



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

# Ανάλυση και Στατιστική Επεξεργασία Μετρήσεων Έκθεσης από Εκπομπές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων Ραδιοσυχνότητων (RF) - Μοντελοποίηση με χρήση τεχνικών Μηχανικής Μάθησης

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του φοιτητή

ΣΥΜΕΩΝ ΙΩΑΝΝΙΔΗ

Επίβλεψη: Κωνσταντίνα Νικήτα, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Συνεπίβλεψη: Μωραΐτης Νεκτάριος, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα

Ιούνιος 2024

Συμεών Ιωαννίδης – Διπλωματική Εργασία  
*Ανάλυση και στατιστική επεξεργασία μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων  
ραδιοσυχνοτήτων - Μοντελοποίηση με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης*



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάλυση και Στατιστική Επεξεργασία Μετρήσεων  
Έκθεσης από Εκπομπές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων  
Ραδιοσυχνοτήτων - Μοντελοποίηση με χρήση τεχνικών  
Μηχανικής Μάθησης**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του φοιτητή Συμεών Ιωαννίδη

Επίβλεψη: Κωνσταντίνα Νικήτα, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Συνεπίβλεψη: Μωραΐτης Νεκτάριος, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή το Φεβρουάριο του 2023.

Κωνσταντίνα Νικήτα  
Καθηγήτρια ΕΜΠ

Γεώργιος Στάμου  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθανάσιος Βουλοδήμος  
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....

.....

.....

Αθήνα, Ιούνιος 2024



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

.....

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

Copyright ©

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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.

Συμεών Ιωαννίδης – Διπλωματική Εργασία

*Ανάλυση και στατιστική επεξεργασία μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων  
ραδιοσυχνοτήτων - Μοντελοποίηση με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης*

## Περίληψη

Η διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάλυση των μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνότητας. Η ανάλυση και η επεξεργασία των μετρήσεων στις οποίες θα βασιστεί το πρακτικό τμήμα της διπλωματικής εργασίας, διεξάγεται με τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης και τις αντίστοιχες μεθόδους. Στη διπλωματική εργασία παρατίθενται οι βασικές έννοιες του ηλεκτρομαγνητισμού, τα όρια έκθεσης, το γενικό πλαίσιο που διέπει τις μετρήσεις έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και διάφορες μελέτες πάνω στο σχετικό αντικείμενο. Αυτή η αναδίφηση της βιβλιογραφίας, σε Ελλάδα και σε Διεθνές επίπεδο, έδειξε ότι το θέμα της εφαρμογής των μεθόδων μηχανικής μάθησης, για διάφορες εφαρμογές έχει αρχίσει και υιοθετείται. Στο πλαίσιο της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες, ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την αναγνώριση προτύπων και την προγνωστική ανάλυση. Στην παρούσα εργασία διεξάγεται πρωτογενής μελέτη με πειραματικά δεδομένα μετρήσεων της έκθεσης με τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Στη συνέχεια αναπτύσσονται μοντέλα μηχανικής μάθησης σε Matlab<sup>TM</sup>, για την κατηγοριοποίηση της έκθεσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα καθώς και την πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κάποια άγνωστη θέση.

**Λέξεις-κλειδιά:** Μηχανική μάθηση, ένταση ηλεκτρικού πεδίου, έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας, μοντέλα πρόβλεψης

## **Abstract**

The dissertation deals with the analysis of exposure measurements from radio frequency electromagnetic field emissions. The analysis and processing of the measurements on which the practical part of the thesis will be based, is carried out using machine learning techniques and the corresponding models. The thesis presents the basic concepts of electromagnetism, the exposure limits, the general framework governing EM radiation and various studies on the relevant subject. This review of the literature in Greece and at the international level showed that the issue of the adoption of machine learning in various applications has been thoroughly studied. In the context of RF-EMF exposure, researchers have used machine learning algorithms for pattern recognition and predictive analysis. In this work, a primary study is conducted with experimental data from exposure measurements in RF-EMF. In particular, a machine learning model is developed in Matlab<sup>TM</sup>, for exposure classification in different environment types, and to predict RF-EMF in a specific unknown location.

**Keywords:** Machine Learning, Electromagnetic Radiation, Radio Frequency Electromagnetic Fields, Forecast Models

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	6
Abstract .....	7
Πίνακας περιεχομένων .....	8
Κεφάλαιο 1 .....	13
Εισαγωγή.....	13
1.1. Περιγραφή διπλωματικής εργασίας.....	13
1.2. Σκοπός διπλωματικής .....	13
Κεφάλαιο 2 .....	15
Βασικές έννοιες ηλεκτρομαγνητισμού .....	15
2.1. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου .....	16
2.2. Τα ραδιοκύματα .....	17
2.3. Επιπτώσεις ΗΜ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου .....	22
2.4. Όρια έκθεσης.....	24
2.4.1 Όρια έκθεσης στην Ελλάδα .....	34
2.5.1 Κινητή τηλεφωνία .....	38
2.5.2 Εκπομπές από Σταθμούς Βάσης Κινητής Τηλεφωνίας.....	42
2.5.3 Ιοντίζουσα και Μη Ιοντίζουσα Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου .....	44
2.5. Γενικό πλαίσιο Η/Μ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου .....	47
2.6. Διεθνείς μελέτες με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης.....	49
Κεφάλαιο 3 .....	53
Μεθοδολογία μετρήσεων επιπέδων έκθεσης .....	53
Κεφάλαιο 4 .....	56
4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	56
4.2 Συγκριτικά αποτελέσματα μετρήσεων ανά κατηγορία περιβάλλοντος.....	58
4.3 Στατιστικά αποτελέσματα τιμών έκθεσης ανά ζώνη συχνοτήτων .....	69
Κεφάλαιο 5.....	78



<b>5.1 Ανάλυση της εφαρμογής πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης.....</b>	<b>79</b>
<b>5.2 Ανάλυση του κώδικα για την υλοποίηση της εφαρμογής.....</b>	<b>81</b>
<b>5.3 Ανάλυση του αλγορίθμου μηχανικής μάθησης.....</b>	<b>83</b>
<b>5.4 Αποτελέσματα πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με βάση το μοντέλο μηχανικής μάθησης .....</b>	<b>84</b>
<b>5.5 Κατηγοριοποίηση των επιπέδων έκθεσης με βάση το περιβάλλον με χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης .....</b>	<b>85</b>
<b>Κεφάλαιο 6.....</b>	<b>94</b>
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>94</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>95</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΡΧΕΙΩΝ ΚΩΔΙΚΑ.....</b>	<b>101</b>
<b>Κώδικες MATLAB.....</b>	<b>101</b>
<b>Αρχείο Graphs.m.....</b>	<b>101</b>
<b>Αρχείο New_graphs.m .....</b>	<b>120</b>
<b>Αρχείο Classification.m.....</b>	<b>138</b>
<b>Αρχείο CDF_log_graphs.m.....</b>	<b>140</b>
<b>Κώδικες αρχείων εφαρμογής σε python.....</b>	<b>149</b>
<b>Αρχείο main.py .....</b>	<b>149</b>
<b>Αρχείο coordinates_input_GUI.py .....</b>	<b>151</b>
<b>Αρχείο map_creation.py .....</b>	<b>154</b>
<b>Αρχείο model_training.py.....</b>	<b>156</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 - Ταξινόμηση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων [7].	19
Πίνακας 2 - Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία...	27
Πίνακας 3 - Βασικοί περιορισμοί για εργαζόμενους σε Η/Μ πεδία συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz.	28
Πίνακας 4 - Επίπεδα αναφοράς για 0 Hz – 300 GHz.	28
Πίνακας 5 - Επίπεδα αναφοράς για εργαζόμενους για έκθεση σε Η/Μ πεδία συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz.	29
Πίνακας 6 - Βασικοί περιορισμοί για έκθεση σε Η/Μ πεδία (100 kHz – 300 GHz).	33
Πίνακας 7 - Επίπεδα αναφοράς υπολογιζόμενα ως μέση χρονική τιμή σε διάστημα 30 min σε ολόκληρο το σώμα, για έκθεση σε Η/Μ πεδία (100 kHz – 300 GHz).	33
Πίνακας 8 - Επίπεδα αναφοράς ως μέση χρονική τιμή σε διάστημα 6 min, για τοπική έκθεση σε Η/Μ πεδία (100 kHz – 300 GHz).	34
Πίνακας 9 - Επίπεδα αναφοράς Η/Μ πεδίων με συντελεστή μείωσης 0.7.	35
Πίνακας 10 - Επίπεδα αναφοράς Η/Μ πεδίων με συντελεστή μείωσης 0.6.	36
Πίνακας 11 - Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR).	36
Πίνακας 12 - Ηλεκτρικές ιδιότητες ιστών σε συχνότητες εκπομπής κινητής τηλεφωνίας 900 και 1750 MHz.	37
Πίνακας 13 - Συχνότητες λειτουργίας υφιστάμενων και μελλοντικών δικτύων κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα [25].	41
Πίνακας 14 - Τυπικά επίπεδα ισχύος για τη λειτουργία των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας συγκριτικά με τα αντίστοιχα των ραδιοτηλεοπτικών αναμεταδοτών [24].	43
Πίνακας 15 - Μέγιστη Διάσταση Κεραίας και ελάχιστη απόσταση μετρήσεων.	54
Πίνακας 16 - Πίνακας απεικόνισης της μέσης τιμής και της διαμέσου σε κάθε συχνοτική ζώνη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.	76
Πίνακας 17 - Πίνακας συντεταγμένων και αποτελεσμάτων πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.	84
Πίνακας 18 - Απεικόνιση αποκρίσεων του νευρωνικού δικτύου ταξινόμησης, για δεδομένες τιμές εισόδου (ένταση ηλεκτρικού πεδίου).	92

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 - Γενική αρχιτεκτονική ασύρματου συστήματος μετάδοσης πληροφορίας. ....	15
Εικόνα 2 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	16
Εικόνα 3 - Επίπεδο Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα. ....	18
Εικόνα 4 - Περιοχές κοντινού και μακρινού πεδίου. ....	21
Εικόνα 5 - Εξασθένιση της πυκνότητας ισχύος με το τετράγωνο της απόστασης.....	21
Εικόνα 6 - Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Διαχωρισμός σε Ιοντίζουσες και μη Ιοντίζουσες ακτινοβολίες. ....	45
Εικόνα 7- Ενδεικτική απεικόνιση του αρχείου μετρήσεων. ....	57
Εικόνα 8 - Διάγραμμα συγκριτικής απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από τα δεδομένα μετρήσεων εξωτερικών χώρων (O), εσωτερικών χώρων (I) και των πάρκων κεραίων (AP). ....	58
Εικόνα 9 - Διάγραμμα συγκριτικής απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από τα δεδομένα μετρήσεων αστικών (U) , ημιαστικών (SU) και αγροτικών (R) περιοχών. ....	59
Εικόνα 10 - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων εξωτερικών χώρων (O). ....	60
Εικόνα 11 - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων εσωτερικών χώρων (I). ....	61
Εικόνα 12 - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε πάρκα κεραίων (AP). ....	62
Εικόνα 13 - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και αστικές περιοχές (U). ....	63
Εικόνα 14-Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και ημιαστικές περιοχές (SU). ....	64
Εικόνα 15-Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και αγροτικές (ύπαιθρος) περιοχές (R). ....	65
Εικόνα 16 - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων εξωτερικούς χώρους και ταρατσες κτιρίων (RT). ....	66
Εικόνα 17 - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε χώρους αεροδρομίων (Airports). ....	67
Εικόνα 18 - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και στο επίπεδο του δρόμου γύρω από τις κεραίες (Streets). ....	68
Εικόνα 19 - Στατιστική κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για εύρος συχνοτήτων 75-87 MHz. ....	70
Εικόνα 20 - Μετρήσεις για συχνότητες 87-109 MHz. ....	71
Εικόνα 21 - Μετρήσεις για συχνότητες 109-300 MHz. ....	72
Εικόνα 22 - Μετρήσεις για συχνότητες 300-450 MHz. ....	72
Εικόνα 23 - Μετρήσεις για συχνότητες 450-860 MHz. ....	73
Εικόνα 24 - Μετρήσεις για συχνότητες 860-1000 MHz. ....	73
Εικόνα 25 - Μετρήσεις για συχνότητες 1000-1700 MHz. ....	74
Εικόνα 26 - Μετρήσεις για συχνότητες 1700-2200 MHz. ....	74
Εικόνα 27 - Μετρήσεις για συχνότητες 2200-3000 MHz. ....	75

Εικόνα 28 - Στατιστική κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το συνολικό εύρος συχνοτήτων 75-3000 MHz.....	75
Εικόνα 29 - Απεικόνιση διαγράμματος ροής εξαγωγής των δεδομένων και αποθήκευση των μέσω των τιμών αυτών σε μεταβλητές.....	77
Εικόνα 30 - Απεικόνιση των δεδομένων το οποίο χρησιμοποιεί γεωγραφικές συντεταγμένες.....	78
Εικόνα 31 - Συντεταγμένες ενός σημείου ενδιαφέροντος σε άγνωστη θέση, για την πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.....	79
Εικόνα 32 - Συμπλήρωση συντεταγμένων από το χρήστη.....	80
Εικόνα 33 - Αναπαράσταση του χάρτη που εμφανίζεται όταν ο χρήστης εισάγει τις συντεταγμένες.....	80
Εικόνα 34 - Διάγραμμα ροής αρχείου main.py.....	82
Εικόνα 35 - Έξυπνη κατηγοριοποίηση δοθείσας τιμής έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κατάλληλη ζώνη συχνοτήτων με βάση τις συνολικές τιμές των αρχικών δεδομένων μετρήσεων.....	85
Εικόνα 36 - Απεικόνιση του κώδικα ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ενός έξυπνου προγράμματος κατηγοριοποίησης των τιμών δοθείσας έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κατάλληλες ζώνες συχνοτήτων.....	86
Εικόνα 37 - Διάγραμμα δομής νευρωνικού δικτύου.....	88
Εικόνα 38 - Διάγραμμα επιδόσεων της εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.....	89
Εικόνα 39 - Κατάσταση εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.....	91

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

### 1.1. Περιγραφή διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάλυση των μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές Ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνοτήτων. Η ανάλυση και η επεξεργασία των μετρήσεων στις οποίες θα βασιστεί το πρακτικό τμήμα της διπλωματικής εργασίας, διεξάγεται με τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης και τα αντίστοιχα μοντέλα. Για τις ανάγκες των μετρήσεων έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα από καταγραφές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από κεραιές κινητής τηλεφωνίας. Για τη μεθοδολογία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι οδηγίες και οι μέθοδοι που προβλέπει η ελληνική νομοθεσία, η οποία τηρεί το πρότυπο ISO/IEC 17025:2017. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνται σε διάφορες περιοχές, σε ύπαιθρο, πόλεις και προάστια πόλεων. Συνεπώς, οι μετρήσεις κατηγοριοποιούνται σε αγροτικές, σε αστικές και ημιαστικές περιοχές. Επιπλέον, γίνεται κατηγοριοποίηση σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους των περιοχών αυτών.

Το πρώτο κεφάλαιο αφορά μια μικρή εισαγωγή στη διπλωματική εργασία, στο οποίο περιέχεται η περιγραφή της και ο σκοπός για τον οποίον εκπονείται. Το δεύτερο κεφάλαιο, αφορά τη θεωρητική και βιβλιογραφική επισκόπηση στο πεδίο το οποίο εκπονείται η διπλωματική: στον ηλεκτρομαγνητισμό. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν βασικές έννοιες, βιβλιογραφία, μελέτες, κ.α. Το τρίτο κεφάλαιο αφορά τις μετρήσεις που θα γίνουν για την πειραματική πλευρά της διπλωματικής εργασίας, τη μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της πειραματικής μεθόδου. Το τελευταίο κεφάλαιο, το πέμπτο, αφορά τα συμπεράσματα της εργασίας, που προκύπτουν από τα αποτελέσματα και τη σύγκριση της διπλωματικής με άλλες αντίστοιχες έρευνες και εργασίες.

### 1.2. Σκοπός διπλωματικής

Ο βασικός σκοπός της εργασίας είναι η Ανάλυση των Μετρήσεων Έκθεσης από Εκπομπές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων Ραδιοσυχνοτήτων (RF). Για την εκπλήρωση αυτού του σκοπού αρχικά θα διεξαχθεί βιβλιογραφική ανασκόπηση που σκοπεύει να παρέχει την θεωρητική τεκμηρίωση για την έρευνα. Η θεωρητική τεκμηρίωση της μελέτης θα καταλήξει στη

Συμεών Ιωαννίδης – Διπλωματική Εργασία

*Ανάλυση και στατιστική επεξεργασία μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων  
ραδιοσυχνοτήτων - Μοντελοποίηση με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης*

μεθοδολογία της έρευνας στην οποία θα εξηγηθεί ο τρόπος που θα πραγματοποιηθεί η πειραματική διαδικασία. Ως προς αυτό, θα πραγματοποιηθεί μοντελοποίηση μέσω τεχνικών Μηχανικής Μάθησης και στη συνέχεια στατιστική επεξεργασία και ανάλυση.

## Κεφάλαιο 2

### Βασικές έννοιες ηλεκτρομαγνητισμού

Ο όρος ασύρματη τηλεπικοινωνία ή ραδιοζεύξη, αποτυπώνει τη διάδοση δηλαδή την όδευση των ηλεκτρομαγνητικών (H/M) κυμάτων ραδιοσυχνοτήτων και τη μεταφορά H/M ενέργειας, η οποία μεταδίδει πληροφορία από μια κεραία πομπού σε μια κεραία δέκτη, σε περιβάλλον που συμμετέχουν τόσο το έδαφος και η τροπόσφαιρα ή η ιονόσφαιρα, όσο και διάφορες φυσικές ή τεχνητές δομές. Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος ασύρματης μετάδοσης αποτελείται είναι τα εξής:

- Ο πομπός,
- Η κεραία εκπομπής,
- Ο χώρος διάδοσης των ραδιοκυμάτων,
- Η κεραία λήψης,
- Ο δέκτης.

Από τα παραπάνω στοιχεία, ο πομπός και ο δέκτης ενδέχεται να είναι σταθεροί, και σε τέτοια περίπτωση αναφέρεται η σταθερή ασύρματη πρόσβαση (fixed wireless access). Αντιθέτως αν ο πομπός είναι σταθερός και ο δέκτης κινείται αναφερόμαστε σε κινητή ασύρματη πρόσβαση (mobile wireless access). Στην Εικόνα 1, παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική ενός ασύρματου συστήματος μετάδοσης πληροφορίας [1].

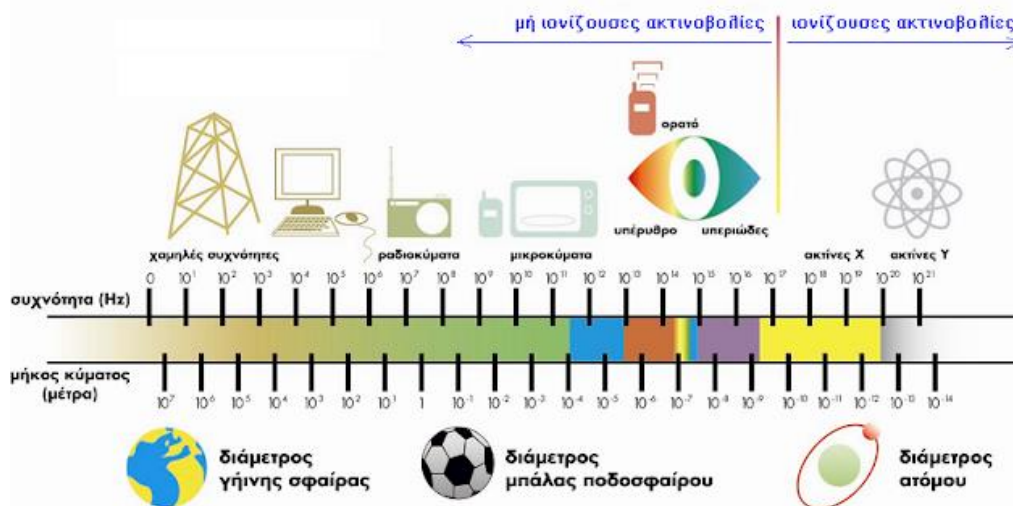


Εικόνα 1 - Γενική αρχιτεκτονική ασύρματου συστήματος μετάδοσης πληροφορίας.

## 2.1. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μια μορφή ενέργειας που διαδίδεται στο χώρο ως ταλαντευόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων κυμάτων, που κυμαίνονται από ραδιοκύματα χαμηλής συχνότητας έως ακτίνες Γάμμα υψηλής συχνότητας. Η θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, η οποία περιγράφει τη συμπεριφορά των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και τις αλληλεπιδράσεις τους με την ύλη, διέπεται από τις εξισώσεις του Maxwell [2]. Αυτές οι εξισώσεις προβλέπουν ότι ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο παράγει ένα μαγνητικό πεδίο και αντίστροφα, το οποίο επιτρέπει στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα να διαδίδονται μέσω του κενού χωρίς την ανάγκη για μέσο.

Η ταχύτητα  $c$  με την οποία ταξιδεύουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο κενό είναι περίπου  $3 \times 10^8$  m/s. Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά χρησιμοποιώντας εξισώσεις κυμάτων που περιγράφουν λεπτομερώς τα συστατικά του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου ως συναρτήσεις του χώρου και του χρόνου. Αυτά τα κύματα είναι εγκάρσια, που σημαίνει ότι οι ταλαντώσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων είναι κάθετες στην κατεύθυνση διάδοσης των κυμάτων [3]. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συνήθως χωρίζεται σε διάφορες περιοχές με βάση τη συχνότητα ( $f$ ) ή το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου:



Εικόνα 2 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.

Οι ιδιότητες και η συμπεριφορά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου διαφέρουν ανάλογα με το τμήμα του φάσματος που εξετάζει κανείς. Για παράδειγμα, τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται συνήθως στην ασύρματη επικοινωνία, ενώ οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην ιατρική απεικόνιση. Η αλληλεπίδραση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με την ύλη είναι η βάση για



πολλές επιστημονικές και τεχνολογικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της φασματοσκοπίας και των τηλεπικοινωνιών [4].

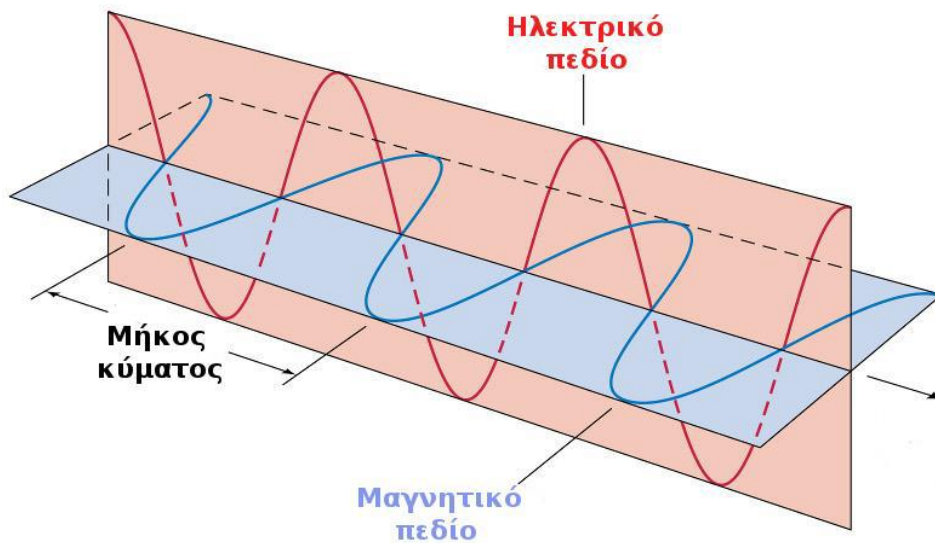
Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει επίσης κβαντομηχανικές ιδιότητες και μπορεί να περιγραφεί ως ένα ρεύμα σωματιδίων που ονομάζονται φωτόνια. Κάθε φωτόνιο φέρει μια διακριτή ποσότητα ενέργειας  $E = hf$ , όπου  $h$  είναι η σταθερά του Planck ( $6.62 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$ ) και  $f$  η συχνότητα του κύματος. Αυτή η δυαδικότητα σωματιδίων-κύματος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι μια θεμελιώδης έννοια στην κβαντομηχανική [5].

## 2.2. Τα ραδιοκύματα

Η θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών (H/M) πεδίων ή κυμάτων, αποτελεί το απαραίτητο εργαλείο για τη μελέτη οποιουδήποτε συστήματος ασύρματων επικοινωνιών. Τα H/M κύματα, όπως είναι τα μικροκύματα, το ορατό φως, οι ακτίνες X κ.λπ., αποτελούνται από δύο συνιστώσες που ταλαντώνονται: το ηλεκτρικό πεδίο  $E$  (που μετριέται σε V/m) και το μαγνητικό πεδίο  $H$  (που μετριέται σε A/m). Στα επίπεδα H/M κύματα, τα επίπεδα ταλάντωσης των δύο αυτών πεδίων είναι πάντοτε κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς την κατεύθυνση διάδοσης του κύματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. Τα H/M κύματα διαδίδονται στον ελεύθερο χώρο (το κενό) με ταχύτητα που είναι σταθερή, ανεξάρτητη της συχνότητας και ίση με την ταχύτητα του φωτός  $c$ . Η απόσταση μεταξύ δύο κορυφών του H/M κύματος κατά τη διεύθυνση διάδοσης, ονομάζεται μήκος κύματος,  $\lambda$ , και δίνεται από τη σχέση [6].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

όπου  $f$  η συχνότητα (σε Hertz) του H/M κύματος.



Εικόνα 3 - Επίπεδο Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα.

Εκτός από την ένταση των συνιστωσών του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, ένας άλλος συνήθης τρόπος για το χαρακτηρισμό ενός Η/Μ πεδίου (όπως και ενός πεδίου ραδιοσυχνότητας) είναι μέσω της πυκνότητας ισχύος,  $S$ . Η πυκνότητα ισχύος ορίζεται ως η ισχύς του κύματος η οποία προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας και εκφράζεται σε μονάδες Watts ανά τετραγωνικό μέτρο ( $W/m^2$ ), milliwatts (1 χιλιοστό του watt) ανά τετραγωνικό εκατοστό ( $mW/cm^2$ ) ή microwatts (1 εκατομμυριοστό του watt) ανά τετραγωνικό εκατοστό ( $\mu W/cm^2$ ).

Η πλέον καθοριστική παράμετρος για την διάδοση είναι η συχνότητα των Η/Μ κυμάτων. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις διάφορες ζώνες συχνοτήτων καθώς και ενδεικτικές υπηρεσίες που χρησιμοποιούν τις ζώνες αυτές. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι με τον όρο ραδιοκύματα ή Η/Μ κύματα ραδιοσυχνότητας αναφερόμαστε συνήθως σε κύματα συχνότητας 3 kHz – 300 GHz.

**Πίνακας 1** - Ταξινόμηση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων [7].

Ζώνη συχνότητας	Μήκος κύματος	Σύμβολο	Ενδεικτικές Υπηρεσίες
<b>1 Hz – 3 kHz</b>	$10^{11} - 10^5$ m	-	Γραμμές μεταφοράς ρεύματος, τηλεπ/νίες μεγάλων αποστάσεων (υποβρύχια)
<b>3 – 30 kHz</b>	$10^5 - 10^4$ m	VLF (Very Low Frequency)	Τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
<b>30 – 300 kHz</b>	$10^4 - 10^3$ m	LF (Low Frequency)	Ραδιοφωνία, ραδιοναυσιπλοία
<b>0.3 – 3 MHz</b>	$10^3 - 10^2$ m	MF (Medium Frequency)	Ραδιοφωνία
<b>3 – 30 MHz</b>	100 – 10 m	HF (High Frequency)	Ασύρματη τηλεφωνία μεγάλων αποστάσεων
<b>30 – 300 MHz</b>	10 – 1 m	VHF (Very High Frequency)	FM Ραδιοφωνία, τηλεόραση, τηλεπικοινωνία μεταξύ κινητών σημείων, ραδιοναυσιπλοία
<b>0.3 – 3 GHz</b>	100 – 10 cm	UHF (Ultra High Frequency)	Τηλεόραση, κινητή τηλεφωνία, ραδιοναυσιπλοία, ραντάρ, WiFi
<b>3 – 30 GHz</b>	10 – 1 cm	SHF (Super High Frequency)	Μικροκυματικές ζεύξεις, ραντάρ, δορυφορικές τηλεπικοινωνίες
<b>30 – 300 GHz</b>	10 – 1 mm	EHF (Extra High Frequency)	Νέας γενιάς χιλιοστομετρικά δίκτυα και δορυφορικές τηλεπικοινωνίες

Οι τρεις βασικοί μηχανισμοί διάδοσης των Η/Μ στον χώρο και ειδικότερα των κυμάτων εδάφους, εκτός της οπτικής επαφής ή απευθείας κύματος (Line-of-Sight), είναι η ανάκλαση, η περίθλαση και η σκέδαση.

- **Ανάκλαση** (reflection): πρόσκρουση του Η/Μ κύματος σε μια λεία επιφάνεια με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες του μήκους κύματος.
- **Περίθλαση** (diffraction): ύπαρξη εμποδίου μεγάλων διαστάσεων σε σχέση με το μήκος κύματος ανάμεσα σε πομπό και δέκτη. Στην περίπτωση αυτή προκαλούνται δευτερογενή κύματα σύμφωνα με την αρχή Huygenz και είναι δυνατή η μεταφορά Η/Μ ενέργειας χωρίς οπτική επαφή.
- **Σκέδαση/Διάχυση** (scattering/diffusion): πρόσκρουση του Η/Μ κύματος σε μια μεγάλη τραχιά επιφάνεια ή σε επιφάνεια μεγάλων διαστάσεων, με αποτέλεσμα το Η/Μ κύμα να διασκορπίζεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Επομένως, τα ραδιοκύματα που εκπέμπονται από την κεραία ενός πομπού διαδίδονται στον χώρο σύμφωνα με τους παραπάνω μηχανισμούς και λαμβάνονται στον δέκτη.

### Κοντινό και μακρινό πεδίο

Μια σημαντική παράμετρος που καθορίζει τη συμπεριφορά των συνιστωσών του Η/Μ πεδίου σχετίζεται με την απόσταση του δέκτη (λήψη) από την κεραία εκπομπής. Ανάλογα με την απόσταση αυτή, διακρίνουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

- την περιοχή του εγγύς ή κοντινού πεδίου (near field region),
- την μεταβατική περιοχή (transition region),
- και την περιοχή του μακρινού πεδίου (far field region)

Το εγγύς ή κοντινό αντιδραστικό πεδίο θεωρείται ότι εκτείνεται από το κέντρο της κεραίας εκπομπής μέχρι απόσταση:

$$R_{nf} = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (2)$$

όπου  $D$  η μεγαλύτερη διάσταση της κεραίας (σε m) και  $\lambda$  το μήκος κύματος (σε m) της. Εναλλακτικά, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το κοντινό πεδίο, εκτείνεται από το κέντρο της κεραίας εκπομπής μέχρι απόσταση  $3\lambda$ . Στο κοντινό αντιδραστικό πεδίο πρέπει να μετρώνται χωριστά το πεδίο  $E$  και το πεδίο  $H$ . Η περιοχή του κοντινού πεδίου περιορίζεται πλησίον της κεραίας και περιέχει σχεδόν όλη την αποθηκευμένη ενέργεια που σχετίζεται με το πεδίο της κεραίας. Στην περιοχή αυτή, οι αντιδραστικές συνιστώσες ισχύος δεν είναι αμελητέες. Η πυκνότητα ροής ισχύος,  $S$ , μεταβάλλεται σημαντικά και εξαρτάται από την θέση του δέκτη (ή τη θέση λήψης), όπου χαμηλές τιμές μπορεί να λαμβάνονται κοντά στη κεραία σε αντίθεση με υψηλότερες τιμές που λαμβάνονται πιο μακριά. Στην περιοχή του κοντινού πεδίου, η πυκνότητα ισχύος λαμβάνει τη μέγιστη δυνατή τιμή που δίνεται από την σχέση:

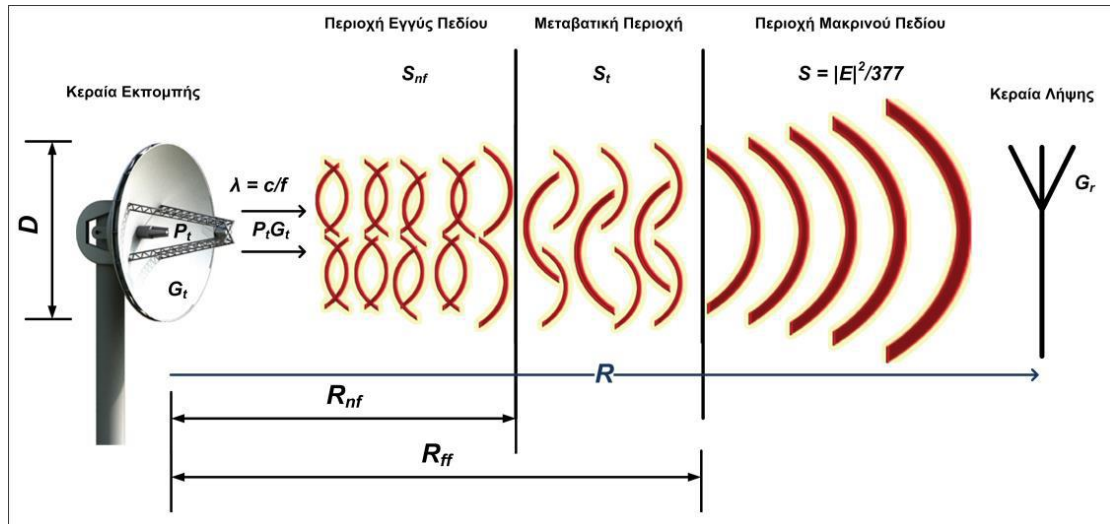
$$S_{nf} = \frac{16P_t G_t}{\pi D^2} \quad (3)$$

όπου  $P_t$  είναι η ισχύς εκπομπής (σε W) και  $G_t$  είναι το κέρδος της κεραίας εκπομπής (αδιάστατο μέγεθος). Τέλος εντός της περιοχής του εγγύς πεδίου δεν ισχύει το διάγραμμα έντασης του ηλεκτρικού πεδίου της κεραίας εκπομπής όπως ορίζεται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Η μεταβατική περιοχή ή κοντινό πεδίο έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, είναι αυτή που εκτείνεται από το τέλος της περιοχής του κοντινού αντιδραστικού πεδίου μέχρι την αρχή της περιοχής του μακρινού πεδίου. Στην μεταβατική περιοχή είναι αποδεκτή η μέτρηση μόνο της μίας συνιστώσας  $E$  ή  $H$ , αλλά τις περισσότερες φορές για την αποφυγή σφαλμάτων είναι σκόπιμη η χωριστή μέτρηση το πεδίου  $E$  και του πεδίου  $H$ . Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην μεταβατική περιοχή το διάγραμμα έντασης του ηλεκτρικού πεδίου της κεραίας εκπομπής, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, εξακολουθεί να μην ισχύει.

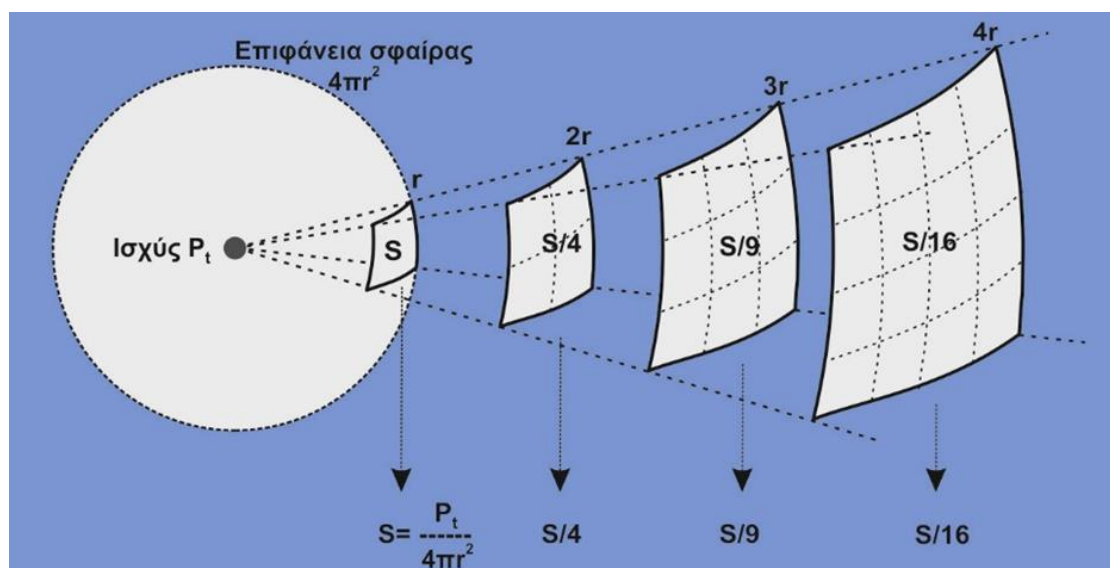
Στην περιοχή του μακρινού πεδίου, τόσο το ηλεκτρικό πεδίο  $E$  όσο και το μαγνητικό πεδίο  $H$  είναι ανεξάρτητα και κάθετα μεταξύ τους. Επομένως, μπορεί να μετράται μόνο η μία συνιστώσα και η άλλη να προκύπτει με μαθηματικό υπολογισμό. Στην περιοχή του μακρινού

πεδίου, το πεδίο έχει χαρακτήρα επίπεδου κύματος ενώ ισχύει και το διάγραμμα έντασης του ηλεκτρικού πεδίου της κεραίας εκπομπής όπως προσδιορίζεται από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.



Εικόνα 4 - Περιοχές κοντινού και μακρινού πεδίου.

Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα για την μεταβολή της πυκνότητας ισχύος  $S$ , σε σχέση με την απόσταση από κεραία που εκπέμπει ισχύ  $P_t$  (το κέρδος της κεραίας λαμβάνεται ίσο με 1). Από το παράδειγμα γίνεται αντιληπτό ότι με τον τετραπλασιασμό της απόστασης πομπού και δέκτη, η πυκνότητα ισχύος  $S$  (σε  $W/m^2$ ) που λαμβάνει ο δέκτης υποδεκαεξαπλασιάζεται.



Εικόνα 5 - Εξασθένιση της πυκνότητας ισχύος με το τετράγωνο της απόστασης.

### 2.3. Επιπτώσεις ΗΜ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Οι επιπτώσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στον άνθρωπο είναι ποικίλες και μπορεί να κυμαίνονται από καλοήθειες έως δυνητικά επιβλαβείς, ανάλογα με διάφορους παράγοντες όπως ο τύπος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, η διάρκεια της έκθεσης και η ατομική ευαισθησία στην επαφή με την ΗΜ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Ο κάθε διαφορετικός τύπος έντασης του ηλεκτρικού πεδίου αλληλοεπιδρά με τους βιολογικούς ιστούς διαφορετικά, παράγοντας διακριτές φυσιολογικές και παθολογικές επιδράσεις.

Σε ότι αφορά την Μη Ιοντίζουσα Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, τα ραδιοκύματα και μικροκύματα που βρίσκονται στο χαμηλότερο ενεργειακό άκρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και γενικά θεωρούνται λιγότερο επιβλαβή. Ωστόσο, η υπερβολική έκθεση σε ραδιοσυχνότητες, όπως αυτές από κινητά τηλέφωνα, έχει αποτελέσει αντικείμενο συνεχιζόμενης μελέτης για τον προσδιορισμό της ασφάλειάς τους. Ενώ ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) έχει ταξινομήσει τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων ως πιθανώς καρκινογόνα, δεν υπάρχει ακόμη συναίνεση για το θέμα [41]. Σε ότι αφορά την υπέρυθη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου συνήθως βιώνεται ως θερμότητα. Αν και γενικά θεωρείται ασφαλές σε μέτριες ποσότητες, η υπερβολική έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε θερμικούς τραυματισμούς όπως εγκαύματα. Υπάρχουν διάφορες έρευνες που αυτές οι ακτινοβολίες προσδίδουν διάφορες ασθένειες στον άνθρωπο. Ορισμένες μελέτες υποδηλώνουν συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ραδιοσυχνοτήτων και των διαταραχών ύπνου ή των γνωστικών διαταραχών, αν και αυτά τα ευρήματα δεν είναι παγκοσμίως αποδεκτά [44]. Επίσης τα ηλεκτροφόρα καλώδια, τα οποία παράγουν πεδία ELF, έχουν ερευνηθεί για τη σχέση τους με την παιδική λευχαιμία. Ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν μια πιθανή σύνδεση, αλλά τα στοιχεία δεν είναι πειστικά [45].

Σε ότι αφορά την Ιοντίζουσα ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, η Υπεριώδης ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (UV) μπορεί να προκαλεί καρκίνο του δέρματος μέσω βλάβης του DNA. Το ηλιακό έγκαυμα είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα, ενώ οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις περιλαμβάνουν την πρόωγη γήρανση και τον αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του δέρματος [42]. Οι ακτίνες X και ακτίνες Γ έχουν αρκετή ενέργεια για να ιονίσουν τα άτομα, διαταράσσοντας τους μοριακούς δεσμούς και προκαλώντας κυτταρική βλάβη, μεταλλάξεις και καρκίνο. Ωστόσο, οι ιατρικές τους εφαρμογές στην απεικόνιση και τη θεραπεία του καρκίνου

επιδεικνύουν επίσης ευεργετικά αποτελέσματα όταν ελέγχονται σωστά. Ακόμη, η παρατεταμένη έκθεση στην υπεριώδη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει εμπλακεί στην ανάπτυξη καταρράκτη [46]. Τέλος, η ιοντίζουσα ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να οδηγήσει σε γενετικές μεταλλάξεις, επηρεάζοντας δυνητικά τις μελλοντικές γενιές [47]

Συνολικά, η κατανόηση των επιπτώσεων του EMR στην ανθρώπινη υγεία απαιτεί μια διεπιστημονική προσέγγιση, που συνδυάζει γνώσεις από τη φυσική, τη βιολογία και την ιατρική. Όμως οι επικίνδυνες επιπτώσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου εκτείνονται πέρα από τον άνθρωπο και έχουν παρατηρηθεί σε διάφορα οικοσυστήματα, επηρεάζοντας τη χλωρίδα, την πανίδα, ακόμη και τα άψυχα αντικείμενα. Το εύρος αυτών των επιδράσεων ποικίλλει και πάλι ανάλογα με τον τύπο της ΗΜ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και τις ειδικές συνθήκες έκθεσης.

Σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, έχουν παρατηρηθεί σημαντικές επιπτώσεις σε Χερσαία και Υδάτινα Οικοσυστήματα. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορούν να επηρεάσουν τις ικανότητες πλοήγησης ορισμένων επικονιαστών όπως οι μέλισσες, επηρεάζοντας δυνητικά την επικονίαση των φυτών [48]. Επίσης, τα πουλιά που βασίζονται στα μαγνητικά πεδία της Γης για την πλοήγηση μπορεί να επηρεαστούν από την ρύπανση [49]. Ακόμη, η ΗΜ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από υποθαλάσσια συστήματα επικοινωνίας μπορεί να επηρεάσει τα θαλάσσια θηλαστικά και τα ψάρια που βασίζονται στον ηχοεντοπισμό ή σε άλλους μηχανισμούς ρανίχνευσης [50].

Ορατές είναι οι επιπτώσεις σε ζώα. Οι μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες όπως οι ραδιοσυχνότητες μπορούν να προκαλέσουν κυτταρικό στρες στα ζώα, οδηγώντας σε πιθανά μακροπρόθεσμα προβλήματα υγείας [51]. Ταυτόχρονα, ορισμένες μελέτες σε ζώα έχουν προτείνει ότι η έκθεση σε EMR μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη γονιμότητα [52]. Σε ότι αφορά τη χλωρίδα, η ΗΜ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου υψηλής συχνότητας μπορεί να αλλάξει τα πρότυπα ανάπτυξης και τους μεταβολικούς ρυθμούς σε ορισμένα είδη φυτών [53]. Σε ότι αφορά τα επιτεύγματα της τεχνολογίας, αρκετές φορές διαπιστώνεται ότι είναι ευπαθή σε ΗΜ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Έρευνες δείχνουν ότι η ΗΜ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου υψηλής έντασης μπορεί να καταστρέψει την αποθήκευση ψηφιακών δεδομένων ή να επηρεάσει τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως φαίνεται σε περιπτώσεις ηλιακών εκλάμψεων που επηρεάζουν τις δορυφορικές λειτουργίες [54]. Επίσης, ορισμένες συχνότητες ΗΜ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μπορούν να προκαλέσουν ρεύματα που αναφλέγουν εύφλεκτες ουσίες, θέτοντας κινδύνους σε βιομηχανικά περιβάλλοντα [55].

## 2.4. Όρια έκθεσης

Σε όλο τον κόσμο, διεθνείς οργανισμοί και χώρες προτείνουν όρια αποδεκτής έκθεσης του γενικού πληθυσμού και των εργαζομένων σε μη-ιοντίζουσα Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Η συμμόρφωση με τα όρια έκθεσης που προτείνονται από τις εθνικές και τις διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες συντελεί στον έλεγχο του κινδύνου από την έκθεση σε Η/Μ πεδία ραδιοσυχνοτήτων, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου.

Οι περισσότερες χώρες στην Ευρώπη και αλλού χρησιμοποιούν τις κατευθυντήριες οδηγίες περιορισμού της έκθεσης που έχουν εκδοθεί από τη Διεθνή Επιτροπή για την Προστασία από τη Μη-Ιοντίζουσα Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP). Αυτός ο μη κυβερνητικός οργανισμός, που είναι αναγνωρισμένος επισήμως από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization- WHO), αποτιμά τα επιστημονικά αποτελέσματα στους τομείς της επιδημιολογίας, της ιατρικής, της βιολογίας, της φυσικής και της μηχανικής σε όλο τον κόσμο. Η ICNIRP ανακοινώνει κατευθυντήριες οδηγίες που προτείνουν όρια για την έκθεση. Τα όρια αυτά εξετάζονται συνεχώς και αναθεωρούνται όταν κρίνεται απαραίτητο. Οι πρώτες οδηγίες της ICNIRP δημοσιεύτηκαν το 1998 [8] και έχουν υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CENELEC (Committee Europeene de Normalisation ELECtrotechnique) και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κατά τη σύνταξη του ισχύοντος προτύπου για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι οδηγίες της ICNIRP του 1998 για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, καλύπτουν το εύρος συχνοτήτων της μη ιοντίζουσας έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από 0 μέχρι 300 GHz και βασίζονται σε διεξοδική επισκόπηση όλης της δημοσιευμένης επιστημονικής βιβλιογραφίας. Τα όρια αποδεκτής έκθεσης έχουν καθοριστεί με βάση αποτελέσματα σχετικά με τη βραχυπρόθεσμη έντονη έκθεση και όχι τη μακροπρόθεσμη έκθεση διότι η διαθέσιμη επιστημονική πληροφορία για τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα της έκθεσης σε χαμηλής έντασης ηλεκτρομαγνητικά πεδία θεωρείται ανεπαρκής για τη θέσπιση ποσοτικών ορίων [9].

Σε συχνότητες υψηλότερες του 1 MHz, η θέσπιση ορίων αποδεκτής έκθεσης αποσκοπεί αποκλειστικά στην αποφυγή των θερμικών αποτελεσμάτων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Το βασικό μέγεθος για την ποσοτικοποίηση των θερμικών επιδράσεων είναι ο SAR. Η θέσπιση ορίων αποδεκτής έκθεσης από τη CENELEC και άλλες επιτροπές τυποποίησης για ολόσωμη έκθεση σε ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει βασιστεί στην πρόληψη διαταραχών που παρατηρούνται στη συμπεριφορά ζώντων οργανισμών κατά την έκθεσή τους σε χαμηλά επίπεδα έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Ο όρος «διαταραχές συμπεριφοράς» αναφέρεται στην



τάση ζώντων οργανισμών να σταματούν την εκτέλεση μιας πολύπλοκης γνωσιακής λειτουργίας όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένα επίπεδα Η/Μ ενέργειας. Τέτοιου είδους θερμική επίδραση παρατηρείται για SAR ίσο με 4W/kg σωματικού βάρους, υπολογισμένο ως μέση τιμή σε ολόκληρο το σώμα. Για να συμπεριλάβει επιστημονικές αβεβαιότητες, αυτό το κατώτατο επίπεδο κατωφλίου μειώθηκε περαιτέρω, οπότε προέκυψαν οι τιμές των ορίων για την ανθρώπινη έκθεση (*βασικοί περιορισμοί*). Υιοθετώντας ένα συντελεστή ασφαλείας ίσο με 10, καθορίστηκε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του SAR για τον άνθρωπο (επαγγελματική έκθεση) σε 0.4 W/kg. Υιοθετώντας έναν επιπλέον συντελεστή ασφαλείας ίσο με 5 καθορίστηκε αντίστοιχη μέγιστη τιμή του SAR για το γενικό πληθυσμό ίση με 0.08 W/kg, υπολογισμένη ως μέση τιμή για ολόκληρο το σώμα και για χρονικό διάστημα μέτρησης 6 min. Με παρόμοιο σκεπτικό προέκυψαν αντίστοιχα όρια για τον περιορισμό της έκθεσης τμημάτων του ανθρώπινου σώματος σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων.

Για τις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η απευθείας εκτίμηση της ισχύος που απορροφάται από τους ιστούς, ορίζονται από την ICNIRP περιορισμοί που αντιστοιχούν σε μεγέθη, τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν όπως η ένταση του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου ή η πυκνότητα ισχύος (*επίπεδα αναφοράς*). Ο υπολογισμός των επιπέδων αναφοράς από τους αντίστοιχους *βασικούς περιορισμούς* έχει πραγματοποιηθεί με την υπόθεση μέγιστης σύζευξης του ανθρώπινου σώματος με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (δυσμενέστερη περίπτωση).

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP, προτείνεται ένα σύστημα δύο επιπέδων ως προς τα όρια επιτρεπτής έκθεσης σε Η/Μ πεδία: χαμηλότερα όρια για τον γενικό πληθυσμό και υψηλότερα για τους επαγγελματικά ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, καθώς οι δεύτεροι έχουν γνώση των κινδύνων και μπορούν να λάβουν τα ενδεικνύμενα μέτρα προστασίας.

Επιπλέον, ορίζονται βασικοί περιορισμοί που αφορούν σε δοσιμετρικά μεγέθη (απορρόφηση της ισχύος από το σώμα), αλλά και αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία εκτός του σώματος, τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν. Υπενθυμίζεται ότι για τη διατύπωση των βασικών περιορισμών έχει γίνει αποδεκτός ένας παράγοντας ασφάλειας (10 ως και 50), ο οποίος αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα εκτίμησης του ορίου εμφάνισης επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες και το γεγονός ότι η κατάσταση της υγείας και η ηλικία των μελών του γενικού πληθυσμού ποικίλλει. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα επίπεδα αναφοράς που αποτελούν τα άμεσα μετρήσιμα μεγέθη στο περιβάλλον διατάξεων εκπομπής, προκύπτουν από

τους βασικούς περιορισμούς αφού έχουν ληφθεί υπόψη οι συνθήκες μέγιστης σύζευξης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου των πεδίων με το εκτιθέμενο άτομο (δυσμενέστερο σενάριο έκθεσης).

Με βάση τις οδηγίες της ICNIRP του 2020, το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει συστήσει όρια για τον περιορισμό της έκθεσης του γενικού πληθυσμού (general public exposure) σύμφωνα με την παρακάτω σύσταση [10]:

- Council Recommendation 2020/519/EC, “On the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz),” Jul. 2020.

Ο όρος γενικός πληθυσμός (ή απλά «κοινό») αποδίδει το σύνολο των ανθρώπων πλην των ασχολούμενων επαγγελματικά στις εγκαταστάσεις σταθμών βάσης. Η παραπάνω σύσταση στοχεύει στην προστασία της υγείας του γενικού πληθυσμού και έχει πεδίο εφαρμογής σε περιοχές όπου μέλη του γενικού πληθυσμού εκτίθενται για πολύ χρόνο στα Η/Μ πεδία.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η νεότερη σύσταση της INCIRP [11], δεν έχει ακόμα υιοθετηθεί ως σύσταση/οδηγία από το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κατ’ επέκταση δεν έχει ενσωματωθεί στη νομοθεσία των κρατών μελών.

Ανάλογα με τη συχνότητα,  $f$ , της Η/Μ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα φυσικά μεγέθη, για τον προσδιορισμό των βασικών περιορισμών όσον αφορά τα Η/Μ πεδία:

- Για συχνότητες από 0 έως 1 Hz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την μαγνητική επαγωγή στατικών μαγνητικών πεδίων (0 Hz) και για την πυκνότητα ρεύματος χρονικώς μεταβαλλόμενων πεδίων, για την πρόληψη επιπτώσεων στο καρδιαγγειακό και στο κεντρικό νευρικό σύστημα.
- Για συχνότητες από 1 Hz έως 10 MHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος.
- Για συχνότητες από 100 kHz έως 10 GHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για τον SAR, για την πρόληψη θερμοπληξίας ολόκληρου του σώματος και υπερβολικής τοπικής θέρμανσης των ιστών.
- Για συχνότητες από 10 GHz έως 300 GHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος, για την πρόληψη της θέρμανσης των ιστών στην επιφάνεια του σώματος.

Σημειώνεται ότι στην κοινή περιοχή των περιπτώσεων (ii) και (iii), για συχνότητες από 100 kHz έως 10 MHz, προβλέπονται περιορισμοί και για την πυκνότητα ρεύματος και για τον SAR.

Οι παραπάνω βασικοί περιορισμοί περιέχονται στον πίνακα που ακολουθεί, για το γενικό πληθυσμό.

Στον Πίνακα που ακολουθεί σημειώνονται οι βασικοί περιορισμοί για τον γενικό πληθυσμό, για χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz – 300 GHz), σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP [11].

**Πίνακας 2** - Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Ζώνη Συχνοτήτων	Πυκνότητα Ρεύματος (κεφάλι και κορμός) [mA/m <sup>2</sup> ]	Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης για όλο το σώμα [W/kg]	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (κεφάλι και κορμός) [W/kg]	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (άκρα) [W/kg]	Πυκνότητα Ισχύος [W/m <sup>2</sup> ]
> 0 – 1 Hz	8	-	-	-	-
1 – 4 Hz	8/f	-	-	-	-
4 – 1000 Hz	2	-	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	f/500	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/500	0.08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	0.08	2	4	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	10

Σύμφωνα με τις συστάσεις της ICNIRP [11], το όριο που εφαρμόζεται για την έκθεση του κεφαλιού στο Η/Μ πεδίο τερματικής συσκευής είναι 2 W/kg όταν λαμβάνεται ο μέσος όρος σε 10 g μάζας συνεχούς ιστού για χρονική περίοδο 6 λεπτών. Αυτό το όριο έχει υιοθετήσει και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή οδηγία 2014/53/ΕΕ για την εναρμόνιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την διαθεσιμότητα εξοπλισμού στην αγορά και την κατάργηση της οδηγίας 1999/5/ΕΚ, αποδίδει ιδιαίτερη σημασία στην υγεία και την ασφάλεια των χρηστών απαιτώντας συμμόρφωση με τις θεμελιώδεις απαιτήσεις του άρθρου 3.1α. Κάθε συσκευή που κυκλοφορεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση συμμορφώνεται με την ανωτέρω οδηγία και τα ευρωπαϊκά πρότυπα, διασφαλίζοντας την τήρηση των περιορισμών ως προς την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η συσκευή φέρει τη σήμανση CE ενώ στα συνοδευτικά έγγραφα υπάρχει η δήλωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή και στο εγχειρίδιο

χρήσης της αναγράφεται η τιμή SAR που προκαλεί η συγκεκριμένη συσκευή (συνήθως στις τελευταίες σελίδες).

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία για το γενικό πληθυσμό, για έκθεση σε συχνότητες 0 Hz – 300 GHz. Αντίστοιχα, για την έκθεση των ατόμων που εργάζονται κοντά σε πηγές Η/Μ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (επαγγελματική έκθεση), το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει θεσπίσει όρια που περιγράφονται στην οδηγία:

- Directive 2013/35/EU, “On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)”, June 2013.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η παραπάνω οδηγία του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης λαμβάνει υπόψη τους βασικούς περιορισμούς και τα επίπεδα αναφοράς για έκθεση σε Η/Μ πεδία από 100 kHz – 300 GHz.

**Πίνακας 3** - Βασικοί περιορισμοί για εργαζόμενους σε Η/Μ πεδία συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz.

Ζώνη συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου - E [V/m]	Ένταση μαγνητικού πεδίου - H [A/m]	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος- $S_{eq}$ [W/m <sup>2</sup> ]
0 - 1 Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$	-
1 - 8 Hz	10000	$3.2 \cdot 10^4 / f^{0.5}$	-
8 - 25 Hz	10000	$4000 / f$	-
0.025 - 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	-
0.8 - 3 kHz	$250 / f$	5	-
3 kHz - 150 kHz	87	5	-
0.15 - 1 MHz	87	$0.73 / f$	-
1 - 10 MHz	$87 / f^{0.5}$	$0.73 / f$	-
10 - 400 MHz	28	0.073	2
400 - 2000 MHz	$1.375 \cdot f^{0.5}$	$0.0073 \cdot f^{0.5}$	$f / 200$
2 - 300 GHz	61	0.16	10

**Πίνακας 4** - Επίπεδα αναφοράς για 0 Hz – 300 GHz.

Ζώνη Συχνοτήτων	Πυκνότητα Ρεύματος (κεφάλι και κορμός) [mA/m <sup>2</sup> ]	Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης για όλο το σώμα [W/kg]	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (κεφάλι και κορμός) [W/kg]	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (άκρα) [W/kg]	Πυκνότητα Ισχύος [W/m <sup>2</sup> ]
100 kHz - 6 GHz	$f / 100$	0.4	10	20	-
6 - 300 GHz	-	-	-	-	50

Η τοπική τιμή SAR υπολογίζεται ως μέση τιμή σε μάζα 10 g συνεχόμενου ιστού. Η μέγιστη τιμή SAR που προκύπτει κατ' αυτόν τον τρόπο πρέπει να αποτελεί την τιμή που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της έκθεσης. Τα εν λόγω 10 g ιστού υπονοούν συνεχόμενη μάζα ιστού με σχεδόν ομοιογενείς ηλεκτρικές ιδιότητες. Αναγνωρίζεται ότι η έννοια της συνεχόμενης μάζας ιστού είναι χρήσιμη για τους δοσιμετρικούς υπολογισμούς αλλά παρουσιάζει δυσκολίες για τις άμεσες φυσικές μετρήσεις. Επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται απλά γεωμετρικά σχήματα, π.χ. μάζα ιστού κυβικού ή σφαιρικού σχήματος.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία για το γενικό πληθυσμό, για έκθεση σε συχνότητες 0 Hz – 300 GHz. Το χωρικό μέγιστο των πυκνοτήτων ισχύος εκφραζόμενο ως μέση τιμή επί επιφανείας εμβαδού 1 cm<sup>2</sup> δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20πλάσιο της τιμής των 50 W/m<sup>2</sup>. Ως προς τον υπολογισμό της χρονικής μέσης τιμής της πυκνότητας ισχύος, για συχνότητα μεταξύ 6 και 10 GHz, θεωρείται χρονικό διάστημα 6 min.

**Πίνακας 5** - Επίπεδα αναφοράς για εργαζόμενους για έκθεση σε H/M πεδία συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz,

Ζώνη συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου - E [V/m]	Πυκνότητα Μαγνητικής Ροής - B [μT]	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S <sub>eq</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
100 kHz - 1 MHz	610	2·10 <sup>6</sup> /f	-
1 - 10 MHz	61·10 <sup>8</sup> /f	2·10 <sup>6</sup> /f	-
10 - 400 MHz	61	0.2	-
400 - 2 GHz	3·10 <sup>-3</sup> f <sup>0.5</sup>	1·10 <sup>-5</sup> f <sup>0.5</sup>	-
2 - 6 GHz	140	0.45	-
6 - 300 GHz	140	0.45	50

Οι νεότερες οδηγίες της ICNIRP για τον περιορισμό της ανθρώπινης έκθεσης σε H/M πεδία (100 kHz έως 300 GHz) δημοσιεύθηκαν τον Μάρτιο του 2020. Με την ενημέρωση του 2020, καλύπτεται τμήμα ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ραδιοσυχνοτήτων (RF EMF) των συστάσεων ICNIRP 1998 και το τμήμα 100 kHz έως 10 MHz των συστάσεων χαμηλής συχνότητας ICNIRP [12].

Η αξιολόγηση της ICNIRP περιέλαβε πολλούς τύπους μελετών και έρευνας: από δοσιμετρικές μελέτες, in vitro και in vivo έρευνα, έως επιδημιολογικές μελέτες. Επιπλέον, όταν ήταν γνωστός ο μηχανισμός επίδρασης της έκθεσης σε HM πεδία RF στον οργανισμό, εξετάστηκε και έρευνα συναφής με τις οδηγίες με αποτελέσματα μη οφειλόμενα σε HM πεδία RF. Για παράδειγμα, καθώς η έκθεση σε HM πεδία RF μπορεί να προκαλέσει θέρμανση στο

σώμα, και επειδή υπάρχει περιορισμένη έρευνα σε επίπεδα έκθεσης πολύ υψηλότερα από αυτά που επιτρέπονται σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP [13], εξετάστηκε επίσης βιβλιογραφία σχετική με την ανθρώπινη θερμική φυσιολογία. Αυτή η “μη-RF” βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον καθορισμό περιορισμών στις περιπτώσεις που ήταν πιο συντηρητική από τη βιβλιογραφία RF.

Η ICNIRP έλαβε υπόψη όλα τα πιθανά ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην υγεία και έθεσε περιορισμούς για την αποφυγή τους, ανεξάρτητα από τον μηχανισμό αλληλεπίδρασης με το σώμα. Τα χαμηλότερα επίπεδα έκθεσης που μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα υγείας οφείλονται σε θερμικούς μηχανισμούς, συνεπώς θεσπίστηκαν περιορισμοί με βάση τα θερμικά αποτελέσματα, καθώς αυτοί προστατεύουν έναντι άλλων αποτελεσμάτων που θα μπορούσαν να συμβούν σε υψηλότερα επίπεδα έκθεσης.

Οι οδηγίες της ICNIRP προστατεύουν από όλα τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην υγεία, ανεξάρτητα από το εάν εμφανίζονται αμέσως μετά την έκθεση ή χρειάζονται χρόνο για να αναπτυχθούν. Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις είναι συνήθως πιο δύσκολο να εκτιμηθούν από τις άμεσες επιπτώσεις και γενικά απαιτείται ένας συνδυασμός διαφορετικών τύπων μελετών για να καταλήξουν σε συμπεράσματα σχετικά με αυτές. Για παράδειγμα, για να προσδιοριστεί εάν η έκθεση σε ΗΜ πεδία RF μπορεί να προκαλέσει ή να προωθήσει την ανάπτυξη του καρκίνου, έχουν χρησιμοποιηθεί μελέτες ζώων σε όλη τη διάρκειά της ζωής τους, επειδή μπορούν να αποδείξουν την ύπαρξη αιτιώδους συνάφειας. Ωστόσο, καθώς οι άνθρωποι διαφέρουν σημαντικά από τα ζώα, η γενίκευση στον άνθρωπο μπορεί να είναι δύσκολη. Από την άλλη, αν και η διαπίστωση της αιτιώδους συνάφειας μπορεί να είναι δύσκολη στην επιδημιολογική έρευνα, δεδομένου ότι το αντικείμενο της μελέτης είναι πληθυσμός ατόμων, οι μελέτες περίπτωσης και ο σχεδιασμός προοπτικών μελετών είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία για την εξακρίβωση των σχέσεων μεταξύ των παρατηρούμενων αποτελεσμάτων ως προς τον καρκίνο και τη χρήση συσκευών έκθεσης σε ΗΜ πεδία RF. Μελέτες επίπτωσης καρκίνου έχουν επίσης αποδειχθεί χρήσιμες τόσο όσον αφορά την επιτήρηση του καρκίνου όσο και τον έλεγχο εάν οι ισχυρισμοί ότι τα ΗΜ πεδία RF προκαλούν καρκίνο είναι συνεπείς με παρατηρήσεις στον πραγματικό κόσμο. Έτσι, παρόλο που ένας συγκεκριμένος τύπος μελέτης δεν επαρκεί για να προσδιοριστεί εάν η μακροχρόνια έκθεση σε ΗΜ πεδία RF έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, η επιστήμη, χρησιμοποιώντας πολλαπλούς τύπους μελέτης για να ξεπεράσει τους περιορισμούς καθεμιάς ξεχωριστά, έχει καταλήξει σε σημαντικά συμπεράσματα για την μακροπρόθεσμη έκθεση σε ΗΜ πεδία RF.

Οι οδηγίες της ICNIRP ενσωματώνουν μια σειρά μέτρων για να εξασφαλίσουν ότι όλα ανεξαιρέτως τα άτομα προστατεύονται από την έκθεση σε ΗΜ πεδία RF. Ένα από αυτά, είναι η χρήση των παραγόντων μείωσης, που εξασφαλίζουν ότι οι περιορισμοί είναι πολύ χαμηλότεροι από τα επίπεδα που απαιτούνται για την πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία για όλα τα άτομα. Για παράδειγμα, ο κύριος τύπος έκθεσης που σχετίζεται με τις φυσιολογικές διαφορές μεταξύ διαφορετικών ατόμων είναι η ολόσωμη έκθεση, η οποία, σε υψηλά επίπεδα, μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος σε σημείο ώστε το καρδιαγγειακό σύστημα να μη μπορεί να ανταποκριθεί. Για το αποτέλεσμα αυτό, έχει χρησιμοποιηθεί ένας συντελεστής μείωσης 50 για το ευρύ κοινό, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα έκθεση πολύ χαμηλή για να προκαλέσει ανιχνεύσιμη αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, και έτσι προστατεύονται όλες οι ομάδες πληθυσμού. Επιπλέον, κατά τον προσδιορισμό του μεγέθους έκθεσης που απαιτείται για την πρόκληση δυνητικά επιβλαβούς αύξησης της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, αξιολογούνται διαφορετικά σχήματα του σώματος, καθώς το σχήμα είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας για την αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος, και, στη συνέχεια, χρησιμοποιείται η πιο συντηρητική τιμή για όλες τις ομάδες. Στην περίπτωση αυτή, έχει αποδειχθεί ότι η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος κατά την ολόσωμη έκθεση αυξάνεται περισσότερο σε ενήλικες παρά σε παιδιά, και έτσι, οι τιμές έκθεσης των ενηλίκων έχουν χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό των γενικών περιορισμών (γεγονός που καθιστά τις οδηγίες ακόμη πιο συντηρητικές για τα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες).

Οι νέες οδηγίες προστατεύουν από όλες τις πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία που σχετίζονται με την έκθεση σε ΗΜ πεδία από τεχνολογίες 5G. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι οδηγίες της ICNIRP [13] παρέχουν, επίσης, προστασία για τεχνολογίες 5G, εάν αυτές παράγουν τα επίπεδα έκθεσης που έχουν προβλεφθεί μέχρι σήμερα. Αυτά προβλέπεται να είναι παρόμοια με τα επίπεδα έκθεσης από προηγούμενες τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών (π.χ. 4G). Ωστόσο, οι νέες οδηγίες της ICNIRP (2020) έχουν ενσωματώσει αλλαγές που δεν βασίζονται σε τέτοιες παραδοχές και που διασφαλίζουν ότι η έκθεση σε ΗΜ πεδία από τεχνολογίες 5G δεν θα μπορεί να είναι επιβλαβής. Αυτές οι αλλαγές περιλαμβάνουν την προσθήκη περιορισμών για ολόσωμη έκθεση σε συχνότητες  $> 6$  GHz, περιορισμούς για σύντομη έκθεση ( $< 6$  λεπτά) σε συχνότητες  $> 400$  MHz, και μείωση της περιοχής που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέσης τιμής της έκθεσης σε συχνότητες  $> 6$  GHz (που οδηγεί σε μείωση της μέγιστης επιτρεπτής έκθεσης ενός ατόμου). Επιπλέον, περιλαμβάνουν πρόσθετα μέσα αξιολόγησης της συμμόρφωσης και λεπτομερέστερη περιγραφή του τρόπου

αξιολόγησης πολύπλοκων σεναρίων έκθεσης. Οι νέες οδηγίες καλύπτουν όλες τις υφιστάμενες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G, 4G και 5G, καθώς και τις μελλοντικές συχνότητες που θα αποδοθούν στα δίκτυα 5G. Οι οδηγίες του 1998 παρέχουν προστασία για τις τρέχουσες εμπορικές εφαρμογές, ενώ οι νέες οδηγίες του 2020 παρέχουν λεπτομερέστερη καθοδήγηση για συχνότητες μεγαλύτερες των 6 GHz.

Στις νέες οδηγίες έχουν εισαχθεί νέα επίπεδα αναφοράς για προστασία από τις επιπτώσεις της τοπικής θέρμανσης. Τα όρια για την μακροπρόθεσμη ολόσωμη έκθεση (whole body) παραμένουν αμετάβλητα για συχνότητες άνω των 400 MHz, ενώ η χρήση του ολόσωμου SAR επεκτείνεται έως τη συχνότητα των 300 GHz. Οι συντελεστές μείωσης των ορίων ολόσωμης έκθεσης παραμένουν αμετάβλητοι: συντελεστής μείωσης ίσος με 10 για τους εργαζόμενους και ίσος με 50 για τον γενικό πληθυσμό (πρακτικά παραμένουν ίδιοι με την οδηγία του 1998). Σε αποστάσεις που αντιστοιχούν στο εγγύς (αντιδραστικό) πεδίο μιας πηγής, η έκθεση θα πρέπει να συμμορφώνεται με τους βασικούς περιορισμούς (μέτρηση/υπολογισμός του SAR), στις υπόλοιπες περιπτώσεις (μακρινό πεδίο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα επίπεδα αναφοράς για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης (μέτρηση E, H ή S). Το μέγεθος της απορροφούμενης πυκνότητας ισχύος (Sab) αντικαθιστά τον τοπικό ρυθμό ειδικής απορρόφησης (SAR) και την πυκνότητα ροής ισχύος (S) στον προσδιορισμό των βασικών περιορισμών για έκθεση σε συχνότητα άνω των 6 GHz. Με βάση τη νέα οδηγία, ο βασικός περιορισμός για τον ολόσωμο ρυθμό ειδικής απορρόφησης (SAR) υπολογίζεται μετρώντας την H/M ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για χρονικό διάστημα 30 min (αντί 6 min σύμφωνα με την οδηγία του 1998). Για τοπική έκθεση σε συχνότητες άνω των 6 GHz, το όριο της πυκνότητας ισχύος αυξάνεται (τα όρια γίνονται ελαστικότερα σε σχέση με την οδηγία του 1998) στην τιμή των 100 W/m<sup>2</sup> για επαγγελματική έκθεση και των 20 W/m<sup>2</sup> για τον γενικό πληθυσμό. Η τοπική έκθεση αφορά σε μέση χρονική τιμή της πυκνότητας ισχύος σε χρονικό διάστημα 6 min. Τέλος σχετικά με τα επίπεδα αναφοράς για ολόσωμη έκθεση, δεν υπάρχουν διαφορές στα όρια για συχνότητες κινητής τηλεφωνίας σε σχέση με την οδηγία του 1998. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα όρια έκθεσης σε H/M ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.



**Πίνακας 6** - Βασικοί περιορισμοί για έκθεση σε Η/Μ πεδία (100 kHz – 300 GHz).

Σενάριο Έκθεσης	Ζώνη Συχνοτήτων	Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης για όλο το σώμα [W/kg]	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (κεφάλι και κορμός) [W/kg]	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (άκρα) [W/kg]	Τοπική Πυκνότητα Ισχύος [W/m <sup>2</sup> ]
Επαγγελματική έκθεση	100 kHz – 6 GHz	0.4	10	20	n/a
	6 – 300 GHz	0.4	n/a	n/a	100
Γενικός πληθυσμός	100 kHz – 6 GHz	0.08	2	4	n/a
	6 – 300 GHz	0.08	n/a	n/a	20

**Πίνακας 7** - Επίπεδα αναφοράς υπολογιζόμενα ως μέση χρονική τιμή σε διάστημα 30 min σε ολόκληρο το σώμα, για έκθεση σε Η/Μ πεδία (100 kHz – 300 GHz).

Σενάριο Έκθεσης	Ζώνη Συχνοτήτων	Προσπίπτουσα Ένταση ηλεκτρικού πεδίου - E <sub>inc</sub> [V/m]	Προσπίπτουσα Ένταση μαγνητικού πεδίου - H <sub>inc</sub> [A/m]	Προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος - S <sub>inc</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
Επαγγελματική Έκθεση	0.1 – 30 MHz	$660/f^{0.7}$	$4.9/f$	n/a
	30 – 400 MHz	61	0.16	10
	400 MHz – 2000 MHz	$3 \cdot f^{0.5}$	$0.008 \cdot f^{0.5}$	$f/40$
	2 GHz – 300 GHz	n/a	n/a	50
Γενικός Πληθυσμός	0.1 – 30 MHz	$300/f^{0.7}$	$2.2/f$	n/a
	30 – 400 MHz	27.7	0.073	2
	400 MHz – 2000 MHz	$1.375 \cdot f^{0.5}$	$0.0037 \cdot f^{0.5}$	$f/200$
	2 GHz – 300 GHz	n/a	n/a	10

**Πίνακας 8** - Επίπεδα αναφοράς ως μέση χρονική τιμή σε διάστημα 6 min, για τοπική έκθεση σε Η/Μ πεδία (100 kHz – 300 GHz).

Σενάριο Έκθεσης	Ζώνη Συχνοτήτων	Προσπίπτουσα Ένταση ηλεκτρικού πεδίου - $E_{inc}$ [V/m]	Προσπίπτουσα Ένταση μαγνητικού πεδίου - $H_{inc}$ [A/m]	Προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος - $S_{inc}$ [W/m <sup>2</sup> ]
Επαγγελματική Έκθεση	0.1 – 30 MHz	$1504/f_M^{0.7}$	$10.8/f_M$	n/a
	>30 – 400 MHz	139	0.36	50
	>400 MHz – 2000 MHz	$10.58 \cdot f_M^{0.43}$	$0.0274 \cdot f_M^{0.43}$	$0.29 \cdot f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	n/a	n/a	200
	>6 – <300 GHz	n/a	n/a	$275/f_G^{0.177}$
	300 GHz	n/a	n/a	100
Γενικός Πληθυσμός	0.1 – 30 MHz	$671/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	n/a
	>30 – 400 MHz	62	0.163	10
	>400 MHz – 2000 MHz	$4.72 \cdot f_M^{0.43}$	$0.0123 \cdot f_M^{0.43}$	$0.058/f_G^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	n/a	n/a	40
	>6 – <300 GHz	n/a	n/a	$55/f_G^{0.177}$
	300 GHz	n/a	n/a	20

## 2.4.1 Όρια έκθεσης στην Ελλάδα

Η εισαγωγή στην Ελληνική Νομοθεσία των ορίων που έχουν προταθεί από τις κατευθυντήριες οδηγίες της ICNIRP και τις συστάσεις/οδηγίες του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την έκθεση του κοινού σε ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και τον ορισμό μηχανισμών ελέγχου για τα επίπεδα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που εκπέμπεται από τους σταθμούς κεραιών όλων των ειδών διέπεται από τις παρακάτω ρυθμίσεις:

- τα άρθρα 2-4 της υπ' αριθμ. 53571/3839 Κ.Υ.Α. (ΦΕΚ 1105/Β/06-09-2000), όπου λαμβάνεται υπόψη η σύσταση 1999/519/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κατ' επέκταση οι κατευθυντήριες οδηγίες της ICNIRP του 1998, σχετικά με τα όρια για τους βασικούς περιορισμούς και τα επίπεδα αναφοράς,
- το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμ. 120, (ΦΕΚ 203/Α/26/10/2016), για την εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία 2013/35/ΕΕ, «περί των ελαχίστων απαιτήσεων υγείας και ασφάλειας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρομαγνητικά πεδία)»,
- την υπ' αριθ. 2300 ΕΦΑ (493) Κ.Υ.Α. με θέμα “Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από κάθε κεραία” (ΦΕΚ 346/Β/03-03-2008),

- το άρθρο 35 του Ν. 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019), όπου υιοθετούνται συντελεστές μείωσης (κατά 30-40%) των ορίων που έχουν τεθεί σύμφωνα με την σύσταση 1999/519/EC του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σύμφωνα με την τελευταία νομοθεσία, τα Ελληνικά όρια για την έκθεση του γενικού πληθυσμού τίθενται στο 0.7 των ορίων του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (μείωση κατά 30%) για όλους τους χώρους γύρω από εγκατεστημένη κεραία που είναι προσπελάσιμοι στο κοινό και στο 0.6 των ορίων του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (μείωση κατά 40%) για τους σταθμούς κεραιών που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων από την περίμετρο των κτιριακών εγκαταστάσεων σχολείων, βρεφονηπιακών σταθμών, νοσοκομείων και γηροκομείων. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι συντελεστές μείωσης 0.7 και 0.6 εφαρμόζονται στην ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος του Η/Μ κύματος. Τα όρια για τον γενικό πληθυσμό, σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, παρουσιάζονται στους Πίνακες που ακολουθούν. Στον πίνακα 9 παρατίθενται τα επίπεδα αναφοράς Η/Μ πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 0.7, όπως ορίζεται στο άρθρο 35 του Νόμου 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019), στα όρια έκθεσης τα οποία αναφέρονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ.

**Πίνακας 9** - Επίπεδα αναφοράς Η/Μ πεδίων με συντελεστή μείωσης 0.7.

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου $E_{or,i}$ (V/m)	Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επίπεδου Κύματος $S_{eq}$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>100 kHz - 10 MHz</b>	$72.8/\sqrt{f}$	-
<b>10 - 400 MHz</b>	23.4	1.4
<b>400 - 2000 MHz</b>	$1.15\sqrt{f}$	$f/286$
<b>2 - 300 GHz</b>	51	7

Αντίστοιχα στον Πίνακα 10 παρατίθενται τα επίπεδα αναφοράς Η/Μ πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz – 300 GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 0.6, όπως ορίζεται στο άρθρο 35 του Νόμου 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019), στα όρια έκθεσης τα οποία αναφέρονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ (αναφέρονται σε ευαίσθητες περιοχές όπως σχολεία, νοσοκομεία, δημόσια κτήρια).

**Πίνακας 10** - Επίπεδα αναφοράς Η/Μ πεδίων με συντελεστή μείωσης 0.6.

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου $E_{\text{ref},i}$ (V/m)	Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επίπεδου Κύματος $S_{\text{eq}}$ (W/m <sup>2</sup> )
100 kHz – 10 MHz	$67.3/\sqrt{f}$	-
10 – 400 MHz	21.7	1.2
400 – 2000 MHz	$1.065\sqrt{f}$	$f/333$
2 – 300 GHz	47.2	6

Όσον αφορά στις τερματικές συσκευές, μετά την εφαρμογή συντελεστών μείωσης 0.7 και 0.6 στα όρια της ICNIRP 1998, για τον Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης (SAR), προκύπτουν τα όρια που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 11** - Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR).

	SAR (μέση τιμή για όλο το σώμα και για διάστημα μέτρησης 6 λεπτών) [W/kg]	SAR (μέση τιμή για 10 gr ιστού διαφορετικού από τα άκρα και για διάστημα μέτρησης 6 λεπτών) [W/kg]	SAR (μέση τιμή για 10 gr ιστού στα άκρα και για διάστημα μέτρησης 6 λεπτών) [W/kg]
Γενικός Πληθυσμός	0.056 (0.048)	1.4 (1.2)	2.8 (2.4)
Εργαζόμενοι	0.28 (0.24)	7 (6)	14 (12)

Για τον υπολογισμό της κατανομής του Η/Μ πεδίου που προκαλείται εντός του σώματος από μια πηγή Η/Μ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, όπως ένα κινητό τηλέφωνο, απαιτείται η γνώση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των διαφόρων τύπων ιστού. Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές ιδιότητες του εγκεφαλικού ιστού, του κρανίου και του μυϊκού ιστού για δύο διαφορετικές συχνότητες εκπομπής κινητής τηλεφωνίας, και υπολογίζεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στα όρια 1.4 και 1.2 W/kg, για αυτούς τους ιστούς. Για παράδειγμα, στον ανθρώπινο εγκέφαλο η τυπική τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που απαιτείται

για να δημιουργηθεί SAR ίσο με 1.2 W/kg είναι περίπου 40 V/m για συχνότητα 900 MHz. Αντίστοιχα, για συχνότητα 1750 MHz, λόγω της μεγαλύτερης τιμής της αγωγιμότητας, απαιτείται ηλεκτρικό πεδίο περίπου 33 V/m.

**Πίνακας 12** - Ηλεκτρικές ιδιότητες ιστών σε συχνότητες εκπομπής κινητής τηλεφωνίας 900 και 1750 MHz.

	Εγκέφαλος		Κρανίο		Μύες	
	900 MHz	1750 MHz	900 MHz	1750 MHz	900 MHz	1750 MHz
Σχ. διηλεκτρική σταθερά, $\epsilon_r$	45.80	43.63	16.62	15.61	55.96	54.31
Αγωγιμότητα, $\sigma$ [S/m]	0.77	1.13	0.24	0.42	0.97	1.36
Πυκνότητα, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1030	1030	1850	1850	1040	1040
Απαιτούμενη Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου για SAR=1.4 W/kg	43	36	104	79	39	33
Απαιτούμενη Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου για SAR=1.2 W/kg	40	33	96	73	36	30

### 2.5.1 Κινητή τηλεφωνία

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 1ης γενιάς (1G) ήταν αναλογικής τεχνολογίας με αποκλειστική εφαρμογή στην πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων. Τα δίκτυα 1G δεν παρείχαν ασφάλεια επικοινωνιών και τα σήματά τους ήταν ανιχνεύσιμα με σαρωτές συχνοτήτων. Τα πρώτα ψηφιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι τα δίκτυα 2G, τα οποία εκτός από υπηρεσίες φωνής, προσφέρουν την δυνατότητα αποστολής και λήψης δεδομένων. Το GSM είναι το δίκτυο με την μεγαλύτερη διεύθυνση παγκοσμίως και αναπτύχθηκε από το 1993 και στην Ελλάδα. Αρχικά για το GSM παραχωρήθηκε από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union – ITU) η ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Σήμερα για το GSM χρησιμοποιούνται οι ζώνες των 900, 1800, και 1900 MHz. Καθεμία από τις ζώνες χωρίζεται σε δύο υπο-ζώνες που περιλαμβάνουν την ανοδική ζεύξη (uplink) από την τερματική συσκευή στο σταθμό βάσης και την καθοδική ζεύξη (downlink) από τον σταθμό βάσης στην τερματική συσκευή. Κάθε υπο-ζώνη χωρίζεται σε κανάλια εύρους 200 kHz τα οποία είναι διαθέσιμα σε αυστηρά καθορισμένες χρονοθυρίδες (Timeslot) για τον κάθε χρήστη [11].

Το σύστημα GSM αποτέλεσε τη βάση για τη μετάβαση από την 2η στην 3η γενιά (3G) κινητής τηλεφωνίας. Βασικό χαρακτηριστικό της μετάβασης ήταν η ομαλή εξέλιξη από την μεταγωγή κυκλωμάτων στην μεταγωγή πακέτων. Η απόδοση του GSM στη μεταφορά δεδομένων βελτιώθηκε με τη χρήση του συστήματος HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) που επιτρέπει στο χρήστη να καταλαμβάνει το κανάλι για περισσότερες από μία χρονοθυρίδες.

Η εξέλιξη των δικτύων πέραν της 3ης γενιάς καθοδηγήθηκε από το στόχο της υποστήριξης ρυθμών μετάδοσης της τάξης του 1 Gbps για σταθερούς χρήστες ή μικρές ταχύτητες κίνησης, και ταχύτητες μέχρι και 100 Mbps για χρήστες σε αυτοκίνητα και τραίνα. Αφετηρία για την ανάπτυξή τους αποτέλεσαν τα δίκτυα WiMAX και HSPA & HSPA+ (High Speed Packet Access) και στη συνέχεια η τεχνολογία Long Term Evolution (LTE) που οδήγησε πιο κοντά στην εξέλιξη των δικτύων 4ης γενιάς (4G). Τα συστήματα 3.5G (ή pre-4G) βασίζονται στην τεχνολογία HSPA & HSPA+, που χρησιμοποιεί την πολλαπλή πρόσβαση WCDMA. Ειδικότερα, η τεχνολογία HSPA+ μπορεί να υποστηρίζει πειραματικά ρυθμούς μέχρι 336 Mbps στην καθοδική ζεύξη (downlink) και 22 Mbps στην ανοδική ζεύξη (uplink), όπου χρησιμοποιείται ανάλογα διαμόρφωση BPSK ή QPSK. Αυτή η υψηλή τιμή του ρυθμού μετάδοσης υλοποιείται με τον συνδυασμό διαμόρφωσης 64QAM και χρήση τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών (Multiple-Input-Multiple-Output, MIMO)[20].

Τα δίκτυα 4G χαρακτηρίζονται από την ποιότητα των υπηρεσιών και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να φτάνει μέχρι 1 Gbps. Η βελτίωση της απόδοσης και του ρυθμού μετάδοσης της τεχνολογίας LTE οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις τεχνικές που αναπτύσσονται με τη χρήση πολλαπλών κεραιών (MIMO) στον πομπό ή/και στον δέκτη. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί στα συστήματα MIMO είναι είτε διαμόρφωσης δέσμης (beamforming), ή απλές τεχνικές διαφορισμού (diversity), ή τεχνικές χώρο-χρονικής κωδικοποίησης διαφορισμού (space-time diversity coding), ή τεχνικές χωρικής πολυπλεξίας (spatial multiplexing). Τα άμεσα οφέλη είναι η αύξηση του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης, η βελτίωση της ποιότητας ραδιοκάλυψης και της αξιοπιστίας της μετάδοσης ιδιαίτερα στα άκρα των κυψελών, καθώς και η αύξηση της μέσης διεκπεραιωτικότητας (throughput) ανά κυψέλη.

Τα δίκτυα 5ης γενιάς (5G) άρχισαν να ερευνώνται σε παγκόσμιο επίπεδο κυρίως από τα τέλη του 2014 με ορίζοντα υλοποίησης των πρώτων δικτύων το 2020. Η τεχνολογία για την υλοποίησή τους προβλέπεται να ακολουθήσει την διαδικασία των προηγούμενων γενιών. Τα δίκτυα 5G θα λειτουργούν αρχικά σε συνδυασμό με τα δίκτυα 4G πριν εξελιχθούν σε αυτόνομα δίκτυα. Σύμφωνα με το United Kingdom Accreditation Service [21], στόχος των δικτύων 5G είναι να παρέχουν :

- Ταχύτερες συνδέσεις (μέσος ρυθμός μετάδοσης 300-500 Mbps με μέγιστο πάνω από 10 Gbps),
- Γρήγορο χρόνο απόκρισης (latency), μικρότερο από 1 ms (ενδεικτικά, οι αντίστοιχοι χρόνοι για τα δίκτυα 3G και 4G είναι 100 και 30 ms),
- Σημαντική (1000 φορές) μείωση κατανάλωσης ενέργειας,
- Τρισδιάστατη κάλυψη (3D) που αγγίζει το 100%,
- Υψηλότερη ασφάλεια επικοινωνίας,
- Μεγάλη πυκνότητα συσκευών (ενίσχυση κατά 30 φορές).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επίτευξη ρυθμών μετάδοσης της τάξης των Gbps απαιτεί την εκμετάλλευση από τον χρήστη διαύλων (καναλιών) μεγάλου εύρους ζώνης, συνεπώς απαιτείται η απόδοση φάσματος στην περιοχή των GHz και αποστάσεις μικρές με πυκνά δίκτυα (λόγω μεγάλης εξασθένησης των Η/Μ κυμάτων στις συχνότητες αυτές). Τα δίκτυα 5G για την ευρύτερη κάλυψη περιοχών (ύπαιθρος, αγροτικές περιοχές κ.λπ.) θα χρησιμοποιήσουν ζώνες συχνοτήτων μικρότερες από 3 GHz. Όμως για την υποστήριξη ταχυτήτων πάνω από 1 Gbps, τα δίκτυα 5G θα λειτουργούν επίσης σε χιλιοστομετρικές (>30 GHz) και υπο-χιλιοστομετρικές ζώνες συχνοτήτων (<30 GHz). Εκτός από τα χιλιοστομετρικά κύματα, αναμένεται να χρησιμοποιηθούν εκτενώς τεχνολογίες όπως η τεχνολογία MIMO, η υποστήριξη του

διαδικτύου των πραγμάτων/σύνδεση μηχανής με μηχανή (IoT/M2M), τα δίκτυα WiFi, οι εικονικές λειτουργίες δικτύου και η δικτύωση μέσω λογισμικού, τα δίκτυα επικεντρωμένα σε συσκευές και εφαρμογές, ο διαμερισμός του φάσματος και η απρόσκοπτη σύνδεση στο δίκτυο. Επιπλέον, για την ανάπτυξη των δικτύων 5G, θα υιοθετηθούν η τεχνολογία Massive MIMO (στοιχειοκεραίες με εξαιρετικά μεγάλο αριθμό στοιχείων), η τεχνική beamforming (διαμόρφωση δέσμης) και ο χειρισμός του διαγράμματος έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με προσαρμόσιμες κεραίες (adaptive antennas). Στα πλεονεκτήματα της χρήσης τεχνολογίας διαμόρφωσης δέσμης (beamforming) περιλαμβάνονται [22]:

- καλύτερη συνδεσιμότητα του χρήστη και χαμηλότερη καθυστέρηση,
- αυξημένη χωρητικότητα και διεκπεραιωτικότητα (throughput),
- βελτίωση της φασματικής απόδοσης (spectral efficiency) με καλύτερο σηματοθορυβικό λόγο SNR,
- καλύτερη κάλυψη στα όρια μιας κυψέλης,
- βελτίωση της ποιότητας του σήματος για τον χρήστη,
- κάλυψη, και σε περίπτωση μη-οπτικής επαφής του σταθμού με τον χρήστη, ενός κινητού τηλεφώνου.

Τα δίκτυα 5G έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν [21,23]:

- Εξελιγμένες εφαρμογές ιδεατής και επαυξημένης πραγματικότητας (virtual and augmented reality),
- Νέες υπηρεσίες (HD, 3D Video, Gaming, κοινωνικά δίκτυα, αυτο-οδηγούμενα οχήματα, κ.λπ.),
- Υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων ( $\times 100$ ) και χωρητικότητα ( $\times 1000$ ),
- Εφαρμογές σε οποιοδήποτε περιβάλλον (αυτοκίνητα, λεωφορεία, τρένα, αεροπλάνα, μετρό, κ.λπ.),
- Χρήση φάσματος  $> 3\text{GHz}$  (με έμφαση σε υπο-χιλιοστομετρικές και χιλιοστομετρικές ζώνες συχνοτήτων),
- Μαζική αύξηση (της τάξεως των 10-50 δισεκατομμυρίων) συνδεδεμένων συσκευών M2M και IoT,
- Εργασία σε cloud μέσω συστημάτων κινητής τηλεφωνίας.

Σήμερα, στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κυρίως δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (/4G+/5G), τα οποία έχουν αναπτυχθεί σε ολόκληρη την επικράτεια. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα αυτά αναφέρθηκαν εκτενώς παραπάνω. Τον Δεκέμβριο του 2019 ολοκληρώθηκε η



δημοπρασία φάσματος από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ), για την απόδοση νέων περιοχών που περιλαμβάνουν τις ζώνες συχνοτήτων 700 MHz, 2000 MHz, 3400-3800 MHz και 26 GHz, με στόχο την ανάπτυξη δικτύων 5G. Στον Πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι συχνότητες λειτουργίας των υφιστάμενων δικτύων και μελλοντικών δικτύων στην Ελλάδα.

**Πίνακας 13** - Συχνότητες λειτουργίας υφιστάμενων και μελλοντικών δικτύων κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα [25].

Χρήση Συχνοτήτων Κινητής Τηλεφωνίας [MHz]	Τεχνολογία
700	5G
800	LTE (4G+)
900	GSM (3G, E, H+, 4G)
1800	GSM (3G, E, H+, 4G)
2000	5G
2100	UMTS (E, H+, 4G)
2600	LTE (4G+)
3400-3800	5G
26000	5G

Στα δίκτυα 4G, ο τρόπος εκπομπής των κινητών τηλεφώνων είναι παρόμοιος με αυτόν των δικτύων 3G ο οποίος αναφέρθηκε παραπάνω. Η πλήρης ανάπτυξη των δικτύων 4G προβλέπει υλοποίησή τους με τη μορφή πολύ μικρών κυψελών (picocells), με αποτέλεσμα οι σταθμοί βάσης να έχουν πολύ χαμηλή ισχύ εκπομπής και σχετικά πυκνή κάλυψη. Έτσι η μέση ισχύς εκπομπής των κινητών τηλεφώνων διατηρείται ίσως και σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτή των δικτύων 3G.

Στα δίκτυα 5G, ο τρόπος εκπομπής των κινητών τηλεφώνων θα είναι παρόμοιος, μόνο που πλέον οι συσκευές θα φέρουν ενσωματωμένες στοιχειοκεραίες με στόχο την κατεύθυνση της δέσμης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προς την αντίστοιχη δέσμη του σταθμού βάσης για την επίτευξη υψηλής ποιότητας επικοινωνίας και υψηλών ρυθμών μετάδοσης. Επειδή τα δίκτυα 5G θα αναπτυχθούν και αυτά με τη μορφή picocells (ή ακόμα μικρότερου μεγέθους κυψέλες), η πυκνότητα των σταθμών βάσης θα είναι αυξημένη αλλά με πολύ χαμηλότερη ισχύ εκπομπής. Έτσι η μέση ισχύς εκπομπής των κινητών τηλεφώνων θα διατηρείται και σε αυτή την περίπτωση σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

## 2.5.2 Εκπομπές από Σταθμούς Βάσης Κινητής Τηλεφωνίας

Οι σταθμοί βάσης σε περιοχές με χαμηλή χρήση (μικρός αριθμός χρηστών ανά  $\text{km}^2$ ) κινητών τηλεφώνων (αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές) έχουν μόνο έναν πομπό συνδεδεμένο με τις κεραίες τους. Αντίθετα, οι σταθμοί βάσης σε πολυσύχναστες περιοχές (μεγάλα αστικά κέντρα και προάστια), με μεγάλο αριθμό χρηστών, συνήθως έχουν περισσότερους πομπούς, οι οποίοι συνδέονται με τις κεραίες τους επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση σε διαφορετικές συχνότητες και την εξασφάλιση επικοινωνίας με μεγάλο αριθμό κινητών τηλεφώνων ικανοποιώντας αυξημένες ανάγκες υπηρεσιών (φωνή, δεδομένα κ.λπ.). Η ισχύς εκπομπής κάθε πομπού του σταθμού βάσης ρυθμίζεται ώστε να επιτρέπει τη χρήση των κινητών τηλεφώνων μέσα στην περιοχή την οποία καλύπτει ο σταθμός βάσης και όχι εκτός της περιοχής αυτής (διαφορετικά μπορεί να προκύψουν φαινόμενα παρεμβολών σε γειτονικές κυψέλες). Ωστόσο, για την κάλυψη μεγαλύτερων κυψελών ή κυψελών σε περιοχές με δύσκολο ανάγλυφο εδάφους απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα ισχύος. Η τυπική μέγιστη ισχύς για έναν πομπό μακροκυψέλης κυμαίνεται από 5 έως 10 W, όμως η συνολική ισχύς η οποία εκπέμπεται από μια κεραία μπορεί να ανέλθει σε 40 W στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχουν περισσότεροι πομποί. Για έναν σταθμό βάσης χαμηλής χωρητικότητας ο οποίος διαθέτει έναν μόνο πομπό, η εκπεμπόμενη ισχύς δεν μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο ή με τον αριθμό χρηστών. Στους σταθμούς βάσης με μεγαλύτερη χωρητικότητα, οι οποίοι διαθέτουν περισσότερους πομπούς, η ισχύς εξόδου μεταβάλλεται με το χρόνο και με το πλήθος των τηλεφωνικών κλήσεων οι οποίες εξυπηρετούνται. Για παράδειγμα, ένας πομπός μπορεί να εκπέμπει συνεχώς με την μέγιστη ισχύ, ενώ οι άλλοι μπορεί να λειτουργούν περιοδικά μεταβάλλοντας την ισχύ τους μέχρι ένα μέγιστο επίπεδο. Οι μικροκυψελωτοί σταθμοί βάσης συνήθως λειτουργούν σε επίπεδα ισχύος μεταξύ 1 και 2 W (ανά κεραία) ενώ έχουν μικρότερο αριθμό πομπών λόγω και της μικρότερης ακτίνας κάλυψης. Σε σύγκριση με άλλους πομπούς, όπως για παράδειγμα τους ραδιοτηλεοπτικούς πομπούς, τα επίπεδα ακτινοβολούμενης ισχύος είναι σημαντικά χαμηλότερα. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα τυπικά επίπεδα ισχύος για τη λειτουργία των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας συγκριτικά με τα αντίστοιχα των ραδιοτηλεοπτικών πομπών.

**Πίνακας 14** - Τυπικά επίπεδα ισχύος για τη λειτουργία των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας συγκριτικά με τα αντίστοιχα των ραδιοηλεκτρονικών αναμεταδοτών [24].

Τυπικά επίπεδα ισχύος σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας (ανά κεραία)	Ενδεικτική Ισχύς Εκπομπής (Watt)
Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας σε αγροτικό περιβάλλον	40
Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας σε αστικό περιβάλλον	10
Κεραίες ασύρματων δικτύων εσωτερικού χώρου (WiFi)	0.1
Μεγάλοι τηλεοπτικοί αναμεταδότες (UHF)	40000
Μεγάλοι ραδιοηλεκτρονικοί αναμεταδότες (VHF)	2000

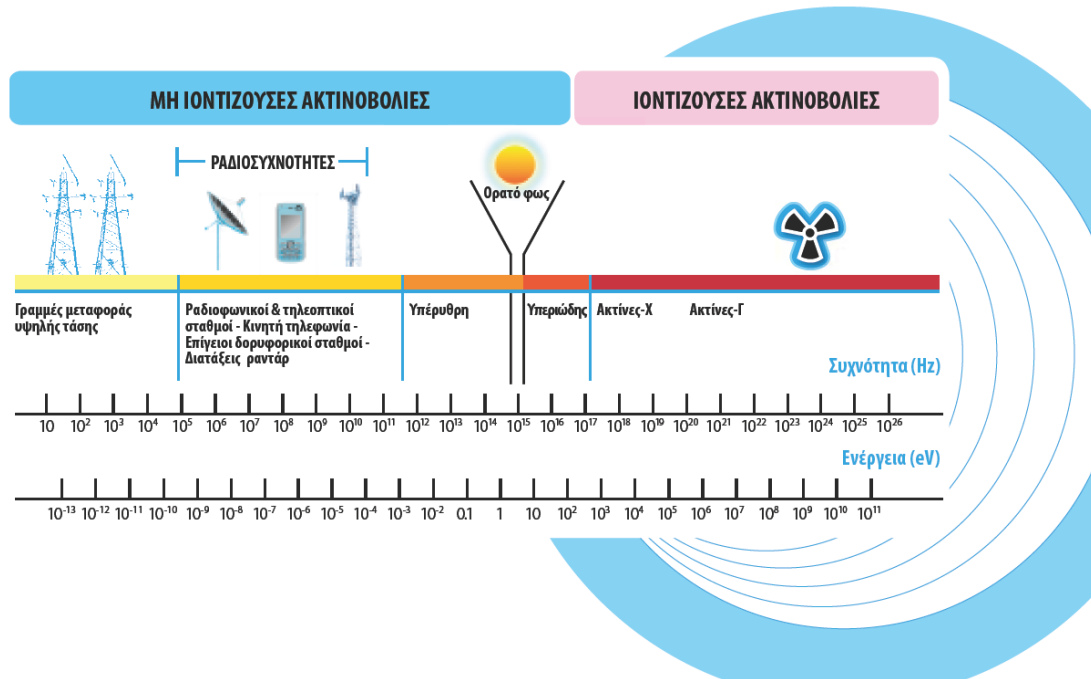
Η αύξηση του πλήθους των σταθμών βάσης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μέσης απόστασης από το χρήστη. Επιπλέον, το κινητό τηλέφωνο είναι σχεδιασμένο ώστε να λειτουργεί σε διάφορα επίπεδα ισχύος και να χρησιμοποιεί μόνο την εκπεμπόμενη ισχύ που είναι απαραίτητη για την επικοινωνία με το δίκτυο εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη ποιότητα ραδιοεπικοινωνίας με το σταθμό βάσης. Όσο εγγύτερα βρίσκεται ο χρήστης του κινητού τηλεφώνου στο σταθμό βάσης τόσο χαμηλότερη είναι η ισχύς εκπομπής του τηλεφώνου του. Η μείωση της ισχύος εκπομπής του κινητού τηλεφώνου, οδηγεί σε μείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργεί η συσκευή στην κεφαλή του χρήστη. Συνεπώς, η πυκνωση του δικτύου σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της εκπεμπόμενης ισχύος από τα κινητά τηλέφωνα, αφού στην περίπτωση αυτή, γίνεται εκπομπή της ελάχιστης δυνατής ισχύος για τη λειτουργία της συσκευής.

Κοντά στις κεραίες ορισμένων σταθμών βάσης, η πυκνότητα ισχύος ενδέχεται να υπερβεί τα επίπεδα ισχύος τα οποία προτείνονται από διεθνείς Οργανισμούς για τον περιορισμό της ανθρώπινης έκθεσης σε Η/Μ πεδία ραδιοσυχνοτήτων. Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας είναι υποχρεωμένες βάσει νόμου να εκπονούν μελέτες ραδιοεκπομπών για κάθε σταθμό βάσης, σύμφωνα με τα τεχνικά πρότυπα της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), η οποία και γνωμοδοτεί επί της μελέτης αυτής. Συγκεκριμένα, οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας πρέπει να υπολογίζουν τα επίπεδα έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε διάφορες διευθύνσεις γύρω από τις κεραίες τους, με σκοπό τον καθορισμό της ελάχιστης απόστασης από την κεραία, πέρα από την οποία δεν προκύπτει υπέρβαση των επιπέδων ισχύος, με βάση τις διεθνείς οδηγίες. Ο καθορισμός των περιοχών αυτών πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε μη-εξουσιοδοτημένα άτομα να μην έχουν την δυνατότητα να εισέλθουν σε περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως ζώνες περιορισμένης πρόσβασης. Οι ζώνες περιορισμένης πρόσβασης σημαίνονται κατάλληλα και λαμβάνονται προληπτικά μέτρα για την παρεμπόδιση της εισόδου σε αυτές, π.χ. με την τοποθέτηση φυσικών εμποδίων.

### 2.5.3 Ιοντίζουσα και Μη Ιοντίζουσα Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

Οι ακτινοβολίες μπορεί να διακριθούν σε ιοντίζουσες και μη-ιοντίζουσες. Ως ιοντίζουσες χαρακτηρίζονται οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό (π.χ. ακτίνες X, α, β, γ). Ως μη-ιοντίζουσες χαρακτηρίζονται οι ακτινοβολίες σε συχνότητες που μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, μη ικανή να προκαλέσει ιοντισμό, ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό, που μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία του. Στις ακτινοβολίες αυτές περιλαμβάνονται:

- τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία
- τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας,
- τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών (π.χ. σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας), καθώς και από κεραίες ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, συστήματα ραντάρ κ.ά.
- η υπεριώδης ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
- η ορατή ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
- η υπέρυθη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου



Εικόνα 6 - Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Διαχωρισμός σε Ιοντίζουσες και μη Ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

Η φύση των βιολογικών επιδράσεων της μη-ιοντίζουσας έντασης του ηλεκτρικού πεδίου διαφέρει ουσιαστικά από αυτή της ιοντίζουσας. Είναι σημαντικό να γίνεται ο διαχωρισμός, γιατί μόνο έτσι οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι που σχετίζονται με την έκθεση σε Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (μη-ιοντίζουσα) μπορούν να τοποθετηθούν σε ορθό επιστημονικό πλαίσιο και να μη συγχέονται με τους κινδύνους από την έκθεση σε ιοντίζουσα ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

Τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του. Ηλεκτρικά ρεύματα υπάρχουν στο ανθρώπινο σώμα και είναι απαραίτητα για τις φυσιολογικές σωματικές λειτουργίες. Όλες οι δομές του νευρικού συστήματος λειτουργούν μέσω ηλεκτρικών σημάτων. Οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις, από εκείνες που σχετίζονται με την πέψη μέχρι εκείνες που σχετίζονται με την εγκεφαλική λειτουργία, περιλαμβάνουν ηλεκτρικές διεργασίες.

Οι βιολογικές επιπτώσεις λόγω έκθεσης του ανθρώπινου σώματος και των κυττάρων του σε εξωτερικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων εξαρτώνται κυρίως από τη συχνότητα και την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Στις ραδιοσυχνότητες, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου απορροφάται μερικώς και διεισδύει μόνο σε μικρό βάθος μέσα στο σώμα. Η ενέργεια που απορροφάται προκαλεί την κίνηση των βιολογικών μορίων. Οι συγκρούσεις μεταξύ των ταχέως κινουμένων μορίων έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Δύο όργανα

του σώματος, τα μάτια και οι όρχεις, είναι ιδιαίτερος ευπαθή στη θέρμανση με πεδία ραδιοσυχνοτήτων διότι χαρακτηρίζονται από χαμηλή αιματική κυκλοφορία και, κατά συνέπεια, ανεπαρκή απαγωγή της αυξημένης θερμότητας. Τα επίπεδα των πεδίων ραδιοσυχνοτήτων, στα οποία συνήθως εκτίθεται το κοινό κατά την καθημερινή δραστηριότητά του είναι πολύ ασθενέστερα σε σχέση με αυτά που είναι ικανά να προκαλέσουν αξιοσημείωτη τοπική θέρμανση ή αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος.

Εκτός από τα γνωστά θερμικά αποτελέσματα, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τη διερεύνηση και άλλων, μη θερμικών, μηχανισμών αλληλεπίδρασης των Η/Μ πεδίων ραδιοσυχνοτήτων με τους βιολογικούς ιστούς. Μελέτες έχουν δείξει ότι υπό συγκεκριμένες συνθήκες τα πεδία μπορούν να προκαλέσουν μη θερμικές βιολογικές επιπτώσεις σε καλλιέργειες κυττάρων ή πειραματόζωα, χωρίς, ωστόσο, οι επιδράσεις αυτές να σχετίζονται άμεσα με την πρόκληση κάποιας βλάβης στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, σε μερικές από τις μελέτες αυτές τα αποτελέσματα εμφανίζονται αντιφατικά, ενώ σε κάποιες άλλες δεν μπόρεσαν να επαναληφθούν. Είναι φανερό ότι υπάρχει αβεβαιότητα και ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των μηχανισμών που σχετίζονται με μη θερμικά φαινόμενα και τη συσχέτισή τους με επιβλαβείς βιολογικές επιδράσεις και ενδεχόμενες επιπτώσεις στην υγεία. Η έρευνα σε παγκόσμιο επίπεδο συνεχίζεται υπό τον συντονισμό του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization-WHO). Οι μέχρι σήμερα έρευνες δεν έχουν τεκμηριώσει αιτιοκρατική σχέση μεταξύ του τύπου αυτού της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία.

## 2.5. Γενικό πλαίσιο Η/Μ έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Ένα σημαντικό μέρος της έκθεσης του ανθρώπου στην Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος, το διάστημα, ακόμη και η ίδια η γη εκπέμπει Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται καθημερινά, όπως το ραδιόφωνο, το ραντάρ, η τηλεόραση, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα, οι συσκευές WiFi, τα ψηφιακά ασύρματα τηλέφωνα (DECT), έχουν δημιουργήσει φαινόμενα ανησυχίας για τα προβλήματα υγείας που μπορούν να προκαλέσουν, τα οποία και εντείνονται από την συνεχή αύξηση της χρήσης των συσκευών αυτών. Η έκθεση από μια πηγή εκτιμάται με βάση μετρήσεις της έντασης του Η/Μ πεδίου, λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση από τη συσκευή και, στην περίπτωση των κατευθυντικών κεραιών, την εγγύτητα της κύριας δέσμης [26].

Τα Η/Μ πεδία χαμηλών συχνοτήτων (π.χ. γύρω από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας) προκαλούν ρεύματα στο ανθρώπινο σώμα. Τα κύτταρα ή οι ιστοί δεν θα είναι σε θέση να ανιχνεύσουν οποιοδήποτε επαγόμενο ρεύμα κάτω από αυτό το επίπεδο υποβάθρου. Ως εκ τούτου, σε χαμηλές συχνότητες, οι κατευθυντήριες γραμμές έκθεσης διασφαλίζουν ότι το επίπεδο των ρευμάτων που προκαλούνται από ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι χαμηλότερο από εκείνο των φυσικών ρευμάτων του σώματος. Η κύρια επίδραση της ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων (RF) είναι η θέρμανση των ιστών. Κατά συνέπεια, οι κατευθυντήριες γραμμές έκθεσης για τα πεδία RF ορίζονται σε να αποτραπούν οι επιπτώσεις στην υγεία που προκαλούνται από τοπική ή ολόσωμη θέρμανση. Η συμμόρφωση με τις κατευθυντήριες γραμμές θα διασφαλίσει ότι τα αποτελέσματα της θέρμανσης είναι αρκετά μικρές ώστε να μην είναι επιβλαβείς [13].

Ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι μια συνιστώμενη τιμή δεν είναι δεν αποτελεί ακριβή οριοθέτηση μεταξύ ασφάλειας και επικινδυνότητας. Δεν υπάρχει συγκεκριμένο επίπεδο πάνω από το οποίο η έκθεση γίνεται επικίνδυνη για την υγεία, αντίθετα, ο δυνητικός κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία αυξάνεται σταδιακά με τα υψηλότερα επίπεδα έκθεσης. Οι κατευθυντήριες γραμμές υποδεικνύουν ότι, κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι ασφαλής σύμφωνα με σύμφωνα με τις επιστημονικές γνώσεις. Ένας μεγάλος συντελεστής ασφαλείας εφαρμόζεται στο επίπεδο που είναι γνωστό ότι προκαλεί συνέπειες για την υγεία [27].

Υπάρχουν σκέψεις για αυστηρότερους περιορισμούς έκθεσης για το ευρύ κοινό από ό,τι για τον επαγγελματικά εκτεθειμένο πληθυσμό. Ο επαγγελματικά εκτιθέμενος πληθυσμός αποτελείται από ενήλικες οι οποίοι είναι γενικά εκπαιδευμένοι ώστε να γνωρίζουν τους

πιθανούς κινδύνους και να λαμβάνουν τις κατάλληλες προφυλάξεις. Αντίθετα, το ευρύ κοινό αποτελείται από άτομα όλων των ηλικιών και διαφορετικής κατάστασης υγείας. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτά δεν έχουν επίγνωση της έκθεσής τους σε ΗΜΠ. Επιπλέον, δεν μπορεί να αναμένεται από τα μεμονωμένα μέλη του κοινού να λαμβάνουν προφυλάξεις για την ελαχιστοποίηση ή την αποφυγή της έκθεσης. Η ICNIRP εφαρμόζει έναν συντελεστή ασφαλείας 10 για την εξαγωγή των ορίων επαγγελματικής έκθεσης και έναν συντελεστή 50 για να λάβει τις συνιστώμενες τιμές για το ευρύ κοινό.

Τα όρια έκθεσης που καθορίζονται από τις συστάσεις της ΕΚ δεν είναι νομικά δεσμευτικά. Η πολιτική για τα ΗΜΠ στα κράτη μέλη της ΕΕ μπορεί να έχει διαφορετικές προσεγγίσεις. Όσον αφορά την επαγγελματική έκθεση, η οδηγία επιτρέπει στα κράτη μέλη να καθορίζουν αυστηρότερα όρια έκθεσης. Η ευθύνη για τη διερεύνηση των πεδίων γύρω από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας ή οποιεσδήποτε άλλες πηγές που είναι προσβάσιμες στο ευρύ κοινό ανήκει στις κυβερνητικές υπηρεσίες και τις τοπικές αρχές. Πρέπει να διασφαλίζουν ότι τηρείται η συμμόρφωση με τις κατευθυντήριες [28].

Ειδικά για τις εκθέσεις σε ραδιοσυχνότητες, οι τιμές πρέπει να υπολογίζονται κατά μέσο όρο για το χρόνο, ώστε να αντιμετωπίζονται οι σωρευτικές επιδράσεις. Οι κατευθυντήριες γραμμές καθορίζουν μια χρονική περίοδο μέσων όρων 6 λεπτών και οι βραχυπρόθεσμες εκθέσεις πάνω από τα όρια είναι αποδεκτές, υπό την προϋπόθεση ότι η συνολική απορροφούμενη ενέργεια σε οποιαδήποτε περίοδο 6 λεπτών δεν υπερβαίνει την ενέργεια που απορροφάται από μια σταθερή (χρονικά αμετάβλητη) έκθεση. Για συχνότητες μεταξύ 3 kHz και 100 kHz, ο μέσος χρόνος για τα επαγόμενα ρεύματα και τα ρεύματα επαφής πρέπει να είναι 1sec. Για συχνότητες μεγαλύτερες από 100 kHz και έως 15.000 MHz, ο μέσος χρόνος λαμβάνει υπόψη ότι οι βασικοί περιορισμοί έχουν σχεδιαστεί για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στους ιστούς. Αυξήσεις της θερμοκρασίας σε ζωντανούς ιστούς λόγω απορρόφησης ενέργειας RF ακολουθούν ένα σαφώς καθορισμένο πρότυπο με χρονική σταθερά περίπου 6 λεπτά (θερμική σταθερά χρόνου), όπου το 67% της σταθερής αύξησης της θερμοκρασίας σε σταθερή κατάσταση συμβαίνει εντός 6 λεπτών [12].

Η σύζευξη είναι ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Σύζευξη αναφέρεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου και του εκτεθειμένου σώματος. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του σώματος, τον τύπο του ιστού και τον προσανατολισμό του σώματος σε σχέση με το πεδίο. Η ICNIRP υποθέτει πάντοτε τη μέγιστη σύζευξη των πεδίου στο εκτεθειμένο άτομο. Συνεπώς, τα όρια των κατευθυντήριων γραμμών προβλέπουν μέγιστη προστασία.



## 2.6. Διεθνείς μελέτες με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει υπάρξει σημαντική έρευνα για τις εκπομπές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων ραδιοσυχνοτήτων (RF-EMF). Ένας από τους λόγους είναι η ταχεία επέκταση των ασύρματων τεχνολογιών η οποία έχει δημιουργήσει ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον των εκπομπών αυτών [29]. Ως εκ τούτου, η παρακολούθηση και η ανάλυση των επιπέδων έκθεσης αυτών των εκπομπών έχουν αποκτήσει μεγάλη σημασία. Η εμφάνιση των τεχνικών μηχανικής μάθησης (Machine Learning -ML) προσφέρει νέους τρόπους για πιο ακριβείς, αξιόπιστες και ολοκληρωμένες αξιολογήσεις έκθεσης. Έτσι, οι μετρήσεις των εκπομπών μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από τεχνικές μηχανικής μάθησης για ανάλυση έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες EMF. Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης όπως Decision Trees (DT), Random Forest (RF), Artificial Neural Networks (ANNs) και Support Vector Machines (SVMs) έχουν εφαρμοστεί για την ερμηνεία πολύπλοκων μοτίβων στα δεδομένα έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες EMF [30]. Αυτοί οι αλγόριθμοι προσφέρουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές με διάφορους τρόπους.

Οι μέθοδοι ML μπορούν να χειριστούν τεράστια σύνολα δεδομένων που συλλέγονται από διάφορες πηγές, παρέχοντας μια ολιστική αποτίμηση επιπέδων έκθεσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα [31]. Τα αποτελέσματα δείχνουν γενικά καλές προβλέψεις με διάφορα θετικά και αρνητικά για την κάθε περίπτωση αλγορίθμου. Οι αλγόριθμοι ML μπορούν να προβλέψουν μελλοντικά επίπεδα έκθεσης με βάση ιστορικά δεδομένα, βοηθώντας τους υπεύθυνους φορείς που αποτιμούν τα όρια να θεσπίσουν έγκαιρα προστατευτικά μέτρα [32]. Οι αλγόριθμοι όμως έχουν και διάφορα προβλήματα κατά τη λειτουργία τους, ανάμεσά τους και η ταξινόμηση αντικειμένων, τοποθεσία, κλιμάκωση, ανάλυση της συμπεριφοράς των νευρώνων στα κρυφά στρώματα, κανόνες και αντιστοίχιση προτύπων [32]. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι υπάρχει ακόμη η ανάγκη για νέα τεχνολογικά επιτεύγματα στην εφαρμογή νευρωνικών δικτύων για να αντιμετωπιστούν επειγόντως τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω με επιτυχία. Ακόμη, οι τεχνικές ML μπορούν να εντοπίσουν αποτελεσματικά μη φυσιολογικές καταστάσεις στις εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων EMF που μπορεί να είναι επιβλαβείς, επισημαίνοντάς τις για άμεση διερεύνηση [33]. Φαίνεται επίσης ότι σημαντικό ζήτημα αποτελεί και η υπολογιστική πολυπλοκότητα των αλγοριθμικών τεχνικών κατά την εφαρμογή τους.

Αλγόριθμοι όπως ο RF, μπορούν να προσδιορίσουν τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα έκθεσης, όπως η απόσταση από την πηγή, ο τύπος συσκευής ή οι καιρικές συνθήκες [34]. Σε άλλη μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SVM για να ταξινομήσει

κατοικημένες περιοχές με βάση τα επίπεδα κινδύνου έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες EMF [30]. Ο αλγόριθμος πέτυχε ποσοστό ακρίβειας άνω του 90%, αποδεικνύοντας τη βιωσιμότητα του ML στην αξιολόγηση της έκθεσης. Σε άλλη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν νευρωνικά δίκτυα για να προβλέψουν τη χωρική κατανομή των επιπέδων EMF ραδιοσυχνότητας, βοηθώντας στον σχεδιασμό ασφαλέστερων αστικών περιβαλλόντων [32].

Η χρήση της μηχανικής μάθησης στην αξιολόγηση της έκθεσης απαιτεί επίσης ηθικούς προβληματισμούς, καθώς ολοένα και περισσότερο οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται στις κοινωνικές διαδικασίες, στις επιχειρηματικές συναλλαγές, στις κυβερνητικές αποφάσεις και στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε, κατανοούμε και αλληλεπιδρούμε μεταξύ μας και με το περιβάλλον. Το απόρρητο δεδομένων αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα προβληματισμών, καθώς η συλλογή δεδομένων ραδιοσυχνότητας ενδέχεται να παρέχει ακούσια ευαίσθητες πληροφορίες [35]. Ως εκ τούτου, οι ρυθμιστικοί φορείς πρέπει να διασφαλίζουν ότι η συλλογή δεδομένων και η ανάπτυξη των μοντέλων ML συμμορφώνονται με τις δεοντολογικές οδηγίες και τους νομικούς περιορισμούς.

Μια θεμελιώδης μελέτη στην Ισπανία, [59], επικεντρώθηκε σε τεχνικές σύντηξης δεδομένων που συνδυάζουν πληροφορίες από πολλαπλούς αισθητήρες για τη βελτίωση των αξιολογήσεων έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης όπως οι RF και k-Nearest Neighbors (kNN), χρησιμοποιήθηκαν για να ενσωματώσουν δεδομένα από διάφορες πηγές, επιτυγχάνοντας μια πιο ισχυρή και ολοκληρωμένη ανάλυση.

Μια ακόμη μελέτη στις ΗΠΑ, [60], αξιολόγησε τον τρόπο με τον οποίο η ανάλυση έκθεσης σε Η/Μ πεδία που βασίζεται σε μηχανική μάθηση θα μπορούσε να επηρεάσει τη δημόσια πολιτική. Η μελέτη παρουσίασε ένα εργαλείο που ενσωματώνει γεωγραφικές βάσεις δεδομένων και υποκατάστατα μοντέλα για να χαρακτηρίσει τη χωροχρονική έκθεση από εξωτερικές πηγές, εσωτερικές πηγές και κινητά τηλέφωνα. Η μελέτη τους παρουσίασε μια μεθοδολογία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν οι ρυθμιστικές αρχές για να συντάξουν πιο ακριβείς και αποτελεσματικές κατευθυντήριες γραμμές για τη δημόσια ασφάλεια. Το πλαίσιο χρησιμοποίησε τεχνικές Bayesian Networks για να ερμηνεύσει σύνθετες σχέσεις μεταξύ πολλαπλών μεταβλητών [60].

Εφαρμογές μηχανικής μάθησης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί και στον τομέα της δημόσιας υγείας. Μια έρευνα στο Ηνωμένο Βασίλειο, [61], επικεντρώθηκε σε εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης, αναλύοντας την έκθεση σε Η/Μ πεδία με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης. Η μελέτη χρησιμοποίησε νευρωνικά δίκτυα για τον εντοπισμό μοτίβων στις αποκρίσεις του ανθρώπινου ιστού σε εκθέσεις Η/Μ συχνοτήτων, με στόχο τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων

για την υγεία και τη σύσταση προληπτικών μέτρων. Η έρευνα [61] αναφέρει ότι από τη βιβλιογραφία διαπιστώνεται γενικότερα ότι τα RF-EMF μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στα νευρικά κύτταρα του κεντρικού νευρικού συστήματος, ενώ παράλληλα δρουν ως πηγή στρες. Αν και οι πιθανές βιολογικές επιδράσεις της έκθεσης σε RF-EMF δεν έχουν ακόμη αποδειχθεί, είναι απαραίτητο να μελετηθεί η βιολογική απόκριση σε RF-EMF λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική έκθεση όσον αφορά τη χρήση διαφόρων συσκευών από τα άτομα.

Ακόμη μια έρευνα στην Κίνα [62], επικεντρώθηκε στην ενσωμάτωση συσκευών Internet of Things (IoT) με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την παρακολούθηση της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες EMF σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημά τους χρησιμοποίησε αλγόριθμους ML για την επεξεργασία δεδομένων απευθείας από αισθητήρες IoT, επιτρέποντας την άμεση αντίδραση του συστήματος το οποίο λαμβάνει μέτρα [62].

Έρευνες στην Ελλάδα έχουν υιοθετήσει και μελετήσει τη χρήση μηχανικής μάθησης σε διάφορες εφαρμογές. Στο πλαίσιο της έκθεσης σε Η/Μ πεδία ραδιοσυχνότητας, Έλληνες ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει αλγόριθμους μηχανικής μάθησης όπως DT, ANNs και SVM για την αναγνώριση προτύπων και την ανάλυση πρόγνωσης των επιπέδων έκθεσης [36]. Κάποιες από αυτές τις έρευνες έχουν δείξει ότι οι αλγόριθμοι ML μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της μελλοντικής έκθεσης σε Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ραδιοσυχνότητας με βάση δεδομένα του παρελθόντος, βοηθώντας έτσι στη θέσπιση αποτελεσματικών κανονισμών και πολιτικών δημόσιας υγείας [37]. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που αναπτύχθηκαν στην Ελλάδα έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό αφύσικων επιπέδων έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες EMF, επιτρέποντας έγκαιρες παρεμβάσεις [38]. Η μελέτη χρησιμοποίησε προηγμένους αλγόριθμους ανίχνευσης για τον εντοπισμό ακραίων συμβάντων έκθεσης σε πυκνά αστικά περιβάλλοντα. Το μοντέλο μπορούσε να ανιχνεύσει απρόβλεπτες φάσεις των επιπέδων RFEMF, επισημαίνοντας περιοχές για περαιτέρω έλεγχο. Τα ευρήματα αυτά ήταν ιδιαίτερα σημαντικά για παρεμβάσεις στη δημόσια υγεία σε πραγματικό χρόνο, καθώς τα αφύσικα συμβάντα συχνά υποδηλώνουν δυσλειτουργία του εξοπλισμού ή απροσδόκητους κινδύνους [38].

Ακόμη μια διεπιστημονική έρευνα από την Ελλάδα εξέτασε τη χρήση αλγορίθμων ML σε συνδυασμό με συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών για την αξιολόγηση του αντίκτυπου των εκπομπών ραδιοσυχνότητας EMF στα οικοσυστήματα και τον αστικό σχεδιασμό [39]. Οι ερευνητές παρουσίασαν ένα πλαίσιο μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες EMF σε διάφορα περιβάλλοντα. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τεχνικές SVM και DT για να μοντελοποιήσουν τα επίπεδα έκθεσης, επικυρώνοντας τα αποτελέσματά

με πραγματικές μετρήσεις . Τα μοντέλα επέδειξαν υψηλή ακρίβεια, προσφέροντας ένα ισχυρό εργαλείο παρακολούθησης των επιπέδων έκθεσης του κοινού σε Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου [39].

Ακόμη, διάφορες μελέτες [36], όπου χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές SVM για την αξιολόγηση των επιπέδων RFEMF σε διάφορα αστικά περιβάλλοντα εντός της Ελλάδας, επιτυγχάνοντας εντυπωσιακή ακρίβεια πρόγνωσης. Στις μελέτες αυτές προκύπτουν και ηθικά ζητήματα που αφορούν τις εφαρμογές μηχανικής μάθησης στην έρευνα των επιπέδων έκθεσης, όπως το απόρρητο των δεδομένων και η υπεύθυνη χρήση της μηχανικής μάθησης [38].

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα είναι η ανάλυση των επιπέδων έκθεσης με βάση το χρόνο. Σε μια αντίστοιχη μελέτη, [56], εξετάστηκαν οι πτυχές της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες EMF, όπου εφαρμόστηκαν δίκτυα μακροπρόθεσμης βραχυπρόθεσμης μνήμης (Long Short Term Memory - LSTM), έναν συγκεκριμένο τύπο επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου, για να αναλυθούν δεδομένα χρονοσειρών των επιπέδων έκθεσης σε διάφορες τοποθεσίες σε όλη την Αθήνα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα δίκτυα LSTM μπορούν να προβλέψουν αποτελεσματικά τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις στην έκθεση σε ραδιοσυχνότητες EMF, η οποία έχει επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

Στην ανάλυση των Η/Μ πεδίων ραδιοσυχνότητας έχουν χρησιμοποιηθεί και big data [57]. Σχετική έρευνα εξέτασε την ενοποίηση των αναλυτικών στοιχείων μεγάλων δεδομένων (big data analytics) με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την ανάλυση των επιπέδων έκθεσης. Αξιοποιώντας το cloud computing και τις πλατφόρμες μεγάλων δεδομένων, η μελέτη είχε ως στόχο να συλλέξει και να αναλύσει έναν τεράστιο όγκο δεδομένων RFEMF. Η εργασία έδειξε ότι τα μοντέλα ML θα μπορούσαν να αποδίδουν πιο αποτελεσματικά όταν χειρίζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων, αποδίδοντας πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα [57].

Άλλη σχετική έρευνα στη χώρα μας, [58], τόνισε τη σημασία της συμμετοχής των ίδιων των ανθρώπων/χρηστών στην παρακολούθηση της έκθεσης σε Η/Μ πεδία. Ανέπτυξαν μια εφαρμογή για κινητά που υποστηρίζεται από αλγόριθμους μηχανικής μάθησης που επέτρεπε στους πολίτες να παρακολουθούν τα δικά τους επίπεδα έκθεσης. Τα δεδομένα που δημιουργήθηκαν από τους χρήστες αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας μοντέλα ML για τη δημιουργία πιο λεπτομερών και αντιπροσωπευτικών χαρτών έκθεσης σε Η/Μ ένταση του ηλεκτρικού πεδίου [58].

## Κεφάλαιο 3

### Μεθοδολογία μετρήσεων επιπέδων έκθεσης

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις έκθεσης σε (H/M) ένταση του ηλεκτρικού πεδίου οι οποίες επεξεργάστηκαν στατιστικά. Οι μετρήσεις βασίστηκαν στη μεθοδολογία που επιβάλλει η ελληνική νομοθεσία, η οποία τηρεί το πρότυπο ISO/IEC 17025:2017. Η υιοθετηθείσα διαδικασία μέτρησης είναι σύμφωνη με τα διεθνή πρότυπα. Δόθηκε προσοχή ώστε το σημείο μέτρησης να βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της κεραιάς του σταθμού βάσης. Επιπλέον, ο εξοπλισμός μέτρησης ήταν επίσης βαθμονομημένος σύμφωνα με το πρότυπο ISO/IEC 17025:2017. Λαμβάνοντας υπόψη διάστημα εμπιστοσύνης 95%, η διευρυμένη αβεβαιότητα (που εξαρτάται από τη συχνότητα), κυμάνθηκε μεταξύ 41,9% και 46,9%. Οι τιμές αυτές συνυπολογίζουν τις αβεβαιότητες τύπου A και τύπου B, την αβεβαιότητα για την εγγύτητα του χειριστή (13,8% για καλώδιο 1,5 m) και την αβεβαιότητα τυχαίας ανάκλασης (5,75%), για τυχόν κινούμενα εμπόδια κοντά στον αισθητήρα (π.χ. πεζοί, αυτοκίνητα, λεωφορεία κ.λπ.). Οι δύο τελευταίες παράμετροι αβεβαιότητας είναι ανεξάρτητες από τη συχνότητα.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η αβεβαιότητα της ανάκλασης λαμβάνεται υπόψη μόνο σε αστικές περιοχές κατά τη μετέπειτα επεξεργασία. Σε κάθε θέση μέτρησης ο τριαξονικός αισθητήρας τοποθετήθηκε σε ξύλινο τρίποδο και οι καταγραφές έγιναν σε ύψος 1.1, 1.5 και 1.7 m πάνω από το έδαφος. Κάθε καταγραφή ήταν χρονικός μέσος όρος για περίοδο έξι λεπτών σε κάθε ύψος. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου υπολογίστηκαν χωρικά ως μέσος όρος για τα τρία επιλεγμένα ύψη. Ο μέσος όρος του ηλεκτρικού πεδίου  $E_i$ , για την  $i$ -οστή υποζώνη δίνεται ως εξής:

$$\bar{E}_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N E_{i,j}^2} \quad (4)$$

όπου  $E_{i,j}$  είναι η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου (σε V/m) της  $i$ -οστής υποζώνης στο  $j$ -οστό ύψος ( $N = 3$ ). Εφόσον ισχύει η υπόθεση του μακρινού πεδίου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η πυκνότητα ισχύος (σε W/m<sup>2</sup>) μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\bar{S}_i = \frac{\bar{E}_i^2}{Z_0} \quad (5)$$

όπου  $Z_0 = 377$  Ohms υποδηλώνει την κυματική αντίσταση του ελεύθερου χώρου και  $S_i$ , υποδηλώνει τη χωρικά μέση πυκνότητα ισχύος  $i$  στην  $i$ -οστή υποζώνη συχνότητας. Κατά

συνέπεια, το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο ( $E_{total}$ ) για ολόκληρο το μετρούμενο εύρος συχνοτήτων (75 MHz - 3 GHz) δίνεται ως εξής ολόκληρο το μετρούμενο εύρος συχνοτήτων (75 MHz - 3 GHz) δίνεται από τη σχέση:

$$E_{total} = \sqrt{\sum_{i=1}^K \bar{E}_i^2} \quad (6)$$

όπου  $\bar{E}_i$  είναι το χωρικά μέσο ηλεκτρικό πεδίο στην  $i$ -οστή υποζώνη. Για τον προσδιορισμό του συνολικού επιπέδου έκθεσης από τις ποικίλες εκπομπές μεταξύ 75 MHz και 3 GHz, είναι σημαντικό να υπολογιστεί, σε κάθε θέση μέτρησης, ο λόγος συνολικής έκθεσης (ΣΛΕ), χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$\Sigma\Lambda\epsilon = \sum_{i>27 \text{ MHz}}^{6000 \text{ MHz}} \left( \frac{\bar{E}_i}{E_{lim,i}} \right)^2 \leq 1, f \geq 100 \text{ kHz} \quad (7)$$

όπου  $E_{lim,i}$  είναι το όριο έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που σχετίζεται με την  $i$ -οστή υποζώνη σύμφωνα με την αντίστοιχη νομοθεσία. Εάν ο ΣΛΕ είναι μικρότερος της μονάδας (1) τότε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου δεν συμμορφώνεται με τα όρια.

Για κάθε σημείο θέση μέτρησης που έχει επιλεγεί θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι βρίσκεται στην περιοχή του μακρινού πεδίου της κεραίας που εκπέμπει, ή στο εγγύς ακτινοβολούν πεδίο εφόσον η συχνότητα που εκπέμπει η κεραία είναι μεγαλύτερη ή ίση από 10 MHz.

Για μέτρηση στο μακρινό πεδίο μιας κεραίας θα πρέπει η απόσταση του οργάνου από την κεραία να είναι μεγαλύτερη από  $\lambda+2D^2/\lambda$ , όπου  $D$  είναι η μεγαλύτερη διάσταση της προς μέτρηση κεραίας και  $\lambda$  το μήκος κύματος που εκπέμπει (ΕΛΟΤ 1422-3:2007).

Σε περιπτώσεις πολλών ή και μη ορατών σταθμών κεραιών (όπου η διάσταση της κεραίας είναι άγνωστη) θα πρέπει η απόσταση από την κεραία να λαμβάνεται σύμφωνα με τον παρακάτω ενδεικτικό πίνακα.

**Πίνακας 15** - Μέγιστη Διάσταση Κεραίας και ελάχιστη απόσταση μετρήσεων.

Ενδεικτική Υπηρεσία	Μέση Συχνότητα λειτουργίας (MHz)	Μέγιστη Διάσταση Κεραίας (m)	Ελάχιστη Απόσταση (m)
FM	100	1.5	4.5
TETRA	420	1.2	4.7
TV VHF	200	1.2	3.4
TV UHF	670	1	4.9
GSM900	940	1	6.6
GSM1800	1840	1	12.4
UMTS	2140	1	14.4
WiFi	2440	0.9	13.3

Επιπλέον σε κάθε θέση μέτρησης που έχει επιλεγεί θα πρέπει να διασφαλίζεται η ομοιομορφία του πεδίου. Για τον λόγο αυτό λαμβάνεται υπόψη η παρακάτω συνθήκη:

1. Πραγματοποιείται μια μέτρηση σε ένα συγκεκριμένο σημείο D1 και καταγράφεται η τιμή του πεδίου (σε V/m),
2. Μετακινείται ο αισθητήρας σε απόσταση D2 που απέχει 150 mm από την θέση D1 σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και καταγράφεται η τιμή του πεδίου.
3. Μετακινείται ο αισθητήρας σε απόσταση D3 που απέχει 150 mm από την θέση D2 σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και καταγράφεται η τιμή του πεδίου.
4. Αν η διαφορά μεταξύ των μετρούμενων τιμών του πεδίου δεν υπερβαίνουν τα 2 dB ή 23%, τότε ικανοποιείται η συνθήκη ομοιομορφίας του πεδίου.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα παρουσιαστούν οι μετρήσεις. Χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις έντασης ηλεκτρικού πεδίου από κεραιές κινητής τηλεφωνίας διαφορετικών παρόχων.

Πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση των μετρήσεων σε τρεις διαφορετικές περιοχές: α) αγροτική/ύπαιθρος (Rural), β) αστική (Urban) και γ) προάστια/ημιαστικές (Suburban). Παράλληλα, οι μετρήσεις έχουν ταξινομηθεί σε εσωτερικού χώρου (Indoor) και εξωτερικού χώρου (Outdoor).

## Κεφάλαιο 4

# Ανάλυση και αποτίμηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από δεδομένα μετρήσεων

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αρχικά η παρουσίαση των αποτελεσμάτων τα οποία σχετίζονται με την απεικόνιση των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από τα δεδομένα μετρήσεων για διάφορες κατηγορίες περιβάλλοντος.

### 4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα δεδομένα εισόδου περιέχουν λεπτομερώς τις μετρήσεις που έγιναν σε σημεία κοντά σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας σε διάφορα σημεία και διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Οι θέσεις κατηγοριοποιούνται με τον εξής τρόπο: Indoor (I), Outdoor (O), Antenna Parks (AP), Urban (U), Suburban (SU), Rural (R), Airports, RT (Rooftops).

Στο αρχείο αυτό περιέχονται τιμές από 9 συχνοτικές ζώνες εκπομπών με αντίστοιχες τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου σε V/m. Οι ζώνες συχνοτήτων είναι:

- 1) 75-87 Hz
- 2) 87-109 Hz FM
- 3) 109-300 Hz VHF-TV, CB, AirCom
- 4) 300 - 450 Hz TETRA
- 5) 450-860 Hz UHF-TV, LTE-800
- 6) 860-1000 Hz GSM-900
- 7) 1000 - 1700 Hz Navigation, GPS, DAB
- 8) 1700-2200 Hz GSM-1800, UMTS
- 9) 2200-3000 Hz WiFi, LTE-2600
- 10) 75-3000 Hz TOTAL

Οι ζώνες καθώς και οι περιοχές που αναφέρθηκαν νωρίτερα απεικονίζονται ενδεικτικά στην παρακάτω εικόνα.



					Description	75-87	87-109 FM	109-300 VHF-TV, CB, AirCom	300 - 450 TETRA	450-860 UHF-TV, LTE-800	860-1000 GSM-900	1000 - 1700 Navigation, GPS, DAB	1700-2200 GSM-1800, UMTS	2200-3000 WiFi, LTE-2600	75-3000 TOTAL
					Ref.Unc. (σ)	0.2063	0.2063	0.2063	0.2143	0.2071	0.2111	0.2087	0.2095	0.2436	
1	Οικεία	Sxoleio Street	O	U		0.05391	0.41436	0.07307	0.04342	0.12284	0.02867	0.06713	0.36244	0.15907	0.599
2	Οικεία	Plateia	O	U		0.07585	0.77392	0.07350	0.06595	0.46140	0.04893	0.06699	0.21826	0.16035	0.953
3	Οικεία		I	U		0.05160	0.54717	0.07941	0.04958	0.14788	0.33947	0.06700	0.10778	0.15997	0.700
4	Οικεία		I	U		0.06083	0.49999	0.08349	0.04556	0.11938	0.21073	0.06736	0.11448	0.16060	0.604
5	Οικεία		O	U		0.04288	0.30292	0.08479	0.06377	0.18619	0.16056	0.06705	0.23643	0.16003	0.501
6		Street	O	SU		0.09014	0.38012	0.07484	0.36162	0.05772	0.02836	0.06386	0.77324	0.16894	0.961
7		Street	O	SU		0.04540	0.12876	0.07536	0.79673	0.05656	0.07358	0.06335	1.57470	0.18359	1.785
8		Street	O	SU		0.04212	0.07662	0.07557	0.29522	0.05626	0.06172	0.06473	0.99799	0.30441	1.096
9		Street	O	SU		0.03693	0.08558	0.07611	0.34407	0.05508	0.03007	0.06347	1.03940	0.16828	1.116
10		Street	O	SU		0.03971	0.08668	0.07484	0.07338	0.05607	0.02805	0.06380	0.96206	0.15696	0.989
11		Street	O	SU		0.11474	0.51011	0.07535	0.08239	0.05740	0.02850	0.06387	1.10600	0.21837	1.251
12		Street	O	SU		0.70246	3.32080	0.10497	0.06281	0.07803	0.03929	0.08885	0.18157	0.36896	3.424
13		Street	O	SU		0.07777	0.30496	0.10544	0.84508	0.07832	0.04205	0.08941	1.57630	0.28771	1.846
14		Street	O	SU		0.03823	0.06447	0.07468	0.04847	0.07654	0.03091	0.06316	0.53850	0.15600	0.582
15		RT	O	U		0.04278	0.14519	0.07675	0.05014	0.11586	0.04306	0.06675	0.07809	0.16042	0.288

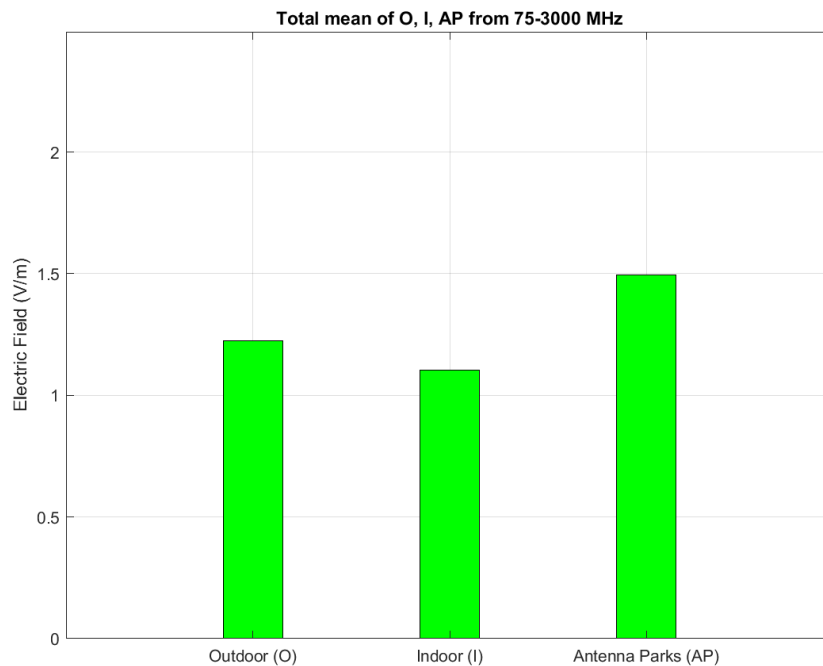
Εικόνα 7- Ενδεικτική απεικόνιση του αρχείου μετρήσεων.

Ακόμα για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων παράχθηκαν δύο ειδών γραφήματα με τη χρήση Matlab το πρώτο είδος γραφημάτων είναι:

- 1) Συγκριτικά ραβδογράμματα (bar charts) όπου στον Y-άξονα περιέχουν την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (σε V/ m) και στον X-άξονα έχουν κατηγορίες δεδομένων τύπου εξωτερικοί χώροι - Outdoor (O) /εσωτερικοί χώροι - Indoor (I) και πάρκα κεραιών - Antenna Parks (AP). Πιο συγκεκριμένα δηλαδή από το αρχείο δεδομένων φιλτράρονται αυτά τα δεδομένα και λαμβάνονται οι μέσες τιμές των ζωνών συχνοτήτων καθώς και του συνόλου (75-3000 MHz). Επιπρόσθετα όσον αφορά τα Outdoor (O) δεδομένα γίνεται επιπλέον κατηγοριοποίηση σε νέο διάγραμμα αντίστοιχα, τύπου δεδομένων Urban (U), Suburban (SU) και Rural (R). Τέλος απεικονίζονται διαγράμματα τα οποία για κάθε ένα από τα O, I, AP, U, SU, R έχει δημιουργηθεί ένα ξεχωριστό διάγραμμα, όπου μέσα σε αυτό υπάρχουν οι μέσες τιμές ανά συχνότητα καθώς και οι συνολικές μέσες τιμές.
- 2) Διαγράμματα CDF (Cumulative Density Function) τα οποία για κάθε μία από αυτές τις 9 συχνοτικές ζώνες έχει παραχθεί ένα γράφημα στη Matlab το οποίο απεικονίζει όλες τις αθροιστικές τιμές από όλες τις περιοχές που περιέχει η κάθε συχνοτική στήλη.

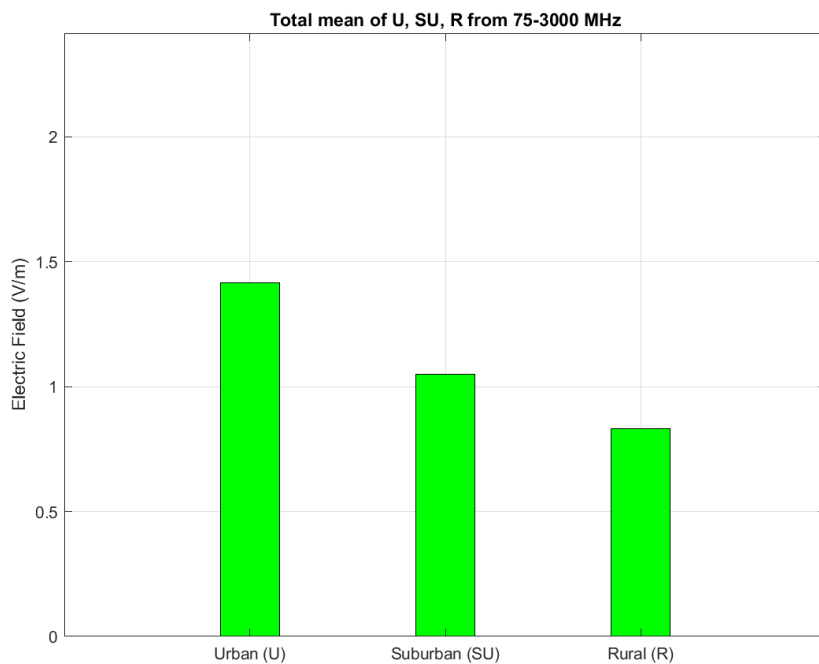
## 4.2 Συγκριτικά αποτελέσματα μετρήσεων ανά κατηγορία περιβάλλοντος

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα, που απεικονίζει τη μέση ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ανά περιοχή, παρατηρείται πως στα πάρκα κεραιών η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι υψηλότερη από τη μέση ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε εξωτερικούς χώρους. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς στα πάρκα κεραιών υπάρχουν πολλές κεραιές σε πολύ κοντινή απόσταση από το σημείο μέτρησης, με μεγάλη ισχύ εκπομπής. Ακόμα παρατηρείται πως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στους εσωτερικούς χώρους είναι μικρότερη από αυτή των εξωτερικών πράγμα λογικό καθώς υπάρχει εξασθένηση του πεδίου από τους τοίχους των κτιρίων.



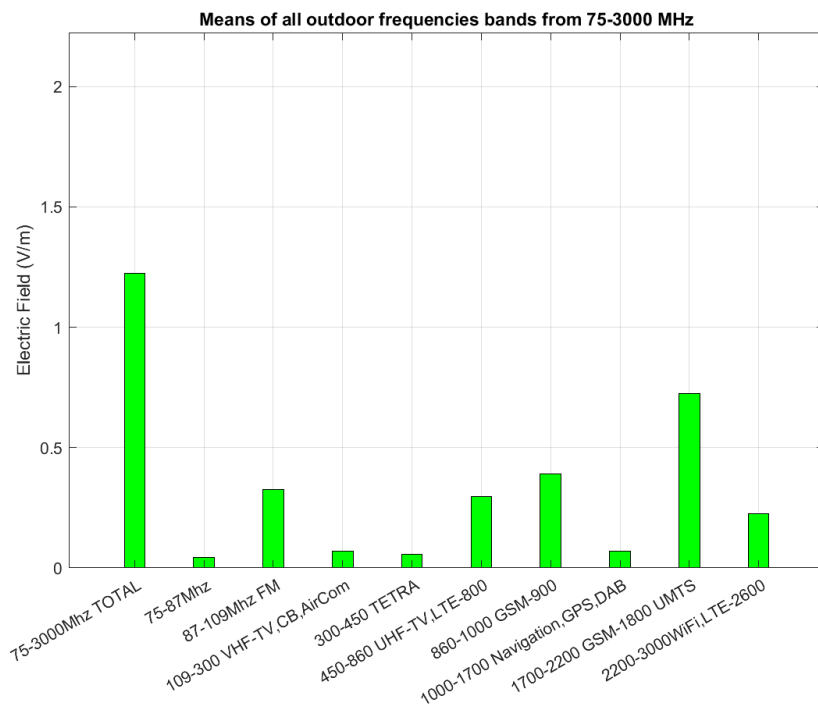
**Εικόνα 8** - Διάγραμμα συγκριτικής απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από τα δεδομένα μετρήσεων εξωτερικών χώρων (O), εσωτερικών χώρων (I) και των πάρκων κεραιών (AP).

Το παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζει τη μέση ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ανά περιοχή με βάση αυτή τη φορά μία σύγκριση ως προς τις αστικές, τις ημιαστικές και τις αγροτικές περιοχές. Παρατηρείται πως στις αστικές περιοχές η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη στις ημιαστικές και τις αγροτικές περιοχές, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο να συμβαίνει αφού στα αστικά κέντρα υπάρχουν πολλές κεραιές οι οποίες έχουν τοποθετηθεί για την εξυπηρέτηση των χιλιάδων χρηστών. Η μέση απόσταση του αισθητήρα μέτρησης είναι σχετικά κοντά σε μια κεραιά εξηγώντας τις υψηλότερες τιμές στις αστικές περιοχές. Ακόμα παρατηρείται πως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στις αγροτικές περιοχές είναι μικρότερη από αυτή των ημιαστικών, καθώς σε αυτές μένουν λίγοι κάτοικοι οπότε και οι κεραιές των τηλεπικοινωνιών είναι αραιά τοποθετημένες και σε απομακρυσμένα σημεία (κορυφές λόφων και βουνών).



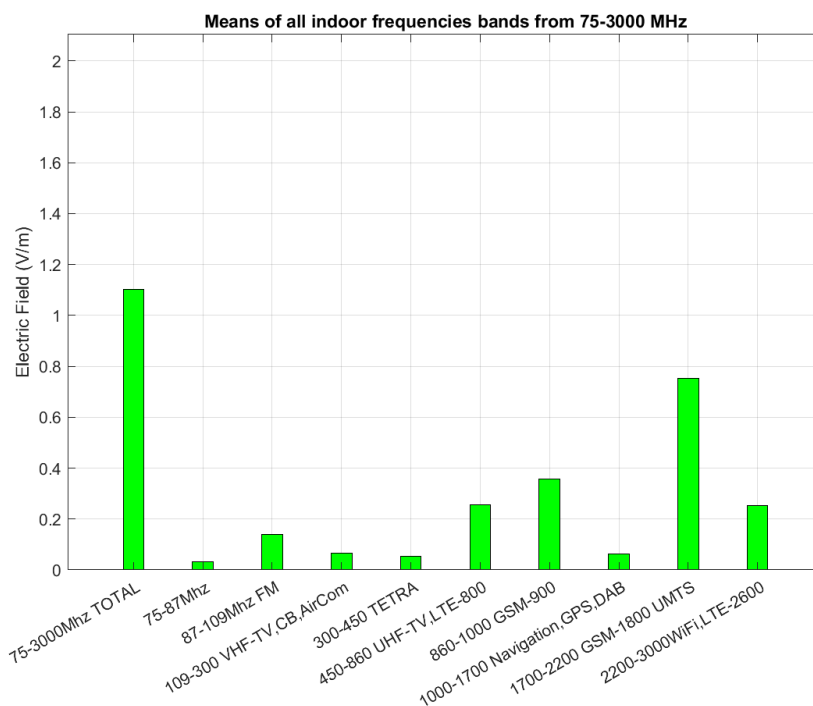
**Εικόνα 9** - Διάγραμμα συγκριτικής απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από τα δεδομένα μετρήσεων αστικών (U) , ημιαστικών (SU) και αγροτικών (R) περιοχών.

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα, που απεικονίζει τη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ανά συχνοτική ζώνη σε δεδομένα εξωτερικών χώρων, παρατηρείται ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται από τη ζώνη των 1700-2200 MHz (GSM-1800, UMTS) η οποία χρησιμοποιείται ευρέως από τα δίκτυα 4G και 4G+ κυρίως μέσα στις πόλεις, για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών με υψηλές ταχύτητες. Αξίζει να αναφερθεί ότι και οι υπόλοιπες ζώνες συχνοτήτων κινητής τηλεφωνίας (π.χ., LTE-800, GSM-900 και LTE-2600) συνεισφέρουν σημαντικά στη συνολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.



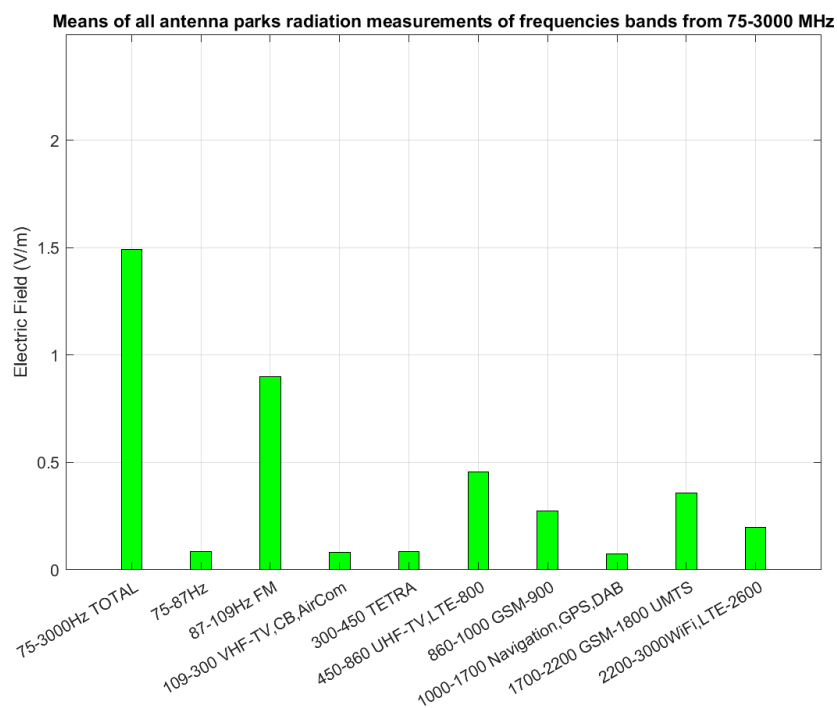
**Εικόνα 10** - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων εξωτερικών χώρων (O).

Στο παρακάτω διάγραμμα, το οποίο απεικονίζει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου όλων των συχνοτικών περιοχών για δεδομένα μετρήσεων εσωτερικών χώρων. Παρατηρείται ότι οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι αρκετά χαμηλές. Αυτό συμβαίνει καθώς οι μετρήσεις αφορούν δεδομένα τα οποία είναι εντός κτιρίων. Τέλος παρατηρείται και ότι το μεγαλύτερο μέρος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται από τη συχνοτική ζώνη 1700-2200 MHz (GSM-1800, UMTS) η οποία χρησιμοποιείται σε δίκτυα 4G, 4G+, ενώ και οι υπόλοιπες ζώνες συχνοτήτων κινητής τηλεφωνίας συνεισφέρουν.



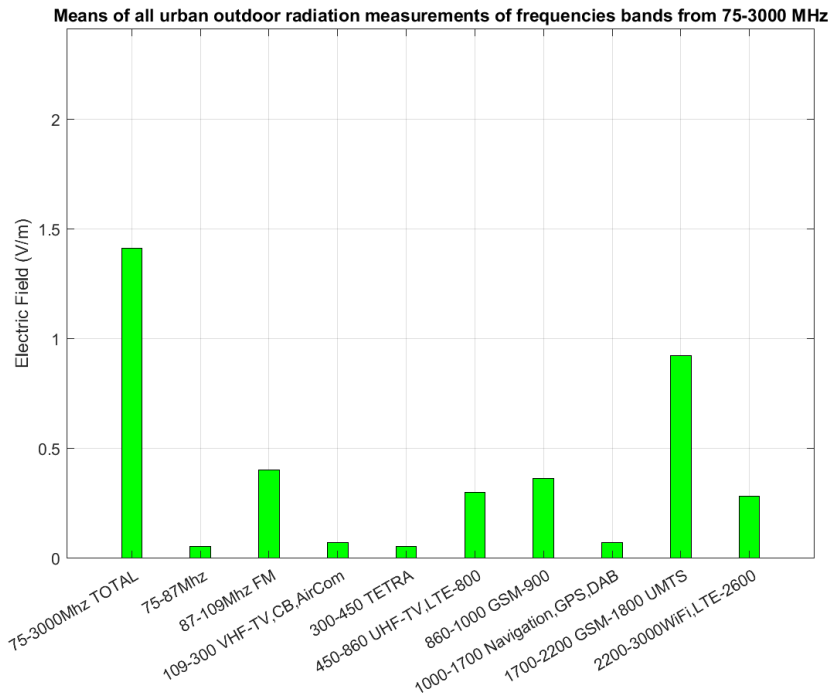
**Εικόνα 11** - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων εσωτερικών χώρων (I).

Το παρακάτω διάγραμμα, το οποίο απεικονίζει τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά συχνοτική ζώνη για δεδομένα χώρων πάρκων κεραιών, εμφανίζει ενδιαφέρον καθώς παρατηρείται ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται από τη ζώνη 87-109 MHz, η οποία χρησιμοποιείται από ραδιοφωνικούς σταθμούς (FM). Από αυτό γίνεται αντιληπτό ότι οι συγκεκριμένες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πάρκα που κυρίως ήταν εγκατεστημένες κεραιές ραδιοφωνικών σταθμών καθώς και τηλεοπτικών αναμεταδοτών, (UHF-TV) όπως φαίνεται και από την αμέσως μεγαλύτερη συνεισφορά σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου στη ζώνη 450-860 MHz.



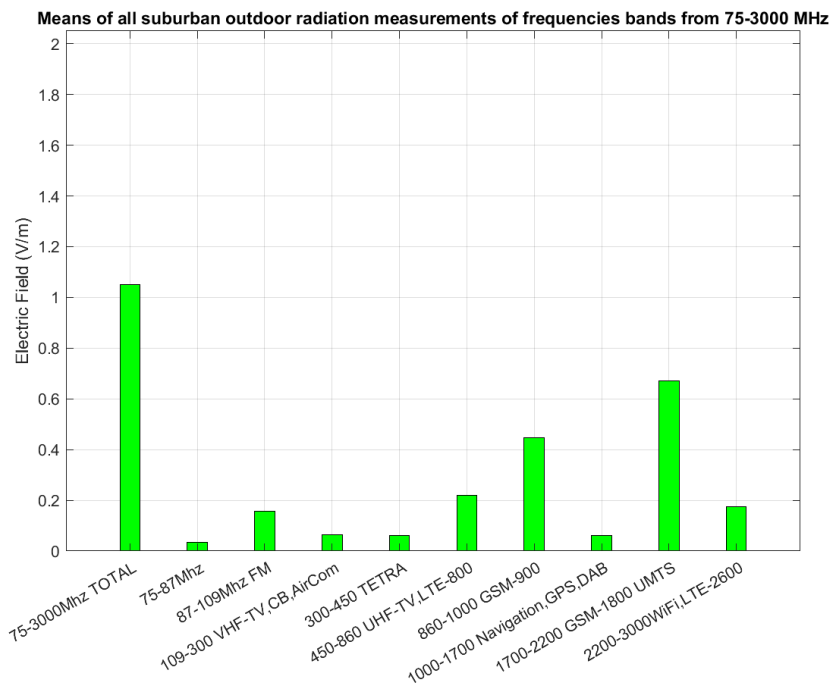
**Εικόνα 12** - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε πάρκα κεραιών (AP).

Το παρακάτω διάγραμμα, το οποίο απεικονίζει τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά συχνοτική ζώνη, για δεδομένα αστικών εξωτερικών χώρων. Παρατηρούμε ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται από τη ζώνη συχνοτήτων 1700-2200 MHz μια περιοχή που χρησιμοποιείται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή από κεραιές κινητής τηλεφωνίας που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές.



**Εικόνα 13** - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και αστικές περιοχές (U).

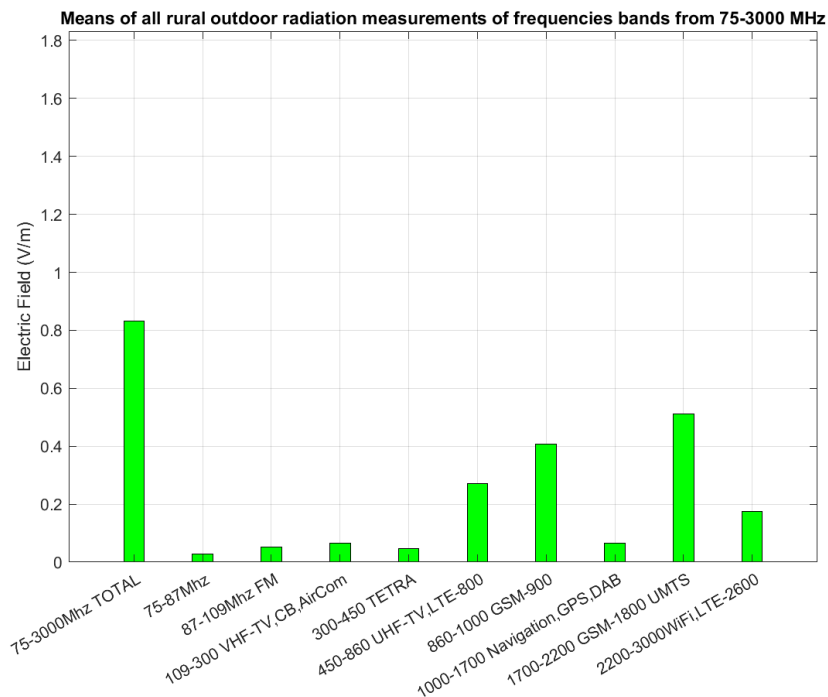
Το παρακάτω διάγραμμα το οποίο απεικονίζει τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά συχνοτική ζώνη σε δεδομένα ημιαστικών εξωτερικών χώρων εμφανίζει ενδιαφέρον καθώς παρατηρείται ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται από τη συχνοτική ζώνη των 1700-2200 MHz, η οποία χρησιμοποιείται το 4G+ δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή από κεραιές κινητής τηλεφωνίας που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές. Επιπρόσθετα παρατηρείται πως ένα σημαντικό ποσοστό του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται και από τη συχνοτική ζώνη των 860 – 1000 MHz (GSM-900). Συμπερασματικά, φαίνεται πως και στις ημιαστικές περιοχές η μεγαλύτερη συνεισφορά στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, άρα και των επιπέδων έκθεσης προέρχεται από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.



**Εικόνα 14-** Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και ημιαστικές περιοχές (SU).

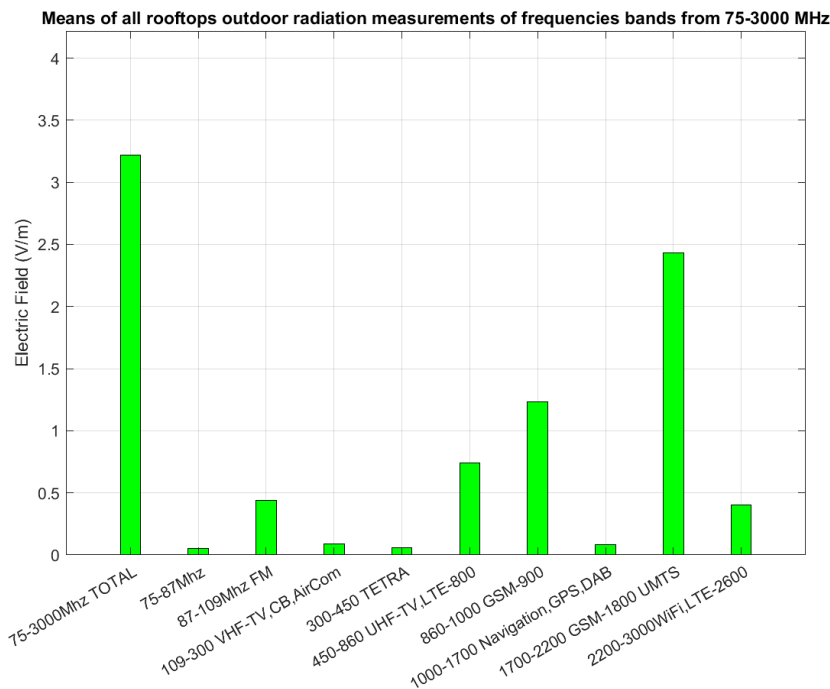


Το παρακάτω διάγραμμα το οποίο απεικονίζει τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά συχνοτική ζώνη σε αγροτικές περιοχές και εξωτερικούς χώρους. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται όχι μόνο από τη ζώνη των 1700-2200 MHz (μία συχνοτική ζώνη η οποία χρησιμοποιείται το 4G, 4G+ δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή από κεραίες κινητής τηλεφωνίας που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές) αλλά και από τις ζώνες των 860-1000 MHz και 450-860 MHz αυτό συμβαίνει διότι οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας είναι σε μακρινή μέση απόσταση, με αποτέλεσμα το ποσοστό να διαμοιράζεται και σε άλλες συχνότητες που σχετίζονται κυρίως με τηλεοπτικές εκπομπές.



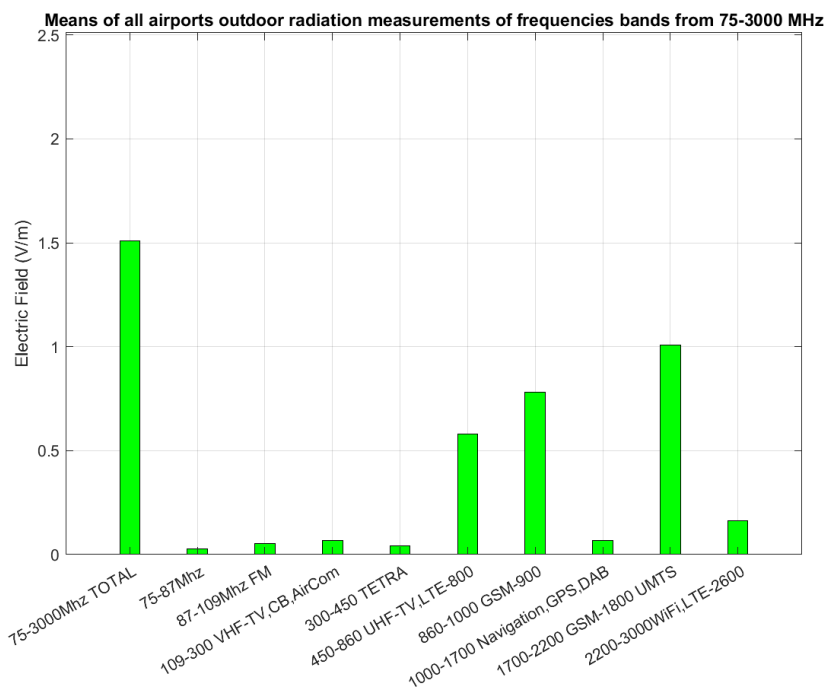
**Εικόνα 15-** Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και αγροτικές (ύπαιθρος) περιοχές (R).

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνοτήτων για δεδομένα αστικών εξωτερικών χώρων πάνω σε ταράτσες, όπου βρίσκονται κοντά σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας. Και σε αυτή την περίπτωση το διάγραμμα εμφανίζει ενδιαφέρον καθώς παρατηρείται ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται από τη ζώνη των 1700-2200 MHz αλλά με αρκετά υψηλότερες τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου. Συγκριτικά με τα προηγούμενα διαγράμματα των Εικόνων 14 και 15 παρατηρείται πως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στις δύο κυρίαρχες ζώνες είναι αρκετά υψηλή (πάνω από το 1.5 V/m), που είναι αναμενόμενο καθώς ο αισθητήρας μέτρησης βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τις κεραίες.



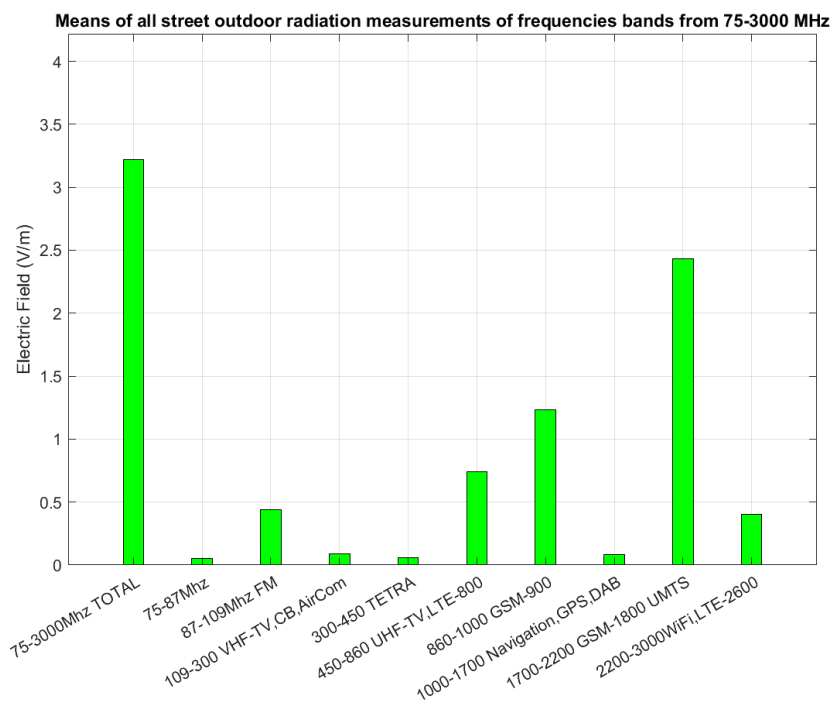
**Εικόνα 16** - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων εξωτερικούς χώρους και ταράτσες κτιρίων (RT).

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά συχνοτική ζώνη σε εξωτερικούς χώρους αεροδρομίων. Εδώ παρατηρείται ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προέρχεται όχι μόνο από τη ζώνη των 1700-2200 MHz, αλλά και από τις ζώνες των 860-1000 MHz και 450-860 MHz. Λόγω του αυξημένου αριθμού χρηστών στα αεροδρόμια υπάρχουν κεραιές αποκλειστικά τοποθετημένες σε ταράτσες των κτιρίων για την κάλυψη των χώρων τους, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας για την παροχή υπηρεσιών εξηγώντας της τιμές της έντασης ηλεκτρικού πεδίου και την συνεισφορά στην συνολική ένταση, μόνο από τις ζώνες αυτές.



**Εικόνα 17** - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε χώρους αεροδρομίων (Airports).

Τέλος, το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνοτήτων για δεδομένα εξωτερικών χώρων στο επίπεδο του δρόμου (πεζοί, αυτοκίνητα, κλπ.). Παρατηρείται ότι το υψηλότερο ποσοστό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, όπως και στα δεδομένα από τις ταράτσες κτιρίων, προέρχεται από τη ζώνη των 1700-2200 MHz. Επιπρόσθετα φαίνεται και εδώ να υπάρχει στις κυρίαρχες συχνοτικές ζώνες μία αρκετά υψηλή τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό συμβαίνει καθώς στο επίπεδο των δρόμων υπάρχει υψηλή τιμή λαμβανόμενου πεδίου λόγω των μηχανισμών διάδοσης (π.χ. ανακλάσεις, περίθλαση κ.λπ.), ενώ η μέση απόσταση του αισθητήρα μέτρησης από μια κεραία είναι μικρή. Παράλληλα, συγκρίνοντας τις τιμές έντασης των Εικόνων 16 (ταράτσες) και 18 (επίπεδο δρόμων) παρουσιάζονται εφάμιλλες τιμές.



**Εικόνα 18** - Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνότητας, για δεδομένα μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους και στο επίπεδο του δρόμου γύρω από τις κεραίες (Streets).

### 4.3 Στατιστικά αποτελέσματα τιμών έκθεσης ανά ζώνη συχνοτήτων

Η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής (CDF) μιας τυχαίας μεταβλητής ορίζεται ως η πιθανότητα η μεταβλητή να πάρει μια τιμή μικρότερη ή ίση με μια συγκεκριμένη τιμή. Ο μαθηματικός ορισμός της, για μια διακριτή τυχαία μεταβλητή  $X$  είναι

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (8)$$

Εάν έχουμε μια διακριτή τυχαία μεταβλητή με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $p(x)$ , η CDF σε ένα σημείο  $x$  είναι το άθροισμα των πιθανοτήτων όλων των αποτελεσμάτων μικρότερων ή ίσων με  $x$ , το οποίο περιγράφεται

$$F(x) = \sum_{i=1}^N p(i) \quad (9)$$

Για ένα δεδομένο διάνυσμα πιθανοτήτων  $p = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ , όπου κάθε  $p_i$  είναι η πιθανότητα του  $i$ -οστού αποτελέσματος, η CDF σε ένα σημείο  $x$  είναι το άθροισμα των πιθανοτήτων των αποτελεσμάτων από 1 έως  $x$ .

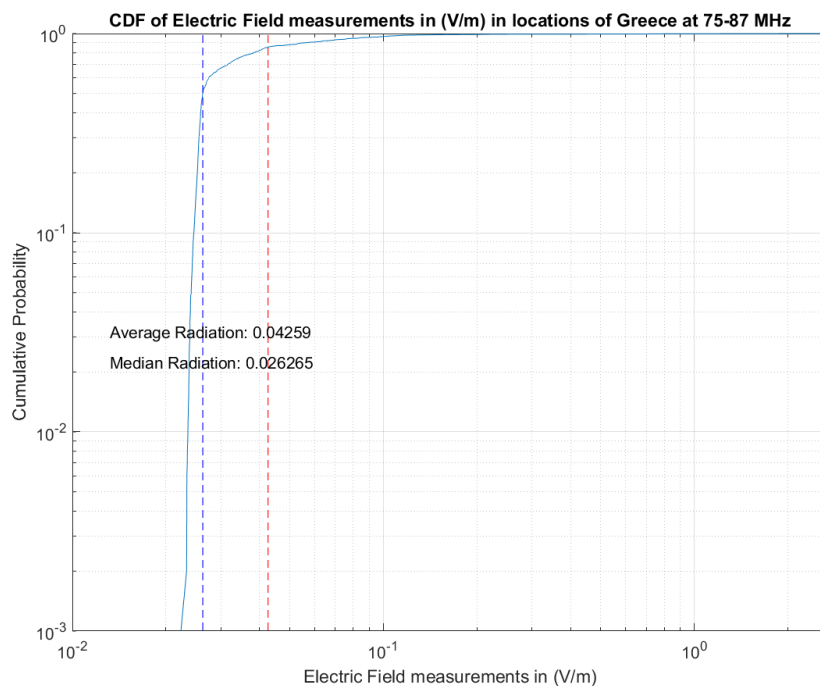
Στην Εικόνα 19 το διάγραμμα αναπαριστά την κατανομή των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε διάφορες τοποθεσίες στην Ελλάδα για τη ζώνη συχνοτήτων 75-87 MHz. Ο άξονας  $x$  αναπαριστά τις μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και ο άξονας  $y$  αναπαριστά τη συνάρτηση αθροιστικής κατανομής. Η μπλε καμπύλη δείχνει την αθροιστική πιθανότητα για κάθε μέτρηση έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, ξεκινώντας κοντά στο μηδέν και προσεγγίζοντας ασυμπτωτικά τη μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι καθώς μετακινούμαστε κατά μήκος του άξονα  $x$  από τις χαμηλές προς τις υψηλές μετρήσεις έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, η καμπύλη δείχνει την πιθανότητα μια τοποθεσία να έχει μέτρηση έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μικρότερη ή ίση με τη συγκεκριμένη τιμή. Η κόκκινη διακεκομμένη κάθετη γραμμή στα 0.04 V/m στον άξονα  $x$  αντιπροσωπεύει τη μέση ένταση (average) του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό δείχνει ότι περίπου το 50-70% των θέσεων έχουν μέτρηση έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μικρότερη ή ίση με αυτή τη μέση τιμή<sup>1</sup>. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή δείχνει την τιμή της διαμέσου (median) η οποία σε όλα τα συχνοτικά διαγράμματα παρατηρείται πως είναι λίγο

---

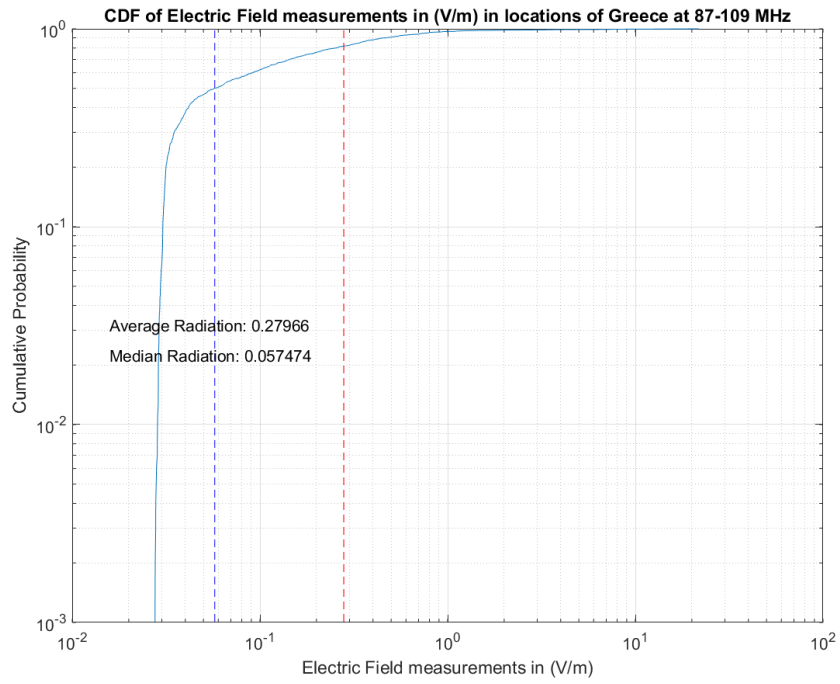
<sup>1</sup> Το ποίο είναι το ποσοστό των τιμών οι οποίες είναι μικρότερες από την μέση τιμή (average values) εξαρτάται από την κατανομή των δεδομένων. Ωστόσο, αν τα δεδομένα είναι κανονικά κατανομημένα (δηλαδή ακολουθούν καμπύλη καμπάνας), τότε μπορούμε να πούμε ότι περίπου το 50% των τιμών θα είναι μικρότερες από το μέσο όρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, σε μια κανονική κατανομή, ο μέσος όρος (μέσος όρος), η διάμεσος και ο τρόπος λειτουργίας είναι όλοι ίδιοι. Στην προκειμένη περίπτωση όμως οι τιμές ακολουθούν τυχαίες κατανομές και καθένα από τα συχνοτικά διανύσματα έχει αρκετά διαφορετική κατανομή τιμών με αποτέλεσμα η μέση τιμή να είναι πιο κοντά στο 70-80% και όχι στο 50% .

μικρότερη από τη μέση τιμή (περίπου 0.03 V/m στην Εικόνα 19). Έτσι, το διάγραμμα CDF παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του τρόπου με τον οποίο κατανέμονται οι μετρήσεις ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στις διάφορες τοποθεσίες στην Ελλάδα και πού εμπίπτει η μέση μέτρηση σε αυτή την κατανομή.

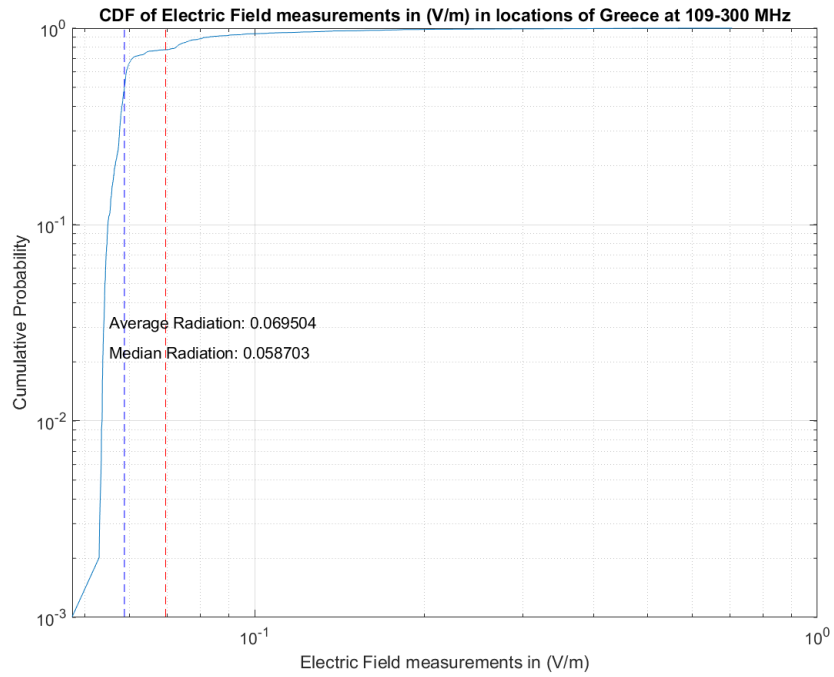
Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ερμηνεία του διαγράμματος μπορεί να εξαρτάται από το πλαίσιο και τη φύση των δεδομένων. Για παράδειγμα, εάν η καμπύλη είναι απότομη σε ένα συγκεκριμένο σημείο, αυτό υποδηλώνει υψηλή πυκνότητα σημείων δεδομένων στη συγκεκριμένη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Εάν η καμπύλη είναι επίπεδη, υποδηλώνει χαμηλή πυκνότητα σημείων δεδομένων. Στην προκειμένη περίπτωση, η καμπύλη φαίνεται να είναι πιο απότομη για μετρήσεις χαμηλότερης έντασης, γεγονός που υποδηλώνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των θέσεων έχει χαμηλές τιμές επιπέδων έκθεσης. Στη συνέχεια, η καμπύλη εξομαλύνεται, υποδεικνύοντας λιγότερες τοποθεσίες με μετρήσεις υψηλότερης έντασης ηλεκτρικού πεδίου.



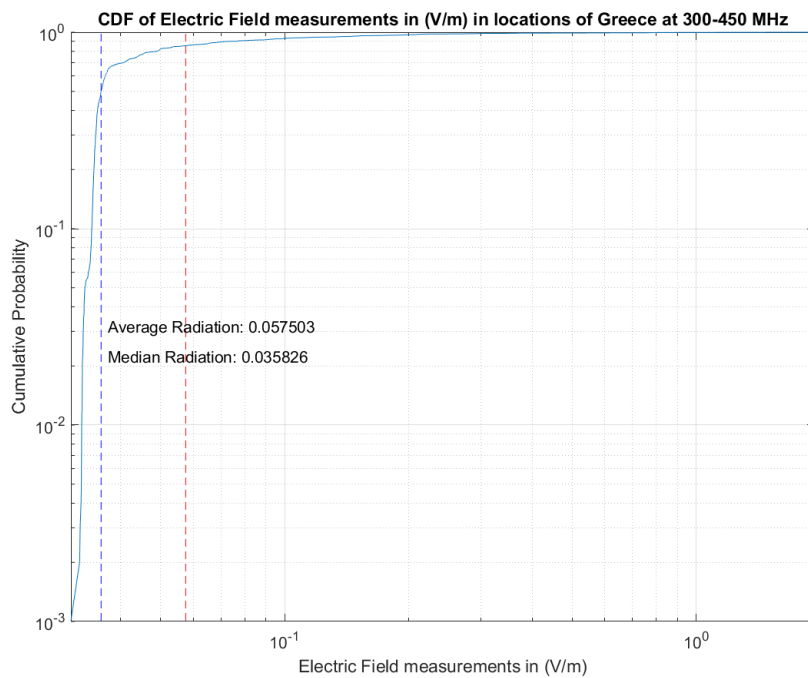
**Εικόνα 19** - Στατιστική κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για εύρος συχνοτήτων 75-87 MHz.



Εικόνα 20 - Μετρήσεις για συχνότητες 87-109 MHz.

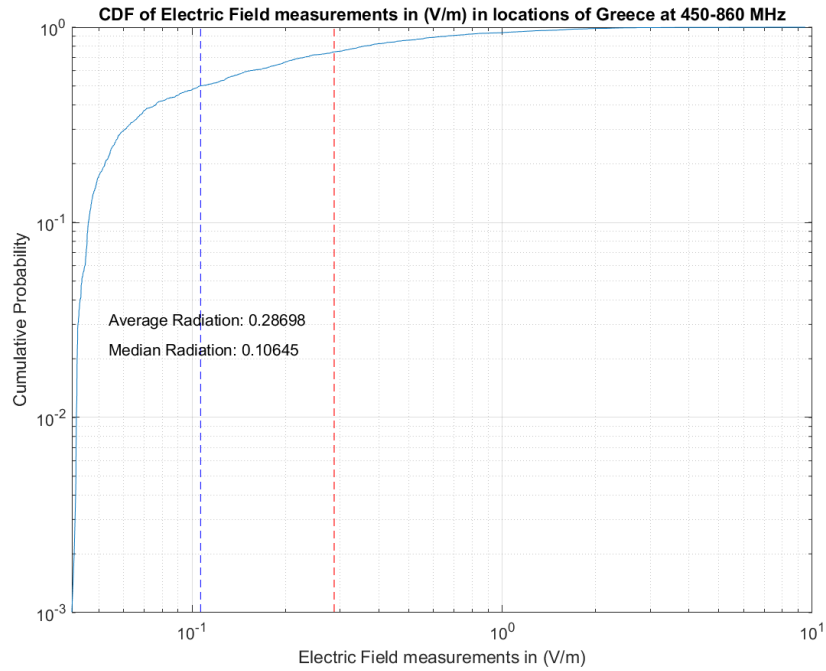


**Εικόνα 21** - Μετρήσεις για συχνότητες 109-300 MHz.

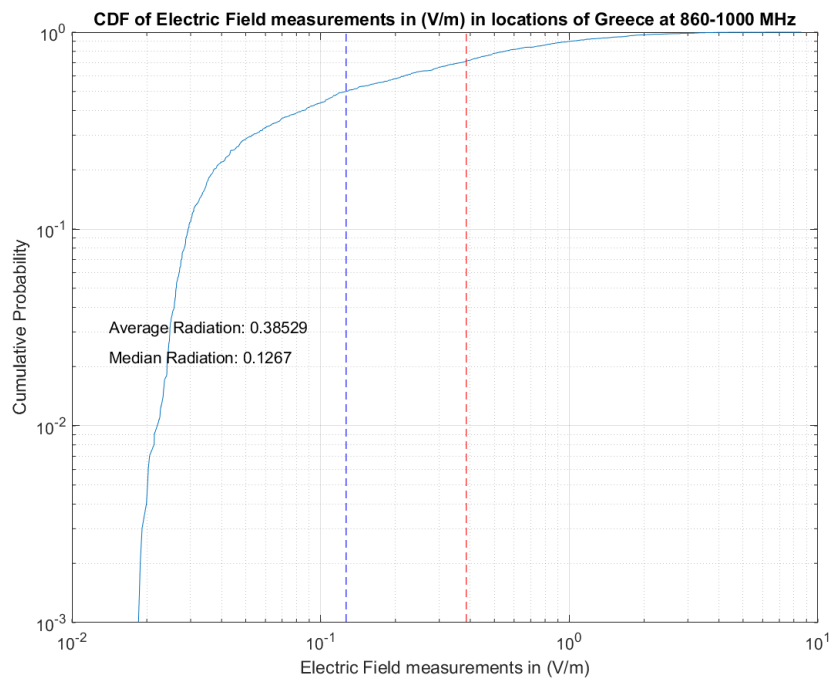


**Εικόνα 22** - Μετρήσεις για συχνότητες 300-450 MHz.

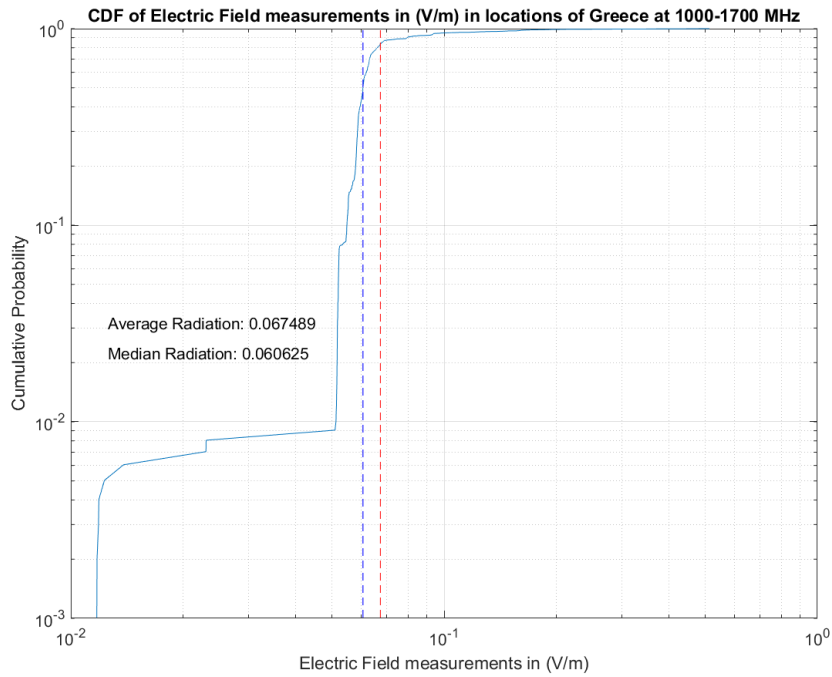




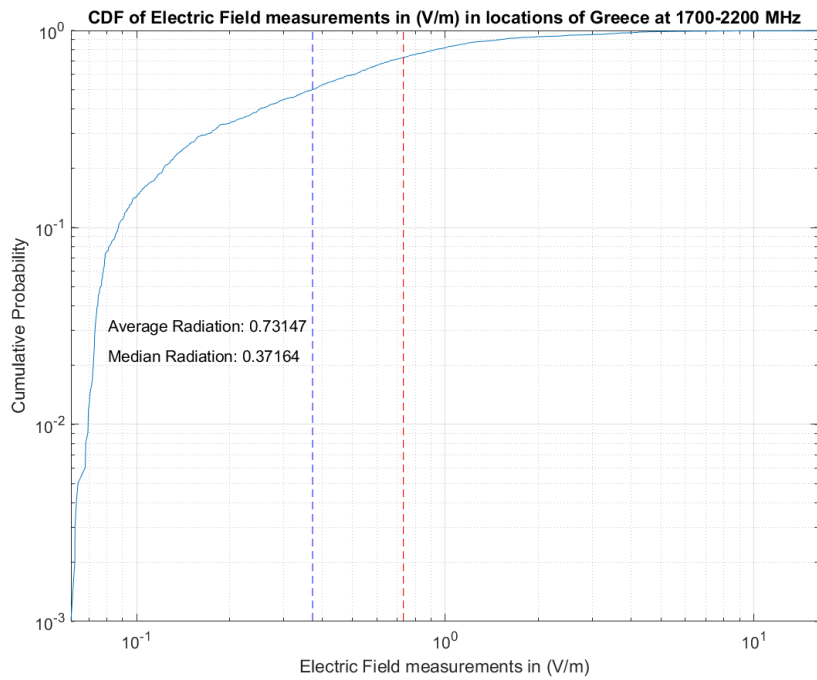
**Εικόνα 23** - Μετρήσεις για συχνότητες 450-860 MHz



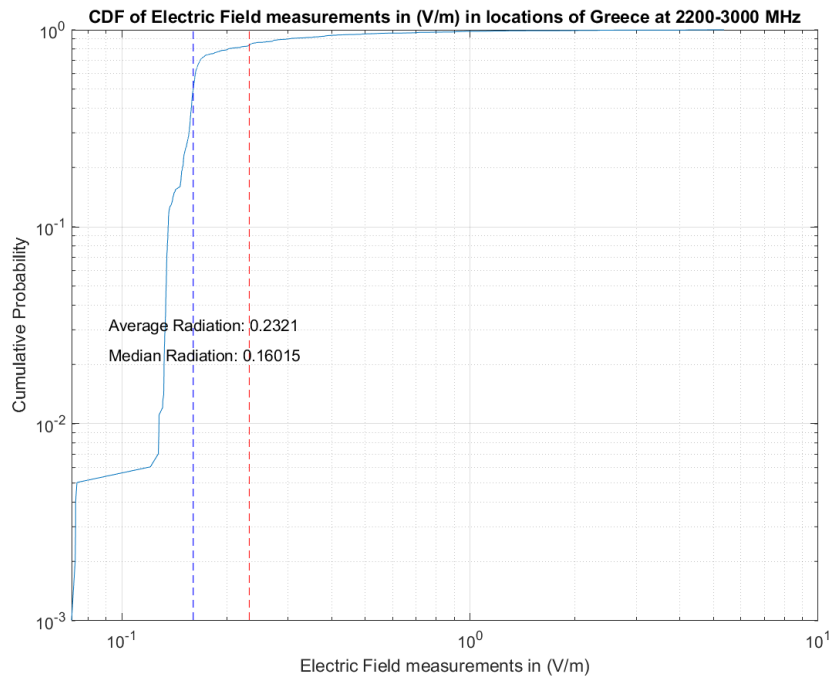
**Εικόνα 24** - Μετρήσεις για συχνότητες 860-1000 MHz.



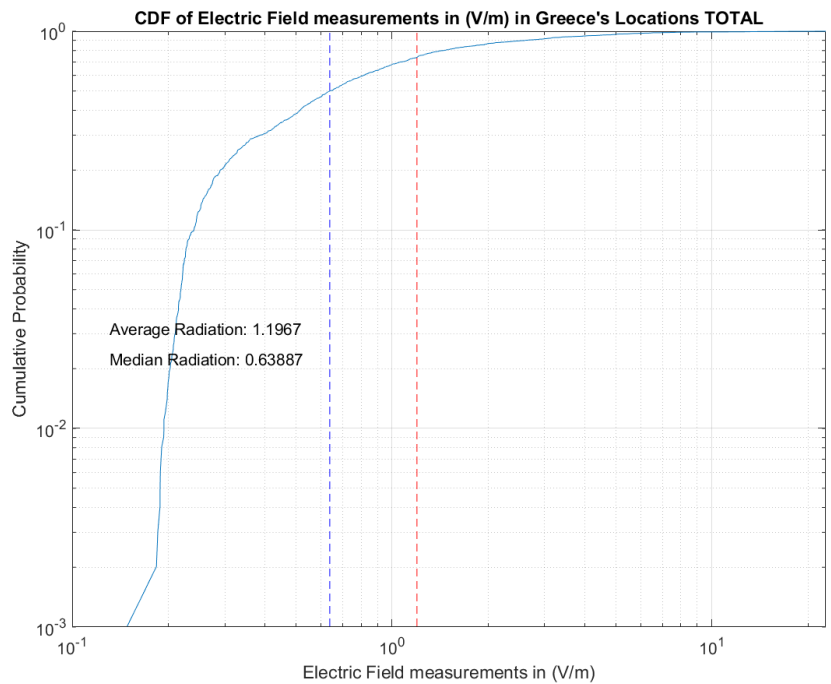
**Εικόνα 25** - Μετρήσεις για συχνότητες 1000-1700 MHz.



**Εικόνα 26** - Μετρήσεις για συχνότητες 1700-2200 MHz.



**Εικόνα 27** - Μετρήσεις για συχνότητες 2200-3000 MHz.

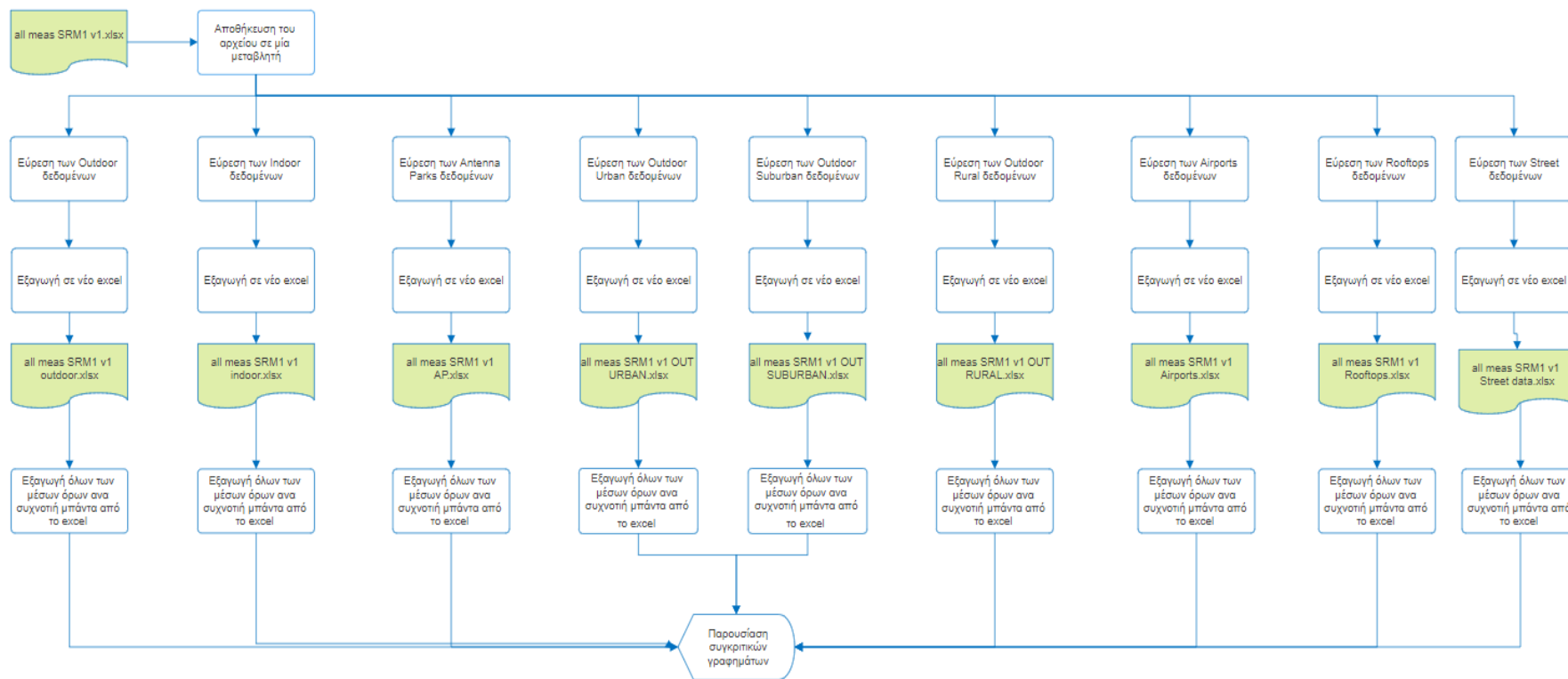


**Εικόνα 28** - Στατιστική κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το συνολικό εύρος συχνοτήτων 75-3000 MHz.

**Πίνακας 16** - Πίνακας απεικόνισης της μέσης τιμής και της διαμέσου σε κάθε συχνοτική ζώνη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

Ζώνη εκπομπής [MHz]	Υπηρεσία	Μέση τιμή έντασης Ηλ. Πεδίου [V/m]	Διάμεσος έντασης Ηλ. Πεδίου [V/m]
75-87	-	0.04	0.03
87-109	FM	0.28	0.06
109-300	VHF-TV, CB, AirCom	0.01	0.06
300-450	TETRA	0.06	0.04
450-860	UHF-TV / DVB-T	0.29	0.11
860-1000	GSM-900	0.39	0.13
1000-1700	Navigation, GPS, DAB	0.07	0.06
1700-2200	GSM-1800, UMTS	0.73	0.37
2200-3000	WiFi, LTE-2600	0.23	0.16
75-3000	<b>Σύνολο</b>	1.20	0.64

Στις Εικόνες 19-28 καθώς και στον Πίνακα 16 παρατηρείται ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η μέτρηση, καθώς και από την υπηρεσία. Σε ορισμένες περιοχές οι κεραιές οι οποίες χρησιμοποιούνται είτε για ευρυεκπομπή (FM, TV), ή για την κινητή τηλεφωνία και άλλες υπηρεσίες είναι πολυπληθείς (π.χ. στα αστικά κέντρα και τα προάστια), με αποτέλεσμα η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου να έχει υψηλές τιμές, ενώ σε άλλες περιοχές οι θέσεις εκπομπής είναι αρκετά απομακρυσμένες και πάνω σε βουνά ή λόφους (π.χ., πάρκα κεραιών, αγροτικές περιοχές) με αποτέλεσμα την χαμηλότερη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς οι εγκαταστάσεις των κεραιών γίνονται σύμφωνα με την πληθυσμιακή κάλυψη και τις απαιτήσεις των χρηστών. Δηλαδή σε αστικές περιοχές όπως η Αθήνα υπάρχει μεγάλο πλήθος κεραιών για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών, ενώ σε αγροτικές περιοχές και στην ύπαιθρο όπου απαιτείται χωρική και όχι πληθυσμιακή κάλυψη υπάρχουν λιγότερες κεραιές για την εξυπηρέτηση μικρού πλήθους χρηστών (π.χ. σε χωριά ή απομονωμένες περιοχές). Συνεπώς, για να γίνει μία σωστή πρόβλεψη των επιπέδων έκθεσης της Η/Μ ακτινοβολίας θα πρέπει να μπει μέσα στο σύνολο των δεδομένων και ο παράγοντας /περιβάλλον/θέση.



**Εικόνα 29** - Απεικόνιση διαγράμματος ροής εξαγωγής των δεδομένων και αποθήκευση των μέσων τιμών αυτών σε μεταβλητές.

## Κεφάλαιο 5

# Ανάπτυξη λογισμικού έξυπνης πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Στο κεφάλαιο ή θα παρουσιαστεί ένα λογισμικό το οποίο διαβάζοντας ένα σύνολο δεδομένων με μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, θα πραγματοποιεί πρόβλεψη σε ένα τυχαίο σημείο με άγνωστη θέση, με την χρήση ενός αλγορίθμου μηχανικής μάθησης. Επειδή τα δεδομένα δεν είναι ομοιόμορφα, δηλαδή κάθε γραμμή και κάθε στήλη να έχουν πληροφορία και επίσης καθώς υπάρχουν πολλά κενά κελιά δημιουργήθηκε ένα νέο σύνολο δεδομένων βασισμένο στο αρχικό, το οποίο έχει στην πρώτη στήλη τη συνολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από όλες τις περιοχές που υπάρχουν και στη δεύτερη στήλη, εμφανίζεται ο κωδικός της κάθε περιοχής, ενώ στην τρίτη και τέταρτη στήλη το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αυτής της περιοχής.

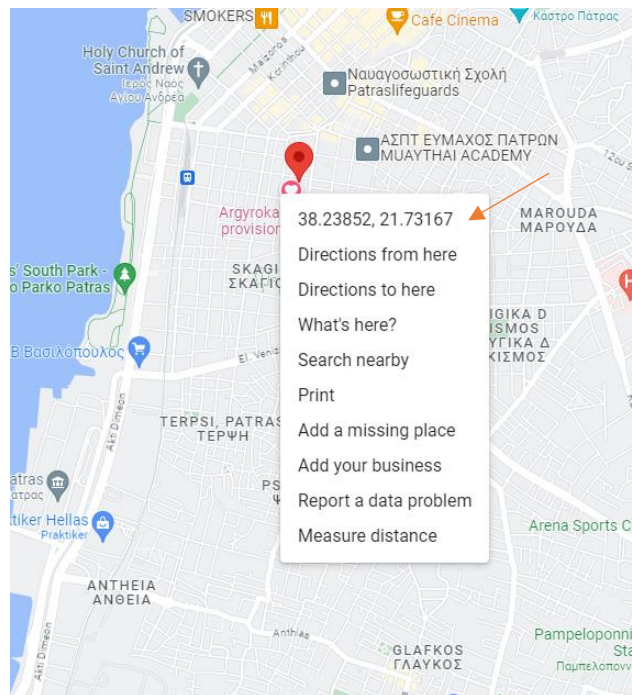
	A	B	C	D
1	Total_Radiation(75-3000Hz)	Location_Code_Name	Latitude	Longitude
2	0.599	1	37.94133585	23.73162403
3	0.953	1	37.94133585	23.73162403
4	0.7	1	37.94133585	23.73162403
5	0.604	1	37.94133585	23.73162403
6	0.501	1	37.94133585	23.73162403
7	0.961	2	38.44400625	22.87980267
8	1.785	2	38.44400625	22.87980267
9	1.096	2	38.44400625	22.87980267
10	1.116	2	38.44400625	22.87980267
11	0.989	2	38.44400625	22.87980267
12	1.251	2	38.44400625	22.87980267
13	3.424	2	38.44400625	22.87980267
14	1.846	2	38.44400625	22.87980267
15	0.582	2	38.44400625	22.87980267
16	0.288	3	38.01314549	23.82243669
17	0.756	3	38.01314549	23.82243669
18	0.273	3	38.01314549	23.82243669
19	0.276	3	38.01314549	23.82243669
20	0.302	3	38.01314549	23.82243669
21	0.328	3	38.01314549	23.82243669
22	0.279	3	38.01314549	23.82243669
23	0.66	4	38.00906969	23.87760732
24	1.21	4	38.00906969	23.87760732
25	1.329	4	38.00906969	23.87760732
26	1.212	4	38.00906969	23.87760732
27	0.907	4	38.00906969	23.87760732
28	1.084	4	38.00906969	23.87760732
29	0.486	4	38.00906969	23.87760732
30	0.481	4	38.00906969	23.87760732
31	0.425	4	38.00906969	23.87760732
32	0.425	4	38.00906969	23.87760732
33	0.405	5	37.93036906	23.70272438
34	1.21	5	37.93036906	23.70272438
35	0.747	5	37.93036906	23.70272438
36	0.573	5	37.93036906	23.70272438
37	0.649	5	37.93036906	23.70272438
38	2.607	6	37.98099518	23.7321685
39	0.399	6	37.98099518	23.7321685
40	0.292	6	37.98099518	23.7321685

Εικόνα 30 - Απεικόνιση των δεδομένων το οποίο χρησιμοποιεί γεωγραφικές συντεταγμένες.

## 5.1 Ανάλυση της εφαρμογής πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης

Είναι σημαντικό πριν την επεξήγηση του κώδικα να γίνει μια λεπτομερής παρουσίαση του σεναρίου που χρησιμοποιεί η εφαρμογή η οποία υλοποιήθηκε με σκοπό να μπορεί μέσω των μετρούμενων δεδομένων, να μπορεί σε ένα τυχαίο άγνωστο σημείο μέσα στον Ελλαδικό χώρο να προβλέψει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο αυτό.

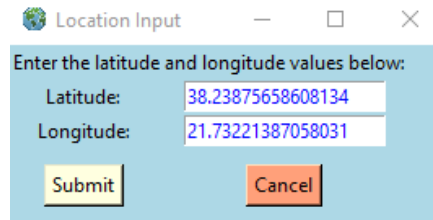
**Βήμα 1:** ο χρήστης ανοίγει κάποια υπηρεσία χαρτών προκειμένου να βρει τις συντεταγμένες από ένα σημείο αναφοράς που τον ενδιαφέρει να πραγματοποιήσει την πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.



**Εικόνα 31** - Συντεταγμένες ενός σημείου ενδιαφέροντος σε άγνωστη θέση, για την πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

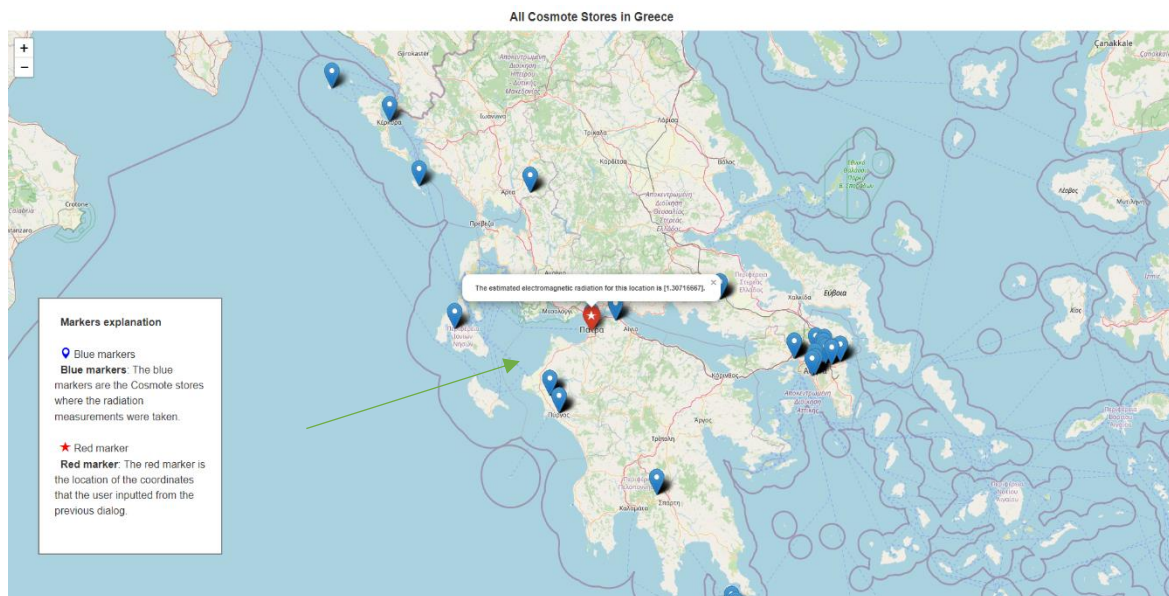
**Βήμα 2:** Ο χρήστης θα εισάγει τις συντεταγμένες τις οποίες βρήκε προηγουμένως στο GUI το οποίο δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της εφαρμογής.

Οι συντεταγμένες αυτές είναι: 38.2387, 21.7322 σε δεκαδική μορφή μοιρών (decimal degrees).



**Εικόνα 32** - Συμπλήρωση συντεταγμένων από το χρήστη.

**Βήμα 3** Όταν ο χρήστης υποβάλλει τις συντεταγμένες τότε αυτόματα θα ανοίξει ένας χάρτης σε μία καρτέλα στον Διαδικτυακό Πλοηγό του. Εδώ δείχνει όλα τα σημεία τα οποία περιέχουν τα αρχικά δεδομένα με τις μετρήσεις που έχουν γίνει και πάνω στο σημείο το κόκκινο δείχνει στον χρήστη την τοποθεσία που επέλεξε καθώς και την εκτιμώμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου με βάση τον αλγόριθμο γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression).



**Εικόνα 33** - Αναπαράσταση του χάρτη που εμφανίζεται όταν ο χρήστης εισάγει τις συντεταγμένες.



## 5.2 Ανάλυση του κώδικα για την υλοποίηση της εφαρμογής

Αρχικά για να γίνει κατανοητός ο κώδικας ο οποίος συγγράφηκε θα πρέπει να γίνει λεπτομερής ανάλυση των αρχείων που δημιουργήθηκαν στην υπάρχουσα εργασία. Το περιβάλλον εργασίας το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το PyCharm Community Edition 2022.2.2 και ο κώδικας ο οποίος δημιουργήθηκε είναι σε γλώσσα Python. Τα αρχεία σε κώδικα Python τα οποία δημιουργήθηκαν είναι τα εξής:

### 1) **coordinates\_input\_GUI.py**

Σε αυτό το αρχείο γίνεται η δημιουργία του GUI (Graphical User Interface) με το οποίο ο χρήστης εισάγει τις συντεταγμένες που τον ενδιαφέρουν προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

### 2) **main.py**

Σε αυτό το αρχείο γίνεται η εισαγωγή των βιβλιοθηκών, ο καθαρισμός των αρχείων και η κλήση των μεθόδων των κλάσεων των άλλων αρχείων.

### 3) **map\_creation.py**

Σε αυτό το αρχείο δημιουργείται ο χάρτης πάνω στον οποίο εμφανίζονται: 1) το σημείο το οποίο επέλεξε ο χρήστης ως σημείο αναφοράς πρόβλεψης, 2) όλα τα σημεία του των αρχικών δεδομένων των μετρήσεων, 3) το υπόμνημα επεξήγησης των συμβόλων του χάρτη και 4) η τιμή της προβλεπόμενης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πάνω στο σημείο αναφοράς.

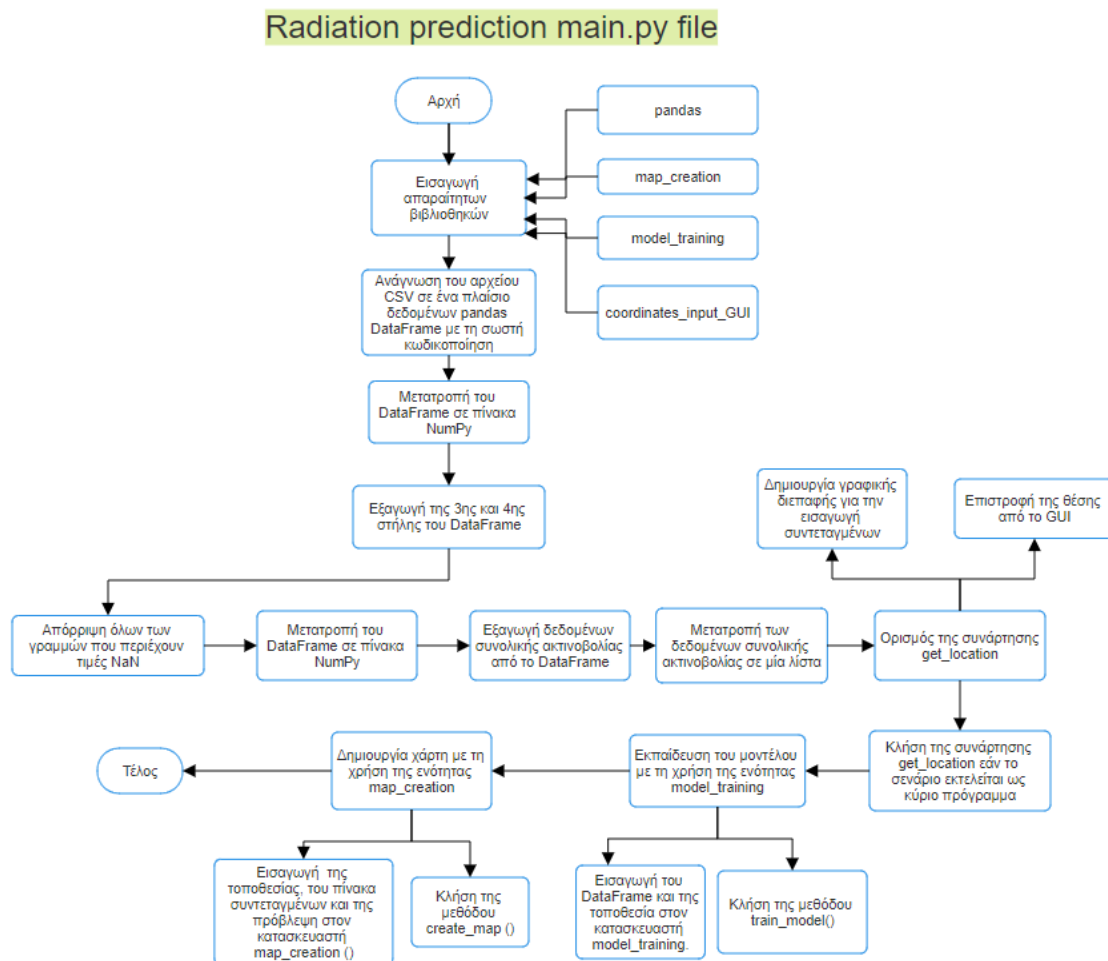
### 4) **model\_training.py**

Σε αυτό το αρχείο υλοποιείται η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου με τη χρήση του αλγορίθμου μηχανικής μάθησης της γραμμικής παλινδρόμησης, με την οποία πραγματοποιείται η πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

Πέρα από τα αρχεία κώδικα σε Python, δημιουργήθηκαν και αρχεία δεδομένων έτσι ώστε να μπορέσει ο κώδικας να διαβάσει τα αρχεία αυτά. Καθώς τα αρχεία τύπου .xlsx είναι δύσκολο να διαβαστούν και να τροποποιηθούν είναι καλή πρακτική στο προγραμματισμό να χρησιμοποιούνται είτε αρχεία .txt, ή .csv προκειμένου να γίνει ευκολότερα και πιο αποδοτικά (με μικρότερο υπολογιστικό κόστος) η ανάλυση των δεδομένων.

Διάγραμμα ροής αρχείου main.py

Στην παρακάτω εικόνα 34 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της λειτουργίας του κώδικα ο οποίος υλοποιεί την εφαρμογή πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με χρήση μηχανικής μάθησης. Είναι φανερό πως μόνο από το διάγραμμα ροής μπορεί κανείς να αντιληφθεί το πλήθος των συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για το νευρωνικό δίκτυο όσο και για το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής.



Εικόνα 34 - Διάγραμμα ροής αρχείου main.py.

### 5.3 Ανάλυση του αλγορίθμου μηχανικής μάθησης

Στην εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί η οποία πραγματοποιεί πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, οι ανεξάρτητες μεταβλητές  $X$  είναι οι στήλες οι οποίες απεικονίζουν το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος και η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κάθε γεωγραφικό σημείο. Επομένως η απεικόνιση του μοντέλου θα γίνει σε ένα τρισδιάστατο χώρο καθώς οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι ένας πίνακας με  $N$  γραμμές και 2 στήλες, οπότε οι ανεξάρτητες μεταβλητές από μόνες τους απεικονίζονται σε 2 διαστάσεις.

Μέσα από τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα: α) όταν υπάρχουν σημεία στα αρχικά δεδομένα κοντά στο σημείο πρόβλεψης, παρατηρεί κανείς ότι το σημείο πρόβλεψης θα έχει τιμές παρόμοιες με τα γύρω σημεία, το οποίο είναι λογικό γιατί είναι αναμενόμενο. Όμως παρατηρείται πως όσο μεγαλώνουν οι αποστάσεις των μετρήσεων τα σημεία πρόβλεψης μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές από τα γύρω σημεία μέτρησης.

Για να γίνει ακριβέστερο το μοντέλο πρόβλεψης θα ήταν ιδανικό η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου, να πραγματοποιηθεί με χιλιάδες τιμές δεδομένων από μεγάλο χωρικό εύρος (δηλαδή πολλές διαφορετικές και σε απόσταση θέσεις) προκειμένου τα αποτελέσματα πρόβλεψης να είναι ακριβέστερα.

## 5.4 Αποτελέσματα πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με βάση το μοντέλο μηχανικής μάθησης

**Πίνακας 17** - Πίνακας συντεταγμένων και αποτελεσμάτων πρόβλεψης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Μέτρηση [V/m]	Πρόβλεψη [V/m]	Απόκλιση <sup>2</sup> [%]	Όνομα τοποθεσίας
23.6822	37.9909	1.343	1.099	18.2	Αιγάλεω
23.7259	37.9716	0.567	0.746	31.5	Ακρόπολη
23.7292	37.9360	0.872	0.671	23.1	Αγ. Δημήτριος Αττικής
23.7563	37.8765	1.195	1.099	8.0	Γλυφάδα
25.3753	37.1074	0.854	0.671	21.4	Νάξος
21.7351	38.2466	3.051	1.800	41.0	Πάτρα
20.4898	38.1733	1.136	1.307	15.1	Αργοστόλι
22.8798	38.4440	0.961	1.450	50.9	Ορχομενός
23.8224	38.0131	0.288	0.357	24.1	Αγ. Παρασκευή
23.8789	38.0053	0.660	0.614	6.9	Γέρακας
23.7025	37.9303	0.405	0.717	76.9	Παλαιό Φάληρο
23.7326	37.9810	2.607	1.093	58.1	Πανεπιστημίου 61
23.7901	38.0483	1.001	0.816	18.5	Παράδεισος Αμαρουσίου
23.7337	37.9850	0.374	0.654	74.9	Καλλιτεχνούπολη
23.8026	38.0232	0.783	0.814	3.9	Μαραθόνας
23.5426	38.0478	0.133	0.230	72.4	Ελευσίνα
23.8143	38.0741	0.236	0.300	27.4	Κηφισιά
20.1859	39.1973	0.271	0.358	32.2	Παξοί
19.9211	39.6212	0.282	0.398	41.2	Κέρκυρα
22.3155	37.1262	1.983	1.390	29.9	Καλαμάτα
20.5034	38.2449	1.232	1.307	6.1	Σάμη

Στον Πίνακα 17 ο οποίος απεικονίζει τόσο τις τιμές των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου όσο και τις προβλέψεις του νευρωνικού δικτύου για τις περιοχές αυτές, παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις σε περιοχές της Αττικής είναι μικρότερες από ότι οι αποκλίσεις σε περιοχές εκτός Αττικής. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την εκπαίδευση του υπάρχοντος νευρωνικού δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως περιοχές μέσα στην Αττική (όπου υπάρχει και μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων), συνεπώς ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης λόγω της πυκνότητας των σημείων σε περιοχές εντός της Αττικής κάνει καλύτερες προβλέψεις. Ακόμα παρατηρείται πως η μέση απόλυτη απόκλιση του συνολικού δικτύου δεν είναι μεγάλη (είναι 32.5%), παρόλο που το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης είναι μικρό για το σύνολο της Ελληνικής επικράτειας. Είναι ένα πρώτο βήμα υλοποίησης ενός αλγορίθμου γεωχωρικής πρόβλεψης, ο οποίος με την

<sup>2</sup> Ο τύπος της απόκλισης υπολογίζεται από την έκφραση:  $\left( \frac{\text{Μέτρηση} - \text{Πρόβλεψη}}{\text{Πρόβλεψη}} \right) \cdot 100 \%$

εκπαίδευσή του, χρησιμοποιώντας νέες και περισσότερες μετρήσεις, αναμένεται να πραγματοποιεί ακόμη ακριβέστερες προβλέψεις σε άγνωστες θέσεις.

Τέλος, παρατηρείται ότι τα σημεία τα οποία είναι μακριά από τις συντεταγμένες των σημείων που υπάρχουν στα πρωτογενή δεδομένα πολλές φορές έχουν ίδιες τιμές. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία ώστε ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης να είναι αποδοτικός. Ακόμα μπορεί εύκολα κανείς να δει ότι τα σημεία τα οποία βρίσκονται κοντά σε άλλα σημεία των αρχικών δεδομένων έχουν καλύτερες τιμές πρόβλεψης καθώς ο αλγόριθμος είναι πιο αποδοτικός, καθώς τα σημεία αυτά είναι κοντά στην γραμμική εξίσωση που υλοποιείται, προκειμένου να προβλέψει τις τιμές των νέων αυτών σημείων.

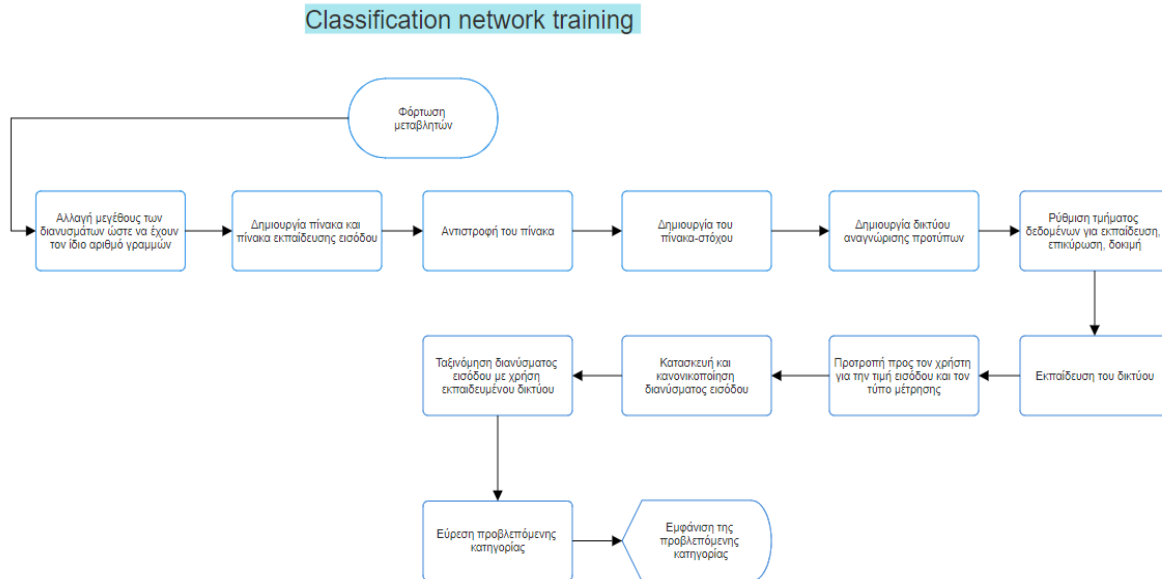
## 5.5 Κατηγοριοποίηση των επιπέδων έκθεσης με βάση το περιβάλλον με χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης

Στην παρακάτω εικόνα γίνεται προτροπή εισόδου από το χρήστη να δώσει μία τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Στη συνέχεια αφού ο χρήστης την εισάγει, το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται και απαντά τελικά στο χρήστη σε ποια κατηγορία τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου η δοσμένη τιμή θα αντιστοιχούσε.

```
>> Classification
Please input a value: 2.123
Please specify the type of measurement (1-9): 1
The value could be in column 7 (airports total data) of the input_training_table.
>> Classification
Please input a value: 1.234
Please specify the type of measurement (1-9): 2
The value could be in column 5 (suburban total data) of the input_training_table.
>> Classification
Please input a value: 1.97
Please specify the type of measurement (1-9): 1
The value could be in column 8 (rooftops total data) of the input_training_table.
```

**Εικόνα 35** - Έξυπνη κατηγοριοποίηση δοθείσας τιμής έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κατάλληλη ζώνη συχνοτήτων με βάση τις συνολικές τιμές των αρχικών δεδομένων μετρήσεων.

## Επεξήγηση και παρουσίαση διαγράμματος ροής για Classification



**Εικόνα 36** - Απεικόνιση του κώδικα ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ενός έξυπνου προγράμματος κατηγοριοποίησης των τιμών δοθείσας έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κατάλληλες ζώνες συχνοτήτων.

Ο κώδικας MATLAB ο οποίος απεικονίζεται στο διάγραμμα ροής της Εικόνας 36 και συγγράφηκε για την έξυπνη κατηγοριοποίηση, είναι βασισμένος σε ένα πρόγραμμα μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιεί ένα νευρωνικό δίκτυο αναγνώρισης προτύπων για την ταξινόμηση δεδομένων. Το σενάριο χωρίζεται σε διάφορα τμήματα, καθένα από τα οποία εκτελεί μια συγκεκριμένη εργασία στο δίκτυο μηχανικής μάθησης: φόρτωση και προεπεξεργασία δεδομένων, δημιουργία και διαμόρφωση δικτύου, εκπαίδευση και πρόβλεψη.

Στην πρώτη ενότητα, το σενάριο φορτώνει ένα σύνολο μεταβλητών από ένα αρχείο με όνομα "variables.mat"<sup>3</sup>. Αυτές οι μεταβλητές αντιπροσωπεύουν διαφορετικές κατηγορίες δεδομένων, καθεμία από τις οποίες είναι αποθηκευμένη σε ξεχωριστό διάνυσμα. Τα διανύσματα μπορεί να έχουν διαφορετικά μήκη, οπότε το σενάριο υπολογίζει το μέγιστο μήκος και γεμίζει τα μικρότερα διανύσματα με μηδενικά στο τέλος για να ταιριάζει με αυτό το μήκος. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει ότι όλα τα διανύσματα έχουν τον ίδιο αριθμό γραμμών, ο οποίος είναι απαραίτητος για την περαιτέρω επεξεργασία. Τα διανύσματα συνδυάζονται στη συνέχεια και

<sup>3</sup> Οι μεταβλητές οι οποίες φορτώνονται είναι τα διανύσματα τα οποία περιέχουν όλες τις συνολικές τιμές από κάθε κατηγορία είδους μέτρησης (Indoor, Outdoor, Urban, Suburban, Rural, Antenna Parks, Streets, Airports, Rooftops)

μετατρέπονται σε πίνακα, ο οποίος μετατίθεται έτσι ώστε κάθε στήλη να αντιπροσωπεύει ένα δείγμα.

Το δεύτερο τμήμα του σεναρίου ασχολείται με τη δημιουργία του πίνακα-στόχου και του νευρωνικού δικτύου. Ο πίνακας-στόχος είναι ένας πίνακας  $9 \times 750$  όπου κάθε στήλη αντιστοιχεί σε ένα δείγμα και μόνο ένα στοιχείο σε κάθε στήλη είναι 1 (υποδεικνύει την κατηγορία του δείγματος) ενώ τα υπόλοιπα είναι 0. Το σενάριο δημιουργεί στη συνέχεια ένα δίκτυο αναγνώρισης προτύπων με καθορισμένο μέγεθος για το κρυφό στρώμα. Τα δεδομένα χωρίζονται σε σύνολα εκπαίδευσης (training), επικύρωσης (validation) και δοκιμής (testing) σε αναλογία 70%, 15% και 15%, αντίστοιχα.

Στην τρίτη ενότητα, το σενάριο εκπαιδεύει το δίκτυο χρησιμοποιώντας τον πίνακα εισόδου και τον πίνακα στόχο. Ο αλγόριθμος προσαρμόζει τα βάρη του δικτύου ώστε να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ της εξόδου του δικτύου και του στόχου. Το αποτέλεσμα είναι ένα εκπαιδευμένο δίκτυο που μπορεί να ταξινομήσει (classify) τα δεδομένα εισόδου σε μία από τις εννέα κατηγορίες.

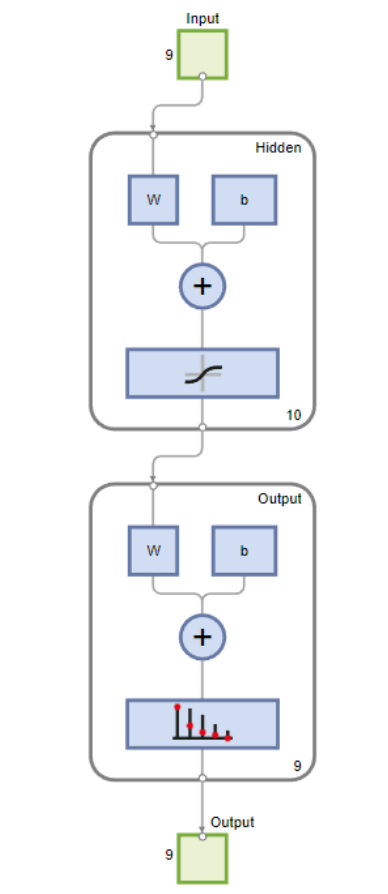
Το τελευταίο τμήμα του σεναρίου αφορά την πραγματοποίηση προβλέψεων με το εκπαιδευμένο δίκτυο. Ο χρήστης καλείται να εισάγει μια τιμή και να καθορίσει τον τύπο της μέτρησης. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός διανύσματος εισόδου, το οποίο στη συνέχεια κανονικοποιείται χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των δεδομένων εκπαίδευσης. Το εκπαιδευμένο δίκτυο ταξινομεί το κανονικοποιημένο διάνυσμα εισόδου και το σενάριο βρίσκει την προβλεπόμενη κατηγορία προσδιορίζοντας τον δείκτη της μέγιστης τιμής στην έξοδο του δικτύου. Στη συνέχεια, το σενάριο εμφανίζει ένα μήνυμα που υποδεικνύει την προβλεπόμενη κατηγορία.

Συνοπτικά, αυτό το σενάριο δείχνει μια τυπική ροή εργασίας μηχανικής μάθησης το οποίο υλοποιεί: 1) φόρτωση και προεπεξεργασία δεδομένων, 2) δημιουργία και διαμόρφωση ενός μοντέλου, 3) εκπαίδευση του μοντέλου και πραγματοποίηση προβλέψεων με το εκπαιδευμένο μοντέλο. Το σενάριο είναι καλά δομημένο και αρθρωτό, καθιστώντας εύκολη την κατανόηση κάθε βήματος της διαδικασίας. Επίσης, κάνει χρήση των ενσωματωμένων συναρτήσεων του MATLAB για νευρωνικά δίκτυα, οι οποίες απλοποιούν την υλοποίηση πολύπλοκων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Η χρήση ενός δικτύου αναγνώρισης προτύπων είναι κατάλληλη για αυτή την εργασία, καθώς έχει σχεδιαστεί για να ταξινομεί τα διανύσματα εισόδου σε μία από πολλές αμοιβαία αποκλειόμενες κατηγορίες, πράγμα που είναι ακριβώς

αυτό που απαιτείται εδώ. Το σενάριο περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση με τον χρήστη, επιτρέποντάς του να εισάγει τα δικά του δεδομένα για ταξινόμηση από το εκπαιδευμένο δίκτυο. Αυτό καθιστά το σενάριο όχι απλώς μια επίδειξη μηχανικής μάθησης, αλλά ένα δυνητικά χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση και ταξινόμηση δεδομένων του πραγματικού κόσμου.

### Ανάλυση του τελικού εκπαιδευμένου δικτύου

Το εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο έχει 1 κρυφό επίπεδο (hidden layer) το οποίο αποτελείται από 10 νευρώνες. Στις παρακάτω εικόνες ακολουθεί η λεπτομερής περιγραφή των χαρακτηριστικών του νευρωνικού δικτύου όπως το διάγραμμα της δομής του, το διάγραμμα επιδόσεων εκπαίδευσής του και το διάγραμμα της κατάστασης εκπαίδευσής του δικτύου σε σχέση με το κάθε epoch (επανάληψη/iteration).

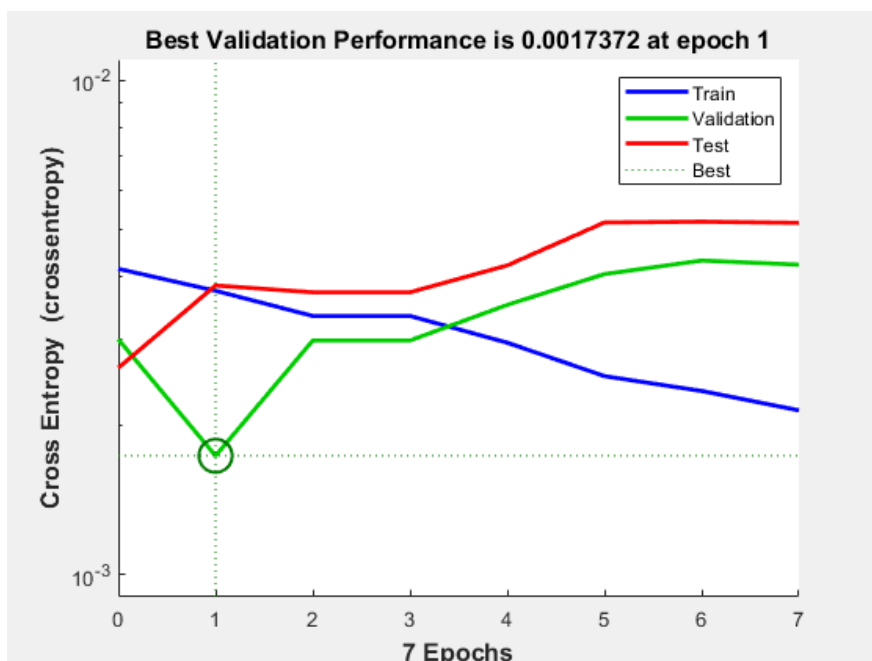


Εικόνα 37 - Διάγραμμα δομής νευρωνικού δικτύου.



Η Εικόνα 37 παρουσιάζει μια απλοποιημένη αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής ενός νευρωνικού δικτύου. Αποτελείται από τρία επίπεδα: 1) το επίπεδο εισόδου, 2) το κρυφό επίπεδο και 3) το επίπεδο εξόδου. Η ροή των δεδομένων μέσω του δικτύου υποδεικνύεται από βέλη που δείχνουν από το στρώμα εισόδου στο κρυφό στρώμα και στη συνέχεια στο στρώμα εξόδου.

Σε κάθε επίπεδο, υπάρχουν ορθογώνια που χωρίζονται σε δύο τμήματα. Το επάνω τμήμα περιέχει τα γράμματα "W" και "b", τα οποία αντιπροσωπεύουν τα βάρη (Weights) και τα σφάλματα (bias), αντίστοιχα. Αυτά είναι θεμελιώδη στοιχεία στους υπολογισμούς των νευρωνικών δικτύων. Κάτω από αυτά, υπάρχει το σχήμα της άθροισης που συνδυάζει τις εισόδους με τα βάρη και τα σφάλματα. Στο κρυφό επίπεδο, η αθροισμένη είσοδος τροφοδοτεί τη συνάρτηση ενεργοποίησης (activation function), για να μετατρέψει την αθροισμένη είσοδο σε δέκα διαφορετικές τιμές ή χαρακτηριστικά. Το στρώμα εξόδου παρουσιάζει παρόμοια δομή, αλλά καταλήγει στις τελικές επεξεργασμένες τιμές εξόδου από το δίκτυο. Το διάγραμμα παρέχει μια αφηρημένη άποψη του τρόπου με τον οποίο τα δεδομένα ρέουν μέσω της αρχιτεκτονικής ενός νευρωνικού δικτύου από την είσοδο στην έξοδο, τονίζοντας βασικά υπολογιστικά στοιχεία όπως βάρη, σφάλματα και συναρτήσεις ενεργοποίησης.



Εικόνα 38 - Διάγραμμα επιδόσεων της εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.

Στην Εικόνα 38 απεικονίζεται το διάγραμμα επιδόσεων της διαδικασίας εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου σε αυτό το διάγραμμα παρατηρείται:

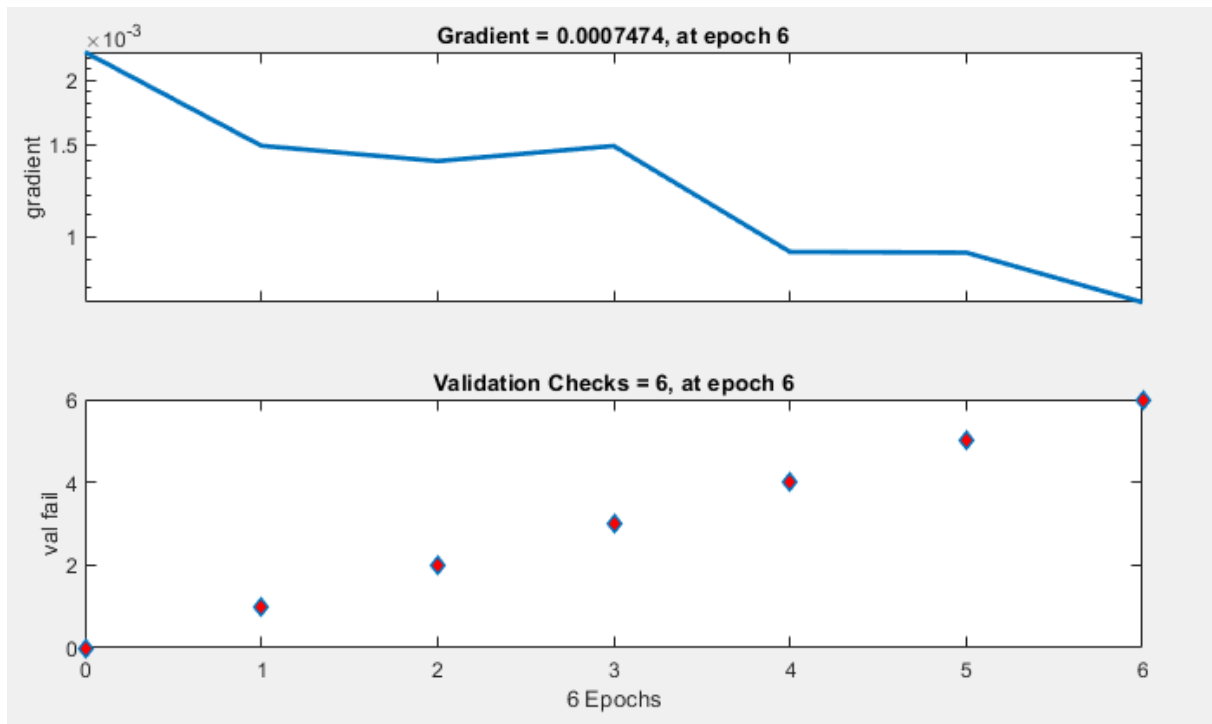
- 1) **Η απώλεια της διασταυρούμενης εντροπίας<sup>4</sup>:** Ο άξονας  $y$  αντιπροσωπεύει την κλιμακούμενη απώλεια διασταυρούμενης εντροπίας. Είναι μια κοινή συνάρτηση απώλειας που χρησιμοποιείται σε προβλήματα ταξινόμησης. Μετρά τη διαφορά μεταξύ της προβλεπόμενης κατανομής πιθανότητας και της πραγματικής κατανομής.
- 2) **Εποχές (Epochs):** Ο άξονας  $x$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό των επαναλήψεων, οι οποίες είναι πλήρεις διελεύσεις ολόκληρου του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης. Το διάγραμμα δείχνει την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκπαίδευσης σε έξι επαναλήψεις (εποχές).
- 3) **Γραμμές εκπαίδευσης, επικύρωσης, δοκιμής:** Το διάγραμμα περιλαμβάνει τέσσερις γραμμές που αντιπροσωπεύουν τα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης, επικύρωσης και δοκιμής. Η γραμμή "Train" (με μπλε χρώμα) Η μπλε γραμμή αναπαριστά την απώλεια εκπαίδευσης, η οποία μειώνεται σταθερά, υποδηλώνοντας ότι το δίκτυο μαθαίνει αποτελεσματικά από τα δεδομένα εκπαίδευσης. Από την άλλη η γραμμή "Επικύρωση" (με πράσινο χρώμα) η οποία χρησιμοποιείται για να παρακολουθεί πόσο καλά το μοντέλο γενικεύει σε αόρατα δεδομένα κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης παρουσιάζει διακυμάνσεις, αλλά και γενικά ανοδική τάση, γεγονός που υποδηλώνει ότι το μοντέλο γενικεύει καλά σε αόρατα δεδομένα.
- 4) **Καλύτερη απόδοση:** Το μαύρο αστέρι με την ένδειξη "Best" αντιστοιχεί στην καλύτερη επίδοση επικύρωσης, η οποία σημειώνεται ότι είναι 0,0011589 στην επανάληψη (epoch) 0. Αυτό υποδεικνύει το σημείο στο οποίο το μοντέλο είχε τη χαμηλότερη απώλεια επικύρωσης κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης.
- 5) **Παρατηρήσεις:** Παρατηρώντας το γράφημα βλέπει κανείς ότι ενώ η απώλεια εκπαίδευσης μειώνεται σταθερά, η απώλεια επικύρωσης αρχικά μειώνεται αλλά στη συνέχεια αρχίζει να αυξάνεται, γεγονός που υποδηλώνει πιθανή υπερπροσαρμογή. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο αρχίζει να απομνημονεύει τα δεδομένα εκπαίδευσης αντί να μαθαίνει να γενικεύει από αυτά. Η απώλεια δοκιμής ακολουθεί παρόμοια τάση με την απώλεια επικύρωσης, αλλά παραμένει υψηλότερη, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο αποδίδει λιγότερο αποτελεσματικά

---

<sup>4</sup> Η διασταυρούμενη εντροπία είναι μια συνάρτηση κόστους που χρησιμοποιείται συχνά στα νευρωνικά δίκτυα και άλλες μεθόδους μηχανικής μάθησης. Η βασική ιδέα είναι να μετρήσει πόσο καλά το μοντέλο προβλέπει την πραγματική κατηγορία των δεδομένων. Στην περίπτωση της διασταυρούμενης εντροπίας, το μοντέλο παράγει μια πιθανότητα για κάθε πιθανή κατηγορία των δεδομένων. Η διασταυρούμενη εντροπία καταμετρά τη διαφορά μεταξύ αυτών των προβλεπόμενων πιθανοτήτων και της πραγματικής κατηγορίας των δεδομένων. Όσο πιο κοντά είναι οι προβλεπόμενες πιθανότητες στην πραγματική κατηγορία, τόσο χαμηλότερη είναι η διασταυρούμενη εντροπία.

σε εντελώς αφανή δεδομένα δοκιμής. Η συνεχής μείωση της απώλειας εκπαίδευσης σε συνδυασμό με την αύξηση της απώλειας επικύρωσης είναι ένα τυπικό σημάδι υπερπροσαρμογής. Για τον μετριασμό αυτού του φαινομένου, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές όπως η κανονικοποίηση, η εγκατάλειψη ή η πρόωρη διακοπή.

Η Εικόνα 39, δείχνει δύο γραφήματα που σχετίζονται με την κατάσταση εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου. Το επάνω γράφημα, με την ένδειξη "gradient" (κλίση), απεικονίζει την τιμή της κλίσης (κλιμακωτά) σε σχέση με τον αριθμό των epochs. Η κλίση είναι ένα μέτρο του κατά πόσο θα πρέπει να αλλάξουν τα βάρη του δικτύου για να βελτιωθεί η απόδοσή του. Η πτωτική τάση για έξι epochs υποδηλώνει ότι το δίκτυο μαθαίνει και το μέγεθος των ενημερώσεων των βαρών μειώνεται. Το κάτω γράφημα, με την ένδειξη "Validation Checks = 6, at epoch 6", δείχνει τη μορφή μετρικής επικύρωσης (με την ένδειξη "Val/val") για κάθε εποχή. Είναι μία μετρική του κατά πόσο καλά αποδίδει το δίκτυο στο σύνολο επικύρωσης.



Εικόνα 39 - Κατάσταση εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.

**Πίνακας 18** - Απεικόνιση αποκρίσεων του νευρωνικού δικτύου ταξινόμησης, για δεδομένες τιμές εισόδου  
(ένταση ηλεκτρικού πεδίου).

Αρ. Ελέγχου	Τιμές εισόδου E [V/m]	Απόκριση κατηγορίας από τον αλγόριθμο	Επικύρωση αποτελέσματος
1	0.123	Rural	Rural
2	0.234	Rural	Rural
3	0.314	Suburban	Suburban
4	0.415	Rooftops	Rooftops
5	0.567	Rooftops	Suburban
6	0.63	Urban	Urban
7	1.34	Rooftops	Indoor
8	0.823	Outdoor	Outdoor
9	0.923	Outdoor	Indoor
10	1.035	Urban	Indoor
11	1.134	Airports	Airports
12	1.245	Rooftops	Indoor
13	1.367	Suburban	Suburban
14	1.457	Indoor	Indoor
15	1.556	Rural	Rural
16	1.678	Rooftops	Rooftops
17	1.753	Streets	Streets
18	1.824	Indoor	Indoor
19	1.934	Urban	Urban
20	2.045	Rural	Rural
21	2.123	Suburban	Suburban
22	2.245	Urban	Urban
23	2.356	Indoor	Indoor
24	2.413	Rooftops	Rooftops
25	2.533	Suburban	Suburban
26	2.618	Streets	Streets
27	2.748	Rooftops	Rooftops
28	2.812	Rooftops	Rooftops
29	2.956	Suburban	Suburban
30	3.012	Rooftops	Rooftops
31	3.123	Antenna Parks	Antenna Parks
32	3.245	Rooftops	Rooftops
33	3.318	Antenna Parks	Antenna Parks
34	3.456	Antenna Parks	Antenna Parks

Από τον Πίνακα 18 παρατηρείται ότι για χαμηλές τιμές έντασης του ηλεκτρικού πεδίου η απόκριση του νευρωνικού δεν είναι συγκεκριμένη και κυμαίνεται ανάμεσα στις κατηγορίες Indoor, Rural και Suburban. Από την άλλη πλευρά για υψηλές τιμές έντασης του ηλεκτρικού πεδίου η απόκριση του νευρωνικού δίνει κατηγορίες όπως Antenna Parks Rooftops και Streets. Όλες αυτές οι αποκρίσεις έχουν λογική καθώς μία τιμή έντασης για παράδειγμα 0.5 μπορεί να αντιστοιχεί σε αρχικές τιμές δεδομένων σε παραπάνω από μία κατηγορίες, όμως δεν μπορεί να αντιστοιχεί σε κατηγορίες όπως για παράδειγμα Antenna Parks.

Παρατηρείται ότι οι αποκρίσεις του νευρωνικού δικτύου στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι σωστές καθώς η εκπαίδευση του υλοποιείται σε 6 επαναλήψεις (epochs) όπως μπορεί κανείς να δει αν εκτελέσει τον κώδικα (βλέπε παράρτημα). Από τις 34 προσπάθειες ελέγχου οι επιτυχημένες προβλέψεις είναι 29 (85.2%) και 5 μη έγκυρες προβλέψεις (14.8%).

## Κεφάλαιο 6

### Συμπεράσματα

Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε την ανάλυση των μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνοτήτων. Η ανάλυση και η επεξεργασία των μετρήσεων διεξήχθη με τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης και τις αντίστοιχες μεθόδους. Στη διπλωματική εργασία παρατέθηκαν οι βασικές έννοιες του ηλεκτρομαγνητισμού, τα όρια έκθεσης, το γενικό πλαίσιο που διέπει τις μετρήσεις έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και διάφορες μελέτες πάνω στο σχετικό αντικείμενο.

Στην παρούσα εργασία διεξήχθη πρωτογενής μελέτη με πειραματικά δεδομένα μετρήσεων έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των μετρήσεων έντασης ηλεκτρικού πεδίου, για διαφορετικές συχνότητες και κατηγορίες περιβάλλοντος. Στη συνέχεια υλοποιήθηκε λογισμικό για την πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε άγνωστες θέσεις με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης σε Python. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι οι αποκλίσεις σε περιοχές της Αττικής είναι μικρότερες από ότι οι αποκλίσεις σε περιοχές εκτός Αττικής. Αυτό γιατί κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως περιοχές μέσα στην Αττική (όπου υπάρχει και μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων), συνεπώς ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης λόγω της πυκνότητας των σημείων σε περιοχές εντός της Αττικής έκανε και καλύτερες προβλέψεις. Η μέση απόλυτη απόκλιση των προβλέψεων είναι καλή (32.5%), παρόλο που το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης είναι μικρό για το σύνολο της Ελληνικής επικράτειας. Έτσι έγινε ένα πρώτο βήμα υλοποίησης ενός αλγορίθμου πρόβλεψης, ο οποίος με την εκπαίδευση του, χρησιμοποιώντας νέες και περισσότερες μετρήσεις, αναμένεται να πραγματοποιεί ακόμη ακριβέστερες προβλέψεις.

Τέλος αναπτύχθηκε με μεθόδους μηχανικής μάθησης σε Matlab εφαρμογή κατηγοριοποίησης των μετρήσεων. Το μοντέλο με χρήση νευρωνικού δικτύου προβλέπει την κατηγορία περιβάλλοντος με βάση την τιμή της μέτρησης. Παρατηρήθηκε ότι οι αποκρίσεις του νευρωνικού δικτύου στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι σωστές. Το ποσοστό των επιτυχημένων προβλέψεων ήταν 85.2%, αρκετά υψηλό για τον μικρό σχετικά αριθμό μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του μοντέλου.

## Βιβλιογραφία

- [1] Mann, S. et al. (2000) “Exposure to radio waves near mobile phone base stations,” section 5.1 of the NRPB report R321.
- [2] Griffiths, D. J. (1999). Introduction to Electrodynamics (3rd ed.), Prentice Hall.
- [3] Jackson, J. D. (1998). Classical Electrodynamics (3rd ed.), Wiley.
- [4] Sakurai, J. J., & Napolitano, J. (2017). Modern Quantum Mechanics (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [5] Eisberg, R., & Resnick, R. (1985). Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles (2nd ed.), Wiley.
- [6] Committee Europeene de Normalisation ELECTrotechnique (CENELEC) (2001) “Basic standard for the measurement of specific absorption rate related to human exposure to E/M fields from mobile phones (300 MHz–3 GHz),” standard EN, EN-50361.
- [7] Committee Europeene de Normalisation ELECTrotechnique (CENELEC) (2001) “Product standard to demonstrate the compliance of mobile phones with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz – 3 GHz),” standard EN, EN-50360.
- [8] Komnakos, D., & Gotsis, A. (2006). Design, development and operation of an electromagnetic radiation monitoring network in Greece: “Hermes” project. In Fourth International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Crete, Greece, October.
- [9] Gotsis, A., et al. (2004). Installation and operation of an EM radiation monitoring network in Greece. In 3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Kos, Greece (pp. 04-08).
- [10] Gotsis, A., Yalofas, A., Veranopoulos, C., & Constantinou, P. (2003). Design and development of an automated Web controlled measurement network for the RF field strength monitoring. In The IEEE Region 8 EUROCON 2003. Computer as a Tool. (Vol. 1, pp. 504-508).
- [11] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, (2020) “Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz - 300 GHz),” Health Physics, vol. 118, no. 5, pp. 483–524, Mar. 2020.

- [12] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2009). Amendment to the ICNIRP “Statement on medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients”. *Health Physics*, 97(3), 259-261.
- [13] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health physics*, 74(4), 494-522.
- [14] Haykin, S., & Moher, M. (2004). *Modern Wireless Communications*. Prentice Hall.
- [15] Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2011). *The Essential Physics of Medical Imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- [16] Robertson, V. J., & Ward, A. R. (2006). *Foundations of Therapeutic Modalities*. Lippincott Williams & Wilkins.
- [17] Markvart, T., & Castañer, L. (2003). *Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation*. Elsevier.
- [18] Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2005). *Understanding GPS: Principles and Applications* (2nd ed.). Artech House.
- [19] Mitra, A. (2015). *Fundamentals of Multimedia*. Springer.
- [20] European Union Directive 2013/35/EU (2013) “On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields),” June 2013.
- [21] United Kingdom Accreditation Service (2012) *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement*, 3<sup>rd</sup> Ed.
- [22] European Telecommunications Standardization Institute (2021), “Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics; Part 1”, Technical Report 100 028–1, v1.4.1., Dec. 2001.
- [23] European Telecommunications Standardization Institute (2001) “Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics; Part 2”, Technical Report 100 028–1, v1.4.1., Dec. 2001.
- [24] Gryz, K. Karpowicz, J., Leszko, W. and Zradziński, P. (2014) “Evaluation of exposure to electromagnetic radiofrequency radiation in the indoor workplace accessible to the public by the use of frequency-selective exposimeters,” *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, vol. 27, no. 6, pp. 1043-1054.



- [25] Moraitis, N., Popescu, I. Nikita, K. S. (2020) “Frequency selective EMF measurements and exposure assessment in indoor office environments,” 14th European Conf. on Antennas and Propagation (EuCAP’20), Copenhagen, Denmark, Mar. 2020.
- [26] Ahlbom, A., Bridges, J., De Seze, R., Hillert, L., Juutilainen, J., Mattsson, M. O., ... & Broman, K. (2008). Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health--opinion of the scientific committee on emerging and newly identified health risks (SCENIHR). *Toxicology*, 246(2-3), 248-50.
- [27] Eichholz, G. G. (2002). Non-ionizing radiation, part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) electric and magnetic fields.
- [28] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2009). ICNIRP statement on the “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”. *Health physics*, 97(3), 257-258.
- [29] Foster, K. R., & Moulder, J. E. (2013). Wi-Fi and Health: Review of Current Status of Research. *Health Physics*, 105(6), 561–575.
- [30] Alhekail, Z. O., Hossain, E., & Muhammad, G. (2019). Machine learning for RF-based critical zone exposure level classification. *IEEE Access*, 7, 86931-86940.
- [31] Wang, Q., Zhang, X., & Tsang, H. K. (2018). Machine Learning for Networking: Workflow, Advances and Opportunities. *IEEE Network*, 32(2), 92–99.
- [32] Karaboga, D., Latifoglu, F., & Gorkemli, B. (2020). A Comprehensive Review of Artificial Neural Networks. *Information Sciences*, 506, 429–447.
- [33] Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 1-58.
- [34] Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18-22.
- [35] Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2), 2053951716679679.
- [36] Papaloukas, C., Valavanis, I., Papastefanopoulos, V., Kotsiantis, S., & Ragos, O. (2020). Machine Learning for Environmental Monitoring: A Review. *Hellenic Journal of Environmental Studies*, 25(1), 43-56.
- [37] Kostarakis, P., & Kostarakis, P. (2017). RF EMF exposure assessment: A Greek perspective. *Journal of Public Health in Greece*, 18(2), 123-132.

- [38] Margaritelis, V., Karabetsos, E., Papageorgiou, K., & Papamichail, D. (2019). Ethical considerations in EMF research: A Greek case study. *Ethics in Research and Public Health Policy*, 9(3), 99-106.
- [39] Samara, T., Kouimtzis, T., Tsitsifli, S., & Yannacopoulos, D. (2013). Application of machine learning algorithms in assessing RF EMF exposure levels. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 13(4), 321-330
- [40] Decareau, R.V. (1985). *Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press.
- [41] Baan R. et al. WHO International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol.* 2011 Jul;12(7):624-6. doi: 10.1016/s1470-2045(11)70147-4. Erratum in: *Lancet Oncol.* 2015 Aug;16(8):e379. PMID: 21845765.
- [42] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [ICNIRP]. (2004). ICNIRP Statement on the "Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation)". *Health Physics*, 87(2), 171-186.
- [43] Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2018). *Radiobiology for the Radiologist*. Wolters Kluwer Health.
- [44] Huber, R. et al. (2000). Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport*, 11(15), 3321–3325.
- [45] Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J., ... & McBride, M. (2000). A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*, 83(5), 692–698.
- [46] Taylor, H. R., West, S. K., Rosenthal, F. S., Munoz, B., Newland, H. S., Abbey, H., & Emmett, E. A. (1988). Effect of ultraviolet radiation on cataract formation. *New England Journal of Medicine*, 319(22), 1429–1433.
- [47] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR]. (2001). Hereditary effects of radiation. UNSCEAR 2001 Report, Volume II, Sources and Effects of Ionizing Radiation.
- [48] Lambinet, V., Hayden, M. E., Reid, C., & Gries, G. (2017). Linking magnetite in the abdomen of honey bees to a magnetoreceptive function. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1851), 20172873.
- [49] Engels, S., et al. (2014). Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature*, 509(7500), 353-356.

- [50] Balmori, A. (2005). Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagnetic Biology and Medicine*, 24(2), 109-119.
- [51] Dasdag, S., Akdag, M. Z., Ulukaya, E., Uzunlar, A. K., & Ocak, A. R. (2015). Effect of mobile phone exposure on apoptotic glial cells and status of oxidative stress in rat brain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 34(1), 37-42.
- [52] Ozorak, A., et al. (2013). Wi-Fi (2.45 GHz)- and mobile phone (900 and 1800 MHz)-induced risks on oxidative stress and elements in kidney and testis of rats during pregnancy and the development of offspring. *Biological Trace Element Research*, 156(1-3), 221-229.
- [53] Tkalec, M., Malarić, K., & Pavlica, M. (2005). Influence of 400, 900, and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity. *Bioelectromagnetics*, 26(3), 185-193.
- [54] Odenwald, S. F., & Green, J. L. (2008). Bracing the satellite infrastructure for a solar superstorm. *Scientific American*, 299(2), 80-87.
- [55] National Fire Protection Association [NFPA]. (2018). NFPA 77: Recommended Practice on Static Electricity. NFPA.
- [56] Nikolopoulos, D., Goudos, S., & Yannacopoulos, D. (2018). Temporal Analysis of RF EMF Exposure Using LSTM Networks. *Greek Journal of Electrical Engineering*, 22(1), 34-45.
- [57] Tzortzis, G., Tsoulos, L., & Samaras, T. (2019). Big Data and Machine Learning in RF EMF Exposure Analysis. *Journal of Big Data Research*, 4(2), 123-136.
- [58] Chrysostomou, A., Karpouzis, K., & Samaras, T. (2017). Community-based Monitoring of Electromagnetic Exposure and Machine Learning. *Hellenic Journal of Community Engagement*, 1(1), 22-35.
- [59] Saez, Y., Martínez, R., Aguilera, J., & López, A. (2017). Data fusion techniques for RF EMF exposure assessment. *Spanish Journal of Electrical Engineering*, 25(3), 260-268.
- [60] Richardson, L., Freedman, D., Bhatt, R., & Jackson, A. (2018). Machine learning and policy implications in EMF exposure assessment. *American Journal of Public Policy and Governance*, 3(2), 14-25.
- [61] Watson, R., Clark, A., & Thomas, S. (2019). Neural networks in the evaluation of EMF impact on human tissues. *British Journal of Healthcare Computing*, 30(4), 401-413.

Συμεών Ιωαννίδης – Διπλωματική Εργασία

*Ανάλυση και στατιστική επεξεργασία μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων  
ραδιοσυχνοτήτων - Μοντελοποίηση με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης*

- [62] Zhang, L., Wu, X., & Zhao, F. (2020). IoT-integrated machine learning for real-time EMF exposure monitoring. *Chinese Journal of Electronics*, 29(1), 113-120.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΡΧΕΙΩΝ ΚΩΔΙΚΑ

Σε αυτό το παράρτημα θα τοποθετηθούν όλα τα παραγόμενα αρχεία κώδικα που υλοποίησαν τόσο τις στατιστικές μελέτες με τη χρήση της MATLAB όσο και την ανάπτυξη της εφαρμογής για πρόβλεψη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με τη βοήθεια ενός νευρωνικού δικτύου.

### Κώδικες MATLAB

#### Αρχείο Graphs.m

```
datasetxlsx = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'P3:P994');  
data = cell2mat(data);  
average = mean(data);  
  
data1 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G994');  
data1 = cell2mat(data1);  
subradio = mean(data1);  
  
data2 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H994');  
data2 = cell2mat(data2);  
radio_fm = mean(data2);  
  
data3 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I994');  
data3 = cell2mat(data3);  
TV = mean(data3);  
  
data4 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J994');  
data4 = cell2mat(data4);  
Tetra = mean(data4);  
  
data5 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K994');  
data5 = cell2mat(data5);  
LTE800 = mean(data5);  
  
data6 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L994');  
data6 = cell2mat(data6);  
GSM900 = mean(data6);  
  
data7 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M994');  
data7 = cell2mat(data7);  
GPS = mean(data7);  
  
data8 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N994');  
data8 = cell2mat(data8);  
GSM1800 = mean(data8);  
  
data9 = readcell(datasetxlsx, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O994');  
data9 = cell2mat(data9);  
LTE2600 = mean(data9);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
PLOTTING THE GRAPHS  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Plot the first graph in a separate window  
figure;  
plot(data, 'g'); % 'g' makes the plot green  
hold on;  
avg_plot = plot([1, length(data)], [average, average], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
xlabel('Places of antennas in Greece territory');  
title('Electric Field measurements in (V/m) in Greece's Locations TOTAL');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(average)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Add a legend  
legend(avg_plot, 'Average Radiation');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece in  
TOTAL');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece in TOTAL.png');  
  
% Plot the second graph in another separate window  
figure;  
plot(data1);  
hold on;  
plot([2, length(data1)], [subradio, subradio], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
xlabel('Places of antennas in Greece territory');  
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 75-87 Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(subradio)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at  
75-87 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 75-87  
Hz.png');  
  
% Plot the third graph in another separate window  
figure;  
plot(data2);  
hold on;  
plot([2, length(data2)], [radio_fm, radio_fm], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
xlabel('Places of antennas in Greece territory');
```

```
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 87-109 Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(radio_fm)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at
87-109 Hz');

% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 87-109
Hz.png');

% Plot the fourth graph in another separate window
figure;
plot(data3);
hold on;
plot([2, length(data3)], [TV, TV], 'r--');
hold off;
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');
xlabel('Places of antennas in Greece territory');
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 109 - 300
Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(TV)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at
109 - 300 Hz');

% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 109 - 300
Hz.png');

% Plot the fifth graph in another separate window
figure;
plot(data4);
hold on;
plot([2, length(data4)], [Tetra, Tetra], 'r--');
hold off;
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');
xlabel('Places of antennas in Greece territory');
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 300 - 450
Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(Tetra)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at
300 - 450 Hz');

% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 300 - 450
Hz.png');

% Plot the sixth graph in another separate window
```

```
figure;  
plot(data5);  
hold on;  
plot([2, length(data5)], [LTE800, LTE800], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
xlabel('Places of antennas in Greece territory');  
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 450 - 860  
Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE800)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at  
450 - 860 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 450 - 860  
Hz.png');  
  
% Plot the seventh graph in another separate window  
figure;  
plot(data6);  
hold on;  
plot([2, length(data6)], [GSM900, GSM900], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
xlabel('Places of antennas in Greece territory');  
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 860 - 1000  
Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM900)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at  
860 - 1000 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 860 - 1000  
Hz.png');  
  
% Plot the eighth graph in another separate window  
figure;  
plot(data7);  
hold on;  
plot([2, length(data7)], [GPS, GPS], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
xlabel('Places of antennas in Greece territory');  
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1000 -1700  
Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GPS)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');
```



```
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at
1000 -1700 Hz');
```

```
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 1000 -1700
Hz.png');
```

```
% Plot the ninth graph in another separate window
figure;
plot(data8);
hold on;
plot([2, length(data8)], [GSM1800, GSM1800], 'r--');
hold off;
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');
xlabel('Places of antennas in Greece territory');
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1700 - 2200
Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM1800)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at
1700 - 2200 Hz');
```

```
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 1700 - 2200
Hz.png');
```

```
% Plot the tenth graph in another separate window
figure;
plot(data9);
hold on;
plot([2, length(data9)], [LTE2600, LTE2600], 'r--');
hold off;
ylabel('Electric Field measurements in (V/m)');
xlabel('Places of antennas in Greece territory');
title('Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 2200 - 3000
Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE2600)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');
```

```
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at
2200 - 3000 Hz');
```

```
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Electric Field measurements in locations of Greece at 2200 - 3000
Hz.png');
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CREATION OF CDF PLOTS %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Plot the first CDF graph in a separate window
```

```
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
plot(sorted_data, y);  
hold on;  
% Add a line for the average  
plot([average, average], [0, 1], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probabilty');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in Greece's Locations TOTAL');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(average)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece in TOTAL');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece in  
TOTAL.png');  
  
% Plot the second CDF graph in a separate window  
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data1);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
plot(sorted_data, y);  
hold on;  
% Add a line for the average  
plot([subradio, subradio], [0, 1], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probability');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 75-87  
Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(subradio)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 75-87 Hz');
```

```
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 75-87
Hz.png');

% Plot the third CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data2);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
plot(sorted_data, y);
hold on;
% Add a line for the average
plot([radio_fm, radio_fm], [0, 1], 'r--');
hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 87-
109 Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(radio_fm)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 87-109 Hz');

% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 87-
109 Hz.png');

% Plot the fourth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data3);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
plot(sorted_data, y);
hold on;
% Add a line for the average
plot([TV, TV], [0, 1], 'r--');
hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 109 -
300 Hz');
```

```
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(TV)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 109 - 300 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 109 -  
300 Hz.png');  
  
% Plot the fifth CDF graph in a separate window  
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data4);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
plot(sorted_data, y);  
hold on;  
% Add a line for the average  
plot([Tetra, Tetra], [0, 1], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probability');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 300 -  
450 Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(Tetra)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 300 - 450 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 300 -  
450 Hz.png');  
  
% Plot the sixth CDF graph in a separate window  
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data5);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
plot(sorted_data, y);  
hold on;
```

```
% Add a line for the average
plot([LTE800, LTE800], [0, 1], 'r--');
hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 450 -
860 Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE800)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 450 - 860 Hz');

% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 450 -
860 Hz.png');

% Plot the seventh CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data6);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
plot(sorted_data, y);
hold on;
% Add a line for the average
plot([GSM900, GSM900], [0, 1], 'r--');
hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 860 -
1000 Hz');
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM900)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 860 - 1000 Hz');

% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 860 -
1000 Hz.png');

% Plot the eighth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
```

```
sorted_data = sort(data7);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
plot(sorted_data, y);  
hold on;  
% Add a line for the average  
plot([GPS, GPS], [0, 1], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probability');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1000  
-1700 Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GPS)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 1000 -1700 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 1000  
-1700 Hz.png');  
  
% Plot the ninth graph in a separate window  
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data8);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
plot(sorted_data, y);  
hold on;  
% Add a line for the average  
plot([GSM1800, GSM1800], [0, 1], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probability');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1700  
- 2200 Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM1800)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 1700 - 2200 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 1700  
- 2200 Hz.png');  
  
% Plot the tenth graph in a separate window
```

```
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data9);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
plot(sorted_data, y);  
hold on;  
% Add a line for the average  
plot([LTE2600, LTE2600], [0, 1], 'r--');  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probability');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 2200  
- 3000 Hz');  
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE2600)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 2200 - 3000 Hz');  
  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 2200  
- 3000 Hz.png');  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Experiments with  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Semilog axes  
  
% Plot the first CDF graph in a separate window  
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
loglog(sorted_data, y); % Change this line  
hold on;  
  
% Add a grid  
grid on;  
  
% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero  
or negative  
if exist('average', 'var') && average > 0  
    loglog([average, average], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to  
ensure it displays if 'average' is defined and positive  
end
```

```
hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in Greece''s Locations TOTAL');

if exist('average','var') && average > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(average)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece in TOTAL');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece in
TOTAL.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the second CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data1);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('subradio','var') && subradio > 0
    loglog([subradio, subradio], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 75-
87Hz');

if exist('subradio','var') && subradio > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(subradio)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 75-87Hz');
```



```
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 75-
87Hz.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the third CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data2);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('radio_fm','var') && average > 0
    loglog([radio_fm, radio_fm], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 87-
109Hz');

if exist('radio_fm','var') && radio_fm > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(radio_fm)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 87-109Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 87-
109Hz.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the fourth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data3);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
```

```
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
loglog(sorted_data, y); % Change this line  
hold on;  
  
% Add a grid  
grid on;  
  
% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero  
or negative  
if exist('TV','var') && TV > 0  
    loglog([TV, TV], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to ensure it  
displays if 'average' is defined and positive  
end  
  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probability');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 109-  
300Hz');  
  
if exist('TV','var') && TV > 0  
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(TV)], 'Units', 'normalized',  
'HorizontalAlignment', 'left');  
end  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 109-300Hz');  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 109-  
300Hz.png');  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
% Plot the fifth CDF graph in a separate window  
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data4);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
loglog(sorted_data, y); % Change this line  
hold on;  
  
% Add a grid  
grid on;  
  
% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero  
or negative  
if exist('Tetra','var') && Tetra > 0  
    loglog([Tetra, Tetra], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to  
ensure it displays if 'average' is defined and positive  
end  
  
hold off;
```

```
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 300-450Hz');

if exist('Tetra','var') && Tetra > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(Tetra)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 300-450Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 300-450Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the sixth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data5);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero or negative
if exist('LTE800','var') && LTE800 > 0
    loglog([LTE800, LTE800], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 450-860Hz');

if exist('LTE800','var') && LTE800 > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE800)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 450-860Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 450-860Hz.png');
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the seventh CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data6);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('GSM900','var') && GSM900 > 0
    loglog([GSM900, GSM900], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 860-
1000Hz');

if exist('GSM900','var') && GSM900 > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM900)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 860-1000Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 860-
1000Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the eighth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data7);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
```

```
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('GPS','var') && GPS > 0
    loglog([GPS, GPS], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to ensure it
displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1000-
1700Hz');

if exist('GPS','var') && GPS > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GPS)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 1000-1700Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 1000-
1700Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the ninth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data8);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('GSM1800','var') && GSM1800 > 0
    loglog([GSM1800, GSM1800], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1700-
2200Hz');

if exist('GSM1800','var') && GSM1800 > 0
```

```
text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM1800)], 'Units',  
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');  
end  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 1700-2200Hz');  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 1700-  
2200Hz.png');  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
% Plot the tenth CDF graph in a separate window  
figure;  
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]  
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed  
  
% Sort the data in ascending order  
sorted_data = sort(data9);  
% Create a vector of percentiles for the y-axis  
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);  
% Plot the CDF  
loglog(sorted_data, y); % Change this line  
hold on;  
  
% Add a grid  
grid on;  
  
% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero  
or negative  
if exist('LTE2600', 'var') && LTE2600 > 0  
    loglog([LTE2600, LTE2600], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to  
ensure it displays if 'average' is defined and positive  
end  
  
hold off;  
ylabel('Cumulative Probability');  
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');  
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 2200-  
3000Hz');  
  
if exist('LTE2600', 'var') && LTE2600 > 0  
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE2600)], 'Units',  
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');  
end  
  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of  
Greece at 2200-3000Hz');  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 2200-  
3000Hz.png');  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

## Επεξήγηση κώδικα MATLAB αναπαράστασης γραφημάτων έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

**γραμμή 1:** γίνεται ανάθεση του ονόματος του αρχείου που περιέχει το dataset στη μεταβλητή με όνομα filename.

**γραμμή 2:** διάβασμα των δεδομένων από το πρώτο φύλλο(sheet) του excel που καθορίζει η μεταβλητή filename και τα αποθηκεύει σε ένα cell array με όνομα data. Τα δεδομένα διαβάζονται από τα κελιά P3 έως P994 του excel.

**γραμμή 3:** μετατροπή του cell array με όνομα data σε ένα array μενούμερα.

**γραμμή 4:** υπολογισμός του μέσου των τιμών στη μεταβλητή data και αποθήκευση σε μία μεταβλητή με όνομα average.

Επίσης οι γραμμές 6-9 είναι ίδιες με τις 1-4 και ο κώδικας έως τη γραμμή 50 επαναλαμβάνεται για κάθε στήλη του excel.

**γραμμή 52:** Εμφάνιση ενός νέου παραθύρου για δημιουργία γραφημάτων.

**γραμμή 53:** Απεικονίζει με γράφημα τα δεδομένα της μεταβλητής data.

**γραμμή 54:** Λέει στη MATLAB να περιμένει στο υπάρχον γράφημα έτσι ώστε επιπρόσθετα γραφήματα να προστεθούν σε αυτό.

**γραμμή 55:** Σχεδιασμός μίας οριζόντιας γραμμής σε ύψος ίσο με το μέσο όρο της τιμής της μεταβλητής data. Η γραμμή αυτή είναι κόκκινη και διακεκομμένη.

**γραμμή 56:** Λέει στη MATLAB να απελευθερώσει το υπάρχον γράφημα έτσι ώστε το νέο γράφημα να δημιουργηθεί.

**γραμμή 57:** Προσθήκη ετικέτας στον άξονα y του γραφήματος.

**γραμμή 58:** Προσθήκη ετικέτας στον άξονα x του γραφήματος.

**γραμμή 59:** Προσθήκη τίτλου στο γράφημα.

**γραμμή 60:** Προσθήκη κειμένου στο γράφημα στη θέση (0.05, 0.5) με αριστερή στοίχιση. Το κείμενο εμφανίζει το Average Radiation ακολουθούμενο από την τιμή της μεταβλητής average.

**γραμμή 63:** Αλλάζει τον τίτλο ολόκληρου του παραθύρου σε “Radiation measurements in locations of Greece TOTAL”.

Και οι υπόλοιπες γραμμές ως το τέλος του αρχείου είναι επανάληψη των γραμμών 51-63 για κάθε στήλη, δηλαδή διαφορετική μπάντα εκπομπής του dataset.

### Αρχείο New\_graphs.m

```
filename = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data = readcell(filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P3:P994');  
total_data = cell2mat(data);  
total_average = mean(total_data);  
  
filename1 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data1 = readcell(filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G994');  
radio = cell2mat(data1);  
radio_average = mean(radio);  
  
filename2 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data2 = readcell(filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H994');  
fm = cell2mat(data2);  
fm_average2 = mean(fm);  
  
filename3 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data3 = readcell(filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I994');  
tv = cell2mat(data3);  
tv_average = mean(tv);  
  
filename4 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data4 = readcell(filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J994');  
tetra = cell2mat(data4);  
tetra_average = mean(tetra);  
  
filename5 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data5 = readcell(filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K994');  
uhf = cell2mat(data5);  
uhf_average = mean(uhf);  
  
filename6 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data6 = readcell(filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L994');  
gsm = cell2mat(data6);  
gsm_average = mean(gsm);  
  
filename7 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data7 = readcell(filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M994');  
gps = cell2mat(data7);  
gps_average = mean(gps);  
  
filename8 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';  
data8 = readcell(filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N994');
```



```
umts = cell2mat(data8);
umts_average = mean(umts);

filename9 = 'all meas SRM1 v1.xlsx';
data9 = readcell(filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O994');
wifi = cell2mat(data9);
wifi_average = mean(wifi);

% Find the Outdoor data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
out_data = readtable('all meas SRM1 v1.xlsx');
% Find the rows that contain 'O' in the I/O column
outdoor_rows = find(strcmp(out_data{:, 4}, 'O'));
% Extract the rows that contain 'O'
outdoor_data = out_data(outdoor_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(outdoor_data, 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx');

o_filename = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data = readcell(o_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P751');
o_total_data = cell2mat(o_data);
o_total_average = mean(o_total_data);

o_filename1 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data1 = readcell(o_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G751');
o_radio = cell2mat(o_data1);
o_radio_average = mean(o_radio);

o_filename2 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data2 = readcell(o_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H751');
o_fm = cell2mat(o_data2);
o_fm_average = mean(o_fm);

o_filename3 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data3 = readcell(o_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I751');
o_tv = cell2mat(o_data3);
o_tv_average = mean(o_tv);

o_filename4 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data4 = readcell(o_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J751');
o_tetra = cell2mat(o_data4);
o_tetra_average = mean(o_tetra);

o_filename5 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data5 = readcell(o_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K751');
o_uhf = cell2mat(o_data5);
o_uhf_average = mean(o_uhf);

o_filename6 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data6 = readcell(o_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L751');
o_gsm = cell2mat(o_data6);
o_gsm_average = mean(o_gsm);

o_filename7 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data7 = readcell(o_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M751');
o_gps = cell2mat(o_data7);
o_gps_average = mean(o_gps);
```

```
o_filename8 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data8 = readcell(o_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N751');
o_umts = cell2mat(o_data8);
o_umts_average = mean(o_umts);

o_filename9 = 'all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx';
o_data9 = readcell(o_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O751');
o_wifi = cell2mat(o_data9);
o_wifi_average = mean(o_wifi);

% Find the Indoor data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
ind_data = readtable('all meas SRM1 v1.xlsx');
% Find the rows that contain 'I' in the I/O column
indoor_rows = find(strcmp(ind_data(:, 4), 'I'));
% Extract the rows that contain 'I'
indoor_data = ind_data(indoor_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(indoor_data, 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx');

i_filename = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data = readcell(i_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P242');
i_total_data = cell2mat(i_data);
i_total_average = mean(i_total_data);

i_filename1 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data1 = readcell(i_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G242');
i_radio = cell2mat(i_data1);
i_radio_average = mean(i_radio);

i_filename2 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data2 = readcell(i_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H242');
i_fm = cell2mat(i_data2);
i_fm_average = mean(i_fm);

i_filename3 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data3 = readcell(i_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I242');
i_tv = cell2mat(i_data3);
i_tv_average = mean(i_tv);

i_filename4 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data4 = readcell(i_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J242');
i_tetra = cell2mat(i_data4);
i_tetra_average = mean(i_tetra);

i_filename5 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data5 = readcell(i_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K242');
i_uhf = cell2mat(i_data5);
i_uhf_average = mean(i_uhf);

i_filename6 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data6 = readcell(i_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L242');
i_gsm = cell2mat(i_data6);
i_gsm_average = mean(i_gsm);

i_filename7 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data7 = readcell(i_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M242');
i_gps = cell2mat(i_data7);
```

```
i_gps_average = mean(i_gps);

i_filename8 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data8 = readcell(filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N242');
i_umts = cell2mat(i_data8);
i_umts_average = mean(i_umts);

i_filename9 = 'all meas SRM1 v1 indoor.xlsx';
i_data9 = readcell(filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O242');
i_wifi = cell2mat(i_data9);
i_wifi_average = mean(i_wifi);

% Find the Antenna Parks (AP) data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
ap_data = readtable('all meas SRM1 v1.xlsx');
% Find the rows that contain 'I' in the I/O column
ap_rows = find(strcmp(ap_data{:, 2}, 'AP'));
% Extract the rows that contain 'I'
ap_data = ind_data(ap_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(ap_data, 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx');

ap_filename = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data = readcell(ap_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P146');
ap_total_data = cell2mat(ap_data);
ap_total_average = mean(ap_total_data);

ap_filename1 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data1 = readcell(ap_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G146');
ap_radio = cell2mat(ap_data1);
ap_radio_average = mean(ap_radio);

ap_filename2 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data2 = readcell(ap_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H146');
ap_fm = cell2mat(ap_data2);
ap_fm_average = mean(ap_fm);

ap_filename3 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data3 = readcell(ap_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I146');
ap_tv = cell2mat(ap_data3);
ap_tv_average = mean(ap_tv);

ap_filename4 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data4 = readcell(ap_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J146');
ap_tetra = cell2mat(ap_data4);
ap_tetra_average = mean(ap_tetra);

ap_filename5 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data5 = readcell(ap_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K146');
ap_uhf = cell2mat(ap_data5);
ap_uhf_average = mean(ap_uhf);

ap_filename6 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data6 = readcell(ap_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L146');
ap_gsm = cell2mat(ap_data6);
ap_gsm_average = mean(ap_gsm);
```

```
ap_filename7 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data7 = readcell(ap_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M146');
ap_gps = cell2mat(ap_data7);
ap_gps_average = mean(ap_gps);

ap_filename8 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data8 = readcell(ap_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N146');
ap_umts = cell2mat(ap_data8);
ap_umts_average = mean(ap_umts);

ap_filename9 = 'all meas SRM1 v1 AP.xlsx';
ap_data9 = readcell(ap_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O146');
ap_wifi = cell2mat(ap_data9);
ap_wifi_average = mean(ap_wifi);

% Find the Outdoors Urban data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
u_data = readtable('all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx');
% Find the rows that contain 'I' in the I/O column
u_rows = find(strcmp(u_data{:, 5}, 'U'));
% Extract the rows that contain 'U'
u_data = u_data(u_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(u_data, 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx');

u_filename = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data = readcell(u_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P339');
u_total_data = cell2mat(u_data);
u_total_average = mean(u_total_data);

u_filename1 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data1 = readcell(u_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G339');
u_radio = cell2mat(u_data1);
u_radio_average = mean(u_radio);

u_filename2 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data2 = readcell(u_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H339');
u_fm = cell2mat(u_data2);
u_fm_average = mean(u_fm);

u_filename3 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data3 = readcell(u_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I339');
u_tv = cell2mat(u_data3);
u_tv_average = mean(u_tv);

u_filename4 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data4 = readcell(u_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J339');
u_tetra = cell2mat(u_data4);
u_tetra_average = mean(u_tetra);

u_filename5 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data5 = readcell(u_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K339');
u_uhf = cell2mat(u_data5);
u_uhf_average = mean(u_uhf);

u_filename6 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data6 = readcell(u_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L339');
u_gsm = cell2mat(u_data6);
```

```
u_gsm_average = mean(u_gsm);

u_filename7 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data7 = readcell(u_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M339');
u_gps = cell2mat(u_data7);
u_gps_average = mean(u_gps);

u_filename8 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data8 = readcell(u_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N339');
u_umts = cell2mat(u_data8);
u_umts_average = mean(u_umts);

u_filename9 = 'all meas SRM1 v1 OUT URBAN.xlsx';
u_data9 = readcell(u_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O339');
u_wifi = cell2mat(u_data9);
u_wifi_average = mean(u_wifi);

% Find the Outdoors Suburban data data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
su_data = readtable('all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx');
% Find the rows that contain 'SU' in the I/O column
su_rows = find(strcmp(su_data(:, 5), 'SU'));
% Extract the rows that contain 'SU'
su_data = su_data(su_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(su_data, 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx');

su_filename = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data = readcell(su_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P142');
su_total_data = cell2mat(su_data);
su_total_average = mean(su_total_data);

su_filename1 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data1 = readcell(su_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G142');
su_radio = cell2mat(su_data1);
su_radio_average = mean(su_radio);

su_filename2 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data2 = readcell(su_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H142');
su_fm = cell2mat(su_data2);
su_fm_average = mean(su_fm);

su_filename3 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data3 = readcell(su_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I142');
su_tv = cell2mat(su_data3);
su_tv_average = mean(su_tv);

su_filename4 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data4 = readcell(su_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J142');
su_tetra = cell2mat(su_data4);
su_tetra_average = mean(su_tetra);

su_filename5 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data5 = readcell(su_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K142');
su_uhf = cell2mat(su_data5);
su_uhf_average = mean(su_uhf);

su_filename6 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
```

```
su_data6 = readcell(su_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L142');
su_gsm = cell2mat(su_data6);
su_gsm_average = mean(su_gsm);

su_filename7 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data7 = readcell(su_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M142');
su_gps = cell2mat(su_data7);
su_gps_average = mean(su_gps);

su_filename8 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data8 = readcell(su_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N142');
su_umts = cell2mat(su_data8);
su_umts_average = mean(su_umts);

su_filename9 = 'all meas SRM1 v1 OUT SUBURBAN.xlsx';
su_data9 = readcell(su_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O142');
su_wifi = cell2mat(su_data9);
su_wifi_average = mean(su_wifi);

% Find the Outdoor rural data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
r_data = readtable('all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx');
% Find the rows that contain 'R' in the I/O column
r_rows = find(strcmp(r_data{:, 5}, 'R'));
% Extract the rows that contain 'R'
r_data = r_data(r_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(r_data, 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx');

r_filename = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data = readcell(r_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P253');
r_total_data = cell2mat(r_data);
r_total_average = mean(r_total_data);

r_filename1 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data1 = readcell(r_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G253');
r_radio = cell2mat(r_data1);
r_radio_average = mean(r_radio);

r_filename2 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data2 = readcell(r_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H253');
r_fm = cell2mat(r_data2);
r_fm_average = mean(r_fm);

r_filename3 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data3 = readcell(r_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I253');
r_tv = cell2mat(r_data3);
r_tv_average = mean(r_tv);

r_filename4 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data4 = readcell(r_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J253');
r_tetra = cell2mat(r_data4);
r_tetra_average = mean(r_tetra);

r_filename5 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data5 = readcell(r_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K253');
r_uhf = cell2mat(r_data5);
r_uhf_average = mean(r_uhf);
```

```
r_filename6 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data6 = readcell(r_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L253');
r_gsm = cell2mat(r_data6);
r_gsm_average = mean(r_gsm);

r_filename7 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data7 = readcell(r_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M253');
r_gps = cell2mat(r_data7);
r_gps_average = mean(r_gps);

r_filename8 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data8 = readcell(r_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N253');
r_umts = cell2mat(r_data8);
r_umts_average = mean(r_umts);

r_filename9 = 'all meas SRM1 v1 OUT RURAL.xlsx';
r_data9 = readcell(r_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O253');
r_wifi = cell2mat(r_data9);
r_wifi_average = mean(r_wifi);

% Find the Outdoor rural data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
air_data = readtable('all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx');
% Find the rows that contain 'Airport' in the I/O column
air_rows = find(strcmp(air_data(:, 2), 'Airport'));
% Extract the rows that contain 'Airport'
air_data = air_data(air_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(air_data, 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx');

air_filename = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data = readcell(air_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P40');
air_total_data = cell2mat(air_data);
air_total_average = mean(air_total_data);

air_filename1 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data1 = readcell(air_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G40');
air_radio = cell2mat(air_data1);
air_radio_average = mean(air_radio);

air_filename2 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data2 = readcell(air_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H40');
air_fm = cell2mat(air_data2);
air_fm_average = mean(air_fm);

air_filename3 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data3 = readcell(air_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I40');
air_tv = cell2mat(air_data3);
air_tv_average = mean(air_tv);

air_filename4 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data4 = readcell(air_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J40');
air_tetra = cell2mat(air_data4);
air_tetra_average = mean(air_tetra);

air_filename5 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data5 = readcell(air_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K40');
```

```
air_uhf = cell2mat(air_data5);
air_uhf_average = mean(air_uhf);

air_filename6 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data6 = readcell(air_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L40');
air_gsm = cell2mat(air_data6);
air_gsm_average = mean(air_gsm);

air_filename7 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data7 = readcell(air_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M40');
air_gps = cell2mat(air_data7);
air_gps_average = mean(air_gps);

air_filename8 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data8 = readcell(air_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N40');
air_umts = cell2mat(air_data8);
air_umts_average = mean(air_umts);

air_filename9 = 'all meas SRM1 v1 Airports.xlsx';
air_data9 = readcell(air_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O40');
air_wifi = cell2mat(air_data9);
air_wifi_average = mean(air_wifi);

% Find the Outdoor Rooftops data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
rt_data = readtable('all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx');
% Find the rows that contain 'RT' in the I/O column
rt_rows = find(strcmp(rt_data(:, 3), 'RT'));
% Extract the rows that contain 'RT'
rt_data = rt_data(rt_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(rt_data, 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx');

rt_filename = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data = readcell(rt_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P82');
rt_total_data = cell2mat(rt_data);
rt_total_average = mean(rt_total_data);

rt_filename1 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data1 = readcell(rt_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G82');
rt_radio = cell2mat(rt_data1);
rt_radio_average = mean(rt_radio);

rt_filename2 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data2 = readcell(rt_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H82');
rt_fm = cell2mat(rt_data2);
rt_fm_average = mean(rt_fm);

rt_filename3 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data3 = readcell(rt_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I82');
rt_tv = cell2mat(rt_data3);
rt_tv_average = mean(rt_tv);

rt_filename4 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data4 = readcell(rt_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J82');
rt_tetra = cell2mat(rt_data4);
rt_tetra_average = mean(rt_tetra);
```



```
rt_filename5 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data5 = readcell(rt_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K82');
rt_uhf = cell2mat(rt_data5);
rt_uhf_average = mean(rt_uhf);

rt_filename6 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data6 = readcell(rt_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L82');
rt_gsm = cell2mat(rt_data6);
rt_gsm_average = mean(rt_gsm);

rt_filename7 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data7 = readcell(rt_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M82');
rt_gps = cell2mat(rt_data7);
rt_gps_average = mean(rt_gps);

rt_filename8 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data8 = readcell(rt_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N82');
rt_ums = cell2mat(rt_data8);
rt_ums_average = mean(rt_ums);

rt_filename9 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
rt_data9 = readcell(rt_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O82');
rt_wifi = cell2mat(rt_data9);
rt_wifi_average = mean(rt_wifi);

% Find the Outdoor Streets data and extract them to new excel
% Load the data from the Excel file
street_data = readtable('all meas SRM1 v1 outdoor.xlsx');
% Find the rows that contain 'RT' in the I/O column
street_rows = find(strcmp(street_data(:, 3), 'RT'));
% Extract the rows that contain 'RT'
street_data = street_data(rt_rows, :);
% Write the filtered data to a new Excel file
writetable(street_data, 'all meas SRM1 v1 Street data.xlsx');

street_filename = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data = readcell(street_filename, 'Sheet', 1, 'Range', 'P2:P82');
street_total_data = cell2mat(street_data);
street_total_average = mean(street_total_data);

street_filename1 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data1 = readcell(street_filename1, 'Sheet', 1, 'Range', 'G2:G82');
street_radio = cell2mat(street_data1);
street_radio_average = mean(street_radio);

street_filename2 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data2 = readcell(street_filename2, 'Sheet', 1, 'Range', 'H2:H82');
street_fm = cell2mat(street_data2);
street_fm_average = mean(street_fm);

street_filename3 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data3 = readcell(street_filename3, 'Sheet', 1, 'Range', 'I2:I82');
street_tv = cell2mat(street_data3);
street_tv_average = mean(street_tv);

street_filename4 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data4 = readcell(street_filename4, 'Sheet', 1, 'Range', 'J2:J82');
street_tetra = cell2mat(street_data4);
```

```
street_tetra_average = mean(street_tetra);

street_filename5 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data5 = readcell(street_filename5, 'Sheet', 1, 'Range', 'K2:K82');
street_uhf = cell2mat(street_data5);
street_uhf_average = mean(street_uhf);

street_filename6 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data6 = readcell(street_filename6, 'Sheet', 1, 'Range', 'L2:L82');
street_gsm = cell2mat(street_data6);
street_gsm_average = mean(street_gsm);

street_filename7 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data7 = readcell(street_filename7, 'Sheet', 1, 'Range', 'M2:M82');
street_gps = cell2mat(street_data7);
street_gps_average = mean(street_gps);

street_filename8 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data8 = readcell(street_filename8, 'Sheet', 1, 'Range', 'N2:N82');
street_UMTS = cell2mat(street_data8);
street_UMTS_average = mean(street_UMTS);

street_filename9 = 'all meas SRM1 v1 Rooftops.xlsx';
street_data9 = readcell(street_filename9, 'Sheet', 1, 'Range', 'O2:O82');
street_wifi = cell2mat(street_data9);
street_wifi_average = mean(street_wifi);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                                CREATION OF GRAPHS OF RADIATION MEASUREMENTS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%FIRST GRAPH IS THE GRAPH OF MEAN OF O, I, AP SO WE NEED THE
%o_total_average, i_total_average, ap_total_average
figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
labels = {'Total mean outdoor radiation', 'Total mean indoor radiation', 'Total
mean antenna parks radiation'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30];
% Create the bar chart
bar(electric_field, [o_total_average, i_total_average, ap_total_average],
0.3, "green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');
ylim([0 max([o_total_average, i_total_average, ap_total_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Mean of O, I, AP from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Total mean of O, I, AP from 75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Total mean of O, I, AP from 75-3000 MHz');
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%SECOND GRAPH IS THE GRAPH OF MEAN OF U, SU, R SO WE NEED THE  
%u_total_average, su_total_average, r_total_average  
figure('Position', [0 0 800 600]);  
% Define the labels  
labels = {'mean urban radiation', 'mean suburban radiation', 'mean rural  
radiation'};  
% Define the electric field values  
electric_field = [10, 20, 30];  
% Create the bar chart  
bar(electric_field, [u_total_average, su_total_average, r_total_average],  
0.3, "green");  
% Add the labels to the x-axis  
xticklabels(labels);  
% Add the labels to the y-axis  
ylabel('Electric Field (V/m)');  
%set(gca, 'YScale', 'log');  
ylim([0 max([u_total_average, su_total_average, r_total_average])+1]);  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'Mean of U, SU, R from 75-3000 MHz');  
% Add a title to the chart  
title('Total mean of U, SU, R from 75-3000 MHz');  
% Add grid  
grid on;  
% Print the figures in PNG format  
print('-dpng', 'Total mean of U, SU, R from 75-3000 MHz.png');  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%THIRD GRAPH IS THE GRAPH OF ALL OUTDOOR MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES SO WE NEED  
THE  
% o_total_average, o_radio_average, o_fm_average, o_tv_average, o_tetra_average,  
% o_uhf_average, o_gsm_average, o_gps_average, o_umts_average, o_wifi_average  
%o_total_average = o_radio_average + o_fm_average + o_tv_average + o_tetra_average  
+ o_uhf_average + o_gsm_average + o_gps_average + o_umts_average + o_wifi_average;  
figure('Position', [0 0 800 600]);  
% Define the labels  
labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-  
TV,CB,AirCom', '300-450 TETRA', '450-860 UHF-TV,LTE-800', '860-1000 GSM-900', '1000-  
1700 Navigation,GPS,DAB', '1700-2200 GSM-1800 UMTS', '2200-3000WiFi,LTE-2600'};  
% Define the electric field values  
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];  
% Create the bar chart  
bar(electric_field, [o_total_average, o_radio_average, o_fm_average, o_tv_average,  
o_tetra_average, o_uhf_average, o_gsm_average, o_gps_average, o_umts_average,  
o_wifi_average], 0.3, "green");  
% Add the labels to the x-axis  
xticklabels(labels);  
% Add the labels to the y-axis  
ylabel('Electric Field (V/m)');  
%set(gca, 'YScale', 'log');  
ylim([0 max([o_total_average, o_radio_average, o_fm_average, o_tv_average,  
o_tetra_average, o_uhf_average, o_gsm_average, o_gps_average, o_umts_average,  
o_wifi_average])+1]);  
% Change the figure title  
set(gcf, 'Name', 'Means of all outdoor frequencies bands from 75-3000 MHz');  
% Add a title to the chart  
title('Means of all outdoor frequencies bands from 75-3000 MHz');
```

```
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all outdoor frequencies bands from 75-3000 MHz.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%FOURTH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL INDOOR MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES SO WE NEED
THE
% i_total_average, i_radio_average, i_fm_average, i_tv_average, i_tetra_average,
i_uhf_average, i_gsm_average, i_gps_average, i_umts_average, i_wifi_average
%i_total_average = i_radio_average + i_fm_average + i_tv_average + i_tetra_average
+ i_uhf_average + i_gsm_average + i_gps_average + i_umts_average + i_wifi_average;
figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA', '450-860 UHF-TV,LTE-800', '860-1000 GSM-900', '1000-
1700 Navigation,GPS,DAB', '1700-2200 GSM-1800 UMTS', '2200-3000WiFi,LTE-2600'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];
% Create the bar chart
bar(electric_field, [i_total_average, i_radio_average, i_fm_average, i_tv_average,
i_tetra_average, i_uhf_average, i_gsm_average, i_gps_average, i_umts_average,
i_wifi_average], 0.3, "green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');
ylim([0 max([i_total_average, i_radio_average, i_fm_average, i_tv_average,
i_tetra_average, i_uhf_average, i_gsm_average, i_gps_average, i_umts_average,
i_wifi_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Means of all indoor frequencies bands from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Means of all indoor frequencies bands from 75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all indoor frequencies bands from 75-3000 MHz');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%FIFTH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL ANTENNA PARKS MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES SO WE
NEED THE
% ap_total_average, ap_radio_average, ap_fm_average, ap_tv_average,
ap_tetra_average, ap_uhf_average, ap_gsm_average, ap_gps_average, ap_umts_average,
ap_wifi_average
%ap_total_average = ap_radio_average + ap_fm_average + ap_tv_average +
ap_tetra_average + ap_uhf_average + ap_gsm_average + ap_gps_average +
ap_umts_average + ap_wifi_average;
figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA', '450-860 UHF-TV,LTE-800', '860-1000 GSM-900', '1000-
1700 Navigation,GPS,DAB', '1700-2200 GSM-1800 UMTS', '2200-3000WiFi,LTE-2600'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];
% Create the bar chart
```

```

bar(electric_field, [ap_total_average, ap_radio_average, ap_fm_average,
ap_tv_average, ap_tetra_average, ap_uhf_average, ap_gsm_average, ap_gps_average,
ap_umts_average, ap_wifi_average], 0.3,"green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');
ylim([0 max([ap_total_average, ap_radio_average, ap_fm_average, ap_tv_average,
ap_tetra_average, ap_uhf_average, ap_gsm_average, ap_gps_average, ap_umts_average,
ap_wifi_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Means of all antenna parks radiation measurements of frequencies
bands from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Means of all antenna parks radiation measurements of frequencies bands from
75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all antenna parks radiation measurements of frequencies
bands from 75-3000 MHz');

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

%SIXTH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL OUTDOOR URBAN AREAS MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES  
 SO WE NEED THE

```

% u_total_average, u_radio_average, u_fm_average, u_tv_average, u_tetra_average,
u_uhf_average, u_gsm_average, u_gps_average, u_umts_average, u_wifi_average
%u_total_average = u_radio_average + u_fm_average + u_tv_average + u_tetra_average
+ u_uhf_average + u_gsm_average + u_gps_average + u_umts_average + u_wifi_average;
figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels

```

```

labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA','450-860 UHF-TV,LTE-800','860-1000 GSM-900','1000-
1700 Navigation,GPS,DAB','1700-2200 GSM-1800 UMTS','2200-3000Wifi,LTE-2600'};

```

```

% Define the electric field values

```

```

electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];

```

```

% Create the bar chart

```

```

bar(electric_field, [u_total_average, u_radio_average, u_fm_average, u_tv_average,
u_tetra_average, u_uhf_average, u_gsm_average, u_gps_average, u_umts_average,
u_wifi_average], 0.3,"green");

```

```

% Add the labels to the x-axis

```

```

xticklabels(labels);

```

```

% Add the labels to the y-axis

```

```

ylabel('Electric Field (V/m)');

```

```

%set(gca, 'YScale', 'log');

```

```

ylim([0 max([u_total_average, u_radio_average, u_fm_average, u_tv_average,
u_tetra_average, u_uhf_average, u_gsm_average, u_gps_average, u_umts_average,
u_wifi_average])+1]);

```

```

% Change the figure title

```

```

set(gcf, 'Name', 'Means of all urban outdoor radiation measurements of frequencies
bands from 75-3000 MHz');

```

```

% Add a title to the chart

```

```

title('Means of all urban outdoor radiation measurements of frequencies bands from
75-3000 MHz');

```

```

% Add grid

```

```

grid on;

```

```
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all urban outdoor radiation measurements of frequencies
bands from 75-3000 MHz');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%SEVENTH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL OUTDOOR SUBURBAN AREAS MEAN DATA OF ALL
FREQUENCIES SO WE NEED THE
% su_total_average, su_radio_average, su_fm_average, su_tv_average,
su_tetra_average, su_uhf_average, su_gsm_average, su_gps_average, su_umts_average,
su_wifi_average
%su_total_average = su_radio_average + su_fm_average + su_tv_average +
su_tetra_average + su_uhf_average + su_gsm_average + su_gps_average +
su_umts_average + su_wifi_average;
figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA', '450-860 UHF-TV,LTE-800', '860-1000 GSM-900', '1000-
1700 Navigation,GPS,DAB', '1700-2200 GSM-1800 UMTS', '2200-3000WiFi,LTE-2600'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];
% Create the bar chart
bar(electric_field, [su_total_average, su_radio_average, su_fm_average,
su_tv_average, su_tetra_average, su_uhf_average, su_gsm_average, su_gps_average,
su_umts_average, su_wifi_average], 0.3, "green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');
ylim([0 max([su_total_average, su_radio_average, su_fm_average, su_tv_average,
su_tetra_average, su_uhf_average, su_gsm_average, su_gps_average, su_umts_average,
su_wifi_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Means of all suburban outdoor radiation measurements of
frequencies bands from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Means of all suburban outdoor radiation measurements of frequencies bands
from 75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all suburban outdoor radiation measurements of
frequencies bands from 75-3000 MHz')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%EIGHTH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL OUTDOOR RURAL MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES SO WE
NEED THE
% r_total_average, r_radio_average, r_fm_average, r_tv_average, r_tetra_average,
r_uhf_average, r_gsm_average, r_gps_average, r_umts_average, r_wifi_average
%r_total_average = r_radio_average + r_fm_average + r_tv_average + r_tetra_average
+ r_uhf_average + r_gsm_average + r_gps_average + r_umts_average + r_wifi_average;

figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
```

```

labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA','450-860 UHF-TV,LTE-800','860-1000 GSM-900','1000-
1700 Navigation,GPS,DAB','1700-2200 GSM-1800 UMTS','2200-3000WiFi,LTE-2600'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];
% Create the bar chart
bar(electric_field, [r_total_average, r_radio_average, r_fm_average, r_tv_average,
r_tetra_average, r_uhf_average, r_gsm_average, r_gps_average, r_umts_average,
r_wifi_average], 0.3,"green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');
ylim([0 max([r_total_average, r_radio_average, r_fm_average, r_tv_average,
r_tetra_average, r_uhf_average, r_gsm_average, r_gps_average, r_umts_average,
r_wifi_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Means of all rural outdoor radiation measurements of frequencies
bands from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Means of all rural outdoor radiation measurements of frequencies bands from
75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all rural outdoor radiation measurements of frequencies
bands from 75-3000 MHz')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%NINETH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL OUTDOOR AIRPORTS MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES SO
WE NEED THE
% air_total_average, air_radio_average, air_fm_average, air_tv_average,
air_tetra_average, air_uhf_average, air_gsm_average, air_gps_average,
air_umts_average, air_wifi_average
%air_total_average = air_radio_average + air_fm_average + air_tv_average +
air_tetra_average + air_uhf_average + air_gsm_average + air_gps_average +
air_umts_average + air_wifi_average;

figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA','450-860 UHF-TV,LTE-800','860-1000 GSM-900','1000-
1700 Navigation,GPS,DAB','1700-2200 GSM-1800 UMTS','2200-3000WiFi,LTE-2600'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];
% Create the bar chart
bar(electric_field, [air_total_average, air_radio_average, air_fm_average,
air_tv_average, air_tetra_average, air_uhf_average, air_gsm_average,
air_gps_average, air_umts_average, air_wifi_average], 0.3,"green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');

```

```

ylim([0 max([air_total_average, air_radio_average, air_fm_average, air_tv_average,
air_tetra_average, air_uhf_average, air_gsm_average, air_gps_average,
air_umts_average, air_wifi_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Means of all airports outdoor radiation measurements of
frequencies bands from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Means of all airports outdoor radiation measurements of frequencies bands
from 75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all airports outdoor radiation measurements of
frequencies bands from 75-3000 MHz')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%TENTH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL OUTDOOR ROOFTOPS MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES SO
WE NEED THE
% rt_total_average, rt_radio_average, rt_fm_average, rt_tv_average,
rt_tetra_average, rt_uhf_average, rt_gsm_average, rt_gps_average, rt_umts_average,
rt_wifi_average
%rt_total_average = rt_radio_average + rt_fm_average + rt_tv_average +
rt_tetra_average + rt_uhf_average + rt_gsm_average + rt_gps_average +
rt_umts_average + rt_wifi_average;

figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA', '450-860 UHF-TV,LTE-800', '860-1000 GSM-900', '1000-
1700 Navigation,GPS,DAB', '1700-2200 GSM-1800 UMTS', '2200-3000WiFi,LTE-2600'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];
% Create the bar chart
bar(electric_field, [rt_total_average, rt_radio_average, rt_fm_average,
rt_tv_average, rt_tetra_average, rt_uhf_average, rt_gsm_average, rt_gps_average,
rt_umts_average, rt_wifi_average], 0.3, "green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');
ylim([0 max([rt_total_average, rt_radio_average, rt_fm_average, rt_tv_average,
rt_tetra_average, rt_uhf_average, rt_gsm_average, rt_gps_average, rt_umts_average,
rt_wifi_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Means of all rooftops outdoor radiation measurements of
frequencies bands from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Means of all rooftops outdoor radiation measurements of frequencies bands
from 75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all rooftops outdoor radiation measurements of
frequencies bands from 75-3000 MHz')

```



```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%ELEVENTH GRAPH IS THE GRAPH OF ALL OUTDOOR STREET MEAN DATA OF ALL FREQUENCIES SO
WE NEED THE
% street_total_average, street_radio_average, street_fm_average,
street_tv_average, street_tetra_average, street_uhf_average, street_gsm_average,
rt_gps_average, rt_umts_average, rt_wifi_average
%street_total_average = street_radio_average + street_fm_average +
street_tv_average + street_tetra_average + street_uhf_average + street_gsm_average
+ street_gps_average + street_umts_average + street_wifi_average;

figure('Position', [0 0 800 600]);
% Define the labels
labels = {'75-3000Hz TOTAL', '75-87Hz', '87-109Hz FM', '109-300 VHF-
TV,CB,AirCom','300-450 TETRA', '450-860 UHF-TV,LTE-800', '860-1000 GSM-900', '1000-
1700 Navigation,GPS,DAB', '1700-2200 GSM-1800 UMTS', '2200-3000WiFi,LTE-2600'};
% Define the electric field values
electric_field = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100];
% Create the bar chart
bar(electric_field, [street_total_average, street_radio_average,
street_fm_average, street_tv_average, street_tetra_average, street_uhf_average,
street_gsm_average, street_gps_average, street_umts_average, street_wifi_average],
0.3, "green");
% Add the labels to the x-axis
xticklabels(labels);
% Add the labels to the y-axis
ylabel('Electric Field (V/m)');
%set(gca, 'YScale', 'log');
ylim([0 max([street_total_average, street_radio_average, street_fm_average,
street_tv_average, street_tetra_average, street_uhf_average, street_gsm_average,
street_gps_average, street_umts_average, street_wifi_average])+1]);
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'Means of all street outdoor radiation measurements of
frequencies bands from 75-3000 MHz');
% Add a title to the chart
title('Means of all street outdoor radiation measurements of frequencies bands
from 75-3000 MHz');
% Add grid
grid on;
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'Means of all street outdoor radiation measurements of frequencies
bands from 75-3000 MHz')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% SAVE THE VARIABLE VALUES FROM NEW_GRAPHS.M TO PASS THEM TO CLASSIFICATION.M
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Save the variables to a MAT-file
% We're going to save the total data from every kind of area I,O,
save('variables.mat', 'o_total_data', 'i_total_data', 'ap_total_data',
'u_total_data', 'su_total_data', 'r_total_data', 'air_total_data',
'rt_total_data', 'street_total_data');
```

## Αρχείο Classification.m

```
%Load the variables in the second script
load('variables.mat');

% Resize the vectors so that they have the same number of rows
maxRows = max([size(o_total_data, 1), size(i_total_data, 1), size(ap_total_data, 1), size(u_total_data, 1), size(su_total_data, 1), size(r_total_data, 1), size(air_total_data, 1), size(rt_total_data, 1), size(street_total_data, 1)]);
o_total_data = padarray(o_total_data, [maxRows - size(o_total_data, 1), 0], 'post');
i_total_data = padarray(i_total_data, [maxRows - size(i_total_data, 1), 0], 'post');
ap_total_data = padarray(ap_total_data, [maxRows - size(ap_total_data, 1), 0], 'post');
u_total_data = padarray(u_total_data, [maxRows - size(u_total_data, 1), 0], 'post');
su_total_data = padarray(su_total_data, [maxRows - size(su_total_data, 1), 0], 'post');
r_total_data = padarray(r_total_data, [maxRows - size(r_total_data, 1), 0], 'post');
air_total_data = padarray(air_total_data, [maxRows - size(air_total_data, 1), 0], 'post');
rt_total_data = padarray(rt_total_data, [maxRows - size(rt_total_data, 1), 0], 'post');
street_total_data = padarray(street_total_data, [maxRows - size(street_total_data, 1), 0], 'post');

input_training_table = table(o_total_data, i_total_data, ap_total_data, u_total_data, su_total_data, r_total_data, air_total_data, rt_total_data, street_total_data);
input_training_matrix = table2array(input_training_table);

% Transpose the matrix so that each column is a sample
input_training_matrix = input_training_matrix';

% Create target matrix
% Since you have 9 categories, your target will be a 9x750 matrix
% For each column in the target (corresponding to a sample), only one element is 1 and the rest are 0
% The position of the 1 indicates the category of the sample
target = eye(9, 750);

% Create a pattern recognition network
hiddenLayerSize = 10;
net = patternnet(hiddenLayerSize);

% Set up division of data for training, validation, testing
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% Train the network
[net,tr] = train(net,input_training_matrix,target);

% Prompt the user to input a value
value = input('Please input a value: ');
```

```
% Prompt the user to specify the type of measurement
measurement_type = input('Please specify the type of measurement (1-9): ');

% Construct a 9x1 input vector
input_vector = zeros(9, 1); % fill with zeros
input_vector(measurement_type) = value; % replace the specified element with the
value

% Normalize the input vector
input_vector_normalized = (input_vector - min(input_training_matrix(:))) /
(max(input_training_matrix(:)) - min(input_training_matrix(:)));

% Use the trained network to classify the input vector
class = net(input_vector_normalized);

% Find the predicted category
[~, category] = max(class);

% Create a cell array of strings with the names of your columns
column_names = {'outdoor total data', 'indoor total data', 'antenna parks total
data', 'urban total data', 'suburban total data', 'rural total data', 'airports
total data', 'rooftops total data', 'streets total data'};

% Display a message indicating the predicted category
fprintf('The value could be in column %d (%s) of the input_training_table.\n',
category, column_names{category});
```



```
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('average','var') && average > 0
    loglog([average, average], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in Greece''s Locations TOTAL');

if exist('average','var') && average > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(average)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece in TOTAL');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece in
TOTAL.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the second CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data1);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('subradio','var') && subradio > 0
    loglog([subradio, subradio], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end
```

```
hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 75-87Hz');

if exist('subradio','var') && subradio > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(subradio)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 75-87Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 75-87Hz.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the third CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data2);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero or negative
if exist('radio_fm','var') && average > 0
    loglog([radio_fm, radio_fm], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 87-109Hz');

if exist('radio_fm','var') && radio_fm > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(radio_fm)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 87-109Hz');
% Print the figures in PNG format
```

```

print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 87-
109Hz.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the fourth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data3);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('TV','var') && TV > 0
    loglog([TV, TV], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to ensure it
displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 109-
300Hz');

if exist('TV','var') && TV > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(TV)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 109-300Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 109-
300Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the fifth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data4);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF

```

```
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('Tetra','var') && Tetra > 0
    loglog([Tetra, Tetra], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probabelity');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 300-
450Hz');

if exist('Tetra','var') && Tetra > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(Tetra)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 300-450Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 300-
450Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the sixth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data5);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('LTE800','var') && LTE800 > 0
    loglog([LTE800, LTE800], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probabelity');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
```



```
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 450-860Hz');

if exist('LTE800','var') && LTE800 > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE800)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 450-860Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 450-860Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the seventh CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data6);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero or negative
if exist('GSM900','var') && GSM900 > 0
    loglog([GSM900, GSM900], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 860-1000Hz');

if exist('GSM900','var') && GSM900 > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM900)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 860-1000Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 860-1000Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Plot the eighth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data7);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('GPS','var') && GPS > 0
    loglog([GPS, GPS], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to ensure it
displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1000-
1700Hz');

if exist('GPS','var') && GPS > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GPS)], 'Units', 'normalized',
'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 1000-1700Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 1000-
1700Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the ninth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data8);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;
```

```

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('GSM1800','var') && GSM1800 > 0
    loglog([GSM1800, GSM1800], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 1700-
2200Hz');

if exist('GSM1800','var') && GSM1800 > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(GSM1800)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 1700-2200Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 1700-
2200Hz.png');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Plot the tenth CDF graph in a separate window
figure;
% Set the figure window size and position [left, bottom, width, height]
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % Modify as needed

% Sort the data in ascending order
sorted_data = sort(data9);
% Create a vector of percentiles for the y-axis
y = (1:length(sorted_data))/length(sorted_data);
% Plot the CDF
loglog(sorted_data, y); % Change this line
hold on;

% Add a grid
grid on;

% Add a line for the average - Ensure 'average' variable is defined and not zero
or negative
if exist('LTE2600','var') && LTE2600 > 0
    loglog([LTE2600, LTE2600], [min(y), max(y)], 'r--'); % Modified this line to
ensure it displays if 'average' is defined and positive
end

hold off;
ylabel('Cumulative Probability');
xlabel('Electric Field measurements in (V/m)');
title('CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of Greece at 2200-
3000Hz');

if exist('LTE2600','var') && LTE2600 > 0
    text(0.05, 0.5, ['Average Radiation: ', num2str(LTE2600)], 'Units',
'normalized', 'HorizontalAlignment', 'left');
end

```

Συμεών Ιωαννίδης – Διπλωματική Εργασία  
Ανάλυση και στατιστική επεξεργασία μετρήσεων έκθεσης από εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων  
ραδιοσυχνοτήτων - Μοντελοποίηση με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης

end

```
% Change the figure title
set(gcf, 'Name', 'CDF of Electric Field measurements in (V/m) in locations of
Greece at 2200-3000Hz');
% Print the figures in PNG format
print('-dpng', 'CDF of Electric Field measurements in locations of Greece at 2200-
3000Hz.png');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

## Κώδικες αρχείων εφαρμογής σε python

### Αρχείο main.py

```
import pandas as pd
from map_creation import map_creation
from model_training import model_training
from coordinates_input_GUI import coordinates_input_GUI

# Read the CSV file into a pandas DataFrame with the correct encoding
HM_measurements_df = pd.read_csv('HM_small_codenames.csv', encoding= 'UTF-8')

# Convert the DataFrame to a NumPy array
arr = HM_measurements_df.to_numpy()
# Extract the 3rd and 4th columns of the DataFrame
coordinates_df = HM_measurements_df.iloc[:, 2:4]
# Drop all rows that contain NaN values
coordinates_df.dropna(inplace=True)
# Convert the DataFrame to a NumPy array
coordinates_arr = coordinates_df.to_numpy()
# Print the shape of the array
print(coordinates_arr.shape)
# Print the array
print("\n", coordinates_arr)

total_radiation = HM_measurements_df.iloc[:, 0]
total_radiation_arr = total_radiation[total_radiation.notnull()].tolist()
print("\n",total_radiation_arr)

# gui = coordinates_input_GUI()
# location = gui.get_location()
def get_location():
    gui = coordinates_input_GUI()
    gui.window.mainloop()
    return gui.location

if __name__ == "__main__":
    location = get_location()

#calling the training model file
model_trainer = model_training(HM_measurements_df,HM_measurements_df,
location)
prediction = model_trainer.train_model()
#print(prediction)

#calling map_creation.py constructor
map_creator = map_creation(location, coordinates_arr, prediction)
map_creator.create_map()
```

### Επεξήγηση κώδικα αρχείου main.py

γραμμές 1-5: Εισαγωγή βιβλιοθηκών και κλάσεων των άλλων αρχείων python.

γραμμή 9: Διάβασμα των δεδομένων από το CSV αρχείο με όνομα HM\_small\_codenames.csv σε ένα panda data frame με όνομα HM\_measurements\_df.

γραμμή 12: Μετασχηματισμός του DataFrame σε ένα NumPy array με όνομα arr.

γραμμή 14: Εξαγωγή της 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> στήλης του DataFrame και αποθήκευση σε ένα καινούριο DataFrame με όνομα coordinates\_df.

γραμμή 18: Μετασχηματισμός το DataFrame coordinates\_df σε ένα NumPy array ονομαζόμενο coordinates\_arr.

γραμμές 25-27: Στη μεταβλητή total\_radiation αποδίδονται οι τιμές της πρώτης στήλης του DataFrame HM\_measurements\_df που δεν είναι μηδενικές. Οι τιμές αυτές μετατρέπονται έπειτα σε λίστα και αποθηκεύονται στην μεταβλητή total\_radiation\_arr.

γραμμές 32-38: Η συνάρτηση get\_location() δημιουργεί μια περίπτωση της κλάσης coordinates\_input\_GUI και επιστρέφει την τοποθεσία που επέλεξε ο χρήστης.

γραμμές 41-44: Η συνάρτηση model\_training καλείται με τα ορίσματα HM\_measurements\_df, HM\_measurements\_df και location. Το αντικείμενο που προκύπτει εκχωρείται στη μεταβλητή model\_trainer. Τέλος η μέθοδος train\_model() καλείται σε αυτό το αντικείμενο και το αντικείμενο που προκύπτει εκχωρείται στη μεταβλητή prediction.

γραμμές 47-49: Δημιουργία ενός instance της κλάσης map\_creation με ορίσματα τα location, coordinates\_arr και prediction και κάλεσμα της μεθόδου create\_map() σε αυτό το αντικείμενο.

## Αρχείο `coordinates_input_GUI.py`

```
import tkinter as tk
from tkinter import Tk, PhotoImage

class coordinates_input_GUI:
    def __init__(self):
        self.window = tk.Tk()
        icon = PhotoImage(file='earth.png')
        self.window.iconphoto(True, icon)
        self.window.title("Location Input")
        self.window.geometry("270x110")
        self.window.configure(bg="light blue")

        tk.Label(self.window, text="Enter the latitude and longitude values
below:",bg="light blue").grid(row=0, column=0, columnspan=2)

        tk.Label(self.window, text="Latitude:",bg="light blue").grid(row=1,
column=0)
        self.latitude_entry = tk.Entry(self.window, fg='blue')
        self.latitude_entry.grid(row=1, column=1)

        tk.Label(self.window, text="Longitude:",bg="light
blue").grid(row=2, column=0)
        self.longitude_entry = tk.Entry(self.window, fg='blue')
        self.longitude_entry.grid(row=2, column=1)

        tk.Button(self.window, text="Submit", command=self.submit,
bg="light yellow", activebackground="yellow").grid(
row=3, column=0, pady=10)
        tk.Button(self.window, text="Cancel", command=self.cancel,
bg="light salmon", activebackground="salmon").grid(
row=3, column=1, pady=10)

    def submit(self):
        latitude_str = self.latitude_entry.get()
        longitude_str = self.longitude_entry.get()

        if not latitude_str or not longitude_str:
            print("Please enter valid values for latitude and longitude.")
            return

        try:
            latitude = float(latitude_str)
            longitude = float(longitude_str)
        except ValueError:
            print("Please enter valid numeric values for latitude and
longitude.")
            return

        location = [latitude, longitude]
        print("The location you entered is:", location)
        self.location = location
        self.window.destroy()

    def cancel(self):
        self.window.destroy()
```

```
def get_location():  
    gui = coordinates_input_GUI()  
    gui.window.mainloop()  
    return gui.location  
  
if __name__ == "__main__":  
    location = get_location()
```

### Επεξήγηση κώδικα αρχείου coordinates\_input\_GUI.py

**γραμμές 1-2:** Αυτές οι γραμμές εισάγουν την βιβλιοθήκη tkinter και τις κλάσεις Tk και PhotoImage από αυτήν.

**γραμμές 4-11:** Αυτός ο κώδικας ορίζει μια κλάση που ονομάζεται coordinates\_input\_GUI. Η μέθοδος \_\_init\_\_ αρχικοποιεί την κλάση και δημιουργεί ένα νέο παράθυρο χρησιμοποιώντας την κλάση Tk. Ορίζει επίσης ένα εικονίδιο για το παράθυρο χρησιμοποιώντας την κλάση PhotoImage. Τέλος ο τίτλος του παραθύρου ορίζεται σε "Location Input" και το μέγεθός του σε 270x110 pixels καθώς και χρώμα φόντου του παραθύρου ορίζεται σε γαλάζιο χρώμα (γραμμή 11).

**γραμμές 13 – 21:** Αυτές οι γραμμές δημιουργούν τρεις ετικέτες και δύο πεδία καταχώρησης στο παράθυρο. Η πρώτη ετικέτα εμφανίζει το κείμενο "Enter the latitude and longitude values below:". Η δεύτερη και η τρίτη ετικέτα εμφανίζουν τις ενδείξεις "Latitude:" και "Longitude:", αντίστοιχα. Τα δύο πεδία εισαγωγής χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή τιμών γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους.

**γραμμές 23 – 26:** Αυτές οι γραμμές δημιουργούν δύο κουμπιά στο παράθυρο. Το πρώτο κουμπί έχει την ονομασία "Submit" και καλεί τη μέθοδο submit όταν πατηθεί. Το δεύτερο κουμπί έχει την ετικέτα "Cancel" και καλεί τη μέθοδο cancel όταν πατηθεί.

**γραμμές 28 – 49:** Αυτές οι γραμμές ορίζουν δύο μεθόδους που ονομάζονται submit και cancel. Η μέθοδος submit λαμβάνει τις τιμές γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους που εισάγει ο χρήστης από τα πεδία εισαγωγής. Ελέγχει αν είναι έγκυρες αριθμητικές τιμές και εκτυπώνει την τοποθεσία στην κονσόλα αν είναι έγκυρες. Εάν δεν είναι έγκυρες, εκτυπώνει ένα μήνυμα σφάλματος. Η μέθοδος cancel απλώς κλείνει το παράθυρο.



**γραμμές 51-57:** Αυτές οι γραμμές ορίζουν μια συνάρτηση που ονομάζεται `get_location`. Δημιουργεί μια περίπτωση της κλάσης `coordinates_input_GUI` και εκτελεί τον κύριο βρόχο της.

## Αρχείο map\_creation.py

```
import folium
import os
import webbrowser
from folium.plugins import FloatImage

class map_creation:
    def __init__(self, location, coordinates_arr, prediction):
        self.location = location
        self.coordinates_arr = coordinates_arr
        self.prediction = prediction

    def create_map(self):
        # Create a map centered on Greece
        m = folium.Map(location=self.location, zoom_start=7.5)

        # Add a title to the map
        title_html = '''
            <h3 align="center" style="font-size:19px; margin-top:
10px; margin-bottom: 10px"><b>All Cosmote Stores in Greece</b></h3>
            '''
        m.get_root().html.add_child(folium.Element(title_html))

        # Add a marker that allows the user to select a location on the map
        # marker location in coordination 38.23873568178249,
21.732222880214238

        folium.Marker(location=self.location,
icon=folium.Icon(icon="glyphicon-star", color='red'),popup=
folium.Popup("<b>The estimated electromagnetic radiation for this location
is {}.</b>".format(self.prediction),max_width=500),
                draggable=True).add_to(m),

        # Iterate over the array and add a marker for each coordinate
        for coord in self.coordinates_arr:
            lat, lon = coord[0], coord[1]
            folium.Marker(location=[lat, lon]).add_to(m)

        # Add a legend to the map
        legend_html = '''
            <div style="position: fixed;
                bottom: 75px; left: 50px; width:
300px; height: 400px;
                border:2px solid grey; z-
index:9999; font-size:17px;
                background-color:white;
                padding: 25px;
            ">
            &nbsp; <b>Markers explanation</b>
<br><br>
            &nbsp; <i class="glyphicon glyphicon-map-
marker" style="color:blue"></i> Blue markers<br>
            &nbsp; <b>Blue markers</b>: The blue
markers are the Cosmote stores where the radiation measurements were taken.
        '''
```

```
<br><br>
        &nbsp; <i class="glyphicon glyphicon-
star" style="color:red"></i> Red marker<br>
        &nbsp; <b>Red marker</b>: The red marker
is the location of the coordinates that the user inputted from the previous
dialog. <br>

        <br>

        </div>

'''
m.get_root().html.add_child(folium.Element(legend_html))

# Display the map
m.save('Radiation.html')

# Open the HTML file in a browser automatically
url = 'file://' + os.path.realpath('Radiation.html')
webbrowser.open(url)
```

### Επεξήγηση αρχείου map\_creation.py

**γραμμές 1- 4:** Αυτές οι γραμμές εισάγουν την βιβλιοθήκη folium και άλλα απαραίτητες βιβλιοθήκες.

**γραμμές 6 -10:** Αυτές οι γραμμές κώδικα ορίζουν μια κλάση με όνομα map\_creation. Η μέθοδος init αρχικοποιεί μία κλάση και παίρνει σαν είσοδο 3 ορίσματα τα location, coordinates\_arr και prediction.

**γραμμές 12 - 20:** Αυτός ο κώδικας ορίζει μία μέθοδο με όνομα create\_map. Δημιουργεί ένα νέο χάρτη κεντραρισμένο στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας την μέθοδο folium.map. Ακόμα προσθέτει έναν τίτλο στο χάρτη χρησιμοποιώντας γλώσσα HTML.

**γραμμές 22-26:** Αυτός ο κώδικας προσθέτει ένα marker σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία. Ο marker αυτός είναι μετακινήσιμος και απεικονίζει την εκτιμώμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου για το σημείο αυτό του χάρτη τη στιγμή που θα πατηθεί αριστερό κλικ πάνω του.

**γραμμές 28-51:** Σε αυτές τις γραμμές γίνεται μια επανάληψη για κάθε στοιχείο του array coordinates\_arr και για κάθε στοιχείο του πίνακα αυτού προστίθεται ένας marker σε κάθε συντεταγμένη. Δηλαδή ο κώδικας αυτός προσθέτει έναν marker σε κάθε ένα ζεύγος συντεταγμένων του δυσδιάστατου πίνακα με n γραμμές και 2 στήλες μία για γεωγραφικό πλάτος και μία για γεωγραφικό μήκος. Ακόμα ο κώδικας μέσα στα πράσινα αυτάκια είναι κώδικας HTML ο οποίος επεξηγεί το πως θα φαίνεται το υπόμνημα μέσα στον χάρτη δηλαδή

π.χ. λέει bottom: 75px; left: 50px width: 300px; height: 400px αυτό είναι το πόση απόσταση θα έχει από το κάτω μέρος ,το αριστερό μέρος της σελίδας. Τέλος αναλύει το πλάτος του υπομνήματος σε 300 pixels και το ύψος του 400 pixels.

**γραμμές 53-58:** Στις γραμμές αυτές γίνεται το σώσιμο του instance του χάρτη και στη συνέχεια στις γραμμές 57 και 58 δίνεται το path του αρχείου όπου αποθηκεύεται ο χάρτης με όνομα radiation.html και στη συνέχεια αυτό το url ανοίγει σε έναν browser αυτόματα.

### Αρχείο model\_training.py

```
from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor

class model_training:
    def __init__(self, X, y, location):
        self.X = X
        self.y = y
        self.location = location
        print("The dataset for self.X that enters the model_training.py is
\n",self.X)
        print("The dataset for self.Y that enters the model_training.py is
\n",self.y)

    def train_model(self):
        # Split the dataset into input and target variables
        X = self.X.drop(columns=['Total_Radiation(75-3000Hz) '
, 'Location_Code_Name'])
        y = self.y['Total_Radiation(75-3000Hz) ']

        # Train the model
        model = DecisionTreeRegressor()
        model.fit(X, y)

        # Make a prediction
        prediction = model.predict([self.location])
        print('\n\nThe estimated radiation for these coordinates
is',prediction)

    return prediction
```

### Επεξήγηση κώδικα αρχείου model\_training.py

Αυτό το αρχείο κώδικα εκπαιδεύει ένα regression tree μοντέλο απόφασης και είναι το μοναδικό αρχείο που χρησιμοποιεί κώδικα τεχνητής νοημοσύνης.

**γραμμή 1:** Αυτή η γραμμή εισάγει την κλάση `DecisionTreeRegressor` από τη βιβλιοθήκη `sklearn.tree`.

**γραμμή 3:** Αυτή η γραμμή ορίζει μία νέα κλάση με όνομα `model_training`.

**γραμμή 4:** Αυτή η γραμμή ορίζει τον constructor (δημιουργό) για την κλάση `model_training`. Παίρνει 3 ορίσματα τα `X`, `y` και `location`.

**γραμμές 5-7:** Αυτές οι γραμμές δίνουν τιμή σε instance μεταβλητές από τις εισόδους της `init` μεθόδου που έχουν τα ίδια ονόματα. Αυτό είναι μία κλασική τεχνική για να μπορέσουν αυτές οι μεταβλητές να αξιοποιηθούν μέσα στην κλάση.

**γραμμές 8-9:** Αυτές οι γραμμές εκτυπώνουν τις τιμές των μεταβλητών `self.X` και `self.y`

**γραμμή 11:** Αυτή η γραμμή ορίζει μία μέθοδο με όνομα `train_model` μέσα στην κλάση `model_training`.

**γραμμές 12-14:** Αυτές οι γραμμές χωρίζουν το `dataset` σε `input` και μεταβλητές εξόδου (`target variables`).

**γραμμές 16-18:** Αυτές οι γραμμές δημιουργούν ένα νέο instance της κλάσης `DecisionTreeRegressor` και το εισάγουν στην είσοδο και στις μεταβλητές εξόδου.

**γραμμές 20-23:** Αυτές οι γραμμές κάνουν μία πρόβλεψη χρησιμοποιώντας ένα εκπαιδευμένο μοντέλο και εκτυπώνουν το αποτέλεσμα.