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0543 | 0.0730 | 0.0075 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1066 | 0.4355 | 0.0032 | 0.0436 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.8416 | 0.3915 | 0.0028 | 0.2862 | 0.0729 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.3984 | 0.3711 | 0.0178 | 0.0118 | 0.1949 | 0.8652 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1935 | 0.0745 | 0.0095 | 0.4925 | 0.0748 | 0.4153 | 0.0357 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0587 | 0.1553 | 0.0072 | 0.5114 | 0.0750 | 0.3240 | 0.1640 | 0.7862 | -      |
| cost sensitive | 0.6626 | 0.0876 | 0.0041 | 0.2174 | 0.0330 | 0.5978 | 0.4574 | 0.4374 | 0.6595 |

Πίνακας 8.51: Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2357    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1547    | 0.1449     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.5043    | 0.4303     | 0.3238       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.3370    | 0.2612     | 0.2495       | 0.9154  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.2432    | 0.2219     | 0.1454       | 0.6796  | 0.5767  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0029    | 0.0028     | 0.5040       | 0.0269  | 0.0223  | 0.0428  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0013    | 0.0010     | 0.5917       | 0.0525  | 0.0065  | 0.0270  | 0.8731      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0156    | 0.0134     | 0.3127       | 0.0174  | 0.0121  | 0.0442  | 0.5830      | 0.6165     | -           |
| cost sensitive | 0.0039    | 0.0031     | 0.6404       | 0.0614  | 0.0303  | 0.1348  | 0.9056      | 0.7411     | 0.8884      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0321    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.9243    | 0.0029     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.4212    | 0.0024     | 0.2599       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.4828    | 0.0031     | 0.3498       | 0.6143  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.3059    | 0.0032     | 0.1557       | 0.6502  | 0.8915  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.7044    | 0.0000     | 0.3504       | 0.0637  | 0.1388  | 0.1274  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.6925    | 0.0000     | 0.3621       | 0.0860  | 0.1327  | 0.1195  | 0.8394      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.6895    | 0.0003     | 0.2965       | 0.0486  | 0.0815  | 0.1549  | 0.9488      | 0.9392     | -           |
| cost sensitive | 0.6760    | 0.0000     | 0.3909       | 0.0709  | 0.1315  | 0.1483  | 0.6504      | 0.5593     | 0.7774      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1200    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0177    | 0.0012     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0111    | 0.0187     | 0.2987       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0576    | 0.0062     | 0.0837       | 0.9404  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0321    | 0.0025     | 0.2176       | 0.6024  | 0.3885  | -       | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0003 | 0.0000 | 0.0182 | 0.0145 | 0.0021 | 0.0120 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0011 | 0.0001 | 0.0409 | 0.0359 | 0.0005 | 0.0211 | 0.3398 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0011 | 0.0001 | 0.0198 | 0.0268 | 0.0013 | 0.0205 | 0.9189 | 0.1538 | -      |
| cost sensitive | 0.0013 | 0.0008 | 0.2155 | 0.0418 | 0.0080 | 0.0641 | 0.5707 | 0.8442 | 0.5802 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0995 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0131 | 0.0003 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0262 | 0.0098 | 0.4580 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0625 | 0.0008 | 0.4717 | 0.8160 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0313 | 0.0003 | 0.9416 | 0.5375 | 0.3076 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0088 | 0.0000 | 0.1305 | 0.2964 | 0.0974 | 0.1915 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0089 | 0.0000 | 0.3376 | 0.3562 | 0.2148 | 0.4182 | 0.5320 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0097 | 0.0000 | 0.1787 | 0.2984 | 0.1216 | 0.1619 | 0.5391 | 0.8885 | -      |
| cost sensitive | 0.0098 | 0.0000 | 0.7290 | 0.4892 | 0.4109 | 0.7193 | 0.2161 | 0.3531 | 0.4569 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.7736 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0068 | 0.0008 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0311 | 0.0305 | 0.3038 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0040 | 0.0063 | 0.4352 | 0.4193 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0450 | 0.0265 | 0.9400 | 0.0934 | 0.5830 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.8655 | 0.8201 | 0.0034 | 0.0198 | 0.0159 | 0.0109 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8929 | 0.5002 | 0.0045 | 0.0310 | 0.0249 | 0.0244 | 0.2509 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.7825 | 0.3362 | 0.0059 | 0.0315 | 0.0307 | 0.0207 | 0.0306 | 0.3594 | -      |
| cost sensitive | 0.9692 | 0.4311 | 0.0010 | 0.0293 | 0.0139 | 0.0211 | 0.3467 | 0.6604 | 0.2841 |

Πίνακας 8.52: Ασθενής 4: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 5

228

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 93.580   | 0.725     | 0.327  | 0.432    | 0.945 |
|                               | std  | 0.374    | 0.150     | 0.085  | 0.074    | 0.011 |
| classic 0.2                   | mean | 92.295   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.933 |
|                               | std  | 0.099    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.005 |
| under random                  | mean | 69.981   | 0.212     | 0.868  | 0.330    | 0.893 |
|                               | std  | 11.193   | 0.074     | 0.091  | 0.076    | 0.014 |
| Near Miss 1                   | mean | 80.798   | 0.156     | 0.566  | 0.237    | 0.928 |
|                               | std  | 14.451   | 0.152     | 0.463  | 0.217    | 0.016 |
| Near Miss 2                   | mean | 71.760   | 0.264     | 0.686  | 0.333    | 0.875 |
|                               | std  | 23.962   | 0.120     | 0.257  | 0.101    | 0.018 |
| Near Miss 3                   | mean | 91.279   | 0.350     | 0.203  | 0.183    | 0.913 |
|                               | std  | 1.592    | 0.367     | 0.235  | 0.200    | 0.019 |
| over random                   | mean | 85.019   | 0.330     | 0.896  | 0.481    | 0.917 |
|                               | std  | 2.018    | 0.026     | 0.049  | 0.024    | 0.013 |
| SMOTE                         | mean | 87.159   | 0.360     | 0.847  | 0.504    | 0.922 |
|                               | std  | 1.362    | 0.022     | 0.081  | 0.026    | 0.008 |
| BSMOTE                        | mean | 82.452   | 0.323     | 0.875  | 0.457    | 0.920 |
|                               | std  | 8.030    | 0.085     | 0.121  | 0.079    | 0.014 |
| Cost Sensitive                | mean | 78.920   | 0.275     | 0.931  | 0.421    | 0.910 |
|                               | std  | 7.743    | 0.064     | 0.022  | 0.080    | 0.022 |
| Prediction Horizon 12 (1 h)   |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 88.854   | 0.578     | 0.316  | 0.404    | 0.896 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 1.645  | 0.097 | 0.110 | 0.114 | 0.025 |
| classic 0.2                 | mean | 87.687 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.884 |
|                             | std  | 0.125  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.021 |
| under random                | mean | 71.652 | 0.282 | 0.793 | 0.411 | 0.835 |
|                             | std  | 5.880  | 0.030 | 0.110 | 0.020 | 0.015 |
| Near Miss 1                 | mean | 54.856 | 0.295 | 0.565 | 0.169 | 0.861 |
|                             | std  | 30.823 | 0.359 | 0.458 | 0.126 | 0.040 |
| Near Miss 2                 | mean | 61.134 | 0.256 | 0.833 | 0.382 | 0.818 |
|                             | std  | 24.489 | 0.069 | 0.107 | 0.083 | 0.016 |
| Near Miss 3                 | mean | 85.243 | 0.345 | 0.372 | 0.291 | 0.870 |
|                             | std  | 4.869  | 0.186 | 0.361 | 0.226 | 0.027 |
| over random                 | mean | 76.545 | 0.337 | 0.861 | 0.482 | 0.876 |
|                             | std  | 5.813  | 0.056 | 0.026 | 0.061 | 0.029 |
| SMOTE                       | mean | 76.989 | 0.339 | 0.852 | 0.483 | 0.871 |
|                             | std  | 4.971  | 0.053 | 0.046 | 0.057 | 0.029 |
| BSMOTE                      | mean | 68.386 | 0.270 | 0.901 | 0.415 | 0.879 |
|                             | std  | 4.507  | 0.024 | 0.041 | 0.026 | 0.029 |
| Cost Sensitive              | mean | 78.591 | 0.273 | 0.709 | 0.392 | 0.829 |
|                             | std  | 7.620  | 0.147 | 0.356 | 0.203 | 0.093 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 81.088 | 0.632 | 0.238 | 0.335 | 0.838 |
|                             | std  | 1.286  | 0.129 | 0.060 | 0.051 | 0.024 |
| classic 0.2                 | mean | 79.893 | 0.138 | 0.026 | 0.044 | 0.818 |
|                             | std  | 0.629  | 0.277 | 0.053 | 0.089 | 0.024 |
| under random                | mean | 63.440 | 0.347 | 0.830 | 0.486 | 0.801 |
|                             | std  | 7.361  | 0.051 | 0.066 | 0.042 | 0.027 |
| Near Miss 1                 | mean | 79.234 | 0.366 | 0.210 | 0.224 | 0.819 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | std  | 0.504  | 0.194 | 0.229 | 0.222 | 0.032 |
| Near Miss 2    | mean | 66.067 | 0.351 | 0.765 | 0.481 | 0.771 |
|                | std  | 3.625  | 0.029 | 0.025 | 0.030 | 0.034 |
| Near Miss 3    | mean | 74.146 | 0.441 | 0.747 | 0.545 | 0.822 |
|                | std  | 5.908  | 0.072 | 0.099 | 0.039 | 0.032 |
| over random    | mean | 71.516 | 0.402 | 0.800 | 0.534 | 0.823 |
|                | std  | 2.022  | 0.018 | 0.052 | 0.021 | 0.019 |
| SMOTE          | mean | 65.365 | 0.376 | 0.844 | 0.512 | 0.822 |
|                | std  | 13.126 | 0.072 | 0.086 | 0.066 | 0.024 |
| BSMOTE         | mean | 64.749 | 0.358 | 0.895 | 0.510 | 0.824 |
|                | std  | 4.259  | 0.029 | 0.028 | 0.031 | 0.030 |
| Cost Sensitive | mean | 69.475 | 0.387 | 0.807 | 0.521 | 0.813 |
|                | std  | 4.089  | 0.038 | 0.055 | 0.030 | 0.029 |

Πίνακας 8.53: Ασθενής 5: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0012    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0134    | 0.0164     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.1495    | 0.1858     | 0.0914       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.1413    | 0.1611     | 0.8508       | 0.1327  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0549    | 0.2724     | 0.0270       | 0.2455  | 0.1910  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0012    | 0.0019     | 0.0394       | 0.5403  | 0.2975  | 0.0166  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0006    | 0.0016     | 0.0268       | 0.3925  | 0.2476  | 0.0320  | 0.0431      | -          | -           |
| over bsmote  | 0.0497    | 0.0698     | 0.0183       | 0.6529  | 0.2605  | 0.1251  | 0.4502      | 0.2434     | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| cost sensitive | 0.0187 | 0.0259 | 0.0986 | 0.7269 | 0.4823 | 0.0388 | 0.1474 | 0.0637 | 0.2934 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0006 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0003 | 0.0045 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0134 | 0.1095 | 0.5798 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0070 | 0.0118 | 0.4666 | 0.3743 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1497 | 0.1292 | 0.5292 | 0.4429 | 0.7072 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0057 | 0.0000 | 0.0208 | 0.0775 | 0.2692 | 0.9237 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0073 | 0.0000 | 0.0106 | 0.0468 | 0.1620 | 0.9599 | 0.0256 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0029 | 0.0016 | 0.0134 | 0.1365 | 0.2528 | 0.9043 | 0.8222 | 0.3512 | -      |
| cost sensitive | 0.0041 | 0.0010 | 0.1928 | 0.1535 | 0.8516 | 0.7466 | 0.1162 | 0.0176 | 0.2899 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0016 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0000 | 0.0000 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3305 | 0.0710 | 0.2232 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0317 | 0.0060 | 0.1605 | 0.3513 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.4272 | 0.1591 | 0.0104 | 0.3576 | 0.1172 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0001 | 0.0000 | 0.4879 | 0.1919 | 0.1191 | 0.0078 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0001 | 0.0000 | 0.5452 | 0.2367 | 0.2040 | 0.0128 | 0.2432 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0002 | 0.0001 | 0.8413 | 0.1732 | 0.0804 | 0.0166 | 0.6213 | 0.5738 | -      |
| cost sensitive | 0.0002 | 0.0000 | 0.2658 | 0.1907 | 0.1373 | 0.0036 | 0.2943 | 0.0978 | 0.4284 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0003 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2426 | 0.0010 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1390 | 0.0946 | 0.4949 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1857 | 0.0028 | 0.9603 | 0.4516 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0957 | 0.1407 | 0.1924 | 0.8055 | 0.2006 | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.3083 | 0.0000 | 0.0109 | 0.0801 | 0.0224 | 0.0410 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1373 | 0.0000 | 0.0107 | 0.0538 | 0.0161 | 0.0395 | 0.0432 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.7160 | 0.0003 | 0.0144 | 0.1278 | 0.0105 | 0.0439 | 0.4503 | 0.2300 | -      |
| cost sensitive | 0.8779 | 0.0005 | 0.0878 | 0.1395 | 0.0965 | 0.1051 | 0.1457 | 0.0537 | 0.3225 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0587 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0141 | 0.0088 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0618 | 0.5166 | 0.0668 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0062 | 0.0036 | 0.0574 | 0.0272 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0172 | 0.0501 | 0.2241 | 0.2488 | 0.0362 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0166 | 0.0354 | 0.0707 | 0.4167 | 0.0208 | 0.5815 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0367 | 0.0717 | 0.0168 | 0.5164 | 0.0145 | 0.4375 | 0.5147 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0193 | 0.0840 | 0.0737 | 0.4429 | 0.0309 | 0.4029 | 0.5349 | 0.7666 | -      |
| cost sensitive | 0.0633 | 0.0973 | 0.1272 | 0.3598 | 0.0502 | 0.8533 | 0.3870 | 0.2739 | 0.3526 |

Πίνακας 8.54: Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.2055    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0075    | 0.0056     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0912    | 0.0997     | 0.3638       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0777    | 0.0953     | 0.4450       | 0.7794  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.2965    | 0.3757     | 0.0189       | 0.1013  | 0.1353  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0052    | 0.0173     | 0.3656       | 0.2039  | 0.2441  | 0.1284  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0021    | 0.0117     | 0.3250       | 0.2198  | 0.2106  | 0.1222  | 0.7895      | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over bsmote    | 0.0009 | 0.0010 | 0.3920 | 0.3973 | 0.5500 | 0.0011 | 0.0675 | 0.0431 | -      |
| cost sensitive | 0.0593 | 0.0745 | 0.2494 | 0.1526 | 0.3108 | 0.2246 | 0.6282 | 0.7562 | 0.1073 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0003 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0067 | 0.0000 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1642 | 0.1752 | 0.9474 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0010 | 0.0017 | 0.5446 | 0.8325 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0668 | 0.0206 | 0.5706 | 0.7666 | 0.4710 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0006 | 0.0003 | 0.2059 | 0.8205 | 0.0800 | 0.9307 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0005 | 0.0002 | 0.2137 | 0.8059 | 0.0462 | 0.9448 | 0.9328 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0028 | 0.0000 | 0.5882 | 0.8937 | 0.6628 | 0.4605 | 0.0708 | 0.0622 | -      |
| cost sensitive | 0.0030 | 0.0203 | 0.9168 | 0.9139 | 0.7475 | 0.5912 | 0.3142 | 0.3386 | 0.9653 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0045 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0002 | 0.0001 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3564 | 0.0691 | 0.3733 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0014 | 0.0001 | 0.4899 | 0.3340 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.6836 | 0.1086 | 0.0371 | 0.5319 | 0.0590 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0003 | 0.0000 | 0.2228 | 0.2754 | 0.6369 | 0.0468 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0004 | 0.0000 | 0.2438 | 0.2999 | 0.6414 | 0.0488 | 0.6450 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0001 | 0.0000 | 0.0497 | 0.2086 | 0.1853 | 0.0323 | 0.1206 | 0.0641 | -      |
| cost sensitive | 0.0860 | 0.0163 | 0.6921 | 0.6741 | 0.6075 | 0.2043 | 0.4339 | 0.4927 | 0.3630 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0021 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.9188 | 0.0000 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0603 | 0.0549 | 0.0159 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.7131 | 0.0008 | 0.5622 | 0.0865 | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 3        | 0.1740 | 0.0615 | 0.3794 | 0.4011 | 0.4720 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0843 | 0.0001 | 0.1248 | 0.0203 | 0.0495 | 0.1180 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0697 | 0.0001 | 0.1249 | 0.0167 | 0.0363 | 0.1016 | 0.9895 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.8606 | 0.0000 | 0.8535 | 0.0318 | 0.4097 | 0.3352 | 0.0751 | 0.0672 | -      |
| cost sensitive | 0.9009 | 0.0181 | 0.8616 | 0.2220 | 0.8905 | 0.5322 | 0.3353 | 0.3556 | 0.8173 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0517 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0008 | 0.0003 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0624 | 0.2491 | 0.2270 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0018 | 0.0008 | 0.0265 | 0.1268 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0003 | 0.0393 | 0.0117 | 0.5467 | 0.0100 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0182 | 0.2646 | 0.0064 | 0.4628 | 0.0041 | 0.3725 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0159 | 0.1954 | 0.0103 | 0.6001 | 0.0081 | 0.8208 | 0.3526 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0017 | 0.5096 | 0.0075 | 0.2200 | 0.0082 | 0.0102 | 0.5698 | 0.3314 | -      |
| cost sensitive | 0.1770 | 0.2598 | 0.8979 | 0.4260 | 0.8284 | 0.3524 | 0.3182 | 0.3892 | 0.2718 |

Πίνακας 8.55: Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.2644    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0086    | 0.0105     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0623    | 0.1297     | 0.0147       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0003    | 0.0026     | 0.5005       | 0.0024  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.0451    | 0.1491     | 0.0600       | 0.1723  | 0.0027  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0015    | 0.0014     | 0.0604       | 0.0032  | 0.0394  | 0.3929  | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.0814 | 0.0898 | 0.7253 | 0.1103 | 0.9224 | 0.2757 | 0.3370 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0004 | 0.0033 | 0.7681 | 0.0026 | 0.1888 | 0.0034 | 0.0506 | 0.9387 | -      |
| cost sensitive | 0.0015 | 0.0106 | 0.2684 | 0.0081 | 0.0856 | 0.1067 | 0.4877 | 0.6374 | 0.0055 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0554 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0175 | 0.2165 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0851 | 0.1768 | 0.8710 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0081 | 0.2271 | 0.8682 | 0.8861 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0277 | 0.1404 | 0.0276 | 0.5218 | 0.0139 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0268 | 0.1362 | 0.0484 | 0.7374 | 0.0112 | 0.2597 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0474 | 0.1861 | 0.3394 | 0.9351 | 0.5056 | 0.1837 | 0.4249 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0062 | 0.2164 | 0.7020 | 0.9371 | 0.4173 | 0.0317 | 0.0511 | 0.6748 | -      |
| cost sensitive | 0.0057 | 0.1765 | 0.2973 | 0.8468 | 0.0706 | 0.1350 | 0.5417 | 0.8388 | 0.0251 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0006 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0007 | 0.0001 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.8514 | 0.2222 | 0.0031 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0000 | 0.0000 | 0.2205 | 0.0107 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0012 | 0.0001 | 0.2048 | 0.0091 | 0.7725 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0002 | 0.0001 | 0.5310 | 0.0066 | 0.2598 | 0.4022 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0005 | 0.0001 | 0.7677 | 0.0059 | 0.1773 | 0.1238 | 0.1943 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.1957 | 0.0059 | 0.0007 | 0.0481 | 0.0299 | 0.2971 | -      |
| cost sensitive | 0.0000 | 0.0000 | 0.6927 | 0.0109 | 0.0723 | 0.4702 | 0.8791 | 0.5751 | 0.0253 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0016 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0014 | 0.0012 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.4443 | 0.2519 | 0.1066 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0042 | 0.0014 | 0.7305 | 0.0860 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0039 | 0.0012 | 0.0790 | 0.0374 | 0.0077 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0008 | 0.0006 | 0.0263 | 0.0517 | 0.0009 | 0.5365 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0045 | 0.0015 | 0.2569 | 0.0954 | 0.3414 | 0.4744 | 0.4898 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0040 | 0.0012 | 0.2550 | 0.0633 | 0.0332 | 0.0156 | 0.1207 | 0.9563 | -      |
| cost sensitive | 0.0036 | 0.0011 | 0.1657 | 0.0521 | 0.0097 | 0.0099 | 0.2958 | 0.8366 | 0.0896 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0198 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0064 | 0.0086 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0684 | 0.9383 | 0.2909 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0057 | 0.0037 | 0.0053 | 0.0766 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1089 | 0.7095 | 0.1087 | 0.7716 | 0.0272 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0699 | 0.2833 | 0.0112 | 0.7589 | 0.0049 | 0.9185 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1153 | 0.3245 | 0.0112 | 0.8449 | 0.0021 | 0.9939 | 0.8735 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0458 | 0.2581 | 0.0187 | 0.6635 | 0.0066 | 0.8714 | 0.9153 | 0.7447 | -      |
| cost sensitive | 0.0196 | 0.4380 | 0.1026 | 0.6707 | 0.0113 | 0.2827 | 0.1221 | 0.3772 | 0.2514 |

Πίνακας 8.56: Ασθενής 5: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 6

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 98.935   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.975 |
|                               | std  | 0.153    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.015 |
| classic 0.2                   | mean | 98.935   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.973 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 0.153  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.016 |
| under random                | mean | 42.132 | 0.006 | 0.600 | 0.013 | 0.958 |
|                             | std  | 46.486 | 0.005 | 0.490 | 0.011 | 0.014 |
| Near Miss 1                 | mean | 31.535 | 0.010 | 0.733 | 0.019 | 0.331 |
|                             | std  | 39.720 | 0.005 | 0.389 | 0.010 | 0.067 |
| Near Miss 2                 | mean | 58.938 | 0.015 | 0.450 | 0.026 | 0.849 |
|                             | std  | 46.883 | 0.021 | 0.458 | 0.034 | 0.093 |
| Near Miss 3                 | mean | 39.625 | 0.022 | 0.733 | 0.041 | 0.904 |
|                             | std  | 45.777 | 0.029 | 0.389 | 0.052 | 0.076 |
| over random                 | mean | 72.664 | 0.072 | 0.900 | 0.130 | 0.955 |
|                             | std  | 35.762 | 0.031 | 0.200 | 0.054 | 0.021 |
| SMOTE                       | mean | 89.096 | 0.093 | 0.900 | 0.167 | 0.981 |
|                             | std  | 5.140  | 0.037 | 0.200 | 0.061 | 0.014 |
| BSMOTE                      | mean | 91.729 | 0.131 | 0.900 | 0.222 | 0.977 |
|                             | std  | 3.994  | 0.073 | 0.200 | 0.112 | 0.017 |
| Cost Sensitive              | mean | 88.402 | 0.123 | 0.900 | 0.185 | 0.973 |
|                             | std  | 5.679  | 0.106 | 0.200 | 0.110 | 0.015 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 98.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.945 |
|                             | std  | 0.126  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.026 |
| classic 0.2                 | mean | 98.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.942 |
|                             | std  | 0.126  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 |
| under random                | mean | 69.686 | 0.010 | 0.400 | 0.020 | 0.893 |
|                             | std  | 35.774 | 0.013 | 0.490 | 0.025 | 0.061 |
| Near Miss 1                 | mean | 21.761 | 0.015 | 0.800 | 0.029 | 0.504 |
|                             | std  | 38.185 | 0.007 | 0.400 | 0.015 | 0.269 |
| Near Miss 2                 | mean | 40.440 | 0.011 | 0.600 | 0.021 | 0.954 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 47.090 | 0.009 | 0.490 | 0.017 | 0.028 |
| Near Miss 3                 | mean | 66.918 | 0.009 | 0.400 | 0.018 | 0.830 |
|                             | std  | 39.967 | 0.012 | 0.490 | 0.023 | 0.163 |
| over random                 | mean | 70.126 | 0.103 | 0.967 | 0.183 | 0.898 |
|                             | std  | 34.289 | 0.044 | 0.067 | 0.076 | 0.069 |
| SMOTE                       | mean | 88.553 | 0.089 | 0.733 | 0.159 | 0.743 |
|                             | std  | 5.116  | 0.045 | 0.389 | 0.080 | 0.326 |
| BSMOTE                      | mean | 80.000 | 0.089 | 0.933 | 0.162 | 0.920 |
|                             | std  | 9.716  | 0.028 | 0.133 | 0.047 | 0.016 |
| Cost Sensitive              | mean | 65.660 | 0.082 | 1.000 | 0.149 | 0.936 |
|                             | std  | 32.302 | 0.041 | 0.000 | 0.071 | 0.028 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 96.642 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.897 |
|                             | std  | 0.150  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.039 |
| classic 0.2                 | mean | 96.642 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.887 |
|                             | std  | 0.150  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.044 |
| under random                | mean | 78.356 | 0.006 | 0.200 | 0.013 | 0.861 |
|                             | std  | 36.480 | 0.013 | 0.400 | 0.025 | 0.046 |
| Near Miss 1                 | mean | 40.819 | 0.021 | 0.600 | 0.040 | 0.254 |
|                             | std  | 45.729 | 0.017 | 0.490 | 0.033 | 0.082 |
| Near Miss 2                 | mean | 68.588 | 0.047 | 0.542 | 0.085 | 0.878 |
|                             | std  | 32.945 | 0.052 | 0.447 | 0.091 | 0.029 |
| Near Miss 3                 | mean | 21.966 | 0.027 | 0.800 | 0.052 | 0.721 |
|                             | std  | 37.277 | 0.013 | 0.400 | 0.026 | 0.110 |
| over random                 | mean | 83.529 | 0.110 | 0.727 | 0.191 | 0.836 |
|                             | std  | 7.030  | 0.058 | 0.377 | 0.099 | 0.111 |
| SMOTE                       | mean | 83.516 | 0.121 | 0.669 | 0.197 | 0.894 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | std  | 9.408  | 0.089 | 0.346 | 0.127 | 0.038 |
| BSMOTE         | mean | 80.545 | 0.139 | 0.925 | 0.242 | 0.903 |
|                | std  | 1.397  | 0.004 | 0.069 | 0.005 | 0.024 |
| Cost Sensitive | mean | 77.684 | 0.129 | 0.869 | 0.221 | 0.887 |
|                | std  | 8.194  | 0.039 | 0.095 | 0.059 | 0.038 |

Πίνακας 8.57: Ασθενής 6: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0710    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0710    | 0.0710     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0272    | 0.0272     | 0.6874       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1638    | 0.1638     | 0.4529       | 0.4036  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0607    | 0.0607     | 0.9327       | 0.8432  | 0.6120  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.2148    | 0.2148     | 0.4550       | 0.1275  | 0.7061  | 0.4230  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0189    | 0.0189     | 0.1063       | 0.0377  | 0.2591  | 0.1099  | 0.4329      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0237    | 0.0237     | 0.1092       | 0.0416  | 0.2392  | 0.0926  | 0.3559      | 0.2527     | -           |
| cost sensitive | 0.0215    | 0.0215     | 0.1011       | 0.0477  | 0.2649  | 0.0948  | 0.4835      | 0.7411     | 0.2721      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0739    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0739    | 0.0739     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0187    | 0.0187     | 0.2727       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.2247    | 0.2247     | 0.5220       | 0.6195  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1999    | 0.1999     | 0.3068       | 0.4434  | 0.7290  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0101    | 0.0101     | 0.0101       | 0.0204  | 0.0917  | 0.0409  | -           | -          | -           |

|                |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
|----------------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|------------|
| over smote     | 0.0070 | 0.0070  | 0.0089      | 0.0092 | 0.0250 | 0.0747 | 0.4397     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0229 | 0.0229  | 0.0236      | 0.0255 | 0.0452 | 0.0686 | 0.1939     | 0.1731    | -          |
| cost sensitive | 0.0806 | 0.0806  | 0.0992      | 0.0951 | 0.0654 | 0.1753 | 0.4966     | 0.6275    | 0.9164     |
| RECALL         |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0161 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0705 | 0.0705  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0196 | 0.0196  | 0.5870      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.1210 | 0.1210  | 0.5291      | 0.3241 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.0196 | 0.0196  | 0.5870      | 1.0000 | 0.3951 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0008 | 0.0008  | 0.3739      | 0.5371 | 0.0876 | 0.5371 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0008 | 0.0008  | 0.2080      | 0.5371 | 0.1210 | 0.1890 | 1.0000     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0008 | 0.0008  | 0.2080      | 0.5371 | 0.1210 | 0.1890 | 1.0000     | 0.7780    | -          |
| cost sensitive | 0.0008 | 0.0008  | 0.2080      | 0.5371 | 0.1210 | 0.1890 | 1.0000     | 0.7780    | 0.7780     |
| F1-SCORE       |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0161 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0738 | 0.07382 | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0185 | 0.01855 | 0.275455424 | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.2019 | 0.20187 | 0.555913964 | 0.6926 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.1859 | 0.18586 | 0.299496428 | 0.4521 | 0.6753 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0088 | 0.00877 | 0.009016792 | 0.0199 | 0.0758 | 0.0337 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0055 | 0.00547 | 0.007129542 | 0.0076 | 0.0204 | 0.0677 | 0.41452524 | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0164 | 0.01637 | 0.016653286 | 0.0185 | 0.0348 | 0.0587 | 0.18956813 | 0.1768336 | -          |
| cost sensitive | 0.0281 | 0.02806 | 0.041339967 | 0.0357 | 0.0157 | 0.118  | 0.53688108 | 0.7829361 | 0.68172892 |
| AUC            |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0103 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0016 | 0.0024  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0001 | 0.0001  | 0.0001      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0458 | 0.0485 | 0.0731 | 0.0006 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1170 | 0.1266 | 0.2174 | 0.0002 | 0.0423 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0154 | 0.0188 | 0.4150 | 0.0001 | 0.0881 | 0.2657 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1333 | 0.0705 | 0.0085 | 0.0001 | 0.0375 | 0.0864 | 0.0302 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.8598 | 0.6399 | 0.0906 | 0.0000 | 0.0293 | 0.0758 | 0.1331 | 0.5763 | -      |
| cost sensitive | 0.1217 | 0.6405 | 0.0011 | 0.0001 | 0.0494 | 0.1309 | 0.0135 | 0.1223 | 0.6968 |

Πίνακας 8.58: Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0253    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1859    | 0.1859     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0161    | 0.0161     | 0.0751       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0705    | 0.0705     | 0.3837       | 0.6289  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1937    | 0.1937     | 0.9200       | 0.1038  | 0.2312  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.1784    | 0.1784     | 0.9888       | 0.0982  | 0.2597  | 0.7970  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0182    | 0.0182     | 0.3334       | 0.0278  | 0.1212  | 0.3791  | 0.4007      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0201    | 0.0201     | 0.6451       | 0.0332  | 0.2111  | 0.5785  | 0.6118      | 0.1659     | -           |
| cost sensitive | 0.1143    | 0.1143     | 0.8448       | 0.0966  | 0.5206  | 0.9676  | 0.8671      | 0.2410     | 0.4683      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1211    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1851    | 0.1851     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0169    | 0.0169     | 0.5018       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0721    | 0.0721     | 0.9671       | 0.6146  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.2041    | 0.2041     | 0.8831       | 0.4067  | 0.7571  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
|----------------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|------------|
| over random    | 0.0094 | 0.0094  | 0.0095      | 0.0167 | 0.0170 | 0.0168 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0167 | 0.0167  | 0.0213      | 0.0342 | 0.0297 | 0.0323 | 0.0348     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0030 | 0.0030  | 0.0010      | 0.0061 | 0.0040 | 0.0028 | 0.5616     | 0.9906    | -          |
| cost sensitive | 0.0162 | 0.0162  | 0.0404      | 0.0415 | 0.0167 | 0.0214 | 0.4316     | 0.7683    | 0.7865     |
| RECALL         |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0009 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.1778 | 0.1778  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0161 | 0.0161  | 0.1778      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0705 | 0.0705  | 0.6213      | 0.6213 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.1778 | 0.1778  | 1.0000      | 0.1778 | 0.3739 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0000 | 0.0000  | 0.1008      | 0.4734 | 0.1802 | 0.0721 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0196 | 0.0196  | 0.2980      | 0.8466 | 0.7174 | 0.4300 | 0.2962     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0002 | 0.0002  | 0.0777      | 0.3739 | 0.2980 | 0.0777 | 0.7040     | 0.4263    | -          |
| cost sensitive | 0.0000 | 0.0000  | 0.0705      | 0.3739 | 0.1778 | 0.0705 | 0.3739     | 0.2420    | 0.3739     |
| F1-SCORE       |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0837 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.1848 | 0.18479 | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0168 | 0.01684 | 0.490806464 | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.072  | 0.07201 | 0.95946916  | 0.6147 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.2031 | 0.20307 | 0.884195069 | 0.3987 | 0.7459 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0087 | 0.0087  | 0.00926533  | 0.017  | 0.0171 | 0.0171 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0168 | 0.01684 | 0.022862023 | 0.0374 | 0.0318 | 0.0346 | 0.03339893 | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0024 | 0.00238 | 0.000621374 | 0.0052 | 0.0035 | 0.0023 | 0.61030551 | 0.9465265 | -          |
| cost sensitive | 0.0139 | 0.01389 | 0.039105732 | 0.0397 | 0.0143 | 0.019  | 0.46053568 | 0.8165393 | 0.78983727 |
| AUC            |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.2278 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.1131 | 0.1302  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 1        | 0.0285 | 0.0293 | 0.0447 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.3699 | 0.3173 | 0.1089 | 0.0236 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2053 | 0.2081 | 0.5322 | 0.0878 | 0.1975 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2578 | 0.2947 | 0.8470 | 0.0334 | 0.2050 | 0.5224 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.2890 | 0.2969 | 0.3611 | 0.2522 | 0.2744 | 0.6951 | 0.2989 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1819 | 0.2828 | 0.4254 | 0.0354 | 0.0447 | 0.3566 | 0.5680 | 0.3417 | -      |
| cost sensitive | 0.0147 | 0.0116 | 0.1617 | 0.0306 | 0.1908 | 0.2264 | 0.3401 | 0.3062 | 0.3934 |

Πίνακας 8.59: Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0692    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.3739    | 0.3739     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0705    | 0.0705     | 0.3669       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1650    | 0.1650     | 0.6964       | 0.5028  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0161    | 0.0161     | 0.0669       | 0.6182  | 0.0691  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0196    | 0.0196     | 0.8224       | 0.1152  | 0.4294  | 0.0331  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0504    | 0.0504     | 0.7910       | 0.1698  | 0.3711  | 0.0463  | 0.9985      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0000    | 0.0000     | 0.9116       | 0.1578  | 0.5013  | 0.0320  | 0.4184      | 0.5895     | -           |
| cost sensitive | 0.0103    | 0.0103     | 0.9736       | 0.2278  | 0.5109  | 0.0384  | 0.3249      | 0.2072     | 0.5038      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2093    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.3739    | 0.3739     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0705    | 0.0705     | 0.3470       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1438    | 0.1438     | 0.1902       | 0.3904  | -       | -       | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under random   | 0.0009 | 0.0005 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0003 | 0.0004 | 0.0005 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0613 | 0.4208 | 0.2076 | 0.0003 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0384 | 0.0443 | 0.0760 | 0.0053 | 0.0502 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2738 | 0.3627 | 0.6356 | 0.0009 | 0.4449 | 0.2289 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8477 | 0.7025 | 0.1288 | 0.0001 | 0.3775 | 0.0676 | 0.3252 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.6219 | 0.2718 | 0.0380 | 0.0002 | 0.0242 | 0.0376 | 0.2844 | 0.4913 | -      |
| cost sensitive | 0.0057 | 0.9550 | 0.0056 | 0.0004 | 0.2717 | 0.0430 | 0.3650 | 0.6872 | 0.1885 |

Πίνακας 8.60: Ασθενής 6: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 7

245

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 96.757   | 0.533     | 0.095  | 0.153    | 0.949 |
|                               | std  | 0.214    | 0.452     | 0.095  | 0.147    | 0.020 |
| classic 0.2                   | mean | 96.546   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.944 |
|                               | std  | 0.102    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.019 |
| under random                  | mean | 71.732   | 0.100     | 0.630  | 0.158    | 0.907 |
|                               | std  | 27.633   | 0.084     | 0.368  | 0.118    | 0.041 |
| Near Miss 1                   | mean | 66.778   | 0.018     | 0.400  | 0.034    | 0.889 |
|                               | std  | 38.311   | 0.023     | 0.490  | 0.043    | 0.046 |
| Near Miss 2                   | mean | 85.670   | 0.078     | 0.456  | 0.128    | 0.865 |
|                               | std  | 11.856   | 0.071     | 0.401  | 0.110    | 0.076 |
| Near Miss 3                   | mean | 93.430   | 0.028     | 0.175  | 0.049    | 0.927 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 5.876  | 0.057 | 0.350 | 0.097 | 0.028 |
| over random                 | mean | 88.881 | 0.225 | 0.853 | 0.355 | 0.930 |
|                             | std  | 2.794  | 0.043 | 0.050 | 0.057 | 0.014 |
| SMOTE                       | mean | 86.857 | 0.199 | 0.879 | 0.321 | 0.939 |
|                             | std  | 2.661  | 0.034 | 0.076 | 0.043 | 0.012 |
| BSMOTE                      | mean | 69.636 | 0.151 | 0.878 | 0.251 | 0.904 |
|                             | std  | 33.044 | 0.060 | 0.084 | 0.094 | 0.051 |
| Cost Sensitive              | mean | 82.265 | 0.156 | 0.917 | 0.265 | 0.939 |
|                             | std  | 2.928  | 0.016 | 0.088 | 0.019 | 0.020 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 93.549 | 0.433 | 0.077 | 0.129 | 0.903 |
|                             | std  | 0.435  | 0.389 | 0.063 | 0.106 | 0.025 |
| classic 0.2                 | mean | 93.294 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.896 |
|                             | std  | 0.102  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.024 |
| under random                | mean | 59.296 | 0.149 | 0.880 | 0.246 | 0.850 |
|                             | std  | 17.702 | 0.051 | 0.131 | 0.060 | 0.012 |
| Near Miss 1                 | mean | 89.561 | 0.331 | 0.348 | 0.291 | 0.826 |
|                             | std  | 3.434  | 0.110 | 0.168 | 0.096 | 0.037 |
| Near Miss 2                 | mean | 91.892 | 0.515 | 0.148 | 0.156 | 0.815 |
|                             | std  | 3.120  | 0.376 | 0.166 | 0.127 | 0.043 |
| Near Miss 3                 | mean | 91.935 | 0.390 | 0.302 | 0.288 | 0.870 |
|                             | std  | 2.910  | 0.232 | 0.247 | 0.152 | 0.028 |
| over random                 | mean | 78.354 | 0.223 | 0.887 | 0.355 | 0.914 |
|                             | std  | 3.528  | 0.025 | 0.149 | 0.040 | 0.033 |
| SMOTE                       | mean | 81.325 | 0.257 | 0.918 | 0.401 | 0.921 |
|                             | std  | 3.030  | 0.031 | 0.042 | 0.037 | 0.018 |
| BSMOTE                      | mean | 65.442 | 0.211 | 0.899 | 0.329 | 0.801 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 29.709 | 0.083 | 0.091 | 0.110 | 0.221 |
| Cost Sensitive              | mean | 63.489 | 0.188 | 0.862 | 0.297 | 0.750 |
|                             | std  | 28.978 | 0.068 | 0.126 | 0.092 | 0.295 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 89.052 | 0.315 | 0.047 | 0.082 | 0.831 |
|                             | std  | 0.585  | 0.315 | 0.051 | 0.087 | 0.026 |
| classic 0.2                 | mean | 88.966 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.849 |
|                             | std  | 0.086  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.042 |
| under random                | mean | 70.302 | 0.245 | 0.722 | 0.356 | 0.808 |
|                             | std  | 9.643  | 0.045 | 0.165 | 0.037 | 0.040 |
| Near Miss 1                 | mean | 78.922 | 0.303 | 0.633 | 0.401 | 0.819 |
|                             | std  | 5.351  | 0.047 | 0.133 | 0.047 | 0.012 |
| Near Miss 2                 | mean | 77.198 | 0.281 | 0.427 | 0.247 | 0.789 |
|                             | std  | 17.592 | 0.195 | 0.348 | 0.164 | 0.024 |
| Near Miss 3                 | mean | 75.948 | 0.259 | 0.463 | 0.230 | 0.808 |
|                             | std  | 13.392 | 0.196 | 0.360 | 0.153 | 0.018 |
| over random                 | mean | 76.293 | 0.305 | 0.863 | 0.449 | 0.875 |
|                             | std  | 3.979  | 0.039 | 0.050 | 0.046 | 0.026 |
| SMOTE                       | mean | 65.603 | 0.296 | 0.855 | 0.423 | 0.871 |
|                             | std  | 27.935 | 0.124 | 0.093 | 0.144 | 0.033 |
| BSMOTE                      | mean | 65.216 | 0.228 | 0.882 | 0.362 | 0.845 |
|                             | std  | 5.165  | 0.030 | 0.060 | 0.042 | 0.047 |
| Cost Sensitive              | mean | 70.172 | 0.246 | 0.812 | 0.377 | 0.822 |
|                             | std  | 3.973  | 0.018 | 0.061 | 0.019 | 0.016 |

Πίνακας 8.61: Ασθενής 7: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2300    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1425    | 0.1477     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1931    | 0.1948     | 0.8367       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1344    | 0.1417     | 0.2914       | 0.4042  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.3166    | 0.3517     | 0.2188       | 0.2634  | 0.3759  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0043    | 0.0057     | 0.2864       | 0.3207  | 0.6587  | 0.0528  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0013    | 0.0022     | 0.3023       | 0.3626  | 0.8393  | 0.0793  | 0.2276      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.1776    | 0.1781     | 0.9397       | 0.8124  | 0.4366  | 0.2441  | 0.3187      | 0.3789     | -           |
| cost sensitive | 0.0005    | 0.0007     | 0.4505       | 0.4551  | 0.5250  | 0.0361  | 0.0351      | 0.0128     | 0.4922      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0777    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1385    | 0.0766     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0875    | 0.1890     | 0.1812       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1008    | 0.0922     | 0.7849       | 0.0991  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1071    | 0.3739     | 0.1942       | 0.7775  | 0.4264  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.2130    | 0.0004     | 0.0650       | 0.0008  | 0.0083  | 0.0153  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.1933    | 0.0003     | 0.0907       | 0.0009  | 0.0238  | 0.0136  | 0.1314      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.1909    | 0.0073     | 0.2640       | 0.0167  | 0.2766  | 0.0380  | 0.1491      | 0.3313     | -           |
| cost sensitive | 0.1686    | 0.0000     | 0.1999       | 0.0013  | 0.1259  | 0.0099  | 0.0371      | 0.0433     | 0.8793      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1174    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0669    | 0.0267     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2929    | 0.1778     | 0.5426       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1764    | 0.0853     | 0.4464       | 0.8353  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.7131    | 0.3739     | 0.1614       | 0.5600  | 0.4461  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0001 | 0.0000 | 0.3294 | 0.1117 | 0.1131 | 0.0221 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0005 | 0.0000 | 0.1862 | 0.1103 | 0.0699 | 0.0224 | 0.5927 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0003 | 0.0000 | 0.2847 | 0.0840 | 0.0756 | 0.0228 | 0.3580 | 0.9761 | -      |
| cost sensitive | 0.0008 | 0.0000 | 0.1556 | 0.0965 | 0.0547 | 0.0134 | 0.2813 | 0.2952 | 0.4400 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1052 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.9553 | 0.0548 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2112 | 0.1881 | 0.1798 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.7918 | 0.0811 | 0.7990 | 0.0873 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3851 | 0.3739 | 0.1769 | 0.8227 | 0.4400 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0226 | 0.0002 | 0.0515 | 0.0006 | 0.0074 | 0.0156 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0342 | 0.0001 | 0.0629 | 0.0006 | 0.0215 | 0.0132 | 0.1150 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4110 | 0.0060 | 0.1571 | 0.0170 | 0.2326 | 0.0370 | 0.1767 | 0.3238 | -      |
| cost sensitive | 0.1742 | 0.0000 | 0.1125 | 0.0013 | 0.0907 | 0.0096 | 0.0440 | 0.0447 | 0.7855 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0759 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0566 | 0.0722 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0673 | 0.0764 | 0.4891 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0727 | 0.0848 | 0.1176 | 0.4959 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0128 | 0.0601 | 0.3133 | 0.1903 | 0.1503 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2577 | 0.3862 | 0.3378 | 0.2087 | 0.1626 | 0.8701 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1915 | 0.4311 | 0.1001 | 0.0985 | 0.0935 | 0.3619 | 0.3881 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0559 | 0.0872 | 0.9138 | 0.7114 | 0.4261 | 0.1941 | 0.3932 | 0.1895 | -      |
| cost sensitive | 0.1501 | 0.3079 | 0.1528 | 0.1119 | 0.1247 | 0.2549 | 0.5879 | 0.9887 | 0.1130 |

Πίνακας 8.62: Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για οριζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2080    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0178    | 0.0184     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0742    | 0.0948     | 0.0244       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.3619    | 0.4263     | 0.0229       | 0.2372  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.3160    | 0.3990     | 0.0314       | 0.4293  | 0.9857  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0008    | 0.0010     | 0.1295       | 0.0132  | 0.0105  | 0.0006  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0012    | 0.0014     | 0.0724       | 0.0018  | 0.0002  | 0.0075  | 0.3219      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.1304    | 0.1338     | 0.7982       | 0.2018  | 0.1567  | 0.1193  | 0.4008      | 0.3523     | -           |
| cost sensitive | 0.1081    | 0.1094     | 0.8377       | 0.1374  | 0.0945  | 0.1208  | 0.3901      | 0.2533     | 0.9297      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0897    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.2026    | 0.0041     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.5673    | 0.0039     | 0.0392       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.7538    | 0.0517     | 0.1187       | 0.3690  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.8933    | 0.0284     | 0.1342       | 0.7388  | 0.6491  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.3223    | 0.0001     | 0.0668       | 0.1264  | 0.1984  | 0.2422  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.4023    | 0.0001     | 0.0190       | 0.1463  | 0.2289  | 0.3574  | 0.1995      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.3689    | 0.0071     | 0.4044       | 0.1923  | 0.2030  | 0.1357  | 0.7852      | 0.3861     | -           |
| cost sensitive | 0.3170    | 0.0051     | 0.4780       | 0.0676  | 0.1436  | 0.1442  | 0.4680      | 0.0789     | 0.6101      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0705    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0007    | 0.0002     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0643    | 0.0145     | 0.0002       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.3432    | 0.1488     | 0.0017       | 0.1443  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1368    | 0.0711     | 0.0329       | 0.8161  | 0.3940  | -       | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0002 | 0.0003 | 0.9575 | 0.0147 | 0.0010 | 0.0151 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.6475 | 0.0036 | 0.0003 | 0.0074 | 0.6145 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.8596 | 0.0092 | 0.0003 | 0.0054 | 0.8392 | 0.5543 | -      |
| cost sensitive | 0.0000 | 0.0002 | 0.8774 | 0.0149 | 0.0002 | 0.0125 | 0.5797 | 0.2576 | 0.2395 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0712 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0429 | 0.0012 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1274 | 0.0037 | 0.5914 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.4496 | 0.0689 | 0.2197 | 0.1545 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2081 | 0.0191 | 0.6141 | 0.9810 | 0.3541 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0052 | 0.0001 | 0.0278 | 0.2658 | 0.0118 | 0.4866 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0056 | 0.0000 | 0.0097 | 0.1033 | 0.0166 | 0.2792 | 0.1797 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1121 | 0.0040 | 0.3837 | 0.1468 | 0.1366 | 0.7029 | 0.6862 | 0.3246 | -      |
| cost sensitive | 0.1326 | 0.0029 | 0.4681 | 0.9252 | 0.2263 | 0.9325 | 0.4039 | 0.0579 | 0.6469 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0308 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0119 | 0.0142 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0116 | 0.0126 | 0.1345 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0123 | 0.0137 | 0.0924 | 0.0384 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0789 | 0.1515 | 0.2088 | 0.0609 | 0.0386 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0591 | 0.0356 | 0.0171 | 0.0121 | 0.0120 | 0.0527 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.1310 | 0.0568 | 0.0015 | 0.0031 | 0.0040 | 0.0112 | 0.6338 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4091 | 0.4307 | 0.6754 | 0.8271 | 0.9080 | 0.6005 | 0.3696 | 0.3439 | -      |
| cost sensitive | 0.3680 | 0.3875 | 0.5354 | 0.6281 | 0.6784 | 0.4525 | 0.3418 | 0.2962 | 0.8185 |

Πίνακας 8.63: Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.7572    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0157    | 0.0177     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0228    | 0.0203     | 0.1240       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.2464    | 0.2526     | 0.3896       | 0.8403  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.1256    | 0.1247     | 0.6121       | 0.7377  | 0.9142  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0029    | 0.0030     | 0.3285       | 0.5525  | 0.9330  | 0.9602  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.1678    | 0.1701     | 0.7164       | 0.3618  | 0.1067  | 0.5192  | 0.5170      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0011    | 0.0008     | 0.4710       | 0.0052  | 0.2971  | 0.2111  | 0.0302      | 0.9804     | -           |
| cost sensitive | 0.0004    | 0.0006     | 0.9720       | 0.0625  | 0.4748  | 0.5047  | 0.0419      | 0.7614     | 0.2837      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1164    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.6784    | 0.0004     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.9441    | 0.0002     | 0.0532       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.8761    | 0.0452     | 0.7253       | 0.7832  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.8190    | 0.0575     | 0.9018       | 0.6400  | 0.7245  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.9533    | 0.0001     | 0.1619       | 0.9721  | 0.8402  | 0.6859  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.9061    | 0.0087     | 0.4864       | 0.9123  | 0.8767  | 0.7219  | 0.9111      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.6348    | 0.0001     | 0.6089       | 0.0292  | 0.5819  | 0.7301  | 0.0357      | 0.3247     | -           |
| cost sensitive | 0.6825    | 0.0000     | 0.9519       | 0.1036  | 0.7535  | 0.9089  | 0.0369      | 0.4726     | 0.4530      |
| RECALL         |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1367    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0025    | 0.0009     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0006    | 0.0007     | 0.3878       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1142    | 0.0701     | 0.1764       | 0.3264  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0915    | 0.0619     | 0.2876       | 0.4439  | 0.7310  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0000 | 0.0000 | 0.1153 | 0.0200 | 0.0757 | 0.1147 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0001 | 0.0001 | 0.0891 | 0.0100 | 0.0684 | 0.1210 | 0.8008 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.0720 | 0.0239 | 0.0768 | 0.1105 | 0.2976 | 0.5292 | -      |
| cost sensitive | 0.0001 | 0.0000 | 0.2620 | 0.0764 | 0.1201 | 0.1644 | 0.0888 | 0.4084 | 0.0009 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1347 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0047 | 0.0000 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0020 | 0.0001 | 0.1459 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1834 | 0.0390 | 0.1846 | 0.1203 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2461 | 0.0399 | 0.1558 | 0.1018 | 0.7365 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0031 | 0.0000 | 0.0669 | 0.3425 | 0.0925 | 0.0437 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0096 | 0.0042 | 0.4158 | 0.7773 | 0.2652 | 0.2469 | 0.7674 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0102 | 0.0001 | 0.8598 | 0.2440 | 0.2505 | 0.1596 | 0.0450 | 0.4364 | -      |
| cost sensitive | 0.0022 | 0.0000 | 0.3192 | 0.4824 | 0.1912 | 0.1363 | 0.0339 | 0.5475 | 0.6095 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1909 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.1613 | 0.1436 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3413 | 0.2364 | 0.5213 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0319 | 0.0533 | 0.2074 | 0.0201 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0568 | 0.0985 | 0.9823 | 0.1169 | 0.1783 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0236 | 0.1586 | 0.0488 | 0.0234 | 0.0159 | 0.0072 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0652 | 0.1568 | 0.0807 | 0.0549 | 0.0153 | 0.0323 | 0.8396 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3412 | 0.8351 | 0.0245 | 0.2555 | 0.0316 | 0.0956 | 0.2803 | 0.3616 | -      |
| cost sensitive | 0.5257 | 0.2245 | 0.6116 | 0.8226 | 0.1382 | 0.2629 | 0.0050 | 0.0255 | 0.4122 |

Πίνακας 8.64: Ασθενής 7: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 8

254

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 99.469   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.954 |
|                               | std  | 0.001    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.037 |
| classic 0.2                   | mean | 99.469   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.957 |
|                               | std  | 0.001    | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.035 |
| under random                  | mean | 59.894   | 0.102     | 0.500  | 0.104    | 0.950 |
|                               | std  | 48.469   | 0.199     | 0.447  | 0.198    | 0.035 |
| Near Miss 1                   | mean | 44.243   | 0.004     | 0.600  | 0.008    | 0.509 |
|                               | std  | 40.668   | 0.003     | 0.490  | 0.007    | 0.220 |
| Near Miss 2                   | mean | 42.653   | 0.003     | 0.500  | 0.005    | 0.611 |
|                               | std  | 46.196   | 0.002     | 0.447  | 0.005    | 0.229 |
| Near Miss 3                   | mean | 59.574   | 0.022     | 0.500  | 0.038    | 0.824 |
|                               | std  | 47.999   | 0.039     | 0.447  | 0.065    | 0.142 |
| over random                   | mean | 88.740   | 0.039     | 0.800  | 0.073    | 0.948 |
|                               | std  | 2.756    | 0.015     | 0.245  | 0.028    | 0.020 |
| SMOTE                         | mean | 71.765   | 0.035     | 0.800  | 0.065    | 0.769 |
|                               | std  | 35.741   | 0.024     | 0.245  | 0.045    | 0.382 |
| BSMOTE                        | mean | 71.341   | 0.034     | 0.900  | 0.066    | 0.941 |
|                               | std  | 35.420   | 0.018     | 0.200  | 0.034    | 0.026 |
| Cost Sensitive                | mean | 67.514   | 0.028     | 1.000  | 0.054    | 0.945 |
|                               | std  | 33.584   | 0.012     | 0.000  | 0.023    | 0.033 |
| Prediction Horizon 12 (1 h)   |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 98.805   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.944 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 0.132  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.015 |
| classic 0.2                 | mean | 98.805 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.945 |
|                             | std  | 0.132  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.015 |
| under random                | mean | 48.751 | 0.009 | 0.600 | 0.017 | 0.938 |
|                             | std  | 43.632 | 0.008 | 0.490 | 0.015 | 0.015 |
| Near Miss 1                 | mean | 41.251 | 0.007 | 0.600 | 0.014 | 0.781 |
|                             | std  | 47.014 | 0.006 | 0.490 | 0.012 | 0.157 |
| Near Miss 2                 | mean | 40.325 | 0.008 | 0.600 | 0.015 | 0.796 |
|                             | std  | 47.837 | 0.006 | 0.490 | 0.012 | 0.174 |
| Near Miss 3                 | mean | 59.782 | 0.005 | 0.400 | 0.010 | 0.486 |
|                             | std  | 47.815 | 0.006 | 0.490 | 0.012 | 0.361 |
| over random                 | mean | 87.287 | 0.097 | 0.860 | 0.169 | 0.946 |
|                             | std  | 8.537  | 0.033 | 0.196 | 0.052 | 0.016 |
| SMOTE                       | mean | 91.636 | 0.083 | 0.760 | 0.149 | 0.942 |
|                             | std  | 3.757  | 0.043 | 0.388 | 0.078 | 0.015 |
| BSMOTE                      | mean | 89.894 | 0.115 | 1.000 | 0.204 | 0.944 |
|                             | std  | 2.664  | 0.044 | 0.000 | 0.067 | 0.016 |
| Cost Sensitive              | mean | 65.281 | 0.054 | 1.000 | 0.102 | 0.943 |
|                             | std  | 32.324 | 0.028 | 0.000 | 0.051 | 0.010 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 97.382 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.933 |
|                             | std  | 0.111  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.013 |
| classic 0.2                 | mean | 97.382 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.934 |
|                             | std  | 0.111  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.013 |
| under random                | mean | 40.854 | 0.015 | 0.600 | 0.030 | 0.931 |
|                             | std  | 46.092 | 0.013 | 0.490 | 0.025 | 0.016 |
| Near Miss 1                 | mean | 59.433 | 0.010 | 0.400 | 0.020 | 0.326 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | std  | 46.434 | 0.013 | 0.490 | 0.024 | 0.191 |
| Near Miss 2    | mean | 21.649 | 0.021 | 0.800 | 0.041 | 0.873 |
|                | std  | 37.893 | 0.011 | 0.400 | 0.021 | 0.032 |
| Near Miss 3    | mean | 78.408 | 0.005 | 0.200 | 0.010 | 0.933 |
|                | std  | 37.922 | 0.010 | 0.400 | 0.020 | 0.018 |
| over random    | mean | 68.052 | 0.123 | 0.980 | 0.214 | 0.920 |
|                | std  | 32.912 | 0.056 | 0.040 | 0.092 | 0.019 |
| SMOTE          | mean | 88.505 | 0.127 | 0.758 | 0.216 | 0.885 |
|                | std  | 4.994  | 0.066 | 0.382 | 0.111 | 0.119 |
| BSMOTE         | mean | 49.084 | 0.081 | 1.000 | 0.147 | 0.930 |
|                | std  | 38.022 | 0.046 | 0.000 | 0.080 | 0.017 |
| Cost Sensitive | mean | 86.616 | 0.125 | 0.587 | 0.197 | 0.914 |
|                | std  | 13.440 | 0.081 | 0.354 | 0.124 | 0.039 |

Πίνακας 8.65: Ασθενής 8: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0835    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.1778    | 0.1778     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0532    | 0.0532     | 0.6599       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0697    | 0.0697     | 0.6657       | 0.8643  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.1718    | 0.1718     | 0.9922       | 0.6487  | 0.6708  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0015    | 0.0015     | 0.3030       | 0.1044  | 0.1299  | 0.2886  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.1960    | 0.1960     | 0.7485       | 0.4560  | 0.4785  | 0.5451  | 0.3738      | -          | -           |
| over bsmote  | 0.1874    | 0.1874     | 0.7604       | 0.4588  | 0.4795  | 0.5672  | 0.3598      | 0.6908     | -           |

|                |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
|----------------|--------|---------|-------------|--------|--------|--------|------------|-----------|------------|
| cost sensitive | 0.1298 | 0.1298  | 0.8347      | 0.4178 | 0.3287 | 0.8323 | 0.2968     | 0.8885    | 0.8976     |
| PRECISION      |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0473 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.3626 | 0.36262 | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0837 | 0.08369 | 0.373963823 | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0847 | 0.08469 | 0.371454499 | 0.1834 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.32   | 0.31996 | 0.494474337 | 0.4239 | 0.3932 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0066 | 0.00656 | 0.532232059 | 0.0048 | 0.0054 | 0.5476 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0457 | 0.0457  | 0.490381044 | 0.0433 | 0.0458 | 0.6617 | 0.6141512  | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0191 | 0.01913 | 0.517935735 | 0.0156 | 0.0163 | 0.642  | 0.61483293 | 0.9845621 | -          |
| cost sensitive | 0.0103 | 0.01031 | 0.519185259 | 0.0295 | 0.0209 | 0.7948 | 0.44066041 | 0.7225499 | 0.64716956 |
| RECALL         |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0483 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.0890 | 0.0890  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0705 | 0.0705  | 0.7780      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0890 | 0.0890  | 1.0000      | 0.3739 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.0890 | 0.0890  | 1.0000      | 0.8149 | 1.0000 | -      | -          | -         | -          |
| over random    | 0.0028 | 0.0028  | 0.4263      | 0.4766 | 0.2080 | 0.3739 | -          | -         | -          |
| over smote     | 0.0028 | 0.0028  | 0.3046      | 0.4766 | 0.3046 | 0.2080 | 1.0000     | -         | -          |
| over bsmote    | 0.0008 | 0.0008  | 0.2420      | 0.2080 | 0.0993 | 0.1778 | 0.3739     | 0.3739    | -          |
| cost sensitive | 0.0000 | 0.0000  | 0.0890      | 0.1778 | 0.0890 | 0.0890 | 0.1778     | 0.1778    | 0.3739     |
| F1-SCORE       |        |         |             |        |        |        |            |           |            |
| classic 02     | 0.0537 | -       | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under random   | 0.3517 | 0.3517  | -           | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 1        | 0.0835 | 0.0835  | 0.3742      | -      | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 2        | 0.0847 | 0.0847  | 0.3691      | 0.1831 | -      | -      | -          | -         | -          |
| under 3        | 0.3103 | 0.3103  | 0.5847      | 0.4343 | 0.3975 | -      | -          | -         | -          |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.0061 | 0.0061 | 0.7419 | 0.0044 | 0.0049 | 0.4513 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0429 | 0.0429 | 0.6526 | 0.0400 | 0.0427 | 0.5758 | 0.5931 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0186 | 0.0186 | 0.6984 | 0.0149 | 0.0157 | 0.5407 | 0.6295 | 0.9696 | -      |
| cost sensitive | 0.0100 | 0.0100 | 0.6715 | 0.0296 | 0.0207 | 0.6616 | 0.4559 | 0.7480 | 0.6634 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1448 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.6939 | 0.4537 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0161 | 0.0152 | 0.0126 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0530 | 0.0508 | 0.0580 | 0.6234 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1875 | 0.1732 | 0.1993 | 0.0763 | 0.0325 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.6732 | 0.4722 | 0.8711 | 0.0140 | 0.0481 | 0.1687 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.3997 | 0.3920 | 0.3905 | 0.1468 | 0.5888 | 0.8241 | 0.3989 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3177 | 0.1921 | 0.4008 | 0.0154 | 0.0513 | 0.1939 | 0.1908 | 0.4183 | -      |
| cost sensitive | 0.4234 | 0.2740 | 0.1494 | 0.0135 | 0.0600 | 0.2169 | 0.7101 | 0.3993 | 0.7173 |

Πίνακας 8.66: Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0054    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0835    | 0.0835     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.0707    | 0.0707     | 0.7772       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0705    | 0.0705     | 0.7494       | 0.9775  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.1778    | 0.1778     | 0.7525       | 0.6331  | 0.3739  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.0549    | 0.0549     | 0.1630       | 0.1552  | 0.1577  | 0.3606  | -           | -          | -           |
| over smote   | 0.0181    | 0.0181     | 0.1347       | 0.1033  | 0.1072  | 0.2749  | 0.3380      | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over bsmote    | 0.0028 | 0.0028 | 0.1213 | 0.0949 | 0.1077 | 0.2839 | 0.6158 | 0.5461 | -      |
| cost sensitive | 0.1072 | 0.1072 | 0.4384 | 0.3543 | 0.3629 | 0.7933 | 0.2965 | 0.2169 | 0.1887 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.8116 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0832 | 0.0832 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0748 | 0.0748 | 0.7743 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0728 | 0.0728 | 0.8428 | 0.9252 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1812 | 0.1812 | 0.5422 | 0.6592 | 0.3739 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0043 | 0.0043 | 0.0090 | 0.0041 | 0.0034 | 0.0037 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0190 | 0.0190 | 0.0307 | 0.0323 | 0.0281 | 0.0265 | 0.6916 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0062 | 0.0062 | 0.0110 | 0.0109 | 0.0066 | 0.0056 | 0.5398 | 0.1482 | -      |
| cost sensitive | 0.0176 | 0.0176 | 0.0397 | 0.0293 | 0.0234 | 0.0290 | 0.1181 | 0.1159 | 0.0322 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0035 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0705 | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0705 | 0.0705 | 1.0000 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0705 | 0.0705 | 1.0000 | 1.0000 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.1778 | 0.1778 | 0.6213 | 0.6213 | 0.3739 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0009 | 0.0009 | 0.4035 | 0.4035 | 0.4521 | 0.2406 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0173 | 0.0173 | 0.6965 | 0.6965 | 0.6965 | 0.4047 | 0.4456 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.1778 | 0.1778 | 0.1778 | 0.0705 | 0.2262 | 0.2835 | -      |
| cost sensitive | 0.0000 | 0.0000 | 0.1778 | 0.1778 | 0.1778 | 0.0705 | 0.2262 | 0.2835 | 0.5282 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0081 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0829 | 0.0829 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0746 | 0.0746 | 0.7772 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0728 | 0.0728 | 0.8452 | 0.9260 | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 3        | 0.1811 | 0.1811 | 0.5434 | 0.6588 | 0.3739 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0029 | 0.0029 | 0.0075 | 0.0025 | 0.0020 | 0.0025 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0186 | 0.0186 | 0.0317 | 0.0334 | 0.0291 | 0.0271 | 0.7296 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0037 | 0.0037 | 0.0074 | 0.0075 | 0.0039 | 0.0032 | 0.4452 | 0.1464 | -      |
| cost sensitive | 0.0158 | 0.0158 | 0.0384 | 0.0278 | 0.0219 | 0.0275 | 0.1124 | 0.1325 | 0.0253 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0229 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.2502 | 0.1807 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1133 | 0.1117 | 0.1206 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.1843 | 0.1806 | 0.1942 | 0.9255 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0628 | 0.0620 | 0.0680 | 0.2269 | 0.2092 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.8642 | 0.9432 | 0.5725 | 0.1221 | 0.1393 | 0.0655 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.8942 | 0.8172 | 0.7653 | 0.0894 | 0.1803 | 0.0663 | 0.7560 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.9668 | 0.9228 | 0.6114 | 0.0927 | 0.1906 | 0.0625 | 0.8904 | 0.7821 | -      |
| cost sensitive | 0.9613 | 0.6699 | 0.3053 | 0.1111 | 0.1792 | 0.0645 | 0.8210 | 0.8831 | 0.9441 |

Πίνακας 8.67: Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|              | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|--------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY     |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02   | 0.0859    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random | 0.0705    | 0.0705     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1      | 0.1778    | 0.1778     | 0.6264       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2      | 0.0161    | 0.0161     | 0.6159       | 0.3755  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3      | 0.3739    | 0.3739     | 0.1778       | 0.3739  | 0.2087  | -       | -           | -          | -           |
| over random  | 0.1495    | 0.1495     | 0.2792       | 0.6828  | 0.2596  | 0.0278  | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.0229 | 0.0229 | 0.1235 | 0.2605 | 0.0290 | 0.6073 | 0.2640 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0641 | 0.0641 | 0.8132 | 0.0739 | 0.4661 | 0.1548 | 0.3230 | 0.0928 | -      |
| cost sensitive | 0.1849 | 0.1849 | 0.1063 | 0.3591 | 0.0249 | 0.7226 | 0.3777 | 0.8420 | 0.1679 |
| PRECISION      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.1182 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0705 | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1778 | 0.1778 | 0.6172 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0164 | 0.0164 | 0.6031 | 0.3601 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3739 | 0.3739 | 0.1778 | 0.3739 | 0.2005 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0114 | 0.0114 | 0.0258 | 0.0199 | 0.0121 | 0.0218 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0186 | 0.0186 | 0.0346 | 0.0210 | 0.0362 | 0.0208 | 0.9323 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0236 | 0.0236 | 0.0411 | 0.0711 | 0.0395 | 0.0442 | 0.2436 | 0.3864 | -      |
| cost sensitive | 0.0371 | 0.0371 | 0.0742 | 0.0355 | 0.0690 | 0.0391 | 0.9759 | 0.9741 | 0.5014 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0379 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0705 | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1778 | 0.1778 | 0.6213 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0161 | 0.0161 | 0.6213 | 0.3739 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3739 | 0.3739 | 0.1778 | 0.3739 | 0.2080 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0000 | 0.0000 | 0.1786 | 0.0710 | 0.4314 | 0.0164 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0166 | 0.0166 | 0.6896 | 0.1778 | 0.9006 | 0.0712 | 0.3194 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.1778 | 0.0705 | 0.3739 | 0.0161 | 0.3739 | 0.2733 | -      |
| cost sensitive | 0.0295 | 0.0295 | 0.9715 | 0.5338 | 0.4225 | 0.2567 | 0.0923 | 0.6217 | 0.0798 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0509 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0705 | 0.0705 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1778 | 0.1778 | 0.6173 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0164 | 0.0164 | 0.6036 | 0.3604 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3739 | 0.3739 | 0.1778 | 0.3739 | 0.2007 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0095 | 0.0095 | 0.0247 | 0.0189 | 0.0096 | 0.0206 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0178 | 0.0178 | 0.0372 | 0.0202 | 0.0391 | 0.0200 | 0.9781 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0209 | 0.0209 | 0.0393 | 0.0710 | 0.0368 | 0.0423 | 0.2541 | 0.4377 | -      |
| cost sensitive | 0.0341 | 0.0341 | 0.0821 | 0.0326 | 0.0731 | 0.0379 | 0.8373 | 0.8083 | 0.6255 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.2165 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3570 | 0.2907 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.0038 | 0.0037 | 0.0039 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0411 | 0.0388 | 0.0551 | 0.0054 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.9094 | 0.8394 | 0.8127 | 0.0043 | 0.0318 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2875 | 0.2601 | 0.3864 | 0.0034 | 0.1042 | 0.2986 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.4455 | 0.4418 | 0.4798 | 0.0184 | 0.8484 | 0.4219 | 0.5897 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.5656 | 0.4947 | 0.9262 | 0.0039 | 0.0653 | 0.7348 | 0.2465 | 0.4733 | -      |
| cost sensitive | 0.2774 | 0.2703 | 0.3167 | 0.0042 | 0.2876 | 0.4220 | 0.7999 | 0.6793 | 0.3955 |

Πίνακας 8.68: Ασθενής 8: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24

## Ασθενής 9

|                               |      | Accuracy | Precision | Recall | F1-score | AUC   |
|-------------------------------|------|----------|-----------|--------|----------|-------|
| Prediction Horizon 6 (30 min) |      |          |           |        |          |       |
| classic 0                     | mean | 96.835   | 0.500     | 0.058  | 0.100    | 0.950 |
|                               | std  | 0.189    | 0.447     | 0.054  | 0.087    | 0.004 |
| classic 0.2                   | mean | 96.741   | 0.000     | 0.000  | 0.000    | 0.940 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 0.093  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.007 |
| under random                | mean | 53.900 | 0.031 | 0.586 | 0.059 | 0.915 |
|                             | std  | 42.268 | 0.033 | 0.479 | 0.060 | 0.024 |
| Near Miss 1                 | mean | 96.315 | 0.031 | 0.029 | 0.030 | 0.937 |
|                             | std  | 0.881  | 0.062 | 0.057 | 0.059 | 0.028 |
| Near Miss 2                 | mean | 83.695 | 0.047 | 0.343 | 0.078 | 0.910 |
|                             | std  | 22.191 | 0.073 | 0.430 | 0.116 | 0.011 |
| Near Miss 3                 | mean | 72.958 | 0.022 | 0.400 | 0.041 | 0.942 |
|                             | std  | 32.172 | 0.029 | 0.490 | 0.054 | 0.012 |
| over random                 | mean | 86.299 | 0.187 | 0.870 | 0.305 | 0.944 |
|                             | std  | 4.181  | 0.042 | 0.052 | 0.053 | 0.009 |
| SMOTE                       | mean | 89.277 | 0.220 | 0.869 | 0.350 | 0.941 |
|                             | std  | 1.627  | 0.036 | 0.030 | 0.048 | 0.015 |
| BSMOTE                      | mean | 89.509 | 0.167 | 0.697 | 0.266 | 0.905 |
|                             | std  | 5.333  | 0.095 | 0.353 | 0.144 | 0.083 |
| Cost Sensitive              | mean | 79.922 | 0.140 | 0.929 | 0.241 | 0.946 |
|                             | std  | 5.284  | 0.034 | 0.045 | 0.051 | 0.016 |
| Prediction Horizon 12 (1 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 82.993 | 0.821 | 0.693 | 0.751 | 0.867 |
|                             | std  | 1.868  | 0.047 | 0.020 | 0.022 | 0.021 |
| classic 0.2                 | mean | 80.048 | 0.839 | 0.576 | 0.676 | 0.858 |
|                             | std  | 2.399  | 0.051 | 0.102 | 0.060 | 0.028 |
| under random                | mean | 77.577 | 0.595 | 0.608 | 0.599 | 0.760 |
|                             | std  | 7.463  | 0.301 | 0.306 | 0.300 | 0.213 |
| Near Miss 1                 | mean | 81.378 | 0.759 | 0.729 | 0.742 | 0.848 |
|                             | std  | 0.730  | 0.021 | 0.055 | 0.021 | 0.026 |
| Near Miss 2                 | mean | 79.715 | 0.713 | 0.764 | 0.735 | 0.850 |

|                             |      |        |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | std  | 2.880  | 0.052 | 0.056 | 0.035 | 0.038 |
| Near Miss 3                 | mean | 80.808 | 0.767 | 0.710 | 0.731 | 0.855 |
|                             | std  | 2.051  | 0.066 | 0.083 | 0.026 | 0.024 |
| over random                 | mean | 78.670 | 0.704 | 0.754 | 0.722 | 0.853 |
|                             | std  | 2.816  | 0.063 | 0.075 | 0.029 | 0.027 |
| SMOTE                       | mean | 79.905 | 0.721 | 0.753 | 0.734 | 0.853 |
|                             | std  | 1.650  | 0.043 | 0.041 | 0.013 | 0.024 |
| BSMOTE                      | mean | 76.580 | 0.640 | 0.839 | 0.726 | 0.862 |
|                             | std  | 2.185  | 0.029 | 0.026 | 0.021 | 0.021 |
| Cost Sensitive              | mean | 80.143 | 0.729 | 0.749 | 0.735 | 0.855 |
|                             | std  | 2.216  | 0.053 | 0.061 | 0.028 | 0.026 |
| Prediction Horizon 24 (2 h) |      |        |       |       |       |       |
| classic 0                   | mean | 69.437 | 0.771 | 0.599 | 0.658 | 0.753 |
|                             | std  | 3.681  | 0.102 | 0.108 | 0.022 | 0.018 |
| classic 0.2                 | mean | 72.033 | 0.807 | 0.582 | 0.672 | 0.760 |
|                             | std  | 1.984  | 0.055 | 0.057 | 0.032 | 0.022 |
| under random                | mean | 70.831 | 0.795 | 0.579 | 0.660 | 0.757 |
|                             | std  | 1.626  | 0.079 | 0.090 | 0.038 | 0.016 |
| Near Miss 1                 | mean | 72.994 | 0.796 | 0.616 | 0.693 | 0.763 |
|                             | std  | 1.524  | 0.037 | 0.044 | 0.022 | 0.017 |
| Near Miss 2                 | mean | 71.791 | 0.777 | 0.627 | 0.687 | 0.758 |
|                             | std  | 2.774  | 0.080 | 0.064 | 0.024 | 0.014 |
| Near Miss 3                 | mean | 67.707 | 0.663 | 0.723 | 0.689 | 0.761 |
|                             | std  | 1.480  | 0.037 | 0.050 | 0.007 | 0.015 |
| over random                 | mean | 71.648 | 0.786 | 0.606 | 0.678 | 0.756 |
|                             | std  | 2.268  | 0.072 | 0.066 | 0.028 | 0.021 |
| SMOTE                       | mean | 68.282 | 0.836 | 0.485 | 0.562 | 0.757 |

|                |      |        |       |       |       |       |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                | std  | 7.791  | 0.088 | 0.219 | 0.235 | 0.016 |
| BSMOTE         | mean | 71.119 | 0.780 | 0.601 | 0.671 | 0.759 |
|                | std  | 2.104  | 0.067 | 0.077 | 0.033 | 0.015 |
| Cost Sensitive | mean | 71.936 | 0.801 | 0.580 | 0.672 | 0.758 |
|                | std  | 0.985  | 0.028 | 0.037 | 0.018 | 0.015 |

Πίνακας 8.69: Ασθενής 9: Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.1778    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1118    | 0.1123     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.2689    | 0.3739     | 0.1118       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.3048    | 0.3066     | 0.3635       | 0.3255  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.2119    | 0.2136     | 0.4216       | 0.2114  | 0.5821  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0068    | 0.0074     | 0.1978       | 0.0045  | 0.8315  | 0.4081  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0010    | 0.0009     | 0.1736       | 0.0043  | 0.6312  | 0.3811  | 0.3551      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0483    | 0.0526     | 0.1639       | 0.0456  | 0.6591  | 0.3239  | 0.1466      | 0.9467     | -           |
| cost sensitive | 0.0033    | 0.0033     | 0.3295       | 0.0052  | 0.7085  | 0.7055  | 0.1765      | 0.0136     | 0.0763      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0890    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.1048    | 0.1305     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1247    | 0.3739     | 0.9879       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.1343    | 0.2640     | 0.7563       | 0.7765  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0957    | 0.2033     | 0.7315       | 0.7770  | 0.5667  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.2061    | 0.0009     | 0.0025       | 0.0304  | 0.0425  | 0.0051  | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over smote     | 0.3068 | 0.0003 | 0.0016 | 0.0004 | 0.0120 | 0.0012 | 0.4258 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.2437 | 0.0245 | 0.0717 | 0.0825 | 0.0355 | 0.0279 | 0.7701 | 0.3619 | -      |
| cost sensitive | 0.1916 | 0.0012 | 0.0093 | 0.0068 | 0.1137 | 0.0080 | 0.1759 | 0.0046 | 0.6732 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0963 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0872 | 0.0708 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.5753 | 0.3739 | 0.0714 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.2685 | 0.1856 | 0.6192 | 0.2396 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2502 | 0.1778 | 0.6392 | 0.1795 | 0.8446 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0000 | 0.0000 | 0.3164 | 0.0000 | 0.0627 | 0.1022 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.2893 | 0.0000 | 0.0772 | 0.1198 | 0.9649 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0246 | 0.0169 | 0.7583 | 0.0169 | 0.2176 | 0.2951 | 0.3318 | 0.3745 | -      |
| cost sensitive | 0.0000 | 0.0000 | 0.2272 | 0.0000 | 0.0501 | 0.0840 | 0.0963 | 0.1059 | 0.2667 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0838 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.3026 | 0.1237 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3430 | 0.3739 | 0.5216 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.8201 | 0.2483 | 0.8205 | 0.5444 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.3261 | 0.2010 | 0.7340 | 0.7537 | 0.6058 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0026 | 0.0003 | 0.0020 | 0.0062 | 0.0327 | 0.0039 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0173 | 0.0001 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0118 | 0.0011 | 0.3992 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.1422 | 0.0209 | 0.0747 | 0.0401 | 0.0346 | 0.0266 | 0.6919 | 0.3219 | -      |
| cost sensitive | 0.0786 | 0.0007 | 0.0084 | 0.0005 | 0.0872 | 0.0074 | 0.1908 | 0.0053 | 0.8008 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0122 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0511 | 0.1432 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.3996 | 0.8168 | 0.2268 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 2        | 0.0018 | 0.0082 | 0.7773 | 0.1780 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.2276 | 0.6840 | 0.0743 | 0.6462 | 0.0114 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.2548 | 0.5166 | 0.0816 | 0.6832 | 0.0022 | 0.7764 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.3284 | 0.9033 | 0.0501 | 0.8254 | 0.0577 | 0.9307 | 0.6749 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.3221 | 0.4357 | 0.8311 | 0.5174 | 0.9057 | 0.3955 | 0.3790 | 0.4316 | -      |
| cost sensitive | 0.6733 | 0.5798 | 0.0782 | 0.6688 | 0.0078 | 0.7170 | 0.6993 | 0.5893 | 0.3733 |

Πίνακας 8.70: Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 6

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0705    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0866    | 0.0823     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1781    | 0.1711     | 0.3706       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0679    | 0.0643     | 0.3411       | 0.3381  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0669    | 0.0665     | 0.6223       | 0.9007  | 0.5462  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0004    | 0.0003     | 0.1351       | 0.0427  | 0.1508  | 0.0320  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0008    | 0.0008     | 0.1712       | 0.0269  | 0.2093  | 0.0134  | 0.8150      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0002    | 0.0002     | 0.1320       | 0.0150  | 0.1706  | 0.0039  | 0.8309      | 0.5108     | -           |
| cost sensitive | 0.0820    | 0.0805     | 0.2130       | 0.2280  | 0.2087  | 0.2154  | 0.5488      | 0.5596     | 0.6176      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.3739    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.8875    | 0.0732     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.8018    | 0.1640     | 0.6294       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.5357    | 0.0036     | 0.2204       | 0.6128  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.2404    | 0.0314     | 0.1845       | 0.6380  | 0.7483  | -       | -           | -          | -           |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| over random    | 0.5410 | 0.0001 | 0.0996 | 0.7543 | 0.7596 | 0.6419 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.5389 | 0.0001 | 0.1074 | 0.7717 | 0.6680 | 0.5939 | 0.7517 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.5893 | 0.0000 | 0.1240 | 0.8633 | 0.5359 | 0.5313 | 0.3694 | 0.4630 | -      |
| cost sensitive | 0.9825 | 0.0289 | 0.8097 | 0.6117 | 0.0691 | 0.2878 | 0.1398 | 0.1261 | 0.1441 |
| RECALL         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3739 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0910 | 0.0931 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2124 | 0.1958 | 0.5326 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0274 | 0.0292 | 0.5152 | 0.3275 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0230 | 0.0217 | 0.7529 | 0.4681 | 0.8558 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0000 | 0.0000 | 0.0666 | 0.0239 | 0.0372 | 0.0433 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0000 | 0.0000 | 0.0591 | 0.0281 | 0.0358 | 0.0606 | 0.3067 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0001 | 0.0001 | 0.0673 | 0.0361 | 0.0487 | 0.0512 | 0.4365 | 0.9833 | -      |
| cost sensitive | 0.0176 | 0.0178 | 0.3102 | 0.1751 | 0.2817 | 0.5157 | 0.2814 | 0.4714 | 0.4858 |
| F1-SCORE       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.3739 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0705 | 0.0745 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.1720 | 0.1013 | 0.9127 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0002 | 0.0001 | 0.2616 | 0.2099 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0177 | 0.0201 | 0.2550 | 0.3239 | 0.4895 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.0002 | 0.0000 | 0.0879 | 0.0725 | 0.0115 | 0.8582 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0001 | 0.0001 | 0.0853 | 0.0787 | 0.0007 | 0.9401 | 0.5408 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.0000 | 0.0000 | 0.0980 | 0.1117 | 0.0323 | 0.9349 | 0.3172 | 0.4982 | -      |
| cost sensitive | 0.0455 | 0.0260 | 0.7432 | 0.5124 | 0.4643 | 0.4140 | 0.1361 | 0.1424 | 0.1597 |
| AUC            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| classic 02     | 0.0166 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under random   | 0.0082 | 0.0011 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under 1        | 0.3143 | 0.1672 | 0.9471 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0114 | 0.0045 | 0.0724 | 0.7340 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.7572 | 0.1658 | 0.0949 | 0.2571 | 0.0577 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.1951 | 0.4492 | 0.0015 | 0.2405 | 0.0049 | 0.4103 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.0418 | 0.5993 | 0.0033 | 0.1895 | 0.0065 | 0.1671 | 0.7920 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4011 | 0.0951 | 0.0037 | 0.2093 | 0.0076 | 0.3592 | 0.5214 | 0.1087 | -      |
| cost sensitive | 0.4250 | 0.1466 | 0.0049 | 0.2035 | 0.0071 | 0.3185 | 0.5540 | 0.1236 | 0.8780 |

Πίνακας 8.71: Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 12

|                | classic 0 | classic 02 | under random | under 1 | under 2 | under 3 | over random | over smote | over bsmote |
|----------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|
| ACCURACY       |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.2420    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0085    | 0.0082     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.1800    | 0.1743     | 0.3950       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0003    | 0.0003     | 0.3892       | 0.8022  | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 3        | 0.0052    | 0.0048     | 0.1829       | 0.8129  | 0.2111  | -       | -           | -          | -           |
| over random    | 0.0001    | 0.0001     | 0.6965       | 0.6343  | 0.3014  | 0.0103  | -           | -          | -           |
| over smote     | 0.0273    | 0.0247     | 0.1356       | 0.9809  | 0.5735  | 0.7022  | 0.3496      | -          | -           |
| over bsmote    | 0.0006    | 0.0005     | 0.3875       | 0.8621  | 0.7129  | 0.1531  | 0.1616      | 0.6525     | -           |
| cost sensitive | 0.0002    | 0.0002     | 0.9718       | 0.4282  | 0.2171  | 0.0083  | 0.3686      | 0.1258     | 0.0337      |
| PRECISION      |           |            |              |         |         |         |             |            |             |
| classic 02     | 0.0001    | -          | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under random   | 0.0001    | 0.0001     | -            | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 1        | 0.0110    | 0.0110     | 0.1855       | -       | -       | -       | -           | -          | -           |
| under 2        | 0.0000    | 0.0000     | 0.9957       | 0.2006  | -       | -       | -           | -          | -           |



|                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| under random   | 0.0174 | 0.0132 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 1        | 0.2783 | 0.3664 | 0.3159 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 2        | 0.0094 | 0.0088 | 0.2135 | 0.1596 | -      | -      | -      | -      | -      |
| under 3        | 0.0200 | 0.0830 | 0.4104 | 0.6725 | 0.2075 | -      | -      | -      | -      |
| over random    | 0.7128 | 0.8072 | 0.0464 | 0.5024 | 0.0468 | 0.1285 | -      | -      | -      |
| over smote     | 0.3910 | 0.4376 | 0.9659 | 0.6119 | 0.8683 | 0.7032 | 0.4977 | -      | -      |
| over bsmote    | 0.4907 | 0.3529 | 0.0431 | 0.1836 | 0.0367 | 0.0536 | 0.1599 | 0.3975 | -      |
| cost sensitive | 0.1447 | 0.0798 | 0.0220 | 0.8191 | 0.0258 | 0.4752 | 0.2869 | 0.6030 | 0.0920 |

Πίνακας 8.72: Ασθενής 9: Αποτελέσματα ttest για ορίζοντα πρόβλεψης 24