



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

**Ανάπτυξη Μεθόδων Ανάλυσης Ενεργειακού Περιεχομένου
Δεδομένων Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και
Ηλεκτρομυογραφήματος**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευαγγελία-Αικατερίνη Α. Καραδήμου

Ευγενία-Όλγα Ι. Λάππα

Επιβλέπων : Χρήστος Ν. Καψάλης

Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2011



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

Ανάπτυξη Μεθόδων Ανάλυσης Ενεργειακού Περιεχομένου Δεδομένων Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και Ηλεκτρομυογραφήματος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευαγγελία-Αικατερίνη Α. Καραδήμου

Ευγενία-Όλγα Ι. Λάππα

Επιβλέπων : Χρήστος Ν. Καψάλης

Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Χ. Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Φικιώρης
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

.....
Ευαγγελία-Αικατερίνη Α. Καραδήμου

.....
Ευγενία-Όλγα Ι. Λάππα

Διπλωματούχοι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ευαγγελία-Αικατερίνη Α. Καραδήμου, 2011.

Copyright © Ευγενία-Όλγα Ι. Λάππα, 2011.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Π ε ρ ί λ η ψ η

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ελεγχθεί αν η κατανομή των τιμών της ενέργειας ανά ερώτηση σημάτων που προέρχονται από μετρήσεις ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και ηλεκτρομυογραφήματος προσεγγίζει την Κανονική. Η μελέτη που ακολουθεί βασίστηκε σε δεδομένα που προέκυψαν από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Αιγινήτειο Νοσοκομείο κατά τις οποίες 55 υγιή άτομα υποβλήθηκαν στο test ερωτο-απαντήσεων Hayling. Με χρήση κατάλληλου λογισμικού υπολογίστηκε καταρχάς η ενέργεια των σημάτων αυτών. Στη συνέχεια, ελέγχθηκε αν η κατανομή των τιμών της ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε ερώτηση προσέγγιζε την Κανονική. Ο έλεγχος αυτός έγινε με τρεις διαφορετικούς τρόπους: μέσω υπολογισμού βασικών στατιστικών μεγεθών, μέσω της χρήσης του ιστογράμματος συχνοτήτων και μέσω του test Kolmogorov-Smirnov. Από τους παραπάνω ελέγχους διαπιστώθηκε ότι η εν λόγω κατανομή διέφερε από την Κανονική. Στη συνέχεια, με χρήση Γενετικών Αλγορίθμων υπολογίστηκαν βάρη για κάθε μία τιμή ενέργειας ανά ερώτηση. Οι αρχικές τιμές μετατράπηκαν σε σταθμισμένες μέσω του πολλαπλασιασμού τους με τα βάρη που προέκυψαν. Ακολούθησε μελέτη της κατανομής των σταθμισμένων τιμών, χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν και στα αρχικά δεδομένα. Διαπιστώθηκε ότι πράγματι η κατανομή των σταθμισμένων δεδομένων προσέγγιζε ικανοποιητικά την Κανονική.

Πιο αναλυτικά, στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία θεωρίας σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία του νευρώνα καθώς και το μηχανισμό παραγωγής και διάδοσης των δυναμικών της κυτταρικής μεμβράνης. Ακολούθως, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των σημάτων που προέρχονται από ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, ηλεκτρομυογράφημα και προκλητά δυναμικά όπως επίσης και οι μέθοδοι λήψης και καταγραφής των σημάτων αυτών. Επίσης, γίνεται σύντομη αναφορά στα βιολογικά σήματα γενικά και στην ενέργειά τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναπτύσσονται οι Γενετικοί Αλγόριθμοι. Αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους και περιγράφονται τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι εφαρμογές τους.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Δίνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τους συμμετέχοντες στο πείραμα και αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Τέλος περιγράφεται το ακουστικό test Hayling.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την επεξεργασία των μετρήσεων. Συγκεκριμένα περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού της ενέργειας των σημάτων που μετρήθηκαν και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της Κανονικής Κατανομής. Επιπλέον αναλύεται η εφαρμογή και η υλοποίηση των Γενετικών Αλγορίθμων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται συνοπτικά, κυρίως μέσω γραφημάτων, τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής και τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

Λέξεις Κλειδιά

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, ηλεκτρομυογράφημα, προκλητά δυναμικά, Κανονική Κατανομή, Γενετικοί Αλγόριθμοι

A b s t r a c t

The purpose of the present thesis is to study whether the distribution of the values of the energy per question of electroencephalographic and electromyographic signals tends to follow a Normal Distribution. The research that follows is based on data that came from measurements which were taken at the Eginition Hospital where 55 healthy individuals were submitted to Hayling question-answer tests. Initially, the energy of these measurements was calculated using proper software. Then, the distribution of the values of the energy that corresponds to each question was studied through 3 different ways: the calculation of basic statistics, by using frequency histogram and the Kolmogorov-Smirnov Test. It was noted that this distribution didn't tend to follow the Normal Distribution. Then, for each value of energy per question, weights were calculated by using Genetic Algorithms. The raw data were transformed to weighted data by their multiplication to the weights that were produced. The distribution of the weighted data was studied with the exact same way that was used for the raw data. It was observed that that the distribution of the weighted data tended indeed to follow the Normal Distribution.

In more details, in the first chapter, some basic features concerning the structure and the function of the neurons, as well as the generation and the propagation of the potentials of the cellular membranes are presented. Moreover, fundamentals of the electroencephalographic and electromyographic signals and signals coming from event related potentials, including recording techniques of these signals are described. In addition, significant theory about the biological signals and their energy is shortly referred.

The next chapter is about the Genetic Algorithms. Their basic characteristics, their advantages and disadvantages and their applications are analyzed.

In the third chapter, the experimental setup that was used for the implementation of the measurements is described. All the necessary information about the participants of the experiment and the procedure followed are given. In the end, the acoustic Hayling test is described.

In the fourth chapter, the process that was applied in the measured data is analyzed. Specifically, it is explained how the energy of the signals was calculated and how its Normal Distribution was tested. Furthermore, the application and the implementation of the Genetic Algorithms is presented.

In the last chapter, the results that come up are presented, using mostly graphic display ways.

Key Words

Electroencephalogram, electromyogram, event related potentials, Normal Distribution, Genetic Algorithms

Αφιερώνεται στις οικογένειές μας

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή Χρήστο Καψάλη που μας εμπιστεύτηκε την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την υποψήφια διδάκτορα Αργυρώ Μαγκανιώτη για τις πολύτιμες συμβουλές, την καθοδήγησή της και την συνεχή επίβλεψη στην πορεία υλοποίησης αυτής της εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στην Άννα Μαρία Καραδήμου και στην Ελένη Καλφούντζου για την σημαντική βοήθεια και στήριξή τους.

Επίσης νιώθουμε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την ηθική και παντός είδους υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας. Τέλος δεν θα μπορούσαμε να μην ευχαριστήσουμε τους φίλους μας που είναι δίπλα μας σε κάθε ευχάριστη αλλά και δύσκολη στιγμή, πάντα πρόθυμοι να μας ενθαρρύνουν και να μας συμπαρασταθούν. Ειδικότερα τον Νίκο, τον Αλέξανδρο και την Εύη που έκαναν τους τελευταίους έξι μήνες της φοιτητικής μας ζωής αξέχαστους.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες.....	11
Λίστα Εικόνων.....	17
Λίστα Πινάκων.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ.....	23
1.1 ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ.....	25
1.1.1 ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΩΝΕΣ.....	25
1.1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΥΡΩΝΩΝ.....	26
1.1.3 ΣΥΝΑΨΕΙΣ.....	26
1.1.4 ΔΥΝΑΜΙΚΑ.....	27
1.1.4.1 Δυναμικό μεμβράνης.....	27
1.1.4.2 Το δυναμικό δράσης.....	30
1.1.4.2.1 Το δυναμικό δράσης στην κυτταρική μεμβράνη.....	30
1.1.4.2.2 Διάδοση του ενεργού δυναμικού.....	32
1.1.4.2.3 Μεταβίβαση της νευρικής ώσης.....	33
1.2. ΒΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ.....	35
1.2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΗΕΓ).....	36
1.2.1.1 Τα ηλεκτρόδια στο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.....	37
1.2.1.2 Χαρακτηριστικά Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	39
1.2.2 ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ (ΠΔ).....	41
1.2.2.1 Τα ηλεκτρόδια στα Προκλητά Δυναμικά.....	42
1.2.2.2 Χαρακτηριστικά Προκλητών Δυναμικών.....	42
1.2.2.2.1 Είδη Προκλητών Δυναμικών.....	42
1.2.2.2.2 Συστατικά Προκλητών Δυναμικών.....	43

1.2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΥΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΗΜΓ)	44
1.2.3.1 Τα ηλεκτρόδια στο Ηλεκτρομυογράφημα	45
1.2.4 ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ.....	46
1.3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	49
1.3.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ.....	49
1.3.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	55
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	58
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΟΥΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ	59
2.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΑΣΙΚΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	60
2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	63
2.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	64
2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	67
3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	69
3.2 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ.....	71
3.3 HAYLING TEST	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	73
4.1 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΑΡΧΕΙΑ EXCEL.....	75
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΕΓ ΚΑΙ ΗΜΓ	75
4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	76
4.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ.....	83
4.3.2 Kolmogorov–Smirnov Test	84
4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	85
4.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	89

5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΕΓ ΚΑΙ ΗΜΓ	91
5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	92
5.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ	92
5.2.1.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΥΠΙΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ	93
5.2.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΥΡΤΩΣΗΣ	94
5.2.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ	98
5.2.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	102
5.2.3 TEST ΚΟΛΜΟΓΟΡΟV-SΜΙΡΝΟV	107
5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	112

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. 1: Τυπική δομή νευρώνα.....	25
Εικόνα 1. 2: Είδη νευρώνων	26
Εικόνα 1. 3: Νευρώνας και σύναψη.....	27
Εικόνα 1. 4: Κυτταρική μεμβράνη νευρώνα και ιοντικές αντλίες.....	28
Εικόνα 1. 5: Δημιουργία του δυναμικού ηρεμίας	29
Εικόνα 1. 6: Οι διάφορες φάσεις του δυναμικού δράσης και το διάγραμμα τιμών του.	31
Εικόνα 1. 7: Η διάδοση του ενεργού δυναμικού.....	32
Εικόνα 1. 8: Μεταβίβαση της νευρικής ώσης από τον προσυναπτικό νευρώνα στο μετασυναπτικό κύτταρο.	34
Εικόνα 1. 9: Ανθρώπινος εγκέφαλος	35
Εικόνα 1. 10: Hans Berger (1873-1941)	36
Εικόνα 1. 11: Σύστημα καταγραφής ΗΕΓ (1926).....	37
Εικόνα 1. 12: Ενσωματωμένα ηλεκτρόδια σε ειδικό σκούφο για την εύκολη τοποθέτησή τους.	38
Εικόνα 1. 13: Τυποποιημένες απαγωγές με το σύστημα 10-20.	39
Εικόνα 1. 14: Η εμφάνιση των ρυθμών σχετίζεται με τα διάφορα επίπεδα εγρήγορσης, χαλάρωσης, ύπνου κ.α.	40
Εικόνα 1. 15: Κύριοι ρυθμοί ΗΕΓ	41
Εικόνα 1. 16: Ακουστικά προκλητά δυναμικά (ΑΕΡ)	43
Εικόνα 1. 17: Κατηγορίες σημάτων	51
Εικόνα 2. 1: Αναπαράσταση της μεθόδου Ρουλέτας για πληθυσμό τεσσάρων ατόμων.	61
Εικόνα 2. 2: Διασταύρωση σημείου.....	61
Εικόνα 2. 3: Μετάλλαξη ενός σημείου στο χρωμόσωμα.	62
Εικόνα 2. 4: Εξελικτικός Κύκλος Γενετικών Αλγορίθμων.....	62

Εικόνα 3. 1: Αναπαράσταση πειραματικής διάταξης	70
Εικόνα 3. 2: Χάρτης απεικόνισης της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων.....	71
Εικόνα 4. 1: Κανονική καμπύλη.	77
Εικόνα 4. 2: Επίδραση βαθμού κυρτότητας σε μια κατανομή.....	80
Εικόνα 4. 3: Πιθανότητες στην κανονική κατανομή.	81
Εικόνα 4. 4: Επίδραση των παραμέτρων της $N(\mu, \sigma)$ στη θέση και μορφή της.....	82
Εικόνα 4. 5: Μέγιστη τιμή και σημεία καμπής της κανονικής καμπύλης.	82
Εικόνα 5. 1: Ραβδόγραμμα συνολικής ενέργειας αντρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο των αρχικών δεδομένων.....	91
Εικόνα 5. 2: Ραβδόγραμμα συνολικής ενέργειας αντρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο των σταθμισμένων δεδομένων.....	92
Εικόνα 5. 3: Συγκριτικό διάγραμμα τυπικής απόκλισης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για όλα τα άτομα συνολικά.....	93
Εικόνα 5. 4: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για όλα τα άτομα συνολικά.	94
Εικόνα 5. 5: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #1.....	95
Εικόνα 5. 6: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #2.....	95
Εικόνα 5. 7: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #3.....	96
Εικόνα 5. 8: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #4.....	96
Εικόνα 5. 9: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #5.....	97
Εικόνα 5. 10: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #6.	97

Εικόνα 5. 11: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για όλα τα άτομα συνολικά.....	98
Εικόνα 5. 12: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #1.....	99
Εικόνα 5. 13: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #2.....	99
Εικόνα 5. 14: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #3.....	100
Εικόνα 5. 15: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #4.....	100
Εικόνα 5. 16: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #5.....	101
Εικόνα 5. 17: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #6.....	101
Εικόνα 5. 18: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 13 σε ένα άτομο.....	102
Εικόνα 5. 19: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 31 σε ένα άτομο.....	103
Εικόνα 5. 20: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 7 σε ένα άτομο.....	103
Εικόνα 5. 21: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 8 σε ένα άτομο.....	104
Εικόνα 5. 22: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 9 σε ένα άτομο.....	104
Εικόνα 5. 23: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 12 σε ένα άτομο.....	105
Εικόνα 5. 24: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 4 σε ένα άτομο.....	105
Εικόνα 5. 25: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 27 σε ένα άτομο.....	106
Εικόνα 5. 26: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 10 σε ένα άτομο.....	106

Εικόνα 5. 27: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 26 σε ένα άτομο. 107

Εικόνα 5. 28: Ραβδόγραμμα ποσοστών ηλεκτροδίων με $p\text{-value} < 0.05$ πριν και μετά την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για όλα τα άτομα. 108

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. 1: Οι κυριότεροι ρυθμοί του ΗΕΓ.39

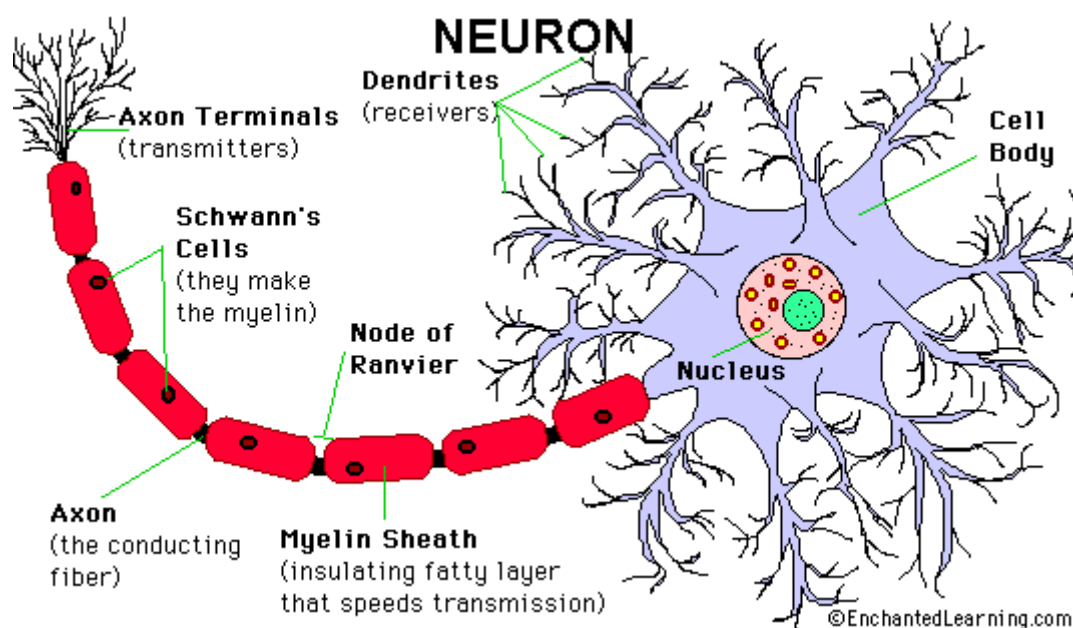
Πίνακας 1. 2: Βιολογικά σήματα50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ **ΒΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ**

1.1 ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

1.1.1 ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΩΝΕΣ

Το σύστημα το οποίο ρυθμίζει και ελέγχει την λειτουργία όλων των οργάνων του ανθρώπινου σώματος καθώς επίσης και τη μεταξύ τους αρμονική συνεργασία είναι το νευρικό σύστημα. Η βασική μονάδα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (Κ.Ν.Σ) είναι το νευρικό κύτταρο ή αλλιώς νευρώνας [1]. Οι νευρώνες είναι κύτταρα ευερέθιστα στον ηλεκτρισμό τα οποία λειτουργούν για να επεξεργαστούν και να διαβιβάσουν τις πληροφορίες [6,7]. Αποτελούνται από το κυρίως σώμα, τους δενδρίτες, τον άξονα και τις απολήξεις του άξονα όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1 [8, 9].



Εικόνα 1. 1: Τυπική δομή νευρώνα

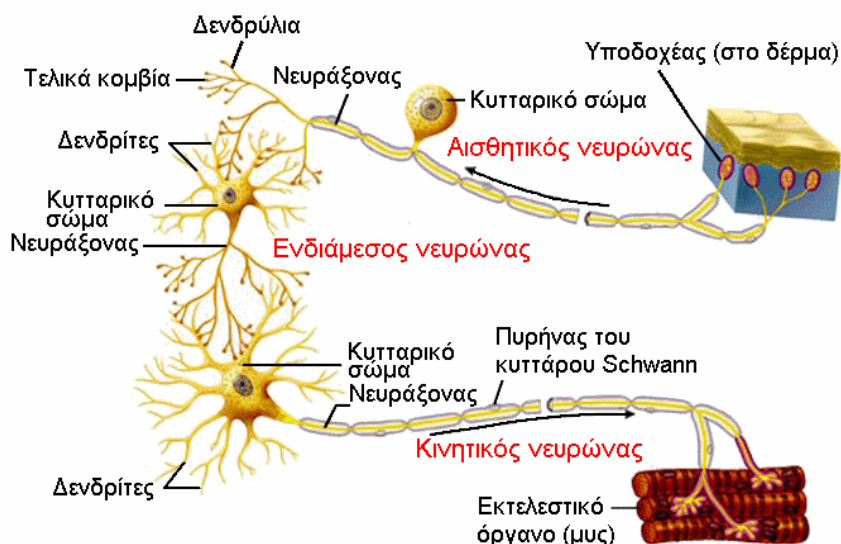
Το πλησιέστερο στο σώμα του κυττάρου τμήμα του άξονα, μαζί με το μέρος του κυττάρου που γίνεται η σύνδεση αποτελούν το αρχικό τμήμα. Από αυτό ξεκινούν τα ηλεκτρικά σήματα τα οποία διαδίδονται κατά μήκος του άξονα, μακριά από το κυρίως σώμα. Οι απολήξεις, όπου απόληξη είναι το τέλος κάθε διακλάδωσης, είναι υπεύθυνες για τη μεταβίβαση χημικών σημάτων από τους νευρώνες [10].

Οι άξονες μερικών νευρώνων καλύπτονται από μια λιπώδη μεμβρανική θήκη, τη μυελίνη, η οποία σχηματίζεται από κύτταρα στήριξης που περιελίσσονται γύρω

από τον άξονα. Κατά μήκος των νευρικών ινών, σε ίσα διαστήματα, υπάρχουν κενά στη θήκη της μυελίνης, γνωστά ως κόμβοι του Ranvier τα οποία επιτρέπουν έναν ιδιαίτερος γρήγορο τρόπο ηλεκτρικής διάδοσης, την αναπήδηση [2].

1.1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΥΡΩΝΩΝ

Ανάλογα με τη λειτουργία τους οι νευρώνες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τους αισθητικούς (προσαγωγούς) οι οποίοι ειδικεύονται στο να στέλνουν σήματα από τους νευρώνες στο Κ.Ν.Σ., τους ενδιάμεσους (διενευρώνες) οι οποίοι συνδέουν τα κύτταρα του Κ.Ν.Σ μεταξύ τους και μεταφέρουν διεγέρσεις από τον ένα νευρώνα στον άλλο και τους κινητικούς (απαγωγούς) νευρώνες οι οποίοι μεταφέρουν νευρικές ώσεις από το Κ.Ν.Σ στα εκτελεστικά όργανα [11].



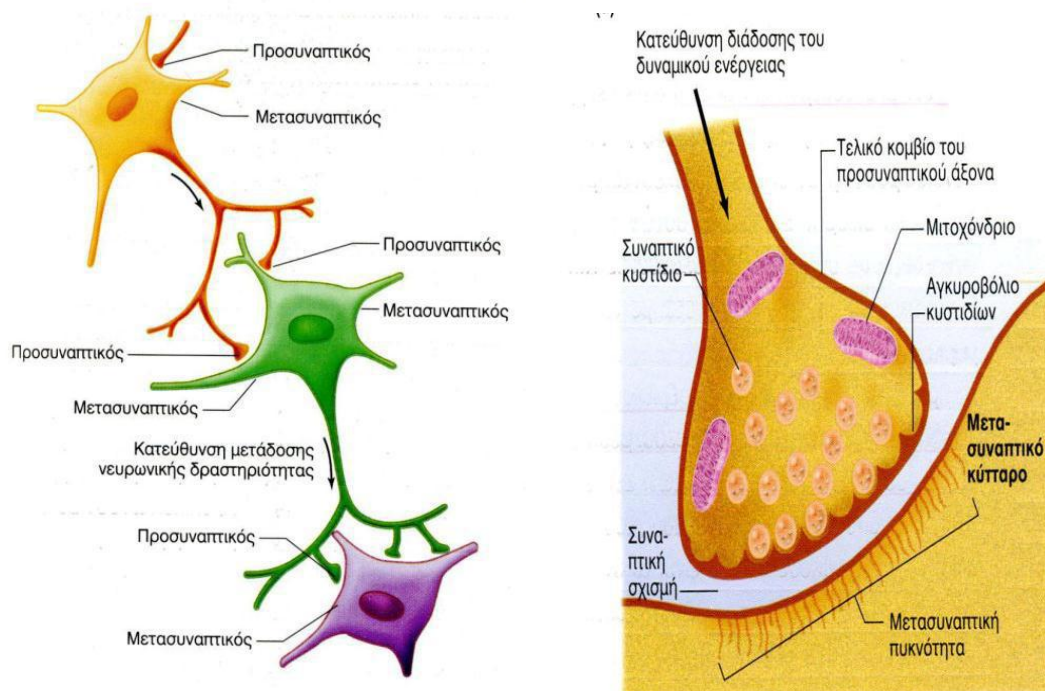
Εικόνα 1. 2: Είδη νευρώνων

1.1.3 ΣΥΝΑΨΕΙΣ

Σύναψη είναι η θέση στην οποία οι νευρώνες επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με άλλα εκτελεστικά κύτταρα ή κύτταρα στόχους. Οι συνάψεις δημιουργούνται γενικά μεταξύ των απολήξεων του άξονα του ενός νευρώνα και του κυτταρικού σώματος ή δενδρίτη ενός άλλου, αλλά μπορούν να δημιουργηθούν και μεταξύ των δενδριτών, μεταξύ δενδρίτη και κυτταρικού σώματος ή μεταξύ των απολήξεων των δύο αξόνων. Οι νευρώνες που άγουν σήματα προς μια σύναψη ονομάζονται

προσυναπτικοί, ενώ οι νευρώνες που λαμβάνουν σήματα από τη σύναψη και τα οδηγούν μακριά από αυτήν ονομάζονται μετασυναπτικοί [3].

Η επικοινωνία των νευρώνων γίνεται με τα συναπτικά κομβία τα οποία βρίσκονται στις θέσεις των συνάψεων. Τα συναπτικά κομβία είναι οι τελικές απολήξεις νευρικών ινιδίων που ξεκινούν από πολλούς άλλους νευρώνες και συνήθως καθένα προέρχεται από ξεχωριστό προηγούμενο νευρώνα. Αυτά μπορούν να εκκρίνουν μία ουσία που είτε διεγείρει το νευρώνα (διεγερτικά) είτε αναστέλλει τη λειτουργία του (ανασταλτικά). Η θεμελιώδης διαδικασία που αποτελεί τη βάση για τη συναπτική μετάδοση είναι το δυναμικό δράσης, ένα ηλεκτρικό σήμα διάδοσης που βασίζεται στην ηλεκτρικά ευερέθιστη μεμβράνη του νευρώνα.



Εικόνα 1. 3: Νευρώνες και σύναψη

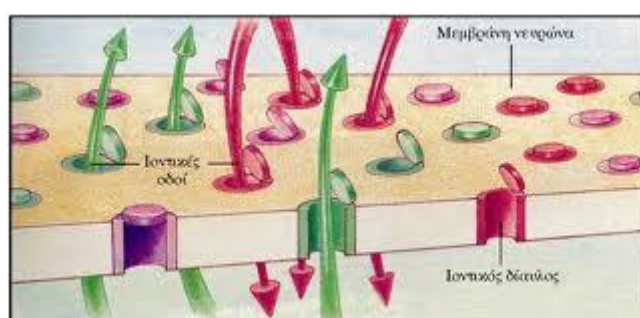
1.1.4 ΔΥΝΑΜΙΚΑ

1.1.4.1 Δυναμικό μεμβράνης

Το **δυναμικό μεμβράνης** είναι η διαφορά δυναμικού (τάση) που εμφανίζεται κατά μήκος της πλασματικής μεμβράνης του κυττάρου και οφείλεται στη διαφορετική συγκέντρωση των ιόντων που βρίσκονται εκατέρωθεν αυτής [12, 13].

Σε συνθήκες ηρεμίας, δηλαδή όταν δεν υπάρχουν άλλα δυναμικά ή ενεργές μεταβολές του δυναμικού, η κυτταρική μεμβράνη παρουσιάζει κατά μήκος της μια διαφορά δυναμικού η οποία καλείται **δυναμικό ηρεμίας**. Η διαφορά αυτή εξαρτάται από τη διαφορά στη συγκέντρωση ιόντων μεταξύ ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου υγρού καθώς και από τη διαπερατότητα της μεμβράνης στα διάφορα ιόντα. Μία τυπική τιμή της είναι τα -70 mV . Το αρνητικό πρόσημο υποδεικνύει ότι το εσωτερικό της μεμβράνης είναι ηλεκτραρνητικότερο σε σχέση με το εξωτερικό [14].

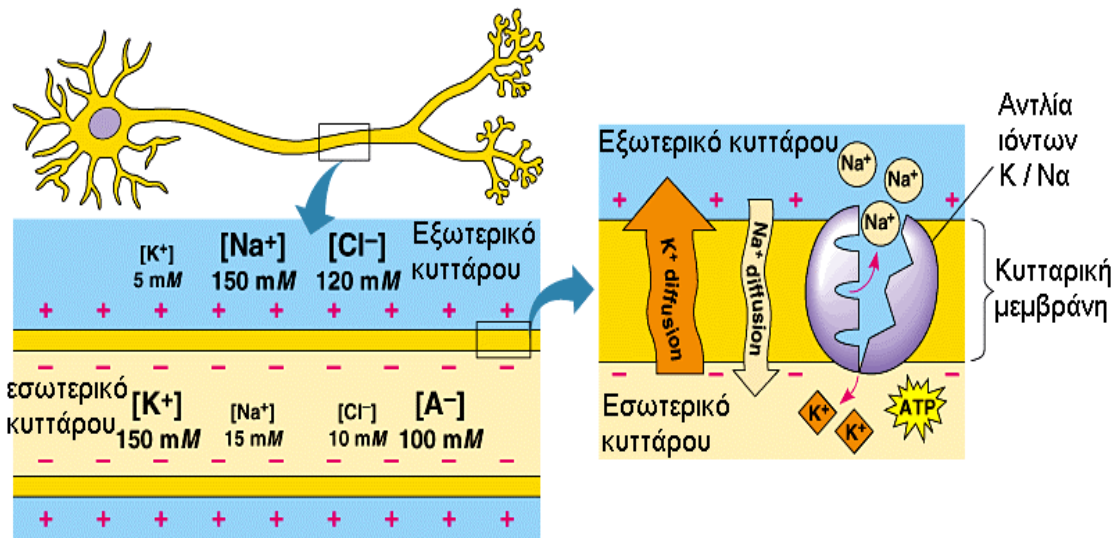
Η μεταφορά των ιόντων επιτυγχάνεται με τις ιοντικές αντλίες ή ιοντικά κανάλια, τα οποία δημιουργούν διαδρομές διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης μέσω των οποίων μπορούν να διαχέονται τα ιόντα χωρίς να δαπανάται ενέργεια [15, 16]. Υπό κανονικές συνθήκες μπορεί να υποτεθεί ότι τα ιόντα που παίζουν τον κυριότερο ρόλο στο δυναμικό ηρεμίας είναι τα ιόντα καλίου (K^+), νατρίου (Na^+) και χλωρίου (Cl^-). Η συγκέντρωση ιόντων Na^+ και Cl^- είναι μεγαλύτερη στο εξωκυττάριο υγρό ενώ η συγκέντρωση ιόντων K^+ είναι μεγαλύτερη στο ενδοκυττάριο υγρό. Κάθε αντλία μεταφέρει τρία μόρια νατρίου προς τα έξω για κάθε δύο μόρια καλίου που μεταφέρει προς τα μέσα, με αποτέλεσμα να είναι πάντα μεγαλύτερη η μεταφορά θετικών ιόντων προς τα έξω και να ενισχύεται η παρουσία των ανιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων. Τα ανιόντα αυτά δεν μπορούν λόγω μεγέθους να εγκαταλείψουν το κύτταρο, έλκουν όμως κατιόντα από το εξωτερικό περιβάλλον. Η πλασματική μεμβράνη ενός νευρώνα σε κατάσταση ηρεμίας εμφανίζει πολύ μεγαλύτερη διαπερατότητα στα ιόντα K^+ από ότι σε άλλα κατιόντα και έτσι υπάρχει πολύ ισχυρότερη έλξη των ιόντων αυτών προς το εσωτερικό του κυττάρου. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση των ιόντων αυτών είναι κατά 30 φορές μεγαλύτερη στο εσωτερικό των κυττάρων σε σχέση με το εξωτερικό και αυτή η άνιση κατανομή οδηγεί το εσωτερικό των κυττάρων να διαθέτει λιγότερα θετικά φορτία από ότι το εξωτερικό τους.



Εικόνα 1. 4: Κυτταρική μεμβράνη νευρώνα και ιοντικές αντλίες

Όταν το κύτταρο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, η καθαρή μετακίνηση ιόντων Na^+ μέσα στο κύτταρο είναι ίση με αυτή των ιόντων K^+ , λόγω όμως μεγαλύτερης διαπερατότητας της μεμβράνης στα ιόντα K^+ , το δυναμικό της μεμβράνης πλησιάζει το δυναμικό ισορροπίας του K^+ ($E_{\text{K}}=-90\text{ mV}$) περισσότερο

από αυτό του Na^+ ($E_{\text{Na}}=+45 \text{ mV}$) και γι' αυτό η τιμή του είναι -70 mV όπως αναφέρθηκε ήδη.



Εικόνα 1. 5: Δημιουργία του δυναμικού ηρεμίας

Η μεταβολική δραστηριότητα του κυττάρου διατηρεί ένα δυναμικό ηρεμίας που προκύπτει από την άνιση κατανομή των ιόντων, μέχρι κάποιο είδος αναταραχής να το διαταράξει. Η αναταραχή αυτή μπορεί να προέρχεται από ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να αλλάζουν την κατάσταση της μεμβράνης και τις λειτουργίες του κυττάρου. Οι καταστάσεις στις οποίες μπορεί να επισέλθει το δυναμικό της μεμβράνης κατά τη μεταβολή του από το δυναμικό ηρεμίας είναι δύο: η αποπόλωση (ή εκπόλωση) και η υπερπόλωση.

Αποπολωμένη ονομάζεται μια μεμβράνη όταν το δυναμικό της είναι λιγότερο αρνητικό από το δυναμικό ισορροπίας της, δηλαδή όταν η τιμή του δυναμικού είναι πλησιέστερα στο μηδέν. Αντίθετα, **υπερπολωμένη** θεωρείται μια μεμβράνη της οποίας το δυναμικό είναι πιο αρνητικό από το δυναμικό ισορροπίας. Η διαδικασία κατά την οποία το δυναμικό επιστρέφει στην τιμή ηρεμίας, είτε από την κατάσταση υπερπόλωσης είτε από την κατάσταση αποπόλωσης, ονομάζεται **επαναπόλωση**.

Τα ηλεκτρικά σήματα αυτά τα οποία μπορούν να μεταβάλλουν το δυναμικό της μεμβράνης συναντώνται σε δύο μορφές: ως βαθμωτά δυναμικά και ως δυναμικά δράσης.

Τα **βαθμωτά δυναμικά** μεταφέρουν ερεθίσματα σε μικρές αποστάσεις και μπορούν να προκύψουν είτε σε τμήματα των κυττάρων που λειτουργούν ως αισθητήριοι δέκτες οπότε και λέγονται δυναμικά υποδοχέων, είτε σε συνάψεις οπότε και καλούνται συναπτικά δυναμικά. Τα βαθμωτά δυναμικά είναι μικρές μεταβολές του δυναμικού μεμβράνης που φθίνουν όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή τους. Συγκεκριμένα, εξασθενούν περίπου μετά από 1-2 mm από το σημείο διέγερσής τους.

Αντιθέτως, τα **δυναμικά δράσης**, τα οποία μπορούν να παραχθούν μόνο από μεμβράνες νευρώνων και ορισμένων κυττάρων αδένων, προκαλούν μεγάλη μεταβολή στο δυναμικό της μεμβράνης, μέχρι και 100 mV και μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις [17]. Μπορεί δηλαδή το δυναμικό της μεμβράνης μέσα σε πολύ λίγο χρόνο, περίπου σε 1 ms, να φθάσει από -70 mV σε +40 mV και μετά να επαναπολωθεί στο δυναμικό ηρεμίας.

1.1.4.2 Το δυναμικό δράσης

1.1.4.2.1 Το δυναμικό δράσης στην κυτταρική μεμβράνη

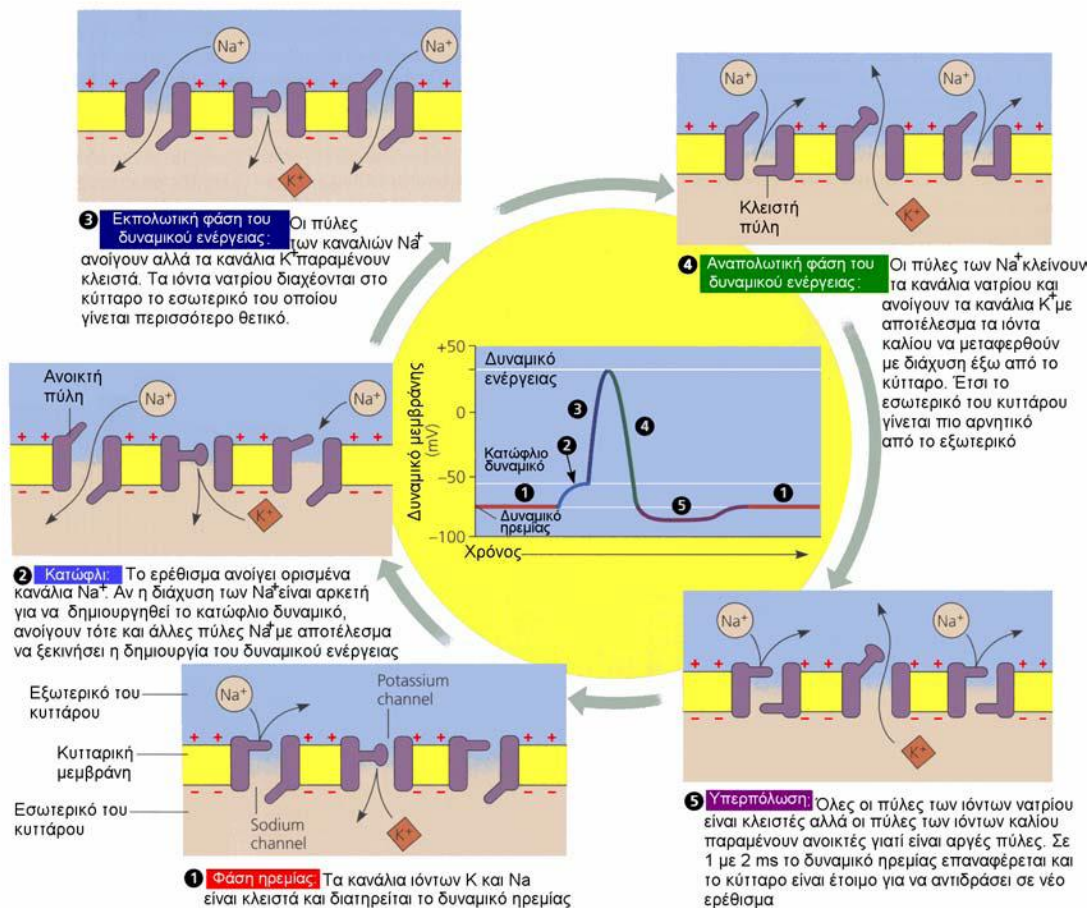
Στην Εικόνα 1.6 απεικονίζονται οι διάφορες φάσεις τις οποίες ακολουθεί το δυναμικό δράσης στην πλασματική μεμβράνη του νευρώνα και είναι οι εξής:

- **Δυναμικό ηρεμίας:** στην κατάσταση ηρεμίας οι ανοιχτές δίοδοι της μεμβράνης είναι κυρίως εκείνες που είναι διαπερατές σε ιόντα K^+ και Cl^- . Σχεδόν όλες οι δίοδοι Na^+ είναι κλειστές και με τη διάχυση ιόντων K^+ έξω από το κύτταρο δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού δια μέσου της κυτταρικής μεμβράνης όπου αρνητικό φορτίο βρίσκεται συσσωρευμένο στο εσωτερικό του κυττάρου.
- **Διέγερση:** ένα διεγερτικό ερέθισμα προκαλεί μια τοπική αποπόλωση των μεμβρανών με αποτέλεσμα να ανοίξουν μερικά κανάλια Na^+ , αφού η είσοδος σε αυτά εξαρτάται από την τάση στα άκρα τους και να αρχίσουν να διαχέονται ιόντα Na^+ διαμέσου των καναλιών. Εάν το δυναμικό της μεμβράνης φτάσει κατά την αποπόλωσή του μια συγκεκριμένη τιμή, την κατώφλιο τιμή η οποία κυμαίνεται από τα -55 mV έως τα -50 mV, τότε παράγεται **νευρική ώση** ή αλλιώς **δυναμικό δράσης**.
- **Ανοδική φάση:** ανοίγουν τα κανάλια Na^+ και K^+ , με τα κανάλια Na^+ να ανοίγουν πρώτα αυξάνοντας τη διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα Na^+ κατά αρκετές εκατοντάδες φορές. Γίνεται ραγδαία διάχυση ιόντων Na^+ στο εσωτερικό του κυττάρου η οποία διαρκεί περίπου 1 msec και το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται όλο και λιγότερο αρνητικό, ώσπου στο τέλος αντιστρέφεται. Στη φάση αυτή το δυναμικό της μεμβράνης πλησιάζει το δυναμικό ισορροπίας του νατρίου.
- **Αιχμή:** όταν το δυναμικό της μεμβράνης φτάσει τα +30 mV, τα ευαίσθητα στην τάση κανάλια Na^+ κλείνουν, εμποδίζοντας την περαιτέρω εισροή ιόντων Na^+ στο εσωτερικό του κυττάρου, ενώ ταυτόχρονα τα ευαίσθητα στην τάση κανάλια K^+ ανοίγουν.
- **Καθοδική φάση:** γίνεται μια μεγάλη μετακίνηση ιόντων K^+ προς τα έξω η οποία ευνοείται από το θετικό φορτίο που υπάρχει στο εσωτερικό. Καθώς το φορτίο που μετακινείται είναι θετικό, το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται όλο

και λιγότερο θετικό, αντιστρέφεται πάλι και συνεχίζει να μειώνεται μέχρι η μεμβράνη να επαναπολωθεί στην κατάσταση του δυναμικού ηρεμίας.

- **Υπερπόλωση:** αφού το δυναμικό της μεμβράνης φθάσει το δυναμικό ηρεμίας, κάποια από τα κανάλια K^+ αργούν να ανταποκριθούν στην επαναπόλωση αυτή της μεμβράνης και δεν κλείνουν αμέσως, ενώ τα κανάλια Na^+ έχουν κλείσει όλα. Έτσι τα ιόντα K^+ συνεχίζουν να ρέουν από το κύτταρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το δυναμικό της μεμβράνης να βυθίζεται, για ένα σύντομο χρονικό διάστημα, κάτω από την τιμή του δυναμικού ηρεμίας. Το βύθισμα αυτό ονομάζεται undershoot. Με τη βοήθεια της αντλίας νατρίου/καλίου το δυναμικό ηρεμίας επανέρχεται.

Τα ενεργά δυναμικά δημιουργούνται μόνο όταν μια αρχική αποπόλωση πλησιάζει ένα κατώφλι. Διεγέρσεις μικρότερης έντασης δεν προκαλούν παραγωγή δυναμικού ενέργειας [5].

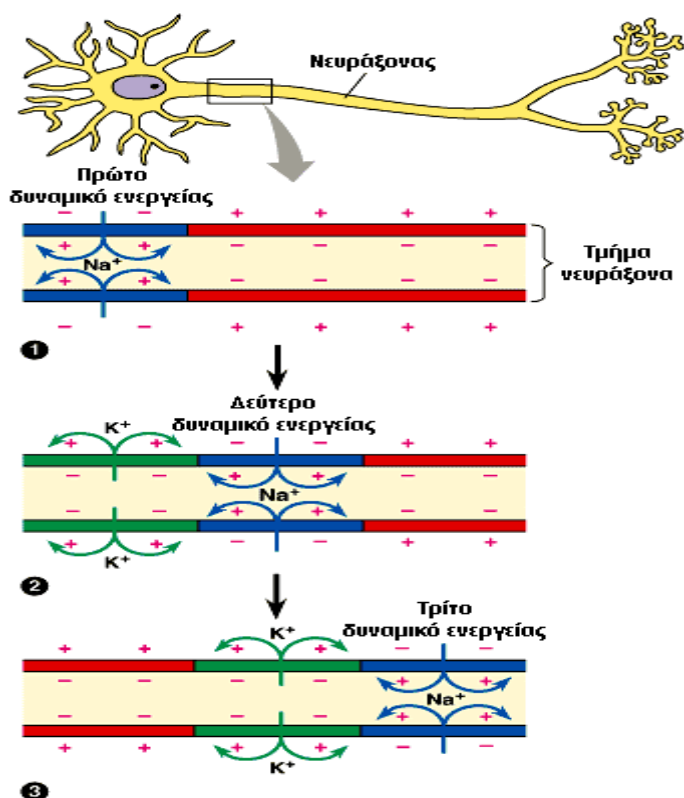


Εικόνα 1. 6: Οι διάφορες φάσεις του δυναμικού δράσης και το διάγραμμα τιμών του.

1.1.4.2.2 Διάδοση του ενεργού δυναμικού

Όταν δημιουργηθεί ένα ενεργό δυναμικό ενεργοποιεί και ένα άλλο σε κάποιο γειτονικό τμήμα της κυτταρικής μεμβράνης, γεννώντας έτσι τοπικό ρεύμα κατά μήκος της μεμβράνης. Το τοπικό αυτό ρεύμα είναι αρκετά μεγάλο ώστε να αποπολωθεί το γειτονικό τμήμα και να φτάσει το δυναμικό του την τιμή κατωφλίου, δημιουργώντας έτσι ένα νέο ενεργό δυναμικό σε αυτή τη θέση το οποίο είναι θεωρητικά ταυτόσημο με το αρχικό και θα γεννήσει και αυτό με τη σειρά του τοπικό ρεύμα στην γειτονική του περιοχή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται κατά μήκος της μεμβράνης χωρίς ουσιαστική παραμόρφωση, με διαρκή «αναγέννηση» του δυναμικού σε όλη την έκταση της μεμβράνης κατά τη διαδρομή του [18].

Παρόλο που νέες γειτονικές διεγερόμενες περιοχές προκαλούν ροή φορτίου προς την αρχική θέση διέγερσης, η μόνη διεύθυνση διάδοσης είναι μακριά από την αρχική αυτή θέση. Αυτό συμβαίνει διότι οι περιοχές της μεμβράνης που έχουν μόλις δεχθεί ένα ερέθισμα είναι ανενεργές και δεν μπορούν να δεχθούν και άλλο. Οι διεγερόμενες μεμβράνες μπορούν να άγουν δυναμικά προς κάθε κατεύθυνση, είτε από το ένα άκρο της μεμβράνης στο άλλο είτε από το μέσο της προς τα δύο άκρα, ανάλογα με τη θέση του ερεθίσματος.



Εικόνα 1. 7: Η διάδοση του ενεργού δυναμικού

Η ταχύτητα διάδοσης του ενεργού δυναμικού κατά μήκος της μεμβράνης εξαρτάται από δύο παράγοντες: τη διάμετρο της ίνας και από το εάν η ίνα έχει θήκη μυελίνης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της ίνας τόσο γρηγορότερα διαδίδεται και το δυναμικό. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι η αντίσταση είναι μικρότερη σε άξονες μεγαλύτερης διαμέτρου λόγω της αύξησης του λόγου της διατομής προς την επιφάνεια της μεμβράνης. Όσον αναφορά την ύπαρξη ή όχι θήκης μυελίνης στη μεμβράνη, η ταχύτητα διάδοσης του δυναμικού είναι μεγαλύτερη σε μεμβράνες που έχουν περίβλημα μυελίνης. Η μυελίνη, η οποία είναι λιπώδης ουσία που περιβάλλει τους άξονες ορισμένων νευρώνων, λειτουργεί ως μονωτής που δυσκολεύει τη ροή φορτίου ανάμεσα στα τμήματα του ενδοκυτταρικού και εξωκυτταρικού υγρού με αποτέλεσμα να μην υφίστανται ενεργά δυναμικά κατά μήκος τμημάτων της μεμβράνης που περιβάλλονται από αυτή. Κατά μήκος του άξονα όμως, σε τακτά χρονικά διαστήματα, το περίβλημα της μυελίνης διακόπτεται στους κόμβους του Ranvier όπου και είναι δυνατή η διάδοση του δυναμικού. Στη διάδοση αυτή, η οποία ονομάζεται διάδοση με άλματα ή αναπήδηση, το ενεργό δυναμικό αναπηδά από τον ένα κόμβο στον άλλον καθώς διαδίδεται κατά μήκος της ίνας που περιβάλλεται από μυελίνη. Ταχύτερη διάδοση του δυναμικού για το ίδιο μήκος άξονα έχουμε στην περίπτωση της αναπήδησης απ' ότι σε μεμβράνη χωρίς περίβλημα μυελίνης λόγω του ότι διαφεύγει λιγότερο φορτίο προς τα έξω μέσω της μεμβράνης που περιβάλλεται από μυελίνη. Έτσι σε μια δεδομένη χρονική στιγμή φτάνει περισσότερο φορτίο σ' ένα κόμβο γειτονικό στον ενεργό κόμβο και ο κόμβος αποπολώνεται και υφίσταται ένα ενεργό δυναμικό συντομότερα σε σχέση με την περίπτωση μιας μεμβράνης που δεν περιβάλλεται από μυελίνη.

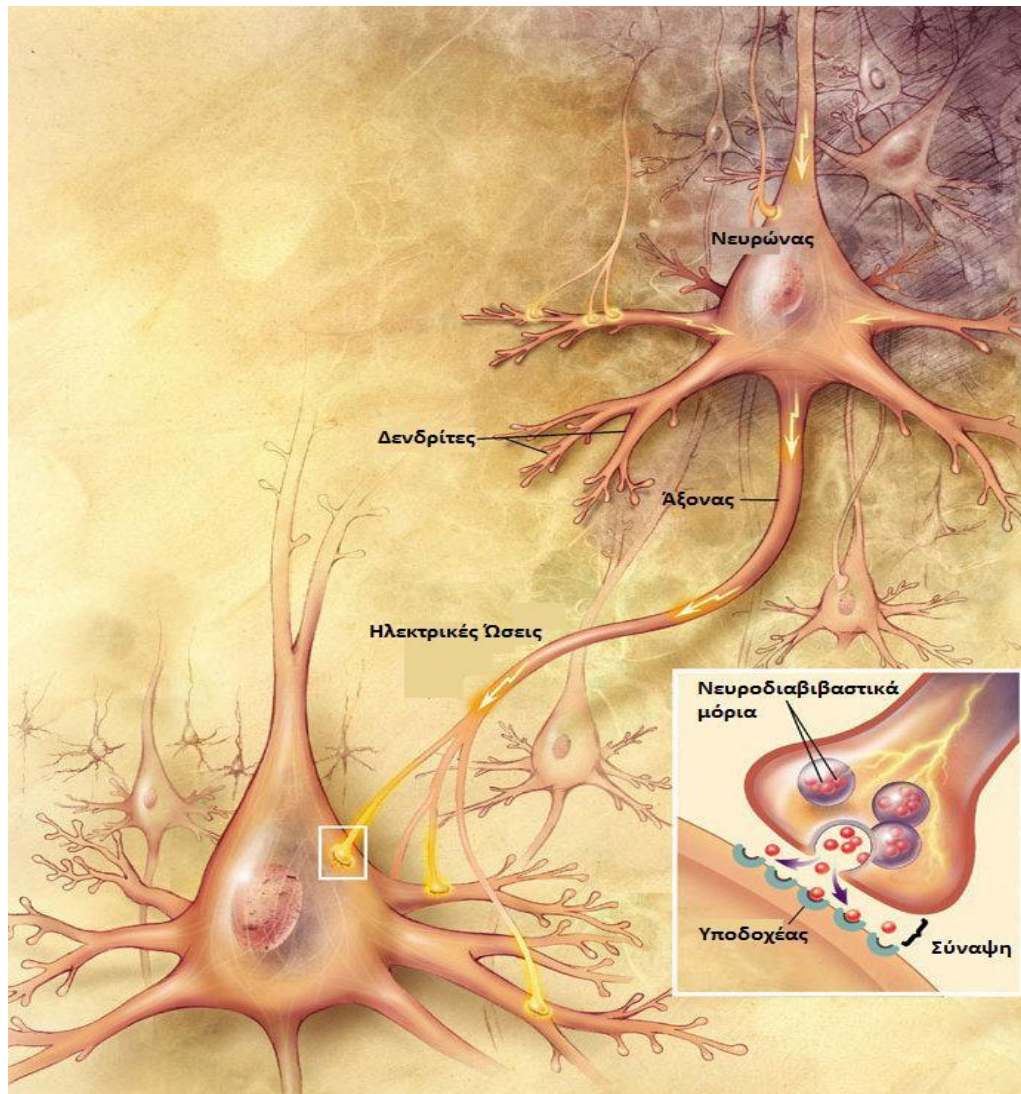
1.1.4.2.3 Μεταβίβαση της νευρικής ώσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σημείο όπου γίνεται η μεταβίβαση μιας διέγερσης, από ένα νευρώνα σε ένα άλλο νευρικό, αδενικό ή μυϊκό κύτταρο λέγεται **σύναψη**. Σε μια σύναψη διακρίνουμε το **προσυναπτικό** και το **μετασυναπτικό** κύτταρο ενώ το μικρό διάστημα που τα χωρίζει και το οποίο έχει εύρος μόλις 20 nm καλείται **συναπτική σχισμή**.

Οι πιο πολλές συνάψεις είναι χημικές και η μεταβίβαση της ώσης σε αυτές γίνεται μέσω ειδικών ουσιών, τους **νευροδιαβιβαστές**. Οι νευροδιαβιβαστές συνθέτονται στο σώμα του νευρώνα, μεταδίδονται μέσω του άξονα και αποθηκεύονται σε κυστίδια που υπάρχουν πολυάριθμα στο κυτταρόπλασμα και ονομάζονται **συναπτικά κυστίδια** [19].

Το διεγερτικό συναπτικό δυναμικό που θα προκαλέσει έκλυση δυναμικού δράσης σε αυτό το τμήμα είναι περίπου +11 mV, σε αντίθεση με τα 30 mV που απαιτούνται από το σώμα του νευρώνα γι' αυτό και η ουδός διέγερσης του νευρώνα είναι -59 mV, τάση κατά 11 mV θετικότερη από τα -70 mV που αντιπροσωπεύουν το φυσιολογικό δυναμικό ηρεμίας του νευρώνα.

Εκτός από διεγερτικούς νευροδιαβιβαστές, υπάρχουν και άλλοι που προκαλούν **αναστολή**, δηλαδή **υπερπόλωση** του μετασυναπτικού νευρώνα. Η διαδικασία της μεταβίβασης της νευρικής ώσης που μόλις περιγράφηκε φαίνεται στην Εικόνα 1.8.

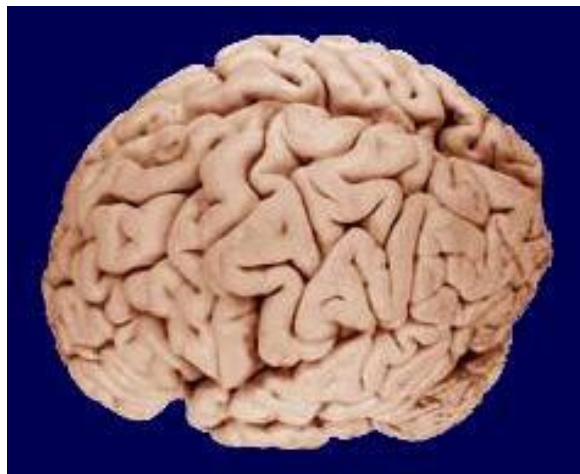


Εικόνα 1. 8: Μεταβίβαση της νευρικής ώσης από τον προσυναπτικό νευρώνα στο μετασυναπτικό κύτταρο.

1.2. ΒΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ

Εισαγωγή

Ο **ανθρώπινος εγκέφαλος** είναι το πιο πολύπλοκο και μυστηριώδες αντικείμενο καθώς ευθύνεται για τον απόλυτο έλεγχο των σκέψεων, της μνήμης, και του συνόλου των ανθρώπινων δραστηριοτήτων [20]. Αποτελεί το σημαντικότερο και μεγαλύτερο τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος, βρίσκεται στο εσωτερικό του εγκεφαλικού κρανίου, και απαρτίζεται από δισεκατομμύρια νευρώνων, καθένας από τους οποίους δημιουργεί συνάψεις με τους γειτονικούς του. Ενώ ζυγίζει μόλις από 1.300 έως 1.500 γραμμάρια σε έναν ενήλικα καταναλώνει περίπου το 20% της συνολικής του ενέργειας.



Εικόνα 1. 9: Ανθρώπινος εγκέφαλος

Η έρευνα για την κατανόηση των μηχανισμών λειτουργίας του, αποτελεί ένα titάνιο έργο και μέχρι σήμερα το ποσοστό της άγνοιάς μας είναι συντριπτικά μεγαλύτερο από τον όγκο των γνώσεων που έχουν αποκτηθεί ως τώρα. Η σπουδαιότητα της εγκεφαλικής λειτουργίας καθιστά άκρως ενδιαφέρουσα την αποκωδικοποίηση και την πλήρη κατανόηση των μηχανισμών δράσης του, η οποία στις μέρες μας γίνεται εφικτή μέσω παρατήρησης και μελέτης των βιολογικών σημάτων (βιοσήματα) που προέρχονται από τα κύτταρα του εγκεφάλου. Τα σήματα αυτά περιέχουν πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουν τους φυσιολογικούς μηχανισμούς του οργανισμού και μπορούν να μετρηθούν στην επιφάνεια του οργάνου ή του οργανισμού με την χρήση ηλεκτροδίων επιφάνειας. Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG), τα προκλητά δυναμικά (ERP) και το

ηλεκτρομυογράφημα (EMG) είναι παραδείγματα αυτού του φαινομένου τα οποία πρόκειται να αναλυθούν στην συνέχεια του κεφαλαίου.

1.2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΗΕΓ)

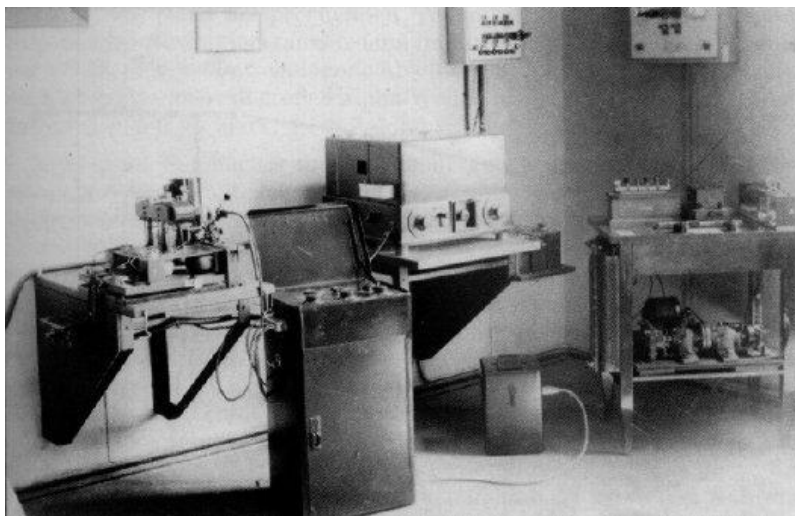
Το εγκεφαλογράφημα (EEG) αποτελεί τη μέθοδο απεικόνισης της ηλεκτρικής δραστηριότητας που δημιουργείται από δισεκατομμύρια νευρώνες στον εγκέφαλο και στο σύνολό τους παράγουν ηλεκτρικά πεδία [21]. Ο Richard Caton από το Λίβερπουλ, ιατρός και καθηγητής στην ιατρική σχολή, εντόπισε ηλεκτρικά εγκεφαλικά σήματα μελετώντας τα απευθείας στην επιφάνεια εκτεθειμένων εγκεφάλων κάποιων ζώων. Δημοσίευσε τα αποτελέσματά του το 1875 [22]. Για να ενισχύσει τα σήματα που προέκυπταν, πραγματοποίησε μικρές αλλαγές στη θέση ενός κατόπτρου το οποίο ήταν συνδεδεμένο με τις σπείρες ενός γαλβανομέτρου. Με τον τρόπο αυτό παρήγαγε μία πολύ μεγαλύτερη μετακίνηση του αντανακλώμενου σημείου φωτός. Το 1887 εξέθεσε στο 9^ο Ιατρικό Συνέδριο στην Ουάσινγκτον ότι όταν διέκοπτε το φως την ώρα που έπεφτε στο μάτι ενός ζώου, ανίχνευε τις αρνητικές μεταβολές στην ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα. Επιπλέον, διαπίστωσε ότι η ηλεκτρική δραστηριότητα εμφανιζόταν στην αντίθετη πλευρά του εγκεφάλου. Πέρα από τον Caton, και άλλοι φυσιολόγοι και επιστήμονες διεξήγαγαν παρόμοια πειράματα, όπως ο Adolph Beck ο οποίος ανακάλυψε ότι ακόμα και στην περίπτωση που ένα οποιοδήποτε ερέθισμα όπως μία λάμψη ή ένα χειροκρότημα προκαλούσε μία αντίδραση σε ένα συγκεκριμένο σημείο, εμφανιζόταν μία ευρεία διακοπή του αργού προτύπου των κυμάτων στον εγκέφαλο. Λίγο πριν τον Beck ένας Ρώσος επιστήμονας ο Nikolai Y. Wedensky για να ακούσει τα ηλεκτρικά κύματα στους εγκεφάλους των σκυλιών, χρησιμοποίησε μία τηλεφωνική συσκευή, ενώ το 1912 ο Vladimir V. Pravdich - Neminsky δημοσίευσε φωτογραφικές καταγραφές των εγκεφαλικών κυμάτων σε σκυλιά.



Εικόνα 1. 10: Hans Berger (1873-1941)

Αυτός όμως που πρώτος κατάφερε να καταγράψει το ανθρώπινο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα το 1924 ήταν ένας Αυστριακός ψυχίατρος, ο **Hans Berger**. Εργάστηκε με «πρωτόγονα» όργανα όπως τα γαλβανόμετρα συμβολοσειράς και πέτυχε τα πρώτα του αποτελέσματα σε υποκείμενα, τα κρανία των οποίων είχαν διάκενο κάτω από το δέρμα λόγω έλλειψης κάποιου οστού. Έκανε τις καταγραφές σε ένα κινούμενο φωτογραφικό χαρτί με ένα κυματιστό σημείο φωτός. Με τον τρόπο αυτό εντόπισε τα συμμετρικά κύματα με περίπου 10 κύκλους το δευτερόλεπτο τα οποία ονόμασε «**άλφα**», από το πρώτο γράμμα του ελληνικού αλφαβήτου επειδή ήταν

η πρώτη μορφή κύματος που απομόνωσε στο ανθρώπινο ΗΕΓ.



Εικόνα 1. 11: Σύστημα καταγραφής ΗΕΓ (1926).

Στις μέρες μας το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα εφαρμόζεται τόσο στην ιατρική όσο και στο ευρύτερο επιστημονικό πεδίο ερευνών ενώ η τεχνολογική πρόοδος κατά τον 20^ο αιώνα οδήγησε στην βελτίωση της ποιότητας και της ανάλυσής του. Η ευρεία χρήση της διαδικασίας καταγραφής του εγκεφαλογραφήματος έγκειται στον ανώδυνο χαρακτήρα της μεθόδου που χρησιμοποιείται, σε συνδυασμό με την σημαντικότητα των αποτελεσμάτων της. Από την μελέτη του ΗΕΓ μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα καθώς και την εξέλιξη του κατά τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου, μέσω της μελέτης των εγκεφαλικών λειτουργιών.

Η βασική λειτουργία του έγκειται στην καταγραφή των διαφορών δυναμικού που μπορούν να μετρηθούν στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του κρανίου μέσω κατάλληλα τοποθετημένων ηλεκτροδίων. Η μέτρηση των δυναμικών καθίσταται εφικτή καθώς ο εγκεφαλικός ιστός, οι μήνιγγες και το κρανίο άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

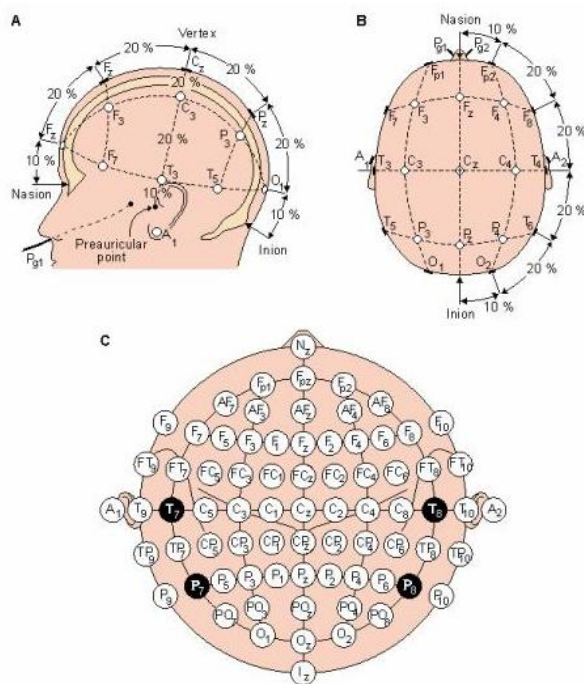
1.2.1.1 Τα ηλεκτρόδια στο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Τα ηλεκτρόδια καταγραφής του ΗΕΓ αποτελούν τους αισθητήρες του συστήματος και μετατρέπουν το ρεύμα ιόντων μέσα στο ανθρώπινο σώμα σε ρεύμα ηλεκτρονίων μέσα στα καλώδια. Τοποθετούνται είτε πάνω στην επιφάνεια του δέρματος του κεφαλιού (μη επεμβατικό ΗΕΓ), είτε κάτω από το κρανίο σε διάφορα σημεία του εγκεφάλου (επεμβατικό ΗΕΓ). Στο μη επεμβατικό ΗΕΓ, είναι συνήθως μικροί δίσκοι χλωριούχου αργύρου και τοποθετούνται σε συγκεκριμένες περιοχές

στις οποίες έχει προηγηθεί εφαρμογή ηλεκτρολυτικού διαλύματος σε μορφή gel [24]. Οι θέσεις αυτές εξαρτώνται από το εξεταζόμενο τμήμα του εγκεφάλου και ακολουθούν κάποια πρότυπα εκ των οποίων το πλέον δημοφιλές είναι το Διεθνές Πρότυπο Σύστημα 10-20 [25]. Η ονομασία αυτή οφείλεται στην επιλογή του 20% της απόστασης μεταξύ των δύο αυτιών ως προς την απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε ηλεκτρόδια και επιπλέον στην επιλογή του 10% της απόστασης μεταξύ των δύο αυτιών ως προς την απόσταση από το αυτί στο κοντινότερο προς αυτό ηλεκτρόδιό του. Το σύστημα αυτό εξασφαλίζει ότι τα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα συμμετρικά, η διάταξή τους είναι λειτουργική και επιτρέπει την σύγκριση μετρήσεων του ίδιου ατόμου.



Εικόνα 1. 12: Ενσωματωμένα ηλεκτρόδια σε ειδικό σκούφο για την εύκολη τοποθέτησή τους.



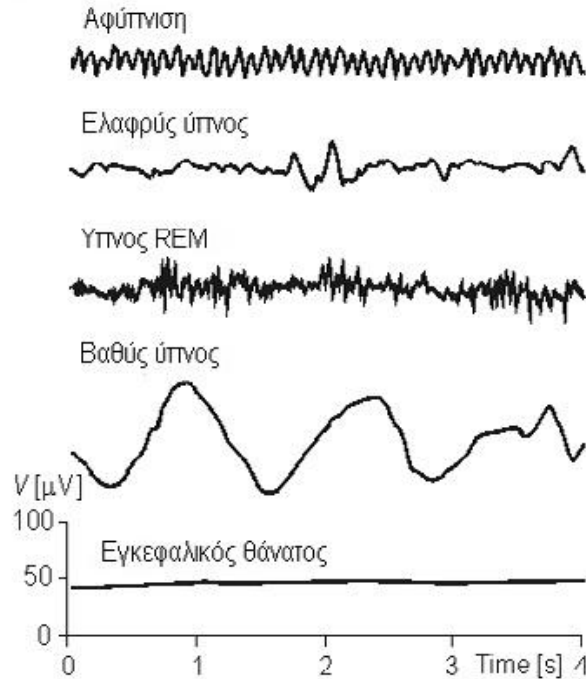
Εικόνα 1. 13: Τοποποιημένες απαγωγές με το σύστημα 10-20.

1.2.1.2 Χαρακτηριστικά Ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος

Η μελέτη του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος αφορά την καταγραφή και μελέτη ορισμένων κυματομορφών, των λεγόμενων **ρυθμών**. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών αποτελούν οι συχνότητες των αρμονικών τους, δηλαδή το φασματικό τους περιεχόμενο. Με βάση αυτό, κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Οι κυριότεροι ρυθμοί είναι οι **άλφα**, **αργός βήτα**, **ταχύς βήτα**, **γάμμα**, **δέλτα**, **θήτα** και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Ρυθμός	Περιοχή Συχνοτήτων (Hz)	Πλάτος (μV)
Δέλτα	0,5 - 3,5	Έως 100 - 200
Θήτα	4 - 7,5	<30
Άλφα	8 - 12	30-50
Αργός Βήτα	13 - 19	<20
Ταχύς Βήτα	20 - 30	<20
Γάμμα	30 - 70	<20

Πίνακας 1. 1: Οι κυριότεροι ρυθμοί του ΗΕΓ.

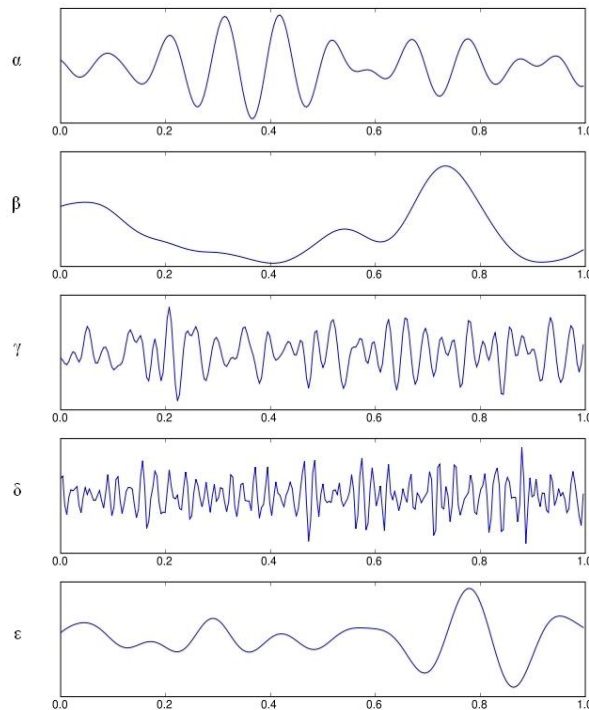


Εικόνα 1. 14: Η εμφάνιση των ρυθμών σχετίζεται με τα διάφορα επίπεδα εγρήγορσης, χαλάρωσης, ύπνου κ.α.

Τα χαρακτηριστικά των κυριότερων Εγκεφαλικών Ρυθμών:

- **Άλφα ρυθμός:** Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις στην συχνοτική περιοχή 8–12 Hz. Αναφέρονται και ως κύματα Berger προς τιμήν του θεμελιωτή του ΗΕΓ. Ο ρυθμός αυτός εντοπίζεται σε κατάσταση χαλάρωσης αλλά όχι ύπνου και με μάτια κλειστά καθώς αντιπροσωπεύει την δραστηριότητα του οπτικού φλοιού απουσία ερεθισμάτων. Το κλείσιμο ή το άνοιγμα των ματιών προκαλεί αύξηση ή μείωση αντίστοιχα του α-ρυθμού.
- **Βήτα ρυθμός:** Καταλαμβάνει μεγάλη περιοχή συχνοτήτων για αυτό και τον διακρίνουμε σε αργό και ταχύ. Αφορά κατάσταση πλήρους αφύπνισης και αντίδρασης σε ερεθίσματα καθώς και έντονης συγκέντρωσης και άγχους.
- **Γάμμα ρυθμός:** Φαίνεται να συνδέεται με καταστάσεις ανώτερης πνευματικής δραστηριότητας όπως επίλυση προβλημάτων, φόβο, συνείδηση και την εστιασμένη εγρήγορση. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί εμφάνιση ταλαντώσεων τύπου-γ κατά τον βαθύ ύπνο (REM, Rapid Eye Movement) όταν η εγκεφαλική συνειδητότητα είναι αμφίβολη ή σε αναστολή.
- **Δέλτα ρυθμός:** Παρατηρήθηκε από τον W.Grey Walter το 1936. Πρόκειται για κυματομορφές εξαιρετικά υψηλού πλάτους και χαμηλής συχνότητας. Ο ρυθμός αυτός σχετίζεται με την κατάσταση ύπνου σε φυσιολογικά άτομα και αποτελεί τον κύριο ρυθμό στα νεογέννητα και τα μικρά παιδιά. Αν παρατηρηθεί σε ευρισκόμενο σε εγρήγορση ενήλικα, υποδηλώνει βαριά εγκεφαλική βλάβη.

- **Θήτα ρυθμός:** Περιλαμβάνει ταλαντώσεις συχνοτήτων 4–7,5 Hz. Θεωρείται φυσιολογικός στα μικρά παιδιά και στους ενήλικες σε κάποια στάδια ύπνου και είναι δυνατόν να εμφανίζεται μαζί με την βασική α -δραστηριότητα. Η παρατήρησή του είναι ωστόσο πιθανή σε περιπτώσεις εγκεφαλικής ή παθολογικής βλάβης.



Εικόνα 1. 15: Κύριοι ρυθμοί ΗΕΓ

1.2.2 ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ (ΠΔ)

Όπως έχει γίνει ήδη σαφές, το ΗΕΓ αναφέρεται στην αυθόρμητη ηλεκτρική ταλάντωση του εγκεφάλου όταν βρίσκεται σε καταστάσεις κατά τις οποίες ο εξεταζόμενος δεν δέχεται κάποιο ερέθισμα. Αντίθετα, τα **Βιοματικά Δυναμικά** (ERP-Event Related Potential), είναι οι διαφορές δυναμικού που εντοπίζονται στην δερματική κρανιακή επιφάνεια, όταν ο εγκέφαλος αντιδρά στην παρουσία κάποιου ερεθίσματος [27]. Τα Βιοματικά Δυναμικά περιγράφουν την εγκεφαλική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα όταν γίνεται προετοιμασία για ένα γεγονός που θα συμβεί ή ως αντίδραση σε ένα γεγονός που συνέβη. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό δίνει την δυνατότητα να εντοπίζεται ποια περιοχή του εγκεφάλου ενεργοποιείται, δηλαδή εμφανίζει ηλεκτρική δραστηριότητα, ανάλογα με την φύση του ερεθίσματος και άρα της εγκεφαλικής διαδικασίας που επιτελείται. Ανάλογα με το εάν το ερέθισμα προέρχεται από τον εξωτερικό κόσμο ή αφορά κάποια

ψυχολογική διαδικασία, διακρίνουμε τα Βιωματικά Δυναμικά σε **Προκλητά** (Evoked Potentials) ή **Εκπεμπόμενα** (Emitted Potentials) δυναμικά αντιστοίχως. Συνεπώς, μέσω των προκλητών δυναμικών (ΠΔ) είναι εφικτή η μελέτη της δραστηριότητας του εγκεφάλου ως αντίδραση σε κάποιο εξωτερικό ερέθισμα ή γεγονός.

1.2.2.1 Τα ηλεκτρόδια στα Προκλητά Δυναμικά

Όπως στην περίπτωση του ΗΕΓ, έτσι και για την καταγραφή των προκλητών δυναμικών τοποθετούνται ηλεκτρόδια κατά μη επεμβατικό τρόπο στην επιφάνεια του κρανίου ή κατά επεμβατικό τρόπο μέσα στον εγκέφαλο υπό μορφή πολύ λεπτών βελόνων.

1.2.2.2 Χαρακτηριστικά Προκλητών Δυναμικών

1.2.2.2.1 Είδη Προκλητών Δυναμικών

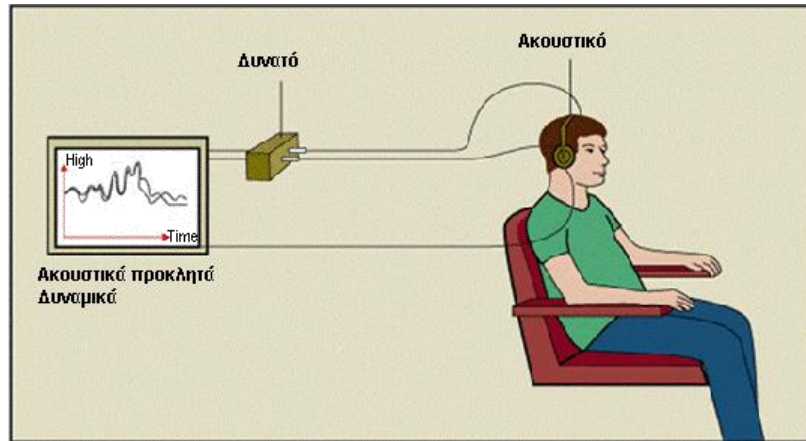
Με βάση την φύση του ερεθίσματος, τα ΠΔ κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες :

- **Οπτικά Προκλητά Δυναμικά (Visual Evoked Potentials–VEP):** Στην περίπτωση αυτή τα ηλεκτρόδια μεταφέρουν κάθε εγκεφαλική απόκριση σε κάποιο οπτικό ερέθισμα όπως εικόνες, χρώματα, φως κ.α.
- **Ακουστικά Προκλητά Δυναμικά (Auditory Evoked Potentials–AEP):** Τα δυναμικά αυτά αποτελούν την απόκριση του εγκεφάλου σε ακουστικά ερεθίσματα όπως διαφορετικοί τόνοι, ήχοι λόγου κ.α.
- **Σωματοαισθητικά Προκλητά Δυναμικά (Somatosensory Evoked Potentials–SEP):** Προκαλούνται από μικρής έντασης και διάρκειας ρεύματα που ερεθίζουν κάποια συγκεκριμένα νεύρα.

Χαρακτηριστικό των προκλητών δυναμικών αποτελούν οι πολύ μικρές τιμές πλάτους (1μV έως λίγα μV) οι οποίες καταγράφονται για εύρος χρόνου από μερικά msec έως λίγα δευτερόλεπτα. Το συγκεκριμένο αυτό εύρος παρέχει μία πλήρη αξιολόγηση του πραγματικού χρόνου για τις αλλαγές στη νευρική δραστηριότητα.

Ένα επιπλέον κριτήριο διαχωρισμού των ΠΔ αποτελεί ο χρόνος που έχει μεσολαβήσει μέχρι την εμφάνισή τους από την στιγμή που δόθηκε το ερέθισμα. Αυτό το χρονικό διάστημα ονομάζεται **λανθάνων χρόνος**. Στην περίπτωση των ακουστικών ΠΔ, η διάκριση έχει ως εξής:

- Πρώιμα (2–12 msec)
- Μέσα (12–50 msec)
- Ύστερα (50–800 msec)



Εικόνα 1. 16: Ακουστικά προκλητά δυναμικά (ΑΕΡ)

1.2.2.2.2 Συστατικά Προκλητών Δυναμικών

Η μελέτη των ΠΔ έγκειται στην εξέταση κάποιων βασικών συστατικών τους. Τα συστατικά αυτά είναι μερικές κυματομορφές του συνολικού σήματος, τμήματά του, τα οποία καθορίζονται βάση:

- των κορυφώσεων (αρνητικών ή θετικών) του πλάτους του δυναμικού,
- της χρονικής στιγμής κατά την οποία κατά προσέγγιση λαμβάνει χώρα η κορύφωση,
- του χρονικού εύρους το οποίο καταλαμβάνει η μερική κορύφωση που περιέχει τη συγκεκριμένη κορύφωση.

Η αρνητική κορύφωση συμβολίζεται με το γράμμα N ενώ η θετική με το P. Ο δείκτης δίπλα στο αντίστοιχο γράμμα αναφέρεται στον λανθάνοντα χρόνο εμφάνισης κατά προσέγγιση του μεγίστου, σε msec. Τα συστατικά που εμφανίζονται πριν από τα 100 msec συνήθως ανήκουν στα εξωγενή δυναμικά, ενώ τα ενδογενή συμπίπτουν εν πολλοίς με τα πέραν των 70 msec μετρούμενα δυναμικά.

Τα πιο σημαντικά συστατικά των ΠΔ είναι συνοπτικά τα εξής:

- **P50:** Αποτελεί τον δείκτη των προσυνειδητών πτυχών προσοχής. Εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο από 20 έως 80 msec μετά την εμφάνιση του ερεθίσματος.
- **N100:** Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού 70 ως 140 msec μετά την παροχή του εκλυτικού ερεθίσματος. Αντικατοπτρίζει την άμεση εγρήγορση του ειδικού αισθητικού συστήματος. Επηρεάζεται και από εξωγενείς παράγοντες του ερεθίσματος όπως ένταση, διάρκεια, συχνότητα.

- **P200:** Αφορά την επικέντρωση της προσοχής του ατόμου και εμφανίζεται 140–250 msec μετά το ερέθισμα.
- **N200:** Εντοπίζεται στο διάστημα 150–350 msec. Καταγράφεται σε πειραματικούς σχεδιασμούς όπου ως στόχος θεωρείται η απουσία ενός ήχου μέσα σε μία διαταραχή ήχων. Περιγράφει τις επιδόσεις των νευρωνικών κυκλωμάτων που υπόκεινται στο φαινόμενο της αντίδρασης του προσανατολισμού σε επίπεδο Κεντρικού Νευρικού Συστήματος.
- **P300:** Παράγεται όταν ένα γεγονός υποβάλλεται σε συνειδητό έλεγχο, και θεωρείται ότι υπάρχει συσχετισμός με την επεξεργασία πληροφοριών όταν πρόκειται να ληφθεί μία απόφαση. Ενδεχομένως σχετίζεται με την άμεση μνήμη η οποία υπεισέρχεται στις διαδικασίες αυτές και ο λανθάνων χρόνος (240–500 msec) είναι άμεση συνάρτηση του χρόνου που χρειάζεται για την κατηγοριοποίηση του λαμβανόμενου ερεθίσματος.
- **N400:** Η αρνητική αυτή κορύφωση εμφανίζεται στο διάγραμμα των ΠΔ περί τα 400 msec μετά το ερέθισμα. Προκύπτει όταν υπάρχει σημασιολογική απόκλιση μεταξύ των προσλαμβανόμενων ερεθισμάτων. Προσφέρεται στην εξέταση μηχανισμών που σχετίζονται με τη γλώσσα και το εννοιολογικό-συντακτικό της περιεχόμενο.
- **P600:** Δεν εμφανίζεται λόγω σημασιολογικής σύγχυσης, ούτε λόγω απόδοσης, παρά μόνο με τον κατάλληλο συνδυασμό και των δύο. Εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο 500–800 msec.

1.2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΥΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΗΜΓ)

Η ηλεκτρομυογραφία είναι μία τεχνική καταγραφής του ηλεκτρικού δυναμικού του μυός, όταν διεγείρεται για συστολή. Το αποτέλεσμα της καταγραφής αυτής ονομάζεται ηλεκτρομυογράφημα [22].

Το **ηλεκτρομυογράφημα** (ΗΜΓ) χρησιμοποιείται για την μελέτη της μυϊκής λειτουργίας και συναρμογής. Η περιοχή ερευνών αφορά κυρίως την κινησιολογική ηλεκτρομυογραφία και εστιάζει στον τρόπο εκτέλεσης των κινήσεων διαφόρων μελών του σώματος ή του μεγέθους των εξωτερικών ή εσωτερικών ροπών ή δυνάμεων που δρουν σε ένα μέλος του σώματος. Επιπλέον το ΗΜΓ χρησιμοποιείται για την καταγραφή του δυναμικού μυών για την μελέτη προκλητών παραμορφώσεων ή τη μεταβολή του όγκου τους.

Κάθε φορά που ένα δυναμικό δράσης διατρέχει μία μυϊκή ίνα, ένα μικρό μέρος του ηλεκτρικού ρεύματος μεταδίδεται από το μυ μέχρι το δέρμα. Αν συστέλλονται ταυτόχρονα πολλές μυϊκές ίνες, τα ηλεκτρικά δυναμικά αθροίζονται στο δέρμα δίνοντας υψηλές τιμές.

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του δέρματος, πάνω από τον αντίστοιχο μυ ή εισάγοντας βελονοειδή ηλεκτρόδια μέσα στο μυ, είναι δυνατή η

ηλεκτρική καταγραφή της διέγερσής του, που καλείται ηλεκτρομυογράφημα (EMG–ΗΜΓ). Αποτελεί μία τεχνική καταγραφής των αλλαγών του ηλεκτρικού δυναμικού του μυός, όταν διεγείρεται για συστολή. Είναι δηλαδή, το αλγεβρικό άθροισμα όλων των συμπεριλαμβανομένων δυναμικών δράσης των κινητικών μονάδων ενός μυ, τα οποία μεταδίδονται κατά μήκος των μυϊκών ινών που βρίσκονται μεταξύ των ηλεκτροδίων καταγραφής.

1.2.3.1 Τα ηλεκτρόδια στο Ηλεκτρομυογράφημα

Η λήψη του μυοηλεκτρικού σήματος πραγματοποιείται μέσω των ηλεκτροδίων. Οι δύο τύποι ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται είναι [3]:

- Επιφανειακά ηλεκτρόδια (surface electrodes)
- Ηλεκτρόδια βάθους (indwelling intramuscular electrodes)

Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Παθητικά επιφανειακά ηλεκτρόδια (passive surface electrodes)
- Ενεργητικά επιφανειακά ηλεκτρόδια (active surface electrodes)

Τα παθητικά ηλεκτρόδια αποτελούνται από ένα μεταλλικό δίσκο συνήθως αργύρου ή χλωριούχου αργύρου, έναν αυτοκόλλητο δίσκο και είναι μονωμένα σε όλη την έκτασή τους εκτός από το σημείο επαφής. Τοποθετούνται πάνω στο δέρμα στην περιοχή του αντίστοιχου μυός μετά την εφαρμογή ηλεκτρολυτικής κρέμας. Για την μείωση της αντίστασης του δέρματος πραγματοποιείται απομάκρυνση των νεκρών κυττάρων με ελαφρό τρίψιμο του δέρματος με τραχύ υλικό και καθαρισμό με αλκοολούχο διάλυμα. Για να καταγραφεί το επιθυμητό σήμα χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στον επιμήκη άξονα του μυός, παράλληλα με την διεύθυνση τους, ώστε η τάση που καταγράφεται να αποτελεί την διαφορά δυναμικού μεταξύ αυτών. Παράλληλα χρησιμοποιείται και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς.

Τα ηλεκτρόδια πρέπει να τοποθετούνται πάνω στο κέντρο του υπό εξέταση μυός. Όσο πιο κοντά στο παχύ μέρος του μυός τοποθετούνται και όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια που καλύπτει το κάθε ηλεκτρόδιο, τόσο πιο ισχυρό είναι το σήμα που λαμβάνεται. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων αφορά το μυϊκό όγκο που εξετάζεται. Μεγάλη απόσταση σημαίνει αύξηση του μυϊκού όγκου. Για τα επιφανειακά ηλεκτρόδια θα πρέπει να είναι 1cm και πραγματοποιείται μέσω της επικάλυψης των αυτοκόλλητων δίσκων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση των παρεμβολών από γειτονικούς μύες. Τάσεις παρεμβολής προέρχονται επίσης και από την εφαρμογή πίεσης στα επιφανειακά ηλεκτρόδια κατά την επαφή τους με το δέρμα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κατάλληλα φίλτρα.

Στα ενεργητικά επιφανειακά ηλεκτρόδια, η υψηλή αντίσταση εισόδου του ενισχυτή τοποθετείται πολύ κοντά στην εξεταζόμενη επιφάνεια και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην απαιτείται σχολαστική προετοιμασία του δέρματος ή ηλεκτρολυτική κρέμα. Για τον λόγο αυτό αναφέρονται και ως ξηρά ηλεκτρόδια.

1.2.4 ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΙΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Για την εξαγωγή των βιοηλεκτρικών σημάτων απαιτείται ειδικός εξοπλισμός που αφορά την λήψη, την αποθρομβοποίηση, την ενίσχυση, και τέλος την καταγραφή των δυναμικών. Ο βασικός εξοπλισμός περιλαμβάνει τα ηλεκτρόδια μέσω των οποίων γίνεται η λήψη των ηλεκτρικών σημάτων, τα φίλτρα, για την απομάκρυνση πιθανών παρεμβολών, ενώ για την ενίσχυση των ασθενών σημάτων που προκύπτουν (από 1μV έως 100μV περίπου) είναι απαραίτητη η χρήση ενισχυτών και η όσο το δυνατό πυκνότερη κάλυψη της επιφάνειας του κεφαλιού με ηλεκτρόδια ώστε να επιτύχουμε μία ουσιαστική απεικόνιση της εγκεφαλικής δραστηριότητας.

Κατόπιν, τα αναλογικά σήματα μετατρέπονται σε ψηφιακά μέσω συσκευών πολυπλεξίας και από εκεί οδηγούνται για την καταγραφή και την επιπλέον επεξεργασία τους σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Επειδή το σήμα που καταγράφεται είναι συνήθως μικρής έντασης, θεωρείται απαραίτητη η ενίσχυσή του χωρίς όμως να παραμορφωθεί η πληροφορία του, αλλά παράλληλα να απομακρυνθεί οποιαδήποτε μορφή θορύβου εμπεριέχεται. Για την αποφυγή παραμόρφωσης εφαρμόζεται γραμμική ενίσχυση. Από την άλλη μεριά, πηγή θορύβου αποτελεί ο ίδιος ο εξοπλισμός όπως για παράδειγμα οι γραμμές μεταφοράς και τα μηχανήματα.

Οι παρεμβολές αναφέρονται σε μη επιθυμητά σήματα που λαμβάνονται από τα ίδια τα μέσα που χρησιμοποιούνται. Τέτοια περίπτωση αποτελούν και οι παρεμβολές κίνησης που μπορεί να προκαλέσει το άγγιγμα κάποιων καλωδίων ή ηλεκτροδίων. Για την εξάλειψη του θορύβου αυτού γίνεται χρήση ειδικών φίλτρων και όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σταθεροποίηση όλων των διατάξεων.

Είναι όμως πιθανό τα φίλτρα να μην αρκούν για την απομόνωση της επιθυμητής πληροφορίας. Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση μέτρησης των **προκλητών δυναμικών**, το τελικό σήμα δεν περιέχει μόνο τις επιθυμητές πληροφορίες αλλά και άλλες που αφορούν δραστηριότητες εγκεφαλικών περιοχών που σχετίζονται με την γενική λειτουργία του οργανισμού και αναφέρονται στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα [3]. Η απομόνωση του σήματος που αφορά τα ΠΔ, καθίσταται ακόμα πιο δύσκολη αν συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι το πλάτος του ΗΕΓ είναι μέχρι και 100 φορές μεγαλύτερο από αυτό των ΠΔ με αποτέλεσμα να είναι πιθανή ακόμα και η επικάλυψη της χρήσιμης πληροφορίας. Το κομμάτι του σήματος που δεν αφορά την μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας ως απόκριση

σε κάποιο εξωτερικό ερέθισμα χαρακτηρίζεται ως θόρυβος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού εφαρμόζονται τα εξής:

α) Η μέτρηση των σημάτων γίνεται σε χώρο κατά το δυνατόν προστατευμένο από εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία. Τέτοια πεδία είναι αυτά που δημιουργούν διάφοροι κινητήρες, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.α. Στην καλύτερη περίπτωση η μέτρηση γίνεται σε ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένο δωμάτιο (κλωβός Faraday).

β) Εξαγωγή του μέσου όρου: Το προτυποποιημένο πείραμα, κατά τη διάρκεια του οποίου χορηγείται το εκλυτικό ερέθισμα, επαναλαμβάνεται αρκετές φορές. Έστω η συνολική μετρηθείσα κυματομορφή δυναμικού $r_i(t)$ κατά την διάρκεια της i επανάληψης του πειράματος. Το συνολικό αυτό σήμα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο τμήματα, το επιθυμητό σήμα $s_i(t)$ και τον θόρυβο $n_i(t)$ που αντιπροσωπεύει το εξελισσόμενο «συμβατικό» ΗΕΓ και όλες τις υπόλοιπες πηγές εξωεγκεφαλικού θορύβου. Είναι λοιπόν :

$$r_i(t) = s_i(t) + n_i(t) \quad i = 1, \dots, N \quad (1.1)$$

όπου N ο αριθμός των επαναλήψεων. Υπερθέτοντας τις διάφορες καταγραφές, ο μέσος όρος τους θα είναι:

$$E(r_i(t)) = \frac{\sum_{i=1}^N r_i(t)}{N} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N s_i(t) + \sum_{i=1}^N n_i(t) \right) \quad (1.2)$$

Αν υποθεθεί ότι κάθε φορά το προκλητό δυναμικό, το σχετιζόμενο με το εκλυτικό γεγονός αναπαράγεται πανομοιότυπα θα είναι :

$$s_i(t) = s_j(t) = s(t) \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}$$

Αντιθέτως, ο θόρυβος εφόσον δεν σχετίζεται με το εκλυτικό γεγονός, μπορεί να θεωρηθεί ασυσχέτιστη τυχαία διαδικασία από πείραμα σε πείραμα, με αποτέλεσμα το άθροισμα των $n_i(t)$ να είναι μηδενικό. Συνεπώς είναι:

$$E(r_i(t)) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i(t) + \frac{1}{N} \cdot 0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i(t) = \frac{1}{N} \cdot Ns(t) \Rightarrow E(r_i(t)) = s(t) \quad (1.3)$$

Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί το επιθυμητό σήμα των ΠΔ να «αναδυθεί» από τον θόρυβο.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ευρύτατα αλλά παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς. Για παράδειγμα, μεταβολές στο επίπεδο της κόπωσης, της προσαρμογής, της εξοικείωσης, του βαθμού ή της κατεύθυνσης της προσοχής του εξεταζόμενου επηρεάζουν τα ΠΔ τόσο στην ένταση όσο και στον χρόνο. Το

φαινόμενο μάλιστα αυτό είναι εντονότερο για τα ενδογενή δυναμικά. Υπάρχει λοιπόν περιορισμός στον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων του πειράματος ($20 < N < 50$) και επιβάλλεται ο έλεγχος της κατάστασης του εξεταζόμενου. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν ο χρόνος μεταξύ των πειραμάτων είναι μικρός και ο θόρυβος από πείραμα σε πείραμα εμφανίζει υψηλή συσχέτιση. Αυτό συμβαίνει σε περίπτωση ύπαρξης ρυθμικού θορύβου, π.χ. σήμα α-ρυθμού του συμβατικού ΗΕΓ. Τότε το ανεπιθύμητο σήμα έχει φασματική κατανομή ισχύος γύρω από κάποιο περιορισμένο εύρος συχνοτήτων, κοντά στις συχνότητες των ΠΔ. Λόγω δε της υψηλής συσχέτισης του θορύβου μεταξύ πειραμάτων, με τη διαδικασία εξαγωγής του μέσου όρου, αυτός ενισχύεται αντί να μειωθεί. Για την αποφυγή του ανεπιθύμητου αυτού φαινομένου χρησιμοποιείται απεριοδικός χρονισμός των αλληπάληλων πειραμάτων.

Ακόμα και όταν το πρότυπο του σταθερού σήματος και του ασυσχέτιστου θορύβου ισχύει, προβλήματα μπορεί να προκύψουν όταν το επιθυμητό σήμα διαφέρει ως προς τη χρονική του εξέλιξη από πείραμα σε πείραμα. Τότε ο μέσος όρος έχει απωλέσει μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας σχετικά με τα ΠΔ, κυρίως ως προς τις κορυφώσεις. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται τεχνικές οι οποίες προσεγγίζουν σε κάθε καμπύλη δυναμικού το χρονικό διάστημα το οποίο καταλαμβάνει το επιθυμητό σήμα. Κατόπιν οι καμπύλες μετατοπίζονται χρονικά ώστε το σήμα των ΠΔ το οποίο μας ενδιαφέρει να συμπίπτει κατά το δυνατόν σε όλες, οπότε ο μέσος όρος θα περιέχει τη μέγιστη πληροφορία.

Όσον αφορά την ενίσχυση του σήματος, τα χαρακτηριστικά των βιοενισχυτών (εναλλασσόμενου ρεύματος) που χρησιμοποιούνται είναι το κέρδος του ενισχυτή, η αντίσταση εισόδου, η απόκριση-εύρος συχνοτήτων και τέλος η απόρριψη κοινού σήματος.

Μετά την απαραίτητη ενίσχυση ακολουθεί η καταγραφή του σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το επόμενο βήμα αποτελεί η επεξεργασία του σήματος που είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί στο πεδίο του χρόνου (Time Domain Analysis) ή της συχνότητας (Frequency Domain Analysis).

1.3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.3.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ

Σήμα γενικά είναι ένα σύνολο τιμών το οποίο λαμβάνει ένα φυσικό μέγεθος όταν μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο ή το χώρο ή οποιαδήποτε άλλη ανεξάρτητη μεταβλητή ή μεταβλητές. Το σήμα μεταφέρει πληροφορία για την κατάσταση ή συμπεριφορά ενός συστήματος [3,28].

Βιοϊατρικό σήμα είναι το σήμα το οποίο χρησιμοποιείται στο πεδίο της βιοϊατρικής, κυρίως για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών για το υπό εξέταση βιοϊατρικό σύστημα. Οι πληροφορίες αυτές συμβάλλουν στην κατανόηση σύνθετων παθοφυσιολογικών μηχανισμών ενός ζωντανού οργανισμού, όπως για παράδειγμα το ηλεκτροκαρδιογράφημα που μας δείχνει τη λειτουργία της καρδιάς ή η εικόνα από μια αξονική τομογραφία του εγκεφάλου που είναι ένα σήμα δύο διαστάσεων το οποίο παρουσιάζει στοιχεία για τη λειτουργία του εγκεφάλου.

Πολλές φορές η λήψη βιολογικών σημάτων δεν είναι αρκετή για την εξαγωγή πληροφοριών αλλά απαιτείται και κατάλληλη επεξεργασία του σήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επιθυμητή πληροφορία μπορεί να είναι «θαμμένη», λόγω παρουσίας θορύβου στο σήμα, ή μπορεί η πληροφορία αυτή να μην είναι άμεσα ορατή. **Θόρυβος** καλείται οποιαδήποτε παρεμβολή στο σήμα η οποία δεν έχει κάποια διαγνωστική αξία. Ανάλογα με τους διαγνωστικούς σκοπούς, μια ορισμένη πληροφορία μπορεί άλλοτε να θεωρηθεί ως θόρυβος και άλλοτε ως σήμα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με κατάλληλους μετασχηματισμούς του σήματος, είτε στο πεδίο του χρόνου είτε στο πεδίο της συχνότητας. Τέτοιοι μετασχηματισμοί περιλαμβάνουν τη χρήση φίλτρων, την εκτίμηση της μέσης τιμής, τον υπολογισμό φάσματος, ακόμα και την μετατροπή από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό.

Τα βιολογικά σήματα ποικίλουν ανάλογα με τη μορφή τους:

- Τα **ηλεκτρικά σήματα**, όπως αυτά που προέρχονται από ηλεκτροκαρδιογράφημα, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, ηλεκτρομυογράφημα κ.ά.
- Τα **σήματα πίεσεως και ροής** του αίματος από διάφορα αγγεία.
- Τα **σήματα από διάφορα βιοχημικά test** στο αίμα ή σε άλλα υγρά.

Τα βιολογικά σήματα που προέρχονται από τη δραστηριότητα των νευρικών ή των μυϊκών κυττάρων είναι μοναδικά στα βιολογικά συστήματα. Τα κύτταρα αυτά έχουν ως πηγή το δυναμικό μεμβράνης το οποίο κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορεί να διεγερθεί και να παράγει δυναμικό δράσης, όπως έχει ήδη περιγραφεί αναλυτικά. Σε κυτταρικό επίπεδο, όταν η μέτρηση του δυναμικού πραγματοποιείται με μικροηλεκτρόδια ως αισθητήρες, το δυναμικό δράσης αποτελεί και το βιολογικό σήμα. Σε μεγαλύτερες μετρήσεις, όταν η μέτρηση πραγματοποιείται με ηλεκτρόδια

επιφανείας, το βιολογικό σήμα προκύπτει από το ηλεκτρικό πεδίο που παράγεται από τη δράση των κυττάρων που γειτνιάζουν με τη θέση του ηλεκτροδίου.

Τα σήματα τα οποία προέρχονται από κάποια μηχανική λειτουργία του βιολογικού συστήματος περιλαμβάνουν σήματα κίνησης, μετατόπισης, πίεσης, ροής και άλλα. Στον Πίνακα 1.2 απεικονίζονται μερικά από τα πιο κοινά βιολογικά σήματα με ορισμένα από τα χαρακτηριστικά τους.

Ταξινόμηση	Τρόπος Λήψης	Εύρος Συχνοτήτων	Δυναμικό Εύρος	Σχόλια
Δυναμικό Δράσης	Μικροηλεκτρόδια	100 Hz-2kHz	10μV-100mV5	Επεμβατική μέτρηση δυναμικού κυτταρικής μεμβράνης
Ηλεκτροεγκεφαλο-Γράφημα (ΗΕΓ)	Ηλεκτρόδια Επιφανείας	0,5-100Hz	2-100μV	
Ρυθμός Δέλτα	«	0,5-4Hz	«	Παιδιά, βαθύς ύπνος και παθολογίες
Ρυθμός Θήτα	«	4-8Hz	«	Κροταφικές και κεντρικές περιοχές σε κατάσταση ετοιμότητας
Ρυθμός Αλφα	«	8-13 Hz	«	Ξυπνητός, χαλαρός, κλειστά μάτια
Ρυθμός Βήτα	«	13-22 Hz		
Προκλητά Δυναμικά (EP)	Ηλεκτρόδια Επιφάνειας		0,1-20 μV	Απόκριση δυναμικού εγκεφάλου σε ερέθισμα
Οπτικά (VEP)	«	1-300 Hz	1-20 μV	Καταγραφές ινιακού λοβού
Ακουστικά (AEP)	«	100 Hz-3 kHz	0,5-10 μV	
Σωματοαισθητικά (SEP)	«	2 Hz-3k Hz		
Ηλεκτρομιογράφημα (ΗΜΓ) μίας ίνας	Βελονοειδή Ηλεκτρόδια	500 Hz-10 kHz	1-10mV	
ΗΜΓ μίας κινητικής μονάδας	«	5 Hz-10 kHz	100 μV-2 mV	Δυναμικά δράσης από μια μυϊκή ίνα
ΗΜΓ επιφανειακό	Ηλεκτρόδια Επιφανείας	2-500 Hz	50μV-5 mV	
Ηλεκτροκαρδιογράφημα	«	0,05-100 Hz	1-10 mV	

Πίνακας 1. 2: Βιολογικά σήματα

Τα σήματα γενικά μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα **συνεχή** σήματα και τα **διακριτά** σήματα. Τα συνεχή σήματα μπορούν να περιγραφούν από μια συνεχή συνάρτηση η οποία παρέχει πληροφορία για το σήμα σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ενώ τα διακριτά σήματα περιγράφονται από μια ακολουθία η οποία μας παρέχει πληροφορίες σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Τα περισσότερα βιολογικά σήματα είναι συνεχή, είναι όμως δυνατό με τη μέθοδο της δειγματοληψίας να μετατραπούν σε διακριτά. Επίσης, είναι δυνατή η κατάταξη των σημάτων σε δύο άλλες μεγάλες κατηγορίες: σε **ντετερμινιστικά** σήματα και σε **στοχαστικά** σήματα. Ντετερμινιστικά είναι τα σήματα τα οποία μπορούν να

περιγραφούν ακριβώς με μαθηματικό ή γραφικό τρόπο καθώς δεν υπάρχει καμία αβεβαιότητα όσον αφορά την τιμή τους σε κάθε χρονική στιγμή. Από την άλλη μεριά, στοχαστικά σήματα είναι εκείνα για τα οποία υπάρχει κάποιος βαθμός αβεβαιότητας και οι τιμές τους δεν μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια αλλά περιγράφονται μέσω συναρτήσεων πιθανοτήτων. Ένα τέτοιο σήμα μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει σε μία συλλογή σημάτων, όπου κάθε σήμα του συνόλου διαφέρει από τα υπόλοιπα.

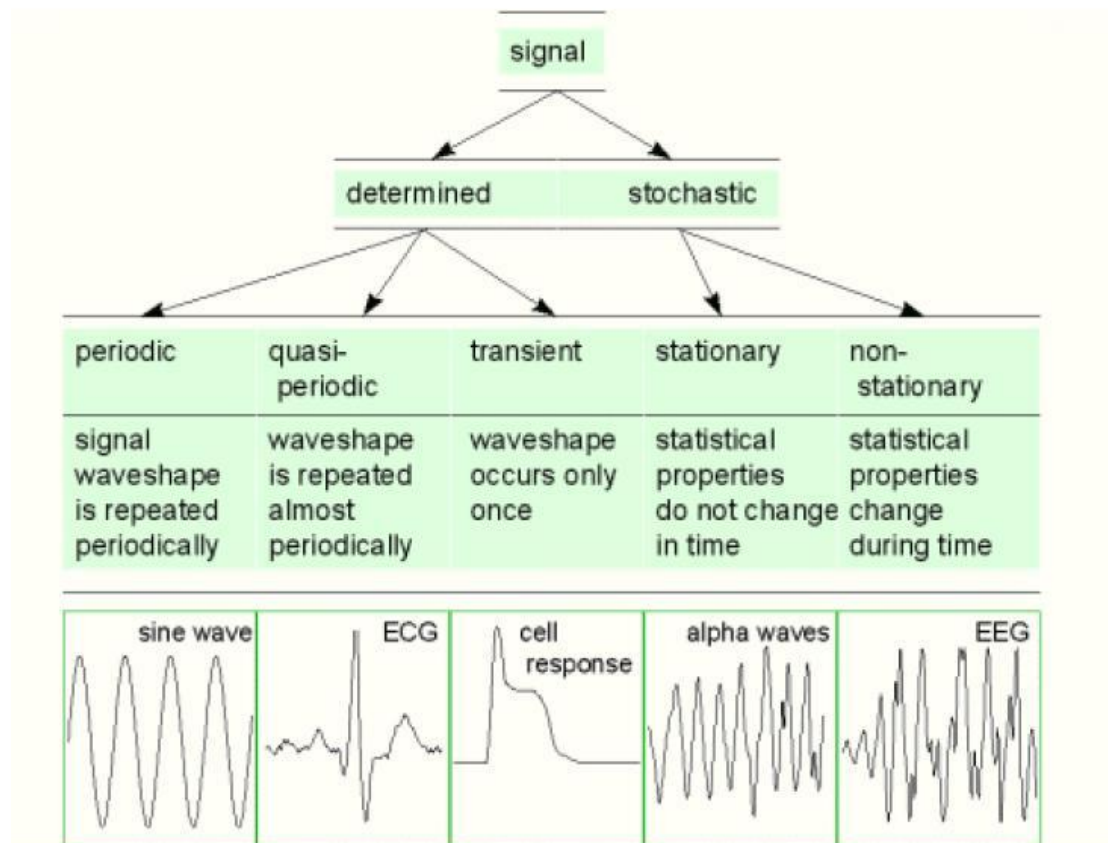
Μια βασική οικογένεια ντετερμινιστικών σημάτων είναι τα περιοδικά σήματα.

Περιοδικό σήμα είναι ένα ντετερμινιστικό σήμα το οποίο περιγράφεται από τη σχέση:

$$s(t)=s(t+nT) \quad (1.4)$$

όπου n είναι ένας ακέραιος και T είναι η περίοδος. Το περιοδικό σήμα αποτελείται από μια βασική κυματομορφή με διάρκεια T δευτερόλεπτα, η οποία επαναλαμβάνεται άπειρες φορές στη διάρκεια του χρόνου.

Κατηγορίες σημάτων



Εικόνα 1. 17: Κατηγορίες σημάτων

Στην Εικόνα 1.17 απεικονίζονται οι κατηγορίες των σημάτων μαζί με κάποια παραδείγματα βιολογικών σημάτων που τις αντιπροσωπεύουν.

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής αποτελούν μόνο τα σήματα που προέρχονται από ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και ηλεκτρομυογράφημα. Τα σήματα αυτά είναι ηλεκτρικά, συνεχή και στοχαστικά.

1.3.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ

Η ενέργεια ενός σήματος εκφράζει την ενέργεια η οποία μεταφέρεται από το σήμα όταν το τελευταίο θεωρείται ως πηγή τάσης ή ρεύματος και τροφοδοτεί αντίσταση 1 Ohm. Το ενεργειακό περιεχόμενο, ή απλά η ενέργεια, ενός σήματος $x(t)$, συμβολίζεται με E_x , και ορίζεται ως

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (1.5)$$

Ένα σήμα χαρακτηρίζεται ως σήμα ενεργείας αν $E_x < \infty$ και ως σήμα ισχύος αν $E_x = \infty$. Ωστόσο είναι δυνατόν να μην ανήκει σε καμία από αυτές τις κατηγορίες, αν και στην πράξη τα περισσότερα σήματα που συναντούμε εντάσσονται σε κάποια από αυτές [29].

Η ενέργεια ενός σήματος αποτελεί στοιχείο του μεγέθους του και απεικονίζεται γραφικά από το εμβαδό του χωρίου που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη της συνάρτησης που περιγράφει το σήμα υψωμένο στο τετράγωνο. Η ενέργεια είναι μαθηματικά προσπελάσιμη και έχει νόημα, με την έννοια ότι είναι ενδεικτική της ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από το σήμα. [30].

Συγκεκριμένα, οι πληροφορίες που δίνει η ενέργεια ενός σήματος ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος μπορούν να είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη διάγνωση της φύσης ασθενειών που μπορούν να προσβάλλουν τον εγκέφαλο αλλά και γενικότερα για την κατάσταση του εγκεφάλου, καθότι το σήμα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος υποδεικνύει την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου [31]. Παρόλα αυτά είναι πολύ δύσκολο να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες από αυτά τα σήματα άμεσα στο πεδίο του χρόνου μέσω απλής παρατήρησης. Αυτό συμβαίνει διότι τα σήματα αυτά είναι μη γραμμικά (non-linear) και μεταβαλλόμενα (non-stationary) από τη φύση τους. Όμως, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας του σήματος, όπως είναι ο υπολογισμός της ενέργειας του σήματος, μπορούν να εξαχθούν οι επιθυμητές πληροφορίες [32].

Η ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί ως το άθροισμα των τετραγώνων των τιμών του σήματος στο πεδίο του χρόνου κι έτσι προκύπτει μια μόνο τιμή για επεξεργασία από την οποία μπορούν να εξαχθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Ιστορικά Στοιχεία

Τη δεκαετία 1950-1960 πολλοί επιστήμονες στον τομέα της πληροφορικής εργάστηκαν ανεξάρτητα πάνω στα εξελικτικά συστήματα με κίνητρο τα μειονεκτήματα των κλασικών μεθόδων αλλά κυρίως την ιδέα ότι οι **αρχές της εξελικτικής διαδικασίας** θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία βελτιστοποίησης λύσεων που αφορούν προβλήματα για μηχανικούς [39]. Η βασική ιδέα σε αυτά τα συστήματα ήταν να προβούν στην εξέλιξη ενός πληθυσμού πιθανών λύσεων ενός προβλήματος, χρησιμοποιώντας τελεστές εμπνευσμένους από τη φυσική γενετική παραλλαγή και τη φυσική επιλογή.

Το 1960, ο Rechenberg εισήγαγε τις «**στρατηγικές εξέλιξης**», μεθόδους που χρησιμοποίησε για να βελτιώσει τις πραγματικές παραμέτρους σε διάφορες εφαρμογές όπως οι αεροτομές των αεροσκαφών. Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον Schwefel. Το πεδίο των μεθόδων αυτών παραμένει ερευνητικά ενεργό. Το 1966 οι Fogel, Owens και Walsh ανέπτυξαν τον «**εξελικτικό προγραμματισμό**».

Οι **Γενετικοί Αλγόριθμοι** (Genetic Algorithms), επινοήθηκαν από τον John Holland την δεκαετία του 1960 και αναπτύχθηκαν επιπλέον από τον ίδιο, τους μαθητές και συναδέλφους του στο πανεπιστήμιο του Michigan. Σε αντίθεση με τις στρατηγικές εξέλιξης και τον εξελικτικό προγραμματισμό, ο αρχικός σκοπός του Holland δεν ήταν ο σχεδιασμός αλγορίθμων για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων. Κύριος στόχος του υπήρξε η μελέτη του φαινομένου της προσαρμογής όπως αυτό συμβαίνει στην φύση και η ανάπτυξη μεθόδων ώστε οι μηχανισμοί της φυσικής προσαρμογής να μπορούν να εφαρμοστούν στα συστήματα των υπολογιστών. Σήμερα, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι επιτρέπουν την επίλυση συνδυαστικών και αλληλοεξαρτώμενων προβλημάτων βελτιστοποίησης με αποτέλεσμα την εύρεση βέλτιστης λύσης για μεγάλο αριθμό μεταβλητών. Ανήκουν στο κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν ως μαθηματικό πρόβλημα. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά με το θεμιτό τρόπο [42].

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ) υπερτερούν έναντι των κλασικών μεθόδων σε ιδιαίτερος πολύπλοκα προβλήματα καθώς είναι εξαιρετικά αποτελεσματικοί στις περιπτώσεις με πολλές παραμέτρους και διαστάσεις.

Αποτελούν δυναμικές στοχαστικές μεθόδους για την αναζήτηση και βελτιστοποίηση λύσεων. Παρά το γεγονός ότι εντάσσονται στον χώρο των στοχαστικών αλγορίθμων, διαφέρουν σε πολύ μεγάλο βαθμό από εκείνους που εφαρμόζουν τυχαίες μεθόδους αναζήτησης και βελτιστοποίησης, αφού είναι σε θέση να συνδυάζουν στοιχεία και από άμεσες και από στοχαστικές τεχνικές αναζήτησης [40]. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο οι ΓΑ θεωρούνται πιο εύρωστοι από τις υπάρχουσες μεθόδους άμεσης αναζήτησης.

Ένα άλλο στοιχείο που διακρίνει τους ΓΑ είναι ότι διατηρούν έναν πληθυσμό πιθανών λύσεων πάνω στον οποίο πειραματίζονται, σε αντίθεση με όλες τις άλλες μεθόδους αναζήτησης που επεξεργάζονται ένα μόνο σημείο στο διάστημα αναζήτησης. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την αναζήτηση λύσεων προς πολλές κατευθύνσεις και την καταγραφή και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ αυτών. Στο σημείο αυτό εντοπίζεται η μίμηση των μηχανισμών της φύσης ως η κεντρική ιδέα γύρω από την οποία αναπτύσσονται οι ΓΑ. Όπως συμβαίνει στην εξέλιξη των ειδών, οι πιο ισχυροί οργανισμοί και εκείνοι που διαθέτουν τα απαραίτητα στοιχεία προσαρμογής στο περιβάλλον, είναι αυτοί που έχουν τις περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν και συνεπώς, θα συμβάλλουν στην παραγωγή της επόμενης γενιάς όπου θα εντοπίζονται με ποικίλους τρόπους τα χαρακτηριστικά τους. Ως αποτέλεσμα, ακόμα και με την επιβίωση ορισμένων πιο «αδύναμων» οργανισμών, η ανάμειξη των επόμενων γενεών οδηγεί καθοριστικά σε ακόμα «ισχυρότερους» οργανισμούς. Την ίδια ακριβώς λογική εντοπίζουμε στους ΓΑ. Το σύνολο των πιθανών λύσεων στην πραγματικότητα υφίσταται μία προσομοιωμένη γενετική εξέλιξη. Σε κάθε γενιά, οι σχετικά «καλές λύσεις» αναπαράγονται ενώ οι πιο «κακές» αποσύρονται. Και ενώ στην φύση το κριτήριο είναι η επιβίωση, στους ΓΑ ο διαχωρισμός και η αξιολόγηση των λύσεων πραγματοποιείται μέσω της Αντικειμενικής Συνάρτησης ή Συνάρτησης Ικανότητας (Objective Function/Fitness Function).

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΟΥΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ **ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ**

Καθώς οι ΓΑ είναι βασισμένοι στην μηχανική της φυσικής επιλογής και της γενετικής, έτσι και η ορολογία που χρησιμοποιείται προέρχεται από τον χώρο της βιολογίας και της Φυσικής Γενετικής:

• ΓΟΝΙΔΙΑ ΚΑΙ ΧΡΩΜΟΣΩΜΑΤΑ:

Είναι γνωστό ότι κάθε **άτομο** (Individual) ή **γενότυπος** (Gnotypes) στην φύση, αποτελείται από **χρωμοσώματα** (Chromosomes). Στους ΓΑ αναφερόμαστε στα άτομα με ένα μόνο χρωμόσωμα. Ένα χρωμόσωμα προκύπτει από την γραμμική ακολουθία γονιδίων (Genes) σε καθορισμένες θέσεις και κάθε υλοποίησή του αποκωδικοποιείται σε ένα μοναδικό σύνολο παραμέτρων που αναπαριστούν μία πιθανή λύση του προβλήματος προς βελτιστοποίηση. Η λύση αυτή κάθε φορά εξετάζεται με βάση την Αντικειμενική Συνάρτηση και αν είναι κοντά στην βέλτιστη, τότε το άτομο θεωρείται «δυνατό».

• ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ ΚΑΙ ΓΕΝΙΕΣ:

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι ξεκινούν με ένα σύνολο τυχαία παραγόμενων καταστάσεων που ονομάζονται **Πληθυσμός** [43]. Πάνω σε αυτή την μονάδα στηρίζεται η λειτουργία του αλγορίθμου για την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Οι συνεχείς επαναλήψεις του αλγορίθμου αποτελούν τις **Γενιές**. Με την διαδικασία αυτή και καθώς προκύπτουν κάθε φορά νέα σύνολα λύσεων, κάθε γενιά αντικαθίσταται από την επόμενη μέσω των διαδικασιών της επιλογής, της διασταύρωσης και της μετάλλαξης.

• ΓΟΝΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΙΔΙΑ:

Όπως συμβαίνει και στην φύση όπου τα χρωμοσώματα των απογόνων προκύπτουν από το γενετικό υλικό των γονέων, έτσι και στους Γενετικούς Αλγόριθμους, επιλέγονται αρχικά ζευγάρια χρωμοσωμάτων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία της εξέλιξης. Η επιλογή των **Γονέων** γίνεται ανάλογα με την τιμή της αντικειμενικής τους συνάρτησης. Οι απόγονοι που προκύπτουν, μετά τις διαδικασίες εφαρμογής των στοχαστικών τελεστών, αποτελούν τα **Παιδιά**. Τέτοιοι τελεστές είναι η **διασταύρωση** (Crossover) και η **μετάλλαξη** (Mutation).

• ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ:

Η συνάρτηση κόστους είναι καθοριστική για την εκτέλεση του Γενετικού Αλγορίθμου. Ονομάζεται **Αντικειμενική Συνάρτηση** ή **Συνάρτηση Καταλληλότητας** και ορίζει τον στόχο της βελτιστοποίησης. Είσοδο σε μία τέτοια συνάρτηση αποτελεί το ίδιο το χρωμόσωμα, και έξοδο μία τιμή που του

αντιστοιχίζεται και αποτελεί κριτήριο της καταλληλότητας του με βάση τον στόχο του αλγορίθμου. Εκ τούτου, η συνάρτηση αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ του φυσικού προβλήματος και της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Η φύση της συνάρτησης εξαρτάται από το προς επίλυση πρόβλημα και μπορεί να είναι από πολύ απλή έως ιδιαίτερος πολύπλοκη. Η αξιολόγηση που προσφέρει χρησιμοποιείται είτε από την συνθήκη τερματισμού είτε από την διαδικασία της πιθανοκρατικής επιλογής τους για να συμπεριληφθούν (ή όχι) στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς.

2.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΑΣΙΚΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Ένας ΓΑ για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να αποτελείται από τις εξής διαδικασίες [41]:

I) Αρχικά, πραγματοποιείται κωδικοποίηση των παραμέτρων του προβλήματος σε γονιδιακή μορφή.

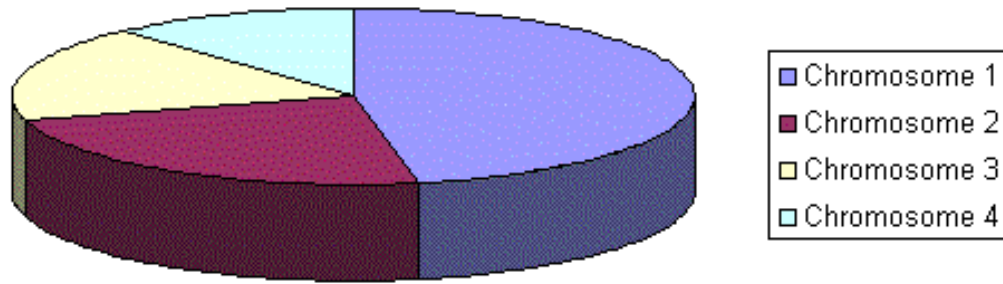
II) Στην συνέχεια τα γονίδια σχηματίζουν σειρές οπότε δημιουργούνται τα χρωμοσώματα.

III) Αρχικοποίηση (Initialization) κατά τυχαίο τρόπο ενός πληθυσμού συγκεκριμένου πλήθους χρωμοσωμάτων.

IV) Υπολογίζεται η καταλληλότητα κάθε ατόμου οπότε και αξιολογούνται με βάση την αντικειμενική συνάρτηση.

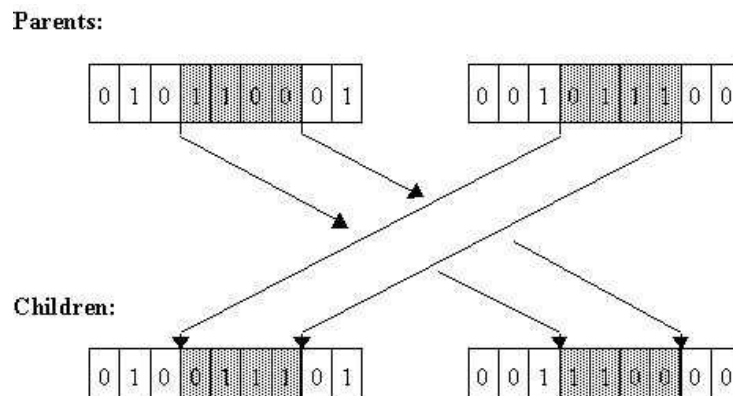
V) Διαδικασία Αναπαραγωγής:

α) Επιλογή Γονέων (selecting): Για την επιλογή αυτή μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι εκείνη της Ρουλέτας. Γονείς με υψηλή καταλληλότητα είναι περισσότερο πιθανό να επιλεγούν για αναπαραγωγή, μία ή περισσότερες φορές, από εκείνους με χαμηλή. Τα χρωμοσώματα τοποθετούνται στη ρουλέτα σε σχέση πάντα με την απόδοσή τους (χρωμοσώματα με μεγάλη απόδοση κατέχουν μεγαλύτερο ποσοστό της ρουλέτας). Μια τέτοια ρουλέτα για πληθυσμό τεσσάρων ατόμων φαίνεται στην Εικόνα 2.1.



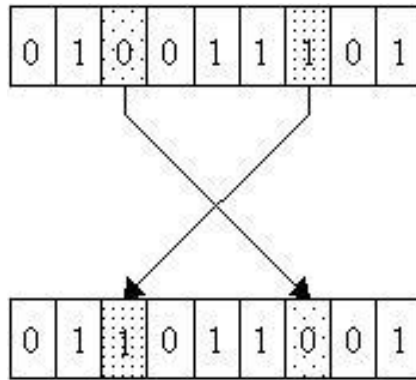
Εικόνα 2. 1: Αναπαράσταση της μεθόδου Ρουλέτας για πληθυσμό τεσσάρων ατόμων.

β) Διασταύρωση και Μετάλλαξη: Κατά την διασταύρωση (crossover), επιλέγεται τυχαία το σημείο του χρωμοσώματος στο οποίο γίνεται η αντιστοίχιση και η συνένωση του γενετικού υλικού των δύο γονέων, οπότε δημιουργούνται δύο απόγονοι με τα γενετικά χαρακτηριστικά των γονέων. Η διαδικασία φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2. 2: Διασταύρωση σημείου.

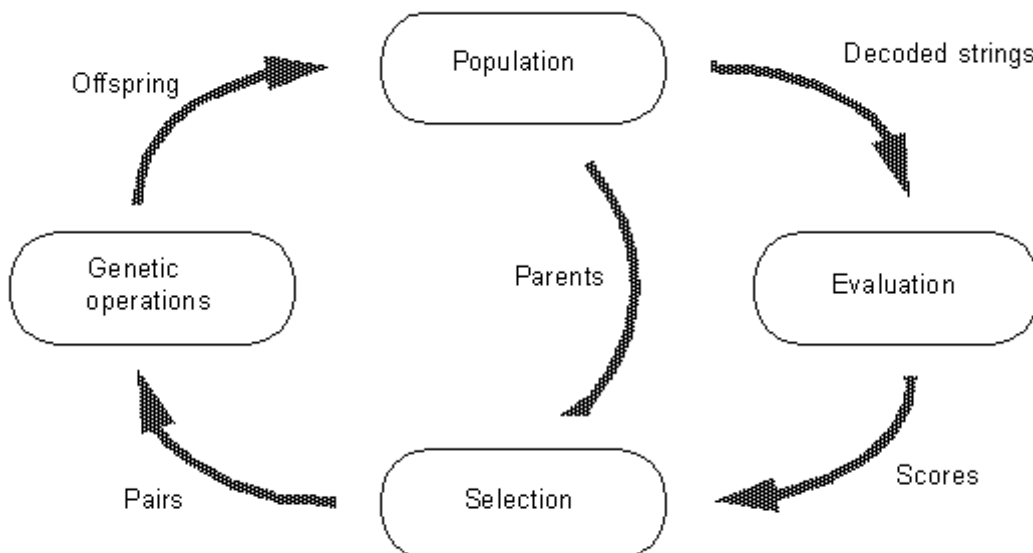
Από την άλλη μεριά, στην μετάλλαξη (mutation) πραγματοποιείται μεταβολή της τιμής ενός τυχαία επιλεγμένου γονιδίου στο χρωμόσωμα. Αυτό είναι το γεγονός που διευρύνει την περιοχή αναζήτησης, καθώς ουσιαστικά με τον τρόπο αυτό εισάγεται νέο γενετικό υλικό χωρίς να προϋπάρχει.



Εικόνα 2. 3: Μετάλλαξη ενός σημείου στο χρωμόσωμα.

VI) Δημιουργία νέας γενιάς και αντικατάσταση της παλιάς. Η νέα αυτή γενιά αποτελείται από τα πιο «ισχυρά» άτομα, γεγονός που καθορίζεται από την Αντικειμενική Συνάρτηση.

Στο σημείο αυτό, γίνεται έλεγχος του κριτηρίου τερματισμού και αν δεν επαληθεύεται, ο εξελικτικός κύκλος επαναλαμβάνεται. Οι καλύτερες γενιές-λύσεις αναπαράγονται με αποτέλεσμα να διατηρούνται και να αυξάνονται τα χαρακτηριστικά που θεωρούνται κατάλληλα. Συνεπώς, η εκτέλεση του αλγορίθμου οδηγεί προς την κατεύθυνση της βέλτιστης λύσης. Η διαδικασία τερματίζεται είτε όταν εξαντληθεί ο αριθμός των γενεών, που ορίζεται από τον χρήστη, είτε όταν η αναπαραγωγή οδηγήσει σε άτομο που ικανοποιεί τα επιθυμητά κριτήρια.



Εικόνα 2. 4: Εξελικτικός Κύκλος Γενετικών Αλγορίθμων.

2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ

ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρέχει η χρήση των ΓΑ είναι τα ακόλουθα [40] :

1. Είναι πολύ εύχρηστοι όσον αφορά τη γρήγορη και αποτελεσματική λύση δύσκολων προβλημάτων. Με την πάροδο των χρόνων και την εφαρμογή τους σε πολλές και διαφορετικές περιπτώσεις, έχει αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά τους στην επίλυση αυτών. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε συνθήκες όπου οι συναρτήσεις παρουσιάζουν τόσο μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές τους ώστε να μην καθίσταται δυνατή η εύρεση των βέλτιστων λύσεων με τη χρήση άλλων μεθόδων.

2. Είναι απλοί στις εφαρμογές τους και συμβατοί με παλαιότερα μοντέλα και συστήματα. Η χρήση τους σε ήδη υπάρχοντα συστήματα παρέχουν πιο γρήγορες και εμπειριστωμένες λύσεις. Η απλότητά τους έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούν πληροφορίες που αφορούν μόνο τη διαδικασία ή τη συνάρτηση, και όχι το ρόλο τους μέσα στο σύστημα. Δε χρειάζεται να γνωρίζουν τον τρόπο επίλυσης του προβλήματος, αλλά αρκεί όταν βρεθεί μια ικανοποιητική απάντηση για το συγκεκριμένο πρόβλημα, να μπορούν να την αναγνωρίσουν. Οι ΓΑ μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν στα συστήματα που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας χωρίς να απαιτούν την επανασχεδίαση τους.

3. Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι. Οι γενετικές λειτουργίες που χρησιμοποιούνται στους συγκεκριμένους αλγόριθμους δεν υλοποιούνται πάντα με τον ίδιο τρόπο με αποτέλεσμα να μπορούν εύκολα να επεκταθούν προσθέτοντας νέα στοιχεία. Επιτρέπουν αλλαγές και μετεξελίξεις, ανάλογα με την κρίση του σχεδιαστή. Σε πολλές εφαρμογές, έχουν αναφερθεί λειτουργίες των ΓΑ που δε βασίζονται σε φυσικές διαδικασίες ή που έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές, πάντα προς όφελος της απόδοσης.

4. Έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογών. Έχει παρατηρηθεί ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι εφαρμόζονται σε παρά πολλούς τομείς σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης σχετίζεται με τη φύση του τομέα στον οποίο έγκειται το πρόβλημα. Έτσι, οι ΓΑ μπορούν να εφαρμοστούν σε οικονομικά, μηχανικά, μαθηματικά και άλλης φύσεως προβλήματα.

5. Δε χρειάζονται περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται. Αυτή τους η ιδιότητα, τους καθιστά κατάλληλους για μεγάλο φάσμα προβλημάτων. Η συνάρτηση ικανότητας που χρησιμοποιείται στους γενετικούς αλγόριθμους δεν χρειάζεται να περιορίζεται από θορύβους ή άλλους παράγοντες. Λειτουργούν πολύ καλά ακόμα και σε θορυβώδη δεδομένα. Δεν είναι ευαίσθητοι σε μικρές αλλαγές των

παραμέτρων τους ενώ ασυνέχειες στον χώρο αναζήτησης έχουν ελάχιστη επίδραση στη λειτουργία τους.

6. Δεν εξετάζουν τη σημασία του προβλήματος. Η σχέση των ΓΑ με την πραγματική φύση του προβλήματος είναι μόνο η αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό εξασφαλίζει την επιτυχία τους ανεξάρτητα από το σημασιολογικό περιεχόμενο του προβλήματος.

7. Μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τον όγκο της έρευνας. Οι ΓΑ κάθε φορά επεξεργάζονται πολλές πληροφορίες, μέσω λίγων δεδομένων αφού κάθε άτομο θεωρείται αντιπρόσωπος πολλών άλλων. Είναι λοιπόν προφανές ότι μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά και γρήγορα σε μεγάλους χώρους αναζήτησης.

8. Εξερευνούν τον χώρο αναζήτησης και ταυτόχρονα εκμεταλλεύονται την ήδη επεξεργασμένη πληροφορία. Ο συνδυασμός αυτός σπάνια συναντάται σε οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Συνήθως τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά οπότε δε συνυπάρχουν. Οι ΓΑ επιτυγχάνουν το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης, γεγονός που τους καθιστά ιδιαίτερος εύχρηστους και αποτελεσματικούς.

9. Έχουν τη δυνατότητα παράλληλης δράσης. Οι ΓΑ λόγω της φύσης τους, εύκολα μπορούν να δεχτούν παράλληλη εφαρμογή. Με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται η αποτελεσματικότητά τους. Πραγματοποιούν μία αναζήτηση στο χώρο των υποψήφιων λύσεων, με στόχο την εύρεση αυτής που ικανοποιεί τη συνάρτηση καταλληλότητας (αντικειμενική συνάρτηση κόστους). Η αναζήτηση επικεντρώνεται στις περισσότερες κατάλληλες λύσεις, χωρίς όμως να αγνοούνται οι υπόλοιπες.

2.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

1. Προβλήματα εξοικείωσης με τη Γενετική. Ο όρος «Γενετικός Αλγόριθμος» επιλέχθηκε για την καλύτερη εισαγωγή και κατανόηση του θέματος. Η παραπομπή του στη Βιολογία, δε θα προκαλούσε τίποτα άλλο, παρά μόνο σύγχυση. Στην ουσία πρόκειται για «προσωπικές διαδικασίες για αναζήτηση και βελτιστοποίηση», αλλά με την ελλειπή αναφορά στη Γενετική τα πράγματα θα ήταν δυσνόητα. Το μέλλον και η εξέλιξη τους δεν εξαρτώνται από τις θεωρίες της Βιολογίας. Ο όρος είναι δανεισμένος από αυτή, αλλά έγιναν πολλές διαφοροποιήσεις και προσαρμογές για την εισαγωγή του στα τεχνητά συστήματα προς επίλυση και βελτιστοποίηση διαφόρων προβλημάτων.

2. Το χρονικό πρόβλημα. Μπορούμε να μιλάμε για εξέλιξη των ειδών όταν αλλάζει το περιβάλλον που τα περικλείει. Όσον αφορά την εξέλιξη στη φύση, αυτό που έχει παρατηρηθεί είναι πως οι ρυθμοί με τους οποίους περνάει από το ένα στάδιο στο άλλο δεν είναι πάντα σταθεροί. Κάποιες φορές αυτοί είναι γρήγοροι, ενώ κάποιες άλλες ιδιαίτερα αργοί και ίσως να χρειάζεται να περάσουν χιλιάδες χρόνια για να προκύψουν αλλαγές στα χαρακτηριστικά, τις ικανότητες και τη συμπεριφορά των ειδών. Στο σημείο αυτό εμφανίζεται μία ανησυχία σχετικά με τις επιδόσεις χρόνου των ΓΑ οι οποίοι στηρίζονται στην φυσική εξέλιξη, μία διαδικασία που ακολουθεί συνήθως αργούς ρυθμούς.

2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Στη συνέχεια αναφέρονται μερικές αντιπροσωπευτικές εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων.

- Εύρεση μέγιστης τιμής αριθμητικών συναρτήσεων.
- Προβλήματα μοντελοποίησης συστημάτων (οικονομικά, βιολογικά, οικολογικά, κοινωνικά, τεχνολογικά κ.α.).
- Επεξεργασία εικόνων: Αναγνώριση προτύπων σε ψηφιοποιημένες εικόνες.
- Σχεδιασμός κατασκευών και εξαρτημάτων συνήθως με πρωτότυπα αποτελέσματα .
- Μηχανική μάθηση: Εφαρμογή σε συστήματα κατηγοριοποίησης, επίλυση λαβυρίνθων, πολιτικές και οικονομικές αναλύσεις.
- Συνδυαστική βελτιστοποίηση: Πρόβλημα κατανομής πόρων με ελαχιστοποίηση του κόστους και μεγιστοποίηση του κέρδους.
- Τομέας κεραιών: Ελαχιστοποίηση της στάθμης των πλευρικών λοβών και της απόκλισης του διαγράμματος ακτινοβολίας μίας κεραιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Η διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακό χώρο του Αιγινήτειου Νοσοκομείου. Ο χώρος μέσα στον οποίο εξελίχθηκε η πειραματική διαδικασία είναι ένας ανηχοϊκός θάλαμος. Πρόκειται για έναν **κλωβό Faraday** με μόνωση από αλουμίνιο, ο οποίος παρέχει την πλήρη απομόνωση του συστήματος από οποιαδήποτε εξωτερική ανεπιθύμητη ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή που θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις του πειράματος. Ο εξεταζόμενος, καθισμένος καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας φορούσε έναν ειδικό σκούφο με εισόδους για **32 ηλεκτρόδια** τα οποία απάγουν το ηλεκτρικό σήμα, τα δύο εκ των οποίων τοποθετημένα στους λοβούς των αυτιών ήταν βραχυκυκλωμένα και αποτελούσαν την γείωση, ενώ τα 4 από αυτά τοποθετήθηκαν σε μύες του προσώπου και χρησιμοποιήθηκαν για το ηλεκτρομυογράφημα. Συνεπώς, το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα προέκυπτε από τα υπόλοιπα 26 ηλεκτρόδια. Οι υποδοχές για τις θέσεις των ηλεκτροδίων είναι καθορισμένες βάση του διεθνούς συστήματος εγκεφαλογραφίας '10-20' και για να είναι δυνατή η διεπαφή των ηλεκτροδίων έγινε χρήση **ειδικών διηλεκτρικών υλικών** υπό την μορφή gel. Τα υλικά αυτά είναι ουδέτερα για το κρανίο, τα μαλλιά και το δέρμα του ανθρώπου. Η χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση που παρουσιάζουν συμβάλλει στην εξασφάλιση δειγματοληψίας χαμηλού θορύβου και στην όσο το δυνατόν μικρότερη εξασθένηση των μετρούμενων εγκεφαλικών δυναμικών.

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος, τα ηλεκτρόδια οδηγούνται στον **πολυπλέκτη και προενισχυτή** μέσω του οποίου γίνεται και ο έλεγχος της αντίστασής τους. Μετά την έξοδό τους από τον ανηχοϊκό θάλαμο, τα σήματα διέρχονται από έναν **διαφορικό ενισχυτή** 32 εισόδων όπου υποβάλλονται στην απαραίτητη ενίσχυση. Στην συνέχεια, εισέρχονται σε ένα **βαθυπερατό φίλτρο** (low pass filter). Στη φάση αυτή «κόβονται» οι συχνότητες άνω των 35 Hz, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρεμβολή από το δίκτυο παροχής ρεύματος (50 Hz).

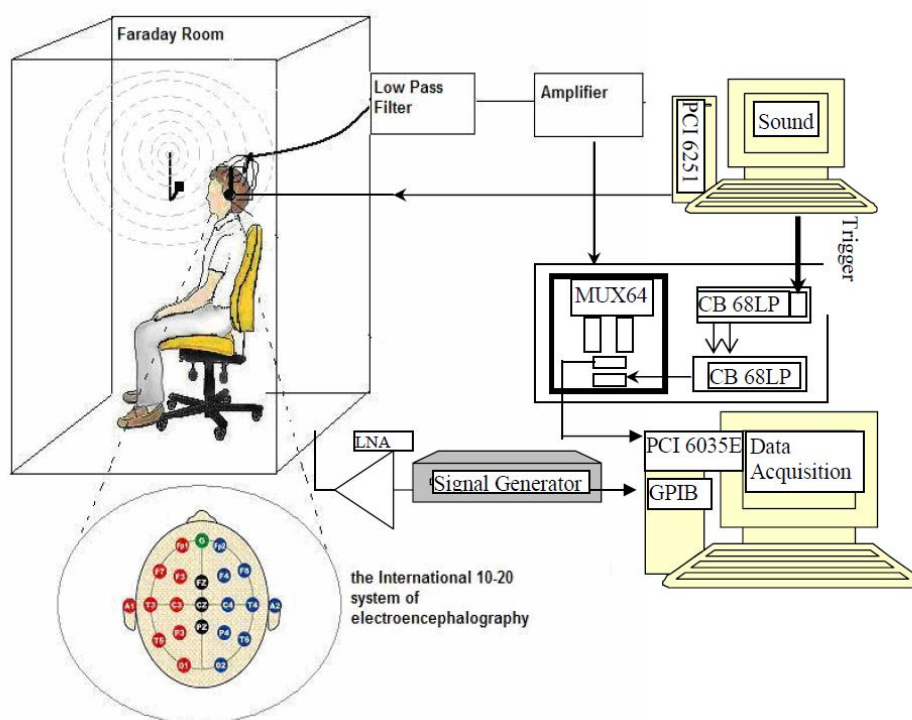
Μετά την ενίσχυση, το σήμα πρέπει να μετατραπεί από αναλογικό σε ψηφιακό, λειτουργία που επιτελεί ο **μετατροπέας A/D** ο οποίος τελικά καταλήγει σε **ηλεκτρονικό υπολογιστή** εφοδιασμένο με μία κάρτα ανάκτησης δεδομένων (Data Acquisition-DAQ). Μέσω της κάρτας αυτής, λαμβάνονται τα 32 σήματα και αποθηκεύονται στην μνήμη του υπολογιστή, ενώ οι κυματομορφές τους παρουσιάζονται στην οθόνη. Οι μετρήσεις των κυματομορφών απεικονίζονται με χρήση του προγράμματος **LabVIEW** (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench).

Το σήμα σκανδαλισμού είναι ένας παλμός 5V. Λόγω της φύσης του πειράματος είναι απαραίτητος ο απόλυτος συγχρονισμός μεταξύ της έναρξης του ακουστικού ερεθίσματος και της λήψης των δεδομένων ώστε να υπάρχει σωστή αντιστοίχιση των δύο μεγεθών. Για τον σκοπό αυτό, κατά την διαδικασία του πειράματος χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Ο ένας από αυτούς

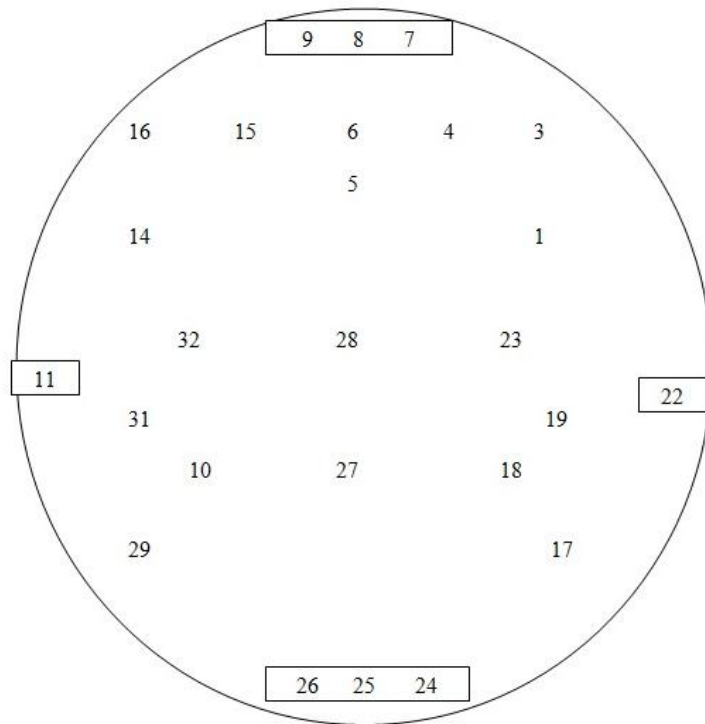
είναι εξοπλισμένος με μία ειδική κάρτα, η οποία ελέγχεται μέσω interface προγραμματισμένο σε LabView. Έτσι, όταν τα ηχητικά μηνύματα αναπαράγονται από την κάρτα ήχου του, στέλνει σήμα σκανδαλισμού στον άλλον ώστε να λάβει τα δεδομένα, δηλαδή τα σήματα των ηλεκτροδίων. Η συγκεκριμένη κάρτα διαβάζει και δίνει ως είσοδο αρχεία ήχου .wav στην κάρτα ήχου ενώ ταυτόχρονα με την έναρξη αναπαραγωγής τους συγχρονίζει το σκανδαλισμό του άλλου υπολογιστή. Όταν η κάρτα διαβάσει ένα συγκεκριμένο αρχείο ήχου που περιέχει έναν παλμό πλάτους 5 V στέλνει ένα ψηφιακό trigger σε ένα συνδετήρα. Το trigger αυτό μεταφέρεται αναλογικά σε άλλο συνδετήρα από όπου το λαμβάνει ο πολυπλέκτης και τελικά η κάρτα λήψης δεδομένων του άλλου υπολογιστή καταγράφει τα δεδομένα.

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ξεκινήσει και να σταματήσει την αναπαραγωγή των αποθηκευμένων αρχείων ήχου μέσω των ειδικών πλήκτρων Start και Stop που δημιουργήθηκαν για αυτόν ακριβώς τον λόγο αλλά και να δει την κυματομορφή του ηχητικού σήματος στην οθόνη.

Τα δεδομένα που προκύπτουν είναι εγκεφαλικά σήματα διάρκειας 1,5 sec και η αποθήκευση της πληροφορίας ξεκινάει με την αποστολή του ερεθίσματος. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται αυτόματα σε .txt αρχεία, καθένα εκ των οποίων αντιστοιχεί σε ένα άτομο. Κάθε σειρά δεδομένων αποτελείται από 1500 τιμές εκ των οποίων οι 500 πρώτες αφορούν το σήμα του εγκεφάλου χωρίς την παροχή του ερεθίσματος (αποτελούν δηλαδή το ΗΕΓ) και οι υπόλοιπες 1000 τα προκλητά δυναμικά (ΠΔ).



Εικόνα 3. 1: Αναπαράσταση πειραματικής διάταξης



Εικόνα 3. 2: Χάρτης απεικόνισης της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρόδια 12 και 21 αντιστοιχούν στην γείωση και τα 2,13,20,30 στους μύες του προσώπου των συμμετεχόντων οπότε δίνουν σήματα ηλεκτρομυογραφήματος.

3.2 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Στην διαδικασία του πειράματος έλαβαν μέρος 55 άτομα [49]. Βασικό κριτήριο για την συμμετοχή τους υπήρξε η υγιής σωματική τους κατάσταση χωρίς οποιοδήποτε ιστορικό νευρολογικών ή ψυχιατρικών διαταραχών. Επιπλέον για τα άτομα αυτά δεν υπήρχε καμία αναφορά σχετικά με οποιαδήποτε εξάρτησή τους από το αλκοόλ ή κάποια άλλη χρήση παράνομων ουσιών. Όσοι δεν πληρούσαν αυτές τις προδιαγραφές αποκλείστηκαν από το πείραμα. Όλα τα άτομα ήταν Έλληνες και είχαν πανεπιστημιακή μόρφωση. Η έρευνα εγκρίθηκε από την επιτροπή του Αιγινήτειου Νοσοκομείου και πληρούσε τις προϋποθέσεις της Διακήρυξης του Ελσίνκι.

3.3 HAYLING TEST

Κάθε εξεταζόμενος υποβλήθηκε στα ακουστικά test Hayling A, B, C. Πρόκειται για νευροφυσιολογικά test που δημιούργησαν οι Paul W. Burges και Tim Shallice [44][45]. Κάθε ένα από τα test περιελάμβανε 30 ερωτήσεις επιλεγμένες από αυτές που προτάθηκαν από τους Bloom και Fischer [46].

Η τροποποιημένη εκδοχή του Hayling test που εφαρμόστηκε στο πείραμα περιελάμβανε τρεις επιμέρους διαδικασίες :

- **Test Hayling A:** Αποτελείται από μία σειρά προτάσεων σε κάθε μία εκ των οποίων λείπει η τελευταία λέξη. Στην περίπτωση αυτή ο εξεταζόμενος καλείται να συμπληρώσει την πρόταση με μία λέξη έτσι ώστε να προκύπτει λογικό νόημα. Για παράδειγμα, στην πιθανή πρόταση: «Αυτός ταχυδρόμησε το γράμμα χωρίς...», η απάντηση «γραμματόσημο» είναι αποδεκτή.

- **Test Hayling B:** Και σε αυτήν την εκδοχή ο εξεταζόμενος πρέπει να συμπληρώσει την πρόταση με μία λέξη αλλά χωρίς να προκύπτει κανένα λογικό νόημα. Για παράδειγμα, στην πρόταση «Αυτός ταχυδρόμησε το γράμμα χωρίς...», η απάντηση «ποτήρι» είναι αποδεκτή.

- **Test Hayling C:** Στην περίπτωση αυτή, αντίθετα με τις προηγούμενες, δεν είναι απαραίτητη η συμπλήρωση μιας φράσης με μία λέξη, αλλά ο εξεταζόμενος καλείται να επαναλάβει την τελευταία λέξη που άκουσε. Για παράδειγμα, στην πρόταση «Αυτός ταχυδρόμησε το γράμμα χωρίς γραμματόσημο», η απάντηση είναι η λέξη «γραμματόσημο».

Κάθε ένα από τα παραπάνω τμήματα του Hayling test, περιελάμβανε 30 ερωτήσεις τις οποίες ο εξεταζόμενος άκουγε μέσω ακουστικών. Στην έναρξη κάθε μέρους, και πριν ξεκινήσει η καταγραφή των ΠΔ, υπήρχε μία περίοδος προετοιμασίας κατά την οποία ο συμμετέχων άκουγε τις οδηγίες για το test και με τον τρόπο αυτό είχε την δυνατότητα να κατανοήσει την φύση της επιθυμητής απάντησης. Σε αυτήν φάση, μέσω των ακουστικών, του δίνονταν και οι απαραίτητες οδηγίες μαζί με ενδεικτικές απαντήσεις. Το ενδεχόμενο οποιουδήποτε κωλύματος του εξεταζόμενου αντιμετωπιζονταν με επανάληψη της διαδικασίας. Η διάρκεια κάθε πρότασης ήταν 3–5 sec. Μετά το άκουσμα κάθε πρότασης, οπότε και ξεκινούσε η καταγραφή των ΠΔ, μεσολαβούσε ένα διάστημα 500 msec και στην συνέχεια παρέχονταν στον εξεταζόμενο ένα ακουστικό ερέθισμα (ακουστικός τόνος), διάρκειας 100 msec (65 dB, 500 Hz), ακολουθούμενο από διάστημα 900 msec και στη συνέχεια το ερέθισμα επαναλαμβανόταν. Τα άτομα καλούνταν να δώσουν την απάντησή τους μετά τον δεύτερο τόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρατεθεί σύμφωνα με την σειρά που εκτελέστηκε, η επεξεργασία των μετρήσεων που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία.

4.1 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΑΡΧΕΙΑ EXCEL

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας αποθηκεύονται αυτόματα σε αρχεία .txt. Στα αρχεία αυτά, για την διαφοροποίησή τους, αντιστοιχούν τα ονόματα των συμμετεχόντων και τελικά για κάθε άτομο προκύπτουν τρία αρχεία (ένα για κάθε test) κάθε ένα εκ των οποίων περιέχει τα πλάτη των ηλεκτρικών σημάτων για κάθε ηλεκτρόδιο. Τα αρχεία αυτά έχουν 32 στήλες (μία για κάθε ηλεκτρόδιο) και 30x1500 γραμμές (1500 sec για κάθε μία από τις 30 ερωτήσεις). Λόγω του μεγάλου όγκου πληροφοριών στα .txt αρχεία, κρίνεται δύσκολη η περαιτέρω επεξεργασία τους και για τον λόγο αυτόν με χρήση του περιβάλλοντος της Matlab επιτυγχάνεται η μετατροπή των txt σε αρχεία excel. Κάθε αρχείο που δημιουργείται διατηρεί το όνομα του εξεταζόμενου και περιέχει 32 φύλλα που αντιστοιχούν στα ηλεκτρόδια. Για κάθε ηλεκτρόδιο, έχουμε την καταγραφή 1500 τιμών (συνολικό καταγραμμένο διάστημα 1500 sec) για κάθε ερώτηση. Συνεπώς σε κάθε φύλλο υπάρχουν 1500 γραμμές και 30 στήλες.

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΕΓ ΚΑΙ ΗΜΓ

Σε δεύτερη φάση, επειδή ενδιαφέρον για την παρούσα μελέτη παρουσιάζουν μόνο τα 500 πρώτα msec από το 1,5 sec για το οποίο υπάρχουν καταγεγραμμένες τιμές, δηλαδή μόνο το σήμα του εγκεφάλου πριν το ερέθισμα το οποίο αποτελεί το ΗΕΓ, λαμβάνονται από κάθε excel αρχείο που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο, μόνο οι 500 πρώτες γραμμές. Έτσι δημιουργούνται νέα excel αρχεία, ένα για κάθε test σε κάθε εξεταζόμενο (υπάρχουν 3 Hayling test για κάθε εξεταζόμενο), καθένα από τα οποία αποτελείται από 32 φύλλα, ένα για κάθε ηλεκτρόδιο. Σε κάθε φύλλο υπάρχουν 500 γραμμές, μία για κάθε msec μέτρησης και 30 στήλες, μία για κάθε ερώτηση του εκάστοτε test. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο καθολικός μέσος όρος (grand average) αυτών των τιμών για κάθε ηλεκτρόδιο και για όλες τις ερωτήσεις: προστίθενται όλες οι τιμές που είναι καταχωρημένες σε κάθε φύλλο κάθε αρχείου excel και διαιρούνται με 15000 (500 msec*30 ερωτήσεις). Το αποτέλεσμα αυτής της διαίρεσης είναι ο καθολικός μέσος όρος, ο οποίος αφαιρείται από όλες τις τιμές του ΗΕΓ. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ενέργεια του ΗΕΓ σε κάθε ερώτηση και για κάθε

ηλεκτρόδιο, ως το άθροισμα του τετραγώνου καθενός από τα 500msec κάθε ερώτησης. Ακολουθεί η καταχώρηση της ενέργειας όλων των ηλεκτροδίων σε έναν πίνακα. Αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι ένα αρχείο excel για κάθε Hayling test (τρία test για κάθε εξεταζόμενο) όπου κάθε αρχείο αποτελείται από ένα τελικά φύλλο με ένα πίνακα 30 γραμμών (30 ερωτήσεις) και 32 στηλών (32 ηλεκτρόδια). Η τιμή σε κάθε κελί αντιστοιχεί τώρα σε τιμή ενέργειας κάθε ηλεκτροδίου σε κάθε ερώτηση για το ΗΕΓ του καταγεγραμμένου σήματος. Η παραπάνω επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με χρήση κατάλληλου λογισμικού σε γλώσσα Matlab.

4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

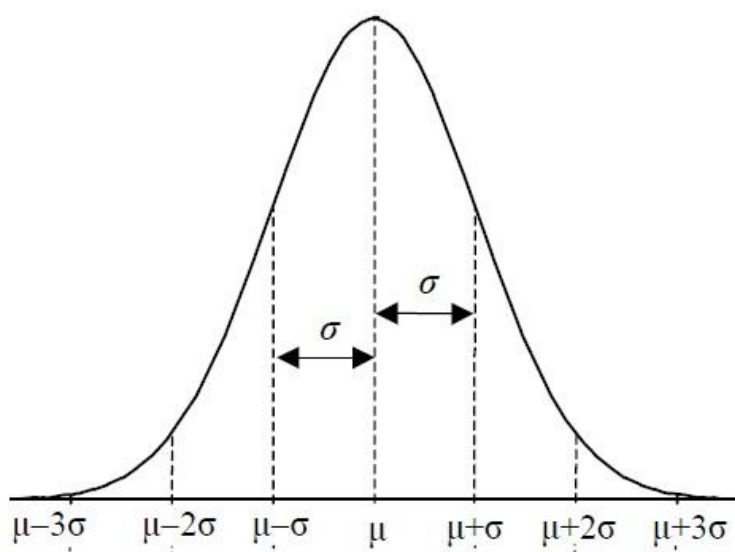
Μία από τις πλέον σημαντικές συνεχείς κατανομές στη θεωρία Πιθανοτήτων αλλά και στη Στατιστική, με ευρεία εφαρμογή, είναι η **Κανονική Κατανομή**. Η πρώτη ιστορικά εφαρμογή της κατανομής αυτής πραγματοποιήθηκε από τον De Moivre (1667-1754) και από τον Laplace (1749-1827) οι οποίοι απέδειξαν ότι οι Διωνυμικές Πιθανότητες προσεγγίζονται ικανοποιητικά από την Κανονική Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας. Αργότερα, ο Gauss (1777-1855) διαπίστωσε ότι τα τυχαία σφάλματα στις μετρήσεις μιας ποσότητας ακολουθούν Κανονική Κατανομή και ότι μπορούν να προσεγγιστούν ικανοποιητικά από μία συνεχή καμπύλη, η οποία αναφερόταν ως «κανονική καμπύλη των σφαλμάτων» και αποδίδονταν στους νόμους της τύχης. Για το λόγο αυτό, η Κανονική Κατανομή είναι επίσης γνωστή και ως **Γκαουσιανή Κατανομή** [33,34].

Η Κανονική Κατανομή αναφέρεται σε συνεχείς μεταβλητές αποτελώντας μια **Συνεχή Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας**. Γενικά, χρησιμοποιείται για την περιγραφή τυχαίων μεταβλητών πραγματικών τιμών οι οποίες έχουν την τάση να συγκεντρώνονται γύρω από μια **μέση τιμή**. Οι λόγοι που κάνουν την Κανονική Κατανομή την πιο σημαντική κατανομή της στατιστικής μεθοδολογίας είναι οι εξής:

- Τα περισσότερα συνεχή φαινόμενα ακολουθούν σε ικανοποιητικό βαθμό την κανονική κατανομή.
- Η Κανονική Κατανομή αποτελεί τη βάση της Στατιστικής Συμπερασματολογίας ή Επαγωγικής Στατιστικής, σύμφωνα με το **Κεντρικό Οριακό Θεώρημα** το οποίο εξηγείται παρακάτω.
- Τυχαία σφάλματα που παρουσιάζονται σε διάφορες μετρήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή.
- Ακόμα και ασυνεχείς κατανομές πιθανοτήτων μπορούν να προσεγγιστούν μέσω της Κανονικής Κατανομής, όπως είναι για παράδειγμα πολλά πληθυσμιακά χαρακτηριστικά όπως το ύψος, το βάρος κ.ά. [35].

Σύμφωνα με το **Κεντρικό Οριακό Θεώρημα**, το άθροισμα και επομένως η μέση τιμή μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παρατηρήσεων ακολουθεί κατά προσέγγιση Κανονική Κατανομή, ανεξάρτητα από το είδος της κατανομής που μπορεί να ακολουθούν οι παρατηρήσεις. Αυτό ερμηνεύει κατά ένα μεγάλο μέρος τη μεγάλη εφαρμογή της κανονικής κατανομής καθώς σε πολλά πειράματα ή φαινόμενα οι τιμές των μετρήσεων οφείλονται στην αθροιστική επίδραση πολλών αιτιών-παραγόντων κανένα από τα οποία δεν υπερσχύει των άλλων. Ένα παράδειγμα είναι ο χρόνος αναμονής σε μια ουρά, μια μεταβλητή η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η μέρα της εβδομάδας, η ώρα της ημέρας, η ταχύτητα εξυπηρέτησης του υπαλλήλου, το είδος της συναλλαγής που διευθετείται κ.ά. Κάθε παράγοντας από αυτούς έχει είτε θετική είτε αρνητική επίδραση και όλοι μαζί αθροιστικά συμβάλλουν στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος. Τέτοιες μεταβλητές συναντώνται συχνά σε διάφορα πειράματα και φαινόμενα. Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα λέει ακριβώς αυτό, ότι δηλαδή οι μεταβλητές αυτές μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από την Κανονική Κατανομή και την συνδέει με οποιαδήποτε άλλη κατανομή, αφού δεν προϋποθέτει οι παρατηρήσεις να ακολουθούν την Κανονική [36].

Η **Κανονική Καμπύλη** έχει κωδωνοειδή μορφή (σχήμα καμπάνας), είναι συμμετρική και οι «ουρές» της πλησιάζουν τον οριζόντιο άξονα ασυμπτωτικά. Η **μέση τιμή** και η **διάμεσος** ταυτίζονται και απεικονίζονται από την κορυφή της καμπύλης. Η περιοχή με τη μεγαλύτερη **πυκνότητα** βρίσκεται στο μέσο της κατανομής, που σημαίνει ότι όταν οι τιμές μιας μεταβλητής είναι κανονικά καταταξιμένες, τότε κοντά στη μέση τιμή υπάρχουν σχετικά πολλές τιμές ενώ μακριά από τη μέση τιμή υπάρχουν σχετικά λίγες τιμές [36]. Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται η μορφή της Κανονικής Καμπύλης και επιπλέον απεικονίζονται η μέση τιμή (μ) και η διασπορά (σ).



Εικόνα 4. 1: Κανονική καμπύλη.

Ορισμός:

Μια πραγματική τυχαία μεταβλητή X με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που περιγράφεται από τον τύπο:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)}, \quad -\infty < x < +\infty \quad (4.1)$$

όπου:

- $e=2,71828$, η βάση των νεπέρειων λογαρίθμων
 - $\pi=3,14159$, η γνωστή μαθηματική σταθερά
 - $-\infty < \mu < +\infty$: η μέση τιμή του πληθυσμού
 - $\sigma > 0$: η τυπική απόκλιση του πληθυσμού και
 - X : μια τιμή της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής στο διάστημα $-\infty$ έως $+\infty$
- ονομάζεται κανονικά κατανομημένη με μέση τιμή μ και **διακύμανση** (ή διασπορά) σ^2 . Συμβολίζεται με $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. Για μια τυχαία μεταβλητή $Z \sim N(0, 1)$ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας συμβολίζεται με $\phi(z)$ και η συνάρτηση κατανομής με $\Phi(z)$.

Ιδιότητες:

1. Γραμμικοί μετασχηματισμοί:

Αν η τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ (δηλαδή $X \sim N(\mu, \sigma^2)$) τότε και η τυχαία μεταβλητή $aX+b$ ($a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$) ακολουθεί κανονική κατανομή $N(a\mu+b, a^2\sigma^2)$. Συγκεκριμένα, για τυχαία μεταβλητή $Z \sim N(0,1)$ προκύπτει $\sigma Z + \mu \sim N(\mu, \sigma^2)$ και αντιστρόφως $\frac{X - \mu}{\sigma} \sim N(0,1)$.

Η συνάρτηση κατανομής της X δίνεται από τη σχέση:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (4.2)$$

και για τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ισχύει:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right). \quad (4.3)$$

2. Ασυμμετρία:

Μια κατανομή ενός πληθυσμού μπορεί να είναι είτε συμμετρική είτε μη συμμετρική. Στην πρώτη περίπτωση, η μέση τιμή, η διάμεσος και η κορυφή ταυτίζονται. Αντίθετα, στην περίπτωση της ασυμμετρίας, ένα από τα τμήματα στα οποία χωρίζει η κορυφή την κατανομή περιέχει περισσότερες παρατηρήσεις από το άλλο. Σαν αριθμητικό μέτρο καθορισμού της ασυμμετρίας, υπάρχει ο **συντελεστής ασυμμετρίας skew** με βάση τις ροπές ο οποίος ορίζεται από τη σχέση:

$$skew = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^3} \quad (4.4)$$

όπου n: πλήθος παρατηρήσεων

x_i : τιμή παρατήρησης

\bar{x} : μέση τιμή παρατηρήσεων [37].

Η Κανονική Κατανομή είναι συμμετρική κατανομή με συμμετρική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ως προς τη μέση τιμή, για την οποία ισχύει:

$$\varphi(-z) = \varphi(z) \quad (4.5)$$

και

$$\Phi(-z) = P[Z \leq -z] = 1 - P[Z \geq -z] = 1 - P[Z \leq z] \quad (4.6)$$

3. Κυρτότητα:

Οι κατανομές οι οποίες εμφανίζουν σχετικά μεγάλη μέγιστη συχνότητα (κορυφή) και συνεπώς και υψηλή συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο, λέγονται **λεπτόκυρτες**. Αντίστοιχα, οι κατανομές με σχετικά μικρή μέγιστη συχνότητα και χαμηλή συγκέντρωση τιμών γύρω από τη μέση τιμή ονομάζονται **πλατύκυρτες**. Η Κανονική Κατανομή συγκεκριμένα λέγεται **μεσόκυρτη**.

Ένα αριθμητικό μέτρο που εκφράζει το βαθμό κυρτότητας μιας κατανομής είναι ο **συντελεστής κύρτωσης** του Pearson **kurt** ο οποίος μπορεί να οριστεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

i)

$$kurt = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^4} \quad (4.7)$$

Στην Κανονική Κατανομή ισχύει $kurt=3$, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο παραπάνω μαθηματικός τύπος. Για το λόγο αυτό εκτιμάται συνήθως η κυρτότητα με τη διαφορά $kurt-3$, η οποία για λεπτόκυρτες κατανομές παίρνει θετικές τιμές (θετική κύρτωση), ενώ για πλατύκυρτες κατανομές παίρνει αρνητικές τιμές (αρνητική κύρτωση). Στην Εικόνα 4.2 απεικονίζονται διάφορες κατανομές με διαφορετικό βαθμό κυρτότητας όπου αυτός συμβολίζεται με α [37].

ii) Ένας δεύτερος μαθηματικός τύπος για την κύρτωση, ο οποίος συναντάται πολύ συχνά σε διάφορους στατιστικούς ελέγχους είναι ο παρακάτω:

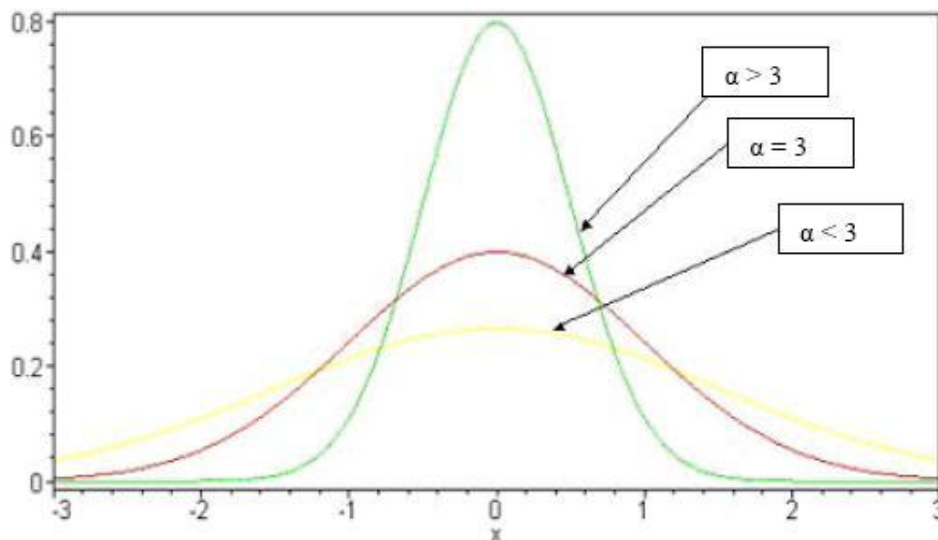
$$kurt = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^4} - 3 \quad (4.8)$$

Με αυτόν τον ορισμό μια τέλεια κανονική κατανομή θα είχε μηδενική κύρτωση.

iii) Ο τρίτος τύπος για την κύρτωση χρησιμοποιεί τον δειγματικό μέσο \bar{x} και τη δειγματική τυπική απόκλιση σ και είναι ο εξής:

$$kurt = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}. \quad (4.9)$$

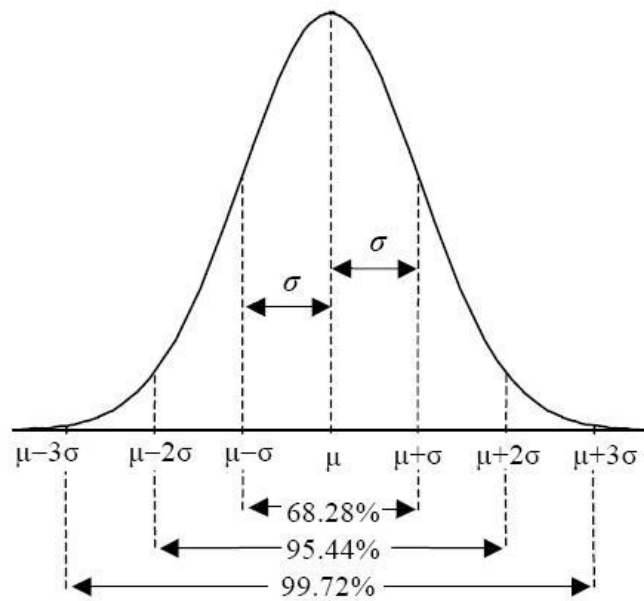
Η τιμή που αναμένεται για την κύρτωση για μία Κανονική Κατανομή σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό είναι μηδέν.



Εικόνα 4. 2: Επίδραση βαθμού κυρτότητας σε μια κατανομή.

4. Διαστήματα εμπιστοσύνης:

Αν μια τυχαία μεταβλητή ακολουθεί $N(\mu, \sigma^2)$ τότε παίρνει τιμές μεταξύ του $\mu - 3\sigma$ και του $\mu + 3\sigma$ με πιθανότητα σχεδόν 1 (συγκεκριμένα, 99,7%), τιμές μεταξύ του $\mu - 2\sigma$ και του $\mu + 2\sigma$ με πιθανότητα περίπου 95% και τιμές μεταξύ του $\mu - \sigma$ και του $\mu + \sigma$ με πιθανότητα περίπου 68%. Οι πιθανότητες αυτές φαίνονται στην Εικόνα 4.3.



Εικόνα 4. 3: Πιθανότητες στην κανονική κατανομή.

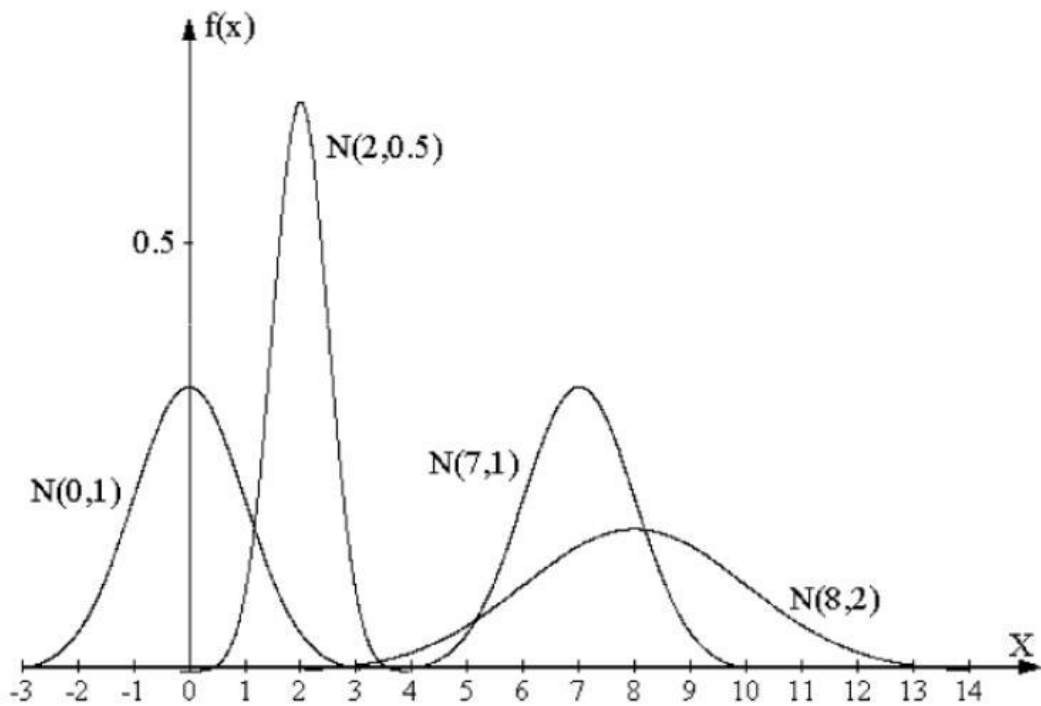
Γενικά, για ένα διάστημα $[x_1, x_2]$ ισχύει:

$$P[x_1 \leq X \leq x_2] = \Phi\left(\frac{x_2 - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - \mu}{\sigma}\right). \quad (4.10)$$

Στη περίπτωση που το διάστημα είναι συμμετρικό ως προς τη μέση τιμή ισχύει:

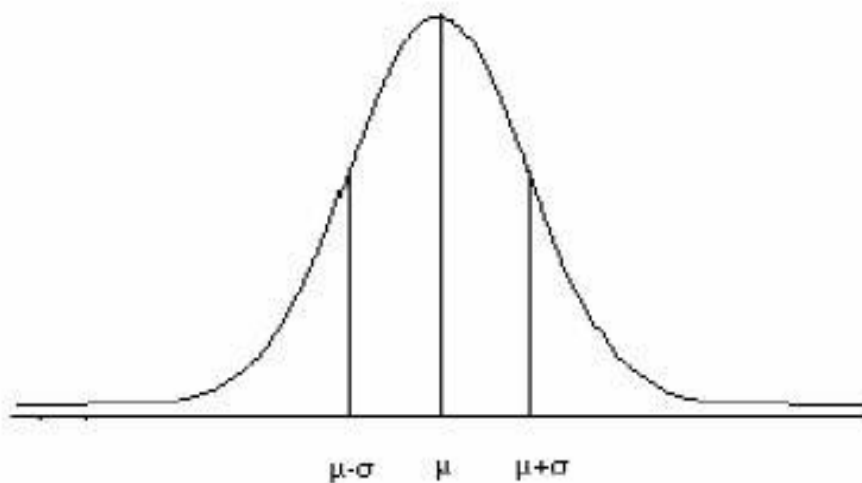
$$P[-x + \mu \leq X \leq x + \mu] = \Phi\left(\frac{x}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{-x}{\sigma}\right) = 2\Phi\left(\frac{x}{\sigma}\right). \quad (4.11)$$

Η μέση τιμή μ προσδιορίζει τη θέση της κατανομής στον άξονα των X ενώ η τυπική απόκλιση σ καθορίζει τη μορφή που έχει η καμπύλη της, χωρίς βέβαια να χάνει το κωδωνοειδές σχήμα της. Η Συνάρτηση Πυκνότητας της Κανονικής Κατανομής δεν ορίζει μια συγκεκριμένη κανονική καμπύλη αλλά μια οικογένεια κανονικών καμπυλών. Η επίδραση των παραμέτρων μ και σ στην κανονική καμπύλη φαίνεται στην Εικόνα 4.4 όπου απεικονίζονται παραδειγματικά κανονικές καμπύλες για διάφορες τιμές των παραμέτρων αυτών.



Εικόνα 4. 4: Επίδραση των παραμέτρων της $N(\mu, \sigma)$ στη θέση και μορφή της.

Τέλος, παρατηρείται ότι η καμπύλη της Συνάρτησης Πυκνότητας της Κανονικής Κατανομής παρουσιάζει μέγιστη τιμή, ίση με $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$, στη θέση $x=\mu$ ενώ στις θέσεις $x=\mu-\sigma$ και $x=\mu+\sigma$ παρουσιάζει σημεία καμπής. Τα σημεία αυτά παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4. 5: Μέγιστη τιμή και σημεία καμπής της κανονικής καμπύλης.

Για να ελεγχθεί κατά πόσο η κατανομή των ενεργειών ανά ερώτηση των αρχικών δεδομένων ακολουθεί Κανονική Κατανομή χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι.

4.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Για κάθε ηλεκτρόδιο σε κάθε εξεταζόμενο, υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος Microsoft Excel η τυπική απόκλιση (standard deviation), η κύρτωση (kurtosis) και η ασυμμετρία (skewness) των ερωτήσεων. Για αποφυγή τεράστιου όγκου πληροφοριών, οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν μόνο για τις ερωτήσεις του Hayling b test.

Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.12)$$

όπου n : το πλήθος των παρατηρήσεων

x_i : τιμή παρατήρησης και

\bar{x} : ο δειγματικός μέσος όρος.

Για τον υπολογισμό της κύρτωσης γίνεται εφαρμογή του τύπου:

$$kurt = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (4.13)$$

ενώ για την ασυμμετρία χρησιμοποιείται η σχέση:

$$skew = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^3} \quad (4.14)$$

Μία τέλεια Κανονική Κατανομή θα είχε μηδενική κύρτωση και ασυμμετρία, οπότε όσο πιο κοντά στο μηδέν προκύπτουν αυτές οι τιμές τόσο πιο πολύ τείνει η κατανομή των ερωτήσεων στην Κανονική Κατανομή.

4.3.2 Kolmogorov–Smirnov Test

Στη στατιστική, το test Kolmogorov-Smirnov (K-S test) είναι ένα μη-παραμετρικό test για την ισότητα συνεχών, μονοδιάστατων κατανομών πιθανότητας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει ένα δείγμα με μια κατανομή πιθανότητας αναφοράς (one-sample K-S test) ή για να συγκρίνει δύο δείγματα μεταξύ τους (two-sample K-S test). Το Kolmogorov-Smirnov test εκτιμάει την απόκλιση ανάμεσα στη συνάρτηση εμπειρικής κατανομής του δείγματος και τη συνάρτηση συσσωρευτικής κατανομής της κατανομής αναφοράς ή ανάμεσα στις συναρτήσεις εμπειρικής κατανομής δύο δειγμάτων [50].

Το test Kolmogorov-Smirnov μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα και να εφαρμοστεί ως εργαλείο ελέγχου καλής προσαρμογής. Στην ειδική περίπτωση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κανονικότητας μιας κατανομής, τα δείγματα τυποποιούνται και συγκρίνονται με μία τυποποιημένη κανονική κατανομή. Ο έλεγχος κανονικότητας υπάγεται σε μια ευρύτερη οικογένεια ελέγχων η οποία είναι γνωστή ως «έλεγχοι υποθέσεων». Η διαδικασία εφαρμογής του ελέγχου έχει ως εξής:

Καταρχάς διατυπώνονται δύο υποθέσεις, η μηδενική H_0 και η εναλλακτική H_e σύμφωνα με τις οποίες:

H_0 : Η κατανομή των δεδομένων δε διαφέρει από την κανονική κατανομή.

H_e : Η κατανομή των δεδομένων διαφέρει από την κανονική κατανομή.

Για τη διεξαγωγή των ελέγχων παρατηρήσεων χρησιμοποιούνται κάποιοι μαθηματικοί τύποι οι οποίοι καλούνται ελεγχοσυναρτήσεις. Με βάση το αποτέλεσμα αυτών των συναρτήσεων, είναι δυνατό να διαπιστωθεί αν η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται ή όχι. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η μηδενική υπόθεση έγκειται στο αν τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή ή αν προέρχονται από ένα πληθυσμό που ακολουθεί την Κανονική Κατανομή. Η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι τα δεδομένα δεν ακολουθούν Κανονική Κατανομή. Έστω ότι n παρατηρήσεις από μια τυχαία μεταβλητή Y όπου οι τιμές y_1, \dots, y_n επαναλαμβάνονται αντίστοιχα με συχνότητες f_1, \dots, f_n . Το ζητούμενο κριτήριο που εφαρμόζει ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov (K-S Test) είναι ότι η μέγιστη απόσταση D_n των παρατηρήσεων από το μέσο της κατανομής δεν πρέπει να ξεπερνάει ένα επίπεδο σημαντικότητας. Το επίπεδο αυτό καθορίζεται από μια περιοχή μεγέθους α και υπολογίζεται από ειδικούς πίνακες που υπάρχουν για τον έλεγχο του κριτηρίου Kolmogorov-Smirnov και θέτουν την κρίσιμη τιμή $D_{\alpha, n}$, ανάλογα με το n και το α κάθε φορά. Αν η διασπορά των συχνοτήτων f_i είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το μέσο της Κανονικής Κατανομής, τότε αυξάνει σημαντικά και η πιθανότητα το σύνολο του πληθυσμού να ξεφεύγει από το πρότυπο της Κανονικής Κατανομής. Η τιμή D_n υπολογίζεται από τη σχέση:

$$D_n = \max |F_n(y) - F_0(y)| \quad (4.15)$$

όπου

$F_n(y)$: η σχετική αθροιστική συχνότητα του δείγματος Y , δηλαδή $F_n(y) = \frac{1}{n}$

και

$F_0(y)$: η αθροιστική συνάρτηση της κατανομής της $f_0(y)$.

Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίζεται συνήθως ίσο με 5% ή 0.05. Το παρατηρηθέν επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίζεται ως η πιθανότητα η τιμή ελέγχου να πάρει μια τιμή τόσο ακραία ή περισσότερο ακραία από αυτή που πήρε στο συγκεκριμένο δείγμα κάτω από τη μηδενική υπόθεση. Αν η p-value έχει τιμή μικρότερη του 0.05 τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και συνεπώς η κατανομή του δείγματος δεν προσεγγίζει την κανονική. Αντίθετα, αν η p-value είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0.05 τότε η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται και συμπεραίνεται ότι η κατανομή τείνει να είναι κανονική [51].

Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov θεωρείται πιο κατάλληλος, σε σχέση με άλλους ελέγχους, για μικρά δείγματα και εμφανίζει συνήθως μεγαλύτερη ικανότητα απόρριψης μιας λανθασμένης υπόθεσης.

Στη φάση αυτή, γίνεται έλεγχος για το εάν οι ενέργειες των 30 ερωτήσεων προσεγγίζουν την Κανονική Κατανομή. Για το σκοπό αυτό τα δεδομένα υποβάλλονται σε test κανονικότητας Kolmogorov-Smirnov με επίπεδο σημαντικότητας 5%. Ο έλεγχος γίνεται για τις ερωτήσεις ανά άτομο και ανά ηλεκτρόδιο.

4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Επειδή διαπιστώθηκε ότι η κατανομή των ερωτήσεων δεν προσέγγιζε ικανοποιητικά την κανονική, τόσο μέσω του test Kolmogorov-Smirnov καθώς και μέσω του υπολογισμού των στατιστικών μεγεθών (κύρτωση, ασυμμετρία) των οποίων οι τιμές δεν ήταν αντιπροσωπευτικές της Κανονικής Κατανομής, στο σημείο αυτό γίνεται επεξεργασία των παρατηρήσεων έτσι ώστε τελικά να επιβεβαιωθεί το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα που θέλει τις ανεξάρτητες παρατηρήσεις να ακολουθούν κατά προσέγγιση Κανονική Κατανομή.

Με χρήση Γενετικών Αλγορίθμων υπολογίστηκαν κατάλληλα βάρη, έτσι ώστε να επιτευχθεί στάθμιση των αρχικών δεδομένων και να μετατραπεί η κατανομή τους σε κανονική. Για τον σκοπό αυτό υλοποιήθηκε κώδικας σε περιβάλλον Matlab ο οποίος καλούσε έναν Γενετικό Αλγόριθμο μέσω του εργαλείου `optimtool`. Η αντικειμενική συνάρτηση που ο αλγόριθμος καλούνταν να ελαχιστοποιήσει είχε ως όρους την κύρτωση, την ασυμμετρία και το άθροισμα των βαρών. Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό αυτών των μεγεθών τροποποιήθηκαν με

κατάλληλο τρόπο καθώς έπρεπε να ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση των βαρών στα δεδομένα.

Καταρχάς, για την περίπτωση του μέσου όρου έγινε χρήση του **σταθμισμένου μέσου όρου** εφόσον αφορούσε σταθμισμένα δεδομένα και όχι τα αρχικά. Ο συγκεκριμένος τύπος είναι ανάλογος του αριθμητικού μέσου όρου και βρίσκει εφαρμογές σε διάφορες περιπτώσεις. Αναλυτικότερα, έστω το μη κενό σύνολο n δεδομένων [52]:

$$\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

Με αντίστοιχα μη αρνητικά βάρη:

$$\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

Τότε ο σταθμισμένος μέσος περιγράφεται από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$\bar{x}_{weighted} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4.16)$$

Είναι δηλαδή:

$$\bar{x}_{weighted} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (4.17)$$

Αυτός είναι και ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε στον κώδικα που υλοποιήθηκε. Έτσι, τα δεδομένα με υψηλή τιμή βάρους συμμετέχουν «περισσότερο» στον υπολογισμό του σταθμισμένου μέσου όρου από ότι εκείνα με χαμηλότερη τιμή.

Επιπλέον λόγω της στάθμισης των δεδομένων με βάρη, στον κώδικα της Matlab αλλάζουν οι τύποι υπολογισμού και άλλων βασικών στατιστικών παραμέτρων που αφορούν σταθμισμένα πλέον δεδομένα.

• **Τυπική απόκλιση:**

$$\sigma_{weighted} = \frac{1}{M-1} \sqrt{\left(w_i x_i - \bar{x}_{weighted} \right)^2} \quad (4.18)$$

• **Κύρτωση:**

$$kurt_{weighted} = \left\{ \frac{M(M+1)}{(M-1)(M-2)(M-3)} \sum_{i=1}^M \left(\frac{w_i x_i - \bar{x}_{weighted}}{\sigma_{weighted}} \right)^4 \right\} - \frac{3(M-1)^2}{(M-2)(M-3)} \quad (4.19)$$

• **Ασυμμετρία:**

$$skew_{weighted} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (w_i x_i - \bar{x}_{weighted})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (w_i x_i - \bar{x}_{weighted})^2} \right\}^3} \quad (4.20)$$

Όπου $M = \sum_{i=1}^n w_i$ το άθροισμα των βαρών

Τόσο για την κύρτωση όσο και για την ασυμμετρία επιθυμητή τιμή αποτελεί το μηδέν καθώς είναι η ιδανική τιμή για τα μεγέθη αυτά στην περίπτωση της Κανονικής Κατανομής.

Για το άθροισμα των βαρών υπήρχε ως περιορισμός η τιμή του να προσεγγίζει τον αριθμό των στοιχείων του δείγματος, δηλαδή έπρεπε να κυμαίνεται γύρω από την τιμή 30. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το μέγεθος αυτό αντικαθιστά τον όρο που αντιστοιχεί στο πλήθος των δεδομένων στους τύπους των παραπάνω στατιστικών μεγεθών.

Η εκτέλεση των αλγορίθμων εφαρμόστηκε για κάθε ένα από τα 55 άτομα που συμμετείχαν στην διαδικασία 32 φορές, μία για κάθε ηλεκτρόδιο. Κάθε φορά προέκυπταν 30 τιμές βαρών που αφορούσαν την αντιστάθμιση των ενεργειών των 30 ερωτήσεων του Hayling test. Το κριτήριο τερματισμού του αλγορίθμου αποτελούσε η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ή ο αριθμός των γενεών που τέθηκε στις 300. Επιπλέον, τα όρια για τις προκύπτουσες τιμές των βαρών τέθηκαν από 0,1 έως 2. Στις περιπτώσεις που η τιμή της συνάρτησης δεν ήταν μικρότερη ή ίση της τάξης του 10^{-3} η διαδικασία επαναλαμβανόταν. Μετά από επιτυχημένη εκτέλεση του αλγορίθμου καταγράφονταν οι προκύπτουσες τιμές των βαρών καθώς και η τιμή του αθροίσματος. Ωστόσο δεν ήταν λίγες οι φορές που παρά τις πολλές επαναλήψεις του αλγορίθμου, δεν ήταν δυνατή η επίτευξη χαμηλής τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ακόμα και τιμές της τάξης του 10^3 . Στις καταστάσεις αυτές καταγράφονταν τα βάρη που προέκυπταν στην περίπτωση της μικρότερης δυνατής τιμής της συνάρτησης. Τελικά για κάθε ένα από τα άτομα προέκυψε ένας πίνακας με 32 γραμμές και 30 στήλες.

4.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

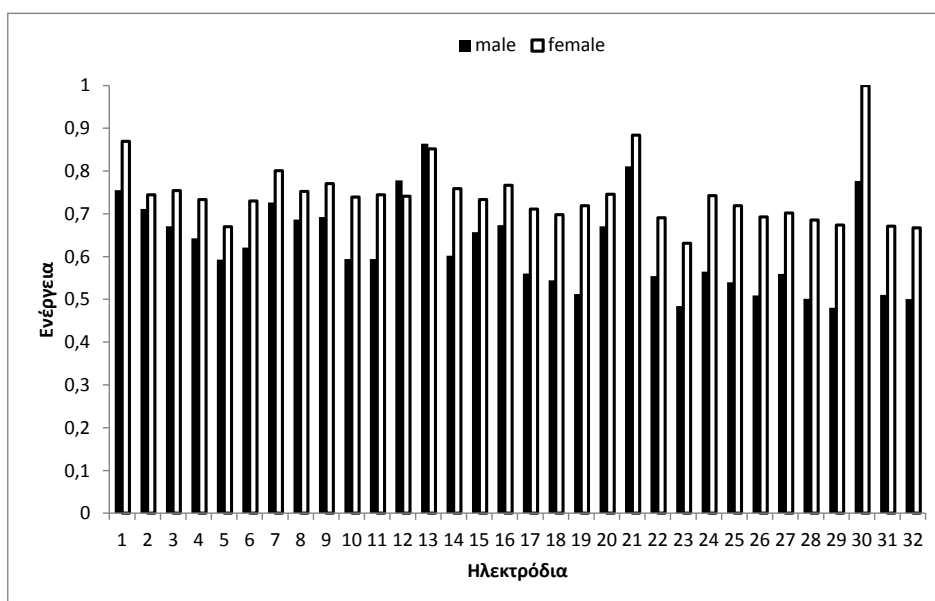
Στη συνέχεια, πολλαπλασιάστηκαν τα βάρη που προέκυψαν για την ενέργεια κάθε ερώτησης με την εκτέλεση των Γενετικών Αλγορίθμων, με την τιμή της ενέργειας και δημιουργήθηκαν με αυτόν τον τρόπο νέοι πίνακες για κάθε Hayling b test σε κάθε εξεταζόμενο. Οι νέοι αυτοί πίνακες περιλαμβάνουν και πάλι τιμές ενέργειας ανά ηλεκτρόδιο και ανά ερώτηση αλλά αυτή τη φορά οι τιμές της ενέργειας είναι σταθμισμένες με τα βάρη που υπολογίσθηκαν από τους γενετικούς κώδικες (weighted data). Στα σταθμισμένα αυτά δεδομένα εφαρμόστηκε η ίδια ακριβώς στατιστική επεξεργασία που εφαρμόστηκε και στα αρχικά δεδομένα ενέργειας (raw data). Υπολογίσθηκαν δηλαδή μέσω του Excel εκ νέου η τυπική απόκλιση (standard deviation), η κύρτωση (kurtosis) και η ασυμμετρία (skewness) των ερωτήσεων, χρησιμοποιώντας τους ίδιους τύπους που χρησιμοποιήθηκαν και στα αρχικά δεδομένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Μετά την επεξεργασία που παρουσιάστηκε, στο παρόν κεφάλαιο ακολουθεί η απεικόνιση μέσω γραφημάτων των αποτελεσμάτων που προέκυψαν και η εξαγωγή πιθανών συμπερασμάτων.

5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΕΓ ΚΑΙ ΗΜΓ

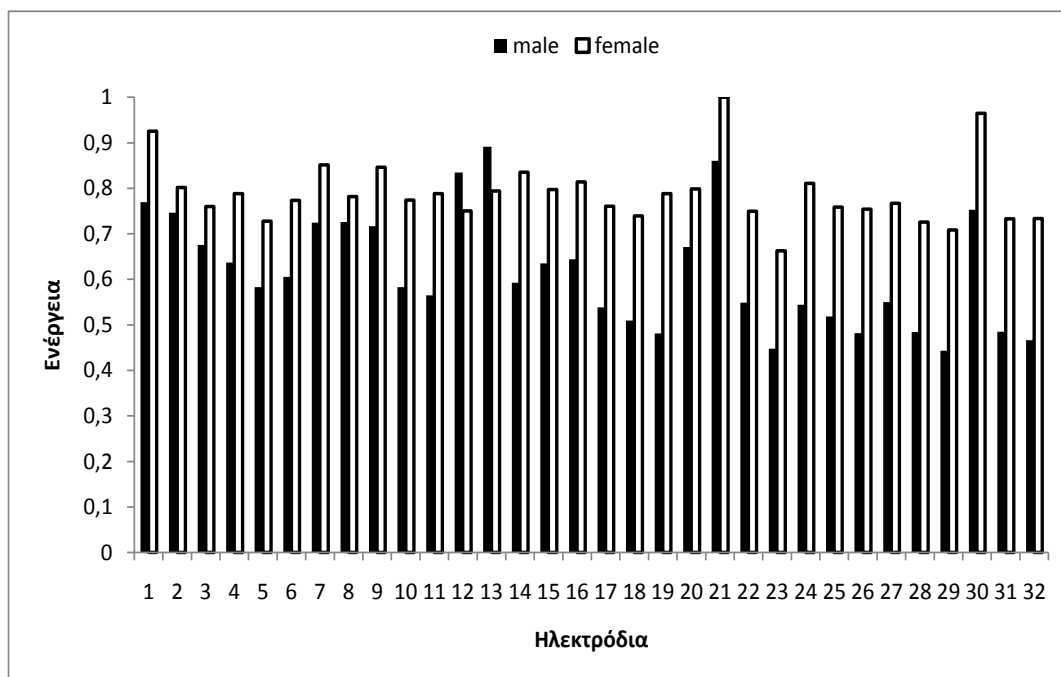
Όπως έχει αναφερθεί, με τον υπολογισμό της ενέργειας των ηλεκτροδίων σε κάθε ερώτηση για τα αρχικά δεδομένα, δημιουργήθηκε για κάθε άνθρωπο ένας πίνακας. Υπολογίζοντας αρχικά τον μέσο όρο των ενεργειών των ηλεκτροδίων από όλες τις ερωτήσεις και στη συνέχεια για όλα τα άτομα, απεικονίζεται η ενέργεια για όλα τα ηλεκτρόδια ξεχωριστά για άντρες και γυναίκες στο κανονικοποιημένο Ραβδόγραμμα της Εικόνας 5.1. Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι τα ηλεκτρόδια 12 και 21 αντιστοιχούν στα αυτιά ενώ τα ηλεκτρόδια 2,13,20,30 τοποθετήθηκαν στο πρόσωπο.



Εικόνα 5. 1: Ραβδόγραμμα συνολικής ενέργειας αντρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο των αρχικών δεδομένων.

Αυτό που αξίζει να παρατηρηθεί είναι ότι οι τιμές των ενεργειών στις γυναίκες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές στους άντρες για την πλειονότητα των ηλεκτροδίων. Η διαφορά αυτή δεν παρατηρείται στα ηλεκτρόδια 12 και 13 στα οποία η τιμή της ενέργειας στην περίπτωση των αντρών είναι μεγαλύτερη

από αυτή των γυναικών. Στο επόμενο στάδιο ελέγχθηκε εάν το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στα σταθμισμένα δεδομένα μέσω του Ραβδογράμματος στην Εικόνα 5.2. Όπως διαπιστώνεται τα αποτελέσματα είναι ακριβώς ανάλογα με αυτά των αρχικών δεδομένων και μάλιστα η παρατήρηση ότι οι γυναίκες εμφανίζουν μεγαλύτερη ενέργεια από τους άντρες γίνεται πιο εμφανής.



Εικόνα 5. 2: Ραβδόγραμμα συνολικής ενέργειας αντρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο των σταθμισμένων δεδομένων.

5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

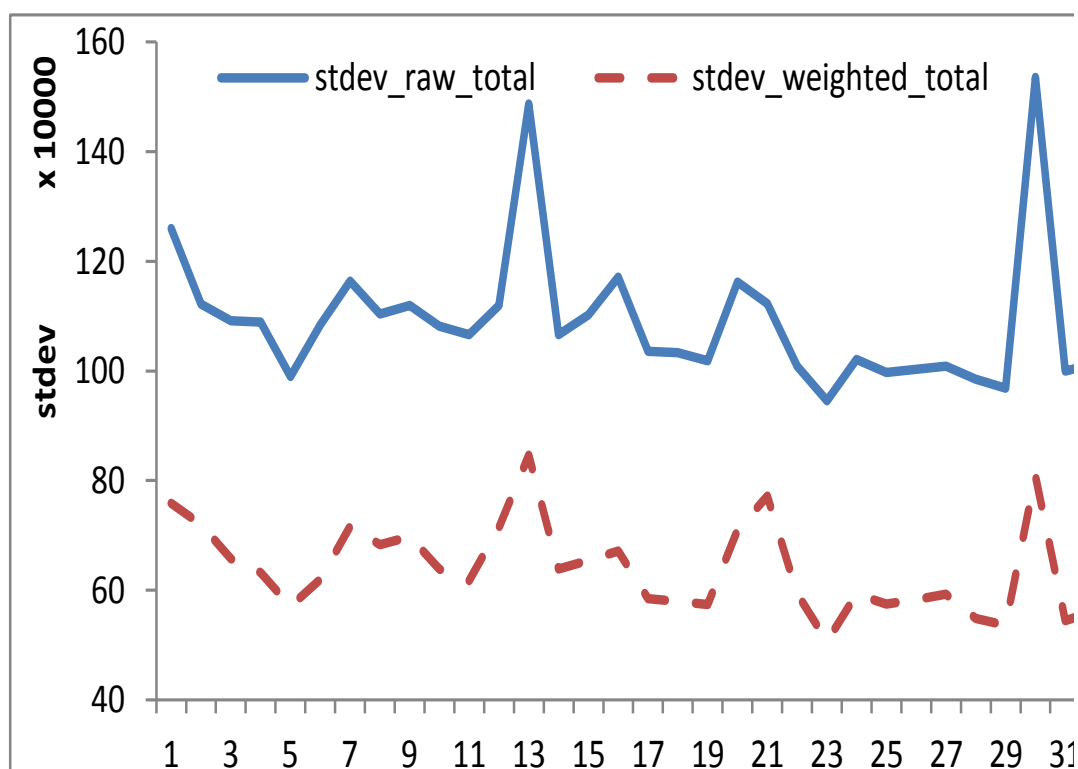
5.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Σε προηγούμενο στάδιο της επεξεργασίας πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί στατιστικών μεγεθών για τα δεδομένα πριν και μετά την στάθμισή τους με βάρη. Τα μεγέθη αυτά ήταν η τυπική απόκλιση (standard deviation), η κύρτωση (kurtosis) και η ασυμμετρία (skewness). Στη συνέχεια της επεξεργασίας έγινε έλεγχος της συμπεριφοράς αυτών των μεγεθών μέσω διαγραμμάτων για να διαπιστωθεί αν τα δεδομένα προσέγγιζαν την Κανονική Κατανομή. Για την παρουσίαση όλων αυτών των αποτελεσμάτων κατασκευάστηκαν διαγράμματα στα οποία παρουσιάζεται η

συμπεριφορά των ερωτήσεων πριν και μετά την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων.

5.2.1.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΥΠΙΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ

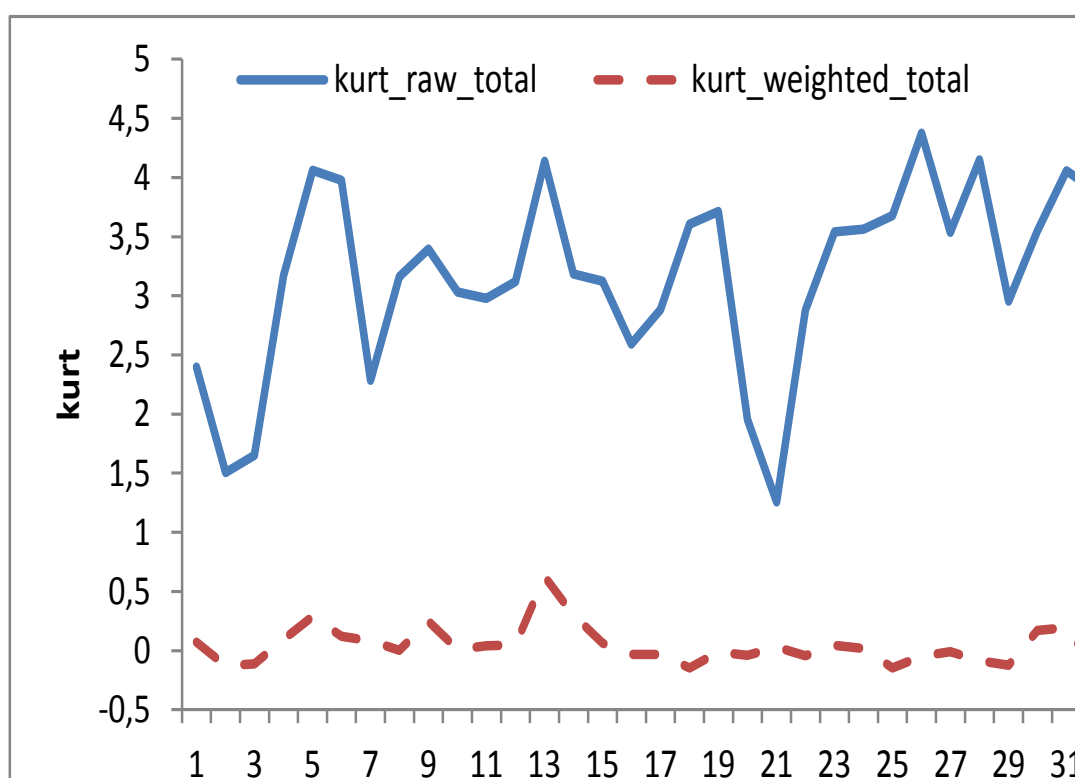
Ο μέσος όρος της τυπικής απόκλισης των δεδομένων για όλα τα άτομα ανά ηλεκτρόδιο απεικονίζεται στο διάγραμμα 5.3. Με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η τυπική απόκλιση των ερωτήσεων για κάθε ηλεκτρόδιο για τα σταθμισμένα δεδομένα ενώ με συνεχή γραμμή για τα αρχικά. Εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η τυπική απόκλιση στην περίπτωση των σταθμισμένων δεδομένων είναι μικρότερη από εκείνη των αρχικών σε όλα τα ηλεκτρόδια. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η κατανομή των σταθμισμένων μετρήσεων προσεγγίζει την Κανονική Κατανομή αφού είναι γνωστό ότι όσο μία κατανομή τείνει να γίνει κανονική, η τιμή της τυπικής απόκλισης μειώνεται [53].



Εικόνα 5. 3: Συγκριτικό διάγραμμα τυπικής απόκλισης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για όλα τα άτομα συνολικά.

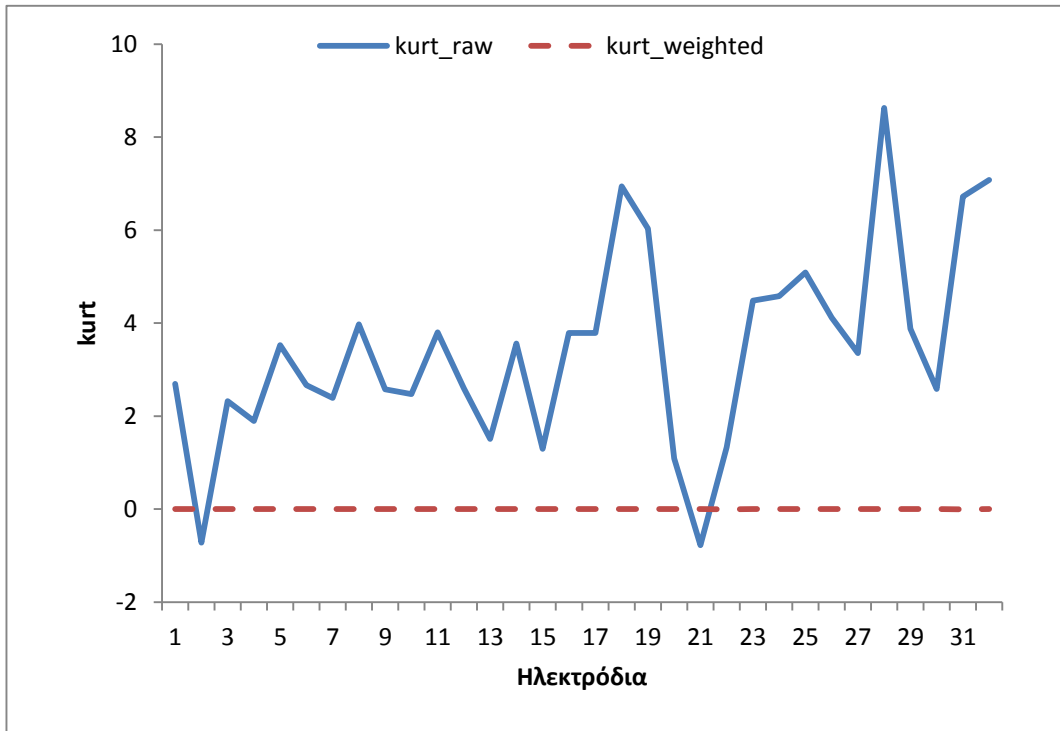
5.2.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΥΡΤΩΣΗΣ

Ο μέσος όρος της κύρτωσης των δεδομένων για όλα τα άτομα ανά ηλεκτρόδιο απεικονίζεται στο διάγραμμα 5.10. Με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η κύρτωση των ερωτήσεων για κάθε ηλεκτρόδιο για τα σταθμισμένα δεδομένα ενώ με συνεχή γραμμή για τα αρχικά. Παρατηρείται ότι η τιμή της κύρτωσης-καθοριστικός παράγοντας για την στατιστική ανάλυση μίας κατανομής-πριν την στάθμιση των δεδομένων αποκλίνει σημαντικά από το μηδέν ενώ μετά την εφαρμογή των Γενετικών Αλγορίθμων στα δεδομένα εμφανίζει τιμές γύρω από τη μηδενική. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στη θεωρία το μηδέν αποτελεί την ιδανική τιμή για το μέγεθος της κύρτωσης στην περίπτωση της Κανονικής Κατανομής.

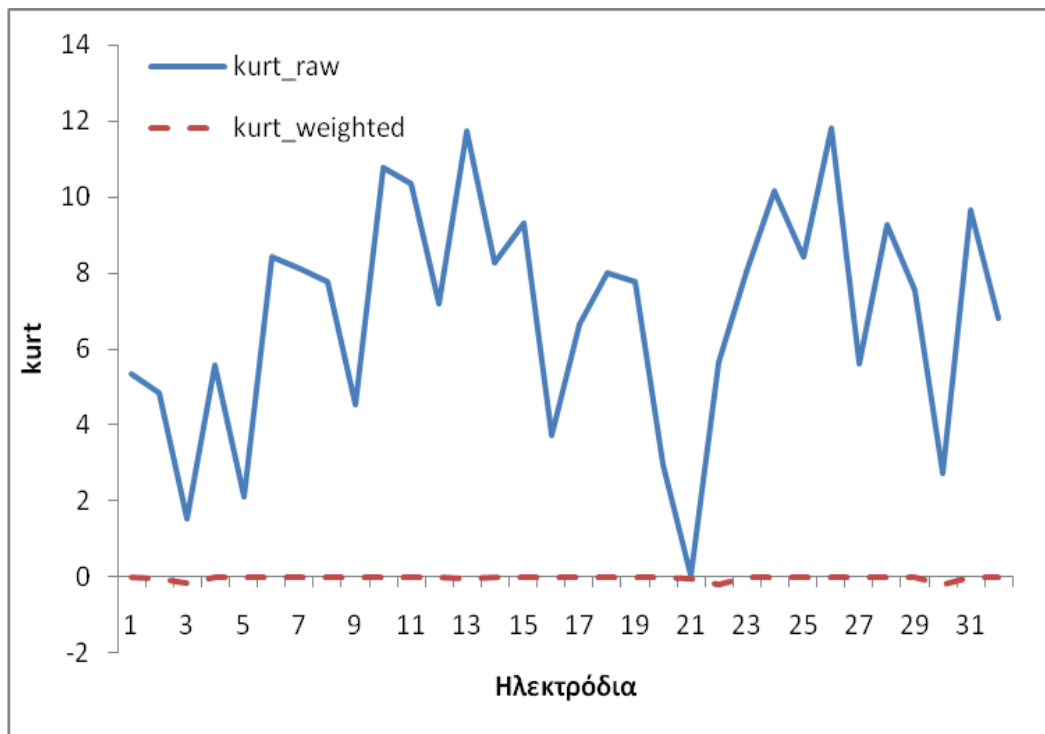


Εικόνα 5. 4: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για όλα τα άτομα συνολικά.

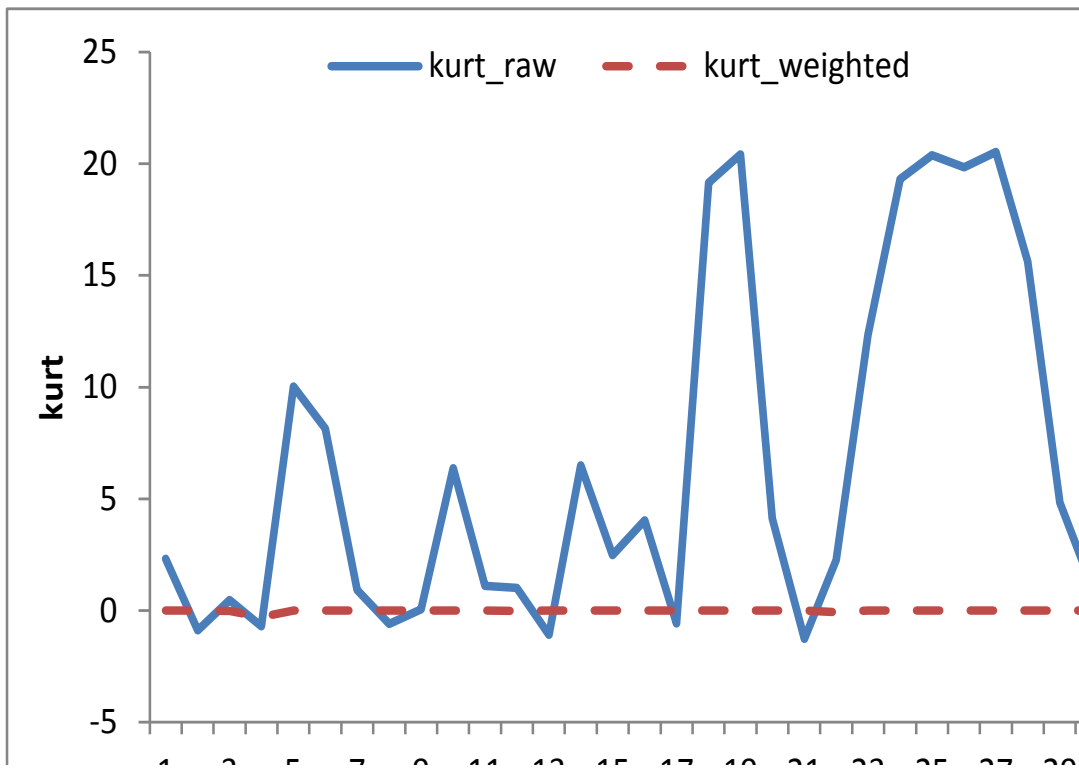
Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγεί και η παρατήρηση της συμπεριφοράς της κύρτωσης για ένα μεμονωμένο άτομο. Ακολουθεί η ενδεικτική αναπαράσταση της κύρτωσης των δεδομένων σε διπλά διαγράμματα, κάθε ένα εκ των οποίων αντιστοιχεί σε 32 ηλεκτρόδια ενός τυχαία επιλεγμένου ατόμου.



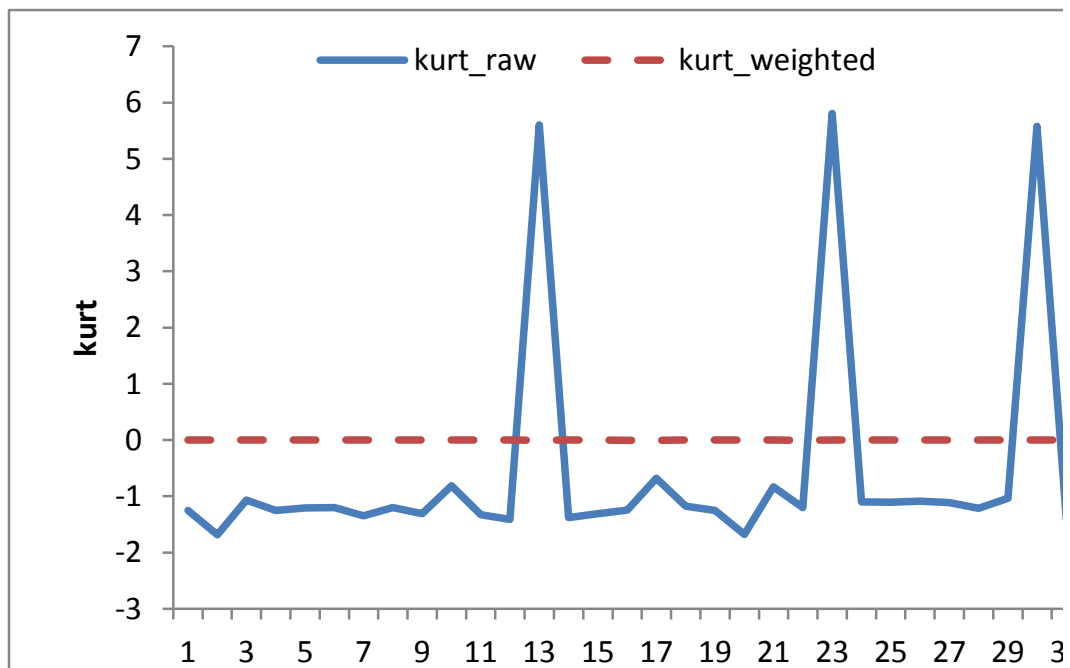
Εικόνα 5. 5: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #1.



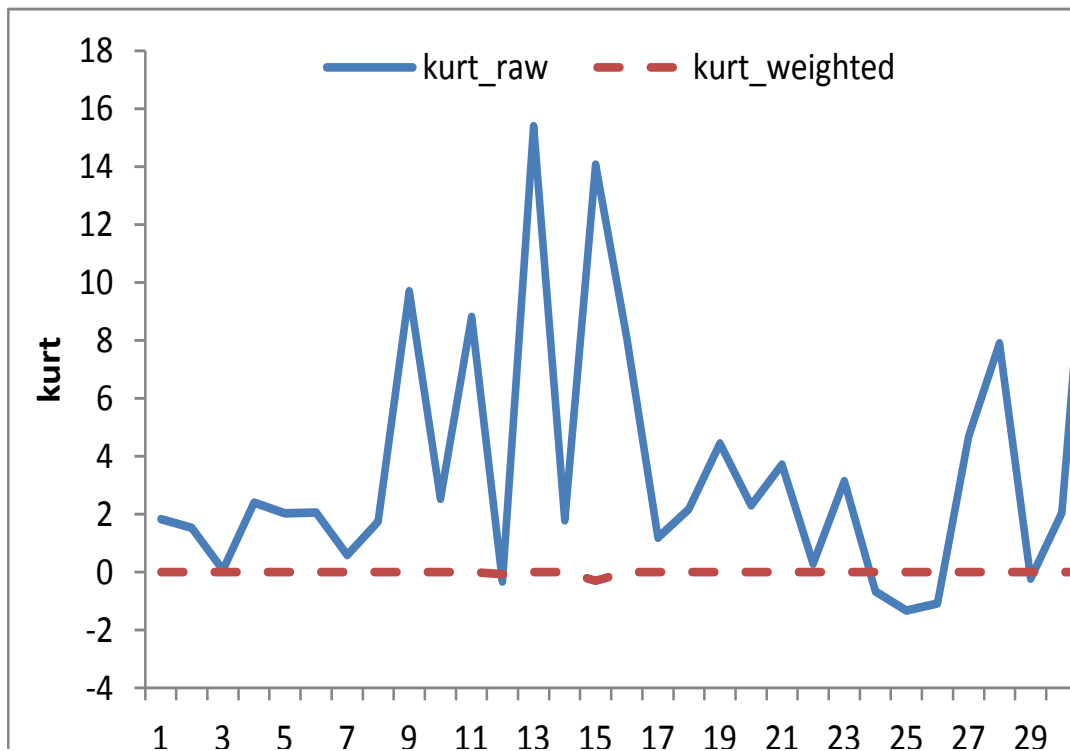
Εικόνα 5. 6: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #2.



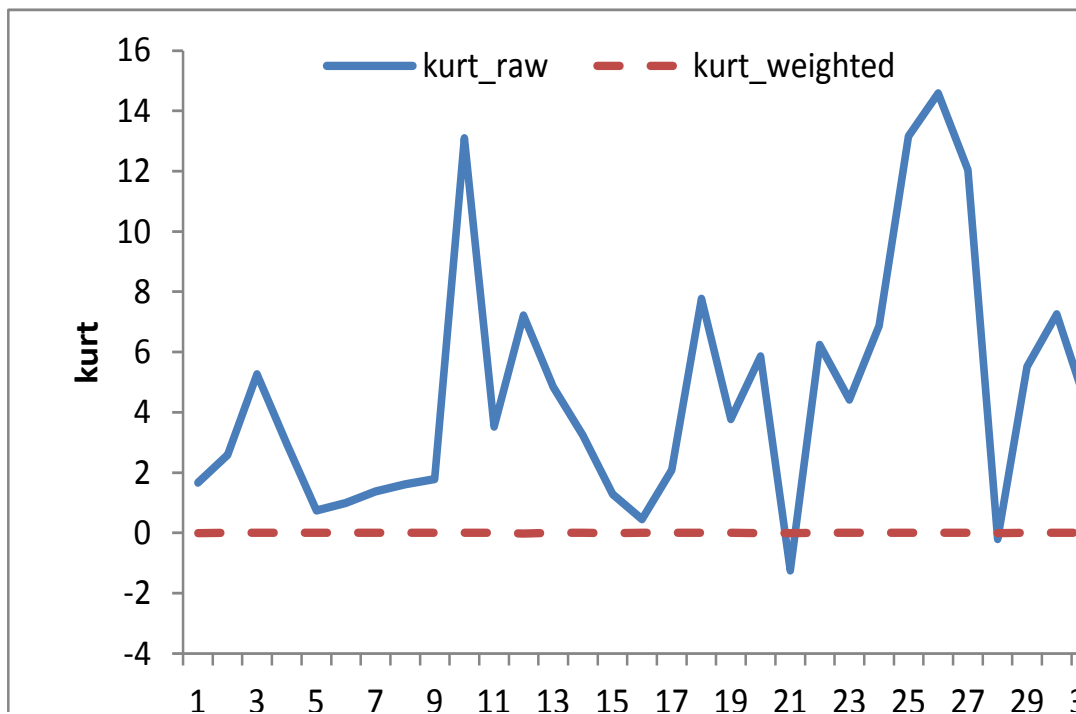
Εικόνα 5. 7: Συγκριτικό διάγραμμα κέρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #3.



Εικόνα 5. 8: Συγκριτικό διάγραμμα κέρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #4.



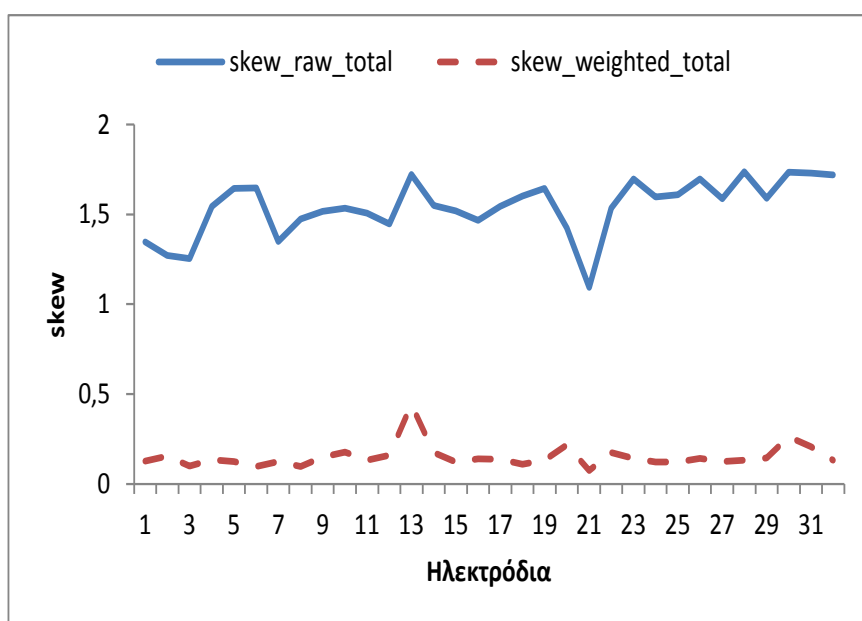
Εικόνα 5. 9: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #5.



Εικόνα 5. 10: Συγκριτικό διάγραμμα κύρτωσης αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #6.

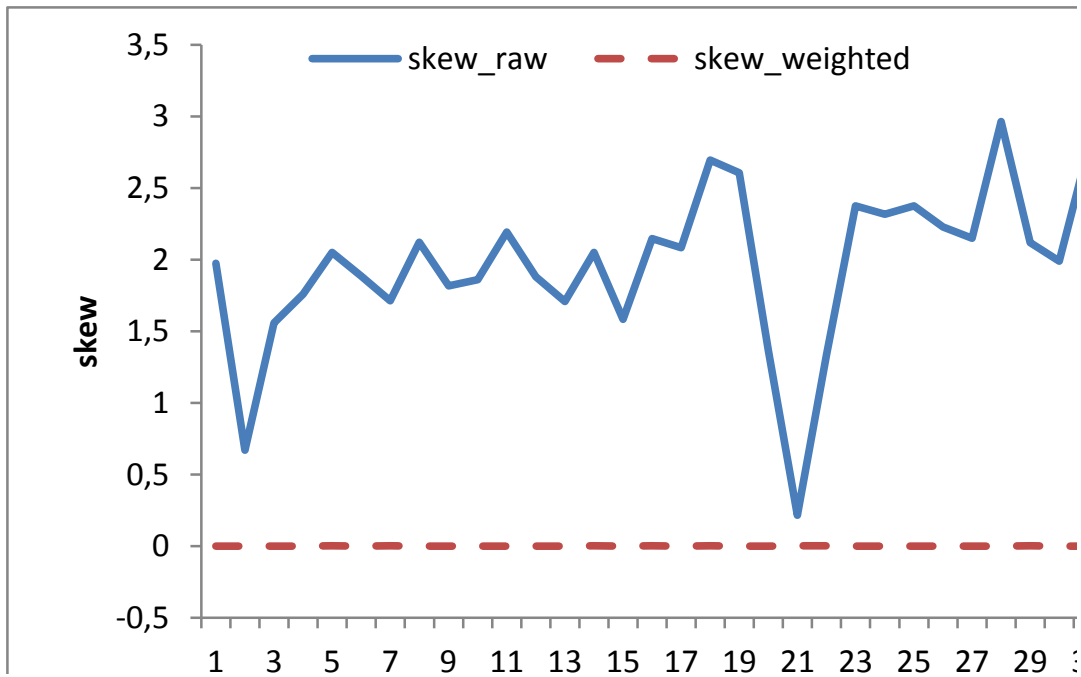
5.2.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ

Ο μέσος όρος της ασυμμετρίας των δεδομένων για όλα τα άτομα ανά ηλεκτρόδιο απεικονίζεται στην Εικόνα 5.11. Με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η ασυμμετρία των ερωτήσεων για κάθε ηλεκτρόδιο για τα σταθμισμένα δεδομένα ενώ με συνεχή γραμμή για τα αρχικά. Παρατηρείται ότι η τιμή της ασυμμετρίας-καθοριστικός παράγοντας για την στατιστική ανάλυση μίας κατανομής-πριν την στάθμιση των δεδομένων αποκλίνει σημαντικά από το μηδέν ενώ μετά την εφαρμογή των Γενετικών Αλγορίθμων εμφανίζει τιμές γύρω από τη μηδενική. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στη θεωρία το μηδέν αποτελεί την ιδανική τιμή για το μέγεθος της ασυμμετρίας στην περίπτωση της Κανονικής Κατανομής.

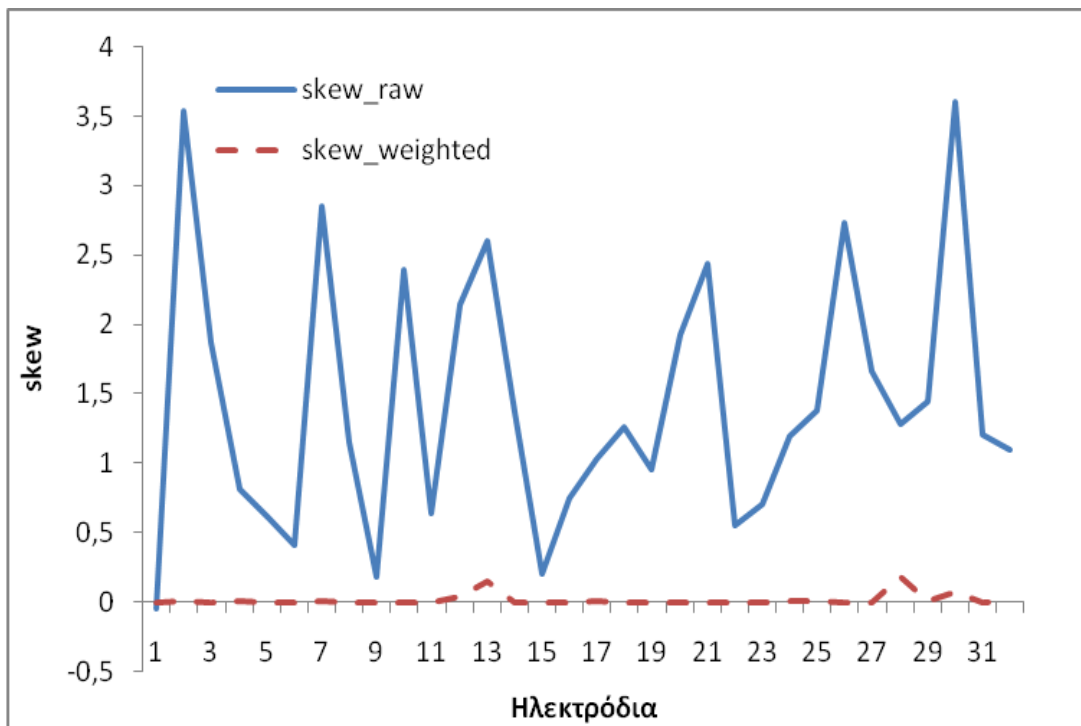


Εικόνα 5. 11: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων για όλα τα άτομα συνολικά.

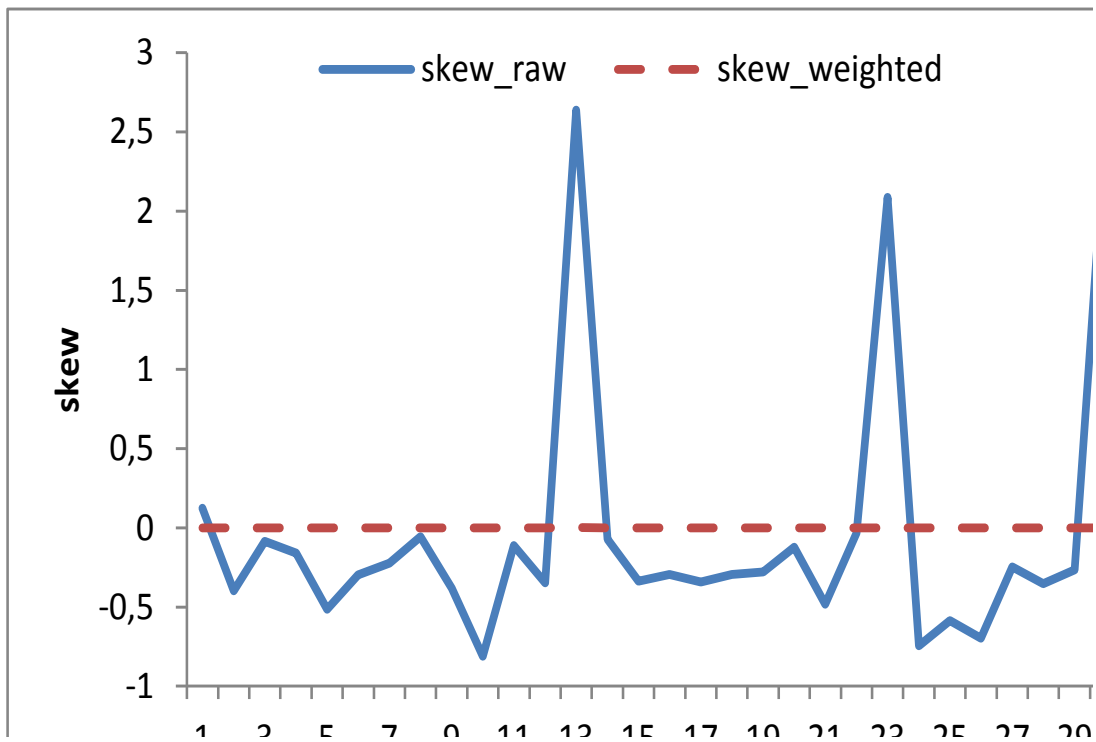
Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγεί και η παρατήρηση της συμπεριφοράς της ασυμμετρίας για ένα μεμονωμένο άτομο. Ακολουθεί η ενδεικτική αναπαράσταση της ασυμμετρίας των δεδομένων σε διπλά διαγράμματα, κάθε ένα εκ των οποίων αντιστοιχεί σε 32 ηλεκτρόδια ενός τυχαία επιλεγμένου ατόμου.



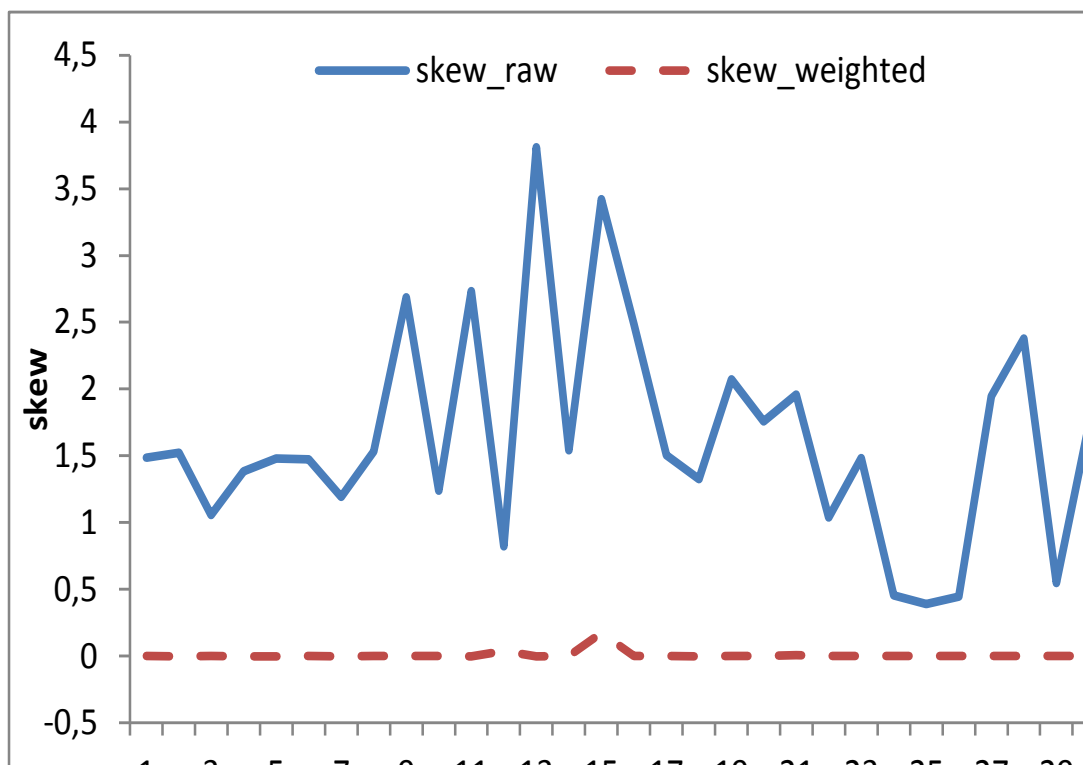
Εικόνα 5. 12: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #1.



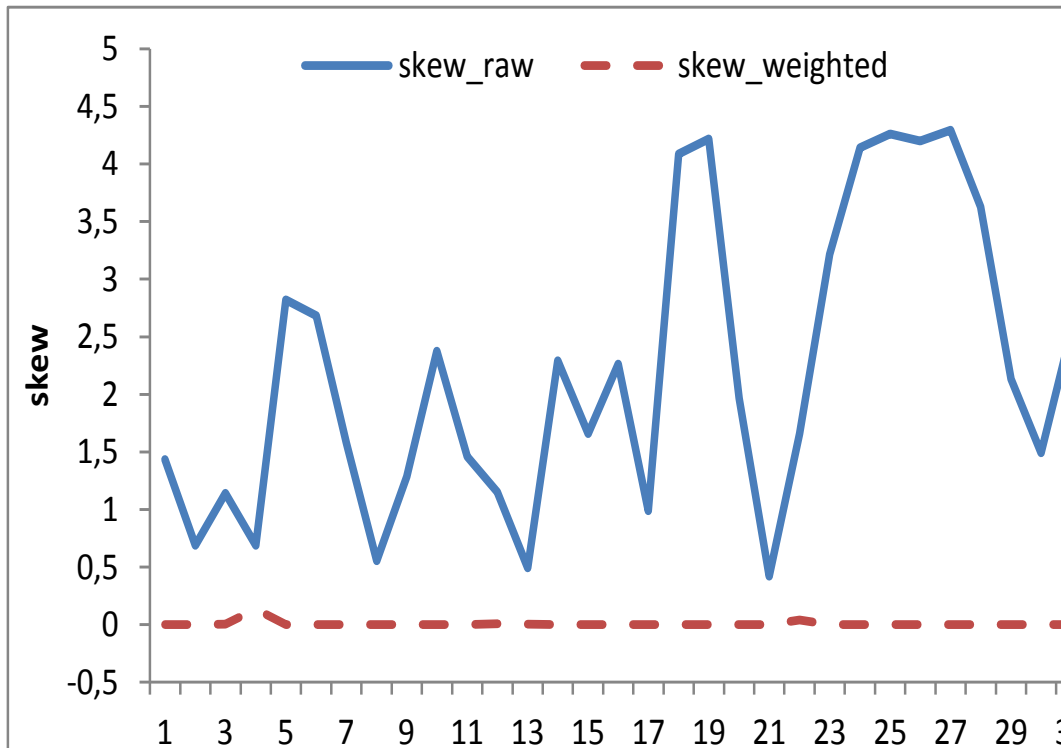
Εικόνα 5. 13: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #2.



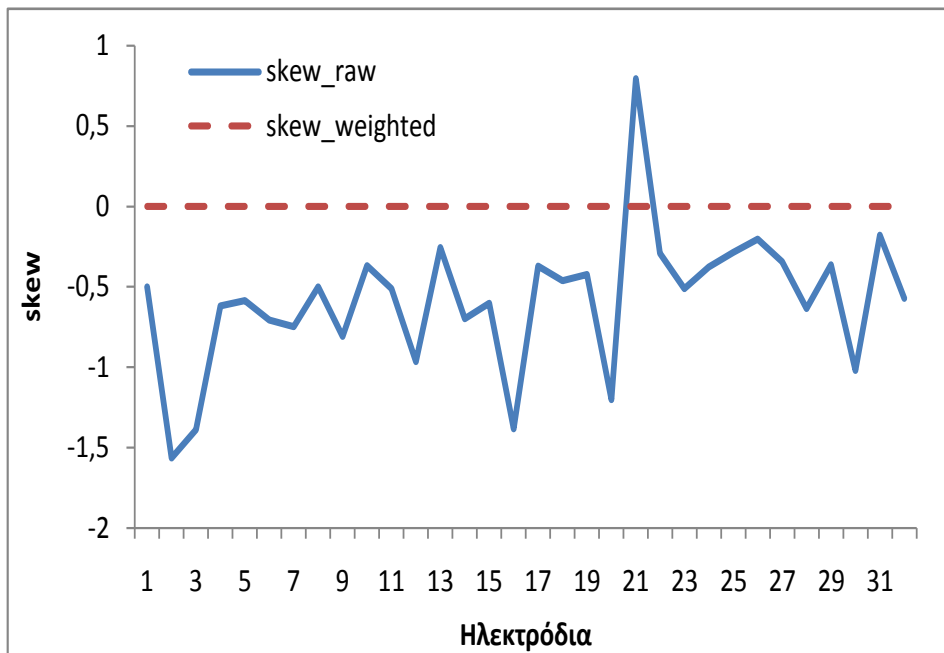
Εικόνα 5. 14: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #3.



Εικόνα 5. 15: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #4.



Εικόνα 5. 16: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #5.

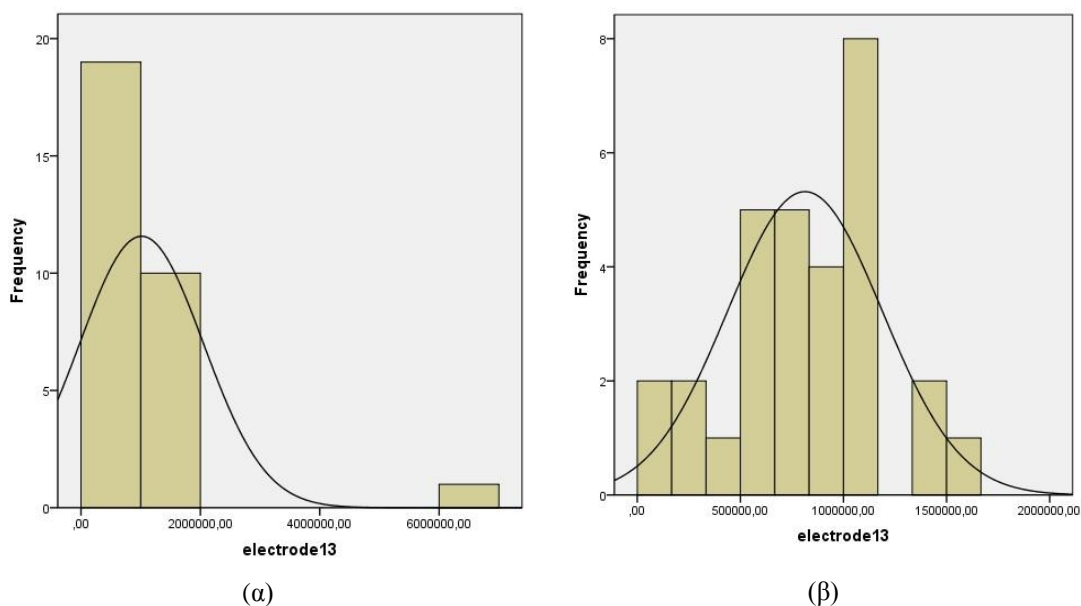


Εικόνα 5. 17: Συγκριτικό διάγραμμα ασυμμετρίας αρχικών και σταθμισμένων δεδομένων #6.

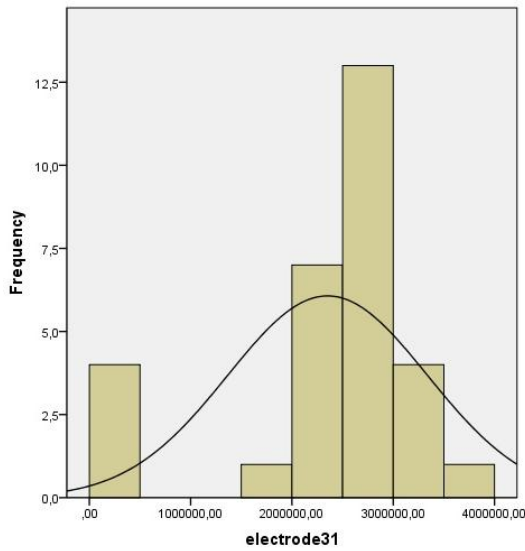
5.2.2 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Στη συνέχεια της επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε έλεγχος μέσω ιστογραμμάτων για να διαπιστωθεί αν τα δεδομένα προσέγγιζαν την Κανονική Κατανομή. Το **Ιστόγραμμα** είναι γραφική απεικόνιση στατιστικών συχνοτήτων για διάφορες περιοχές τιμών ενός μεγέθους. Σχηματίζεται από παρακείμενα ορθογώνια. Η επιφάνεια κάθε ορθογωνίου είναι μέτρο της συχνότητας εμφάνισης της συγκεκριμένης περιοχής τιμών ενώ το ύψος του ισούται με το λόγο της συχνότητας προς το εύρος των τιμών που αντιπροσωπεύει το ορθογώνιο. Οι τιμές της μεταβλητής ομαδοποιούνται και οι ομάδες διατάσσονται στον οριζόντιο άξονα κατά αύξουσα σειρά. Στη συνέχεια από κάθε ομάδα υψώνονται ορθογώνια, το ύψος των οποίων αντιστοιχεί στη συχνότητα κάθε ομάδας [54].

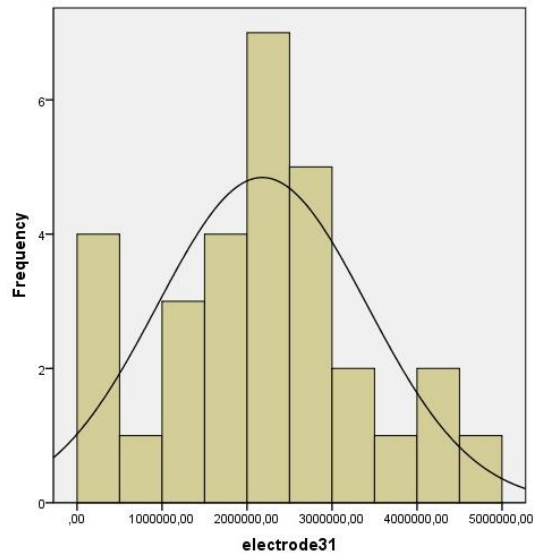
Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων κατασκευάστηκαν ιστογράμματα με ενεργοποιημένη την επιλογή εμφάνισης της κανονικής καμπύλης. Σε αυτά παρουσιάζεται η συμπεριφορά των ερωτήσεων πριν και μετά την μετατροπή των δεδομένων με βάρη μέσω των Γενετικών Αλγορίθμων. Μερικά ενδεικτικά φαίνονται στην συνέχεια.



Εικόνα 5. 18: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 13 σε ένα άτομο.

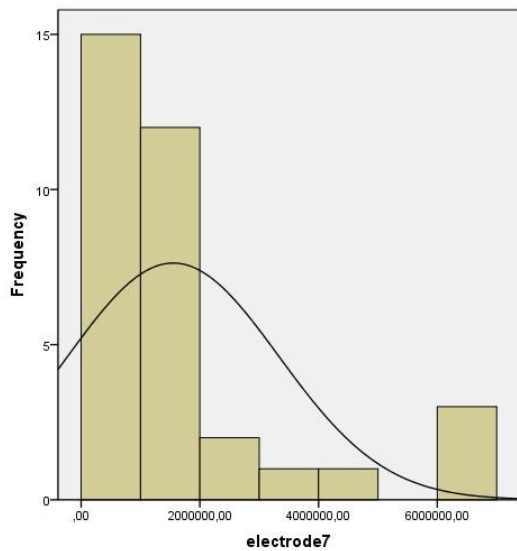


(α)

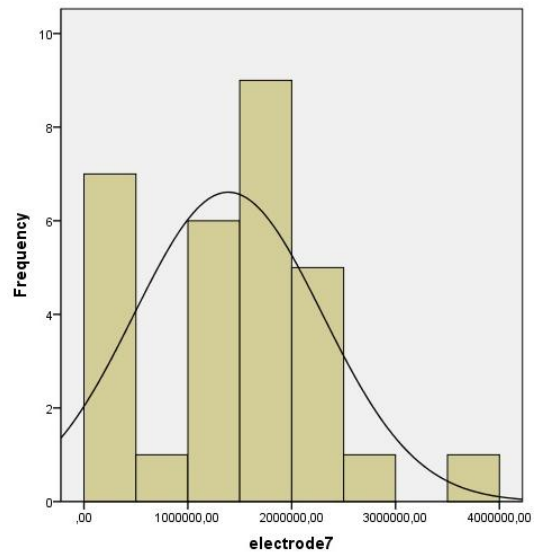


(β)

Εικόνα 5. 19: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 31 σε ένα άτομο.

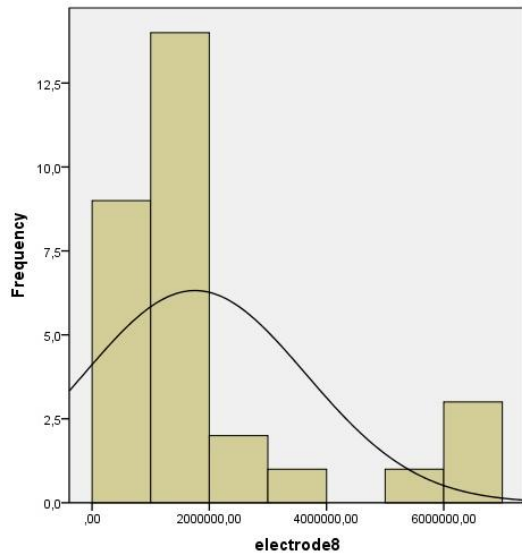


(α)

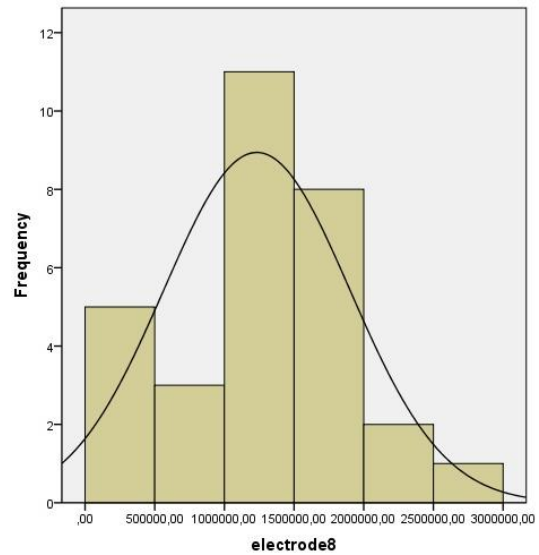


(β)

Εικόνα 5. 20: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 7 σε ένα άτομο.

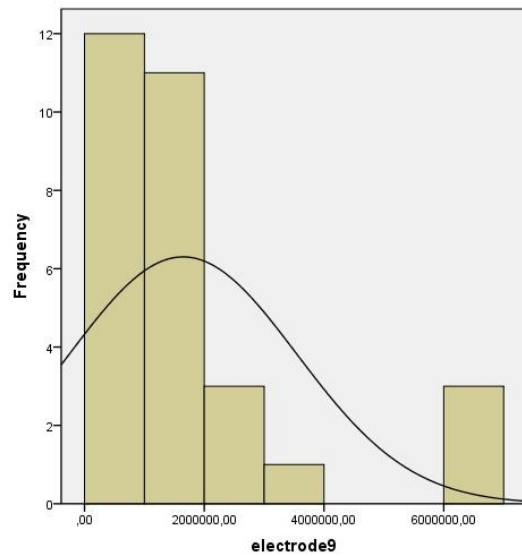


(α)

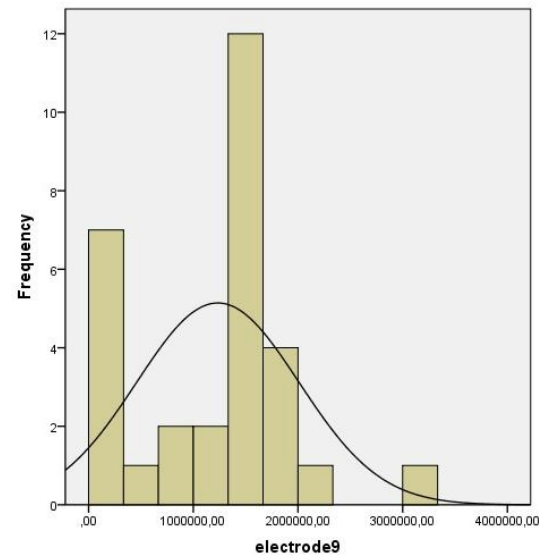


(β)

Εικόνα 5. 21: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 8 σε ένα άτομο.

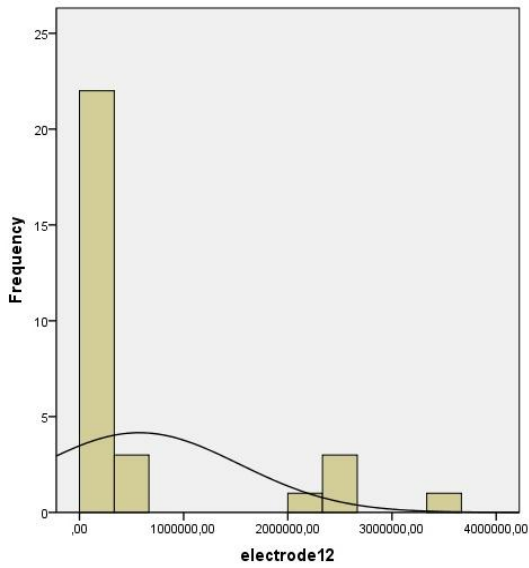


(α)

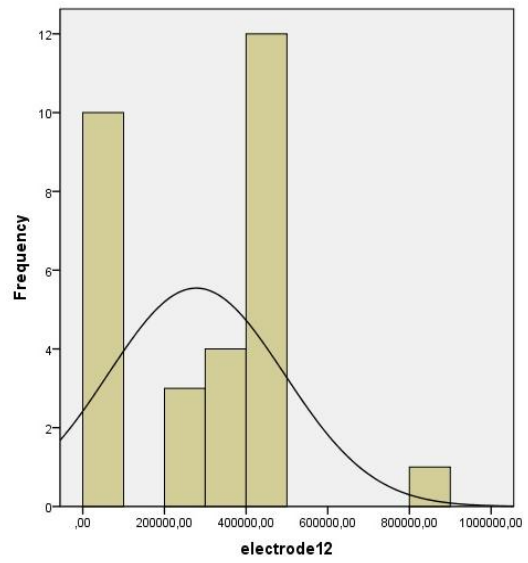


(β)

Εικόνα 5. 22: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 9 σε ένα άτομο.

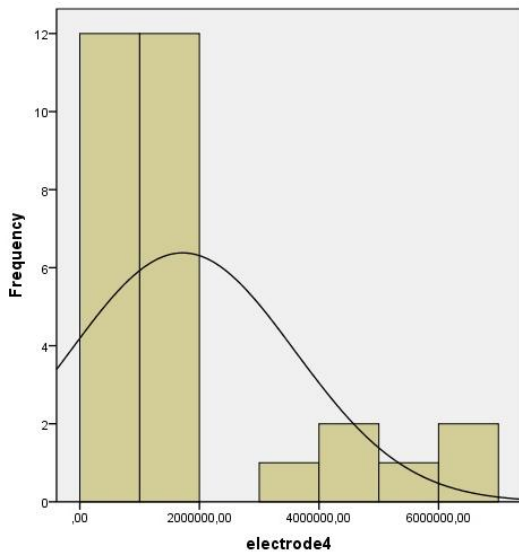


(α)

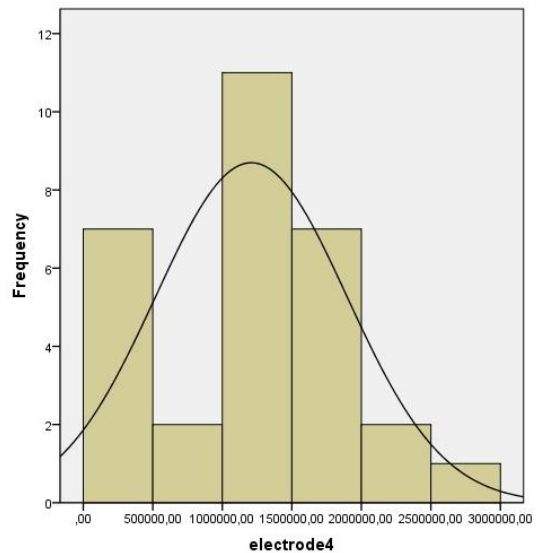


(β)

Εικόνα 5. 23: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 12 σε ένα άτομο.

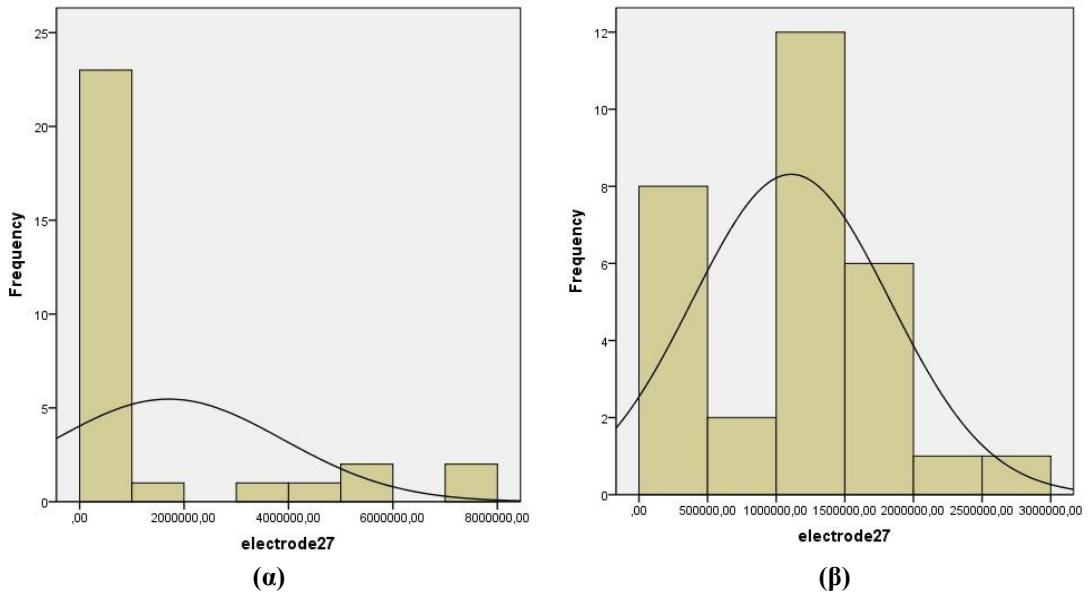


(α)

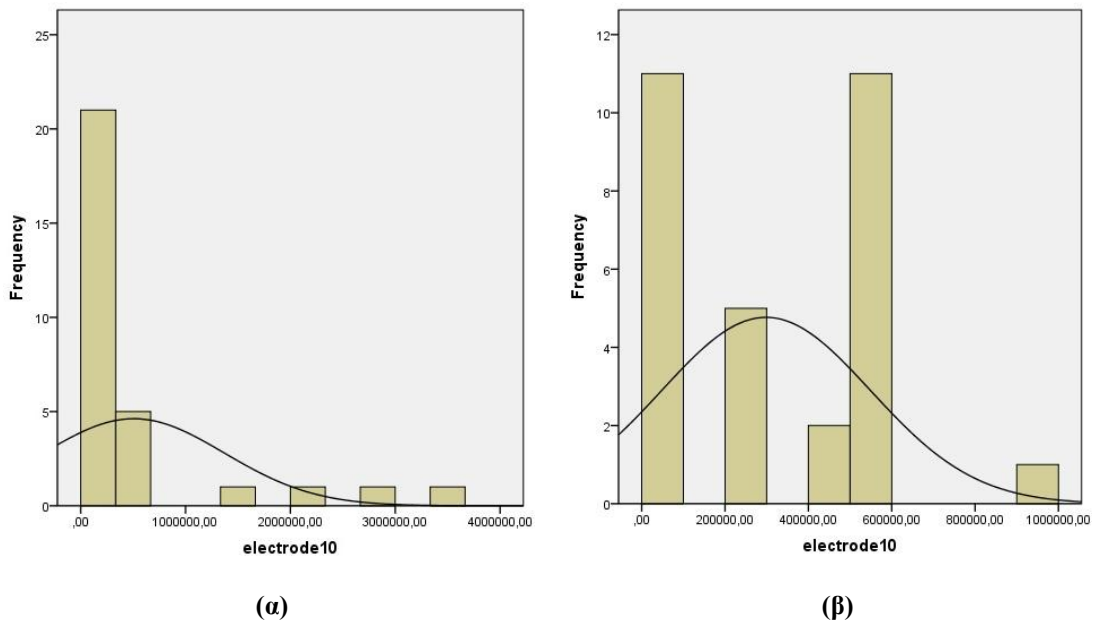


(β)

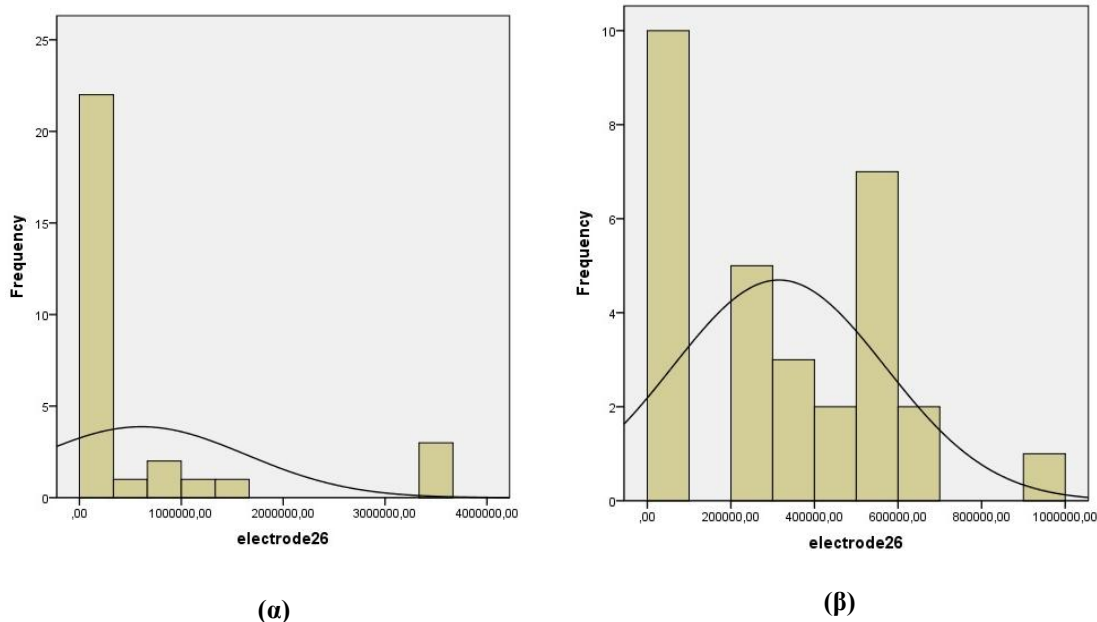
Εικόνα 5. 24: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 4 σε ένα άτομο.



Εικόνα 5. 25: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 27 σε ένα άτομο.



Εικόνα 5. 26: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 10 σε ένα άτομο.

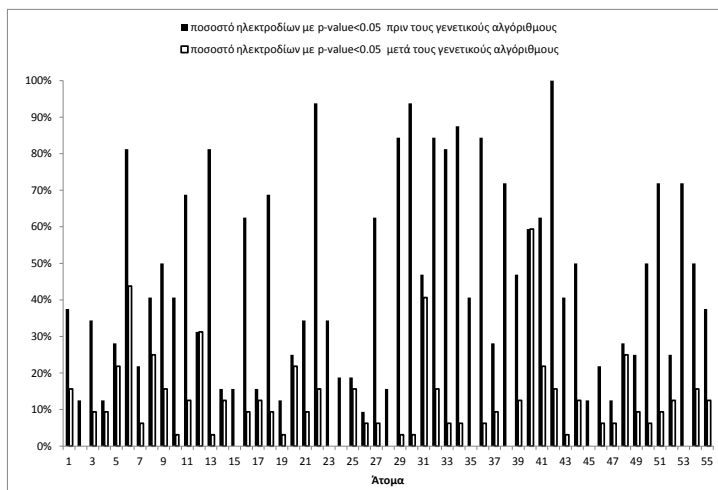


Εικόνα 5. 27: Κατανομή των ερωτήσεων πριν (α) και μετά (β) την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για το ηλεκτρόδιο 26 σε ένα άτομο.

Όπως διαπιστώνεται από τα διαγράμματα, η κατανομή των δεδομένων μετά την στάθμισή τους με βάρη, προσεγγίζει πολύ περισσότερο την κανονική από ότι η κατανομή των αρχικών. Συγκεκριμένα, η καμπύλη της θυμίζει πολύ περισσότερο την χαρακτηριστική κωδωνοειδή μορφή (καμπάνα) της Κανονικής Κατανομής. Οι παρατηρήσεις εμφανίζουν μεγαλύτερη πυκνότητα κοντά στο μέσο της κατανομής και η τιμή της τυπικής απόκλισης μειώνεται σημαντικά. Παράλληλα, όσον αφορά την συμμετρία τους παρατηρείται ότι υπάρχει εμφανής βελτίωση.

5.2.3 TEST KOLMOGOROV-SMIRNOV

Κατά τον έλεγχο των 30 ερωτήσεων ως προς το αν προσεγγίζουν την Κανονική Κατανομή, τα δεδομένα υποβλήθηκαν στο τεστ κανονικότητας Kolmogorov-Smirnov (K-S test). Το επίπεδο σημαντικότητας τέθηκε στο 5% και ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε ανά άτομο και ανά ηλεκτρόδιο. Αν η p-value είχε τιμή μεγαλύτερη του 0.05 η κατανομή έτεινε να γίνει κανονική. Στο Ραβδόγραμμα της Εικόνας 5.34 εμφανίζεται το ποσοστό των ηλεκτροδίων με p-value μικρότερη του 0.05 πριν και μετά την στάθμιση των δεδομένων μας με βάρη, για όλα τα άτομα.



Εικόνα 5. 28: Ραβδόγραμμα ποσοστών ηλεκτροδίων με $p\text{-value}<0.05$ πριν και μετά την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων για όλα τα άτομα.

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των ηλεκτροδίων με $p\text{-value}<0.05$, μεταβλητή που αποτελεί κριτήριο για το εάν η κατανομή των ερωτήσεων προσεγγίζει την κανονική, μειώθηκε σημαντικά σε όλα τα άτομα με εξαίρεση 2 άτομα στα οποία το ποσοστό αυτό παρέμεινε αμετάβλητο. Το γεγονός αυτό αποτελεί ακόμα μία απόδειξη ότι μετά την στάθμιση των δεδομένων με τη χρήση βαρών που προέκυψαν από την εφαρμογή των Γενετικών Αλγορίθμων, η κατανομή τους προσεγγίζει περισσότερο την κανονική.

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας πειραματικών δεδομένων ΗΕΓ και ΗΜΓ. Η συνηθέστερη πρακτική λήψης σημάτων ΗΕΓ που αναφέρεται στη βιβλιογραφία, προτείνει την καταγραφή τους μέσω πολλών επαναλήψεων και τελικά την εξαγωγή του μέσου όρου αυτών. Σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα που θέλει τις ανεξάρτητες παρατηρήσεις να προσεγγίζουν την Κανονική Κατανομή, αναμένεται και η κατανομή των τιμών που αντιστοιχούν σε κάθε ερώτηση να ακολουθούν την Κανονική Κατανομή.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης υπολογίστηκαν οι ενέργειες των σημάτων ΗΕΓ και ΗΜΓ από το μέσο όρο των ερωτήσεων, ξεχωριστά για τους άντρες και τις γυναίκες. Από τον υπολογισμό αυτό, διαπιστώθηκαν διαφορές στις ενέργειες στην πλειονότητα των ηλεκτροδίων καταγραφής, σχετικές με το φύλο των συμμετεχόντων. Συγκεκριμένα, σε όλα τα ηλεκτρόδια πλην δύο, οι γυναίκες εμφάνισαν υψηλότερες τιμές ενέργειας από τους άντρες.

Επιπλέον, ελέγχθηκε κατά πόσο οι ενέργειες των σημάτων ΗΕΓ και ΗΜΓ που αντιστοιχούν σε κάθε μία ερώτηση επιβεβαιώνουν το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα. Ο έλεγχος ήταν πολλαπλός, ωστόσο δεν κατέληξε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό προτάθηκε η χρήση Γενετικών Αλγορίθμων, ως εργαλείο για τη στάθμιση των αρχικών δεδομένων με τρόπο τέτοιο έτσι ώστε να «δημιουργηθεί» Κανονική Κατανομή.

Τελικά, διαπιστώθηκε ότι η κατανομή των τιμών της ενέργειας ανά ερώτηση μετά την στάθμιση των αρχικών δεδομένων με βάρη προσέγγιζε ικανοποιητικά την Κανονική Κατανομή. Το συμπέρασμα αυτό είναι καίριας σημασίας σε πειράματα που αφορούν την καταγραφή σημάτων ΗΕΓ και ΗΜΓ κατά τη διεξαγωγή τεστ ερωτοαπαντησεων. Όπως αποδείχθηκε, κατά την επεξεργασία των δεδομένων θα πρέπει να υπολογίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος των ερωτήσεων κι όχι ο αριθμητικός, καθώς είναι φανερό ότι λόγω πειραματικού σφάλματος δεν έχουν όλες οι ερωτήσεις την ίδια βαρύτητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Διδώ, Γ. (2004) **Εισαγωγή στη Βιοϊατρική και Κυτταρική Μηχανική** Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- [2] Felten, D. L., & Jozetowicz, (2004) **Νευροανατομία του Ανθρώπου, Άτλας Βασικών Ιατρικών Επιστημών**, Ιατρικές Εκδόσεις Πασχαλίδης
- [3] Κουτσούρης, Δ. (2003) **Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων** Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα
- [4] Νικήτα, Σ. Κ. (2005) **Προσομοίωση Φυσιολογικών Συστημάτων** Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- [5] Νικητοπούλου-Μαράτου, Γ. **Φυσιολογία του Ανθρώπου Εισαγωγή και Νευρικό Σύστημα**, Εκδόσεις Γρηγόριος Κ.Παρισσιανός
- [6] Bear M, Connors BW, Paradiso MA (2001) **Neuroscience: Exploring the Brain** Lippincott Williams & Wilkins Baltimore USA
- [7] Brown AG (2001) **Nerve Cells and Nervous Systems: An Introduction to Neuroscience** Springer; 2nd edition
- [8] Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (2000) **Principles of Neural Science**, McGraw-Hill, New York; 4th edition
- [9] Shepherd GM (1994) **Neurobiology**, Oxford University Press, USA; 3rd edition
- [10] Martin RA, Wallace BG, Fuchs PA, Nicholls JG (2001) **From Neuron to Brain: A Cellular and Molecular Approach to the Function of the Nervous System** Sinauer Associates; 4th edition
- [11] Purves D, Augustine G.J, Fitzpatrick D, Katz LC, LaMantia AS, McNamara J.O, Williams S.M (2001) **Neuroscience**, Ion Channels Underlying Action Potentials, Sunderland (MA): Sinauer Associates Inc; 2nd edition.
- [12] Matthews G.G (2001) **Neurobiology: Molecules, Cells and Systems**, Blackwell Publishing, Incorporated; 2nd edition
- [13] Siegel GJ, Albers RW, Brady S, Price DL, American Society for Neurochemistry (2005) **Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects** (Periodicals), Academic Press; 7th edition
- [14] Wright, SH (2004) **Generation of resting membrane potential** Advances in Physiology Education 28(1-4): 139-142
- [15] Hille B (2001) **Ion channels of excitable membranes** Sunderland (MA): Sinauer Associates Inc; 3rd ed

- [16] Wild GC, Benzel EC (1994) **Essentials of Neurochemistry**, Jones & Bartlett Publishers; 1st edition
- [17] Thompson RF (1985) **The Brain: An Introduction to Neuroscience**, Freeman.
- [18] Taylor D.J, Green N.P.O, Stout G.W (2003) **Biological Sciences**, Cambridge University Press, United Kingdom; 3rd edition
- [19] http://users.sch.gr/mchatzinik/BIO-GEN_A_likeiou/biblia/kef_2.pdf
Βιολογία Γενικής Παιδείας Α' Λυκείου
- [20] <http://en.wikipedia.org/wiki/Brain>
- [21] <http://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalogram>
- [22] <http://www.neurofeedback.gr/Neurofeedback/Brainwaves.htm>
- [23] Jaakko Malmivuo & Robert Plonsey: Bioelectromagnetism (1995) **Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields**, Oxford University Press, New York.
- [24] Biosemi: http://www.biosemi.com/active_cap.htm
- [25] Jasper H. (1958) **The ten-twenty electrode system of the international federation**. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*.
- [26] Mc Gillem C.D. and Aunon J.(1987) **Analysis of event-related potentials, Methods of Analysis of Brain Electrical and Magnetic Signals**, A.S. Gevins and A. Remond, Eds., Elsevier, Amsterdam.
- [27] Todd C. Handy (2004) **Event-Related Potentials: A Methods Handbook**, The MIT Press.
- [28] http://www.physics.ntua.gr/~mmakro/index_files/Kef9_Electrical_signals_red.pdf
- [29] John G. Proakis, Masoud Salehi (2002) **Συστήματα Τηλεπικοινωνιών** Αθήνα, Εκδόσεις: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- [30] http://www.ece.ucy.ac.cy/courses/ece429/lectures/HMY429_4.pdf
- [31] Rami J. Oweis and Enas W. Abdulhay,
Seizure classification in EEG signals utilizing Hilbert-Huang transform
- [32] Mr. Rash Dubey, Mr. A. Pathak, **Digital Analysis of EEG Brain Signal**

- [33] Γ. Κοκολάκης, Ι. Σπηλιώτης (1999) **Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική**, Αθήνα, Εκδόσεις: Συμεών
- [34] Boutsikas M.V. (2003), **Στατιστική ΙΙ**, Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- [35] Wikipedia, Normal distribution
(http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution)
- [36] Γ. Παπαδόπουλος, **Εργαστήριο Μαθηματικών και Στατιστικής**
(www.aua.gr/grpapadopoulos)
- [37] Δ.Φουσκάκης, **Πειραματική Στατιστική**,
<http://www.math.ntua.gr/~fouskakis/descriptive.pdf>
- [38] http://www.ats.ucla.edu/stat/mult_pkg/faq/general/kurtosis.htm
- [39] Melanie Mitchel, (1998), **An introduction to genetic algorithms**, The MIT press
- [40] Σπυρίδων Λυκοθανάσης, (2001), **Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές**, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- [41]
<http://www.informatics.sussex.ac.uk/research/groups/nlp/gazdar/teach/atc/1999/web/sarikab/>
- [42] http://el.wikipedia.org/wiki/Γενετικοί_Αλγόριθμοι
- [43] Stuart Russell, Peter Norvig, (2004), **Τεχνητή Νοημοσύνη, Μια σύγχρονη προσέγγιση**, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [44] Burgess PW, Shallice T (1996) **Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions** *Neuropsychologia* 34: 263-273
- [45] Collette F, Linden M Van der, Delfiore G, Degueldre C, Luxen A, Salmon E ((2001) **The functional anatomy of inhibition processes investigated with the Hayling task**. *Neuroimage*, 14:258-267.
- [46] Bloom and I. Fischler, I. (1980) **Completion norms for 329 sentence contexts**. *Mem. Cognit.* 38, 631–642
- [47] Burgess PW, Shallice T (1997) **Hayling Sentence Completion Test** Suffolk, England: Thames Valley Test Co. Ltd

[48] Bielak AAM, Mansueti L, Strauss E, Dixon RA (2006) **Performance on the Hayling and Brixton tests in older adults: norms and correlates.** Arch Clin Neuropsychol, **21**:141-149.

[49] Ion N. Beratis, Andreas Rabavilas, Eleni D. Nanou, Chrissanthi Hountala, Argiro E. Maganioti, Christos N. Capsalis, George N. Papadimitriou and Charalabos Papageorgiou (2010) **Effect of initiation-inhibition and handedness on the patterns of the P50 event-related potential component: a low resolution electromagnetic tomography study**

[50] http://en.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov%E2%80%93Smirnov_test

[51] Τσαγρής Μιχάλης, **Στατιστική με τη χρήση του SPSS 15** (<http://7.nsa-virtualeducation.com/images/l.notes3.pdf>)

[52] http://en.wikipedia.org/wiki/Weighted_mean

[53] Fernando Velasco and Surendra P. Verma, (1998) **Importance of Skewness and Kurtosis Statistical Tests for Outlier Detection and Elimination in Evaluation of Geochemical Reference Materials,** Mathematical Geology , Volume 30, Number 1, 109-128

[54]

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CF%83%CF%84%CF%8C%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B1>

