



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Ανάπτυξη μεθόδων υπολογιστικής νοημοσύνης για τον υπολογισμό κρίσιμων μεγεθών σε μονωτήρες υψηλής τάσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ασημακοπούλου Η. Γεωργία

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέπουσα: Βασιλική Θ. Κονταργύρη

Αθήνα, Ιούλιος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

140

Ανάπτυξη μεθόδων υπολογιστικής νοημοσύνης για τον υπολογισμό κρίσιμων μεγεθών σε μονωτήρες υψηλής τάσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ασημακοπούλου Η. Γεωργία

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέπουσα: Βασιλική Θ. Κονταργύρη

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 06η.07.2007.

Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος
Καθηγητής

Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2007

Γεωργία Η. Ασημακοπούλου

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

Copyright © Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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.

Στην οικογένειά μου

Ἄμμες δὲ γ' ἐσόμεθα πολλῶ κάρρονες.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα _____	i
Πρόλογος _____	vii
Περίληψη _____	ix
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή _____	1
1.1 Ιστορική αναδρομή _____	1
1.2 Είδη μονωτήρων _____	6
1.2.1 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσής τους _____	6
1.2.2 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με τη χρήση τους _____	6
1.2.3 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και το σχήμα τους στους πυλώνες των γραμμών μεταφοράς _____	7
1.3 Ρύπανση μονωτήρων _____	11
1.4 Υπερπήδηση μονωτήρων _____	14
1.4.1 Το φαινόμενο της υπερπήδησης στους μονωτήρες _____	14
1.4.2 Στάδια της υπερπήδησης σε μονωτήρα εξαιτίας της ρύπανσης _____	16
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση _____	20
2.1 Εισαγωγή _____	20
2.2 Μελέτες πάνω στο φαινόμενο της υπερπήδησης _____	20
2.2.1 Το μοντέλο του Obenhaus _____	20
2.2.2 Τα πειράματα των Alston και Zoledziowski σε κυλινδρικό μονωτήρα _____	21
2.2.3 Η μελέτη του Wilkins σε μια επίπεδη λωρίδα από μονωτικό υλικό _	22
2.2.4 Η αντικατάσταση των «ισοδύναμων» πλακών και κυλίνδρων από το μοντέλο των Zhicheng και Renyu _____	23
2.2.5 Ο προσδιορισμός των σταθερών του τόξου A και n από τους Ghosh και Chatterjee _____	24
2.3 Προσομοιώσεις μονωτήρων με εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων _____	26
2.3.1 Επίδραση συνθηκών και κατασκευαστικών παραμέτρων σύνθετων πολυμερών μονωτήρων στην κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου _____	26

2.3.2 Προσομοίωση αργά μεταβαλλόμενων ηλεκτρικών πεδίων σε εφαρμογές υψηλών τάσεων _____	27
2.3.3 Υπολογισμός της κατανομής ηλεκτρικού πεδίου και δυναμικού κατά μήκος βρεγμένων μη-κεραμικών μονωτήρων _____	27
2.3.4 Επίδραση των μερικών εκκενώσεων και των σταγονιδίων νερού στις υδροφοβικές ιδιότητες του υλικού της επιφάνειας πολυμερών μονωτήρων _____	28
2.3.5 Κατανομή της πεδιακής έντασης και του δυναμικού σε στεγνούς και καθαρούς μη-κεραμικούς μονωτήρες παρουσία γραμμών μεταφοράς _____	28
2.3.6 Κατανομή της τάσης κατά μήκος ρυπασμένου μονωτήρα _____	29
2.3.7 Μελέτη της διάβρωσης και της κατανομής της τάσης σε βρεγμένους πολυμερείς μονωτήρες _____	30
2.3.8 Μελέτη για τον εντοπισμό των εσωτερικών ελαττωμάτων σε μη-κεραμικούς μονωτήρες μέσω της μέτρησης του πεδίου γύρω από αυτούς _____	30
2.4 Έμπειρα συστήματα για τον υπολογισμό κρίσιμων μεγεθών μονωτήρων _____	31
2.4.1 Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο για την εκτίμηση του επιπέδου ρύπανσης σε μονωτήρες υψηλών τάσεων _____	31
2.4.2 Εκτίμηση του χρόνου έως την υπερπήδηση σε μονωτήρες που βρίσκονται σε συνθήκες ρύπανσης με χρήση ΤΝΔ _____	32
2.4.3 Χρήση συσκευών ελέγχου ρύπανσης σε συνδυασμό με ΤΝΔ για την πρόβλεψη υπερπήδησης σε μονωτήρες _____	34
2.4.4 ΤΝΔ για την ανάλυση επιφανειακών ρωγμών (surface tracking) σε συμπαγείς μονωτήρες _____	34
2.4.5 ΤΝΔ για την πρόβλεψη του ρεύματος διαρροής σε πολυμερείς μονωτήρες _____	36
2.4.6 ΤΝΔ για την κατηγοριοποίηση της τάσης στα άκρα του τόξου της υπερπήδησης που εμφανίζεται σε μονωτήρες πορσελάνης _____	36
2.4.7 Μοντελοποίηση της τάσης έναρξης μερικών εκκενώσεων σε μονωτήρες στήριξης εποξικής ρητίνης με χρήση ΤΝΔ _____	37
2.4.8 Ανάπτυξη αλγορίθμου ασαφούς λογικής για τον εντοπισμό ηλεκτρικών δένδρων σε πολυμερή μονωτικά _____	38

2.4.9 Ανάπτυξη αυτοοργανούμενου ασαφούς συστήματος για τη βελτιστοποίηση του παραγόμενου από συστήματα ηλεκτροδίων υψηλής τάσης πεδίου	39
Κεφάλαιο 3: Νευρωνικά Δίκτυα	40
3.1 Εισαγωγή	40
3.2 Νευρωνικά Δίκτυα	40
3.2.1 Γενικά περί Νευρωνικών Δικτύων	40
3.2.2 Βιολογικό νευρόνιο	41
3.2.3 Τεχνητό νευρόνιο	43
3.3 Κατηγοριοποίηση των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων	45
3.4 Μάθηση Νευρωνικών Δικτύων	47
3.4.1 Μάθηση με επίβλεψη	48
3.4.2 Το απλό Perceptron	49
3.5 Ο Αλγόριθμος Ανάστροφης Διάδοσης Σφάλματος	51
3.5.1 Παραλλαγές του Αλγορίθμου Ανάστροφης Διάδοσης Σφάλματος	62
3.5.1.1 Βασικός αλγόριθμος οπίσθιας διάδοσης σφάλματος με εκπαίδευση ανά εποχή	62
3.5.1.2 Ευπροσάρμοστος αλγόριθμος	63
3.5.1.3 Μέθοδος συζευγμένης μεταβολής της κλίσης	64
3.5.1.4 Μέθοδος βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης	65
3.5.1.5 Μέθοδος Newton	67
3.6 Διαστήματα εμπιστοσύνης στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα	68
Κεφάλαιο 4: Ασαφής Λογική	72
4.1 Εισαγωγή	72
4.2 Πώς οδηγηθήκαμε στα Ασαφή Σύνολα	72
4.3 Ασαφή Σύνολα και Ασαφής Λογική	74
4.4 Βασικοί όροι και πράξεις	76
4.5 Ασαφής ή προσεγγιστική συλλογιστική	78
4.5.1 Γλωσσικές μεταβλητές και γλωσσικοί διαμορφωτές	78
4.5.2 Γενικευμένοι κανόνες του θέτειν και του αναιρείν (Modus Ponens και Modus Tollens)	80
4.5.3 Ασαφείς σχέσεις	81

4.5.4 Κανόνας ασαφούς συλλογιστικής (σύνθεσης) max-min _____	83
4.6 Ασαφή συστήματα _____	84
4.6.1 Γενική αρχιτεκτονική ασαφών συστημάτων _____	84
4.6.2 Ασαφοποίηση (Fuzzification) _____	85
4.6.3 Αποασαφοποίηση _____	87
4.6.4 Ασαφής βάση γνώσης _____	88
4.6.5 Μηχανισμός ασαφούς συλλογισμού _____	89
4.6.5.1 Μέθοδος Mamdani _____	89
4.6.5.2 Μέθοδος Takagi-Sugeno _____	91
Κεφάλαιο 5: Δεδομένα εισόδου _____	93
5.1 Περιγραφή του προβλήματος _____	93
5.2 Δεδομένα εκπαίδευσης _____	95
5.3 Πειραματική διάταξη _____	95
5.3.1 Θάλαμος ρύπανσης _____	96
5.3.2 Θάλαμος ομίχλης _____	97
5.3.3 Δοκιμές αντοχής _____	98
5.4 Μαθηματικό μοντέλο για την εύρεση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης _____	98
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα ΤΝΔ _____	101
6.1 Εισαγωγή _____	101
6.2 Μέθοδοι εκπαίδευσης ΤΝΔ _____	101
6.2.1 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής _____	103
6.2.2 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση προσαρμοστικών κανόνων ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής _____	113
6.2.3 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση σταθερού ρυθμού εκπαίδευσης _____	116
6.2.4 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή με χρήση σταθερού ρυθμού εκπαίδευσης _____	120
6.2.5 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή με χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής _____	125
6.2.6 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή με χρήση προσαρμοστικών κανόνων ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής _____	128

6.2.7 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Fletcher-Reeves _____	131
6.2.8 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Fletcher-Reeves και επανεκκίνηση κατά Powell-Beale _____	134
6.2.9 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Polak-Ribiere _____	136
6.2.10 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Polak-Ribiere και επανεκκίνηση κατά Powell-Beale _____	139
6.2.11 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του αλγορίθμου βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης _____	142
6.2.12 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του ευπροσάρμοστου αλγορίθμου εκπαίδευσης _____	144
6.3 Σύγκριση ΤΝΔ _____	145
6.3.1 Διαστήματα εμπιστοσύνης _____	147
6.4 Ανακεφαλαίωση _____	149
Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα Ασαφούς Λογικής _____	150
7.1 Εισαγωγή _____	150
7.2 Μέθοδοι εκπαίδευσης _____	150
7.2.1 Επιλογή εξόδου με βάση τη μέγιστη συχνότητα _____	154
7.2.2 Επιλογή εξόδου με στρογγυλοποιημένο μέσο όρο _____	157
7.2.3 Επιλογή εξόδου με μέσο όρο χωρίς στρογγυλοποίηση _____	159
7.3 Σύγκριση μεθόδων Ασαφούς Λογικής _____	161
7.3.1 Διαστήματα εμπιστοσύνης _____	162
7.4 Ανακεφαλαίωση _____	163
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα _____	164
8.1 Σύνοψη _____	164
8.2 Σύγκριση-Συμπεράσματα _____	164

Βιβλιογραφία	167
Παράρτημα	173
Π.1 Δεδομένα	173
Π.2 Πρόγραμμα ΤΝΔ	177
Π.3 Πρόγραμμα Ασαφούς Λογικής	204
Π.4 Βάση κανόνων ασαφούς συστήματος	236

Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελεί τη διπλωματική εργασία της φοιτήτριας Ασημακοπούλου Γεωργίας για την απόκτηση του διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης μονωτήρων με τη βοήθεια των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) και της Ασαφούς Λογικής. Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε με κώδικα στη γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN. Από τα εξαγόμενα αποτελέσματα συνάγονται συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότητα ή μη των υπό εξέταση μεθόδων για την εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των θεμάτων που καλύπτονται σε κάθε κεφάλαιο.

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται αναφορά σε γενικά στοιχεία που αφορούν στους μονωτήρες, στη ρύπανσή τους και στο φαινόμενο της υπερπήδησης.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προγενέστερες μελέτες που έχουν διεξαχθεί και σχετίζονται με το φαινόμενο της υπερπήδησης, με προσομοιώσεις μονωτήρων και με την ανάπτυξη εμπείρων συστημάτων για τον υπολογισμό διαφόρων μεγεθών σε μονωτήρες.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφονται οι βασικές αρχές και οι μέθοδοι εκπαίδευσης των ΤΝΔ, καθώς, επίσης, και ο τρόπος υπολογισμού των διαστημάτων εμπιστοσύνης.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο της Ασαφούς Λογικής. Επεξηγούνται έννοιες όπως «γλωσσική μεταβλητή», «ασαφής σχέση», «κανόνες του θέτειν και του αναιρείν» και γίνεται εκτεταμένη αναφορά στον μηχανισμό εξαγωγής συμπεράσματος.

Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφεται η διαδικασία με την οποία αποκτήθηκαν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι στα προγράμματα.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζονται και συγκρίνονται μεταξύ τους τα αποτελέσματα της εφαρμογής των διαφόρων μεθόδων εκπαίδευσης των ΤΝΔ.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζονται και συγκρίνονται μεταξύ τους τα αποτελέσματα της εφαρμογής της Ασαφούς Λογικής στο πρόβλημα της εκτίμησης της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες.

Στο **Κεφάλαιο 8** συγκρίνονται ως προς την αποτελεσματικότητά τους στην εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης οι υπό εξέταση τεχνικές των ΤΝΔ και της Ασαφούς Λογικής.

Τέλος, στο **Παράρτημα** παρατίθενται τα προγράμματα Ασαφούς Λογικής και ΤΝΔ καθώς επίσης και τα δεδομένα, που προέκυψαν από πειραματικές μετρήσεις, και χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του Ασαφούς Συστήματος και των ΤΝΔ.

Στο σημείο αυτό θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά όσους συνέδραμαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας και συγκεκριμένα:

Τον κ. Ιωάννη Αθ. Σταθόπουλο, καθηγητή του Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου για τη συμπαράστασή του και το ευχάριστο εργασιακό περιβάλλον που μου παρείχε.

Την κ. Βασιλική Θ. Κονταργύρη, υποψήφια διδάκτορα και μηχανικό του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου για την βοήθεια, καθοδήγηση και συμπαράστασή της, καθώς και για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της μελέτης.

Τον κ. Γιώργο Ι. Τσεκούρα, διδάκτορα μηχανικό του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, που πρόθυμα προσέφερε τις γνώσεις του και την αμέριστη συμπαράστασή του πάνω σε θέματα προγραμματισμού, που αφορούσαν τη διπλωματική μου εργασία.

Τον κ. Ιωάννη Φ. Γκόνο, διδάκτορα μηχανικό του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, για τις συμβουλές και την υποστήριξη που πρόθυμα προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τα μέλη του εργαστηρίου κ. Νικολέττα Ηλία, υπεύθυνη ποιότητας του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων, και κ. Χρήστο Ηλία για την βοήθεια που παρείχαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου και την αδελφή μου για την ηθική και υλική συμπαράσταση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της τιμής κρίσιμων μεγεθών σε μονωτήρες με τη βοήθεια των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) και της Ασαφούς Λογικής. Η εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης ενός μονωτήρα βάσει των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του και του επιπέδου ρύπανσής του είναι πολύ σημαντική, καθόσον η αξιοπιστία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ικανότητα των μονωτήρων να απομονώνουν τα ηλεκτροφόρα στοιχεία ενός δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τα μη ηλεκτροφόρα. Ωστόσο, το φαινόμενο της υπερπήδησης των μονωτήρων προκαλεί την απώλεια της μονωτικής τους ικανότητας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βλάβες του συστήματος.

Αποδεικνύεται ότι, στην προσπάθεια που καταβάλλουμε για την εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης, η συμβολή των ΤΝΔ και της Ασαφούς Λογικής είναι σημαντική. Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε τόσο στην περίπτωση των ΤΝΔ, όσο και στην Ασαφή Λογική δέχεται ως εισόδους τη μέγιστη διάμετρο, το ύψος, το μήκος ερπυσμού, το συντελεστή μορφής του μονωτήρα και την επιφανειακή αγωγιμότητα του στρώματος ρύπανσης. Κατόπιν, βάσει διαφόρων μεθόδων εκπαίδευσης των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και μεθόδων εξαγωγής συμπεράσματος Ασαφούς Λογικής προκύπτει η προβλεπόμενη τιμή της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης. Τέλος, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων χρησιμοποιώντας ως μέτρο σύγκρισης τη συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμώμενων τιμών, ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα τους.

Λέξεις κλειδιά

Μονωτήρας, κρίσιμη τάση υπερπήδησης, ρύπανση, Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ), Ασαφής Λογική

Abstract

This diploma thesis aims at the estimation of the value of critical quantities that are closely connected with insulators by means of Artificial Neural Networks (ANN) and Fuzzy Logic methods. The use of the insulator's constructional characteristics in order to estimate the critical flashover voltage is of vital importance. The reliability of the power system is primarily based on the ability of the insulators to isolate the exposed live electrical parts of a power system. However, this ability of the insulators can be lost when the phenomenon of flashover takes place, resulting in power system failure.

ANNs and Fuzzy Logic provide useful tools in order to predict the flashover voltage. The input variables for both the ANN and the fuzzy model are the maximum diameter, the height, the creepage distance, the form factor and the surface conductivity of the polluted insulator. Several methods for ANN and Fuzzy Logic training have been applied. The success of each method in predicting the flashover voltage is measured by the correlation between the experimental and the predicted values.

Key words

Insulator, critical flashover voltage, pollution, Artificial Neural Networks (ANN), Fuzzy Logic

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Οι μονωτήρες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την απομόνωση των ηλεκτροφόρων στοιχείων μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από τα μη ηλεκτροφόρα [1]. Το πιο συνηθισμένο πεδίο εφαρμογής τους είναι τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας όπου χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να στηρίζουν, να διαχωρίζουν ή να εμπεριέχουν αγωγούς υψηλής τάσης [2]. Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν οι μονωτήρες Υψηλής Τάσης (High Voltage Insulators), οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως μέσο ανάρτησης των γραμμών μεταφοράς Υψηλής Τάσης σε ένα δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία ιστορική αναδρομή και θα παρουσιαστούν τα διάφορα είδη των μονωτήρων ανάλογα του τρόπου σύνδεσης, της χρήσης και του υλικού κατασκευής. Επιπλέον, θα γίνει αναφορά στο φαινόμενο της υπερπήδησης των μονωτήρων και στη γενεσιουργό αιτία αυτού, την ρύπανση.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Οι μονωτήρες είναι παλαιότεροι από τη μεταβίβαση ηλεκτρικής ισχύος: οι μονωτήρες που χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα δίκτυα τηλεγράφων το 1835, είχαν φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο εξέλιξης μέχρι το 1878, ενώ η πρώτη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία το 1882 [2, 3]. Αυτή η σύντομη γραμμή τάσης 1343V D.C., συνέδεσε το Miesbach με το Μόναχο και σχεδιάστηκε από τους Miller και Dyrpez προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός τεχνητού καταρράχτη στην ηλεκτρική έκθεση του Μονάχου. Οι ηλεκτρικές και μηχανικές τάσεις στις οποίες έπρεπε να ανθίστανται οι τηλεγραφικοί μονωτήρες ήταν προφανώς αμελητέες σε σύγκριση με εκείνες που προκύπτουν από το φορτίο μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς. Οι νέες απαιτήσεις σίγουρα αποκάλυψαν σοβαρές ελλείψεις όχι μόνο στα υλικά, αλλά και στα σχέδια των μονωτήρων τα οποία αρχικά ήταν απλά αντίγραφα των τύπων τηλεγράφων. Ειδικότερα, η διάτρηση από τις ηλεκτρικές τάσεις των κεραμικών που είχαν πόρους

ή ελαττώματα, οι ρωγμές που προκαλούνταν από τη θερμική διαστολή ή οι διαβρωτικές συνέπειες στο μέταλλο ή το τσιμέντο και οι υπερπηδήσεις με τόξα που δημιουργούνται από τους επιφανειακούς ρύπους σε συνδυασμό με την υγρασία, επέβαλαν την εξέλιξη των σχεδιαστικών και κατασκευαστικών κανόνων. Μερικοί από τους μονωτήρες των αρχών του 19^{ου} αιώνα αναγνωρίζονται σαν εξελιγμένες κατασκευές των μονωτήρων τηλεγραφικών γραμμών. Όμως το μεγάλο μέγεθος και βάρος των αρχικών μονωτήρων στήριξης αποτέλεσε ανασταλτικό παράγοντα στην κατασκευή, το χειρισμό και την εγκατάστασή τους.

Οι αμερικανικοί μονωτήρες στήριξης αποτελούνταν από λεπτά περιβλήματα πορσελάνης και συνηθισμένο γυαλί που είχε υποστεί ειδική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες. Μερικά τμήματα πορσελάνης συνδέονταν μεταξύ τους με γυαλί το οποίο ήταν συνήθως στερεωμένο σε μονωτικό 'τσιμέντο'. Η ευρωπαϊκή τεχνολογία πορσελάνης όμως προηγείτο της αμερικανικής καθώς επέτρεπε την κατασκευή μεγάλων μονωτήρων ανάρτησης οι οποίοι αποτελούνταν από ένα ή δυο τμήματα πορσελάνης αποφεύγοντας τις πολλαπλές εσωτερικές μεταλλικές ενθέσεις που ήταν απαραίτητες για τη συνδεσμολογία τους. Σε όλους αυτούς τους μονωτήρες το κεραμικό υλικό ή το γυαλί συμπιέζονταν μηχανικά. Για τους μονωτήρες που είχαν υποστεί διαδικασία μηχανικής προέντασης κατά την κατασκευή η τακτική που ακολουθήθηκε προερχόταν κυρίως από τις εμπειρίες που είχαν αποκτηθεί από τις τηλεγραφικές γραμμές. Ο βασικός μονωτήρας ωοειδούς σχήματος (ο οποίος χρησιμοποιείται έως και σήμερα ως ισχυρός διαχωριστής εναέριων γραμμών) οδήγησε το 1907 στην κατασκευή ενός δισκοειδούς μονωτήρα, του «Hewlett». Ο μονωτήρας αυτός χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο μήκος ερπυσμού ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, ασφαλή καταστροφική συμπεριφορά σε περίπτωση θραύσης από μηχανική κρούση κατά τη λειτουργία και απουσία συνδετικού 'τσιμέντου' εσωτερικά. Υπήρχε βεβαία μεγάλη δυσκολία στην κατασκευή. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι ενώ μονωτήρες του τύπου αυτού είναι πρακτικά αδύνατο να στηρίζουν μεγάλα φορτία, ο μονωτήρας αυτός χρησιμοποιήθηκε πολύ και για μεγάλο χρονικό διάστημα και βρίσκεται σε λειτουργία ακόμη και σήμερα σε περιοχές όπου η διάβρωση έχει υπερνικήσει πιο σύγχρονες σχεδιάσεις μονωτήρων ανάρτησης.

Οι μεταλλικές ενθέσεις σε κεραμικούς μονωτήρες, πρωτοπαρουσιάστηκαν στις Η.Π.Α. το 1903, και επέτρεψαν στους μονωτήρες στήριξης να τίθενται σε σταθερούς

στύλους και να ανθίστανται σε σημαντικά φορτία κάμψης. Αυτό ήταν ένα καθοριστικό βήμα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των μονωτικών υλικών και στους μονωτήρες τύπου αναρτήσεως (cap-and-pin). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του σχεδίου αυτού είναι ότι μετατρέπει την υφισταμένη καταπόνηση από το εφαρμοσμένο φορτίο σε μια ακτινική τάση θλίψεως στο κεραμικό διηλεκτρικό. Ο Brent Mills παρουσιάζει έναν πολυτμηματικό μονωτήρα τμηματικής καταπόνησης, χρονολογούμενο από το 1904 που είναι αδιαμφισβήτητα ένα σχέδιο ‘κελύφους-πείρου’ χωρίς όμως να προβλέπεται το σύστημα της ακτινικής συμπίεσης. Πρώτος ο A.O. Austin εφάρμοσε τη γεωμετρική κατασκευή ακτινικής συμπίεσης με δίσκους πορσελάνης το 1907 και ο J.D.E. Duncan έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια ανάλογη πολυτμηματική κατασκευή (cap-and-pin) το ίδιο έτος. Και ενώ η ουσία αυτής της καινοτομίας ήταν θεωρητικά απλή, εντούτοις αποδείχθηκε δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη ένας κατάλληλος συνδυασμός μεταξύ των μεταλλικών συνδέσεων του τσιμέντου και του κεραμικού. Το τσιμέντο αντιμετωπιζόταν ως η αιτία του κακού –οι υποψίες παραμένουν ακόμα και σήμερα- και όλες οι εναλλακτικές σχεδιαστικές προτάσεις για την αποφυγή της χρήσης του διερευνήθηκαν ανεπιτυχώς.

Η ευρωπαϊκή πρακτική, όπως παρουσιάστηκε αρχικά στον μονωτήρα Motor, και αργότερα η εισαγωγή μονωτήρων τύπου ράβδου, χρησιμοποίησε δυο εξωτερικά περιβλήματα δισκοειδούς μορφής συγκρατημένα με τσιμέντο ή χυτό μέταλλο προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί κατά τη λειτουργία το εφελκυστικό φορτίο στο κεντρικό μέρος της πορσελάνης. Αυτή η σχεδίαση εξουδετέρωνε τις βλάβες λόγω διάβρωσης αφού η μοναδική επίπτωση της χρησιμοποίησης ‘τσιμέντου’ για τη σύνδεση με το μεταλλικό τμήμα ήταν να τοποθετηθεί η πορσελάνη με αυξημένη μηχανική πίεση ακτινικά. Δυστυχώς όμως δεν διατηρούσε το σημαντικό πλεονέκτημα όλων των μορφών κελύφους –πείρου δηλαδή την ικανότητα τους να διατηρούν τη μηχανική τους ακεραιότητα ακόμα και όταν συντρίβονται.

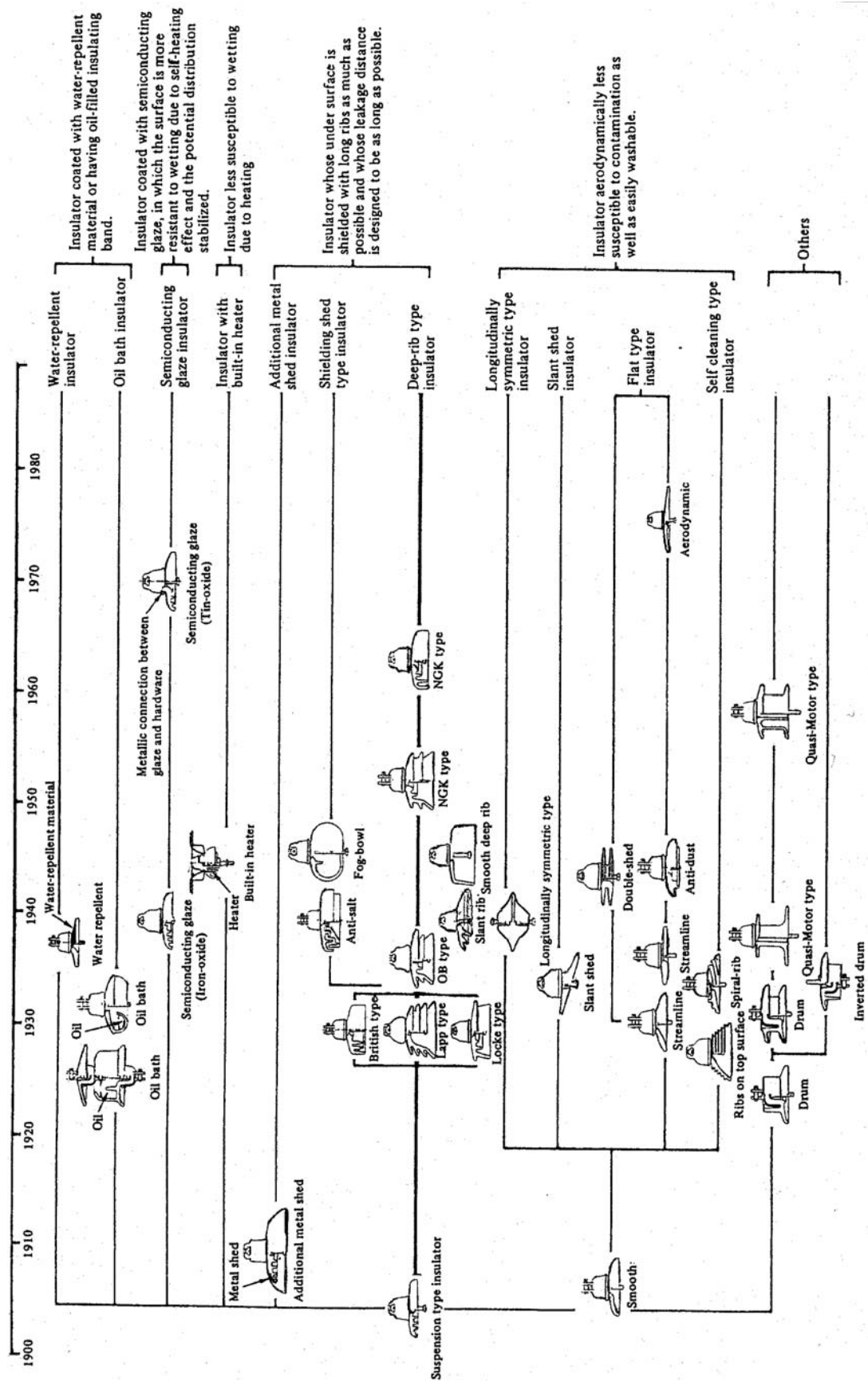
Με το σταδιακό πέρασμα σε όλο και υψηλότερες τάσεις και με την εμφάνιση της πυρηνικής ενεργείας, τα μειονεκτήματα της απώλειας απόδοσης και οι βλάβες στις εγκαταστάσεις των σταθμών παραγωγής που προέρχονταν από τα τόξα γύρω από τους μονωτήρες των γραμμών αυξήθηκαν σημαντικά. Η ανάγκη για αυξημένη αξιοπιστία έγινε πιο επιτακτική. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των δισκοειδών

μονωτήρων με μεγάλο μήκος ερπυσμού θέτοντας τις βάσεις για την κατασκευή μεγάλων μονωτήρων στους υποσταθμούς.

Λίγο πριν το 1962 διαπιστώθηκε ότι η απόδοση των μονωτήρων θα μπορούσε να προβλεφθεί από εργαστηριακές δοκιμές επιστημονικά και έτσι η γεωμετρία και ο όγκος τους ελεγχόταν επιστημονικά. Η σημαντικότερη δοκιμή έγινε σε περιβάλλον ομίχλης και αλάτων βάσει της οποίας απορριφθήκαν πολλά παράδοξα σχήματα μονωτικών (π.χ στύλοι και δίσκοι με ελικοειδείς ραβδώσεις, που είχαν σχεδιαστεί σύμφωνα με λανθασμένες φυσικές υποθέσεις και ερμηνείες μη έγκυρων δοκιμών, όπως η διαδικασία τεχνητής βροχής). Ο ανθεκτικός υαλώδης ή σταθεροποιημένος μονωτήρας εμφανίστηκε αυτή την περίοδο και είχε άριστη απόδοση κατά τη λειτουργία σε τεχνητή και πραγματική ρύπανση, αλλά τα προβλήματα διάβρωσης όμως περιόρισαν την πρακτική εφαρμογή του.

Εξαιτίας της αύξησης των τάσεων μεταφοράς και της εισαγωγής πολλαπλών αγωγών ανά φάση, τα μηχανικά φορτία που έπρεπε να στηριχθούν από τους μονωτήρες εναέριων γραμμών υπερέβησαν το κατωφλικό επίπεδο των 40 τόννων, που προξενεί θραύση σε έναν απλό δίσκο πορσελάνης λογικού βάρους και όγκου. Κατασκευές ενισχυμένες με πολλαπλές συνθετικές ίνες χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για παράδειγμα στη Βρετανία, είχαν όμως το μειονέκτημα της αντιαισθητικής εμφάνισης και μηχανικής πολυπλοκότητας. Αυτό οδήγησε στην χρήση πολυμερών μονωτικών, τα οποία χρησιμοποιούσαν ινώδη συνθετικά υλικά και εμφάνιζαν υψηλές αναλογίες αντοχής εφελκυσμού ως προς το μέγεθος και το βάρος τους.

Τα προβλήματα αξιοπιστίας αποδείχθηκαν, και συνεχίζουν να αποδεικνύονται, δύσκολα να επιλυθούν στην πράξη. Για τον λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες να αντιμετωπιστούν επιτυχώς οι απαιτήσεις μεταφοράς υψηλής ή υπερυψηλής τάσης καθώς και συνεχούς τάσης. Στο ελληνικό δίκτυο και κατόπιν τριετούς ενθαρρυντικής δοκιμασίας τους σε λίγες θέσεις αναρτήσεως χρησιμοποιούνται, εδώ και ένα περίπου χρόνο, μονωτήρες αναρτήσεως των οποίων ο πυρήνας αποτελείται από εποξικές ρητίνες και ύαλου ενώ οι κυματώδεις είναι οργανικής συστάσεως.



Σχήμα 1.1: Χρονολογική κατάταξη των κανόνων σχεδιασμού των μονωτήρων με στόχο την αποφυγή αναπόθεσης ρύπανσης [4].

1.2 Είδη μονωτήρων

1.2.1 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσής τους

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης τους οι μονωτήρες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες [1]:

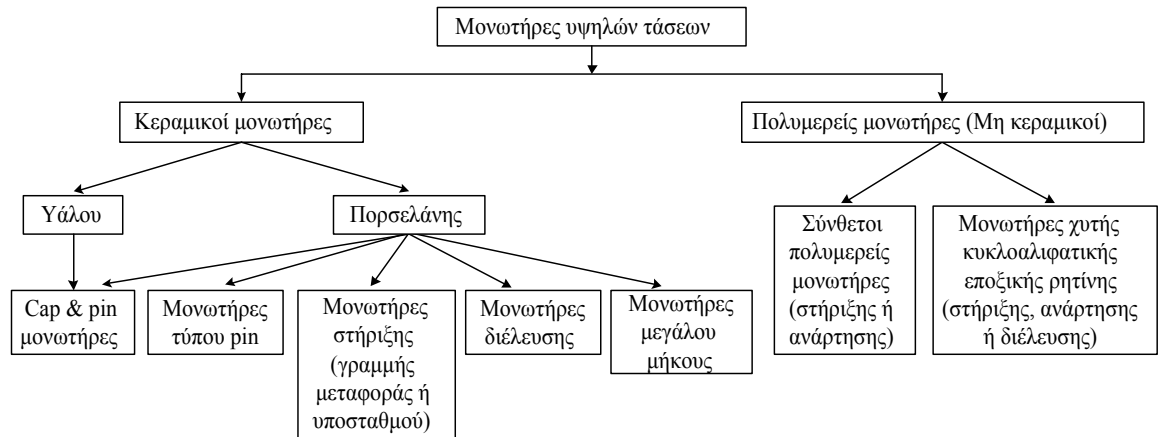
- **Μονωτήρες αναρτήσεως**, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάρτηση των γραμμών μεταφοράς Υ.Τ. και αποτελούνται από μια ή δυο σειρές δισκοειδών μονωτήρων, διατεταγμένων σε μορφή αλύσου. Το πλήθος των δισκοειδών μονωτήρων σε μια διάταξη αλύσου εξαρτάται προφανώς από την τάση λειτουργίας της γραμμής και από τη διηλεκτρική αντοχή έκαστου δισκοειδούς μονωτήρα.
- **Μονωτήρες στηρίξεως**, που χρησιμοποιούνται για τη στήριξη των αγωγών υψηλής τάσης και διακρίνονται σε μονωτήρες μεταφοράς και μονωτήρες σταθμών.
- **Μονωτήρες γραμμής**, που χρησιμοποιούνται στις γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι 70kV.
- **Μονωτήρες διελεύσεως**, που χρησιμοποιούνται στις θέσεις εξόδου των αγωγών από τους μετασχηματιστές.

1.2.2 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με τη χρήση τους

Ανάλογα με τους χώρους χρήσης τους και, κατ' επέκταση, τον ειδικό τρόπο σχεδιάσής τους, έχουμε τους εξής τύπους μονωτήρων [1]:

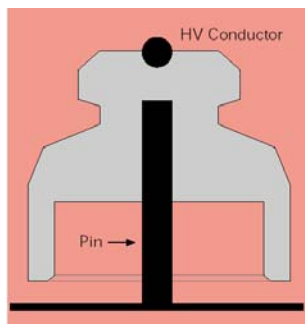
- **Τύπου ομίχλης**: Χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου επικρατούν συνθήκες έντονης ρύπανσης (συνήθως, κοντά σε βιομηχανικές ή παραθαλάσσιες περιοχές). Οι μονωτήρες αυτοί έχουν μεγάλο μήκος ερπυσμού και τέτοια διαμόρφωση της εξωτερικής επιφάνειας, ώστε να παρέχεται η καλύτερη δυνατή προστασία έναντι επικάθισης ακαθαρσιών.
- **Κανονικού τύπου**: Αυτοί χρησιμοποιούνται σε σύνηθες περιβάλλον και έχουν μικρότερο μήκος ερπυσμού.
- **Εσωτερικού τύπου**: Οι μονωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους – κυρίως σε κλειστούς υποσταθμούς.

1.2.3 Κατηγορίες μονωτήρων ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και το σχήμα τους στους πυλώνες των γραμμών μεταφοράς [4]



Μονωτήρες πορσελάνης τύπου pin (porcelain pin type insulators)

Αυτός ο τύπος μονωτήρων χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τις τηλεφωνικές γραμμές και τα αλεξικέραυνα, ενώ στη συνέχεια τροποποιήθηκε για να χρησιμοποιηθεί στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές παραλλαγές του είναι ακόμα σε χρήση στα συστήματα μέσης τάσης. Ο μονωτήρας αυτός παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.2.

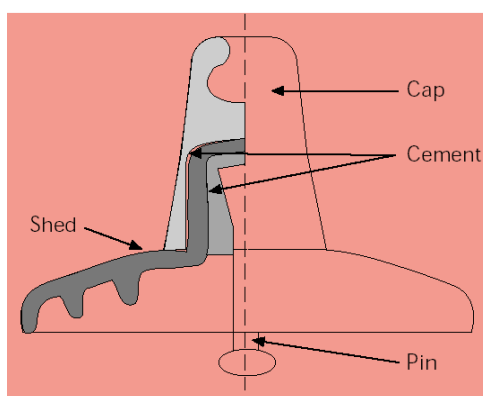


Σχήμα 1.2: Μονωτήρας τύπου pin

Μονωτήρες τύπου cap & pin (cap and pin insulators)

Αυτοί κατασκευάζονται από πορσελάνη ή γυαλί και είναι βασισμένοι στις ίδιες κατασκευαστικές αρχές με τους μονωτήρες τύπου pin. Ένας αριθμός τέτοιων μονάδων συνδέεται μέσω χαλύβδινων καλυμμάτων (caps) και πείρων (pins) σχηματίζοντας μια αλυσίδα μονωτήρων. Αυτές οι αλυσίδες χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες ανάρτησης και στήριξης γραμμών μεταφοράς. Τα καλύμματα και ο πείρος είναι στερεωμένα στο γυάλινο ή πορσελάνινο δίσκο με τσιμέντο. Οι κωνικές

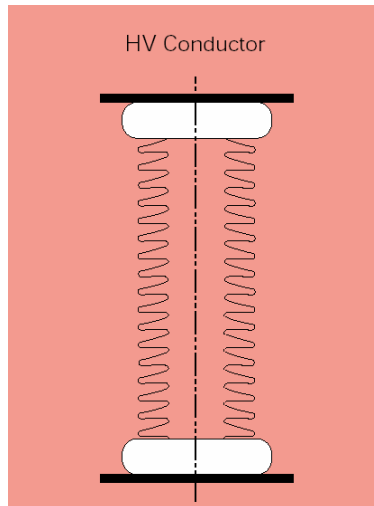
μορφές των συναρμολογήσεων εξασφαλίζουν υψηλή μηχανική αντοχή κατά την άσκηση δυνάμεων εφέλκυσμού. Στους μονωτήρες τύπου pin και τύπου cap & pin η συντομότερη απόσταση μεταξύ των μεταλλικών ηλεκτροδίων μέσω της πορσελάνης ή του γυαλιού είναι λιγότερη από το 50% της συντομότερης απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων μέσω του αέρα. Συνεπώς, η πορσελάνη ή το γυαλί μπορεί να διατηρηθεί κατόπιν μεγάλης ηλεκτρικής καταπόνησης. Η διαδικασία κατασκευής των μονωτήρων υάλου περιλαμβάνει τη θερμική ψύξη, που εξασφαλίζει ότι οι γυάλινοι δίσκοι θρυμματίζονται σε περίπτωση διάτρησης, οπότε ο ελαττωματικός δίσκος είναι εμφανής.



Σχήμα 1.3: Μονωτήρας τύπου cap and pin

Μονωτήρες στήριξης (post type insulators)

Αυτοί οι μονωτήρες αποτελούνται από ένα συμπαγή κύλινδρο πορσελάνης με κυματοειδείς πτυχές, για να αυξάνεται το μήκος ερπυσμού, και από μεταλλικά ηλεκτρόδια σε κάθε άκρη. Οι μονωτήρες στήριξης έχουν μεγάλο μήκος. Χρησιμοποιούνται οριζόντια ή κάθετα για να στηρίξουν τον αγωγό υψηλής τάσης και τοποθετούνται στις βάσεις ή στους εγκάρσιους βραχίονες των γραμμών μεταφοράς (line post insulators). Στους μονωτήρες αυτούς η συντομότερη απόσταση μέσω της πορσελάνης υπερβαίνει το 50% της συντομότερης απόστασης μέσω του αέρα μεταξύ των ηλεκτροδίων, οπότε δεν διαρρηγνύονται εύκολα. Ένας μονωτήρας τύπου post εικονίζεται στο Σχήμα 1.4.



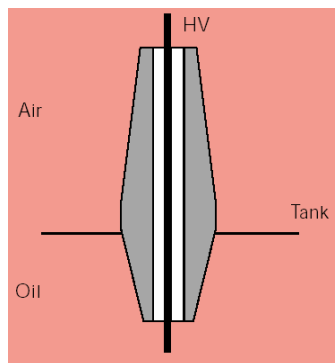
Σχήμα 1.4: Μονωτήρας τύπου post

Μονωτήρες πορσελάνης μεγάλου μήκους (longrod insulators)

Οι μονωτήρες μεγάλου μήκους είναι παρόμοιοι με τους μονωτήρες στήριξης, αλλά είναι ελαφρύτεροι, λεπτότεροι και χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες ανάρτησης.

Μονωτήρες διέλευσης (bushings)

Οι μονωτήρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για να μονώσουν τους αγωγούς των ακροδεκτών υψηλής τάσης κυρίως μετασχηματιστών ή άλλων διατάξεων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5. Συνήθως οι μονωτήρες διέλευσης κατασκευάζονται από πορσελάνη.



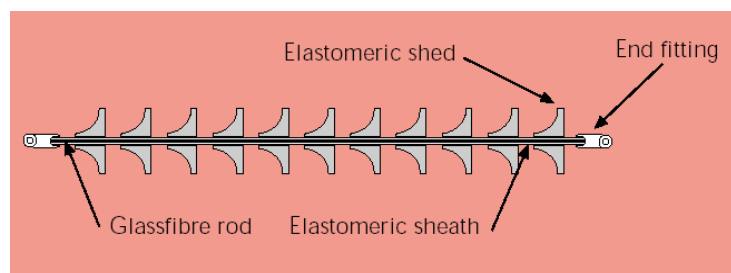
Σχήμα 1.5: Μονωτήρας διέλευσης

Σύνθετοι πολυμερείς μονωτήρες (composite polymeric insulators)

Αυτοί οι μονωτήρες είναι παρόμοιοι με τους πορσελάνινους μονωτήρες μεγάλου μήκους ως προς το σχήμα, αλλά διαφέρουν ως προς τα υλικά κατασκευής, τα οποία είναι τα εξής:

- Ένας πυρήνας ρητίνης ενισχυμένος με ίνες γυαλιού, ο οποίος παρέχει μηχανική αντοχή, ενώ ταυτόχρονα ανθίσταται και στην ηλεκτρική καταπόνηση.
- Ένα ελαστομερές περίβλημα για να προστατεύει τον πυρήνα από τις καιρικές συνθήκες.
- Ελαστομερείς δίσκοι, που αποσκοπούν στην αύξηση του μήκους ερπυσμού, ώστε να ανθίσταται ο μονωτήρας στις εντάσεις που επικρατούν στο σύστημα. Δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά είναι το σιλικονούχο καουτσούκ (silicone rubber) και το αιθυλένιο-προπυλένιο-διένιο μονομερές καουτσούκ (ethylene propylene diene monomer – EDPM).

Οι μεταλλικοί ακροδέκτες αυτών των μονωτήρων είναι συνήθως στερεωμένοι πάνω στην εξωτερική πλευρά της ράβδου του πυρήνα και τα συγκεκριμένα σημεία επαφής μεταξύ του ελαστομερούς και των ακροδεκτών είναι πολύ σημαντικά. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των σύνθετων πολυμερών μονωτήρων είναι η μείωση βάρους μέχρι και 90% σε σύγκριση με τους αντίστοιχους κεραμικούς.



Σχήμα 1.6: Σύνθετος πολυμερής μονωτήρας

Μονωτήρες κυκλοαλιφατικής εποξικής ρητίνης (Cyclo-alifatic epoxy resin insulators)

Η κυκλοαλιφατική ρητίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χυτευτούν μονωτήρες παρόμοιοι με τους πορσελάνης και τύπου line post για διανομή των τάσεων. Σε περιβάλλον με κακές καιρικές συνθήκες οι επιφάνειες των μονωτήρων αυτών γίνονται τραχιές, γεγονός που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αξιοπιστία του μονωτήρα, αν δεν ληφθεί υπ' όψιν.

1.3 Ρύπανση μονωτήρων

Η έκθεση των μονωτικών υλικών στις διάφορες ατμοσφαιρικές συνθήκες ήταν πάντοτε αναπόφευκτη σε όλα τα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και η γνώση μας για τις υπερτάσεις που προκαλούνται από κεραυνικά πλήγματα ή εσωτερικούς χειρισμούς έχει αυξηθεί και οι συσκευές προστασίας από τις υπερτάσεις αυτές έχουν βελτιωθεί, το πρόβλημα της ρύπανσης των μονωτήρων παραμένει ιδιαίτερα οξύ. Το πρόβλημα αυτό εντείνεται και από την αυξανόμενη ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά και τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό των γραμμών μεταφοράς. Με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, οι παραδοσιακές δημόσιες επιχειρήσεις θα αντιμετωπίσουν αυξανόμενο ανταγωνισμό, που θα οδηγήσει σε πιέσεις για μείωση του κόστους λειτουργίας και συνεπώς μείωση των τιμών και αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος, που επιτυγχάνεται ως ένα σημείο και από τη βελτίωση της λειτουργίας των μονωτήρων [5]. Κάποιες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του παραπάνω στόχου περιλαμβάνουν την αύξηση του μήκους ερπυσμού (leakage length) στις πιο «ευάλωτες» τοποθεσίες, την επικάλυψη των επιφανειών των μονωτήρων με υδροφοβικά υλικά και τον περιοδικό καθαρισμό των μονωτήρων ή την αντικατάσταση των πορσελάνινων μονωτήρων από πολυμερείς. Όλες αυτές οι τεχνικές παρουσιάζουν όμως μειονεκτήματα. Οι μη κεραμικές επιφάνειες χάνουν την υδροφοβικότητά τους και υφίστανται φθορά της επιφανειάς τους έπειτα από παρατεταμένη έκθεση σε ρύπανση και ηλεκτρικές εκκενώσεις. Η καθιέρωση ενός αξιόπιστου προγράμματος καθαρισμού και συντήρησης φαίνεται σε πρώτο επίπεδο να είναι μια ευρέως αποδεκτή πρακτική για τη βελτίωση της κατάστασης. Όμως, το υψηλό κόστος και η ανάγκη για εκπαιδευμένο εργατικό προσωπικό κάνουν το πλύσιμο των μονωτήρων ιδιαίτερο δαπανηρό. Στο Σχήμα 1.7 φαίνεται πως γίνεται το πλύσιμο των μονωτήρων σε μια γραμμή μεταφοράς [5].



Σχήμα 1.7: Πλύσιμο μονωτήρων σε μια γραμμή μεταφοράς

Η αξιοπιστία του συστήματος ενέργειας εξαρτάται λοιπόν κυρίως από τις περιβαλλοντικές και καιρικές συνθήκες που προκαλούν διασπάσεις σε μονωτήρες με ρύπανση, οδηγώντας έτσι σε βλάβες του συστήματος. Είναι γενικά παραδεκτό ότι οι κύριες αιτίες που οδηγούν στη ρύπανση των μονωτήρων είναι η θαλάσσια ρύπανση – που συναντάται στις παράκτιες περιοχές – και τα στερεά κατάλοιπα της βιομηχανικής ρύπανσης – που συναντώνται στις βιομηχανικές ζώνες. Η συνύπαρξη ρύπανσης (θαλάσσιας, βιομηχανικής ή συνδυασμού αυτών) και υγρασίας (με τη μορφή δροσιάς, ομίχλης ή σιγανής βροχής) αποτελεί δυσμενέστατη συνθήκη λειτουργίας των μονωτικών υλικών και μπορεί να υποβιβάσει τη μονωτική τους ικανότητα σε μεγάλο βαθμό (40% έως 80%) με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου.

Στο πρότυπο IEC 815/1986, προκειμένου να υπάρχει μία κατηγοριοποίηση των περιοχών ανάλογα με το ποσοστό ρύπανσης, έχουν καθοριστεί ποιοτικά τέσσερα επίπεδα ρύπανσης. Τα επίπεδα αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.1.

Για κάθε επίπεδο ρύπανσης που περιγράφεται στον Πίνακα 1.1, το αντίστοιχο ελάχιστο ειδικό μήκος ερπυσμού (minimal nominal specific creepage distance), μετρούμενο σε mm/kV (πολική τάση) της υψηλότερης εφαρμοζόμενης τάσης στο μονωτήρα δίνεται στον Πίνακα 1.2 [6].

Πίνακας 1.1: Επίπεδα ρύπανσης σύμφωνα με το IEC 815 [6]

Επίπεδο ρύπανσης	Παραδείγματα τυπικού περιβάλλοντος
Ελαφριά	<ul style="list-style-type: none"> • Περιοχές χωρίς βιομηχανίες και με μικρή πυκνότητα κατοικιών εξοπλισμένων με εγκατάσταση θέρμανσης • Περιοχές με μικρή πυκνότητα βιομηχανιών ή κατοικιών, αλλά εκτεθειμένες σε ισχυρούς ανέμους και/ή βροχοπτώσεις • Αγροτικές περιοχές • Ορεινές περιοχές <p>Όλες αυτές οι περιοχές πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον 10km με 20km από τη θάλασσα και δεν πρέπει να εκτίθενται σε ανέμους κατ' ευθείαν από τη θάλασσα</p>
Μεσαία	<ul style="list-style-type: none"> • Περιοχές με βιομηχανίες, οι οποίες δεν παράγουν ιδιαίτερα ρυπασμένο καπνό, και/ή με μέση πυκνότητα κατοικιών εξοπλισμένων με εγκατάσταση θέρμανσης • Περιοχές με υψηλή πυκνότητα κατοικιών και/ή βιομηχανιών, αλλά εκτεθειμένες σε συχνούς ανέμους και/ή βροχοπτώσεις • Περιοχές εκτεθειμένες σε ανέμους από τη θάλασσα, αλλά όχι πολύ κοντά σε ακτή (τουλάχιστον σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων ανάλογα με τη μορφολογία της παράκτιας περιοχής και τις συνθήκες ανέμου).
Βαριά	<ul style="list-style-type: none"> • Περιοχές με υψηλή πυκνότητα βιομηχανιών και προάστια μεγάλων πόλεων με υψηλή πυκνότητα εγκαταστάσεων θέρμανσης, οι οποίες παράγουν ρύπανση • Περιοχές κοντά στη θάλασσα ή κάθε περιοχή που εκτίθεται σε σχετικά ισχυρούς ανέμους από τη θάλασσα
Πολύ βαριά	<ul style="list-style-type: none"> • Περιοχές περιορισμένης έκτασης, εκτεθειμένες σε αγωγίμη σκόνη και βιομηχανικό καπνό που προκαλεί αγωγίμες εναποθέσεις σημαντικού πάχους • Περιοχές περιορισμένης έκτασης, οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά σε ακτή και εκτίθενται σε ψεκασμό θαλασσινού νερού ή σε πολύ δυνατό και ρυπασμένο αέρα από τη θάλασσα • Περιοχές ερήμου, οι οποίες χαρακτηρίζονται από έλλειψη βροχής για μεγάλες χρονικές περιόδους, εκτίθενται σε ισχυρούς ανέμους που μεταφέρουν άμμο και αλάτι και υποβάλλονται σε κανονική συμπίκνωση

Πίνακας 1.2: Ελάχιστο ειδικό μήκος ερπυσμού συναρτήσει του επιπέδου ρύπανσης

Επίπεδο ρύπανσης	Ελάχιστο ειδικό μήκος ερπυσμού (mm/kV)
Ελαφριά	16
Μεσαία	20
Βαριά	25
Πολύ βαριά	31

Η ρύπανση μπορεί να μειώσει την τάση υπερπήδησης του μονωτήρα, οδηγώντας έτσι σε μη προγραμματισμένες βλάβες και μειωμένη αξιοπιστία. Η υπερπήδηση σε ένα μονωτήρα εξαιτίας της ρύπανσης είναι μια περίπλοκη διαδικασία που περνά από διάφορα στάδια. Αυτά ονομαστικά είναι τα εξής:

1. Η δημιουργία στρώματος ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα
2. Ο σχηματισμός ξηρών ζωνών
3. Οι μερικές εκκενώσεις και τέλος, αν οι συνθήκες το ευνοούν,
4. Η υπερπήδηση

Αν κάποιο από τα προηγούμενα στάδια 1,2,3 δεν πραγματοποιηθεί, το φαινόμενο της υπερπήδησης δεν είναι δυνατόν να εκδηλωθεί.

Στην παράγραφο 1.3.2 θα δούμε αναλυτικά τι συμβαίνει στα στάδια αυτά.

1.4 Υπερπήδηση μονωτήρων

1.4.1 Το φαινόμενο της υπερπήδησης στους μονωτήρες

Το φαινόμενο της υπερπήδησης μονωτήρων λόγω ρύπανσης αναφέρεται στο γεγονός ότι δημιουργείται γεφύρωση με ηλεκτρικό τόξο που οδεύει διαμέσου του αέρα του διακένου μεταξύ του σημείου πρόσδεσης του αγωγού της γραμμής στο μονωτήρα και του γειωμένου σημείου στήριξης ή ανάρτησης του μονωτήρα. Το φαινομενικό παράδοξο στην υπερπήδηση μονωτήρων λόγω ρύπανσης είναι ότι παράγονται καταστροφικές ηλεκτρικές εκκενώσεις, που επεκτείνονται σε μέτρα αέρα, από ηλεκτρικά δυναμικά τα οποία, σε κανονικές συνθήκες, θα μπορούσαν να αναχαιτιστούν από διάκενα αέρα μήκους λίγων εκατοστών. Με κάποιον τρόπο, η παρουσία δυσδιάκριτων αγωγίμων σωματιδίων, τα οποία επικάθονται σε μια επιφάνεια που αλλιώς θα ήταν ισχυρά μονωτική, μειώνει την πραγματική ηλεκτρική αντοχή της κατά έναν παράγοντα όχι πολύ μικρότερο του 100.

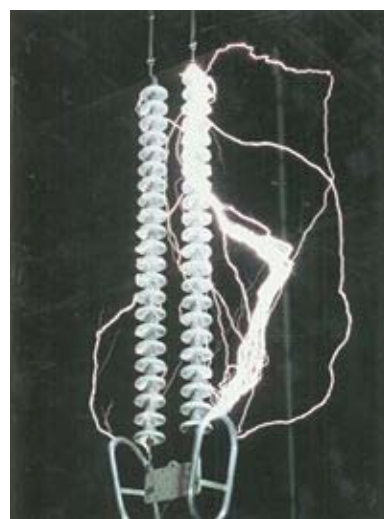
Τα αίτια γι' αυτό είναι δύο: α) η εντοπισμένη αφυδάτωση ενός στρώματος ηλεκτρολύτη αυξάνει τις ασυνέχειες στο αγώγιμο στρώμα – οι γνωστές και ως ξηρές ζώνες – κατά μήκος των οποίων παράγονται ηλεκτρικές τάσεις (stresses) που επαρκούν για να ιονιστεί ο αέρας και β) τα τόξα σε ένα αέριο, που από τη στιγμή που δημιουργούνται μπορούν εύκολα να επεκταθούν χωρίς εξασθένηση με σχετικά αργό διαχωρισμό των ηλεκτροδίων μεταξύ των οποίων εμφανίζονται.



University of Stellenbosch, South Africa



Helsinki University of Technology



NGK - High Voltage Laboratory

Σχήμα 1.8: Διάσπαση μονωτήρων

Για μεγάλο μέρος της ζωής του ένας μονωτήρας θα λειτουργεί με ξηρές ζώνες στην επιφάνειά του τις οποίες κατά καιρούς διαπερνούν ηλεκτρικές εκκενώσεις. Αυτές οι εκκενώσεις είναι ακίνδυνες, εκτός από τα προβλήματα πιθανής πρόκλησης παρεμβολών και επιφανειακών βλαβών για τα οποία ευθύνονται. Μόνο πολύ σπάνια ο συνδυασμός αγωγιμότητας και ηλεκτρικής τάσης θα είναι τέτοιος που θα επιτρέψει την ανάπτυξη ενός τόξου με τόσο ρεύμα, ώστε να αυτο-διατηρείται και να

διαδίδεται: τότε προκαλείται διάσπαση. Το τεχνικό πρόβλημα είναι ότι η επιφανειακή αγωγιμότητα που προκαλεί τη διάσπαση παραμένει, ακόμα κι όταν το τόξο έχει εξαλειφθεί από τη λειτουργία της προστασίας, γεγονός που επιτρέπει να ακολουθήσουν κι άλλες διασπάσεις [3]. Παραπάνω (Σχήμα 1.8) παρουσιάζονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες του φαινομένου της διάσπασης προερχόμενες από ιστοσελίδες Εργαστηρίων Υψηλών Τάσεων.

1.4.2 Στάδια της υπερπήδησης σε ένα μονωτήρα εξαιτίας της ρύπανσης

1. Δημιουργία στρώματος ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα

Η ρύπανση, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μπορεί να προκληθεί από διάφορες πηγές, όπως είναι η αιωρούμενη τέφρα, το αλάτι της θάλασσας, η σκόνη από τις βιομηχανίες κ.ά. Η εναπόθεση των ρύπων ελέγχεται από την αλληλεπίδραση διαφόρων δυνάμεων που επιδρούν ταυτόχρονα στα σωματίδια που τους αποτελούν (π.χ. της βαρύτητας, του ανέμου και των ηλεκτροστατικών δυνάμεων). Τα αγωγιμα συστατικά των ρύπων επηρεάζουν την τάση διάσπασης του μονωτήρα δημιουργώντας, όταν αυτός βραχεί, ένα αγωγίμο στρώμα στην επιφάνειά του. Τα αδρανή συστατικά απ' την άλλη είναι το ποσοστό του στερεού υλικού που δεν διαλύεται, αλλά σχηματίζει ένα μηχανικό περίβλημα στο οποίο ενσωματώνεται το αγωγίμο στρώμα [5].

Υγρασία μπορεί να παραχθεί υπό συνθήκες ομίχλης ή πάχνης κατά τις πρωινές ώρες. Επίσης, το ψιχάλισμα και η βροχή μπορεί να έχουν το ίδιο αποτέλεσμα. Έτσι, καταστάσεις που προειδοποιούν για πιθανή διάσπαση του μονωτήρα είναι οι εξής:

1. Η πτώση σχεδόν καθαρού νερού, όπως σταγόνες, βροχή ή ομίχλη, σε ένα μονωτήρα, πάνω στον οποίο βρίσκεται ποσότητα ρύπανσης που περιλαμβάνει διαλυτά ιοντικά στοιχεία, όπως το κοινό αλάτι.
2. Η εναπόθεση σταγονιδίων θαλάσσιας ή βιομηχανικής ομίχλης, ή άλλου συνδυασμού νερού και ηλεκτρολύτη.
3. Η συγκέντρωση παγετού, παγετώδους ομίχλης ή πάγου στη βρώμικη επιφάνεια ενός μονωτήρα. Τότε, τα ιοντικά συστατικά των ρύπων ενεργούν, ώστε να μειώσουν το σημείο ψύξης του νερού κι έτσι επιτρέπουν την ύπαρξη υγρού διαλύματος στο σημείο επαφής των δύο επιφανειών.
4. Η ένταξη ενός κυκλώματος που περιέχει υγρούς και βρώμικους μονωτήρες.

5. Η έλευση μιας προσωρινής υπέρτασης, ή μιας μεταβατικής αιχμής, σε ένα μονωτήρα υγρό, βρώμικο και πιθανόν ήδη ενεργοποιημένο.

Από αυτές τις περιπτώσεις, η πρώτη είναι η πιο συνηθισμένη. Κυρίως σε ερημικές περιοχές, τα περιστατικά διασπάσεων σχετίζονται με περιόδους υγρασίας και πρωινής πάχνης, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές οι επικίνδυνες ώρες είναι αυτές της ομίχλης με άπνοια. Ταυτόχρονη εναπόθεση νερού και διαλυμένων ουσιών συμβαίνει συνήθως σε καταιγίδες στην ξηρά.

Η περίπτωση της παγετώδους ομίχλης έχει προκαλέσει μερικά απ' τα πιο σοβαρά περιστατικά, όπως ήταν το 1962 τα πολλαπλά προβλήματα και η προσωρινή διακοπή στο δίκτυο μεταφοράς της Αγγλίας. Το στρώμα ηλεκτρολύτη που προκαλεί το πρόβλημα είναι κολλημένο πάνω στο μονωτήρα και απαιτείται η αφαίρεσή του με καθαρισμό. Η τέταρτη και η πέμπτη περίπτωση είναι λιγότερο συνηθισμένες [3].

2. Σχηματισμός ξηρών ζωνών

Το στρώμα ηλεκτρολύτη που σχηματίζεται κατά μήκος του μονωτήρα μειώνει την επιφανειακή αντίσταση και ένα υπολογίσιμο ρεύμα διαρροής μπορεί πλέον να κυκλοφορήσει. Το επιφανειακό αυτό ρεύμα έχει σαν αποτέλεσμα την ωμική θέρμανση της επιφάνειας. Η αγωγιμότητα αρχικά αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά όταν φτάσει μια συγκεκριμένη τιμή, η εξάτμιση του νερού γίνεται υπολογίσιμη και το διάλυμα γίνεται υπερκορεσμένο σε αλάτι. Η επιφάνεια αρχίζει να ξηραίνεται στις ζώνες με τη μεγαλύτερη διαφεύγουσα ισχύ και η αγωγιμότητα σ' αυτές τις ζώνες πέφτει γρήγορα, έως ότου μηδενιστεί. Η κατανομή της ροής του ρεύματος μεταβάλλεται, εντείνοντας την πλευρική ξήρανση και δημιουργώντας ξηρές ζώνες [5]. Καθώς οι ξηρές ζώνες είναι απομονωμένες, η επιφανειακή δραστηριότητα συνεχίζεται μέσα στην περιοχή της ζώνης.

3. Μερικές εκκενώσεις και υπερπήδηση

Μετά τη δημιουργία μια ξηρής ζώνης, το μεγαλύτερο μέρος της τάσης που εφαρμόζεται στο μονωτήρα επιβάλλεται στην ξηρή ζώνη, λόγω της υψηλότερης αντίστασης που αυτή έχει. Υπερπήδηση λαμβάνει χώρα εάν μια εκκένωση ξηρής ζώνης επεκταθεί στην εναπομένουσα υγρή επιφάνεια του μονωτήρα. Οι μερικές εκκενώσεις εξαλείφονται λίγο πριν το μηδενισμό της τάσης. Εάν παρ' όλ' αυτά η τιμή της τάσης και του ρεύματος διαρροής είναι αρκετά υψηλή, οι εκκενώσεις μπορεί να επεκταθούν σε ολόκληρο το μήκος του μονωτικού και να αρχίσει το φαινόμενο της υπερπήδησης. Η ορατή δραστηριότητα στην επιφάνεια δεν σημαίνει

πάντα ότι θα συμβεί υπερπήδηση, καθώς το ρεύμα διαρροής μπορεί να εξαλειφθεί εάν υπάρχει ανεπαρκής διαφεύγουσα ισχύς. Αν όμως το τόξο επεκταθεί και καταφέρει να καλύψει ένα κρίσιμο μήκος, τότε η διάσπαση είναι πρακτικά αναπόφευκτη.

Τα παραπάνω ισχύουν για τους μονωτήρες πορσελάνης. Στους πολυμερείς μονωτήρες υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις στη διαδικασία της διάσπασης. Τα στάδια αυτής είναι:

Εναπόθεση ρύπανσης: Πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στους μονωτήρες πορσελάνης.

Υγρανση: Επειδή οι πολυμερείς μονωτήρες έχουν υδρόφοβες επιφάνειες, η υγρασία σχηματίζει σταγονίδια πάνω σ' αυτές, τα οποία κυλούν εξαιτίας της βαρύτητας. Όταν η βαρύτητα δεν είναι ικανή να ενισχύσει την κίνηση των σταγονιδίων, αυτά παραμένουν διαχωρισμένα στις θέσεις τους. Άλατα και/ή αγωγή ρύπανση διαλύονται στις σταγόνες νερού αυξάνοντας την αγωγιμότητα του υγρού.

Σχηματισμός αγωγίμου στρώματος: Η παραμένουσα ξηρή επιφάνεια ρύπανσης σταδιακά υγραίνεται μέσω της μετακίνησης των σταγονιδίων. Αυτό σχηματίζει ένα αγωγίμο στρώμα ισχυρά ωμικής συμπεριφοράς με αποτέλεσμα το ρεύμα διαρροής να μεταβάλλεται από χωρητικό σε ωμικό.

Θερμότητα (ωμική): Πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στους μονωτήρες πορσελάνης.

Επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου σε υδροφοβική επιφάνεια: Το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί την ένωση των σταγονιδίων, που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, σε μια μεγάλη σταγόνα νηματοειδούς μορφής. Ο μηχανισμός της υπερπήδησης διαρκεί περισσότερο σε μια υδροφοβική επιφάνεια εξαιτίας του χρόνου που απαιτείται για να σχηματιστεί μια αγωγή διαδρομή με νηματοειδείς σταγόνες.

Μερικές εκκενώσεις σε υδροφοβικές επιφάνειες: Οι νηματοειδείς σταγόνες μειώνουν την απόσταση μεταξύ των άκρων του μονωτικού, αυξάνοντας το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των γειτονικών νηματοειδών σταγόνων. Όταν η τάση αποκτήσει κατάλληλη τιμή, τότε μπορεί να συμβούν επιφανειακές εκκενώσεις.

Εξασθένηση της υδροφοβικότητας: Οι εκκενώσεις καταστρέφουν ένα λεπτό στρώμα πολυμερούς γύρω από τα σταγονίδια και μειώνουν την υδροφοβικότητα, περιστρέφοντας ή σπάζοντας τις πολυμερείς αλυσίδες. Η απώλεια ή η εξασθένηση της επιφανειακής υδροφοβικότητας έχει ως αποτέλεσμα την εξάπλωση των σταγόνων και το σχηματισμό ενός συνεχούς αγωγίμου στρώματος, επιτρέποντας τη ροή του ρεύματος διαρροής.

Σχηματισμός ξηρής ζώνης: Οι ξηρές ζώνες σχηματίζονται όπως και στους μονωτήρες πορσελάνης. Η προκύπτουσα δραστηριότητα προκαλεί επιφανειακή διάβρωση, ο ρυθμός της οποίας εξαρτάται από τον τρόπο σχηματισμού του συγκεκριμένου υλικού και συμβάλλει στη γήρανση.

Αποκατάσταση της υδροφοβικότητας: Η ολική ή μερική αποκατάσταση της υδροφοβικότητας είναι δυνατή μόνο αν το υλικό εκφορτιστεί ελεύθερα για ικανό χρονικό διάστημα. Η διαδικασία αποκατάστασης εξαρτάται από το υλικό, τον τρόπο σχηματισμού του, το σχεδιασμό του μονωτήρα και το περιβάλλον.

Επανάληψη του κύκλου γήρανσης: Η επανάληψη του κύκλου γήρανσης προκαλεί επιπλέον ύγρανση και πιθανόν διάβρωση της επιφάνειας, φαινόμενα τα οποία ενισχύονται από χημικές αντιδράσεις και τοπική άνοδο της θερμοκρασίας. Κατά τη διάρκεια εκκένωσης η θερμοκρασία σε κάποια σημεία μπορεί να φτάσει τους 400°C.

Υπερπήδηση: Η υπερπήδηση μπορεί να συμβεί, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως σε μονωτήρες πορσελάνης, εάν η επιφάνεια γίνει υδρόφιλη.

Οι υδρόφοβες επιφάνειες αντιστέκονται περισσότερο στη ροή του ρεύματος διαρροής από τις υδρόφιλες επιφάνειες και απαιτούν υψηλότερο ρεύμα διαρροής και αντίστοιχη έκλυση ενέργειας, προκειμένου να ξεκινήσει η υπερπήδηση. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι πολυμερείς μονωτήρες παρουσιάζουν μεγαλύτερη τάση υπερπήδησης από τους μονωτήρες πορσελάνης. Όπως και στους πορσελάνινους μονωτήρες, όλοι οι παραπάνω μηχανισμοί πρέπει να συμβούν διαδοχικά για να οδηγήσουν σε υπερπήδηση. Εάν η διαδικασία διακοπεί, η υπερπήδηση δεν λαμβάνει χώρα.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

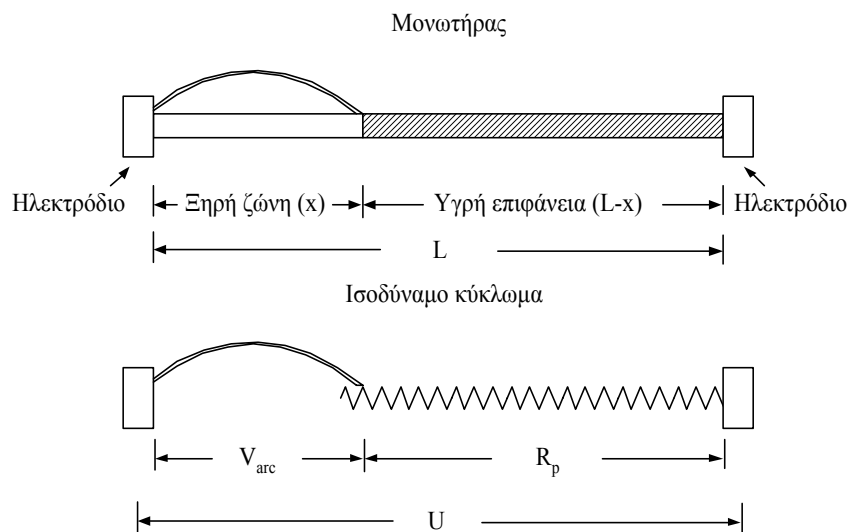
2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μελέτες που άπτονται θεμάτων σχετικά με τους μονωτήρες. Θα παρουσιαστούν ορισμένες από τις σημαντικότερες μελέτες πάνω στον κυριότερο μηχανισμό που μπορεί να προκαλέσει απώλεια της μονωτικής ιδιότητας των μονωτήρων, εκείνον της υπερπήδησής τους μέσω ηλεκτρικού τόξου. Επιπλέον, θα γίνει μία σύντομη αναφορά σε μελέτες που αφορούν προσομοιώσεις μονωτήρων και έμπειρα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό διαφόρων μεγεθών σε μονωτήρες.

2.2 Μελέτες πάνω στο φαινόμενο της υπερπήδησης

2.2.1 Το μοντέλο του Obenhaus

Πολλές είναι οι απόψεις που κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί προκειμένου να εξηγηθεί και να αναλυθεί το φαινόμενο της υπερπήδησης των διατάξεων μονωτήρων. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία, πάντως, οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στον τομέα αυτό στηρίζονται σε ένα μοντέλο που πρώτος πρότεινε ο Obenhaus το 1958 [7]. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, το φαινόμενο της ανάπτυξης των τοξοειδών ηλεκτρικών εκκενώσεων στην επιφάνεια των μονωτήρων μπορεί να περιγραφεί σαν μια ηλεκτρική εκκένωση συνδεδεμένη σε σειρά με ένα στοιχείο αντίστασης R_p , όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Το μοντέλο του Obenhaus

Ο Obenhaus υπολόγισε εμπειρικά την τάση στα άκρα του τόξου ως εξής:

$$V_{arc} = \frac{x \cdot A}{i^n} \quad (2.1)$$

όπου x : το μήκος του τόξου, i : η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει και A , n : σταθερές.

Ο ίδιος δεν κατόρθωσε να προσδιορίσει μια ελάχιστη τιμή για την τάση στα άκρα της διάταξης (U_c) πάνω από την οποία θα κάνει την εμφάνισή του το ηλεκτρικό τόξο. Ωστόσο στάθηκε ικανό να διατυπώσει μια σχέση για τη μέγιστη τιμή της U κάτω από την οποία η ανάπτυξη του τελευταίου είναι αδύνατη. Η σχέση είναι η εξής:

$$U_c = \frac{n+1}{n^{n+1}} \cdot A^{\frac{1}{n+1}} \cdot x^{\frac{1}{n+1}} \cdot R_p^{\frac{n}{n+1}} \quad (2.2)$$

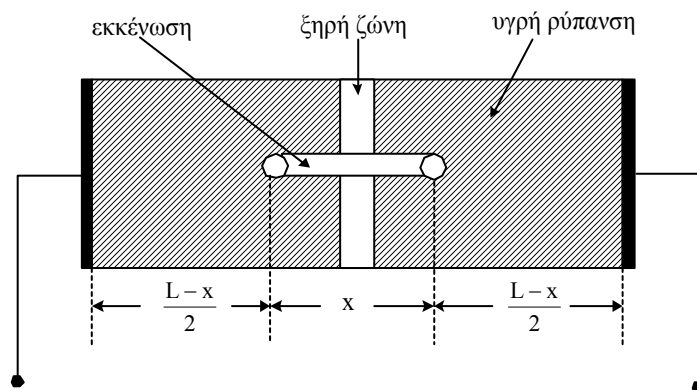
2.2.2 Τα πειράματα των Alston και Zoledziowski σε κυλινδρικό μονωτήρα

Μια από τις σημαντικότερες μελέτες πάνω στο φαινόμενο της υπερπήδησης θα έρθει στο φως λίγα χρόνια αργότερα, τον Ιούλιο του 1963 [8]. Στην εργασία τους, οι Alston και Zoledziowski προτείνουν μια μέθοδο προσομοίωσης μιας διάταξης μονωτήρα υπό ρύπανση και υπολογίζουν, μέσω εξισώσεων, τις κρίσιμες συνθήκες που θα πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου να αποτραπεί το φαινόμενο της υπερπήδησης.

2.2.3 Η μελέτη του Wilkins σε μια επίπεδη λωρίδα από μονωτικό υλικό

Το 1969 είναι η σειρά του Wilkins [9] να διατυπώσει το δικό του μοντέλο για το φαινόμενο της υπερπήδησης, μέσα από μια δική του δημοσίευση.

Εδώ, το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι εκείνο μιας επίπεδης ορθογώνιας λωρίδας από μονωτικό υλικό. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2, η εκκένωση μαίνεται στο κέντρο μιας λωρίδας πλάτους a και μήκους L που καλύπτεται από ομοιόμορφο στρώμα ρύπανσης.



Σχήμα 2.2: Το μοντέλο υπερπήδησης κατά τον Wilkins

Στο Σχήμα 2.2, η τάση που εφαρμόζεται στη διάταξη είναι:

$$V = x \cdot A \cdot i^{-n} + V_E + 2 \cdot i \cdot R \quad (2.9)$$

Στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης έχουμε:

- $x \cdot A \cdot i^{-n}$: είναι η τάση στα άκρα της εκκένωσης. Πρόκειται για την ίδια έκφραση που χρησιμοποίησαν στο μοντέλο τους οι Alston και Zoledziowski (εξίσωση (2.4)) και στην οποία οι τελευταίοι έχουν αντικαταστήσει τις σταθερές του τόξου με $A=63$, $n=0.76$.
- V_E : είναι η πτώση τάσης των ηλεκτροδίων, η οποία είναι ανεξάρτητη του ρεύματος της εκκένωσης. Η τιμή της είναι της τάξης του 1kV.
- R : είναι η σε σειρά ωμική αντίσταση που παρουσιάζει η ρυπασμένη επιφάνεια ανάμεσα σε κάθε «ρίζα» του τόξου της εκκένωσης και στο ηλεκτρόδιο που της αντιστοιχεί.

Στο μοντέλο αυτό, κάνοντας την υπόθεση ότι το πλάτος της «ξηρής ζώνης» είναι πολύ μικρό σε σχέση με το μήκος L , μπορούν να διακριθούν, επιλύοντας την εξίσωση (2.9), δυο περιπτώσεις για τον υπολογισμό των «κρίσιμων μεγεθών»:

(α) Η περίπτωση της «στενής λωρίδας», όπου το πλάτος του στρώματος ρύπανσης σε σειρά είναι μικρότερο από το μήκος του. Στην περίπτωση αυτή η τάση υπερπήδησης δίνεται από τη σχέση:

$$V_c = A^{\frac{1}{n+1}} \cdot r_p^{\frac{n}{n+1}} \cdot \left(L + \frac{a}{2 \cdot \pi} \log \frac{S \cdot a^2}{4 \cdot \pi \cdot i_c} \right) + V_E \quad (2.10)$$

όπου A , n : οι σταθερές του τόξου, r_p : η αντίσταση ανά μονάδα μήκους που εμφανίζεται στην επιφάνεια του μονωτήρα, S : η πυκνότητα ρεύματος στη «ρίζα» της εκκένωσης και I_c : η ένταση του ρεύματος κατά την υπερπήδηση.

Η έκφραση για την κρίσιμη ένταση του ρεύματος υπερπήδησης είναι η εξής:

$$i_c = \left(\frac{A}{r_c} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (2.11)$$

(β) Για την περίπτωση της «φαρδιάς λωρίδας», η κρίσιμη τιμή της τάσης υπερπήδησης προκύπτει (για $x=L/2$):

$$V_c = \frac{i_c}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_s} \left(\log \frac{4 \cdot L^2 \cdot S}{\pi \cdot i_c} \right) + \frac{L}{2} \cdot A \cdot i_c^{-n} + V_E \quad (2.12)$$

με:

$$i_c = (A \cdot \sigma_s \cdot L)^{\frac{1}{n+1}} \quad (2.13)$$

όπου σ_s : η επιφανειακή αγωγιμότητα του στρώματος ρύπανσης.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου υπέστησαν συγκρίσεις με πειραματικές μετρήσεις που είχαν προηγουμένως ληφθεί για διάφορα είδη μονωτήρων τόσο από τον Von Cron [10], όσο και από τους Nasser [11] και τους Alston και Zoledziowski [12]. Το συμπέρασμα ήταν ότι τα θεωρητικά αποτελέσματα δίνουν τάσεις υπερπήδησης με ακρίβεια της ίδιας τάξης μεγέθους με εκείνη που παίρνουμε από τις πειραματικές μετρήσεις.

2.2.4 Η αντικατάσταση των «ισοδύναμων» πλακών και κυλίνδρων από το μοντέλο των Zhicheng και Renyu

Η ανεπάρκεια των μοντέλων που είχαν προταθεί έως το 1990 οδήγησαν στην απαίτηση για την εισαγωγή ενός νέου μοντέλου πειραματικής προσομοίωσης των

διατάξεων μονωτήρων, ενός μοντέλου που να αντιπαρέρχεται τα μειονεκτήματα των «ισοδύναμων» ορθογωνίων και κυλίνδρων και που να αναλύει επαρκώς το φαινόμενο των μερικών εκκενώσεων. Έτσι, οι Zhicheng και Renyu [13] προτείνουν το 1990 μια νέα μέθοδο.

Με βάση τη μέθοδο αυτή, οι Zhicheng και Renyu προχώρησαν, μέσα από μια σειρά θεωρητικών υπολογισμών, στον προσδιορισμό των κρίσιμων συνθηκών υπερπήδησης πραγματικών μονωτήρων με πολύπλοκη γεωμετρία, χωρίς το σχήμα των τελευταίων να προσομοιωθεί από έναν ισοδύναμο κύλινδρο. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα φαινόμενα τυχαίων ηλεκτρικών εκκενώσεων υπό μορφή ηλεκτρικών τόξων, η τάση υπερπήδησης προσδιορίστηκε ως εξής:

$$U = A \cdot X \cdot K \cdot I^{-n} + \left[\frac{K_t \cdot I}{\pi \cdot \gamma_c} \right] \cdot \ln \left[\frac{L - X}{K_t \cdot R_0} \right] \quad (2.16)$$

όπου K_t : ο αριθμός των τμημάτων ρύπανσης σε σειρά με τα τόξα και K : η σχέση αναλογίας ανάμεσα στο μήκος του τόξου και στη διαδρομή ερπυσμού που αντιστοιχεί σ' αυτό κατά μήκος της επιφάνειας του στρώματος ρύπανσης. Αν $K > I$, τότε έχουμε την εμφάνιση ενός φαινομένου κατά το οποίο το ηλεκτρικό τόξο παρεκκλίνει της πορείας του (*arc drift phenomenon*). Στην περίπτωση που $K < I$ προκύπτει γεφύρωση του ηλεκτρικού τόξου.

Οι δυο ερευνητές θα υποστηρίξουν ότι ο πιο σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν κατά τον προσδιορισμό της κρίσιμης τιμής της τάσης υπερπήδησης, όταν στα άκρα του μονωτήρα υπό ρύπανση εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση, είναι η συνθήκη επανεμφάνισης του ηλεκτρικού τόξου (ανάλογα με το αν έχουμε σβέση του τόξου ή όχι).

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να ικανοποιείται η εξίσωση:

$$A \cdot X_c \cdot I_m^{-n} + R(X_c) \cdot I_m = f(I_m) \quad (2.19)$$

όπου $f(I_m) = U_m$: μια από τις δυο σχέσεις που εκφράζουν τη συνθήκη επανεμφάνισης ((2.17) ή (2.18)).

2.2.5 Ο προσδιορισμός των σταθερών του τόξου A και n από τους Ghosh και Chatterjee

Ήδη, από τις αρχές της δεκαετίας του '80 ορισμένοι ερευνητές είχαν επισημάνει την επίδραση που ασκεί στην τιμή της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης η χημική σύσταση του στρώματος ρύπανσης στην επιφάνεια ενός μονωτήρα. Ωστόσο, οι πρώτοι που

κατάφεραν να διατυπώσουν ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο να περιγράφει επαρκώς τη σχέση ανάμεσα στους δυο αυτούς παράγοντες σε συνθήκες εναλλασσόμενης τάσης ήταν οι Ghosh και Chatterjee, μόλις το 1995 [14].

Η σχέση στην οποία καταλήγει το προτεινόμενο μοντέλο για την ανάλυση του φαινομένου της υπερπήδησης υπό ρύπανση σε συνθήκες εναλλασσόμενης τάσης είναι:

$$V_e = kxAI_e^{-n} + r_p(L-x)I_e + U_e \quad (2.20)$$

όπου V_e : η ενεργός τιμή της εφαρμοζόμενης εναλλασσόμενης τάσης, x : το μήκος του ηλεκτρικού τόξου, I_e : η ενεργός τιμή του ρεύματος υπερπήδησης, U_e : η ενεργός τιμή της πτώσης τάσης των ηλεκτροδίων και

$$k = \left[\frac{\sqrt{2}}{1.3} \right]^{-(n+1)} \quad (2.21)$$

Με βάση την εξίσωση (2.20) προκύπτουν οι σχέσεις για τις κρίσιμες τιμές της τάσης και της έντασης υπερπήδησης. Οι σχέσεις έχουν ως εξής:

$$V_{ec} = Lk \frac{1}{n+1} A \frac{1}{n+1} r_p \frac{n}{n+1} \quad (2.22)$$

και

$$I_{ec} = \left[\frac{kA}{r_p} \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (2.23)$$

Αν $V_e = V_{em}$, τότε σίγουρα έχουμε υπερπήδηση και επομένως ισχύει: $X \approx L$ και $I_e = I_{ec}$. Στην περίπτωση αυτή και με τη βοήθεια της εξίσωσης (2.20) είναι δυνατός μέσω δοκιμών ο προσδιορισμός των σταθερών A και n (και κατ' επέκταση του k) για μια σειρά από διαφορετικούς ηλεκτρολύτες. Οι τιμές που παίρνουν οι σταθερές αυτές εξαρτώνται από τη χημική σύνθεση του κάθε ηλεκτρολύτη, αφού για κάθε έναν από αυτούς οι τιμές για τα μεγέθη V_{em} και I_{ec} προκύπτουν διαφορετικές.

2.3 Προσομοιώσεις μονωτήρων με εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων

Η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων του πεδίου (εξισώσεις Laplace, Poisson, Διαχύσεως, Maxwell και Helmholtz, καθώς και συνθήκες Coulomb και Lorentz) επιτρέπει την ανάλυση προβλημάτων χωρίς τους περιορισμούς, στους οποίους υπόκεινται οι αναλυτικές τεχνικές (απλές γεωμετρίες-γραμμικά μέσα) [62].

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη σύνθετη γεωμετρία των μονωτήρων, οι αριθμητικές μέθοδοι προτιμώνται για την επίλυση των προβλημάτων κατανομής δυναμικού και ηλεκτρικού πεδίου [2].

Έχουν αναπτυχθεί διάφορα πακέτα λογισμικού για την προσομοίωση ηλεκτρομαγνητικών προβλημάτων στηριζόμενα σε αριθμητικές μεθόδους. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (FEM), που παρουσιάστηκε το 1960 και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην επιστήμη του ηλεκτρολόγου μηχανικού το 1965, αποτελεί τη βάση διαφόρων εξελιγμένων και πρακτικών υπολογιστικών πακέτων λογισμικού.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά στην εφαρμογή των αριθμητικών μεθόδων σε προβλήματα υπολογισμού της κατανομής του δυναμικού και του ηλεκτρικού πεδίου σε μονωτήρες γραμμών μεταφοράς.

2.3.1. Επίδραση συνθηκών και κατασκευαστικών παραμέτρων σύνθετων πολυμερών μονωτήρων στην κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου

Στο άρθρο [15] οι Fan YaDong et al., χρησιμοποιώντας το λογισμικό ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων ANSYS (ένα γενικό πακέτο για την αριθμητική επίλυση μεγάλου αριθμού μηχανικών προβλημάτων), αφού ανέλυσαν την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου σύνθετων πολυμερών μονωτήρων που χρησιμοποιούνται σε γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- Η κατανομή του δυναμικού σε έναν πολυμερή μονωτήρα επηρεάζεται από τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά.
- Η αλλαγή της απόστασης των ελαστομερών δίσκων μεταξύ τους μπορεί να επηρεάσει την τάση υπερπήδησης του πολυμερούς μονωτήρα.
- Η αύξηση της διαμέτρου των ελαστομερών δίσκων και της γωνίας ανάρτησης προκαλεί χειρότερη κατανομή του ηλεκτρικού δυναμικού στους δίσκους που βρίσκονται κοντά στο άκρο (ηλεκτρόδιο) υψηλής τάσης.

- Οι πολυμερείς μονωτήρες έχουν καλύτερη επιφανειακή κατανομή του δυναμικού όταν οι δίσκοι έχουν περίμετρο περίπου 120mm και απόσταση μεταξύ των δίσκων κοντά στα 50mm.
- Εάν τοποθετηθεί τοροειδές στο μονωτήρα, βελτιώνεται εμφανώς η κατανομή του ηλεκτρικού δυναμικού σε αυτόν.

2.3.2. Προσομοίωση αργά μεταβαλλόμενων ηλεκτρικών πεδίων σε εφαρμογές υψηλών τάσεων

Από το άρθρο αυτό προέκυψε ότι η αναλυτική προσομοίωση της συμπεριφοράς των σταγονιδίων σε πολυμερείς επιφάνειες υπό την επίδραση πεδίου υψηλής τάσης είναι ένα απαιτητικό έργο [16].

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών (Finite Integration Technique) για διακριτοποίηση του μαθηματικού μοντέλου έγινε μία τρισδιάστατη προσομοίωση του φαινομένου της γήρανσης των υλικών (λόγω υγρασίας ή επιφανειακής ρύπανσης σε έναν μονωτήρα υψηλής τάσης). Τα αριθμητικά αποτελέσματα λαμβάνονται από την προσομοίωση τρισδιάστατων απλών μοντέλων πολυμερών μονωτήρων που πάνω τους έχουν εναποτεθεί σταγονίδια νερού.

2.3.3. Υπολογισμός της κατανομής ηλεκτρικού πεδίου και δυναμικού κατά μήκος βρεγμένων μη-κεραμικών μονωτήρων

Χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο πρόγραμμα ανάλυσης ηλεκτρικού πεδίου, το COULOMB, οι Weiguo Que et al. αναλύουν την ενδυνάμωση του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια των σταγονιδίων σε μια επίπεδη υδροφοβική επιφάνεια από σιλικονούχο καουτσούκ (silicone rubber) [17].

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (στην οποία λαμβάνουμε υπ' όψιν και συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες με χρήση μοντέλων) προκύπτει ότι η παρουσία του σταγονιδίου προκαλεί μια αξιοσημείωτη διαταραχή στη διαμόρφωση των ισοδυναμικών γραμμών και των γραμμών ίσης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (streamlines) στην περιοχή γύρω από το σταγονίδιο.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν τρία μοντέλα (στεγνός και καθαρός μονωτήρας, μοντέλο «βροχής» και μοντέλο «ομίχλης»), είναι τα εξής: Στην περίπτωση του μοντέλου «βροχής», η παρουσία των σταγονιδίων στην εξωτερική επιφάνεια των ελαστομερών

δίσκων κάνει την κατανομή του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου πιο ομοιόμορφη σε σχέση με την ίδια κατανομή στο στεγνό και καθαρό μοντέλο. Συνεπώς, η ένταση του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου γύρω από την περιοχή σύνδεσης (περιβλήματος, αέρα και μετάλλου) θα είναι λίγο μικρότερη από ότι στο στεγνό και καθαρό μοντέλο. Στην περίπτωση του μοντέλου «ομίχλης», οι στεγνές περιοχές κατά μήκος κάποιων κομματιών του περιβλήματος του μονωτήρα συγκρατούν το μεγαλύτερο μέρος της τάσης. Η συνολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος της κάτω περιοχής του μονωτήρα, η οποία βρίσκεται πλησίον του ηλεκτροδίου υψηλής τάσης, είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ό,τι στο στεγνό και καθαρό μοντέλο.

2.3.4. Επίδραση των μερικών εκκενώσεων και των σταγονιδίων νερού στις υδροφοβικές ιδιότητες του υλικού της επιφάνειας πολυμερών μονωτήρων

Μερικά από τα παραπάνω συμπεράσματα επιβεβαιώθηκαν στο άρθρο των T. Braunsberger et al. [18]. Από τα πειράματα διαπιστώθηκε ότι βραχυπρόθεσμα δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ των μερικών εκκενώσεων στην επιφάνεια του πολυμερούς μονωτήρα και της υδροφοβικότητας της επιφάνειας. Επιπλέον, επιβεβαιώθηκε από προσομοίωση σε υπολογιστή και το συμπέρασμα του άρθρου «Κατανομές ηλεκτρικού πεδίου και δυναμικού κατά μήκος μη-κεραμικών μονωτήρων με σταγονίδια νερού», ότι δηλαδή η ένταση του πεδίου στην περίπτωση του δίσκου λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της στην κορυφή του σταγονιδίου.

2.3.5. Κατανομή της πεδριακής έντασης και του δυναμικού σε στεγνούς και καθαρούς μη-κεραμικούς μονωτήρες παρουσία γραμμών μεταφοράς

Οι Weiguo Que et al. [19] χρησιμοποίησαν το τρισδιάστατο πρόγραμμα COULOMB. Θεώρησαν μια γεωμετρία που περιλαμβάνει πυλώνα με τριφασική γραμμή μεταφοράς 765 kV, ώστε να υπολογιστεί η κατανομή του δυναμικού κατά μήκος των μονωτήρων. Ερεύνησαν τα αποτελέσματα της παρουσίας των αγωγίων γραμμών μεταφοράς και της διέγερσης των τριών φάσεων (αντί για μίας) πάνω στις κατανομές του ηλεκτρικού πεδίου και του δυναμικού.

Υψηλή ένταση ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να προκαλέσει το φαινόμενο Corona γύρω από τους μονωτήρες και μπορεί να προκαλέσει την αποικοδόμηση των υλικών του περιβλήματος. Όταν οι μη-κεραμικοί μονωτήρες τοποθετούνται σε τριφασική γραμμή μεταφοράς, οι αγωγοί (γραμμές μεταφοράς), το τοροειδές (grading ring), η

διαμόρφωση του πυλώνα και οι άλλες δύο φάσεις του τριφασικού συστήματος μπορούν να επηρεάσουν τις κατανομές του ηλεκτρικού πεδίου και του δυναμικού (Electric Field and Potential Distribution-EFPD) στην περιοχή κοντά στους μονωτήρες.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι ελαστομερείς δίσκοι του μονωτήρα μπορούν να παραλειφθούν κατά την προσομοίωση, χωρίς να χάνεται σημαντική ακρίβεια στον υπολογισμό της κατανομής του δυναμικού κατά μήκος του μονωτήρα. Ο αριθμός των δίσκων καθορίζεται από την επιθυμητή ακρίβεια και τις δοκιμές.

Η επίδραση ενός αγωγού (γραμμής μεταφοράς) στις κατανομές του ηλεκτρικού πεδίου και του δυναμικού μελετήθηκε προσθέτοντας στο μοντέλο του μονωτήρα έναν αγωγό μήκους 3m, ο οποίος προσομοιώνει τη γραμμή μεταφοράς. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η μονάδα του αγωγού μειώνει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο άκρο του μονωτήρα από το οποίο αναρτάται η γραμμή, αλλά αυξάνει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κοντά στο γειωμένο άκρο του μονωτήρα.

Σε άλλο άρθρο [20] οι Tiebin Zhao et al. ανέλυσαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής ενός δισδιάστατου (ELECTRO) και ενός τρισδιάστατου (COULOMB) προγράμματος, που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των οριακών στοιχείων, για την ανάλυση του ηλεκτρικού πεδίου με στόχο τον υπολογισμό της κατανομής του πεδίου των μονωτήρων σε στεγνό και καθαρό περιβάλλον. Ελέγχεται η επίδραση των αγωγών, των πυλώνων και των τοροειδών στο πεδίο κατά μήκος καθαρών μη-κεραμικών μονωτήρων και κατά πόσο μπορούν οι τρεις παραπάνω παράμετροι να εξαιρεθούν κατά την προσομοίωση των μονωτήρων στον υπολογιστή (ώστε να απλοποιηθεί η γενικότερη γεωμετρία χωρίς σοβαρά σφάλματα στα αποτελέσματα).

2.3.6. Κατανομή της τάσης κατά μήκος ρυπασμένου μονωτήρα

Προκειμένου να μελετήσουν την κατανομή της τάσης κατά μήκος ρυπασμένων μονωτήρων, οι W.L. Vosloo et al. χρησιμοποίησαν ένα δισδιάστατο πακέτο προσομοίωσης, το ELECTRO, που εφαρμόζει τη μέθοδο οριακών στοιχείων (BEM) και μπορεί να λύσει συμμετρικά προβλήματα εκ περιστροφής [21].

Από τις προσομοιώσεις έγινε αντιληπτό ότι όταν ρυπαίνεται η επιφάνεια ενός μονωτήρα, οι ηλεκτρικές καταπονήσεις μπορούν να συμβούν οπουδήποτε κατά μήκος του μονωτήρα και όχι μόνο πολύ κοντά στο ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης.

2.3.7. Μελέτη της διάβρωσης και της κατανομής της τάσης σε βρεγμένους πολυμερείς μονωτήρες

Στο άρθρο αυτό οι Yu Zhong et al. έδειξαν ότι η συγκέντρωση έντασης κοντά σε σταγονίδια νερού μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία φαινομένου Corona, αλλά και τη δημιουργία ηλεκτρικής διάβρωσης στην επιφάνεια του πολυμερούς μονωτήρα [22]. Η διάβρωση στο περίβλημα (sheath) είναι πιο σοβαρή απ' ότι στους ελαστομερείς δίσκους. Ακόμα, η περιοχή κοντά στο ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης διαβρώνεται περισσότερο από την περιοχή γύρω από το γειωμένο ηλεκτρόδιο του μονωτήρα. Όταν η ρύπανση του μονωτήρα είναι σοβαρή, η ηλεκτρική διάβρωση επιδεινώνεται.

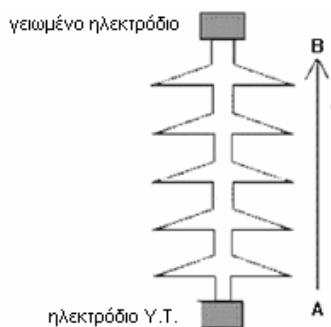
2.3.8. Μελέτη για τον εντοπισμό των εσωτερικών ελαττωμάτων σε μη-κεραμικούς μονωτήρες μέσω της μέτρησης του πεδίου γύρω από αυτούς

Το άρθρο [23] είναι αποτέλεσμα μιας μελέτης που διενεργήθηκε στο Power Systems Engineering Research Center (PSERC) και περιλαμβάνει τα αποτελέσματα και την ανάλυση για τον υπολογισμό του ηλεκτρικού πεδίου, με στόχο τον πιθανό εντοπισμό εσωτερικών ελαττωμάτων σε μη-κεραμικούς μονωτήρες μέσω της μέτρησης του πεδίου γύρω από το μονωτήρα. Προκειμένου να προσομοιωθούν διάφοροι τύποι ελαττωμάτων, χρησιμοποιήθηκε το τρισδιάστατο πακέτο λογισμικού COULOMB.

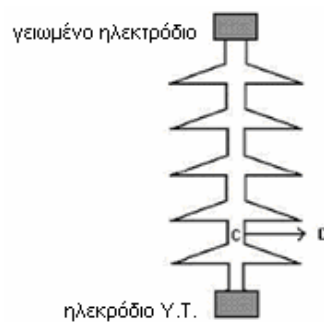
Ένα από τα συμπεράσματα της μελέτης ήταν ότι το φαινόμενο Corona δεν αποτελεί τόσο σοβαρή απειλή για τους κεραμικούς μονωτήρες. Παρόλα αυτά, στους μη-κεραμικούς μονωτήρες η κατανομή της τάσης είναι εντελώς ανομοιόμορφη γεγονός που οδηγεί στη δημιουργία φαινομένου Corona. Επίσης, για μονωτήρες με τοροειδές, η μέγιστη ένταση του πεδίου μειώνεται σημαντικά και η κατανομή του πεδίου γίνεται πιο ομοιόμορφη σε σχέση με τους μονωτήρες χωρίς τοροειδές.

Κατόπιν λεπτομερούς έρευνας, έγινε αντιληπτό ότι δεν υπάρχει κάποια μέθοδος που να μπορεί αποτελεσματικά να εντοπίζει όλα τα ελαττώματα στους μονωτήρες (κάποια ελαττώματα δεν προκαλούν αλλαγή στο ηλεκτρικό πεδίο που να μπορεί να εντοπιστεί).

Από τις μετρήσεις που έγιναν, αποδείχθηκε ότι η πιθανότητα εντοπισμού των ατελειών σε ένα μη-κεραμικό μονωτήρα με είκοσι δίσκους, ο οποίος χρησιμοποιείται σε γραμμή μεταφοράς 345 kV, αυξάνεται, εάν διενεργηθούν ακτινικές μετρήσεις αντί για αξονικές (βλ. Σχήμα 2.3 και Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3: Κατεύθυνση λήψης των αξονικών μετρήσεων



Σχήμα 2.4: Κατεύθυνση λήψης των ακτινικών μετρήσεων

2.4 Έμπειρα συστήματα για τον υπολογισμό κρίσιμων μεγεθών μονωτήρων

Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην αύξηση του επιπέδου της τάσεως στα δίκτυα μεταφοράς ή, σπανιότερα, στη δημιουργία νέων δικτύων. Καθώς το επίπεδο της τάσης στα δίκτυα μεταφοράς αυξάνει, δημιουργούνται και νέες απαιτήσεις όσον αφορά στην αντοχή των μονωτήρων σε καταπονήσεις (υπερτάσεις εξωτερικές –π.χ. κεραυνοί- και εσωτερικές –π.χ. χειρισμοί-) μιας και αυτοί (οι μονωτήρες) επηρεάζουν ως ένα βαθμό την αξιοπιστία του συστήματος. Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό να υπάρχουν τρόποι ελέγχου της κατάστασης των μονωτήρων, ώστε να εξασφαλίζεται ότι ένα πρόγραμμα καθαρισμού είναι πράγματι αναγκαίο κι ότι δεν γίνεται πρόωρα. Προς αυτήν την κατεύθυνση αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες για τον ποιοτικό έλεγχο των μονωτήρων, όπως τα τεχνικά νευρωνικά δίκτυα και η ασαφής λογική.

2.4.1 Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο για την εκτίμηση του επιπέδου ρύπανσης σε μονωτήρες υψηλών τάσεων

Η έρευνα αυτή [24, 61] κατευθύνεται στη μελέτη της συμπεριφοράς των μονωτήρων κάτω από θαλάσσια ρύπανση. Γίνεται μια προσπάθεια να εκτιμηθεί η σοβαρότητα της ρύπανσης κάτω από διάφορες καιρικές συνθήκες με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.

Οι Ahmad S. Ahmad et al. ανέπτυξαν ένα ΤΝΔ για την εκτίμηση συναρτήσεων και το χρησιμοποίησαν για την ακριβή μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ του ESDD (Equivalent Salt Deposit Density) και της θερμοκρασίας (T), της υγρασίας (H), της πίεσης (P), της βροχόπτωσης (R) και της ταχύτητας του ανέμου (WV). Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά του επιπέδου ρύπανσης στην περιοχή των

δοκιμών καλείται ESDD (Ισοδύναμη πυκνότητα εναπόθεσης άλατος) και μετριέται σε mg/cm^2 NaCl. Το ESDD είναι η ισοδύναμη ποσότητα NaCl που θα επέφερε την ίδια αγωγιμότητα σε πλήρη διάλυση. Αν η τιμή του ESDD είναι ίση ή μεγαλύτερη από $0,03 \text{ mg}/\text{cm}^2$ οι μονωτήρες θα πρέπει να πλυθούν. Στόχος της προσπάθειας αυτής ήταν η απόκτηση γνώσης για τη συμπεριφορά και το επίπεδο της ρύπανσης, η οποία θα μπορούσε να βοηθήσει στην καθιέρωση μιας πολιτικής συντήρησης των μονωτήρων, αφού θα ήταν γνωστοί τόσο οι κρίσιμοι μήνες όσο και οι περίοδοι έκθεσης κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Το νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτήν τη μελέτη ήταν ένα πολυστρωματικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης που χρησιμοποιούσε την τεχνική της προς τα πίσω διάδοσης του σφάλματος, προκειμένου να μοντελοποιήσει τη συνάρτηση $ESDD=f(T,H,R,P,WV)$, όπου το ESDD είναι η εξαρτημένη μεταβλητή και οι μετεωρολογικοί παράγοντες είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύτηκε με τη βοήθεια δεδομένων από μετρήσεις και η εκπαιδευτική ακρίβεια καθορίστηκε από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE).

Το προτεινόμενο μοντέλο πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια δεδομένων που αποκτήθηκαν έπειτα από μετρήσεις στο σταθμό παραγωγής Sultan Ismail Power Station. Οι μετεωρολογικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται το ESDD είναι: η Θερμοκρασία (σε $^{\circ}\text{C}$), η Υγρασία (%), η Πίεση του αέρα (σε mbar), η Βροχόπτωση (σε mm^2) και η Ταχύτητα του ανέμου (σε m/s). Από τις 60 σειρές μετρήσεων που συνελέγησαν, οι 46 σειρές προτύπων εισόδου-εξόδου χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση και οι υπόλοιπες 14 για τον έλεγχο του ΤΝΔ.

2.4.2 Εκτίμηση του χρόνου έως την υπερπήδηση σε μονωτήρες που βρίσκονται σε συνθήκες ρύπανσης με χρήση ΤΝΔ

Το άρθρο των Ghosh et al. [25, 61] αναφέρεται στη χρήση ενός ΤΝΔ για την εκτίμηση της συνάρτησης $t=f(V,L,R_p)$, όπου t είναι ο χρόνος μέχρι να συμβεί υπερπήδηση σε ένα ρυπασμένο μονωτήρα, V η εφαρμοζόμενη τάση, L το μήκος του μονωτήρα και R_p η αντίσταση ανά μονάδα μήκους του μονωτήρα. Τα προαπαιτούμενα δεδομένα για την εκπαίδευση πάρθηκαν από πειραματικές εργασίες που διενεργήθηκαν σε μοντέλο επίπεδης πλάκας για μονωτήρα με ρύπανση. Βρέθηκε ότι, όταν η εκπαίδευση ολοκληρώθηκε, το ΤΝΔ ήταν ικανό να εκτιμήσει τη

συνάρτηση $t=f(V,L,R_p)$ πολύ ικανοποιητικά και αποτελεσματικά ακόμα κι όταν τα ανεπαρκή δεδομένα συμπεριλαμβάνονταν στο σύνολο εκπαίδευσης.

Σε συνθήκες έντονης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ένα στρώμα ηλεκτρολυτικές ουσίες επικάθεται σταδιακά στην επιφάνεια του μονωτήρα και όταν προστεθεί υγρασία από ομίχλη ή βροχή σχηματίζεται ένα αγωγίμο στρώμα, στο οποίο ρέει το ρεύμα διαρροής. Σοβαρή επιφανειακή ρύπανση και ανομοιογενής κατανομή του δυναμικού κατά μήκος της επιφάνειας του μονωτήρα προκαλούν την εμφάνιση φωτεινών εκκενώσεων (glow discharges) ή ασταθών τόξων. Μια εκκένωση είναι ικανή να γεφυρώσει εντελώς το μήκος L του μονωτήρα, όταν η εφαρμοζόμενη τάση είναι πάνω από μια κρίσιμη τιμή V_c . Για μια τέτοια τάση, οι εκκενώσεις ή τα ασταθή τόξα επιμηκύνονται μέσω διαδοχικών δενδροειδών σχηματισμών (root formation) πάνω στην επιφάνεια του βρώμικου μονωτήρα. Η ανάπτυξη αυτή συνεχίζεται μέχρι τα ασταθή τόξα να φτάσουν την κρίσιμη απόσταση X_c και είναι το X_c απ' όπου γίνεται η τελική υπερπήδηση για την επίτευξη της γεφύρωσης. Ωστόσο, η επιμήκυνση των τόξων κατά τη φάση που περιγράφηκε εξαρτάται από την ταχύτητα διάδοσης του τόξου. Η ταχύτητα του τόξου πάνω σε επιφάνεια με ρύπους δεν είναι μια σταθερή παράμετρος και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η αντίσταση ανά μονάδα μήκους R_p , το μήκος L και η εφαρμοζόμενη ac τάση V . Συνεπώς η εξάρτηση του χρόνου t που μεσολαβεί μέχρι την υπερπήδηση από τα V , R_p και L είναι σημαντική στη μελέτη της ανάπτυξης των εκκενώσεων.

Στην εργασία αυτή [25] χρησιμοποιήθηκε το πολυεπίπεδο ΝΔ εμπρόσθιας τροφοδότησης. Τα δεδομένα εισόδου-εξόδου κανονικοποιήθηκαν πριν την έναρξη της διαδικασίας εκπαίδευσης του ΤΝΔ για την καλύτερη σύγκλιση και ακρίβεια της διαδικασίας εκμάθησης. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της προς τα πίσω διάδοσης του σφάλματος με σταθερό ρυθμό μάθησης και σταθερή ορμή και ένα κρυμμένο επίπεδο, προκειμένου να καθοριστούν τα βάρη σύνδεσης μεταξύ των νευρώνων. Στη συνέχεια δοκιμάστηκε ξανά η εκπαίδευση του ΤΝΔ χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά δύο κρυμμένα επίπεδα, ενώ μελετήθηκε και το αποτέλεσμα διαφορετικών ρυθμών μάθησης και σταθερών ορμής στη σύγκλιση της διαδικασίας εκπαίδευσης. Επιπλέον, δοκιμάστηκαν συνδυασμοί για τον αριθμό των νευρώνων στα κρυμμένα επίπεδα για να βρεθεί ο καλύτερος.

Βρέθηκε ότι η χρήση δύο κρυμμένων επιπέδων είχε καλύτερο αποτέλεσμα στη σύγκλιση απ' ότι η χρήση ενός κρυμμένου επιπέδου με τον ίδιο αριθμό κρυμμένων

νευρώνων. Τέλος, για να επιταχυνθεί περισσότερο ο ρυθμός σύγκλισης της διαδικασίας μάθησης, παρουσιάστηκε ένας αλγόριθμος προσαρμοστικής μάθησης, στον οποίο τόσο ο ρυθμός μάθησης, όσο και η σταθερά ορμής προσαρμόζονται αυτόματα κατά τη διαδικασία της μάθησης.

Απ' τη στιγμή που εκπαιδεύτηκε, το TNA ήταν ικανό να προβλέπει το χρόνο μέχρι την υπερπήδηση, όταν του δίνονταν οι τιμές για τα V , R_p και L με ένα μέσο απόλυτο σφάλμα της τάξης του 6% σε σχέση με τα πειραματικά δεδομένα.

2.4.3 Χρήση συσκευών ελέγχου ρύπανσης σε συνδυασμό με TNA για την πρόβλεψη υπερπήδησης σε μονωτήρες

Οι μονωτήρες των γραμμών μεταφοράς σε βιομηχανικές ζώνες ρυπαίνονται από σωματίδια στον αέρα, με συνέπεια τη διάσπασή τους. Οι μονωτήρες μπορούν να καθαρίζονται περιστασιακά, αλλά αυτή είναι μια δαπανηρή εργασία. Οι Cline et al. [26, 61] εκπαίδευσαν ένα νευρωνικό δίκτυο ώστε να ερμηνεύει τα δεδομένα από δύο συσκευές ελέγχου ρύπανσης και να εκτιμά το αν επίκειται διάσπαση των μονωτήρων του υποσταθμού. Οι συσκευές ελέγχου είναι η UE-386 συσκευή υπερήχων και η CAT-ILD για την παρακολούθηση του ρεύματος διαρροής, που συνδυάζεται με μια τοπική ένδειξη της σχετικής υγρασίας. Τα δεδομένα πάρθηκαν από τεστ που διεξήχθησαν στο Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ισχύος (Electric Power Research Institute). Οι προβλέψεις του νευρωνικού δικτύου επικυρώνονται με ένα σύνολο πειραμάτων πάνω σε διασπάσεις.

2.4.4 TNA για την ανάλυση επιφανειακών ρωγμών (surface tracking) σε συμπαγείς μονωτήρες

Οι επιφανειακές ρωγμές στους μονωτήρες αποτελούν έναν απ' τους πιο σοβαρούς μηχανισμούς κατάρρευσης που σχετίζεται με τη συμπεριφορά των πολυμερών υλικών μετά από μακρόχρονη λειτουργία. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τέτοιου είδους φθορές, όπως αυτές αποτυπώνονται στον οδηγό STRI [27, 61].



Διάφοροι τύποι διακοπτών μπορούν να ανιχνεύσουν σφάλματα σε μια γραμμή μεταφοράς και να αποτρέψουν την ολική κατάρρευση του συστήματος, αλλά σε ό,τι αφορά τους συμπαγείς μονωτήρες, λόγω των μη ιάσιμων χαρακτηριστικών τους, στις περισσότερες περιπτώσεις μετά την εμφάνιση και την ανάπτυξη τέτοιων ρωγμών είναι πολύ αργά για να “σωθεί” ένας μονωτήρας.

Οι M. Ugur et al. [28] ασχολήθηκαν με τη χρήση των ΤΝΔ για την ανίχνευση ρωγμών σε αρχικά στάδια εμφάνισης, η μέθοδος όμως που περιγράφεται στην εργασία τους μπορεί να εφαρμοστεί και για την ανίχνευση άλλων επικίνδυνων παραγόντων, όπως οι μερικές εκκενώσεις, το ρεύμα διαρροής και οι σοβαρές βλάβες σε ένα μονωτήρα.

Χρησιμοποιήθηκε ένα ΤΝΔ που χρησιμοποιούσε τον κανόνα ανάστροφης διάδοσης σφάλματος, το οποίο αρχικά εκπαιδεύτηκε με διαφορετικούς τύπους σημάτων. Εξαιτίας του ότι οι είσοδοι στο ΤΝΔ πρέπει να είναι παρόμοιου τύπου, το σύστημα χρησιμοποιεί το μετασχηματισμό FFT (Fast Fourier Transform) του σήματος εισόδου, το οποίο μπορεί να έχει κι άλλες συνιστώσες συχνότητας πέρα απ' τη βασική, ανάλογα με το είδος της επιφάνειας. (Λόγω της φύσης της μεθόδου ανάστροφης διάδοσης σφάλματος, διακυμάνσεις στο πλάτος των σημάτων εισόδου, ή στη χρονική στιγμή που αυτά ξεκινούν μπορούν να καταγραφούν σαν διαφορετικοί τύποι αν παρασταθούν απευθείας στο πεδίο του χρόνου. Το πρόβλημα αυτό λύνεται αν τα σήματα παρασταθούν στο χώρο της συχνότητας μέσω του FFT).

Το σύστημα λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο, προειδοποιεί το χρήστη με την πρώτη ένδειξη βλάβης στην επιφάνεια του μονωτήρα και μπορεί να προστατεύσει έτσι το μονωτήρα από περαιτέρω φθορά. Για τη συλλογή των δεδομένων έγιναν πειράματα με βάση το πρότυπο IEC587 [28].

2.4.5 ΤΝΔ για την πρόβλεψη του ρεύματος διαρροής σε πολυμερείς μονωτήρες

Στο άρθρο [29] αναπτύχθηκε ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο για την εκτίμηση του ρεύματος διαρροής, το οποίο εμφανίζεται σε πολυμερείς μονωτήρες και αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες γήρανσης του μονωτήρα. Τα πειραματικά δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου και για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητάς του, προέκυψαν από μετρήσεις σε μονωτήρες οι οποίοι τοποθετήθηκαν εντός θαλάμου και, μέσω κατάλληλης διάταξης, ψεκάστηκαν με αλμυρό νερό, το οποίο αποτελεί ουσιαστικά τη ρύπανση που επικάθεται στο μονωτήρα. Η επιβαλλόμενη τάση ήταν 10kV και εφαρμόστηκε επί 100 ώρες στα διάφορα δοκίμια. Για κάθε μονωτήρα που δοκιμαζόταν, γινόταν ταυτόχρονα και καταγραφή της κυματομορφής του ρεύματος διαρροής.

Κατόπιν δοκιμών προέκυψε ότι το ΤΝΔ προσοτροφοδότησης με δύο κρυμμένα επίπεδα παρουσιάζει την καλύτερη σύγκλιση. Η εκπαίδευσή του έγινε με τη μέθοδο της ανάστροφης διάδοσης σφάλματος. Ως εισόδους είχε την αρχική τιμή του ρεύματος διαρροής και την αρχική κλίση της γραφικής παράστασης του ρεύματος διαρροής και ως έξοδο την τιμή του ρεύματος ύστερα από 10 ώρες. Το συμπέρασμα της μελέτης αυτής είναι ότι ένα ΤΝΔ της μορφής που αναπτύχθηκε μπορεί να προβλέψει την τιμή του ρεύματος διαρροής με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια (με μέγιστο σφάλμα 12%).

Η ίδια συγγραφική ομάδα σε προηγούμενο σχετικό άρθρο της [30] είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι, εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία αλλά για δεδομένα που προέκυψαν για διαφορετικούς τύπους μονωτήρων, το σφάλμα της εκτίμησης που δίνει το νευρωνικό δίκτυο είναι μεγαλύτερο (15%) και γι' αυτόν τον λόγο είναι προτιμότερο τα δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου να ομαδοποιούνται ανάλογα με το είδος του μονωτήρα.

2.4.6 ΤΝΔ για την κατηγοριοποίηση της τάσης στα άκρα του τόξου της υπερπήδησης που εμφανίζεται σε μονωτήρες πορσελάνης

Στο άρθρο [31] γίνεται αρχικά μία αναφορά στα τρία στάδια που χαρακτηρίζουν ανάπτυξη του φαινομένου της υπερπήδησης και τα οποία έχουν ως εξής: 1) εμφάνιση μίας αρχικής επιφανειακής ροής ρεύματος στο μονωτήρα η οποία οδηγεί σε εμφάνιση μερικών εκκενώσεων και ενός συνεχούς συριγμού, 2) πολλαπλασιασμός των μερικών τόξων σε τέτοιο βαθμό ώστε να εμφανιστούν ισχυρά

τοπικά τόξα τα οποία προκαλούν την καταστροφή της επιφάνειας του μονωτήρα και 3) περαιτέρω ανάπτυξη αυτών των τόξων έως, τελικά, την εμφάνιση της υπερπήδησης.

Διαπιστώθηκε ότι αν είναι δεδομένες οι τιμές των σταθερών A , n και I (βλ. §2.2) τότε μπορεί να συναχθεί συμπέρασμα σχετικά με το σε ποιο στάδιο της ανάπτυξης του φαινομένου της υπερπήδησης βρισκόμαστε. Κάτι τέτοιο είναι πολύ χρήσιμο για τον κατάλληλο προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης των μονωτήρων ώστε να μειωθεί, κατά το μέτρο του δυνατού, η διακοπή της τροφοδότησης των καταναλωτών λόγω βλάβης στους μονωτήρες, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα στη γραμμή (μονοφασικό σφάλμα).

Προς την επίτευξη αυτού του στόχου αναπτύχθηκε ένα ΤΝΔ με ένα κρυμμένο επίπεδο για την εκπαίδευση του οποίου χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος ανάστροφης διάδοσης σφάλματος. Το νευρωνικό δίκτυο έχει τρεις εισόδους, τις σταθερές A , n και I , και τρεις εξόδους καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα από τα τρία στάδια που περιγράφηκαν παραπάνω. Η κατηγοριοποίηση με βάση τις τρεις σταθερές σε ένα από προαναφερθέντα τρία στάδια γίνεται ανάλογα με το ποια έξοδος του νευρωνικού δικτύου έχει την μεγαλύτερη τιμή.

Κατά την εκπαίδευση του ΤΝΔ με τον αλγόριθμο ανάστροφης διάδοσης σφάλματος ο ρυθμός μάθησης και η σταθερά ορμής είναι 0.1 και 0.9 αντίστοιχα. Η εκπαίδευση σταματά είτε όταν συμπληρωθούν 2000 εποχές, είτε όταν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα γίνει μικρότερο ή ίσο του 10^{-5} . Κατόπιν δοκιμών προέκυψε ότι το ελάχιστο σφάλμα επιτυγχάνεται όταν το κρυμμένο επίπεδο αποτελείται από έξι νευρώνες. Σε αυτήν την περίπτωση, η δυνατότητα του αναπτυχθέντος ΤΝΔ να κάνει την επιθυμητή κατηγοριοποίηση σε ένα από τα τρία στάδια βάσει των τριών μεγεθών (A , n και I) είναι ακριβέστατη, όπως προκύπτει από τα δεδομένα ελέγχου.

2.4.7 Μοντελοποίηση της τάσης έναρξης μερικών εκκενώσεων σε μονωτήρες στήριξης εποξικής ρητίνης με χρήση ΤΝΔ

Στο άρθρο [32] αναπτύχθηκε ένα ΤΝΔ με ένα κρυμμένο επίπεδο, που εκπαιδεύτηκε με τη μέθοδο της ανάστροφης διάδοσης σφάλματος, ώστε, με δεδομένα το μήκος ερπυσμού και την απόσταση των μεταλλικών ηλεκτροδίων, να γίνεται πρόβλεψη της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων. Τα δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου προέκυψαν από μετρήσεις που έγιναν σε μονωτήρες 17 διαφορετικών μεγεθών και

μορφών με επιβαλλόμενη τάση έξι διαφορετικών τιμών μεταξύ των 3.3 και 33kV. Για κάθε τύπο μονωτήρα παίρνονται πέντε μετρήσεις και χρησιμοποιείται ο μέσος όρος τους. Από τα 17 αυτά σύνολα μετρήσεων επιλέγονται τυχαία 12, τα οποία θα αποτελέσουν το σύνολο εκπαίδευσης, και τα υπόλοιπα 5 θα αποτελέσουν το σύνολο ελέγχου.

Για να επιταχυνθεί ο ρυθμός σύγκλισης της διαδικασίας μάθησης, χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος προσαρμοστικής μάθησης, στον οποίο τόσο ο ρυθμός μάθησης, όσο και η σταθερά ορμής προσαρμόζονται αυτόματα κατά τη διαδικασία της μάθησης.

Η βέλτιστη τιμή για το πλήθος των νευρώνων που θα έχει το κρυμμένο επίπεδο, τον ρυθμό μάθησης και τη σταθερά ορμής προέκυψαν 6, 0.05 και 0.9, αντίστοιχα.

Καθώς εκπαιδεύεται το δίκτυο, παρακολουθούμε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Sum Squared Error – MSSE) που προκύπτει τόσο για τα δεδομένα εκπαίδευσης όσο και για τα δεδομένα ελέγχου. Αν και το MSSE για τα δεδομένα εκπαίδευσης μειώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των επαναλήψεων, δεν συμβαίνει το ίδιο και για τα δεδομένα ελέγχου. Εκεί το MSSE παρουσιάζει μία ελάχιστη τιμή για έναν συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων και κατόπιν αυξάνεται. Γι' αυτό το λόγο, η διαδικασία εκπαίδευσης σταματά όταν επιτευχθεί το ελάχιστο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τα δεδομένα ελέγχου.

Η ανάπτυξη του ΤΝΔ για τον συγκεκριμένο σκοπό δίνει πολύ καλά αποτελέσματα καθώς οι τιμές που δίνει για την τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων είναι αρκετά κοντά στις πειραματικές. Συνεπώς, συνάγεται το συμπέρασμα ότι είναι δυνατός ο υπολογισμός της τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων σε μονωτήρες βάσει των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών.

2.4.8 Ανάπτυξη αλγορίθμου ασαφούς λογικής για τον εντοπισμό ηλεκτρικών δένδρων σε πολυμερή μονωτικά

Τα ηλεκτρικά δένδρα αποτελούν το ύστατο στάδιο κατάρρευσης της μονωτικής ικανότητας των μονωτήρων. Ο έγκαιρος εντοπισμός τέτοιων δένδρων καθίσταται αποφασιστικός προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες, οι οποίες μπορεί να αποδειχθούν μοιραίες. Στο άρθρο [33] γίνεται μία προσπάθεια προς αυτήν την κατεύθυνση. Η προταθείσα μέθοδος εντοπισμού των ηλεκτρικών δένδρων εμπλέκει τον χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δύο εκφορτίσεων, καθώς η γνώση μόνο του πλάτους της μερικής εκκένωσης αποδείχθηκε ανεπαρκής για τον σκοπό αυτό.

Λόγω της αδυναμίας διαχωρισμού των μερικών εκκενώσεων είτε ως οφειλόμενες στις εσοχές που υπάρχουν στον μονωτήρα (ως αποτέλεσμα της φθοράς του), είτε ως οφειλόμενες σε ηλεκτρικά δένδρα που εμφανίζονται όταν συμβαίνουν εκκενώσεις στην επιφάνεια του μονωτήρα με μορφή δενδροειδών καναλιών, η χρήση της ασαφούς λογικής καθίσταται επιτακτική για τη συσχέτιση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών εκκενώσεων με την εμφάνιση ενός ηλεκτρικού δένδρου. Η αναπτυχθείσα μέθοδος είναι αρκετά αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται σε συστήματα στα οποία υπάρχουν λίγες πηγές που παράγουν τις εκφορτίσεις και δεν έχει πρόβλημα να αναγνωρίσει ηλεκτρικά δένδρα διαφόρων σχημάτων. Επίσης, η μέθοδος αυτή είναι αρκετά εύρωστη και δεν επηρεάζεται από μία ενδεχόμενη αύξηση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ δύο μερικών εκκενώσεων. Έτσι, καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός των ηλεκτρικών δένδρων σε ένα αρκετά πρώιμο στάδιο της ανάπτυξής τους.

2.4.9 Ανάπτυξη αυτοοργανούμενου ασαφούς συστήματος για τη βελτιστοποίηση του παραγομένου από συστήματα ηλεκτροδίων υψηλής τάσης πεδίου

Λόγω της σημασίας του βέλτιστου σχεδιασμού ηλεκτροδίων και του περιγράμματος των μονωτήρων, καταβάλλεται προσπάθεια στο άρθρο [34] ανάπτυξης μίας νέας μεθόδου με χρήση ασαφούς λογικής. Το αυτοοργανούμενο ασαφές σύστημα που αναπτύχθηκε πλεονεκτεί έναντι άλλων μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς (π.χ. επαναληπτικές μέθοδοι, νευρωνικά δίκτυα) λόγω του ότι δεν απαιτείται εκπαίδευση ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια, γεγονός που επιταχύνει αρκετά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης.

Η βάση των ασαφών κανόνων παράγεται αυτόματα από τα δεδομένα εισόδου-εξόδου του συστήματος. Η εφαρμογή της μεθόδου σε δύο πρακτικά προβλήματα, σε ένα μονοφασικό σύστημα αερίου μονωτικού σε τερματικό ζυγό και σε διακόπτη απόζευξης, με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα (σε συνδυασμό με το γεγονός ότι για την εύρεση της λύσης του προβλήματος απαιτείται μία μόνο επανάληψη και με το γεγονός ότι δεν απαιτείται διαδικασία εκπαίδευσης – μείωση του υπολογιστικού φόρτου) μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η προταθείσα λύση είναι πολύ ικανοποιητική.

Κεφάλαιο 3

Νευρωνικά Δίκτυα

3.1 Εισαγωγή

Η υπολογιστική νοημοσύνη αποτελεί έναν επιστημονικό τομέα που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα και παρουσιάζει ένα πλήθος εφαρμογών. Οι τρεις κλάδοι, από τους οποίους αποτελείται, καλούνται να λύσουν προβλήματα τα οποία άπτονται θεμάτων αναγνώρισης προτύπων, αυτομάτου ελέγχου και επιχειρησιακών-διοικητικών αποφάσεων [35]. Συνοπτικά, οι τρεις κλάδοι που αναφέρθηκαν είναι τα νευρωνικά δίκτυα, η ασαφής λογική και οι γενετικοί αλγόριθμοι. Στο παρόν κεφάλαιο θα εστιάσουμε το ενδιαφέρον περισσότερο στις βασικές αρχές που διέπουν τα νευρωνικά δίκτυα ώστε να διευκολυνθεί η κατανόηση των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση κρίσιμων μεγεθών σε μονωτήρες.

3.2 Νευρωνικά Δίκτυα

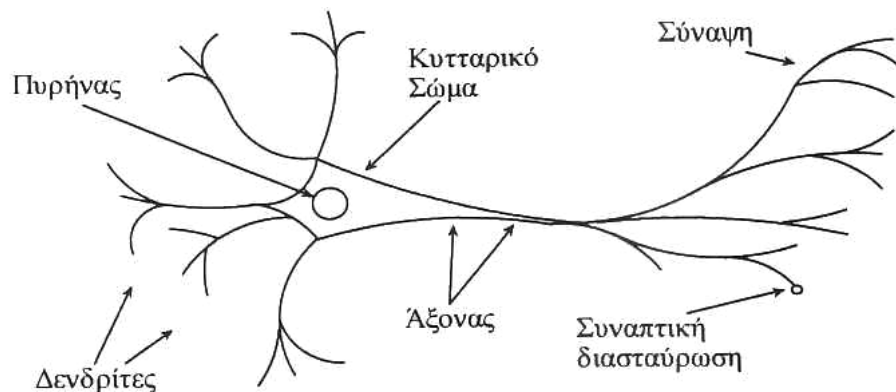
3.2.1 Γενικά περί Νευρωνικών Δικτύων

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks - ΤΝΔ) μιμούνται την κατανομημένη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου, εξ' ου και το όνομά τους [35]. Αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό μη γραμμικών επεξεργαστών ειδικού τύπου (πολλά δομικά στοιχεία) οι οποίοι καλούνται τεχνητά νευρόνια. Τα νευρόνια ελέγχονται από προσαρμοζόμενες παραμέτρους και είναι ικανά να μαθαίνουν, να γενικεύουν και να ανταποκρίνονται με 'εξυπνάδα' σε νέα ερεθίσματα. Η κυριότερη εφαρμογή τους αφορά στη μοντελοποίηση αγνώστων συστημάτων με μη γραμμική συμπεριφορά χωρίς να είναι απαραίτητη η α priori γνώση κάποιου μαθηματικού μοντέλου αυτών. Η λειτουργία τους βασίζεται στη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου και επικαλούνται την ιδέα της μοντελοποίησης 'μαύρου κουτιού' χρησιμοποιώντας μοντέλα του ανθρώπινου εγκεφάλου τα οποία εμπνέονται από τη βιολογία και τη νευροφυσιολογία.

Κάθε Νευρωνικό Δίκτυο χαρακτηρίζεται από μία κατάσταση, ένα σύνολο εισόδων με βάρη που προέρχονται από άλλα νευρόνια και μία εξίσωση η οποία περιγράφει τη δυναμική λειτουργία του ΝΔ. Τα βάρη του ΝΔ ανανεώνονται μέσω μίας διαδικασίας μάθησης (εκπαίδευσης), η οποία πραγματοποιείται με την ελαχιστοποίηση κάποιας συνάρτησης κόστους (σφάλματος). Οι βέλτιστες τιμές των βαρών αποθηκεύονται (ως δυνάμεις των διασυνδέσεων μεταξύ των νευρονίων) και χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση της εργασίας για την οποία προορίζεται το ΝΔ. Τα ΝΔ είναι κατάλληλα για προβλήματα για τα οποία ο συνήθης υπολογισμός δεν είναι αποδοτικός, λ.χ. μηχανική όραση, αναγνώριση προτύπων, αναγνώριση φωνής, μη γραμμική πρόβλεψη, ελεύθερη μοντέλου αναγνώριση συστημάτων, αυτόματο έλεγχο, ρομποτική, επιχειρησιακά προβλήματα κοκ.

3.2.2 Βιολογικό νευρόνιο

Το νευρόνιο ή νευρώνας είναι το θεμελιακό δομικό στοιχείο του ανθρώπινου νευρικού συστήματος [35]. Όλα τα νευρόνια αποτελούνται από το κυτταρικό σώμα, τους δενδρίτες και τον άξονα (βλ. Σχήμα 3.1).

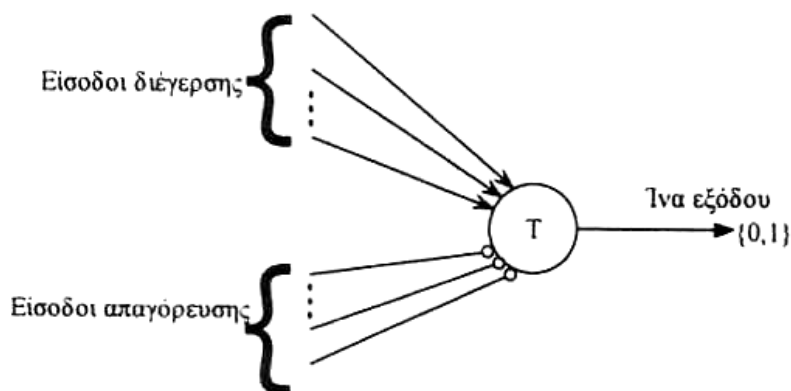


Σχήμα 3.1: Δομή τυπικού βιολογικού νευρονίου.

Το κυτταρικό σώμα είναι το κεντρικό μέρος του νευρονίου και το σχήμα του μπορεί να είναι στρογγυλό, τριγωνικό, σταγονοειδές, μυτερό στα δύο άκρα κλπ., ανάλογα με το είδος του νευρονίου: οπτικό, ακουστικό, αφής, μυϊκό (κίνησης) κοκ. Η σύνδεση του νευρονίου με τα πολυάριθμα γειτονικά νευρόνια γίνεται μέσω του άξονα και των συνάψεων. Οι δενδρίτες συνθέτουν την εξωτερική επιφάνεια του νευρονίου και μεταφέρουν πληροφορίες στο σώμα του κυττάρου. Ο άξονας, που αποτελεί το τμήμα εξόδου του νευρικού κυττάρου, είναι μία λεπτή κυλινδρική ίνα η

οποία μπορεί να μεταφέρει ηλεκτροχημικά πληροφορίες με βάση την κατάσταση του κυττάρου. Η δομή των δενδριτών και του άξονα μπορεί να υποστεί σημαντική δένδροποίηση, καθώς τελειώνει στους καταληκτικούς βολβούς (endbulbs) κοντά στους δενδρίτες άλλων νευρονίων. Οι διασυνδέσεις (δηλαδή ο τρόπος αλληλεπίδρασης) ενός καταληκτικού βολβού με το κύτταρο στο οποίο εισβάλλει είναι αυτό που ονομάστηκε από τον Sherrington ‘συνάψεις’ (synapses) και αποτέλεσε το θεμέλιο της καλούμενης «συναπτολογίας». Ένα νευρόνιο παράγει έξοδο μόνον όταν εμφανιστούν αρκετοί παλμοί στην περιοχή των δενδριτών για ένα μικρό χρονικό διάστημα που ονομάζεται ‘λανθάνουσα περίοδος άθροισης’. Στην πραγματικότητα, κάποιες εισοδοί εμποδίζουν την ενεργοποίηση του κυττάρου ώστε να μπορούμε να πούμε ότι ένα νευρόνιο ενεργοποιείται αν οι ενεργές εισοδοί διέγερσης ξεπερνούν τις ενεργές απαγορευτικές εισόδους κατά μία ποσότητα ίση με την ‘τιμή κατωφλίου’ του κυττάρου. Ένα τμήμα του σώματος, ονομαζόμενο ‘εκκινητής κορυφής’, πραγματοποιεί την πρόσθεση αυτή και τη σύγκριση με το κατώφλι, παράγοντας ένα παλμικό σήμα εξόδου για τις υπάρχουσες καταστάσεις εισόδου.

Η σημαντικότερη προσπάθεια μοντελοποίησης του βιολογικού νευρονίου έγινε από τους McCulloch και Pitts (1943). Το μοντέλο των McCulloch και Pitts, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2 δεν είναι ένα πλήρες μοντέλο του νευρικού κυττάρου, αλλά μία απλή παρουσίαση δύο καταστάσεων της λογικής διαδικασίας που λαμβάνει χώρα σ’ αυτό.

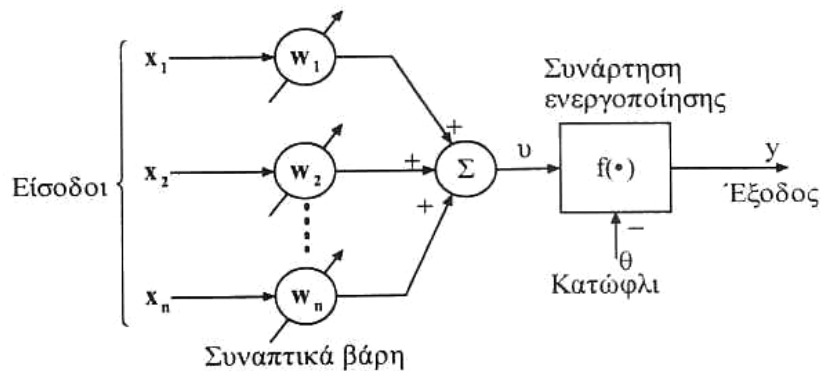


Σχήμα 3.2: Μοντέλο νευρονίου McCulloch-Pitts.

Η ένα εξόδο του κυττάρου συσχετίζει τις πληροφορίες που αφορούν στην κατάσταση του νευρονίου (διέγερση ή όχι) και τελικά γίνεται είσοδος σε ένα άλλο κύτταρο (ή και στο ίδιο).

3.2.3 Τεχνητό νευρόνιο

Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται το βασικό μοντέλο του τεχνητού νευρονίου και το οποίο στηρίζεται στο μοντέλο των McCulloch και Pitts [35].



Σχήμα 3.3: Βασικό μοντέλο του τεχνητού νευρονίου.

Το τεχνητό νευρόνιο αποτελείται από: α) ένα σύνολο κλάδων διασύνδεσης (συνάψεις), β) έναν κόμβο γραμμικής άθροισης και γ) μία συνάρτηση ενεργοποίησης (μη γραμμικότητα).

Κάθε κλάδος διασύνδεσης έχει ένα βάρος το οποίο είναι θετικό αν η σύναψη είναι ‘διεγερτικού τύπου’ ή αρνητικό αν η σύναψη είναι ‘απαγορευτικού ή αναχαιτιστικού τύπου’. Ο κόμβος άθροισης αθροίζει τα σήματα εισόδου αφού αυτά πολλαπλασιάζονται με τα αντίστοιχα βάρη των συνάψεων. Συνεπώς, ο κόμβος άθροισης είναι μια μονάδα γραμμικού συνδυασμού. Τέλος, η συνάρτηση ενεργοποίησης περιορίζει το επιτρεπόμενο πλάτος του σήματος εξόδου σε κάποια πεπερασμένη τιμή (συνήθως στο κανονικοποιημένο διάστημα $[0,1]$ ή, εναλλακτικά, στο διάστημα $[-1,1]$). Το μοντέλο του νευρονίου περιέχει επίσης ένα κατώφλι θ , που εφαρμόζεται εξωτερικά και, πρακτικά, υποβιβάζει την καθαρή είσοδο στη συνάρτηση ενεργοποίησης.

Όλα τα παραπάνω περιγράφονται από τις εξής σχέσεις:

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (3.1)$$

$$y = f(u - \theta), \theta > 0 \quad (3.2)$$

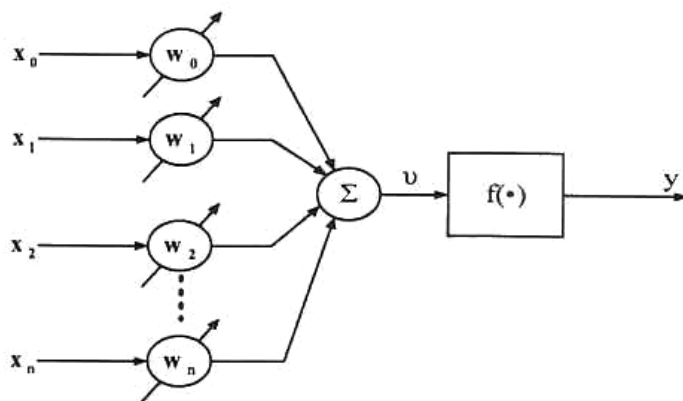
Ισοδύναμα μπορούμε να πούμε ότι:

$$u = \sum_{i=0}^n w_i x_i \quad (3.3)$$

$$y = f(u) \quad (3.4)$$

με $x_0 = -1$ και $w_0 = \theta$.

Το θ ονομάζεται πόλωση.



Σχήμα 3.4: Το βασικό μοντέλο του νευρονίου με την πόλωση να συμπεριλαμβάνεται στις κανονικές εισόδους.

Ως συνάρτηση ενεργοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία από τις παρακάτω.

- Συνάρτηση λογικής κατωφλίου

$$f(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

για $0 \leq f(v) \leq 1$ ή

$$f(v) = \begin{cases} -1, & v < 0 \\ 0, & v = 0 \\ +1, & v > 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

για $-1 \leq f(v) \leq 1$.

Η συνάρτηση αυτή περιέχεται στο μοντέλο των McCulloch και Pitts.

- Κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση

$$f(v) = \begin{cases} 0, & v \leq -0.5 \\ v, & -0.5 < v < 0.5 \\ 1, & v \geq 0.5 \end{cases} \quad (3.7)$$

για $0 \leq f(v) \leq 1$ ή

$$f(v) = \begin{cases} -1, & v \leq -1 \\ v, & -1 < v < 1 \\ 1, & v \geq 1 \end{cases} \quad (3.8)$$

για $-1 \leq f(v) \leq 1$.

Η συνάρτηση αυτή παριστάνει ένα γραμμικό ενισχυτή με κορεσμό και μεταπίπτει στη συνάρτηση κατωφλίου αν η απολαβή (ενίσχυση) του ενισχυτή γίνει πάρα πολύ μεγάλη (θεωρητικά άπειρη).

- Σιγμοειδής συνάρτηση

Είναι η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη συνάρτηση ενεργοποίησης και μπορεί να οριστεί με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι με τη λογιστική συνάρτηση

$$f(v) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda v}} \quad (3.9)$$

όπου λ είναι η παράμετρος κλίσης της σιγμοειδούς συνάρτησης

για $0 \leq f(v) \leq 1$

ή με την υπερβολική εφαπτομένη

$$f(v) = \tanh\left(\frac{v}{2}\right) = \frac{1 - e^{-v}}{1 + e^{-v}} \quad (3.10)$$

για $-1 \leq f(v) \leq 1$.

3.3 Κατηγοριοποίηση των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Οποιαδήποτε περιγραφή ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου ξεκινάει με τον προσδιορισμό των εξής χαρακτηριστικών [36]:

- Τοπολογία δικτύου
- Χαρακτηριστικά μονάδων
- Λειτουργικότητα του δικτύου

Μία προσέγγιση στο διαχωρισμό των ΤΝΔ προκύπτει από την επιθυμητή συμπεριφορά που θέλουμε αυτό να παρουσιάσει. Για παράδειγμα, η επιθυμητή

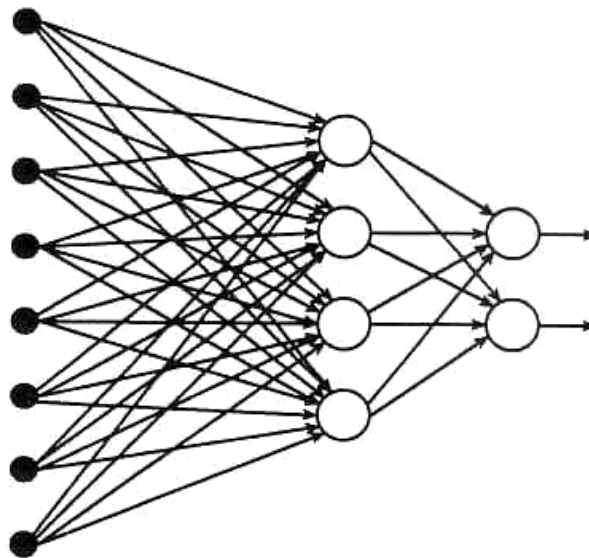
λειτουργία ενός ΤΝΔ μπορεί να καθοριστεί με απαρίθμηση των καταστάσεων του δικτύου ή προσδιορίζοντας την επιθυμητή έξοδο βάσει των εισόδων και της τρέχουσας κατάστασης. Τα ΤΝΔ χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Συσχετιστές προτύπων: Η λειτουργία αυτού του δικτύου είναι η συσχέτιση προτύπων και η υλοποίηση επιθυμητών απεικονίσεων εισόδου-εξόδου. Συνήθως υλοποιούνται με δίκτυα προστροφοδότησης.
- Μοντέλο μνήμης συμφραζομένων: Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι το δίκτυο Hopfield.
- Αυτοοργανούμενα (self-organized) δίκτυα: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δίκτυα με ικανότητα μάθησης χωρίς επίβλεψη, τα οποία δηλαδή κατηγοριοποιούν την είσοδο σύμφωνα με κάποια κριτήρια ομοιότητας.

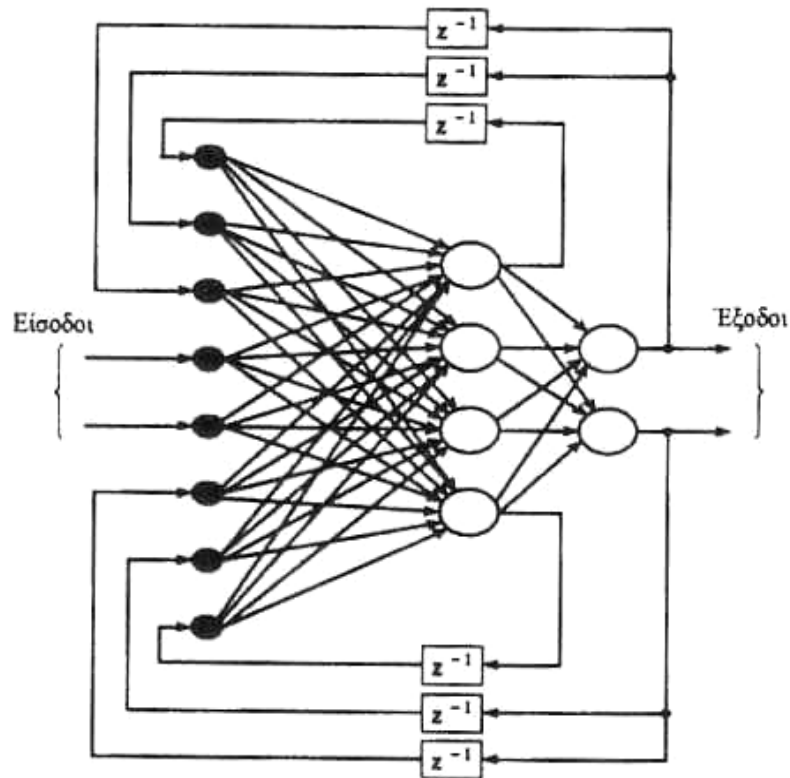
Θεωρώντας την τοπολογία και τη δομή των ΤΝΔ μπορούμε να τα διαχωρίσουμε ως εξής:

- επαναληπτικά δίκτυα, δηλαδή με συνδέσεις ανάδρασης,
- δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης,
- δίκτυα με δομή επιπέδων ή ιεραρχική,
- δίκτυα με ανταγωνιστικές συνδέσεις.

Στα Σχήματα 3.5 και 3.6 φαίνονται δύο παραδείγματα ΤΝΔ.



Σχήμα 3.5: Πολυστρωματικό ΝΔ προστροφοδότησης 8-4-2 (με ένα κρυμμένο στρώμα).



Σχήμα 3.6: Αναδρομικό ΝΔ ενός κρυμμένου στρώματος.

Μέχρι τώρα θεωρήσαμε ότι ο σχεδιαστής του δικτύου πρέπει να επιλέξει μία τοπολογία δικτύου. Πρόσφατες έρευνες προτείνουν ένα ακόμη στάδιο εκπαίδευσης το οποίο θα περιλαμβάνει συνεργασία και συνδυασμό διαφόρων τοπολογιών σε μία εφαρμογή. Παρότι η έρευνα είναι ακόμη σε αρχικό στάδιο, η ιδέα είναι η χρησιμοποίηση συνδυασμών εκπαιδευμένων επιμέρους δικτύων.

3.4 Μάθηση Νευρωνικών Δικτύων

Η μάθηση είναι μια θεμελιακή ικανότητα των ΝΔ, η οποία τους επιτρέπει να μαθαίνουν από το περιβάλλον τους και να βελτιώνουν τη συμπεριφορά τους με το πέρασμα του χρόνου [35]. Στα ΝΔ, η μάθηση αναφέρεται στη διεργασία επίτευξης μιας επιθυμητής συμπεριφοράς μέσω ανανέωσης της τιμής των συναπτικών βαρών. Μ' αυτόν τον τρόπο, ένα ΝΔ μαθαίνει για το περιβάλλον του μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας ανανέωσης (αλλαγής) των συναπτικών βαρών και καταφυγίων.

Αλγόριθμος μάθησης ή εκπαίδευσης είναι κάθε προκαθορισμένο σύνολο καλά ορισμένων κανόνων επίλυσης του προβλήματος εκπαίδευσης του ΝΔ. Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι μάθησης στα ΝΔ κάθε ένας από τους οποίους προσφέρει έναν

άλλο τρόπο προσαρμογής (επιλογής/ανανέωσης των συναπτικών βαρών). Ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο εργάζεται το ΝΔ έχουμε τα εξής είδη μάθησης:

- Επιβλεπόμενη (ενεργή) μάθηση
- Ενισχυτική μάθηση
- Μη-επιβλεπόμενη (αυτό-οργανούμενη) μάθηση

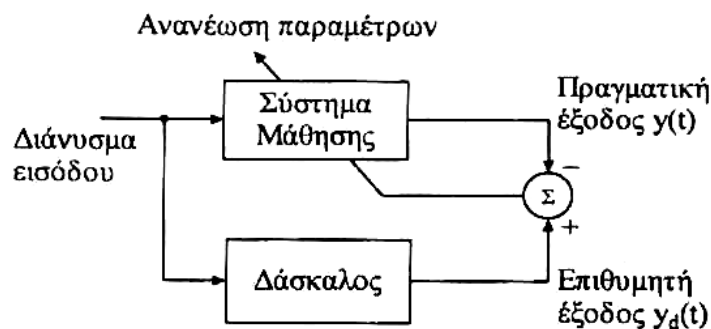
Οι τέσσερις βασικοί κανόνες νευρωνικής μάθησης είναι οι ακόλουθοι:

- Μάθηση διόρθωσης σφάλματος
- Μάθηση Hebb
- Ανταγωνιστική μάθηση
- Μάθηση Boltzmann

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε λίγο πιο αναλυτικά στη λειτουργία των ΤΝΔ με επίβλεψη.

3.4.1 Μάθηση με επίβλεψη

Σε προβλήματα μοντελοποίησης με επιθυμητά ζεύγη εισόδου-εξόδου βρίσκει εφαρμογή η επιβλεπόμενη μάθηση. Σε αυτήν την περίπτωση, τα νευρωνικά δίκτυα πρέπει να έχουν ελεύθερες (επιλέξιμες) παραμέτρους οι οποίες ανανεώνονται με κάποιο κανόνα επιβλεπόμενης μάθησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7. Τα ΝΔ αυτά είναι γνωστά ως ΝΔ επιβλεπόμενης μάθησης ή ΝΔ απεικόνισης [35].



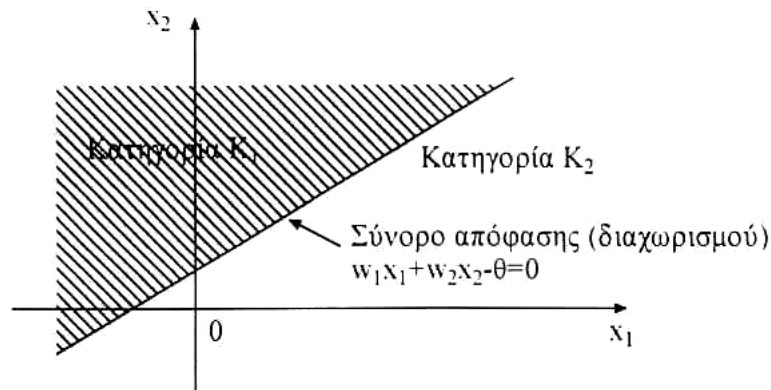
Σχήμα 3.7: Δομή της επιβλεπόμενης μάθησης.

Παραδείγματα αρχιτεκτονικών νευρωνικών δικτύων αυτής της περιοχής αποτελούν το *Perceptron*, το *Madaline*, οι συναρτήσεις ακτινωτής βάσης, η μέθοδος κβάντισης του διανύσματος μάθησης και τα δίκτυα πολλών στρωμάτων με προς τα πίσω διάδοση του σφάλματος [37, 38].

3.4.2 Το απλό Perceptron

Το ΝΔ Perceptron αναπτύχθηκε από τον Rosenblatt (1958) και είναι το απλούστερο ΝΔ που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση γραμμικά διαχωρίσιμων προτύπων, δηλαδή προτύπων τα οποία διαχωρίζονται από ένα υπερεπίπεδο. Αποτελείται από ένα απλό νευρόνιο με προσαρμόσιμα βάρη το οποίο ακολουθείται από μία διπολική συνάρτηση ενεργοποίησης (όπως αναφέρθηκε στην §3.2.3). Τούτο μπορεί να πραγματοποιήσει ταξινόμηση στην περίπτωση που έχουμε μόνο δύο κατηγορίες. Για να είναι δυνατή η ταξινόμηση περισσότερων γραμμικά διαχωρίσιμων κατηγοριών (κλάσεων), το στρώμα εξόδου χρειάζεται να έχει παραπάνω από ένα νευρόνια [35].

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση δύο μεταβλητών x_1 και x_2 όπου το σύνορο απόφασης (διαχωρισμού ανάμεσα στις κατηγορίες K_1 και K_2) είναι μία ευθεία γραμμή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Γραμμικός διαχωρισμός δύο κλάσεων K_1 και K_2 στην περίπτωση δύο διαστάσεων.

Οποιοδήποτε σημείο βρίσκεται πάνω από τη διαχωριστική γραμμή ταξινομείται στην κατηγορία K_1 , διαφορετικά αποδίδεται στην κατηγορία K_2 . Ο αλγόριθμος ανανέωσης των βαρών στηρίζεται στο γεγονός ότι εάν οι κλάσεις K_1 και K_2 είναι γραμμικά διαχωρίσιμες, τότε υπάρχει ένα διάνυσμα βαρών w τέτοιο ώστε:

$$w^T x \geq 0 \text{ όταν το } x \text{ ανήκει στην } K_1$$

$$w^T x < 0 \text{ όταν το } x \text{ ανήκει στην } K_2$$

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία σύνοψη του αλγορίθμου σύγκλισης του perceptron [36].

Μεταβλητές και παράμετροι

$\mathbf{x}(n) = (-1, x_1(n), \dots, x_n(n))^T$: διάνυσμα εισόδου

$\mathbf{w}(n) = (\theta(n), w_1(n), \dots, w_n(n))^T$: διάνυσμα παραμέτρων

$\theta(n)$: πόλωση

$y(n)$: έξοδος

$d(n)$: επιθυμητή έξοδος για την οποία ισχύει: $d(n) = \begin{cases} +1, & \text{αν } \mathbf{x}(n) \in K_1 \\ -1, & \text{αν } \mathbf{x}(n) \in K_2 \end{cases}$

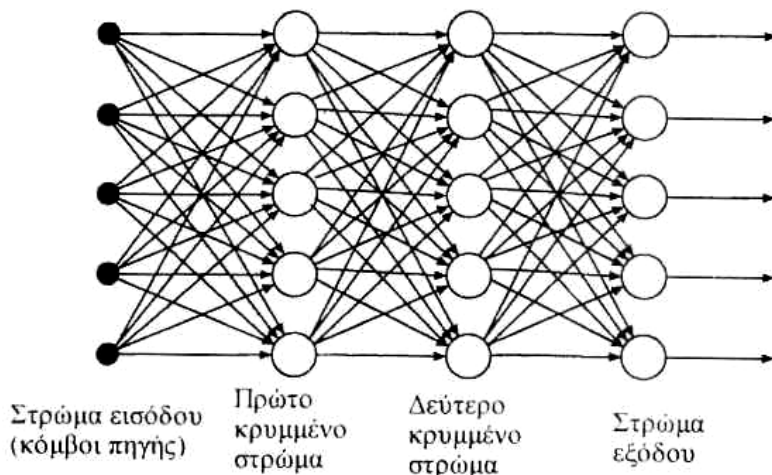
η : ρυθμός μάθησης

1. **Αρχικοποίηση του $\mathbf{w}(n)$:** Συνήθως επιλέγεται $\mathbf{w}(0) = 0$ ή δίνουμε στα αρχικά βάρη $w_i(0)$, $i = 0, \dots, n$ μικρές τυχαίες τιμές [35].
2. **Ενεργοποίηση:** Εφαρμόζουμε ως είσοδο στο perceptron ένα από τα διανύσματα εκπαίδευσης $\mathbf{x}(n)$ με επιθυμητή έξοδο $d(n)$.
3. **Υπολογισμός της εξόδου:** $y(n) = \text{sgn}[\mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n)]$
4. **Προσαρμογή των παραμέτρων:** Σύμφωνα με τον κανόνα δέλτα

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \eta[d(n) - y(n)]\mathbf{x}(n)$$

5. $n = n+1$ και επιστροφή στο Βήμα 2.

Επειδή το μονοστρωματικό perceptron δεν μπορεί να ταξινομήσει πρότυπα που δεν είναι γραμμικά διαχωρίσιμα, αλλά χρειαζόμαστε πιο περίπλοκα σύνορα απόφασης, χρησιμοποιούμε τα πολυστρωματικά perceptron (ένα τέτοιο φαίνεται στο Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Πολυστρωματικό perceptron με δύο κρυμμένα στρώματα.

3.5 Ο Αλγόριθμος Ανάστροφης Διάδοσης Σφάλματος

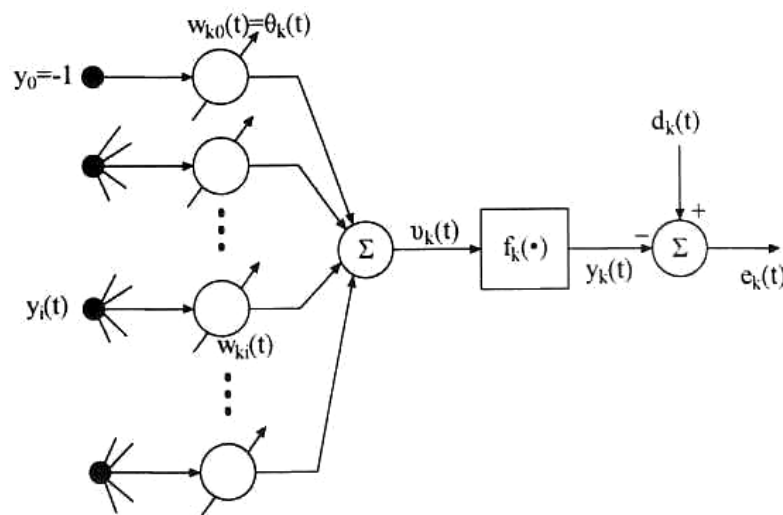
Ο αλγόριθμος ανάστροφης διάδοσης σφάλματος (BP) αποτελεί επέκταση του κανόνα δέλτα στο απλό perceptron όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Η επέκταση συνίσταται στη χρήση της πραγματικής εξόδου κάθε νευρονίου μετά την εφαρμογή της συνάρτησης ενεργοποίησης (η οποία είναι συνεχής) [35].

Έστω ότι έχουμε ένα σύνολο εκπαίδευσης που αποτελείται από N ζεύγη της μορφής $[\vec{x}, \vec{d}]$, όπου \vec{x} διάνυσμα εισόδου (πρότυπο) και \vec{d} το διάνυσμα των επιθυμητών εξόδων όταν εφαρμοσθεί σαν είσοδος το πρότυπο \vec{x} [36].

Το σφάλμα στην έξοδο του τυχαίου νευρώνα j , ο οποίος είναι κόμβος εξόδου, για την n -ιοστή επανάληψη όπου και εφαρμόζεται η είσοδος $\vec{x}(n), \{n = 1, \dots, N\}$ δίνεται από τον τύπο:

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n) \quad (3.11)$$

όπου d_j και y_j η επιθυμητή και η πραγματική έξοδος αντίστοιχα του νευρώνα j όταν εφαρμόζεται η $\vec{x}(n)$.



Σχήμα 3.10: Δομή του k νευρονίου εξόδου.

Η στιγμιαία τιμή του τετραγωνικού σφάλματος για τον νευρώνα j ορίζεται ως $\frac{1}{2} e_j^2(n)$ και το άθροισμα των τετραγωνικών σφαλμάτων όλων των νευρώνων εξόδου για την επανάληψη n δίδεται από τη σχέση:

$$G(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in C} e_j^2(n) \quad (3.12)$$

όπου C το σύνολο των νευρώνων.

Επιπρόσθετα ορίζουμε τη μέση τιμή των σφαλμάτων για όλα τα N πρότυπα ως εξής:

$$G_{av} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N G(n) = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N \sum_{j \in C} e_j^2(n) \quad (3.13)$$

Προφανώς τόσο το G , όσο και το G_{av} εξαρτώνται από τις ελεύθερες παραμέτρους του δικτύου, που δεν είναι άλλες από τα βάρη μεταξύ των συνδέσεων, αλλά και τις πολώσεις. Ο σκοπός της διαδικασίας εκπαίδευσης είναι φυσικά η ελαχιστοποίηση της μέσης τιμής των σφαλμάτων G_{av} , με την ανάλογη προσαρμογή των ελευθέρων παραμέτρων του δικτύου. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούμε μια συγκεκριμένη λογική όπου θεωρούμε ότι τα βάρη ενημερώνονται μετά το πέρασμα κάθε προτύπου, σύμφωνα με τα σφάλματα που παρουσιάζονται κατά την παρουσίαση του αντίστοιχου προτύπου στο δίκτυο. Ουσιαστικά θα λέγαμε ότι η μέση τιμή των μεταβολών όλων των βαρών είναι μια προσεκτική εκτίμηση της πραγματικής μεταβολής των βαρών, που προκύπτει από τη διαδικασία ελαχιστοποίησης του G_{av} .

Όπως παρατηρούμε από το Σχήμα 3.10, ο νευρώνας εξόδου j τροφοδοτείται από τα σήματα εξόδου όλων των νευρώνων του προηγούμενου επιπέδου. Οπότε το σήμα $u_j(n)$ δίνεται από τη σχέση:

$$u_j(n) = \sum_{i=0}^p w_{ji}(n) y_i(n) \quad (3.14)$$

όπου p είναι το σύνολο όλων των νευρώνων του προηγούμενου επιπέδου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το βάρος w_{j0} (για $i=0$) είναι η λεγόμενη πόλωση και αντιστοιχεί σε εξωτερική είσοδο $y_0 = -1$.

Συνεπώς το σήμα εξόδου $y_j(n)$ του νευρώνα εξόδου j κατά την επανάληψη n θα δίνεται από τη σχέση:

$$y_j(n) = \phi(u_j(n)) \quad (3.15)$$

Ο αλγόριθμος προβαίνει σε κάθε επανάληψη σε μια διόρθωση $\Delta w_{ji}(n)$ στο βάρος

$w_{ji}(n)$, η οποία είναι ανάλογη της κλίσης $\frac{\partial G(n)}{\partial w_{ji}(n)}$, σύμφωνα με τον τύπο της 'πιο

απότομης κατάβασης' (steepest descent):

$$\Delta w_{ki}(n) = -\eta \frac{\partial G(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (\text{για το } n \text{ πρότυπο εισόδου}) \quad (3.16)$$

Βάσει του γνωστού κανόνα της αλυσίδας η μερική αυτή παράγωγος παίρνει την μορφή:

$$\frac{\partial G(n)}{\partial w_{ji}(n)} = \frac{\partial G(n)}{\partial e_j(n)} \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} \frac{\partial y_j(n)}{\partial u_j(n)} \frac{\partial u_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (3.17)$$

Διαφορίζοντας ως προς $e_j(n)$ τα δύο μέλη της (3.12) παίρνουμε:

$$\frac{\partial G(n)}{\partial e_j(n)} = e_j(n) \quad (3.18)$$

Ανάλογα προκύπτει από την (3.11):

$$\frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} = -1 \quad (3.19)$$

από την (3.15):

$$\frac{\partial y_j(n)}{\partial u_j(n)} = \phi'(u_j(n)) \quad (3.20)$$

και από την (3.14):

$$\frac{\partial u_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} = y_i(n) \quad (3.21)$$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (3.18)-(3.21) στην (3.17) και αυτήν με τη σειρά της στην (3.16) παίρνουμε τελικά την παρακάτω σχέση για τη διόρθωση των βαρών:

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \delta_j(n) y_i(n) \quad (3.22)$$

όπου η τοπική κλίση $\delta_j(n)$ ορίζεται ως:

$$\delta_j(n) = -\frac{\partial G(n)}{\partial e_j(n)} \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} \frac{\partial y_j(n)}{\partial u_j(n)} = e_j(n) \phi'(u_j(n)) \quad (3.23)$$

Από την αποδεικτική διαδικασία ο πιο σημαντικός παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η αναπροσαρμογή των βαρών $\Delta w_{ji}(n)$ είναι το σφάλμα $e_j(n)$ στον νευρώνα j . Αυτή είναι η περίπτωση που ο νευρώνας j αποτελεί κόμβο εξόδου, όπου, εφόσον η επιθυμητή έξοδος του νευρώνα είναι γνωστή, υπολογίζεται το σήμα σφάλματος.

Υπάρχει και η δεύτερη περίπτωση, όπου ο νευρώνας αποτελεί εσωτερικό κόμβο του νευρωνικού δικτύου, ο οποίος έμμεσα επηρεάζει τα σφάλματα εξόδου του δικτύου.

Σ' αυτήν την περίπτωση δεν υφίσταται κάποια επιθυμητή έξοδος για τον συγκεκριμένο νευρώνα. Το σήμα σφάλματος καθορίζεται αναδρομικά σε σχέση με τα σφάλματα όλων των νευρώνων με τους οποίους αυτός συνδέεται απευθείας αυξάνοντας σημαντικά την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα, για τον νευρώνα i του πρώτου κρυμμένου επιπέδου (από το επίπεδο εξόδου) η διόρθωση $\Delta w_{il}(n)$ δίνεται με βάση τον κανόνα δέλτα από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta w_{il}(n) = -\eta \frac{\partial G(n)}{\partial w_{il}(n)} = -\eta \frac{\partial G(n)}{\partial y_i(n)} \frac{\partial y_i(n)}{\partial u_i(n)} \frac{\partial u_i(n)}{\partial w_{il}(n)} \quad (3.24)$$

Ορίζεται η τοπική κλίση $\delta_i(n)$ για τον νευρώνα i :

$$\delta_i(n) = \frac{\partial G(n)}{\partial y_i(n)} \frac{\partial y_i(n)}{\partial u_i(n)} \quad (3.25)$$

Με βάση τη σχέση (3.12) προκύπτει ότι:

$$\frac{\partial G(n)}{\partial y_i(n)} = \sum_j e_j(n) \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_i(n)} = \sum_j e_j(n) \frac{\partial e_j(n)}{\partial u_j(n)} \frac{\partial u_j(n)}{\partial y_i(n)} \quad (3.26)$$

Από αντικατάσταση της (3.15) στην (3.11) και παραγωγή της τελευταίας ως προς $u_j(n)$ βρίσκεται ότι:

$$\frac{\partial e_j(n)}{\partial u_j(n)} = -\phi'(u_j(n)) \quad (3.27)$$

Με παραγωγή της (3.14) ως προς $y_j(n)$ προκύπτει ότι:

$$\frac{\partial u_j(n)}{\partial y_i(n)} = w_{ji}(n) \quad (3.28)$$

Από αντικατάσταση των (3.23), (3.27) και (3.28) στην (3.26), η τελευταία διαμορφώνεται ως εξής:

$$\frac{\partial G(n)}{\partial y_i(n)} = -\sum_j e_j(n) \cdot \phi'(u_j(n)) \cdot w_{ji}(n) = -\sum_j \delta_j(n) \cdot w_{ji}(n) \quad (3.29)$$

Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι για το νευρώνα i αυτού του κρυμμένου επιπέδου ισχύουν τα εξής:

$$y_i(n) = \phi_i(u_i(n)) \quad (3.30)$$

$$u_i(n) = \sum_{l=0}^q w_{il}(n) y_l(n) \quad (3.31)$$

όπου q είναι το σύνολο όλων των νευρώνων του προηγούμενου επιπέδου και y_i η έξοδος του l -ιστού νευρώνα του προηγούμενου επιπέδου. Με παραγωγή των τελευταίων σχέσεων ως προς $u_i(n)$ και ως προς $w_{ji}(n)$ αντίστοιχα προκύπτουν ότι:

$$\frac{\partial y_i(n)}{\partial u_i(n)} = \phi'(u_i(n)) \quad (3.32)$$

$$\frac{\partial u_i(n)}{\partial w_{ji}(n)} = y_j(n) \quad (3.33)$$

Με χρήση των (3.29), (3.32) και (3.33) η (3.25) διαμορφώνεται ως εξής:

$$\delta_i(n) = \phi'(u_i(n)) \cdot \sum_j \delta_j(n) \cdot w_{ji}(n) \quad (3.34)$$

Δηλαδή η κλίση $\delta_i(n)$ εξαρτάται τόσο από τη συνάρτηση ενεργοποίησης του συγκεκριμένου νευρώνα i , όσο και από το άθροισμα των γινομένων των τοπικών κλίσεων δ του επόμενου επιπέδου με τα αντίστοιχα βάρη που συνδέουν τον νευρώνα i με το επίπεδο αυτό. Οπότε με βάση τις (3.24) και (3.32)-(3.34), η διόρθωση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \cdot \delta_i(n) \cdot y_j(n) \quad (3.35)$$

Σε κάθε περίπτωση η διόρθωση του βάρους που συνδέει τον νευρώνα i με τον νευρώνα j του επόμενου επιπέδου δίνεται από τη σχέση (3.22), όπου η τοπική κλίση δ εξαρτάται από το αν ο νευρώνας j είναι νευρώνας εξόδου ή ανήκει σε κρυμμένο επίπεδο. Στην πρώτη περίπτωση η τοπική κλίση δίνεται από τη σχέση (3.23), ενώ στη δεύτερη από την (3.34).

Κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου οπίσθιας τροφοδότησης σφάλματος (back-propagation) αρχικά αρχικοποιούνται τα βάρη και οι πολώσεις σε μικρές τυχαίες τιμές στο διάστημα $[-1,1]$. Ακολουθούν δύο είδη περασμάτων όσον αφορά την εκτέλεση των υπολογισμών: το πέρασμα ορθής φοράς (forward pass) και το πέρασμα αντίστροφης φοράς (reverse pass).

Στη διαδικασία του ευθέως περάσματος όλα τα βάρη των συνδέσεων παραμένουν αναλλοίωτα και υπολογίζονται οι έξοδοι όλων των νευρώνων. Το σήμα εξόδου του εκάστοτε νευρώνα υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.30) και (3.31), εκτός της περίπτωσης που ανήκει στο πρώτο επίπεδο, για την οποία ισχύει:

$$y_k(n) = x_k(n) \quad (3.36)$$

όπου ο δείκτης k αναφέρεται στην k -ιοστή είσοδο του διανύσματος εισόδου \vec{x} . Δηλαδή το ευθύ πέρασμα ξεκινά από το πρώτο επίπεδο με την παρουσίαση του διανύσματος εισόδου, υπολογίζει όλα τα σήματα εξόδου των νευρώνων βάσει των προαναφερθέντων σχέσεων και προχωρά στα επόμενα επίπεδα του δικτύου, ώσπου να φτάσει τελικά στο τελευταίο επίπεδο (επίπεδο εξόδου) και να υπολογίσει το διάνυσμα εξόδου του δικτύου, καθώς και το σφάλμα του κάθε νευρώνα αυτού του επιπέδου μέσω της (3.11).

Αντίθετα, το αντίστροφο πέρασμα ξεκινά από το επίπεδο εξόδου περνώντας τα σήματα σφάλματος προς τα πίσω και υπολογίζοντας αναδρομικά την τιμή της τοπικής κλίσης του κάθε νευρώνα. Με αυτόν τον τρόπο αναπροσαρμόζονται τα βάρη μεταξύ των συνδέσεων σύμφωνα με τον κανόνα δέλτα. Ακολούθως, μέσω αυτών των τοπικών κλίσεων υπολογίζονται οι τοπικές κλίσεις των νευρώνων του προτελευταίου επιπέδου και ούτω καθεξής για τα υπόλοιπα επίπεδα, ώσπου να καταλήξει στο πρώτο επίπεδο του δικτύου. Η διαδικασία αυτή των δύο περασμάτων εκτελείται για κάθε πρότυπο του συνόλου εκπαίδευσης. Όταν εκτελεστεί για όλο το σύνολο των προτύπων εκπαίδευσης, τότε έχει πραγματοποιηθεί μία εποχή.

Κρίσιμα ζητήματα για την απόδοση του πολυεπίδου τεχνητού νευρωνικού δικτύου είναι τα ακόλουθα:

- *Συνάρτηση ενεργοποίησης και κορεσμός*: Για να υπολογιστεί η τοπική κλίση κάθε νευρώνα, απαιτείται η γνώση της πρώτης παραγώγου της συνάρτησης ενεργοποίησης, οπότε η τελευταία πρέπει να είναι συνεχής και παραγωγίσιμη. Στην §3.2.3 αναφέρθηκαν οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται ως συναρτήσεις ενεργοποίησης. Στον Πίνακα 3.1 καταγράφεται μία σειρά συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται συχνά σε πολυεπίεδα νευρωνικά δίκτυα. Γενικά προτείνεται η χρήση μη γραμμικών συναρτήσεων ενεργοποίησης, ώστε να είναι δυνατή η επίλυση προβλημάτων μη γραμμικής συμπεριφοράς. Όμως σ' αυτήν την περίπτωση ενδέχεται να υπάρξει το πρόβλημα κορεσμού τιμών της συνάρτησης ενεργοποίησης, ο οποίος οφείλεται στη συμπίεση του διαστήματος ορισμού των διανυσμάτων εισόδου (που μπορεί να είναι σύνολο ή υποσύνολο του IR) σε ένα διάστημα πεπερασμένων διαστάσεων λόγω της χρήσης σιγμοειδών συναρτήσεων ενεργοποίησης. Ως παράδειγμα αναφέρεται η χρησιμοποίηση της υπερβολικής εφαπτομένης, της οποίας το πεδίο τιμών είναι $[-1,1]$, ενώ το σύνολο ορισμού όλοι οι πραγματικοί. Από την

αντίστοιχη γραφική παράσταση (Σχήμα 3.11) παρατηρείται ότι η μεταβλητή εισόδου συμπεριφέρεται έντονα μη γραμμικά για τιμές εκτός της περιοχής $[-1,1]$. Ειδικά για τιμές εκτός του συνόλου $[-5,5]$ η έξοδος της συνάρτησης ενεργοποίησης είναι πρακτικά -1 ή 1 για αρνητικές και θετικές τιμές εισόδου αντίστοιχα. Λύση σ' αυτό το πρόβλημα δίνει η κανονικοποίηση τιμών των μεταβλητών εισόδου, όπου η μεταβλητή εισόδου μετασχηματίζεται, ώστε να λαμβάνει τιμές από a ως b , π.χ. για την περίπτωση της υπερβολικής εφαπτομένης από -1 ως 1 . Αυτό πραγματοποιείται βρίσκοντας ή ορίζοντας το ελάχιστο x_{\min} και το μέγιστο x_{\max} των τιμών της μεταβλητής εισόδου. Ο ορισμός είναι απαραίτητος στην περίπτωση ενός φυσικού μεγέθους, όπου στο σύνολο εκπαίδευσης του ΤΝΔ δεν παρουσιάζονται οι ακραίες τιμές του. Στη συνέχεια μετασχηματίζονται οι τιμές εισόδου x στις νέες κανονικοποιημένες τιμές \hat{x} σύμφωνα με τη σχέση:

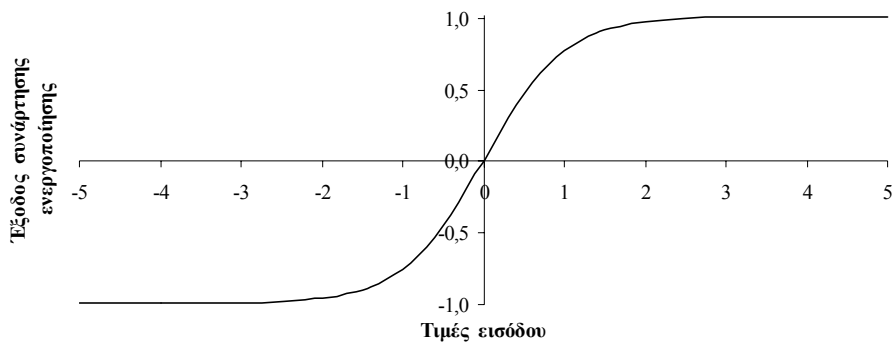
$$\hat{x} = a + \frac{b-a}{x_{\max} - x_{\min}}(x - x_{\min}) \quad (3.37)$$

Εναλλακτικά, η κάθε μεταβλητή εισόδου μπορεί να κανονικοποιηθεί μέσω της αντίστοιχης μέσης τιμής μ και τυπικής απόκλισης σ , χωρίς όμως να εξασφαλίζεται η μη ύπαρξη τιμών στην έντονα μη γραμμική περιοχή της συνάρτησης ενεργοποίησης:

$$\hat{x} = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3.38)$$

Πίνακας 3.1: Συναρτήσεις Ενεργοποίησης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

$\phi(x) = 1 / (1 + e^{-ax})$	$\phi(x) = \tanh(ax + b)$	$\phi(x) = ax + b$
Σιγμοειδής με πεδίο τιμών $[0,1]$	Σιγμοειδής με πεδίο τιμών $[-1,1]$	Γραμμική
$\phi(x) = \begin{cases} \gamma, & x \geq \gamma \\ x, & x < \gamma \\ -\gamma, & x \leq -\gamma \end{cases}$	$\phi(x) = \begin{cases} a, & x \geq \gamma \\ b, & x < \gamma \end{cases}$	$\phi(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{v}\right)$
Αναρρίχησης	Βηματική	Γκαουσιανή



Σχήμα 3.11: Γραφική παράσταση της σιγμοειδούς συνάρτησης ενεργοποίησης.

- *Προσθήκη όρου ορμής:* Ο αλγόριθμος της οπίσθιας τροφοδότησης δίνει μια προσέγγιση της τροχιάς των βαρών, η οποία υπολογίζεται με τη λεγόμενη μέθοδο της απότομης καθόδου. Όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός μάθησης, τόσο μικρότερη είναι η μεταβολή των βαρών σε κάθε επανάληψη και άρα τόσο πιο ομαλή είναι και η τροχιά της καμπύλης των βαρών. Συνεπώς το κόστος για υψηλό επίπεδο μάθησης είναι ο αργός ρυθμός μάθησης. Αν χρησιμοποιηθεί υψηλός ρυθμός μάθησης για να επιταχυνθεί η διαδικασία, η καμπύλη των βαρών δεν θα είναι ομαλή, καθώς θα υπάρξουν απότομες μεταβολές, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται κίνδυνος αστάθειας του αλγόριθμου. Ένας τρόπος εξάλειψης των παραπάνω κινδύνων είναι η τροποποίηση του κανόνα αναπροσαρμογής των βαρών με την προσθήκη ενός όρου ορμής (momentum term) α , που ονομάζεται και σταθερά ορμής και είναι συνήθως θετικός αριθμός:

$$\Delta w_{ji}(n) = \alpha \cdot \Delta w_{ji}(n-1) + \eta \cdot \delta_j(n) \cdot y_i(n) \quad (3.39)$$

Για να παρατηρηθεί η επίδραση του όρου ορμής, διατυπώνεται η παραπάνω σχέση ως χρονική ακολουθία με δείκτη t , ο οποίος ξεκινά από την τιμή 0 και φτάνει μέχρι την τρέχουσα τιμή n . Αυτό που προκύπτει είναι μία διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης, της οποίας η λύση είναι ουσιαστικά μία χρονική ακολουθία:

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \sum_{t=0}^n a^{n-t} \delta_j(t) y_i(t) \quad (3.40)$$

Ουσιαστικά η τρέχουσα μεταβολή ισοδυναμεί με το άθροισμα μίας εκθετικής χρονικής ακολουθίας, η οποία συγκλίνει, αν ισχύει $0 \leq |a| \leq 1$. Θεωρητικά ο όρος ορμής λαμβάνει και αρνητικές τιμές, το οποίο, όμως, πρακτικά δεν συμβαίνει ποτέ. Με χρήση των σχέσεων (3.16) και (3.22), η (3.40) τροποποιείται ως εξής:

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \sum_{t=0}^n a^{n-t} \frac{\partial G(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (3.41)$$

Όταν η μερική παράγωγος $\partial G(n)/\partial w_{ji}(n)$ κρατάει σταθερό πρόσημο σε συνεχόμενες επαναλήψεις, τότε η αντίστοιχη μεταβολή του βάρους αυξάνει σημαντικά. Δηλαδή η εισαγωγή της σταθεράς ορμής σ' αυτήν την περίπτωση τείνει κυρίως να επιταχύνει την κάθοδο προς μία σταθερή κατεύθυνση. Όταν όμως η μερική παράγωγος μεταβάλλει το πρόσημο της σε κάποιο αριθμό διαδοχικών επαναλήψεων, τότε η αντίστοιχη μεταβολή του βάρους ελαττώνεται. Οπότε η εισαγωγή του παράγοντα ορμής έχει σταθεροποιητικό αποτέλεσμα για τον αλγόριθμο.

- *Τρόποι εκπαίδευσης:* Η διαδικασία εκπαίδευσης κατά τον αλγόριθμο οπισθοδρομικής διάδοσης σφάλματος πραγματοποιείται με την παρουσίαση και εφαρμογή στο νευρωνικό δίκτυο ενός συνόλου διανυσμάτων εκπαίδευσης. Η παρουσίαση όλων των προτύπων εκπαίδευσης μια φορά το καθένα στο δίκτυο ονομάζεται εποχή (epoch). Κατά τη συνολική διαδικασία εκπαίδευσης εκτελούνται επαναλήψεις των εποχών, ώσπου τα βάρη του δικτύου να σταθεροποιηθούν σε συγκεκριμένες τιμές που οδηγούν στη σύγκλιση της μέσης τιμής των σφαλμάτων για όλα τα πρότυπα εκπαίδευσης.

Σε κάθε εποχή υπάρχει ο τυχαίος και ο σειριακός τρόπος παρουσίασης των προτύπων εκπαίδευσης. Ο πρώτος τρόπος έχει το πλεονέκτημα της εξασφάλισης του στοχαστικού χαρακτήρα της μάθησης και το μειονέκτημα των συνεχών και μη αμελητέων ταλαντώσεων των σφαλμάτων εκπαίδευσης και αξιολόγησης, ώσπου να καταλήξει στο τελικό αποτέλεσμα. Από την άλλη ο δεύτερος τρόπος, της εν σειρά παρουσίασης προτύπων, δίνει συνήθως χαμηλότερο σφάλμα εκπαίδευσης και μεγαλύτερη δυνατότητα ελέγχου αυτού του σφάλματος, αλλά εμπεριέχει τον κίνδυνο της λεγόμενης «αποστήθισης» του δικτύου της συγκεκριμένης σειράς παρουσίασης των προτύπων, με αποτέλεσμα το τελικό σφάλμα αξιολόγησης να είναι συνήθως υψηλότερο σε σχέση με εκείνο του τυχαίου τρόπου παρουσίασης.

Αναλυτικότερα στην περίπτωση της εκπαίδευσης ανά πρότυπο (stochastic training) τα βάρη αναπροσαρμόζονται έπειτα από την παρουσίαση κάθε πρότυπου εκπαίδευσης στο δίκτυο. Έστω ότι υπάρχουν N πρότυπα εκπαίδευσης, τα οποία παρουσιάζονται στη διάρκεια μίας εποχής κατά τυχαίο τρόπο από μία φορά. Το πρώτο πρότυπο εφαρμόζεται στο δίκτυο και εκτελούνται τόσο το ευθύ, όσο και το

ανάστροφο πέρασμα, με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται τα βάρη. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το δεύτερο πρότυπο και εκτελείται η ίδια διαδικασία που οδηγεί σε νέα μεταβολή των βαρών. Η εποχή τελειώνει με την παρουσίαση του N -οστού προτύπου. Η μέση μεταβολή του βάρους w_{ji} για όλο το σύνολο των N προτύπων δίνεται από την ακόλουθη σχέση λαμβάνοντας υπ' όψιν τις (3.12) και (3.16):

$$\Delta \hat{w}_{ji}(n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta w_{ji}(n) = -\frac{\eta}{N} \sum_{n=1}^N \frac{\partial G(n)}{\partial w_{ji}(n)} = -\frac{\eta}{N} \sum_{n=1}^N e_j(n) \frac{\partial e_i(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (3.42)$$

Στην περίπτωση της εκπαίδευσης ανά εποχή (batch mode) τα βάρη ενημερώνονται έπειτα από την παρουσίαση στο δίκτυο όλου του συνόλου προτύπων της εποχής. Για μία τέτοια εποχή η μέση τιμή των τετραγωνικών σφαλμάτων ορίζεται μέσω της σχέσης (3.13). Το εσωτερικό άθροισμα εφαρμόζεται σε όλους τους νευρώνες εξόδου του δικτύου, ενώ το εξωτερικό σε όλα τα διανύσματα εισόδου. Η αναπροσαρμογή όλων των βαρών γίνεται μια φορά μετά το τέλος κάθε εποχής. Αν η ενημέρωση των βαρών γίνεται με βάση τον κανόνα δέλτα, τότε ισχύει ότι:

$$\Delta w_{ji} = -\eta \frac{\partial G_{av}}{\partial w_{ji}} = -\frac{\eta}{N} \sum_{n=1}^N e_j(n) \frac{\partial e_j(n)}{\partial w_{ji}} \quad (3.43)$$

Αν συγκριθούν οι δύο βασικοί τρόποι εκπαίδευσης, τα βάρη μεταβάλλονται διαφορετικά. Ουσιαστικά το $\Delta \hat{w}_{ji}$ της εκπαίδευσης ανά πρότυπο προσεγγίζει το Δw_{ji} της εκπαίδευσης ανά εποχή. Πρακτικά προτιμάται η μέθοδος της εκπαίδευσης ανά πρότυπο, καθώς ενισχύει τον στοχαστικό χαρακτήρα και είναι πιο ικανή στην αποτροπή παγίδευσης του αλγορίθμου σε τοπικά ελάχιστα. Ωστόσο η εκπαίδευση ανά εποχή υπολογίζει με πιο ακριβή τρόπο το διάνυσμα κλίσης. Σε κάθε πρόβλημα σταθμίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και επιλέγεται μια εκ των δύο μεθόδων εκπαίδευσης.

Υπάρχει και ένας τρίτος τρόπος εκπαίδευσης, της μίας φορές παρουσίασης διανύσματος ή αλλιώς συνεχόμενης εκπαίδευσης (on-line training). Αυτός εφαρμόζεται, όταν το πλήθος των διανυσμάτων είναι εξαιρετικά μεγάλο και δεν υπάρχει χώρος αποθήκευσης των δεδομένων, οπότε αναγκαστικά το κάθε διάνυσμα παρουσιάζεται από μία φορά στο νευρωνικό δίκτυο. Συνήθως αυτού του είδους η εκπαίδευση αποφεύγεται με τους σημερινούς H/Y .

- *Κριτήρια τερματισμού*: Ο αλγόριθμος οπίσθιας τροφοδότησης γενικά δε συγκλίνει και δεν υφίστανται απόλυτα ορισμένα κριτήρια τερματισμού της λειτουργίας του.

Στην πράξη όμως υπάρχουν κάποια λογικά κριτήρια που οδηγούν στον τερματισμό της διαδικασίας εκπαίδευσης, τα οποία βασίζονται κυρίως στις ιδιότητες των τοπικών και ολικών ελαχίστων της επιφάνειας σφάλματος. Αν το διάνυσμα βαρών \vec{w}_0 είναι τοπικό ή ολικό ελάχιστο, τότε το διάνυσμα κλίσης $\nabla G(\vec{w})$ (δηλαδή η μερική παράγωγος του σφάλματος ως προς το διάνυσμα βαρών \vec{w}) ισούται με το μηδέν για $\vec{w} = \vec{w}_0$. Συνηθισμένα κριτήρια σύγκλισης του αλγόριθμου είναι τα ακόλουθα:

1. Ο αλγόριθμος θεωρείται ότι έχει συγκλίνει, όταν η ευκλείδεια νόρμα του διανύσματος κλίσης λαμβάνει ένα πολύ μικρό κατώφλι κλίσης. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ο χρόνος εκπαίδευσης μπορεί να είναι μεγάλος, ενώ πρέπει να υπολογίζεται και το διάνυσμα κλίσης.
2. Ο αλγόριθμος θεωρείται ότι έχει συγκλίνει, όταν η απόλυτη τιμή του ρυθμού μεταβολής του σφάλματος ανά εποχή είναι ικανοποιητικά μικρή.
3. Ο αλγόριθμος θεωρείται ότι έχει συγκλίνει, όταν η μέση τιμή του σφάλματος ανά εποχή είναι ικανοποιητικά μικρή.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ολοκληρωμένη τεχνική αξιολόγησης των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Συγκεκριμένα αξιοποιείται ένα ανεξάρτητο σύνολο προτύπων, που ονομάζεται *σύνολο επικύρωσης ή αξιολόγησης* (validation set) και με βάση το μέγεθος των σφαλμάτων στο σύνολο αυτό υπολογίζεται το συνολικό σφάλμα μοντέλου. Επομένως, αν δίνεται ένας αριθμός μοντέλων (είτε του ίδιου αλγορίθμου κατά τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων του, είτε κατά τη σύγκριση διαφορετικών αλγορίθμων) που έχουν εκπαιδευτεί με βάση το ίδιο σύνολο εκπαίδευσης, για να επιλεγεί το καλύτερο, υπολογίζεται το σφάλμα καθενός για τα δεδομένα του συνόλου επικύρωσης και επιλέγεται εκείνο με το μικρότερο σφάλμα επικύρωσης. Συνήθως για τον υπολογισμό του σφάλματος γενίκευσης του νευρωνικού δικτύου, που τελικά επιλέγεται, χρησιμοποιείται και ένα τρίτο σύνολο δεδομένων που ονομάζεται *σύνολο ελέγχου* (test set).

Γενικότερα, η παραπάνω τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση ενός δικτύου με ελαχιστοποίηση του τετραγωνικού σφάλματος. Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης λειτουργεί ενημερώνοντας τις παραμέτρους του δικτύου στην κατεύθυνση ελαχιστοποίησης του σφάλματος, αλλά ταυτόχρονα, ανά συγκεκριμένο αριθμό εποχών, υπολογίζεται το σφάλμα επικύρωσης που αντιστοιχεί στις τιμές των παραμέτρων που έχουν υπολογιστεί στη συγκεκριμένη εποχή-βήμα. Γενικά, όσο

προχωρά η εκπαίδευση, τόσο μειώνεται το σφάλμα εκπαίδευσης και μειώνεται και το σφάλμα επικύρωσης. Υπάρχει όμως συνήθως ένα όριο πέρα από το οποίο περαιτέρω μείωση του σφάλματος εκπαίδευσης οδηγεί σε αύξηση του σφάλματος επικύρωσης, διότι αρχίζει να εμφανίζεται το φαινόμενο της υπερεκπαίδευσης. Στο σημείο αυτό μπορεί να σταματήσει η εκπαίδευση του μοντέλου. Η τεχνική αυτή που ονομάζεται *πρόωρο σταμάτημα* (early stopping), χρησιμοποιείται πολύ συχνά και παρέχει ένα πολύ πιο αποδοτικό κριτήριο τερματισμού σε σχέση με τον τερματισμό σε τοπικό ελάχιστο του σφάλματος εκπαίδευσης. Εναλλακτικά, η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί όταν οι παράμετροι προς προσδιορισμό (όπως τα βάρη και οι πολώσεις στο πολυεπίπεδο δίκτυο) δεν μεταβάλλονται σημαντικά ανά εποχή, δηλαδή η μεταβολή του εκάστοτε βάρους είναι μικρότερη από ένα συγκεκριμένο όριο. Το απλούστερο σταμάτημα είναι μετά από ένα συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων, ο οποίος προκύπτει εμπειρικά ανάλογα με το πρόβλημα, το πλήθος εισόδων, το πλήθος των κρυμμένων νευρώνων κτλ. Ωστόσο, το τελευταίο δεν προτείνεται, καθώς εύκολα καταλήγει στην περιοχή του τοπικού ελαχίστου ή οδηγεί σε υπερεκπαίδευση.

3.5.1 Παραλλαγές Αλγορίθμου Ανάστροφης Διάδοσης Σφάλματος

Πέραν του βασικού αλγορίθμου έχουν αναπτυχθεί μία σειρά παραλλαγών του με σκοπό τη βελτίωση της ταχύτητας σύγκλισης και τη μείωση του σφάλματος. Προς διευκόλυνση της μελέτης οι σχέσεις γράφονται σε διανυσματική μορφή.

3.5.1.1 Βασικός αλγόριθμος οπίσθιας διάδοσης σφάλματος με εκπαίδευση ανά εποχή

Υπάρχουν τρεις παραλλαγές του αλγορίθμου αυτού:

α. Για την περίπτωση του βασικού αλγορίθμου, αν η ανανέωση γίνεται κάθε εποχή ep (εκπαίδευση ανά εποχή), η αντίστοιχη σχέση διαμορφώνεται ως εξής:

$$\Delta \bar{w}(ep) = -\eta \cdot \nabla G(\bar{w}(ep)) \quad (3.44)$$

β. Με την προσθήκη του όρου ορμής μετασχηματίζεται σε:

$$\Delta \bar{w}(ep) = -\eta \cdot \nabla G(\bar{w}(ep)) + a \cdot \Delta \bar{w}(ep-1) \quad (3.45)$$

γ. Προκειμένου να επιταχυνθεί η εκπαίδευση, ο ρυθμός μάθησης και ο όρος ορμής της (3.45) μπορούν να μεταβληθούν σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις διαμορφώνοντας τον προσαρμοστικό αλγόριθμο:

$$\eta(ep) = \begin{cases} \eta(ep-1), & G_{av}(ep) > G_{av}(ep-1) \\ \eta(ep-1) \cdot \exp(-1/T_\eta), & G_{av}(ep) \leq G_{av}(ep-1) \end{cases} \quad (3.46)$$

$$a(ep) = \begin{cases} a(ep-1), & G_{av}(ep) \leq G_{av}(ep-1) \\ a(ep-1) \cdot \exp(-1/T_a), & G_{av}(ep) > G_{av}(ep-1) \end{cases} \quad (3.47)$$

όπου T_η και $\eta_0 = \eta(0)$ είναι η χρονική παράμετρος και η αρχική τιμή του ρυθμού μάθησης αντίστοιχα, T_a και $a_0 = a(0)$ είναι η χρονική παράμετρος και η αρχική τιμή του όρου ορμής, G_{av} η συνάρτηση σφάλματος είτε του συνόλου εκπαίδευσης, είτε του συνόλου επικύρωσης. Αν η συνάρτηση σφάλματος μειώνεται με το πέρασμα των εποχών, τότε ο όρος ορμής μένει σταθερός ή αυξάνεται [25], ενώ ο ρυθμός μάθησης μειώνεται ενισχύοντας την επίδραση της μεταβολής των βαρών. Ενώ, αν η συνάρτηση σφάλματος αυξηθεί με το πέρασμα εποχών, πρέπει να μειωθεί η επίδραση των προηγούμενων σφαλμάτων, γι' αυτό ο όρος ορμής μειώνεται, ενώ ο ρυθμός μάθησης μένει σταθερός.

3.5.1.2 Ευπροσάρμοστος αλγόριθμος

Κατά τον ευπροσάρμοστο αλγόριθμο (resilient algorithm) λαμβάνεται υπ' όψιν μόνο το πρόσημο της παραγώγου της συνάρτησης σφάλματος ως προς το βάρος w_{ij} για τον καθορισμό της κατεύθυνσης διόρθωσης του τελευταίου. Το μέγεθος της παραγώγου δεν έχει καμία επίδραση. Η μεταβολή του βάρους δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta w_{ij}(ep) = \begin{cases} \delta_1 \cdot \Delta w_{ij}(ep-1), & \frac{\partial G_{av}(ep)}{\partial w_{ij}} \cdot \frac{\partial G_{av}(ep-1)}{\partial w_{ij}} > 0 \\ \Delta w_{ij}(ep-1), & \frac{\partial G_{av}(ep)}{\partial w_{ij}} \cdot \frac{\partial G_{av}(ep-1)}{\partial w_{ij}} = 0 \\ \frac{1}{\delta_2} \cdot \Delta w_{ij}(ep-1), & \frac{\partial G_{av}(ep)}{\partial w_{ij}} \cdot \frac{\partial G_{av}(ep-1)}{\partial w_{ij}} < 0 \end{cases} \quad (3.48)$$

όπου δ_1 , δ_2 είναι ο αυξητικός και ο μειωτικός παράγοντας της μεταβολής του βάρους αντίστοιχα. Δηλαδή, όταν η παράγωγος του σφάλματος ως προς w_{ij} έχει το ίδιο πρόσημο για δύο διαδοχικές επαναλήψεις, τότε η αντίστοιχη μεταβολή ενισχύεται. Αν μεταβάλλεται το πρόσημο, μειώνεται, ενώ, αν η παράγωγος είναι μηδενική, τότε η μεταβολή παραμένει σταθερή. Με αυτήν τη μέθοδο αντιμετωπίζεται εναλλακτικά το πρόβλημα του κορεσμού των σιγμοειδών συναρτήσεων ενεργοποίησης.

3.5.1.3 Μέθοδος συζευγμένης μεταβολής της κλίσης

Μία άλλη κατηγορία παραλλαγών του αλγορίθμου εκπαίδευσης οπίσθιας τροφοδότησης σφάλματος είναι της συζευγμένης μεταβολής κλίσης (conjugate gradient algorithm) [39], κατά την οποία η μεταβολή βαρών λαμβάνει υπ' όψιν το σύνολο των μεταβολών κλίσης εντός του αντίστοιχου χώρου και δεν στηρίζεται μόνο στην αντίστοιχη κλίση βάρους, όπως συμβαίνει στην αρχική μέθοδο. Αυτό έχει ως συνέπεια στις περισσότερες περιπτώσεις να συγκλίνει γρηγορότερα. Τα αντίστοιχα βήματά της είναι τα ακόλουθα:

α. Ορίζεται η κατεύθυνση αναζήτησης \vec{p}_0 ίση με το αντίθετο του διανύσματος μεταβολής κλίσης κατά την πρώτη επανάληψη:

$$\vec{p}_0 = -\nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_0} \quad (3.49)$$

β. Πραγματοποιείται η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης σφάλματος κατά την κατεύθυνση αναζήτησης:

$$\Delta \vec{w}_k = a_k \cdot p_k \quad (3.50)$$

Η ελαχιστοποίηση πραγματοποιείται μέσω της παραμέτρου $a_k > 0$, η οποία υπολογίζεται με μεθόδους, όπως της χρυσής τομής, της διχοτόμου κτλ [40].

Η μέθοδος της χρυσής τομής ξεκινά με την εύρεση ενός βασικού διαστήματος $[a, b]$ εντός του οποίου θα γίνει η διερεύνηση για τον υπολογισμό του ελαχίστου. Κατόπιν γίνεται τριχοτόμηση του διαστήματος αυτού στα διαστήματα $[a, c]$, $[c, d]$ και $[d, b]$,

όπου $c = a + p(b - a)$ και $d = a + q(b - a)$ με $p = \frac{3 - \sqrt{5}}{2} \approx 0.38$ και $q = 1 - p \approx 0.62$

(οι δύο αριθμοί της χρυσής τομής). Αν $f(c) < f(d)$ (ή $f(c) > f(d)$) τότε το διάστημα $[a, d]$ (ή $[c, b]$) περιέχει ένα σημείο ελαχίστου της f στο $[a, b]$. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε ένα όλο και πιο μικρό διάστημα έως ότου καταλήξει με ικανοποιητική ακρίβεια στην τιμή του ελαχίστου.

Στη μέθοδο της διχοτόμου υπολογίζεται το μέσον x_0 του διαστήματος $[a, b]$.

Κατόπιν διερευνάται σε ποιο από τα δύο διαστήματα $[a, x_0]$ ή $[x_0, b]$ βρίσκεται η ρίζα της εξίσωσης και σε αυτό το διάστημα εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία έως ότου επιτύχουμε σύγκλιση.

γ. Η κατεύθυνση αναζήτησης \vec{p}_{k+1} του επόμενου βήματος υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$\vec{p}_{k+1} = -\nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}} + \beta_{k+1} \cdot \vec{p}_k \quad (3.51)$$

όπου η παράμετρος β_{k+1} προσδιορίζεται είτε από τη σχέση (3.52) κατά Fletcher-Reeves [41], είτε από την (3.53) κατά Polak-Ribiere [42]:

$$\beta_{k+1} = \frac{\nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}}^T \cdot \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}}}{\nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k}^T \cdot \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k}} \quad (3.52)$$

$$\beta_{k+1} = \frac{\Delta \left(\nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k}^T \right) \cdot \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}}}{\nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k}^T \cdot \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k}} \quad (3.53)$$

δ. Αν ο αλγόριθμος δεν έχει συγκλίνει, τότε επαναλαμβάνεται το δεύτερο βήμα. Διευκρινίζεται ότι η k -ισστή επανάληψη συνήθως ταυτίζεται με την αντίστοιχη εποχή, το οποίο όμως δεν είναι αναγκαίο. Επίσης, προκειμένου να αποφευχθεί ο ρυθμός σύγκλισης να είναι γραμμικός, πρέπει η επαναληπτική διαδικασία να επανεκκινεί κατά διαστήματα. Συνήθως αυτό συμβαίνει μετά από αριθμό επαναλήψεων ίσο με το πλήθος N_w των παραμέτρων υπό προσδιορισμό (βαρών και πολώσεων). Συμπληρωματικά μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος επανεκκίνησης κατά Powell-Beale [43] (χωρίς να αναιρεί τη χρήση του προηγούμενου κριτηρίου), όπου η μετάβαση στο πρώτο βήμα γίνεται, όταν η ορθογωνικότητα μεταξύ του παρόντος και του προηγούμενου διανύσματος κλίσης είναι μικρή, δηλαδή ισχύει:

$$\left| \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k}^T \cdot \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}} \right| \geq \lim_{orthogonality} \cdot \left\| \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}} \right\|^2 \text{ με } k \geq 1 \quad (3.54)$$

όπου το όριο ορθογωνικότητας $\lim_{orthogonality}$ επιτρέπεται να κυμαίνεται στο διάστημα $(0,1, 0,9)$ με συνήθη τιμή το 0,2.

Το βασικό μειονέκτημα του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης είναι ο υπολογιστικός φόρτος της ελαχιστοποίησης της συνάρτησης σφάλματος.

3.5.1.4 Μέθοδος βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης

Ο αλγόριθμος της βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης (scaled conjugate gradient algorithm) [44] αποφεύγει αυτήν την αδυναμία στηριζόμενο στην προσέγγιση των Levenberg-Marquardt. Τα αντίστοιχα βήματά της είναι:

α. Αρχικοποιούνται η κατεύθυνση αναζήτησης \vec{p}_0 σύμφωνα με τη σχέση (3.49), το διάνυσμα των βαρών και των πολώσεων \vec{w}_0 και οι παράμετροι σ , λ_0 , $\bar{\lambda}_0$ και *flag* σύμφωνα με τα ακόλουθα:

$$0 < \sigma \leq 10^4 \quad 0 < \lambda_0 \leq 10^{-6} \quad \bar{\lambda}_0 = 0 \quad flag = 1 \quad (3.55)$$

β. Αν η σημαία *flag* είναι 1, τότε υπολογίζονται:

$$\sigma_k = \sigma / \|\vec{p}_k\| \quad \vec{s}_k = \left(\nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k + \sigma_k \cdot \vec{p}_k} - \nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k} \right) / \sigma_k \quad \delta_k = \vec{p}_k^T \cdot \vec{s} \quad (3.56)$$

γ. Προσδιορίζεται η τιμή του παράγοντα δ_k :

$$\delta_k = \delta_k + (\lambda_k - \bar{\lambda}_k) \cdot \|\vec{p}_k\|^2 \quad (3.57)$$

δ. Αν $\delta_k \leq 0$, τότε η μήτρα Hessian γίνεται θετική ορίζοντας τα εξής:

$$\bar{\lambda}_k = 2 \left(\lambda_k - \delta_k / \|\vec{p}_k\|^2 \right) \quad \delta_k = -\delta_k + \lambda_k \cdot \|\vec{p}_k\|^2 \quad \lambda_k = \bar{\lambda}_k \quad (3.58)$$

ε. Υπολογίζεται το μέγεθος του βήματος:

$$\mu_k = -\vec{p}_k^T \cdot \nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k} \quad a_k = \mu_k / \delta_k \quad (3.59)$$

στ. Υπολογίζεται η παράμετρος σύγκρισης:

$$\Delta_k = 2 \cdot \delta_k \cdot \left(G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k} - G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k + a_k \cdot \vec{p}_k} \right) / \mu_k^2 \quad (3.60)$$

ζ. Αν $\Delta_k \geq 0$, τότε πραγματοποιείται πετυχημένη μείωση του σφάλματος:

$$\Delta \vec{w}_k = a_k \cdot \vec{p}_k \quad \vec{r}_{k+1} = -\nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}} \quad \bar{\lambda}_k = 0 \quad flag = 1 \quad (3.61)$$

Αν ο αύξων αριθμός επαναλήψεων είναι πολλαπλάσιος του πλήθους N_w των βαρών και των πολώσεων, τότε ο αλγόριθμος επανεκκινείται:

$$\vec{p}_{k+1} = -\nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}} \quad (3.62)$$

διαφορετικά:

$$\beta_{k+1} = \left(\left\| \nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}} \right\| - \nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k}^T \cdot \nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k} \right) / \mu_k \quad (3.63)$$

$$\vec{p}_{k+1} = \nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k} + \beta_{k+1} \cdot \vec{p}_k \quad (3.64)$$

Αν $\Delta_k \geq 0.75$, τότε $\lambda_k = 0.25 \cdot \lambda_k$, διαφορετικά $\bar{\lambda}_k = \lambda_k$, $flag = 0$.

η. Επαναπροσδιορίζεται ο συντελεστής κλίμακας λ_k ως εξής:

$$\text{Αν } \Delta_k < 0.25, \text{ τότε } \lambda_k = \lambda_k + \delta_k (1 - \Delta_k) / \|\vec{p}_k\|^2 \quad (3.65)$$

θ. Αν $\nabla G(\vec{w}) \Big|_{\vec{w}=\vec{w}_{k+1}} \neq \vec{0}$, τότε $k = k + 1$ και επιστρέφει στο βήμα β, αλλιώς έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία με την εύρεση των τελικών βαρών \vec{w}_{k+1} .

Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας είναι η πολυπλοκότητά της, η οποία φτάνει στο $O(6N_w^2)$ έναντι του $O(3N_w^2)$ της βασικής μεθόδου οπίσθιας

τροφοδότησης σφάλματος. Όταν ο συντελεστής κλίμακας λ_k είναι μηδέν, ο αλγόριθμος της βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης ταυτίζεται με τον αντίστοιχο βασικό. Το κύριο πλεονέκτημά της είναι το σφάλμα μειώνεται μονότονα, καθώς αύξησή του δεν επιτρέπεται. Στην περίπτωση που το σφάλμα μένει αμετάβλητο μεταξύ δύο επαναλήψεων, η μήτρα Hessian δεν ορίζεται θετικά και το λ_k αυξάνεται.

3.5.1.5 Μέθοδος Newton

Μία δεύτερη βασική κατηγορία εκπαίδευσης εμπρόσθιων πολυεπίπεδων νευρωνικών δικτύων στηρίζεται στη μέθοδο Newton. Το βασικό βήμα αυτής στηρίζεται στην αντιστροφή της μήτρας Hessian $\nabla^2 G(\bar{w})$ (της συνάρτησης σφάλματος ως προς τα βάρη και τις πολώσεις) για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων μεταβολών:

$$\Delta \bar{w}_k = -\nabla^2 G(\bar{w})\big|_{\bar{w}=\bar{w}_k}^{-1} \cdot \nabla G(\bar{w})\big|_{\bar{w}=\bar{w}_k} \quad (3.66)$$

Η μέθοδος αυτή είναι συνήθως είναι πιο γρήγορη από τους προαναφερθέντες αλγόριθμους, αλλά ο υπολογισμός και η αντιστροφή του πίνακα Hessian είναι αρκετά περίπλοκος και υπολογιστικά ακριβός, αφού προσδιορίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Hessian μήτρα: } \nabla^2 G(\bar{w}) = J(\bar{w})^T \cdot J(\bar{w}) + \sum_{j \in C} e_j(\bar{w}) \cdot \nabla^2 e_j(\bar{w}) \quad (3.67)$$

$$\text{Ιακωβιανή μήτρα: } J(\bar{w}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_1} & \frac{\partial e_1}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{N_w}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_1} & \frac{\partial e_2}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{N_w}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_{p_c}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{p_c}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{p_c}}{\partial w_{N_w}} \end{bmatrix}_{p_c \times N_w} \quad (3.68)$$

Μία βασική παραλλαγή της μεθόδου Newton είναι η quasi-Newton, όπου ο δεύτερος όρος του δεξιού μέρους της (3.67) παραλείπεται, καθώς τα αντίστοιχα στοιχεία λαμβάνουν μικρές τιμές και δεν είναι σημαντικές. Εναλλακτικά κατά τη μέθοδο της τέμνουσας ενός βήματος (one step secant algorithm) δεν αποθηκεύονται ολόκληρος ο πίνακας Hessian, παρά μόνο τα διαγώνια στοιχεία, με συνέπεια να μην χρειάζεται αντιστροφή του πίνακα. Χρειάζεται μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων, αλλά το υπολογιστικό κόστος ανά επανάληψη περιορίζεται σημαντικά.

Μία βασική παραλλαγή αυτής της μεθοδολογίας είναι η μέθοδος Levenberg-Marquardt [45-46], όπου ο κανόνας μεταβολής των βαρών δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\Delta \vec{w}_k &= -\left(J^T \cdot J + \lambda \cdot \text{diag}\left[J^T \cdot J\right]\right)^{-1} \cdot \nabla G(\vec{w})\Big|_{\vec{w}=\vec{w}_k} \Rightarrow \\ \Delta \vec{w}_k &= -\left(J^T \cdot J + \lambda \cdot \text{diag}\left[J^T \cdot J\right]\right)^{-1} \cdot J^T \cdot \vec{e}(\vec{w}_k)\end{aligned}\quad (3.69)$$

Ο συντελεστής λ μεταβάλλεται ανάλογα με τις αυξομειώσεις της συναρτήσης σφάλματος σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda(k+1) = \begin{cases} \lambda(k) \cdot \beta, & G_{av}(k) > G_{av}(k-1) \\ \lambda(k), & G_{av}(k) = G_{av}(k-1) \\ \lambda(k)/\beta, & G_{av}(k) < G_{av}(k-1) \end{cases}\quad (3.70)$$

όπου η παράμετρος β λαμβάνει σημαντικές τιμές, όπως 10. Η μέθοδος των Levenberg-Marquardt δεν είναι η βέλτιστη, αλλά δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στα περισσότερα προβλήματα, ειδικά αν το σύνολο των παραμέτρων υπό προσδιορισμό περιορίζεται σε μερικές εκατοντάδες, λόγω της απαιτούμενης αντιστροφής πίνακα.

3.6 Διαστήματα εμπιστοσύνης στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Ο υπολογισμός των διαστημάτων εμπιστοσύνης στα νευρωνικά δίκτυα δεν γίνεται άμεσα. Άλλωστε αποτελεί ένα βασικό μειονέκτημα των ΤΝΔ έναντι των κλασικών μεθόδων. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μεθοδολογίες [47]:

α. *Εύρεση σφάλματος εξόδου*: Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο έχει δύο εξόδους για κάθε μεταβλητή εξόδου, την ίδια τη μεταβλητή και την πρόβλεψη του αντίστοιχου σφάλματος. Τα απαιτούμενα στοιχεία για το σφάλμα εξόδου προσδιορίζονται σε κάθε εποχή εκπαίδευσης. Κάθε φορά που εμφανίζονται οι είσοδοι στο νευρωνικό δίκτυο, υπολογίζονται τα σφάλματα εξόδου. Σε κάθε εποχή χρησιμοποιούνται διαφορετικά στοιχεία σφάλματος εξόδου ως είσοδοι. Με την πρόοδο της διαδικασίας εκπαίδευσης το σφάλμα εξόδου σταθεροποιείται. Στην πραγματικότητα το απόλυτο ποσοστό σφάλματος λαμβάνεται από το νευρώνα εξόδου σφάλματος. Είναι ευκολότερος ο προσδιορισμός του απόλυτου ποσοστού σφάλματος αντί του σχετικού σφάλματος. Μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης προστίθεται και αφαιρείται στο υπό μελέτη μέγεθος το σφάλμα εξόδου, ώστε να δημιουργηθεί ένα συμμετρικό διάστημα εμπιστοσύνης. Αν είναι επιθυμητή η δημιουργία μεγαλύτερου

διαστήματος εμπιστοσύνης, γίνεται ο πολλαπλασιασμός του αρχικού διαστήματος εμπιστοσύνης με ένα συντελεστή ε .

β. *Επαναδειγματοληψία*: Πραγματοποιείται η δειγματοληψία των λαθών εκτιμήσης για κάθε περίοδο πρόβλεψης. Συγκεκριμένα, αν επιθυμείται η πρόβλεψη των επόμενων t_1 χρονικών σημείων χρησιμοποιώντας δεδομένα t_2 σημείων, προβλέπεται για την πρώτη χρονική στιγμή το υπό πρόβλεψη μέγεθος με τα ήδη γνωστά μεγέθη και προσδιορίζεται το αντίστοιχο σφάλμα. Για την επόμενη χρονική στιγμή χρησιμοποιείται η πρόβλεψη του πρώτου χρονικού σημείου και τα γνωστά δεδομένα των τελευταίων $t_2 - 1$ σημείων, γίνεται η αντίστοιχη πρόβλεψη, προσδιορίζεται το αντίστοιχο σφάλμα και η διαδικασία συνεχίζεται για το σύνολο των t_1 στιγμών. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλη την υπό μελέτη περίοδο κυλιόμενα συνολικά n φορές. Στη συνέχεια ταξινομούνται τα n σφάλματα στη σειρά (λαμβάνοντας υπ' όψιν και το αντίστοιχο πρόσημο) και προσδιορίζεται η συνάρτηση αθροιστικής διανομής δείγματος:

$$S_n(z) = \begin{cases} 0, & z < z_1 \\ r/n, & z_r \leq z < z_{r+1} \\ 1, & z_n \leq z \end{cases} \quad (3.71)$$

Όταν το πλήθος n είναι πολύ μεγάλο, η συνάρτηση της (3.71) είναι μια καλή προσέγγιση της πραγματικής αθροιστικής πυκνότητας πιθανότητας. Το διάστημα εμπιστοσύνης προσδιορίζεται βρίσκοντας το μέσο z παραμερίζοντας τις ακραίες τιμές σύμφωνα με τον επιθυμητό συντελεστή εμπιστοσύνης. Τα διαστήματα προσδιορίζονται ώστε να είναι συμμετρικά ως προς την πιθανότητα, όχι απαραίτητα συμμετρικά και ως προς το z . Ο αριθμός των περιπτώσεων που απορρίπτονται σε κάθε χρονική στιγμή από την κατανομή του σφάλματος πρόβλεψης είναι $n \cdot p$, όπου p είναι η πιθανότητα της ουράς. Από τη στιγμή που το $n \cdot p$ είναι κλασματικός αριθμός, τότε για λόγους ασφαλείας το πλήθος των περιπτώσεων που απορρίπτονται σε κάθε ουρά είναι $\lfloor n \cdot p \rfloor$. Αν η αθροιστική πυκνότητα πιθανότητας $F(Z_p)$ για την τιμή Z_p είναι ίση με την πιθανότητα p ενός σφάλματος να είναι μικρότερο ή ίσο του Z_p , τότε το Z_p είναι το κάτω άκρο του διαστήματος εμπιστοσύνης. Αντίστοιχα η τιμή Z_{1-p} είναι το άνω όριο και υπάρχει ένα διάστημα εμπιστοσύνης ίσο με $(1-2p)$ για τα μελλοντικά σφάλματα. Η τιμή $n \cdot S_n(Z_p)$ παριστάνει την εκτίμηση του πλήθους των στοιχείων του συνόλου σφάλματων, τα οποία είναι μικρότερα ή ίσα της τιμής Z_p .

Εφόσον τα σφάλματα θεωρούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, τότε η παράμετρος $m=n \cdot S_n(Z_p)$ ακολουθεί τη διωνυμική κατανομή ανεξάρτητα της αθροιστικής πυκνότητας πιθανότητας:

$$B(m, n, p) = \frac{n!}{m!(n-m)!} p^m (1-p)^{n-m} \quad (3.72)$$

Η διωνυμική κατανομή $B(m, n, p)$ παριστάνει την πιθανότητα για την οποία ακριβώς m τυχαία επιλεγμένες περιπτώσεις από το σύνολο των n είναι ίσες ή μεγαλύτερες του Z_p . Η αντίστοιχη πιθανότητα μεγιστοποιείται για $m=n \cdot p$.

γ. *Πολυγραμμική παλινδρόμηση προσαρμοσμένη σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα*: Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται, μόνο αν η συνάρτηση ενεργοποίησης του νευρώνα εξόδου είναι γραμμική. Σ' αυτήν την περίπτωση η συνάρτηση ενεργοποίησης είναι ένα είδος πολυγραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης. Ως είσοδοι λαμβάνονται οι εξόδοι των κρυμμένων νευρώνων και ως συντελεστές παλινδρόμησης τα συνδυαστικά βάρη του νευρώνα εξόδου αντίστοιχα. Ο υπολογισμός του διαστήματος εμπιστοσύνης γίνεται μέσω της διασποράς του σφάλματος πρόβλεψης που δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (t_i - o_i)^2 / (N - p_c) \quad (3.73)$$

όπου N τα στοιχεία του συνόλου εκπαίδευσης, p_c ο αριθμός των συντελεστών, t_i και o_i η επιθυμητή και η εκτιμώμενη τιμή του υπό μελέτη μεγέθους αντίστοιχα. Ο επιδιωκόμενος βαθμός εμπιστοσύνης της χρονικής στιγμής τ ακολουθεί την κατανομή *t-Student* με $(N-p_c)$ βαθμούς ελευθερίας και δίνεται από τη σχέση:

$$(t_\tau - o_\tau) / \left(\sigma \cdot \sqrt{1 + \bar{x}_\tau^T \cdot A^{-1} \cdot \bar{x}_\tau} \right) \quad \text{όπου} \quad A = \sum_{i=1}^N \bar{x}_i \cdot \bar{x}_i^T \quad (3.74)$$

Το διάστημα εμπιστοσύνης της χρονικής στιγμής τ δίνεται από τη σχέση:

$$t_\tau - t_{N-p_c} (a/2) \cdot \sigma \cdot \sqrt{1 + \bar{x}_\tau^T \cdot A^{-1} \cdot \bar{x}_\tau} \leq o_\tau \leq t_\tau + t_{N-p_c} (a/2) \cdot \sigma \cdot \sqrt{1 + \bar{x}_\tau^T \cdot A^{-1} \cdot \bar{x}_\tau} \quad (3.75)$$

όπου το a είναι τέτοιο, ώστε η πιθανότητα της κατανομής *t-Student* $(1-a)$ να είναι ο βαθμός εμπιστοσύνης [47]. Για να συγκριθούν οι τρεις προαναφερθείσες μέθοδοι ορίζεται και το αντίστοιχο σχετικό διάστημα εμπιστοσύνης $RCI(\tau)$ της χρονικής στιγμής τ σύμφωνα με τη σχέση:

$$RCI(\tau) = \frac{|t_\tau - o_\tau|}{|CL(\tau) - o_\tau|} \quad (3.76)$$

όπου $CL(\tau)$ είναι το ελάχιστο όριο, αν $(t_\tau - o_\tau) < 0$, διαφορετικά, το μέγιστο όριο, αν $(t_\tau - o_\tau) > 0$. Αν η τιμή του σχετικού διαστήματος εμπιστοσύνης είναι κοντά στη μονάδα, τότε ο βαθμός εμπιστοσύνης είναι μεγάλος, αλλά και τα αντίστοιχα διαστήματα είναι μεγάλα.

Από τα αποτελέσματα του [47] προκύπτει ότι οι δύο πρώτες μέθοδοι έχουν αποτελέσματα κοντά στον πραγματικό βαθμό εμπιστοσύνης, ενώ η τρίτη μέθοδος όχι. Η τελευταία όμως έχει αρκετό μικρό διάστημα εμπιστοσύνης, ενώ η πρώτη έχει αντίστοιχα το μεγαλύτερο, που δεν ακολουθεί και τη μορφή του υπό πρόβλεψη μεγέθους, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ωριαία φορτία της επόμενης ημέρας. Επίσης η πρώτη μέθοδος έχει το επιπλέον μειονέκτημα ότι επιβαρύνει το ΤΝΔ με μία παραπάνω έξοδο. Τελικά οι Silva και Moulin [47] προτείνουν τη μεθοδολογία της δειγματοληψίας ως την καταλληλότερη για τον προσδιορισμό διαστήματος εμπιστοσύνης με υψηλό βαθμό πιθανότητας.

Κεφάλαιο 4

Ασαφής Λογική

4.1 Εισαγωγή

Το μαθηματικό υπόβαθρο της ασαφούς συλλογιστικής και των ασαφών συστημάτων είναι τα ασαφή σύνολα [35]. Η ασάφεια είναι ένα χαρακτηριστικό της γλώσσας και πηγάζει από την ανακρίβεια που ενυπάρχει στο (γλωσσικό) ορισμό και τη χρήση των εννοιών και των συμβόλων. Η θεωρία της ασαφούς λογικής βρήκε αρχικά μεγάλη αντίδραση από τους οπαδούς της κλασικής (Αριστοτελικής) λογικής και τους πιθανοθεωρητικούς επιστήμονες, σήμερα όμως αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα καθολικά εργαλεία λήψης αποφάσεων και ανάπτυξης αλγορίθμων ελέγχου και έμπειρων συστημάτων μέσα σε αβεβαιότητα.

Η θεωρία των ασαφών συνόλων θεμελιώθηκε στην παρούσα μορφή της από τον μηχανικό αυτομάτου ελέγχου Lofti Zadeh το 1965. Η ιδέα, όμως, της χρήσης ασαφών μαθηματικών δομών είχε χρησιμοποιηθεί από τον Poincarè τον 19^ο αιώνα στο πλαίσιο της ‘οπτικής αντίληψης’. Η θεωρία του Zadeh βρήκε εφαρμογές στην τεχνολογία, στην οργάνωση επιχειρήσεων, την ψυχολογία. Τα ασαφή σύνολα και η ασαφής συλλογιστική χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση πολλών πρακτικών προβλημάτων. Με τη θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφούς συλλογιστικής βρίσκουμε χρήσιμες και αποδοτικές λύσεις σε δύσκολα πρακτικά προβλήματα για τα οποία δεν έχουμε ακριβείς περιγραφές και μοντέλα, όπως αυτό της εκτίμησης κρίσιμων μεγεθών σε μονωτήρες.

4.2 Πώς οδηγηθήκαμε στα ασαφή σύνολα

Η μαθηματική θεμελίωση της ασαφούς λογικής (fuzzy logic) βασίζεται στη θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy set theory), η οποία μπορεί να θεωρηθεί σαν μια γενίκευση της κλασικής θεωρίας συνόλων.

Ας κάνουμε τώρα μια ανασκόπηση μερικών ιδεών της κλασικής θεωρίας συνόλων. Τα κλασικά σύνολα είναι συγκεκριμένα ορισμένα σαν συλλογές διαφορετικών

στοιχείων (αριθμών, συμβολών, αντικείμενων κ.λπ.) και για τον λόγο αυτό τα αποκαλούμε επίσης "crisp sets". Τα στοιχεία όλων των συνόλων που εξετάζουμε, ανήκουν σε ένα αμετάβλητο σταθερό σύνολο, που το ονομάζουμε σύνολο αναφοράς (universe of discourse). Το γεγονός ότι στοιχεία ενός crisp συνόλου A είτε θα ανήκουν, είτε δεν θα ανήκουν στο A , μπορεί να παρασταθεί με την χαρακτηριστική συνάρτηση του A που ορίζεται ως εξής:

$$X_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{iff } x \in A \\ 1 & \text{iff } x \notin A \end{cases} \quad (4.1)$$

όπου τα σύμβολα \in και \notin ορίζουν ότι το x ανήκει ή δεν ανήκει στο σύνολο A αντίστοιχα και το *iff* είναι μια συντομογραφία για το "εάν και μόνο εάν". Το ζεύγος των αριθμών $\{0,1\}$ ονομάζεται σύνολο τιμών. Ένας πιο συνηθισμένος τρόπος γραφής της σχέσης (4.1) είναι:

$$X_A(x): X \rightarrow \{0,1\} \quad (4.2)$$

Η σχέση (4.2) μας δίνει την ακόλουθη πληροφορία: υπάρχει μια συνάρτηση $X_A(x)$ που απεικονίζει κάθε στοιχείο του συνόλου X (universe of discourse) σε ένα σύνολο $\{0,1\}$. Πρέπει να τονιστεί ότι η χαρακτηριστική συνάρτηση είναι ένας μηχανισμός για την απεικόνιση του συνόλου X στο σύνολο τιμών $\{0,1\}$. Σημαντικές λειτουργίες στα crisp σύνολα, όπως η ένωση και η τομή, είναι γνωστές από τα στοιχειώδη μαθηματικά.

Βασικά, τα σύνολα είναι κατηγορίες. Το να ορίσουμε κατάλληλες κατηγορίες και να χρησιμοποιήσουμε λειτουργίες για να τις χειριστούμε είναι ο πρωταρχικός σκοπός της μοντελοποίησης και του υπολογισμού. Από την αναγνώριση εικόνας έως τη μέτρηση και τον έλεγχο, η ιδέα της κατηγορίας ή του συνόλου είναι απαραίτητη στον καθορισμό των μεταβλητών, των παραμέτρων και των ορίων του συστήματος. Ο περιορισμός να έχουμε έναν διπλό βαθμό συμμετοχής ενός στοιχείου σε ένα σύνολο, δηλαδή ένα στοιχείο να ανήκει ή να μην ανήκει σε ένα σύνολο, είναι μια συνέπεια της επιθυμίας να βγάλουμε την περιγραφή του συστήματος από την περιπλοκότητα που υπάρχει στην πραγματικότητα. Με τη σημερινή τεχνολογία υπολογιστών μπορούμε να αναπτύξουμε μοντέλα που εύκολα θα μπορούν να ρυθμίζονται στα χαρακτηριστικά ενός συστήματος και θα είναι προικισμένα με ιδιότητες αυτοπροσαρμογής [48]. Οδηγούμαστε αναπόφευκτα σε λιγότερο ακριβείς

αναπαραστάσεις, οι οποίες επιτρέπουν ευελιξία στο χειρισμό μεγεθών για τα οποία δεν υπάρχει καθορισμένη επεξεργασία. Τα μεγέθη αυτά πρέπει να τα παριστάνουμε από εδώ και στο εξής με τη βοήθεια των ασαφών συνόλων.

4.3 Ασαφή Σύνολα και Ασαφής Λογική

Τα μαθηματικά στηρίζονται κατά βάση στη συνολοθεωρία και αυτή στηρίζεται εξ' ολοκλήρου σε ένα αξίωμα βασισμένο στη διχοτομία (ανήκει ή δεν ανήκει, είναι εντός ή εκτός του συνόλου) [35]. Αμφισβητώντας τη διχοτομία, η κλασική συνολοθεωρία καταστρέφεται εκ θεμελίων και στη θέση της αναδύεται μία άλλη προσέγγιση, η 'θεωρία των ασαφών συνόλων' (theory of fuzzy sets).

Η ασαφής λογική παρέχει ένα μαθηματικό πλαίσιο εργασίας για το χειρισμό της αβεβαιότητας (uncertainty) [36]. Η αβεβαιότητα συναντάται συχνά σε προβλήματα μοντελοποίησης πολύπλοκων συστημάτων, όπου η αυστηρή (ακριβής) μαθηματική περιγραφή δεν είναι εφικτή.

Στη μοντελοποίηση και τον έλεγχο με ασαφείς προσεγγίσεις, η βασική ιδέα είναι η ενσωμάτωση της εμπειρίας του ανθρώπου-χειριστή του συστήματος σε ένα σύστημα ασαφούς λογικής (ασαφές έμπειρο σύστημα). Αν η μεταφορά της εμπειρίας είναι επιτυχής, αυτός ο τρόπος είναι δυνατόν να οδηγήσει στην εξασφάλιση ικανοποιητικού ελέγχου της συμπεριφοράς του συστήματος, αν σκεφτεί κανείς ότι σε πολλές περιπτώσεις ένα σύστημα ελέγχεται καλύτερα από έναν έμπειρο χειριστή παρά από μια τυπική αυτόματη μηχανή ελέγχου.

Στην ασαφή λογική έχουμε κυρίως κανόνες που περιλαμβάνουν ασαφείς μεταβλητές. Ένα παράδειγμα ασαφούς κανόνα θα μπορούσε να είναι:

ΑΝ η ποσότητα (A) είναι Πολύ Μικρή ΤΟΤΕ εφαρμόσε δύναμη (F) Πολύ Μεγάλη

όπου γίνεται χρήση των ασαφών (γλωσσικών) μεταβλητών A και F και των ασαφών συνόλων Πολύ μικρή και Πολύ Μεγάλη.

Στα ασαφή σύνολα, όπως παρουσιάστηκαν από τον L. A. Zadeh, περισσότεροι από δυο βαθμοί συμμετοχής είναι επιτρεπτοί. Ο βαθμός συμμετοχής (membership function) ενός στοιχείου σε ένα σύνολο περιγράφεται με έναν αριθμό μεταξύ του "0" και του "1", δηλαδή έναν αριθμό στο διάστημα [0,1]. Έχουμε λοιπόν μια γενίκευση του συνόλου τιμών από το ζεύγος αριθμών {0,1} σε όλους τους αριθμούς που υπάρχουν στο διάστημα [0,1]. Επεκτείνοντας το σύνολο τιμών αλλάξαμε τη φύση της χαρακτηριστικής συνάρτησης, που τώρα λέγεται συνάρτηση συμμετοχής

(membership function) και συμβολίζεται με $\mu_A(x)$. Τώρα πλέον δεν έχουμε crisp sets, αλλά έχουμε ασαφή σύνολα. Από τη στιγμή που το διάστημα $[0,1]$ περιέχει μια απειρία αριθμών, μια απειρία βαθμών συμμετοχής είναι δυνατή. Έτσι, λοιπόν, εξετάζοντας τη σχέση (4.2) βρίσκουμε ότι η συνάρτηση συμμετοχής απεικονίζει κάθε στοιχείο του χώρου αναφοράς X (universe of discourse) στο διάστημα $[0,1]$ και παριστάνουμε αυτή την απεικόνιση με την παρακάτω σχέση :

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (4.3)$$

Η σχέση (4.3) είναι μια γενίκευση της απεικόνισης που παριστάνεται στη σχέση (4.2). Η συνάρτηση συμμετοχής είναι ένα απλό μαθηματικό εργαλείο με πολλές χρήσεις για να ορίσουμε πιο ευέλικτα τη συμμετοχή ενός στοιχείου σε ένα σύνολο. Μια ερώτηση που συχνά γίνεται από ανθρώπους που ξεκινάνε την εκμάθηση των ασαφών συνόλων είναι: "πώς βρίσκονται οι συναρτήσεις συμμετοχής;". Οι συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions) μπορούν να αναπαραστήσουν την υποκειμενική ιδέα μιας αόριστης έκφρασης. Για παράδειγμα, αντικείμενα σε ένα δωμάτιο που μπορούν να λειτουργήσουν σαν καρέκλες, επιθυμητή απόδοση, ελάχιστη βελτίωση, μεγάλη βελτίωση είναι αόριστες εκφράσεις οι οποίες μπορούν να παρασταθούν με τη βοήθεια των συναρτήσεων συμμετοχής. Οι συναρτήσεις συμμετοχής μπορούν επίσης να υπολογιστούν με βάση τα στατιστικά δεδομένα.

Υπάρχουν δυο πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τρόποι ορισμού των ασαφών συνόλων:

1. Εάν το X είναι ένας χώρος αναφοράς (universe of discourse) και το x είναι ένα στοιχείο του X , τότε το ασαφές σύνολο A , που ορίζεται στον X , μπορεί να παρασταθεί με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$A = \{(x, \mu_A(x))\}, x \in X \quad (4.4)$$

όπου το $\mu_A(x)$ είναι ο βαθμός συμμετοχής του στοιχείου x στο ασαφές σύνολο A . Κάθε ζευγάρι $(x, \mu_A(x))$ ονομάζεται 'singleton'. Στα crisp σύνολα, ένα singleton είναι το στοιχείο x από μόνο του. Στα ασαφή σύνολα ένα singleton αποτελείται από το στοιχείο x και το βαθμό συμμετοχής του $\mu_A(x)$. Για παράδειγμα, το ασαφές σύνολο των μικρών ακέραιων, έστω A , που ορίζεται στο χώρο αναφοράς όλων των θετικών ακέραιων μπορεί να παρασταθεί με βάση τη σχέση (4.4) ως εξής:

$$A = \{(1,1.0), (2,1.0), (3,0.75), (4,0.5), (5,0.3), (6,0.3), (7,0.1), (8,0.1)\}$$

Έτσι, το τέταρτο singleton μας λέει ότι το "4" ανήκει στο A με βαθμό συμμετοχής 0.5.

2. Ένα singleton μπορεί επίσης να παρασταθεί σαν $\mu_A(x)/x$, δηλαδή βάζοντας πρώτα το βαθμό συμμετοχής στη συνέχεια το σύμβολο "/" και τέλος το στοιχείο x . Τα στοιχεία που έχουν βαθμό συμμετοχής μηδέν σε ένα ασαφές σύνολο μπορούν να παραλειφθούν. Ο χώρος αναφοράς του ασαφούς συνόλου A είναι το σύνολο των στοιχείων του τα οποία έχουν βαθμό συμμετοχής διαφορετικό από το μηδέν. Με βάση τα παραπάνω, ένα ασαφές σύνολο μπορεί να θεωρηθεί σαν η ένωση όλων των singleton $\mu_A(x)/x$:

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/x_i \quad (4.5)$$

Το σύμβολο του αθροίσματος στη σχέση (4.5) παριστάνει την ένωση όλων των singleton. Η σχέση (4.5) ισχύει στην περίπτωση που έχουμε ένα πεπερασμένο σύνολο αναφοράς για το A . Με τη βοήθεια αυτής της σχέσης το ασαφές σύνολο των μικρών ακέραιων μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$A = 1.0/1 + 1.0/2 + 0.75/3 + 0.5/4 + 0.3/5 + 0.3/6 + 0.1/7 + 0.1/8$$

Για ένα συνεχή χώρο αναφοράς γραφούμε τη σχέση (4.5) ως εξής:

$$A = \int_x \mu_A(x)/x \quad (4.6)$$

Το σύμβολο του ολοκληρώματος στην εξίσωση (4.6) παριστάνει την ένωση όλων των singleton.

Τέλος, αναφέρουμε ότι ο βαθμός συμμετοχής σε ένα ασαφές σύνολο μπορεί να είναι και ο ίδιος ένα ασαφές σύνολο.

4.4 Βασικοί όροι και πράξεις

Πολλές λειτουργίες των ασαφών συνόλων, όπως η ένωση και η τομή, ορίζονται μέσω των τελεστών ελαχίστου " \wedge " και μεγίστου " \vee ". Ελάχιστος και μέγιστος (min and max) είναι έννοιες ανάλογες του γινομένου και του αθροίσματος της άλγεβρας [49-51]. Ας εξετάσουμε τώρα πώς χρησιμοποιούνται οι τελεστές αυτοί.

Καταρχάς, οι τελεστές min και max μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουμε το μικρότερο και το μεγαλύτερο στοιχείο ενός χώρου αναφοράς. Για δύο στοιχεία μ_1 και μ_2 έχουμε :

$$\mu_1 \wedge \mu_2 = \min(\mu_1, \mu_2) = \begin{cases} \mu_1 & , \text{ iff } \mu_1 < \mu_2 \\ \mu_2 & , \text{ iff } \mu_1 > \mu_2 \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\mu_1 \vee \mu_2 = \max(\mu_1, \mu_2) = \begin{cases} \mu_1 & , \text{ iff } \mu_1 > \mu_2 \\ \mu_2 & , \text{ iff } \mu_1 < \mu_2 \end{cases} \quad (4.8)$$

Στην πραγματικότητα υπάρχει μια αναλογία μεταξύ των τελεστών \min και \max και των πράξεων γινόμενο, άθροισμα. Έτσι, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους τελεστές \min και \max με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιούμε το γινόμενο και το άθροισμα. Χρησιμοποιώντας αυτούς τους βασικούς τελεστές μπορούμε να ορίσουμε ένα μεγάλο αριθμό χρήσιμων λειτουργιών για τα ασαφή σύνολα.

- Ένα ασαφές σύνολο A λέγεται *κενό* όταν η συνάρτηση συμμετοχής του (membership function) είναι μηδέν για κάθε στοιχείο x που ανήκει στον χώρο αναφοράς X του A .

$$A \equiv 0 \text{ if } \mu_A(x) = 0 \quad \forall x \in X \quad (4.9)$$

- Ένα ασαφές σύνολο A λέγεται *κανονικό*, εάν υπάρχει τουλάχιστον ένα στοιχείο x_0 στο χώρο αναφοράς X , για το οποίο η συνάρτηση συμμετοχής είναι ένα.

$$A \equiv normal, \exists x_0 \in X : \mu_A(x_0) = 1 \quad (4.10)$$

Περισσότερα από ένα στοιχεία του χώρου αναφοράς X μπορεί να ικανοποιούν τη σχέση (4.10).

- Δυο ασαφή σύνολα λέγεται ότι είναι *ίσα*, εάν οι συναρτήσεις συμμετοχής τους είναι ίσες για κάθε στοιχείο x που ανήκει στον χώρο αναφοράς τους X .

$$A \equiv B \text{ if } \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (4.11)$$

- Η *ένωση* δυο ασαφών συνόλων A και B , που ορίζονται στον ίδιο χώρο αναφοράς X , είναι ένα καινούριο ασαφές σύνολο $A \cup B$, που ορίζεται επίσης στο X , με συνάρτηση συμμετοχής η οποία για κάθε x που ανήκει στο X είναι ο μεγαλύτερος από τους βαθμούς συμμετοχής του x στο A και B .

$$A \cup B \quad \forall x \in X : \mu_{A \cup B} = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (4.12)$$

Η ένωση δυο ασαφών συνόλων συνδέεται με την λειτουργία (OR) στην ασαφή λογική.

- Η *τομή* δυο ασαφών συνόλων A και B είναι ένα καινούριο ασαφές σύνολο με συνάρτηση συμμετοχής, η οποία για κάθε x που ανήκει στο χώρο αναφοράς X είναι ο μικρότερος από τους βαθμούς συμμετοχής του x στο A και B .

$$A \cap B \quad \forall x \in X : \mu_{A \cap B} = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (4.13)$$

Η τομή δυο ασαφών συνόλων συνδέεται με την λειτουργία (AND) στην ασαφή λογική.

4.5 Ασαφής ή προσεγγιστική συλλογιστική

Τρεις θεμελιώδεις έννοιες της ασαφούς ή προσεγγιστικής συλλογιστικής (μεθοδολογίας εξαγωγής ασαφών ή προσεγγιστικών συμπερασμάτων) είναι οι έννοιες της «γλωσσικής μεταβλητής», του «γενικευμένου κανόνα του θέτειν/αναιρείν» και της «ασαφούς σχέσης» [35]. Οι έννοιες αυτές θα εξετασθούν στην παρούσα παράγραφο.

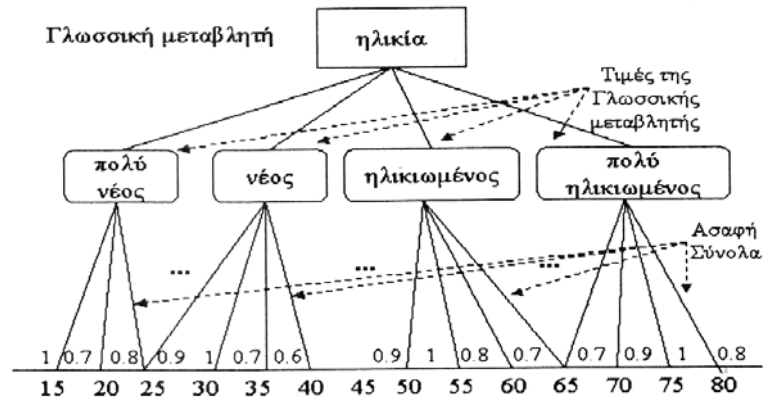
4.5.1 Γλωσσικές μεταβλητές και γλωσσικοί διαμορφωτές

Γλωσσική μεταβλητή είναι μια μεταβλητή της οποίας οι τιμές δεν είναι αριθμοί, αλλά λέξεις ή φράσεις σε μία φυσική ή τεχνητή γλώσσα. Παραδείγματα γλωσσικών μεταβλητών είναι η ηλικία, το μέγεθος, η ταχύτητα, το βάρος, η θερμοκρασία κ.λπ. Παραδείγματα γλωσσικών τιμών είναι: μικρός, μεσαίος, μεγάλος, κοκ. Οι τιμές αυτές παριστάνονται με ασαφή σύνολα και γι' αυτό οι γλωσσικές μεταβλητές ονομάζονται επίσης «ασαφείς μεταβλητές» ή «ασαφή κατηγορήματα» και συνήθως δηλώνονται ως: « X είναι A »

λ.χ. «θερμοκρασία είναι υψηλή», «ταχύτητα είναι μικρή» κ.λπ.

Για παράδειγμα, έστω η γλωσσική μεταβλητή $X =$ «ηλικία» με πεδίο τιμών:

$$T(x) = \{ \text{“πολύ νέος”}, \text{“όχι πολύ νέος”}, \text{“αρκετά νέος”}, \text{“λίγο ηλικιωμένος”}, \text{“αρκετά ηλικιωμένος”}, \text{“όχι πολύ ηλικιωμένος”}, \text{“πολύ ηλικιωμένος”} \}$$



Σχήμα 4.1: Γλωσσική μεταβλητή “ηλικία” και οι τιμές της σε γλωσσική και ασαφή παράσταση (συναρτήσεις συμμετοχής).

Γλωσσικός διαμορφωτής (τροποποιητής) είναι ένας τελεστής που, εφαρμοζόμενος σε μια τιμή (ασαφές σύνολο) μιας γλωσσικής μεταβλητής, μεταβάλλει το νόημά της. Έτσι, εάν A είναι το σύνολο των τιμών της γλωσσικής μεταβλητής, τότε εφαρμόζοντας στα στοιχεία αυτού τον γλωσσικό τροποποιητή m , προκύπτει ένα άλλο σύνολο τιμών $B=m(A)$. Η άρνηση του A ($\text{not } A$) μπορεί επίσης να θεωρηθεί γλωσσικός διαμορφωτής.

Τυπικοί γλωσσικοί διαμορφωτές είναι οι ακόλουθοι:

- Πολύ (A): $\mu_{\text{πολύ}(A)} = (\mu_A(x))^2$ [Συστολή]
- Σχεδόν (A): $\mu_{\text{σχεδόν}(A)} = (\mu_A(x))^{1/2}$ [Διαστολή]
- Συν (A): $\mu_{\text{συν}(A)} = (\mu_A(x))^{5/4}$ [Συν]
- Μείον (A): $\mu_{\text{μείον}(A)} = (\mu_A(x))^{3/4}$ [Μείον]
- Όχι (A): $\mu_{\text{όχι}(A)} = 1 - \mu_A(x)$ [Συμπλήρωμα]
- Μέτρο (A): $\mu_{\text{μέτρο}(A)} = \mu_A(x) / \max \mu_A(x)$ [Κανονικοποίηση]

Οι λειτουργίες διαστολή και συστολή είναι λειτουργίες με αντίστροφα αποτελέσματα. Συστέλλοντας ένα ασαφές σύνολο μειώνουμε την ασάφεια του (fuzziness), ενώ διαστέλλοντάς το αυξάνουμε την ασάφεια. Η λειτουργία της διαστολής αντιστοιχεί στην εκφραστική τροποποίηση του νοήματος ενός ασαφούς συνόλου με τον όρο "more or less".

Γενικά, ο διαμορφωτής $[\mu_A(x)]^p$ για $p > 1$ συνεπάγεται μία πράξη «στενέματος» (συγκέντρωσης) της συνάρτησης συμμετοχής και για $p < 1$ μία πράξη «διεύρυνσης» (ανοίγματος) της συνάρτησης συμμετοχής.

Ένας άλλος χρήσιμος γλωσσικός διαμορφωτής είναι ο ‘εντατικοποιητής αντίθεσης’ (contrast intensification) “intens”, ο οποίος ορίζεται ως:

$$\mu_{\text{intens}(A)}(x) = \begin{cases} 2[\mu_A(x)]^2 & , \mu_A(x) \in [0, 0.5] \\ 1 - 2[1 - \mu_A(x)]^2 & , \mu_A(x) \notin [0, 0.5] \end{cases} \quad (4.14)$$

4.5.2 Γενικευμένοι κανόνες του θέτειν και του αναιρείν (Modus Ponens και Modus Tollens)

Είναι γνωστό ότι η κλασική λογική στηρίζει τη διαδικασία απόδειξης εξ’ ολοκλήρου σε ‘λογικές ταυτολογίες’ [35]. Οι κυριότερες λογικές ταυτολογίες, στις οποίες ανάγονται και όλες οι υπόλοιπες, είναι οι ακόλουθες:

Modus ponens: $\{A \wedge (A \rightarrow B)\} \rightarrow B$ [Κανόνας του θέτειν]

Modus tollens: $\{(A \rightarrow B) \wedge \sim B\} \rightarrow \sim A$ [Κανόνας του αναιρείν]

Συλλογισμός: $\{(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C)\} \rightarrow (A \rightarrow C)$ [Αλυσίδα]

Αντιθετοαντιστροφή: $(A \rightarrow B) \rightarrow (\sim B \rightarrow \sim A)$

Ο κανόνας αυτός δεν εφαρμόζεται αυτούσιος στην Ασαφή Λογική, αλλά χρησιμοποιείται ο τροποποιημένος (ασαφής) κανόνας Modus Ponens (MP) που αναφέρεται με το όνομα Generalized Modus Ponens (GMP – γενικευμένος κανόνας του θέτειν) και έχει την ακόλουθη δομή:

Συνεπαγωγή: EAN $x = A$ TOTE $y = B$

Γεγονός: $x = A'$

Συμπέρασμα: $y = B'$

όπου τα A', A, B' και B είναι ασαφή σύνολα.

Ο κανόνας GMP ονομάζεται επίσης “ασαφής κανόνας του θέτειν” (fuzzy modus ponens).

Το γενικό συμπέρασμα είναι πως ο GMP μιμείται πολύ περισσότερο τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης, απ’ ότι ο κλασικός MP, αφού λειτουργεί όχι μόνο κάτω από συνθήκες ταυτότητας, αλλά γενικότερα κάτω από συνθήκες ομοιότητας. Το γεγονός

αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία, διότι μειώνει δραστικά τον αριθμό των κανόνων που επιβάλλεται να υπάρχουν στη βάση γνώσης ενός ευφυούς συστήματος απόφασης ή ελέγχου.

Ο συλλογιστικός κανόνας GMP, που ανάγεται στον κλασικό κανόνα MP όταν $A' = A$ και $B' = B$, παραπέμπει σε ευθύ συλλογισμό, δηλαδή σε οδηγούμενο από τα δεδομένα συλλογισμό που είναι πολύ χρήσιμος σε προβλήματα αυτομάτου ελέγχου.

Μια επέκταση του GMP είναι η εξής:

Συνεπαγωγή: $\text{EAN } x_1 \text{ είναι } A_1 \text{ και } \dots \text{ και } x_n \text{ είναι } A_n \text{ TOTE } y \text{ είναι } B$

Γεγονότα (Δεδομένα): $x_1 \text{ είναι } A_1' \text{ και } \dots \text{ και } x_n \text{ είναι } A_n'$

Συμπέρασμα: $y \text{ είναι } B'$

όπου $A_i, A_i' (i = 1, \dots, n), B$ και B' είναι ασαφή σύνολα.

Αντίστοιχα, ο γενικευμένος (ασαφής) κανόνας του αναιρείν (Generalized Modus Tollens - GMT) έχει τη μορφή:

Συνεπαγωγή: $\text{EAN } x = A \text{ TOTE } y = B'$

Γεγονός: $y \text{ είναι } B'$

Συμπέρασμα: $x \text{ είναι } A'$

Ο κανόνας GMT, που μεταπίπτει στον κλασικό κανόνα MT όταν $A' = \sim A$ και $B' = \sim B$, οδηγεί σε ανάστροφο συλλογισμό (οδηγούμενο από το στόχο (συμπέρασμα)), ο οποίος εφαρμόζεται συνήθως σε προβλήματα διάγνωσης (διαγνωστικά έμπειρα συστήματα).

Ο πρακτικός μηχανισμός μοντελοποίησης ασαφών συνεπαγωγών (κανόνων) και υλοποίησης του κανόνα GMP προσφέρεται από τις ασαφείς σχέσεις στις οποίες θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

4.5.3 Ασαφείς σχέσεις

Οι ασαφείς σχέσεις αποτελούν γενίκευση των συνήθων (κοφτών) σχέσεων και μας δίνουν τη δυνατότητα να χειρισθούμε προβλήματα στα οποία υπάρχει αβεβαιότητα ή αμφιβολία, όπως για παράδειγμα στις επόμενες εκφράσεις: “το x είναι σχεδόν ίσο με το y ”, “το x είναι αρκετά όμοιο με το y ”, κοκ [35]. Οι κοφτές (συνήθεις) σχέσεις αποτελούν στοιχεία του καρτεσιανού γινομένου ορισμένων χώρων. Έτσι, έχουμε τον ακόλουθο ορισμό.

Έστω X και Y υπερσύνολα αναφοράς. Τότε με τον όρο “ασαφής σχέση R ” εννοούμε ένα ασαφές σύνολο στο καρτεσιανό γινόμενο $X \times Y = \{(x, y) / x \in X, y \in Y\}$ το οποίο (σύνολο) χαρακτηρίζεται από τη συνάρτηση συμμετοχής μ_R :

$$\mu_R : X \times Y \rightarrow [0,1] \quad (4.15)$$

Η συνάρτηση συμμετοχής $\mu_R(x, y)$ παριστά για κάθε ζεύγος (x, y) το βαθμό σύνδεσης ανάμεσα στα x και y .

Τρεις βασικές ασαφείς σχέσεις είναι η σχέση ταυτότητας I , η μηδενική σχέση O και η παγκόσμια (καθολική) σχέση U , οι οποίες ορίζονται ως ακολούθως:

$$\mu_I(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad \mu_O(x, y) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad \mu_U(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Ένας ασαφής κανόνας (συνεπαγωγή):

K: EAN A TOTE B

όπου τα A και B είναι τα ασαφή σύνολα: $A = \{(x_i, \mu_A(x_i)) / x_i \in X\}$,

$B = \{(y_j, \mu_B(y_j)) / y_j \in Y\}$, μπορεί να παρασταθεί με την ασαφή σχέση

$R = \{((x_i, y_j), \mu_R(x_i, y_j)) / x_i \in X, y_j \in Y\}$, όπου το (i, j) στοιχείο $\mu_R(x_i, y_j)$ της

σχεσιακής μήτρας της μπορεί να υπολογισθεί με έναν από τους παρακάτω κανόνες:

Αριθμητικός κανόνας Zadeh: $\mu_R(x_i, y_j) = \min\{1, 1 - \mu_A(x_i) + \mu_B(y_j)\}$

Κανόνας μεγίστου (Zadeh): $\mu_R(x_i, y_j) = \max\{1 - \mu_A(x_i), \min[\mu_A(x_i), \mu_B(y_j)]\}$

Κανόνας ελαχίστου (Mamdani): $\mu_R(x_i, y_j) = \min\{\mu_A(x_i), \mu_B(y_j)\}$

Κανόνας Boole: $\mu_R(x_i, y_j) = \max\{1 - \mu_A(x_i), \mu_B(y_j)\}$

Κανόνας Goguen I: $\mu_R(x_i, y_j) = \begin{cases} 1 & , \mu_A(x_i) \leq \mu_B(y_j) \\ \mu_B(y_j) / \mu_A(x_i) & , \mu_A(x_i) > \mu_B(y_j) \end{cases}$

Κανόνας Goguen II: $\mu_R(x_i, y_j) = \begin{cases} 1 & , \mu_A(x_i) \leq \mu_B(y_j) \\ \mu_B(y_j) & , \mu_A(x_i) > \mu_B(y_j) \end{cases}$

Κανόνας τυπικής ακολουθίας: $\mu_R(x_i, y_j) = \begin{cases} 1 & , \mu_A(x_i) \leq \mu_B(y_j) \\ 0 & , \mu_A(x_i) > \mu_B(y_j) \end{cases}$

Κανόνας γινομένου (Larsen): $\mu_R(x_i, y_j) = \mu_A(x_i)\mu_B(y_j)$

4.5.4 Κανόνας ασαφούς συλλογιστικής (σύνθεσης) max-min

Ο κανόνας ασαφούς συλλογιστικής (σύνθεσης) max-min οφείλεται στον Zadeh (1973) και παρέχει έναν πολύ χρήσιμο τρόπο εξαγωγής συμπερασμάτων μέσα σε αβεβαιότητας [35]. Η διατύπωσή του έχει ως εξής:

Δίνονται τα ασαφή σύνολα:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \text{ και } B = \{(y, \mu_B(y)) \mid y \in Y\}$$

και μία ασαφής σχέση επί του $X \times Y$, δηλαδή:

$$R = \{((x, y), \mu_R(x, y)) \mid (x, y) \in X \times Y\}$$

Τότε, με δεδομένα τα A και R , το B δίνεται από τη σχέση:

$$B = A \circ R \tag{4.16}$$

$$\text{με } \mu_B(x) = \max_x \{ \min [\mu_A(x), \mu_R(x, y)] \}$$

όπου το “ \circ ” συμβολίζει τον τελεστή της σύνθεσης max-min.

Η σύνθεση “max-min” $B = A \circ R$ είναι ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα της ασαφούς (προσεγγιστικής) συλλογιστικής, γιατί παρέχει ένα συγκεκριμένο (μαθηματικό) τρόπο υλοποίησης του γενικευμένου κανόνα modus ponens. Πραγματικά, αν μας δώσουν τον ασαφή κανόνα “ΕΑΝ x είναι A ΤΟΤΕ y είναι B ”, όπου A και B είναι ασαφή σύνολα, προσδιορίζουμε πρώτα την αντίστοιχη ασαφή σχέση $R(x, y)$, όπως περιγράψαμε παραπάνω και, ακολούθως, βρίσκουμε το συμπέρασμα του κανόνα για “ x είναι A' ” ως:

$$B' = A' \circ R \tag{4.17}$$

όπου το $\mu_{B'}(y)$ υπολογίζεται με τον κανόνα σύνθεσης max-min.

Ο κανόνας σύνθεσης max-min χρησιμοποιείται επίσης για τη σύνθεση ασαφών σχέσεων.

Έστω R_1 και R_2 δύο ασαφείς σχέσεις επί των $X \times Y$ και $Y \times Z$, αντίστοιχα, με συναρτήσεις συμμετοχής $\mu_{R_1}(x, y), (x, y) \in X \times Y$ και $\mu_{R_2}(y, z), (y, z) \in Y \times Z$. Τότε η σύνθεσή τους είναι μία ασαφής σχέση που συμβολίζεται με $R_1 \circ R_2$ και ορίζεται ως:

$$R_1 \circ R_2 = \{((x, z), \mu_{R_1 \circ R_2}(x, z)) \mid (x, z) \in X \times Z\}$$

$$\text{όπου } \mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \max_y \left\{ \min \left[\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z) \right] \right\}$$

Ο τελεστής “ο” είναι ανάλογος του συνήθους πολλαπλασιασμού μητρών όπου η πρόσθεση και ο πολλαπλασιασμός των στοιχείων αντικαθίσταται από τις πράξεις max και min, αντίστοιχα.

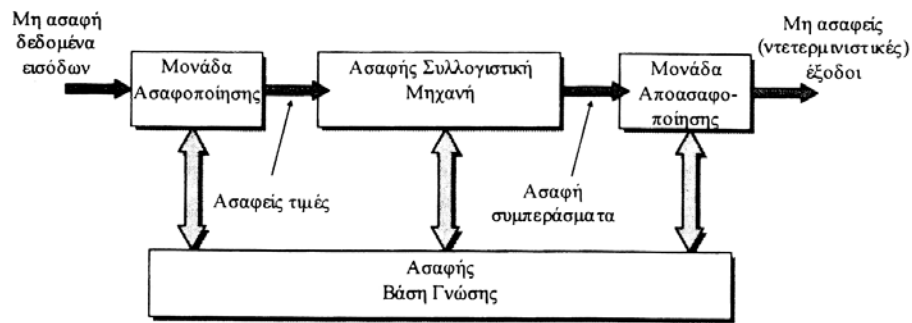
4.6 Ασαφή συστήματα

Τα ασαφή συστήματα είναι στην ουσία συστήματα απόφασης ή ελέγχου που λειτουργούν σε αβέβαιο περιβάλλον και μοντελοποιούνται με ασαφείς μεταβλητές [35]. Τα ασαφή συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των ευφών συστημάτων και βρίσκουν εφαρμογή σε ολοένα και περισσότερα πρακτικά προβλήματα. Ένας εμπειρογνώμονας μπορεί να χτίσει ένα ασαφές σύστημα γράφοντας ένα σύνολο μη επακριβών κανόνων για το πρόβλημά του υπό τη μορφή ενός ασαφούς αλγορίθμου (συνόλου ασαφών κανόνων). Τότε, μέσω της ασαφούς συλλογιστικής και των μονάδων ασαφοποίησης και από-ασαφοποίησης, προσδιορίζονται ορθολογιστικές λύσεις εφάμιλλες (ή καλύτερες) των παραδοσιακών πιθανοθεωρητικών μεθόδων χειρισμού της αβεβαιότητας, χωρίς τις σκληρές υποθέσεις και το μεγάλο αριθμό δεδομένων που χρειάζονται οι μέθοδοι αυτές.

4.6.1 Γενική αρχιτεκτονική ασαφών συστημάτων

Η γενική αρχιτεκτονική (δομή) των ασαφών συστημάτων εικονίζεται στο Σχήμα 4.2 και περιλαμβάνει τέσσερις μονάδες [35]:

- 1) μία βάση ασαφών κανόνων της μορφής EAN – TOTE (Ασαφής Βάση Γνώσης),
- 2) μία ασαφή συλλογιστική μηχανή (μηχανισμό εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων),
- 3) μία μονάδα ασαφοποίησης (ασαφοποιητική μονάδα διεπαφής), η οποία μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου σε ασαφή σύνολα,
- 4) μία μονάδα από-ασαφοποίησης (από-ασαφοποιητική μονάδα διεπαφής), η οποία μετατρέπει τα ασαφή συμπεράσματα/αποφάσεις σε σαφώς καθορισμένη μορφή.



Σχήμα 4.2: Γενική αρχιτεκτονική ασαφούς συστήματος.

Η *ασαφής βάση γνώσης* περιέχει, συνήθως, εκτός από τους ασαφείς (γλωσσικούς) κανόνες και ένα τμήμα βάσης αριθμητικών δεδομένων, τα οποία απαιτούνται για τη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων.

Η *ασαφής συλλογιστική μηχανή* αποτελεί τον πυρήνα του ασαφούς συστήματος και περιέχει τη λογική λήψης αποφάσεων (λ.χ. γενικευμένο κανόνα συναγωγής, κανόνα σύνθεσης max-min του Zadeh, κ.λπ. – βλ § 4.5.4).

Η *μονάδα ασαφοποίησης* (ασαφοποιητής) εκτελεί τις παρακάτω εργασίες:

- Μετράει (παραλαμβάνει) τις (μη ασαφείς) τιμές των εισόδων του συστήματος.
- Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των τιμών εισόδου σε κατάλληλα υπερσύνολα αναφοράς.
- Ασαφοποιεί τις εισερχόμενες τιμές των εισόδων, δηλαδή τις μετατρέπει σε ασαφή γλωσσική μορφή.

Τέλος, η *μονάδα από-ασαφοποίησης* (από-ασαφοποιητής) εκτελεί τις εξής εργασίες:

- Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των μεταβλητών εξόδου σε αντίστοιχα υπερσύνολα αναφοράς.
- Από-ασαφοποιεί τα αποτελέσματα που δίνει η ασαφής συλλογιστική μηχανή, δηλαδή τα μετατρέπει σε “ντετερμινιστική” (μη ασαφή) μορφή για παραπέρα χρήση από επόμενα συστήματα ή διεργασίες απόφασης.

4.6.2 Ασαφοποίηση (Fuzzification)

Η πράξη αυτή χρησιμοποιείται για να μετατρέψει ένα crisp σύνολο σε ασαφές σύνολο ή απλώς για να αυξήσει το fuzziness ενός ασαφούς συνόλου. Για το fuzzification χρησιμοποιούμε μια συνάρτηση F (fuzzyfier function F) η οποία ελέγχει την ποσότητα της ασάφειας σε ένα σύνολο. Για παράδειγμα, έστω το ασαφές

σύνολο A το οποίο περιγράφει μεγάλους αριθμούς. Αυτό μπορούμε υποκειμενικά να το ορίσουμε μέσω της συνάρτησης συμμετοχής:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{F_2}\right)^{-F_1}} \quad (4.18)$$

όπου το x είναι κάθε θετικός πραγματικός αριθμός.

Η συνάρτηση συμμετοχής της σχέσης (4.18) έχει δυο παραμέτρους, ένα εκθετικό fuzzyfier, F_1 και ένα fuzzyfier F_2 . Μέσω αυτών, το ασαφές σύνολο $A = \{\text{large numbers}\}$ μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$A = \int_x \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{x}{F_2}\right)^{-F_1}} \right] / x \quad (4.19)$$

Η λειτουργία της ασαφοποίησης μπορεί να υλοποιηθεί πιο συστηματικά συνδέοντας ένα fuzzyfier F με μια άλλη συνάρτηση που ονομάζεται ασαφής πυρήνας (fuzzy kernel) $k(x)$, το οποίο είναι το ασαφές σύνολο που προκύπτει από την εφαρμογή του F στο singleton x . Αυτό γίνεται συχνά στις εφαρμογές ελέγχου, όπου η είσοδος σε έναν on-line έλεγχο ενός συστήματος έρχεται από αισθητήρες και για το λόγο αυτό είναι crisp, συνήθως ένας πραγματικός αριθμός. Για να χρησιμοποιήσουμε την είσοδο αυτή σε έναν ασαφή αλγόριθμο ελέγχου του συστήματος, πρέπει να μετατρέψουμε τον crisp αριθμό σε ένα ασαφές σύνολο, ένα βήμα το οποίο λέγεται ασαφοποίηση. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του k στο ασαφές σύνολο A προκύπτει από την εξίσωση:

$$F(A; k) = \int_X \mu_A(x) \cdot \mu_{k(x)}(x) / x \quad (4.20)$$

όπου το $F(A; k)$ είναι ένα ασαφές σύνολο, το οποίο προκύπτει από την αλλαγή της ασάφειας (fuzziness) του A σύμφωνα με το k . Ο ασαφής πυρήνας $k(x)$ λειτουργεί σαν μάσκα, η οποία δίνει ένα βαθμό συμμετοχής σε κάθε στοιχείο x ενός χώρου αναφοράς και με τον τρόπο αυτό παράγει ένα ασαφές σύνολο. Για την κατανόηση της λειτουργίας της ασαφοποίησης, ας εξετάσουμε ένα παράδειγμα.

Έστω ότι έχουμε το χώρο αναφοράς:

$$X = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$$

και έναν ασαφή πυρήνα $k(x)$, ο οποίος 'κεντράρει' ένα ασαφές σύνολο γύρω από τη σχέση:

$$k(5) = 0.33/3 + 0.67/4 + 1.0/5 + 0.67/6 + 0.33/7$$

με όλα τα άλλα στοιχεία του χώρου αναφοράς να έχουν βαθμό συμμετοχής μηδέν.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε την τιμή 3, η οποία είναι μια crisp μέτρηση σε μια καθορισμένη στιγμή. Τη γράφουμε σαν ένα singleton:

$$A = \mu_A(3)/3 = 1.0/3$$

Μετατρέπουμε το A σε ασαφές σύνολο χρησιμοποιώντας τη σχέση (4.20) ως εξής:

$$F(A; k) = \int_X \mu_A(x) \cdot \mu_{k(x)}(x) / x = \int_X \mu_A(3) \cdot \mu_{k(5)}(3) / 3 = 0.33/1 + 0.67/2 + 1.0/3 + 0.67/4 + 0.33/5$$

που έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατόπιση του ασαφούς πυρήνα έτσι ώστε η κορυφή του να πέσει στο singleton "3". Με άλλα λόγια το αποτέλεσμα της εφαρμογής της σχέσης (4.20) είναι η κάλυψη της crisp τιμής "3" με το ασαφές σύνολο $k(5)$, του οποίου μετατοπίστηκε η κορυφή από το "5" στο "3".

4.6.3 Αποασαφοποίηση

Ουσιαστικά, η λειτουργία της αποσαφήνισης είναι μια απεικόνιση από το χώρο των ασαφών ενεργειών ελέγχου σε ένα χώρο καθορισμένων (μη ασαφών) ενεργειών ελέγχου. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται διότι σε πολλές πρακτικές εφαρμογές απαιτείται μια συγκεκριμένη ενέργεια ελέγχου. Μια στρατηγική αποσαφήνισης έχει σκοπό να παράγει μια συγκεκριμένη ενέργεια ελέγχου, η οποία θα παριστάνει όσο το δυνατόν καλύτερα την πιθανή κατανομή των ασαφών ενεργειών ελέγχου που προκύπτουν από το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης ασαφούς λογικής. Δυστυχώς δεν υπάρχει μια συστηματική διαδικασία για την εκλογή των στρατηγικών αποσαφήνισης. Στη συνέχεια φαίνονται οι κυριότερες μέθοδοι αποσαφήνισης, από τις οποίες οι πιο συνηθισμένες είναι τα κριτήρια του μέγιστου, το μέσο του μέγιστου και το κέντρο της περιοχής.

A. Το κριτήριο του μέγιστου (The max criterion method)

Το κριτήριο αυτό παράγει το σημείο στο οποίο η πιθανή κατανομή ενεργειών ελέγχου φτάνει τη μέγιστη τιμή της.

B. Μέθοδος μέσης τιμής των μεγίστων (Mean Of Maxima - MOM)

Η στρατηγική MOM παράγει μια ενέργεια ελέγχου η οποία αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή όλων των τοπικών ενεργειών ελέγχου των οποίων οι συναρτήσεις συμμετοχής

φτάνουν στο μέγιστο. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση διακριτού χώρου αναφοράς, η ενέργεια ελέγχου μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$w_0 = \sum_{j=1}^m \frac{w_j}{m} \quad (4.21)$$

όπου το w_j είναι στοιχείο για το οποίο η συνάρτηση συμμετοχής φτάνει τη μέγιστη τιμή $\mu_Z(w_j)$ και m είναι ο αριθμός αυτών των στοιχείων.

Γ. Μέθοδος κέντρου βάρους (Center of Gravity, COG) [35]

Η μέθοδος COG παράγει το κέντρο βάρους της πιθανής κατανομής μιας ενέργειας ελέγχου. Στην περίπτωση διακριτών χώρων αναφοράς η μέθοδος αυτή δίνει:

$$w_0 = \frac{\sum_i w_i \mu_B(w_i)}{\sum_i \mu_B(w_i)} \quad (4.22)$$

Έχει παρουσιαστεί μια λεπτομερής ανάλυση των στρατηγικών (MOM, COG) από την οποία προκύπτει ότι η μέθοδος COG δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά ένα ασαφές σύστημα που βασίζεται στην COG δίνει γενικά μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα από ότι ένα που βασίζεται στη μέθοδο MOM.

Δ. Μέθοδος του ύψους [35]

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει το w_0 ως μία μέση τιμή με βάρη h_i των αντιπροσωπευτικών σημείων w_i του B . Έτσι:

$$w_0 = \frac{w_1 h_1 + \dots + w_n h_n}{h_1 + \dots + h_n} \quad (4.23)$$

Η επιλογή των αντιπροσωπευτικών σημείων w_i εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα και τη μορφή της συνάρτησης συμμετοχής.

Ε. Τροποποιημένη μέθοδος κέντρου βάρους [35]

$$w_0 = \frac{\sum_i w_i [\mu_B(w_i) / \delta_i]}{\sum_i \mu_B(w_i) / \delta_i} \quad (4.24)$$

όπου το δ_i χαρακτηρίζει το σχήμα της συνάρτησης συμμετοχής.

4.6.4 Ασαφής βάση γνώσης

Η ασαφής βάση γνώσης αποτελείται από μια συλλογή κανόνων EAN – TOTE (IF - THEN) της παρακάτω μορφής [35]:

R^l : EAN x_1 είναι A_1^l ΚΑΙ ...ΚΑΙ x_n είναι A_n^l TOTE y είναι B^l

όπου τα A_i' και B' είναι ασαφή σύνολα επί των $X_i \subset \mathfrak{R}$ και $Y \subset \mathfrak{R}$, αντίστοιχα, και $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_n]^T$ και y είναι γλωσσικές μεταβλητές.

Για τον προσδιορισμό της μορφής των A_i' και B' έχουμε τις ακόλουθες μεθόδους:

- 1) Αν οι κανόνες καθορίζονται από κάποιο εμπειρογνώμονα, τότε αυτός πρέπει να καθορίσει και τη μορφή τους.
- 2) Αν οι κανόνες καθορίζονται με βάση δεδομένα μετρήσεων, τότε χρησιμοποιούμε κάποια αυθαίρετη μορφή με πιο συνηθισμένες τις τριγωνικές, Gauss και τραπεζοειδείς (βλ. πίνακα 4.1).

Πίνακας 4.1: Συναρτήσεις συμμετοχής.

Τριγωνική	$\mu = \max \left[\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right]$
Τραπεζοειδής	$\mu = \max \left[\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right]$
Καμπανοειδής	$\mu = \frac{1}{1 + \left \frac{x-c}{a} \right ^{2b}}, b > 0$
Γκαουσιανή	$\mu = e^{-\left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2}$

4.6.5 Μηχανισμός ασαφούς συλλογισμού

4.6.5.1 Μέθοδος Mamdani

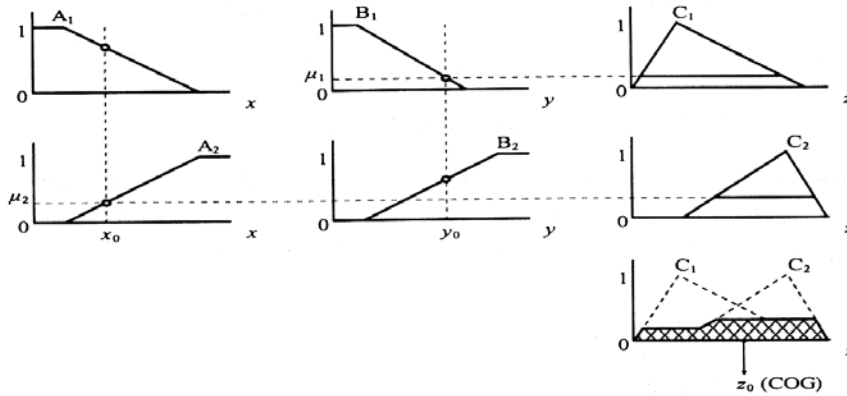
Ας θεωρήσουμε αρχικά δύο κανόνες με δύο μεταβλητές στο αριστερό μέλος (δηλαδή το μέλος της υπόθεσης) και μία μεταβλητή στο δεξιό μέλος (δηλαδή το μέλος του συμπεράσματος) [35]:

Κανόνας 1: ΕΑΝ x είναι A_1 ΚΑΙ y είναι B_1 ΤΟΤΕ z είναι C_1

Κανόνας 2: ΕΑΝ x είναι A_2 ΚΑΙ y είναι B_2 ΤΟΤΕ z είναι C_2

όπου A_1, A_2, B_1, B_2, C_1 και C_2 είναι ασαφή σύνολα.

Η διαδικασία συλλογισμού φαίνεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Διεργασία συλλογισμού με την άμεση μέθοδο Mamdani.

Έστω ότι τα x_0 και y_0 είναι καθορισμένες τιμές των μεταβλητών εισόδου x και y αντίστοιχα. Η διαδικασία συλλογισμού για το ζεύγος (διάνυσμα) εισόδου (x_0, y_0) περιέχει τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1:

Υπολογίζουμε τη δύναμη (προσαρμοστικότητα) κάθε κανόνα για το ζεύγος εισόδου (x_0, y_0) ως έξης:

$$\text{Προσαρμοστικότητα κανόνα 1: } \mu_1 = \min \{ \mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0) \}$$

$$\text{Προσαρμοστικότητα κανόνα 2: } \mu_2 = \min \{ \mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0) \}$$

όπου $\mu_{A_i}(x_0)$ και $\mu_{B_i}(y_0)$ είναι οι συναρτήσεις συμμετοχής των x_0 και y_0 στα ασαφή σύνολα A_i και B_i αντίστοιχα.

Για κανόνες με $m-1$ μεταβλητές εισόδου x_0, \dots, x_{m-1} και έξοδο y_m ισχύει:

$$\text{Προσαρμοστικότητα κανόνα } i: \mu_i = \min \{ \mu_{A_1^i}(x_1), \dots, \mu_{A_{m-1}^i}(x_{m-1}), \mu_{B_m^i}(y_m) \}$$

όπου A_1^i, \dots, A_{m-1}^i είναι τα ασαφή σύνολα εισόδου και B_m^i το ασαφές σύνολο εξόδου του κανόνα i .

Βήμα 2:

Εφαρμόζουμε την προσαρμοστικότητα που προκύπτει από το Βήμα 1 στα ασαφή σύνολα του δεξιού μέλους (συμπεράσματος, εξόδου) κάθε κανόνα για να λάβουμε το συμπέρασμα κάθε κανόνα, ήτοι:

$$\text{Συμπέρασμα κανόνα 1: } \mu_{C_1}(x_0) = \min \{ \mu_1, \mu_{C_1}(z) \}, \quad \forall z \in Z$$

$$\text{Συμπέρασμα κανόνα 2: } \mu_{C_2}(x_0) = \min \{ \mu_2, \mu_{C_2}(z) \}, \quad \forall z \in Z$$

Σημειώνεται ότι αντί της πράξης “min” μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και την πράξη γινομένου “·”. Στο Σχήμα 4.3 τούτο αντιστοιχεί με το κόσμητο των ασαφών συνόλων εξόδου στο ύψος της προσαρμοστικότητας του αριστερού μέρους κάθε κανόνα (το τελικό αποτέλεσμα είναι η γραμμοσκιασμένη περιοχή).

Βήμα 3:

Συνδυάζουμε τα αποτελέσματα των κανόνων για να λάβουμε το συνολικό (τελικό) αποτέλεσμα ως εξής:

$$\text{Ολικό αποτέλεσμα: } \mu_C(z) = \min \left\{ \mu_{C_1}(z), \mu_{C_2}(z) \right\}$$

Για n κανόνες ισχύει:

$$\text{Ολικό αποτέλεσμα: } \mu_C(z) = \min \left\{ \mu_{C_1}(z), \dots, \mu_{C_n}(z) \right\}$$

Στην περίπτωση που οι είσοδοι δεν είναι καθορισμένες x_0 και y_0 αλλά δίνονται από ασαφή σύνολα A' και B' , τότε ο υπολογισμός της προσαρμοστικότητας στο Βήμα 1 πρέπει να γίνει ως εξής:

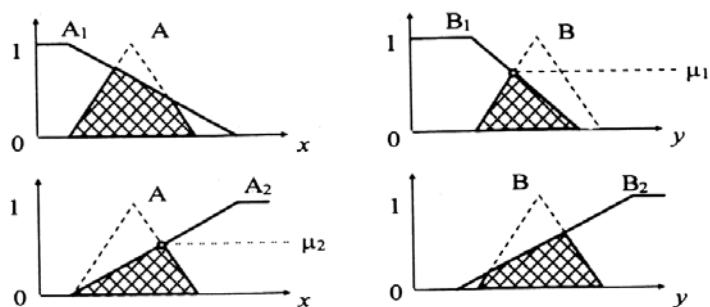
Προσαρμοστικότητα κανόνα 1:

$$\mu_1 = \min \left\{ \max_x \left[\mu_{A_1}(x), \mu_{A'}(x) \right], \max_y \left[\mu_{B_1}(y), \mu_{B'}(y) \right] \right\}$$

Προσαρμοστικότητα κανόνα 2:

$$\mu_2 = \min \left\{ \max_x \left[\mu_{A_2}(x), \mu_{A'}(x) \right], \max_y \left[\mu_{B_2}(y), \mu_{B'}(y) \right] \right\}$$

Ένα παράδειγμα τέτοιου υπολογισμού δίνεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Διεργασία συλλογισμού κατά Mamdani για ασαφείς εισόδους A' και B' .

4.6.5.2 Μέθοδος Takagi-Sugeno

Η μέθοδος Takagi-Sugeno, που ονομάζεται και “συναρτησιακή συλλογιστική” (functional reasoning) ή συλλογιστική Takagi-Sugeno, είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για το χειρισμό πολύπλοκων προβλημάτων. Το πλεονέκτημά της σε σχέση με την άμεση μέθοδο ασαφούς συλλογισμού είναι ότι μειώνει σημαντικά τον αριθμό των κανόνων που χρειάζονται για την ασαφή μοντελοποίηση του συστήματος.

Στη συλλογιστική Takagi-Sugeno το συμπέρασμα των κανόνων δίνεται με τη μορφή γραμμικών συναρτήσεων, ήτοι οι κανόνες έχουν τη μορφή:

Κανόνας i : ΕΑΝ x_1 είναι A_1^i ΚΑΙ ... ΚΑΙ x_n είναι A_n^i ΤΟΤΕ $y^i = c_0^i + c_1^i x_1 + \dots + c_n^i x_n$
 $i = 1, \dots, m$, όπου m είναι ο ολικός αριθμός των κανόνων, x_k , $k = 1, \dots, n$ είναι η k είσοδος, y^i είναι η έξοδος του i κανόνα, A_k^i είναι ασαφή σύνολα και c_k^i είναι οι παράμετροι (σταθερές) της εξόδου (του συμπεράσματος).

Το ολικό συμπέρασμα του ασαφούς αυτού συστήματος δίνεται από τη μέση τιμή των εξόδων y^i με βάρη w^i , ήτοι:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^m w^i y^i}{\sum_{i=1}^m w^i} \quad (4.25)$$

όπου w^i είναι η προσαρμοστικότητα του αριστερού μέλους του κανόνα i , δηλαδή:

$$w^i = \prod_{k=1}^n \mu_{A_k^i}(x_k) \quad (4.26)$$

Εάν στην έξοδο (συμπέρασμα) των κανόνων χρησιμοποιούμε μόνο το σταθερό όρο c_0^i (αντί της γραμμικής συνάρτησης), τότε έχουμε τη λεγόμενη “απλοποιημένη συναρτησιακή συλλογιστική Takagi-Sugeno”, ήτοι:

Κανόνας i : ΕΑΝ x είναι A^i ΚΑΙ y είναι B^i ΤΟΤΕ $z = c^i$, $i = 1, \dots, m$

Στην περίπτωση που το συμπέρασμα δίνεται από τη σχέση:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^m w^i z^i}{\sum_{i=1}^m w^i} = \frac{\sum_{i=1}^m w^i c^i}{\sum_{i=1}^m w^i} \quad (4.27)$$

όπου $w^i = \mu_{A^i}(x) \wedge \mu_{B^i}(y) = \min \{ \mu_{A^i}(x), \mu_{B^i}(y) \}$.

Η συλλογιστική Takagi-Sugeno έχει τις εξής ιδιότητες:

- 1) Είναι πολύ απλή και οδηγεί σε ταχείς υπολογισμούς,
- 2) Δίνει σχεδόν πάντα (παρά την απλότητά της) αποτελέσματα όμοια με την άμεση μέθοδο,
- 3) Είναι εύκολα εφαρμόσιμη και γι' αυτό προτιμάται στην πράξη έναντι της άμεσης μεθόδου.

Κεφάλαιο 5

Δεδομένα εισόδου

5.1 Περιγραφή του προβλήματος

Σε προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε ένα απ' τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται σε μονωτήρες Υψηλής Τάσης (ΥΤ) όταν αυτοί λειτουργούν υπό συνθήκες ρύπανσης (βιομηχανικής ή θαλάσσιας): η εμφάνιση του φαινομένου της υπερπήδησης του μονωτήρα, δηλαδή η γεφύρωση τόξου και η διέλευση ρεύματος από τμήμα του μονωτήρα ή σε όλο το μήκος του μονωτήρα [61]. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οδηγήσει στην πλήρη καταστροφή του. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ποιες είναι εκείνες οι παράμετροι που επηρεάζουν το φαινόμενο της υπερπήδησης και για ποιες τιμές των παραμέτρων αυτών είναι αυξημένος ο κίνδυνος να συμβεί κάτι τέτοιο.

Ενδεχομένως ο τρόπος με τον οποίο καθεμιά απ' τις παραμέτρους αυτές συμβάλλει στην εμφάνιση του φαινομένου να μην είναι γνωστός, ή η πολυπλοκότητα του φαινομένου να εισάγει αβεβαιότητα για την οποία θα πρέπει να πάρουμε κατάλληλες προσεγγίσεις. Στο σημείο αυτό τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) και η Ασαφής Λογική αποδεικνύονται πολύ χρήσιμα εργαλεία για την εκτίμηση της τάσης διάσπασης ενός μονωτήρα, όταν αυτός βρίσκεται υπό την επίδραση των παραπάνω παραγόντων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ΤΝΔ έχουν την ικανότητα να “μαθαίνουν” αυτόματα προσεγγιστικές σχέσεις μεταξύ εισόδων και εξόδων, χωρίς να περιορίζονται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Οι προσεγγιστικές αυτές σχέσεις βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του ΤΝΔ (π.χ. δεδομένα από πειραματικές μετρήσεις). Κατ' αυτόν τον τρόπο το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να γενικεύσει, δηλαδή να δίνει σωστές εξόδους-απαντήσεις για πρότυπα εισόδου που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί πριν για την εκπαίδευσή του. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται δίκτυο επιβλεπόμενης μάθησης με τον κανόνα ανάστροφης διάδοσης σφάλματος και παραλλαγές του.

Ανάλογα προς τα ΤΝΔ, με τη θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφούς συλλογιστικής. βρίσκουμε χρήσιμες και αποδοτικές λύσεις σε δύσκολα πρακτικά προβλήματα για τα οποία δεν έχουμε ακριβείς περιγραφές και μοντέλα, όπως αυτό της εκτίμησης κρίσιμων μεγεθών σε μονωτήρες. Εδώ, τα δεδομένα, αφού υποστούν τη διαδικασία της ασαφοποίησης, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της βάσης κανόνων. Κατόπιν, βάσει της εκάστοτε μεθόδου εξαγωγής συμπεράσματος, που χρησιμοποιείται, προκύπτει η προβλεπόμενη τιμή της εξόδου, η οποία αποασαφοποιείται ώστε τα συμπεράσματα να είναι σε σαφώς καθορισμένη μορφή που θα επιτρέψει τη σύγκρισή τους με τα πειραματικά δεδομένα.

Η διαδικασία της εκπαίδευσης συνίσταται στον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών είτε του ΤΝΔ, είτε του ασαφούς συστήματος βάσει του σφάλματος που εμφανίζεται μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών. Κατόπιν, γίνεται η επιβεβαίωση της απόδοσης του συστήματος χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του συνόλου αξιολόγησης. Η ικανότητα γενίκευσης μετράται από το πόσο καλά το δίκτυο ανταποκρίνεται στα δεδομένα αυτά. Τα δεδομένα αξιολόγησης έχουν την ίδια δομή με τα δεδομένα εκπαίδευσης, όμως αντιστοιχούν σε διαφορετικά πρότυπα εισόδου/εξόδου, ενώ και τα δύο σύνολα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά της λειτουργίας που προσπαθεί να μάθει το ΤΝΔ ή το ασαφές σύστημα.

Στο πρόβλημα που μελετήθηκε στη διπλωματική αυτή τα πρότυπα (συνδυασμοί) εισόδου/εξόδου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν συνολικά 118. Κάποια από αυτά είχαν αποκτηθεί από παλαιότερα πειράματα που είχαν γίνει στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, ενώ, για να αυξηθεί ο αριθμός των προτύπων εμπλουτίστηκαν με κάποια ακόμα δεδομένα-διανύσματα που προέκυψαν από εφαρμογή μαθηματικού τύπου βασισμένου σε απλοποιημένο μοντέλο για την εύρεση της κρίσιμης τάσης. Απ' τα δεδομένα αυτά, τα σύνολα εκπαίδευσης και αξιολόγησης διαμορφώθηκαν με τυχαίο τρόπο με χρήση βοηθητικού προγράμματος.

Η δημιουργία και η εκπαίδευση του ΤΝΔ και η εφαρμογή της Ασαφούς Λογικής έγιναν σε κώδικα προγράμματος γραμμένου σε FORTRAN. Στον αλγόριθμο έχουν ληφθεί υπ' όψιν δυνατότητες εκτέλεσης διαφορετικών σεναρίων στα οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα στα αντίστοιχα κεφάλαια.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι και έξοδοι για την εκπαίδευση του δικτύου, η πειραματική μέθοδος για τη συλλογή των

δεδομένων αυτών και η προσεγγιστική σχέση εύρεσης της τάσης διάσπασης για τα δεδομένα που δεν προέκυψαν από πειράματα.

5.2 Δεδομένα εκπαίδευσης

Για την εκπαίδευση του ΤΝΔ χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αφορούν μονωτήρες τύπου cap & pin [61]. Συγκεκριμένα, ως μεταβλητές εισόδου χρησιμοποιήθηκαν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη Διάμετρος D_m (σε cm) του δίσκου του μονωτήρα.
- Ύψος H (σε cm) του μονωτήρα: Η απόσταση από το ένα μεταλλικό άκρο στο άλλο.
- Μήκος ερπυσμού L (σε cm): Είναι η συντομότερη διαδρομή επί της επιφάνειας του μονωτήρα ανάμεσα σε δύο μεταλλικά άκρα του (μήκος της εξωτερικής ημικυκλικής διαδρομής του μονωτικού υλικού σε επίπεδο τομής διερχόμενο από τον άξονα συμμετρίας του μονωτήρα) [1].
- Συντελεστής μορφής F : Καθορίζεται από τις διαστάσεις του μονωτήρα. Προκειμένου να προσδιοριστεί γραφικά, σχεδιάζεται η αντίστροφη τιμή της περιφέρειας του μονωτήρα ($1/p$) συναρτήσεως του μερικού μήκους ερπυσμού (l) υπολογιζόμενο από το τέλος του μονωτήρα μέχρι το μετρούμενο σημείο. Ο συντελεστής μορφής δίνεται από το εμβαδό κάτω από τη σχηματιζόμενη καμπύλη και υπολογίζεται από τη σχέση [52]:
$$F = \int_0^L \frac{dl}{p(l)}$$
. Αν $D(l)$ είναι η διάμετρος του μονωτήρα, τότε η προηγούμενη σχέση τροποποιείται ως εξής [53]:
$$F = \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)}$$
.
- Αγωγιμότητα στρώματος σ_s ή επιφανειακή αγωγιμότητα (σε μS): Η αγωγιμότητα του στρώματος ρύπανσης πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή μορφής. Συνήθως εκφράζεται σε μS [52].

Εξαρτημένη μεταβλητή εξόδου του νευρωνικού δικτύου θεωρήθηκε η κρίσιμη τάση U_c (σε kV).

5.3 Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη για τη συλλογή των δεδομένων εγκαταστάθηκε αρχικά στο Κέντρο Δοκιμών Ερευνών και Προτύπων (ΚΔΕΠ) της ΔΕΗ [61]. Ο απαιτούμενος

εξοπλισμός για τη διεξαγωγή των πειραμάτων περιλάμβανε ένα σταθμό δοκιμών, έναν μετασχηματιστή τροφοδότησης και διατάξεις μέτρησης. Απ' αυτά, το ΚΔΕΠ ήδη διέθετε το Μ/Σ δοκιμών και τα όργανα μέτρησης, ενώ ο σταθμός δοκιμών κατασκευάστηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας που έγινε στο ΕΜΠ [54]. Ο σταθμός δοκιμών αποτελείται κυρίως από δύο θάλαμους: το θάλαμο ρύπανσης και το θάλαμο ομίχλης.

5.3.1 Θάλαμος ρύπανσης

Ο θάλαμος ρύπανσης είναι ένα μεταλλικό κουτί (DEXION 140) διαστάσεων 1.5m×1.5m×1.5m, που καλύπτεται από φύλλα πολυαιθυλενίου, πάχους 0.2mm. Τα δοκίμια αναρτήθηκαν από την οροφή και περιστρέφονταν σε οριζόντια θέση, με ταχύτητα περίπου 140rpm (η ταχύτητα μπορούσε να μεταβάλλεται συνεχώς μεταξύ 0 και 260rpm).

Προτού οι μονωτήρες κρεμαστούν στο θάλαμο ρύπανσης, καθαρίστηκαν προσεκτικά, ώστε να αφαιρεθεί κάθε ίχνος γράσου. Ο καθαρισμός έγινε με βύθιση των μονωτήρων σε διάλυμα φωσφορικού νατρίου. Στη συνέχεια η επιφάνεια του μονωτήρα ξεπλύθηκε επιμελώς με νερό βρύσης. Η δημιουργία στερεάς επίστρωσης ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα γίνεται με ψεκασμό από διάλυμα ρύπανσης, καθώς ο μονωτήρας περιστρέφεται γύρω απ' τον κατακόρυφο άξονα, για να επιτευχθεί ομοιόμορφο στρώμα ρύπανσης. Οι ρυπαντές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: 75g/l πηλός πορσελάνης, 675g/l πυριτικό άλευρο (silica flour) και NaCl όπως απαιτείται, διαλυμένα σε ισοπροπυλική αλκοόλη. Η ισοπροπυλική αλκοόλη χρησιμοποιήθηκε, διότι ο μικρός χρόνος που χρειαζόταν για να στεγνώσει απέτρεπε το στάξιμο του διαλύματος και παρείχε ένα ομοιόμορφο στρώμα επικάλυψης. Ο χρόνος ρύπανσης ανήλθε σε περίπου 30 λεπτά. Το μίγμα αυτό αναδεύτηκε για αρκετή ώρα πριν τη μετάγγισή του στο δοχείο πίεσης. Ο ψεκασμός έγινε από 3 μπεκ διαμέτρου στομίου 1mm, τα δύο απ' τα οποία ψέκαζαν την κάτω επιφάνεια του μονωτήρα, ενώ το άλλο την επάνω, από απόσταση περίπου 35cm, όπως ορίζει ο κανονισμός IEC-507/1975. Η πίεση του αέρα στην είσοδο του δοχείου ελέγχεται με ρυθμιστή πίεσης. Αφού ρυπάνθηκαν οι μονωτήρες, αφήθηκαν να στεγνώσουν για περίπου μία ώρα. Επιπλέον, τοποθετήθηκαν σε χώρο θερμοκρασίας 8°C προκειμένου να στερεοποιηθεί η ρύπανση στην επιφάνειά τους και να μην ξεπλένεται με την έκθεσή τους σε ομίχλη.

Στη συνέχεια έγινε μέτρηση του επιπέδου της ρύπανσης στους μονωτήρες, σαν δείκτης του οποίου χρησιμοποιήθηκε η πυκνότητα εναπόθεσης άλατος (salt deposit density). Τρεις μονωτήρες από κάθε σύνολο μονωτήρων όμοια ρυπασμένων, πλύθηκαν πολύ προσεκτικά με απιονισμένο νερό και μετρήθηκε η αγωγιμότητα του διαλύματος που προέκυψε απ' την πλύση.

5.3.2 Θάλαμος ομίχλης

Τα υπόλοιπα δοκίμια οδηγήθηκαν στη συνέχεια στο θάλαμο ομίχλης, ένα μεταλλικό κουτί διαστάσεων 4.6m×4.6m×4.6m, καλυμμένο με πολυαιθυλένιο πάχους 0.2mm. Για να γίνουν οι δοκιμές απαιτήθηκε οι μονωτήρες να αναρτηθούν σε κάποιο ύψος και να γειωθεί το σημείο ανάρτησης. Στο στέλεχος του μονωτήρα-δοκιμίου συνδέθηκε τμήμα αγωγού των γραμμών μεταφοράς μήκους 3m (1.5m εκατέρωθεν του μονωτήρα) με τα πραγματικά εξαρτήματα σύνδεσης, ώστε να γίνεται προσομοίωση του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή του μονωτήρα. Για την προσαγωγή υψηλής τάσεως από το Μ/Σ δοκιμών χρησιμοποιήθηκε αγωγός σπирάλ διαμέτρου 24mm για την αντιμετώπιση του φαινομένου Corona. Η είσοδος του αγωγού στο θάλαμο ομίχλης έγινε από τρύπα διαμέτρου 150cm. Η διάμετρος αυτή καλύπτει λειτουργία για τιμές τάσης έως 150kV, εφόσον η ελάχιστη απόσταση μεταξύ κάθε γειωμένου σημείου του θαλάμου και του αγωγού YT ισούται με 0.5m ανά 100kV (IEC-507/1975).

Οι εκτοξευτήρες ομίχλης κατασκευάστηκαν στο μηχανουργείο του ΚΔΕΠ σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC-507/1975. Η λειτουργία του συστήματος απαιτούσε την ταυτόχρονη τροφοδότηση των ζευγών-ακροφυσίων με: α) πεπιεσμένο αέρα μέχρι 7bars και β) αλατοδιάλυμα ή νερό.

Η ομίχλη που δημιουργήθηκε από το σύστημα αυτό ήταν σχεδόν πάντα πιο πυκνή απ' ότι παρατηρείται στη φύση. Η πυκνότητα της ομίχλης δεν φάνηκε να επηρεάζει τα αποτελέσματα των δοκιμών, αλλά μόνο το ρυθμό ύγρανσης. Εντούτοις, όταν η ομίχλη γινόταν πολύ πυκνή, τα σταγονίδια νερού ξέπλεναν την τεχνητή ρύπανση από την επιφάνεια των μονωτήρων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντοχή τους κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

5.3.3 Δοκιμές αντοχής

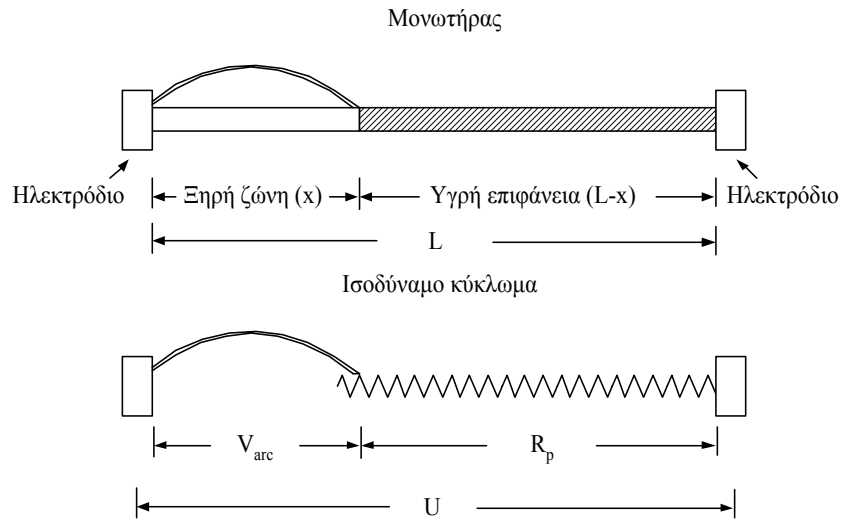
Η μικρότερη τιμή αντίστασης του μονωτήρα (ή της αλυσίδας μονωτήρων) αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή αγωγιμότητας στρώματος. Μετά την εμφάνιση αυτής της μικρότερης τιμής αντίστασης, η τάση δοκιμής εφαρμόζεται στο μονωτήρα μέσα στα επόμενα 5s και διατηρείται μέχρις ότου συμβεί υπερπήδηση, ή για 15min αν δεν συμβεί υπερπήδηση. Στοιχειώδεις παρατηρήσεις έδειξαν ότι οι περισσότερες υπερπηδήσεις συνέβησαν μέσα στο πρώτο λεπτό μετά την εφαρμογή της τάσης (περίπου το 80%), ενώ ένα 5% των υπερπηδήσεων συνέβησαν κατά το δεύτερο λεπτό. Στη συνέχεια ο μονωτήρας αφαιρείται από το θάλαμο ομίχλης και αφήνεται να στεγνώσει. Τοποθετείται και δεύτερη φορά στο θάλαμο ομίχλης, μέχρι η αγωγιμότητα στρώματος να φτάσει μια μέγιστη τιμή. Η τάση εφαρμόζεται και πάλι και η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και τρίτη φορά, εκτός κι αν τις δύο προηγούμενες φορές είχε συμβεί υπερπήδηση. Αν και τις τρεις φορές δεν συμβεί υπερπήδηση, η τάση αυξάνεται με βήμα 5% και οι δοκιμές επαναλαμβάνονται. Αν συμβεί μία μόνο υπερπήδηση στις τρεις πρώτες δοκιμές, τότε εκτελείται και τέταρτη δοκιμή στο ίδιο επίπεδο τάσης. Γενικά, αν ο αριθμός των υπερπηδήσεων φτάσει τις δύο, οι δοκιμές δεν συνεχίζονται στο ίδιο ή σε υψηλότερο επίπεδο τάσης. Όταν ο συνολικός αριθμός των δοκιμών αντοχής σε κάθε επίπεδο τάσης φτάσει τις τρεις, δεν γίνονται περαιτέρω δοκιμές στο ίδιο ή σε χαμηλότερο επίπεδο τάσης. Η μέγιστη τάση αντοχής (V_c) είναι η υψηλότερη τάση στην οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν δοκιμές αντοχής. Η ελάχιστη τάση υπερπήδησης (V_f) είναι η μικρότερη τάση στην οποία πραγματοποιούνται δύο δοκιμές υπερπήδησης.

Οι δοκιμές που έγιναν ήταν για διάφορους τύπους μονωτήρων ανάρτησης που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ στα συστήματα μεταφοράς και διανομής. Σημειώνεται επίσης ότι η πειραματική διαδικασία επαναλήφθηκε για τιμές ρύπανσης που φαίνεται να είναι αντιπροσωπευτικές της εκτιμώμενης ρύπανσης σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας με έντονη ρύπανση.

5.4 Μαθηματικό μοντέλο για την εύρεση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κάποια απ' τα δεδομένα για την εκπαίδευση του TND προέκυψαν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου για την εύρεση της

κρίσιμης τάσης, όπως αυτό παρουσιάστηκε από το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. [53, 55, 56]. Το μοντέλο αυτό είναι απλοποιημένο, έχει σκοπό τον υπολογισμό της τάσης υπερπήδησης ενός ρυπασμένου μονωτήρα και στηρίζεται κυρίως στο κυκλωματικό μοντέλο του Obenhaus [7] και του Alston [8]. Το μοντέλο του Obenhaus παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Το μοντέλο του Obenhaus.

Στο μοντέλο του Obenhaus υπάρχει ένα τόξο μήκους x , το οποίο παριστάνει το τόξο που δημιουργείται κατά τη γεφύρωση των ξηρών ζωνών, εν σειρά με μία αντίσταση R_p , η οποία παριστάνει το στρώμα υγρής ρύπανσης. Το κύκλωμα τροφοδοτείται από πηγή σταθερής τάσης U .

Στο μοντέλο που προτάθηκε απ' το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων η κρίσιμη τάση U_c δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$U_c = \frac{A}{n+1} \cdot (L + \pi \cdot n \cdot D_m \cdot F \cdot K) \cdot (\pi \cdot A \cdot D_m \cdot \sigma_s)^{\left(\frac{n}{n+1}\right)} \quad (5.1)$$

όπου L είναι το μήκος ερπυσμού του μονωτήρα, D_m είναι η μέγιστη διάμετρος του δίσκου του μονωτήρα, F είναι ο συντελεστής μορφής και A , n είναι οι σταθερές του τόξου. Η επιφανειακή αγωγιμότητα σ_s (σε Ω^{-1}) υπολογίζεται από τη σχέση [57]:

$$\sigma_s = (369.05 \cdot C + 0.42) \cdot 10^{-6} \quad (5.2)$$

όπου C είναι ισοδύναμη πυκνότητα εναποθέματος αλατιού (ESDD) σε mg/cm^2 .

Ο συντελεστής της αντίστασης του στρώματος ρύπανσης K , στην περίπτωση που ο μονωτήρας είναι cap-and-pin, εκφράζεται από τη σχέση:

$$K = 1 + \frac{n+1}{2 \cdot \pi \cdot F \cdot n} \cdot \ln\left(\frac{L}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot F}\right) \quad (5.3)$$

όπου R είναι η ακτίνα του ίχνους του τόξου, η οποία δίνεται από τη σχέση [9]:

$$R = \sqrt{\frac{I}{\pi \cdot 1.45}} = 0.469 \cdot (\pi \cdot A \cdot D_m \cdot \sigma_s)^{\frac{1}{2(n+1)}} \quad (5.4)$$

όπου I στην παραπάνω σχέση είναι το ρεύμα διαρροής.

Στην περίπτωση μονωτήρων stab-type ο συντελεστής K δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{N \cdot (n+1)}{2 \cdot \pi \cdot F \cdot n} \cdot \left(\ln\left(\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot N \cdot R}\right) - \ln\left(\tan \frac{\pi}{2 \cdot (n+1)}\right) \right) \quad (5.5)$$

όπου N είναι ο αριθμός των “δίσκων”.

Στη συνέχεια, το παραπάνω μαθηματικό μοντέλο επεκτάθηκε, ώστε να καλύπτει περιπτώσεις ανομοιόμορφης ρύπανσης στην επιφάνεια του μονωτήρα [58, 59]. Με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο, το μήκος ερπυσμού χωρίζεται σε τμήματα και σε κάθε τμήμα θεωρείται σταθερή ποσότητα ρύπανσης. Τελικά, υπολογίζεται μία μέση τιμή της ισοδύναμης πυκνότητας εναποθέματος αλατιού (ESDD), η οποία υπεισέρχεται στη σχέση (5.1), προκειμένου να υπολογιστεί η κρίσιμη τάση σε μονωτήρα ρυπασμένο ανομοιόμορφα.

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα ΤΝΔ

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) για την πρόβλεψη της τιμής της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες. Για διαφορετικές μεθόδους εκπαίδευσης των ΤΝΔ έγιναν δοκιμές για διάφορες τιμές των παραμέτρων του ΤΝΔ (πλήθος νευρώνων, παράμετροι όρου ορμής και ρυθμού μάθησης, μέγιστος αριθμός εποχών, παράμετροι των συναρτήσεων ενεργοποίησης, κ.λπ.).

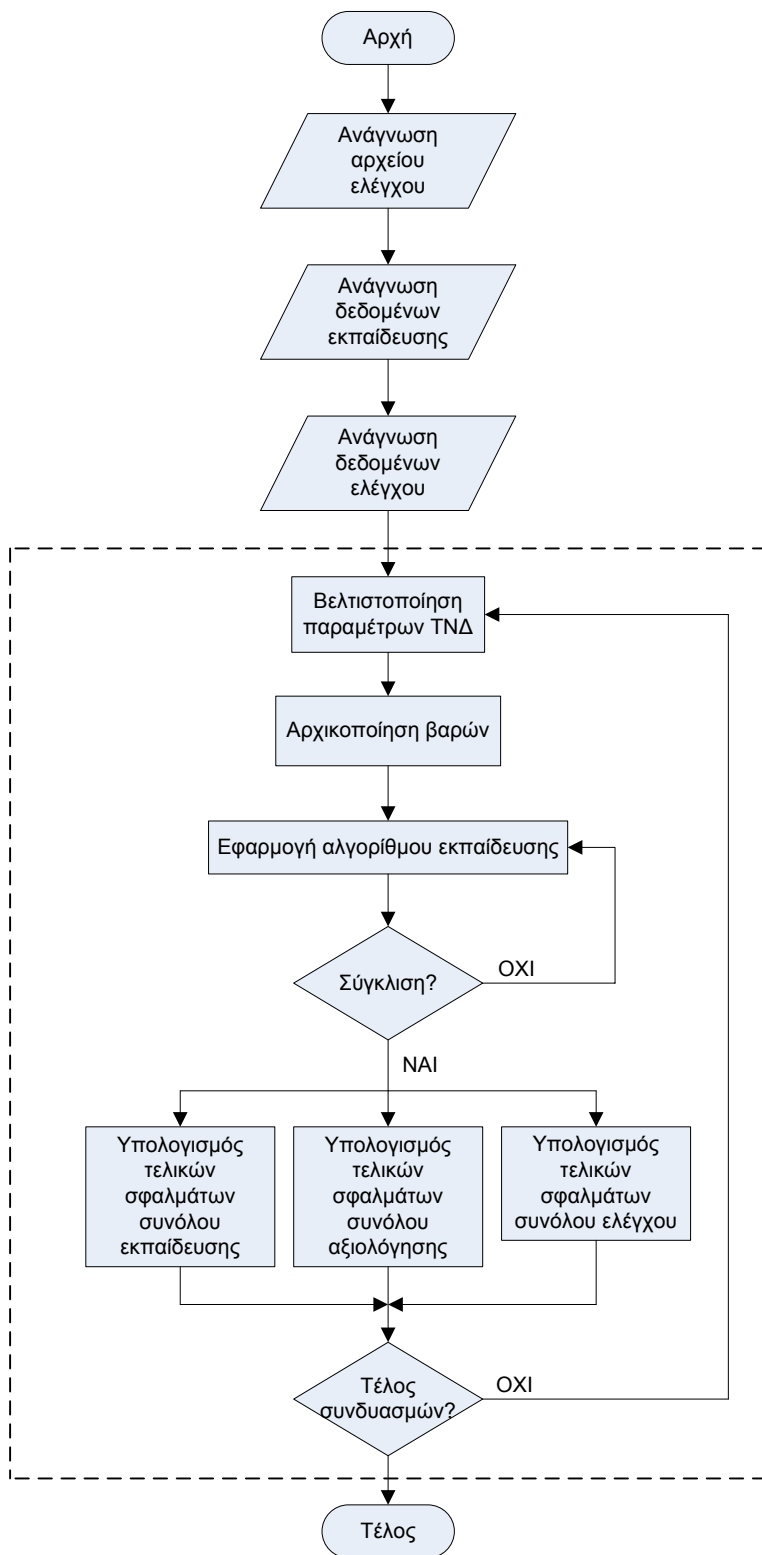
6.2 Μέθοδοι εκπαίδευσης ΤΝΔ

Στη συνέχεια (Σχήμα 6.1) φαίνεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε.

Ως κριτήρια σύγκλισης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής:

1. η μεταβολή στις τιμές των βαρών του ΤΝΔ από τη μία επανάληψη στην άλλη να μην ξεπερνά ένα συγκεκριμένο όριο,
2. ο αριθμός των εποχών να μην ξεπερνά μία μέγιστη τιμή και
3. η μεταβολή στην τιμή της συνάρτησης σφάλματος από τη μία επανάληψη στην άλλη να είναι μικρότερη μίας προκαθορισμένης τιμής.

Σε κάθε ένα από τα ΤΝΔ ακολουθήθηκαν δύο προσεγγίσεις. Στην πρώτη (που απ' εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως περίπτωση **α**) χρησιμοποιήθηκαν και τα τρία προαναφερθέντα κριτήρια, ενώ στη δεύτερη (που απ' εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως περίπτωση **β**) χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δύο πρώτα.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε για τη δημιουργία των ΤΝΔ.

6.2.1 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής

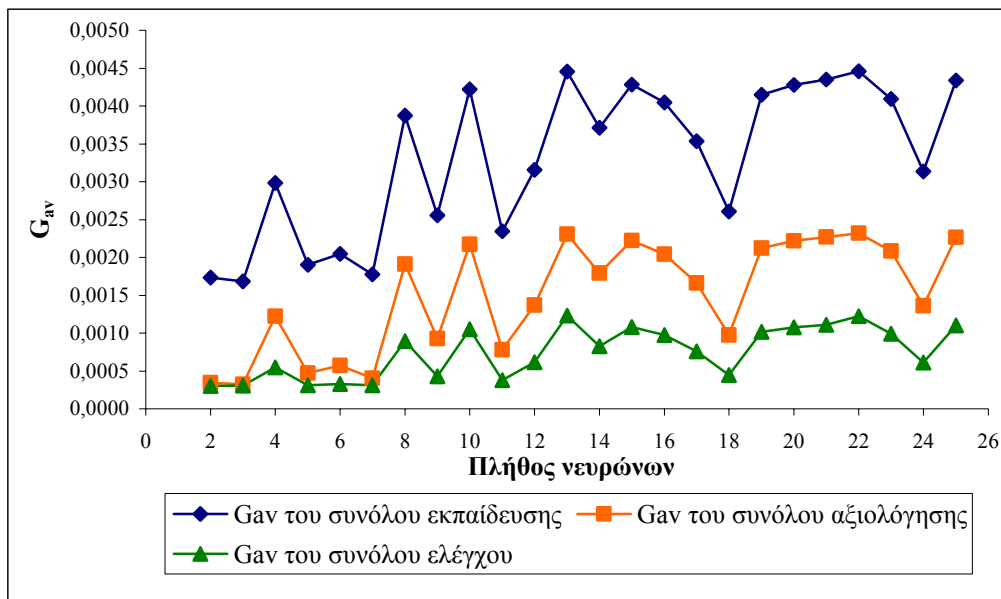
Η εκπαίδευσή του στηρίζεται στη σχέση (3.39) με τυχαία παρουσίαση διανυσμάτων, όπου ο ρυθμός μάθησης και ο όρος ορμής μεταβάλλονται σύμφωνα σε τις σχέσεις:

$$\eta(ep) = \eta_0 \cdot \exp(-ep/T_\eta) \quad (6.1)$$

$$a(ep) = a_0 \cdot \exp(-ep/T_a) \quad (6.2)$$

όπου η_0 και T_η είναι η αρχική τιμή και η χρονική παράμετρος του ρυθμού μάθησης και a_0 και T_a τα αντίστοιχα μεγέθη για τον όρο ορμής. Τα μεγέθη αυτά μαζί με το πλήθος των νευρώνων του κρυμμένου στρώματος, το είδος και τη μορφή των συναρτήσεων ενεργοποίησης, αποτελούν τις παραμέτρους που πρέπει να ρυθμίσουμε.

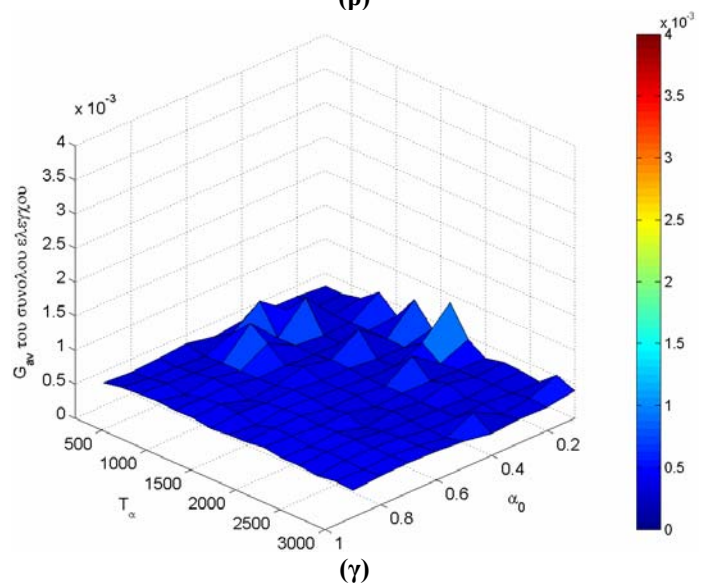
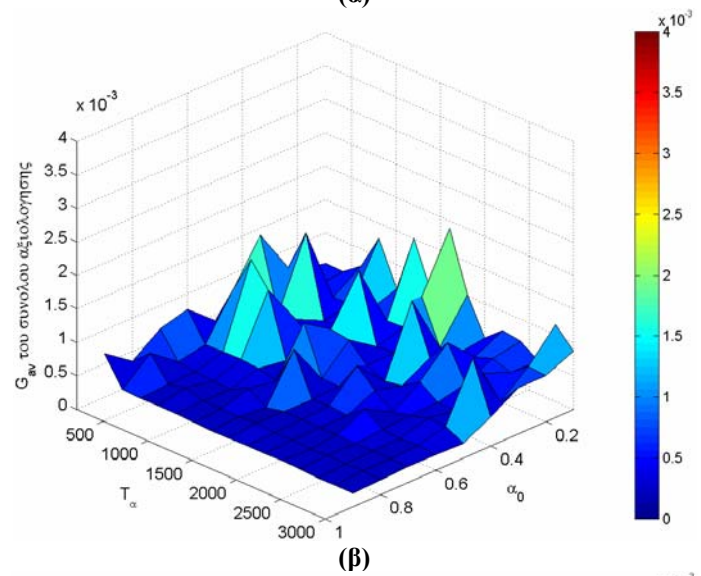
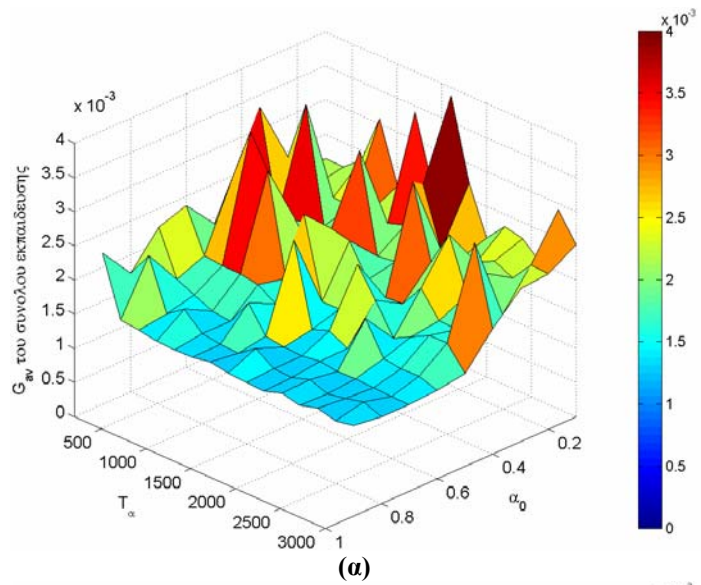
α. Προκειμένου να προσδιοριστεί το πλήθος των νευρώνων που μας δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, διατηρήσαμε σταθερές τις τιμές των παραμέτρων του ρυθμού μάθησης και του όρου ορμής, καθώς επίσης και το μέγιστο πλήθος των εποχών (7000), ενώ επιλέξαμε ως συναρτήσεις ενεργοποίησης και για τα δύο επίπεδα την υπερβολική εφαπτομένη με $a=0.2$ και $b=0$. Εν συνεχεία παρατηρήσαμε την τιμή του σφάλματος G_{av} (μέση τιμή των σφαλμάτων για όλα τα N πρότυπα) για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου, καθώς το πλήθος των νευρώνων μεταβάλλεται από 2 έως 25 με βήμα 1. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.2, το G_{av} λαμβάνει μικρότερες τιμές για το σύνολο ελέγχου σε σχέση με το σύνολο αξιολόγησης, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται για το σύνολο εκπαίδευσης. Το ελάχιστο G_{av} και για τα τρία σύνολα επιτυγχάνεται για 3 νευρώνες ($16.8558 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $3.2690 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης, $3.0788 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου), ενώ από ένα σημείο και μετά παρουσιάζεται μια συστηματική αύξηση του G_{av} .



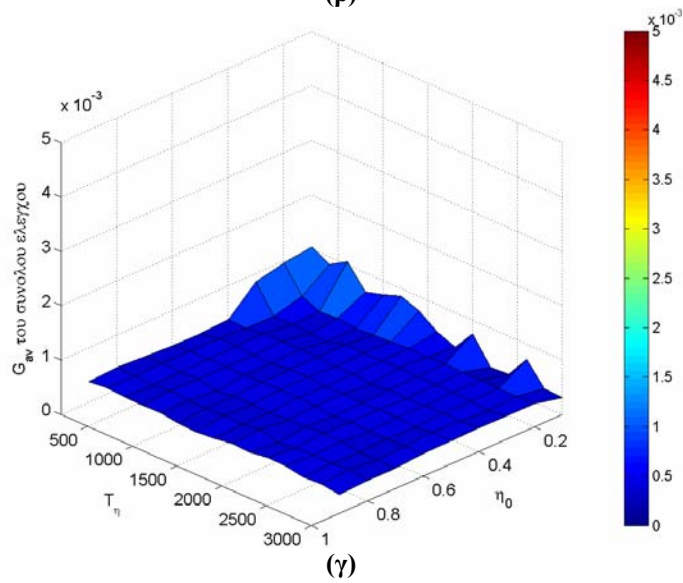
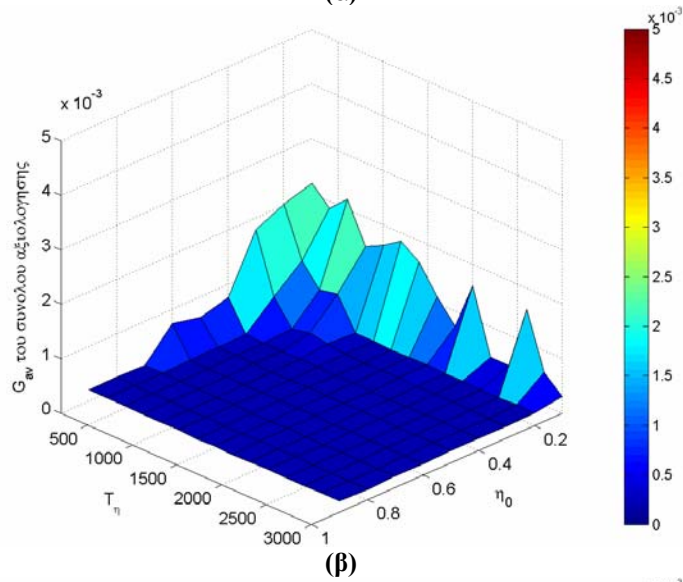
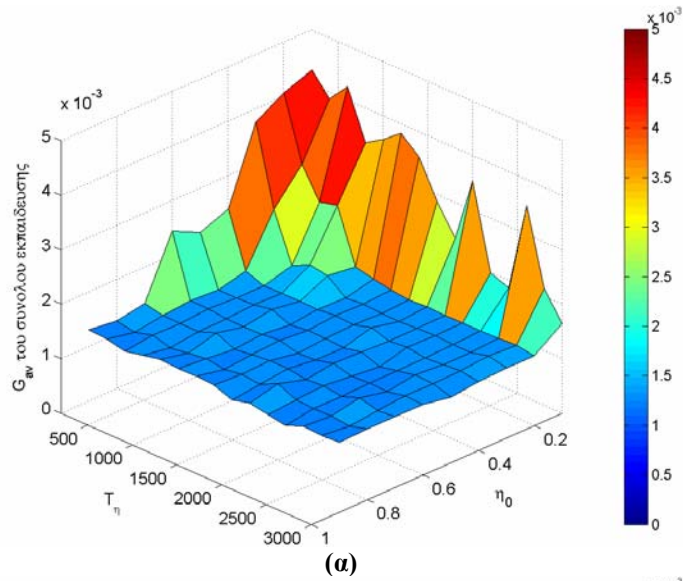
Σχήμα 6.2: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Ακολουθώντας μεταβάλαμε τις παραμέτρους του όρου ορμής ως εξής: την αρχική τιμή α_0 εντός του διαστήματος $[0.1, 0.9]$ με βήμα 0.1 και τη χρονική παράμετρο T_α εντός του διαστήματος $[200, 3000]$ με βήμα 200. Διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους (πλήθος νευρώνων – $N=3$ όπως προέκυψε προηγουμένως, αρχική τιμή ρυθμού μάθησης – $\eta_0=0.4$, χρονική παράμετρος ρυθμού μάθησης – $T_\eta=1000$, συναρτήσεις ενεργοποίησης: υπερβολική εφαπτομένη με $\alpha=0.2$ και $b=0$, μέγιστο πλήθος εποχών: 7000) εστιάζουμε την προσοχή μας στη μεταβολή της τιμής του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου (Σχήμα 6.3) συναρτήσει των παραμέτρων α_0 και T_α . Παρατηρούμε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα και για τα τρία σύνολα επιτυγχάνονται για $\alpha_0 \in [0.7, 0.9]$ και για $T_\alpha \in [600, 3000]$ και μάλιστα όσο υψηλότερες είναι οι τιμές αυτών των δύο παραμέτρων, τόσο μικρότερη είναι η τιμή του G_{av} .

Εν συνεχεία διατηρήσαμε σταθερά τα εξής μεγέθη: $N=3$, $\alpha_0=0.9$ και $T_\alpha=1400$ (όπως υπολογίστηκαν ανωτέρω). Ως συνάρτηση ενεργοποίησης χρησιμοποιήσαμε την ίδια με προηγουμένως και μεταβάλαμε τις παραμέτρους του ρυθμού εκπαίδευσης ως εξής: την αρχική τιμή η_0 εντός του διαστήματος $[0.1, 0.9]$ με βήμα 0.1 και τη χρονική παράμετρο T_η εντός του διαστήματος $[200, 3000]$ με βήμα 200. Παρακάτω φαίνεται το G_{av} των συνόλων εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.3: G_{av} των συνόλων εκπαίδευσης (α), αξιολόγησης (β) και ελέγχου (γ) για $\alpha_0 \in [0.1, 0.9]$ και $T_\alpha \in [200, 3000]$.



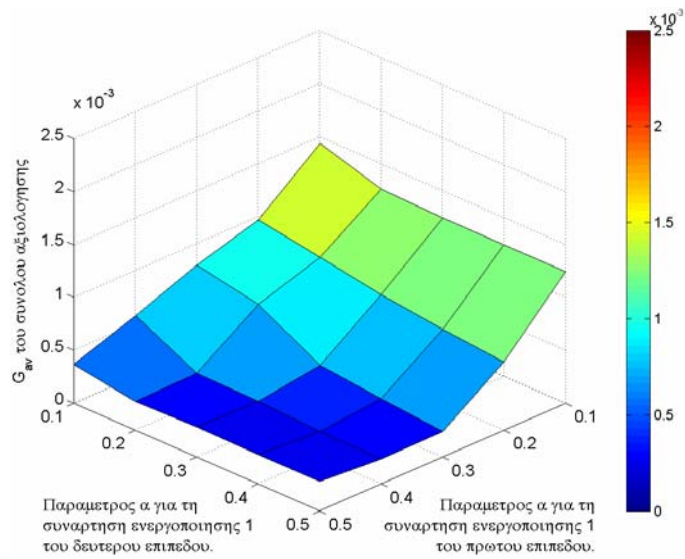
Σχήμα 6.4: $G_{αν}$ των συνόλων εκπαίδευσης (α), αξιολόγησης (β) και ελέγχου (γ) για $\eta_0 \in [0.1, 0.9]$ και $T_\eta \in [200, 3000]$.

Από τα διαγράμματα αυτά καθίσταται σαφές ότι τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν $\eta_0 \in [0.4, 0.9]$ και $T_\eta \in [400, 3000]$.

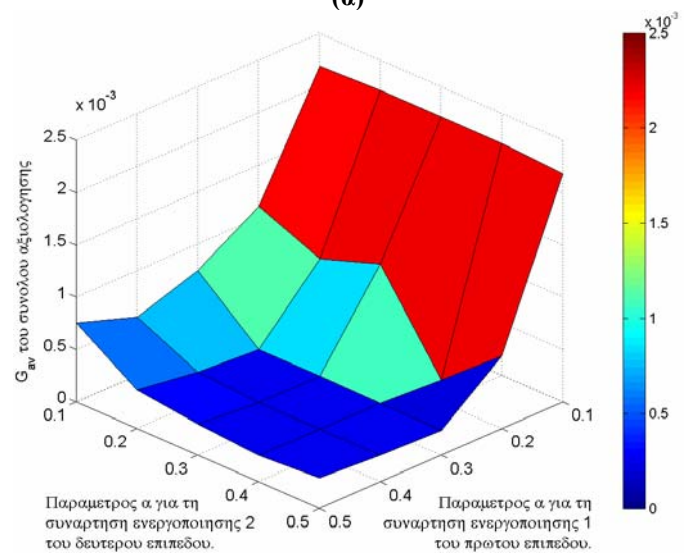
Τέλος, εξετάστηκε και η περίπτωση που αλλάζουν οι συναρτήσεις ενεργοποίησης των δύο επιπέδων (του κρυμμένου και του επιπέδου εξόδου). Κάνοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μεταξύ των συναρτήσεων ενεργοποίησης των δύο επιπέδων και με τις παραμέτρους των συναρτήσεων να παίρνουν η μεν a τιμές από 0.1 έως 0.5 με βήμα 0.1 η δε b 0, σχηματίζουμε τα παρακάτω διαγράμματα του G_{av} του συνόλου αξιολόγησης ώστε να διαπιστωθεί ποιος συνδυασμός είναι ο καταλληλότερος.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.5 που έπεται, ο συνδυασμός της λογιστικής ως συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου με τις τρεις συναρτήσεις για το επίπεδο εξόδου δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περιοχή τιμών για $\alpha_1 \in [0.3, 0.4]$ και $\alpha_2 \in [0.2, 0.5]$.

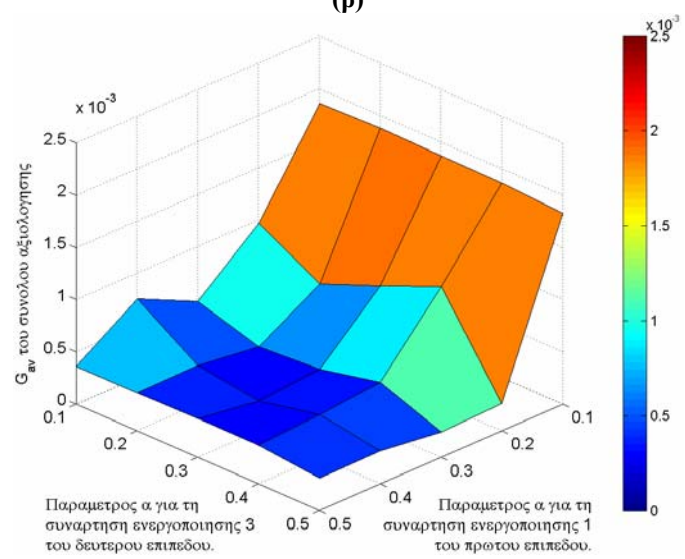
Ακολούθως, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία με μια διαφοροποίηση: αυτή τη φορά ως συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου χρησιμοποιείται η υπερβολική εφαπτομένη (Σχήμα 6.6). Παρατηρούμε ότι το G_{av} του συνόλου αξιολόγησης είναι αρκούντως μικρό για όλο σχεδόν το εύρος τιμών των παραμέτρων α_1 και α_2 , ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι η χρήση της υπερβολικής εφαπτομένης ως συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου (τουλάχιστον) είναι απαραίτητη. Προς επίρρωσιν του προηγούμενου συμπεράσματος, παρατίθενται στη συνέχεια οι γραφικές παραστάσεις στις οποίες απεικονίζεται το G_{av} του συνόλου αξιολόγησης όταν η συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου είναι η γραμμική, ενώ η συνάρτηση ενεργοποίησης του επιπέδου εξόδου είναι είτε η λογιστική, είτε η υπερβολική εφαπτομένη, είτε η γραμμική (Σχήμα 6.7). Προφανώς το μέσο σφάλμα G_{av} δεν είναι πλέον τόσο μικρό όσο προηγουμένως. Για την ακρίβεια έχει αυξηθεί αρκετά.



(α)

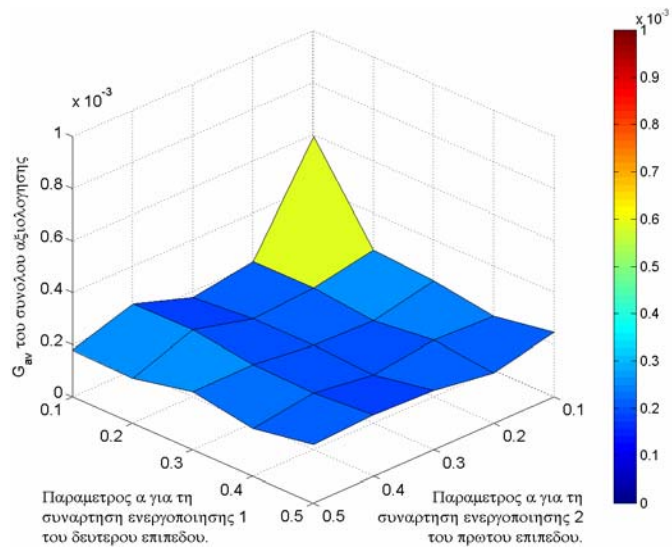


(β)

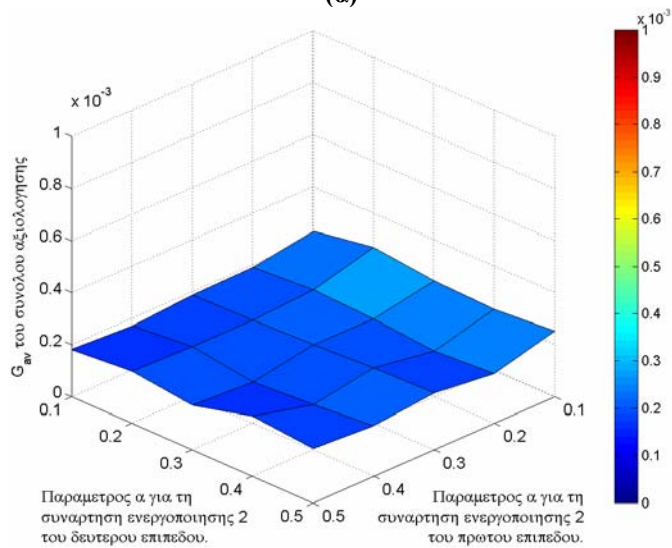


(γ)

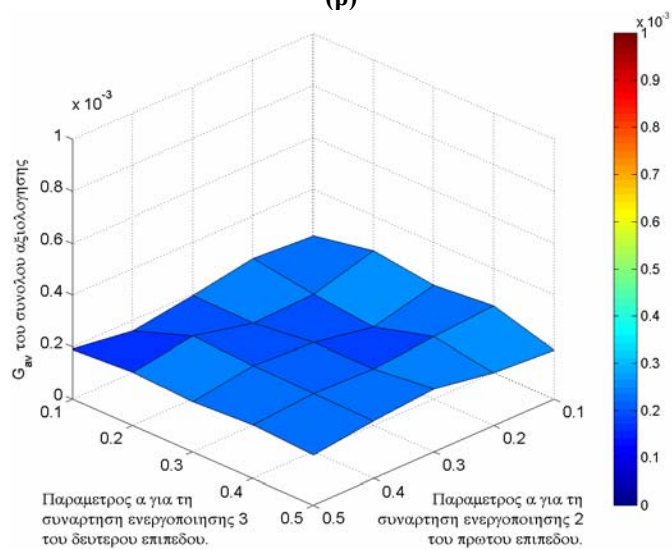
Σχήμα 6.5: G_{av} του συνόλου αξιολόγησης για συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου τη λογιστική σε συνδυασμό με συνάρτηση ενεργοποίησης για το επίπεδο εξόδου (α) τη λογιστική, (β) την υπερβολική εφαπτομένη ή (γ) τη γραμμική.



(α)

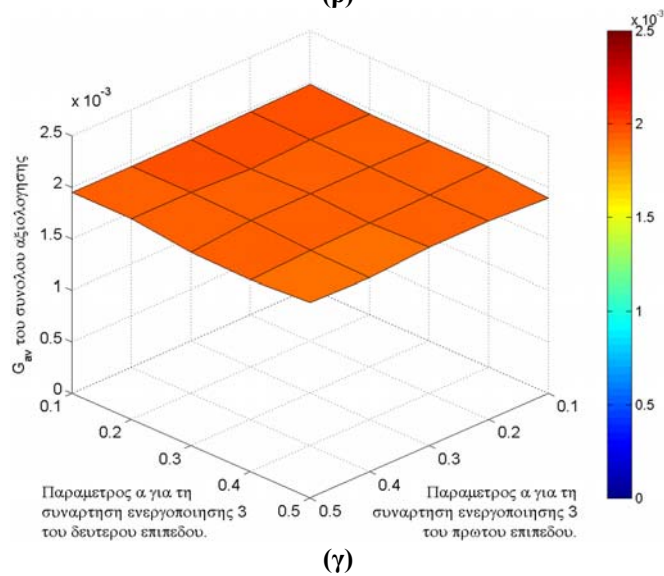
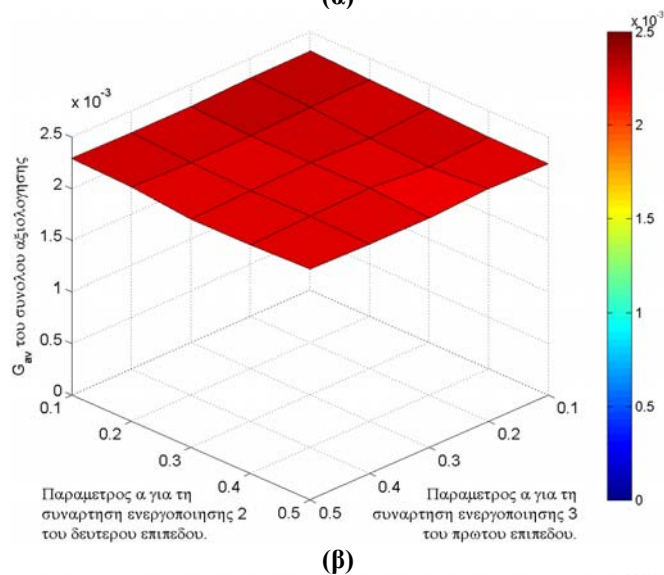
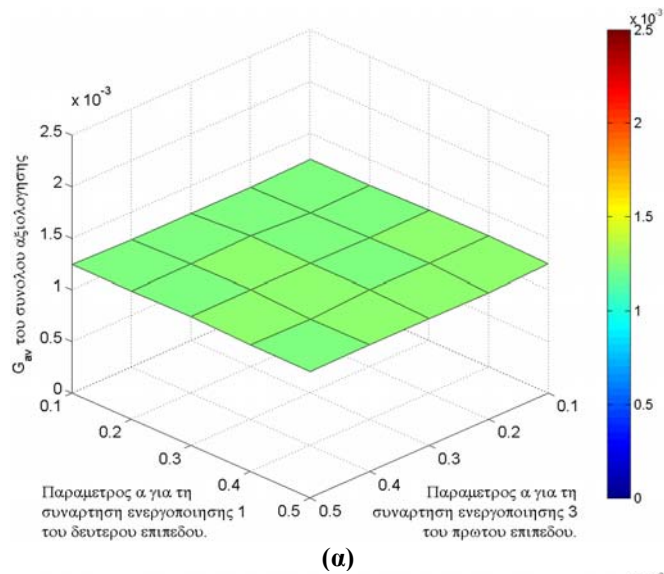


(β)



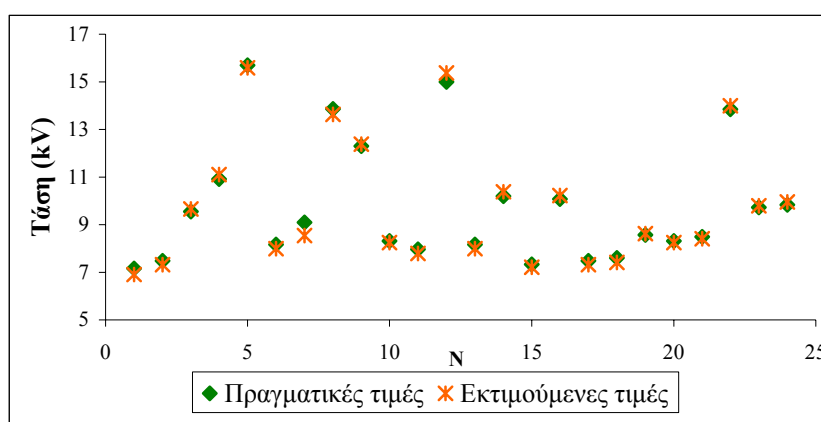
(γ)

Σχήμα 6.6: $G_{αν}$ του συνόλου αξιολόγησης για συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου την υπερβολική εφαπτομένη σε συνδυασμό με συνάρτηση ενεργοποίησης για το επίπεδο εξόδου (α) τη λογιστική, (β) την υπερβολική εφαπτομένη ή (γ) τη γραμμική.

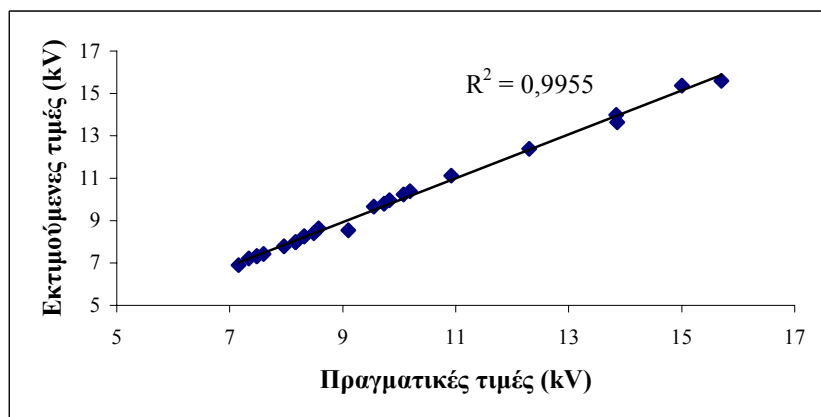


Σχήμα 6.7: G_{ag} του συνόλου αξιολόγησης για γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου σε συνδυασμό με συνάρτηση ενεργοποίησης για το επίπεδο εξόδου (α) τη λογιστική, (β) την υπερβολική εφασπτομένη ή (γ) τη γραμμική.

Τελικά, με την επιλογή: $N=3$, $\alpha_0=0.9$, $T_a=1400$, $\eta_0=0.9$, $T_\eta=1400$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαιπτομένης και στα δύο επίπεδα με $\alpha_1=0.9$, $\alpha_2=0.4$, $b_1=b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000, επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα (με μέσο σφάλμα G_{av} $3.0804 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $1.3118 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $0.5985 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου). Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα του ΤΝΔ για το σύνολο ελέγχου σε κοινό γράφημα με τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές (Σχήμα 6.8). Οι ίδιες τιμές (πραγματικές και εκτιμούμενες) φαίνονται και στο Σχήμα 6.9 με την επιπλέον πληροφορία της μεταξύ τους συσχέτισης.



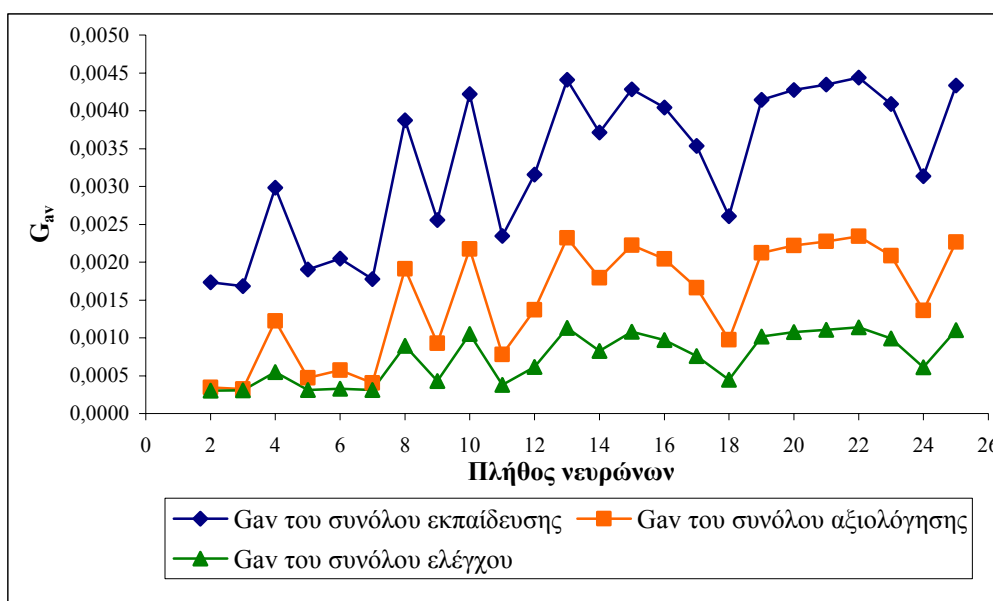
Σχήμα 6.8: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



Σχήμα 6.9: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

β. Όπως και στο προηγούμενο ΤΝΔ, η εκπαίδευσή του γίνεται με την ίδια μέθοδο, μόνο που εδώ χρησιμοποιούνται τα δύο από τα τρία κριτήρια σφάλματος που αναφέρθηκαν στην αρχή της παραγράφου 6.2, δηλαδή τα βάρη να μην μεταβάλλονται αισθητά από τη μία επανάληψη στην επόμενη και ο αριθμός των εποχών να μην ξεπεράσει μία μέγιστη τιμή.

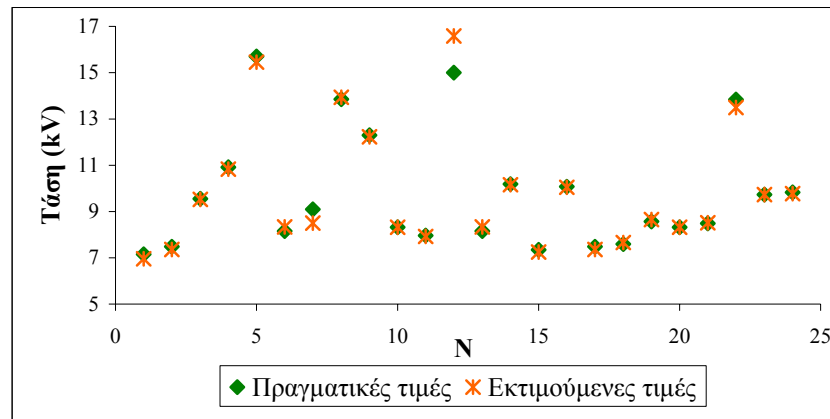
Στο Σχήμα 6.10 απεικονίζεται το G_{av} για τα τρία σύνολα συναρτήσεων του πλήθους των νευρώνων. Μεταβάλλοντας τις παραμέτρους του ΤΝΔ ως εξής: $N \in [2, 25]$ με βήμα 1, $\alpha_0 = \eta_0 = 0.4$, $T_\alpha = T_\eta = 1000$, πλήθος εποχών: 7000, συναρτήσεις ενεργοποίησης των δύο επιπέδων: υπερβολική εφαπτομένη με $a = 0.2$ και $b = 0$, προκύπτει ότι η βέλτιστη τιμή του σφάλματος επιτυγχάνεται για πλήθος νευρώνων 3 ($16.8539 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $3.2691 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $3.0774 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου).



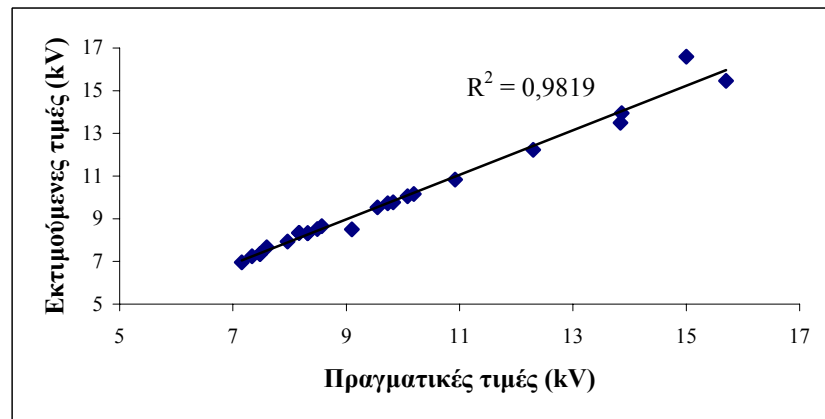
Σχήμα 6.10: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εύρεση των κατά το δυνατόν καλύτερων τιμών για τις υπόλοιπες παραμέτρους του ΤΝΔ είναι ίδια με την ως άνω αναφερθείσα. Επειδή η περιγραφή της παραπάνω διαδικασίας για κάθε μία μέθοδο που εφαρμόστηκε θα ήταν πλεονασμός, θεωρήθηκε ότι δεν είναι απαραίτητο να επαναληφθεί η περιγραφή αυτή, η οποία απ' εδώ και στο εξής έχει παραλειφθεί.

Με την επιλογή: $N=3$, $\alpha_0=0.8$, $T_\alpha=1600$, $\eta_0=0.2$, $T_\eta=400$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαπτομένης και στα δύο επίπεδα με $a_1=a_2=1$, $b_1=b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000, επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα (με μέσο σφάλμα G_{av} , $4.4282 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $3.0511 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $2.0614 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου). Στα Σχήματα 6.11 και 6.12, που ακολουθούν, φαίνονται οι εκτιμώμενες τιμές του συνόλου ελέγχου εν συγκρίσει με τις πραγματικές τιμές του ίδιου συνόλου καθώς επίσης και η μεταξύ τους συσχέτιση.



Σχήμα 6.11: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



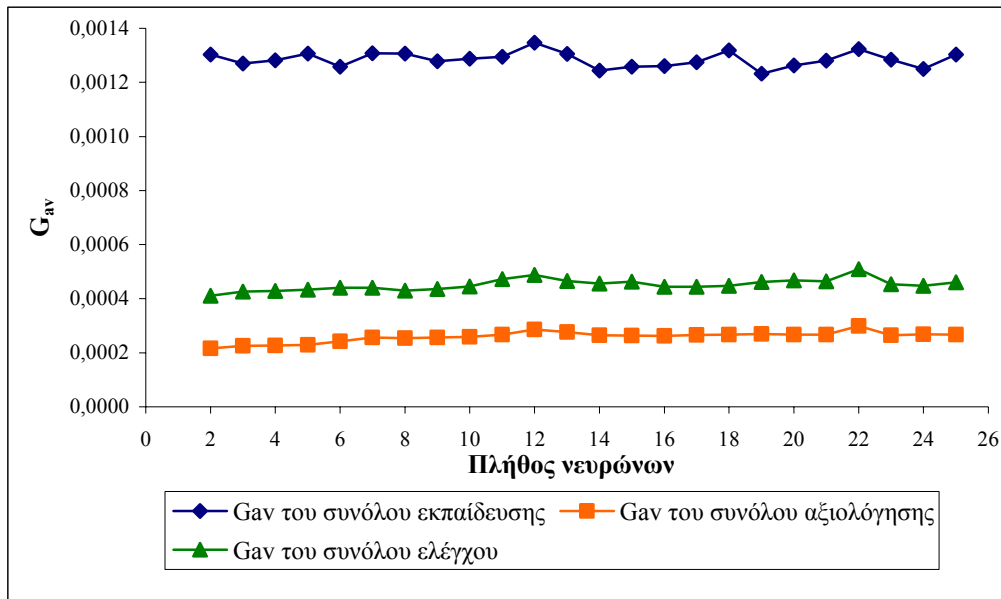
Σχήμα 6.12: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Από πλευράς μέσων σφαλμάτων, παρατηρείται ότι στην περίπτωση β έχουμε οδηγηθεί σε μεγαλύτερα σφάλματα, ενώ το αντίστοιχο R^2 είναι ελαφρώς μικρότερο. Ωστόσο, και σε αυτήν την περίπτωση, τα αποτελέσματα είναι εξίσου ικανοποιητικά.

6.2.2 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση προσαρμοστικών κανόνων ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής

Η εκπαίδευσή του στηρίζεται στη σχέση (3.39) με τυχαία παρουσίαση διανυσμάτων, όπου ο ρυθμός μάθησης και ο όρος ορμής μεταβάλλονται σύμφωνα σε τις σχέσεις (3.46) και (3.47) αντίστοιχα.

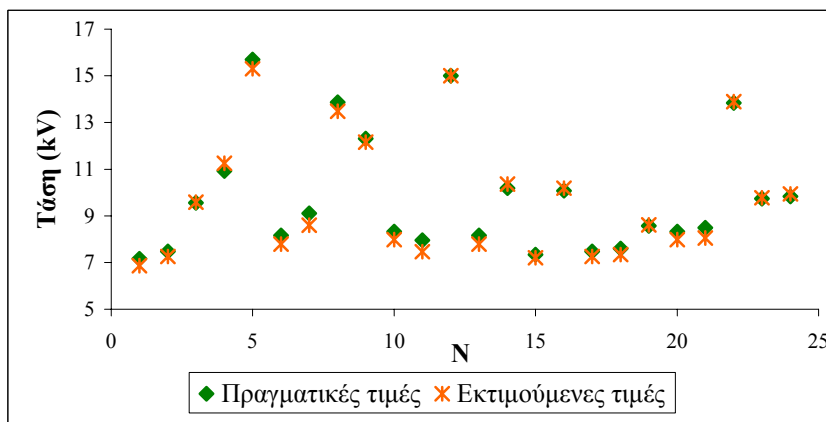
α. Για $\alpha_0 = \eta_0 = 0.4$, $T_\alpha = T_\eta = 1000$, συνάρτηση ενεργοποίησης και για τα δύο επίπεδα την υπερβολική εφαιτομένη με παραμέτρους $a = 0.2$ και $b = 0$, μέγιστο πλήθος εποχών: 7000 και μεταβάλλοντας το πλήθος των νευρώνων από 2 έως 25 με βήμα 1, το μέσο σφάλμα G_{av} παρουσιάζει τη διακύμανση που φαίνεται στο Σχήμα 6.13.



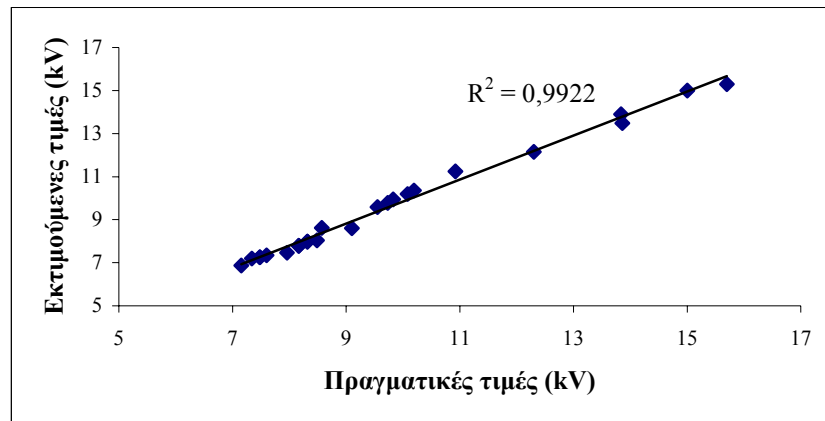
Σχήμα 6.13: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Η μεταβολή στο σφάλμα που παρατηρείται για τις διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων είναι μικρή. Ωστόσο, για $N=2$ το σφάλμα παίρνει την ελάχιστη τιμή του ($13.0340 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $2.1633 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $4.1096 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου).

Η βέλτιστη επιλογή είναι: $N=2$, $\alpha_0=\eta_0=0.9$, $T_\alpha=1200$, $T_\eta=800$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαιτομένης και στα δύο επίπεδα με $\alpha_1=0.9$, $\alpha_2=0.5$, $b_1=b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000, επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα (με μέσο σφάλμα G_{av} $3.1550 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $1.9373 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $1.2398 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου).

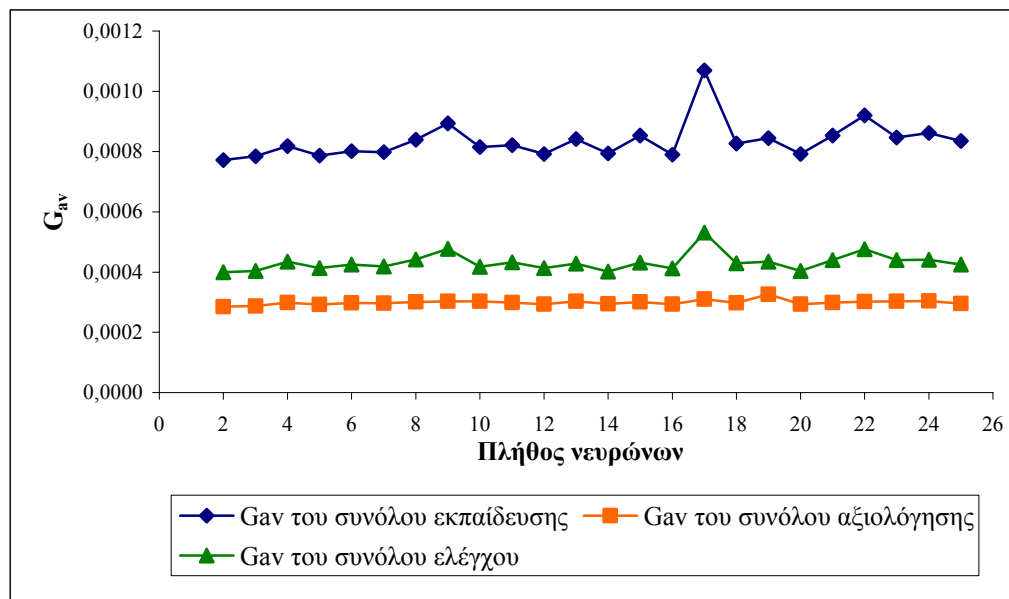


Σχήμα 6.14: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



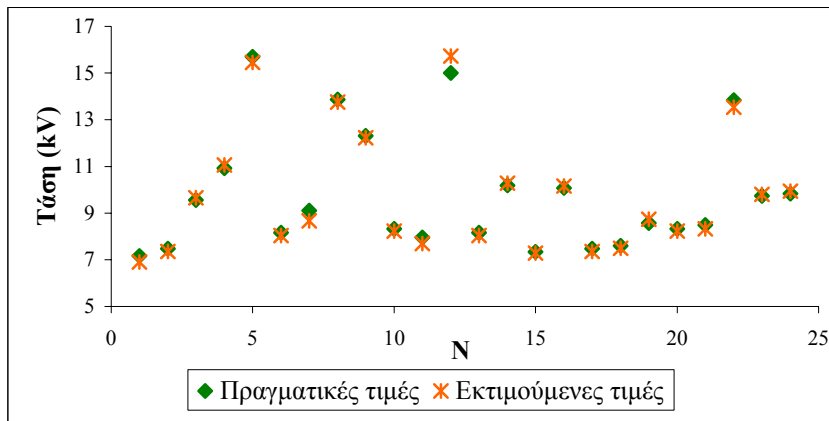
Σχήμα 6.15: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

β. Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου πλήθους νευρώνων δίνουμε στις παραμέτρους του ΤΝΔ τις τιμές που είχαν στην παράγραφο 6.2.2α και παίρνουμε την παρακάτω γραφική παράσταση του μέσου σφάλματος (Σχήμα 6.16).

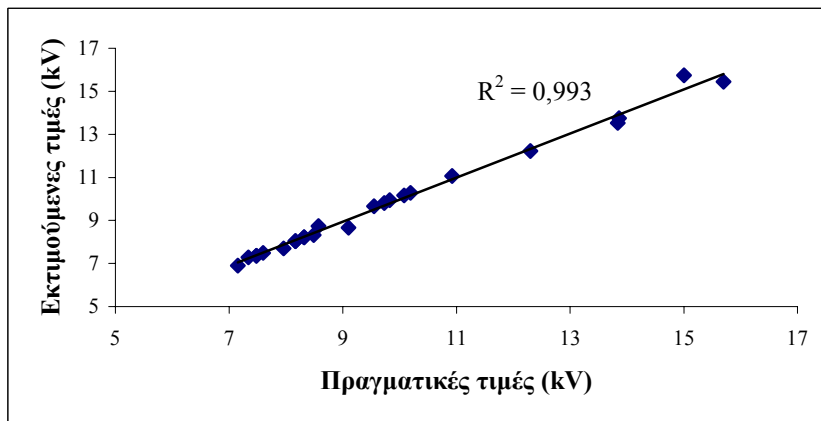


Σχήμα 6.16: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν: $N=2$, $\alpha_0=0.4$, $T_\alpha=2800$, $\eta_0=0.1$, $T_\eta=2600$, η συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου είναι η υπερβολική εφαπτομένη, του επιπέδου εξόδου είναι η λογιστική με $a_1=a_2=1$, $b_1=b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000. Τότε, το μέσο σφάλμα G_{av} είναι: $2.6312 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $2.7941 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $0.7893 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου.



Σχήμα 6.17: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



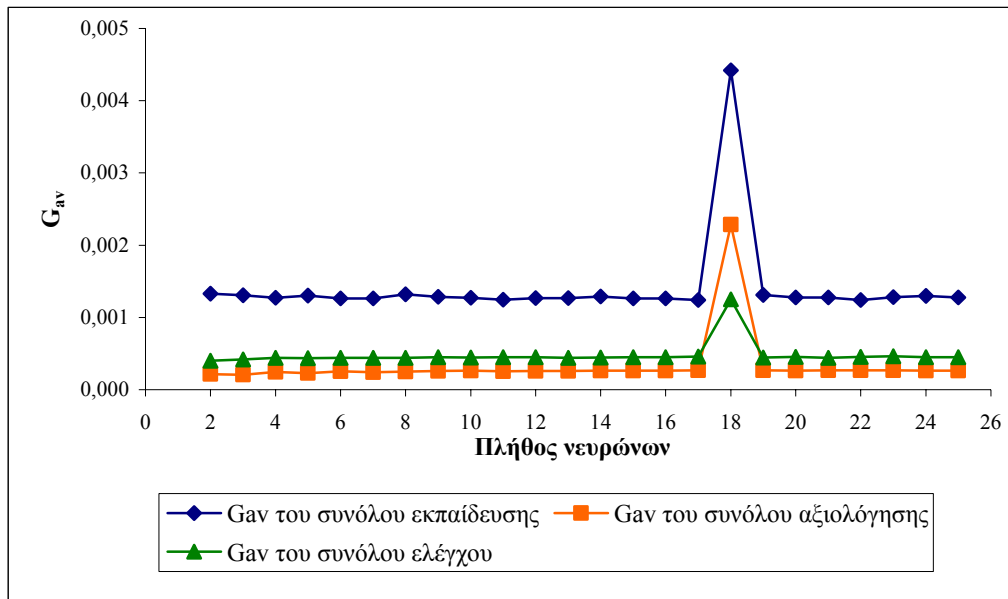
Σχήμα 6.18: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Από τη σύγκριση των δύο περιπτώσεων α και β προκύπτει ότι τα αποτελέσματά τους είναι σχεδόν ταυτόσημα.

6.2.3 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση σταθερού ρυθμού εκπαίδευσης

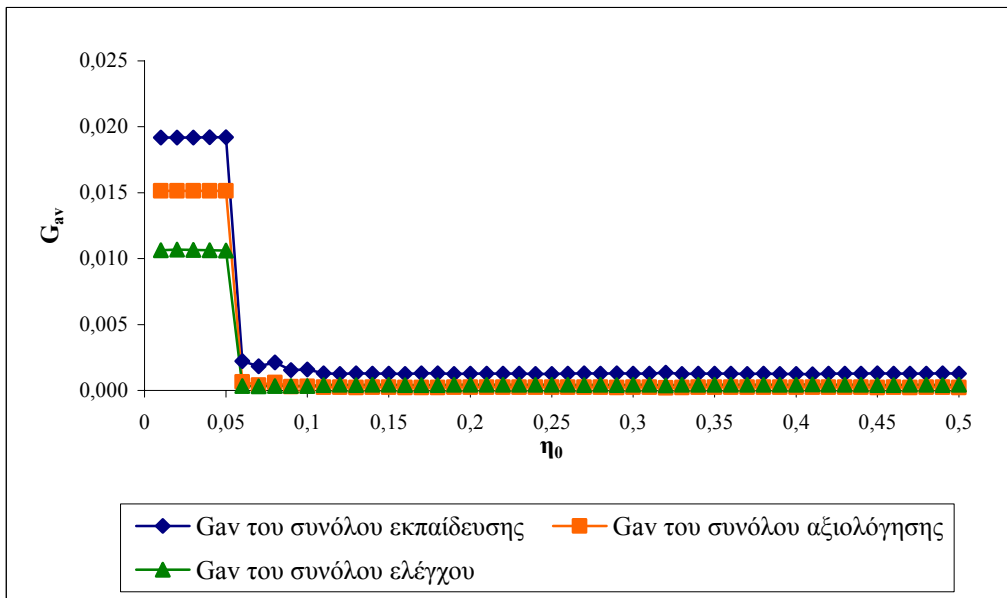
Η εκπαίδευσή του στηρίζεται στη σχέση (3.44) με τυχαία παρουσίαση των διανυσμάτων ανά πρότυπο, όπου ο ρυθμός μάθησης λαμβάνει σταθερή τιμή. Αποτελεί την πιο βασική μορφή του αλγόριθμου. Μαζί με το πλήθος των νευρώνων του κρυμμένου στρώματος, το είδος και τη μορφή των συναρτήσεων ενεργοποίησης αποτελούν τις αναγκαίες παραμέτρους που πρέπει να ρυθμιστούν.

α . Αν μεταβληθούν οι νευρώνες από 2 ως 25, τότε παρατηρείται από το Σχήμα 6.19 ότι δεν υπάρχει κάποια αξιολογή μεταβολή του μέσου σφάλματος (G_{av}). Η βέλτιστη τιμή για το G_{av} του συνόλου αξιολόγησης λαμβάνεται για 3 νευρώνες.



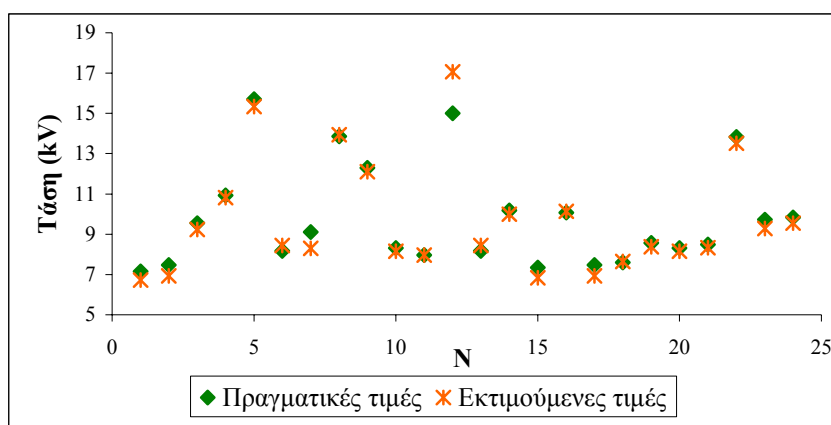
Σχήμα 6.19: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Από τη μεταβολή του ρυθμού μάθησης (Σχήμα 6.20) προκύπτει ότι, καθώς αυτός αυξάνεται, βελτιώνεται και η απόδοση του ΤΝΔ μέχρι να φτάσει την τιμή 0.12 πέραν της οποίας δεν παρατηρείται ουσιώδης μεταβολή. Ως βέλτιστη τιμή για το ρυθμό μάθησης επελέγη η τιμή 0.32, καθόσον για την τιμή αυτή επιτυγχάνεται το ελάχιστο για το G_{av} ($1.9952 \cdot 10^{-4}$).

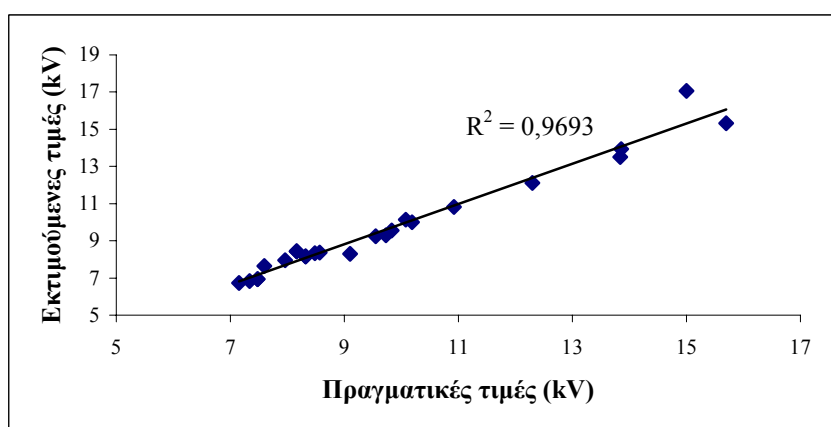


Σχήμα 6.20: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές του η_0 .

Τελικά, για $N=3$, $\eta_0=0.32$, συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου και του επιπέδου εξόδου την υπερβολική εφαπτομένη με $a_1=0.9$, $a_2=1$, $b_1=b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000 έχουμε σφάλμα $12.356 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $1.9286 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $4.3687 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου. Στα Σχήματα 6.21 και 6.22, που ακολουθούν, φαίνονται οι εκτιμούμενες τιμές του συνόλου ελέγχου εν συγκρίσει με τις πραγματικές τιμές του ίδιου συνόλου καθώς επίσης και η μεταξύ τους συσχέτιση.

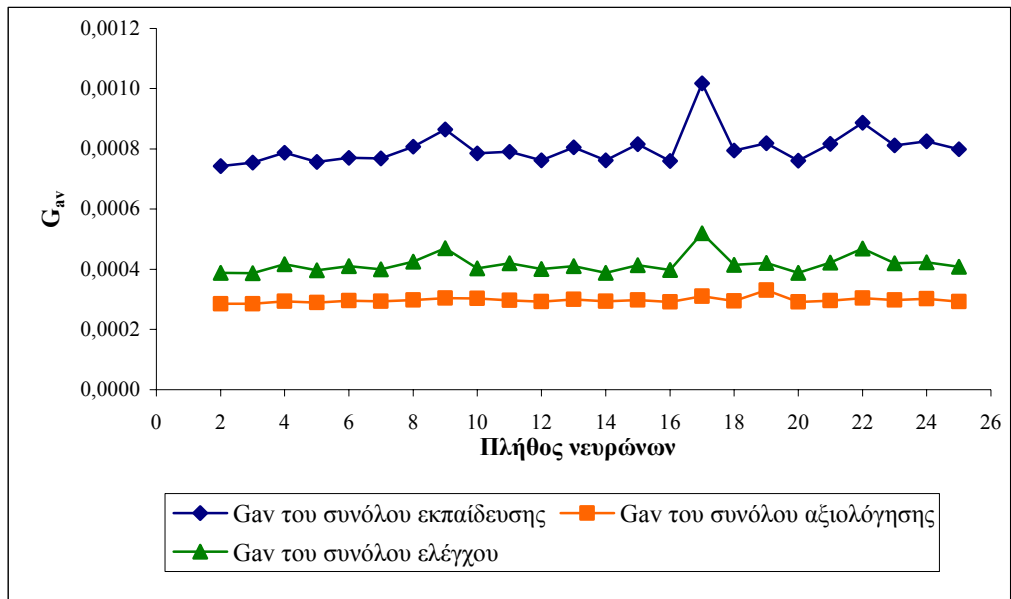


Σχήμα 6.21: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

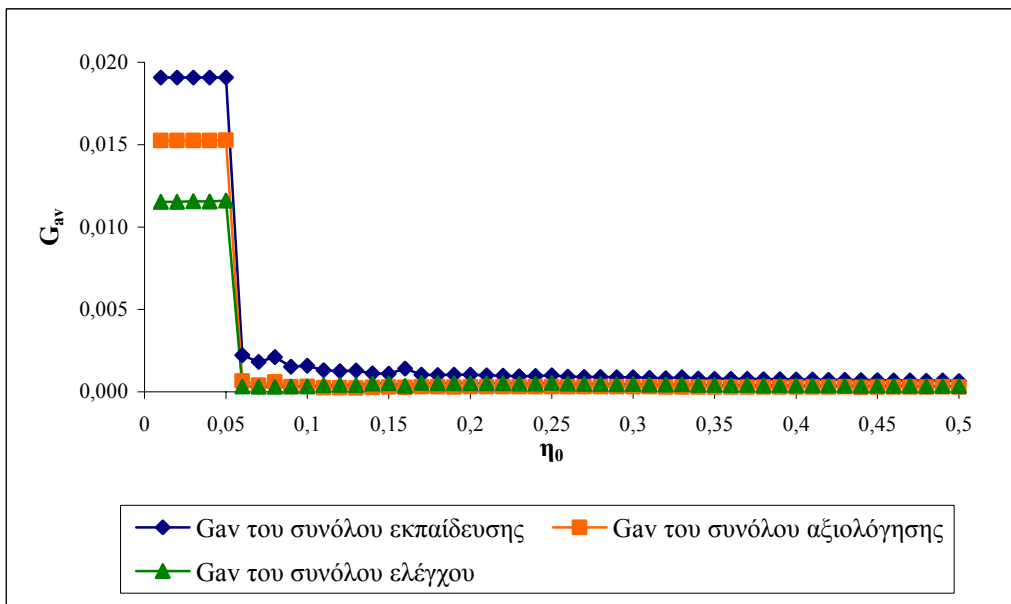


Σχήμα 6.22: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

β. Με παρόμοιο τρόπο και γι' αυτήν την περίπτωση βρίσκουμε ότι οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων είναι: $N=3$ (Σχήμα 6.23), $\eta_0=0.13$ (Σχήμα 6.24), συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου η υπερβολική εφαπτομένη με $a_1=1$ και $b_1=0$, του επιπέδου εξόδου η λογιστική με $a_2=0.6$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000. Τότε, το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $2.6369 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $2.5386 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $0.8043 \cdot 10^{-4}$.

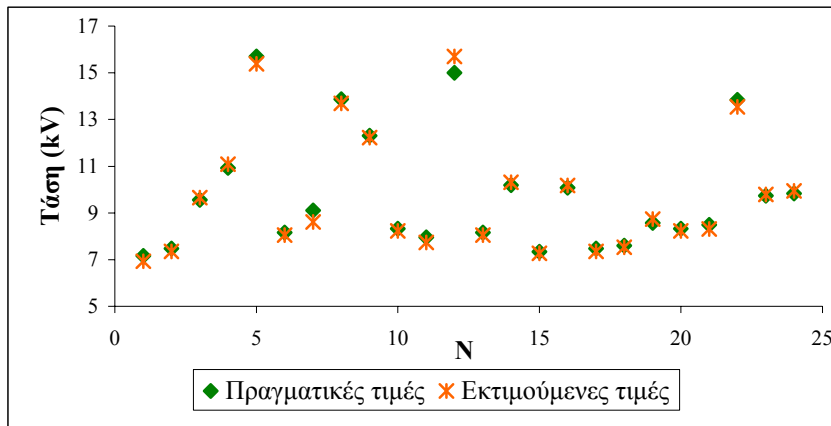


Σχήμα 6.23: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

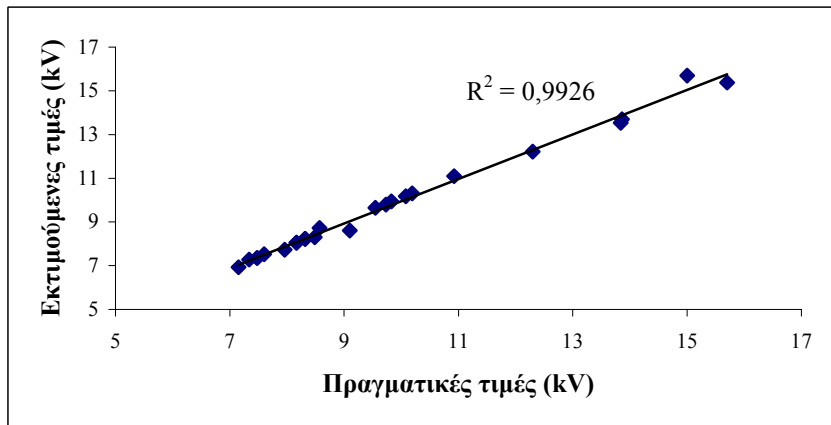


Σχήμα 6.24: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές του η_0 .

Στα Σχήματα 6.25 και 6.26 καταδεικνύεται με δύο διαφορετικούς τρόπους πόσο καλά προσεγγίζονται οι πραγματικές τιμές από αυτές που δίνει το ΤΝΔ.



Σχήμα 6.25: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



Σχήμα 6.26: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

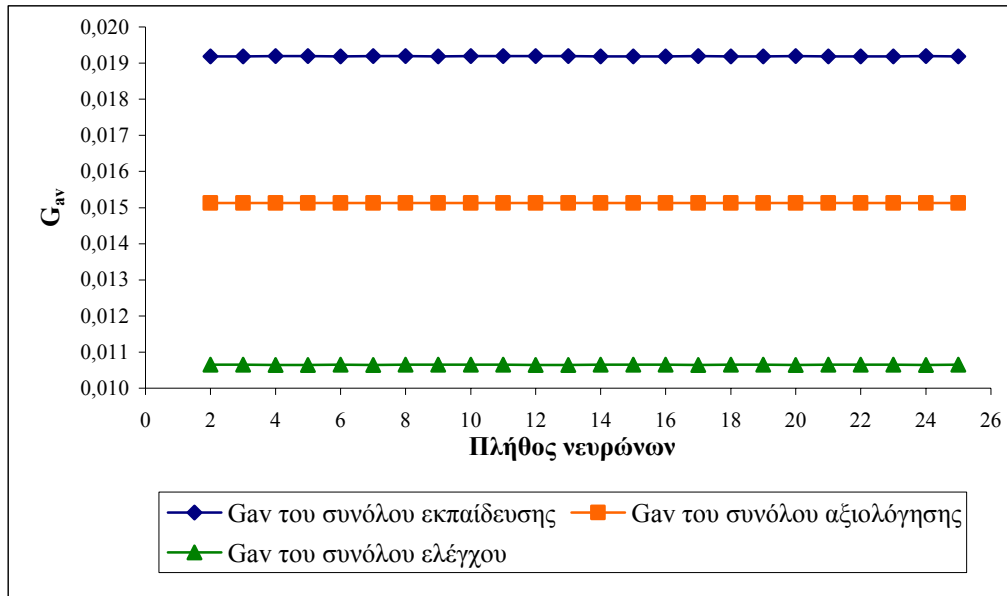
Από τη σύγκριση των δύο περιπτώσεων είναι σαφές ότι στην περίπτωση β τα σφάλματα είναι κατά τι μικρότερα και η συσχέτιση μεγαλύτερη συγκρινόμενα με τις αντίστοιχες τιμές των μεγεθών για την περίπτωση α . Μπορούμε, λοιπόν, να πούμε ότι η περίπτωση β δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

6.2.4 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή με χρήση σταθερού ρυθμού εκπαίδευσης

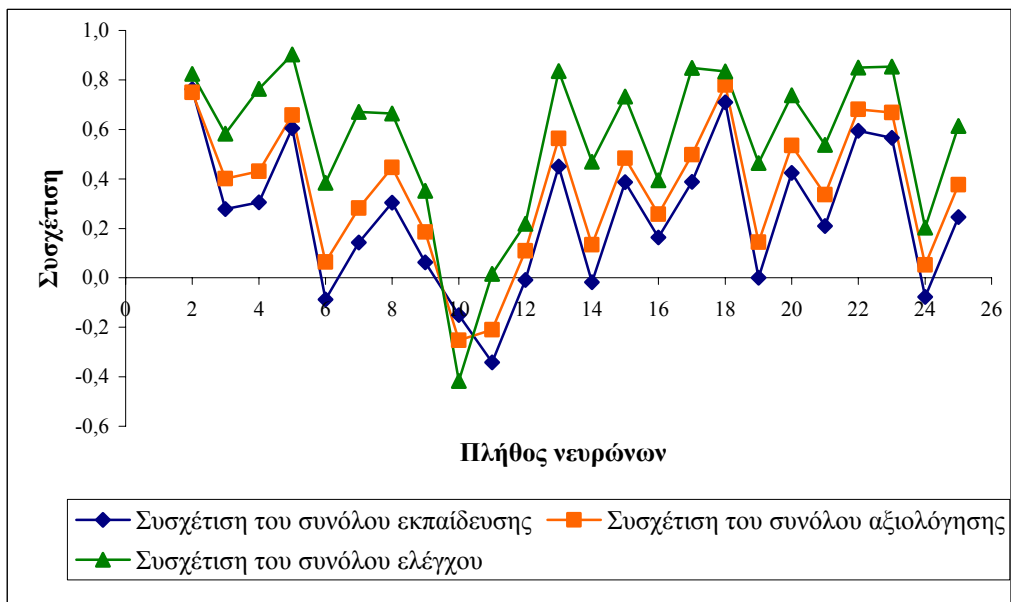
Η εκπαίδευση του ΤΝΔ στηρίζεται στη σχέση (3.44) με σειριακή παρουσίαση των διανυσμάτων ανά εποχή, όπου ο ρυθμός μάθησης λαμβάνει κατά τη διάρκεια όλων των εποχών σταθερή τιμή.

α. Αν μεταβληθούν οι νευρώνες από 2 ως 26, τότε παρατηρείται, από το Σχήμα 6.27, ότι δεν υπάρχει κάποια αξιολογη μεταβολή του μέσου σφάλματος G_{av} . Για να καταλήξουμε σε συμπέρασμα ως προς το ποια τιμή του πλήθους των νευρώνων δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, εξετάζουμε και τη διακύμανση της συσχέτισης καθώς

αυξάνεται το πλήθος των νευρώνων. Από το Σχήμα 6.28 καθίσταται σαφές ότι για 18 νευρώνες η συσχέτιση των δεδομένων των τριών συνόλων με τις πραγματικές τιμές είναι αρκετά υψηλή.

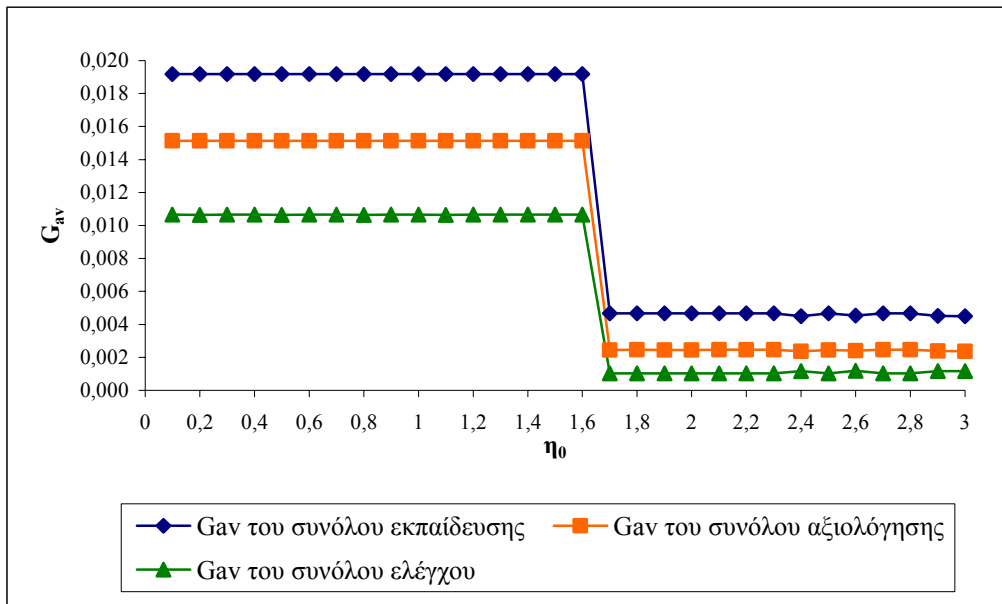


Σχήμα 6.27: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.



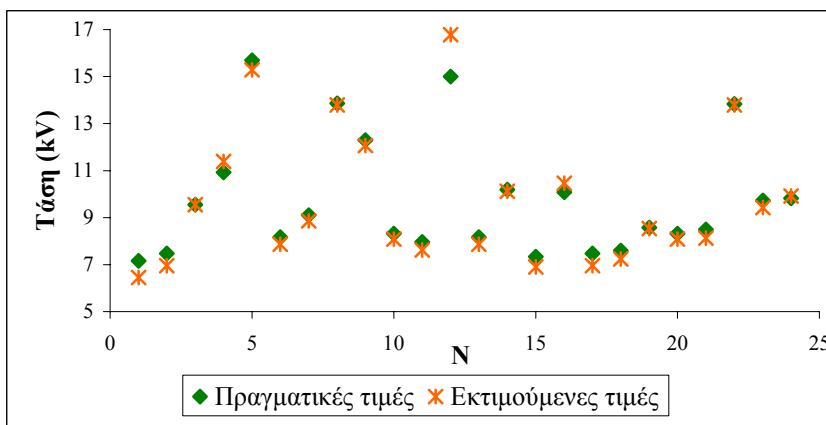
Σχήμα 6.28: Συγκριτικό διάγραμμα της συσχέτισης για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Από τη μεταβολή του ρυθμού μάθησης (Σχήμα 6.29) προκύπτει ότι η απόδοση είναι αρκετά καλή για τιμές πάνω από το 1,7, όπου πρακτικά σταθεροποιείται. Η βέλτιστη τιμή για το G_{av} του συνόλου αξιολόγησης επιτυγχάνεται για $\eta_0=3$.

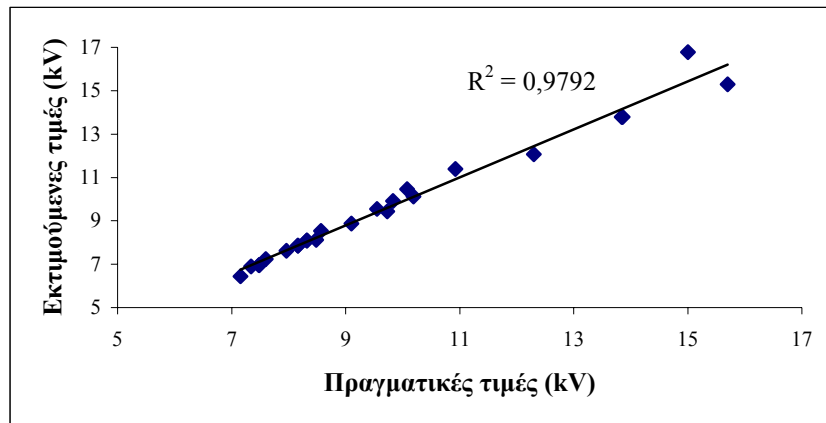


Σχήμα 6.29: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές του η_0 .

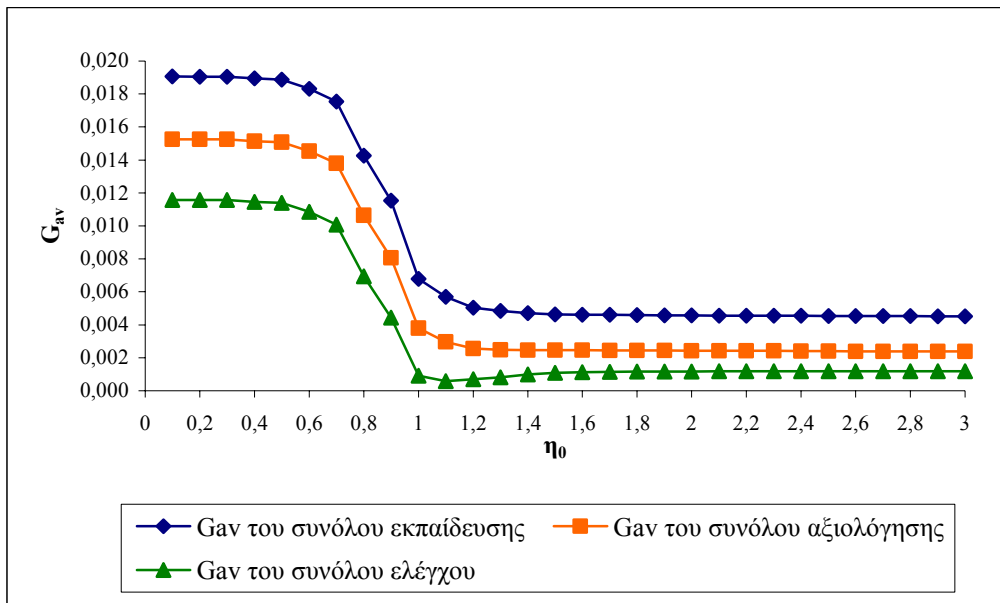
Η βέλτιστη επιλογή για τις παραμέτρους του ΤΝΔ ($N=18$, $\eta_0=3$, συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου η υπερβολική εφαπτομένη με $a_1=0.8$ και $b_1=0$, του επιπέδου εξόδου η γραμμική με $a_2=0.1$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 5000) δίνει τις προσεγγίσεις των πραγματικών τιμών που φαίνονται στα Σχήματα 6.30 και 6.31 που ακολουθούν. Το σφάλμα G_{av} που προκύπτει από την προσέγγιση είναι: $17.326 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $4.3633 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $3.7135 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου.



Σχήμα 6.30: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

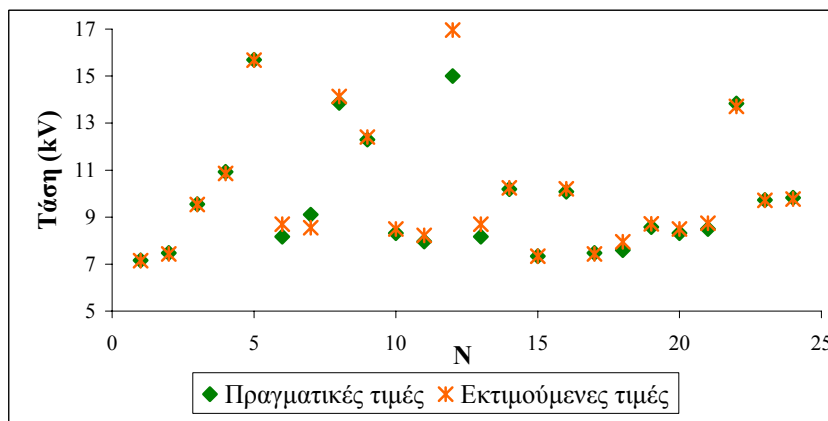


καλύτερο αποτέλεσμα (ελάχιστο σφάλμα για το σύνολο αξιολόγησης) επιτυγχάνεται για $\eta_0=3$.

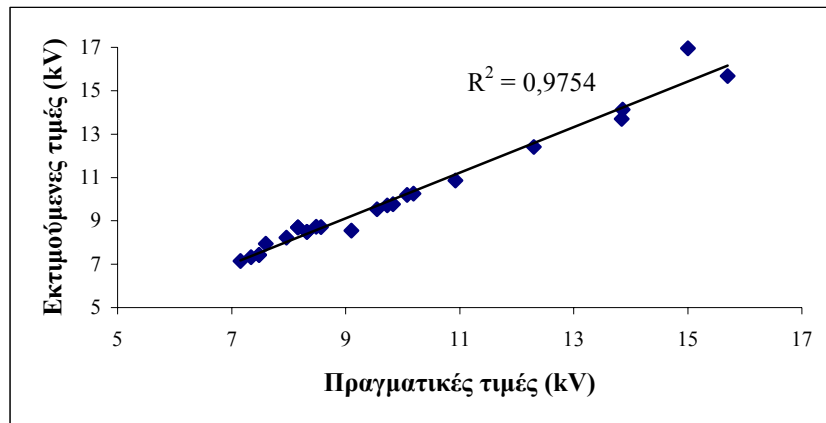


Σχήμα 6.33: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές του η_0 .

Ο βέλτιστος συνδυασμός τιμών των παραμέτρων του ΤΝΔ είναι: $N=21$, $\eta_0=3$, συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου η υπερβολική εφαιτομένη με $a_1=1$ και $b_1=0$, του επιπέδου εξόδου η γραμμική με $a_2=0.5$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 5000. Για τον συνδυασμό αυτόν το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $5.4084 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $3.5243 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $3.2704 \cdot 10^{-4}$. Ακολουθούν τα σχήματα στα οποία καταδεικνύεται το πόσο καλή είναι η προσέγγιση που επιτυγχάνεται στα πραγματικά δεδομένα από το ΤΝΔ (Σχήματα 6.34 και 6.35).



Σχήμα 6.34: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



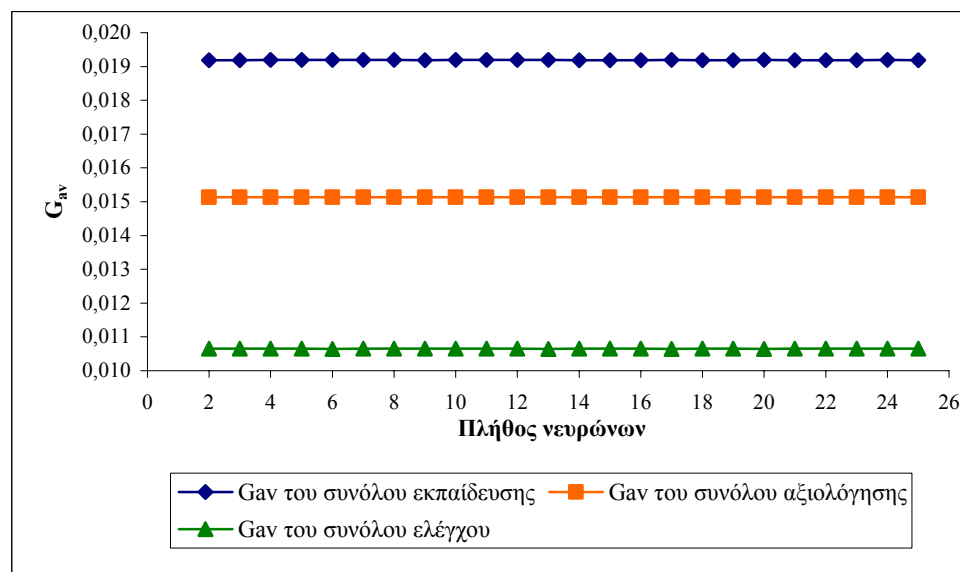
Σχήμα 6.35: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Και στις δύο περιπτώσεις τα σφάλματα όπως και η συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών του συνόλου ελέγχου είναι περίπου ίδια. Συνεπώς, οι δύο προσεγγίσεις είναι ισοδύναμες.

6.2.5 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή με χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής

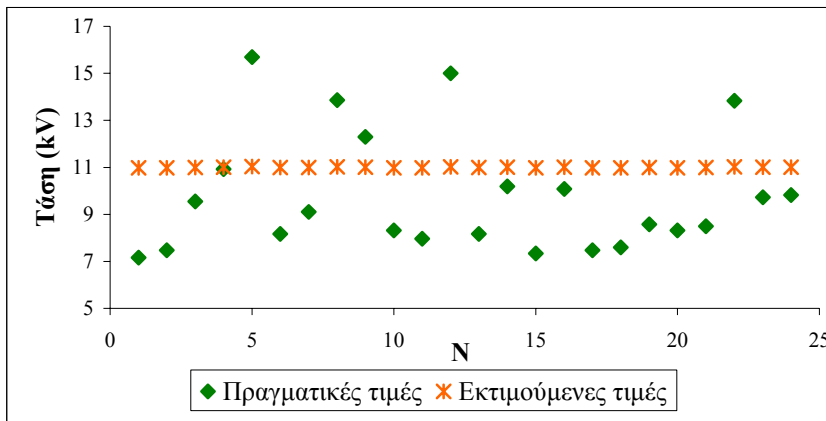
Η εκπαίδευσή του γίνεται με την ίδια μέθοδο που παρουσιάστηκε και στην παράγραφο 6.2.1, μόνο που εδώ η ανανέωση των βαρών του ΤΝΔ γίνεται ανά εποχή (όχι ανά πρότυπο).

α. Στο Σχήμα 6.36, που έπεται, φαίνεται ότι, καθώς μεταβάλλεται το πλήθος των νευρώνων, η τιμή του μέσου σφάλματος δεν αλλάζει αισθητά. Πάντως, για $N=21$ το G_{av} του συνόλου αξιολόγησης παίρνει την ελάχιστη τιμή του.

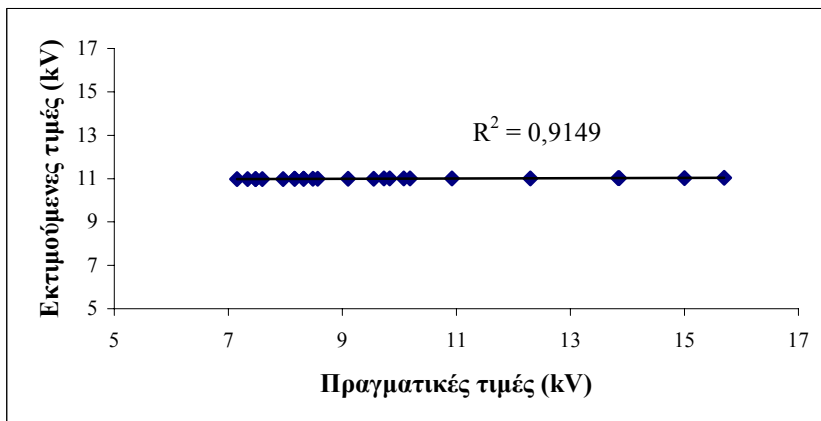


Σχήμα 6.36: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Ο συνδυασμός που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα είναι: $N=21$, $\alpha_0=0.4$, $T_a=400$, $\eta_0=0.4$, $T_\eta=200$, συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου η λογιστική με $\alpha_l=1$ και $b_l=0$, του επιπέδου εξόδου η γραμμική με $\alpha_2=0.25$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000 (σφάλμα συνόλου εκπαίδευσης: $189.24 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $151.28 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $114.66 \cdot 10^{-4}$).

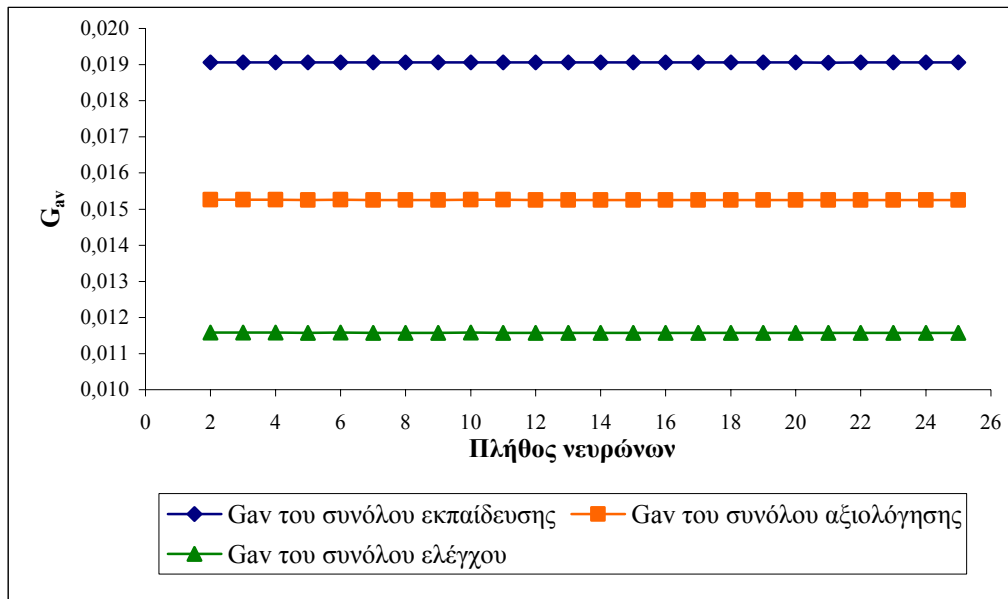


Σχήμα 6.37: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



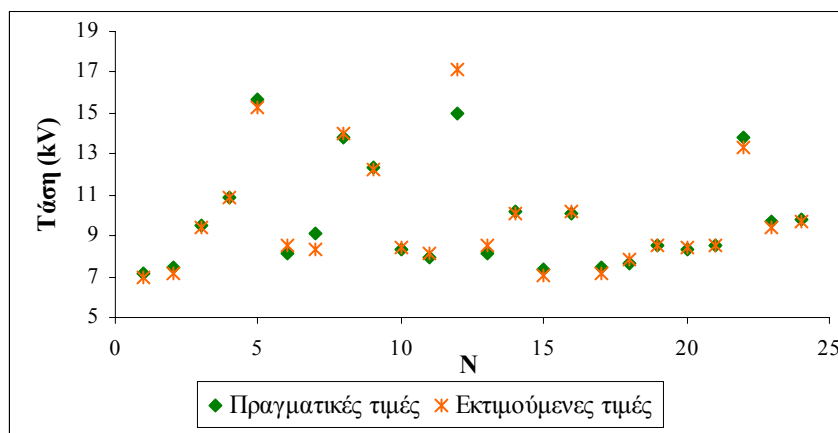
Σχήμα 6.38: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

β. Στο Σχήμα 6.39 φαίνεται η εξάρτηση του G_{av} από το πλήθος των νευρώνων. Για $N=21$ επιτυγχάνεται η βέλτιστη τιμή.

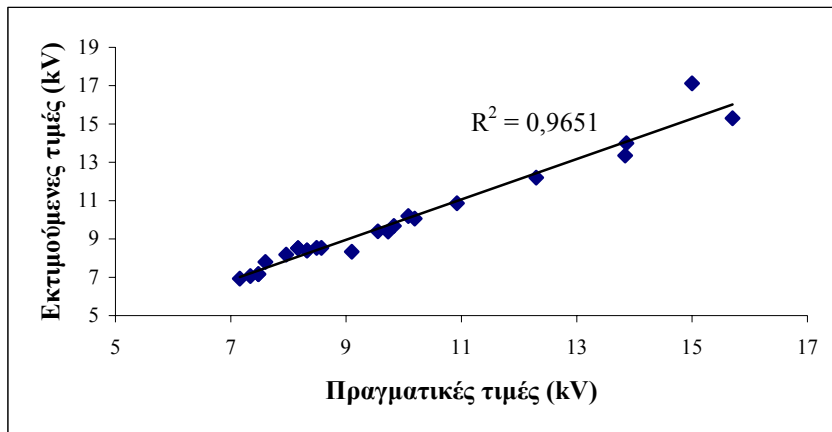


Σχήμα 6.39: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία που περιγράψαμε αναλυτικά στην παράγραφο 6.2.1α και έτσι καταλήγουμε στις εξής τιμές για τις παραμέτρους του ΤΝΔ: $N=21$, $\alpha_0=0.9$, $T_\alpha=4800$, $\eta_0=0.9$, $T_\eta=5600$, συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου η υπερβολική εφραπτομένη με $a_1=1$ και $b_1=0$, του επιπέδου εξόδου η λογιστική με $a_2=1$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000. Γι' αυτές τις τιμές των παραμέτρων, το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $13.875 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $3.2073 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $4.2328 \cdot 10^{-4}$. Ακολουθούν τα διαγράμματα στα οποία φαίνονται οι πραγματικές και οι εκτιμούμενες τιμές της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης καθώς επίσης και η μεταξύ τους συσχέτιση.



Σχήμα 6.40: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



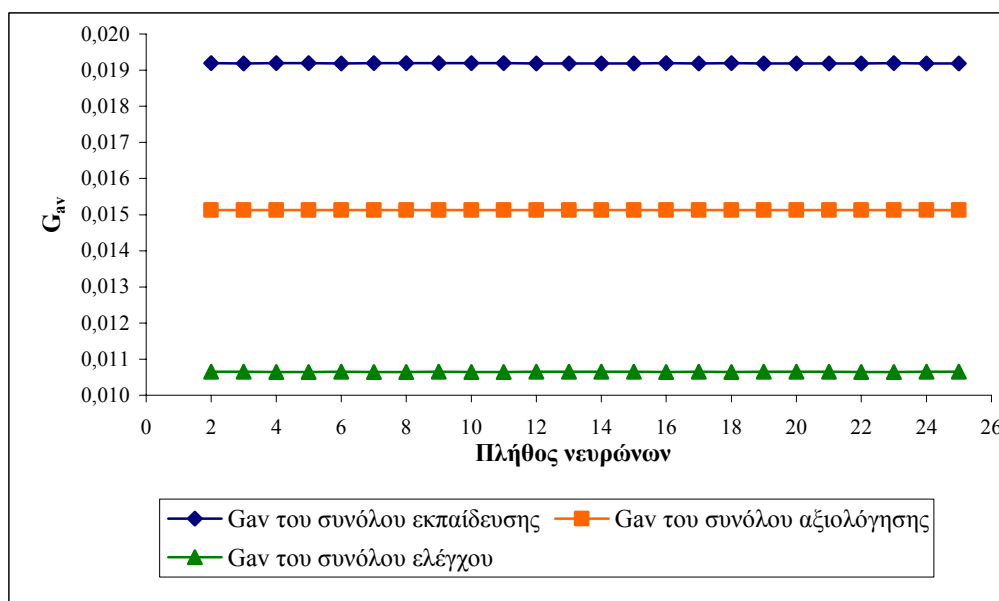
Σχήμα 6.41: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Στην περίπτωση **α** οι εκτιμούμενες τιμές είναι πρακτικά ίσες μεταξύ τους γεγονός που υποδηλώνει ότι η μέθοδος αυτή έχει αποτύχει στην εκτίμηση των τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

6.2.6 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή με χρήση προσαρμοστικών κανόνων ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής

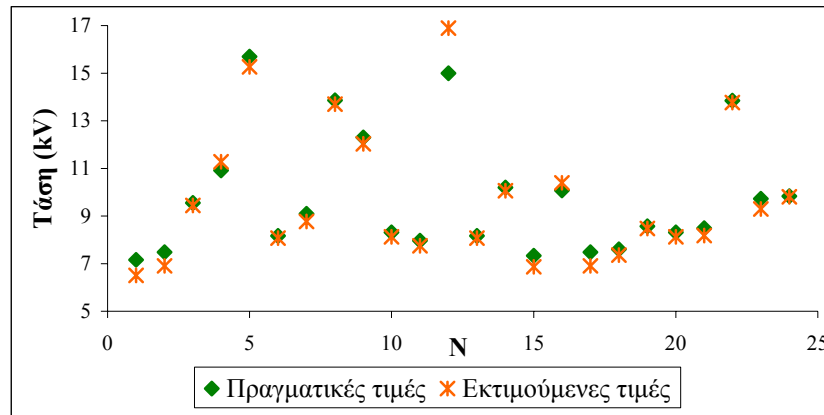
Η εκπαίδευσή του γίνεται με την ίδια μέθοδο που παρουσιάστηκε και στην παράγραφο 6.2.2, μόνο που εδώ η ανανέωση των βαρών του ΤΝΔ γίνεται ανά εποχή (όχι ανά πρότυπο).

α. Η βέλτιστη τιμή για το πλήθος των νευρώνων είναι $N=21$ ($151.2978 \cdot 10^{-4}$ το G_{av} του συνόλου αξιολόγησης).

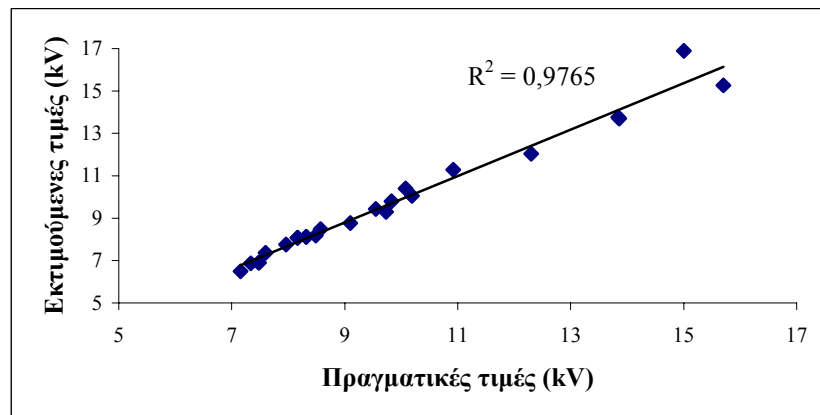


Σχήμα 6.42: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του ΤΝΔ: $N=21$, $\alpha_0=0.9$, $T_\alpha=3000$, $\eta_0=0.8$, $T_\eta=2600$, συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου η υπερβολική εφαπτομένη με $\alpha_1=0.9$ και $b_1=0$, του επιπέδου εξόδου η γραμμική με $\alpha_2=0.2$ και $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000. Για τον συνδυασμό αυτόν το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $15.205 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $3.7728 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $3.8267 \cdot 10^{-4}$.

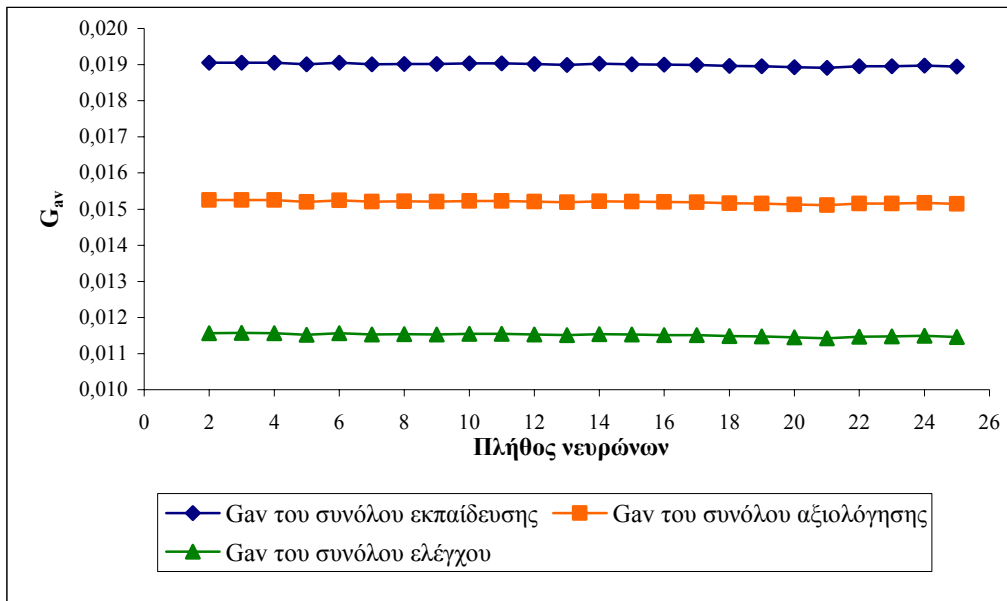


Σχήμα 6.43: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

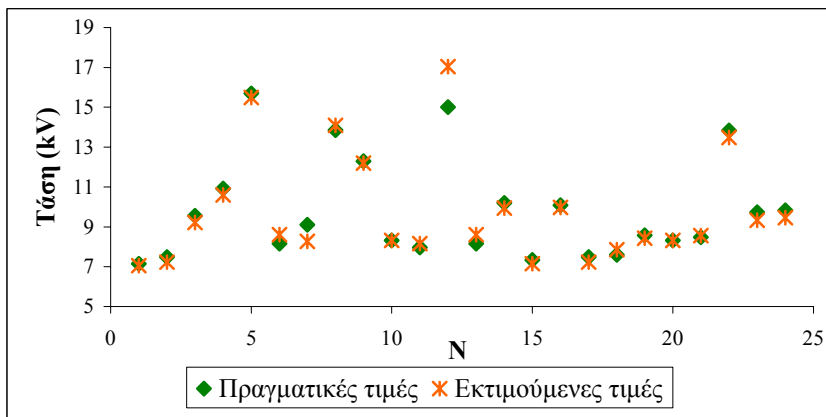


Σχήμα 6.44: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

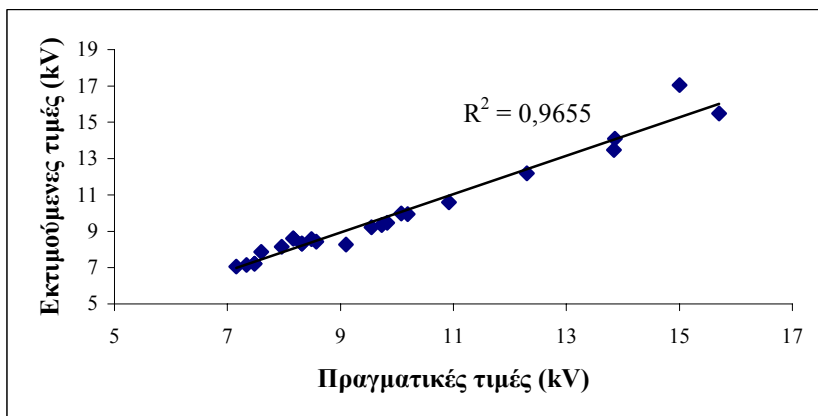
β. Βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του ΤΝΔ: $N=21$, $\alpha_0=0.9$, $T_\alpha=5200$, $\eta_0=0.8$, $T_\eta=5600$, συνάρτηση ενεργοποίησης του κρυμμένου επιπέδου και του επιπέδου εξόδου η υπερβολική εφαπτομένη με $\alpha_1=1$, $b_1=0$, $\alpha_2=0.9$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000. Το σφάλμα G_{av} που προκύπτει από την προσέγγιση είναι: $8.0111 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $2.9104 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $4.0557 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου.



Σχήμα 6.45: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.



Σχήμα 6.46: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



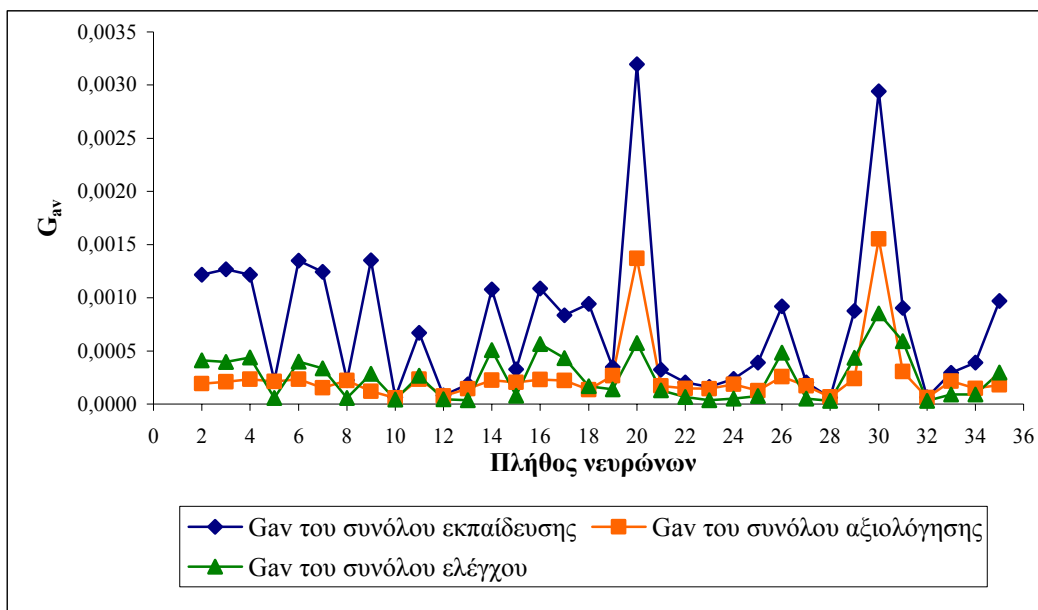
Σχήμα 6.47: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Από τη σύγκριση της συσχέτισης και των σφαλμάτων για το σύνολο ελέγχου των δύο περιπτώσεων, προκύπτει ότι η β επιτυγχάνει καλύτερη προσέγγιση.

6.2.7 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Fletcher-Reeves

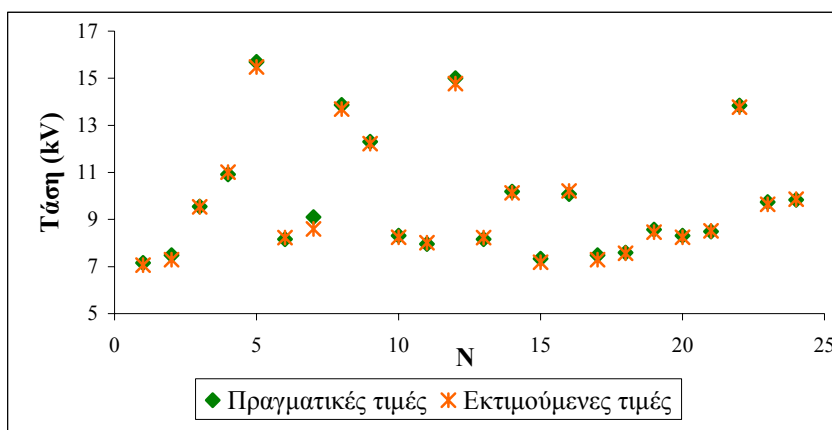
α. Αρχικά η μελέτη γίνεται προσδιορίζοντας τον συντελεστή β_{k+1} κατά Fletcher-Reeves, χωρίς να έχει ενεργοποιηθεί η συμπληρωματική μέθοδος επανεκκίνησης κατά Powell-Beale. Η εκπαίδευση στηρίζεται στις σχέσεις (3.49) ως (3.52) με σειριακή παρουσίαση διανυσμάτων ανά εποχή. Η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης σφάλματος γίνεται με τη χρήση της μεθόδου της χρυσής τομής, όπου οι βασικότερες παράμετροι προς ρύθμιση είναι το αρχικό βήμα της μεθόδου s , το πλήθος των επαναλήψεων κατά τη φάση της εύρεσης του βασικού διανύσματος T_{bv} και κατά τη φάση της τριχοτόμησης T_{trix} και το όριο σύγκλισης κατά τη φάση της τριχοτόμησης e_{trix} , τα οποία μετά από πληθώρα δοκιμαστικών δοκιμών λαμβάνουν τις τιμές 0.2, 20 και 50 και 0.000001 αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 6.48, που έπεται, φαίνεται η διακύμανση του μέσου σφάλματος G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου καθώς μεταβάλλεται το πλήθος των νευρώνων. Η βέλτιστη τιμή του G_{av} ($0.5675 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης) επιτυγχάνεται για $N=10$.

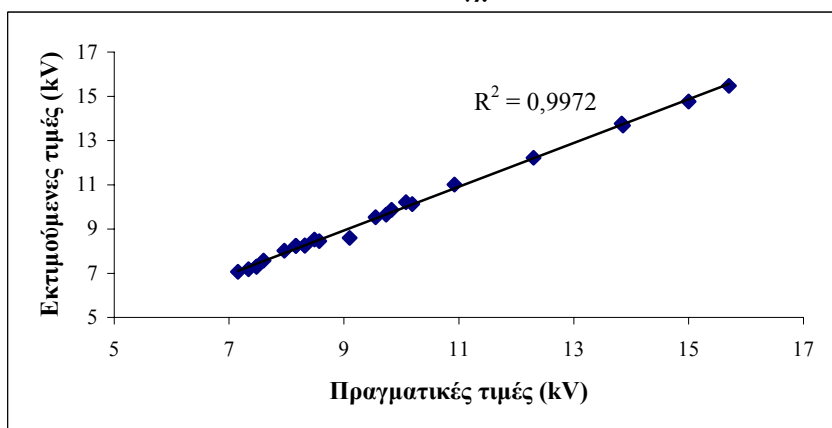


Σχήμα 6.48: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Ως συνάρτηση ενεργοποίησης επιλέγεται η υπερβολική εφαπτομένη και για τα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=1$, $b_1=0$, $a_2=0.4$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών τις 7000. Τότε, το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $1.1338 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $1.1916 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $0.3671 \cdot 10^{-4}$.

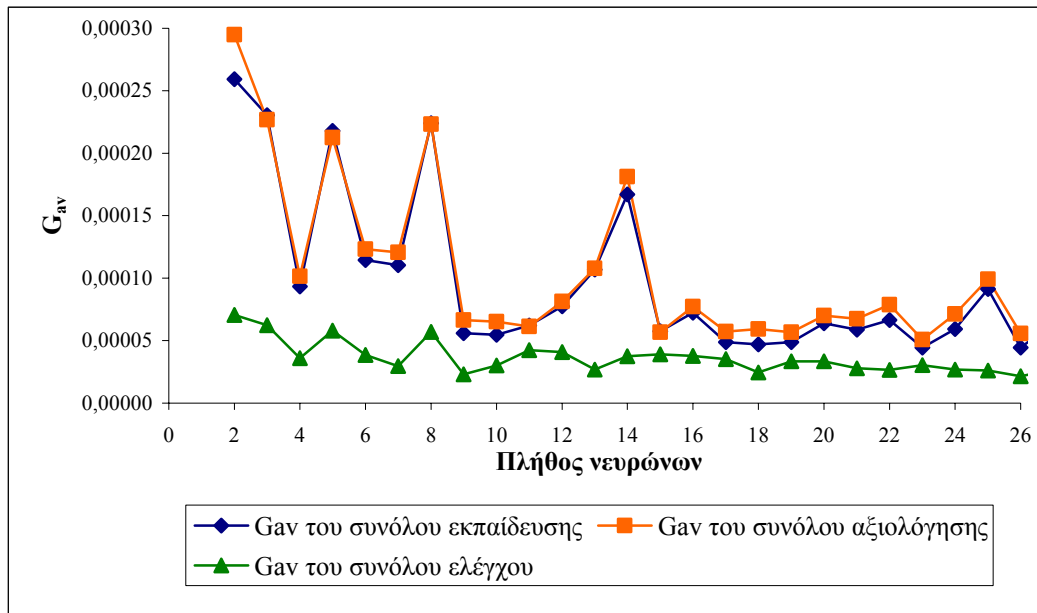


Σχήμα 6.49: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

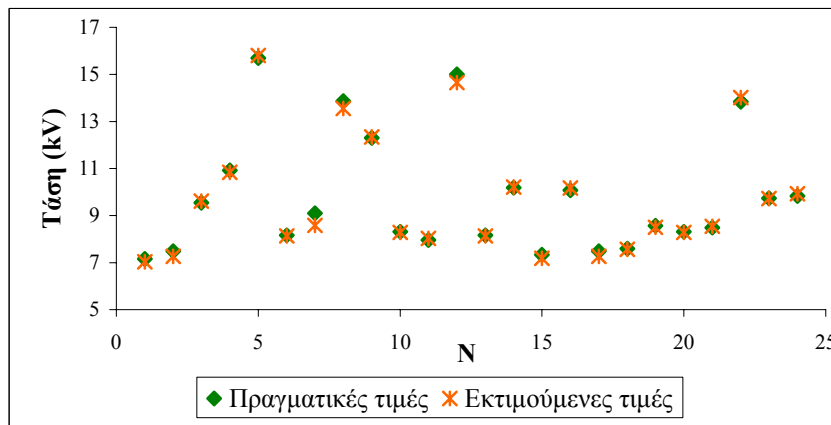


Σχήμα 6.50: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

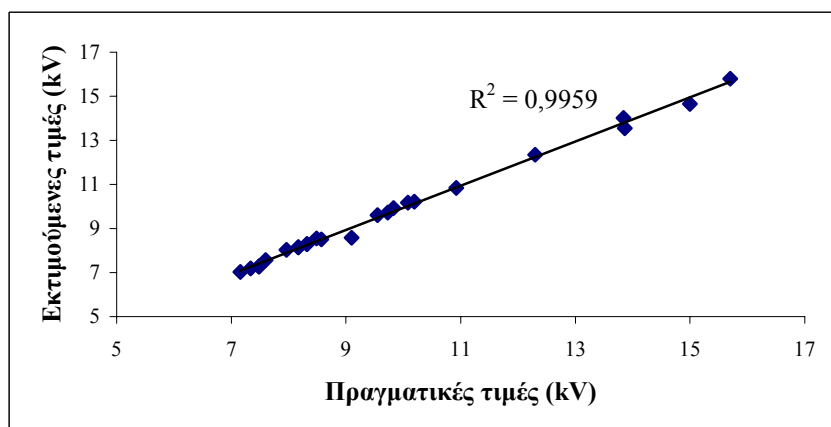
β. Κατόπιν δοκιμών, προέκυψαν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων s , T_{bv} , T_{trix} και e_{trix} οι οποίες είναι οι εξής: 0.2, 20, 50 και 0.000001 αντίστοιχα. Για το πλήθος των νευρώνων η βέλτιστη τιμή, όπως αυτή προκύπτει από το Σχήμα 6.51, είναι 15. Ως συνάρτηση ενεργοποίησης χρησιμοποιήθηκε η υπερβολική εφαπτομένη και στα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=1$, $b_1=0$, $a_2=0.8$, $b_2=0$ ενώ το μέγιστο πλήθος εποχών ορίστηκε στις 7000. Στα Σχήματα 6.52 και 6.53 που ακολουθούν φαίνεται η προσέγγιση που επιτυγχάνεται στα πραγματικά δεδομένα. Το G_{av} για τα τρία σύνολα είναι: $0.5700 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $0.5434 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $0.4441 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου.



Σχήμα 6.51: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.



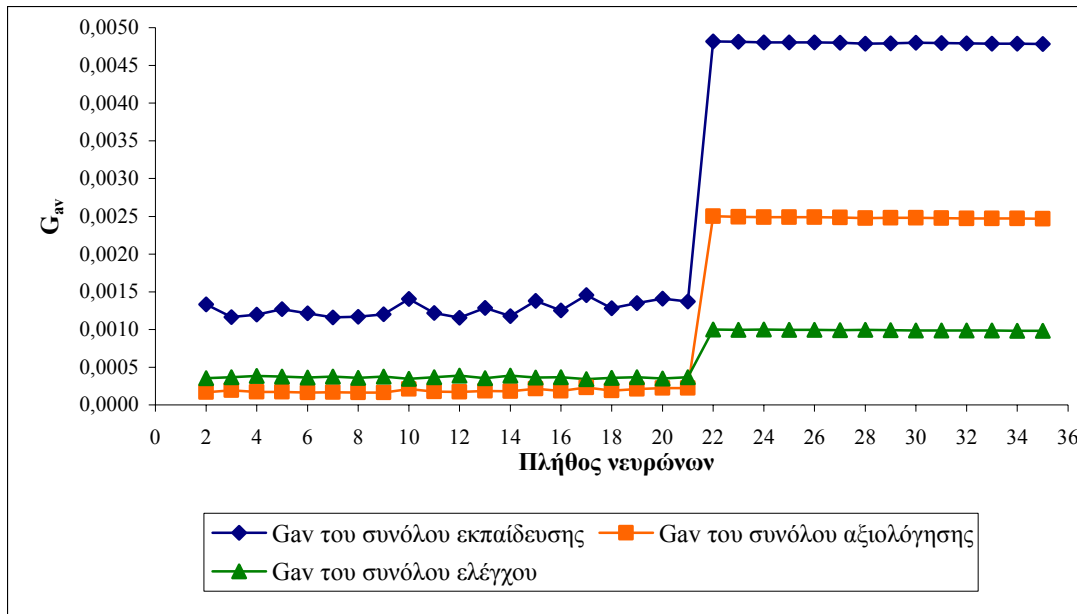
Σχήμα 6.52: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



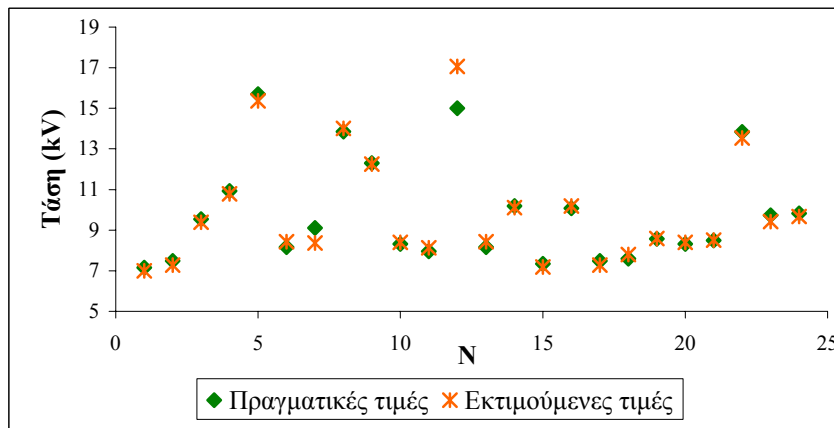
Σχήμα 6.53: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

6.2.8 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Fletcher-Reeves και επανεκκίνηση κατά Powell-Beale

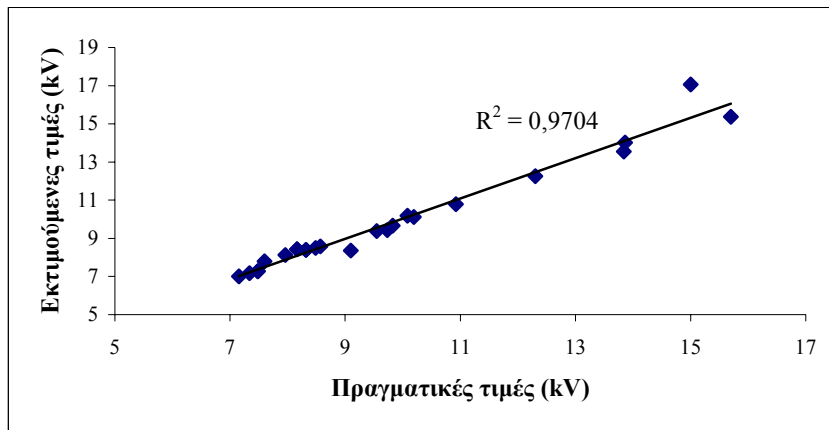
α. Και εδώ χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος για την εκπαίδευση του ΤΝΔ με τη διαφορά ότι εδώ έχει ενεργοποιηθεί η συμπληρωματική μέθοδος επανεκκίνησης κατά Powell-Beale (σχέση 3.54). Οι βέλτιστες τιμές για τις παραμέτρους του ΤΝΔ είναι οι εξής: $s=0.2$, $T_{bv}=20$, $T_{trix}=50$, $e_{trix}=0.000001$ και $N=9$. Ως συνάρτηση ενεργοποίησης χρησιμοποιήθηκε η υπερβολική εφαπτομένη και στα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=1.2$, $b_1=0$, $a_2=0.04$, $b_2=0$ ενώ το μέγιστο πλήθος εποχών ορίστηκε στις 7000. Το σφάλμα G_{av} είναι $12.409 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $1.6546 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $3.5029 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου.



Σχήμα 6.54: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

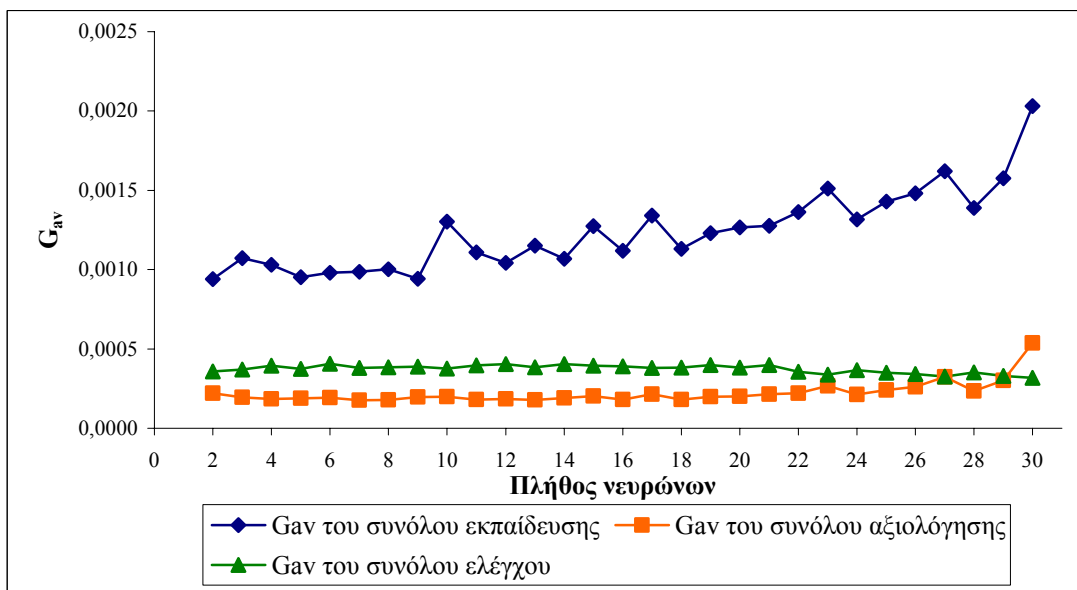


Σχήμα 6.55: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

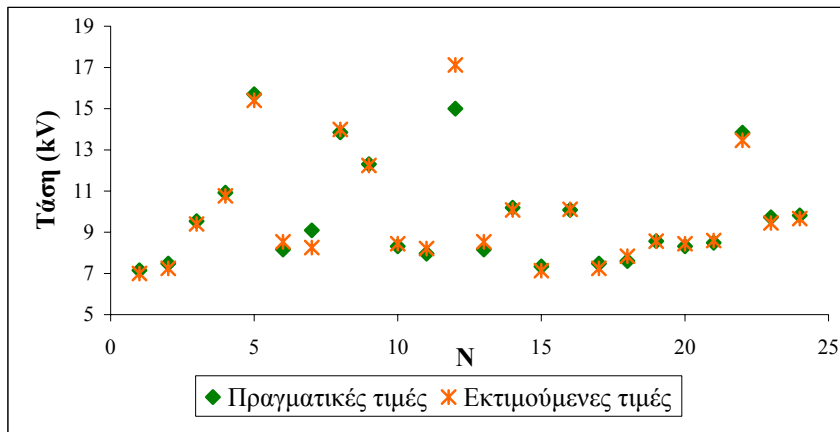


Σχήμα 6.56: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

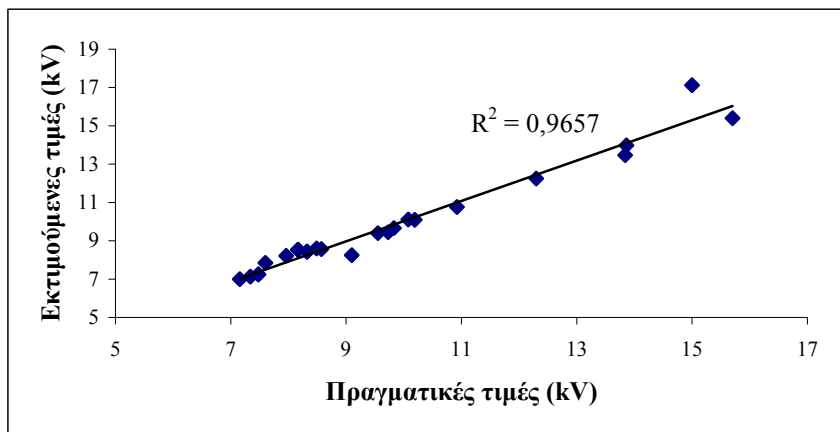
β. Οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του ΤΝΔ είναι: $s=0.2$, $T_{bv}=20$, $T_{trix}=50$, $e_{trix}=0.000001$, $N=7$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαπτομένης με παραμέτρους $a_1=1.0$, $b_1=0$, $a_2=0.07$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών: 7000. Τότε, το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $10.323 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $1.8298 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $3.9689 \cdot 10^{-4}$.



Σχήμα 6.57: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.



Σχήμα 6.58: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

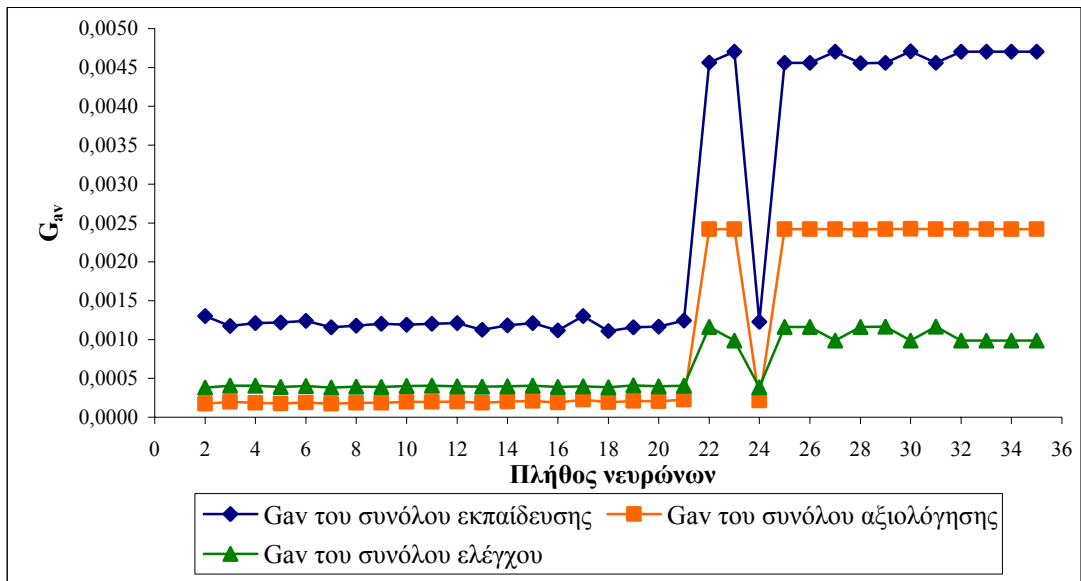


Σχήμα 6.59: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

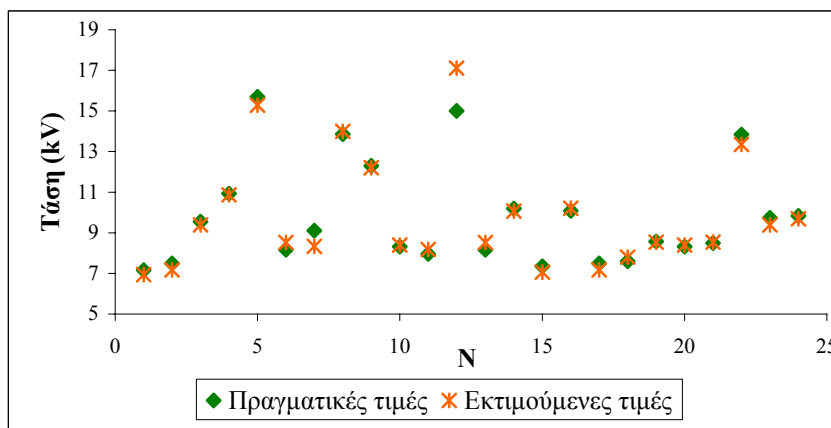
6.2.9 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Polak-Ribiere

Στην παρούσα μέθοδο εκπαίδευσης του ΤΝΔ, ο συντελεστής β_{k+1} προσδιορίζεται βάσει της σχέσης (3.53) ενώ, παράλληλα, δεν έχει ενεργοποιηθεί η συμπληρωματική μέθοδος επανεκκίνησης κατά Powell-Beale.

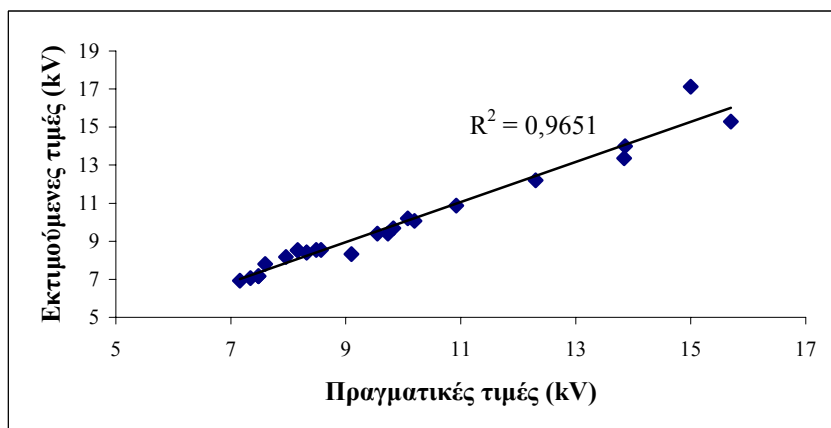
α. Με την επιλογή $s=0.2$, $T_{bv}=20$, $T_{trix}=50$, $e_{trix}=0.000001$, $N=7$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαπτομένης και για τα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=0.9$, $b_1=0$, $a_2=0.1$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών: 7000 επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα (με μέσο σφάλμα $G_{av} 12.231 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $1.9136 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $4.0413 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου).



Σχήμα 6.60: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

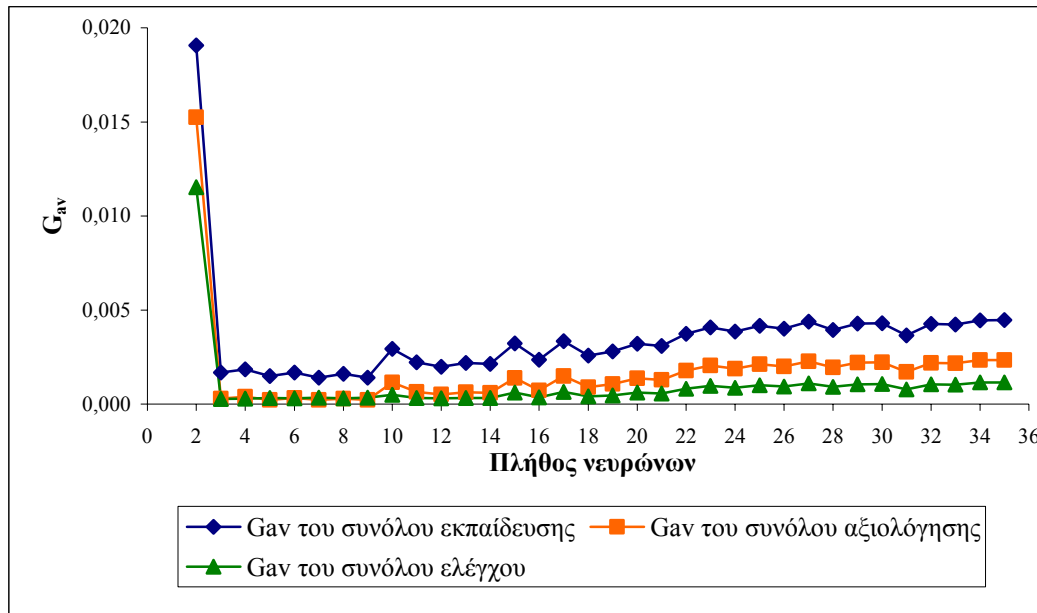


Σχήμα 6.61: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

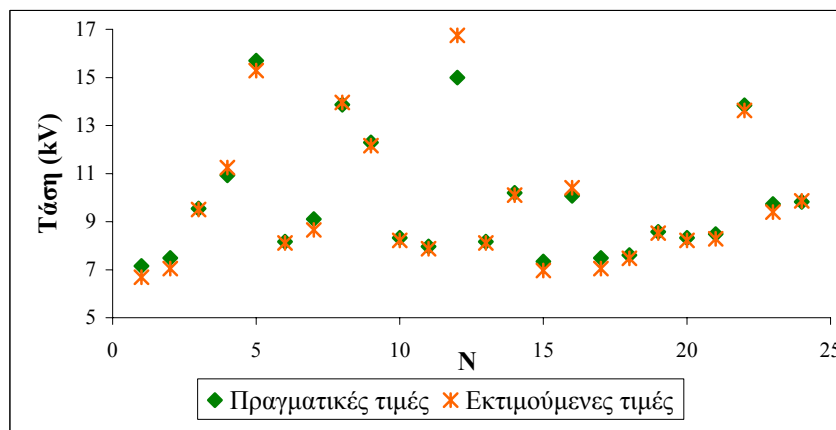


Σχήμα 6.62: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

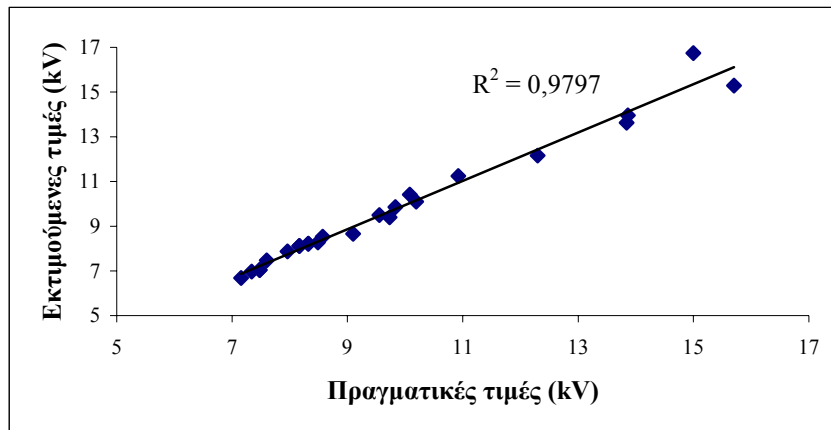
β. Κατόπιν δοκιμών προκύπτει ο βέλτιστος συνδυασμός των τιμών των παραμέτρων που είναι ο εξής: $s=0.2$, $T_{bv}=20$, $T_{trix}=50$, $e_{trix}=0.000001$, $N=7$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαπτομένης και για τα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=0.6$, $b_1=0$, $a_2=0.1$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών: 7000. Για τον συνδυασμό αυτόν το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $17.575 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $3.5162 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $2.9477 \cdot 10^{-4}$.



Σχήμα 6.63: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.



Σχήμα 6.64: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

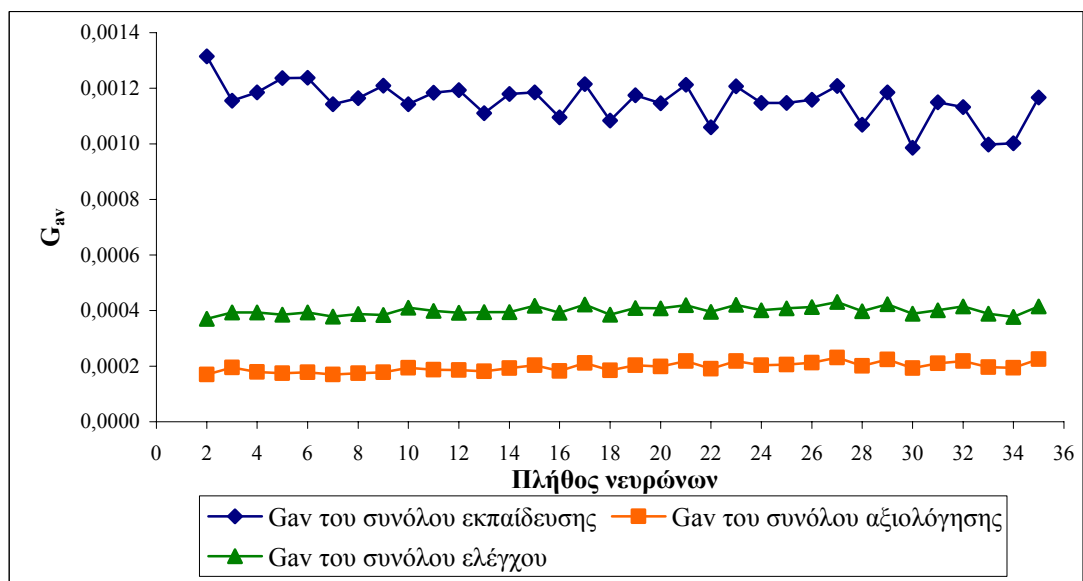


Σχήμα 6.65: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

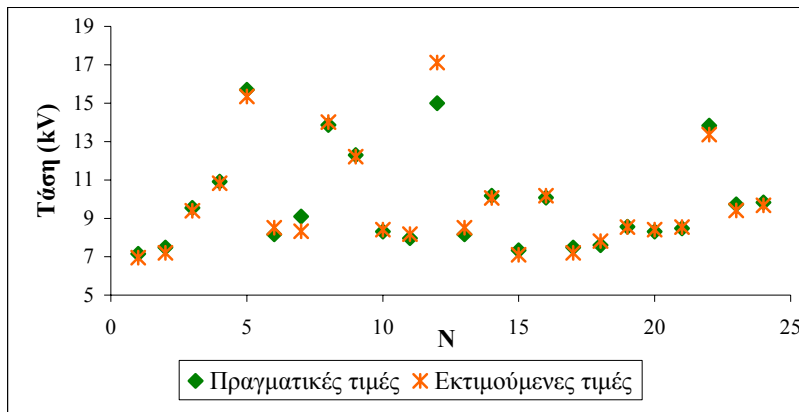
6.2.10 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση του αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Polak-Ribiere και επανεκκίνηση κατά Powell-Beale

Η μέθοδος που εφαρμόζεται για την εκπαίδευση του ΤΝΔ είναι ίδια με αυτήν της παραγράφου 6.2.9 μόνο που εδώ έχει ενεργοποιηθεί η επανεκκίνηση κατά Powell-Beale.

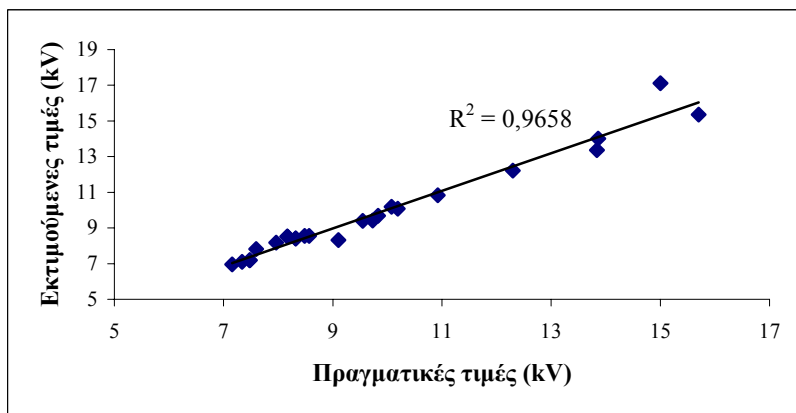
α. Οι τιμές των παραμέτρων $s=0.2$, $T_{bv}=20$, $T_{trix}=50$, $e_{trix}=0.000001$, $N=7$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαπτομένης και για τα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=1.2$, $b_1=0$, $a_2=0.1$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών: 7000 δίνουν το καλύτερο αποτέλεσμα με μέσο σφάλμα $11.935 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $1.8242 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $3.9699 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου.



Σχήμα 6.66: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

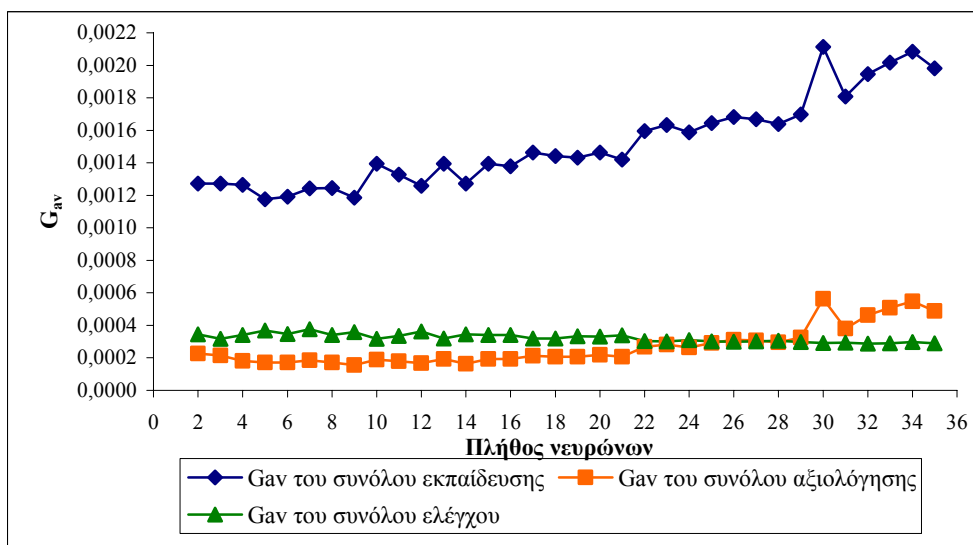


Σχήμα 6.67: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



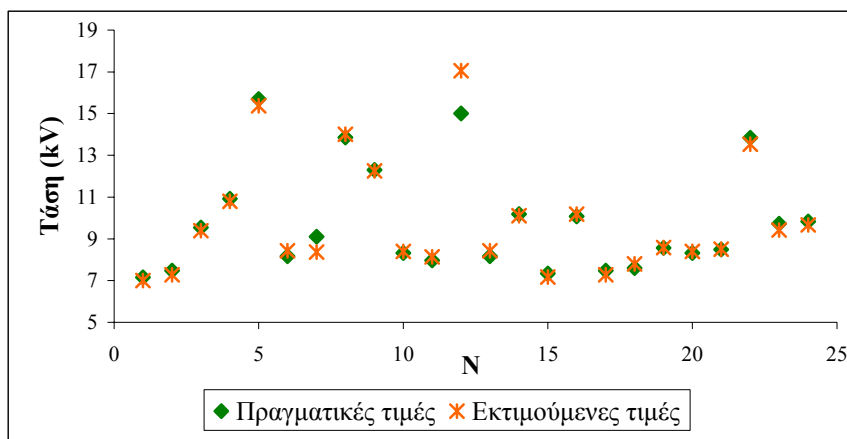
Σχήμα 6.68: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

β. Βέλτιστες τιμές των παραμέτρων: $s=0.2$, $T_{bv}=20$, $T_{trix}=50$, $e_{trix}=0.000001$, $N=9$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαστομένης και για τα δύο επίπεδα με παραμέτρους $\alpha_1=1.2$, $b_1=0$, $\alpha_2=0.04$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών: 7000.

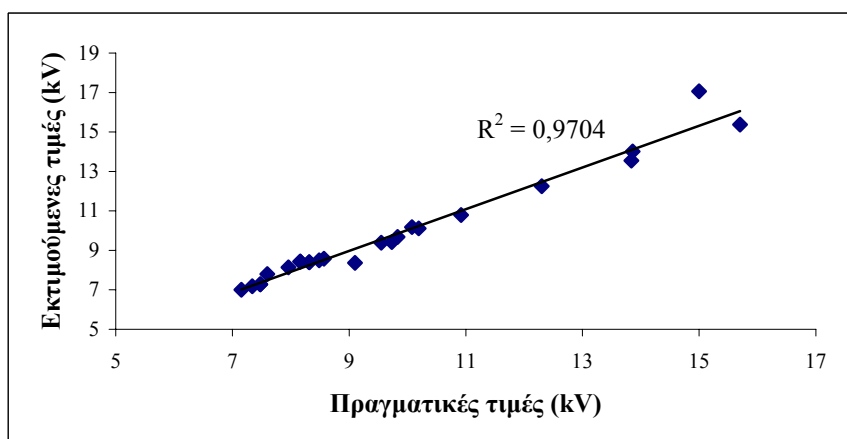


Σχήμα 6.69: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

Το σφάλμα G_{av} που προκύπτει από την προσέγγιση είναι: $12.409 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο εκπαίδευσης, $1.6546 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο αξιολόγησης και $3.5029 \cdot 10^{-4}$ για το σύνολο ελέγχου.



Σχήμα 6.70: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



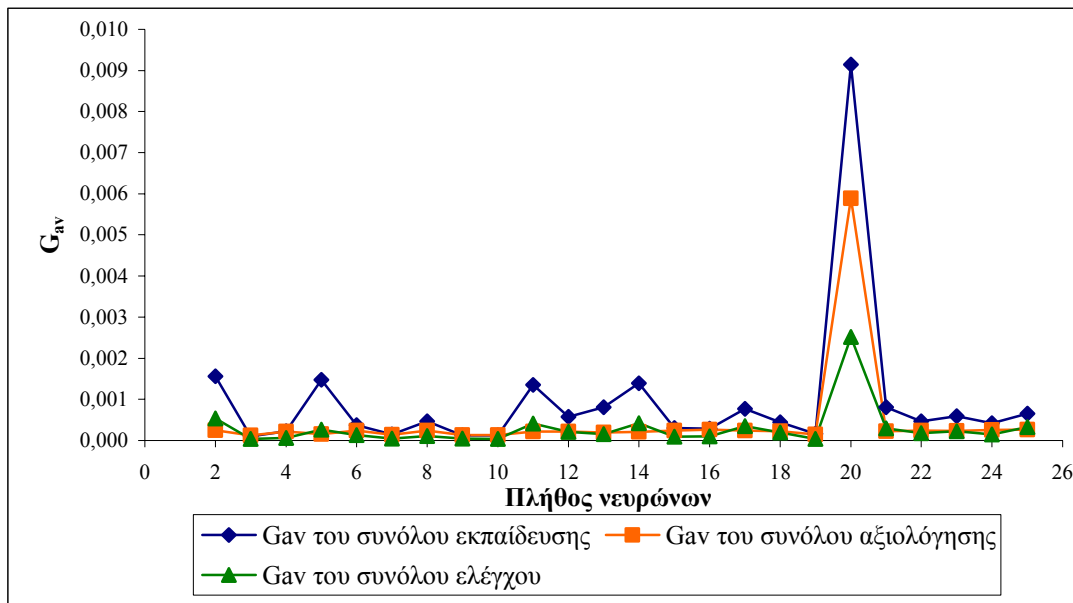
Σχήμα 6.71: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Τα αποτελέσματα των μεθόδων 7 έως και 10 για τις δύο περιπτώσεις α και β είναι σχεδόν ταυτόσημα. Η διαφορά που παρατηρείται είναι ότι όταν δε λαμβάνεται υπ' όψιν η μεταβολή της συνάρτησης σφάλματος, η συμπεριφορά του ΤΝΔ είναι λιγότερο σταθερή. Εναλλακτικά μπορεί να ειπωθεί ότι είναι πιο εύκολο να φανερωθεί ποια περίπτωση (συνδυασμός των τιμών των παραμέτρων) δίνει μικρότερο σφάλμα.

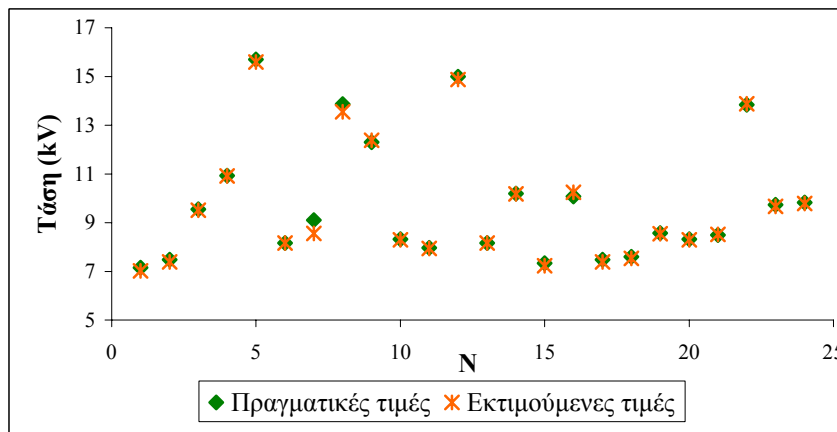
6.2.11 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του αλγορίθμου βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης

Η εκπαίδευσή του στηρίζεται στις σχέσεις (3.55) ως (3.65) με σειριακή παρουσίαση διανυσμάτων ανά εποχή. Οι παράμετροι προς προσδιορισμό είναι οι σ και λ_0 .

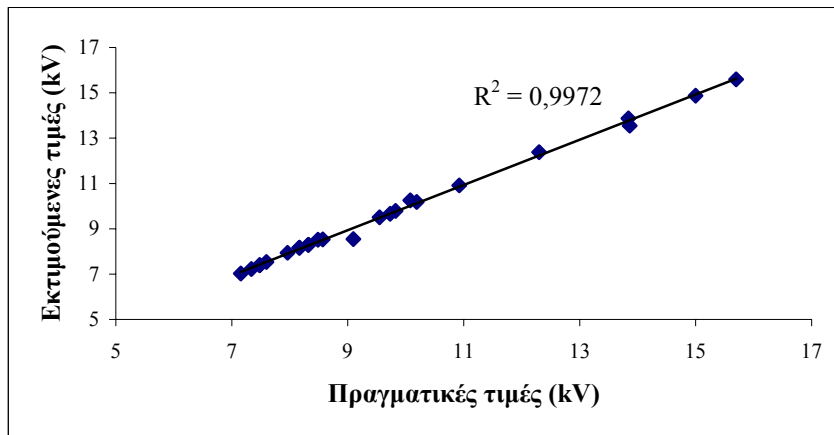
α. Στην παρούσα περίπτωση είναι $\sigma=10^{-5}$, $\lambda_0=5\cdot 10^{-8}$. Οι βέλτιστες τιμές των υπολοίπων παραμέτρων είναι: $N=3$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαπτομένης και για τα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=0.325$, $b_1=0$, $a_2=0.1$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών: 7000. Για τον συνδυασμό αυτόν το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $0.6138\cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $0.748\cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $0.3289\cdot 10^{-4}$.



Σχήμα 6.72: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.

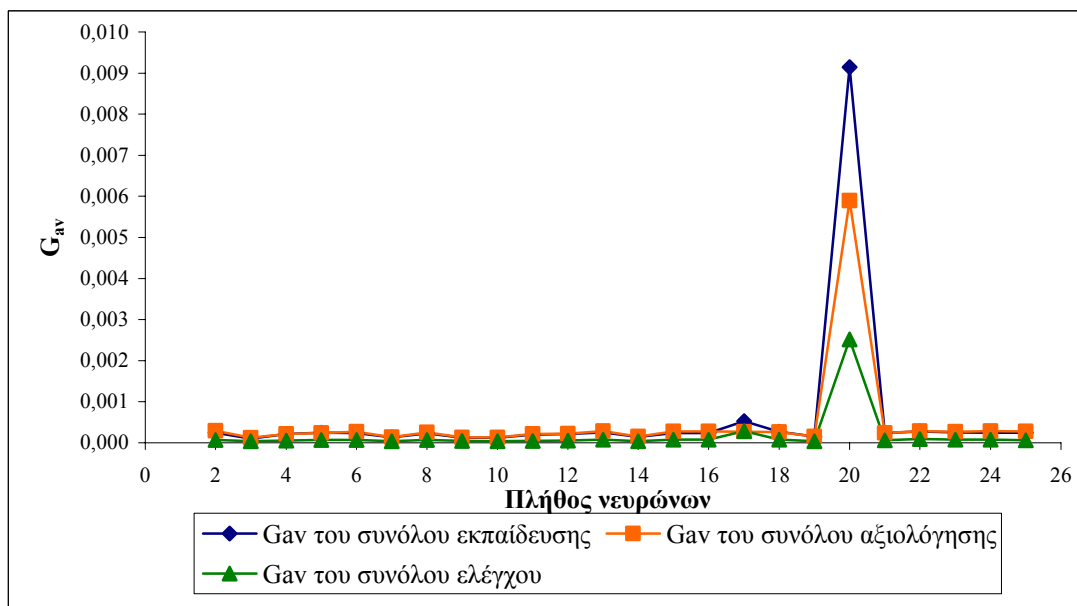


Σχήμα 6.73: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

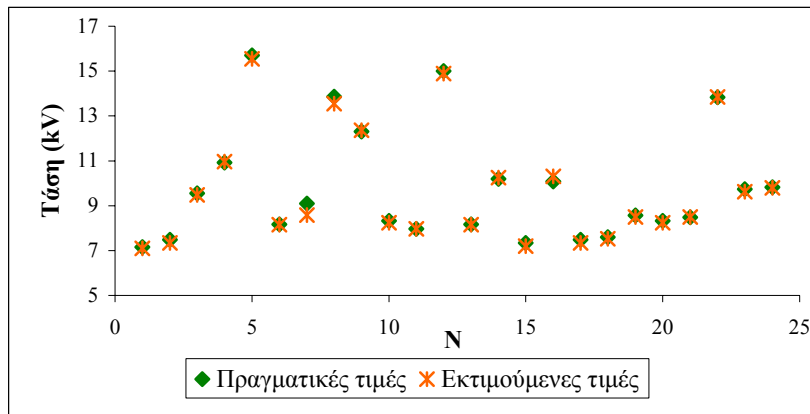


Σχήμα 6.74: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

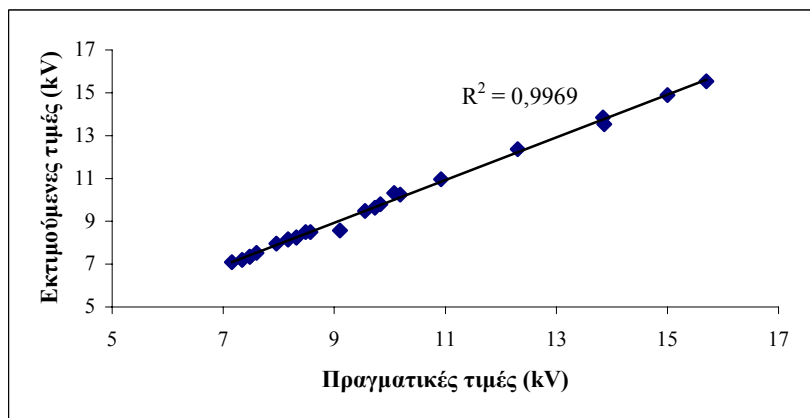
β. Οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων είναι: $\sigma=10^{-5}$, $\lambda_{\theta}=5 \cdot 10^{-8}$, $N=3$, συναρτήσεις ενεργοποίησης τύπου υπερβολικής εφαπτομένης και για τα δύο επίπεδα με παραμέτρους $a_1=0.35$, $b_1=0$, $a_2=0.2$, $b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών: 7000. Τότε, το σφάλμα του συνόλου εκπαίδευσης είναι $0.7959 \cdot 10^{-4}$, του συνόλου αξιολόγησης $0.9673 \cdot 10^{-4}$ και του συνόλου ελέγχου $0.3669 \cdot 10^{-4}$.



Σχήμα 6.75: Συγκριτικό διάγραμμα του G_{av} για τα σύνολα εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου για διάφορες τιμές στο πλήθος των νευρώνων.



Σχήμα 6.76: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



Σχήμα 6.77: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης.

Η συμπεριφορά του ΤΝΔ για τις περιπτώσεις α και β κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι σχεδόν η ίδια (τόσο το σφάλμα G_{av} των τριών συνόλων, όσο και η συσχέτιση μεταξύ πραγματικών και εκτιμούμενων τιμών είναι πολύ κοντά).

6.2.12 ΤΝΔ με εκπαίδευση ανά εποχή και χρήση του ευπροσάρμοστου αλγορίθμου εκπαίδευσης

Κατά την εκτέλεση του συγκεκριμένου αλγορίθμου εκπαίδευσης παρατηρείται έντονη ευαισθησία στις τιμές των παραμέτρων δ_1 και δ_2 της σχέσης (3.48). Για να επιτευχθεί η αριθμητική σύγκλιση, πρέπει η παράμετρος δ_2 να είναι διπλάσια με δεκαπλάσια από την δ_1 . Σε κάθε περίπτωση, όμως, η απόδοση του δικτύου δεν παρουσιάζει σημαντική βελτίωση, (για ΤΝΔ με 10 νευρώνες, συνάρτηση ενεργοποίησης και για τα δύο επίπεδα τύπου υπερβολικής εφαπτομένης με $a_1=a_2=0.2$, $b_1=b_2=0$ και μέγιστο πλήθος εποχών 5000). Οπότε πρακτικά η μέθοδος αυτή έχει αποτύχει στη συγκεκριμένη περίπτωση.

6.3 Σύγκριση ΤΝΔ

Στους πίνακες (6.1) και (6.2), που ακολουθούν, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης των ΤΝΔ με τις διάφορες μεθόδους που εφαρμόστηκαν. Από τις μεθόδους εκπαίδευσης στις οποίες γίνεται τυχαία παρουσίαση των προτύπων εκπαίδευσης (1 έως 3), τα καλύτερα αποτελέσματα για το πρόβλημα της εκτίμησης της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες τα αποκτούμε με την εφαρμογή της εκπαίδευσης ανά πρότυπο με χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής (συσχέτιση πραγματικών-εκτιμώμενων τιμών συνόλου ελέγχου: 0.9955). Από τις μεθόδους εκπαίδευσης στις οποίες γίνεται σειριακή παρουσίαση των προτύπων εκπαίδευσης (4 έως 12), ο αλγόριθμος βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης με εκπαίδευση ανά εποχή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα (συσχέτιση πραγματικών-εκτιμώμενων τιμών συνόλου ελέγχου: 0.9972). Και στις δύο μεθόδους, που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα, χρησιμοποιήθηκαν και τα τρία κριτήρια τερματισμού.

Πίνακας 6.1: Περιγραφή μεθόδων εκπαίδευσης ΤΝΔ.

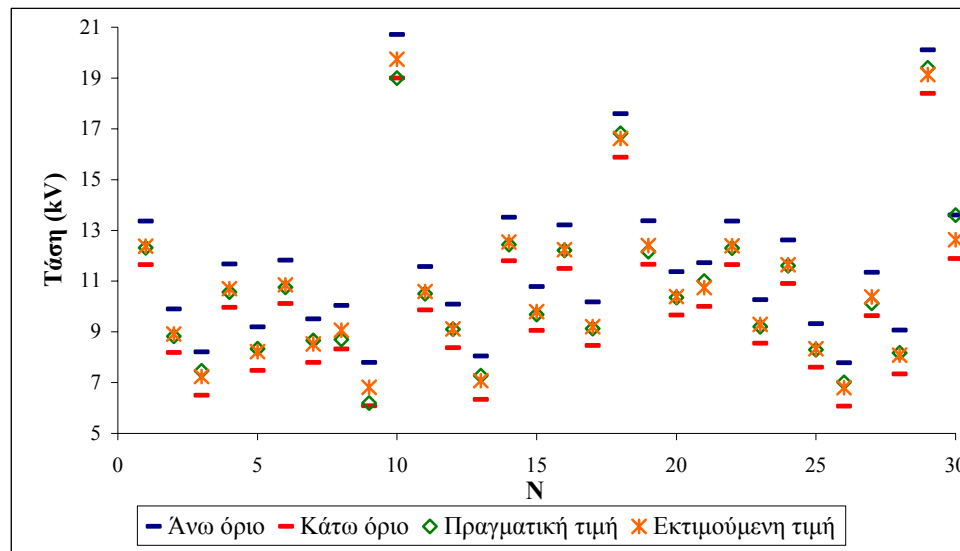
α/α	Περιγραφή μεθόδου εκπαίδευσης ΤΝΔ
1	Εκπαίδευση ανά πρότυπο, χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής (φθίνουσες εκθετικές συναρτήσεις)
2	Εκπαίδευση ανά πρότυπο, χρήση προσαρμοστικών κανόνων ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής
3	Εκπαίδευση ανά πρότυπο, χρήση σταθερού ρυθμού εκπαίδευσης
4	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση σταθερού ρυθμού εκπαίδευσης
5	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής
6	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση προσαρμοστικών κανόνων ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής
7	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Fletcher-Reeves
8	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Fletcher-Reeves, επανεκκίνηση Powell-Beale
9	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης κατά Polak-Ribiere
10	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση αλγορίθμου συζευγμένης μεταβολής κλίσης Polak-Ribiere, επανεκκίνηση Powell-Beale
11	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση αλγορίθμου βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης
12	Εκπαίδευση ανά εποχή, χρήση ευπροσάρμοστου αλγορίθμου

Πίνακας 6.2: Σύνοψη του μέσου σφάλματος G_{av} των συνόλων εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου και των παραμέτρων των ΤΝΔ για τις διάφορες μεθόδους εκπαίδευσής τους.

α/α μεθόδου εκπαίδευσης ΤΝΔ	G_{av} συνόλου εκπαίδευσης ($\times 10^{-4}$)	G_{av} συνόλου αξιολόγησης ($\times 10^{-4}$)	G_{av} συνόλου ελέγχου ($\times 10^{-4}$)	Νευρώνες	Συναρτήσεις ενεργοποίησης	Λοιπές παράμετροι
1α	3.0804	1.3118	0.5985	3	$f_1=\tanh(0.9x)$ $f_2=\tanh(0.4x)$	$\alpha_0=0.9, T_\alpha=1400, \eta_0=0.9,$ $T_\eta=1400, \max \text{ epochs}=7000$
1β	4.4282	3.0511	2.0614	3	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=\tanh(x)$	$\alpha_0=0.8, T_\alpha=1600, \eta_0=0.2,$ $T_\eta=400, \max \text{ epochs}=7000$
2α	3.1550	1.9373	1.2398	2	$f_1=\tanh(0.9x)$ $f_2=\tanh(0.5x)$	$\alpha_0=\eta_0=0.9, T_\alpha=1200,$ $T_\eta=800, \max \text{ epochs}=7000$
2β	2.6312	2.7941	0.7893	2	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=\tanh(x)$	$\alpha_0=0.4, T_\alpha=2800, \eta_0=0.1,$ $T_\eta=2600, \max \text{ epochs}=7000$
3α	12.356	1.9286	4.3687	3	$f_1=\tanh(0.9x)$ $f_2=\tanh(x)$	$\alpha_0=0.4, T_\alpha=1000, \eta_0=0.32,$ $T_\eta=1000, \max \text{ epochs}=7000$
3β	2.6369	2.5386	0.8043	3	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=1/(1+\exp(-0.6x))$	$\alpha_0=0.4, T_\alpha=1000, \eta_0=0.13,$ $T_\eta=1000, \max \text{ epochs}=7000$
4α	17.326	4.3633	3.7135	18	$f_1=\tanh(0.8x)$ $f_2=0.1x$	$\alpha_0=0.3, T_\alpha=2000, \eta_0=3,$ $T_\eta=2000, \max \text{ epochs}=5000$
4β	5.4084	3.5243	3.2704	21	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=0.5x$	$\alpha_0=0.3, T_\alpha=2000, \eta_0=3,$ $T_\eta=2000, \max \text{ epochs}=5000$
5α	189.24	151.28	114.66	21	$f_1=1/(1+\exp(-x))$ $f_2=0.25x$	$\alpha_0=0.4, T_\alpha=400, \eta_0=0.4,$ $T_\eta=200, \max \text{ epochs}=7000$
5β	13.875	3.2073	4.2328	21	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=1/(1+\exp(-x))$	$\alpha_0=0.9, T_\alpha=4800, \eta_0=0.9,$ $T_\eta=5600, \max \text{ epochs}=7000$
6α	15.205	3.7728	3.8267	21	$f_1=\tanh(0.9x)$ $f_2=0.2x$	$\alpha_0=0.9, T_\alpha=3000, \eta_0=0.8,$ $T_\eta=2600, \max \text{ epochs}=7000$
6β	8.0111	2.9104	4.0557	21	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=\tanh(0.9x)$	$\alpha_0=0.9, T_\alpha=5200, \eta_0=0.8,$ $T_\eta=5600, \max \text{ epochs}=7000$
7α	1.1338	1.1916	0.3671	10	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=\tanh(0.4x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
7β	0.5700	0.5434	0.4441	15	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=\tanh(0.8x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
8α	12.409	1.6546	3.5029	9	$f_1=\tanh(1.2x)$ $f_2=\tanh(0.04x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
8β	10.323	1.8298	3.9689	7	$f_1=\tanh(x)$ $f_2=\tanh(0.07x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
9α	12.231	1.9136	4.0413	7	$f_1=\tanh(0.9x)$ $f_2=\tanh(0.1x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
9β	17.575	3.5162	2.9477	7	$f_1=\tanh(0.6x)$ $f_2=\tanh(0.1x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
10α	11.935	1.8242	3.9699	7	$f_1=\tanh(1.2x)$ $f_2=\tanh(0.1x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
10β	12.409	1.6546	3.5029	9	$f_1=\tanh(1.2x)$ $f_2=\tanh(0.04x)$	$s=0.2, T_{bv}=20, T_{trix}=50,$ $e_{trix}=10^{-6}, \max \text{ epochs}=7000$
11α	0.6138	0.748	0.3289	3	$f_1=\tanh(0.325x)$ $f_2=\tanh(0.1x)$	$\sigma=10^{-5}, \lambda_0=5 \cdot 10^{-8},$ $\max \text{ epochs}=7000$
11β	0.7959	0.9673	0.3669	3	$f_1=\tanh(0.35x)$ $f_2=\tanh(0.2x)$	$\sigma=10^{-5}, \lambda_0=5 \cdot 10^{-8},$ $\max \text{ epochs}=7000$
12α-β	#	#	#	#	#	Πρακτική αδυναμία σύγκλισης

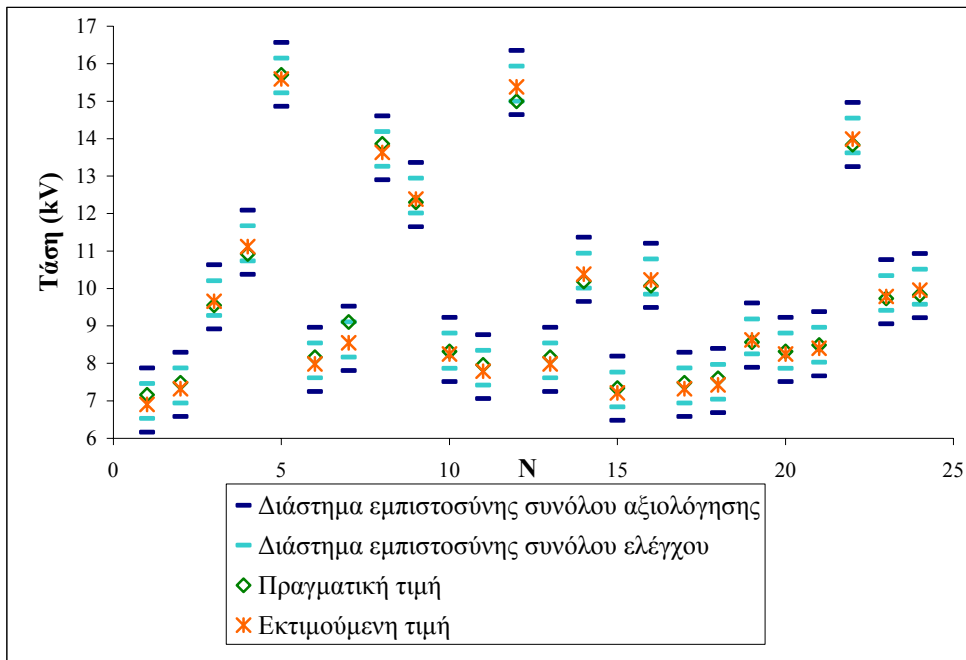
6.3.1 Διαστήματα εμπιστοσύνης

Πέρα από την εκπαίδευση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, προσδιορίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης των συνόλων εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου με πιθανότητα ουράς ίση με 5%, δηλαδή το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης να καλύπτει το 90% του πληθυσμού. Στο Σχήμα 6.78 φαίνονται σε κοινή γραφική παράσταση το άνω όριο, το κάτω όριο, η πραγματική τιμή και η εκτιμούμενη τιμή για τα δεδομένα του συνόλου αξιολόγησης για το ΤΝΔ που εκπαιδεύτηκε με την μέθοδο 1α. Όπως παρατηρούμε, οι εκτιμούμενες τιμές είναι αρκετά κοντά στις πραγματικές. Παράλληλα, τόσο οι πραγματικές όσο και οι εκτιμούμενες τιμές βρίσκονται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης.



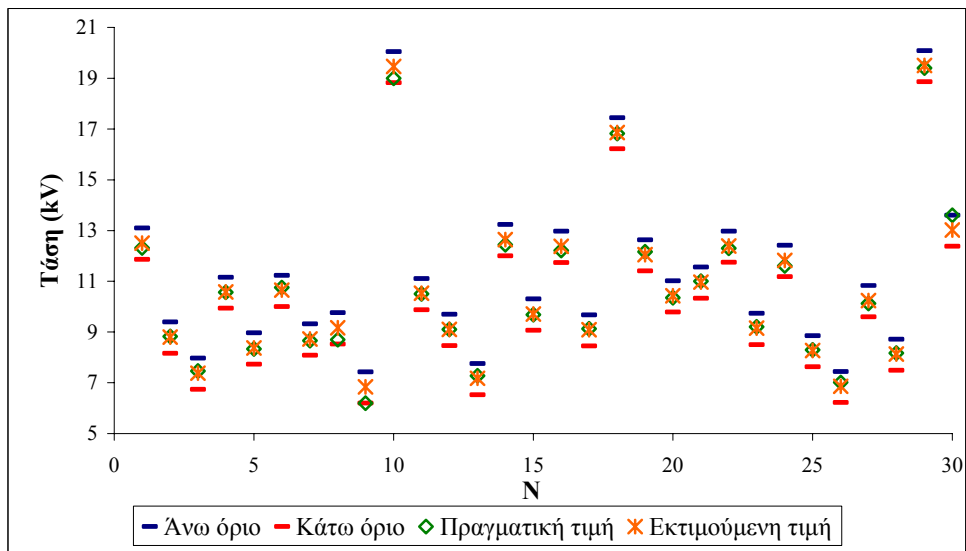
Σχήμα 6.78: Γραφική παράσταση των πραγματικών τιμών, των εκτιμούμενων τιμών και των ορίων του συνόλου αξιολόγησης για διάστημα εμπιστοσύνης με 5% πιθανότητα ουράς για τη μέθοδο εκπαίδευσης 1α.

Εν συνεχεία (Σχήμα 6.79) φαίνονται οι πραγματικές και οι εκτιμούμενες τιμές και το άνω και το κάτω όριο του συνόλου ελέγχου. Στην ίδια γραφική σημειώνονται και τα όρια του συνόλου αξιολόγησης. Είναι προφανές ότι η περιοχή του συνόλου ελέγχου είναι πιο στενή από την περιοχή του συνόλου αξιολόγησης, γεγονός που υποδηλώνει ότι, αν η εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης των μονωτήρων γινόταν μόνο βάσει των δεδομένων του συνόλου αξιολόγησης (μια προσέγγιση πολύ κοντά στην πραγματικότητα, αφού υπό πραγματικές συνθήκες επίλυσης του προβλήματος πρόβλεψης δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων το διάστημα εμπιστοσύνης του συνόλου ελέγχου), η προσέγγιση θα ήταν ακριβής.



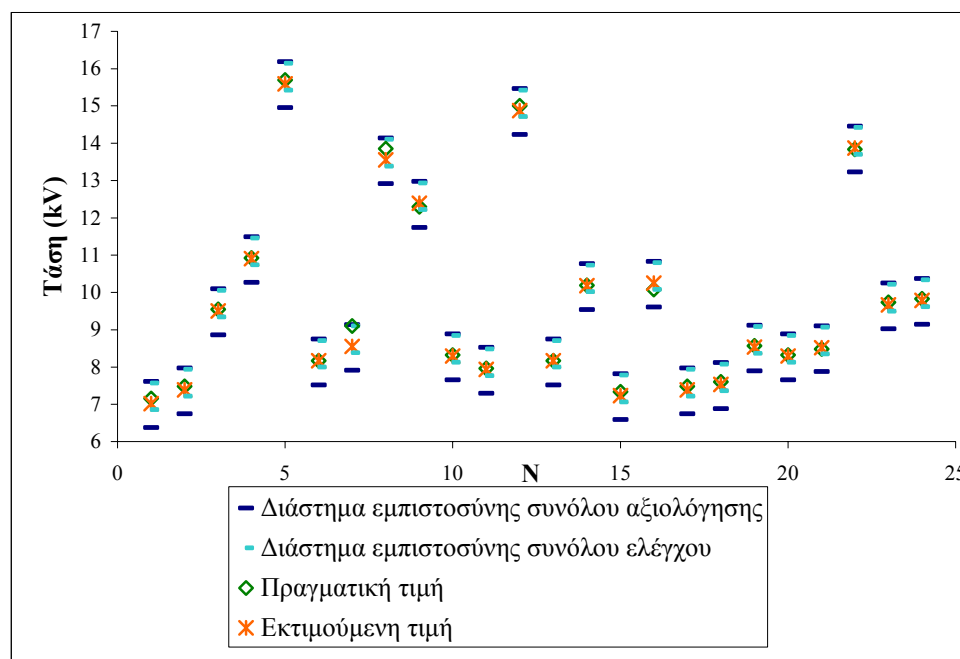
Σχήμα 6.79: Γραφική παράσταση των πραγματικών τιμών, των εκτιμώμενων τιμών και των ορίων των συνόλων ελέγχου και αξιολόγησης για διάστημα εμπιστοσύνης με 5% πιθανότητα ουράς για τη μέθοδο εκπαίδευσης 1α.

Στα Σχήματα 6.80 και 6.81, που ακολουθούν, φαίνονται οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις για το ΤΝΔ που εκπαιδεύτηκε με την μέθοδο 11α. Όπως παρατηρούμε (Σχήμα 6.80), και εδώ οι εκτιμώμενες τιμές του συνόλου ελέγχου είναι αρκετά κοντά στις πραγματικές, ενώ τόσο οι πραγματικές όσο και οι εκτιμώμενες τιμές βρίσκονται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης.



Σχήμα 6.80: Γραφική παράσταση των πραγματικών τιμών, των εκτιμώμενων τιμών και των ορίων του συνόλου αξιολόγησης για διάστημα εμπιστοσύνης με 5% πιθανότητα ουράς για τη μέθοδο εκπαίδευσης 11α.

Εν συνεχεία (Σχήμα 6.81) φαίνονται οι πραγματικές και οι εκτιμούμενες τιμές και το άνω και το κάτω όριο του συνόλου ελέγχου. Στην ίδια γραφική σημειώνονται και τα όρια του συνόλου αξιολόγησης. Και εδώ η περιοχή του συνόλου ελέγχου είναι πιο στενή από την περιοχή του συνόλου αξιολόγησης, γεγονός που υποδηλώνει ότι, αν η εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης των μονωτήρων γινόταν μόνο βάσει των δεδομένων του συνόλου αξιολόγησης, η προσέγγιση θα ήταν ακριβής.



Σχήμα 6.81: Γραφική παράσταση των πραγματικών τιμών, των εκτιμούμενων τιμών και των ορίων των συνόλων ελέγχου και αξιολόγησης για διάστημα εμπιστοσύνης με 5% πιθανότητα σφαλμάτων για τη μέθοδο εκπαίδευσης 11α.

6.4 Ανακεφαλαίωση

Προκειμένου να γίνει μία εκτίμηση της τιμής της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης των μονωτήρων, εφαρμόζονται διάφοροι αλγόριθμοι εκπαίδευσης ΤΝΔ. Κατόπιν διεξοδικής σύγκρισης των αποτελεσμάτων των μεθόδων αυτών διαπιστώθηκε ποια από αυτές παρέχει την καλύτερη προσέγγιση. Τελικά, η εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής (φθίνουσες εκθετικές συναρτήσεις) και ο αλγόριθμος βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης με εκπαίδευση ανά εποχή (με χρήση και των τριών κριτηρίων τερματισμού) δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 7

Αποτελέσματα Ασαφούς Λογικής

7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της Ασαφούς Λογικής για την πρόβλεψη της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες.

7.2 Μέθοδοι εκπαίδευσης

Τα τέσσερα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν ένα ασαφές μοντέλο είναι τα εξής:

- Ασαφοποίηση: οι μη ασαφείς τιμές των μεταβλητών μετατρέπονται σε ασαφείς με τη χρήση της συνάρτησης συμμετοχής (τριγωνική).
- Βάση κανόνων: σύνολο ασαφών κανόνων που περιγράφουν την αλληλεξάρτηση των διαφόρων γλωσσικών μεταβλητών και έχουν την ακόλουθη δομή:

EAN A_1 είναι x_1 ΚΑΙ ... ΚΑΙ EAN A_N είναι x_N ΤΟΤΕ B είναι y

όπου A_1, \dots, A_N : μεταβλητές εισόδου, x_1, \dots, x_N : ασαφείς τιμές των μεταβλητών A_1, \dots, A_N αντίστοιχα, B : μεταβλητή εξόδου και y : ασαφής τιμή της μεταβλητής εξόδου.

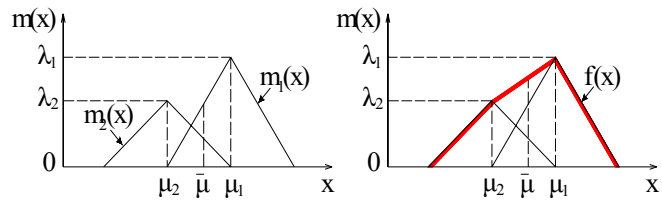
- Μηχανισμός εξαγωγής συμπεράσματος: περιλαμβάνει τρία διαδοχικά βήματα [63]:

- i) Για κάθε κανόνα μίας εισόδου-μίας εξόδου εφαρμόζεται ο κανόνας σύνθεσης γινομένου (Larsen-Max Product Implication), που ουσιαστικά είναι η συνάρτηση συμμετοχής
- ii) Υπολογίζεται η τιμή του βαθμού πλήρωσης (DOF - degree of fulfillment), δηλαδή ο προηγούμενος κανόνας σύνθεσης για περισσότερες της μίας εισόδους.

Ο g -κανόνας για το k -διάνυσμα προσδιορίζεται ως:

$$dof_g = m_{A_1, I_{1,g}}(x_{1k}) \cdots m_{A_N, I_{N,g}}(x_{Nk})$$

- iii) Η τελική συνάρτηση της μεταβλητής εξόδου παράγεται βάσει των κανόνων και της μεθόδου της περιβάλλουσας, για την περίπτωση δύο γειτονικών ενεργοποιημένων τριγώνων, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 7.1: Διαμόρφωση της συνάρτησης συμμετοχής της μεταβλητής εξόδου.

- Αποασαφοποίηση: οι πιο κοινές μέθοδοι αποασαφοποίησης είναι το κριτήριο του μεγίστου, της μέσης τιμής του μεγίστου και του κέντρου βάρους (COG—center of gravity— ή COA—center of area). Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος του βαθμού πλήρωσης, το κριτήριο του κέντρου βάρους (βλ. σχέση 4.23) είναι το καταλληλότερο. Η επιφάνεια της οποίας το κέντρο βάρους υπολογίζουμε είναι αυτή που έχει προκύψει από το βήμα (iii) του μηχανισμού εξαγωγής συμπεράσματος. Η μέθοδος του κέντρου βάρους δίνει μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα εν συγκρίσει με τη μέθοδο του μεγίστου [60].

Τα βασικά βήματα για τον υπολογισμό της εκτίμησης της τιμής της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης μονωτήρων με χρήση ασαφούς λογικής περιλαμβάνουν τα εξής:

1. για κάθε μεταβλητή εισόδου καθορίζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των συναρτήσεων συμμετοχής που, για τις τριγωνικές συναρτήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται εδώ, είναι το εύρος της βάσης των τριγώνων και το πλήθος τους,
2. αφού καθοριστούν το πλήθος t των τριγώνων (3, 5, 7 ή 9) και το εύρος της βάσης κάθε τριγώνου, υπολογίζεται το κέντρο c_j του μεσαίου τριγώνου της μεταβλητής p_j βάσει της σχέσης:

$$c_j = \sum_{k=1}^Y p_{jk} / Y \quad (7.1)$$

καθώς επίσης και η αρχική τιμή του εύρους της βάσης των τριγώνων b_{jl} βάσει της σχέσης:

$$b_{jl} = 2 \left(\max_{k=1, \dots, Y} p_{jk} - \min_{k=1, \dots, Y} p_{jk} \right) / (t_j - 1) \quad (7.2)$$

όπου Y είναι το πλήθος των διανυσμάτων που διαθέτουμε ως δεδομένα εκπαίδευσης.

Εναλλακτικά, το κέντρο c_j του μεσαίου τριγώνου μπορεί να προσδιοριστεί από οριζόμενες από το χρήστη τιμές ως:

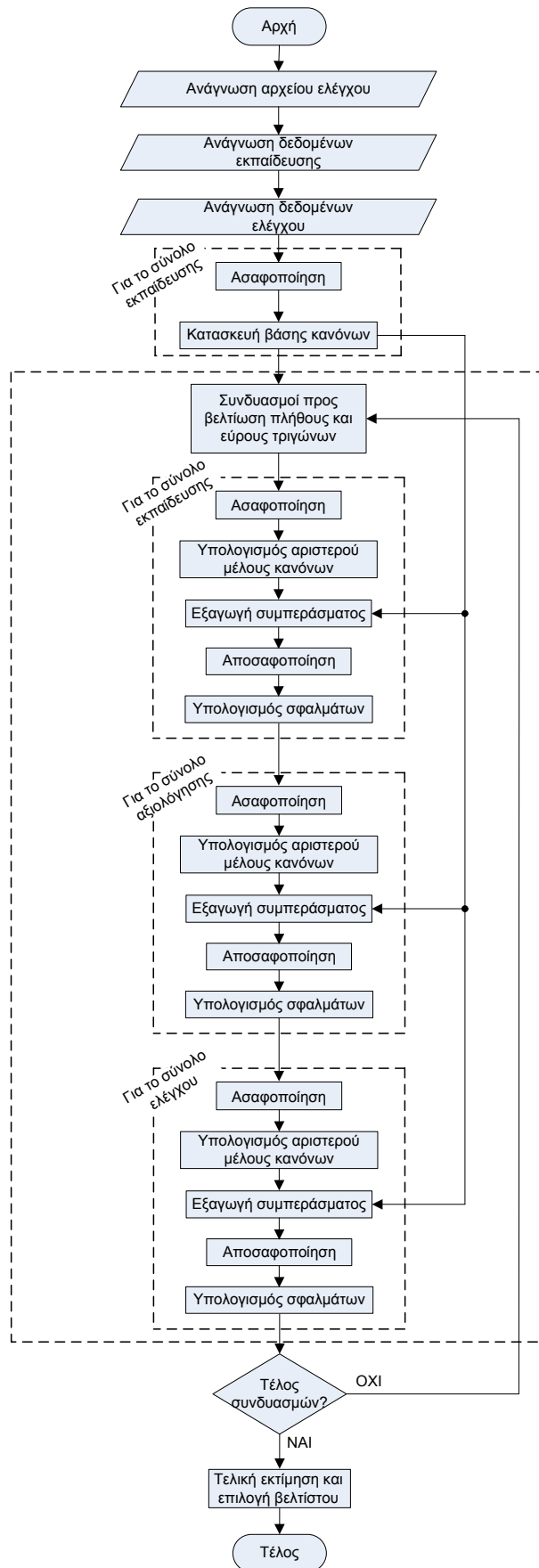
$$c_j = (\max \{p_{jk}\} - \min \{p_{jk}\}) / 2 \quad (7.3)$$

Ακολουθώς, το εύρος της βάσης των τριγώνων μεταβάλλεται κατά $\pm a\%$ με βήμα $s\%$, ενόσω το κέντρο του μεσαίου τριγώνου παραμένει σταθερό. Άρα, το πλήθος των τριγώνων για κάθε μεταβλητή είναι: $h = 2\lceil a/s \rceil + 1$. Συνεπώς, για n μεταβλητές εισόδου, το πλήθος των δυνατών συνδυασμών είναι h^n .

3. πραγματοποιείται η ασαφοποίηση των τιμών των μεταβλητών
4. παράγονται οι κανόνες που θα αποτελέσουν τη βάση κανόνων. Η παραγωγή των κανόνων αυτών γίνεται μέσω της μεθόδου των βαρών ως εξής: για τους διάφορους συνδυασμούς υπολογίζεται η ασαφής τιμή της εξόδου του συνόλου εκπαίδευσης βάσει του μηχανισμού εξαγωγής συμπεράσματος. Υποθέτουμε ότι σε κάθε ασαφή τιμή εξόδου αντιστοιχεί ένα βάρος, για παράδειγμα οι αριθμοί 1, 2, 3, 4, 5 αντιστοιχούν στις ασαφείς τιμές «Πολύ Αρνητικό», «Αρνητικό», «Μηδέν», «Θετικό», «Πολύ Θετικό». Αν για έναν κανόνα οι ασαφείς τιμές της εξόδου εμφανίζονται με την ακόλουθη συχνότητα: ΠΑ(1), Α(3), Μ(2), Θ(2), ΠΘ(2), τότε η τιμή της εξόδου θα ήταν «Αρνητικό» αν ως κριτήριο χρησιμοποιείτο η μέγιστη συχνότητα. Με τη διαδικασία χρήσης των βαρών η έξοδος είναι: $(1 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 5) / (1 + 3 + 2 + 2 + 2) = 3.1$, δηλαδή «Μηδέν». Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ασαφής τιμή της εξόδου για κάθε κανόνα είναι εκείνη με τη μεγαλύτερη αξία σύμφωνα με τη διαδικασία εκπαίδευσης.

Εν συνεχεία, τα στοιχεία του συνόλου αξιολόγησης χρησιμοποιούνται ώστε να καθοριστεί το αριστερό μέλος των κανόνων και να παραχθούν οι αντίστοιχες τιμές της εξόδου. Με την εφαρμογή του μηχανισμού εξαγωγής συμπεράσματος και της μεθόδου κέντρου βάρους παράγονται οι μη ασαφείς τιμές της εξόδου, οι οποίες, στη συνέχεια, συγκρίνονται με τις αντίστοιχες πραγματικές ώστε να εκτιμηθεί η ακρίβεια της επιτυγχανόμενης προσέγγισης και να συγκριθούν τα αποτελέσματα των διαφόρων συνδυασμών προς επιλογή του καταλληλότερου.

Στο σχήμα που έπεται (Σχήμα 7.1) φαίνεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της τιμής της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης με χρήση ασαφούς λογικής. Μελετήθηκαν διάφορες παραλλαγές της βασικής μεθόδου εξαγωγής συμπερασμάτων της ασαφούς λογικής και διαπιστώθηκε ποια δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 7.2: Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες με χρήση ασαφούς λογικής.

Πιο συγκεκριμένα, για την εξαγωγή του ολικού συμπεράσματος του ασαφούς συστήματος ακολουθούνται τρεις μέθοδοι:

1. το συνολικό συμπέρασμα είναι εκείνο που εμφανίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα,
2. το συνολικό συμπέρασμα προκύπτει ως ένας σταθμισμένος μέσος όρος βάσει της

σχέσης: $y = \frac{\sum f_i y_i}{\sum f_i}$ (με στρογγυλοποίηση), όπου f_i είναι η συχνότητα εμφάνισης

της τιμής y_i της εξόδου και

3. για τη διαμόρφωση του αποτελέσματος συμμετέχουν δύο τρίγωνα με βάση το σταθμισμένο μέσο όρο χωρίς στρογγυλοποίηση (για παράδειγμα, αν η έξοδος βρεθεί ότι ανήκει στο τρίγωνο 2.75 με τη 2^η μέθοδο θα γίνει η στρογγυλοποίηση στην τιμή 3, ενώ με την 3^η μέθοδο στην διαμόρφωση της τελικής τιμής της εξόδου θα συνεισφέρει το 3^ο τρίγωνο κατά 75% και το 2^ο τρίγωνο κατά 25%).

Για κάθε μια απ' αυτές τις μεθόδους εξετάζονται δύο υποπεριπτώσεις που αφορούν στον προσδιορισμό του κέντρου του μεσαίου τριγώνου:

- α. είτε ως η μέση τιμή των τιμών του συνόλου εκπαίδευσης,
- β. είτε ορίζεται εξωτερικά με βάση τα διαστήματα που εισάγει ο χρήστης του προγράμματος.

Στις παραγράφους 7.2.1 έως 7.2.3 που ακολουθούν, φαίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των περιπτώσεων αυτών.

7.2.1 Επιλογή εξόδου με βάση τη μέγιστη συχνότητα

α. Προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός πλήθους τριγώνων για κάθε μία από τις 5 μεταβλητές εισόδου και για την μεταβλητή εξόδου, γίνεται ένα τρέξιμο του προγράμματος μεταβάλλοντας το πλήθος των τριγώνων ταυτόχρονα και για τις 6 μεταβλητές από 3 έως 9 και κρατώντας σταθερό το εύρος της βάσης των τριγώνων και πραγματοποιώντας $2^{12}=4096$ διαφορετικές εκτελέσεις. Κάθε φορά υπολογίζεται η συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμώμενων τιμών, η οποία χρησιμοποιείται ως κριτήριο επιλογής. Για να διευρύνουμε τα αποτελέσματα σε παραπάνω από ένα συνδυασμούς εκτελούμε την εξής σύγκριση: κατ' αρχάς βρίσκουμε για ποιον συνδυασμό μεγιστοποιείται η συσχέτιση του συνόλου εκπαίδευσης και του συνόλου αξιολόγησης. Κατόπιν διερευνούμε ποιοι άλλοι συνδυασμοί δίνουν ικανοποιητική συσχέτιση π.χ. άνω του 95% και στο σύνολο

εκπαίδευσης και στο σύνολο αξιολόγησης. Δεν στηριζόμαστε μονάχα στο σύνολο αξιολόγησης λόγω του μικρού του μεγέθους. Ο συνδυασμός και των δύο κρίνεται πιο ασφαλής και στις δύο περιπτώσεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο καταλήγουμε ότι τα παραπάνω ικανοποιούνται από τον εξής συνδυασμό: 3-3-3-3-5-9 0.88 για το σύνολο εκπαίδευσης και 0.87 για το σύνολο αξιολόγησης.

Στη συνέχεια, προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη τιμή του εύρους και του πλήθους των τριγώνων για κάθε μία μεταβλητή, διατηρούμε σταθερές τις τιμές αυτές για όλες τις μεταβλητές εκτός από μία. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία αυτή για κάθε μία μεταβλητή διατηρώντας πάντα τη βέλτιστη τιμή του πλήθους και του εύρους των τριγώνων που έχουμε υπολογίσει νωρίτερα για τις προηγούμενες μεταβλητές.

Στον πίνακα που φαίνεται στη συνέχεια συνοψίζονται τα αποτελέσματα των διαδοχικών τρεξιμάτων για τη συγκεκριμένη μέθοδο.

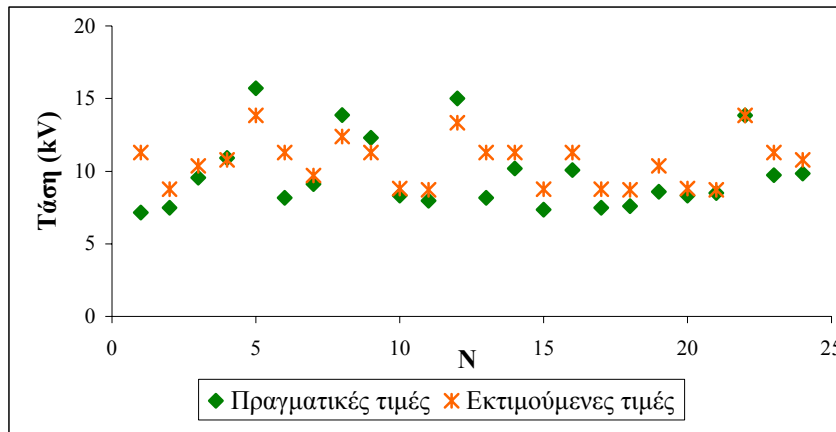
Πίνακας 7.1: Συνοψιση διαδοχικών τρεξιμάτων για την εύρεση της βέλτιστης τιμής του εύρους και του πλήθους των τριγώνων για κάθε μεταβλητή χωριστά.

	x_1	x_2	x_3
	$h_1=[3, 5, 7, 9], \alpha_1=50\%,$ $s_1=5\%, h_2=3, h_3=3,$ $h_4=3, h_5=5, h_6=9,$ $\alpha_2=\alpha_3=\alpha_4=\alpha_5=\alpha_6=0$	$h_1=5, \alpha_1=-15\%,$ $h_2=[3, 5, 7, 9], \alpha_2=50\%,$ $s_2=5\%, h_3=3, h_4=3, h_5=5,$ $h_6=9, \alpha_3=\alpha_4=\alpha_5=\alpha_6=0$	$h_1=5, \alpha_1=-15\%, h_2=3,$ $\alpha_2=0, h_3=[3, 5, 7, 9],$ $\alpha_3=50\%, s_3=5\%, h_4=3,$ $h_5=5, h_6=9, \alpha_4=\alpha_5=\alpha_6=0$
Βέλτιστη επιλογή	$h_1=5, \alpha_1=-15\%$	$h_2=3, \alpha_2=0$	$h_3=3, \alpha_3=0$
	x_4	x_5	y
	$h_1=5, \alpha_1=-15\%, h_2=3,$ $\alpha_2=0, h_3=3, \alpha_3=0,$ $h_4=[3, 5, 7, 9], \alpha_4=50\%,$ $s_4=5\%, h_5=5, h_6=9,$ $\alpha_5=\alpha_6=0$	$h_1=5, \alpha_1=-15\%, h_2=3,$ $\alpha_2=0, h_3=3, \alpha_3=0, h_4=3,$ $\alpha_4=-20\%, h_5=[3, 5, 7, 9],$ $\alpha_5=50\%, s_5=5\%, h_6=9,$ $\alpha_6=0$	$h_1=5, \alpha_1=-15\%, h_2=3,$ $\alpha_2=0, h_3=3, \alpha_3=0, h_4=3,$ $\alpha_4=-20\%, h_5=5,$ $\alpha_5=25\%, h_6=[3, 5, 7, 9],$ $\alpha_6=50\%, s_6=5\%$
Βέλτιστη επιλογή	$h_4=3, \alpha_4=-20\%$	$h_5=5, \alpha_5=25\%$	$h_6=9, \alpha_6=0$

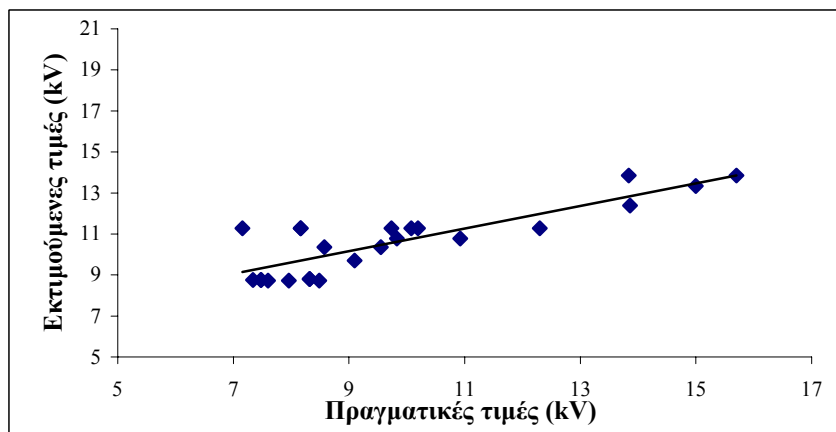
Επειδή ορισμένοι συνδυασμοί οδηγούν σε παραπλήσια αποτελέσματα, μετά τις ξεχωριστές εκτελέσεις για κάθε μία μεταβλητή ακολουθεί μία τελική διερεύνηση συγχρόνως όλων των «ισοδύναμων» συνδυασμών και των γειτονικών τους. Για το τελικό τρέξιμο επιλέχθηκαν οι εξής τιμές των παραμέτρων: $h_1=5, \alpha_1=-15\%, h_2=3, \alpha_2=0, h_3=3, \alpha_3=0, h_4=3, \alpha_4=-20\%, h_5=5, \alpha_5=25\%, h_6=9, \alpha_6=0$. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης για το σύνολο ελέγχου φαίνονται στα Σχήματα 7.1 και 7.2. Τότε, η τιμή της συσχέτισης μεταξύ πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών είναι 0.84.

Σε όλα τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε μία πόλωση (ένα συστηματικό σφάλμα), γεγονός που οδηγεί σε μη μηδενικό μέσο σφάλμα. Για να αποφευχθεί αυτό,

προσθέτουμε σε κάθε μία από τις εκτιμούμενες τιμές της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης την πόλωση αυτή όπως προέκυψε για τα δεδομένα του συνόλου εκπαίδευσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε μηδενικό μέσο σφάλμα χωρίς όμως αυτό να επηρεάζει την τιμή της συσχέτισης.



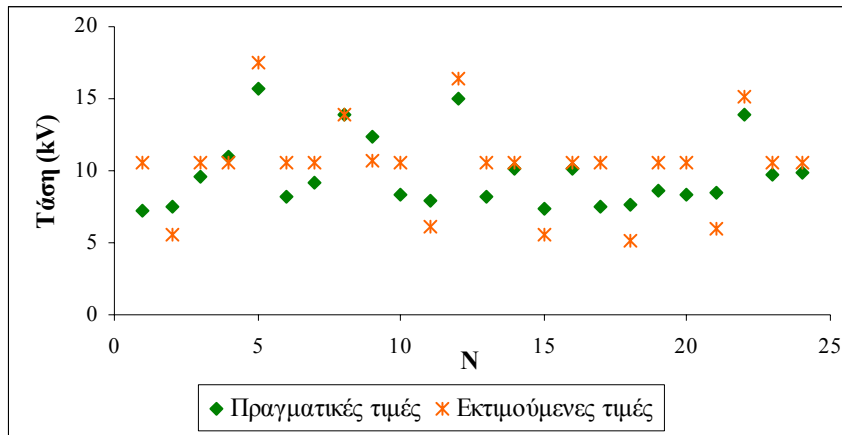
Σχήμα 7.3: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



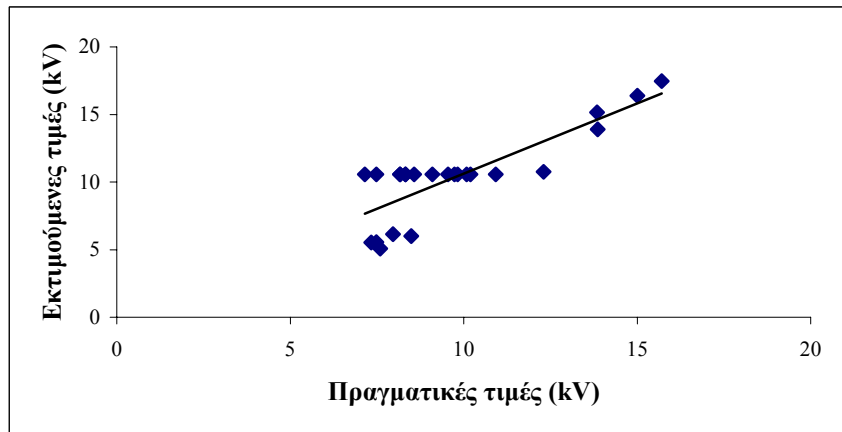
Σχήμα 7.4: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

β. Ανάλογη διαδικασία με αυτήν που περιγράφηκε προηγουμένως ακολουθείται και σ' αυτήν την περίπτωση, γι' αυτό και παραλείπεται.

Επιλέγοντας τις τιμές: $h_1=9$, $\alpha_1=35\%$, $h_2=3$, $\alpha_2=0$, $h_3=3$, $\alpha_3=0$, $h_4=5$, $\alpha_4=15\%$, $h_5=7$, $\alpha_5=15\%$, $h_6=5$, $\alpha_6=35\%$ για τις παραμέτρους, η προσέγγιση που επιτυγχάνεται μας δίνει συσχέτιση 0.83 μεταξύ πραγματικών και εκτιμούμενων τιμών.



Σχήμα 7.5: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

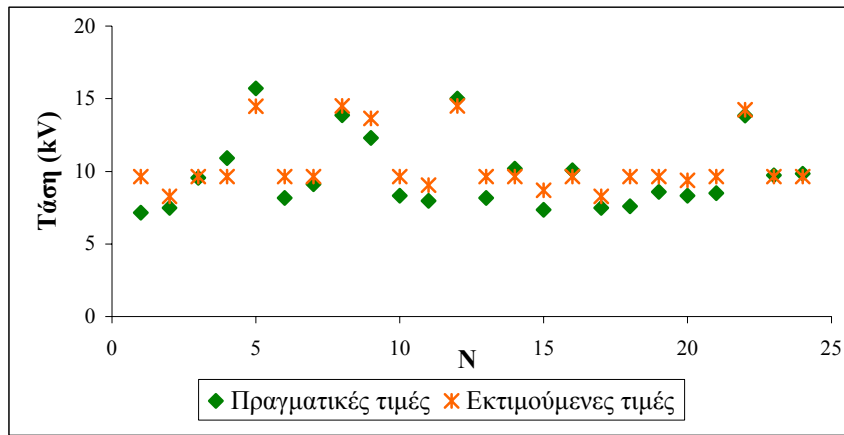


Σχήμα 7.6: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

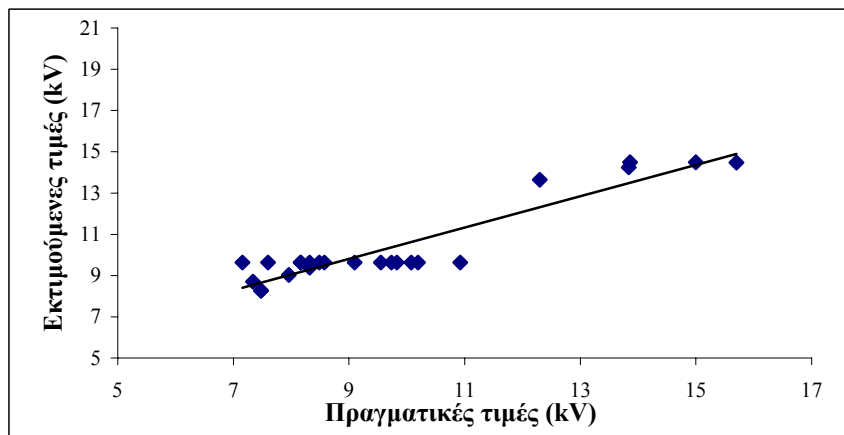
Όπως παρατηρούμε, η εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης που επιτυγχάνεται από τις δύο περιπτώσεις (**α** και **β**) είναι περίπου ίδια. Ωστόσο, συγκρίνοντας τα Σχήματα 7.3 και 7.4 με τα Σχήματα 7.5 και 7.6, είναι προφανές ότι τα αποτελέσματα της περίπτωσης **α** είναι καλύτερα.

7.2.2 Επιλογή εξόδου με στρογγυλοποιημένο μέσο όρο

α. Η βέλτιστη επιλογή παραμέτρων για την περίπτωση αυτή είναι η εξής: $h_1=5$, $\alpha_1=5\%$, $h_2=3$, $\alpha_2=0$, $h_3=3$, $\alpha_3=0$, $h_4=9$, $\alpha_4=5\%$, $h_5=9$, $\alpha_5=0$, $h_6=5$, $\alpha_6=-5\%$. Τότε η συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου είναι ίση προς 0.93.

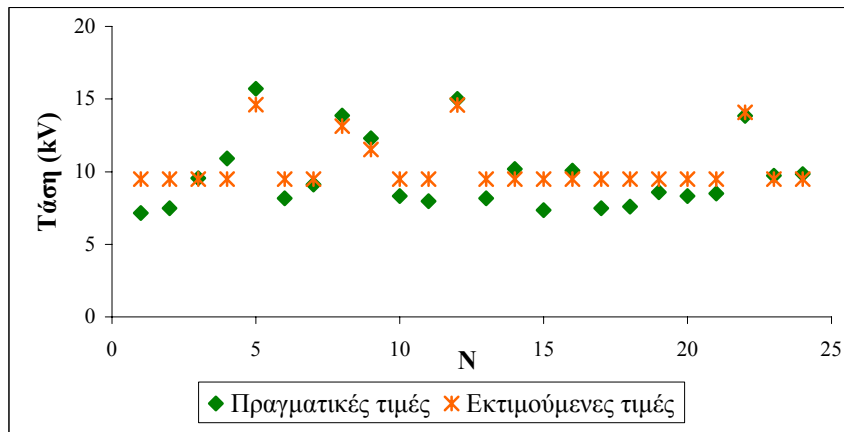


Σχήμα 7.7: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

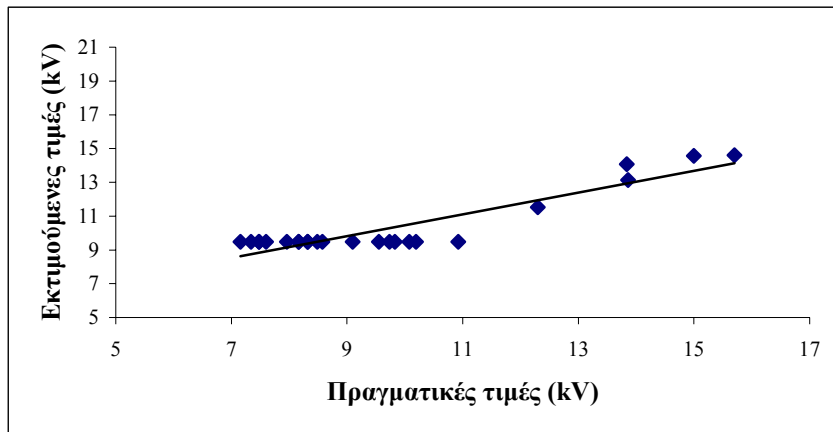


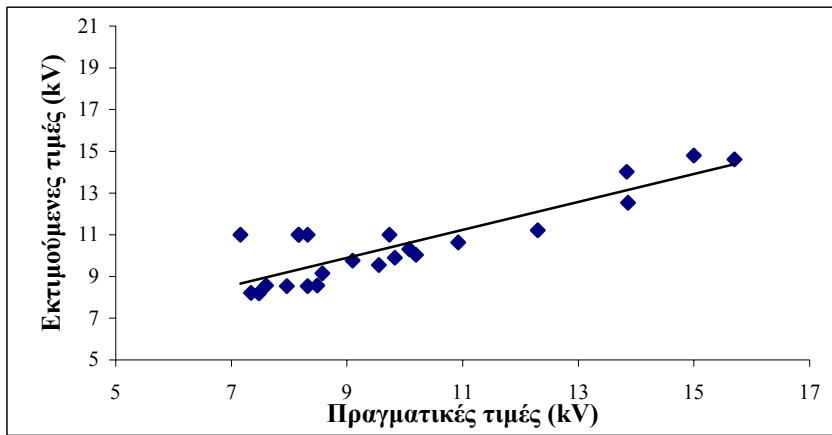
Σχήμα 7.8: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

β. Με την επιλογή: $h_1=3$, $\alpha_1=25\%$, $h_2=3$, $\alpha_2=-30\%$, $h_3=3$, $\alpha_3=25\%$, $h_4=5$, $\alpha_4=0$, $h_5=9$, $\alpha_5=45\%$, $h_6=5$, $\alpha_6=5\%$ επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα που δίνει συσχέτιση 0.91 μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών.



Σχήμα 7.9: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

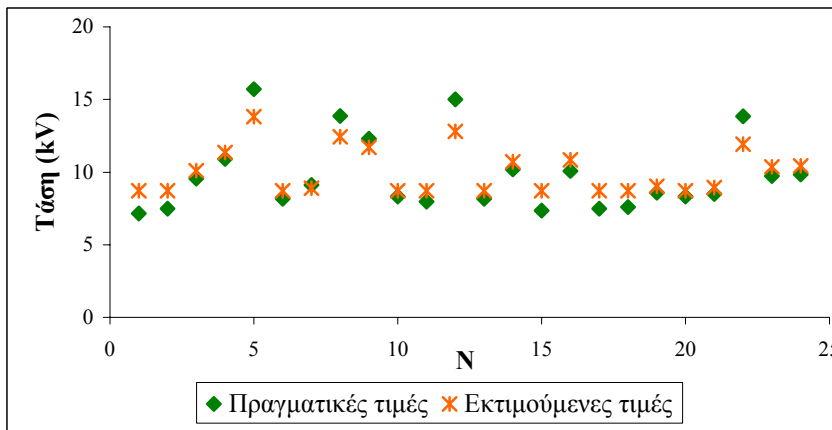




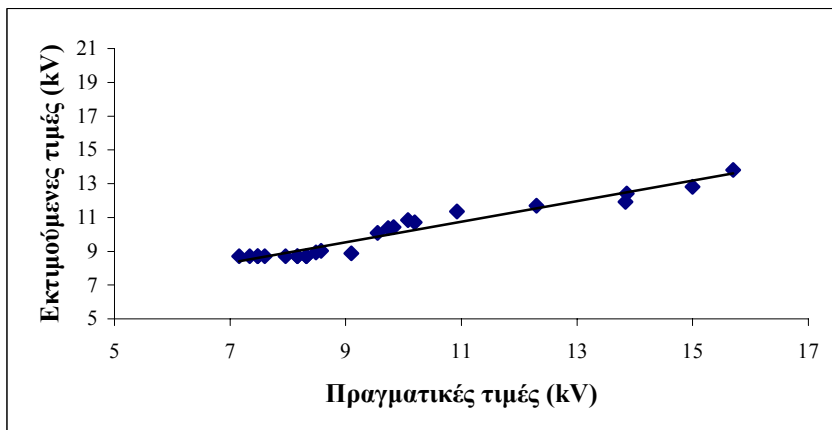
Σχήμα 7.12: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

Η τιμή της συσχέτισης σε αυτήν την περίπτωση είναι 0.87.

β. Για $h_1=3$, $\alpha_1=0$, $h_2=3$, $\alpha_2=0$, $h_3=3$, $\alpha_3=0$, $h_4=9$, $\alpha_4=0$, $h_5=9$, $\alpha_5=-5\%$, $h_6=3$, $\alpha_6=-40\%$ η συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης είναι η μεγαλύτερη δυνατή και ίση προς 0.97.



Σχήμα 7.13: Πραγματικές και εκτιμούμενες τιμές για την κρίσιμη τάση υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.



Σχήμα 7.14: Συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών και των εκτιμούμενων τιμών της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης του συνόλου ελέγχου.

Κρίνοντας από την τιμή της συσχέτισης για το σύνολο ελέγχου όπως αυτή προκύπτει για τις δύο περιπτώσεις, η καλύτερη εκτίμηση επιτυγχάνεται από την περίπτωση β .

7.3 Σύγκριση μεθόδων Ασαφούς Λογικής

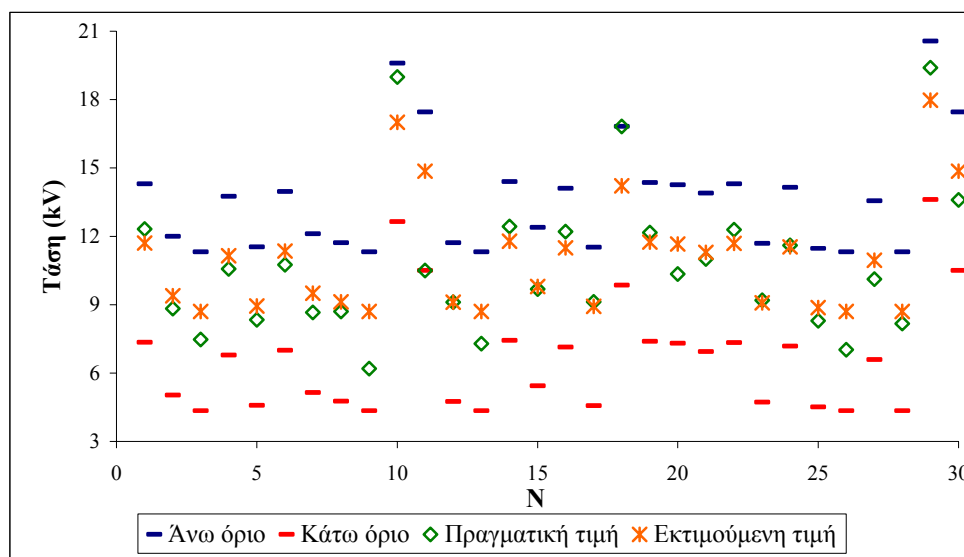
Στον πίνακα 7.2 που ακολουθεί συνοψίζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής μεθόδων Ασαφούς Λογικής στο πρόβλημα της εκτίμησης της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης μονωτήρων. Καλύτερα αποτελέσματα παίρνουμε για τις δύο πρώτες μεθόδους όταν ο υπολογισμός για την εύρεση της κορυφής του μεσαίου τριγώνου γίνεται βάσει της μέσης τιμής των τιμών του συνόλου εκπαίδευσης (περίπτωση α) και όχι όταν ορίζεται εξωτερικά με βάση τα διαστήματα που εισάγει ο χρήστης του προγράμματος (περίπτωση β). Στην τρίτη μέθοδο η τάση αυτή αντιστρέφεται με την περίπτωση β να δίνει αισθητά καλύτερα αποτελέσματα εν συγκρίσει με την α . Η περίπτωση β μελετάται διότι δίνει ένα πιο «ευρύχωρο» διάστημα τιμών γεγονός που μας δίνει τη δυνατότητα να συμπεριλάβουμε τιμές στα σύνολα εκπαίδευσης και αξιολόγησης που θα προκύψουν από μεταγενέστερα πειράματα. Όσον αφορά τις μεθόδους, αυτή που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα είναι εκείνη στην οποία για τη διαμόρφωση του αποτελέσματος συμμετέχουν δύο τρίγωνα και ο προσδιορισμός του κέντρου του μεσαίου τριγώνου ορίζεται εξωτερικά με βάση τα διαστήματα που εισάγει ο χρήστης του προγράμματος. Όπως είναι αναμενόμενο, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια με την τρίτη μέθοδο.

Πίνακας 7.2: Σύνοψη της συσχέτισης των τιμών του συνόλου ελέγχου και των παραμέτρων της Ασαφούς Λογικής για τις διάφορες μεθόδους.

α/α μεθόδου	Συσχέτιση τιμών συνόλου			Εύρος και πλήθος τριγώνων
	εκπαίδευσης	αξιολόγησης	ελέγχου	
1α	0.90	0.89	0.84	$h_1=5, a_1=-15\%, h_2=3, a_2=0, h_3=3, a_3=0, h_4=3, a_4=-20\%, h_5=5, a_5=25\%, h_6=9, a_6=0$
1β	0.88	0.86	0.83	$h_1=9, a_1=35\%, h_2=3, a_2=0, h_3=3, a_3=0, h_4=5, a_4=15\%, h_5=7, a_5=15\%, h_6=5, a_6=35\%$
2α	0.92	0.90	0.93	$h_1=5, a_1=5\%, h_2=3, a_2=0, h_3=3, a_3=0, h_4=9, a_4=5\%, h_5=9, a_5=0, h_6=5, a_6=-5\%$
2β	0.91	0.87	0.91	$h_1=3, a_1=25\%, h_2=3, a_2=-30\%, h_3=3, a_3=25\%, h_4=5, a_4=0, h_5=9, a_5=45\%, h_6=5, a_6=5\%$
3α	0.91	0.91	0.87	$h_1=3, a_1=0, h_2=7, a_2=5\%, h_3=5, a_3=0, h_4=3, a_4=0, h_5=5, a_5=0, h_6=5, a_6=-5\%$
3β	0.94	0.92	0.97	$h_1=3, a_1=0, h_2=3, a_2=0, h_3=3, a_3=0, h_4=9, a_4=0, h_5=9, a_5=-5\%, h_6=3, a_6=-40\%$

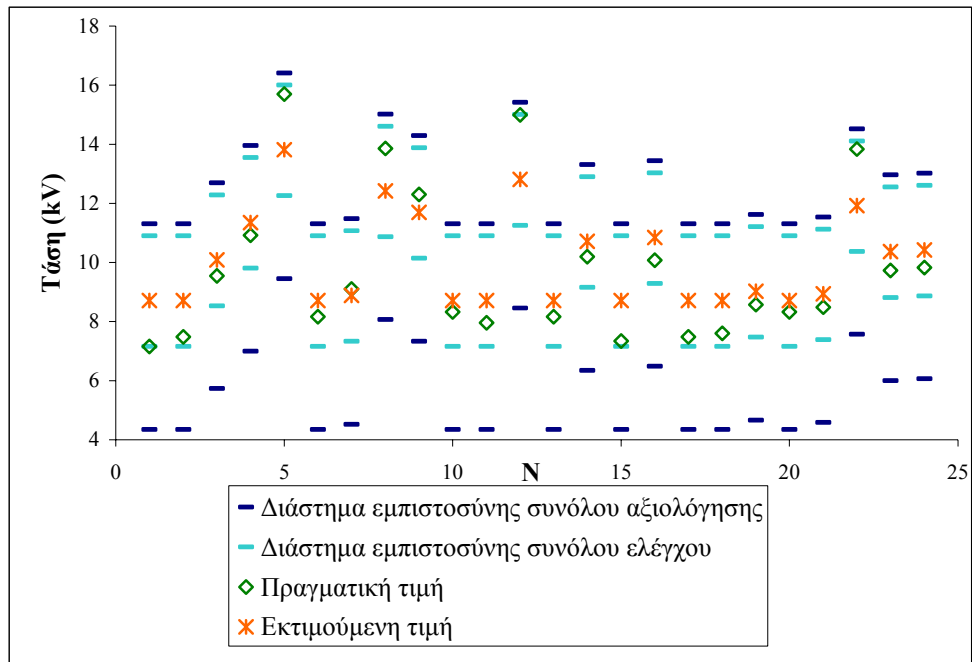
7.3.1 Διαστήματα εμπιστοσύνης

Ανάλογα προς τα ΤΝΔ έτσι και εδώ προσδιορίστηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης των συνόλων εκπαίδευσης, αξιολόγησης και ελέγχου με πιθανότητα ουράς ίση με 5%, δηλαδή το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης να καλύπτει το 90% του πληθυσμού. Στο σχήμα που φαίνεται στη συνέχεια καταγράφονται οι πραγματικές και οι εκτιμούμενες τιμές του συνόλου αξιολόγησης καθώς επίσης και το άνω και το κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης για τη μέθοδο 3β που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Όπως παρατηρούμε, τόσο οι πραγματικές όσο και οι εκτιμούμενες τιμές βρίσκονται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης και αρκετά κοντά μεταξύ τους.



Σχήμα 7.15: Γραφική παράσταση των πραγματικών τιμών, των εκτιμούμενων τιμών και των ορίων του συνόλου αξιολόγησης για διάστημα εμπιστοσύνης με 5% πιθανότητα ουράς για τη μέθοδο εκπαίδευσης 3β.

Στο Σχήμα 7.16 καταδεικνύονται σε κοινή γραφική παράσταση οι πραγματικές και οι εκτιμούμενες τιμές και το άνω και το κάτω όριο του συνόλου ελέγχου καθώς επίσης και τα όρια του συνόλου αξιολόγησης. Είναι προφανές ότι η περιοχή του συνόλου αξιολόγησης περιλαμβάνει την περιοχή του συνόλου ελέγχου.



Σχήμα 7.16: Γραφική παράσταση των πραγματικών τιμών, των εκτιμούμενων τιμών και των ορίων των συνόλων ελέγχου και αξιολόγησης για διάστημα εμπιστοσύνης με 5% πιθανότητα ουράς για τη μέθοδο εκπαίδευσης 3β.

7.4 Ανακεφαλαίωση

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής μεθόδων Ασαφούς Λογικής στο πρόβλημα της εκτίμησης της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης μονωτήρων. Συμπερασματικά τα καλύτερα αποτελέσματα με συσχέτιση 0.97 μεταξύ πραγματικών και εκτιμούμενων τιμών του συνόλου ελέγχου επιτυγχάνεται όταν στη διαμόρφωση του αποτελέσματος συμμετέχουν δύο τρίγωνα και το κέντρο του μεσαίου τριγώνου ορίζεται εξωτερικά με βάση τα διαστήματα που εισάγει ο χρήστης του προγράμματος.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

8.1 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο συγκρίνονται τα βέλτιστα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκπαίδευση των ΤΝΔ με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Ασαφούς Λογικής. Και στις δύο περιπτώσεις τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια. Στην περίπτωση των ΤΝΔ οι παράμετροι, τις οποίες μεταβάλλουμε προκειμένου να επιτύχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα (όσο το δυνατό μικρότερο σφάλμα και όσο το δυνατό μεγαλύτερη συσχέτιση για τα δεδομένα του συνόλου ελέγχου), είναι το πλήθος των νευρώνων, ο μέγιστος αριθμός εποχών, οι παράμετροι και το είδος των συναρτήσεων ενεργοποίησης, ο όρος ορμής και ρυθμού μάθησης, καθώς επίσης και διάφορες άλλες παράμετροι που εμφανίζονται σε κάθε μία από τις μεθόδους εκπαίδευσης. Πέραν αυτών, για κάθε μία μέθοδο μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις: στην περίπτωση **α** ως κριτήρια τερματισμού χρησιμοποιούνται τα εξής: 1) η μεταβολή στις τιμές των βαρών του ΤΝΔ από τη μία επανάληψη στην άλλη να μην ξεπερνά ένα συγκεκριμένο όριο, 2) ο αριθμός των εποχών να μην ξεπερνά μία μέγιστη τιμή και 3) η μεταβολή στην τιμή της συνάρτησης σφάλματος από τη μία επανάληψη στην άλλη να είναι μικρότερη μίας προκαθορισμένης τιμής, ενώ στην περίπτωση **β** χρησιμοποιούνται μόνο τα δύο πρώτα.

Στην περίπτωση της Ασαφούς Λογικής εξετάζουμε τρεις μεθόδους εξαγωγής ολικού συμπεράσματος και για κάθε μία από αυτές δύο περιπτώσεις ανάλογα με τον τρόπο προσδιορισμού του κέντρου του μεσαίου τριγώνου. Οι παράμετροι, τις οποίες μεταβάλλουμε μέχρι να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα, είναι το πλήθος και το εύρος των τριγώνων.

8.2 Σύγκριση-Συμπεράσματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, από τις δώδεκα διαφορετικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν για την εκπαίδευση των ΤΝΔ, τα καλύτερα αποτελέσματα ανάμεσα

σε αυτές στις οποίες γίνεται τυχαία παρουσίαση των προτύπων εκπαίδευσης αποκτώνται κατά την εκπαίδευση ανά πρότυπο με χρήση ρυθμού εκπαίδευσης και όρου ορμής (φθίνουσες εκθετικές συναρτήσεις) όταν γίνεται χρήση και των τριών κριτηρίων τερματισμού. Τότε, η συσχέτιση μεταξύ πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών του συνόλου ελέγχου είναι 0.9977. Μεταξύ των μεθόδων εκπαίδευσης, στις οποίες γίνεται σειριακή παρουσίαση των προτύπων εκπαίδευσης, ο αλγόριθμος βαθμωτής συζευγμένης μεταβολής κλίσης με εκπαίδευση ανά εποχή όταν χρησιμοποιούνται και τα τρία κριτήρια τερματισμού δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με συσχέτιση πραγματικών-εκτιμώμενων τιμών συνόλου ελέγχου ίση προς 0.9986.

Η Ασαφής Λογική μας δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όταν στη διαμόρφωση του αποτελέσματος συμμετέχουν δύο διαδοχικά τρίγωνα με βάση το σταθμισμένο μέσο όρο χωρίς στρογγυλοποίηση και το κέντρο του μεσαίου τριγώνου ορίζεται εξωτερικά με βάση τα διαστήματα που εισάγει ο χρήστης του προγράμματος. Η συσχέτιση για το σύνολο ελέγχου σε αυτήν την περίπτωση είναι 0.9714.

Κρίνοντας από την τιμή της συσχέτισης μεταξύ πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών του συνόλου ελέγχου είναι προφανές ότι τα ΤΝΔ δίνουν καλύτερη εκτίμηση συγκρινόμενα με την Ασαφή Λογική. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι, όπως φαίνεται και από την εκτεταμένη βιβλιογραφία που υπάρχει πάνω στις μεθόδους εκπαίδευσης των ΤΝΔ και την όχι και τόσο εκτεταμένη βιβλιογραφία που αναφέρεται σε μεθόδους Ασαφούς Λογικής, ο τομέας των ΤΝΔ είναι ιδιαίτερος ανεπτυγμένος και εις βάθος μελετημένος. Ωστόσο, στην Ασαφή Λογική στηριχθήκαμε στον βασικό πυρήνα της μεθόδου. Μελλοντικά άλλες παραλλαγές της βασικής μεθόδου μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερα αποτελέσματα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το πλήθος των πειραματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν από τις δύο μεθόδους δεν ήταν ιδιαίτερος εκτεταμένο, όπως συνηθίζεται στις περιπτώσεις εφαρμογής των μεθόδων υπολογιστικής νοημοσύνης. Στο μέλλον θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα και από άλλους τύπους μονωτήρων, ώστε να παραχθεί ένα πλήρες μοντέλο για την εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες. Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εφαρμογή και άλλων μεθόδων Ασαφούς Λογικής που πιθανόν υπάρχουν στη βιβλιογραφία πέραν αυτών που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή.

Βιβλιογραφία

- [1] Ι. Α. Σταθόπουλος, “Υψηλές Τάσεις Ι,” Εκδόσεις Συμμεών, Αθήνα
- [2] Κ. Θ. Δέρβος, “Μονωτικά υλικά υψηλών τάσεων,” Εκδόσεις Πολυτεχνείου, Αθήνα, 2001
- [3] J. S. T. Looms, “Insulators for high voltages,” Peter Peregrinus Ltd., London, Unighted Kingdom, 1990
- [4] Βασιλική Κονταργύρη, “Ρύπανση μονωτήρων,” Ενδιάμεση Κρίση, ΕΜΠ, 2005
- [5] Eugenio Concha: “ILMOS, Insulator Leakage Current Monitor”. Άρθρο διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
http://www.psptechnologies.com/Assets/nonhtml/articulo_1_ingles.pdf
- [6] IEC 815, “Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions,” 1986
- [7] F. Obenhaus, “Fremdschichtüberschlag und Kriechweglänge,” Deutsche Electrotechnik, 1958
- [8] L. L. Alston, S. Zoledziowski, “Growth of discharges on polluted insulation,” proc. IEE, Vol. 110, No. 7, July 1963
- [9] R. Wilkins, “Flashover voltage of high voltage insulators with uniform surface pollution films,” proc. IEE, Vol. 116, No. 3, March 1969
- [10] H. Von Cron, “Die Kriechweglänge und das Stehvermögen von isolatoren unter Fremdschichteinfluss,” Elektrotech. Z., 1957
- [11] E. Nasser, “Zum problem des Fremdschichtüberschlages an isolatoren,” Elektrotech. Z. 1962
- [12] L. L. Alston, S. Zoledziowski, “The flashover of polluted insulation,” Reyrolle Research Report, Mar. 1959
- [13] Guan Zhicheng and Zhang Renyu, “Calculation of DC and AC flashover voltage of polluted insulators,” IEEE Transactions on electrical insulation, Vol. 25, no. 4, August 1990
- [14] P. S. Ghosh and N. Chatterjee, “Polluted insulator flashover model for ac voltage,” IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, no. 1, February 1995

- [15] Fan YaDong, Wen XiShan, Zhang FiYu, "Simulation of Electric Field Distribution of Composite Insulator," XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, China, August 2005
- [16] Ute Schreiber, Ursula van Rienen, "Simulation of slowly varying electric fields in high-voltage applications," Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik Institut Allgemeine Elektrotechnik, Universität Rostock, Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.it.lut.fi/mat/EcmiNL/ecmi32/art1/node1.html>
- [17] Weiguo Que, Stephen A. Sebo, "Electric field and potential distributions along non-ceramic insulators with water droplets," Department of Electrical Engineering, The Ohio State University, Columbus, U.S.A, Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.integratedsoft.com/Papers/research/Coulomb_High_Voltage_paper2.pdf
- [18] T. Braunsberger, A. Dziubek, W. Kodoll, U. Schumann, M.Kurrat, "PD Between Water Drops Influencing Hydrophobic Processes on SI and EP-resin Systems," Institute for High-Voltage Technology and Electric Power Systems, Technical University of Braunschweig, Germany
- [19] Weiguo Que, Stephen A. Sebo, "Electric field and potential distributions along dry and clean non-ceramic insulators," Department of Electrical Engineering, The Ohio State University, Columbus, U.S.A, Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.integratedsoft.com/Papers/research/Coulomb_High_Voltage_paper.pdf
- [20] Tiebin Zhao, Michael G. Comber, "Calculation of Electric Field and Potential Distribution Along Nonceramic Insulators Considering the Effects of Conductors and Transmission Towers," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, January 2000, pp. 313-318
- [21] WL Vosloo, JP Holtzhausen, "The electric field of polluted insulators," Eskom/University of Stellenbosch, South Africa, Διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση:http://research.ee.sun.ac.za/hvlab/download/papers/africon02_jph01.pdf
- [22] Yu Zhong, Peng ZongRen, Cao Li, "The influence of water drops on the electric field distribution and electric erosion of high voltage composite

- insulators,” XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, China, August 2005
- [23] Ravi Gorur, Bob Olsen, Art Kroese, Fred Cook, Senthil S. Kumar, “Evaluation of critical components of non-ceramic insulators in service: Role of defective interfaces,” Final Project Report, Power Systems Engineering Research Center, PSERC Publication 04-32, August 2004
- [24] Ahmad S. Ahmad, P. S. Ghosh, Syed Abdul Kader Aljunid, Hussein Ahmad Ismail Said, Halil Hussain: “Artificial Neural Network for Contamination Severity Assessment of High Voltage Insulators Under Various Meteorological Conditions,” AUPEC, Perth, 23-26 September 2001
- [25] P. S. Ghosh, S. Chakravorti, N. Chatterjee: “Estimation of Time-to-flashover Characteristics of Contaminated Electrolytic Surfaces using a Neural Network,” IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 6, December 1995
- [26] Paul Cline, Will Lannes, Gill Richards: “Use of pollution monitors with a neural network to predict insulator flashover,” ELSEVIER Electric Power Systems Research 42 (1997)
- [27] STRI Guide, Guide for Visual Identification of Deterioration & Damages on Suspension Composite Insulators, 2003
- [28] M. Ugur, D. W. Auckland, B. R. Varlow, Z. Emin: “Neural Networks to Analyse Surface Tracking on Solid Insulators,” IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 4, No. 6, December 1997
- [29] Ali Naderian Jahromi, Ayman H. El-Hag, Shesha H. Jayaram, Edward A. Cherney, M. Sanaye-Pasand, Hosein Mohseni: “A Neural Network Based Method for Leakage Current Prediction of Polymeric Insulators,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, January 2006
- [30] Ali Naderian Jahromi, Ayman H. El-Hag, Shesha H. Jayaram, Edward A. Cherney, M. Sanaye-Pasand, Hosein Mohseni: “Prediction of Leakage Current of Composite Insulators in Salt Fog Test Using Neural Network,” 2005 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena
- [31] Pradipkumar Dixit, H. G. Gopal: “ANN Based Three Stage Classification of Arc Gradient of Contaminated Porcelain Insulators,” 2004 International Conference on Solid Dielectrics, Toulouse, France, July 5-9, 2004

- [32] S. Ghosh, N. K. Kishore: "Modeling PD Inception Voltage of Epoxy Resin Post Insulators using an Adaptive Neural Network," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6, No. 1, February 1999
- [33] A. Cavallini, G. C. Montanari, F. Puletti: "A Fuzzy Logic Algorithm to Detect Electric Trees in Polymeric Insulation Systems," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 12, No. 6, December 2005
- [34] A. Chatterjee, A. Rakshit, P. K. Mukherjee: "A Self-Organizing Fuzzy Inference System for Electric Field Optimization of HV Electrode Systems," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8, No. 6, December 2001
- [35] Σ. Γ. Τζαφέστας, "Υπολογιστική Νοημοσύνη," Τόμος Α: Μεθοδολογίες, Αθήνα 2002
- [36] Αριστείδης Λύκας, "Υπολογιστική Νοημοσύνη," Σεπτέμβριος 1999
- [37] S. Haykin, "Neural Networks: A Comprehensive Foundation," Prentice Hall, 1994
- [38] P. D. Wasserman, "Neural Computing," New York, Von Nostrand Reinhold, 1984
- [39] L. M. Saini, M. K. Soni: "Artificial neural network-based peak load forecasting using conjugate gradient methods", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No 3, August 2002, pp.907-912
- [40] Α. Μπακόπουλος, Ι. Χρυσοβέργης: "Εισαγωγή στην Αριθμητική Ανάλυση," Δεύτερη Έκδοση, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1994
- [41] R. Fletcher, C. M. Reeves: "Function minimization by conjugate gradients," Computer Journal, Vol. 7, pp. 149-154, 1964
- [42] E. Polak: "Computational Methods in Optimization: A Unified Approach," Academic Publication, New York, 1d edition, 1971
- [43] M. J. Powell: "Restart procedures for the conjugate gradient method," Mathematical Programming, Vol. 12, pp. 241-254, 1977
- [44] M. F. Moller: "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning," Neural Networks, Vol. 6, pp. 525-533, 1993
- [45] K. Levenberg: "A method for the solution of certain problems in least squares," Quart. Application Mathematics, Vol. 2, pp. 164-168, 1944

- [46] D. Marquardt: "An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters," *SIAM Journal Application Mathematics*, Vol. 11, pp. 431-441, 1963
- [47] A. P. A. Silva, L. S. Moulin: "Confidence intervals for neural network based short-term load forecasting," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 15, No. 4, November 2000, pp.1191-1196
- [48] Zadeh, L. A., "Fuzzy Logic," *IEEE Computer*, pp 83-93, April 1988
- [49] Dubois, D., and Prade, H. "Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications," Academic Press, Boston, 1980
- [50] Klir, G. J. and Folger, T. A., "Fuzzy Sets Uncertainty and Information," Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988
- [51] Terano, T., Asai, K. and Sugeno, M., "Fuzzy Systems Theory and its Applications," Academic Press, Boston, 1992
- [52] IEC 507, "Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems," 1991
- [53] F. V. Topalis, I. F. Gonos, I. A. Stathopoulos, "Dielectric behaviour of polluted porcelain insulators," *IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 148, No. 4, July 2001, pp. 269-274
- [54] Ξευγένης Αλέξανδρος: "Μελέτη της λειτουργίας μονωτήρων αναρτήσεως σε τεχνητά ρυπασμένο περιβάλλον με τη μέθοδο δημιουργίας αλατούχου ομίχλης," Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 1986
- [55] G. I. Theodorakis, F. V. Topalis, I. A. Stathopoulos, "Parameter identification of the polluted insulator model," *Proceedings of international symposium on simulation and modelling*, Lugano, Switzerland 1989, pp. 103-106
- [56] I. F. Gonos, S. A. Sufliis, F. V. Topalis, I. A. Stathopoulos, "Computer methods for the determination of the critical parameters of polluted insulators," *Proceedings of the 1st Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission and Distribution (MEDPOWER '98)*, Session 7, Insulation Coordination and Optimisation, Lefkosia, (Nicosia), Cyprus, 16 – 18 November 1998
- [57] R. J. Xavier, Y. N. Rao, "Study of surface conductivity and E.S.D.D. on contaminated porcelain insulating surfaces," *5th International Symposium on High Voltage Engineering*, Braunschweig, August 1987, Vol. II, paper 51.12

- [58] I. F. Gonos, F. V. Topalis, I. A. Stathopoulos, "A model for the flashover process on non-uniformly polluted insulators," *International Journal of Modelling and Simulation*, Vol. 22, No. 3, 2002, pp. 137-141
- [59] S. A. Suflis, I. F. Gonos, F. V. Topalis, I. A. Stathopoulos, "Study of the dielectric behaviour of non-uniformly polluted insulators," *XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering*, Netherlands, August 2003
- [60] Lefteris H. Tsoukalas, Robert E. Uhrig, "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering," John Wiley & Sons, New York, 1997
- [61] Αγγελική Αθ. Γιαλκέτση: "Εκτίμηση της κρίσιμης τάσης υπερπήδησης σε μονωτήρες με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων," Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2005
- [62] Λαμπρινή Νικ. Πλατή: "Υπολογισμός πεδίου σε θέσεις αναρτήσεως γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης," Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2006
- [63] Χαράλαμπος Ν. Ηλίας, "Ανάπτυξη μοντέλου βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου με χρήση Ασαφούς Λογικής και κατηγοριοποίηση τυπικών ημερών," Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος 2002

Παράρτημα

Π.1 Δεδομένα

Στον Πίνακα Π.1 παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα και αυτά που προέκυψαν από πειραματικές μετρήσεις, αλλά και αυτά που προέκυψαν από εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου [61]. Στα αριστερά κελιά δίνονται τα μοντέλα των μονωτήρων (No1-No14), οι οποίοι είναι όλοι τύπου cap & pin.

Πίνακας Π.1: Σύνολο δεδομένων.

	ΕΙΣΟΔΟΙ					ΕΞΟΔΟΣ
	D_m [cm]	H [cm]	L [cm]	F	σ_s (μS)	U_c (kV)
No 1	26,8	15,9	33,0	0,79	49,0000	12,320
	26,8	15,9	33,0	0,79	60,0000	11,479
	26,8	15,9	33,0	0,79	87,0000	10,079
	26,8	15,9	33,0	0,79	103,0000	9,499
	26,8	15,9	33,0	0,79	127,0000	8,825
	26,8	15,9	33,0	0,79	138,0000	8,570
	26,8	15,9	33,0	0,79	180,0000	7,803
	26,8	15,9	33,0	0,79	194,0000	7,599
	26,8	15,9	33,0	0,79	204,0000	7,465
No 2	26,8	15,9	40,6	0,86	49,0000	13,643
	26,8	15,9	40,6	0,86	60,0000	12,727
	26,8	15,9	40,6	0,86	87,0000	11,199
	26,8	15,9	40,6	0,86	103,0000	10,566
	26,8	15,9	40,6	0,86	127,0000	9,828
	26,8	15,9	40,6	0,86	138,0000	9,550
	26,8	15,9	40,6	0,86	180,0000	8,710
	26,8	15,9	40,6	0,86	194,0000	8,486
	26,8	15,9	40,6	0,86	204,0000	8,340
No 3	25,4	16,5	43,2	0,90	49,0000	13,860
	25,4	16,5	43,2	0,90	60,0000	12,937
	25,4	16,5	43,2	0,90	87,0000	11,396
	25,4	16,5	43,2	0,90	103,0000	10,757
	25,4	16,5	43,2	0,90	127,0000	10,012
	25,4	16,5	43,2	0,90	138,0000	9,731
	25,4	16,5	43,2	0,90	180,0000	8,883
	25,4	16,5	43,2	0,90	194,0000	8,657
	25,4	16,5	43,2	0,90	204,0000	8,508
No 4	25,4	14,6	27,9	0,68	49,0000	12,000
	25,4	14,6	27,9	0,68	60,0000	11,100

	25,4	14,6	27,9	0,68	87,0000	8,700
	25,4	14,6	27,9	0,68	103,0000	9,100
	25,4	14,6	27,9	0,68	127,0000	7,500
	25,4	14,6	27,9	0,68	138,0000	7,800
	25,4	14,6	27,9	0,68	180,0000	6,200
	25,4	14,6	27,9	0,68	194,0000	6,800
	25,4	14,6	27,9	0,68	204,0000	6,100
No 5	25,4	14,6	43,2	0,92	7,8010	26,000
	25,4	14,6	43,2	0,92	18,8725	19,000
	25,4	14,6	43,2	0,92	37,3250	15,000
	25,4	14,6	43,2	0,92	59,4680	13,000
	25,4	14,6	43,2	0,92	81,6110	12,000
	25,4	14,6	43,2	0,92	111,1350	10,500
No 6	25,4	14,6	31,8	0,72	49,0000	11,814
	25,4	14,6	31,8	0,72	60,0000	11,007
	25,4	14,6	31,8	0,72	87,0000	9,664
	25,4	14,6	31,8	0,72	103,0000	9,107
	25,4	14,6	31,8	0,72	127,0000	8,460
	25,4	14,6	31,8	0,72	138,0000	8,216
	25,4	14,6	31,8	0,72	180,0000	7,480
	25,4	14,6	31,8	0,72	194,0000	7,284
No 7	29,2	15,9	47,0	0,92	49,0000	15,129
	29,2	15,9	47,0	0,92	60,0000	14,119
	29,2	15,9	47,0	0,92	87,0000	12,435
	29,2	15,9	47,0	0,92	103,0000	11,737
	29,2	15,9	47,0	0,92	127,0000	10,923
	29,2	15,9	47,0	0,92	138,0000	10,616
	29,2	15,9	47,0	0,92	180,0000	9,688
	29,2	15,9	47,0	0,92	194,0000	9,441
	29,2	15,9	47,0	0,92	204,0000	9,279
No 8	27,9	15,6	36,8	0,76	49,0000	13,101
	27,9	15,6	36,8	0,76	60,0000	12,211
	27,9	15,6	36,8	0,76	87,0000	10,730
	27,9	15,6	36,8	0,76	103,0000	10,116
	27,9	15,6	36,8	0,76	127,0000	9,402
	27,9	15,6	36,8	0,76	138,0000	9,132
	27,9	15,6	36,8	0,76	180,0000	8,319
	27,9	15,6	36,8	0,76	194,0000	8,103
	27,9	15,6	36,8	0,76	204,0000	7,961
No 9	32,1	17,8	54,6	0,96	49,0000	16,818
	32,1	17,8	54,6	0,96	60,0000	15,701
	32,1	17,8	54,6	0,96	87,0000	13,839
	32,1	17,8	54,6	0,96	103,0000	13,066
	32,1	17,8	54,6	0,96	127,0000	12,165
	32,1	17,8	54,6	0,96	138,0000	11,825
	32,1	17,8	54,6	0,96	180,0000	10,798

	32,1	17,8	54,6	0,96	194,0000	10,525
	32,1	17,8	54,6	0,96	204,0000	10,345
No 10	25,4	14,6	30,5	0,70	7,8010	22,000
	25,4	14,6	30,5	0,70	18,8725	16,000
	25,4	14,6	30,5	0,70	37,3250	13,000
	25,4	14,6	30,5	0,70	59,4680	11,000
	25,4	14,6	30,5	0,70	81,6110	10,000
	25,4	14,6	30,5	0,70	111,1350	8,500
	No 11	28,0	17	37,0	0,80	49,0000
28,0		17	37,0	0,80	60,0000	12,300
28,0		17	37,0	0,80	87,0000	10,809
28,0		17	37,0	0,80	103,0000	10,191
28,0		17	37,0	0,80	127,0000	9,472
28,0		17	37,0	0,80	138,0000	9,201
28,0		17	37,0	0,80	180,0000	8,382
28,0		17	37,0	0,80	194,0000	8,165
28,0		17	37,0	0,80	204,0000	8,022
No 12	25,4	14,5	30,5	0,74	49,0000	11,608
	25,4	14,5	30,5	0,74	60,0000	10,813
	25,4	14,5	30,5	0,74	87,0000	9,490
	25,4	14,5	30,5	0,74	103,0000	8,941
	25,4	14,5	30,5	0,74	127,0000	8,304
	25,4	14,5	30,5	0,74	138,0000	8,064
	25,4	14,5	30,5	0,74	180,0000	7,339
	25,4	14,5	30,5	0,74	194,0000	7,146
	25,4	14,5	30,5	0,74	204,0000	7,020
No 13	20,0	16,5	40,0	1,29	49,0000	12,989
	20,0	16,5	40,0	1,29	60,0000	12,136
	20,0	16,5	40,0	1,29	87,0000	10,711
	20,0	16,5	40,0	1,29	103,0000	10,119
	20,0	16,5	40,0	1,29	127,0000	9,430
	20,0	16,5	40,0	1,29	138,0000	9,169
	20,0	16,5	40,0	1,29	180,0000	8,382
	20,0	16,5	40,0	1,29	194,0000	8,172
	20,0	16,5	40,0	1,29	204,0000	8,034
No 14	22,9	16,6	43,2	1,38	7,8010	23,500
	22,9	16,6	43,2	1,38	11,4915	20,900
	22,9	16,6	43,2	1,38	15,1820	19,400
	22,9	16,6	43,2	1,38	18,8725	18,300
	22,9	16,6	43,2	1,38	22,5630	16,900
	22,9	16,6	43,2	1,38	37,3250	15,800
	22,9	16,6	43,2	1,38	74,2300	13,600

Το σύνολο αξιολόγησης περιλαμβάνει τα εξής δεδομένα:

Πίνακας Π.2: Σύνολο δεδομένων αξιολόγησης.

ΕΙΣΟΔΟΙ					ΕΞΟΔΟΣ
D_m [cm]	H [cm]	L [cm]	F	σ_s (μS)	U_c (kV)
26,8	15,9	33,0	0,79	49,00	12,32
26,8	15,9	33,0	0,79	127,00	8,82
26,8	15,9	33,0	0,79	204,00	7,47
26,8	15,9	40,6	0,86	103,00	10,57
26,8	15,9	40,6	0,86	204,00	8,34
25,4	16,5	43,2	0,90	103,00	10,76
25,4	16,5	43,2	0,90	194,00	8,66
25,4	14,6	27,9	0,68	87,00	8,70
25,4	14,6	27,9	0,68	180,00	6,20
25,4	14,6	43,2	0,92	18,87	19,00
25,4	14,6	43,2	0,92	111,14	10,50
25,4	14,6	31,8	0,72	103,00	9,11
25,4	14,6	31,8	0,72	194,00	7,28
29,2	15,9	47,0	0,92	87,00	12,44
29,2	15,9	47,0	0,92	180,00	9,69
27,9	15,6	36,8	0,76	60,00	12,21
27,9	15,6	36,8	0,76	138,00	9,13
32,1	17,8	54,6	0,96	49,00	16,82
32,1	17,8	54,6	0,96	127,00	12,16
32,1	17,8	54,6	0,96	204,00	10,35
25,4	14,6	30,5	0,70	59,47	11,00
28,0	17,0	37,0	0,80	60,00	12,30
28,0	17,0	37,0	0,80	138,00	9,20
25,4	14,5	30,5	0,74	49,00	11,61
25,4	14,5	30,5	0,74	127,00	8,30
25,4	14,5	30,5	0,74	204,00	7,02
20,0	16,5	40,0	1,29	103,00	10,12
20,0	16,5	40,0	1,29	194,00	8,17
22,9	16,6	43,2	1,38	15,18	19,40
22,9	16,6	43,2	1,38	74,23	13,60

Στον Πίνακα Π.3 που ακολουθεί φαίνονται τα στοιχεία του συνόλου ελέγχου.

Πίνακας Π.3: Σύνολο δεδομένων ελέγχου.

ΕΙΣΟΔΟΙ					ΕΞΟΔΟΣ
D_m [cm]	H [cm]	L [cm]	F	σ_s (μS)	U_c (kV)
25,4	14,6	31,8	0,72	204,00	7,16
25,4	14,6	31,8	0,72	180,00	7,48
26,8	15,9	40,6	0,86	138,00	9,55
29,2	15,9	47,0	0,92	127,00	10,92
32,1	17,8	54,6	0,96	60,00	15,70

28,0	17,0	37,0	0,80	194,00	8,16
25,4	14,6	27,9	0,68	103,00	9,10
25,4	16,5	43,2	0,90	49,00	13,86
28,0	17,0	37,0	0,80	60,00	12,30
27,9	15,6	36,8	0,76	180,00	8,32
27,9	15,6	36,8	0,76	204,00	7,96
25,4	14,6	43,2	0,92	37,33	15,00
28,0	17,0	37,0	0,80	194,00	8,16
28,0	17,0	37,0	0,80	103,00	10,19
25,4	14,5	30,5	0,74	180,00	7,34
26,8	15,9	33,0	0,79	87,00	10,08
25,4	14,6	31,8	0,72	180,00	7,48
26,8	15,9	33,0	0,79	194,00	7,60
26,8	15,9	33,0	0,79	138,00	8,57
27,9	15,6	36,8	0,76	180,00	8,32
26,8	15,9	40,6	0,86	194,00	8,49
32,1	17,8	54,6	0,96	87,00	13,84
25,4	16,5	43,2	0,90	138,00	9,73
26,8	15,9	40,6	0,86	127,00	9,83

Π.2 Πρόγραμμα ΤΝΔ

```

C *****
C *
C *          P R O G R A M   T N D
C *
C *   PYRHNAS METHODOY BACK - PROPAGATION - APLH METHODOS
C *   ME ON -LINE EKPAIDEUSH - 3 SET(TRAINING, VALIDATION, TEST )
C *****
PROGRAM TND_005

-----
C   bibliothikes
C   USE DFLIB
C   USE DFPORT
-----
C   PARAMETROI
C   diastasi pinakwn plithous dianismatwn anagnwsis ( 8 eth)
C   PARAMETER (ip_dim1=3000)
C   diastasi pinakwn megethous dianismatwn anagnwsis
C   PARAMETER (ip_dim2=10)
C   synoliki diastasi pinaka dianismatwn anagnwsis
C   PARAMETER ( ip_dim2_f=ip_dim2 )
C   efarmogi methodou sta stoixeia apo ip_dim2_min ws ip_dim2_max
C   PARAMETER (ip_dim2_min=1)
C   PARAMETER (ip_dim2_max=10)
C   megethos pinaka ajiologisis
C   PARAMETER (ip_dim_aj=400)
C   diastasi plithous dianismatos pou kataskeuasontai
C   PARAMETER (ip_dim3=100)
C   megistes diastaseis pinakwn barwn epipedou neurwnwn
C   PARAMETER (ip_dim_in=100)
C   PARAMETER (ip_dim_q1=100)
C   PARAMETER (ip_dim_out=5)
C   parametros ellinikou p
C   PARAMETER ( pi=3.14159265358979323846264338 )

-----
C
C   Include definitions 4

```

```

c      IENERGATRaining einai ta energia dianismata eisodou se back propagation
c      IENERGADIAN AJ einai ta energia dianismata ejodou se back propagation
c      I_FLAG_SENARIO einai o metritis diaforetikwn senariwn eisodou-ejodou
c      IMETRHTHS boithitikos metritis stoiceiwn eisodou
c      IDIANYSMATA metritis stoiceiwn eisodou < ip_dim1
c      I_EPOCH metritis epoxwn
c      I_FLAG_EPOCH_1 einai simaia gia diafores arxikopoiiseis kata tin prwti epoxi
c      IBSTOIXEIA(ip_dim4,ip_dim1) pinakas boithikwn stoiceiwn
c      RDEDOMENA(ip_dim2_f,ip_dim1) pinakas dianismatwn
c      FNAME is the variable name for files
c      FNAME1 is the input name file for LOAD
c      FNAME2 is the output name file for LOAD
c      FNAME3 is the OUTPUT name file for elegxo kathe M
c      ICH1 is the channel name for FNAME1
c      ICH2 is the channel name for FNAME2
c      ICH3 is the channel name for FNAME3
c      ICH_ELE is the channel name for FNAME_ELE (arxeio elegxou eggarfis dedemenwn
c      IP1 is the length of file name of FNAME1
c      ISTATIOn einai o metworologikos stathmos pou diabazoume dedomena
c      IDIAN AJ einai top plithos dianismatwn anagnwsis pinaka ajiologisis
c      I_FLAG_SENARIO einai o deiktis-metritis senariwn diaforetikwn arxikwn
dianismatwn
c      IENERGADIANYSMATA is the ta dianismata pou simetexoun se ekpaideusi
c      I_ENERGA_EPOCHHS(ip_dim1) poia dianismata einai energia kata ektelesi tis
epcohis pros epilogi tous
c      I_trexon dianismata = poio to plithos twn trexontwn dianismatwn
c      I_THESH_ENTOS_PINAKA poio apo ta ypoloipomena dianismata tha apenergopoihthei
c      I_POSA_ENERGA_DIAN boithikos metritis gia euresi enregwn dianismatwn
c      I_DIANY_ERROR_SFALMA_AJ_MAX, I_THESH_ERROR_SFALMA_AJ_MAX, poio dianisma kai
poia wra
c
c      parousiazei max sfalma gia ajiologisi
c      I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX, I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX >> >> >> gia
ekpaideusi
c      I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MIN,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MIN dilwnei thesi
dianismatos ktl gia - diaf MW
c      I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MAX,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MAX dilwnei thesi
dianismatos ktl gia + diaf MW
c -----
c      INTEGER ICH1,ICH2,ICH3,ICH4,ICH_ELE,ICH_001,ICH_002,ICH_003,
* ICH_004,I,A(ip_dim3),IEPAN,M,
* IENERGADIANYSMATA, IDIAN_AJ, IENERGATRaining,
* I_FLAG_SENARIO ,IENERGADIAN_AJ,
* i_momentum_1,i_momentum_2, i_trainrate_1,i_trainrate_2,I_EPOCH,
* I_FLAG_EPOCH_1,I_ENERGA_EPOCHHS(ip_dim1),
* I_trexon_dianismata,I_THESH_ENTOS_PINAKA,I_POSA_ENERGA_DIAN,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_AJ_MAX, I_THESH_ERROR_SFALMA_AJ_MAX,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX, I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX
* I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MIN,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MIN,
* I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MAX,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MAX

c      W1(ip_dim_q1,ip_dim_in) pinakas barwn lou epipedou
c      W2(ip_dim_out,ip_dim_q1) pinakas barwn 2ou epipedou
c      W1pol(ip_dim_in) pinakas barwn polwsis lou epipedou
c      W2pol(ip_dim_q1)pinakas barwn polwsis 2ou epipedou
c      YEJODOS_AJ(ip_dim_out,ip_dim_aj),pinakas dedomenwn ejodou ajiologisis se kiriws
programma
c      XEISODOS_AJ(ip_dim_in,ip_dim_aj),pinakas dedomenwn eisodou >>> >> se
kiriws programma
c      YEJODOS(ip_dim_out,ip_dim1) pinakas dedomenwn ejodou ekpaideusis se kiriws
programma
c      XEISODOS(ip_dim_in,ip_dim1) pinakas dedomenwn eisodou ekpaideusis se kiriws
programma
c      R_DEDOM_X(ip_dim_in,ip_dim1)pinakas dedomenwn ejodou ekpaideusis kata epilogi
c      R_DEDOM_Y(ip_dim_out,ip_dim1)pinakas dedomenwn eisodou ekpaideusis kata epilogi
c      R_DE_AJ_X(ip_dim_in,ip_dim_aj)pinakas dedomenwn ejodou ajiologisis kata epilogi
c      R_DE_AJ_Y(ip_dim_out,ip_dim_aj)pinakas dedomenwn eisodou ajiologisis kata
epilogi
c      momentum_arx,momentum_T metablites gia orismo timis "momentum"
c      trainrate_arx,trainrate_T metablites gia orismo timis trainig rate
c      Delta1(ip_dim_q1) einai o pinakas delta lou krimmenou epipedou
c      Delta2(ip_dim_out) einai o pinakas delta epipedou ejodou
c      DW2(ip_dim_out,ip_dim_q1) =diafora barous prouigoymenwn dianismatwn
c      DW1(ip_dim_q1,ip_dim_in) >> >> >> >>
c      DW1pol(ip_dim_in) gia stoiceio polwsis >> >>
c      DW2pol(ip_dim_q1) >> >> >> >>

```



```

C      ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN sfalma problefis se MW - meso
C      ERROR_SFALMA_PREDICT_MIN          - elaxisto
C      ERROR_SFALMA_PREDICT_MAX          - megisto

      REAL LOAD,RLOAD(ip_dim2),Rkanmin(ip_dim2),Rkanmax(ip_dim2),
* RDEDOMENA(ip_dim2_f,ip_dim1),RDED_AJ(ip_dim2_f,ip_dim_aj),
* W1(ip_dim_q1,ip_dim_in),Wlpalio(ip_dim_q1,ip_dim_in),
* W2(ip_dim_out,ip_dim_q1),W2palio(ip_dim_out,ip_dim_q1),
* U1(ip_dim_q1),U2(ip_dim_out),
* Y1(ip_dim_q1),Y2(ip_dim_out),
* ERROR_PIN(ip_dim_out),
* W1pol(ip_dim_q1),W2pol(ip_dim_out),
* W1polpalio(ip_dim_q1),W2polpalio(ip_dim_out),
* YEJODOS(ip_dim_out,ip_dim1),XEISODOS(ip_dim_in,ip_dim1),
* YEJODOS_AJ(ip_dim_out,ip_dim_aj),
* XEISODOS_AJ(ip_dim_in,ip_dim_aj),
* R_DEDOM_X(ip_dim_in,ip_dim1),R_DEDOM_Y(ip_dim_out,ip_dim1),
* R_DE_AJ_X(ip_dim_in,ip_dim_aj),R_DE_AJ_Y(ip_dim_out,ip_dim_aj),
* r_momentum_arx,r_momentum_T,trainrate_arx,trainrate_T,
* Delta1(ip_dim_q1),Delta2(ip_dim_out),DW2(ip_dim_out,ip_dim_q1),
* DW1(ip_dim_q1,ip_dim_in),DW1pol(ip_dim_q1),DW2pol(ip_dim_out),
* ERROR_SFALMA,ERROR_SFALMA_AJ_MAX,ERROR_SFALMA_AJ_MEAN,
* ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN,ERROR_SFALMA_PREDICT_MIN,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MAX,Yreal(ip_dim_out),Ypred(ip_dim_out),
* YEJODOS_VAL(ip_dim_out,ip_dim1),XEISODOS_VAL(ip_dim_in,ip_dim1),
* W1_fin(ip_dim_q1,ip_dim_in),W2_fin(ip_dim_out,ip_dim_q1),
* W1pol_fin(ip_dim_q1),W2pol_fin(ip_dim_out),
C---- ERROR_KATATAJH einai pinakas kakatajis sfalamtwn pros diastimatos
c---- empistosinis->na exei megaliteres diastaseis apo opoioidipote set
* ERROR_KATATAJH(ip_dim_out,ip_dim1)
C---- gia euresi r2
* Ymean1(ip_dim_out),Ymean2(ip_dim_out),Yprox(ip_dim_out,ip_dim1),
* SumYreal2(ip_dim_out),SumYpred2(ip_dim_out),
* SumYrealYpred(ip_dim_out),
* R2train(ip_dim_out),R2valid(ip_dim_out),R2test(ip_dim_out)

      CHARACTER*16 FNAMEIN
      CHARACTER*1 SOMETHING,CHCH(3)
      CHARACTER*32 FNAME1,FNAME2,FNAME3,FNAME4,FNAME_ELE,FNAME_ELE1,
* FNAME_ELE2,FNAME_ELE3,FNAME_ELE4

C-----
C      defining the format of row of input file 1
10 FORMAT ( F7.2 )
C      defining the format of the input file 2
15 FORMAT ( I4, I2, I2, I2,I2, 24(F8.2))
c--- gia arxeio katagrafis eisodou
16 FORMAT (I5,' ', 3(F5.2,' '), F8.3,' ',F9.5,' ',F15.9)
17 FORMAT (12(' '),3(I5,' '))
18 FORMAT ('METABLHTES EISODOY-EJODOY-SYNOLIKES')
19 FORMAT (' var1 var2 var3 var4 var5 var6 var7 ...')
20 FORMAT ('REGULARIZATION min-max')
21 FORMAT ('PLHTHOS NEURWNWN-> ELAXISTO: ', I4,' MEGISTO: ',I4,
* METABOLH METAJY NEURWNWN: ',I2)
22 FORMAT (' RYTMOS ORMHS: PARAGONTES STATHEROU OROU- PARAGONTES
*PERIODOY')
23 FORMAT ('RYTMO MATHHSHS:PARAGONTES STATHEROU OROU- PARAGONTES
*PERIODOY')
24 FORMAT (' MIN MAX BHMA - MIN MAX
*BHMA dT')
25 FORMAT (18(' '),I4,' ',I4,' ',F6.4,' ',I4,' ',I4,' ',I6,' '
*,F6.0)
26 FORMAT (' MEGISTO PLHTHOS EPOXWN: ', I6,
* ORIO SFALMATOS BARWN: ', F6.4, ' PARAMETROS SYGKLISHS:',
*F8.4,' SYNTELESTHS PLHTHOYS EPANLHFWEWN GIA BELTISTH SYGLISH:',
* I4,' SYNTELESTHS GIA PLHTHOS EPANLHFWEWN GIA BELTISTH SYGLISH:',
*I4)
27 FORMAT ( 3(F5.2,' '), F8.1,' ',F9.5,' ',F15.9)
28 FORMAT ('SXHMATISMOS VALIDATION SET:', I2,
* DIAIRESH DATASET se SUBSET:', I3,
* A/A XRHSHS VALIDATION SET:' I3)

```

```

C boiithitika format eggrafis arxeiwn elegxou
50 FORMAT (I4,I5, I2, I2, I2,I2, 24(F8.2),32 (F6.1) )
51 FORMAT (134(' * ' ) )
52 FORMAT (I5,48 (F8.2),8(F6.1),15(F10.5))
53 FORMAT (100(' ',F10.6))
54 FORMAT ( 8(' ',I4))
55 FORMAT (2(' ',I6),2(' ',F8.6),' ',I6,3(2(' ',F20.8),2(' ',I6)),
* (' ',F20.8), 2( (' ',F20.8),2(' ',I6)),3(' ',F16.8) )
56 FORMAT ( I6, F8.2, I6 )
57 FORMAT (100 (F16.12))

60 FORMAT (I4,I5, I2, I2, I2,I2, 56(' ',F8.6) )
61 FORMAT (I5,72(F15.3))
62 FORMAT (' STOIXEIA SYNOLOY TRAINING ')
63 FORMAT (' STOIXEIA SYNOLOY TEST ')
64 FORMAT (' STOIXEIA SYNOLOY VALIDATION ')
65 FORMAT (' MESH TIMH SYNARTHSHS SFALMATOS VALIDATION SET ',
* ' ',F16.8,' GIA EPOCHES ', I5)
66 FORMAT (2(' ',I6,2(' ',F8.6)),2(' ',F8.6,' F8.2'),' ',I6,
*3(2(' ',F20.8),2(' ',I6)),
* (' ',F20.8), 2( (' ',F20.8),2(' ',I6)),3(' ',F16.8),' ',I6,
* 5 (I3, 3(' ', F8.5)) )
71 FORMAT('CONFIDENCE INTERNAL FOR TRAINING SET-PROPABILITY: ',F7.4)
72 FORMAT('CONFIDENCE INTERNAL FOR VALIDATION SET-PROPABILITY:',F7.4)
73 FORMAT('CONFIDENCE INTERNAL FOR TEST SET -PROPABILITY: ',F7.4)
74 FORMAT(' LOWER LIMIT: ', 24(' ',F10.4))
75 FORMAT(' UPPER LIMIT: ', 24(' ',F10.4))
76 FORMAT(' MEAN VALUE : ', 24(' ',F10.4))

C*****
C ANAGNWSH STOIXEIWN APO DIAFORA ARXEIA ANALOGA ME THN EFARMOGH
C*****
C anagnwsi arxeiou elegxou dedeomenwn
C-----
PRINT *,'ENTER check FILE NAME (only 8 characters):'
PRINT *,'where first line-> the minimum and the maximum number of
* scenarios - the number of the input variables - the number
* of the output variables'
PRINT *,' second line -> the minimum for regularization of all
* variabes'
PRINT *,' third line -> the maximum for regularization of all
* variabes'
PRINT *,' forth line -> the minimum -maximum - step between them
* number of neurons'
PRINT *,' fifth line -> the minimum -maximum - real step between
* them const term of '
PRINT *,' momentum <-> the minimum -maximum -step
* between them - '
PRINT *,' multiplication factor for period term of
* momentum'
PRINT *,' sixth line -> the minimum -maximum - real step between
* them const term of '
PRINT *,' training <-> the minimum -maximum -step
* between them - '
PRINT *,' multiplication factor for period term of
* training'
PRINT *,' seventh line -> numbers of iterations-total & siglisis-
* - paragontas sigklisis - maximum dismenwn iterations siglisis'
PRINT *,' eighth line -> number of tolerance for differences of
* weight between epochs '
PRINT *,' ninth line -> flag for common <<1>> or no common<<0>>
*training and validation set, population of subset - a/a number '
PRINT *,' tenth line -> eidos sinartishs 1 (1->sinh, 2->tanh,
* 3->linear): flag arxis - telous'
PRINT *,' parametros a: the minimum -maximum -step
* between them - multiplication factor '
PRINT *,' parametros b: the minimum -maximum -step
* between them - multiplication factor '
PRINT *,' eleventh line -> eidos sinartishs 2 (1->sinh, 2->tanh,
* 3->linear): flag arxis - telous'
PRINT *,' parametros a: the minimum -maximum -step
* between them - multiplication factor '
PRINT *,' parametros b: the minimum -maximum -step
* between them - multiplication factor '
PRINT *,' twelveth line ->pithanotita p diastimatos empistosinis'

```

```

c      READ *, FNAMEIN
      FNAMEIN='check'
c      IP1 = count the length of the name of data file
      IP1 = LEN_TRIM (FNAMEIN)
C      input channel
      ICH1 = 10
C      create the complete name of data file and output file
      FNAME1 = FNAMEIN(1:IP1) //''.txt'
      PRINT *, ' CHECK FILE: ', FNAME1
C-----
C      opening the input file 1
C-----
      OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL',
*          STATUS = 'OLD', FORM = 'FORMATTED' )
C-----
C      read plithos metablitwn eisodou
      READ(ICH1,*,END=95) I_MIN_SCENARIO, I_MAX_SCENARIO,I_IN_VAR,
* I_OUT_VAR
      I_VAR=I_IN_VAR+I_OUT_VAR
      IF ((I_IN_VAR.GT.ip_dim_in).OR.(I_OUT_VAR.GT.ip_dim_out).
*OR.(I_VAR.GT.ip_dim2)) THEN
      PRINT *, 'POLLES OI METABLHTES EISODOU,pata otidipote gia sinexeia'
      READ *,SOMETHING
      CLOSE (ICH1)
      GOTO 18000
      ENDIF

C      diabase elaxista timwn kanonikopoiisis variables
      READ (ICH1,*,END=95) (Rkanmin(I1),I1=1,I_VAR)
C      diabase megista timwn kanonikopoiisis variables
      READ (ICH1,*,END=95) (Rkanmax(I1),I1=1,I_VAR)

C      diabase rithmiseis neurwnwn-parametroi barwn prwtou krimmenou strwmmatos
      READ (ICH1,*,END=95) I_PL_BARWN_1_min,I_PL_BARWN_1_max,
* I_PL_BARWN_1_bima
      IF (I_PL_BARWN_1_max.GT.ip_dim_ql) THEN
      PRINT *, 'POLLOI OI NEURWNES EISDODOU,pata otidipote gia sinexeia'
      READ *,SOMETHING
      CLOSE (ICH1)
      GOTO 18000
      ENDIF

C      diabase rithmiseis momentum
      READ (ICH1,*,END=95) i_metab_momentum_min,i_metab_momentum_max,
* r_metab_momentum,i_T_momentum_min,i_T_momentum_max,
* i_T_momentum_bima,T_period_momentum
C      diabase rithmiseis rythmou ekpaideusis
      READ (ICH1,*,END=95) i_metab_trainrate_min,i_metab_trainrate_max,
* r_metab_trainrate,i_T_trainrate_min,i_T_trainrate_max,
* i_T_trainrate_bima,T_period_trainrate

C      epanalifeis gia siglisi
      READ (ICH1,*,END=95) IEPANMAX,IEPAN_SYGLISH,PAR_EPAN_SYGLISH,
* I_MAX_FORES_EPAN_SYGLISH
      IF ((IEPANMAX.LT.0).OR.(IEPAN_SYGLISH.LT.0).OR.
* (I_MAX_FORES_EPAN_SYGLISH.LT.0)) THEN
      PRINT *, 'ARNHTIKOS ARITHMOS EPANALHFEWN,
* pata otidipote gia sinexeia'
      READ *,SOMETHING
      CLOSE (ICH1)
      GOTO 18000
      ENDIF
      IF (PAR_EPAN_SYGLISH.LT.1) THEN
      PRINT *, 'WARNING: PARAGONTAS SYGKILHS MIKROTEROS TOY 1'
      READ *,SOMETHING
      ENDIF

C      orio gia siglisi barwn
      READ (ICH1,*,END=95) ELIMIT
      IF (ELIMIT.LT.0) THEN
      PRINT *, 'ARNHTIKOS ARITHMOS elegxou oriou barwn,
* pata otidipote gia sinexeia'
      READ *,SOMETHING
      CLOSE (ICH1)
      GOTO 18000
      ENDIF

```

```

C      stoixeia sximatismou validation set
      READ (ICH1,*,END=95) IFLAG_FORM_VALID_SET,I_POP_VALID_SUBSET,
*      I_INCR_VALID_SUBSET
      IF ((IFLAG_FORM_VALID_SET.NE.0).AND.(IFLAG_FORM_VALID_SET.NE.1))
*      THEN
          PRINT *,'AKATALLHLOS ARITHMOS GIA SHMAIA VALIDATION SET'
          READ *,SOMETHING
          CLOSE (ICH1)
          GOTO 18000
      ENDIF
      IF (I_POP_VALID_SUBSET.LT.I_INCR_VALID_SUBSET) THEN
          PRINT *,'AKATALLHLOS ARITHMOS SE SUBSET GIA
*      VALIDATION SET'
          READ *,SOMETHING
          CLOSE (ICH1)
          GOTO 18000
      ENDIF
C      stoixeia sximatismou sinartisis lou epipedou
      READ (ICH1,*,END=95) IKIND_SYN_1arxi,IKIND_SYN_1telos,
*      ipar_a_SYN_1_min,ipar_a_SYN_1_max,ipar_a_SYN_1_bima,
*      par_a_SYN_1multi,
*      ipar_b_SYN_1_min,ipar_b_SYN_1_max,ipar_b_SYN_1_bima,
*      par_b_SYN_1multi
      IF ((IKIND_SYN_1arxi.LE.0).OR.(IKIND_SYN_1telos.GT.3))
*      THEN
          PRINT *,'AKATALLHLOS ARITHMOS GIA SYNARTHSH ENERGOPOIHSHS 1'
          READ *,SOMETHING
          CLOSE (ICH1)
          GOTO 18000
      ENDIF
C      stoixeia sximatismou sinartisis 2ou epipedou
      READ (ICH1,*,END=95) IKIND_SYN_2arxi,IKIND_SYN_2telos,
*      ipar_a_SYN_2_min,ipar_a_SYN_2_max,ipar_a_SYN_2_bima,
*      par_a_SYN_2multi,
*      ipar_b_SYN_2_min,ipar_b_SYN_2_max,ipar_b_SYN_2_bima,
*      par_b_SYN_2multi
      IF ((IKIND_SYN_2arxi.LE.0).OR.(IKIND_SYN_2telos.GT.3))
*      THEN
          PRINT *,'AKATALLHLOS ARITHMOS GIA SYNARTHSH ENERGOPOIHSHS 2'
          READ *,SOMETHING
          CLOSE (ICH1)
          GOTO 18000
      ENDIF
C      stoixeia ypologismou diastimatos empistosinis
      READ (ICH1,*,END=95) POSOSTO_KATATAJH
      IF ((POSOSTO_KATATAJH.LE.0).OR.(POSOSTO_KATATAJH.GE.0.5))
*      THEN
          PRINT *,'AKATALLHLOS ARITHMOS GIA DIASTHMA EMPISTOSYNHS'
          READ *,SOMETHING
          CLOSE (ICH1)
          GOTO 18000
      ENDIF

      GOTO 98

C      anwmalo telos programmatos
95 CONTINUE
      PRINT *,'DEN YPARXOUN TA APARAITHTA DEDOMENA'
      PRINT *,' AKYRWSH PROGRAMMATOS'
      PRINT *,'pata otidipote gia sinexeia'
      READ *,SOMETHING
      CLOSE (ICH1)
      GOTO 18000
C      pliris anagnwsi dedomenwn
98 CONTINUE
      CLOSE (ICH1)

C -----
C      create the name of input
C -----
      PRINT *,'ENTER INPUT TRAINING FILE NAME (only 8 characters):'
c      READ *, FNAMEIN
      FNAMEIN='test_train'
c      IP1 = count the length of the name of data file
      IP1 = LEN_TRIM (FNAMEIN)

```

```

C      input channel
      ICH1 = 10
C      create the complete name of data file and output file
      FNAME1 = FNAMEIN(1:IP1) //' .txt'

C-----
C      opening the input file 1
C-----
      OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL',
*          STATUS = 'OLD', FORM = 'FORMATTED' )
C-----
      IMETRHTHS=1
C      read load per line
100 READ(ICH1,*,END=130) (RLOAD(I1),I1=1,I_VAR)
      IF (IMETRHTHS.GT.ip_dim1) THEN
        PRINT *,'POLLA DIANYSMATA ANAGNWSHS,pata otidipote gia sinexeial'
        READ *,SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
      ENDIF
C      APOTHIKEUSI STOIXEIWN ODHGWN
      DO 110 I=1,I_VAR
        RDEDOMENA(I,IMETRHTHS)=RLOAD(I)
110  CONTINUE

      IMETRHTHS=IMETRHTHS+1
      GOTO 100
130 CONTINUE
      CLOSE (ICH1)
      IMETRHTHS=IMETRHTHS-1
      IDIANYSMATA=IMETRHTHS
      PRINT *,' PLHTHOS STOIXEIWN : ', IDIANYSMATA

C-----
C      create the name of VALIDATION input file
C-----
      PRINT *,'ENTER INPUT TEST FILE NAME (only 8 characters):'
c      READ *, FNAMEIN
      FNAMEIN='test_test'
c      IP1 = count the length of the name of data file
      IP1 = LEN_TRIM (FNAMEIN)
C      input channel
      ICH1 = 10
C      create the complete name of data file and output file
      FNAME1 = FNAMEIN(1:IP1) //' .txt'

C-----
C      opening the input VALIDATION file
C-----
      OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL',
*          STATUS = 'OLD', FORM = 'FORMATTED' )
C-----
      IMETRHTHS=1
C      read load per line
180 READ(ICH1,*,END=200) (RLOAD(I1),I1=1,I_VAR)
      IF (IMETRHTHS.GT.ip_dim_aj) THEN
        PRINT *,'POLLA DIANYSMATA ANAGNWSHS,pata otidipote gia sinexeia2'
        READ *,SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
      ENDIF
C      APOTHIKEUSI STOIXEIWN ODHGWN
      DO 190 I=1,I_VAR
        RDED_AJ(I,IMETRHTHS)=RLOAD(I)
190  CONTINUE

      IMETRHTHS=IMETRHTHS+1
      GOTO 180
200 CONTINUE
      CLOSE (ICH1)
      IMETRHTHS=IMETRHTHS-1
      IDIAN_AJ=IMETRHTHS
      PRINT *,' PLHTHOS STOIXEIWN : ', IDIAN_AJ

C-----

```

```

C      ELEGXOS ANAGNWSHS DEDOMENWN - EGGRAPH SE 1 BOHTHIKO ARXEIO
C-----
C      arxeio elegxou olikou
      ICH_01 = 21
      FNAME_ELE = 'ELEGXOS_EGGRAPHHS'//'.txt'
C      anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
      OPEN(ICH_01,FILE = FNAME_ELE, ACCESS='SEQUENTIAL')
      WRITE(ICH_01,18)
      WRITE(ICH_01,17) I_IN_VAR,I_OUT_VAR,I_VAR
      WRITE(ICH_01,19)
      WRITE(ICH_01,20)
      WRITE(ICH_01,27) (Rkanmin(J),J=1,I_VAR)
      WRITE(ICH_01,27) (Rkanmax(J),J=1,I_VAR)
      WRITE(ICH_01,21) I_PL_BARWN_1_min,I_PL_BARWN_1_max,
*      I_PL_BARWN_1_bima
C      grafe rithmiseis momentum
      WRITE(ICH_01,22)
      WRITE(ICH_01,24)
      WRITE(ICH_01,25) i_metab_momentum_min,i_metab_momentum_max,
*      r_metab_momentum,i_T_momentum_min,i_T_momentum_max,
*      i_T_momentum_bima,T_period_momentum

C      grafe rithmiseis rythmou ekpaideusis
      WRITE(ICH_01,23)
      WRITE(ICH_01,24)
      WRITE(ICH_01,25) i_metab_trainrate_min,i_metab_trainrate_max,
*      r_metab_trainrate,i_T_trainrate_min,i_T_trainrate_max,
*      i_T_trainrate_bima,T_period_trainrate
C      GRAFE epanalifeis-sfalma
      WRITE(ICH_01,26) IEPANMAX,ELIMIT,PAR_EPAN_SYGLISH,IEPAN_SYGLISH,
*      I_MAX_FORES_EPAN_SYGLISH
      WRITE(ICH_01,28) IFLAG_FORM_VALID_SET,I_POP_VALID_SUBSET,
*      I_INCR_VALID_SUBSET
C-----
C---
35000 FORMAT ('EPIPEDO TND:',I2,' EIDOS SYNARTHSHS:(ARXH-TELOS)',I2,
* I2,' PARAMETER A(ARXH-TELOS-BHMA-PARAGONTAS):',3('-',I4),F8.5,
* ' PARAMETER B(ARXH-TELOS-BHMA-PARAGONTAS):',3('-',I4),F8.5)
      IPROX=1
      WRITE(ICH_01,35000) IPROX,IKIND_SYN_1arxi,IKIND_SYN_1telos,
*      ipar_a_SYN_1_min,ipar_a_SYN_1_max,ipar_a_SYN_1_bima,
*      par_a_SYN_1multi,
*      ipar_b_SYN_1_min,ipar_b_SYN_1_max,ipar_b_SYN_1_bima,
*      par_b_SYN_1multi
      IPROX=2
      WRITE(ICH_01,35000) IPROX,IKIND_SYN_2arxi,IKIND_SYN_2telos,
*      ipar_a_SYN_2_min,ipar_a_SYN_2_max,ipar_a_SYN_2_bima,
*      par_a_SYN_2multi,
*      ipar_b_SYN_2_min,ipar_b_SYN_2_max,ipar_b_SYN_2_bima,
*      par_b_SYN_2multi
C-----
      WRITE(ICH_01,51)
      DO 450 I1=1,IDIANYSMATA
        WRITE(ICH_01,16) I1,(RDEDOMENA(J,I1),J=1,I_VAR)
450    CONTINUE
      WRITE(ICH_01,51)
      DO 460 I1=1,IDIAN_AJ
        WRITE(ICH_01,16) I1,(RDED_AJ(J,I1),J=1,I_VAR)
460    CONTINUE
      WRITE(ICH_01,51)

      CLOSE(ICH_01)

C*****
C      KANONIKOPOIHSH DIANYSMATOS EISODOU
C*****
      DO 800 I1=1,IDIANYSMATA
        DO 780 J=1,I_VAR
          RDEDOMENA(J,I1)=0.8*(RDEDOMENA(J,I1)-Rkanmin(J))
*          / (Rkanmax(J)-Rkanmin(J))+0.1
780    CONTINUE
800    CONTINUE
      DO 820 I1=1,IDIAN_AJ
        DO 805 J=1,I_VAR
          RDED_AJ(J,I1)=0.8*(RDED_AJ(J,I1)-Rkanmin(J))

```

```

*                               / (Rkanmax(J) - Rkanmin(J) ) + 0.1
805 CONTINUE
820 CONTINUE

C-----
C   arxeio elegxou kanonikopoiisis
      ICH_01 = 21
      FNAME_ELE = 'ELEG_kanonikopoiisis'//'.txt'
C   anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
      OPEN(ICH_01,FILE = FNAME_ELE, ACCESS='SEQUENTIAL')
      DO 850 I1=1,IDIANYSMATA
        WRITE(ICH_01,16)  I1, (RDEDOMENA(J,I1),J=1,I_VAR)
850  CONTINUE
        WRITE(ICH_01,51)
      DO 860 I1=1,IDIAN_AJ
        WRITE(ICH_01,16)  I1, (RDED_AJ(J,I1),J=1,I_VAR)
860  CONTINUE
      CLOSE(ICH_01)

C*****
C   SXHMATISMOS PINAKA DIANYSMATWN PRAGMATOPOIHSHS EKPAIDEYSHS
C*****
C   ----- SENARIA -----
C*****
      DO 12000 I_FLAG_SENARIO=I_MIN_SCENARIO,I_MAX_SCENARIO
C   SENARIO = 1 :
      IF ( I_FLAG_SENARIO.EQ.1 ) THEN
C   gia kathe dianisma ekpaideusis
      IMET_DIAN=0
      DO 1030 IMETRHTHS=1,IDIANYSMATA
      IMET_DIAN=IMETRHTHS
C   apthikeusi metalitwn eisodou
      DO 1005 I=1,I_IN_VAR
        R_DEDOM_X(I,IMET_DIAN)= RDEDOMENA(I,IMETRHTHS)
1005  CONTINUE
C   apothikeusi metablitwn ejodou
      DO 1010 I=1,I_OUT_VAR
        I_HELP1=I+I_IN_VAR
        R_DEDOM_Y(I,IMET_DIAN)=RDEDOMENA(I_HELP1,IMETRHTHS)
1010  CONTINUE
1030  CONTINUE
        IENERGDIANYSMATA=IMET_DIAN
        iqin=I_IN_VAR
        iqout=I_OUT_VAR
C   ----- gia kathe dianisma ajiologisis
      IMET_DIAN=0
      DO 1060 IMETRHTHS=1,IDIAN_AJ
      IMET_DIAN=IMETRHTHS
C   apthikeusi metalitwn eisodou
      DO 1035 I=1,I_IN_VAR
        R_DE_AJ_X(I,IMET_DIAN)=RDED_AJ(I,IMETRHTHS)
1035  CONTINUE
C   apothikeusi metablitwn ejodou
      DO 1040 I=1,I_OUT_VAR
        I_HELP1=I+I_IN_VAR
        R_DE_AJ_Y(I,IMET_DIAN)= RDED_AJ(I_HELP1,IMETRHTHS)
1040  CONTINUE
1060  CONTINUE
        IENERGDIAN_AJ=IMET_DIAN
C   telos gia senario 1
      ENDIF

C-----
C   ELEGXOS ANAGNWSHS DEDOMENWN - EGGRAPH SE 1 BOHTHIKO ARXEIO
C-----
c   onomata diaforetikwn arxeiwn
C-----
      IPROX=I_FLAG_SENARIO
      DO 2000 I=1,3
        CALL DIAIR(IPROX,J,10)
        CALL FINDCHAR(J,CHCH(I))
2000  CONTINUE
C   arxeio elegxou olikou
      ICH_01 = 21

```

```

      FNAME_ELE = 'ELEG_EISODOU'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C      anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
      OPEN(ICH_01,FILE = FNAME_ELE, ACCESS='SEQUENTIAL')
      DO 2001 I1=1, IENERGADIANYSMATA
        WRITE(ICH_01,52) I1,
*      (R_DEDOM_X(J,I1),J=1,iqin)
2001 CONTINUE

      WRITE(ICH_01,51)
      DO 2002 I1=1, IENERGADIANYSMATA
        WRITE(ICH_01,52) I1,
*      (R_DEDOM_Y(J,I1),J=1,iqout)
2002 CONTINUE

      DO 2006 I1=1, IENERGADIAN_AJ
        WRITE(ICH_01,52) I1,
*      (R_DE_AJ_X(J,I1),J=1,iqin)
2006 CONTINUE

      WRITE(ICH_01,51)
      DO 2008 I1=1, IENERGADIAN_AJ
        WRITE(ICH_01,52) I1,
*      (R_DE_AJ_Y(J,I1),J=1,iqout)
2008 CONTINUE

C////////////////////////////////////
C----- Prosdiorismos Validation set
C----- ana arithmo omadwn gia sigkekrimena dianismata - epnalifimotiita
C----- methodou
C////////////////////////////////////
C-----
      IF (IFLAG_FORM_VALID_SET.EQ.1) THEN
        I_HELP_MET=0
        IENERGAVALIDAT=0
C      metabasi training dedomenwn se kirios programma
        DO 3500 I1=1, IENERGADIANYSMATA

C----- training set
        DO 3480 I2=1, iqin
          XEISODOS(I2,I1)=R_DEDOM_X(I2,I1)
3480 CONTINUE
        DO 3490 I2=1, iqout
          YEJODOS(I2,I1)=R_DEDOM_Y(I2,I1)
3490 CONTINUE
C----- validation set
C----- ginetai eggrafi h oxi
        I_HELP_MET=I_HELP_MET+1
        IF (I_HELP_MET.GT.I_POP_VALID_SUBSET) THEN
          I_HELP_MET=1
        ENDIF
        IF (I_HELP_MET.EQ.I_INCR_VALID_SUBSET) THEN
          IENERGAVALIDAT=IENERGAVALIDAT+1
        DO 3495 I2=1, iqin
          XEISODOS_VAL(I2, IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_X(I2,I1)
3495 CONTINUE
        DO 3496 I2=1, iqout
          YEJODOS_VAL(I2, IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_Y(I2,I1)
3496 CONTINUE
        ENDIF
3500 CONTINUE
        IENERGATRaining=IENERGADIANYSMATA
C----- gia tin periptwsi pou den exoun koina stoixeia ta synola
        ELSE
          I_HELP_MET=0
          IENERGAVALIDAT=0
          IENERGATRaining=0
          DO 3550 I1=1, IENERGADIANYSMATA
C----- ginetai eggrafi h oxi se validation set
          I_HELP_MET=I_HELP_MET+1
          IF (I_HELP_MET.GT.I_POP_VALID_SUBSET) THEN
            I_HELP_MET=1
          ENDIF
          IF (I_HELP_MET.EQ.I_INCR_VALID_SUBSET) THEN

```



```

        IENERGAVALIDAT=IENERGAVALIDAT+1
    DO 3525 I2=1,iqin
    XEISODOS_VAL(I2,IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_X(I2,I1)
3525 CONTINUE
    DO 3527 I2=1,iqout
    YEJODOS_VAL(I2,IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_Y(I2,I1)
3527 CONTINUE
    ELSE
        IENERGATRaining=IENERGATRaining+1
C----- diaforetika eggrafi se training set
    DO 3530 I2=1,iqin
    XEISODOS(I2,IENERGATRaining)=R_DEDOM_X(I2,I1)
3530 CONTINUE
    DO 3532 I2=1,iqout
    YEJODOS(I2,IENERGATRaining)=R_DEDOM_Y(I2,I1)
3532 CONTINUE
    ENDIF
3550 CONTINUE
    ENDIF

C-----
C      metabasi dedomenwn se kirios programma
    DO 3600 I1=1,IENERGADIAN_AJ
    DO 3580 I2=1,iqin
    XEISODOS_AJ(I2,I1)=R_DE_AJ_X(I2,I1)
3580 CONTINUE
    DO 3590 I2=1,iqout
    YEJODOS_AJ(I2,I1)=R_DE_AJ_Y(I2,I1)
3590 CONTINUE
3600 CONTINUE

C////////////////////////////////////
C----- eggrafi stoixeion se boithitiko arxeio
    WRITE(ICH_01,62)
    DO 3701 I1=1,IENERGATRaining
    WRITE(ICH_01,52) I1,
    * (XEISODOS(J,I1),J=1,iqin)
3701 CONTINUE
    WRITE(ICH_01,51)
    DO 3702 I1=1,IENERGATRaining
    WRITE(ICH_01,52) I1,
    * (YEJODOS(J,I1),J=1,iqout)
3702 CONTINUE
    WRITE(ICH_01,64)
    DO 3703 I1=1,IENERGAVALIDAT
    WRITE(ICH_01,52) I1,
    * (XEISODOS_VAL(J,I1),J=1,iqin)
3703 CONTINUE
    WRITE(ICH_01,51)
    DO 3704 I1=1,IENERGAVALIDAT
    WRITE(ICH_01,52) I1,
    * (YEJODOS_VAL(J,I1),J=1,iqout)
3704 CONTINUE
    WRITE(ICH_01,63)
    DO 3705 I1=1,IENERGADIAN_AJ
    WRITE(ICH_01,52) I1,
    * (XEISODOS_AJ(J,I1),J=1,iqin)
3705 CONTINUE
    WRITE(ICH_01,51)
    DO 3706 I1=1,IENERGADIAN_AJ
    WRITE(ICH_01,52) I1,
    * (YEJODOS_AJ(J,I1),J=1,iqout)
3706 CONTINUE
    CLOSE(ICH_01)

C////////////////////////////////////
C-----
C      arxeio elegxou barwn
    ICH_001 = 31
    FNAME_ELE1 = 'ELEG_BARWN'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C      anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos

```

```

OPEN(ICH_001,FILE = FNAME_ELE1, ACCESS='SEQUENTIAL')

C   arxeio elegxou epanalifewn - "tyxaias' epilogis dianismatwn
    ICH_002 = 32
    FNAME_ELE2 = 'ELEG_epiloghs'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C   anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
    OPEN(ICH_002,FILE = FNAME_ELE2, ACCESS='SEQUENTIAL')

C   arxeio elegxou epanalifewn - "tyxaias' epilogis dianismatwn
    ICH_003 = 33
    FNAME_ELE3 = 'ELEG_EJODOU'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C   anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
    OPEN(ICH_003,FILE = FNAME_ELE3, ACCESS='SEQUENTIAL')

C   arxeio elegxou epanalifewn - "tyxaias' epilogis dianismatwn
    ICH_004 = 34
    FNAME_ELE4 = 'ELEG_SYGRISH'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C   anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
    OPEN(ICH_004,FILE = FNAME_ELE4, ACCESS='SEQUENTIAL')

C*****
C//////////-----dokimes diaforwn katigoriwn back propapgation

C   simaies energopoiisis sinartisewn katwfliou
C   DO 8600 ISYNFLAG_1 = 1,1
C   DO 8590 ISYNFLAG_2 = 1,1
    DO 8600 ISYNFLAG_1 = IKIND_SYN_1arxi,IKIND_SYN_1telos
    DO 8590 ISYNFLAG_2 = IKIND_SYN_2arxi,IKIND_SYN_2telos
C   aexikopoiiseis parametwrn sinartisis energopoiisis 1
    DO 8586 ipar_a_SYN_1=ipar_a_SYN_1_min,ipar_a_SYN_1_max,
*   ipar_a_SYN_1_bima
    par_a_SYN_1=par_a_SYN_1multi*(1.0*ipar_a_SYN_1)
    DO 8584 ipar_b_SYN_1=ipar_b_SYN_1_min,ipar_b_SYN_1_max,
*   ipar_b_SYN_1_bima
    par_b_SYN_1=par_b_SYN_1multi*(1.0*ipar_b_SYN_1)
C   aexikopoiiseis parametwrn sinartisis energopoiisis 2
    DO 8582 ipar_a_SYN_2=ipar_a_SYN_2_min,ipar_a_SYN_2_max,
*   ipar_a_SYN_2_bima
    par_a_SYN_2=par_a_SYN_2multi*(1.0*ipar_a_SYN_2)
    DO 8580 ipar_b_SYN_2=ipar_b_SYN_2_min,ipar_b_SYN_2_max,
*   ipar_b_SYN_2_bima
    par_b_SYN_2=par_b_SYN_2multi*(1.0*ipar_b_SYN_2)

C   plithos barwn
    DO 8570 iq1=I_PL_BARWN_1_min,I_PL_BARWN_1_max,I_PL_BARWN_1_bima

C   arxikopoiisi momentum
    DO 8550 i_momentum_1=i_metab_momentum_min,i_metab_momentum_max
    r_momentum_arx=(1.0*i_momentum_1)*r_metab_momentum

    DO 8545 i_momentum_2=i_T_momentum_min,i_T_momentum_max
    r_momentum_T=(1.0*i_momentum_2) * T_period_momentum

C   training rate
    DO 8540 i_trainrate_1=i_metab_trainrate_min,i_metab_trainrate_max
    trainrate_arx=(1.0*i_trainrate_1)*r_metab_trainrate

    DO 8535 i_trainrate_2=i_T_trainrate_min,i_T_trainrate_max
    trainrate_T=(1.0*i_trainrate_2) * T_period_trainrate

C*****
C   PYRHNAS METHODOY BACK - PROPAGATION - APLH METHODS
C   ME ON -LINE EKPAIDEUSH -2 EPIPEDA
C*****
C-----
C   ARXIKOPOIISH BARWN DIANYSMATOS EKPAIDEUSHS
C   epipeda iqin - iq1- iqout
    DO 4100 I_iq1=1, iq1
    DO 4050 I_iqin=1,iqin
C   times apo -1 ws 1
C   W1(I_iq1,I_iqin)=0.001*RAND(0)
C   W1(I_iq1,I_iqin)=0.01*(-1.0+2.0*RAND(0))
4050 CONTINUE
C   W1pol(I_iq1)=0.001*RAND(0)

```

```

W1pol(I_iq1)=0.01*(-1.0+2.0*RAND(0))
4100 CONTINUE

DO 4200 I_iqout=1,iqout
DO 4150 I_iq1=1, iq1
C   times apo -1 ws 1
C   W2(I_iqout,I_iq1)=0.001*RAND(0)
W2(I_iqout,I_iq1)=0.01*(-1.0+2.0*RAND(0))
4150 CONTINUE
C   W2pol(I_iqout)=0.001*RAND(0)
W2pol(I_iqout)=0.01*(-1.0+2.0*RAND(0))
4200 CONTINUE

C////////////////////////////////////

WRITE(ICH_001,54) ISYNFLAG_1,ISYNFLAG_2,ISYNFLAG_3,i_momentum_1,
* i_momentum_2,i_trainrate_1,i_trainrate_2,iq1
DO 4300 I1=1,iq1
WRITE(ICH_001,53) (W1(I1,J),J=1,iqin),W1pol(I1)
4300 CONTINUE
DO 4305 I1=1,iqout
WRITE(ICH_001,53) (W2(I1,J),J=1,iq1),W2pol(I1)
4305 CONTINUE

C////////////////////////////////////

C-----
C   PAROUSIASH PROTYPWN EKPAIDEUSHS
I_EPOCH=0
C--   termatiki sinthiki me sinartisi sfalmatos validation set
Gav_VALID_MEAN=0.0
Gav_VALID_MEAN_OLD=10000000.0
Gav_VALID_MEAN_MIN=10000000.0
Gav_VALID_MIN=10000000.0
I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN=0
I_DIADOX_FORES_EPAN_SYGLISHS=0
C   EPANALHFH EPOXHS
5000 CONTINUE

I_EPOCH=I_EPOCH+1
IF (I_EPOCH.EQ.1) THEN
I_FLAG_EPOCH_1=1
ELSE
I_FLAG_EPOCH_1=0
ENDIF
C   training rate
training_rate =trainrate_arx*EXP(( (-1.0)*I_EPOCH)/trainrate_T)
C   momentum
r_momentum=r_momentum_arx*EXP( ((-1.0)*I_EPOCH)/r_momentum_T)

C   apothikeusi barwn pros elegxo=>

C-----
C   ARXIKOPOIHS BARWN DIANYSMATOS EKPAIDEUSHS
C   epipeda iqin - iq1- iqout
DO 4400 I_iq1=1, iq1
DO 4350 I_iqin=1,iqin
C   times apo -1 ws 1
W1palio(I_iq1,I_iqin)=W1(I_iq1,I_iqin)
4350 CONTINUE
W1polpalio(I_iq1)=W1pol(I_iq1)
4400 CONTINUE

DO 4500 I_iqout=1,iqout
DO 4450 I_iq1=1, iq1
C   times apo -1 ws 1
W2palio(I_iqout,I_iq1)=W2(I_iqout,I_iq1)
4450 CONTINUE
W2polpalio(I_iqout)=W2pol(I_iqout)
4500 CONTINUE

DO 5010 JJ=1,IENERGATRaining
I_ENERGA_EPOCHHS(JJ)=1
5010 CONTINUE

```

```

DO 7400 I_DIANYSMATA1=1,IENERGATRaining

c-   posa energia dianismata yparxoun se kathe ektelesi
c-   -> ligotero kata ena apo progigoumeni
IF (I_DIANYSMATA1.LT.IENERGATRaining) THEN
  I_trexon_dianismata=IENERGATRaining+1-I_DIANYSMATA1
  epeidi ginetai apokopi fifiou jekiname apo 1 ws I_trexon_dianismata
c-   & 0.000001 gia na eimaste sigouroi gia mi monada
  P_THESH_ENTOS_PINAKA= 1.0+RAND(0) * I_trexon_dianismata -0.000001

  I_THESH_ENTOS_PINAKA= P_THESH_ENTOS_PINAKA
  I_POSA_ENERGA_DIAN=0
  DO 5020 JJ=1,IENERGATRaining
    IF (I_ENERGA_EPOCHHS(JJ).EQ.1) THEN
      I_POSA_ENERGA_DIAN=I_POSA_ENERGA_DIAN+1
      IF (I_POSA_ENERGA_DIAN.EQ.I_THESH_ENTOS_PINAKA) THEN
        I_ENERGA_EPOCHHS(JJ)=0
c---      anathesi timis
        IMET_DIAN=JJ
        GOTO 5025
        ENDIF
      ENDIF
5020 CONTINUE
5025 CONTINUE
    ELSE
      DO 5028 JJ=1,IENERGATRaining
        IF (I_ENERGA_EPOCHHS(JJ).EQ.1) THEN
c--      anathesi timis
          IMET_DIAN=JJ
          GOTO 5029
          ENDIF
5028 CONTINUE
5029 CONTINUE
        ENDIF
c+++++=====
c      IMET_DIAN=I_DIANYSMATA1
c+++++=====
c\////////////////////////////////
c      WRITE(ICH_002,56) IMET_DIAN,P_THESH_ENTOS_PINAKA,
c      * I_THESH_ENTOS_PINAKA
c\////////////////////////////////

c----- orthi metabasi
c      lo epipedo
c      gia kathe neurwna lou epipedou
      DO 5100 I_iq1=1, iq1
        U1(I_iq1)=0.0
c      gia stoixeia eisodou
      DO 5050 I_iqin=1,iqin
c      XEISODOS(I_iqin,IMET_DIAN) einai o pinakas dedomenwn apo ekpaideusi
c      prwti thesi : stili megethos dianismatos-metritits dianismatwn
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1(I_iq1,I_iqin)* XEISODOS(I_iqin,IMET_DIAN)
5050 CONTINUE
c      polwsi
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1pol(I_iq1)
        Y1(I_iq1)=
        * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_1,U1(I_iq1),par_a_SYN_1,par_b_SYN_1)
5100 CONTINUE

c\////////////////////////////////
c      if (IMET_DIAN.eq.10) then
c      write(ICH_002,51)
c      WRITE(ICH_002,57) (U1(I_iq1),I_iq1=1,iq1)
c      WRITE(ICH_002,57) (Y1(I_iq1),I_iq1=1,iq1)
c      endif
c\////////////////////////////////

c      2o epipedo
c      gia kathe neurwna 2ou epipedou
      DO 5300 I_iq2=1, iqout
        U2(I_iq2)=0.0
c      gia stoixeia eisodou
      DO 5250 I_iq1=1, iq1
        U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2(I_iq2,I_iq1)*Y1(I_iq1)

```

```

5250 CONTINUE
      U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2pol(I_iq2)
C edw to Y2 einai i ejodos tou diktiou
      Y2(I_iq2)=
      * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_2,U2(I_iq2),par_a_SYN_2,par_b_SYN_2)
C error - sima sfalmatos
      ERROR_PIN(I_iq2) = YEJODOS(I_iq2,IMET_DIAN)-Y2(I_iq2)

5300 CONTINUE
C\!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
c      if (IMET_DIAN.eq.10) then
c        write(ICH_002,51)
c        WRITE(ICH_002,57) (U2(I_iq2),I_iq2=1,iqout)
c        WRITE(ICH_002,57) (Y2(I_iq2),I_iq2=1,iqout)
c        WRITE(ICH_002,57) (ERROR_PIN(I_iq2),I_iq2=1,iqout)
c      endif
C\!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

C----- antistrofi metabasi
C      2o epipedo
C      gia kathe neurwna 2ou epipedou - plithos neurwnwn 2oou epipedou "iqout"
      DO 6300 I_iq2=1, iqout
        Delta2(I_iq2)=ERROR_PIN(I_iq2)*
        * PARAG_SYN_EF(ISYNFLAG_2,U2(I_iq2),par_a_SYN_2,par_b_SYN_2)

C          anaprosarmogi barous
      DO 6250 I_iq1=1, iq1
C      gia prwti epanalifi => moideniste diafora barous !!!!
      IF (I_FLAG_EPOCH_1.EQ.1) THEN
        DW2(I_iq2,I_iq1) = 0.0
      ENDIF
      PROX_W2=W2(I_iq2,I_iq1) + r_momentum * DW2(I_iq2,I_iq1)
      * + training_rate * Delta2(I_iq2) * Y1(I_iq1)

      DW2(I_iq2,I_iq1) = PROX_W2 - W2(I_iq2,I_iq1)
      W2(I_iq2,I_iq1) = PROX_W2
6250 CONTINUE
C      gia polwsi
      IF (I_FLAG_EPOCH_1.EQ.1) THEN
        DW2pol(I_iq2)=0.0
      ENDIF
      PROX_W2=W2pol(I_iq2) + r_momentum * DW2pol(I_iq2)
      * + training_rate * Delta2(I_iq2)
      DW2pol(I_iq2)=PROX_W2-W2pol(I_iq2)
      W2pol(I_iq2)=PROX_W2
6300 CONTINUE

C      1o epipedo
C      gia kathe neurwna 1ou epipedou - plithos neurwnwn epipedou "iq1"
      DO 6400 I_iq1=1, iq1
        ATHR_LATHOUS1=0.0
        DO 6350 I_iq2=1, iqout
          ATHR_LATHOUS1=ATHR_LATHOUS1+W2(I_iq2,I_iq1)*Delta2(I_iq2)
6350 CONTINUE
        Deltal(I_iq1)=ATHR_LATHOUS1*
        * PARAG_SYN_EF(ISYNFLAG_1,U1(I_iq1),par_a_SYN_1,par_b_SYN_1)

C          anaprosarmogi barous
      DO 6370 I_iqin=1,iqin

C      gia prwti epanalifi => moideniste diafora barous !!!!
      IF (I_FLAG_EPOCH_1.EQ.1) THEN
        DW1(I_iq1,I_iqin) = 0.0
      ENDIF
      PROX_W1=W1(I_iq1,I_iqin)+ r_momentum * DW1(I_iq1,I_iqin)
      * + training_rate * Deltal(I_iq1) * XEISODOS(I_iqin,IMET_DIAN)

      DW1(I_iq1,I_iqin) = PROX_W1 - W1(I_iq1,I_iqin)
      W1(I_iq1,I_iqin) = PROX_W1
6370 CONTINUE

C      gia polwsi

```

```

        IF (I_FLAG_EPOCH_1.EQ.1) THEN
            DW1pol(I_iq1)=0.0
        ENDIF
        PROX_W1=W1pol(I_iq1) + r_momentum * DW1pol(I_iq1)
*      + training_rate * Deltal(I_iq1)
        DW1pol(I_iq1)=PROX_W1-W1pol(I_iq1)
        W1pol(I_iq1)=PROX_W1

6400 CONTINUE

7400 CONTINUE

C*****
C      ELEGXOS SYGLISHS
C*****
C-----
C      ELEGXOS ALLAGHS WARWN SFLALAMTWN
C      epipeda iqin - iq1- iqout
        SFALMA_W1=0.0
        SFALMA_W1pol=0.0
        DO 7450 I_iq1=1, iq1
            DO 7445 I_iqin=1,iqin
C          times apo -1 ws 1
        SFALMA_W1=SFALMA_W1+(W1palio(I_iq1,I_iqin)-W1(I_iq1,I_iqin))**2
7445 CONTINUE
        SFALMA_W1pol=SFALMA_W1pol+(W1polpalio(I_iq1)-W1pol(I_iq1))**2
7450 CONTINUE
        SFALMA_W1=SQRT(SFALMA_W1)
        SFALMA_W1pol=SQRT(SFALMA_W1pol)

        SFALMA_W2=0.0
        SFALMA_W2pol=0.0
        DO 7460 I_iqout=1,iqout
            DO 7455 I_iq1=1, iq1
C          times apo -1 ws 1
        SFALMA_W2=(W2palio(I_iqout,I_iq1)-W2(I_iqout,I_iq1))**2
7455 CONTINUE
        SFALMA_W2pol=(W2polpalio(I_iqout)-W2pol(I_iqout))**2
7460 CONTINUE
        SFALMA_W2=SQRT(SFALMA_W2)
        SFALMA_W2pol=SQRT(SFALMA_W2pol)

C      elegxos ikanopoiisis allagis barwn
        IF ((SFALMA_W1.LE.ELIMIT).AND.(SFALMA_W1pol.LE.ELIMIT).AND.
*      (SFALMA_W2.LE.ELIMIT).AND.(SFALMA_W2pol.LE.ELIMIT) ) THEN
            I_SHMAIA_BARWN_EPAN=1
        ELSE
            I_SHMAIA_BARWN_EPAN=0
        ENDIF

C-----
C      EURESH SFALMATOS EKPAIDEUSHS
        ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN =0.0
        ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX  =0.0
        Gav_TRAIN=0.0
        DO 7472 IMET_met=1,IENERGATRaining
C      lo epipedo
C          gia kathe neurwna 1ou epipedou
        DO 7465 I_iq1=1, iq1
            U1(I_iq1)=0.0
C          gia stoixeia eisodou
        DO 7462 I_iqin=1,iqin
C      XEISODOS(I_iqin,IMET_DIAN) einai o pinakas dedomenwn apo ekpaideusi
C      prwti thesi : stili megethos dianismatos-metritits dianismatwn
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1(I_iq1,I_iqin)* XEISODOS(I_iqin,IMET_met)
7462 CONTINUE
C      polwsi
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1pol(I_iq1)
        Y1(I_iq1)=
*      SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_1,U1(I_iq1),par_a_SYN_1,par_b_SYN_1)
7465 CONTINUE
C      2o epipedo
C          gia kathe neurwna 2ou epipedou
        DO 7470 I_iq2=1, iqout

```

```

        U2(I_iq2)=0.0
C          gia stoixeia eisodou
        DO 7468 I_iq1=1, iq1
        U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2(I_iq2,I_iq1)*Y1(I_iq1)
7468 CONTINUE
        U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2pol(I_iq2)
C edw to Y2 einai i ejodos tou diktiou
        Y2(I_iq2)=
        * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_2,U2(I_iq2),par_a_SYN_2,par_b_SYN_2)
C      sinartisi sfalmatos
        Gav_TRAIN=Gav_TRAIN+(YEJODOS(I_iq2,IMET_met)-Y2(I_iq2))**2
C      error - sima sfalmatos
        I_ejodos_I_iq_2=I_IN_VAR+I_iq2
        ERROR_SFALMA=ABS( (YEJODOS(I_iq2,IMET_met)-Y2(I_iq2)) *
        * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))
        * /((YEJODOS(I_iq2,IMET_met)-0.1) *
        * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))
        * +0.8*Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2) ) )

C      euresi mesou sfalmatos
        ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN= ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN +ERROR_SFALMA
C      euresi megistou
        IF (ERROR_SFALMA.GE.ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX) THEN
        ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX = ERROR_SFALMA
        I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX =IMET_met
        I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX =I_iq2
        ENDIF
7470 CONTINUE
7472 CONTINUE
        ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX =ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX * 100.00
        ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN=ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN*100.0
        * / (1.0*(IENERGATRaining*iqout))
        Gav_TRAIN=Gav_TRAIN/(1.0*IENERGATRaining)
C-----
C      EURESH SFALMATOS VALIDATION SET
        ERROR_SFALMA_VALID_MEAN =0.0
        ERROR_SFALMA_VALID_MAX =0.0
        Gav_VALID=0.0
        DO 7478 IMET_met=1,IENERGAVALIDAT
C      lo epipedo
C      gia kathe neurwna lou epipedou
        DO 7475 I_iq1=1, iq1
        U1(I_iq1)=0.0
C      gia stoixeia eisodou
        DO 7474 I_iqin=1,iqin
C      XEISODOS_VAL(I_iqin,IMET_DIAN) einai o pinakas dedomenwn apo validation
C      prwti thesi : stili megethos dianismatos-metritits dianismatwn
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1(I_iq1,I_iqin)*XEISODOS_VAL(I_iqin,IMET_met)
7474 CONTINUE
C      polwsi
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1pol(I_iq1)
        Y1(I_iq1)=
        * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_1,U1(I_iq1),par_a_SYN_1,par_b_SYN_1)
7475 CONTINUE
C      2o epipedo
C      gia kathe neurwna 2ou epipedou
        DO 7477 I_iq2=1, iqout
        U2(I_iq2)=0.0
C      gia stoixeia eisodou
        DO 7476 I_iq1=1, iq1
        U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2(I_iq2,I_iq1)*Y1(I_iq1)
7476 CONTINUE
        U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2pol(I_iq2)
C edw to Y2 einai i ejodos tou diktiou
        Y2(I_iq2)=
        * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_2,U2(I_iq2),par_a_SYN_2,par_b_SYN_2)
C      sinartisi sfalmatos
        Gav_VALID=Gav_VALID+(YEJODOS_VAL(I_iq2,IMET_met)-Y2(I_iq2))**2
C      error - sima sfalmatos
        I_ejodos_I_iq_2=I_IN_VAR+I_iq2
        ERROR_SFALMA=ABS( (YEJODOS_VAL(I_iq2,IMET_met)-Y2(I_iq2)) *
        * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))
        * /((YEJODOS_VAL(I_iq2,IMET_met)-0.1) *
        * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))
        * +0.8*Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2) ) )

```

```

C      euresi mesou sfalmatos
      ERROR_SFALMA_VALID_MEAN= ERROR_SFALMA_VALID_MEAN +ERROR_SFALMA
C      euresi megistou
      IF (ERROR_SFALMA.GE.ERROR_SFALMA_VALID_MAX) THEN
        ERROR_SFALMA_VALID_MAX = ERROR_SFALMA
      I_DIANY_ERROR_SFALMA_VALID_MAX =IMET_met
      I_THESH_ERROR_SFALMA_VALID_MAX =I_iq2
      ENDIF
7477 CONTINUE
7478 CONTINUE
      ERROR_SFALMA_VALID_MAX =ERROR_SFALMA_VALID_MAX * 100.00
      ERROR_SFALMA_VALID_MEAN=ERROR_SFALMA_VALID_MEAN*100.0
*      / (1.0*(IENERGAVALIDAT*iqout))
      Gav_VALID=Gav_VALID/ (1.0*IENERGAVALIDAT)

C-----
C      EURESH SFALMATOS TEST
      ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN=0.0
      ERROR_SFALMA_PREDICT_MIN=1000000000000.0
      ERROR_SFALMA_PREDICT_MAX=0.0
      ERROR_SFALMA_AJ_MEAN =0.0
      ERROR_SFALMA_AJ_MAX =0.0
      Gav_TEST_AJ=0.0
      DO 7500 IMET_met=1,IENERGADIAN_AJ
C      1o epipedo
C      gia kathe neurwna lou epipedou
      DO 7485 I_iq1=1, iq1
        U1(I_iq1)=0.0
C      gia stoixeia eisodou
      DO 7482 I_iqin=1,iqin
C      XEISODOS(I_iqin,IMET_DIAN) einai o pinakas dedomenwn apo ekpaideusi
C      prwti thesi : stili megethos dianismatos-metritits dianismatwn
      U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1(I_iq1,I_iqin)*XEISODOS_AJ(I_iqin,IMET_met)
7482 CONTINUE
C      polwsi
      U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1pol(I_iq1)
      Y1(I_iq1)=
*      SYN_EFARMOGHS (ISYNFLAG_1,U1(I_iq1),par_a_SYN_1,par_b_SYN_1)
7485 CONTINUE
C      2o epipedo
C      gia kathe neurwna 2ou epipedou
      DO 7495 I_iq2=1, iqout
        U2(I_iq2)=0.0
C      gia stoixeia eisodou
      DO 7492 I_iq1=1, iq1
        U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2(I_iq2,I_iq1)*Y1(I_iq1)
7492 CONTINUE
      U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2pol(I_iq2)
C      edw to Y2 einai i ejodos tou diktiou
      Y2(I_iq2)=
*      SYN_EFARMOGHS (ISYNFLAG_2,U2(I_iq2),par_a_SYN_2,par_b_SYN_2)
C      sinartisi sfalmatos
      Gav_TEST_AJ=Gav_TEST_AJ+(YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_met)-Y2(I_iq2))**2
C      error - sima sfalmatos
      I_ejodos_I_iq_2=I_IN_VAR+I_iq2
      ERROR_SFALMA=ABS( (YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_met)-Y2(I_iq2))*
*      (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))
*      /((YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_met)-0.1)*
*      (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))
*      +0.8*Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2)) )
C      se pragmatiki timi
      ERROR_SFALMA_PREDICT=(YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_met)-Y2(I_iq2))*
*      (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8
C      euresi mesou sfalmatos
      ERROR_SFALMA_AJ_MEAN= ERROR_SFALMA_AJ_MEAN +ERROR_SFALMA
C      euresi mesis timis se MW
      ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN=ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN
*      +ABS(ERROR_SFALMA_PREDICT)
C      euresi megistou
      IF (ERROR_SFALMA.GE.ERROR_SFALMA_AJ_MAX) THEN
        ERROR_SFALMA_AJ_MAX = ERROR_SFALMA
      I_DIANY_ERROR_SFALMA_AJ_MAX =IMET_met
      I_THESH_ERROR_SFALMA_AJ_MAX =I_iq2
      ENDIF
C      elaxisti timi se MW

```



```

C      times apo -1 ws 1
      W1_fin(I_iq1,I_iqin)=W1(I_iq1,I_iqin)
7502  CONTINUE
      W1pol_fin(I_iq1)=W1pol(I_iq1)
7503  CONTINUE
      DO 7505 I_iqout=1,iqout
      DO 7504 I_iq1=1, iq1
C      times apo -1 ws 1
      W2_fin(I_iqout,I_iq1)=W2(I_iqout,I_iq1)
7504  CONTINUE
      W2pol_fin(I_iqout)=W2pol(I_iqout)
7505  CONTINUE
      ENDIF      !**** apenergopoiisa ts

C////////////////////////////////
C      EYRESH MESHS TIMHS SFALMATOS VALIDATION SET
C////////////////////////////////
      Gav_VALID_MEAN=Gav_VALID_MEAN+Gav_VALID
      IPROX=I_EPOCH
      CALL DIAIR(IPROX,IYPOLOIPO,IEPAN_SYGLISH)
      IF (IYPOLOIPO.EQ.0) THEN
          Gav_VALID_MEAN=Gav_VALID_MEAN/(1.0*IEPAN_SYGLISH)
C----- sigrisi timwn
      IF (Gav_VALID_MEAN.GE.Gav_VALID_MEAN_MIN) THEN
          I_DIADOX_FORES_EPAN_SYGLISHS=I_DIADOX_FORES_EPAN_SYGLISHS+1
          IF (I_DIADOX_FORES_EPAN_SYGLISHS.GE.I_MAX_FORES_EPAN_SYGLISH)
*      THEN
              I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN=1
              ENDIF
              ELSE
          I_DIADOX_FORES_EPAN_SYGLISHS=0
          Gav_VALID_MEAN_MIN=Gav_VALID_MEAN
          ENDIF
          IF (Gav_VALID_MEAN.GT.(PAR_EPAN_SYGLISH*Gav_VALID_MEAN_OLD))
*      THEN
              I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN=1
              ENDIF
              PRINT *, ' MESH TIMH VALIDATION SET NEO-PALIO-SHMAIA: ',
*      Gav_VALID_MEAN, Gav_VALID_MEAN_OLD,I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN
          WRITE(ICH_003,65) Gav_VALID_MEAN,I_EPOCH
          Gav_VALID_MEAN_OLD=Gav_VALID_MEAN
          Gav_VALID_MEAN=0.0
          ENDIF
C////////////////////////////////
C
C      WRITE(ICH_001,54) ISYNFLAG_1,ISYNFLAG_2,ISYNFLAG_3,i_momentum_1,
C      * i_momentum_2,i_trainrate_1,i_trainrate_2,iq1
C      DO 7510 I1=1,iq1
C          WRITE(ICH_001,53) (W1(I1,J),J=1,iqin),W1pol(I1)
C 7510  CONTINUE
C          DO 7515 I1=1,iqout
C              WRITE(ICH_001,53) (W2(I1,J),J=1,iq1),W2pol(I1)
C 7515  CONTINUE
C
C////////////////////////////////
C+++++++
C      EPANALHFH
c      I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN=0      ! apenergopoiisa gtsek

      IF ((I_EPOCH.LT.IEPANMAX).AND.(I_SHMAIA_BARWN_EPAN.EQ.0).AND.
* (I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN.EQ.0))
* GOTO 5000
c      READ *,STH
      WRITE(ICH_003,55) I_EPOCH,I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN,
* training_rate, r_momentum,I_SHMAIA_BARWN_EPAN,
* ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN,ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,
*I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,
* ERROR_SFALMA_VALID_MEAN,ERROR_SFALMA_VALID_MAX,
*I_DIANY_ERROR_SFALMA_VALID_MAX,I_THESH_ERROR_SFALMA_VALID_MAX,
* ERROR_SFALMA_AJ_MEAN,ERROR_SFALMA_AJ_MAX,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_AJ_MAX,I_THESH_ERROR_SFALMA_AJ_MAX,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN,ERROR_SFALMA_PREDICT_MIN,
* I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MIN,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MIN,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MAX,
* I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MAX,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MAX,

```

```

* Gav_TRAIN,Gav_VALID,Gav_TEST_AJ
c READ *,STH
WRITE(ICH_003,55) I_EPOCH_fin,I_SHMAIA_Gav_VALID_MEAN_fin,
* training_rate_fin, r_momentum_fin,I_SHMAIA_BARWN_EPAN_fin,
* ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX_fin,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX_fin,
* I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX_fin,
* ERROR_SFALMA_VALID_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_VALID_MAX_fin,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_VALID_MAX_fin,
* I_THESH_ERROR_SFALMA_VALID_MAX_fin,
* ERROR_SFALMA_AJ_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_AJ_MAX_fin,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_AJ_MAX_fin,I_THESH_ERROR_SFALMA_AJ_MAX_fin,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_PREDICT_MIN_fin,
* I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MIN_fin,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MIN_fin,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MAX_fin,
* I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MAX_fin,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MAX_fin,
* Gav_TRAIN_fin,Gav_VALID_fin,Gav_TEST_AJ_fin

C----- SET TRAINING
WRITE(ICH_003,62)

C----- euresi pragmatikqn timwn atoixeiwn

C--- gia sixxetisi &&&&
DO 7510 I_iq2=1, iqout
Ymean1(I_iq2)=0.0
Ymean2(I_iq2)=0.0
SumYreal2(I_iq2)=0.0
SumYpred2(I_iq2)=0.0
SumYrealYpred(I_iq2)=0.0
7510 CONTINUE
C--- &&&&

DO 7525 IMET_DIAN= 1, IENERGATRaining
C lo epipedo
C gia kathe neurwna lou epipedou
DO 7512 I_iq1=1, iq1
U1(I_iq1)=0.0
C gia stoixeia eisodou
DO 7511 I_iqin=1, iqin
C XEISODOS(I_iqin, IMET_DIAN) einai o pinakas dedomenwn apo ekpaideusi
C prwti thesi : stili megethos dianismatos-metritits dianismatwn
U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1_fin(I_iq1, I_iqin)*
* XEISODOS(I_iqin, IMET_DIAN)
7511 CONTINUE
C polwsi
U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1pol_fin(I_iq1)
Y1(I_iq1)=
* SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_1, U1(I_iq1), par_a_SYN_1, par_b_SYN_1)
7512 CONTINUE
C 2o epipedo
C gia kathe neurwna 2ou epipedou
DO 7524 I_iq2=1, iqout
U2(I_iq2)=0.0
C gia stoixeia eisodou
DO 7513 I_iq1=1, iq1
U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2_fin(I_iq2, I_iq1)*Y1(I_iq1)
7513 CONTINUE
U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2pol_fin(I_iq2)
C edw to Y2 einai i ejodos tou diktiou
Y2(I_iq2)=
* SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_2, U2(I_iq2), par_a_SYN_2, par_b_SYN_2)

C--- gia sixxetisi &&&&
Ymean1(I_iq2)= Ymean1(I_iq2)+YEJODOS(I_iq2, IMET_DIAN)
Ymean2(I_iq2)= Ymean2(I_iq2)+Y2(I_iq2)
Yprox(I_iq2, IMET_DIAN)=Y2(I_iq2)
C--- &&&&

C---- error - sima sfalmatos
I_ejodos_I_iq_2=I_IN_VAR+I_iq2
ERROR_PIN(I_iq2) = YEJODOS(I_iq2, IMET_DIAN)-Y2(I_iq2)
Ypred(I_iq2)=(Y2(I_iq2)-0.1)*
*(Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8+
* Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2)

```

```

      Yreal(I_iq2)=(YEJODOS(I_iq2,IMET_DIAN)-0.1)*
* (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8
* +Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2)
      ERROR_PIN(I_iq2)=ERROR_PIN(I_iq2)*
* (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8
C----- gia euresi diastimatos empistosinis -katataji sflamatwn aujousa
      IDEIKT_PROX1=1
      DO 7518 WHILE ((ERROR_PIN(I_iq2).GE.
* ERROR_KATATAJH(I_iq2,IDEIKT_PROX1)).
* AND.(IDEIKT_PROX1.LT.IMET_DIAN))
      IDEIKT_PROX1=IDEIKT_PROX1+1
7518 END DO
      IDEIKT_PROX_EURESH=IDEIKT_PROX1
      DO 7519 IDEIKT_PROX2=IMET_DIAN,(IDEIKT_PROX_EURESH+1),-1
      ERROR_KATATAJH(I_iq2,IDEIKT_PROX2)=
* ERROR_KATATAJH(I_iq2,(IDEIKT_PROX2-1))
7519 CONTINUE
      ERROR_KATATAJH(I_iq2,IDEIKT_PROX_EURESH)=ERROR_PIN(I_iq2)
C-----
7524 CONTINUE
C      eggrafi
      WRITE(ICH_003,61) IMET_DIAN,
* ((Ypred(Jekt),Yreal(Jekt),ERROR_PIN(Jekt)),Jekt=1,iqout)
7525 CONTINUE
C----- gia euresi diastimatos empistosinis training set
      I_LOWER_LIM_TRAIN=IENERGATRaining*POSOSTO_KATATAJH
      I_UPPER_LIM_TRAIN=IENERGATRaining+1-I_LOWER_LIM_TRAIN
      IF (I_LOWER_LIM_TRAIN.LT.1) THEN
      I_LOWER_LIM_TRAIN=1
      I_UPPER_LIM_TRAIN=IENERGATRaining
      ENDIF
      WRITE(ICH_003,71) POSOSTO_KATATAJH
      WRITE(ICH_003,74)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_LOWER_LIM_TRAIN),Jekt=1,iqout)
      WRITE(ICH_003,75)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_UPPER_LIM_TRAIN),Jekt=1,iqout)
      IPROX1=IENERGATRaining
      CALL DIAIR(IPROX1,IYPOLOIPO,2)
      IF (IYPOLOIPO.EQ.1) THEN
      WRITE(ICH_003,76)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1)),Jekt=1,iqout)
      ELSE
      WRITE(ICH_003,76) ( 0.5*(ERROR_KATATAJH(Jekt,IPROX1)+
* ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1))),Jekt=1,iqout )
      ENDIF

      DO 7528 I_iq2=1, iqout
      Ymean1(I_iq2)=Ymean1(I_iq2)/(1.0*IENERGATRaining)
      Ymean2(I_iq2)=Ymean2(I_iq2)/(1.0*IENERGATRaining)
      DO 7527 IMET_DIAN= 1,IENERGATRaining
      SumYreal2(I_iq2)=SumYreal2(I_iq2)
* +(YEJODOS(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean1(I_iq2))**2
      SumYpred2(I_iq2)=SumYpred2(I_iq2)
* +(Yprox(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean2(I_iq2))**2
      SumYrealYpred(I_iq2)=SumYrealYpred(I_iq2)+
* (Yprox(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean2(I_iq2))
* *(YEJODOS(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean1(I_iq2))
7527 CONTINUE
      R2train(I_iq2)=SumYrealYpred(I_iq2)
* / (SQRT(SumYreal2(I_iq2)*SumYpred2(I_iq2)))
7528 CONTINUE

C-----
C----- proxeiri ektipwsi pros elegxo katatajis
C      WRITE(ICH_003,51)
C      do 7526 IPROX1=1,IENERGATRaining
C      WRITE(ICH_003,76) (ERROR_KATATAJH(Jekt,IPROX1),Jekt=1,iqout)
C 7526 continue
C-----
C----- SET VALIDATION
      WRITE(ICH_003,64)
C----- euresi pragmatikqn timwn atoixeiwn

C--- gia sisxetisi &&&
      DO 7530 I_iq2=1, iqout

```

```

        Ymean1(I_iq2)=0.0
        Ymean2(I_iq2)=0.0
        SumYreal2(I_iq2)=0.0
        SumYpred2(I_iq2)=0.0
        SumYrealYpred(I_iq2)=0.0
7530 CONTINUE
C---      &&&&

        DO 7545 IMET_DIAN= 1, IENERGAVALIDAT
C      lo epipedo
C      gia kathe neurwna lou epipedou
        DO 7537 I_iq1=1, iq1
            U1(I_iq1)=0.0
C      gia stoixeia eisodou
        DO 7536 I_iqin=1, iqin
C      XEISODOS_VAL(I_iqin, IMET_DIAN) einai o pinakas dedomenwn apo validation
C      prwti thesi : stili megethos dianismatos-metritits dianismatwn
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1_fin(I_iq1, I_iqin)
        * XEISODOS_VAL(I_iqin, IMET_DIAN)
7536 CONTINUE
C      polwsi
        U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1pol_fin(I_iq1)
        Y1(I_iq1)=
        * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_1, U1(I_iq1), par_a_SYN_1, par_b_SYN_1)
7537 CONTINUE
C      2o epipedo
C      gia kathe neurwna 2ou epipedou
        DO 7544 I_iq2=1, iqout
            U2(I_iq2)=0.0
C      gia stoixeia eisodou
        DO 7538 I_iq1=1, iq1
            U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2_fin(I_iq2, I_iq1)*Y1(I_iq1)
7538 CONTINUE
        U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2pol_fin(I_iq2)
C edw to Y2 einai i ejodos tou diktiou
        Y2(I_iq2)=
        * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_2, U2(I_iq2), par_a_SYN_2, par_b_SYN_2)

C---      gia sixxetisi &&&&
        Ymean1(I_iq2)= Ymean1(I_iq2)+YEJODOS_VAL(I_iq2, IMET_DIAN)
        Ymean2(I_iq2)= Ymean2(I_iq2)+Y2(I_iq2)
        Yprox(I_iq2, IMET_DIAN)=Y2(I_iq2)
C---      &&&&

C      error - sima sfalmatos
        I_ejodos_I_iq_2=I_IN_VAR+I_iq2
        ERROR_PIN(I_iq2) = YEJODOS_VAL(I_iq2, IMET_DIAN)-Y2(I_iq2)
        Ypred(I_iq2)=(Y2(I_iq2)-0.1)*
        * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8+
        * Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2)
        Yreal(I_iq2)=(YEJODOS_VAL(I_iq2, IMET_DIAN)-0.1)*
        * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8
        * + Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2)
        ERROR_PIN(I_iq2)=ERROR_PIN(I_iq2)*
        * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8
C----      gia euresi diastimatos empistosinis -katataji sflamatwn aujousa
        IDEIKT_PROX1=1
        DO 7540 WHILE ((ERROR_PIN(I_iq2)).GE.
        * ERROR_KATATAJH(I_iq2, IDEIKT_PROX1)).
        * AND.(IDEIKT_PROX1.LT.IMET_DIAN))
            IDEIKT_PROX1=IDEIKT_PROX1+1
7540 END DO
            IDEIKT_PROX_EURESH=IDEIKT_PROX1
            DO 7541 IDEIKT_PROX2=IMET_DIAN, (IDEIKT_PROX_EURESH+1), -1
                ERROR_KATATAJH(I_iq2, IDEIKT_PROX2)=
                * ERROR_KATATAJH(I_iq2, (IDEIKT_PROX2-1))
7541 CONTINUE
            ERROR_KATATAJH(I_iq2, IDEIKT_PROX_EURESH)=ERROR_PIN(I_iq2)
C-----
7544 CONTINUE
C      eggrafi
        WRITE(ICH_003, 61) IMET_DIAN,
        * ((Ypred(Jekt), Yreal(Jekt), ERROR_PIN(Jekt)), Jekt=1, iqout)
7545 CONTINUE
C-----      gia euresi diastimatos empistosinis validation set

```

```

I_LOWER_LIM_VALID=IENERGAVALIDAT*POSOSTO_KATATAJH
I_UPPER_LIM_VALID=IENERGAVALIDAT+1-I_LOWER_LIM_VALID
  IF (I_LOWER_LIM_VALID.LT.1) THEN
    I_LOWER_LIM_VALID=1
    I_UPPER_LIM_VALID=IENERGAVALIDAT
  ENDIF
WRITE(ICH_003,72) POSOSTO_KATATAJH
WRITE(ICH_003,74)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_LOWER_LIM_VALID),Jekt=1,iqout)
WRITE(ICH_003,75)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_UPPER_LIM_VALID),Jekt=1,iqout)
IPROX1=IENERGAVALIDAT
CALL DIAIR(IPROX1,IYPOLOIPO,2)
IF (IYPOLOIPO.EQ.1) THEN
  WRITE(ICH_003,76)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1)),Jekt=1,iqout)
  ELSE
  WRITE(ICH_003,76) ( 0.5*(ERROR_KATATAJH(Jekt,IPROX1)+
* ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1)) ),Jekt=1,iqout )
  ENDIF

DO 7558 I_iq2=1, iqout
  Ymean1(I_iq2)=Ymean1(I_iq2)/(1.0*IENERGAVALIDAT)
  Ymean2(I_iq2)=Ymean2(I_iq2)/(1.0*IENERGAVALIDAT)
DO 7557 IMET_DIAN= 1,IENERGAVALIDAT
  SumYreal2(I_iq2)=SumYreal2(I_iq2)
* + (YEJODOS_VAL(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean1(I_iq2))**2
  SumYpred2(I_iq2)=SumYpred2(I_iq2)
* + (Yprox(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean2(I_iq2))**2
  SumYrealYpred(I_iq2)=SumYrealYpred(I_iq2)+
* (Yprox(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean2(I_iq2))
* * (YEJODOS_VAL(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean1(I_iq2))
7557 CONTINUE
  R2valid(I_iq2)=SumYrealYpred(I_iq2)
* / (SQRT(SumYreal2(I_iq2)*SumYpred2(I_iq2)))
7558 CONTINUE

C-----
C----- SET ELEGXOU
  WRITE(ICH_003,63)
C----- euresi pragmatikqn timwn atoixeiwn

C--- gia sixxetisi &&&&
DO 7560 I_iq2=1, iqout
  Ymean1(I_iq2)=0.0
  Ymean2(I_iq2)=0.0
  SumYreal2(I_iq2)=0.0
  SumYpred2(I_iq2)=0.0
  SumYrealYpred(I_iq2)=0.0
7560 CONTINUE
C--- &&&&
DO 7570 IMET_DIAN= 1,IENERGADIAN_AJ
C 1o epipedo
C gia kathe neurwna lou epipedou
DO 7562 I_iq1=1, iq1
  U1(I_iq1)=0.0
C gia stoixeia eisodou
DO 7561 I_iqin=1,iqin
C XEISODOS(I_iqin,IMET_DIAN) einai o pinakas dedomenwn apo ekpaideusi
C prwti thesi : stili megethos dianismatos-metritits dianismatwn
U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1_fin(I_iq1,I_iqin)*
* XEISODOS_AJ(I_iqin,IMET_DIAN)
7561 CONTINUE
C polwsi
U1(I_iq1)=U1(I_iq1)+W1pol_fin(I_iq1)
Y1(I_iq1)=
* SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_1,U1(I_iq1),par_a_SYN_1,par_b_SYN_1)
7562 CONTINUE
C 2o epipedo
C gia kathe neurwna 2ou epipedou
DO 7569 I_iq2=1, iqout
  U2(I_iq2)=0.0
C gia stoixeia eisodou
DO 7563 I_iq1=1, iq1
  U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2_fin(I_iq2,I_iq1)*Y1(I_iq1)

```

```

7563 CONTINUE
      U2(I_iq2)=U2(I_iq2)+W2pol_fin(I_iq2)
C edw to Y2 einai i ejodos tou diktiou
      Y2(I_iq2)=
      * SYN_EFARMOGHS(ISYNFLAG_2,U2(I_iq2),par_a_SYN_2,par_b_SYN_2)

C--- gia sisxetisi &&&&
      Ymean1(I_iq2)= Ymean1(I_iq2)+YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_DIAN)
      Ymean2(I_iq2)= Ymean2(I_iq2)+Y2(I_iq2)
      Yprox(I_iq2,IMET_DIAN)=Y2(I_iq2)
C--- &&&&

C error - sima sfalmatos
      I_ejodos_I_iq_2=I_IN_VAR+I_iq2
      ERROR_PIN(I_iq2)= YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_DIAN)-Y2(I_iq2)
      Ypred(I_iq2)=(Y2(I_iq2)-0.1)*
      * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8
      * + Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2)
      Yreal(I_iq2)=(YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_DIAN)-0.1)*
      * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8+
      * Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2)
      ERROR_PIN(I_iq2)=ERROR_PIN(I_iq2)*
      * (Rkanmax(I_ejodos_I_iq_2)-Rkanmin(I_ejodos_I_iq_2))/0.8
C---- gia euresi diastimatos empistosinis -katataji sflamatwn aujousa
      IDEIKT_PROX1=1
      DO 7565 WHILE ((ERROR_PIN(I_iq2).GE.
      * ERROR_KATATAJH(I_iq2,IDEIKT_PROX1)).
      * AND.(IDEIKT_PROX1.LT.IMET_DIAN))
      IDEIKT_PROX1=IDEIKT_PROX1+1
7565 END DO
      IDEIKT_PROX_EURESH=IDEIKT_PROX1
      DO 7566 IDEIKT_PROX2=IMET_DIAN,(IDEIKT_PROX_EURESH+1),-1
      ERROR_KATATAJH(I_iq2,IDEIKT_PROX2)=
      * ERROR_KATATAJH(I_iq2,(IDEIKT_PROX2-1))
7566 CONTINUE
      ERROR_KATATAJH(I_iq2,IDEIKT_PROX_EURESH)=ERROR_PIN(I_iq2)
C-----
7569 CONTINUE
C eggrafi
      WRITE(ICH_003,61) IMET_DIAN,
      * ((Ypred(Jekt),Yreal(Jekt),ERROR_PIN(Jekt)),Jekt=1,iqout)
7570 CONTINUE
C-----
C----- gia euresi diastimatos empistosinis validation set
      I_LOWER_LIM_TEST=IENERGADIAN_AJ*POSOSTO_KATATAJH
      I_UPPER_LIM_TEST=IENERGADIAN_AJ+1-I_LOWER_LIM_TEST
      IF (I_LOWER_LIM_TEST.LT.1) THEN
      I_LOWER_LIM_TEST=1
      I_UPPER_LIM_TEST=IENERGADIAN_AJ
      ENDIF
      WRITE(ICH_003,73) POSOSTO_KATATAJH
      WRITE(ICH_003,74)
      * (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_LOWER_LIM_TEST),Jekt=1,iqout)
      WRITE(ICH_003,75)
      * (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_UPPER_LIM_TEST),Jekt=1,iqout)
      IPROX1=IENERGADIAN_AJ
      CALL DIAIR(IPROX1,IYPOLOIPO,2)
      IF (IYPOLOIPO.EQ.1) THEN
      WRITE(ICH_003,76)
      * (ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1)),Jekt=1,iqout)
      ELSE
      WRITE(ICH_003,76) ( 0.5*(ERROR_KATATAJH(Jekt,IPROX1)+
      * ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1))),Jekt=1,iqout )
      ENDIF
C-----

DO 7578 I_iq2=1, iqout
      Ymean1(I_iq2)=Ymean1(I_iq2)/(1.0*IENERGADIAN_AJ)
      Ymean2(I_iq2)=Ymean2(I_iq2)/(1.0*IENERGADIAN_AJ)
DO 7577 IMET_DIAN= 1,IENERGADIAN_AJ
      SumYreal2(I_iq2)=SumYreal2(I_iq2)
      * +(YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean1(I_iq2))**2
      SumYpred2(I_iq2)=SumYpred2(I_iq2)
      * +(Yprox(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean2(I_iq2))**2
      SumYrealYpred(I_iq2)=SumYrealYpred(I_iq2)+

```

```

*      (Yprox(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean2(I_iq2))
*      *(YEJODOS_AJ(I_iq2,IMET_DIAN)-Ymean1(I_iq2))
7577  CONTINUE
      R2test(I_iq2)=SumYrealYpred(I_iq2)
*      / (SQRT(SumYreal2(I_iq2)*SumYpred2(I_iq2)))
7578  CONTINUE

C---  gia sigrsisi parallagis
      WRITE(ICH_004,66) ISYNFLAG_1,par_a_SYN_1,par_b_SYN_1,
*      ISYNFLAG_2,par_a_SYN_2,par_b_SYN_2,
*      trainrate_arx,trainrate_T,r_momentum_arx,r_momentum_T,iq1,
*      ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX_fin,
*      I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX_fin,
*      I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX_fin,
*      ERROR_SFALMA_VALID_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_VALID_MAX_fin,
*      I_DIANY_ERROR_SFALMA_VALID_MAX_fin,
*      I_THESH_ERROR_SFALMA_VALID_MAX_fin,
*      ERROR_SFALMA_AJ_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_AJ_MAX_fin,
*      I_DIANY_ERROR_SFALMA_AJ_MAX_fin,I_THESH_ERROR_SFALMA_AJ_MAX_fin,
*      ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN_fin,ERROR_SFALMA_PREDICT_MIN_fin,
*      I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MIN_fin,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MIN_fin,
*      ERROR_SFALMA_PREDICT_MAX_fin,
*      I_DIANY_ERROR_SFA_PREAJ_MAX_fin,I_THESH_ERROR_SFA_PREAJ_MAX_fin,
*      Gav_TRAIN_fin,Gav_VALID_fin,Gav_TEST_AJ_fin,I_EPOCH_fin,
*      (J,R2train(J),R2valid(J),R2test(J),J=1,iqout)

C-----
C      apo simaies energopoiisis katwfliou & T1, T2
8535  CONTINUE
8540  CONTINUE
8545  CONTINUE
8550  CONTINUE
8560  CONTINUE
8570  CONTINUE
8580  CONTINUE
8582  CONTINUE
8584  CONTINUE
8586  CONTINUE
8588  CONTINUE
8590  CONTINUE
8600  CONTINUE

C-----
      CLOSE (ICH_001)
      CLOSE (ICH_002)
      CLOSE (ICH_003)
      CLOSE (ICH_004)
C////////// arxiko fakelo elegxou barwn
C      & fakelo epanalifewn-"tixaiwn" dianismatwn

C      telos senariou ektelesis
12000 CONTINUE

C      pros telos programmatos
18000 CONTINUE

      END

C*****
C      euresi pilikou & ipolipou apo diairesi me AKERAI0 IDIAIRETHS
C      gia akeraious
      subroutine DIAIR(IPHL,IYPOL,IDIARETHS)
      INTEGER*4 IPHL,IYPOL,IPROX,IDIARETHS
      IPROX=IPHL/IDIARETHS
      IYPOL=IPHL-IPROX*IDIARETHS
      IPHL=IPROX
      return
      end
C*****
C      euresi xaraktirwn se thesi aritmwn
      SUBROUTINE FINDCHAR(INT_CHAR,FIN_CHAR)
      INTEGER INT_CHAR
      CHARACTER*1,FIN_CHAR
      IF (INT_CHAR.EQ.0) THEN
        FIN_CHAR='0'
      RETURN

```



```

ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.1) THEN
  FIN_CHAR='1'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.2) THEN
  FIN_CHAR='2'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.3) THEN
  FIN_CHAR='3'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.4) THEN
  FIN_CHAR='4'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.5) THEN
  FIN_CHAR='5'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.6) THEN
  FIN_CHAR='6'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.7) THEN
  FIN_CHAR='7'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.8) THEN
  FIN_CHAR='8'
RETURN
ENDIF
IF (INT_CHAR.EQ.9) THEN
  FIN_CHAR='9'
RETURN
ENDIF
END
C*****
C*****
C   SYNARTHSH EFARMOGHS SE NEURWNES
C-----
REAL FUNCTION SYN_EFARMOGHS (IFLAG, TIMH, PARAMETROS_A, PARAMETROS_B)
  INTEGER IFLAG
  REAL    TIMH, PARAMETROS_A, PARAMETROS_B, PROX_TIMH
C----- synartisi logistiki (a*x+b)
  IF (IFLAG.EQ.1) THEN
    PROX_TIMH=-1.0*(TIMH*PARAMETROS_A+PARAMETROS_B)
    SYN_EFARMOGHS=1.0/(1.0+EXP(PROX_TIMH))
  ENDIF
C----- synartisi tanh(a*x+b)
  IF (IFLAG.EQ.2) THEN
    PROX_TIMH=TIMH*PARAMETROS_A+PARAMETROS_B
    SYN_EFARMOGHS=TANH(PROX_TIMH)
  ENDIF
C----- synartisi linear (a*x+b)
  IF (IFLAG.EQ.3) THEN
    SYN_EFARMOGHS=TIMH*PARAMETROS_A+PARAMETROS_B
  ENDIF
  END
C*****
C*****
C   PAPAGWGOS SYNARTHSH EFARMOGHS SE NEURWNES
C-----
REAL FUNCTION PARAG_SYN_EF(IFLAG, TIMH, PARAMETROS_A, PARAMETROS_B)
  INTEGER IFLAG
  REAL    TIMH, PARAMETROS_A, PARAMETROS_B, PROX_TIMH
C----- synartisi logistiki
  IF (IFLAG.EQ.1) THEN
    PROX_TIMH=-1.0*(TIMH*PARAMETROS_A+PARAMETROS_B)
    PARAG_SYN_EF=PARAMETROS_A*EXP(PROX_TIMH)
  *  / ( (1.0+EXP(PROX_TIMH)) * (1.0+EXP(PROX_TIMH)) )
  ENDIF

```

```

C----- synartisi tanh(a*x)
      IF (IFLAG.EQ.2) THEN
        PROX_TIMH=TIMH*PARAMETROS_A+PARAMETROS_B
        PARAG_SYN_EF=PARAMETROS_A*(1.0-TANH(PROX_TIMH)*TANH(PROX_TIMH))
      ENDIF
C----- synartisi linear (a*x+b)
      IF (IFLAG.EQ.3) THEN
        PARAG_SYN_EF=PARAMETROS_A
      ENDIF
      END
C*****

```

Π.3 Πρόγραμμα Ασαφούς Λογικής

```

C *****
C *
C *           P R O G R A M   F U Z Z Y   S Y S T E M           *
C *****
      PROGRAM FUZZY 002
C-----
c      bibliothikes
      USE DFLIB
      USE DFPORT
C-----
C      PARAMETROI
C      diastasi pinakwn plithous dianismatwn anagnwsis ( 8 eth)
      PARAMETER (ip_dim1=200)
C      diastasi pinakwn megethous dianismatwn anagnwsis
      PARAMETER (ip_dim2=10)
C      synoliki diastasi pinaka dianismatwn anagnwsis
      PARAMETER ( ip_dim2_f=ip_dim2 )
C      efarmogi methodou sta stoixeia apo ip_dim2_min ws ip_dim2_max
      PARAMETER (ip_dim2_min=1)
      PARAMETER (ip_dim2_max=10)
C      megethos pinaka ajiologisis
      PARAMETER (ip_dim_aj=100)
C      diastasi plithous dianismatos pou kataskeuasontai
C      PARAMETER (ip_dim3=100)
C      megistes diastaseis pinakwn barwn epipedou neurwnwn
      PARAMETER (ip_dim_in=10)!PROSOXH ALLAGH ME MEGALYTERH TIMH PRBL seloops
      PARAMETER (ip_dim_out=2)!PROSOXH ALLAGH ME MEGALYTERH TIMH PRBL seloops
C      megisto plithos trigwnwn
      PARAMETER (ip_dim_trig=9)
C      megisto plithos kanonwn ana dianisma eisodou 2**(ip_dim_in+ip_dim_out)
      PARAMETER (ip_dim_rules_vector=2**(ip_dim_in+ip_dim_out))
C      megisto plithos kanonwn sinolika (gia na meiwthei exw balei ena pososto
meiwsis 10%
      PARAMETER (ip_dim_rules=0.1*ip_dim_rules_vector*ip_dim1)
C      parametros gia ektipwseis
      PARAMETER ( ip_dim_flag_printing = 6 )
C-----
C      Include definitions 4
c      IENERGATRaining einai ta energia dianismata eisodou se back propagation
c      IENERGADIAN_AJ einai ta energia dianismata ejodou se back propagation
c      I_FLAG_SENARIO einai o metritis diaforetikwn senariwn eisodou-ejodou
C      IDIANYSMATA metritis stoixeiw eisodou < ip_dim1
C      I_FLAG_EPOCH_1 einai simaia gia diafores arxikopoiiseis kata tin prwti epoxi
C      RDEDOMENA(ip_dim2_f,ip_dim1) pinakas dianismatwn
C      FNAME is the variable name for files
C      FNAME1 is the input name file for LOAD
C      FNAME2 is the output name file for LOAD
C      FNAME3 is the OUTPUT name file for elegxo kathe M
C      ICH1 is the channel name for FNAME1
C      ICH2 is the channel name for FNAME2
C      ICH3 is the channel name for FNAME3
C      ICH_ELE is the channel name for FNAME_ELE (arxeio elegxou eggarfis dedemenwn
C      I_FLAG_SENARIO einai o deiktis-metritis senariwn diaforetikwn arxikwn
dianismatwn
C      IENERGADIANYSMATA is the ta dianismata pou simetexoun se ekpaideusi
C-----

```

```

        INTEGER ICH1, ICH2, ICH3, ICH4, ICH_ELE, ICH_001, ICH_002, ICH_003,
* ICH_004,
* IEENERGADIANYSMATA, IDIAN_AJ, IEENERGATRaining,
* I_FLAG SENARIO , IEENERGADIAN_AJ,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_AJ_MAX, I_THESH_ERROR_SFALMA_AJ_MAX,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX, I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX
* I_DIANY_ERROR_SFA_PRAJ_MIN, I_THESH_ERROR_SFA_PRAJ_MIN,
* I_DIANY_ERROR_SFA_PRAJ_MAX, I_THESH_ERROR_SFA_PRAJ_MAX,
c---- FUZZY variables
* I_TR_x(ip_dim_in), I_TR_y(ip_dim_out),
* I_FLAG_PRINT(ip_dim_flag_printing),
* I_PLHT_TRIG_LO_x(ip_dim_in), I_PLHT_TRIG_LO_y(ip_dim_out),
* I_PLHT_TRIG_UP_x(ip_dim_in), I_PLHT_TRIG_UP_y(ip_dim_out),
* I_PL_EUROUS_X(ip_dim_in), I_PL_EUROUS_y(ip_dim_out),
* I_FLAG_X(ip_dim_in), I_METR_X_1(ip_dim_in), I_METR_X_2(ip_dim_in),
* I_FLAG_Y(ip_dim_out), I_METR_Y_1(ip_dim_out),
* I_METR_Y_2(ip_dim_out),
* I_RULE_X_per_vector(ip_dim_rules_vector, ip_dim_in),
* I_RULE_Y_per_vector(ip_dim_rules_vector, ip_dim_out),
* I_RULE_X(ip_dim_rules, ip_dim_in),
* I_RULE_Y(ip_dim_rules, ip_dim_out),
* I_RULE_PLHTHOS(ip_dim_rules), I_SHM_ENERG_RULE(ip_dim_rules)

C      YEJODOS_AJ(ip_dim_out, ip_dim_aj), pinakas dedomenwn ejodou ajiologisis se kiriws
programma
C      XEISODOS_AJ(ip_dim_in, ip_dim_aj), pinakas dedomenwn eisodou >>> >> se
kiriws programma
C      YEJODOS(ip_dim_out, ip_dim1) pinakas dedomenwn ejodou ekpaideusis se kiriws
programma
C      XEISODOS(ip_dim_in, ip_dim1) pinakas dedomenwn eisodou ekpaideusis se kiriws
programma
C      R_DEDOM_X(ip_dim_in, ip_dim1) pinakas dedomenwn ejodou ekpaideusis kata epilogi
C      R_DEDOM_Y(ip_dim_out, ip_dim1) pinakas dedomenwn eisodou ekpaideusis kata epilogi
C      R_DE_AJ_X(ip_dim_in, ip_dim_aj) pinakas dedomenwn ejodou ajiologisis kata epilogi
C      R_DE_AJ_Y(ip_dim_out, ip_dim_aj) pinakas dedomenwn eisodou ajiologisis kata
epilogi

        REAL LOAD, RLOAD(ip_dim2), Rkanmin(ip_dim2), Rkanmax(ip_dim2),
* RDEDOMENA(ip_dim2_f, ip_dim1), RDED_AJ(ip_dim2_f, ip_dim_aj),
* ERROR_PIN(ip_dim_out),
* YEJODOS(ip_dim_out, ip_dim1), XEISODOS(ip_dim_in, ip_dim1),
* YEJODOS_AJ(ip_dim_out, ip_dim_aj),
* XEISODOS_AJ(ip_dim_in, ip_dim_aj),
* R_DEDOM_X(ip_dim_in, ip_dim1), R_DEDOM_Y(ip_dim_out, ip_dim1),
* R_DE_AJ_X(ip_dim_in, ip_dim_aj), R_DE_AJ_Y(ip_dim_out, ip_dim_aj),
* ERROR_SFALMA, ERROR_SFALMA_AJ_MAX, ERROR_SFALMA_AJ_MEAN,
* ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX, ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MEAN, ERROR_SFALMA_PREDICT_MIN,
* ERROR_SFALMA_PREDICT_MAX, Ypred(ip_dim_out),
* YEJODOS_VAL(ip_dim_out, ip_dim1), XEISODOS_VAL(ip_dim_in, ip_dim1),
c---- ERROR_KATATAJH einai pinakas kakatajis sfalamtwn pros diastimatos
c---- empistosinis->na exei megaliteres diastaseis apo opoioidipote set
* ERROR_KATATAJH(ip_dim_out, ip_dim1)
c---- gia euresi r2
*, Ymean1(ip_dim_out), Ymean2(ip_dim_out), Yprox(ip_dim_out, ip_dim1),
* SumYreal2(ip_dim_out), SumYpred2(ip_dim_out),
* SumYrealYpred(ip_dim_out),
* R2train(ip_dim_out), R2valid(ip_dim_out), R2test(ip_dim_out),
c---- FUZZY variables
* X_MEAN(ip_dim_in), Y_MEAN(ip_dim_out),
* Rkanmin_x(ip_dim_in), Rkanmin_y(ip_dim_out),
* Rkanmax_x(ip_dim_in), Rkanmax_y(ip_dim_out),
* POSOSTO_A_x(ip_dim_in), POSOSTO_A_y(ip_dim_out),
* POSOSTO_S_x(ip_dim_in), POSOSTO_S_y(ip_dim_out),
* REUROS_x(ip_dim_in), REUROS_y(ip_dim_out),
* R_acme_X(ip_dim_trig, ip_dim_in), R_acme_Y(ip_dim_trig, ip_dim_out),
* R_membershipf_X(ip_dim_trig, ip_dim_in),
* R_membershipf_Y(ip_dim_trig, ip_dim_out),
* SIN_BAROUS_per_vector(ip_dim_rules_vector),
* R_RULE_MEMB_FUN(ip_dim_rules, ip_dim_out),
* PROX_ARIUMHT(ip_dim_out), PROX_PARANOM(ip_dim_out)

        CHARACTER*16 FNAMEIN
        CHARACTER*1 SOMETHING, CHCH(3)

```

```

CHARACTER*32 FNAME1,FNAME2,FNAME3,FNAME4,FNAME_ELE,FNAME_ELE1,
* FNAME_ELE2,FNAME_ELE3,FNAME_ELE4

C-----
C   defining the format of row of input file 1
10 FORMAT ( F7.2 )
C   defining the format of the input file 2
15 FORMAT ( I4, I2, I2, I2,I2, 24(F8.2))
c--- gia arxeio katagrafis eisodou
16 FORMAT (I5,' ', 3(F5.2,' '), F8.3,' ',F9.5,' ',F15.9)
17 FORMAT (12(' '),3(I5,' '))
18 FORMAT ('METABLHTES EISODOY-EJODOY-SYNOLIKES')
19 FORMAT (' var1 var2 var3 var4 var5 var6 var7 ...')
20 FORMAT ('EUROS TIMWN min')
21 FORMAT ('EUROS TIMWN max')
22 FORMAT ('min plithos trigwnwn')
23 FORMAT ('max plithos trigwnwn')
24 FORMAT ('pososto s')
25 FORMAT ('pososto a')

26 FORMAT (' SHMAIES EKTYPWSEIS:',10 (' ',I1))
27 FORMAT ( 12 (' ', F15.6))
29 FORMAT ( 12 (' ', I15))
30 FORMAT ('EIDOS EKTELESHS GIA FUZZY SYSTEM:',I2,
* 'EIDOS MESOU OROU:',I2)

28 FORMAT ('SXHMATISMOS VALIDATION SET:', I2,
*' DIAIRESH DATASET se SUBSET:', I3,
*' A/A XRHSHS VALIDATION SET:' I3,
*' SYNTELESTHS OURAS DIASTHMATOS EMPISTOSYNHS:',F6.4)

C   boiithitika format eggrafis arxeiwn elegxou
43 FORMAT('MEAN X:', 100 (' ',F10.4))
44 FORMAT('MEAN Y:', 100 (' ',F10.4))
50 FORMAT (I4,I5, I2, I2, I2,I2, 24(F8.2),32 (F6.1) )
51 FORMAT (134(' * '))
52 FORMAT (I5,48 (F8.2),8(F6.1),15(F10.5))
53 FORMAT (100(' ',F10.6))
54 FORMAT ( 8(' ',I4))
55 FORMAT (2(' ',I6),2(' ',F8.6),' ',I6,3(2(' ',F20.8),2(' ',I6)),
* (' ',F20.8), 2( (' ',F20.8),2(' ',I6)),3(' ',F16.8) )
56 FORMAT ( I6, F8.2, I6 )
57 FORMAT (100 (F16.12))

60 FORMAT (I4,I5, I2, I2, I2,I2, 56(' ',F8.6) )
61 FORMAT (I5,72(F15.3))
62 FORMAT (' STOIXEIA SYNOLOY TRAINING ')
63 FORMAT (' STOIXEIA SYNOLOY VALIDATION ')
64 FORMAT (' STOIXEIA SYNOLOY TEST ')
65 FORMAT (' MESH TIMH SYNARTHSHS SFALMATOS VALIDATION SET ',
*' ',F16.8,' GIA EPOCHES ', I5)
66 FORMAT (2(' ',I6),2(' ',F8.6),2(' ',F8.6),' 'F8.2),' ',I6,
*3(2(' ',F20.8),2(' ',I6)),
* (' ',F20.8), 2( (' ',F20.8),2(' ',I6)),3(' ',F16.8),' ',I6,
* 5 (I3, 3(' ', F8.5)) )
71 FORMAT('CONFIDENCE INTERNAL FOR TRAINING SET-PROPABILITY: ',F7.4)
72 FORMAT('CONFIDENCE INTERNAL FOR VALIDATION SET-PROPABILITY:',F7.4)
73 FORMAT('CONFIDENCE INTERNAL FOR TEST SET -PROPABILITY: ',F7.4)
74 FORMAT(' LOWER LIMIT: ', 24(' ',F10.4))
75 FORMAT(' UPPER LIMIT: ', 24(' ',F10.4))
76 FORMAT(' MEAN VALUE : ', 24(' ',F10.4))

C*****
C   ANAGNWSH STOIXEIWN APO DIAFORA ARXEIA ANALOGA ME THN EFARMOGH
C*****
C   anagnwsi arxeiou elegxou dedeomenwn
C-----
PRINT *, 'ENTER check FILE NAME (only 8 characters):'
PRINT *, 'where first line-> the minimum and the maximum number of
* scenarios - the number of the input variables - the number
* of the output variables'
PRINT *, 'second line -> the minimum for all
* variables'
PRINT *, 'third line -> the maximum for all
* variables'

```

```

PRINT *, ' forth line -> the minimum number of CENTER of triangles
* for all variables'
PRINT *, ' fifth line -> the maximum number of CENTER of triangles
* for all variables'
PRINT *, ' sixth line -> the pecentage a for width of triangles
* for all variables'
PRINT *, ' seventh line->the pecentage s for width of triangles
* for all variables'
c=====
PRINT *, ' eighth line -> flags(2) for printing '
PRINT *, ' ninth line-> flag 1 for kind of fuzzy system <<1>> for
* poliplithestero,<<2>> sixnotita -stroggilopoiisi,
* <<3>> sixnotita mesi timi, <<4>> function -stroggilopoiisi,
* <<5>> function mesi timi, flag 2 for kind of mean: real <<1>>,
* me basi euros <<2>>'
PRINT *, ' tenth line -> flag for common <<1>> or no common<<0>>
*training and validation set, population of subset - a/a number '
PRINT *, ' eleventh line ->pithanotita p diastimatos empistosinis'

c READ *, FNAMEIN
FNAMEIN='check'
c IP1 = count the length of the name of data file
IP1 = LEN_TRIM (FNAMEIN)
C input channel
ICH1 = 10
C create the complete name of data file and output file
FNAME1 = FNAMEIN(1:IP1) //' .txt'
PRINT *, ' CHECK FILE: ', FNAME1

C-----
C opening the input file 1
C-----
OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL',
* STATUS = 'OLD', FORM = 'FORMATTED' )
C-----
C read plithos metablitwn eisodou
READ(ICH1,*,END=95) I_MIN_SCENARIO, I_MAX_SCENARIO,I_IN_VAR,
* I_OUT_VAR
I_VAR=I_IN_VAR+I_OUT_VAR
IF ((I_IN_VAR.GT.ip_dim_in).OR.(I_OUT_VAR.GT.ip_dim_out).
*OR.(I_VAR.GT.ip_dim2)) THEN
PRINT *, 'POLLES OI METABLHTES EISODOU,pata otidipote gia sinexeia'
READ *,SOMETHING
CLOSE (ICH1)
GOTO 18000
ENDIF

C diabase elaxista timwn twm metablitwn
READ (ICH1,*,END=95) (Rkanmin_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (Rkanmin_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
C diabase megista timwn twm metablitwn
READ (ICH1,*,END=95) (Rkanmax_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (Rkanmax_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)

C diabase elaxista timwn tou plithous trigwnwn
READ (ICH1,*,END=95) (I_PLHT_TRIG_LO_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (I_PLHT_TRIG_LO_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
C diabase megista timwn tou plithous trigwnwn
READ (ICH1,*,END=95) (I_PLHT_TRIG_UP_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (I_PLHT_TRIG_UP_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
DO 90 I1=1,I_IN_VAR
IF ( (I_PLHT_TRIG_LO_x(I1).LE.1).OR.(I_PLHT_TRIG_UP_x(I1).LE.1)
*OR.(I_PLHT_TRIG_LO_x(I1).GT.I_PLHT_TRIG_UP_x(I1)).OR.
*(I_PLHT_TRIG_UP_x(I1).GT.(ip_dim_trig/2+1) ) ) THEN
PRINT *, 'THERE IS PROBLEM WITH I_PLHT_TRIG_x(',I1,')'
READ *, SOMETHING
CLOSE (ICH1)
GOTO 18000
ENDIF
90 CONTINUE
DO 91 I2=1,I_OUT_VAR
IF ( (I_PLHT_TRIG_LO_y(I2).LE.1).OR.(I_PLHT_TRIG_UP_y(I2).LE.1)
*OR.(I_PLHT_TRIG_LO_y(I2).GT.I_PLHT_TRIG_UP_y(I2)).OR.
*(I_PLHT_TRIG_UP_y(I2).GT.(ip_dim_trig/2+1) ) ) THEN
PRINT *, 'THERE IS PROBLEM WITH I_PLHT_TRIG_y(',I2,')'
READ *, SOMETHING

```

```

        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
    ENDIF
91 CONTINUE
C    diabase megisto posostou metabolis eurous trigwnwn
    READ (ICH1,*,END=95) (POSOSTO_A_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
*   (POSOSTO_A_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
C    diabase bima posostou metabolis eurous trigwnwn
    READ (ICH1,*,END=95) (POSOSTO_S_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
*   (POSOSTO_S_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
    DO 92 I1=1,I_IN_VAR
        IF ( (POSOSTO_A_x(I1).LT.0.0)) THEN
            PRINT *, 'THERE IS PROBLEM WITH POSOSTA_x(',I1,')'
            READ *, SOMETHING
            CLOSE (ICH1)
            GOTO 18000
        ENDIF
92 CONTINUE
    DO 93 I2=1,I_OUT_VAR
        IF ( (POSOSTO_A_y(I2).LT.0.0)) THEN
            PRINT *, 'THERE IS PROBLEM WITH POSOSTA_y(',I2,')'
            READ *, SOMETHING
            CLOSE (ICH1)
            GOTO 18000
        ENDIF
93 CONTINUE

C=====
C    orio gia siglisi barwn
    READ (ICH1,*,END=95) (I_FLAG_PRINT(JJ),JJ=1,ip_dim_flag_printing)
    DO 94 JJ=1,ip_dim_flag_printing
        IF ( (I_FLAG_PRINT(JJ).NE.0).AND.(I_FLAG_PRINT(JJ).NE.1)) THEN
            PRINT *, 'THERE IS PROBLEM WITH I_FLAG_PRINT(',JJ,')> OLA 0'
            READ *, SOMETHING
            I_FLAG_PRINT(JJ)=0
        ENDIF
94 CONTINUE
C--   diabase simaia morfi ektelesis
    READ (ICH1,*,END=95) I_SHMAIA_FUZ_SYS,I_SHMAIA_MEAN_X_Y
    IF ( (I_SHMAIA_FUZ_SYS.LE.0).OR.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.GE.6)) THEN
        PRINT *, 'THERE IS PROBLEM WITH I_SHMAIA_FUZ_SYS',I_SHMAIA_FUZ_SYS
        READ *, SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
    ENDIF
    IF ( (I_SHMAIA_MEAN_X_Y.LE.0).OR.(I_SHMAIA_MEAN_X_Y.GE.3)) THEN
        PRINT *, 'THERE IS PROBLEM WITH I_SHMAIA_MEAN_X_Y',
*   I_SHMAIA_MEAN_X_Y
        READ *, SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
    ENDIF
C    stoixeia sximatismou validation set
    READ (ICH1,*,END=95) IFLAG_FORM_VALID_SET,I_POP_VALID_SUBSET,
*   I_INCR_VALID_SUBSET
    IF ((IFLAG_FORM_VALID_SET.NE.0).AND.(IFLAG_FORM_VALID_SET.NE.1))
*   THEN
        PRINT *, 'AKATALLHLOS ARITHMOS GIA SHMAIA VALIDATION SET'
        READ *, SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
    ENDIF
    IF (I_POP_VALID_SUBSET.LT.I_INCR_VALID_SUBSET) THEN
        PRINT *, 'AKATALLHLOS ARITHMOS SE SUBSET GIA
*   VALIDATION SET'
        READ *, SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
    ENDIF

C    stoixeia ypologismou diastimatos empistosinis
    READ (ICH1,*,END=95) POSOSTO_KATATAJH
    IF ((POSOSTO_KATATAJH.LE.0).OR.(POSOSTO_KATATAJH.GE.0.5))
*   THEN
        PRINT *, 'AKATALLHLOS ARITHMOS GIA DIASTHMA EMPISTOSYNHS'

```

```

        READ *,SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
    ENDIF

    GOTO 98

C    anwmalo telos programmatos
95 CONTINUE
    PRINT *,'DEN YPARXOUN TA APARAITHTA DEDOMENA'
    PRINT *,' AKYRWSH PROGRAMMATOS'
    PRINT *,'pata otidipote gia sinexeia'
        READ *,SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
C    pliris anagnwsi dedomenwn
98 CONTINUE
    CLOSE (ICH1)

C -----
C    create the name of input
C -----
    PRINT *,'ENTER INPUT TRAINING FILE NAME (only 8 characters):'
    READ *, FNAMEIN
    FNAMEIN='test_train'
    c    IP1 = count the length of the name of data file
    IP1 = LEN_TRIM (FNAMEIN)
C    input channel
    ICH1 = 10
C    create the complete name of data file and output file
    FNAME1 = FNAMEIN(1:IP1) //''.txt'

C -----
C    opening the input file 1
C -----
    OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL',
*        STATUS = 'OLD', FORM = 'FORMATTED' )

C -----
    IMETRHTHS=1
C    read load per line
100 READ(ICH1,*,END=130) (RLOAD(I1),I1=1,I_VAR)
    IF (IMETRHTHS.GT.ip_dim1) THEN
        PRINT *,'POLLA DIANYSMATA ANAGNWSHS,pata otidipote gia sinexeial'
        READ *,SOMETHING
        CLOSE (ICH1)
        GOTO 18000
    ENDIF
C    APOTHIKEUSI STOIXEIWN ODHGWN
    DO 110 I=1,I_VAR
        RDEDOMENA(I,IMETRHTHS)=RLOAD(I)
110 CONTINUE

    IMETRHTHS=IMETRHTHS+1
    GOTO 100
130 CONTINUE
    CLOSE (ICH1)
    IMETRHTHS=IMETRHTHS-1
    IDIANYSMATA=IMETRHTHS
    PRINT *,' PLHTHOS STOIXEIWN : ', IDIANYSMATA

C -----
C    create the name of VALIDATION input file
C -----
    PRINT *,'ENTER INPUT TEST FILE NAME (only 8 characters):'
    READ *, FNAMEIN
    FNAMEIN='test_test'
    c    IP1 = count the length of the name of data file
    IP1 = LEN_TRIM (FNAMEIN)
C    input channel
    ICH1 = 10
C    create the complete name of data file and output file
    FNAME1 = FNAMEIN(1:IP1) //''.txt'

C -----
C    opening the input VALIDATION file

```

```

C-----
      OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL',
*          STATUS = 'OLD', FORM = 'FORMATTED' )
C-----
      IMETRHTHS=1
C      read load per line
180 READ(ICH1,*,END=200) (RLOAD(I1),I1=1,I_VAR)
      IF (IMETRHTHS.GT.ip_dim_aj) THEN
      PRINT *,'POLLA DIANYSMATA ANAGNWSHS,pata otidipote gia sinexeia2'
      READ *,SOMETHING
      CLOSE (ICH1)
      GOTO 18000
      ENDIF
C      APOTHIKEUSI STOIXEIWN ODHGWN
      DO 190 I=1,I_VAR
      RDED_AJ(I,IMETRHTHS)=RLOAD(I)
190 CONTINUE

      IMETRHTHS=IMETRHTHS+1
      GOTO 180
200 CONTINUE
      CLOSE (ICH1)
      IMETRHTHS=IMETRHTHS-1
      IDIAN_AJ=IMETRHTHS
      PRINT *,' PLHTHOS STOIXEIWN : ', IDIAN_AJ

C-----
C      ELEGXOS ANAGNWSHS DEDOMENWN - EGGRAPH SE 1 BOHTHIKO ARXEIO
C-----
C      arxeio elegxou olikou
      ICH_01 = 21
      FNAME_ELE = 'ELEGXOS_EGGRAPH'//'.txt'
C      anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
      OPEN(ICH_01,FILE = FNAME_ELE, ACCESS='SEQUENTIAL')
      WRITE(ICH_01,18)
      WRITE(ICH_01,17) I_IN_VAR,I_OUT_VAR,I_VAR
      WRITE(ICH_01,19)
      WRITE(ICH_01,20)
      WRITE(ICH_01,27) (Rkanmin_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (Rkanmin_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
      WRITE(ICH_01,21)
      WRITE(ICH_01,27) (Rkanmax_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (Rkanmax_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
      WRITE(ICH_01,22)
      WRITE(ICH_01,29) (I_PLHT_TRIG_LO_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (I_PLHT_TRIG_LO_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
      WRITE(ICH_01,23)
      WRITE(ICH_01,29) (I_PLHT_TRIG_UP_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (I_PLHT_TRIG_UP_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
      WRITE(ICH_01,25)
      WRITE(ICH_01,27) (POSOSTO_A_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (POSOSTO_A_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)
      WRITE(ICH_01,24)
      WRITE(ICH_01,27) (POSOSTO_S_x(I1),I1=1,I_IN_VAR),
* (POSOSTO_S_y(I2),I2=1,I_OUT_VAR)

      WRITE(ICH_01,26) (I_FLAG_PRINT(JJ),JJ=1,ip_dim_flag_printing)
      WRITE(ICH_01,30) I_SHMAIA_FUZ_SYS,I_SHMAIA_MEAN_X_Y
      WRITE(ICH_01,28) IFLAG_FORM_VALID_SET,I_POP_VALID_SUBSET,
* I_INCR_VALID_SUBSET,POSOSTO_KATATAJH

C-----
      WRITE(ICH_01,51)
      DO 450 I1=1,IDIANYSMATA
      WRITE(ICH_01,16) I1,(RDEDOMENA(J,I1),J=1,I_VAR)
450 CONTINUE
      WRITE(ICH_01,51)
      DO 460 I1=1,IDIAN_AJ
      WRITE(ICH_01,16) I1,(RDED_AJ(J,I1),J=1,I_VAR)
460 CONTINUE
      WRITE(ICH_01,51)

      CLOSE(ICH_01)

```



```

C*****
C      SXHMATISMOS PINAKA DIANYSMATWN PRAGMATOPOIHSHS EKPAIDEYSHS
C*****
C      -----          SENARIA          -----
C*****
      DO 12000 I FLAG_SENARIO=I_MIN_SCENARIO,I_MAX_SCENARIO
C      SENARIO = 1 :
      IF ( I_FLAG_SENARIO.EQ.1 ) THEN
C      gia kathe dianisma ekpaideusis
      IMET_DIAN=0
      DO 1030 IMETRHTHS=1,IDIANYSMATA
      IMET_DIAN=IMETRHTHS
C      apthikeusi metalitwn eisodou
      DO 1005 I=1,I_IN_VAR
      R_DEDOM_X(I,IMET_DIAN)=RDEDOMENA(I,IMETRHTHS)
1005 CONTINUE
C      apothikeusi metablitwn ejodou
      DO 1010 I=1,I_OUT_VAR
      I_HELP1=I+I_IN_VAR
      R_DEDOM_Y(I,IMET_DIAN)=RDEDOMENA(I_HELP1,IMETRHTHS)
1010 CONTINUE
1030 CONTINUE
      IENERGADIANYSMATA=IMET_DIAN
      iqin=I_IN_VAR
      iqout=I_OUT_VAR
C -----          gia kathe dianisma ajiologisis
      IMET_DIAN=0
      DO 1060 IMETRHTHS=1,IDIAN_AJ
      IMET_DIAN=IMETRHTHS
C      apthikeusi metalitwn eisodou
      DO 1035 I=1,I_IN_VAR
      R_DE_AJ_X(I,IMET_DIAN)=RDED_AJ(I,IMETRHTHS)
1035 CONTINUE
C      apothikeusi metablitwn ejodou
      DO 1040 I=1,I_OUT_VAR
      I_HELP1=I+I_IN_VAR
      R_DE_AJ_Y(I,IMET_DIAN)=RDED_AJ(I_HELP1,IMETRHTHS)
1040 CONTINUE
1060 CONTINUE
      IENERGADIAN_AJ=IMET_DIAN
C      telos gia senario 1
      ENDIF

C-----
C      ELEGXOS ANAGNWSHS DEDOMENWN - EGGRAPH SE 1 BOHTHIKO ARXEIO
C-----
c      onomata diaforetikwn arxeiwn
C-----

      IPROX=I_FLAG_SENARIO
      DO 2000 I=1,3
      CALL DIAIR(IPROX,J,10)
      CALL FINDCHAR(J,CHCH(I))
2000 CONTINUE
C      arxeio elegxou olikou
      ICH_01 = 21
      FNAME_ELE = 'ELEG_EISODOU'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C      anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
      OPEN(ICH_01,FILE = FNAME_ELE, ACCESS='SEQUENTIAL')
      DO 2001 I1=1,IENERGADIANYSMATA
      WRITE(ICH_01,52) I1,
      * (R_DEDOM_X(J,I1),J=1,iqin)
2001 CONTINUE

      WRITE(ICH_01,51)
      DO 2002 I1=1,IENERGADIANYSMATA
      WRITE(ICH_01,52) I1,
      * (R_DEDOM_Y(J,I1),J=1,iqout)
2002 CONTINUE

      DO 2006 I1=1,IENERGADIAN_AJ
      WRITE(ICH_01,52) I1,
      * (R_DE_AJ_X(J,I1),J=1,iqin)
2006 CONTINUE

      WRITE(ICH_01,51)

```

```

DO 2008 I1=1,IENERGADIAN_AJ
  WRITE (ICH_01,52) I1,
  * (R_DE_AJ_Y(J,I1),J=1,iqout)
2008 CONTINUE

```

```

C////////////////////////////////////
C----- Prosdiorismos Validation set
C----- ana arithmo omadwn gia sigkekrimena dianismata - epnalifimotiita
C----- methodou
C////////////////////////////////////
C-----

```

```

      IF (IFLAG_FORM_VALID_SET.EQ.1) THEN
        I_HELP_MET=0
        IENERGAVALIDAT=0
C      metabasi training dedomenwn se kirios programma
        DO 3500 I1=1,IENERGADIANYSMATA

C----- training set
        DO 3480 I2=1,iqin
          XEISODOS (I2,I1)=R_DEDOM_X (I2,I1)
3480 CONTINUE
        DO 3490 I2=1,iqout
          YEJODOS (I2,I1)=R_DEDOM_Y (I2,I1)
3490 CONTINUE
C----- validation set
C----- ginetai eggrafi h oxi
        I_HELP_MET=I_HELP_MET+1
        IF (I_HELP_MET.GT.I_POP_VALID_SUBSET) THEN
          I_HELP_MET=1
          ENDIF
        IF (I_HELP_MET.EQ.I_INCR_VALID_SUBSET) THEN
          IENERGAVALIDAT=IENERGAVALIDAT+1
          DO 3495 I2=1,iqin
            XEISODOS_VAL (I2,IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_X (I2,I1)
3495 CONTINUE
          DO 3496 I2=1,iqout
            YEJODOS_VAL (I2,IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_Y (I2,I1)
3496 CONTINUE
          ENDIF
3500 CONTINUE
        IENERGATRaining=IENERGADIANYSMATA
C----- gia tin periptwsi pou den exoun koina stoixeia ta synola
        ELSE
          I_HELP_MET=0
          IENERGAVALIDAT=0
          IENERGATRaining=0
          DO 3550 I1=1,IENERGADIANYSMATA
C----- ginetai eggrafi h oxi se validation set
          I_HELP_MET=I_HELP_MET+1
          IF (I_HELP_MET.GT.I_POP_VALID_SUBSET) THEN
            I_HELP_MET=1
            ENDIF
          IF (I_HELP_MET.EQ.I_INCR_VALID_SUBSET) THEN
            IENERGAVALIDAT=IENERGAVALIDAT+1
            DO 3525 I2=1,iqin
              XEISODOS_VAL (I2,IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_X (I2,I1)
3525 CONTINUE
            DO 3527 I2=1,iqout
              YEJODOS_VAL (I2,IENERGAVALIDAT)=R_DEDOM_Y (I2,I1)
3527 CONTINUE
            ELSE
              IENERGATRaining=IENERGATRaining+1
C----- diaforetika eggrafi se training set
            DO 3530 I2=1,iqin
              XEISODOS (I2,IENERGATRaining)=R_DEDOM_X (I2,I1)
3530 CONTINUE
            DO 3532 I2=1,iqout
              YEJODOS (I2,IENERGATRaining)=R_DEDOM_Y (I2,I1)
3532 CONTINUE
            ENDIF
3550 CONTINUE
          ENDIF

```

```

C-----
C      metabasi dedomenwn se kirios programma
      DO 3600 I1=1, IENERGADIAN_AJ
      DO 3580 I2=1, iqin
      XEISODOS_AJ(I2, I1)=R_DE_AJ_X(I2, I1)
3580  CONTINUE
      DO 3590 I2=1, iqout
      YEJODOS_AJ(I2, I1)=R_DE_AJ_Y(I2, I1)
3590  CONTINUE
3600  CONTINUE

C////////////////////////////////////
C----- eggrafi stoiceiwn se boithitiko arxeio
      WRITE(ICH_01, 62)
      DO 3701 I1=1, IENERGATRaining
      WRITE(ICH_01, 52) I1,
      * (XEISODOS(J, I1), J=1, iqin)
3701  CONTINUE
      WRITE(ICH_01, 51)
      DO 3702 I1=1, IENERGATRaining
      WRITE(ICH_01, 52) I1,
      * (YEJODOS(J, I1), J=1, iqout)
3702  CONTINUE
      WRITE(ICH_01, 64)
      DO 3703 I1=1, IENERGAVALIDAT
      WRITE(ICH_01, 52) I1,
      * (XEISODOS_VAL(J, I1), J=1, iqin)
3703  CONTINUE
      WRITE(ICH_01, 51)
      DO 3704 I1=1, IENERGAVALIDAT
      WRITE(ICH_01, 52) I1,
      * (YEJODOS_VAL(J, I1), J=1, iqout)
3704  CONTINUE
      WRITE(ICH_01, 63)
      DO 3705 I1=1, IENERGADIAN_AJ
      WRITE(ICH_01, 52) I1,
      * (XEISODOS_AJ(J, I1), J=1, iqin)
3705  CONTINUE
      WRITE(ICH_01, 51)
      DO 3706 I1=1, IENERGADIAN_AJ
      WRITE(ICH_01, 52) I1,
      * (YEJODOS_AJ(J, I1), J=1, iqout)
3706  CONTINUE

C----- EURESH MESHS TIMHS TIMWN TRAINING SET
      IF (I_SHMAIA_MEAN_X_Y.EQ.1) THEN
      DO 3810 J=1, iqin
      X_MEAN(J) =0.0
      DO 3805 I1=1, IENERGATRaining
      X_MEAN(J)=X_MEAN(J)+XEISODOS(J, I1)
3805  CONTINUE
      IF (IENERGATRaining.NE.0) THEN
      X_MEAN(J)=X_MEAN(J)/(1.0*IENERGATRaining)
      ENDIF
3810  CONTINUE

      DO 3820 J=1, iqout
      Y_MEAN(J) =0.0
      DO 3815 I1=1, IENERGATRaining
      Y_MEAN(J)=Y_MEAN(J)+YEJODOS(J, I1)
3815  CONTINUE
      IF (IENERGATRaining.NE.0) THEN
      Y_MEAN(J)=Y_MEAN(J)/(1.0*IENERGATRaining)
      ENDIF
3820  CONTINUE
      ENDIF      !I_SHMAIA_MEAN_X_Y = 1
C-----enallaktika
      IF (I_SHMAIA_MEAN_X_Y.EQ.2) THEN
      DO 3830 J=1, iqin
      X_MEAN(J)=0.5*(Rkanmax_x(j)+Rkanmin_x(j))
3830  CONTINUE
      DO 3840 J=1, iqout

```

```

      Y_MEAN(J)=0.5*(Rkanmax_Y(j)+Rkanmin_Y(j))
3840 CONTINUE
      ENDIF          ! I_SHMAIA_MEAN_X_Y=2

      WRITE(ICH_01,51)
      WRITE(ICH_01,43) (X_MEAN(J),J=1,iqin)
      WRITE(ICH_01,44) (Y_MEAN(J),J=1,iqout)

      CLOSE(ICH_01)

c----- loops trigwnwn

C----- arxikoposi loops pou DEN tha doulefoun telika
DO 3900 I_X=(iqin+1),ip_dim_in
  I_PLHT_TRIG_LO_x(I_X)=1 !alliws auti i timi einai apo 2 kai anw
  I_PLHT_TRIG_UP_x(I_X)=1 !alliws auti i timi einai apo 2 kai anw
  I_PL_EUROUS_X(I_X)=1 ! anenergo kai gia antistoixi eisodo
3900 CONTINUE
DO 3910 I_Y=(iqout+1),ip_dim_out
  I_PLHT_TRIG_LO_y(I_Y)=1 !alliws auti i timi einai apo 2 kai anw
  I_PLHT_TRIG_UP_y(I_Y)=1 !alliws auti i timi einai apo 2 kai anw
  I_PL_EUROUS_y(I_Y)=1 ! anenergo kai gia antistoixi ejodo
3910 CONTINUE
IA_A = 0 ! PLITHOS SINDYASMWN WS PROS ARIKOPOIHSEIS

C=====ANOIGMA ARXEIWN --- A
C arxeio elegxou SINDYASMWN
  ICH_001 = 31
  FNAME_ELE1 = 'ELEG_SYND'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
  OPEN(ICH_001,FILE = FNAME_ELE1, ACCESS='SEQUENTIAL')

C arxeio elegxou epanalifewn - "tyxaias' epilogis dianismatwn
  ICH_003 = 33
  FNAME_ELE3 = 'ELEG_EJODOU'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
  OPEN(ICH_003,FILE = FNAME_ELE3, ACCESS='SEQUENTIAL')
C arxeio elegxou epanalifewn - "tyxaias' epilogis dianismatwn
  ICH_004 = 34
  FNAME_ELE4 = 'ELEG_SYGRISH'//CHCH(3)//CHCH(2)//CHCH(1)//'.txt'
C anoigma arxeiou olikou arxeiou sfalmatos
  OPEN(ICH_004,FILE = FNAME_ELE4, ACCESS='SEQUENTIAL')

C----- 10H EISODOS
DO 9600 I_TR10=I_PLHT_TRIG_LO_x(10),I_PLHT_TRIG_UP_x(10)
  I_TR_x(10)=I_TR10
C-----euros metablitis 10
  IF (I_TR10.GT.1) THEN
    REUROS_x(10)=2.0*(Rkanmax_x(10)-Rkanmin_x(10))/(2.0*I_TR_x(10)-2.0)
    IF (POSOSTO_A_x(10).LT.0.001) THEN
      I_PL_EUROUS_X(10)=1
      IF((POSOSTO_S_x(10).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(10).LT.(-0.001)))
      * THEN
        REUROS_x(10)=REUROS_x(10)*(1.0+POSOSTO_S_x(10))
      ENDIF
    ELSE
      IPROX=(POSOSTO_A_x(10)+0.0001)/POSOSTO_S_x(10)
      I_PL_EUROUS_X(10)=2*IPROX + 1
      ENDIF ! gia pososta
    ENDIF ! gia I_TR10
    DO 9595 I_PL10=1,I_PL_EUROUS_X(10)
      IF (I_PL_EUROUS_X(10).NE.1) THEN
        REUROS_x(10)=2.0*(Rkanmax_x(10)-Rkanmin_x(10))
      * /(2.0*I_TR_x(10)-2.0)
      * * (1.0-POSOSTO_A_x(10)+(1.0*(I_PL10-1))*POSOSTO_S_x(10))
      ENDIF
  ENDIF

C----- 9H EISODOS
DO 9590 I_TR9=I_PLHT_TRIG_LO_x(9),I_PLHT_TRIG_UP_x(9)
  I_TR_x(9)=I_TR9
C-----euros metablitis 9
  IF (I_TR9.GT.1) THEN
    REUROS_x(9)=2.0*(Rkanmax_x(9)-Rkanmin_x(9))/(2.0*I_TR_x(9)-2.0)

```

```

IF (POSOSTO_A_x(9).LT.0.001) THEN
  I_PL_EUROUS_X(9)=1
IF (POSOSTO_S_x(9).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(9).LT.(-0.001)) THEN
  REUROS_x(9)=REUROS_x(9)*(1.0+POSOSTO_S_x(9))
ENDIF
ELSE
  IPROX=(POSOSTO_A_x(9)+0.0001)/POSOSTO_S_x(9)
  I_PL_EUROUS_X(9)=2*IPROX + 1
ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I TR9
DO 9585 I_PL9=1,I_PL_EUROUS_X(9)
IF (I_PL_EUROUS_X(9).NE.1) THEN
REUROS_x(9)=2.0*(Rkanmax_x(9)-Rkanmin_x(9))/(2.0*I_TR_x(9)-2.0)
* *(1.0-POSOSTO_A_x(9)+(1.0*(I_PL9-1))*POSOSTO_S_x(9))
ENDIF

C----- 8H EISODOS
DO 9580 I_TR8=I_PLHT_TRIG_LO_x(8),I_PLHT_TRIG_UP_x(8)
  I_TR_x(8)=I_TR8
C----euros metablitis 8
IF (I_TR8.GT.1) THEN
  REUROS_x(8)=2.0*(Rkanmax_x(8)-Rkanmin_x(8))/(2.0*I_TR_x(8)-2.0)
IF (POSOSTO_A_x(8).LT.0.001) THEN
  I_PL_EUROUS_X(8)=1
IF (POSOSTO_S_x(8).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(8).LT.(-0.001)) THEN
  REUROS_x(8)=REUROS_x(8)*(1.0+POSOSTO_S_x(8))
ENDIF
ELSE
  IPROX=(POSOSTO_A_x(8)+0.0001)/POSOSTO_S_x(8)
  I_PL_EUROUS_X(8)=2*IPROX + 1
ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I TR8
DO 9575 I_PL8=1,I_PL_EUROUS_X(8)
IF (I_PL_EUROUS_X(8).NE.1) THEN
REUROS_x(8)=2.0*(Rkanmax_x(8)-Rkanmin_x(8))/(2.0*I_TR_x(8)-2.0)
* *(1.0-POSOSTO_A_x(8)+(1.0*(I_PL8-1))*POSOSTO_S_x(8))
ENDIF

C----- 7H EISODOS
DO 9570 I_TR7=I_PLHT_TRIG_LO_x(7),I_PLHT_TRIG_UP_x(7)
  I_TR_x(7)=I_TR7
C----euros metablitis 7
IF (I_TR7.GT.1) THEN
  REUROS_x(7)=2.0*(Rkanmax_x(7)-Rkanmin_x(7))/(2.0*I_TR_x(7)-2.0)
IF (POSOSTO_A_x(7).LT.0.001) THEN
  I_PL_EUROUS_X(7)=1
IF (POSOSTO_S_x(7).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(7).LT.(-0.001)) THEN
  REUROS_x(7)=REUROS_x(7)*(1.0+POSOSTO_S_x(7))
ENDIF
ELSE
  IPROX=(POSOSTO_A_x(7)+0.0001)/POSOSTO_S_x(7)
  I_PL_EUROUS_X(7)=2*IPROX + 1
ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I TR7
DO 9565 I_PL7=1,I_PL_EUROUS_X(7)
IF (I_PL_EUROUS_X(7).NE.1) THEN
REUROS_x(7)=2.0*(Rkanmax_x(7)-Rkanmin_x(7))/(2.0*I_TR_x(7)-2.0)
* *(1.0-POSOSTO_A_x(7)+(1.0*(I_PL7-1))*POSOSTO_S_x(7))
ENDIF

C----- 6H EISODOS
DO 9560 I_TR6=I_PLHT_TRIG_LO_x(6),I_PLHT_TRIG_UP_x(6)
  I_TR_x(6)=I_TR6
C----euros metablitis 6
IF (I_TR6.GT.1) THEN
  REUROS_x(6)=2.0*(Rkanmax_x(6)-Rkanmin_x(6))/(2.0*I_TR_x(6)-2.0)
IF (POSOSTO_A_x(6).LT.0.001) THEN
  I_PL_EUROUS_X(6)=1
IF (POSOSTO_S_x(6).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(6).LT.(-0.001)) THEN
  REUROS_x(6)=REUROS_x(6)*(1.0+POSOSTO_S_x(6))
ENDIF
ELSE
  IPROX=(POSOSTO_A_x(6)+0.0001)/POSOSTO_S_x(6)
  I_PL_EUROUS_X(6)=2*IPROX + 1
ENDIF ! gia pososta

```

```

ENDIF ! gia I_TR6
DO 9555 I_PL6=1,I_PL_EUROUS_X(6)
IF (I_PL_EUROUS_X(6).NE.1) THEN
REUROS_x(6)=2.0*(Rkanmax_x(6)-Rkanmin_x(6))/(2.0*I_TR_x(6)-2.0)
* *(1.0-POSOSTO_A_x(6)+(1.0*(I_PL6-1))*POSOSTO_S_x(6))
ENDIF

C----- 5H EISODOS
DO 9550 I_TR5=I_PLHT_TRIG_LO_x(5),I_PLHT_TRIG_UP_x(5)
I_TR_x(5)=I_TR5
C----euros metablitis 5
IF (I_TR5.GT.1) THEN
REUROS_x(5)=2.0*(Rkanmax_x(5)-Rkanmin_x(5))/(2.0*I_TR_x(5)-2.0)
IF (POSOSTO_A_x(5).LT.0.001) THEN
I_PL_EUROUS_X(5)=1
IF((POSOSTO_S_x(5).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(5).LT.(-0.001)))THEN
REUROS_x(5)=REUROS_x(5)*(1.0+POSOSTO_S_x(5))
ENDIF
ELSE
IPROX=(POSOSTO_A_x(5)+0.0001)/POSOSTO_S_x(5)
I_PL_EUROUS_X(5)=2*IPROX + 1
ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I_TR5
DO 9545 I_PL5=1,I_PL_EUROUS_X(5)
IF (I_PL_EUROUS_X(5).NE.1) THEN
REUROS_x(5)=2.0*(Rkanmax_x(5)-Rkanmin_x(5))/(2.0*I_TR_x(5)-2.0)
* *(1.0-POSOSTO_A_x(5)+(1.0*(I_PL5-1))*POSOSTO_S_x(5))
ENDIF

C----- 4H EISODOS
DO 9540 I_TR4=I_PLHT_TRIG_LO_x(4),I_PLHT_TRIG_UP_x(4)
I_TR_x(4)=I_TR4
C----euros metablitis 4
IF (I_TR4.GT.1) THEN
REUROS_x(4)=2.0*(Rkanmax_x(4)-Rkanmin_x(4))/(2.0*I_TR_x(4)-2.0)
IF (POSOSTO_A_x(4).LT.0.001) THEN
I_PL_EUROUS_X(4)=1
IF((POSOSTO_S_x(4).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(4).LT.(-0.001)))THEN
REUROS_x(4)=REUROS_x(4)*(1.0+POSOSTO_S_x(4))
ENDIF
ELSE
IPROX=(POSOSTO_A_x(4)+0.0001)/POSOSTO_S_x(4)
I_PL_EUROUS_X(4)=2*IPROX + 1
ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I_TR4
DO 9535 I_PL4=1,I_PL_EUROUS_X(4)
IF (I_PL_EUROUS_X(4).NE.1) THEN
REUROS_x(4)=2.0*(Rkanmax_x(4)-Rkanmin_x(4))/(2.0*I_TR_x(4)-2.0)
* *(1.0-POSOSTO_A_x(4)+(1.0*(I_PL4-1))*POSOSTO_S_x(4))
ENDIF

C----- 3H EISODOS
DO 9530 I_TR3=I_PLHT_TRIG_LO_x(3),I_PLHT_TRIG_UP_x(3)
I_TR_x(3)=I_TR3
C----euros metablitis 3
IF (I_TR3.GT.1) THEN
REUROS_x(3)=2.0*(Rkanmax_x(3)-Rkanmin_x(3))/(2.0*I_TR_x(3)-2.0)
IF (POSOSTO_A_x(3).LT.0.001) THEN
I_PL_EUROUS_X(3)=1
IF((POSOSTO_S_x(3).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(3).LT.(-0.001)))THEN
REUROS_x(3)=REUROS_x(3)*(1.0+POSOSTO_S_x(3))
ENDIF
ELSE
IPROX=(POSOSTO_A_x(3)+0.0001)/POSOSTO_S_x(3)
I_PL_EUROUS_X(3)=2*IPROX + 1
ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I_TR3
DO 9525 I_PL3=1,I_PL_EUROUS_X(3)
IF (I_PL_EUROUS_X(3).NE.1) THEN
REUROS_x(3)=2.0*(Rkanmax_x(3)-Rkanmin_x(3))/(2.0*I_TR_x(3)-2.0)
* *(1.0-POSOSTO_A_x(3)+(1.0*(I_PL3-1))*POSOSTO_S_x(3))
ENDIF

C----- 2H EISODOS
DO 9520 I_TR2=I_PLHT_TRIG_LO_x(2),I_PLHT_TRIG_UP_x(2)

```

```

I_TR_x(2)=I_TR2
C-----euos metablitis 2
IF (I_TR2.GT.1) THEN
  REUROS_x(2)=2.0*(Rkanmax_x(2)-Rkanmin_x(2))/(2.0*I_TR_x(2)-2.0)
  IF (POSOSTO_A_x(2).LT.0.001) THEN
    I_PL_EUROUS_X(2)=1
  IF((POSOSTO_S_x(2).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(2).LT.(-0.001)))THEN
    REUROS_x(2)=REUROS_x(2)*(1.0+POSOSTO_S_x(2))
  ENDIF
  ELSE
    IPROX=(POSOSTO_A_x(2)+0.0001)/POSOSTO_S_x(2)
    I_PL_EUROUS_X(2)=2*IPROX + 1
  ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I TR2
DO 9515 I_PL2=1,I_PL_EUROUS_X(2)
IF (I_PL_EUROUS_X(2).NE.1) THEN
  REUROS_x(2)=2.0*(Rkanmax_x(2)-Rkanmin_x(2))/(2.0*I_TR_x(2)-2.0)
  * *(1.0-POSOSTO_A_x(2)+(1.0*(I_PL2-1))*POSOSTO_S_x(2))
ENDIF

C----- 1H EISODOS - auti yparxei ypoxrewtika
DO 9510 I_TR1=I_PLHT_TRIG_LO_x(1),I_PLHT_TRIG_UP_x(1)
I_TR_x(1)=I_TR1
C-----euos metablitis 1
REUROS_x(1)=2.0*(Rkanmax_x(1)-Rkanmin_x(1))/(2.0*I_TR_x(1)-2.0)
IF (POSOSTO_A_x(1).LT.0.001) THEN
  I_PL_EUROUS_X(1)=1
IF((POSOSTO_S_x(1).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_x(1).LT.(-0.001)))THEN
  REUROS_x(1)=REUROS_x(1)*(1.0+POSOSTO_S_x(1))
ENDIF
ELSE
  IPROX=(POSOSTO_A_x(1)+0.0001)/POSOSTO_S_x(1)
  I_PL_EUROUS_X(1)=2*IPROX + 1
ENDIF
DO 9505 I_PL1=1,I_PL_EUROUS_X(1)
IF (I_PL_EUROUS_X(1).NE.1) THEN
  REUROS_x(1)=2.0*(Rkanmax_x(1)-Rkanmin_x(1))/(2.0*I_TR_x(1)-2.0)
  * *(1.0-POSOSTO_A_x(1)+(1.0*(I_PL1-1))*POSOSTO_S_x(1))
ENDIF

C----- 2H EJODOS
DO 9420 I_TRY2=I_PLHT_TRIG_LO_y(2),I_PLHT_TRIG_UP_y(2)
I_TR_y(2)=I_TRY2
C-----euos metablitis ejodou 2
IF (I_TRY2.GT.1) THEN
  REUROS_y(2)=2.0*(Rkanmax_y(2)-Rkanmin_y(2))/(2.0*I_TR_y(2)-2.0)
  IF (POSOSTO_A_y(2).LT.0.001) THEN
    I_PL_EUROUS_y(2)=1
  IF((POSOSTO_S_y(2).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_y(2).LT.(-0.001)))THEN
    REUROS_y(2)=REUROS_y(2)*(1.0+POSOSTO_S_y(2))
  ENDIF
  ELSE
    IPROY=(POSOSTO_A_y(2)+0.0001)/POSOSTO_S_y(2)
    I_PL_EUROUS_y(2)=2*IPROY + 1
  ENDIF ! gia pososta
ENDIF ! gia I TRY2
DO 9415 I_PLy2=1,I_PL_EUROUS_y(2)
IF (I_PL_EUROUS_y(2).NE.1) THEN
  REUROS_y(2)=2.0*(Rkanmax_y(2)-Rkanmin_y(2))/(2.0*I_TR_y(2)-2.0)
  * *(1.0-POSOSTO_A_y(2)+(1.0*(I_PLy2-1))*POSOSTO_S_y(2))
ENDIF

C----- 1H EJODOS - auti yparxei ypoxrewtika
DO 9410 I_TRY1=I_PLHT_TRIG_LO_y(1),I_PLHT_TRIG_UP_y(1)
I_TR_y(1)=I_TRY1
C-----euos metablitis ejodou 1
REUROS_y(1)=2.0*(Rkanmax_y(1)-Rkanmin_y(1))/(2.0*I_TR_y(1)-2.0)
IF (POSOSTO_A_y(1).LT.0.001) THEN
  I_PL_EUROUS_y(1)=1
IF((POSOSTO_S_y(1).GT.0.001).OR.(POSOSTO_S_y(1).LT.(-0.001)))THEN
  REUROS_y(1)=REUROS_y(1)*(1.0+POSOSTO_S_y(1))
ENDIF
ELSE
  IPROX=(POSOSTO_A_y(1)+0.0001)/POSOSTO_S_y(1)

```

```

        I_PL_EUROUS_y(1)=2*Iprox + 1
    ENDIF
DO 9405 I_Ply1=1,I_PL_EUROUS_y(1)
IF (I_PL_EUROUS_y(1).NE.1) THEN
    REUROS_y(1)=2.0*(Rkanmax_y(1)-Rkanmin_y(1))/(2.0*I_TR_y(1)-2.0)
* (1.0-POSOSTO_A_y(1)+(1.0*(I_Ply1-1))*POSOSTO_S_y(1))
    ENDIF

C---- KATASKEYH KORYFWN
DO 4010 I_X=1,iqin
    ITHESH_X=I_TR_x(I_X)
    R_acme_X(ITHESH_X,I_X)=X_MEAN(I_X)
    DO 4005 ITHESH_X=I_TR_x(I_X),2,-1
        ITHESH_X_1=ITHESH_X-1
        R_acme_X(ITHESH_X_1,I_X)=
* R_acme_X(ITHESH_X,I_X)-REUROS_x(I_X)/2.0
4005 CONTINUE
    DO 4008 ITHESH_X=I_TR_x(I_X),(2*I_TR_x(I_X)-2)
        ITHESH_X_1=ITHESH_X+1
        R_acme_X(ITHESH_X_1,I_X)=
* R_acme_X(ITHESH_X,I_X)+REUROS_x(I_X)/2.0
4008 CONTINUE
4010 CONTINUE

    DO 4020 I_Y=1,iqout
        ITHESH_Y=I_TR_y(I_Y)
        R_acme_Y(ITHESH_Y,I_Y)=Y_MEAN(I_Y)
        DO 4015 ITHESH_Y=I_TR_y(I_Y),2,-1
            ITHESH_Y_1=ITHESH_Y-1
            R_acme_Y(ITHESH_Y_1,I_Y)=
* R_acme_Y(ITHESH_Y,I_Y)-REUROS_y(I_Y)/2.0
4015 CONTINUE
        DO 4018 ITHESH_Y=I_TR_y(I_Y),(2*I_TR_y(I_Y)-2)
            ITHESH_Y_1=ITHESH_Y+1
            R_acme_Y(ITHESH_Y_1,I_Y)=
* R_acme_Y(ITHESH_Y,I_Y)+REUROS_y(I_Y)/2.0
4018 CONTINUE
4020 CONTINUE

C---- loipes arxikopoiiseis
I_TOTAL_MET_RULES=0

C----- ektypwseis - sindiasmwn
IA_A=IA_A+1
IF (I_FLAG_PRINT(2).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_001,40000) IA_A,
*((IEKT_x,I_TR_x(IEKT_x),REUROS_x(IEKT_x)),IEKT_x=1,iqin),
*((IEKT_y,I_TR_y(IEKT_y),REUROS_y(IEKT_y)),IEKT_y=1,iqout)
ENDIF ! ektypwsi 2
IF (I_FLAG_PRINT(1).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_001,40001) ((IEKT_x,ITH_X,R_acme_X(ITH_X,IEKT_x),
*ITH_X=1,(2*I_TR_x(IEKT_x)-1)),IEKT_x=1,iqin)
WRITE(ICH_001,40001) ((IEKT_y,ITH_Y,R_acme_Y(ITH_Y,IEKT_y),
*ITH_y=1,(2*I_TR_y(IEKT_y)-1)),IEKT_y=1,iqout)
ENDIF ! ektypwsi 1
40000 FORMAT (I10,I2(' ',I2,' ',I4,F10.5))
40001 FORMAT (I08(' ',I3,' ',I3,F10.5))

c---- TRAINING SET
DO 4500 I_D_TR=1,IENERGATRaining

c---- ASAFPOIHS TRAINING SET
DO 4110 I_X=1,iqin ! gia eisodous
    DO 4102 ITHESH_X=1,(2*I_TR_x(I_X)-1)
        R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=0.0
4102 CONTINUE
IF (XEISODOS(I_X,I_D_TR).LE.R_acme_X(1,I_X)) THEN
    R_membershipf_X(1,I_X)=1.0
    I_FLAG_X(I_X)=1
    I_METR_X_1(I_X)=1
    GOTO 4109
ENDIF
DO 4104 ITHESH_X=2,(2*I_TR_x(I_X)-1)

```



```

IF (XEISODOS(I_X,I_D_TR).LE.R_acme_X(ITHESH_X,I_X)) THEN
  ITHESH_X_1=ITHESH_X-1
  R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=
* (XEISODOS(I_X,I_D_TR)-R_acme_X(ITHESH_X_1,I_X))
* / (REUROS_x(I_X)/2.0)
  R_membershipf_X(ITHESH_X_1,I_X)=1.0-R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
  I_FLAG_X(I_X)=2
  I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X_1
  I_METR_X_2(I_X)=ITHESH_X
  GOTO 4109
ENDIF
4104 CONTINUE
  ITHESH_X=2*I_TR_x(I_X)-1
  R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=1.0
  I_FLAG_X(I_X)=1
  I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X
4109 CONTINUE
4110 CONTINUE

DO 4120 I_Y=1,iqout ! gia ejodous
  DO 4112 ITHESH_Y=1,(2*I_TR_y(I_Y)-1)
  R_membershipf_Y(ITHESH_Y,I_Y)=0.0
4112 CONTINUE
  IF (YEJODOS(I_Y,I_D_TR).LE.R_acme_Y(1,I_Y)) THEN
  R_membershipf_Y(1,I_Y)=1.0
  I_FLAG_Y(I_Y)=1
  I_METR_Y_1(I_Y)=1
  GOTO 4119
ENDIF
  DO 4114 ITHESH_Y=2,(2*I_TR_y(I_Y)-1)
  IF (YEJODOS(I_Y,I_D_TR).LE.R_acme_Y(ITHESH_Y,I_Y)) THEN
  ITHESH_Y_1=ITHESH_Y-1
  R_membershipf_Y(ITHESH_Y,I_Y)=
* (YEJODOS(I_Y,I_D_TR)-R_acme_Y(ITHESH_Y_1,I_Y))
* / (REUROS_y(I_Y)/2.0)
  R_membershipf_Y(ITHESH_Y_1,I_Y)=1.0-R_membershipf_Y(ITHESH_Y,I_Y)
  I_FLAG_Y(I_Y)=2
  I_METR_Y_1(I_Y)=ITHESH_Y_1
  I_METR_Y_2(I_Y)=ITHESH_Y
  GOTO 4119
ENDIF
4114 CONTINUE
  ITHESH_Y=2*I_TR_y(I_Y)-1
  R_membershipf_Y(ITHESH_Y,I_Y)=1.0
  I_FLAG_Y(I_Y)=1
  I_METR_Y_1(I_Y)=ITHESH_Y
4119 CONTINUE
4120 CONTINUE

C----- ektypseis - sindiasmwn
IF (I_FLAG_PRINT(1).EQ.1) THEN
  WRITE(ICH_001,40001)((IEKT_x,ITH_X,R_membershipf_X(ITH_X,IEKT_x),
* ITH_X=1,(2*I_TR_x(IEKT_x)-1)),IEKT_x=1,iqin)
  WRITE(ICH_001,40001)((IEKT_y,ITH_y,R_membershipf_Y(ITH_y,IEKT_y),
* ITH_y=1,(2*I_TR_y(IEKT_y)-1)),IEKT_y=1,iqout)
ENDIF ! ektypsi 1

C----- ypologismos kanonwn gia to sigkekrimeno dianisma
I_RULE_PLITHOS_per_vector=1
DO 4150 I_X=1,iqin ! gia eisodous
  I_RULE_PLITHOS_per_vector=I_RULE_PLITHOS_per_vector*I_FLAG_X(I_X)
4150 CONTINUE
DO 4155 I_Y=1,iqout ! gia ejodous
  I_RULE_PLITHOS_per_vector=I_RULE_PLITHOS_per_vector*I_FLAG_Y(I_Y)
4155 CONTINUE

C----- arxikopoiisi sintelesti varous gia kathe kanona gia to sigkekrimeno dianisma
DO 4160 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
  SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=1.0
4160 CONTINUE
  I_EKTHEHS=0

C----- kataskeui eisodwn kanonwn ana dianisma
DO 4170 I_X=1,iqin ! gia eisodous
  IF (I_FLAG_X(I_X).EQ.1) THEN
  DO 4162 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
  I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
4162 CONTINUE

```

```

ELSE
I_EKTHETHS=I_EKTHETHS+1
I_DIVISION=2**I_EKTHETHS
I_DIVISION_2=I_DIVISION/2
DO 4165 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_YPOLOIPO=K_RULE_per_vector-
* (K_RULE_per_vector/I_DIVISION)*I_DIVISION
IF ( (1.LE.I_YPOLOIPO).AND.(I_YPOLOIPO.LE.(I_DIVISION_2)) ) THEN
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
ITHESH_X = I_METR_X_1(I_X)
ELSE
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_2(I_X)
ITHESH_X = I_METR_X_2(I_X)
ENDIF
SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
* *R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
4165 CONTINUE
ENDIF ! tou I_FLAG_X(I_X)
4170 CONTINUE
C----- kataskeui ejodwn kanonwn ana dianisma
DO 4180 I_Y=1,iqout ! gia ejodous
IF (I_FLAG_Y(I_Y).EQ.1) THEN
DO 4172 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_RULE_Y_per_vector(K_RULE_per_vector,I_Y)=I_METR_Y_1(I_Y)
4172 CONTINUE
ELSE
I_EKTHETHS=I_EKTHETHS+1
I_DIVISION=2**I_EKTHETHS
DO 4175 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_YPOLOIPO=K_RULE_per_vector-
* (K_RULE_per_vector/I_DIVISION)*I_DIVISION
IF ( (1.LE.I_YPOLOIPO).AND.(I_YPOLOIPO.LE.(I_DIVISION/2)) ) THEN
I_RULE_Y_per_vector(K_RULE_per_vector,I_Y)=I_METR_Y_1(I_Y)
ITHESH_Y = I_METR_Y_1(I_Y)
ELSE
I_RULE_Y_per_vector(K_RULE_per_vector,I_Y)=I_METR_Y_2(I_Y)
c----- simantiko lathos -----^^^^^^ anti Y eginе X
ITHESH_Y = I_METR_Y_2(I_Y)
ENDIF
SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
* *R_membershipf_Y(ITHESH_Y,I_Y)
4175 CONTINUE
ENDIF ! tou I_FLAG_Y(I_Y)
4180 CONTINUE
C---- ektypwseis syndiasmwn ana dianisma & elegxos athroismatos
IF (I_FLAG_PRINT(1).EQ.1) THEN
ATHROISMA=0.0
do 4185 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
ATHROISMA=SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)+ATHROISMA
WRITE(ICH_001,40002) K_RULE_per_vector,
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector),
*(I_RULE_x_per_vector(K_RULE_per_vector,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin),
*(I_RULE_y_per_vector(K_RULE_per_vector,IEKT_y),IEKT_y=1,iqout)
4185 continue
WRITE(ICH_001,40003) ATHROISMA
ENDIF ! ektypwsi 1
40002 FORMAT (I5,' ',F8.6,' ',12(' ',I2))
40003 FORMAT ('ATHROISMA MEMBERSHIP FUNCTIONS:', F10.6)
C-----
C----- KATASKEYH BASHS KANONWN - PROSTHKH KANONWN
DO 4220 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_FLAG_FIND_RULE=0 ! xreiazetai gia tin periptwsi tis mi yparjis kanonwn
DO 4204 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_MET_RULES
I_FLAG_FIND_RULE=1
DO 4201 I_X=1,iqin ! x eisodos
IF (I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X).NE.
* I_RULE_X(I_MET_RULE,I_X)) THEN
I_FLAG_FIND_RULE=0
GOTO 4203 ! den einai autos o kanonas
ENDIF
4201 CONTINUE
DO 4202 I_Y=1,iqout ! y ejodoi

```

```

      IF (I_RULE_Y_per_vector(K_RULE_per_vector,I_Y).NE.
*   I_RULE_Y(I_MET_RULE,I_Y)) THEN
      I_FLAG_FIND_RULE=0
      GOTO 4203 ! den einai autos o kanonas
      ENDIF
4202 CONTINUE
C----- an brethikes edw tote exei brethei o kanonas
      IF (I_FLAG_FIND_RULE.EQ.1) GOTO 4205
4203 CONTINUE
4204 CONTINUE ! telos loop euresis kanonwn se omali ejodo den brethike
4205 CONTINUE ! alliws exei brethei kai eisai edw
      IF (I_FLAG_FIND_RULE.EQ.0) THEN
      I_TOTAL_MET_RULES=I_TOTAL_MET_RULES+1
      DO 4208 I_X=1,iqin ! x eisodos
      I_RULE_X(I_TOTAL_MET_RULES,I_X)=
*   I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)
4208 CONTINUE
      DO 4209 I_Y=1,iqout ! y eisodos
      I_RULE_Y(I_TOTAL_MET_RULES,I_Y)=
*   I_RULE_Y_per_vector(K_RULE_per_vector,I_Y)
4209 CONTINUE
      I_RULE_PLHTHOS(I_TOTAL_MET_RULES)=1
      R_RULE_MEMB_FUN(I_TOTAL_MET_RULES,1)=
*   SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
      ELSE
      I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE)=I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE)+1
      R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,1)=R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,1)+
*   SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
      ENDIF
4220 CONTINUE
C---- ektypwsi kanonwn ana dianisma
      IF (I_FLAG_PRINT(1).EQ.1) THEN
      DO 4225 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_MET_RULES
      WRITE(ICH_001,40004) I_MET_RULE,
*   I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE),R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,1),
*   (IEKT_x,I_RULE_X(I_MET_RULE,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin),
*   (IEKT_y,I_RULE_Y(I_MET_RULE,IEKT_y),IEKT_y=1,iqout)
4225 CONTINUE
      ENDIF ! ektypwsi 1
4500 CONTINUE

C---- ektypwsi kanonwn meta ti diakasia
      IF (I_FLAG_PRINT(2).EQ.1) THEN
      DO 4525 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_MET_RULES
      WRITE(ICH_001,40004) I_MET_RULE,
*   I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE),R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,1),
*   (IEKT_x,I_RULE_X(I_MET_RULE,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin),
*   (IEKT_y,I_RULE_Y(I_MET_RULE,IEKT_y),IEKT_y=1,iqout)
4525 CONTINUE
      ENDIF ! ektypwsi 2
40004 FORMAT (I12,' ',I10,' ',F10.6,12(' ',I2,' ',I2) )

C---- KATASKEYH TELIKWN KANONWN
C   arxikopoiisi
      DO 4600 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_MET_RULES
      I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE)= -1 ! oloi oi kanones energoi
4600 CONTINUE
C---- loops fajimatos
      I_METRHTHS_ENERGA_RULES=0
      DO 4680 I_MET_RULE_1=1,I_TOTAL_MET_RULES
C   NA brethei kanonas mi mazemenos
      IF (I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_1).EQ.-1) THEN
      I_METRHTHS_ENERGA_RULES=I_METRHTHS_ENERGA_RULES+1
      I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_1)=I_METRHTHS_ENERGA_RULES
      IF ( (I_SHMAIA_FUZ_SYS.GE.2).AND.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.LE.3) ) THEN
      DO 4605 I_Y=1,iqout
      PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*(I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)
*   *I_RULE_Y(I_MET_RULE_1,I_Y))
      PROX_PARANOM(I_Y)=1.0*I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)
4605 CONTINUE
      ENDIF ! gia arxikopoiisi tou I_SHMAIA_FUZ_SYS=2 h 3
      IF ( (I_SHMAIA_FUZ_SYS.GE.4).AND.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.LE.5) ) THEN
      DO 4607 I_Y=1,iqout
      PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*(R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_1,1)
*   *I_RULE_Y(I_MET_RULE_1,I_Y))

```

```

        PROX_PARANOM(I_Y)=R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_1,1)
4607  CONTINUE
      ENDIF ! gia arxikopoiisi tou I_SHMAIA_FUZ_SYS=4 h 5
      ELSE
        GOTO 4675 !out apo loop 4690
      ENDIF
C--- sigrisi me allous omoious ws pros x kanones
      DO 4650 I_MET_RULE_2=(I_MET_RULE_1+1),I_TOTAL_MET_RULES
      IF (I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_2).EQ.-1) THEN ! an einai energos faje
c      I_FLAG_prox_OMOIOS_X=1 ! estw oti isxuei
        DO 4610 I_X=1,iqin
          IF (I_RULE_X(I_MET_RULE_1,I_X).NE.I_RULE_X(I_MET_RULE_2,I_X))
* THEN
c          I_FLAG_prox_OMOIOS_X=0 ! den einai idio to x, out
          GOTO 4645 ! pigaine gia epomeno kanona
        ENDIF
4610  CONTINUE
C--- an eisai edw einai idioi oi kanones kata x, tote jekina fajimo
      I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_2)=0 ! kanto anergo
      IF (I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.1) THEN
C--- sigrisi plithous -an einai mikroteri sixnotita apotkikeumeni allaje to
C--- me megaliteri kai tin ejodo tou kanona
      IF (I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1).LT.I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_2))
* THEN ! brethike neo maximum
      I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)=I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_2)
      DO 4620 I_Y=1,iqout
      I_RULE_Y(I_MET_RULE_1,I_Y)=I_RULE_Y(I_MET_RULE_2,I_Y)
4620  CONTINUE
      ENDIF
      ENDIF ! I_SHMAIA_FUZ_SYS=1

      IF ( (I_SHMAIA_FUZ_SYS.GE.2).AND.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.LE.3)) THEN
      DO 4630 I_Y=1,iqout
      PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)
* +1.0*(I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_2)*I_RULE_Y(I_MET_RULE_2,I_Y))
      PROX_PARANOM(I_Y)=PROX_PARANOM(I_Y)
* +1.0*I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_2)
      I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)=I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)
* +I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_2) ! sinolo kanonwn
4630  CONTINUE
      ENDIF ! I_SHMAIA_FUZ_SYS=2 h 3

      IF ( (I_SHMAIA_FUZ_SYS.GE.4).AND.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.LE.5)) THEN
      DO 4640 I_Y=1,iqout
      PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+1.0*
* (R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_2,1)*I_RULE_Y(I_MET_RULE_2,I_Y))
      PROX_PARANOM(I_Y)=PROX_PARANOM(I_Y)
* +R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_2,1)
      I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)=I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)
* +I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_2) ! sinolo kanonwn
4640  CONTINUE
      ENDIF ! I_SHMAIA_FUZ_SYS=4 h 5

4645  CONTINUE ! den einai idioi oi kanones I_MET_RULE_2 & I_MET_RULE_1
      ENDIF ! an einai energo dianisma
4650  CONTINUE ! I_MET_RULE_2
C---- an brethikes edw exei brethei neos kanonas me a/a I_METRHTHS_ENERGA_RULES
c---- an I_SHMAIA_FUZ_SYS=1, tote exei ftiaxtei o kainourgios kanonas sinolika
c----- gia tis ypoloipes periptwseis ginontai ta akoloutha
      IF ( (I_SHMAIA_FUZ_SYS.GE.2).AND.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.LE.5)) THEN
      DO 4660 I_Y=1,iqout
      IF (PROX_PARANOM(I_Y).GE.0) THEN
      PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)/PROX_PARANOM(I_Y)
C      R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_1,I_Y) ! apo edw kai katw energopoiitai plirws
gia teliko kanona
      R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_1,I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)
C--- stroggilopoiisi
      I_PHLIKO=PROX_ARIUMHT(I_Y)/1
      R_YPOLOIPO=PROX_ARIUMHT(I_Y)-I_PHLIKO
      IF (R_YPOLOIPO.GE.0.5) I_PHLIKO=I_PHLIKO+1
      I_RULE_Y(I_MET_RULE_1,I_Y)=I_PHLIKO ! ola ok gia I_SHMAIA_FUZ_SYS=2&4
      ELSE
      PRINT *, 'case ',IA_A, ' RULE ',I_MET_RULE_1, ' IS OUT'
ccc      READ *,STH
      I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_1)=0

```

```

I_METRHTRS_ENERGA_RULES=I_METRHTRS_ENERGA_RULES-1
C   R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_1,I_Y)=1.0*I_TR_Y(I_Y)
C   I_RULE_Y(I_MET_RULE_1,I_Y)=I_TR_Y(I_Y)
C   I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_1)=-I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_1)
   ENDIF
4660  CONTINUE
      ENDIF ! I_SHMAIA_FUZ_SYS=2 ws 5

4675 CONTINUE ! apo goto
4680 CONTINUE ! I_MET_RULE_1
      I_TOTAL_METRHTRS_ENERGA_RULES=I_METRHTRS_ENERGA_RULES
      I_METRHTRS_ENERGA_RULES=0
C---- ektypwsi kanonwn meta ti diakasia
      IF (I_FLAG_PRINT(2).EQ.1) THEN
        DO 4690 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_MET_RULES
          IF (I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE).NE.0) THEN
            I_METRHTRS_ENERGA_RULES=I_METRHTRS_ENERGA_RULES+1
            WRITE(ICH_001,40005) I_METRHTRS_ENERGA_RULES,
* I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE),I_MET_RULE,
* I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE),
* (I_RULE_X(I_MET_RULE,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin),
* (I_RULE_Y(I_MET_RULE,IEKT_y),IEKT_y=1,iqout)
            IF ((I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.3).OR.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.5)) THEN
              WRITE(ICH_001,40006)
* (R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,IEKT_y),IEKT_y=1,iqout)
            ENDIF ! sinartisi simmetoxis
          ENDIF
        CONTINUE
      ENDIF ! ektypwsi 2
40005 FORMAT (I12,3(' ',I12),'->',12(' ',I2) )
40006 FORMAT (51(' '),'->',2(' ',F8.4) )

C---- diamorfwsi telikwn kanonwn se mia seira
      DO 4720 I_MET_RULE_1=1,I_TOTAL_MET_RULES
        IF (I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_1).EQ.0) THEN
          DO 4710 I_MET_RULE_2=(I_MET_RULE_1+1),I_TOTAL_MET_RULES
            IF (I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_2).NE.0) THEN
              I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_1)=I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_2)
              I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE_2)=0
              DO 4702 I_X=1,iqin
                I_RULE_X(I_MET_RULE_1,I_X)=I_RULE_X(I_MET_RULE_2,I_X)
              CONTINUE
              DO 4704 I_Y=1,iqout
                I_RULE_Y(I_MET_RULE_1,I_Y)=I_RULE_Y(I_MET_RULE_2,I_Y)
                R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_1,I_Y)=
* R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE_2,I_Y)
              CONTINUE
              I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_1)=I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE_2)
              GOTO 4715
            ENDIF !brethike energo rule gia I_MET_RULE_2
          CONTINUE
          GOTO 4725 ! den yparxei allo rule
        ENDIF ! an brethike mi energo rule
      CONTINUE ! egine omali allagi rule
      CONTINUE
      CONTINUE ! goto exei oloklirwthei i arikopoiisi nwritera

      IF (I_FLAG_PRINT(3).EQ.1) THEN
        DO 4730 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_METRHTRS_ENERGA_RULES
          WRITE(ICH_001,40005) I_MET_RULE,
* I_SHM_ENERG_RULE(I_MET_RULE),I_MET_RULE,
* I_RULE_PLHTHOS(I_MET_RULE),
* (I_RULE_X(I_MET_RULE,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin),
* (I_RULE_Y(I_MET_RULE,IEKT_y),IEKT_y=1,iqout)
          IF ((I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.3).OR.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.5)) THEN
            WRITE(ICH_001,40006)
* (R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,IEKT_y),IEKT_y=1,iqout)
          ENDIF ! sinartisi simmetoxis
        CONTINUE
      ENDIF ! ektipwsi 3
C---- TELOS EKPAIDEUSHS - EXOUN FTIAXTEI RULE BASE

C*****
C---- TRAINING SET --- EURESH EKTIMHSHS
C-----

```

```

C      arxikopoiiseis gia EURESH SFALMATOS EKPAIDEUSHS
      ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN =0.0
      ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX  =0.0
      Gav_TRAIN=0.0
C---- gia sisxetisi &&&&
      DO 5020 I_Y=1, iqout
      Ymean1(I_Y)=0.0
      Ymean2(I_Y)=0.0
      SumYreal2(I_Y)=0.0
      SumYpred2(I_Y)=0.0
      SumYrealYpred(I_Y)=0.0
5020  CONTINUE
      IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
      WRITE(ICH_003,40000) IA A,
      *((IEKT_x,I_TR_x(IEKT_x),REUROS_x(IEKT_x)),IEKT_x=1,iqin),
      *((IEKT_y,I_TR_y(IEKT_y),REUROS_y(IEKT_y)),IEKT_y=1,iqout)
      WRITE(ICH_003,40001) ( ( IEKT_x,ITH_X,R_acme_X(ITH_X,IEKT_x),
      *ITH_X=1,(2*I_TR_x(IEKT_x)-1)) ,IEKT_x=1,iqin)
      WRITE(ICH_003,40001) ( ( IEKT_y,ITH_y,R_acme_y(ITH_y,IEKT_y),
      *ITH_y=1,(2*I_TR_y(IEKT_y)-1)) ,IEKT_y=1,iqout)
      WRITE(ICH_003,62) !----- SET TRAINING
      ENDIF ! ektypwsi 6

C-----
      DO 5400 I_D_TR=1,IENERGATRaining

c---- ASAPOPOIHSH TRAINING SET
      DO 5110 I_X=1,iqin ! gia eisodous
      DO 5102 ITHESH_X=1,(2*I_TR_x(I_X)-1)
      R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=0.0
5102  CONTINUE
      IF (XEISODOS(I_X,I_D_TR).LE.R_acme_X(1,I_X)) THEN
      R_membershipf_X(1,I_X)=1.0
      I_FLAG_X(I_X)=1
      I_METR_X_1(I_X)=1
      GOTO 5109
      ENDIF
      DO 5104 ITHESH_X=2,(2*I_TR_x(I_X)-1)
      IF (XEISODOS(I_X,I_D_TR).LE.R_acme_X(ITHESH_X,I_X)) THEN
      ITHESH_X_1=ITHESH_X-1
      R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=
      * (XEISODOS(I_X,I_D_TR)-R_acme_X(ITHESH_X_1,I_X))
      * / (REUROS_x(I_X)/2.0)
      R_membershipf_X(ITHESH_X_1,I_X)=1.0-R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
      I_FLAG_X(I_X)=2
      I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X_1
      I_METR_X_2(I_X)=ITHESH_X
      GOTO 5109
      ENDIF
5104  CONTINUE
      ITHESH_X=2*I_TR_x(I_X)-1
      R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=1.0
      I_FLAG_X(I_X)=1
      I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X
5109  CONTINUE
5110  CONTINUE

C----- ektypwseis - sindiasmwn
      IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
      WRITE(ICH_001,40001)((IEKT_x,ITH_X,R_membershipf_X(ITH_X,IEKT_x),
      *ITH_X=1,(2*I_TR_x(IEKT_x)-1)) ,IEKT_x=1,iqin)
      ENDIF ! ektypwsi 1
C----- ypologismos kanonwn gia to sigkekrimeno dianisma
      I_RULE_PLITHOS_per_vector=1
      DO 5150 I_X=1,iqin ! gia eisodous
      I_RULE_PLITHOS_per_vector=I_RULE_PLITHOS_per_vector*I_FLAG_X(I_X)
5150  CONTINUE
C----- arxikopoiisi sintelesti varous gia kathe kanona gia to sigkekrimeno dianisma
      DO 5160 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
      SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=1.0
5160  CONTINUE
      I_EKTHEHHS=0
C----- kataskeui eisodwn kanonwn ana dianisma
      DO 5170 I_X=1,iqin ! gia eisodous

```

```

IF (I_FLAG_X(I_X).EQ.1) THEN
DO 5162 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
5162 CONTINUE
ELSE
I_EKTHETHS=I_EKTHETHS+1
I_DIVISION=2**I_EKTHETHS
I_DIVISION_2=I_DIVISION/2
DO 5165 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_YPOLOIPO=K_RULE_per_vector-
* (K_RULE_per_vector/I_DIVISION)*I_DIVISION
IF ( (1.LE.I_YPOLOIPO).AND.(I_YPOLOIPO.LE.(I_DIVISION_2)) ) THEN
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
ITHESH_X = I_METR_X_1(I_X)
ELSE
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_2(I_X)
ITHESH_X = I_METR_X_2(I_X)
ENDIF
SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
* *R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
5165 CONTINUE
ENDIF ! tou I_FLAG_X(I_X)
5170 CONTINUE
C---- ektypwseis syndiasmwn ana dianisma & elegxos athroismatos
IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
ATHROISMA=0.0
do 5185 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
ATHROISMA=SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)+ATHROISMA
WRITE(ICH_001,40002) K_RULE_per_vector,
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector),
*(I_RULE_x_per_vector(K_RULE_per_vector,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin)
5185 continue
WRITE(ICH_001,40003) ATHROISMA
ENDIF ! ektypwsi 4

C---- SYGRISH PROS EURESH KANONA SE BASH KANONWN
DO 5205 I_Y=1,iqout
PROX_ARIUMHT(I_Y)=0.0 ! arxikopoiisi gia bari
5205 CONTINUE
DO 5250 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_FLAG_kanona_RULE=0 ! den yparxei
sigrish
C---- DO 5220 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_METRHTHS_ENERGA_RULES
DO 5210 I_X=1,iqin ! gia eisodous
IF (I_RULE_x_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X).NE.
* I_RULE_X(I_MET_RULE,I_X)) GOTO 5215
5210 CONTINUE
C ! brethike isotita eisodwn kanona K_RULE_per_vector & rule I_MET_RULE
I_FLAG_kanona_RULE=1
GOTO 5225 ! bges apo loop gia na kratiseis se I_MET_RULE rule
5215 CONTINUE ! den isxieit isotita gia rule I_MET_RULE
5220 CONTINUE
5225 CONTINUE
C---- ypologise teliki ejodo me basi COA - den xreiazetai diairesi dioti phliko 1
IF (I_FLAG_kanona_RULE.EQ.1) THEN
IF ((I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.3).OR.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.5)) THEN
DO 5235 I_Y=1,iqout
PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
* R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,I_Y)*
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
5235 CONTINUE
ELSE ! oi periptwseis 1, 2, 4
DO 5240 I_Y=1,iqout
PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
* (1.0*I_RULE_Y(I_MET_RULE,I_Y))*
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
5240 CONTINUE
ENDIF
ELSE ! an den brethike antistoixo rule
DO 5245 I_Y=1,iqout
PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
* (1.0*I_TR_Y(I_Y))*
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)

```

```

5245 CONTINUE
      ENDIF

      IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
        WRITE(ICH_001,40007) K_RULE_per_vector,
          * (PROX_ARIUMHT(IEKT_Y),IEKT_Y=1,iqout)
40007 FORMAT (I12,2(' ',F10.5) )
          ENDIF ! ektypsi 4

5250 CONTINUE ! loop K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector

C---- APOASAFPOIHS DIANYSMATOS
DO 5320 I_Y=1,iqout
C---- diortwtiki parembasi logw arithmitikis apoklisis
IF (PROX_ARIUMHT(I_Y).LT.ITHESH_Y) THEN
  PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*ITHESH_Y+0.00000000001
ENDIF
IF (PROX_ARIUMHT(I_Y).GT.(2*I_TR_y(I_Y)-1)) THEN
  PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*(2*I_TR_y(I_Y)-1)-0.00000000001
ENDIF
C---- diorthwsi gia stoiceiwdi apoklisi
DO 5310 ITHESH_Y=1,(2*I_TR_y(I_Y)-2)
  ITHESH_Y_1=ITHESH_Y+1
c ! h ejodos den mporei na einai katw apo 1 kai megaliteri apo 2*I_TR_y(I_Y)-1
  IF ( (PROX_ARIUMHT(I_Y).GE.ITHESH_Y).AND.
    * (PROX_ARIUMHT(I_Y).LE.ITHESH_Y_1) ) THEN
    Ypred(I_Y)= R_acme_Y(ITHESH_Y,I_Y)+
    * ( PROX_ARIUMHT(I_Y)-(1.0*ITHESH_Y) ) *(REUROS_y(I_Y)/2.0)
    IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
      WRITE(ICH_003,40008) I_D_TR,I_Y,Ypred(I_Y),
        *YEJODOS(I_Y,I_D_TR),PROX_ARIUMHT(I_Y)
    ENDIF ! ektpwsi 4
40008 FORMAT ('->', I5,I2, 3 (' ',F10.5))
C=====
C---- ypologismos sfalmatwn
  ERROR_PIN(I_Y) = YEJODOS(I_Y,I_D_TR)-Ypred(I_Y)
  Gav_TRAIN=Gav_TRAIN+(YEJODOS(I_Y,I_D_TR)-Ypred(I_Y))*2
  ERROR_SFALMA=ABS((YEJODOS(I_Y,I_D_TR)-Ypred(I_Y)))
  ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN= ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN+ERROR_SFALMA
  IF (ERROR_SFALMA.GE.ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX) THEN
    ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX = ERROR_SFALMA
    I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX =I_D_TR
    I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX =I_Y
  ENDIF
C--- gia sixetisi
  Ymean1(I_Y)= Ymean1(I_Y)+YEJODOS(I_Y,I_D_TR)
  Ymean2(I_Y)= Ymean2(I_Y)+Ypred(I_Y)
  Yprox(I_Y,I_D_TR)=Ypred(I_Y)
C---- gia euresi diastimatos empistosinis -katataji sflamatwn aujousa
  IDEIKT_PROX1=1
  DO 5305 WHILE ((ERROR_PIN(I_Y).GE.
    * ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX1)).
    * AND.(IDEIKT_PROX1.LT.I_D_TR))
    IDEIKT_PROX1=IDEIKT_PROX1+1
5305 END DO
    IDEIKT_PROX_EURESH=IDEIKT_PROX1
    DO 5307 IDEIKT_PROX2=I_D_TR,(IDEIKT_PROX_EURESH+1),-1
      ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX2)=
    * ERROR_KATATAJH(I_Y,(IDEIKT_PROX2-1))
5307 CONTINUE
    ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX_EURESH)=ERROR_PIN(I_Y)
C---- telos ypologismou sfalmatwn
C=====
      GOTO 5315 ! teleiwsan ola kala out apo edw
      ENDIF
5310 CONTINUE
C--- an brethikes edw yparxei problima me PROX_ARIUMHT(I_Y) -> ektos oriwn
PRINT *, 'H EJODOS ',I_Y,' TOY DIANYSMATOS TRAINING ',I_D_TR,
* ' EXEI PROBLHMA'
READ *,STH
5315 CONTINUE
5320 CONTINUE
IF (I_FLAG_PRINT(5).EQ.1) THEN

```



```

WRITE(ICH_003,61) I_D_TR, ((Ypred(IEKT_Y),
*YEJODOS(IEKT_Y,I_D_TR),ERROR_PIN(IEKT_Y)),IEKT_Y=1,iqout)
ENDIF ! ektpwsi 5

5400 CONTINUE ! I_D_TR=1,IENERGATRaining - ektimisi

ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX =ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX
ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN=ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN
* / (1.0*(IENERGATRaining*I_Y))
Gav_TRAIN=Gav_TRAIN/(1.0*IENERGATRaining) ! gia mesi timi
C----- gia euresi diastimatos empistosinis training set
I_LOWER_LIM_TRAIN=IENERGATRaining*POSOSTO_KATATAJH
I_UPPER_LIM_TRAIN=IENERGATRaining+1-I_LOWER_LIM_TRAIN
IF (I_LOWER_LIM_TRAIN.LT.1) THEN
I_LOWER_LIM_TRAIN=1
I_UPPER_LIM_TRAIN=IENERGATRaining
ENDIF
IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,71) POSOSTO_KATATAJH
WRITE(ICH_003,74)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_LOWER_LIM_TRAIN),Jekt=1,iqout)
WRITE(ICH_003,75)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_UPPER_LIM_TRAIN),Jekt=1,iqout)
IPROX1=IENERGATRaining
CALL DIAIR(IPROX1,IYPOLOIPO,2)
IF (IYPOLOIPO.EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,76)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1)),Jekt=1,iqout)
ELSE
WRITE(ICH_003,76) ( 0.5*(ERROR_KATATAJH(Jekt,IPROX1)+
* ERROR_KATATAJH(Jekt,(IPROX1+1))),Jekt=1,iqout )
ENDIF
ENDIF ! ektipwsi 6
C---- yplogismos r2train
DO 5420 I_Y=1, iqout
Ymean1(I_Y)=Ymean1(I_Y)/(1.0*IENERGATRaining)
Ymean2(I_Y)=Ymean2(I_Y)/(1.0*IENERGATRaining)
DO 5410 IMET_DIAN= 1,IENERGATRaining
SumYreal2(I_Y)=SumYreal2(I_Y)
* + (YEJODOS(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean1(I_Y))**2
SumYpred2(I_Y)=SumYpred2(I_Y)
* + (Yprox(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean2(I_Y))**2
SumYrealYpred(I_Y)=SumYrealYpred(I_Y)+
* (Yprox(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean2(I_Y))
* * (YEJODOS(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean1(I_Y))
5410 CONTINUE
R2train(I_Y)=SumYrealYpred(I_Y)
* / (SQRT(SumYreal2(I_Y)*SumYpred2(I_Y)))
5420 CONTINUE

IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,40009)
* ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN,ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,
* I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,
* Gav_TRAIN,
* (J,R2train(J),J=1,iqout)
ENDIF !ektipwsi 6
40009 FORMAT (F10.6,' ',F10.6,' ',I12,' ',I2,' ',
*F12.6,2(' ',I2,' ',F8.6))
C----- telos gia training set
C*****

C*****
c---- VALIDATION SET --- EURESH EKTIMHSHS
C-----
C arxikopoiiseis gia EURESH SFALMATOS VALIDATION
ERROR_SFALMA_VALID_MEAN =0.0
ERROR_SFALMA_VALID_MAX =0.0
Gav_VALID=0.0
C--- gia sixetisi &&&
DO 6020 I_Y=1, iqout
Ymean1(I_Y)=0.0
Ymean2(I_Y)=0.0
SumYreal2(I_Y)=0.0

```

```

        SumYpred2(I_Y)=0.0
        SumYrealYpred(I_Y)=0.0
6020 CONTINUE
        IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
            WRITE(ICH_003,63) !----- SET VALIDATION
        ENDIF ! ektypwsi 6

C-----
        DO 6400 I_D_VL=1,IENERGAVALIDAT

c---- ASAPOPOIHSH VALIDATION SET
        DO 6110 I_X=1,iqin ! gia eisodos
            DO 6102 ITHESH_X=1,(2*I_TR_x(I_X)-1)
                R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=0.0
6102 CONTINUE
            IF (XEISODOS_VAL(I_X,I_D_VL).LE.R_acme_X(1,I_X)) THEN
                R_membershipf_X(1,I_X)=1.0
                I_FLAG_X(I_X)=1
                I_METR_X_1(I_X)=1
                GOTO 6109
            ENDIF
            DO 6104 ITHESH_X=2,(2*I_TR_x(I_X)-1)
                IF (XEISODOS_VAL(I_X,I_D_VL).LE.R_acme_X(ITHESH_X,I_X)) THEN
                    ITHESH_X_1=ITHESH_X-1
                    R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=
* (XEISODOS_VAL(I_X,I_D_VL)-R_acme_X(ITHESH_X_1,I_X))
* / (REUROS_x(I_X)/2.0)
                    R_membershipf_X(ITHESH_X_1,I_X)=1.0-R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
                    I_FLAG_X(I_X)=2
                    I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X_1
                    I_METR_X_2(I_X)=ITHESH_X
                    GOTO 6109
                ENDIF
            DO 6104 CONTINUE
                ITHESH_X=2*I_TR_x(I_X)-1
                R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=1.0
                I_FLAG_X(I_X)=1
                I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X
6109 CONTINUE
6110 CONTINUE

C----- ypologismos kanonwn gia to sigkekrimeno dianisma
        I_RULE_PLITHOS_per_vector=1
        DO 6150 I_X=1,iqin ! gia eisodos
            I_RULE_PLITHOS_per_vector=I_RULE_PLITHOS_per_vector*I_FLAG_X(I_X)
6150 CONTINUE

C----- arxikopoiisi sintelesti varous gia kathe kanona gia to sigkekrimeno dianisma
        DO 6160 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
            SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=1.0
6160 CONTINUE
            I_EKTHETHS=0

C----- kataskeui eisodwn kanonwn ana dianisma
        DO 6170 I_X=1,iqin ! gia eisodos
            IF (I_FLAG_X(I_X).EQ.1) THEN
                DO 6162 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
                    I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
6162 CONTINUE
                ELSE
                    I_EKTHETHS=I_EKTHETHS+1
                    I_DIVISION=2**I_EKTHETHS
                    I_DIVISION_2=I_DIVISION/2
                    DO 6165 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
                        I_YPOLOIPO=K_RULE_per_vector-
* (K_RULE_per_vector/I_DIVISION)*I_DIVISION
                        IF ( (1.LE.I_YPOLOIPO).AND.(I_YPOLOIPO.LE.(I_DIVISION_2)) ) THEN
                            I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
                            ITHESH_X = I_METR_X_1(I_X)
                        ELSE
                            I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_2(I_X)
                            ITHESH_X = I_METR_X_2(I_X)
                        ENDIF
                    SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
* *R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
6165 CONTINUE

```

```

ENDIF          ! tou I_FLAG_X(I_X)
6170 CONTINUE
C---- ektypwseis syndiasmwn ana dianisma & elegxos athroismatos
IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
  ATHROISMA=0.0
  do 6185 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
    ATHROISMA=SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)+ATHROISMA
    WRITE(ICH_001,40002) K_RULE_per_vector,
  * SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector),
  *(I_RULE_x_per_vector(K_RULE_per_vector,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin)
6185 continue
  WRITE(ICH_001,40003) ATHROISMA
  ENDIF ! ektypwsi 1

C---- SYGRISH PROS EURESH KANONA SE BASH KANONWN
  DO 6205 I_Y=1,iqout
    PROX_ARIUMHT(I_Y)=0.0 ! arxikopoiisi gia bari
6205 CONTINUE
  DO 6250 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
    I_FLAG_kanona_RULE=0 ! den yparxei
C---- sigrish
    DO 6220 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_METRHTHS_ENERGA_RULES
      DO 6210 I_X=1,iqin ! gia eisodous
        IF (I_RULE_x_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X).NE.
  * I_RULE_X(I_MET_RULE,I_X)) GOTO 6215
6210 CONTINUE
C ! brethike isotita eisodwn kanona K_RULE_per_vector & rule I_MET_RULE
I_FLAG_kanona_RULE=1
GOTO 6225 ! bges apo loop gia na kratiseis se I_MET_RULE rule
6215 CONTINUE ! den isxieie isotita gia rule I_MET_RULE
6220 CONTINUE
6225 CONTINUE
C---- ypologise teliki ejodo me basi COA - den xreiazetai diairesi dioti phliko 1
IF (I_FLAG_kanona_RULE.EQ.1) THEN
  IF ((I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.3).OR.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.5)) THEN
    DO 6235 I_Y=1,iqout
      PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
  * R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,I_Y)*
  * SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
6235 CONTINUE
      ELSE ! oi periptwseis 1, 2, 4
        DO 6240 I_Y=1,iqout
          PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
  * (1.0*I_RULE_Y(I_MET_RULE,I_Y))*
  * SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
6240 CONTINUE
        ENDIF
      ELSE ! an den brethike antistoixo rule
        DO 6245 I_Y=1,iqout
          PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
  * (1.0*I_TR_Y(I_Y))*
  * SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
6245 CONTINUE
        ENDIF

      IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
        WRITE(ICH_001,40007) K_RULE_per_vector,
  * (PROX_ARIUMHT(IEKT_Y),IEKT_Y=1,iqout)
        ENDIF ! ektypwsi 4

6250 CONTINUE ! loop K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector

C---- APOASAFOPOIHSH DIANYSMATOS
DO 6320 I_Y=1,iqout
C---- diortwtiki parembasi logw arithmitikis apoklisis
IF (PROX_ARIUMHT(I_Y).LT.ITHESH_Y) THEN
  PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*ITHESH_Y+0.0000000001
  ENDIF
IF (PROX_ARIUMHT(I_Y).GT.(2*I_TR_y(I_Y)-1)) THEN
  PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*(2*I_TR_y(I_Y)-1)-0.0000000001
  ENDIF
C---- diorthwsi gia stoixeiwdi apoklisi

```

```

DO 6310 ITHESH_Y=1, (2*I_TR_y(I_Y)-2)
ITHESH_Y_1=ITHESH_Y+1
c ! h ejodos den mporei na einai katw apo 1 kai megaliteri apo 2*I_TR_y(I_Y)-1
IF ( (PROX_ARIUMHT(I_Y).GE.ITHESH_Y).AND.
* (PROX_ARIUMHT(I_Y).LE.ITHESH_Y_1) ) THEN
Ypred(I_Y) = R_acme_Y(ITHESH_Y,I_Y)+
* ( PROX_ARIUMHT(I_Y)-(1.0*ITHESH_Y) ) *(REUROS_y(I_Y)/2.0)
IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,40008) I_D_VL,I_Y,Ypred(I_Y),
*YEJODOS_VAL(I_Y,I_D_VL),PROX_ARIUMHT(I_Y)
ENDIF ! ektpwsi 4
C=====
C---- ypologismos sfalmatwn
ERROR_PIN(I_Y) = YEJODOS_VAL(I_Y,I_D_VL)-Ypred(I_Y)
Gav_VALID=Gav_VALID+(YEJODOS_VAL(I_Y,I_D_VL)-Ypred(I_Y))**2
ERROR_SFALMA=ABS((YEJODOS_VAL(I_Y,I_D_VL)-Ypred(I_Y)))
ERROR_SFALMA_VALID_MEAN= ERROR_SFALMA_VALID_MEAN+ERROR_SFALMA
IF (ERROR_SFALMA.GE.ERROR_SFALMA_VALID_MAX) THEN
ERROR_SFALMA_VALID_MAX = ERROR_SFALMA
I_DIANY_ERROR_SFALMA_VALID_MAX =I_D_VL
I_THESH_ERROR_SFALMA_VALID_MAX =I_Y
ENDIF
C--- gia sisxetisi
Ymean1(I_Y)= Ymean1(I_Y)+YEJODOS_VAL(I_Y,I_D_VL)
Ymean2(I_Y)= Ymean2(I_Y)+Ypred(I_Y)
Yprox(I_Y,I_D_VL)=Ypred(I_Y)
C---- gia euresi diastimatos empistosinis -katataji sflamatwn aujousa
IDEIKT_PROX1=1
DO 6305 WHILE ((ERROR_PIN(I_Y).GE.
* ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX1)).
* AND.(IDEIKT_PROX1.LT.I_D_VL))
IDEIKT_PROX1=IDEIKT_PROX1+1
6305 END DO
IDEIKT_PROX_EURESH=IDEIKT_PROX1
DO 6307 IDEIKT_PROX2=I_D_VL, (IDEIKT_PROX_EURESH+1),-1
ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX2)=
* ERROR_KATATAJH(I_Y, (IDEIKT_PROX2-1))
6307 CONTINUE
ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX_EURESH)=ERROR_PIN(I_Y)
C---- telos ypologismou sfalmatwn
C=====
GOTO 6315 ! teleiwsan ola kala out apo edw
ENDIF
6310 CONTINUE
C--- an brethikes edw yparxei problima me PROX_ARIUMHT(I_Y) -> ektos oriwn
PRINT *, 'H EJODOS ',I_Y,' TOY DIANYSMATOS VALIDATION ',I_D_VL,
* ' EXEI PROBLHMA'
READ *,STH
6315 CONTINUE
6320 CONTINUE
IF (I_FLAG_PRINT(5).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,61) I_D_VL, (Ypred(IEKT_Y),
*YEJODOS_VAL(IEKT_Y,I_D_VL),ERROR_PIN(IEKT_Y)), IEKT_Y=1,iqout)
ENDIF ! ektpwsi 5

6400 CONTINUE ! I_D_VL=1,IENERGAVALIDAT - ektimisi

ERROR_SFALMA_VALID_MAX =ERROR_SFALMA_VALID_MAX
ERROR_SFALMA_VALID_MEAN=ERROR_SFALMA_VALID_MEAN
* / (1.0*(IENERGAVALIDAT*I_Y))
Gav_VALID=Gav_VALID/(1.0*IENERGAVALIDAT) ! gia mesi timi
C----- gia euresi diastimatos empistosinis VALIDATION set
I_LOWER_LIM_VALID=IENERGAVALIDAT*POSOSTO_KATATAJH
I_UPPER_LIM_VALID=IENERGAVALIDAT+1-I_LOWER_LIM_VALID
IF (I_LOWER_LIM_VALID.LT.1) THEN
I_LOWER_LIM_VALID=1
I_UPPER_LIM_VALID=IENERGAVALIDAT
ENDIF
IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,71) POSOSTO_KATATAJH
WRITE(ICH_003,74)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_LOWER_LIM_VALID),Jekt=1,iqout)
WRITE(ICH_003,75)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_UPPER_LIM_VALID),Jekt=1,iqout)
IPROX1=IENERGAVALIDAT

```

```

CALL DIAIR(IPROX1,IYPOLOIPO,2)
IF (IYPOLOIPO.EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,76)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt, (IPROX1+1)),Jekt=1,iqout)
ELSE
WRITE(ICH_003,76) ( 0.5*(ERROR_KATATAJH(Jekt,IPROX1)+
* ERROR_KATATAJH(Jekt, (IPROX1+1)) ),Jekt=1,iqout )
ENDIF
ENDIF ! ektypsi 6
C---- yplogismos r2VALID
DO 6420 I_Y=1, iqout
Ymean1(I_Y)=Ymean1(I_Y)/(1.0*IENERGAVALIDAT)
Ymean2(I_Y)=Ymean2(I_Y)/(1.0*IENERGAVALIDAT)
DO 6410 IMET_DIAN= 1,IENERGAVALIDAT
SumYreal2(I_Y)=SumYreal2(I_Y)
* + (YEJODOS_VAL(I_Y, IMET_DIAN)-Ymean1(I_Y))**2
SumYpred2(I_Y)=SumYpred2(I_Y)
* + (Yprox(I_Y, IMET_DIAN)-Ymean2(I_Y))**2
SumYrealYpred(I_Y)=SumYrealYpred(I_Y)+
* (Yprox(I_Y, IMET_DIAN)-Ymean2(I_Y))
* * (YEJODOS_VAL(I_Y, IMET_DIAN)-Ymean1(I_Y))
6410 CONTINUE
R2VALID(I_Y)=SumYrealYpred(I_Y)
* / (SQRT(SumYreal2(I_Y)*SumYpred2(I_Y)))
6420 CONTINUE
IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,40009)
* ERROR_SFALMA_VALID_MEAN,ERROR_SFALMA_VALID_MAX,
* I_DIANY_ERROR_SFALMA_VALID_MAX,
* I_THESH_ERROR_SFALMA_VALID_MAX,
* Gav_VALID,
* (J,R2VALID(J),J=1,iqout)
ENDIF ! ektipsi 6
C----- telos gia VALIDATION set
C*****

C*****
c---- TEST SET --- EURESH EKTIMHSHS
C-----
C arxikopoiiseis gia EURESH SFALMATOS VALIDATION
ERROR_SFALMA_TEST_MEAN =0.0
ERROR_SFALMA_TEST_MAX =0.0
Gav_TEST=0.0
C--- gia sixetisi &&&
DO 7020 I_Y=1, iqout
Ymean1(I_Y)=0.0
Ymean2(I_Y)=0.0
SumYreal2(I_Y)=0.0
SumYpred2(I_Y)=0.0
SumYrealYpred(I_Y)=0.0
7020 CONTINUE
IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
WRITE(ICH_003,64) !----- SET VALIDATION
ENDIF ! ektypsi 6

C-----
DO 7400 I_D_TE=1,IENERGADIAN_AJ

c---- ASAFPOIHS VALIDATION SET
DO 7110 I_X=1,iqin ! gia eisodous
DO 7102 ITHESH_X=1, (2*I_TR_x(I_X)-1)
R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=0.0
7102 CONTINUE
IF (XEISODOS_AJ(I_X,I_D_TE).LE.R_acme_X(1,I_X)) THEN
R_membershipf_X(1,I_X)=1.0
I_FLAG_X(I_X)=1
I_METR_X_1(I_X)=1
GOTO 7109
ENDIF
DO 7104 ITHESH_X=2, (2*I_TR_x(I_X)-1)
IF (XEISODOS_AJ(I_X,I_D_TE).LE.R_acme_X(ITHESH_X,I_X)) THEN
ITHESH_X_1=ITHESH_X-1
R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=
* (XEISODOS_AJ(I_X,I_D_TE)-R_acme_X(ITHESH_X_1,I_X))

```

```

*      / (REUROS_x(I_X)/2.0)
R_membershipf_X(ITHESH_X_1,I_X)=1.0-R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
I_FLAG_X(I_X)=2
I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X_1
I_METR_X_2(I_X)=ITHESH_X
GOTO 7109
ENDIF
7104 CONTINUE
ITHESH_X=2*I_TR_x(I_X)-1
R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)=1.0
I_FLAG_X(I_X)=1
I_METR_X_1(I_X)=ITHESH_X
7109 CONTINUE
7110 CONTINUE

C----- ypologismos kanonwn gia to sigkekrimeno dianisma
I_RULE_PLITHOS_per_vector=1
DO 7150 I_X=1,iqin ! gia eisodous
I_RULE_PLITHOS_per_vector=I_RULE_PLITHOS_per_vector*I_FLAG_X(I_X)
7150 CONTINUE
C----- arxikopoiisi sintelesti varous gia kathe kanona gia to sigkekrimeno dianisma
DO 7160 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=1.0
7160 CONTINUE
I_EKTHETHS=0
C----- kataskeui eisodwn kanonwn ana dianisma
DO 7170 I_X=1,iqin ! gia eisodous
IF (I_FLAG_X(I_X).EQ.1) THEN
DO 7162 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
7162 CONTINUE
ELSE
I_EKTHETHS=I_EKTHETHS+1
I_DIVISION=2*I_EKTHETHS
I_DIVISION_2=I_DIVISION/2
DO 7165 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_YPOLOIPO=K_RULE_per_vector-
* (K_RULE_per_vector/I_DIVISION)*I_DIVISION
IF ( (1.LE.I_YPOLOIPO).AND.(I_YPOLOIPO.LE.(I_DIVISION_2)) ) THEN
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_1(I_X)
ITHESH_X = I_METR_X_1(I_X)
ELSE
I_RULE_X_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X)=I_METR_X_2(I_X)
ITHESH_X = I_METR_X_2(I_X)
ENDIF
SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)=
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
* *R_membershipf_X(ITHESH_X,I_X)
7165 CONTINUE
ENDIF ! tou I_FLAG_X(I_X)
7170 CONTINUE
C----- ektypwseis syndiasmwn ana dianisma & elegxos athroismatos
IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
ATHROISMA=0.0
do 7185 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
ATHROISMA=SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)+ATHROISMA
WRITE(ICH_001,40002) K_RULE_per_vector,
* SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector),
*(I_RULE_x_per_vector(K_RULE_per_vector,IEKT_x),IEKT_x=1,iqin)
7185 continue
WRITE(ICH_001,40003) ATHROISMA
ENDIF ! ektypwsi 1

C----- SYGRISH PROS EURESH KANONA SE BASH KANONWN
DO 7205 I_Y=1,iqout
PROX_ARIUMHT(I_Y)=0.0 ! arxikopoiisi gia bari
7205 CONTINUE
DO 7250 K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector
I_FLAG_kanona_RULE=0 ! den yparxei
C----- sigrish
DO 7220 I_MET_RULE=1,I_TOTAL_METRHTHS_ENERGA_RULES
DO 7210 I_X=1,iqin ! gia eisodous
IF (I_RULE_x_per_vector(K_RULE_per_vector,I_X).NE.
* I_RULE_X(I_MET_RULE,I_X)) GOTO 7215

```

```

7210 CONTINUE
C      ! brethike isotita eisodwn kanona K_RULE_per_vector & rule I_MET_RULE
      I_FLAG_kanona_RULE=1
      GOTO 7225 ! bges apo loop gia na kratiseis se I_MET_RULE rule
7215 CONTINUE ! den isxieii isotita gia rule I_MET_RULE
7220 CONTINUE
7225 CONTINUE
C---- ypologise teliki ejodo me basi COA - den xreiazetai diairesi dioti phliko 1
      IF (I_FLAG_kanona_RULE.EQ.1) THEN
        IF ((I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.3).OR.(I_SHMAIA_FUZ_SYS.EQ.5)) THEN
          DO 7235 I_Y=1,iqout
            PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
*             R_RULE_MEMB_FUN(I_MET_RULE,I_Y)*
*             SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
7235 CONTINUE
            ELSE ! oi periptwseis 1, 2, 4
              DO 7240 I_Y=1,iqout
                PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
*                 (1.0*I_RULE_Y(I_MET_RULE,I_Y))*
*                 SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
7240 CONTINUE
              ENDIF
            ELSE ! an den brethike antistoixo rule
              DO 7245 I_Y=1,iqout
                PROX_ARIUMHT(I_Y)=PROX_ARIUMHT(I_Y)+
*                 (1.0*I_TR_Y(I_Y))*
*                 SIN_BAROUS_per_vector(K_RULE_per_vector)
7245 CONTINUE
              ENDIF

              IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
                WRITE(ICH_001,40007) K_RULE_per_vector,
* (PROX_ARIUMHT(IEKT_Y),IEKT_Y=1,iqout)
                ENDIF ! ektypwsi 4

7250 CONTINUE ! loop K_RULE_per_vector=1,I_RULE_PLITHOS_per_vector

C---- APOASAFPOIHSH DIANYSMATOS
      DO 7320 I_Y=1,iqout
C---- diortwtiki parembasi logw arithmitikis apoklisis
      IF (PROX_ARIUMHT(I_Y).LT.ITHESH_Y) THEN
        PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*ITHESH_Y+0.0000000001
        ENDIF
      IF (PROX_ARIUMHT(I_Y).GT.(2*I_TR_y(I_Y)-1)) THEN
        PROX_ARIUMHT(I_Y)=1.0*(2*I_TR_y(I_Y)-1)-0.0000000001
        ENDIF
C---- diorthwsi gia stoxeiwdi apoklisi
      DO 7310 ITHESH_Y=1,(2*I_TR_y(I_Y)-2)
        ITHESH_Y_1=ITHESH_Y+1
c      ! h ejodos den mporei na einai katw apo 1 kai megaliteri apo 2*I_TR_y(I_Y)-1
      IF ((PROX_ARIUMHT(I_Y).GE.ITHESH_Y).AND.
* (PROX_ARIUMHT(I_Y).LE.ITHESH_Y_1) ) THEN
        Ypred(I_Y)= R_acme_Y(ITHESH_Y,I_Y)+
* ( PROX_ARIUMHT(I_Y)-(1.0*ITHESH_Y) ) *(REUROS_y(I_Y)/2.0)
      IF (I_FLAG_PRINT(4).EQ.1) THEN
        WRITE(ICH_003,40008) I_D_TE,I_Y,Ypred(I_Y),
*YEJODOS_AJ(I_Y,I_D_TE),PROX_ARIUMHT(I_Y)
        ENDIF ! ektpwsi 4
C=====
C---- ypologismos sfalmatwn
      ERROR_PIN(I_Y) = YEJODOS_AJ(I_Y,I_D_TE)-Ypred(I_Y)
      Gav_TEST=Gav_TEST+(YEJODOS_AJ(I_Y,I_D_TE)-Ypred(I_Y))**2
      ERROR_SFALMA=ABS((YEJODOS_AJ(I_Y,I_D_TE)-Ypred(I_Y)))
      ERROR_SFALMA_TEST_MEAN= ERROR_SFALMA_TEST_MEAN+ERROR_SFALMA
      IF (ERROR_SFALMA.GE.ERROR_SFALMA_TEST_MAX) THEN
        ERROR_SFALMA_TEST_MAX = ERROR_SFALMA
      I_DIANY_ERROR_SFALMA_TEST_MAX =I_D_TE
      I_THESH_ERROR_SFALMA_TEST_MAX =I_Y
      ENDIF
C--- gia sixxetisi
      Ymean1(I_Y)= Ymean1(I_Y)+YEJODOS_AJ(I_Y,I_D_TE)
      Ymean2(I_Y)= Ymean2(I_Y)+Ypred(I_Y)
      Yprox(I_Y,I_D_TE)=Ypred(I_Y)

```

```

C---- gia euresi diastimatos empistosinis -katataji sflamatwn aujousa
      IDEIKT_PROX1=1
      DO 7305 WHILE ((ERROR_PIN(I_Y).GE.
*      ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX1)).
*      AND.(IDEIKT_PROX1.LT.I_D_TE))
          IDEIKT_PROX1=IDEIKT_PROX1+1
7305  END DO
          IDEIKT_PROX_EURESH=IDEIKT_PROX1
          DO 7307 IDEIKT_PROX2=I_D_TE, (IDEIKT_PROX_EURESH+1),-1
              ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX2)=
*              ERROR_KATATAJH(I_Y, (IDEIKT_PROX2-1))
7307  CONTINUE
          ERROR_KATATAJH(I_Y,IDEIKT_PROX_EURESH)=ERROR_PIN(I_Y)
C---- telos ypologismou sfalamatwn
C=====
          GOTO 7315 ! teleiwsan ola kala out apo edw
          ENDIF
7310  CONTINUE
C--- an brethikes edw yparxei problima me PROX_ARIUMHT(I_Y) -> ektos oriwn
PRINT *, 'H EJODOS ',I_Y,' TOY DIANYSMATOS TEST ',I_D_TE,
* ' EXEI PROBLHMA'
      READ *,STH
7315  CONTINUE
7320  CONTINUE
      IF (I_FLAG_PRINT(5).EQ.1) THEN
          WRITE(ICH_003,61) I_D_TE, (Ypred(IEKT_Y),
*YEJODOS_AJ(IEKT_Y,I_D_TE),ERROR_PIN(IEKT_Y)),IEKT_Y=1,iqout)
          ENDIF ! ektpwsi 5

7400  CONTINUE ! I_D_TE=1,IENERGADIAN_AJ - ektimisi

          ERROR_SFALMA_TEST_MAX =ERROR_SFALMA_TEST_MAX
          ERROR_SFALMA_TEST_MEAN=ERROR_SFALMA_TEST_MEAN
*          / (1.0*(IENERGADIAN_AJ*I_Y))
          Gav_TEST=Gav_TEST/(1.0*IENERGADIAN_AJ) ! gia mesi timi
C---- gia euresi diastimatos empistosinis VALIDATION set
          I_LOWER_LIM_TEST=IENERGADIAN_AJ*POSOSTO_KATATAJH
          I_UPPER_LIM_TEST=IENERGADIAN_AJ+1-I_LOWER_LIM_TEST
          IF (I_LOWER_LIM_TEST.LT.1) THEN
              I_LOWER_LIM_TEST=1
              I_UPPER_LIM_TEST=IENERGADIAN_AJ
          ENDIF
          IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN
              WRITE(ICH_003,71) POSOSTO_KATATAJH
              WRITE(ICH_003,74)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_LOWER_LIM_TEST),Jekt=1,iqout)
              WRITE(ICH_003,75)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt,I_UPPER_LIM_TEST),Jekt=1,iqout)
              IPROX1=IENERGADIAN_AJ
              CALL DIAIR(IPROX1,IYPOLOIPO,2)
              IF (IYPOLOIPO.EQ.1) THEN
                  WRITE(ICH_003,76)
* (ERROR_KATATAJH(Jekt, (IPROX1+1)),Jekt=1,iqout)
              ELSE
                  WRITE(ICH_003,76) ( 0.5*(ERROR_KATATAJH(Jekt,IPROX1)+
* ERROR_KATATAJH(Jekt, (IPROX1+1))) ,Jekt=1,iqout )
              ENDIF
          ENDIF ! ektypwsi 6
C---- yplogismos r2TEST
          DO 7420 I_Y=1, iqout
              Ymean1(I_Y)=Ymean1(I_Y)/(1.0*IENERGADIAN_AJ)
              Ymean2(I_Y)=Ymean2(I_Y)/(1.0*IENERGADIAN_AJ)
              DO 7410 IMET_DIAN= 1,IENERGADIAN_AJ
                  SumYreal2(I_Y)=SumYreal2(I_Y)
*                  +(YEJODOS_AJ(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean1(I_Y))**2
                  SumYpred2(I_Y)=SumYpred2(I_Y)
*                  +(Yprox(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean2(I_Y))**2
                  SumYrealYpred(I_Y)=SumYrealYpred(I_Y)+
*                  (Yprox(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean2(I_Y))
*                  *(YEJODOS_AJ(I_Y,IMET_DIAN)-Ymean1(I_Y))
7410  CONTINUE
                  R2TEST(I_Y)=SumYrealYpred(I_Y)
*                  / (SQRT(SumYreal2(I_Y)*SumYpred2(I_Y)))
7420  CONTINUE
          IF (I_FLAG_PRINT(6).EQ.1) THEN

```



```

        WRITE(ICH_003,40009)
        * ERROR_SFALMA_TEST_MEAN,ERROR_SFALMA_TEST_MAX,
        * I_DIANY_ERROR_SFALMA_TEST_MAX,
        * I_THESH_ERROR_SFALMA_TEST_MAX,
        * Gav_TEST,
        * (J,R2TEST(J),J=1,iqout)
        ENDIF ! ektipwsi 6
C----- telos gia VALIDATION set
C*****
C----- TELIKH EKTPWSH
C--- gia sigrsisi parallagis

        WRITE(ICH_004,40010) IA_A,
        * (( (1.*IEKT_x), (1.*I_TR_x(IEKT_x)),REUROS_x(IEKT_x)),
        * IEKT_x=1,iqin),
        * (( (1.*IEKT_y), (1.0*I_TR_y(IEKT_y)),REUROS_y(IEKT_y)),
        * IEKT_y=1,iqout),
        * ERROR_SFALMA_TRAIN_MEAN,ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX,
        * (1.*I_DIANY_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX),
        * (1.*I_THESH_ERROR_SFALMA_TRAIN_MAX),
        * ERROR_SFALMA_VALID_MEAN,ERROR_SFALMA_VALID_MAX,
        * (1.*I_DIANY_ERROR_SFALMA_VALID_MAX),
        * (1.*I_THESH_ERROR_SFALMA_VALID_MAX),
        * ERROR_SFALMA_TEST_MEAN,ERROR_SFALMA_TEST_MAX,
        * (1.*I_DIANY_ERROR_SFALMA_TEST_MAX),
        * (1.*I_THESH_ERROR_SFALMA_TEST_MAX),
        * Gav_TRAIN,
        * Gav_TEST,
        * Gav_VALID,
        * (( (1.*J),R2train(J),R2valid(J),R2test(J),J=1,iqout)
40010 FORMAT (I10,84 (' ',F10.5))

9405 CONTINUE ! 1H METABLHTH EJODOY
9410 CONTINUE
9415 CONTINUE ! 2H METABLHTH EJODOY
9420 CONTINUE

9505 CONTINUE ! 1H METABLHTH EISODOY
9510 CONTINUE
9515 CONTINUE ! 2H METABLHTH EISODOY
9520 CONTINUE
9525 CONTINUE ! 3H METABLHTH EISODOY
9530 CONTINUE
9535 CONTINUE ! 4H METABLHTH EISODOY
9540 CONTINUE
9545 CONTINUE ! 5H METABLHTH EISODOY
9550 CONTINUE
9555 CONTINUE ! 6H METABLHTH EISODOY
9560 CONTINUE
9565 CONTINUE ! 7H METABLHTH EISODOY
9570 CONTINUE
9575 CONTINUE ! 8H METABLHTH EISODOY
9580 CONTINUE
9585 CONTINUE ! 9H METABLHTH EISODOY
9590 CONTINUE
9595 CONTINUE ! 10H METABLHTH EISODOY
9600 CONTINUE

C      telos senariou ektelesis
12000 CONTINUE
        CLOSE (ICH_001)
        CLOSE (ICH_003)
        CLOSE (ICH_004)

C      pros telos programmatos
18000 CONTINUE

        END

C*****
C      euresi pilikou & ipolipou apo diairesi me AKERAIO IDIAIRETHS
C      gia akeraious

```

```

subroutine DIAIR(IPHL,IYPOL,IDIARETHS)
  INTEGER*4 IPHL,IYPOL,IPROX,IDIARETHS
  IPROX=IPHL/IDIARETHS
  IYPOL=IPHL-IPROX*IDIARETHS
  IPHL=IPROX
  return
end
C*****
C      euresi xaraktirwn se thesi aritmwn
SUBROUTINE FINDCHAR(INT_CHAR,FIN_CHAR)
  INTEGER INT_CHAR
  CHARACTER*1,FIN_CHAR
  IF (INT_CHAR.EQ.0) THEN
    FIN_CHAR='0'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.1) THEN
    FIN_CHAR='1'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.2) THEN
    FIN_CHAR='2'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.3) THEN
    FIN_CHAR='3'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.4) THEN
    FIN_CHAR='4'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.5) THEN
    FIN_CHAR='5'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.6) THEN
    FIN_CHAR='6'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.7) THEN
    FIN_CHAR='7'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.8) THEN
    FIN_CHAR='8'
  RETURN
  ENDF
  IF (INT_CHAR.EQ.9) THEN
    FIN_CHAR='9'
  RETURN
  ENDF
  END
C*****

```

Π.4 Βασή κανόνων ασαφούς συστήματος

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρατίθεται η βάση κανόνων του ασαφούς συστήματος για την περίπτωση **3β**. (Ανάλογη μορφή έχει και για τις υπόλοιπες πέντε μεθόδους που μελετήθηκαν). Σε αυτόν φαίνονται ο αύξων αριθμός του κανόνα στη πρώτη στήλη, η συχνότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου κανόνα στη δεύτερη και στις επόμενες 6 φαίνεται ο ίδιος ο κανόνας. Δηλαδή, για τον κανόνα 1 παραδείγματος χάριν: αν η μεταβλητή D_m ανήκει στο 2° τρίγωνο και η μεταβλητή H ανήκει στο 1° τρίγωνο και η μεταβλητή L ανήκει στο 1° τρίγωνο και η μεταβλητή F ανήκει στο 2°

τρίγωνο και η μεταβλητή σ_s ανήκει στο 2^ο τρίγωνο τότε η μεταβλητή U_c θα ανήκει στο 2^ο τρίγωνο (για την ακρίβεια θα ανήκει στο τρίγωνο 1.5).

Πίνακας Π.4: Βάση κανόνων ασαφούς συστήματος.

a/a	Συχνότητα εμφάνισης κανόνα	D_m	H	L	F	σ_s	U_c	Μη στρογγυλοποιημένη τιμή εξόδου
1	26	2	1	1	2	2	2	1,5000
2	8	3	1	1	2	2	2	1,5000
3	26	2	2	1	2	2	2	1,5000
4	12	3	2	1	2	2	2	1,5000
5	26	2	1	2	2	2	2	1,5000
6	8	3	1	2	2	2	2	1,5000
7	26	2	2	2	2	2	2	1,5000
8	12	3	2	2	2	2	2	1,5000
9	12	2	1	1	3	2	2	1,5000
10	12	3	1	1	3	2	2	1,5000
11	16	2	2	1	3	2	2	1,5000
12	16	3	2	1	3	2	2	1,5000
13	22	2	1	2	3	2	2	1,5909
14	16	3	1	2	3	2	2	1,5000
15	30	2	2	2	3	2	2	1,5667
16	20	3	2	2	3	2	2	1,5000
17	31	2	1	1	2	3	1	1,4194
18	11	3	1	1	2	3	1	1,4545
19	32	2	2	1	2	3	1	1,4375
20	17	3	2	1	2	3	1	1,4706
21	31	2	1	2	2	3	1	1,4194
22	11	3	1	2	2	3	1	1,4545
23	32	2	2	2	2	3	1	1,4375
24	17	3	2	2	2	3	1	1,4706
25	17	2	1	1	3	3	1	1,4706
26	17	3	1	1	3	3	1	1,4706
27	23	2	2	1	3	3	1	1,4783
28	23	3	2	1	3	3	1	1,4783
29	29	2	1	2	3	3	1	1,4828
30	23	3	1	2	3	3	1	1,4783
31	41	2	2	2	3	3	1	1,4878
32	29	3	2	2	3	3	1	1,4828
33	14	2	1	1	2	4	1	1,1429
34	6	3	1	1	2	4	1	1,3333
35	16	2	2	1	2	4	1	1,2500
36	10	3	2	1	2	4	1	1,4000
37	14	2	1	2	2	4	1	1,1429
38	6	3	1	2	2	4	1	1,3333
39	16	2	2	2	2	4	1	1,2500
40	10	3	2	2	2	4	1	1,4000
41	10	2	1	1	3	4	1	1,4000
42	10	3	1	1	3	4	1	1,4000

43	14	2	2	1	3	4	1	1,4286
44	14	3	2	1	3	4	1	1,4286
45	18	2	1	2	3	4	1	1,4444
46	14	3	1	2	3	4	1	1,4286
47	26	2	2	2	3	4	1	1,4615
48	18	3	2	2	3	4	1	1,4444
49	17	2	1	1	2	5	1	1,0588
50	7	3	1	1	2	5	1	1,1429
51	18	2	2	1	2	5	1	1,1111
52	11	3	2	1	2	5	1	1,1818
53	17	2	1	2	2	5	1	1,0588
54	7	3	1	2	2	5	1	1,1429
55	18	2	2	2	2	5	1	1,1111
56	11	3	2	2	2	5	1	1,1818
57	10	2	1	1	3	5	1	1,2000
58	10	3	1	1	3	5	1	1,2000
59	14	2	2	1	3	5	1	1,2143
60	14	3	2	1	3	5	1	1,2143
61	18	2	1	2	3	5	1	1,3333
62	16	3	1	2	3	5	1	1,3125
63	26	2	2	2	3	5	1	1,3077
64	20	3	2	2	3	5	1	1,3000
65	10	2	1	1	2	6	1	1,0000
66	4	3	1	1	2	6	1	1,0000
67	10	2	2	1	2	6	1	1,0000
68	6	3	2	1	2	6	1	1,0000
69	10	2	1	2	2	6	1	1,0000
70	4	3	1	2	2	6	1	1,0000
71	10	2	2	2	2	6	1	1,0000
72	6	3	2	2	2	6	1	1,0000
73	5	2	1	1	3	6	1	1,0000
74	5	3	1	1	3	6	1	1,0000
75	7	2	2	1	3	6	1	1,0000
76	7	3	2	1	3	6	1	1,0000
77	9	2	1	2	3	6	1	1,2222
78	9	3	1	2	3	6	1	1,2222
79	13	2	2	2	3	6	1	1,1538
80	11	3	2	2	3	6	1	1,1818
81	5	2	1	1	2	7	1	1,0000
82	2	3	1	1	2	7	1	1,0000
83	5	2	2	1	2	7	1	1,0000
84	3	3	2	1	2	7	1	1,0000
85	5	2	1	2	2	7	1	1,0000
86	2	3	1	2	2	7	1	1,0000
87	5	2	2	2	2	7	1	1,0000
88	3	3	2	2	2	7	1	1,0000
89	3	2	1	1	3	7	1	1,0000
90	3	3	1	1	3	7	1	1,0000
91	4	2	2	1	3	7	1	1,0000
92	4	3	2	1	3	7	1	1,0000

93	4	2	1	2	3	7	1	1,0000
94	4	3	1	2	3	7	1	1,0000
95	6	2	2	2	3	7	1	1,0000
96	5	3	2	2	3	7	1	1,0000
97	15	2	1	1	2	8	1	1,0000
98	6	3	1	1	2	8	1	1,0000
99	15	2	2	1	2	8	1	1,0000
100	9	3	2	1	2	8	1	1,0000
101	15	2	1	2	2	8	1	1,0000
102	6	3	1	2	2	8	1	1,0000
103	15	2	2	2	2	8	1	1,0000
104	9	3	2	2	2	8	1	1,0000
105	9	2	1	1	3	8	1	1,0000
106	9	3	1	1	3	8	1	1,0000
107	12	2	2	1	3	8	1	1,0000
108	12	3	2	1	3	8	1	1,0000
109	12	2	1	2	3	8	1	1,0000
110	12	3	1	2	3	8	1	1,0000
111	18	2	2	2	3	8	1	1,0000
112	15	3	2	2	3	8	1	1,0000
113	10	2	1	1	2	9	1	1,0000
114	4	3	1	1	2	9	1	1,0000
115	10	2	2	1	2	9	1	1,0000
116	6	3	2	1	2	9	1	1,0000
117	10	2	1	2	2	9	1	1,0000
118	4	3	1	2	2	9	1	1,0000
119	10	2	2	2	2	9	1	1,0000
120	6	3	2	2	2	9	1	1,0000
121	6	2	1	1	3	9	1	1,0000
122	6	3	1	1	3	9	1	1,0000
123	8	2	2	1	3	9	1	1,0000
124	8	3	2	1	3	9	1	1,0000
125	8	2	1	2	3	9	1	1,0000
126	8	3	1	2	3	9	1	1,0000
127	12	2	2	2	3	9	1	1,0000
128	10	3	2	2	3	9	1	1,0000
129	4	2	1	1	4	2	2	1,5000
130	4	3	1	1	4	2	2	1,5000
131	4	2	2	1	4	2	2	1,5000
132	4	3	2	1	4	2	2	1,5000
133	14	2	1	2	4	2	2	1,6429
134	8	3	1	2	4	2	2	1,5000
135	22	2	2	2	4	2	2	1,6818
136	12	3	2	2	4	2	2	1,6667
137	6	2	1	1	4	3	2	1,5000
138	6	3	1	1	4	3	2	1,5000
139	6	2	2	1	4	3	2	1,5000
140	6	3	2	1	4	3	2	1,5000
141	18	2	1	2	4	3	2	1,5000
142	12	3	1	2	4	3	2	1,5000

143	30	2	2	2	4	3	2	1,5667
144	18	3	2	2	4	3	2	1,6111
145	4	2	1	1	4	4	2	1,5000
146	4	3	1	1	4	4	2	1,5000
147	4	2	2	1	4	4	2	1,5000
148	4	3	2	1	4	4	2	1,5000
149	12	2	1	2	4	4	2	1,5000
150	8	3	1	2	4	4	2	1,5000
151	20	2	2	2	4	4	2	1,5000
152	12	3	2	2	4	4	2	1,5000
153	3	2	1	1	4	5	1	1,3333
154	3	3	1	1	4	5	1	1,3333
155	3	2	2	1	4	5	1	1,3333
156	3	3	2	1	4	5	1	1,3333
157	11	2	1	2	4	5	1	1,4545
158	9	3	1	2	4	5	1	1,4444
159	21	2	2	2	4	5	1	1,4286
160	15	3	2	2	4	5	1	1,4667
161	1	2	1	1	4	6	1	1,0000
162	1	3	1	1	4	6	1	1,0000
163	1	2	2	1	4	6	1	1,0000
164	1	3	2	1	4	6	1	1,0000
165	5	2	1	2	4	6	1	1,4000
166	5	3	1	2	4	6	1	1,4000
167	11	2	2	2	4	6	1	1,3636
168	9	3	2	2	4	6	1	1,4444
169	1	2	1	1	4	7	1	1,0000
170	1	3	1	1	4	7	1	1,0000
171	1	2	2	1	4	7	1	1,0000
172	1	3	2	1	4	7	1	1,0000
173	2	2	1	2	4	7	1	1,0000
174	2	3	1	2	4	7	1	1,0000
175	5	2	2	2	4	7	1	1,2000
176	4	3	2	2	4	7	1	1,2500
177	3	2	1	1	4	8	1	1,0000
178	3	3	1	1	4	8	1	1,0000
179	3	2	2	1	4	8	1	1,0000
180	3	3	2	1	4	8	1	1,0000
181	6	2	1	2	4	8	1	1,0000
182	6	3	1	2	4	8	1	1,0000
183	15	2	2	2	4	8	1	1,2000
184	12	3	2	2	4	8	1	1,2500
185	2	2	1	1	4	9	1	1,0000
186	2	3	1	1	4	9	1	1,0000
187	2	2	2	1	4	9	1	1,0000
188	2	3	2	1	4	9	1	1,0000
189	4	2	1	2	4	9	1	1,0000
190	4	3	1	2	4	9	1	1,0000
191	10	2	2	2	4	9	1	1,2000
192	8	3	2	2	4	9	1	1,2500

193	10	1	2	2	3	2	2	1,7000
194	4	1	3	2	3	2	2	1,5000
195	8	2	3	2	3	2	2	1,5000
196	10	1	2	3	3	2	2	1,7000
197	14	2	2	3	3	2	2	1,6429
198	4	1	3	3	3	2	2	1,5000
199	4	2	3	3	3	2	2	1,5000
200	10	1	2	2	4	2	2	1,7000
201	4	1	3	2	4	2	2	1,5000
202	8	2	3	2	4	2	2	1,7500
203	10	1	2	3	4	2	2	1,7000
204	18	2	2	3	4	2	2	1,7222
205	4	1	3	3	4	2	2	1,5000
206	8	2	3	3	4	2	2	1,7500
207	12	1	2	2	3	3	2	1,5000
208	6	1	3	2	3	3	2	1,5000
209	12	2	3	2	3	3	2	1,5000
210	12	1	2	3	3	3	2	1,5000
211	18	2	2	3	3	3	2	1,5000
212	6	1	3	3	3	3	2	1,5000
213	6	2	3	3	3	3	2	1,5000
214	12	1	2	2	4	3	2	1,5000
215	6	1	3	2	4	3	2	1,5000
216	12	2	3	2	4	3	2	1,6667
217	12	1	2	3	4	3	2	1,5000
218	24	2	2	3	4	3	2	1,5833
219	6	1	3	3	4	3	2	1,5000
220	12	2	3	3	4	3	2	1,6667
221	8	1	2	2	3	4	2	1,5000
222	4	1	3	2	3	4	2	1,5000
223	8	2	3	2	3	4	2	1,5000
224	8	1	2	3	3	4	2	1,5000
225	12	2	2	3	3	4	2	1,5000
226	4	1	3	3	3	4	2	1,5000
227	4	2	3	3	3	4	2	1,5000
228	8	1	2	2	4	4	2	1,5000
229	4	1	3	2	4	4	2	1,5000
230	8	2	3	2	4	4	2	1,5000
231	8	1	2	3	4	4	2	1,5000
232	16	2	2	3	4	4	2	1,5000
233	4	1	3	3	4	4	2	1,5000
234	8	2	3	3	4	4	2	1,5000
235	6	1	2	2	3	5	1	1,3333
236	4	1	3	2	3	5	1	1,2500
237	8	2	3	2	3	5	1	1,2500
238	6	1	2	3	3	5	1	1,3333
239	12	2	2	3	3	5	1	1,4167
240	4	1	3	3	3	5	1	1,2500
241	4	2	3	3	3	5	1	1,2500
242	6	1	2	2	4	5	1	1,3333

243	4	1	3	2	4	5	1	1,2500
244	10	2	3	2	4	5	1	1,4000
245	6	1	2	3	4	5	1	1,3333
246	18	2	2	3	4	5	1	1,4444
247	4	1	3	3	4	5	1	1,2500
248	10	2	3	3	4	5	1	1,4000
249	2	1	2	2	3	6	1	1,0000
250	2	1	3	2	3	6	1	1,0000
251	4	2	3	2	3	6	1	1,0000
252	2	1	2	3	3	6	1	1,0000
253	6	2	2	3	3	6	1	1,3333
254	2	1	3	3	3	6	1	1,0000
255	2	2	3	3	3	6	1	1,0000
256	2	1	2	2	4	6	1	1,0000
257	2	1	3	2	4	6	1	1,0000
258	6	2	3	2	4	6	1	1,3333
259	2	1	2	3	4	6	1	1,0000
260	10	2	2	3	4	6	1	1,4000
261	2	1	3	3	4	6	1	1,0000
262	6	2	3	3	4	6	1	1,3333
263	1	1	2	2	3	7	1	1,0000
264	1	1	3	2	3	7	1	1,0000
265	2	2	3	2	3	7	1	1,0000
266	1	1	2	3	3	7	1	1,0000
267	2	2	2	3	3	7	1	1,0000
268	1	1	3	3	3	7	1	1,0000
269	1	2	3	3	3	7	1	1,0000
270	1	1	2	2	4	7	1	1,0000
271	1	1	3	2	4	7	1	1,0000
272	3	2	3	2	4	7	1	1,3333
273	1	1	2	3	4	7	1	1,0000
274	4	2	2	3	4	7	1	1,2500
275	1	1	3	3	4	7	1	1,0000
276	3	2	3	3	4	7	1	1,3333
277	3	1	2	2	3	8	1	1,0000
278	3	1	3	2	3	8	1	1,0000
279	6	2	3	2	3	8	1	1,0000
280	3	1	2	3	3	8	1	1,0000
281	6	2	2	3	3	8	1	1,0000
282	3	1	3	3	3	8	1	1,0000
283	3	2	3	3	3	8	1	1,0000
284	3	1	2	2	4	8	1	1,0000
285	3	1	3	2	4	8	1	1,0000
286	9	2	3	2	4	8	1	1,3333
287	3	1	2	3	4	8	1	1,0000
288	12	2	2	3	4	8	1	1,2500
289	3	1	3	3	4	8	1	1,0000
290	9	2	3	3	4	8	1	1,3333
291	2	1	2	2	3	9	1	1,0000
292	2	1	3	2	3	9	1	1,0000

293	4	2	3	2	3	9	1	1,0000
294	2	1	2	3	3	9	1	1,0000
295	4	2	2	3	3	9	1	1,0000
296	2	1	3	3	3	9	1	1,0000
297	2	2	3	3	3	9	1	1,0000
298	2	1	2	2	4	9	1	1,0000
299	2	1	3	2	4	9	1	1,0000
300	6	2	3	2	4	9	1	1,3333
301	2	1	2	3	4	9	1	1,0000
302	8	2	2	3	4	9	1	1,2500
303	2	1	3	3	4	9	1	1,0000
304	6	2	3	3	4	9	1	1,3333
305	18	1	1	1	1	2	2	1,5000
306	18	2	1	1	1	2	2	1,5000
307	14	1	2	1	1	2	2	1,5000
308	14	2	2	1	1	2	2	1,5000
309	18	1	1	2	1	2	2	1,5000
310	18	2	1	2	1	2	2	1,5000
311	14	1	2	2	1	2	2	1,5000
312	14	2	2	2	1	2	2	1,5000
313	18	1	1	1	2	2	2	1,5000
314	14	1	2	1	2	2	2	1,5000
315	18	1	1	2	2	2	2	1,5000
316	14	1	2	2	2	2	2	1,5000
317	20	1	1	1	1	3	1	1,4000
318	20	2	1	1	1	3	1	1,4000
319	15	1	2	1	1	3	1	1,4000
320	15	2	2	1	1	3	1	1,4000
321	20	1	1	2	1	3	1	1,4000
322	20	2	1	2	1	3	1	1,4000
323	15	1	2	2	1	3	1	1,4000
324	15	2	2	2	1	3	1	1,4000
325	20	1	1	1	2	3	1	1,4000
326	15	1	2	1	2	3	1	1,4000
327	20	1	1	2	2	3	1	1,4000
328	15	1	2	2	2	3	1	1,4000
329	8	1	1	1	1	4	1	1,0000
330	8	2	1	1	1	4	1	1,0000
331	6	1	2	1	1	4	1	1,0000
332	6	2	2	1	1	4	1	1,0000
333	8	1	1	2	1	4	1	1,0000
334	8	2	1	2	1	4	1	1,0000
335	6	1	2	2	1	4	1	1,0000
336	6	2	2	2	1	4	1	1,0000
337	8	1	1	1	2	4	1	1,0000
338	6	1	2	1	2	4	1	1,0000
339	8	1	1	2	2	4	1	1,0000
340	6	1	2	2	2	4	1	1,0000
341	10	1	1	1	1	5	1	1,0000
342	10	2	1	1	1	5	1	1,0000

343	7	1	2	1	1	5	1	1,000
344	7	2	2	1	1	5	1	1,000
345	10	1	1	2	1	5	1	1,000
346	10	2	1	2	1	5	1	1,000
347	7	1	2	2	1	5	1	1,000
348	7	2	2	2	1	5	1	1,000
349	10	1	1	1	2	5	1	1,000
350	7	1	2	1	2	5	1	1,000
351	10	1	1	2	2	5	1	1,000
352	7	1	2	2	2	5	1	1,000
353	6	1	1	1	1	6	1	1,000
354	6	2	1	1	1	6	1	1,000
355	4	1	2	1	1	6	1	1,000
356	4	2	2	1	1	6	1	1,000
357	6	1	1	2	1	6	1	1,000
358	6	2	1	2	1	6	1	1,000
359	4	1	2	2	1	6	1	1,000
360	4	2	2	2	1	6	1	1,000
361	6	1	1	1	2	6	1	1,000
362	4	1	2	1	2	6	1	1,000
363	6	1	1	2	2	6	1	1,000
364	4	1	2	2	2	6	1	1,000
365	3	1	1	1	1	7	1	1,000
366	3	2	1	1	1	7	1	1,000
367	2	1	2	1	1	7	1	1,000
368	2	2	2	1	1	7	1	1,000
369	3	1	1	2	1	7	1	1,000
370	3	2	1	2	1	7	1	1,000
371	2	1	2	2	1	7	1	1,000
372	2	2	2	2	1	7	1	1,000
373	3	1	1	1	2	7	1	1,000
374	2	1	2	1	2	7	1	1,000
375	3	1	1	2	2	7	1	1,000
376	2	1	2	2	2	7	1	1,000
377	9	1	1	1	1	8	1	1,000
378	9	2	1	1	1	8	1	1,000
379	6	1	2	1	1	8	1	1,000
380	6	2	2	1	1	8	1	1,000
381	9	1	1	2	1	8	1	1,000
382	9	2	1	2	1	8	1	1,000
383	6	1	2	2	1	8	1	1,000
384	6	2	2	2	1	8	1	1,000
385	9	1	1	1	2	8	1	1,000
386	6	1	2	1	2	8	1	1,000
387	9	1	1	2	2	8	1	1,000
388	6	1	2	2	2	8	1	1,000
389	6	1	1	1	1	9	1	1,000
390	6	2	1	1	1	9	1	1,000
391	4	1	2	1	1	9	1	1,000
392	4	2	2	1	1	9	1	1,000

393	6	1	1	2	1	9	1	1,0000
394	6	2	1	2	1	9	1	1,0000
395	4	1	2	2	1	9	1	1,0000
396	4	2	2	2	1	9	1	1,0000
397	6	1	1	1	2	9	1	1,0000
398	4	1	2	1	2	9	1	1,0000
399	6	1	1	2	2	9	1	1,0000
400	4	1	2	2	2	9	1	1,0000
401	3	1	1	2	3	1	3	2,6667
402	3	2	1	2	3	1	3	2,6667
403	3	1	2	2	3	1	3	2,6667
404	3	2	2	2	3	1	3	2,6667
405	3	1	1	3	3	1	3	2,6667
406	3	2	1	3	3	1	3	2,6667
407	3	1	2	3	3	1	3	2,6667
408	3	2	2	3	3	1	3	2,6667
409	3	1	1	2	4	1	3	2,6667
410	3	2	1	2	4	1	3	2,6667
411	3	1	2	2	4	1	3	2,6667
412	3	2	2	2	4	1	3	2,6667
413	3	1	1	3	4	1	3	2,6667
414	3	2	1	3	4	1	3	2,6667
415	3	1	2	3	4	1	3	2,6667
416	3	2	2	3	4	1	3	2,6667
417	6	1	1	2	3	2	2	1,8333
418	6	1	1	3	3	2	2	1,8333
419	10	2	1	3	3	2	2	1,7000
420	6	1	1	2	4	2	2	1,8333
421	6	1	1	3	4	2	2	1,8333
422	10	2	1	3	4	2	2	1,7000
423	6	1	1	2	3	3	2	1,5000
424	6	1	1	3	3	3	2	1,5000
425	12	2	1	3	3	3	2	1,5000
426	6	1	1	2	4	3	2	1,5000
427	6	1	1	3	4	3	2	1,5000
428	12	2	1	3	4	3	2	1,5000
429	4	1	1	2	3	4	2	1,5000
430	4	1	1	3	3	4	2	1,5000
431	8	2	1	3	3	4	2	1,5000
432	4	1	1	2	4	4	2	1,5000
433	4	1	1	3	4	4	2	1,5000
434	8	2	1	3	4	4	2	1,5000
435	2	1	1	2	3	5	2	1,5000
436	2	1	1	3	3	5	2	1,5000
437	8	2	1	3	3	5	2	1,5000
438	2	1	1	2	4	5	2	1,5000
439	2	1	1	3	4	5	2	1,5000
440	8	2	1	3	4	5	2	1,5000
441	4	3	1	3	3	2	2	1,5000
442	4	3	2	3	3	2	2	1,5000

443	4	3	1	3	4	2	2	1,5000
444	8	3	2	3	4	2	2	1,7500
445	6	3	1	3	3	3	2	1,5000
446	6	3	2	3	3	3	2	1,5000
447	6	3	1	3	4	3	2	1,5000
448	12	3	2	3	4	3	2	1,6667
449	4	3	1	3	3	4	2	1,5000
450	4	3	2	3	3	4	2	1,5000
451	4	3	1	3	4	4	2	1,5000
452	8	3	2	3	4	4	2	1,5000
453	6	3	1	3	3	5	2	1,5000
454	6	3	2	3	3	5	2	1,5000
455	6	3	1	3	4	5	2	1,5000
456	12	3	2	3	4	5	2	1,5000
457	4	2	1	3	3	6	2	1,5000
458	4	3	1	3	3	6	2	1,5000
459	4	3	2	3	3	6	2	1,5000
460	4	2	1	3	4	6	2	1,5000
461	4	3	1	3	4	6	2	1,5000
462	8	3	2	3	4	6	2	1,5000
463	1	2	1	3	3	7	1	1,0000
464	1	3	1	3	3	7	1	1,0000
465	1	3	2	3	3	7	1	1,0000
466	1	2	1	3	4	7	1	1,0000
467	1	3	1	3	4	7	1	1,0000
468	3	3	2	3	4	7	1	1,3333
469	3	2	1	3	3	8	1	1,0000
470	3	3	1	3	3	8	1	1,0000
471	3	3	2	3	3	8	1	1,0000
472	3	2	1	3	4	8	1	1,0000
473	3	3	1	3	4	8	1	1,0000
474	9	3	2	3	4	8	1	1,3333
475	2	2	1	3	3	9	1	1,0000
476	2	3	1	3	3	9	1	1,0000
477	2	3	2	3	3	9	1	1,0000
478	2	2	1	3	4	9	1	1,0000
479	2	3	1	3	4	9	1	1,0000
480	6	3	2	3	4	9	1	1,3333
481	4	3	3	2	4	2	2	2,0000
482	4	3	3	3	4	2	2	2,0000
483	4	2	2	2	5	2	2	2,0000
484	4	3	2	2	5	2	2	2,0000
485	4	2	3	2	5	2	2	2,0000
486	4	3	3	2	5	2	2	2,0000
487	4	2	2	3	5	2	2	2,0000
488	4	3	2	3	5	2	2	2,0000
489	4	2	3	3	5	2	2	2,0000
490	4	3	3	3	5	2	2	2,0000
491	6	3	3	2	4	3	2	1,8333
492	6	3	3	3	4	3	2	1,8333

493	6	2	2	2	5	3	2	1,8333
494	6	3	2	2	5	3	2	1,8333
495	6	2	3	2	5	3	2	1,8333
496	6	3	3	2	5	3	2	1,8333
497	6	2	2	3	5	3	2	1,8333
498	6	3	2	3	5	3	2	1,8333
499	6	2	3	3	5	3	2	1,8333
500	6	3	3	3	5	3	2	1,8333
501	4	3	3	2	4	4	2	1,5000
502	4	3	3	3	4	4	2	1,5000
503	4	2	2	2	5	4	2	1,5000
504	4	3	2	2	5	4	2	1,5000
505	4	2	3	2	5	4	2	1,5000
506	4	3	3	2	5	4	2	1,5000
507	4	2	2	3	5	4	2	1,5000
508	4	3	2	3	5	4	2	1,5000
509	4	2	3	3	5	4	2	1,5000
510	4	3	3	3	5	4	2	1,5000
511	6	3	3	2	4	5	2	1,5000
512	6	3	3	3	4	5	2	1,5000
513	6	2	2	2	5	5	2	1,5000
514	6	3	2	2	5	5	2	1,5000
515	6	2	3	2	5	5	2	1,5000
516	6	3	3	2	5	5	2	1,5000
517	6	2	2	3	5	5	2	1,5000
518	6	3	2	3	5	5	2	1,5000
519	6	2	3	3	5	5	2	1,5000
520	6	3	3	3	5	5	2	1,5000
521	4	3	3	2	4	6	2	1,5000
522	4	3	3	3	4	6	2	1,5000
523	4	2	2	2	5	6	2	1,5000
524	4	3	2	2	5	6	2	1,5000
525	4	2	3	2	5	6	2	1,5000
526	4	3	3	2	5	6	2	1,5000
527	4	2	2	3	5	6	2	1,5000
528	4	3	2	3	5	6	2	1,5000
529	4	2	3	3	5	6	2	1,5000
530	4	3	3	3	5	6	2	1,5000
531	2	3	3	2	4	7	2	1,5000
532	2	3	3	3	4	7	2	1,5000
533	2	2	2	2	5	7	2	1,5000
534	2	3	2	2	5	7	2	1,5000
535	2	2	3	2	5	7	2	1,5000
536	2	3	3	2	5	7	2	1,5000
537	2	2	2	3	5	7	2	1,5000
538	2	3	2	3	5	7	2	1,5000
539	2	2	3	3	5	7	2	1,5000
540	2	3	3	3	5	7	2	1,5000
541	6	3	3	2	4	8	2	1,5000
542	6	3	3	3	4	8	2	1,5000

543	6	2	2	2	5	8	2	1,5000
544	6	3	2	2	5	8	2	1,5000
545	6	2	3	2	5	8	2	1,5000
546	6	3	3	2	5	8	2	1,5000
547	6	2	2	3	5	8	2	1,5000
548	6	3	2	3	5	8	2	1,5000
549	6	2	3	3	5	8	2	1,5000
550	6	3	3	3	5	8	2	1,5000
551	4	3	3	2	4	9	2	1,5000
552	4	3	3	3	4	9	2	1,5000
553	4	2	2	2	5	9	2	1,5000
554	4	3	2	2	5	9	2	1,5000
555	4	2	3	2	5	9	2	1,5000
556	4	3	3	2	5	9	2	1,5000
557	4	2	2	3	5	9	2	1,5000
558	4	3	2	3	5	9	2	1,5000
559	4	2	3	3	5	9	2	1,5000
560	4	3	3	3	5	9	2	1,5000
561	4	1	1	1	1	1	2	2,0000
562	4	2	1	1	1	1	2	2,0000
563	4	1	2	1	1	1	2	2,0000
564	4	2	2	1	1	1	2	2,0000
565	4	1	1	2	1	1	2	2,0000
566	4	2	1	2	1	1	2	2,0000
567	4	1	2	2	1	1	2	2,0000
568	4	2	2	2	1	1	2	2,0000
569	4	1	1	1	2	1	2	2,0000
570	4	2	1	1	2	1	2	2,0000
571	4	1	2	1	2	1	2	2,0000
572	4	2	2	1	2	1	2	2,0000
573	4	1	1	2	2	1	2	2,0000
574	4	2	1	2	2	1	2	2,0000
575	4	1	2	2	2	1	2	2,0000
576	4	2	2	2	2	1	2	2,0000
577	4	2	3	1	2	2	2	1,5000
578	4	3	3	1	2	2	2	1,5000
579	4	2	3	2	2	2	2	1,5000
580	4	3	3	2	2	2	2	1,5000
581	4	2	3	1	3	2	2	1,5000
582	4	3	3	1	3	2	2	1,5000
583	4	3	3	2	3	2	2	1,5000
584	6	2	3	1	2	3	2	1,5000
585	6	3	3	1	2	3	2	1,5000
586	6	2	3	2	2	3	2	1,5000
587	6	3	3	2	2	3	2	1,5000
588	6	2	3	1	3	3	2	1,5000
589	6	3	3	1	3	3	2	1,5000
590	6	3	3	2	3	3	2	1,5000
591	4	2	3	1	2	4	2	1,5000
592	4	3	3	1	2	4	2	1,5000

593	4	2	3	2	2	4	2	1,5000
594	4	3	3	2	2	4	2	1,5000
595	4	2	3	1	3	4	2	1,5000
596	4	3	3	1	3	4	2	1,5000
597	4	3	3	2	3	4	2	1,5000
598	4	2	3	1	2	5	1	1,2500
599	4	3	3	1	2	5	1	1,2500
600	4	2	3	2	2	5	1	1,2500
601	4	3	3	2	2	5	1	1,2500
602	4	2	3	1	3	5	1	1,2500
603	4	3	3	1	3	5	1	1,2500
604	4	3	3	2	3	5	1	1,2500
605	2	2	3	1	2	6	1	1,0000
606	2	3	3	1	2	6	1	1,0000
607	2	2	3	2	2	6	1	1,0000
608	2	3	3	2	2	6	1	1,0000
609	2	2	3	1	3	6	1	1,0000
610	2	3	3	1	3	6	1	1,0000
611	2	3	3	2	3	6	1	1,0000
612	1	2	3	1	2	7	1	1,0000
613	1	3	3	1	2	7	1	1,0000
614	1	2	3	2	2	7	1	1,0000
615	1	3	3	2	2	7	1	1,0000
616	1	2	3	1	3	7	1	1,0000
617	1	3	3	1	3	7	1	1,0000
618	1	3	3	2	3	7	1	1,0000
619	3	2	3	1	2	8	1	1,0000
620	3	3	3	1	2	8	1	1,0000
621	3	2	3	2	2	8	1	1,0000
622	3	3	3	2	2	8	1	1,0000
623	3	2	3	1	3	8	1	1,0000
624	3	3	3	1	3	8	1	1,0000
625	3	3	3	2	3	8	1	1,0000
626	2	2	3	1	2	9	1	1,0000
627	2	3	3	1	2	9	1	1,0000
628	2	2	3	2	2	9	1	1,0000
629	2	3	3	2	2	9	1	1,0000
630	2	2	3	1	3	9	1	1,0000
631	2	3	3	1	3	9	1	1,0000
632	2	3	3	2	3	9	1	1,0000
633	4	1	2	1	7	2	2	1,5000
634	4	1	3	1	7	2	2	1,5000
635	4	1	2	2	7	2	2	1,5000
636	4	1	3	2	7	2	2	1,5000
637	4	1	2	1	8	2	2	1,5000
638	4	1	3	1	8	2	2	1,5000
639	14	1	2	2	8	2	2	2,0714
640	14	1	3	2	8	2	2	2,0714
641	6	1	2	1	7	3	2	1,5000

642	6	1	3	1	7	3	2	1,5000
643	6	1	2	2	7	3	2	1,5000
644	6	1	3	2	7	3	2	1,5000
645	6	1	2	1	8	3	2	1,5000
646	6	1	3	1	8	3	2	1,5000
647	10	1	2	2	8	3	2	1,5000
648	10	1	3	2	8	3	2	1,5000
649	4	1	2	1	7	4	2	1,5000
650	4	1	3	1	7	4	2	1,5000
651	4	1	2	2	7	4	2	1,5000
652	4	1	3	2	7	4	2	1,5000
653	4	1	2	1	8	4	2	1,5000
654	4	1	3	1	8	4	2	1,5000
655	6	1	2	2	8	4	2	1,5000
656	6	1	3	2	8	4	2	1,5000
657	4	1	2	1	7	5	1	1,2500
658	4	1	3	1	7	5	1	1,2500
659	4	1	2	2	7	5	1	1,2500
660	4	1	3	2	7	5	1	1,2500
661	4	1	2	1	8	5	1	1,2500
662	4	1	3	1	8	5	1	1,2500
663	4	1	2	2	8	5	1	1,2500
664	4	1	3	2	8	5	1	1,2500
665	2	1	2	1	7	6	1	1,0000
666	2	1	3	1	7	6	1	1,0000
667	2	1	2	2	7	6	1	1,0000
668	2	1	3	2	7	6	1	1,0000
669	2	1	2	1	8	6	1	1,0000
670	2	1	3	1	8	6	1	1,0000
671	2	1	2	2	8	6	1	1,0000
672	2	1	3	2	8	6	1	1,0000
673	1	1	2	1	7	7	1	1,0000
674	1	1	3	1	7	7	1	1,0000
675	1	1	2	2	7	7	1	1,0000
676	1	1	3	2	7	7	1	1,0000
677	1	1	2	1	8	7	1	1,0000
678	1	1	3	1	8	7	1	1,0000
679	1	1	2	2	8	7	1	1,0000
680	1	1	3	2	8	7	1	1,0000
681	3	1	2	1	7	8	1	1,0000
682	3	1	3	1	7	8	1	1,0000
683	3	1	2	2	7	8	1	1,0000
684	3	1	3	2	7	8	1	1,0000
685	3	1	2	1	8	8	1	1,0000
686	3	1	3	1	8	8	1	1,0000
687	3	1	2	2	8	8	1	1,0000
688	3	1	3	2	8	8	1	1,0000
689	2	1	2	1	7	9	1	1,0000

690	2	1	3	1	7	9	1	1,0000
691	2	1	2	2	7	9	1	1,0000
692	2	1	3	2	7	9	1	1,0000
693	2	1	2	1	8	9	1	1,0000
694	2	1	3	1	8	9	1	1,0000
695	2	1	2	2	8	9	1	1,0000
696	2	1	3	2	8	9	1	1,0000
697	9	1	2	2	8	1	3	2,5556
698	9	2	2	2	8	1	3	2,5556
699	9	1	3	2	8	1	3	2,5556
700	9	2	3	2	8	1	3	2,5556
701	9	1	2	3	8	1	3	2,5556
702	9	2	2	3	8	1	3	2,5556
703	9	1	3	3	8	1	3	2,5556
704	9	2	3	3	8	1	3	2,5556
705	9	1	2	2	9	1	3	2,5556
706	9	2	2	2	9	1	3	2,5556
707	9	1	3	2	9	1	3	2,5556
708	9	2	3	2	9	1	3	2,5556
709	9	1	2	3	9	1	3	2,5556
710	9	2	2	3	9	1	3	2,5556
711	9	1	3	3	9	1	3	2,5556
712	9	2	3	3	9	1	3	2,5556
713	10	2	2	2	8	2	2	2,3000
714	10	2	3	2	8	2	2	2,3000
715	10	1	2	3	8	2	2	2,3000
716	10	2	2	3	8	2	2	2,3000
717	10	1	3	3	8	2	2	2,3000
718	10	2	3	3	8	2	2	2,3000
719	10	1	2	2	9	2	2	2,3000
720	10	2	2	2	9	2	2	2,3000
721	10	1	3	2	9	2	2	2,3000
722	10	2	3	2	9	2	2	2,3000
723	10	1	2	3	9	2	2	2,3000
724	10	2	2	3	9	2	2	2,3000
725	10	1	3	3	9	2	2	2,3000
726	10	2	3	3	9	2	2	2,3000
727	4	2	2	2	8	3	2	1,5000
728	4	2	3	2	8	3	2	1,5000
729	4	1	2	3	8	3	2	1,5000
730	4	2	2	3	8	3	2	1,5000
731	4	1	3	3	8	3	2	1,5000
732	4	2	3	3	8	3	2	1,5000
733	4	1	2	2	9	3	2	1,5000
734	4	2	2	2	9	3	2	1,5000
735	4	1	3	2	9	3	2	1,5000
736	4	2	3	2	9	3	2	1,5000
737	4	1	2	3	9	3	2	1,5000

738	4	2	2	3	9	3	2	1,5000
739	4	1	3	3	9	3	2	1,5000
740	4	2	3	3	9	3	2	1,5000
741	2	2	2	2	8	4	2	1,5000
742	2	2	3	2	8	4	2	1,5000
743	2	1	2	3	8	4	2	1,5000
744	2	2	2	3	8	4	2	1,5000
745	2	1	3	3	8	4	2	1,5000
746	2	2	3	3	8	4	2	1,5000
747	2	1	2	2	9	4	2	1,5000
748	2	2	2	2	9	4	2	1,5000
749	2	1	3	2	9	4	2	1,5000
750	2	2	3	2	9	4	2	1,5000
751	2	1	2	3	9	4	2	1,5000
752	2	2	2	3	9	4	2	1,5000
753	2	1	3	3	9	4	2	1,5000
754	2	2	3	3	9	4	2	1,5000