



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

Συλλογή και ανάλυση δεδομένων για τη βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΑΚΗ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Σπηλιώτης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2025



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

Συλλογή και ανάλυση δεδομένων για τη βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΑΚΗ

Επιβλέπων: Ευάγγελος Σπηλιώτης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16^η Οκτωβρίου του 2025.

(Υπογραφή)

.....

Ευάγγελος Σπηλιώτης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2025

.....

Εμμανουήλ Χριστοδουλάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © **Εμμανουήλ Χριστοδουλάκης, 2025**

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική αναπτύσσει ένα δεδομενοκεντρικό πλαίσιο για τη βέλτιστη χωροθέτηση δημόσιων υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο κέντρο της Αθήνας, συνδυάζοντας ετερογενή σύνολα δεδομένων και πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων. Στη βάση δεδομένων περιλαμβάνονται υφιστάμενοι φορτιστές, καθώς και κατηγορίες σημείων ενδιαφέροντος και τουριστικών καταλυμάτων που αποτυπώνουν την τουριστική πίεση και την πραγματική ζήτηση. Η ροή εξαγωγής και προεπεξεργασίας υλοποιήθηκε με αυτοματοποιημένες ρουτίνες σε Python, εξασφαλίζοντας επαναληψιμότητα και ιχνηλασιμότητα στη συλλογή, τον καθαρισμό, τη γεωκωδικοποίηση και την απο-διπλοκαταγραφή. Η διασταύρωση ανεξάρτητων πηγών και ο τυποποιημένος εμπλουτισμός των χαρακτηριστικών επιτρέπουν μια συνεκτική βάση για συγκρίσεις μεταξύ γειτονιών.

Η ανάλυση πραγματοποιείται σε δύο χωρικές κλίμακες α)ανά ταχυδρομικό κώδικα και β)ανά γειτονιά, ώστε να αποτυπωθούν τόσο οι διοικητικές ενότητες όσο και οι μικροκλίμακες ζήτησης της πόλης. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει μετασχηματισμό και κανονικοποίηση κριτηρίων, υπολογισμό συντελεστών βαρύτητας με τη μέθοδο Entropy και τελική κατάταξη μέσω TOPSIS, παρέχοντας διαφανή σύνθεση ετερογενών πληροφοριών σε έναν πρακτικό δείκτη εγγύτητας προς την ιδανική λύση. Διενεργούνται έλεγχοι ευαισθησίας στα βάρη και εναλλακτικές δοκιμές κανονικοποίησης, ώστε τα αποτελέσματα να παραμένουν σταθερά σε λογικές μεταβολές παραδοχών.

Τα αποτελέσματα αποδίδονται ως ιεραρχήσεις υποψηφίων περιοχών, αναδεικνύοντας προτεραιότητες χωροθέτησης, πιθανά κενά κάλυψης και ευκαιρίες συνεγκατάστασης με υπάρχουσες δημοτικές ή κοινωφελείς υποδομές. Η προσέγγιση επιτρέπει στοχευμένη εξειδίκευση ανά τυπολογία ζήτησης, ενώ τα παραγόμενα ευρήματα μπορούν να υποστηρίξουν πιλοτικές αναπτύξεις με σαφώς μετρήσιμους στόχους απόδοσης και πρόσβασης.

Η μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας προσφέρει χρήσιμο εργαλείο για τον τεκμηριωμένο σχεδιασμό υποδομών ηλεκτροκίνησης, ενισχύοντας τη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο πολιτικής και στρατηγικής. Η συμβολή της στη σχετική βιβλιογραφία έγκειται στη δυνατότητα αποδοτικής χωρικής κατανομής των πόρων και αποφυγής ανισοτήτων κάλυψης, με πλήρως αναπαραγώγιμη διαδικασία και σαφείς κανόνες διαφάνειας. Επιπλέον, η ίδια προσέγγιση μπορεί να προσαρμοστεί και να εφαρμοστεί σε ευρύτερα γεωγραφικά ή θεματικά πεδία, συμπεριλαμβανομένης της πανελλαδικής κλίμακας.

Λέξεις-κλειδιά: ηλεκτροκίνηση, φορτιστές, χωροθέτηση, υποδομές, πολυκριτήρια, TOPSIS, Entropy, κινητικότητα, γεωκωδικοποίηση, απανθρακοποίηση.

Abstract

This thesis advances a data-centric framework for the optimal siting of public electric-vehicle charging infrastructure in central Athens, integrating heterogeneous data sets with multicriteria decision analysis. The database comprises existing chargers as well as thirteen categories of points of interest and tourist accommodations that proxy both tourist pressure and actual demand. The extraction and preprocessing pipeline was implemented through automated Python routines, ensuring reproducibility and auditability across data collection, cleansing, geocoding, and de-duplication. Triangulation across independent sources and standardized feature enrichment provide a coherent basis for cross-neighborhood comparisons.

The analysis is conducted at two spatial scales a)by postal code and b)by neighborhood so as to capture both administrative units and the city's micro-geographies of demand. The methodology entails transformation and normalization of criteria, derivation of criterion weights via the Entropy method, and a final ranking using TOPSIS, thereby yielding a transparent synthesis of heterogeneous information into a practical proximity-to-ideal index. Sensitivity analyses on weights and alternative normalization schemes are performed to verify that results remain stable under reasonable perturbations of assumptions.

The outputs are expressed as rankings of candidate areas, revealing siting priorities, potential coverage gaps, and opportunities for co-location with existing municipal or public-serving facilities. The approach allows targeted specialization by demand typology, while the resulting insights can underpin pilot deployments with clearly measurable performance and access targets.

The methodological approach offers a robust decision-support tool for evidence-based planning of e-mobility infrastructure, strengthening decision making at policy and strategic levels. Its contribution to the literature lies in enabling efficient spatial allocation of resources and mitigating coverage inequalities, through a fully reproducible process governed by explicit transparency rules. The same approach can be adapted and applied to broader geographic or thematic contexts, including nationwide deployment.

Keywords: electromobility, chargers, siting, infrastructure, multicriteria, TOPSIS, Entropy, mobility, geocoding, decarbonization.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	Error! Bookmark not defined.
Περιεχόμενα.....	7
Κατάλογος Σχημάτων	Error! Bookmark not defined.
Κατάλογος Πινάκων	Error! Bookmark not defined.
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή.....	11
Αντικείμενο Διπλωματικής.....	12
Κεφάλαιο 2 - Βασικές Αρχές Ηλεκτρικών Οχημάτων	13
2.1 Τεχνολογικές Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων	13
2.2 Πρότυπα Συνδέσμων Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων	16
2.3 Μέθοδοι Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων	19
2.4 Συσσωρευτές και Ηλεκτροκίνηση μέσα από τις σύγχρονες τεχνολογίες και προοπτικές.....	20
2.5 Λειτουργικά και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικών Οχημάτων	22
2.6 Παράγοντες και Πολιτικές που Διαμορφώνουν την Ανάπτυξη της Ηλεκτροκίνησης.....	24
2.7 Οφέλη και Προκλήσεις της Ηλεκτροκίνησης.....	26
Κεφάλαιο 3 -Η Ανάπτυξη της Αγοράς Ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα	28
3.1 Εξέλιξη Ταξινόμησης Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα.....	28
3.2 Εξέλιξη των υποδομών φόρτισης στην Ελλάδα.....	33
3.3 Αποτίμηση της Ελληνικής Πραγματικότητας και Ανάγκη Στοχευμένης Χωροθέτησης.....	35
Κεφάλαιο 4 - Μεθοδολογία Συλλογής και Οργάνωσης των Δεδομένων.....	36
4.1 Μεθοδολογικά Εργαλεία για τη Συλλογή και Οργάνωση Δεδομένων	36
4.2 Πηγές Δεδομένων για υφιστάμενους Φορτιστές, Σημεία Ενδιαφέροντος και Τουρισμού.....	37
4.2.1 Συλλογή Δεδομένων από το Plugshare.....	38
4.2.2 Συλλογή Δεδομένων από το Μητρώο Υποδομών Ηλεκτροκίνησης (ΥΜΕ)..	39
4.2.3 Συλλογή Δεδομένων από το vrisko.gr	41
4.2.4 Συλλογή Δεδομένων από το Booking.com	42
4.3 Διασταύρωση και Ομογενοποίηση Δεδομένων Φόρτισης	43
4.4 Απόδοση Διευθύνσεων με Αντίστροφη Γεωκωδικοποίηση	44

4.5 Συνοπτική Αποτίμηση και Προοπτικές Ανάλυσης	45
Κεφάλαιο 5 – Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων	47
5.1 Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης	48
5.2 Η Μέθοδος TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	49
Κεφάλαιο 6 - Πολυκριτηριακή Ανάλυση για Τοποθέτηση Σταθμών Φόρτισης στο Κέντρο της Αθήνας	53
6.1 Ανάλυση Κατηγοριών Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης	53
6.2 Έλεγχος συσχετίσεων και συμπύκνωση κατηγοριών	60
6.3 Μετασχηματισμός και Κανονικοποίηση Κριτηρίων.....	61
6.3.1 Μετασχηματισμοί και κανονικοποίηση ανά Ταχυδρομικό Κώδικα	61
6.3.2 Μετασχηματισμοί και κανονικοποίηση ανά Γειτονιά.....	75
6.4 Καθορισμός Συντελεστών Βαρύτητας Κριτηρίων.....	90
6.4.1 Εφαρμογή της Μεθόδου στα Δεδομένα Χωροθέτησης Σταθμών Φόρτισης Ανά Ταχυδρομικό Κώδικα	92
6.4.2 Εφαρμογή της Μεθόδου στα Δεδομένα Χωροθέτησης Σταθμών Φόρτισης Ανά Γειτονιά	92
6.4.3 Διαφορές Εφαρμογών των Μεθόδων στα Δεδομένα Χωροθέτησης Σταθμών Φόρτισης μεταξύ Ταχυδρομικού Κώδικα και Γειτονιών	95
Κεφάλαιο 7 – Αποτελέσματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης από την Μέθοδο TOPSIS... 97	97
7.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης TOPSIS και Κατάταξη Ταχυδρομικών Κωδικών	97
7.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης TOPSIS και Κατάταξη Γειτονιών.....	100
Κεφάλαιο 8	102
8.1 Συμπεράσματα.....	102
8.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις	103
Βιβλιογραφία	105

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Η ηλεκτροκίνηση δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική καινοτομία αλλά βασικό μοχλό της ευρωπαϊκής στρατηγικής απανθρακοποίησης. Ο τομέας των μεταφορών παραμένει ένας από τους μεγαλύτερους συντελεστές εκπομπών στην ΕΕ, γεγονός που εξηγεί γιατί οι πολιτικές και οι επενδύσεις επικεντρώνονται στη μετάβαση σε καθαρότερες μορφές κινητικότητας [1]. Κατά τα τελευταία έτη, οι αγορές ηλεκτρικών οχημάτων ωριμάζουν ταχέως: στο α' εξάμηνο του 2025 τα αμιγώς ηλεκτρικά (Battery Electric Vehicle - BEV) έφτασαν το 15,6% των νέων ταξινομήσεων στην ΕΕ [2], ενώ τα υβριδικά (Hybrid Electric Vehicle - HEV) κατέγραψαν τη μεγαλύτερη ζήτηση, δείχνοντας ότι η μεταβατική πορεία προς την πλήρη ηλεκτροκίνηση είναι σε εξέλιξη [3].

Παρά τη σύγχρονη δυναμική, η ηλεκτροκίνηση έχει μακρά ιστορική διαδρομή. Από την πρωτόλεια ηλεκτρική άμαξα του Robert Anderson (1830s) έως τα πρακτικότερα οχήματα της δεκαετίας του 1880, η εξέλιξη υπήρξε σταδιακή και στενά δεμένη με την πρόοδο των συσσωρευτών-με ορόσημο την επαναφορτιζόμενη μπαταρία μολύβδου-οξέος του Gaston Planté (1859), που θεμελίωσε την πρώιμη εμπορική χρήση [4], [5].

Σήμερα, η ώθηση προς την ηλεκτροκίνηση συνοδεύεται από ρυθμιστικές παρεμβάσεις που στοχεύουν όχι μόνο στις πωλήσεις, αλλά και στις υποδομές. Ο κανονισμός AFIR καθιστά υποχρεωτική την ελάχιστη κάλυψη σημείων ανεφοδιασμού/φόρτισης και θέτει κανόνες διαλειτουργικότητας και πληροφόρησης, ώστε η εμπειρία χρήσης να είναι ενιαία σε όλη την ΕΕ-προϋπόθεση για ευρεία υιοθέτηση [6], [7].

Στην Ελλάδα, οι ταξινομήσεις ηλεκτροκίνητων οχημάτων αυξάνονται με σταθερό ρυθμό, αν και με διακυμάνσεις ανά μήνα. Στο επταμήνο του 2025, το μείγμα καυσίμου υποδηλώνει μετατόπιση προς την ηλεκτροκίνηση: τα HEV υπερίσχυαν στις μηνιαίες ταξινομήσεις Ιουλίου (52,9%), ενώ τα Plug in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) και τα BEV κατέγραψαν μερίδια 7,8% και 4,5% αντίστοιχα σε επίπεδο ροής, οι μηνιαίες εγγραφές BEV/PHEV συνεχίζουν να κινούνται σε εκατοντάδες μονάδες, με τα μερίδια BEV να διαμορφώνονται συνήθως ~4–6% τους τελευταίους μήνες [8]. Τα στοιχεία αυτά, μαζί με τη σωρευτική εικόνα της αγοράς από το 2019 και μετά, υποδεικνύουν σταδιακή ωρίμανση της ζήτησης.

Συνολικά, η ηλεκτροκίνηση μετασχηματίζει τον τρόπο που σχεδιάζουμε και βιώνουμε τις μετακινήσεις: από τα πρότυπα φόρτισης (οικιακή/εργασιακή, δημόσια), έως τη χωροθέτηση υποδομών και τη διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου. Η επιτυχία της μετάβασης θα κριθεί στη σύγκλιση τριών παραγόντων: (α) επαρκείς, αξιόπιστες και διαλειτουργικές υποδομές φόρτισης, (β) ρυθμιστικά και τιμολογιακά σήματα που ενθαρρύνουν αποδοτικές συμπεριφορές φόρτισης, και (γ) προσφορά/τιμές οχημάτων που ανταποκρίνονται στις ανάγκες νοικοκυριών και στόλων-πλαίσιο στο οποίο η Ελλάδα ήδη κινείται, παρακολουθώντας την ευρωπαϊκή τάση και ενσωματώνοντας προοδευτικά τις σχετικές πολιτικές [6], [1].

Αντικείμενο Διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη βέλτιστη χωροθέτηση δημόσιων υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, ένα ζήτημα που καθίσταται ολοένα και πιο κρίσιμο καθώς η ηλεκτροκίνηση διεισδύει ταχύτατα στην ελληνική αγορά και ειδικότερα στα μεγάλα αστικά κέντρα. Η Αθήνα, ως μητροπολιτικό κέντρο με έντονη εμπορική, διοικητική και τουριστική δραστηριότητα, αντιμετωπίζει αυξανόμενες ανάγκες για επαρκές και στρατηγικά κατανομημένο δίκτυο φόρτισης. Σε διεθνές επίπεδο, η βιβλιογραφία αναφέρει πλήθος μελετών που στηρίζονται σε «κλασικά» κριτήρια, όπως ο πληθυσμός, η κυκλοφοριακή πυκνότητα ή η συγκέντρωση επιχειρήσεων. Ωστόσο, οι παράμετροι αυτές δεν επαρκούν από μόνες τους για να αποτυπώσουν τη σύνθετη πραγματικότητα των συνηθειών στάθμευσης και των τοπικών πιέσεων ζήτησης.

Η συμβολή της παρούσας μελέτης είναι η εισαγωγή και αξιοποίηση εναλλακτικών δεδομένων, όπως τα σημεία ενδιαφέροντος (Points of Interest – POIs) και τα τουριστικά καταλύματα, τα οποία συνδέονται άμεσα με το πού σταθμεύουν τα οχήματα για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Με αυτόν τον τρόπο, λαμβάνονται υπόψη τόσο οι καθημερινές ανάγκες μετακίνησης των κατοίκων όσο και η πρόσθετη επιβάρυνση που προκαλεί η τουριστική δραστηριότητα στο κέντρο της πόλης. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω διαδικτυακών πλατφορμών και επίσημων μητρώων, ενώ τα δεδομένα αυτά ενοποιήθηκαν σε ενιαίο αρχείο αναφοράς μετά από επεξεργασία και καθαρισμό.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε δύο χωρικά επίπεδα: (α) ανά ταχυδρομικό κώδικα, που παρέχει μια πιο διοικητικά συγκροτημένη εικόνα, και (β) ανά γειτονιά, που αναδεικνύει μικροκλίμακες ζήτησης και τοπικές ιδιαιτερότητες. Η προσέγγιση αυτή δίνει τη δυνατότητα να εξεταστεί η χωρική κατανομή της ζήτησης με μεγαλύτερη ακρίβεια και να εντοπιστούν περιοχές με διαφορετικά προφίλ δραστηριότητας.

Για την τελική αξιολόγηση και κατάταξη των πιθανών σημείων εγκατάστασης, επιλέχθηκε η εφαρμογή πολυκριτήριας μεθόδου ανάλυσης (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA), η οποία επιτρέπει τον συνδυασμό ετερογενών κριτηρίων – κοινωνικών, χωροταξικών, τεχνικών και τουριστικών. Η αξιοποίηση του συνόλου των συλλεγμένων δεδομένων μέσα σε αυτό το πλαίσιο προσφέρει ένα εργαλείο πιο κοντά στις πραγματικές ανάγκες της πόλης και στις συνθήκες που αντιμετωπίζουν οι χρήστες. Με αυτόν τον τρόπο, η εργασία φιλοδοξεί να προτείνει μια περισσότερο ρεαλιστική και εφαρμοσμένη μεθοδολογία που να υποστηρίζει τον στρατηγικό σχεδιασμό βιώσιμων υποδομών φόρτισης στην Αθήνα

Κεφάλαιο 2 - Βασικές Αρχές Ηλεκτρικών Οχημάτων

Η αυξανόμενη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά τα τελευταία χρόνια δεν αποτελεί τυχαίο γεγονός, αλλά συνδέεται άμεσα με την πρόοδο της τεχνολογίας, τις περιβαλλοντικές προκλήσεις και τις πολιτικές που στοχεύουν στη βιώσιμη κινητικότητα. Στο παρόν κεφάλαιο διαμορφώνεται το θεωρητικό πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, με έμφαση στις κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων, στους τρόπους φόρτισής τους και στα πρότυπα συνδέσμων που εφαρμόζονται στη διαδικασία ηλεκτροδότησης.

Παράλληλα, παρουσιάζονται οι βασικοί παράγοντες που συνέβαλαν στη ραγδαία εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης, όπως η μείωση του κόστους των συσσωρευτών, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και της ηλεκτρικής αυτονομίας, καθώς και τα οικονομικά και θεσμικά κίνητρα που προσφέρουν οι κυβερνήσεις για την ενθάρρυνση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων. Η ανάλυση αυτή πλαισιώνεται από την περιβαλλοντική διάσταση, καθώς τα EVs συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση των εκπομπών CO₂ και των ατμοσφαιρικών ρύπων, στοιχείο που συνδέεται άμεσα με τις διεθνείς δεσμεύσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Επιπλέον, εξετάζονται οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της διάδοσης των EVs, όπως η μείωση του κόστους χρήσης και συντήρησης σε σύγκριση με τα οχήματα εσωτερικής καύσης και η βαθμιαία ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής τους. Σε τεχνολογικό επίπεδο, γίνεται αναφορά στις εξελίξεις που αναμένεται να διαμορφώσουν το μέλλον της ηλεκτροκίνησης, όπως η ανάπτυξη νέων τύπων μπαταριών (π.χ. στερεάς κατάστασης) και η αξιοποίηση έξυπνων δικτύων ενέργειας (smart grids) για πιο αποδοτική ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη διαδικασία φόρτισης.

Η μετάβαση προς την ηλεκτροκίνηση, αν και προσφέρει πολλαπλά οφέλη, συνοδεύεται από τεχνικές, οικονομικές και θεσμικές προκλήσεις που απαιτούν συνεχή μελέτη και στοχευμένες παρεμβάσεις. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει σε αυτή τη συζήτηση, αναλύοντας πτυχές που σχετίζονται τόσο με τις υφιστάμενες συνθήκες όσο και με τις μελλοντικές προοπτικές της ηλεκτροκίνησης.

2.1 Τεχνολογικές Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

Σήμερα, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν έναν δυναμικά αναπτυσσόμενο τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας και συναντώνται σε διάφορες μορφές, ανάλογα με την τεχνολογία κίνησης και την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν. Η κατηγοριοποίησή τους κρίνεται αναγκαία, καθώς κάθε τύπος διαθέτει διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά, επίπεδα απόδοσης, πλεονεκτήματα και περιορισμούς.

Τα ηλεκτρικά οχήματα διακρίνονται σε πέντε βασικές κατηγορίες: τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (Battery Electric Vehicles – BEVs), τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles – HEVs), τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEVs), τα οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles – FCEVs) και τα οχήματα με εκτεταμένη αυτονομία (Range Extended Electric Vehicles – REEVs). Κάθε κατηγορία ανταποκρίνεται σε διαφορετικές ανάγκες μετακίνησης και υιοθετεί ιδιαίτερες τεχνολογικές λύσεις, γεγονός που τις καθιστά αντικείμενο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για τη μελέτη της ηλεκτροκίνησης.

- **Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα (Battery Electric Vehicles – BEV):**

Τα BEVs αποτελούν την πιο αντιπροσωπευτική κατηγορία της ηλεκτροκίνησης, καθώς κινούνται αποκλειστικά με ηλεκτροκινητήρες που τροφοδοτούνται από μπαταρίες, χωρίς να διαθέτουν κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η φόρτιση των συσσωρευτών πραγματοποιείται μέσω σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, είτε με εναλλασσόμενο (AC) είτε με συνεχές ρεύμα (DC), επιτρέποντας κανονική ή ταχεία φόρτιση.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της κατηγορίας είναι ιδιαίτερα σημαντικά: μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά τη λειτουργία, χαμηλότερο κόστος ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, μειωμένες ανάγκες συντήρησης λόγω απλούστερης μηχανικής δομής και αθόρυβη λειτουργία. Ωστόσο, παραμένουν προκλήσεις όπως το υψηλότερο αρχικό κόστος αγοράς, η διάρκεια φόρτισης και η ανάγκη για επαρκές δίκτυο υποδομών.

Σήμερα, η τεχνολογική πρόοδος στις μπαταρίες έχει επιτρέψει σε πολλά BEVs να προσφέρουν αυτονομία που ξεπερνά τα 500 km με μία μόνο φόρτιση, καθιστώντας τα κατάλληλα και για μεγαλύτερες αποστάσεις. Ενδεικτικά παραδείγματα σύγχρονων BEVs είναι το BYD Seal, το Tesla Model S και το Volvo EX90, τα οποία συνδυάζουν υψηλές επιδόσεις με αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα.

- **Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles – HEVs):**

Τα HEVs αποτελούν μια ενδιάμεση μορφή ηλεκτροκίνησης, καθώς συνδυάζουν έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε μικρότερης χωρητικότητας μπαταρίες σε σχέση με τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, οι οποίες φορτίζονται κυρίως μέσω της λειτουργίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης αλλά και με την τεχνολογία ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση (regenerative braking).

Η βασική τους συμβολή έγκειται στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων, χωρίς όμως να εξαλείφουν πλήρως τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η αυξημένη αποδοτικότητα, η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου σε αστικό περιβάλλον και η απουσία ανάγκης εξωτερικής φόρτισης. Ωστόσο, παραμένουν λιγότερο «καθαρά» σε σύγκριση με τα BEVs, καθώς εξακολουθούν να εκπέμπουν CO₂.

Στην παγκόσμια αγορά, χαρακτηριστικά παραδείγματα HEVs είναι το Toyota Prius, το Honda Insight και το Hyundai Ioniq Hybrid, που αποτέλεσαν και ορόσημα στην καθιέρωση της υβριδικής τεχνολογίας.

- **Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEVs):**

Τα PHEVs συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης και έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι τροφοδοτούνται από μπαταρία μεγαλύτερης χωρητικότητας σε σχέση με τα απλά HEVs. Σε αντίθεση με αυτά, οι μπαταρίες των PHEVs μπορούν να φορτίζονται εξωτερικά μέσω σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, επιτρέποντας την κίνηση του οχήματος για αρκετά χιλιόμετρα αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια.

Έτσι, σε καθημερινές μετακινήσεις μικρών αποστάσεων, τα PHEVs μπορούν να λειτουργούν σχεδόν ως αμιγώς ηλεκτρικά, ενώ για μεγαλύτερα ταξίδια αξιοποιείται και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης, εξαλείφοντας την «αγωνία αυτονομίας» (range anxiety). Τα πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνουν τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμου, την ευελιξία

χρήσης και την προσαρμοστικότητα στις διαθέσιμες υποδομές φόρτισης. Ωστόσο, παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος αγοράς και πιο σύνθετη τεχνολογία σε σύγκριση με τα HEVs.

Ενδεικτικά παραδείγματα PHEVs είναι το BMW 330e, το Mitsubishi Outlander PHEV και το Volvo XC60 Recharge, τα οποία συνδυάζουν τις δυνατότητες ηλεκτροκίνησης με την ασφάλεια και την αυτονομία ενός συμβατικού κινητήρα.

- **Οχήματα Κυψελών Καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles – FCEVs):**

Τα FCEVs αποτελούν μια εναλλακτική προσέγγιση στην ηλεκτροκίνηση, καθώς χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου υδρογόνου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί τους ηλεκτροκινητήρες. Αντί να αποθηκεύουν ενέργεια σε μεγάλες μπαταρίες, όπως τα BEVs, διαθέτουν δεξαμενές υδρογόνου υψηλής πίεσης, από το οποίο παράγεται ηλεκτρισμός μέσω χημικής αντίδρασης με το οξυγόνο. Το μοναδικό παραπροϊόν αυτής της διαδικασίας είναι το νερό, γεγονός που καθιστά τα FCEVs ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον.

Τα βασικά τους πλεονεκτήματα είναι η μεγάλη αυτονομία, που μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει τα 600 km, καθώς και ο σύντομος χρόνος ανεφοδιασμού, συγκρίσιμος με αυτόν των συμβατικών οχημάτων. Παρά ταύτα, η περιορισμένη διαθεσιμότητα υποδομών ανεφοδιασμού υδρογόνου και το υψηλό κόστος κατασκευής αποτελούν σημαντικά εμπόδια για τη μαζική υιοθέτησή τους.

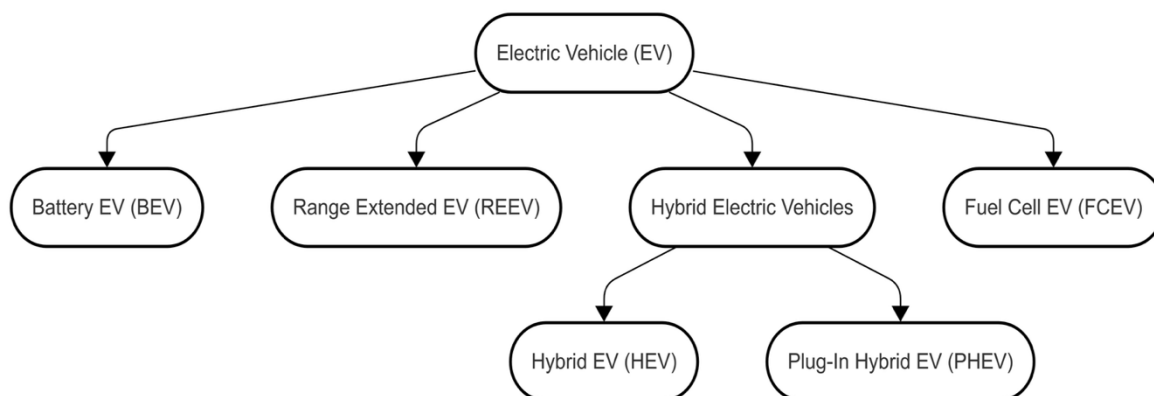
Στην παγκόσμια αγορά, ενδεικτικά παραδείγματα FCEVs είναι το Toyota Mirai, το Hyundai Nexo και το Honda Clarity Fuel Cell, τα οποία αναδεικνύουν τις δυνατότητες αλλά και τις προκλήσεις αυτής της τεχνολογίας.

- **Οχήματα με Εκτεταμένη Αυτονομία (Range Extended Electric Vehicles – REEVs):**

Τα REEVs αποτελούν μια ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων και των υβριδικών. Η κίνηση του οχήματος παρέχεται αποκλειστικά από ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος τροφοδοτείται από μπαταρία που φορτίζεται εξωτερικά, όπως στα BEVs. Ωστόσο, διαθέτουν και έναν μικρό κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο οποίος δεν κινεί απευθείας τους τροχούς, αλλά λειτουργεί αποκλειστικά ως γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν η μπαταρία αποφορτιστεί.

Με τον τρόπο αυτό, εξαλείφεται το άγχος περιορισμένης αυτονομίας (range anxiety), ενώ διατηρούνται τα περισσότερα πλεονεκτήματα των BEVs, όπως οι μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά τη λειτουργία τους σε ηλεκτρική λειτουργία. Παράλληλα, προσφέρουν ευελιξία σε μεγαλύτερα ταξίδια, όπου το δίκτυο υποδομών φόρτισης ενδέχεται να είναι ανεπαρκές.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το BMW i3 REx, το οποίο λειτουργεί ως ορόσημο για την κατανόηση και την εμπορική διάδοση των REEVs.



Διάγραμμα 1- Τεχνολογικές Κατηγορίες Οχημάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στο βέλτιστο σχεδιασμό των υποδομών φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα και πιο συγκεκριμένα για τις βασικές κατηγορίες τους, τα Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα (BEVs), τα Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά (PHEVs) και τα Οχήματα με Εκτεταμένη Αυτονομία (REEVs). Οι κατηγορίες αυτές συνδέονται άμεσα με την ανάπτυξη δικτύων φόρτισης, καθώς η αυξανόμενη παρουσία τους στην ελληνική και ευρωπαϊκή αγορά δημιουργεί ολοένα μεγαλύτερη ανάγκη για αξιόπιστες, εύκολα προσβάσιμες και στρατηγικά τοποθετημένες υποδομές που θα μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά την καθημερινή χρήση και τη μελλοντική εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης

2.2 Πρότυπα Συνδέσμων Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν στον βασικό τους εξοπλισμό έναν μετατροπέα AC/DC, ο οποίος επιτρέπει τη φόρτιση των συσσωρευτών μέσω οικιακής πρίζας τύπου σούκο. Η μέθοδος αυτή είναι πρακτική για μικρές καθημερινές ανάγκες, ωστόσο χαρακτηρίζεται από χαμηλή ισχύ και μεγάλο χρόνο φόρτισης. Για ταχύτερη αναπλήρωση ενέργειας απαιτείται η χρήση εξειδικευμένων σταθμών φόρτισης, οι οποίοι τροφοδοτούν ηλεκτρισμό μέσω διαφορετικών τύπων συνδέσμων, ανάλογα με το πρότυπο που υποστηρίζεται.

Σήμερα, στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι συνδέσμων και τεχνολογιών, οι οποίοι διαφοροποιούνται ανάλογα με την ισχύ που υποστηρίζουν και τη γεωγραφική τους εφαρμογή. Οι σημαντικότεροι είναι οι Type 1 (SAE J1772) που συναντάται κυρίως στη Βόρεια Αμερική, ο Type 2 (Mennekes) που έχει καθιερωθεί στην Ευρώπη, καθώς και τα πρότυπα ταχείας φόρτισης CCS (Combined Charging System) και CHAdeMO, τα οποία χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε Ευρώπη/ΗΠΑ και Ιαπωνία αντίστοιχα. Επιπλέον, ο Tesla Supercharger αποτελεί αποκλειστική λύση της Tesla, ενώ το GB/T χρησιμοποιείται στην Κίνα για AC και DC φόρτιση. Τέλος, σε ορισμένες αγορές έχουν αναπτυχθεί και οι σταθμοί αλλαγής μπαταριών (Battery Swapping Stations), οι οποίοι επιτρέπουν την άμεση αντικατάσταση της αποφορτισμένης μπαταρίας με μία πλήρως φορτισμένη, μειώνοντας δραστικά τον χρόνο αναπλήρωσης ενέργειας.

- **Σύνδεσμος Type 1 (SAE J1772):**

Ο σύνδεσμος Type 1, γνωστός και ως SAE J1772, αποτελεί το πρότυπο που χρησιμοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία για φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Είναι μονοφασικός, με δυνατότητα παροχής ισχύος φόρτισης έως περίπου 7,4 kW (32 A, 230 V), γεγονός που τον καθιστά κατάλληλο για οικιακή ή δημόσια φόρτιση χαμηλής έως μεσαίας ισχύος.

Διαθέτει πέντε ακροδέκτες: δύο για τη μεταφορά ρεύματος (Line και Neutral), έναν για γείωση και δύο επιπλέον για επικοινωνία μεταξύ φορτιστή και οχήματος. Η επικοινωνία αυτή επιτρέπει τον έλεγχο της διαδικασίας φόρτισης και τη διακοπή της σε περίπτωση σφάλματος, προσφέροντας βασικά επίπεδα ασφάλειας σε σχέση με απλές πρίζες οικιακής χρήσης.

- **Σύνδεσμος Type 2 (Mennekes):**

Ο σύνδεσμος Type 2, γνωστός και ως Mennekes, έχει καθιερωθεί ως το τυποποιημένο πρότυπο φόρτισης στην Ευρώπη για εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Υποστηρίζει τόσο μονοφασική όσο και τριφασική φόρτιση, με δυνατότητα παροχής ισχύος από 3,7 kW έως και 22 kW, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 43 kW.

Διαθέτει επτά ακροδέκτες: τρεις για τις φάσεις (L1, L2, L3), έναν για τον ουδέτερο αγωγό, έναν για γείωση και δύο επιπλέον για επικοινωνία μεταξύ οχήματος και φορτιστή. Η ύπαρξη αυτής της επικοινωνίας επιτρέπει τον έλεγχο της διαδικασίας φόρτισης, την προσαρμογή της ισχύος και την ασφαλή διακοπή της σε περίπτωση σφάλματος.

- **Σύνδεσμος CCS (Combined Charging System):**

Το Combined Charging System (CCS) αποτελεί ένα από τα πλέον διαδεδομένα διεθνή πρότυπα για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς υποστηρίζει τόσο εναλλασσόμενο (AC) όσο και συνεχές ρεύμα (DC) μέσω του ίδιου συνδέσμου. Η βασική του δομή προέρχεται από τον σύνδεσμο Type 2, στον οποίο έχουν προστεθεί δύο επιπλέον ακροδέκτες για τη μετάδοση συνεχούς ρεύματος υψηλής ισχύος.

Η ισχύς φόρτισης μπορεί να κυμαίνεται από 50 kW σε συμβατικούς ταχυφορτιστές έως και 350 kW σε υπερταχυφορτιστές νέας γενιάς, γεγονός που καθιστά το CCS κατάλληλο για μακρινά ταξίδια και ταχεία αναπλήρωση ενέργειας. Χάρη στον συνδυασμό υποστήριξης AC και DC, προσφέρει μεγάλη ευελιξία και τείνει να καθιερωθεί ως το βασικό πρότυπο φόρτισης σε Ευρώπη και Βόρεια Αμερική.

- **Σύνδεσμος CHAdeMO:**

Το CHAdeMO αποτελεί ιαπωνικό πρότυπο για ταχυφόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC), το οποίο αναπτύχθηκε από κοινοπραξία μεγάλων εταιρειών, όπως οι TEPCO, Nissan, Mitsubishi και Toyota. Ο σύνδεσμος αυτός επιτρέπει την απευθείας φόρτιση της μπαταρίας σε υψηλή ισχύ, προσφέροντας ταχείς χρόνους αναπλήρωσης ενέργειας. Οι πρώτες εκδόσεις του υποστήριζαν ισχύ έως 62,5 kW (500 V, 125 A), ενώ οι νεότερες προδιαγραφές επεκτείνουν τη δυνατότητα φόρτισης έως και 400 kW, με στόχο να ανταγωνιστούν τα ευρωπαϊκά και αμερικανικά πρότυπα.

Ο σύνδεσμος CHAdeMO διαθέτει δικό του πρωτόκολλο επικοινωνίας, το οποίο επιτρέπει την ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ φορτιστή και οχήματος κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Παρά τη μεγάλη διάδοσή του στην Ιαπωνία και την αρχική του υιοθέτηση από αρκετούς κατασκευαστές, τα τελευταία χρόνια τείνει να περιοριστεί σε σχέση με το πρότυπο CCS, το οποίο έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Ωστόσο, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε χιλιάδες σταθμούς φόρτισης παγκοσμίως και παραμένει βασικό στοιχείο της υποδομής ηλεκτροκίνησης στην Ασία.

- **Σύνδεσμος Tesla Supercharger:**

Ο Tesla Supercharger αποτελεί αποκλειστικό πρότυπο σύνδεσης και ταχυφόρτισης που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Tesla για τα ηλεκτρικά της οχήματα. Αρχικά χρησιμοποιούσε ιδιόκτητο σύνδεσμο τόσο για φόρτιση εναλλασσόμενου (AC) όσο και συνεχούς ρεύματος (DC), προσφέροντας ισχύ φόρτισης έως 120 kW. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, οι νεότεροι σταθμοί Supercharger V3 υποστηρίζουν ισχύ έως και 250 kW, επιτρέποντας την αναπλήρωση της αυτονομίας σε πολύ σύντομο χρόνο (π.χ. ~270 km σε 15 λεπτά).

Το δίκτυο Supercharger έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμια κλίμακα, με χιλιάδες σημεία φόρτισης σε Ευρώπη, Αμερική και Ασία, εξασφαλίζοντας στους κατόχους Tesla εύκολη πρόσβαση σε ταχυφόρτιση μεγάλων αποστάσεων. Τα τελευταία χρόνια, η Tesla έχει προχωρήσει σταδιακά στο άνοιγμα του δικτύου της και για οχήματα άλλων κατασκευαστών, υιοθετώντας παράλληλα το πρότυπο CCS2 στην Ευρώπη και το νέο πρότυπο NACS (North American Charging Standard) στις Ηνωμένες Πολιτείες.

- **Σύνδεσμος GB/T:**

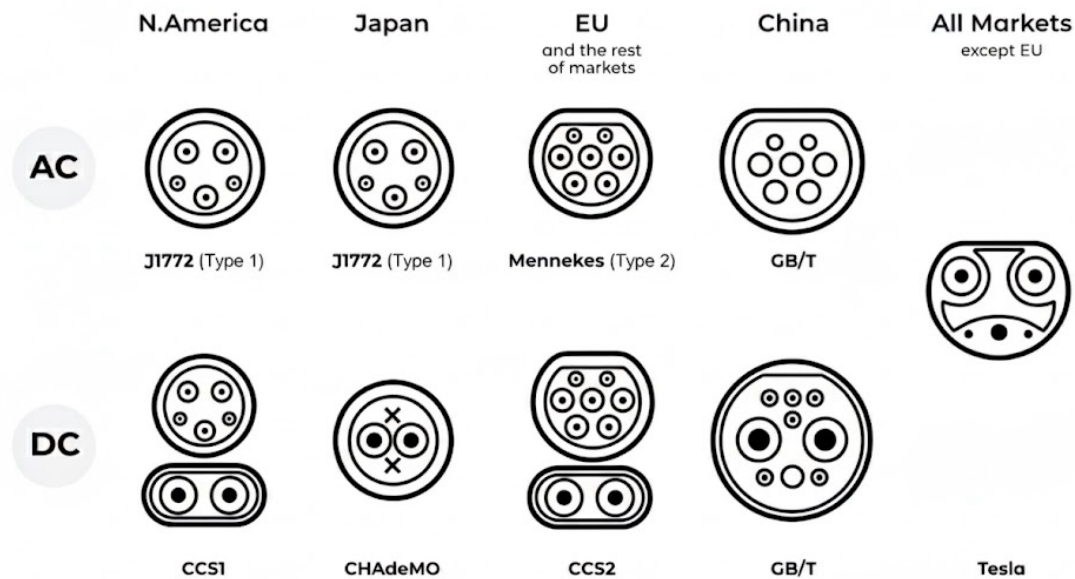
Το GB/T είναι το επίσημο κινεζικό πρότυπο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, υποχρεωτικό για όλα τα EVs που κυκλοφορούν στην Κίνα. Υποστηρίζει AC φόρτιση έως 22 kW και DC ταχυφόρτιση άνω των 200 kW, με προοπτική για ακόμη υψηλότερες ισχύεις. Λόγω της τεράστιας διείσδυσης των EVs στην κινεζική αγορά, το GB/T διαθέτει τον μεγαλύτερο αριθμό εγκατεστημένων σημείων φόρτισης παγκοσμίως, αν και η χρήση του παραμένει γεωγραφικά περιορισμένη εκτός Κίνας.

- **Ασύρματη Φόρτιση (Wireless/Inductive Charging):**

Η ασύρματη φόρτιση βασίζεται στην αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, επιτρέποντας τη μεταφορά ενέργειας από έναν πομπό στο έδαφος σε δέκτη τοποθετημένο στο όχημα, χωρίς φυσικό σύνδεσμο. Αν και βρίσκεται κυρίως σε πιλοτικό στάδιο, προσφέρει ευκολία χρήσης και δυνατότητα αυτόματης φόρτισης, με τυπικές ισχύεις έως 11 kW για εφαρμογές σε επιβατικά οχήματα και υψηλότερες σε ειδικά συστήματα.

- **Σταθμοί Αλλαγής Μπαταριών (Battery Swapping Stations):**

Στους σταθμούς αυτούς, η αποφορτισμένη μπαταρία αντικαθίσταται αυτόματα με μια πλήρως φορτισμένη, εξαλείφοντας τον χρόνο αναμονής για φόρτιση. Η διαδικασία διαρκεί λίγα λεπτά και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για στόλους ταξί ή οχήματα διανομής. Η τεχνολογία εφαρμόζεται ήδη στην Κίνα από εταιρείες όπως η NIO, ωστόσο η ευρύτερη διάδοσή της περιορίζεται από το υψηλό κόστος υποδομών και την ανάγκη τυποποίησης των μπαταριών.



Διάγραμμα 2 - Πρότυπα Συνδέσμων Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

2.3 Μέθοδοι Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) πραγματοποιείται είτε με χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) είτε συνεχούς ρεύματος (DC). Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο IEC 61851, καθορίζονται τέσσερις διακριτές μέθοδοι, οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς την παρεχόμενη ισχύ, τον βαθμό ελέγχου της διαδικασίας και το επίπεδο ασφάλειας που εξασφαλίζεται.

- **Mode 1:** Πρόκειται για την πιο απλή μέθοδο φόρτισης, όπου το όχημα συνδέεται απευθείας σε κοινή οικιακή πρίζα τύπου σούκο. Η ένταση του ρεύματος περιορίζεται στα 16 A, χωρίς δυνατότητα επικοινωνίας με το όχημα και χωρίς πρόσθετες δικλίδες ασφαλείας πέραν εκείνων της ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- **Mode 2:** Επίσης βασισμένη σε οικιακή παροχή, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί καλώδιο με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά που παρέχουν βασικές λειτουργίες ελέγχου και προστασίας. Μέσω επικοινωνίας με το όχημα μπορεί να ρυθμιστεί η ένταση φόρτισης, με ισχύ που φτάνει έως τα 22 kW (τριφασικά), προσφέροντας σαφώς ταχύτερη φόρτιση από το Mode 1.
- **Mode 3:** Χρησιμοποιεί ειδικούς φορτιστές AC (wallbox ή δημόσιους σταθμούς) και χαρακτηρίζεται ως πλήρως ελεγχόμενη φόρτιση. Η ισχύς μπορεί να ανέλθει έως τα 44 kW (63 A, τριφασικά), ενώ η επικοινωνία μεταξύ οχήματος και φορτιστή διασφαλίζει βελτιστοποίηση της διαδικασίας, έλεγχο της ισχύος και ανίχνευση πιθανών σφαλμάτων. Αποτελεί τη συνήθη λύση σε δημόσια και ημι-δημόσια σημεία φόρτισης.
- **Mode 4:** Αφορά αποκλειστικά ταχυφόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC), μέσω εξειδικευμένων σταθμών που ενσωματώνουν μετατροπείς AC/DC. Τα καλώδια είναι

σταθερά συνδεδεμένα στον σταθμό, ενώ η παρεχόμενη ισχύς κυμαίνεται τυπικά μεταξύ 50–170 kW, καθιστώντας τη μέθοδο αυτή την καταλληλότερη για σύντομες στάσεις αναπλήρωσης ενέργειας. Οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις καθιστούν αναγκαίες πιο ανθεκτικές ηλεκτρολογικές υποδομές.

Πίνακας 1 - Επικαιροποιημένος πίνακας μεθόδων φόρτισης

Charging Mode	Charging type	Maximum Current	Maximum Power	Typical Charging Time (50 kWh)	Range from 15-min Charge*
Mode 1	Slow (AC)	16A, 1Φ	~3.7 kW	~14h	~5 km
Mode 2	Semi Fast (AC)	32A, 1Φ, 3Φ	7.4 – 22 kW	2 – 7 h	~10 – 30 km
Mode 3	Fast (AC)	63A, 3Φ	11 - 44 kW	1 – 4 h	~30 – 60 km
Mode 4	Rapid/Ultra – Rapid (DC)	250-500A, 3Φ	50 – 350+ kW	15 – 60 min	150 – 300+ km

*Οι τιμές βασίζονται σε μέση κατανάλωση ~0,18–0,22 kWh/km και ποικίλλουν ανάλογα με το όχημα.

Συμπερασματικά, κάθε κατηγορία μεθόδου φόρτισης ανταποκρίνεται σε διαφορετικές ανάγκες μετακίνησης και χρόνους στάθμευσης, δημιουργώντας ένα πολυεπίπεδο δίκτυο υποδομών. Οι φορτιστές χαμηλής ισχύος (Mode 1 και Mode 2) καλύπτουν κυρίως οικιακές και ημι-δημόσιες εφαρμογές, όπου το όχημα παραμένει συνδεδεμένο για αρκετές ώρες, ενώ οι ταχύτερες λύσεις (Mode 3 και Mode 4) εξυπηρετούν δημόσιους χώρους στάθμευσης, σημεία ενδιαφέροντος και στρατηγικές τοποθεσίες του οδικού δικτύου, μειώνοντας δραστικά τον χρόνο αναμονής και καθιστώντας δυνατές τις μεγάλες διαδρομές. Η συμπληρωματική λειτουργία αυτών των τεχνολογιών αποδεικνύει ότι η ανάπτυξη ενός διαφοροποιημένου και ευέλικτου συστήματος φόρτισης είναι αναγκαία προϋπόθεση για τη βιώσιμη διάδοση της ηλεκτροκίνησης.

Εκτός από την ανάπτυξη υπερταχέων φορτιστών που μειώνουν τον χρόνο επαναφόρτισης σε λίγα λεπτά, προωθούνται ολοκληρωμένα συστήματα φόρτισης που αξιοποιούν αποθηκευτική ισχύ από μπαταρίες φορτισμένες με ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ). Οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν ως κόμβοι αποθήκευσης, επιτρέποντας την παροχή πράσινης ενέργειας στα οχήματα, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν τις αιχμές ζήτησης στο δίκτυο και διευκολύνουν την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα [32][33].

2.4 Συσσωρευτές και Ηλεκτροκίνηση μέσα από τις σύγχρονες τεχνολογίες και προοπτικές

Οι συσσωρευτές αποτελούν το βασικότερο υποσύστημα ενός ηλεκτρικού οχήματος, καθώς αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κίνηση και καθορίζουν κρίσιμα χαρακτηριστικά όπως η αυτονομία, ο χρόνος φόρτισης, το βάρος και η τελική τιμή του οχήματος. Η πρόοδος στις τεχνολογίες μπαταριών τα τελευταία χρόνια υπήρξε καταλυτική για τη μετάβαση προς την ηλεκτροκίνηση, καθώς βελτιώθηκε η απόδοση, αυξήθηκε η αξιοπιστία και μειώθηκε σημαντικά το κόστος παραγωγής.

Σήμερα, η πλειονότητα των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιεί μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες προσφέρουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (150–250 Wh/kg), μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης–εκφόρτισης (1.500–3.000) και καλή απόδοση σε διαφορετικές συνθήκες

λειτουργίας. Η κυριαρχία τους οφείλεται στην ικανότητά τους να συνδυάζουν αποδοτικότητα, ανθεκτικότητα και προοδευτικά μειούμενο κόστος.

Η μείωση του κόστους αποτελεί ίσως τον πιο καθοριστικό παράγοντα στην εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης. Σύμφωνα με στοιχεία της BloombergNEF, το 2010 το κόστος μιας μπαταρίας κυμαινόταν γύρω στα 1.100 \$/kWh, ενώ το 2023 είχε μειωθεί περίπου στα 139 \$/kWh [10], σημειώνοντας πτώση μεγαλύτερη του 85% σε διάστημα δεκαετίας. Η πτωτική αυτή τάση αναμένεται να συνεχιστεί, με στόχο να υποχωρήσει κάτω από τα 100 \$/kWh την επόμενη πενταετία, ορόσημο που θεωρείται κρίσιμο για την πλήρη εξίσωση του κόστους μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων.

Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές χημείες μπαταριών, οι οποίες ανταποκρίνονται σε ποικίλες ανάγκες: οι NMC (Νικέλιο–Μαγγάνιο–Κοβάλτιο) προσφέρουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και χρησιμοποιούνται ευρέως σε οχήματα που δίνουν έμφαση στην αυτονομία, ενώ οι LFP (Λιθίου–Σιδήρου–Φωσφορικού) είναι πιο οικονομικές και θερμικά σταθερές, με μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα αλλά αυξημένα επίπεδα ασφάλειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι στρατηγικές επιλογές μεγάλων κατασκευαστών: η Tesla χρησιμοποιεί LFP μπαταρίες σε βασικές εκδόσεις των Model 3 και Model Y για λόγους κόστους και ανθεκτικότητας, ενώ τα μοντέλα υψηλής αυτονομίας της διατηρούν NMC. Η BYD, από την άλλη, αναπτύσσει τις δικές της LFP μπαταρίες «Blade», ενώ σε ορισμένα μοντέλα ενσωματώνει και NMC, συνδυάζοντας διαφορετικές τεχνολογίες ανάλογα με το ζητούμενο προφίλ του οχήματος.

Η συνεχιζόμενη έρευνα επικεντρώνεται πλέον στη μετάβαση προς τις μπαταρίες στερεού ηλεκτρολύτη (solid-state), οι οποίες υπόσχονται ακόμη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα (>400 Wh/kg), ταχύτερους χρόνους φόρτισης και υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας, περιορίζοντας τον κίνδυνο θερμικής διαφυγής. Αν και βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό και πιλοτικό στάδιο, θεωρείται βέβαιο ότι θα αποτελέσουν τον βασικό άξονα ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης την επόμενη δεκαετία.

Ιδιαίτερα κρίσιμη θεωρείται και η διερεύνηση εναλλακτικών τεχνολογιών μπαταριών που μπορούν να συμπληρώσουν ή να αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες λύσεις. Οι μπαταρίες νατρίου-ιόντων (sodium-ion) αναδεικνύονται ως μια πιο οικονομική και βιώσιμη επιλογή, καθώς δεν απαιτούν σπάνιες πρώτες ύλες όπως το κοβάλτιο και το νικέλιο, μειώνοντας τις γεωπολιτικές εξαρτήσεις. Παράλληλα, οι LFP συνεχίζουν να κερδίζουν έδαφος σε στόλους και εμπορικές εφαρμογές λόγω του χαμηλού κόστους και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, ενώ υβριδικές διατάξεις διπλής χημείας προσφέρουν συνδυαστικά πλεονεκτήματα, προσαρμόζοντας την απόδοση στις ανάγκες κάθε εφαρμογής [30][31].

Πίνακας 2- Συσσωρευτές και Ηλεκτροκίνηση μέσα από τις σύγχρονες τεχνολογίες και προοπτικές

Χαρακτηριστικό	NMC (Νικέλιο–Μαγγάνιο–Κοβάλτιο)	LFP (Λιθίου–Σιδήρου–Φωσφορικού)
Ενεργειακή πυκνότητα	Υψηλή (200–250 Wh/kg)	Μέτρια (150–180 Wh/kg)
Κόστος	Υψηλότερο	Χαμηλότερο
Ασφάλεια	Μέτρια (ευαισθησία σε θερμική διαφυγή)	Υψηλή (θερμική σταθερότητα)
Διάρκεια ζωής	1.500–2.000 κύκλοι	2.500–3.000 κύκλοι
Τυπικές εφαρμογές	Οχήματα μεγάλης αυτονομίας (Tesla Model S, BMW iX)	Μαζικά μοντέλα, οικονομικά EVs (Tesla Model 3 SR+, BYD Dolphin)



Διάγραμμα 3 - Εξέλιξη του κόστους μπαταριών ιόντων λιθίου ανά kWh [9]

*Εκτιμώμενη τιμή < 100

2.5 Λειτουργικά και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικών Οχημάτων

Οι τεχνικές προδιαγραφές των ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνουν τόσο χαρακτηριστικά που επηρεάζουν άμεσα την καθημερινή εμπειρία οδήγησης όσο και πιο εξειδικευμένες παραμέτρους που αναδεικνύουν το τεχνολογικό τους επίπεδο. Σημαντικό στοιχείο αποτελεί η ισχύς των ηλεκτροκινητήρων, η οποία συνοδεύεται από την άμεση απόδοση ροπής, προσφέροντας ταχύτερη επιτάχυνση και ομαλή λειτουργία σε όλο το φάσμα στροφών. Στα περισσότερα ηλεκτρικά μοντέλα η ισχύς κυμαίνεται από 100 έως 300 kW, ενώ σε οχήματα υψηλών επιδόσεων ξεπερνά τα 700 kW, όπως στην περίπτωση του Tesla Model S Plaid [12]. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης δύο ή περισσότερων κινητήρων επιτρέπει την τετρακίνηση και την καλύτερη κατανομή ισχύος, βελτιώνοντας την οδηγική συμπεριφορά μοντέλα η ισχύς κυμαίνεται από 100 έως 300 kW, ενώ σε οχήματα υψηλών επιδόσεων ξεπερνά τα 700 kW, όπως στην περίπτωση του Tesla Model S Plaid [12]. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης δύο ή περισσότερων κινητήρων επιτρέπει την τετρακίνηση και την καλύτερη κατανομή ισχύος, βελτιώνοντας την οδηγική συμπεριφορά.

Η αυτονομία εξακολουθεί να αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων από τους καταναλωτές. Σήμερα, τα περισσότερα

μοντέλα προσφέρουν πραγματική αυτονομία 350 έως 500 km, ενώ ορισμένα προηγμένα οχήματα, όπως η Mercedes EQS και η Lucid Air, φτάνουν τα 600–700 km [11]. Για τις καθημερινές μετακινήσεις, αυτονομία της τάξεως των 300 km θεωρείται επαρκής για τη συντριπτική πλειονότητα των οδηγών.

Η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί επίσης κρίσιμο δείκτη απόδοσης. Συνήθως εκφράζεται σε kWh ανά 100 km και κυμαίνεται στα 13–18 kWh/100 km για μικρομεσαία μοντέλα, ενώ τα μεγαλύτερα SUV εμφανίζουν τιμές της τάξεως των 20–25 kWh/100 km [11]. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε ενεργειακό ισοδύναμο περίπου 1,5–2 λίτρων βενζίνης ανά 100 km, γεγονός που αναδεικνύει την υψηλή αποδοτικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τα συμβατικά.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών κυμαίνεται συνήθως από 40 έως 100 kWh και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αυτονομία. Σε συνθήκες οικιακής φόρτισης με παροχή AC 7,4 kW απαιτούνται 6 έως 12 ώρες για πλήρη φόρτιση, ενώ σε ταχυφορτιστές DC ισχύος 150–350 kW το 80% της μπαταρίας μπορεί να αναπληρωθεί μέσα σε 20–40 λεπτά [11]. Παράλληλα, οι πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, όπως αυτές της BYD με τις μπαταρίες Blade [13] και της Xiaomi με την προσέγγιση διπλής μπαταρίας, στοχεύουν σε δραματική μείωση του χρόνου φόρτισης, καθιστώντας εφικτή τη σχεδόν πλήρη φόρτιση σε μόλις 5–10 λεπτά.

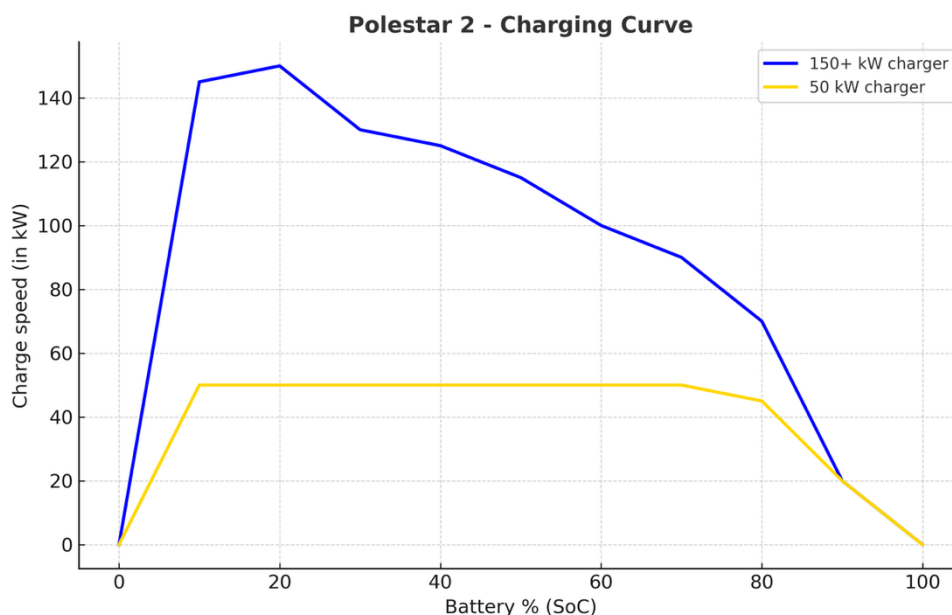
Ένα ακόμη χαρακτηριστικό στοιχείο των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών που ενισχύουν την απόδοσή τους. Η αναγεννητική πέδηση επιτρέπει την ανάκτηση ενέργειας κατά την επιβράδυνση, μειώνοντας τις συνολικές απώλειες και βελτιστοποιώντας την κατανάλωση [11]. Παράλληλα, τα συστήματα διαχείρισης μπαταρίας (Battery Management Systems – BMS) παρακολουθούν κρίσιμες παραμέτρους, όπως θερμοκρασία και τάση, εξασφαλίζοντας την ασφαλή λειτουργία και παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή [14].

Πίνακας 3 - Τεχνικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων ηλεκτρικών οχημάτων [15]

Μοντέλο	Κατασκευαστής	Χωρητικότητα Μπαταρίας (kWh)	Αυτονομία (km, WLTP)	Κατανάλωση (kWh/100 km)	Χρόνος Φόρτισης (10–80% DC fast charge)
Model 3 LR	Tesla	75	629	15.5	~27 λεπτά (250 kW)
Model Y LR	Tesla	75	533	16.9	~27 λεπτά (250 kW)
Model S Plaid	Tesla	100	600	18.7	~30 λεπτά (250 kW)
Model X Plaid	Tesla	100	576	20.0	~30 λεπτά (250 kW)
Atto 3	BYD	60.5	420	15.6	~29 λεπτά (88 kW)
Seal	BYD	82.5	570	16.0	~26 λεπτά (150 kW)
i4 eDrive40	BMW	83.9	590	16.1	~31 λεπτά (200 kW)
iX xDrive50	BMW	111.5	619	21.0	~35 λεπτά (200 kW)
i7 xDrive60	BMW	101.7	591	18.9	~34 λεπτά (195 kW)
C40 Recharge	Volvo	78	436	19.4	~28 λεπτά (200 kW)
EX90 (Dual Motor)	Volvo	111	600+	20.7	~30 λεπτά (250 kW)

Σημειώνεται ότι οι χρόνοι ταχείας φόρτισης δίνονται συνήθως για το εύρος 10–80% της χωρητικότητας της μπαταρίας. Η πρακτική αυτή υιοθετείται διότι η παρατεταμένη φόρτιση σε υψηλά ποσοστά, ιδιαίτερα σε ταχυφορτιστές συνεχούς ρεύματος (DC), μπορεί να επιβαρύνει τις κυψέλες και να μειώσει τη μακροχρόνια αντοχή του συσσωρευτή. Για τον λόγο αυτό,

κατασκευαστές όπως η Tesla συνιστούν τη συχνή φόρτιση έως περίπου το 80%, με την πλήρη φόρτιση στο 100% να προτείνεται μόνο όταν απαιτείται για μεγάλες αποστάσεις [16].



Διάγραμμα 4- Polestar2 - Ταχύτητα Φόρτισης σε διαφορετικούς Φορτιστές [17]

2.6 Παράγοντες και Πολιτικές που Διαμορφώνουν την Ανάπτυξη της Ηλεκτροκίνησης

Η ραγδαία ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης τα τελευταία χρόνια οφείλεται σε ένα σύνολο αλληλένδετων παραγόντων που διαμορφώνουν ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό πλαίσιο για την εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν περιβαλλοντικές, τεχνολογικές, οικονομικές και πολιτικές διαστάσεις.

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, κυρίαρχο κίνητρο αποτελεί η ανάγκη περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η προστασία της δημόσιας υγείας από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θεσπιστεί αυστηρά όρια για τις εκπομπές CO₂ των νέων επιβατικών αυτοκινήτων, γεγονός που υποχρεώνει τους κατασκευαστές να στραφούν σε τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών [18].

Σε τεχνολογικό επίπεδο, οι συνεχείς βελτιώσεις στις μπαταρίες ιόντων λιθίου και στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας έχουν ενισχύσει την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των EVs. Παράλληλα, η σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής μπαταριών τα τελευταία χρόνια έχει καταστήσει τα ηλεκτρικά οχήματα πιο ανταγωνιστικά έναντι των θερμικών, επιτρέποντας την πρόσβασή τους σε μεγαλύτερο ποσοστό καταναλωτών [19].

Από οικονομική σκοπιά, τα κρατικά κίνητρα αποτελούν βασικό μοχλό ανάπτυξης. Επιδοτήσεις για την αγορά νέων EVs, φοροαπαλλαγές, μειωμένα τέλη κυκλοφορίας, προνόμια στάθμευσης και πρόσβαση σε ζώνες χαμηλών εκπομπών δημιουργούν ένα πλέγμα οφελών που μειώνει το συνολικό κόστος χρήσης και καθιστά την επιλογή ενός EV πιο ελκυστική [20].

Σε πολιτικό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει διαμορφώσει ένα συνεκτικό θεσμικό πλαίσιο για την πράσινη μετάβαση. Το πακέτο μέτρων Fit for 55 στοχεύει στη μείωση των

καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030 και καθιστά υποχρεωτική την παύση πωλήσεων νέων οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης από το 2035 [21]. Το χρονοδιάγραμμα αυτό λειτουργεί ως καταλύτης για την επιτάχυνση επενδύσεων και την προώθηση τεχνολογικών καινοτομιών στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση, ωστόσο, δεν καθορίζεται αποκλειστικά από την τεχνολογική εξέλιξη ή τη δυναμική της αγοράς, αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το θεσμικό και φορολογικό πλαίσιο που διαμορφώνεται σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Οι πολιτικές αυτές λειτουργούν ως καταλύτες που επιταχύνουν ή επιβραδύνουν την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, δημιουργώντας το απαραίτητο υπόβαθρο για την ανάπτυξη των υποδομών και την ενίσχυση της ζήτησης.[36]

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, ο Κανονισμός (ΕΕ) 2023/851 ορίζει ότι από το 2035 και έπειτα θα απαγορεύεται η πώληση νέων επιβατικών αυτοκινήτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης, ενισχύοντας τη μετάβαση προς τα μηδενικών εκπομπών οχήματα. Παράλληλα, ο Κανονισμός για τις Υποδομές Εναλλακτικών Καυσίμων (AFIR[35] – 2023/1804) επιβάλλει στα κράτη-μέλη την ανάπτυξη επαρκούς αριθμού σταθμών φόρτισης στο δίκτυο μεταφορών (TEN-T), ώστε να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων σε πανευρωπαϊκό επίπεδο [37]. Ειδικά για την Ελλάδα, σημαντική παράμετρος είναι ότι δεν υφίστανται τελωνειακοί δασμοί για εισαγωγή EVs εντός ΕΕ, σε αντίθεση με οχήματα που προέρχονται από τρίτες χώρες, τα οποία υπόκεινται σε ΦΠΑ και τέλη ταξινόμησης [38].

Στο εθνικό πλαίσιο, ο Νόμος 4710/2020 αποτέλεσε το πρώτο ολοκληρωμένο θεσμικό βήμα για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα. Ο νόμος προέβλεψε κίνητρα αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων, ανάπτυξη υποδομών φόρτισης και την εκπόνηση Σχεδίων Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΣΦΗΟ) από τους δήμους. Παράλληλα, το πρόγραμμα «Κινούμαι Ηλεκτρικά» έπαιξε κομβικό ρόλο, καθώς στην αρχική του εκδοχή παρείχε επιδοτήσεις που έφταναν έως τα 9.000€ για αγορά ηλεκτρικού ΙΧ. Με τη νέα φάση του προγράμματος («Κινούμαι Ηλεκτρικά II»), το ανώτατο ποσό επιδότησης περιορίστηκε στα 3.500€, με διαφοροποίηση ανά κατηγορία οχήματος [39].

Η ανάλυση όλων αυτών των παραμέτρων δείχνει ότι η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης δεν βασίζεται μόνο σε μία τεχνολογική καινοτομία, αλλά αποτελεί προϊόν ενός πολυδιάστατου πλαισίου που συνδυάζει περιβαλλοντική πολιτική, οικονομικά κίνητρα, θεσμικές παρεμβάσεις και κοινωνική αποδοχή. Η κατανόηση αυτού του πλαισίου είναι απαραίτητη για την ερμηνεία της σημερινής πορείας της αγοράς και για την πρόβλεψη των μελλοντικών εξελίξεων..

Πίνακας 4 - Οικονομικά κίνητρα της δράσης «Κινούμαι Ηλεκτρικά»

Κατηγορία	Μέγιστη Επιδότηση	Πρόσθετα Κίνητρα	Σχόλια
ΙΧ (φυσικά πρόσωπα)	Έως 3.500€	+1.000€ για ΑμεΑ, Τρίτεκνους/Πολύτεκνους	Δεν υπάρχει πλέον bonus απόσυρσης
ΕΔΧ ΤΑΞΙ	Έως 8.000€	Υποχρεωτική απόσυρση	Συμπληρωματικά +1.000€ για ΑμεΑ/Πολύτεκνους
Επιχειρήσεις (ΙΧ/Van)	Έως 4.000€	+1.000€ για ΑμεΑ	Ανάλογα με τον αριθμό οχημάτων στόλου
Ηλεκτρικά δίκυκλα/τρίκυκλα	Έως 1.500€	+500€ για ΑμεΑ	Ποσοστό επιδότησης ~20%
Ηλεκτρικά ποδήλατα	Έως 800€	+500€ για ΑμεΑ	Ποσοστό επιδότησης ~40%

Έξυπνος φορτιστής	400–500€	-	Επιδoteίται εφόσον ανήκει στην επίσημη λίστα επιλέξιμων συσκευών [41]
-------------------	----------	---	---

Πέραν των άμεσων επιδοτήσεων, σημαντικό ρόλο έχουν και τα φορολογικά κίνητρα. Στην Ελλάδα τα ηλεκτρικά οχήματα απαλλάσσονται από τα τέλη κυκλοφορίας, τον φόρο πολυτελείας, ενώ διαθέτουν ελεύθερη πρόσβαση στον δακτύλιο της Αθήνας. Αντίστοιχες πρακτικές έχουν υιοθετηθεί σε χώρες με υψηλή διείσδυση EVs, όπως η Νορβηγία, όπου εφαρμόζεται μηδενικός ΦΠΑ έως 500.000 ΝΟΚ» (μετά υπάρχει ΦΠΑ στο υπερβάλλον) στην αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων [40].

Συνολικά, το θεσμικό και φορολογικό πλαίσιο λειτουργεί ως ισχυρός μοχλός ενίσχυσης της ηλεκτροκίνησης. Ωστόσο, η πρόσφατη μείωση του ύψους των επιδοτήσεων δείχνει ότι η κρατική πολιτική στρέφεται σε πιο στοχευμένα κίνητρα, με έμφαση στη βιωσιμότητα των δημοσίων δαπανών. Η κατανόηση αυτών των εξελίξεων είναι απαραίτητη, καθώς συνδέει την τεχνολογία και την αγορά με την κοινωνική και οικονομική πραγματικότητα, προετοιμάζοντας το έδαφος για την τελική αποτίμηση του θεωρητικού πλαισίου.

2.7 Οφέλη και Προκλήσεις της Ηλεκτροκίνησης

Η μετάβαση προς την ηλεκτροκίνηση δεν αποτελεί μόνο τεχνολογική εξέλιξη αλλά και μια βαθιά κοινωνικοοικονομική μεταβολή με πολλαπλές συνέπειες. Σε επίπεδο καταναλωτή, τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν μειωμένο κόστος χρήσης σε σχέση με τα συμβατικά, χάρη στο χαμηλότερο ενεργειακό κόστος ανά χιλιόμετρο και τις περιορισμένες ανάγκες συντήρησης που απορρέουν από την απλούστερη μηχανική τους δομή. Η εξοικονόμηση αυτή ενισχύεται ιδιαίτερα όταν η φόρτιση πραγματοποιείται σε οικιακό ή εργασιακό περιβάλλον, καθιστώντας ελκυστική την καθημερινή χρήση τους [22]. Παράλληλα, η μείωση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και θορύβου βελτιώνει τη δημόσια υγεία και την ποιότητα ζωής, ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδέεται με σοβαρές επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα [23].

Η ανάπτυξη της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων έχει επίσης τη δυναμική να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας κατά μήκος ολόκληρης της αλυσίδας αξίας, από την εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών έως την κατασκευή μπαταριών, την παραγωγή οχημάτων και την εγκατάσταση υποδομών φόρτισης. Η δημιουργία αυτών των νέων κλάδων μπορεί να αποτελέσει μοχλό οικονομικής ανάπτυξης και τεχνολογικής καινοτομίας, ενώ παράλληλα η μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια και περιορίζει την έκθεση των οικονομιών στις διακυμάνσεις των διεθνών τιμών πετρελαίου. Ωστόσο, η μετατόπιση των οικονομικών ισορροπιών προς τις αγορές πρώτων υλών και μπαταριών δημιουργεί νέες γεωπολιτικές εξαρτήσεις και κινδύνους [24][25].

Παρά τα σημαντικά οφέλη, η ηλεκτροκίνηση συνοδεύεται και από προκλήσεις που επηρεάζουν την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα της εξάπλωσής της. Σε πολλές χώρες παρατηρείται συγκέντρωση σταθμών φόρτισης στα μεγάλα αστικά κέντρα, αφήνοντας τις αγροτικές και περιφερειακές περιοχές με περιορισμένη κάλυψη, ενώ η ανεπάρκεια ταχυφορτιστών σε εθνικούς οδικούς άξονες δυσχεραίνει τις μετακινήσεις μεγάλων αποστάσεων. Η έλλειψη ενιαίων προτύπων και μηχανισμών πληρωμής μειώνει τη διαλειτουργικότητα του δικτύου [26], ενώ η αυξημένη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επιβαρύνει το ηλεκτρικό δίκτυο, ιδίως σε ώρες αιχμής, καθιστώντας αναγκαίες επενδύσεις σε «έξυπνα» δίκτυα, τεχνολογίες διαχείρισης φορτίων και αποθήκευσης ενέργειας [27].

Σημαντική πρόκληση προκύπτει και από την εξάρτηση της βιομηχανίας σε κρίσιμες πρώτες ύλες, όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Η αυξημένη ζήτηση αυτών των υλικών δημιουργεί κινδύνους εφοδιασμού και περιβαλλοντικές πιέσεις λόγω της εντατικής εξόρυξης, ενώ οι υφιστάμενες τεχνολογίες ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης παραμένουν σε αρχικά στάδια και δεν επαρκούν για να καλύψουν τη μελλοντική ζήτηση [28]. Την ίδια στιγμή, κοινωνικοί παράγοντες όπως το υψηλό αρχικό κόστος αγοράς, η ανησυχία για την αυτονομία και η αβεβαιότητα σχετικά με τη διάρκεια ζωής και την αξία μεταπώλησης των μπαταριών περιορίζουν την αποδοχή των καταναλωτών [29].

Επιπλέον, το θεσμικό και ρυθμιστικό πλαίσιο εξακολουθεί να αποτελεί τροχοπέδη στην ταχεία ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Οι καθυστερήσεις στις διαδικασίες αδειοδότησης νέων σταθμών φόρτισης, η έλλειψη ενιαίων κανόνων τιμολόγησης και οι ασάφειες σε επίπεδο αγοράς δυσχεραίνουν την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου και αξιόπιστου δικτύου. Στην ελληνική πραγματικότητα, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα Σχέδια Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΣΦΗΟ), τα οποία έχουν καταστεί υποχρεωτικά για τους δήμους αλλά η εφαρμογή τους καθυστερεί, επιβραδύνοντας την υλοποίηση μιας συνεκτικής στρατηγικής υποδομών. Συνεπώς, η επιτυχής μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση προϋποθέτει όχι μόνο τεχνολογική πρόοδο, αλλά και στοχευμένες πολιτικές που θα εξισορροπούν τα κοινωνικά οφέλη με τις οικονομικές και θεσμικές προκλήσεις, διασφαλίζοντας μια δίκαιη και βιώσιμη ανάπτυξη.

Κεφάλαιο 3 -Η Ανάπτυξη της Αγοράς Ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα

Η ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα εμφανίζει μια συνεχή αύξηση τα τελευταία χρόνια, με σαφή τη στροφή προς οχήματα μηδενικών ή χαμηλών εκπομπών. Παρά τις προκλήσεις, η χώρα επιχειρεί να προσαρμοστεί σε μία νέα πραγματικότητα μετακινήσεων, όπου τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα γίνονται όλο και πιο ορατά στους δρόμους αλλά και στις πολιτικές επιλογές της δημόσιας διοίκησης.

Οι ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων (BEVs και PHEVs) σημειώνουν ανοδική τάση για παράδειγμα, το 2025 έχουν κινηθεί σημαντικά δημοσιευμένα στοιχεία που δείχνουν ότι σχεδόν 33.000 PHEVs και 24.300 BEVs έχουν ταξινομηθεί στην Ελλάδα [42]. Αυτή η άνοδος συνοδεύεται από θεσμικές πρωτοβουλίες, όπως ο νόμος Ν. 4710/2020, που έθεσε θεμέλια για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης ως πολιτική επιλογή σε εθνικό επίπεδο [43].

Παράλληλα, η ελληνική πολιτεία έχει υιοθετήσει φορολογικά και οικονομικά κίνητρα για την ενθάρρυνση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η πλήρης απαλλαγή από το Τέλος Ταξινόμησης για τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, καθώς και κινήσεις μείωσης των φόρων ή απαλλαγών για συγκεκριμένες κατηγορίες χρηστών [44]. Επιπλέον, προκηρύσσονται μέτρα για την ενίσχυση του δικτύου δημόσια προσβάσιμων σταθμών φόρτισης, προκειμένου να υποστηριχθεί η αυξανόμενη ζήτηση [45].

Συνολικά, η ελληνική αγορά ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης, με αυξανόμενη αποδοχή και εντεινόμενες προσπάθειες θεσμικής και υποδομικής προσαρμογής. Τα δεδομένα δείχνουν ότι η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνεται σταδιακά, γεγονός που δημιουργεί ανάγκες για περαιτέρω ενίσχυση των υποδομών φόρτισης και της οργανωμένης πολιτικής.

3.1 Εξέλιξη Ταξινομήσεων Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται σε φάση σταθερής ανάπτυξης, με τις ταξινομήσεις να καταγράφουν ανοδική πορεία τα τελευταία χρόνια. Τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (BEVs) και τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά (PHEVs) αυξάνουν το μερίδιό τους, ενώ η παρουσία τους στους δρόμους καθίσταται όλο και πιο ορατή [46]. Παρά το γεγονός ότι η πλειονότητα των νέων ταξινομήσεων εξακολουθεί να αφορά οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης, η διείσδυση των EVs παρουσιάζει αξιοσημείωτη δυναμική [47].

Από το 2021 έως το 2024 παρατηρείται συνεχής αύξηση τόσο στις απόλυτες πωλήσεις όσο και στο ποσοστό συμμετοχής των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο της αγοράς. Ειδικά την τελευταία διετία, η αύξηση είναι πιο έντονη, γεγονός που αντανάκλα τη σταδιακή ωρίμανση της αγοράς, τα κρατικά κίνητρα και τη μεγαλύτερη γκάμα διαθέσιμων μοντέλων [48].

Η σταδιακή αυτή άνοδος αποτυπώνεται όχι μόνο στους απόλυτους αριθμούς ταξινομήσεων αλλά και στη μεταβολή του μεριδίου αγοράς. Για παράδειγμα, το 2024 ταξινομήθηκαν 8.707 αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (BEVs) με μερίδιο αγοράς περίπου 6,35%, αυξημένο από το ~4,74% του 2023 [49]. Εάν συνυπολογιστούν και τα PHEVs, στο 2024 το συνολικό μερίδιο των EVs (BEV + PHEV) διαμορφώθηκε στο ~12,38% από ~11,31% το 2023 [49].

Η τάση αυτή ενισχύεται από την πτώση του κόστους των μπαταριών, τα χρηματοδοτικά κίνητρα, καθώς και την αυξανόμενη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση των καταναλωτών [50]. Ωστόσο, η συνεχιζόμενη υπεροχή των θερμικών οχημάτων δείχνει ότι η ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα παραμένει σε μεταβατικό στάδιο και απαιτείται περαιτέρω ενίσχυση σε επίπεδο υποδομών και πολιτικών [51].

Πέρα από τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία, οι εκτιμήσεις για το 2025 δείχνουν ότι η ανοδική πορεία θα συνεχιστεί. Σύμφωνα με στοιχεία, το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στην ελληνική αγορά έχει ήδη φτάσει στο ~4,45% στα πρώτα πέντε μήνες του 2025, με αύξηση +56,6% σε σχέση με την ίδια περίοδο του 2024 [52]. Εφόσον διατηρηθεί παρόμοιος ρυθμός, οι συνολικές ταξινομήσεις EVs για το 2025 εκτιμάται ότι θα φτάσουν ή και θα ξεπεράσουν τις 8.000–9.000 μονάδες, ενισχύοντας περαιτέρω τη θέση τους στην ελληνική αγορά.

Πίνακας 5 - Ταξινομήσεις ανά κατηγορία οχήματος (2019 – 2024)[49]

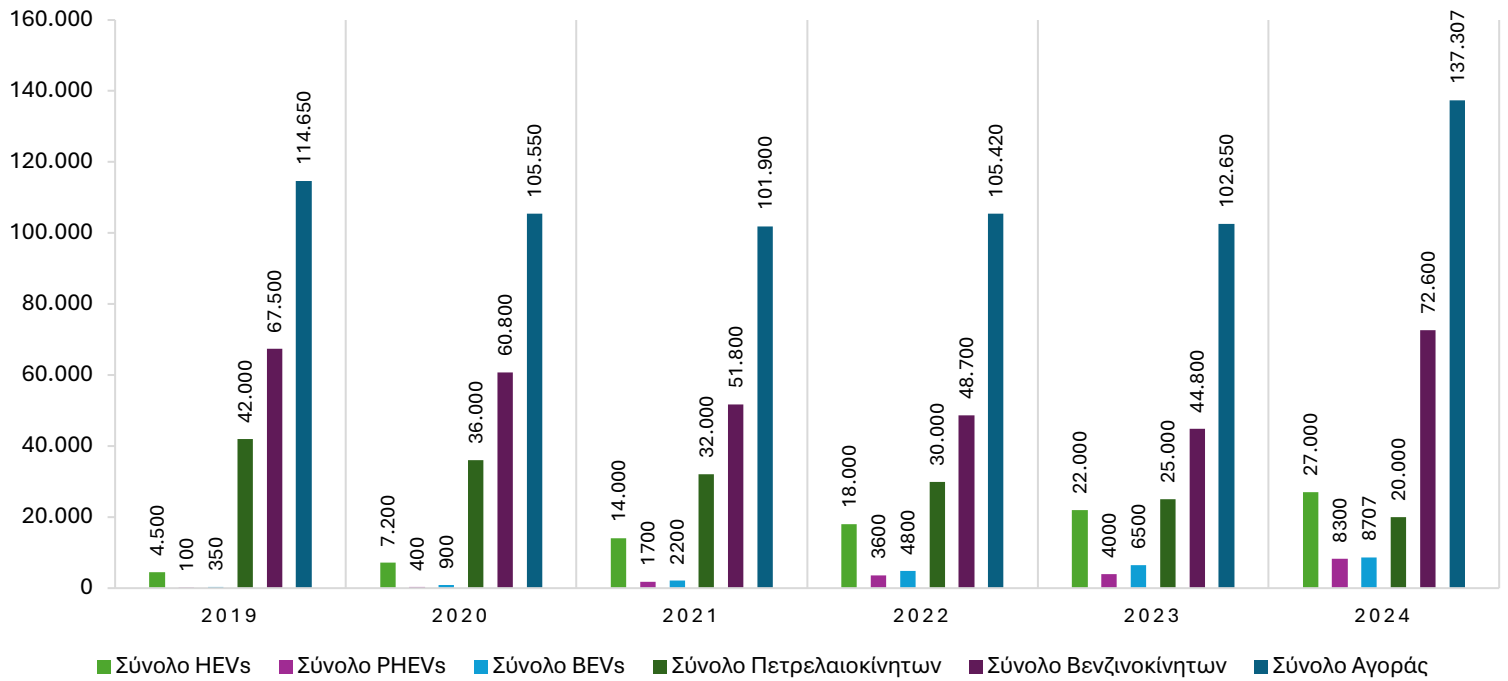
Έτος	BEVs	PHEVs	HEVs	Diesel	Βενζίνη	Σύνολο Αγοράς
2019	350	100	4.500	42.000	67.500	114.650
2020	900	400	7.200	36.000	60.800	105.550
2021	2.200	1.700	14.000	32.000	51.800	101.900
2022	4.800	3.600	18.000	30.000	48.700	105.420
2023	6.500	4.000	22.000	25.000	44.800	102.650
2024	8.707	8.300	27.000	20.000	72.600	137.307
2025*	10.800	9.200	28.500	18.500	74.000	141.000

*Βάση εκτίμησης [54]

Τα στοιχεία αναδεικνύουν μια σαφή αναδιάρθρωση της ελληνικής αγοράς οχημάτων τα τελευταία χρόνια. Οι αμιγώς ηλεκτρικοί τύποι (BEV) και τα υβριδικά με δυνατότητα φόρτισης (PHEV) σημειώνουν θεαματική αύξηση, από οριακά μεγέθη το 2019 σε χιλιάδες ταξινομήσεις το 2024, γεγονός που αποτυπώνει την αυξανόμενη διείσδυση της ηλεκτροκίνησης. Παράλληλα, τα υβριδικά (HEV) ενισχύουν συνεχώς το μερίδιό τους, δείχνοντας ότι οι καταναλωτές στρέφονται σε ενδιάμεσες τεχνολογίες πριν την πλήρη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση.

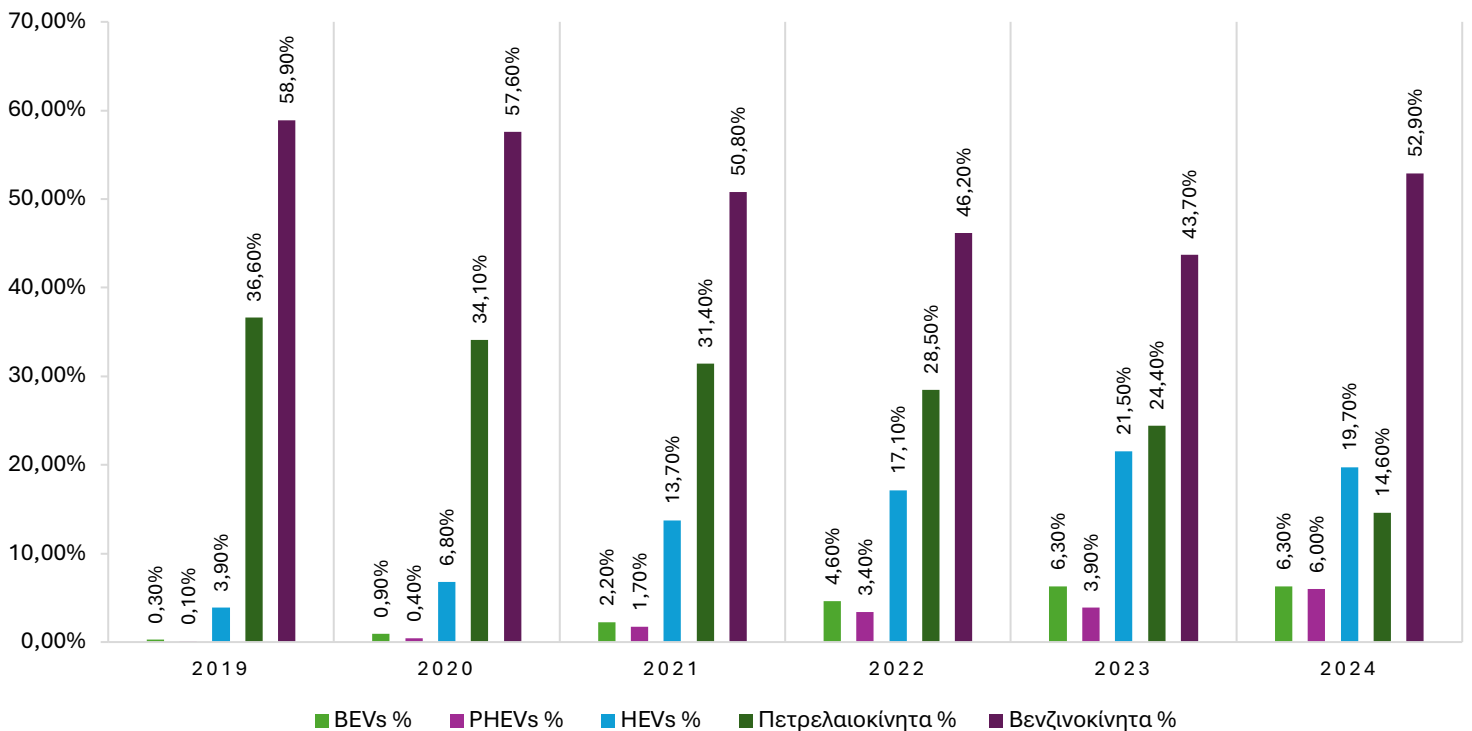
Αντίθετα, τα πετρελαιοκίνητα (Diesel) καταγράφουν έντονη καθοδική πορεία, χάνοντας πάνω από το μισό των ταξινομήσεών τους μέσα σε πέντε χρόνια, κάτι που ευθυγραμμίζεται με τις ευρωπαϊκές τάσεις περιορισμού του diesel. Η βενζίνη παραμένει κυρίαρχη, αλλά με σημαντικές διακυμάνσεις: πτώση 2019–2023 και αύξηση το 2024, πιθανόν λόγω προσφορών ή ευκολότερης πρόσβασης σε διαθέσιμα μοντέλα.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (2019 – 2024)

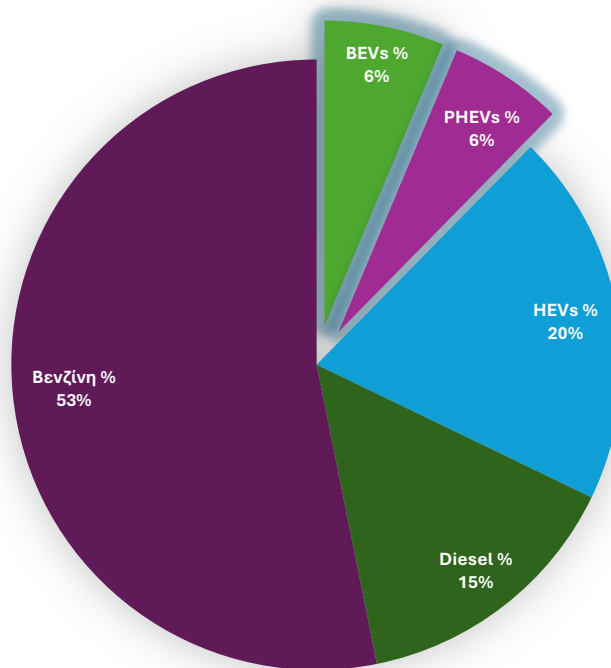


Διάγραμμα 5 - Ταξινομήσεις ανά κατηγορία οχήματος (2019 - 2024)

ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΡΙΔΙΟΥ ΑΓΟΡΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (2019 - 2024)



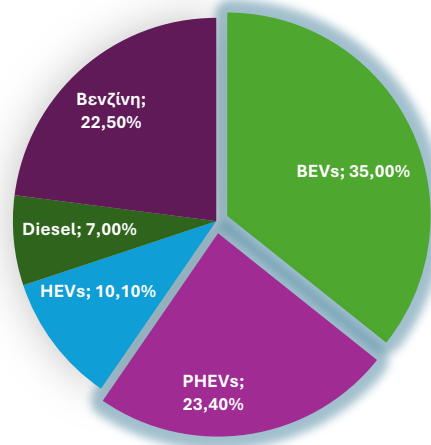
Διάγραμμα 6 - Ποσοστό μεριδίου αγοράς (%) ανά κατηγορία (2019-2024)



Διάγραμμα 7 – Ποσοστό μεριδίου αγοράς ανά κατηγορία 2024

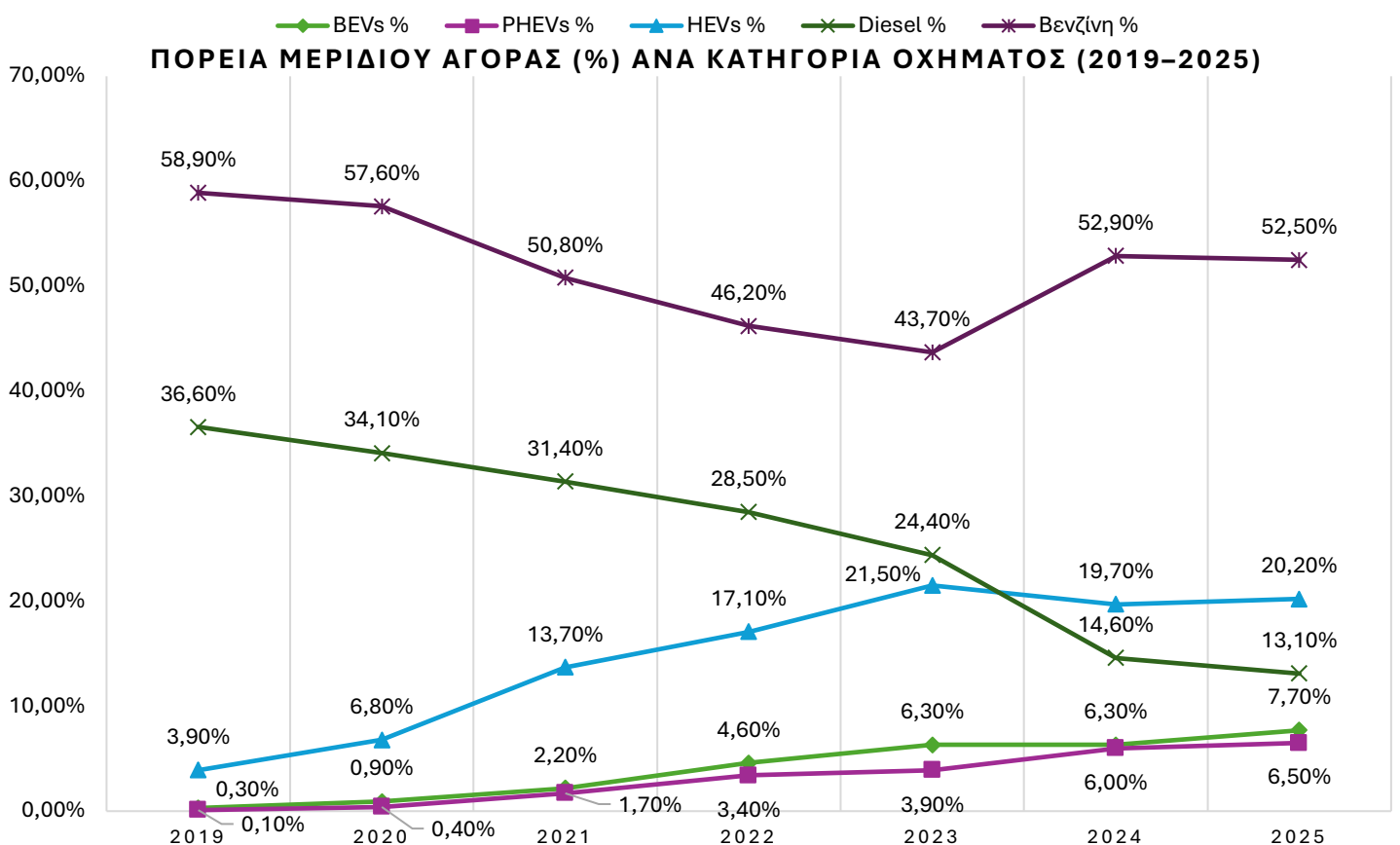
Αξίζει να σημειωθεί πως η Ελλάδα βελτιώνει σταθερά το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων (BEV+PHEV), ωστόσο εξακολουθεί να υπολείπεται σημαντικά του μέσου όρου της ΕΕ. Το 2023, τα ηλεκτρικά κατέλαβαν το 22,7% των νέων ταξινομήσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ το 2024 το ποσοστό στη χώρα μας διαμορφώθηκε περίπου στο 12,4%, διατηρώντας αισθητή απόσταση από την ευρωπαϊκή επίδοση [53], [54]. Στον αντίποδα, χώρες-ηγέτες εντός της Ένωσης, όπως η Σουηδία, καταγράφουν εντυπωσιακά αποτελέσματα: το 2024 τα αμιγώς ηλεκτρικά (BEV) κατέλαβαν το 35% των νέων ταξινομήσεων και τα plug-in υβριδικά (PHEV) πρόσθεσαν ακόμη 23,4%, ανεβάζοντας το συνολικό μερίδιο των plug-in οχημάτων σε πάνω από 58%. Η επίδοση αυτή κατατάσσει τη Σουηδία στην πρώτη θέση της ΕΕ, αποτυπώνοντας τη δυναμική της στροφής προς την καθαρή κινητικότητα, την αποτελεσματική εφαρμογή κινήτρων και την ευρεία αποδοχή από τους καταναλωτές.

Για το 2025, η ευρωπαϊκή τάση παραμένει ανοδική: τα BEV στην ΕΕ ανήλθαν σε 15,6% του μεριδίου αγοράς στο διάστημα Ιαν.-Ιουλ. 2025 (YTD), ενώ τα PHEV ενισχύονται επίσης, υποδηλώνοντας συνολικά υψηλότερο ποσοστό για τα plug-in στην ΕΕ σε ετήσια βάση. Στην Ελλάδα, τα προσωρινά στοιχεία για το πεντάμηνο Ιαν.-Μάι. 2025 δείχνουν ~4,45% μερίδιο για BEV+PHEV και ετήσια άνοδο ~+56,6% αν ο ρυθμός αυτός διατηρηθεί και συνδυαστεί με ενίσχυση υποδομών/κινήτρων, το 2025 μπορεί να κλείσει σημαντικά υψηλότερα από το 2024, αλλά η χώρα εξακολουθεί να έχει δρόμο μέχρι να συγκλίνει με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. [55], [56]



Διάγραμμα 8 - Ποσοστό μεριδίου αγοράς ανά κατηγορία 2024 στην Σουηδία

Η ανάλυση των δεδομένων δείχνει ότι, παρά τη σταθερή άνοδο των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα, το μερίδιό τους παραμένει ακόμη χαμηλό συγκριτικά με τις πιο ώριμες αγορές της Ευρώπης, όπως η Σουηδία. Η υπεροχή των βενζινοκίνητων και η σημαντική παρουσία των πετρελαιοκίνητων οχημάτων αποτυπώνουν ότι η χώρα βρίσκεται σε αρχικό στάδιο μετάβασης. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει πως υπάρχει μεγάλο περιθώριο ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης και καθιστά αναγκαία τη στοχευμένη ανάπτυξη υποδομών φόρτισης, ώστε να επιταχυνθεί η σύγκλιση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο.



Διάγραμμα 9 - Πορεία μεριδίου αγοράς (%) ανά κατηγορία οχήματος (2019 - 2025)

Οι τιμές του 2025 προκύπτουν από προεκβολή των τάσεων 2019-2024 και προκαταρκτικών δεδομένων 2025 ενδέχεται να διαφοροποιηθούν με τη δημοσίευση των τελικών ταξινομήσεων.

3.2 Εξέλιξη των υποδομών φόρτισης στην Ελλάδα

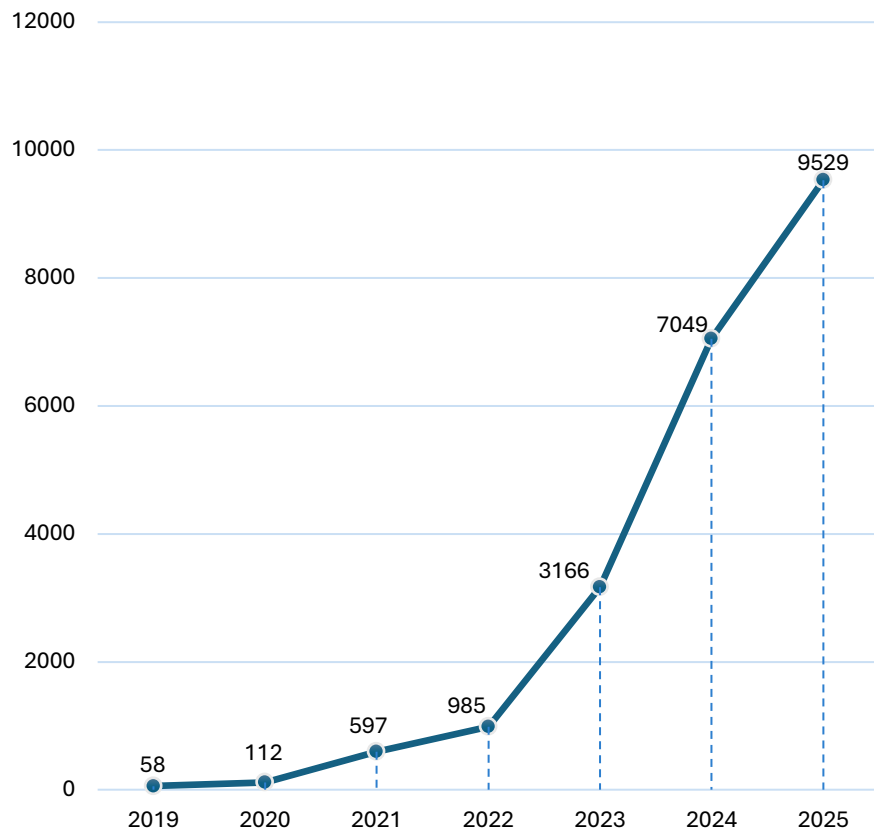
Η ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντική πρόοδο, αν και η χώρα ξεκίνησε από εξαιρετικά χαμηλή βάση. Το 2019 υπήρχαν μόλις 58 δημόσια σημεία φόρτισης σε όλη την επικράτεια, αριθμός ανεπαρκής για οποιονδήποτε ουσιαστικό στόλο EV. Έκτοτε σημειώθηκε ραγδαία αύξηση: το 2021 καταγράφηκαν 597 σημεία, το 2023 ξεπέρασαν τις 3.100, ενώ το 2024 τα δημόσια σημεία φόρτισης ανήλθαν σε 7.049. Σύμφωνα με το Μητρώο Υποδομών Ηλεκτροκίνησης (ΜΥΦΑΗ), μέχρι τα μέσα του 2025 λειτουργούν 9.529 σημεία σε 3.609 τοποθεσίες πανελλαδικά [57].

Η γεωγραφική κατανομή παραμένει άνιση. Η πλειονότητα των φορτιστών συγκεντρώνεται σε μεγάλα αστικά κέντρα όπως η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, καθώς και στους κύριους αυτοκινητόδρομους (ΠΑΘΕ, Ιόνια Οδός). Ταυτόχρονα, δίνεται έμφαση σε τουριστικούς προορισμούς και νησιά, ώστε να εξυπηρετηθεί η αυξανόμενη ζήτηση από επισκέπτες και κατοίκους. Ενδεικτικά, σε νησιά όπως η Κρήτη, η Ρόδος και η Κέρκυρα, αλλά και σε «πράσινα» πιλοτικά προγράμματα (Χάλκη, Αστυπάλαια), έχουν ήδη εγκατασταθεί δίκτυα φόρτισης που υποστηρίζουν την τοπική ηλεκτροκίνηση.[60] [61]

Σε εθνικό επίπεδο, καθοριστικής σημασίας είναι το πρόγραμμα «Φορτίζω Παντού», το οποίο χρηματοδοτεί την προμήθεια, εγκατάσταση και σύνδεση τουλάχιστον 4.500 δημοσίως προσβάσιμων σημείων φόρτισης, με συνολική ισχύ 300.000 kW και προϋπολογισμό περίπου €80 εκατ. από το Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας [62][63]. Η δράση αυτή στοχεύει κυρίως σε στρατηγικά σημεία υψηλής επισκεψιμότητας, όπως αεροδρόμια, λιμένες, πρατήρια καυσίμων και αυτοκινητόδρομους, προκειμένου να δημιουργηθεί μια αξιόπιστη «ραχοκοκαλιά» υποδομών σε όλη τη χώρα.

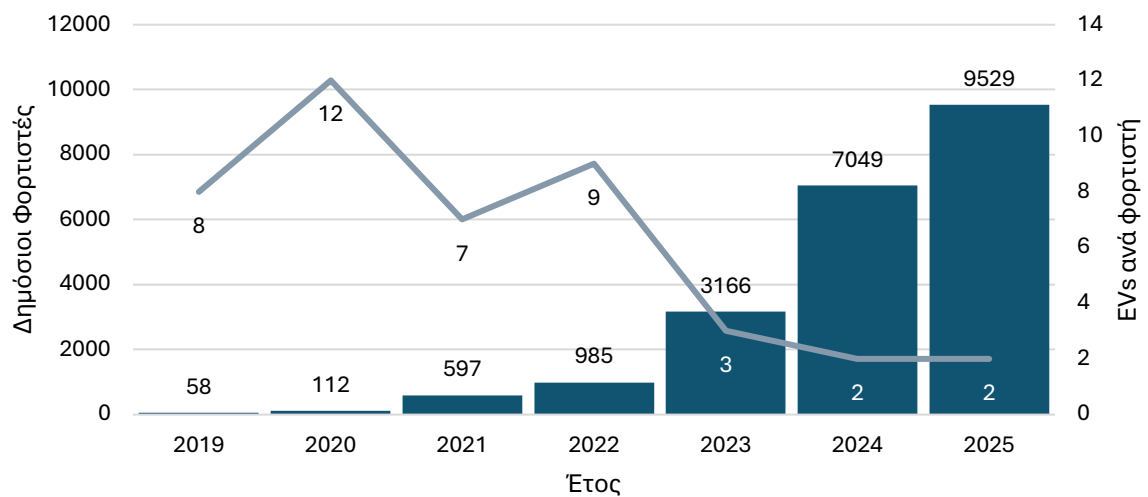
Παρά τη θετική πορεία, οι αδυναμίες είναι εμφανείς. Λιγότερο από το 10% των σημείων αφορά ταχυφορτιστές (>22 kW)[59], γεγονός που περιορίζει τις δυνατότητες άμεσης φόρτισης σε ταξίδια μεγάλων αποστάσεων. Επιπλέον, οι καθυστερήσεις στην υλοποίηση των Σχεδίων Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΣΦΗΟ), που είναι υποχρεωτικά για τους δήμους, επιβραδύνουν την ανάπτυξη ενός ισορροπημένου δικτύου. Η γραφειοκρατία, οι αδειοδοτήσεις και οι τεχνικές προκλήσεις σύνδεσης με το δίκτυο διανομής παραμένουν σημαντικά εμπόδια.

Οι εθνικοί στόχοι ωστόσο είναι φιλόδοξοι: 12.000 δημόσια σημεία έως το 2025 και 25.000 έως το 2030 [64][65]. Αν οι στόχοι αυτοί επιτευχθούν, θα καλυφθούν κρίσιμα κενά και θα διασφαλιστεί η αναλογία 1 φορτιστή ανά 10 EVs που συνιστά η Ευρωπαϊκή Επιτροπή [58]. Η σύμπραξη δημόσιου και ιδιωτικού τομέα αποτελεί βασικό παράγοντα για την περαιτέρω επιτάχυνση της μετάβασης. Συνολικά, η Ελλάδα βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο: από την πιλοτική κλίμακα υποδομών περνά σε φάση εκτεταμένης ανάπτυξης, με προοπτικές που μπορούν να στηρίξουν την εκρηκτική αύξηση της ηλεκτροκίνησης στα επόμενα χρόνια.



Διάγραμμα 10 - Εξέλιξη δημοσίων σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα (2019 - 2025) [61]

Δημόσιοι φορτιστές και αναλογία EVs/φορτιστή (2019–2025)



Διάγραμμα 11- Εξέλιξη δημοσίων φορτιστών και αναλογία EVs/φορτιστή στην Ελλάδα (2019 - 2025) [61]

Η ραγδαία αύξηση των δημοσίων φορτιστών την περίοδο 2019–2025 οδήγησε σε θεαματική βελτίωση της αναλογίας EVs/φορτιστή. Από τα 12 EVs ανά φορτιστή το 2020, η Ελλάδα έφτασε στα μόλις 2 EVs ανά φορτιστή το 2024–2025, ξεπερνώντας τον στόχο της ΕΕ (1:10). Η εξέλιξη αυτή

καταδεικνύει τη δυναμική ανάπτυξη του δικτύου, αν και η γεωγραφική ανισοκατανομή[67] και η έλλειψη ταχυφορτιστών παραμένουν κρίσιμες προκλήσεις.[66]

3.3 Αποτίμηση της Ελληνικής Πραγματικότητας και Ανάγκη Στοχευμένης Χωροθέτησης

Η ελληνική αγορά ηλεκτροκίνησης βρίσκεται σε τροχιά ταχείας ανάπτυξης, με αυξανόμενες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων και σημαντική πρόοδο στις υποδομές φόρτισης. Ωστόσο, η χώρα ξεκίνησε από χαμηλή βάση και εξακολουθεί να υστερεί σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Το χρονικό ορόσημο 2030–2035, με την ευρωπαϊκή πολιτική για μηδενικές εκπομπές στα νέα αυτοκίνητα (πλήρης μείωση CO₂ έως το 2035), αναμένεται να λειτουργήσει ως καταλύτης για τη διεύρυνση του στόλου EV και κατά συνέπεια για αυξημένες απαιτήσεις σε δημόσια διαθέσιμους φορτιστές [68].

Οι μεγαλύτερες πιέσεις θα εμφανιστούν σε μεγάλους αστικούς δήμους (Αθήνα, Θεσσαλονίκη), όπου η υψηλή κυκλοφορία και οι περιορισμένοι χώροι στάθμευσης απαιτούν εύκολα προσβάσιμες υποδομές φόρτισης. Παράλληλα, ο ισχυρός τουριστικός χαρακτήρας της χώρας δημιουργεί έντονες εποχικές αιχμές σε προορισμούς με μεγάλα ρεύματα αφίξεων, εντείνοντας την ανάγκη για χωροθέτηση σε στρατηγικά σημεία ενδιαφέροντος (αεροδρόμια, λιμάνια, ξενοδοχεία, μνημεία, χώροι στάθμευσης) [69]. Στο επίπεδο αστικού σχεδιασμού, υφιστάμενα σχέδια βιώσιμης κινητικότητας (π.χ. ΣΒΑΚ Δήμου Αθηναίων) υπογραμμίζουν τη σημασία κόμβων κινητικότητας και οργανωμένων σημείων μετεπιβίβασης-περιοχές που συμπίπτουν με υψηλές ανάγκες για φόρτιση [70].

Συνοπτικά, η Ελλάδα έχει διανύσει σημαντική απόσταση και οι προοπτικές για την επόμενη δεκαετία είναι θετικές, αρκεί η ανάπτυξη να είναι στοχευμένη και να βασίζεται σε πραγματικές ανάγκες. Η κρίσιμη πρόκληση δεν είναι μόνο η ποσοτική αύξηση των φορτιστών, αλλά κυρίως η βέλτιστη χωροθέτησή τους: πού πρέπει να τοποθετηθούν ώστε να καλύπτουν πραγματικές ροές μετακινήσεων, να εξυπηρετούν κατοίκους και επισκέπτες, να μειώνουν το «άγχος αυτονομίας» και να υποστηρίζουν την οικονομική και τουριστική δραστηριότητα. Στο πλαίσιο αυτό, η πολυκριτηριακή ανάλυση που αξιοποιεί δεδομένα ζήτησης, τουρισμού και σημείων ενδιαφέροντος αποτελεί το κατάλληλο εργαλείο για την ιεράρχηση θέσεων εγκατάστασης. Η παρούσα μελέτη εφαρμόζει ακριβώς αυτή την προσέγγιση στο κέντρο της Αθήνας, με βάση πραγματικά δεδομένα και με στόχο ρεαλιστικές, εφαρμόσιμες προτάσεις [71].

Κεφάλαιο 4 - Μεθοδολογία Συλλογής και Οργάνωσης των Δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων επικεντρώνεται στην Αθήνα, καθώς η πόλη συγκεντρώνει σημαντικό αριθμό επιχειρήσεων και εμπορικών δραστηριοτήτων, ενώ παράλληλα η έντονη τουριστική κίνηση δημιουργεί πρόσθετες πιέσεις στις υποδομές. Η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης σε μια τόσο πολυσύνθετη αστική περιοχή καθιστά απαραίτητη την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης με ακρίβεια. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις γειτονιές που συνθέτουν το ευρύτερο κέντρο της πόλης, παρουσιάζοντας διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά, ποικίλο βαθμό εμπορικής δραστηριότητας, έντονη τουριστική έλξη αλλά και υψηλή οικιστική πυκνότητα.

Πίνακας 6 – Γειτονιές του Κέντρου Αθηνών ανά Δημοτική Κοινότητα

Δημοτική Κοινότητα	Γειτονιά
1 ^η	Σύνταγμα, Κολωνάκι, Εξάρχεια, Μοναστηράκι, Πλάκα, Πλατεία Ομονοίας, Ακρόπολη
2 ^η	Νέος Κόσμος, Παγκράτι, Ιλίσια
3 ^η	Πετράλωνα, Κεραμεικός, Θησείο
4 ^η	Κολωνός, Σεπόλια
5 ^η	Κάτω Πατήσια
6 ^η	Κυψέλη
7 ^η	Απελόκηποι, Γκύζη, Γουδί

Η μελέτη αυτών των περιοχών δημιουργεί ένα αντιπροσωπευτικό πλαίσιο που αναδεικνύει τις ανάγκες και τις προκλήσεις για τη βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Η αξιολόγηση της χωροθέτησης δεν μπορεί να περιοριστεί μόνο στην υφιστάμενη κυκλοφορία και στις βασικές μετακινήσεις εντός της πόλης. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο χρόνος στάθμευσης σε σημεία ενδιαφέροντος, όπως καταστήματα, εστιατόρια, χώροι άθλησης, πανεπιστημιακές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία και εμπορικά κέντρα, όπου η δυνατότητα φόρτισης κατά τη διάρκεια της παραμονής αυξάνει την πρακτικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων και μειώνει το λεγόμενο «άγχος αυτονομίας». Παράλληλα, η Αθήνα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τουριστικούς προορισμούς της Ευρώπης, με εκατομμύρια επισκέπτες κάθε χρόνο, γεγονός που ασκεί πρόσθετες πιέσεις στη ζήτηση για δημόσια σημεία φόρτισης, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή επισκεψιμότητα, όπως το ιστορικό κέντρο, οι αρχαιολογικοί χώροι, οι εμπορικές ζώνες και οι τουριστικές γειτονιές. Η ενσωμάτωση τόσο των δεδομένων τουριστικής ροής όσο και των σημείων ενδιαφέροντος στη μελέτη είναι κρίσιμη, ώστε η ανάπτυξη νέων υποδομών φόρτισης να ανταποκρίνεται στις πραγματικές ανάγκες κατοίκων και επισκεπτών.

4.1 Μεθοδολογικά Εργαλεία για τη Συλλογή και Οργάνωση Δεδομένων

Στην παρούσα εργασία, η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Python, κυρίως λόγω της ευρείας διάδοσης και της συνεχούς ανάπτυξής της στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων. Για την υλοποίηση της συλλογής και οργάνωσης δεδομένων φόρτισης αξιοποιήθηκαν τα ακόλουθα προγραμματιστικά πακέτα – βιβλιοθήκες:

- **Selenium:** χρησιμοποιήθηκε για την αυτοματοποίηση της πλοήγησης σε ιστοσελίδες και την εξαγωγή δεδομένων μέσω web scraping, επιτρέποντας την παρακολούθηση δυναμικών στοιχείων που δεν είναι διαθέσιμα σε απλή μορφή HTML.
- **Pandas:** διευκόλυνε τη διαχείριση και τον καθαρισμό δεδομένων σε μορφή πινάκων, προσφέροντας λειτουργίες φιλτραρίσματος, ομαδοποίησης και εξαγωγής σε αρχεία Excel.
- **Geopy:** αξιοποιήθηκε για γεωκωδικοποίηση, δηλαδή για τη μετατροπή διευθύνσεων σε γεωγραφικές συντεταγμένες (latitude, longitude), ώστε να καταστεί δυνατή η χωρική αποτύπωση των σημείων φόρτισης.
- **RateLimiter (geopy.extra):** χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με το Geopy για τον έλεγχο της συχνότητας αιτημάτων σε διαδικτυακές υπηρεσίες, αποτρέποντας σφάλματα λόγω υπερφόρτωσης.
- **JSON & OS:** βοήθησαν στη διαχείριση αρχείων και στη δομή αποθήκευσης των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

Traceback & Logging: χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση και την καταγραφή σφαλμάτων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των scripts. Ο συνδυασμός των παραπάνω εργαλείων επέτρεψε την πλήρη αυτοματοποίηση της συλλογής δεδομένων από διαφορετικές πηγές, την αποθήκευση και οργάνωσή τους σε ενιαίο αρχείο, και τη μεταγενέστερη χρήση τους για ανάλυση και οπτικοποίηση.

4.2 Πηγές Δεδομένων για υφιστάμενους Φορτιστές, Σημεία Ενδιαφέροντος και Τουρισμού

Η αξιοπιστία και η πληρότητα των αποτελεσμάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Για τον σκοπό αυτό, στην παρούσα μελέτη αντλήθηκαν στοιχεία από διαφορετικές πηγές, ώστε να διασφαλιστεί ότι το τελικό σύνολο δεδομένων αποτυπώνει με τον πιο ολοκληρωμένο τρόπο την υφιστάμενη κατάσταση των υποδομών φόρτισης στην Αθήνα.

Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν τόσο διεθνείς πλατφόρμες συλλογής δεδομένων (όπως το PlugShare[72]), που προσφέρουν λεπτομερή και επικαιροποιημένα στοιχεία χρηστών, όσο και επίσημα μητρώα της ελληνικής πολιτείας (ΜΥΦΑΗ[73]), τα οποία παρέχουν θεσμικά κατοχυρωμένες πληροφορίες για σημεία φόρτισης που έχουν δηλωθεί και καταχωρηθεί. Ο συνδυασμός αυτών των πηγών κρίνεται απαραίτητος, καθώς καμία μεμονωμένη βάση δεδομένων δεν αποτυπώνει πλήρως την πραγματική εικόνα.

Παράλληλα, αντλήθηκαν δεδομένα για σημεία ενδιαφέροντος (Points of Interest – POIs) μέσω της πλατφόρμας Vrisko.gr [75], η οποία λειτουργεί ως διαδικτυακός κατάλογος επιχειρήσεων και επαγγελματιών σε όλη την Ελλάδα. Η λογική πίσω από αυτήν την επιλογή σχετίζεται με το γεγονός ότι πολλά από τα σημεία αυτά (π.χ. νοσοκομεία, φαρμακεία, γυμναστήρια, πανεπιστήμια, καταστήματα) αποτελούν χώρους στους οποίους οι χρήστες σταθμεύουν για σημαντικό χρονικό διάστημα, δημιουργώντας δυνητικά αυξημένη ζήτηση για φόρτιση. Η στοχευμένη συλλογή δεδομένων ανά κατηγορία επιχειρήσεων και η αποθήκευσή τους σε θεματικά φύλλα Excel επέτρεψαν την ανάλυση προτύπων συγκέντρωσης, αναδεικνύοντας χωρικές συσχετίσεις με τις υφιστάμενες υποδομές φόρτισης.

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα Booking.com [76], η οποία αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους διεθνείς ιστότοπους κράτησης καταλυμάτων. Η ανάλυση των καταχωρήσεων προσφέρει μια αξιόπιστη ένδειξη της τουριστικής πυκνότητας στην περιοχή μελέτης, δεδομένου

ότι τα ξενοδοχεία, τα διαμερίσματα και τα τουριστικά καταλύματα συγκεντρώνουν αυξημένη επισκεψιμότητα και συνδέονται με μακρύτερους χρόνους στάθμευσης. Η άντληση και οργάνωση των δεδομένων από το Booking.com παρείχε κρίσιμη πληροφορία για την εκτίμηση της πρόσθετης πίεσης που ασκεί η τουριστική δραστηριότητα στις ανάγκες δημόσιας φόρτισης, εμπλουτίζοντας έτσι τη βάση δεδομένων με μια παράμετρο που συχνά παραβλέπεται σε κλασικές μελέτες χωροθέτησης.

4.2.1 Συλλογή Δεδομένων από το Plugshare

Το PlugShare[72] αποτελεί τη μεγαλύτερη crowdsourced πλατφόρμα χαρτογράφησης σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων παγκοσμίως. Αναπτύσσεται καθημερινά μέσω της συνεισφοράς εκατομμυρίων χρηστών, οι οποίοι προσθέτουν νέους σταθμούς, ενημερώνουν την κατάσταση λειτουργίας τους, καταγράφουν σχόλια και αξιολογήσεις, καθώς και φωτογραφικό υλικό. Η δυναμική αυτή τροφοδοτεί μια συνεχή ροή δεδομένων, που καθιστά την πλατφόρμα όχι μόνο εργαλείο πλοήγησης για οδηγούς EV, αλλά και πολύτιμη βάση πληροφόρησης για ερευνητικούς σκοπούς και σχεδιασμό υποδομών.

Για την αποτύπωση των δημοσίως προσβάσιμων σημείων φόρτισης, αξιοποιήθηκε η πλατφόρμα PlugShare[72] μέσω αυτοματοποιημένης περιήγησης (Selenium/ChromeDriver) και ενεργοποιημένης καταγραφής performance logs (Network). Η ροή έχει ως εξής: ο browser ανοίγει το plugshare.com, εκκινεί αναζήτηση για την Αθήνα και προκαλεί την φόρτωση των δυναμικών XHR αποκρίσεων (JSON) με ελεγχόμενες κινήσεις στον χάρτη. Από τα network logs εντοπίζονται οι σχετικές αποκρίσεις και ανακτάται το περιεχόμενο JSON που περιλαμβάνει λίστες σταθμών. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται κανονικοποίηση των ετερογενών σχημάτων και εξάγονται ενιαία πεδία: id, όνομα σταθμού, γεωγραφικές συντεταγμένες, πλήρης διεύθυνση, ταχυδρομικός κώδικας. Για να διατηρηθεί εστίαση στο πεδίο μελέτης, εφαρμόζεται χωρικό φίλτρο ακτίνας γύρω από το κέντρο της Αθήνας (υπολογισμός απόστασης και απόρριψη εκτός ορίων). Το τελικό σύνολο καταγράφεται σε Excel με δύο φύλλα: (παράλληλα εφαρμόζεται βασική μορφοποίηση στηλών για ευανάγνωστη παρουσίαση)

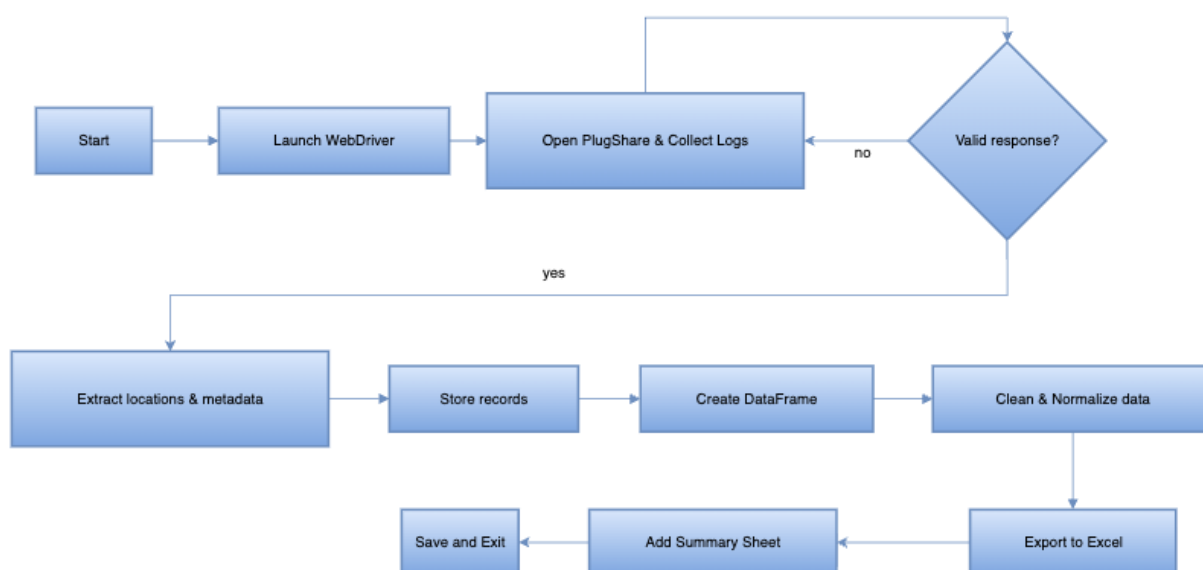
- **Φύλλο 1:** αναλυτικό με όλα τα πεδία ανά σταθμό
- **Φύλλο 2:** συνοπτικό με βασικές πληροφορίες (όνομα, διεύθυνση, T.K.)

Η παραπάνω διαδικασία βελτιστοποιήθηκε πρακτικά με: (i) καθυστέρηση μεταξύ ενεργειών ώστε να προλάβουν να καταγραφούν τα XHR, (ii) έλεγχο εγκυρότητας τύπου/περιεχομένου απόκρισης πριν την ανάλυση, (iii) αποφυγή διπλοεγγραφών κατά την ενοποίηση και (iv) σταδιακή αποθήκευση ώστε να μην χαθεί πρόοδος σε πιθανό σφάλμα πλοήγησης. Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα που «κρύβονται» στα network responses μετατρέπονται σε καθαρό, αξιοποιήσιμο πίνακα σταθμών φόρτισης για την περιοχή ενδιαφέροντος.

Ακολουθεί ενδεικτική παρουσίαση των δεδομένων που αντλήθηκαν από την πλατφόρμα, καθώς και διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας εξαγωγής και επεξεργασίας τους μέσω του αναπτυγμένου κώδικα.

Πίνακας 7 – Ενδεικτική παρουσίαση των δεδομένων από PlugShare

Όνομα Σταθμού	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	URL
Lidl Super Market	38,0010948181152	23,722448348999	Λιοσίων 136, Αθήνα	104 45	Πηγή
Πρατήριο Καυσίμου BP	38,0078740486358	23,7156860087429	Δυρραχίου 86, Αθήνα	104 43	Πηγή
Κλινική Ortholife	37,9969651	23,7812319	Λεωφ. Μεσογείων 219, Αθήνα	115 25	Πηγή



Διάγραμμα 12 - Ροή για την διαδικασία εξαγωγής δεδομένων από το PlugShare

4.2.2 Συλλογή Δεδομένων από το Μητρώο Υποδομών Ηλεκτροκίνησης (ΥΜΕ)

Για την αποτύπωση των δημοσίως προσβάσιμων σημείων φόρτισης αξιοποιήθηκε το Μητρώο Υποδομών Ηλεκτροκίνησης (ΜΥΗ) του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών [73], μέσω αυτοματοποιημένης περιήγησης με Selenium/ChromeDriver και ενεργοποιημένης καταγραφής performance logs (Network). Το ΜΥΗ αποτελεί την επίσημη εθνική βάση δεδομένων για τους φορτιστές EV, θεσμικά κατοχυρωμένη και υποχρεωτική για παρόχους και φορείς εγκατάστασης. Η πλατφόρμα ενημερώνεται συνεχώς με νέες καταχωρήσεις, καθώς κάθε νέος σταθμός φόρτισης πρέπει να δηλωθεί στο μητρώο, παρέχοντας πλήρη στοιχεία όπως γεωγραφική θέση, ισχύς, τύπος σύνδεσης, πάροχος υπηρεσίας και κατάσταση διαθεσιμότητας.

Το site electrokinisi.yme.gov.gr προσφέρει δημόσια πρόσβαση σε χάρτη με όλους τους δηλωμένους φορτιστές, όπου οι χρήστες μπορούν να αναζητήσουν σημεία φόρτισης με βάση την τοποθεσία ή τον πάροχο. Η διεπαφή είναι σχεδιασμένη ώστε να υποστηρίζει τόσο τον τελικό χρήστη (οδηγό ηλεκτρικού οχήματος) όσο και φορείς χάραξης πολιτικής ή επενδυτές, που χρειάζονται επίσημα και αξιόπιστα δεδομένα. Έτσι, η πλατφόρμα δεν αποτελεί απλώς εργαλείο πλοήγησης, αλλά και βασικό μηχανισμό διαφάνειας και εποπτείας της αγοράς ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα.

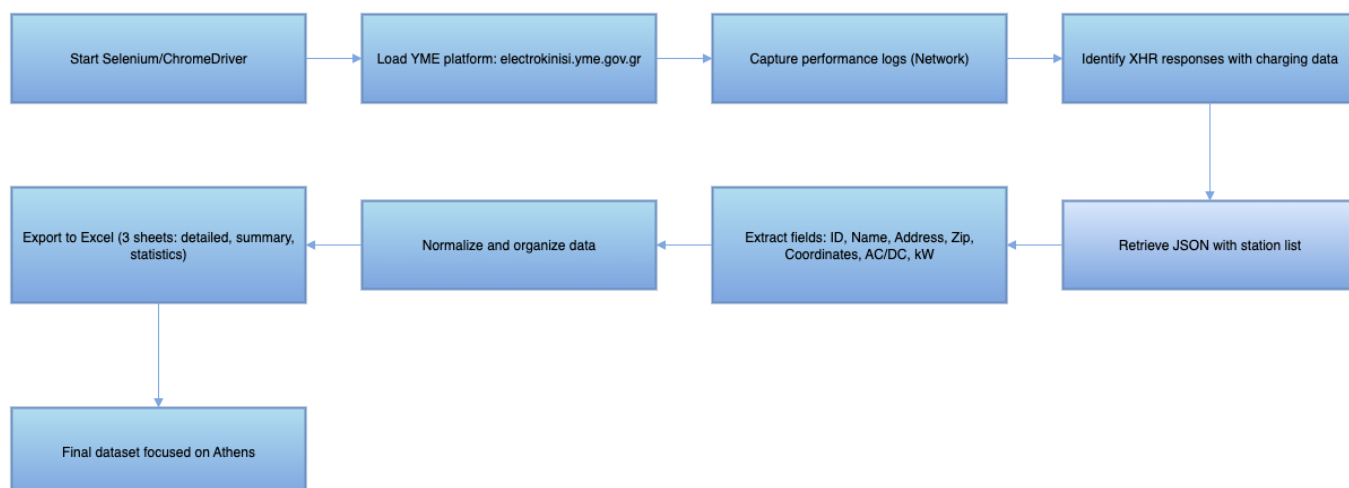
Η διαδικασία εξαγωγής δεδομένων ακολούθησε παρόμοια ροή με το PlugShare, αλλά με πιο τυποποιημένα δεδομένα. Ο browser εκκινεί στην επίσημη πλατφόρμα και καταγράφει τα XHR responses που περιέχουν σε JSON μορφή όλα τα σημεία φόρτισης. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο των αποκρίσεων αναλύεται και οργανώνεται σε ενιαίο πίνακα με βασικά πεδία, όπως όνομα/φορέας, διεύθυνση, ταχυδρομικός κώδικας και γεωγραφικές συντεταγμένες.

Η εξαγωγή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε Excel αρχείο με τρία φύλλα: (α) αναλυτικό, με όλες τις διαθέσιμες λεπτομέρειες για κάθε σημείο φόρτισης, (β) συνοπτικό, με βασικές πληροφορίες για γρήγορη επισκόπηση, και (γ) φιλτραρισμένο, με εστίαση αποκλειστικά στην περιοχή ενδιαφέροντος (Αθήνα και όμοροι δήμοι). Με τον τρόπο αυτό, η επίσημη πλατφόρμα του ΥΜΕ παρείχε μια αξιόπιστη και θεσμικά κατοχυρωμένη βάση δεδομένων, η οποία συμπλήρωσε τα crowdsourced στοιχεία του PlugShare και αποτέλεσε σημαντικό πυλώνα για την τελική ενοποίηση των δεδομένων.

Ακολουθεί ενδεικτική παρουσίαση των δεδομένων που αντλήθηκαν από την πλατφόρμα, καθώς και διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας εξαγωγής και επεξεργασίας τους μέσω του αναπτυγμένου κώδικα.

Πίνακας 8 – Ενδεικτική παρουσίαση δεδομένων από Μητρώο Υποδομών Ηλεκτροκίνησης(ΥΜΕ)

Όνομα	Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	Χειριστής	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος
Σωτηρία - Φαρμακείο	Λεωφόρος Μεσογείων 152, Αθήνα	115 27	ΔΕΗ Blue	37.993273	23.77865
Τράπεζα Πειραιώς	Παπάδα 4, Αθήνα	115 25	Blink Charging	37.993332	23.774780
Πάρκινγκ ΒΑ	Σόλωνος 56, Αθήνα	106 72	Blink Charging	37.980550	23.736810



Διάγραμμα 13 - Ροής διαδικασίας εξαγωγής δεδομένων από το Μητρώο Υποδομών Ηλεκτροκίνησης(ΥΜΕ)

4.2.3 Συλλογή Δεδομένων από το *vrisko.gr*

Για τη χαρτογράφηση σημείων ενδιαφέροντος που σχετίζονται με τη στάθμευση και την παραμονή οχημάτων σε ποικίλες καθημερινές δραστηριότητες, αξιοποιήθηκε η πλατφόρμα *vrisko.gr* [75]. Η επιλογή της συγκεκριμένης πηγής έγινε διότι προσφέρει εκτενείς καταλόγους επιχειρήσεων και υπηρεσιών στην Αθήνα, οργανωμένους σε θεματικές κατηγορίες. Η λογική πίσω από αυτήν τη συλλογή είναι ότι τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτίζουν αποτελεσματικότερα όταν οι οδηγοί τους σταθμεύουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, όπως συμβαίνει σε καταστήματα, χώρους εργασίας, υπηρεσίες και σημεία ψυχαγωγίας.

Οι κατηγορίες που επιλέχθηκαν ήταν: Γιατροί, Φαρμακεία, Σούπερ μάρκετ, Εστιατόρια, Καφετέριες – Καφέ, Τράπεζες, Μουσεία, Βιβλιοπωλεία, Γυμναστήρια, Πάρκινγκ, Κινηματογράφοι, Ξενοδοχεία, Fast Food, Πρατήρια Καυσίμων, Πολυκαταστήματα / Εμπορικά Κέντρα, Διαγνωστικά Κέντρα, Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα, Νοσοκομεία / Κέντρα Υγείας, Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων, Δικαστήρια, Ενοικιάσεις Αυτοκινήτων, ΚΤΕΟ, Κέντρα Αισθητικής / Αδυνατίσματος και Παιδότοποι.

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω αυτοματοποιημένου κώδικα σε Python με Selenium, ο οποίος εκτελούσε διαδοχικές αναζητήσεις στο *vrisko.gr* για κάθε κατηγορία και κατέγραφε τα αποτελέσματα σε αρχείο Excel. Το αρχείο οργανώθηκε σε ξεχωριστά φύλλα ανά κατηγορία, ώστε να είναι δυνατή η ανεξάρτητη ανάλυση, αλλά και η μετέπειτα ενοποίηση όλων των δεδομένων σε ενιαίο σύνολο.

Ωστόσο, η διαδικασία εμφάνισε αρκετές τεχνικές προκλήσεις. Το *vrisko.gr* εμφανίζει έως 200 αποτελέσματα ανά ημέρα για κάθε αναζήτηση, ανεξαρτήτως του πραγματικού πλήθους καταχωρήσεων που μπορεί να υπερβαίνει το όριο αυτό. Επιπλέον, τα αποτελέσματα εμφανίζονται τμηματικά μέσω pagination, δηλαδή σελίδες που περιέχουν περιορισμένο αριθμό εγγραφών και απαιτούν «ξεφύλλισμα» (πλοήγηση σε επόμενη σελίδα) για την πλήρη λήψη του συνόλου. Για την αντιμετώπιση αυτού του περιορισμού, η διαδικασία scraping επαναλήφθηκε σε διαφορετικές ημέρες με εναλλαγή προφίλ, ώστε να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός εγγραφών που συλλέχθηκαν. Η πρακτική αυτή, ωστόσο, οδήγησε στη δημιουργία διπλοεγγραφών στα τελικά αρχεία, οι οποίες εντοπίστηκαν και αφαιρέθηκαν στο στάδιο καθαρισμού.

Επιπλέον, μετά από περίπου μία ώρα συνεχούς εκτέλεσης, το site ενεργοποιούσε anti-bot μέτρα (π.χ. captchas και προσωρινή παύση φόρτωσης σελίδων), γεγονός που απαιτούσε παύσεις, επιβράδυνση του ρυθμού αιτημάτων και ενσωμάτωση τεχνικών «αναμονής» στον κώδικα ώστε να μην μπλοκάρεται η συλλογή. Παράλληλα, η ανομοιομορφία στις πληροφορίες (π.χ. διαφορετική καταγραφή διεύθυνσης ή έλλειψη τηλεφώνου σε ορισμένα listings) κατέστησε αναγκαία την κανονικοποίηση και τον καθαρισμό των πεδίων.

Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας, μετά την αποδιπλοποίηση και την ενοποίηση, περιλάμβανε τυποποιημένα πεδία Διεύθυνσης, Ταχυδρομικού Κώδικα και Συνοικίας, τα οποία αποτέλεσαν τη βάση για τις επόμενες αναλύσεις.

Μια πρώτη διερευνητική χαρτογράφηση ανέδειξε ορισμένες χωρικές συσχετίσεις. Για παράδειγμα, σε περιοχές όπου καταγράφηκαν υψηλές συγκεντρώσεις διαγνωστικών κέντρων και νοσοκομείων, παρατηρήθηκε ταυτόχρονη παρουσία μεγάλου αριθμού ιατρικών γραφείων και φαρμακείων. Το εύρημα αυτό καταδεικνύει την τάση δημιουργίας «θεματικών συσπειρώσεων», γεγονός που έχει ιδιαίτερη σημασία για την εκτίμηση των σημείων στα οποία η ύπαρξη φορτιστών θα μπορούσε να καλύψει πολλαπλές ανάγκες χρηστών ταυτόχρονα.

Ακολουθεί ενδεικτική παρουσίαση δεδομένων για ορισμένες από τις παραπάνω κατηγορίες, με στόχο να δοθεί μια εικόνα της μορφής και της κατανομής των καταγεγραμμένων σημείων.

Πίνακας 9 – Ενδεικτική παρουσίαση καταγραφής Ιατρικών Γραφείων

Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	Συνοικία
Λ. Κηφισίας 36	116 35	Αθήνα - Αμπελόκηποι
Ασκληπιοῦ 18	106 80	Αθήνα - Κολωνάκι
Αλεξανδρουπόλεως 9	115 27	Αθήνα - Ιλίσια

Πίνακας 10 – Ενδεικτική παρουσίαση καταγραφής Σούπερ Μάρκετ

Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	Συνοικία
Αμύντα 8	116 35	Αθήνα – Παγκράτι
Αρκαδίας 51-53	115 27	Αθήνα – Γουδί
Καραγιάννη Λέλας 68-70	113 61	Αθήνα - Κυψέλη

Πίνακας 11 – Ενδεικτική παρουσίαση καταγραφής Καφετέριας

Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	Συνοικία
Κοραή 4	105 64	Αθήνα
Ηρακλειδών 14	118 51	Αθήνα – Θησείο
Καραγιώργη Σερβίας 1	105 63	Αθήνα - Σύνταγμα

Πίνακας 12 – Ενδεικτική παρουσίαση καταγραφής Πρατήριων Καυσίμου

Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	Συνοικία
Αρχελάου 22	116 35	Αθήνα - Παγκράτι
Βουλιαγμένης 60	117 43	Αθήνα – Νέος Κόσμος
Λένορμαν 198	104 43	Αθήνα - Κολωνός

Πίνακας 13 – Ενδεικτική παρουσίαση καταγραφής Νοσοκομείων Κέντρων Υγείας

Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	Συνοικία
Λεβαδείας 3 & Θηβών	115 27	Αθήνα - Γουδί
Λαμψάκου 6	115 28	Αθήνα – Αμπελόκηποι
Δεληγιώργη 6 & Πειραιώς	104 37	Αθήνα

4.2.4 Συλλογή Δεδομένων από το Booking.com

Με δεδομένο ότι η Αθήνα παρουσιάζει αυξημένη τουριστική πίεση, κρίθηκε απαραίτητο να αποτυπωθεί η χωρική κατανομή των καταλυμάτων ως παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την ανάγκη για δημόσιες υποδομές φόρτισης. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιήθηκε η πλατφόρμα Booking.com [76], μέσω αυτοματοποιημένης συλλογής δεδομένων με Selenium/ChromeDriver. Ο κώδικας εκτελούσε αναζητήσεις ανά γειτονιά ενδιαφέροντος και αντλούσε στοιχεία για κάθε κατάλυμα που εμφανιζόταν στα αποτελέσματα.

Από κάθε καταχώριση αποθηκεύονταν βασικά γνωρίσματα, με κεντρικό τον σύνδεσμο (URL) του καταλύματος, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως μοναδικό αναγνωριστικό. Ο σύνδεσμος αξιοποιήθηκε τόσο για την αποφυγή διπλοεγγραφών όσο και για την πρόσβαση στη σελίδα του

εκάστοτε καταλύματος, ώστε να αντληθούν τα πλήρη στοιχεία του. Σε περίπτωση που το ίδιο κατάλυμα εμφανιζόταν περισσότερες από μία φορές σε διαφορετικές αναζητήσεις, διατηρήθηκε μόνο μία εγγραφή, διασφαλίζοντας ότι το τελικό αρχείο ήταν καθαρό και χωρίς επαναλήψεις.

Η εξαγωγή δεδομένων, ωστόσο, συνοδεύτηκε από τεχνικές δυσκολίες. Η Booking.com κάνει χρήση δυναμικής φόρτωσης περιεχομένου (dynamic content loading) και pagination. Στην αρχική μορφή λίστας, τα αποτελέσματα εμφανίζονταν τμηματικά μέσω συνεχούς κύλισης (scroll down), ενώ μετά από συγκεκριμένο αριθμό εμφανίσεων απαιτούνταν η ενεργοποίηση του κουμπιού «Load more» για τη φόρτωση επιπλέον καταλυμάτων. Για την επίλυση του προβλήματος, ο κώδικας προγραμματίστηκε να εκτελεί ελεγχόμενες κινήσεις scroll και να πατά αυτόματα το κουμπί, έως ότου ανακτηθεί το πλήρες σετ δεδομένων για κάθε αναζήτηση.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η πλατφόρμα ανανεώνει περιοδικά τα διαθέσιμα αποτελέσματα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διαφοροποιήσεις ανά ημέρα. Για την κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου αριθμού καταλυμάτων, οι αναζητήσεις επαναλήφθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, επιτρέποντας τη συλλογή πρόσθετων εγγραφών πέραν όσων εμφανίζονταν σε μία μόνο συνεδρία.

Μια ακόμα πρόκληση ήταν οι καθυστερήσεις και τα χρονικά όρια (timeouts). Κατά τη διάρκεια παρατεταμένων εκτελέσεων, ιδιαίτερα όταν ο αριθμός των καταλυμάτων ήταν μεγάλος, η σελίδα καθυστερούσε να φορτώσει πλήρως, οδηγώντας σε σφάλματα ή διακοπές της διαδικασίας. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, ενσωματώθηκαν λογικές αναμονής (sleep timers) και μηχανισμοί retry, ώστε να διασφαλίζεται η συνέχιση της συλλογής ακόμη και σε περιπτώσεις καθυστερήσεων.

Το τελικό αρχείο Excel που δημιουργήθηκε περιλάμβανε τυποποιημένα πεδία Διεύθυνσης, Ταχυδρομικού Κώδικα και URL του κάθε καταλύματος, παρέχοντας ένα συγκεντρωτικό dataset που συνδυάζει χωρικές και ποιοτικές πληροφορίες. Η συγκεντρωτική αυτή αποτύπωση αναδεικνύει σημαντικά χωρικά πρότυπα ενδεικτικά, στην περιοχή της Ακρόπολης παρατηρήθηκε εξαιρετικά υψηλή συγκέντρωση καταλυμάτων, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σύνδεση τουριστικής ζήτησης με την ανάγκη για ενισχυμένες δημόσιες υποδομές φόρτισης.

Ακολουθεί ενδεικτική παρουσίαση δεδομένων για ορισμένα από τα καταλύματα που αντλήθηκαν από την πλατφόρμα, με στόχο να δοθεί μια εικόνα της μορφής και της χωρικής κατανομής τους.

Πίνακας 14 – Ενδεικτική παρουσίαση καταγραφής καταλυμάτων

Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας	URL
Ερμού 75	105 55	Πηγή
Βασιλίσσης Σοφίας 124	115 26	Πηγή
Μάρκου Μπότσαρη 15	117 42	Πηγή

4.3 Διασταύρωση και Ομογενοποίηση Δεδομένων Φόρτισης

Για την ενοποίηση των διαφορετικών πηγών δεδομένων δημιουργήθηκε ένα ενιαίο αρχείο με ομογενοποιημένη δομή πεδίων (ονομασία σταθμού, γεωγραφικό πλάτος και μήκος σε WGS84, διεύθυνση, ταχυδρομικός κώδικας κ.ά.). Στόχος ήταν να συγκεντρωθούν όλες οι καταχωρήσεις

που αφορούν δημόσια προσβάσιμα σημεία φόρτισης στην Αθήνα σε ένα συνεκτικό dataset, κατάλληλο για περαιτέρω ανάλυση και χαρτογράφηση.

Η διαδικασία καθαρισμού πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια:

- **Ακριβής απο-διπλοποίηση (deduplication):**

Εντοπίστηκαν και αφαιρέθηκαν οι εγγραφές που είχαν ακριβώς ίδιες συντεταγμένες (lat/long), καθώς θεωρήθηκαν σαφή διπλότυπα που προέρχονταν από διαφορετικές εξαγωγές. Για κάθε τέτοιο σύνολο καταχωρήσεων, διατηρήθηκε μία κύρια εγγραφή, ενώ οι υπόλοιπες συγχωνεύτηκαν ώστε να διατηρηθεί το πληρέστερο δυνατό σύνολο πληροφοριών (π.χ. όνομα, διεύθυνση, ταχυδρομικός κώδικας).

- **Γεωχωρική σύγκλιση (geospatial join):**

Σε επόμενο στάδιο, αντιμετωπίστηκαν οι περιπτώσεις όπου οι εγγραφές δεν είχαν ταυτόσημες συντεταγμένες, αλλά βρίσκονταν ουσιαστικά στον ίδιο φυσικό χώρο με μικρές αποκλίσεις. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκε γεωχωρική ανάλυση με ακτίνα 250 μέτρων, ώστε να ομαδοποιηθούν οι εγγραφές που αντιστοιχούν στον ίδιο σταθμό φόρτισης. Σε κάθε σύμπλεγμα που προέκυψε, οι πληροφορίες συγχωνεύτηκαν και διατηρήθηκαν τα πιο σημαντικά στοιχεία, όπως η ονομασία και οι συντεταγμένες αναφοράς.

Η διαδικασία αυτή οδήγησε στη δημιουργία ενός καθαρού και μοναδικού συνόλου δεδομένων, το οποίο εξαλείφει τα πολλαπλά διπλότυπα και περιορίζει τον κίνδυνο υπερεκτίμησης του αριθμού φορτιστών. Ταυτόχρονα, διατηρήθηκαν όλες οι κρίσιμες πληροφορίες (ονομασία, ακριβείς συντεταγμένες, βασικά στοιχεία τοποθεσίας), προσφέροντας μια αξιόπιστη βάση για τα επόμενα βήματα ανάλυσης και αξιολόγησης της χωρικής κατανομής.

Ακολουθεί ενδεικτική παρουσίαση του ενιαίου συνόλου δεδομένων που προέκυψε μετά τη διαδικασία διασταύρωσης, καθαρισμού και ομογενοποίησης των σημείων φόρτισης για την περιοχή της Αθήνας.

Πίνακας 15 – Ενδεικτική παρουσίαση ενιαίου συνόλου δεδομένων

Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Διεύθυνση
37,974896	23,745964	Ριζάρη 4
37,985558	23,730771	Κάνιγγος 17
37,959462	23,734429	Λεωφόρος Βουλιαγμένης 109

4.4 Απόδοση Διευθύνσεων με Αντίστροφη Γεωκωδικοποίηση

Για την περαιτέρω αξιοποίηση του ενοποιημένου dataset, κρίθηκε απαραίτητη η απόδοση ακριβών διευθύνσεων και ταχυδρομικών κωδικών στα σημεία φόρτισης. Η διαδικασία υλοποιήθηκε μέσω του Google Maps Geocoding API, με χρήση προσωπικού API key που δημιουργήθηκε από την κονσόλα της Google Cloud [74]. Το εργαλείο αυτό δίνει τη δυνατότητα μετατροπής γεωγραφικών συντεταγμένων (lat/long) σε κανονικοποιημένα στοιχεία τοποθεσίας, εξασφαλίζοντας ομοιογένεια και ακρίβεια στα δεδομένα.

Ο κώδικας αναπτύχθηκε σε Python και περιλάμβανε επαναληπτικά αιτήματα (requests) προς το API για κάθε σημείο φόρτισης, με ενσωματωμένα sleep timers ώστε να μην ξεπεραστούν τα

επιτρεπόμενα όρια κλήσεων (rate limits). Οι αποκρίσεις του API επιστρέφονταν σε μορφή JSON, από τις οποίες έγινε parsing για να εξαχθούν τα κρίσιμα πεδία: διεύθυνση (οδός και αριθμός) και ταχυδρομικός κώδικας. Για τη διαχείριση περιπτώσεων όπου το API δεν επέστρεφε πλήρη ή ακριβή στοιχεία, προστέθηκαν μηχανισμοί ελέγχου σφαλμάτων (try/except blocks) που είτε επαναλάμβαναν το αίτημα είτε χαρακτήριζαν το σημείο για περαιτέρω επεξεργασία.

Επιπλέον, εφαρμόστηκε διασταυρωμένος έλεγχος με τη χρήση πολλαπλών εργαλείων αντίστροφης γεωκωδικοποίησης, όπως η βιβλιοθήκη geopy της Python. Με τον τρόπο αυτό, κάθε διεύθυνση μπορούσε να επαληθευτεί από περισσότερες της μιας πηγές, περιορίζοντας τις αστοχίες και ενισχύοντας την αξιοπιστία του τελικού dataset.

Η χρήση του Geocoding API λειτούργησε όχι μόνο ως εμπλουτισμός των δεδομένων, αλλά και ως εργαλείο ποιοτικού ελέγχου, εντοπίζοντας αναντιστοιχίες σε εγγραφές που είχαν συλλεχθεί από διαφορετικές πηγές. Έτσι, η βάση δεδομένων απέκτησε συνέπεια και δυνατότητα διασύνδεσης με άλλες στατιστικές πηγές, ενισχύοντας την αξία της για τον στρατηγικό σχεδιασμό υποδομών φόρτισης στην Αθήνα.

Ακολουθεί ενδεικτική παρουσίαση των τελικών αποτελεσμάτων, όπως προέκυψαν μετά τον εμπλουτισμό των δεδομένων μέσω αντίστροφης γεωκωδικοποίησης, με πλήρεις διευθύνσεις και ακριβείς ταχυδρομικούς κώδικες.

Πίνακας 16 – Ενδεικτική παρουσίαση τελικών δεδομένων

Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Διεύθυνση	Ταχυδρομικός Κώδικας
38,01877	23,742283	Καρκαβίτσα 1, 111 41	111 41
37,98718	23,766987	Πύρρου 3, 115 27	115 27
37,993767	23,713184	Λένορμαν 129, 104 42	104 42

4.5 Συνοπτική Αποτίμηση και Προοπτικές Ανάλυσης

Η ολοκλήρωση της διαδικασίας συλλογής και ενοποίησης δεδομένων ανέδειξε ένα σύνολο πληροφορίας με ιδιαίτερη αξία για την κατανόηση της ηλεκτροκίνησης στην Αθήνα. Από τη μία πλευρά, οι βάσεις δεδομένων PlugShare και YME κατέγραψαν την πραγματική προσφορά δημόσιων φορτιστών, ενώ από την άλλη, το vrisko.gr και το Booking.com ανέδειξαν τη χωρική διάσταση της ζήτησης μέσα από καθημερινές δραστηριότητες, επιχειρήσεις και τουριστικά καταλύματα. Η τεχνική επεξεργασία (καθαρισμός, αφαίρεση διπλοεγγραφών, αντιστοίχιση διευθύνσεων και ταχυδρομικών κωδικών) μετέτρεψε τα ετερογενή αυτά στοιχεία σε ένα ενιαίο και συγκρίσιμο dataset, ικανό να υποστηρίξει συστηματική ανάλυση.

Με μια πρώτη ματιά, ακόμη και πριν από τη λεπτομερή συσχέτιση, τα δεδομένα αποτυπώνουν καθαρά τις χωρικές πιέσεις: μεγάλοι αριθμοί καταλυμάτων στο ιστορικό κέντρο, συσπειρώσεις ιατρικών και φαρμακευτικών υπηρεσιών σε συγκεκριμένες συνοικίες, περιορισμένος αριθμός ταχυφορτιστών σε σχέση με το σύνολο των σταθμών. Κάθε επιμέρους κατηγορία, είτε αφορά υποδομές είτε σημεία ενδιαφέροντος, υποδηλώνει αυτόνομα την ύπαρξη ανισοτήτων και κενών κάλυψης. Η παράλληλη αξιοποίησή τους προσφέρει την ευκαιρία για μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της ισορροπίας προσφοράς-ζήτησης.

Η συγκρότηση αυτού του αρχείου δεν αποτελεί απλώς μια τεχνική βάση δεδομένων αλλά ένα θεωρητικό εργαλείο ανάγνωσης του αστικού χώρου και των δυναμικών του. Μέσα από την αντιπαράθεση της χωρικής διάταξης φορτιστών και σημείων ενδιαφέροντος καθίσταται εφικτό να αναδειχθούν οι περιοχές με τη μεγαλύτερη πίεση, να αποτυπωθούν τα κενά και να τεθούν οι προτεραιότητες για τον στρατηγικό σχεδιασμό.

Στο επόμενο κεφάλαιο, η ανάλυση αυτή θα εμβαθύνει μέσω πολυκριτηριακών μεθόδων που θα επιτρέψουν όχι μόνο την περιγραφή αλλά και την ιεράρχηση των πιθανών σημείων εγκατάστασης, παρέχοντας μια πιο τεκμηριωμένη βάση για τη βιώσιμη ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στην Αθήνα.

Κεφάλαιο 5 – Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων

Η Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) αποτελεί κλάδο της επιχειρησιακής έρευνας και της θεωρίας αποφάσεων, με στόχο την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων όταν τα κριτήρια είναι πολλαπλά και συχνά αντικρουόμενα. Σε αντίθεση με τις μονοκριτήριες προσεγγίσεις, όπου η απόφαση λαμβάνεται με βάση έναν μόνο δείκτη (π.χ. το χαμηλότερο κόστος), η MCDA αναγνωρίζει ότι τα πραγματικά προβλήματα χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα και απαιτούν την ταυτόχρονη συνεκτίμηση διαφορετικών παραμέτρων [77].

Μέσα από ένα δομημένο πλαίσιο, η MCDA επιτρέπει στον λήπτη απόφασης να σταθμίσει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε εναλλακτικής, ενσωματώνοντας τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά δεδομένα. Για παράδειγμα, σε μια επενδυτική απόφαση είναι πιθανό το κόστος, η ποιότητα και ο χρόνος υλοποίησης να έρχονται σε σύγκρουση η MCDA παρέχει μεθοδολογίες όπως σταθμισμένα αθροιστικά μοντέλα, μέθοδοι υπεροχής ή ιεράρχησης, οι οποίες επιτρέπουν την παράλληλη ανάλυση των κριτηρίων [78].

Πριν από την ανάπτυξη της πολυκριτηριακής λογικής, οι αποφάσεις λαμβάνονταν κυρίως μέσω της βελτιστοποίησης μιας αντικειμενικής συνάρτησης ή μιας συνάρτησης χρησιμότητας. Η στρατηγική αυτή είχε το πλεονέκτημα ότι οδηγούσε σε καλά καθορισμένα μαθηματικά προβλήματα, τα οποία μπορούσαν να επιλυθούν με ακρίβεια μέσω τυποποιημένων μεθόδων. Ωστόσο, αποδείχθηκε περιοριστική, καθώς σπάνια μια πραγματική απόφαση μπορεί να εκτιμηθεί επαρκώς με βάση ένα μόνο κριτήριο [79].

Η εισαγωγή περισσότερων κριτηρίων καθιστά το πρόβλημα πιο ρεαλιστικό και πρακτικά χρήσιμο, αφού επιτρέπει τη συνεκτίμηση διαφορετικών πτυχών όπως το κόστος, η αποδοτικότητα, οι κοινωνικές ή περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Έτσι, η MCDA προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και συνάφεια με τις πραγματικές συνθήκες λήψης αποφάσεων [80].

Σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας, όπως ο Γραμμικός ή ο Μεικτός Ακέραιος Προγραμματισμός, οι πολυκριτηριακές μέθοδοι δεν οδηγούν σε μία «άριστη» λύση που να υπερέχει σε όλα τα κριτήρια ταυτόχρονα. Αντίθετα, αναδεικνύουν ένα σύνολο συμβιβαστικών επιλογών (trade-offs), δίνοντας στον λήπτη απόφασης τη δυνατότητα να αξιολογήσει ποια από αυτές ανταποκρίνεται καλύτερα στις εκάστοτε προτεραιότητες και περιορισμούς [81].

Οι σύνθετες αποφάσεις, όπως η επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, περιλαμβάνουν πληθώρα ετερογενών παραμέτρων οι οποίες συχνά συγκρούονται. Η MCDA προσφέρει ένα σαφές πλαίσιο για την αναγνώριση, τη σύγκριση και την ιεράρχηση εναλλακτικών, ακόμη και σε συνθήκες αβεβαιότητας ή περιορισμένης πληροφόρησης. Στο πλαίσιο της χωροθέτησης, επιτρέπει τη συνεκτίμηση παραμέτρων όπως η τοπική ζήτηση, η προσβασιμότητα, οι υφιστάμενες υποδομές και η κοινωνική αποδοχή, συνδυάζοντας τεχνικά δεδομένα με στρατηγικές επιδιώξεις [82].

Με αυτόν τον τρόπο, η MCDA δεν επιδιώκει την εξεύρεση μιας μοναδικής «βέλτιστης» λύσης, αλλά προωθεί μια διαδικασία λήψης αποφάσεων που είναι περισσότερο διαφανής, τεκμηριωμένη και πολυδιάστατη, αντανakλώντας καλύτερα την πολυπλοκότητα των πραγματικών προβλημάτων.

5.1 Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA) έχει αναδείξει μια μεγάλη γκάμα μεθοδολογιών που μπορούν να εφαρμοστούν σε σύνθετα προβλήματα, όπως η επιλογή τοποθεσίας για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Κάθε μέθοδος διαφέρει ως προς τον τρόπο που συνδυάζει τα κριτήρια, τη φιλοσοφία αξιολόγησης και τη λογική κατάταξης των εναλλακτικών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους MCDA, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία.

- **AHP (Analytic Hierarchy Process – Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία)**

Η AHP αναπτύχθηκε από τον Saaty τη δεκαετία του 1980 [83] και αποτελεί μία από τις πιο αναγνωρίσιμες και διαδεδομένες μεθόδους. Το πρόβλημα διασπάται σε ιεραρχικά επίπεδα (στόχοι, κριτήρια, υποκριτήρια, εναλλακτικές), και ο λήπτης απόφασης προχωρά σε συγκρίσεις κατά ζεύγη μεταξύ των στοιχείων κάθε επιπέδου. Οι συγκρίσεις αυτές μετατρέπονται σε αριθμητικά βάρη σπουδαιότητας, ενώ παράλληλα ελέγχεται η συνέπεια των απαντήσεων μέσω ειδικού δείκτη. Η AHP ξεχωρίζει επειδή μπορεί να ενσωματώσει την υποκειμενική κρίση των ειδικών με έναν δομημένο και διαφανή τρόπο. Επιπλέον, χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους MCDA, καθώς τα βάρη που παράγει μπορούν να αξιοποιηθούν σε διαδικασίες κατάταξης, όπως η TOPSIS ή η VIKOR.

- **ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Réalité)**

Η ELECTRE, που ανήκει στη λεγόμενη «ευρωπαϊκή σχολή» πολυκριτηριακών μεθόδων, εισήχθη από τον Roy [84] και αποτελεί μία από τις πρώτες μεθόδους υπερκάλυψης (outranking). Η λογική της βασίζεται στη σύγκριση κάθε ζεύγους εναλλακτικών λύσεων με βάση δύο δείκτες: συμφωνίας (concordance) και διαφωνίας (discordance). Ανάλογα με τα αποτελέσματα, μπορεί να κριθεί ότι μια εναλλακτική υπερισχύει ή «υπερκαλύπτει» μια άλλη. Αντί να παράγει έναν συνολικό αριθμητικό δείκτη, όπως άλλες μέθοδοι, η ELECTRE καταλήγει σε ένα δίκτυο σχέσεων υπεροχής που βοηθά στην εξάλειψη μη επιθυμητών επιλογών. Η μεθοδολογία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν τα κριτήρια είναι ασυμβίβαστα ή όταν η ακρίβεια των δεδομένων είναι περιορισμένη.

- **VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)**

Η VIKOR αναπτύχθηκε από τον Opricovic και συνδυάστηκε με τη δουλειά του Tzeng [85]. Επικεντρώνεται στον προσδιορισμό μιας συμβιβαστικής λύσης, η οποία προσπαθεί να ισορροπήσει δύο αντικρουόμενους στόχους: τη μεγιστοποίηση της συνολικής ωφέλειας για την πλειοψηφία των κριτηρίων και την ελαχιστοποίηση της «λύπης» (regret) για τη μειοψηφία. Ουσιαστικά, υπολογίζεται η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική καλύτερη και την ιδανική χειρότερη λύση. Έπειτα, μέσω ειδικού δείκτη κατάταξης, εντοπίζεται η εναλλακτική που πετυχαίνει την καλύτερη ισορροπία. Η VIKOR συχνά χρησιμοποιείται σε προβλήματα όπου απαιτείται συμβιβασμός μεταξύ συγκρουόμενων προτεραιοτήτων, όπως για παράδειγμα η ισορροπία κόστους και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- **PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)**

Η PROMETHEE εισήχθη από τους Brans και Vincke [86] και αποτελεί επίσης μέθοδο υπερκάλυψης. Η βασική της ιδέα είναι η χρήση συναρτήσεων προτίμησης για κάθε κριτήριο, οι οποίες μετατρέπουν τη διαφορά επίδοσης δύο εναλλακτικών σε βαθμό προτίμησης. Στη συνέχεια υπολογίζονται δύο ροές: η θετική ροή (positive flow), που

δείχνει πόσο μια εναλλακτική υπερισχύει έναντι των άλλων, και η αρνητική ροή (negative flow), που δείχνει πόσο μειονεκτεί. Η τελική κατάταξη προκύπτει από την καθαρή ροή (positive minus negative). Η PROMETHEE θεωρείται ιδιαίτερα εύχρηστη, προσφέρει διαφάνεια στον τρόπο λήψης αποφάσεων και έχει εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, από την περιβαλλοντική διαχείριση έως την επιλογή προμηθευτών.

Συνολικά, οι μέθοδοι MCDA μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: (α) εκείνες που παράγουν έναν ενιαίο αριθμητικό δείκτη χρησιμότητας για κάθε εναλλακτική (όπως οι AHP, TOPSIS, VIKOR) και (β) εκείνες που βασίζονται σε σχέσεις υπερκάλυψης μέσω συγκρίσεων ανά ζεύγη (όπως οι ELECTRE και PROMETHEE). Οι πρώτες είναι πιο άμεσες, αλλά ενίοτε απλουστευτικές, ενώ οι δεύτερες προσφέρουν περισσότερη ευελιξία σε περιβάλλοντα με αβεβαιότητα ή αντιφατικά κριτήρια. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται κάθε φορά από τη φύση του προβλήματος, τη διαθεσιμότητα δεδομένων και τον στόχο της ανάλυσης.

5.2 Η Μέθοδος TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (MCDA) και θα αποτελέσει το βασικό εργαλείο εφαρμογής στην παρούσα διπλωματική εργασία για την αξιολόγηση και κατάταξη εναλλακτικών τοποθεσιών εγκατάστασης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην Αθήνα. Η TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon το 1981 [87] και στηρίζεται στην αρχή ότι η καλύτερη εναλλακτική είναι εκείνη που βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ιδανική λύση (A^+) και, ταυτόχρονα, όσο το δυνατόν πιο απομακρυσμένη από την αντι-ιδανική λύση (A^-). Η ιδανική λύση αντιπροσωπεύει τις βέλτιστες δυνατές επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια, ενώ η αντι-ιδανική συγκεντρώνει τις χειρότερες.

Η φιλοσοφία της TOPSIS είναι γεωμετρική: κάθε εναλλακτική τοποθετείται σε έναν πολυδιάστατο χώρο κριτηρίων, όπου μετρώνται οι αποστάσεις της από την A^+ και την A^- , συνήθως με χρήση ευκλείδειας απόστασης. Η εναλλακτική που συνδυάζει τη μικρότερη απόσταση από την A^+ και τη μεγαλύτερη απόσταση από την A^- κατατάσσεται ως η πιο κατάλληλη [88]. Έτσι, η μέθοδος παρέχει μια καθαρή και εύχρηστη κατάταξη, χωρίς να απαιτεί περίπλοκες μαθηματικές υποθέσεις.

Η TOPSIS έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία σε ποικίλα πεδία, όπως επιλογή προμηθευτών, διαχείριση πόρων, ενεργειακός σχεδιασμός και αξιολόγηση έργων. Ιδιαίτερη απήχηση έχει σε εφαρμογές που σχετίζονται με την χωροθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς μπορεί να ενσωματώσει κριτήρια όπως το κόστος εγκατάστασης, η προσβασιμότητα, η ζήτηση ενέργειας και οι περιβαλλοντικές παράμετροι [89]. Οι Chumbi et al. [90] καταγράφουν ότι η TOPSIS βρίσκεται ανάμεσα στις πιο συχνά εφαρμοζόμενες μεθόδους MCDA για προβλήματα βιώσιμης κινητικότητας, ενώ οι Erbaş et al. [91] συνδύασαν TOPSIS με ασαφή λογική (Fuzzy TOPSIS) και GIS για τη βέλτιστη τοποθέτηση φορτιστών στην Κωνσταντινούπολη, δείχνοντας πως η μέθοδος μπορεί να προσαρμοστεί σε πολυπαραγοντικά αστικά περιβάλλοντα.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα της TOPSIS είναι η διαφάνειά της: τα αποτελέσματα είναι εύκολα ερμηνεύσιμα από τους λήπτες αποφάσεων και επιτρέπουν την ενσωμάτωση τόσο ποσοτικών όσο και ποιοτικών κριτηρίων. Συχνά συνδυάζεται με μεθόδους όπως η AHP (για τον υπολογισμό βαρών κριτηρίων) ή η DEMATEL (για ανάλυση σχέσεων αιτιότητας), ενισχύοντας την αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων [92].

Η καταλληλότητά της για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγκειται στο ότι παρέχει ένα ισορροπημένο, απλό αλλά ισχυρό πλαίσιο για τη συνεκτίμηση ετερογενών κριτηρίων, επιτρέποντας την εξαγωγή πρακτικών και τεκμηριωμένων συμπερασμάτων για την ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης στην Αθήνα.

Βήματα Εφαρμογής της Μεθόδου TOPSIS

1. Κατασκευή Πίνακα Απόφασης

Στο πρώτο στάδιο της TOPSIS κατασκευάζεται ο πίνακας απόφασης, όπου αποτυπώνονται οι επιδόσεις όλων των εναλλακτικών λύσεων σε σχέση με τα επιλεγμένα κριτήρια. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία εναλλακτική και κάθε στήλη σε ένα κριτήριο. Ο πίνακας αυτός συγκεντρώνει με δομημένο τρόπο όλα τα δεδομένα, παρέχοντας το σημείο εκκίνησης για την κανονικοποίηση και την περαιτέρω ανάλυση που ακολουθεί.

2. Κανονικοποίηση του Πίνακα

Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η κανονικοποίηση του πίνακα απόφασης, ώστε οι τιμές όλων των κριτηρίων να εκφράζονται σε συγκρίσιμη κλίμακα. Η διαδικασία αυτή εξαλείφει τις διαφορετικές μονάδες μέτρησης και επιτρέπει την παράλληλη συνεκτίμηση ετερογενών δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, κάθε κριτήριο αποκτά συγκρίσιμη βαρύτητα και προετοιμάζεται το έδαφος για την εφαρμογή των σταθμίσεων που θα ακολουθήσουν. Η κανονικοποίηση υλοποιείται βάσει του τύπου:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

3. Υπολογισμός σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα:

Αφού κανονικοποιηθεί ο πίνακας απόφασης, ακολουθεί η στάθμιση των κριτηρίων με βάση τη σχετική τους σημασία. Σε αυτό το στάδιο, σε κάθε κριτήριο αποδίδεται ένας συντελεστής βαρύτητας, ώστε να αποτυπωθεί η προτεραιότητα που έχει για τον λήπτη της απόφασης. Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει ότι τα σημαντικότερα κριτήρια θα επηρεάσουν περισσότερο την τελική αξιολόγηση. Ο σταθμισμένος πίνακας υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}$$

4. Προσδιορισμός της ιδανικής (A^+) και αντί – ιδανικής (A^-) λύσης

Αφού σχηματιστεί ο σταθμισμένος, κανονικοποιημένος πίνακας $V=v_{ij}$, για κάθε κριτήριο j ορίζουμε δύο σημεία αναφοράς:

- **Ιδανική λύση (A^+):** η μέγιστη τιμή ανά κριτήριο.
- **Αντί-ιδανική λύση (A^-):** η χαμηλότερη τιμή ανά κριτήριο.

Ο κανόνας εξαρτάται από τον τύπο του κριτηρίου:

- Για κριτήρια ωφέλειας $\rightarrow v_j^+ = \max_i v_{ij}, v_j^- = \min_i v_{ij}$
- Για κριτήρια κόστους $\rightarrow v_j^+ = \min_i v_{ij}, v_j^- = \max_i v_{ij}$

5. Υπολογισμός αποστάσεων από την ιδανική και την αντί - ιδανική λύση

Για κάθε εναλλακτική i , με βάση τον σταθμισμένο, κανονικοποιημένο πίνακα $V=v_{ij}$ και τα διανύσματα αναφοράς A^+ , A^- υπολογίζουμε:

- Απόσταση από την ιδανική λύση

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

- Απόσταση από την αντί-ιδανική λύση

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

6. Συντελεστής εγγύτητας

Για κάθε εναλλακτική i ορίζουμε τον δείκτη εγγύτητας προς την ιδανική λύση:

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \text{ όπου } 0 \leq C_i \leq 1$$

- Όσο μεγαλύτερο το C_i^* , τόσο καλύτερη η εναλλακτική (πιο κοντά στην ιδανική και πιο μακριά από την αντι-ιδανική).
- Σε ισοβαθμίες, χρησιμοποιείται δευτερεύον κριτήριο (π.χ. μικρότερο D_i^+) ή ανάλυση ευαισθησίας στα βάρη.

7. Κατάταξη των εναλλακτικών

Μετά τον υπολογισμό του δείκτη εγγύτητας C_i , όλες οι εναλλακτικές λύσεις κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά. Η εναλλακτική με το μεγαλύτερο C_i θεωρείται η βέλτιστη επιλογή, καθώς βρίσκεται πλησιέστερα στην ιδανική λύση και ταυτόχρονα πιο μακριά από την αντί-ιδανική. Η διαδικασία αυτή παρέχει μια ξεκάθαρη και αντικειμενική ιεράρχηση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για λήψη αποφάσεων ή για περαιτέρω ανάλυση ευαισθησίας.

Η μέθοδος TOPSIS ξεχωρίζει επειδή συνδυάζει απλότητα εφαρμογής με μια ιδιαίτερα κατανοητή λογική. Η ιδέα της εγγύτητας προς την ιδανική λύση είναι εύκολα αντιληπτή ακόμη και από μη ειδικούς, ενώ η διαδικασία υπολογισμού παραμένει σχετικά απλή, χωρίς να απαιτείται πολύπλοκη μαθηματική επεξεργασία. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι οδηγεί σε ξεκάθαρη κατάταξη των εναλλακτικών, κάτι που ευθυγραμμίζεται με τον τρόπο που συνήθως σκέφτεται ο άνθρωπος: η «καλύτερη» επιλογή είναι αυτή που μοιάζει περισσότερο με το ιδανικό σενάριο. Παρόλα αυτά, έχει καταγραφεί και ένας ουσιαστικός περιορισμός, γνωστός ως φαινόμενο «αντιστροφής κατάταξης», όπου η σειρά των λύσεων μπορεί να αλλάξει με την προσθήκη ή αφαίρεση μιας εναλλακτικής. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να μειωθεί με τεχνικές ευαισθησίας ή παραλλαγές της μεθόδου, προσφέροντας μεγαλύτερη σταθερότητα στα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 6 - Πολυκριτηριακή Ανάλυση για Τοποθέτηση Σταθμών Φόρτισης στο Κέντρο της Αθήνας

Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA) για να ιεραρχηθούν περιοχές προτεραιότητας εγκατάστασης δημοσίων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (ΣΦΗΟ) στην Αθήνα. Η ανάλυση αξιοποιεί ως εναλλακτικές δύο επίπεδα χωρικής κλίμακας-Ταχυδρομικό Κώδικα (Τ.Κ.) και γειτονιά-ώστε να αποτυπώνει τόσο τις ευρύτερες χωρικές τάσεις όσο και τις τοπικές ιδιαιτερότητες που επηρεάζουν την πραγματική ζήτηση. Ως μεθοδολογικός κορμός υιοθετείται η TOPSIS, λόγω της διαφάνειας, της αριθμητικής συνέπειας και της ευκολίας ερμηνείας των αποτελεσμάτων κατάταξης σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού [93].

Το σύνολο δεδομένων που τροφοδοτεί τη διαδικασία έχει οικοδομηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια: δημόσιοι φορτιστές από PlugShare και ΜΥΦΑΗ, σημεία ενδιαφέροντος (POIs) από nrisko.gr και τουριστικά καταλύματα από Booking.com. Στόχος μας είναι να αποτυπώσουμε πού «γεννιέται» η ζήτηση για φόρτιση (μέσω δραστηριοτήτων με παρατεταμένη στάθμευση και μέσω τουριστικής κίνησης) και πού υφίσταται ήδη προσφορά (υφιστάμενοι φορτιστές), ώστε η ιεράρχηση να κατευθύνει νέες επενδύσεις εκεί όπου η ισορροπία προσφοράς-ζήτησης είναι πιο προβληματική.

Τα κριτήρια οργανώνονται γύρω από δείκτες έντασης δραστηριοτήτων: πυκνότητα ή πλήθος POIs ανά Τ.Κ./γειτονιά (υγειονομικές υπηρεσίες, εκπαίδευση, εστίαση, λιανικό εμπόριο, στάθμευση, πολιτισμός). Επιπλέον, λόγω της τουριστικής πίεσης δεν μπορούμε να παραβλέψουμε τα καταλύματα, τα οποία δημιουργούν πρόσθετη ανάγκη για δημόσια φόρτιση σε περιοχές υψηλής επισκεψιμότητας.

Η επιλογή της TOPSIS επιτρέπει να ξεχωρίσουν οι περιοχές που προσεγγίζουν περισσότερο ένα «ιδανικό» προφίλ για νέες εγκαταστάσεις-δηλαδή υψηλή λειτουργική/τουριστική ζήτηση σε συνδυασμό με ανεπαρκή υφιστάμενη εξυπηρέτηση-και να απομακρυνθούν από το «αντι-ιδανικό» προφίλ, όπου η επάρκεια είναι ήδη ικανοποιητική και η πρόσθετη αξία μικρή. Στο προκείμενο πλαίσιο, τα κριτήρια διατυπώνονται ως κριτήρια «οφέλους» (όσο υψηλότερη τιμή, τόσο μεγαλύτερη ανάγκη) και εκφράζονται σε ενιαία κλίμακα, ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμα και να υποστηρίζεται η συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών.

6.1 Ανάλυση Κατηγοριών Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι κατηγορίες σημείων ενδιαφέροντος (POIs) που συγκροτούν τη «λειτουργική ζήτηση» για δημόσια φόρτιση, καθώς και η λογική με την οποία εντάσσονται τα καταλύματα ως ξεχωριστός άξονας πίεσης. Η επιλογή των POIs έγινε με κριτήριο τη διάρκεια παραμονής και/ή τη συχνότητα επίσκεψης: προτιμήθηκαν χώροι όπου ο οδηγός έχει ρεαλιστικό «παράθυρο φόρτισης» (π.χ. υπηρεσίες υγείας, εκπαίδευση, στάθμευση, λιανική/εστίαση, πολιτισμός), ώστε ο αριθμός τους ανά περιοχή να λειτουργεί ως δείκτης εν δυνάμει ζήτησης. Παράλληλα, τα τουριστικά καταλύματα αντιμετωπίζονται ως χωριστή συνιστώσα, επειδή η συγκέντρωσή τους δημιουργεί πρόσθετη, συχνά εποχική, ζήτηση η οποία δεν πρέπει να παραβλέπεται.

K0 – Κατηγορία «Υπάρχοντα Σημεία Φόρτισης»

Η κατηγορία K0 – Υφιστάμενοι Φορτιστές αποτυπώνει το τρέχον επίπεδο κάλυψης (πλήθος εγκατεστημένων σημείων) σε κάθε περιοχή και χρησιμοποιείται ως κριτήριο επάρκειας: όσο περισσότερα σημεία υπάρχουν ήδη, τόσο χαμηλότερη θεωρείται η ανάγκη για νέες εγκαταστάσεις, εκτός αν συντρέχουν ισχυρές ενδείξεις ζήτησης ή κορεσμού. Με αυτόν τον τρόπο, το K0 βοηθά να αποφεύγεται η υπερσυσσώρευση υποδομών σε ήδη εξυπηρετημένες ζώνες και, αντίστροφα, να αναδεικνύονται κενά κάλυψης όπου η επένδυση έχει μεγαλύτερη οριακή ωφέλεια. Παράλληλα, λειτουργεί συμπληρωματικά προς τα κριτήρια ζήτησης (σημεία ενδιαφέροντος, τουριστικά καταλύματα), ώστε οι διαθέσιμοι πόροι να κατευθύνονται σε περιοχές όπου το όφελος για τους χρήστες αναμένεται υψηλότερο.

K1 – Κατηγορία «Fast Food»

Η κατηγορία Fast Food επιλέχθηκε γιατί συνδυάζει τρία πρακτικά στοιχεία για φόρτιση: εύκολη στάθμευση, σαφή και επαναλαμβανόμενο χρόνο παραμονής και υψηλή χωρική συχνότητα. Τα περισσότερα καταστήματα διαθέτουν ιδιόκτητους ή κοινόχρηστους χώρους στάθμευσης (συχνά σε retail parks ή πάνω σε βασικούς οδικούς άξονες), άρα η πρόσβαση σε σημείο φόρτισης είναι εφικτή χωρίς δυσκολία στην εύρεση θέσης. Ο τυπικός χρόνος παραμονής ενός πελάτη που γευματίζει εντός (περίπου 15–35') είναι αρκετός για μια ουσιαστική ενδιάμεση φόρτιση, ειδικά με AC 11–22 kW. Επιπλέον, πρόκειται για αλυσιδωτά καταστήματα με τυποποιημένες εγκαταστάσεις, κάτι που διευκολύνει τεχνικά επαναλαμβανόμενες τοποθετήσεις φορτιστών και πιθανές συνεργασίες παρόχων. Τέλος, η μεγάλη πυκνότητα παρουσίας τους στον αστικό ιστό και τα προβλέψιμα ωράρια αιχμής (μεσημέρι/βράδυ) τα καθιστούν καλό «υπόβαθρο ζήτησης», ώστε η φόρτιση να ενσωματώνεται φυσικά στην καθημερινή ρουτίνα μετακίνησης.

K2 – Κατηγορία «Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα»

Η κατηγορία Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα εντάχθηκε γιατί συνδυάζει μεγάλο και προβλέψιμο χρόνο παραμονής με συγκεντρωμένη στάθμευση. Μαθήματα, εργαστήρια και διοικητικές δραστηριότητες δημιουργούν τυπικούς χρόνους στάσης 1–4 ώρες (και περισσότερο σε εξεταστικές/εκδηλώσεις), ιδανικούς για ενδιάμεση φόρτιση AC 11–22 kW. Οι πανεπιστημιούπολεις διαθέτουν συνήθως οργανωμένους χώρους στάθμευσης (πάρκινγκ ή υπαίθριους χώρους) και ενιαίες ηλεκτρικές υποδομές, διευκολύνοντας ομαδικές εγκαταστάσεις φορτιστών, διαχείριση φορτίου και κλιμάκωση. Η ζήτηση είναι διπλή: προσωπικό/φοιτητές τις πρωινές-απογευματινές ώρες και επισκέπτες/μεταπτυχιακά το απόγευμα–βράδυ, με σταθερά εβδομαδιαία πρότυπα και εποχικότητα (ακαδημαϊκό ημερολόγιο). Τέλος, οι πανεπιστημιακοί χώροι είναι κατάλληλοι για πιλοτικές συνεργασίες και έξυπνη φόρτιση, ενισχύοντας την ορατότητα της ηλεκτροκίνησης και δημιουργώντας κόμβους με πολλαπλούς φορτιστές σε ένα ασφαλές, διαχειρίσιμο περιβάλλον.

K3 – Κατηγορία «Βιβλιοπωλεία»

Η κατηγορία Βιβλιοπωλεία επιλέχθηκε γιατί συνδέεται με μεσαίο χρόνο παραμονής: οι επισκέπτες συχνά παραμένουν 20–60 λεπτά (περισσότερο σε παρουσιάσεις/εκδηλώσεις), διάστημα που ταιριάζει με ενδιάμεση φόρτιση AC 11–22 kW. Τυπικά βρίσκονται σε εμπορικούς άξονες με διαθέσιμη στάθμευση σε δημοτικά ή ιδιωτικά πάρκινγκ περιμετρικά των πεζοδρομημένων ζωνών-κατάλληλες θέσεις για φορτιστές χωρίς επιβάρυνση των κύριων οδών. Η επισκεψιμότητα έχει αιχμές απογευματινές/σαββατοκύριακα και εποχικές κορυφώσεις (π.χ. “back-to-school”), παράγοντας προβλέψιμα μοτίβα ζήτησης. Σε επίπεδο σχεδιασμού, τα βιβλιοπωλεία αποτελούν δείκτη σταθερής, ήπιας δραστηριότητας σε κεντρικές γειτονιές και στηρίζουν τη σκοπιμότητα συστάδων AC φορτιστών σε χώρους στάθμευσης μικρής/μεσαίας διάρκειας.

K4 – Κατηγορία «Γιατροί»

Η κατηγορία Γιατροί αφορά κυρίως ιδιωτικά ιατρεία, όπου ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται συνήθως 20–60 λεπτά (ραντεβού + αναμονή). Αυτό το προφίλ ταιριάζει με ενδιάμεση φόρτιση AC 7,4–11/22 kW, ώστε το όχημα να κερδίζει ουσιαστική ενέργεια μέσα στη διάρκεια του ραντεβού. Τα ιατρεία βρίσκονται συχνά σε μικτούς εμπορικούς δρόμους με περιορισμένη στάθμευση· πρακτική λύση είναι φορτιστές πεζοδρομίου ή μικρές συστάδες σε κοντινά δημοτικά/ιδιωτικά πάρκινγκ για να εξασφαλίζεται ροή θέσεων. Η ζήτηση εμφανίζει αιχμές καθημερινές πρωινές (09:00–13:00) και απογευματινές (17:00–20:00), προσφέροντας προβλέψιμο μοτίβο χρήσης. Επιπλέον, η προσβασιμότητα (διαθέσιμες ράμπες, επαρκές πλάτος πεζοδρομίου) είναι κρίσιμη για ασθενείς με μειωμένη κινητικότητα. Συνολικά, τα ιατρεία υποστηρίζουν στοχευμένες εγκαταστάσεις AC με γρήγορη εναλλαγή οχημάτων και καθαρή σήμανση, μεγιστοποιώντας την αξιοποίηση χωρίς να επιβαρύνεται ο δρόμος.

K5 – Κατηγορία «Γυμναστήρια»

Η κατηγορία Γυμναστήρια παρουσιάζει χρόνους παραμονής 45–90 λεπτά, ιδανικούς για ενδιάμεση φόρτιση AC 11–22 kW ώστε να προστίθεται ουσιαστικό ενεργειακό απόθεμα σε μία προπόνηση. Η ζήτηση είναι προβλέψιμη με αιχμές πρωί (06:30–09:30) και μετά τη δουλειά (17:00–21:30), ενώ τα Σ/Κ εντοπίζεται αυξημένη κίνηση αργά το πρωί. Πολλά γυμναστήρια βρίσκονται σε μικτούς εμπορικούς άξονες ή εντός εμπορικών κέντρων/πολυώρων με διαθέσιμο πάρκινγκ-ιδανικά σημεία για φορτιστές πεζοδρομίου ή συστάδες σε ιδιωτικούς/δημοτικούς χώρους στάθμευσης. Σε μεγάλες αθλητικές εγκαταστάσεις (π.χ. πισίνες, δημοτικά στάδια) μπορεί να εξεταστεί μικρός αριθμός DC 50–100 kW για χρήστες με σύντομες επισκέψεις. Η επαναληψιμότητα των επισκέψεων (συνδρομές) επιτρέπει στοχευμένα τιμολόγια/κίνητρα (π.χ. off-peak έκπτωση) και καλό load shaping. Σχεδιαστικά, απαιτούνται σαφής σήμανση, επαρκής φωτισμός/ασφάλεια, καλώδια με εύκολη πρόσβαση και πρόβλεψη για 24/7 λειτουργία όπου τα γυμναστήρια είναι διευρυμένου ωραρίου.

K6 – Κατηγορία «Διαγνωστικά Κέντρα»

Η κατηγορία Διαγνωστικά Κέντρα χαρακτηρίζεται από προγραμματισμένες επισκέψεις και χρόνους παραμονής 30–120 λεπτά (σύντομες εξετάσεις στο κάτω άκρο, μαγνητικές/υπέρηχοι στο άνω). Οι αιχμές εμφανίζονται κυρίως καθημερινές 07:30–12:30 και δευτερευόντως 17:00–20:00, με συχνή παρουσία συνοδών που επίσης παραμένουν στον χώρο. Προτείνεται κυρίως AC 11–22 kW για ουσιαστική φόρτιση εντός ραντεβού και, σε μεγάλα πολυϊατρεία, περιορισμένος αριθμός DC ~50 kW για σύντομες στάσεις. Χωροθέτηση: χώροι στάθμευσης κέντρου ή παρόδια σημεία κοντά στην είσοδο, με σαφή σήμανση και κανόνες εναλλαγής (π.χ. ειδοποίηση ολοκλήρωσης φόρτισης). Η ζήτηση είναι σταθερή και προβλέψιμη, ευνοεί την ενδιάμεση φόρτιση και πετυχαίνει υψηλό συντελεστή αξιοποίησης φορτιστών.

K7 – Κατηγορία «Δικαστήρια»

Η κατηγορία Δικαστήρια συνδέεται με παραμονές μέσης έως μεγάλης διάρκειας (κατά κανόνα 60–180 λεπτά), λόγω αναμονών, διαδοχικών δικών και μεταβολών στο πρόγραμμα. Η ζήτηση κορυφώνεται συνήθως καθημερινές 08:00–14:30, με κύριους χρήστες δικηγόρους, διαδίκους και συνοδούς. Τυπικά, η στάθμευση πραγματοποιείται σε περιμετρικούς χώρους (δημοτικά πάρκινγκ, παρόδια στάθμευση) και η ροή χαρακτηρίζεται από σχετικά προβλέψιμο καθημερινό μοτίβο, που δημιουργεί σταθερή ανάγκη για δημόσια φόρτιση στην ευρύτερη ζώνη των δικαστικών συγκροτημάτων.

K8 – Κατηγορία «Ενοικιάσεις Αυτοκινήτων»

Η κατηγορία Ενοικιάσεις Αυτοκινήτων παρουσιάζει δύο διακριτά πρότυπα παραμονής. Πρώτον, βραχείες στάσεις ~10–40 λεπτών για παραλαβή/παράδοση, με αιχμές 09:00–13:00

(παραλαβές) και 17:00–19:00 (παραδόσεις), εντονότερες Παρασκευή–Δευτέρα και σε περιόδους αυξημένης τουριστικής κίνησης. Δεύτερον, πολύωρη ακινητοποίηση στόλου (3–10 ώρες) για καθαρισμό/έλεγχο μεταξύ διαδοχικών μισθώσεων. Χωρικά, τα σημεία συγκεντρώνονται κοντά σε κόμβους μεταφορών (μετρό, προαστιακός, λιμάνι, αεροδρόμιο) και σε τουριστικούς άξονες του κέντρου, συνήθως με περιορισμένους ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης, οπότε μέρος της δραστηριότητας εκτονώνεται παρόδια στον περίγυρο. Ο συνδυασμός συχνών βραχειών στάσεων και πολύωρων ακινητοποιήσεων στην ίδια ζώνη δημιουργεί μεταβαλλόμενα αλλά προβλέψιμα μοτίβα ζήτησης.

K9 – Κατηγορία «Εστιατόρια»

Η κατηγορία Εστιατόρια συνδέεται με μεσαίους έως μεγάλους χρόνους παραμονής, συνήθως 45–120 λεπτά για καθιστό γεύμα. Οι αιχμές εμφανίζονται μεσημέρι (13:00–16:00) και βράδυ (20:00–23:00), με αυξημένη κίνηση τα Σαββατοκύριακα και σε περιόδους τουρισμού. Χωρικά συγκεντρώνονται σε εμπορικούς και ψυχαγωγικούς άξονες, πλατείες και πεζοδρομημένες ζώνες, όπου η στάθμευση γίνεται σε παρόδιους χώρους ή κοντά σε οργανωμένη στάθμευση. Παρά την ετερογένεια του κλάδου, ο μέσος χρόνος παραμονής είναι επαρκής για ουσιαστική φόρτιση κατά τη στάθμευση. Σε περιοχές με έντονη νυχτερινή δραστηριότητα, το μοτίβο επεκτείνεται αργά το βράδυ, ενισχύοντας τη ζήτηση και σε μεταγενέστερες ώρες. Συνολικά, πρόκειται για συχνό και επαναλαμβανόμενο προορισμό, με χρονικά παράθυρα που ευνοούν τη φόρτιση χωρίς να μεταβάλλεται η καθημερινή ρουτίνα του οδηγού.

K10 – Κατηγορία «ΚΤΕΟ»

Η κατηγορία ΚΤΕΟ χαρακτηρίζεται από μεσαίους χρόνους παραμονής, συνήθως 30–75 λεπτά ανά όχημα (προσέλευση, αναμονή, τεχνικός έλεγχος), με περιστασιακές υπερβάσεις σε ώρες αιχμής ή κοντά σε προθεσμίες τέλους μήνα. Το κύριο ωράριο είναι καθημερινές πρωί–μεσημέρι, με εντονότερη ζήτηση νωρίς το πρωί. Χωρικά, τα ΚΤΕΟ βρίσκονται συχνά σε περιφερειακές ζώνες ή περιοχές ελαφριάς βιομηχανικής/εμπορικής χρήσης, με άνετη στάθμευση και εύκολη πρόσβαση από βασικούς οδικούς άξονες. Η επίσκεψη είναι προγραμματισμένη και επαναλαμβανόμενη (περιοδικός έλεγχος), άρα το μοτίβο ζήτησης είναι προβλέψιμο, ενώ το διαθέσιμο παράθυρο στάθμευσης είναι επαρκές για ουσιαστική φόρτιση μικρής–μεσαίας διάρκειας.

K11 – Κατηγορία «Κέντρα Αισθητικής Αδυνατίσματος»

Η κατηγορία Κέντρα Αισθητικής / Αδυνατίσματος χαρακτηρίζεται από μεσαίους έως μεγάλους χρόνους παραμονής, συνήθως 45–90 λεπτά ανά συνεδρία, με αρκετές περιπτώσεις να υπερβαίνουν τα 120 λεπτά (συνδυαστικές θεραπείες, πακέτα). Η επίσκεψη είναι κατά κανόνα με ραντεβού και επαναλαμβανόμενη (π.χ. εβδομαδιαίοι κύκλοι), άρα το μοτίβο ζήτησης τείνει να είναι σταθερό και προβλέψιμο. Οι ώρες αιχμής εντοπίζονται μετά το μεσημέρι έως το βράδυ τις καθημερινές και πρωινές–μεσημβρινές του Σαββάτου. Χωρικά βρίσκονται κυρίως σε εμπορικούς δρόμους ή μικρά εμπορικά κέντρα/στοές, όπου η στάθμευση είναι μικτή (πεζοδρόμιο, δημοτικοί χώροι, ιδιωτικά πάρκινγκ σε μικρή απόσταση). Το διαθέσιμο χρονικό παράθυρο στάθμευσης καθιστά τα σημεία αυτά τυπικούς προορισμούς φόρτισης μεσαίας διάρκειας κατά την παραμονή του χρήστη στη συνεδρία.

K12 – Κατηγορία «Καφετέριες – Καφέ»

Η κατηγορία Καφετέριες – Καφέ παρουσιάζει υψηλή συχνότητα επισκέψεων και μεταβλητούς χρόνους παραμονής: από σύντομη στάση έως 60–120 λεπτά (εργασία με φορητό, συναντήσεις, μελέτη). Οι αιχμές εμφανίζονται συνήθως πρωί (εργασίες) και απόγευμα–βράδυ

(καθημερινές και Σαββατοκύριακο), ενώ σε περιοχές με γραφεία ή πανεπιστήμια παρατηρείται έντονη μεσημβρινή κίνηση. Χωρικά εντοπίζονται σε εμπορικούς δρόμους, πλατείες και γειτονίες υψηλής πυκνότητας, όπου η στάθμευση είναι κυρίως οδική ή σε κοντινά ιδιωτικά πάρκινγκ/εμπορικά κέντρα. Το διαθέσιμο παράθυρο στάθμευσης τις καθιστά τυπικό προορισμό για φόρτιση μικρής έως μεσαίας διάρκειας (AC), με σωρευτικό όφελος λόγω των επαναλαμβανόμενων καθημερινών επισκέψεων.

K13 – Κατηγορία «Κινηματογράφοι»

Η κατηγορία Κινηματογράφοι χαρακτηρίζεται από σταθερό και προβλέψιμο χρόνο παραμονής, αντίστοιχο της προβολής και του πριν/μετά (ουρές, διάλειμμα), που συνήθως κυμαίνεται περίπου στις 2–3 ώρες. Η ζήτηση κορυφώνει βραδινές ώρες και Σαββατοκύριακα, ενώ αυξάνεται σε περιόδους εορτών ή φεστιβάλ. Χωρικά, οι αίθουσες εμφανίζονται είτε ως μεγάλες πολυαίθουσες (συχνά σε ή δίπλα σε εμπορικά κέντρα με οργανωμένη στάθμευση) είτε ως γειτονικοί κινηματογράφοι σε κεντρικούς δρόμους με κυρίως οδική στάθμευση. Το σταθερό παράθυρο στάθμευσης καθιστά τους κινηματογράφους τυπικό προορισμό για φόρτιση μεσαίας διάρκειας (AC). Στις τουριστικές/κεντρικές περιοχές, η παρουσία θερινών αιθουσών και υψηλής βραδινής κίνησης προσθέτει εποχική ένταση, διαμορφώνοντας συνεχή ροή οχημάτων με χρόνο παραμονής επαρκή για ουσιαστική αναπλήρωση ενέργειας.

K14 – Κατηγορία «Μουσεία»

Η κατηγορία Μουσεία συνδέεται με μεσαίας διάρκειας παραμονή, συνήθως 1–2+ ώρες ανά επίσκεψη (εκθέσεις, πωλητήριο, καφέ). Η κίνηση κορυφώνει σαββατοκύριακα, αργίες και ημέρες ελεύθερης εισόδου, ενώ εμφανίζει έντονη εποχικότητα σε περιόδους τουριστικής αιχμής. Χωρικά, τα περισσότερα βρίσκονται σε κεντρικές/ιστορικές ζώνες με πεζοδρομήσεις και περιορισμένη οδική στάθμευση, συχνά κοντά σε δημοτικούς χώρους στάθμευσης ή σε μικρά ιδιωτικά πάρκινγκ. Παρατηρούνται επίσης «ριπές» άφιξης από σχολικές/ομαδικές επισκέψεις, που αυξάνουν στιγμιαία τη ζήτηση στάθμευσης. Το σχετικά προβλέψιμο παράθυρο παραμονής και η ημερήσια λειτουργία καθιστούν τα μουσεία χαρακτηριστικό προορισμό όπου η στάθμευση μπορεί να συνδυάζεται με φόρτιση AC μεσαίας διάρκειας, ιδίως σε γειτονίες με υψηλή τουριστική κίνηση και πυκνή πολιτιστική δραστηριότητα.

K15 – Κατηγορία «Νοσοκομεία Κέντρα Υγείας»

Η κατηγορία Νοσοκομεία / Κέντρα Υγείας παρουσιάζει μεγάλη διασπορά χρόνου παραμονής: από πολύ σύντομες επισκέψεις (επείγοντα, εξετάσεις ρουτίνας) έως πολύωρη παραμονή (χειρουργεία, συνοδοί νοσηλευομένων). Η λειτουργία είναι 24/7, με έντονες αιχμές πρωινών ραντεβού (εργαστήρια/ιατρεία) και απογευματινών επισκεπτηρίων, καθώς και κυκλικές αυξομειώσεις σε ώρες αλλαγής βάρδιών προσωπικού. Χωρικά, τα μεγάλα νοσοκομεία βρίσκονται συνήθως σε αστικές ζώνες υψηλής κυκλοφορίας με περιορισμένη οδική στάθμευση και γειτνίαση με ιδιωτικά πάρκινγκ ή εσωτερικούς χώρους στάθμευσης με ελεγχόμενη πρόσβαση. Η παρουσία ΤΕΠ/ασθενοφόρων δημιουργεί ειδικές ροές κίνησης και αποκλεισμένες λωρίδες, ενώ οι πολλαπλές είσοδοι/πτέρυγες απλώνουν τη ζήτηση σε διαφορετικά μέτωπα. Το αποτέλεσμα είναι ένα μικτό προφίλ στάθμευσης (βραχεία και μεσαία διάρκεια) με σταθερή βασική ζήτηση και έντονες αιχμές σε συγκεκριμένα ωράρια.

K16 – Κατηγορία «Πάρκινγκ»

Η κατηγορία Πάρκινγκ (κλειστά γκαράζ, υπαίθριοι/πολυώροφοι χώροι, park-and-ride) συγκεντρώνει σταθερή στάθμευση βραχείας έως και πολύωρης διάρκειας, ανάλογα με το περιβάλλον χρήσεων: υψηλή εναλλαγή κοντά σε εμπορικούς άξονες και κέντρα αναψυχής, μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής δίπλα σε χώρους εργασίας, νοσηλευτήρια ή σταθμούς ΜΜΜ. Τα μοτίβα ζήτησης κορυφώνονται καθημερινά σε ώρες γραφείου και απογεύματα/Σαββατοκύριακα

στο κέντρο, ενώ εκτοξεύονται σε ημέρες εκδηλώσεων (στάδια, θέατρα, φεστιβάλ). Χωρικά, τα πάρκινγκ λειτουργούν ως κόμβοι συγκέντρωσης οχημάτων και διαθέτουν οργανωμένη πρόσβαση, συστήματα ελέγχου εισόδου/εξόδου και συχνά ψηφιακές υποδομές τιμολόγησης/διαθεσιμότητας, προσφέροντας προβλέψιμα μοτίβα παραμονής που είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την εκτίμηση της δυνητικής ζήτησης φόρτισης στην περιοχή.

K17 – Κατηγορία «Πρατήρια Καυσίμων»

Η κατηγορία Πρατήρια Καυσίμων περιλαμβάνει σταθμούς με οργανωμένους προαύλιους χώρους στάθμευσης, γεγονός που συνεπάγεται διαθέσιμο χώρο για εγκατάσταση υποδομών φόρτισης. Είναι διάσπαρτα σχεδόν παντού-σε αστικές γειτονιές, κατά μήκος βασικών αρτηριών και σε διασυνδετήριους άξονες-και λειτουργούν συνήθως 24/7, προσφέροντας υψηλή γεωγραφική κάλυψη. Ως κόμβοι με σταθερή ροή διερχόμενων οχημάτων, τα πρατήρια αποτελούν επαναλαμβανόμενα σημεία στάσης με χαρακτηριστικά που ευνοούν την τοποθέτηση και αξιοποίηση φορτιστών.

K18 – Κατηγορία «Σούπερ Μάρκετ»

Η κατηγορία Σούπερ μάρκετ χαρακτηρίζεται από διαθέσιμους χώρους στάθμευσης (υπαίθριους ή υπόγειους) και στάση μέσης διάρκειας-αρκετή ώστε η φόρτιση να έχει πρακτικό όφελος κατά την αγορά. Τα καταστήματα είναι ομοιόμορφα κατανομημένα σε οικιστικό ιστό και βασικούς άξονες, με προβλέψιμες αιχμές επισκεψιμότητας (καθημερινά απογεύματα, Σάββατα). Η υψηλή επαναληψιμότητα επισκέψεων (εβδομαδιαίες αγορές) και η ύπαρξη οργανωμένης στάθμευσης τα καθιστούν καίριους προορισμούς «φόρτισης προορισμού», ικανούς να υποστηρίξουν πολλαπλές θέσεις και συνεπή αξιοποίηση των φορτιστών.

K19 – Κατηγορία «Τράπεζες»

Η κατηγορία Τράπεζες συνδέεται με επισκέψεις σύντομης έως μέσης διάρκειας για συναλλαγές στο ταμείο ή στο γκισέ, με συχνές ουρές σε περιόδους μισθοδοσίας ή τέλους μήνα. Τα υποκαταστήματα εντοπίζονται κυρίως σε εμπορικούς άξονες και επιχειρηματικούς θύλακες, όπου οι χρήστες συνδυάζουν πολλαπλές δουλειές (λογιστικά γραφεία, υπηρεσίες, λιανικό εμπόριο), αυξάνοντας τον χρόνο παραμονής στην περιοχή. Η ύπαρξη ATM επεκτείνει τη ροή επισκεπτών πέρα από το ωράριο λειτουργίας. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν μικροί ιδιόκτητοι χώροι στάθμευσης (κυρίως εκτός κέντρου), ενώ στα κεντρικά καταστήματα η στάθμευση γίνεται σε δημοτικούς χώρους ή ιδιωτικά πάρκινγκ σε μικρή ακτίνα. Ο συνδυασμός προβλέψιμου ωραρίου και επαναλαμβανόμενων επισκέψεων καθιστά τα σημεία αυτά τυπικούς προορισμούς «φόρτισης προορισμού».

K20 – Κατηγορία «Φαρμακεία»

Η κατηγορία Φαρμακεία συνδέεται άμεσα με επισκέψεις σε γιατρούς και διαγνωστικά κέντρα: πολύ συχνά ακολουθούν τη ιατρική επίσκεψη για εκτέλεση συνταγών ή προμήθεια σχετικών ειδών. Απαντώνται σχεδόν παντού στον αστικό ιστό-σε κεντρικούς άξονες και σε γειτονιές-και, μετά τα νοσοκομεία/κέντρα υγείας, αποτελούν από τους πιο συχνούς υγειονομικούς προορισμούς. Τα ωράρια διευρυμένης λειτουργίας και οι εφημερίες δημιουργούν συνεχή ροή μέσα στην ημέρα και το βράδυ. Ως «προορισμοί ρουτίνας» που συχνά συνδυάζονται με ραντεβού ιατρού, ενισχύουν τη ζήτηση για γειτονική δημόσια φόρτιση.

K21 – Κατηγορία «Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων»

Η κατηγορία Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων περιλαμβάνει αίθουσες δεξιώσεων, συνεδριακού/εκθεσιακού χώρους, πολιτιστικά κέντρα και πολυχώρους. Χαρακτηρίζεται από πολύωρη παραμονή (τελετές, δεξιώσεις, συνέδρια, φεστιβάλ), με έντονη χρονική συγκέντρωση

κυρίως βραδινές ώρες και ακμές Σαββατοκύριακου. Παρουσιάζει και εποχικότητα (π.χ. άνοιξη-καλοκαίρι για γάμους, φθινόπωρο για συνέδρια), ενώ οι τοποθεσίες απαντώνται τόσο σε κεντρικές ζώνες όσο και σε περιφερειακές περιοχές με μεγάλες εγκαταστάσεις. Το προφίλ αυτό παράγει διαλείπουσα αλλά υψηλής έντασης ζήτηση, με μεγάλα «παράθυρα χρόνου», στοιχείο που την καθιστά χρήσιμη ως δείκτη για την εκτίμηση της ανάγκης δημόσιας φόρτισης σε περιβάλλοντα μαζικών εκδηλώσεων.

K22 – Κατηγορία «Bookings»

Η τουριστική δραστηριότητα πρέπει να συμπεριληφθεί ως ξεχωριστό κριτήριο, επειδή κάθε επισκέπτης «φέρει» ένα μέσο μετακίνησης (ιδιωτικό, ενοικιαζόμενο, εταιρικό) και δημιουργεί πρόσθετη, εποχικά ενισχυμένη ζήτηση φόρτισης. Ιδίως στο ιστορικό κέντρο και σε γειτονίες με υψηλή πυκνότητα καταλυμάτων, οι αφίξεις αυξάνουν τις ανάγκες πέρα από αυτές των μόνιμων κατοίκων.

Πίνακας 17 – Αντιστοίχιση κωδικών ανά Κριτήριο / Κατηγορία

Κωδικός Κριτηρίου	Κατηγορία
K0	Υφιστάμενοι Φορτιστές
K1	Fast Food
K2	Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα
K3	Βιβλιοπωλεία
K4	Γιατροί
K5	Γυμναστήρια
K6	Διαγνωστικά Κέντρα
K7	Δικαστήρια
K8	Ενοικιάσεις Αυτοκινήτων
K9	Εστιατόρια
K10	ΚΤΕΟ
K11	Κέντρα Αισθητικής Αδυνατίσματος
K12	Καφετέριες – Καφέ
K13	Κινηματογράφοι
K14	Μουσεία
K15	Νοσοκομεία Κέντρα Υγείας
K16	Πάρκινγκ
K17	Πρατήρια Καυσίμου
K18	Σούπερ Μάρκετ
K19	Τράπεζες
K20	Φαρμακεία
K21	Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων
K22	Bookings

6.2 Έλεγχος συσχετίσεων και συμπύκνωση κατηγοριών

Με βάση τα ήδη εξαγόμενα δεδομένα, διαπιστώθηκε ότι ορισμένες κατηγορίες σημείων ενδιαφέροντος παρουσίαζαν πλεονασματικότητα-δηλαδή παρήγαγαν πολύ παρόμοια χωρικά πρότυπα. Για την ποσοτική τεκμηρίωση, συντάχθηκε στο Excel πίνακας συσχετίσεων όλων των ζευγών κατηγοριών, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση CORREL πάνω στα διανύσματα τιμών κάθε κατηγορίας.

Η CORREL επιστρέφει τον συντελεστή συσχέτισης Pearson (r) στο διάστημα $[-1, 1]$: τιμές κοντά στο $+1$ υποδεικνύουν ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση (οι δύο κατηγορίες αυξάνονται μαζί), κοντά στο -1 ισχυρή αρνητική (η μία αυξάνεται όταν η άλλη μειώνεται), ενώ τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν ασθενή ή μη γραμμική σχέση. Σημειώνεται ότι ο Pearson r μετρά συν-μεταβολή και όχι αιτιότητα, και είναι ευαίσθητος σε ακραίες τιμές-γι' αυτό ο υπολογισμός έγινε σε ευθυγραμμισμένα δείγματα.

Ως κατώφλι πλεονασματικότητας ορίστηκε το $|r| \geq 0,55$. Για κάθε ζεύγος κατηγοριών που υπερέβαινε το κατώφλι, κρατήθηκε μία από τις δύο-εκείνη με μεγαλύτερη αντιπροσωπευτικότητα για τον σκοπό της ανάλυσης και καλύτερη ποιότητα/πληρότητα δεδομένων-ώστε να αποφεύγεται διπλή μέτρηση της ίδιας ζήτησης. Το αποτέλεσμα είναι ένα συμπυκνωμένο, μη επικαλυπτόμενο σύνολο κριτηρίων, με μειωμένη πολυσυγγραμμικότητα, το οποίο τροφοδοτεί πιο αξιόπιστα τα επόμενα στάδια (μετασχηματισμούς τιμών και στάθμιση) και την εφαρμογή της TOPSIS.

Πάνω στη συσχέτιση των αρχικών μεταβλητών (Pearson r με κατώφλι $|r| \geq 0,55$) και σε ποιοτικό έλεγχο επικάλυψης, ενοποιήσαμε πλεονασματικές κατηγορίες και κρατήσαμε ένα συμπαγές, αντιπροσωπευτικό σύνολο δεικτών ζήτησης/χρήσης. Ενδεικτικά καταλήξαμε στις κατηγορίες:

Πίνακας 18 – Ανανεωμένη αντιστοίχιση κωδικών ανά κριτήριο / Κατηγορία

Κωδικός Κριτηρίου	Κατηγορία
K0	Υφιστάμενοι Φορτιστές
K2	Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα
K4	Γιατροί
K5	Γυμναστήρια
K6	Διαγνωστικά Κέντρα
K12	Καφετέριες – Καφέ
K14	Μουσεία
K15	Νοσοκομεία Κέντρα Υγείας
K17	Πρατήρια Καυσίμου
K18	Σούπερ Μάρκετ
K19	Τράπεζες
K20	Φαρμακεία
K21	Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων
K22	Bookings

6.3 Μετασχηματισμός και Κανονικοποίηση Κριτηρίων

Δεδομένης της αρχικής ανομοιογένειας και ασυμμετρίας των δεδομένων, εφαρμόστηκε μια σειρά στοχευμένων στατιστικών μετασχηματισμών ώστε να βελτιωθεί η κατανομή των τιμών, να μειωθεί η επίδραση των ακραίων παρατηρήσεων και να εξομαλυνθούν οι ασυμμετρίες.

- **Μετασχηματισμός ρίζας ($\sqrt{x}$):** Κατάλληλος για μετρήσεις καταμέτρησης με ήπια ασυμμετρία. Συμπίεζει αναλογικά τις μεγάλες τιμές και σταθεροποιεί τη διασπορά χωρίς να «ισοπεδώνει» τα χαμηλά μεγέθη.
- **Λογαριθμικός μετασχηματισμός ($\log(1+x)$):** Ενδείκνυται σε έντονα ασύμμετρες κατανομές. Μειώνει τις τάξεις μεγέθους, κάνει πιο «ήπια» τα outliers και είναι ασφαλής για μηδενικές τιμές μέσω της μορφής $\log(1+x)$.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται η κανονικοποίηση που απαιτεί η TOPSIS (κανονικοποίηση διανύσματος), ώστε κάθε κριτήριο να μετριέται σε αδιάστατη κλίμακα. Αυτή η κανονικοποίηση εξασφαλίζει ότι όλα τα κριτήρια έχουν ενιαίο μήκος διανύσματος, παρέχοντας έτσι μια συνεπή και ισορροπημένη αξιολόγηση που ελαχιστοποιεί την επίδραση κριτηρίων με υψηλή απόλυτη διασπορά.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

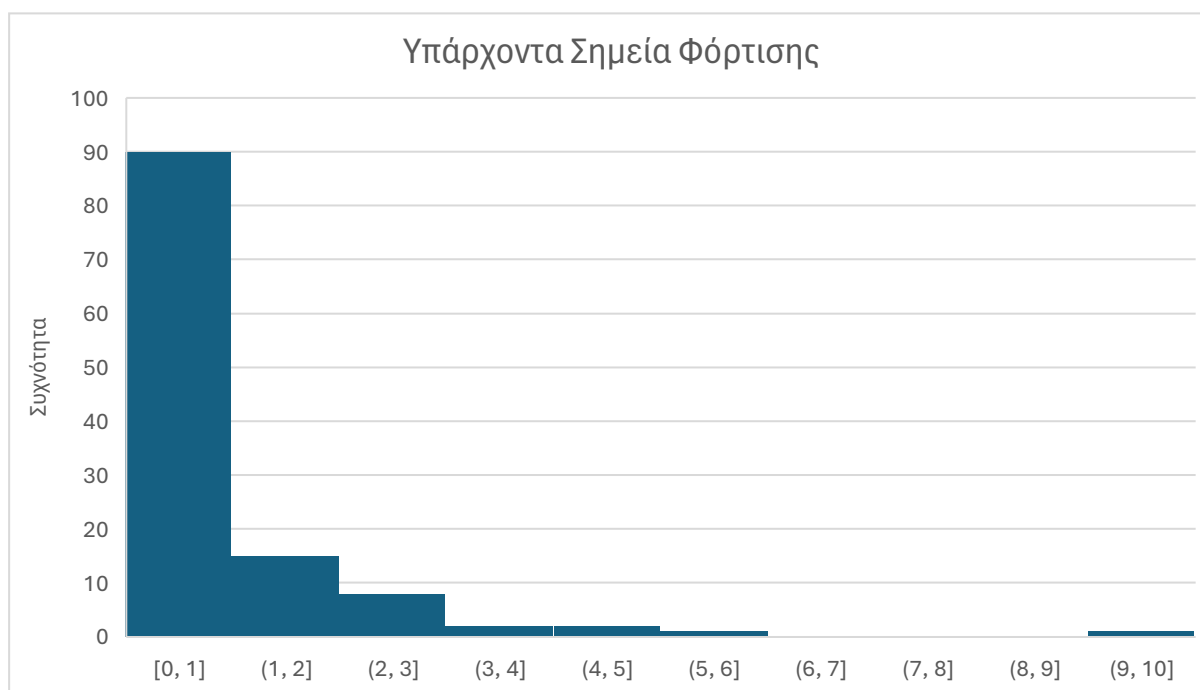
Η πλήρης προεπεξεργασία τεκμηριώθηκε σε τρεις διακριτούς πίνακες Excel, που αποτελούν και την αρχειακή βάση της ανάλυσης:

- Raw_Numeric: Αρχικά (ανεπεξέργαστα) δεδομένα.
- Transformed: Δεδομένα μετά τον επιλεγμένο μετασχηματισμό ανά κριτήριο.
- Normalized: Κανονικοποιημένες τιμές έτοιμες για την εφαρμογή της TOPSIS.

Η συστηματική αυτή αρχειοθέτηση ενισχύει τη διαφάνεια, την επαναληψιμότητα και την επιστημονική εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, σε πλήρη ευθυγράμμιση με βέλτιστες πρακτικές ανάλυσης δεδομένων.

6.3.1 Μετασχηματισμοί και κανονικοποίηση ανά Ταχυδρομικό Κώδικα

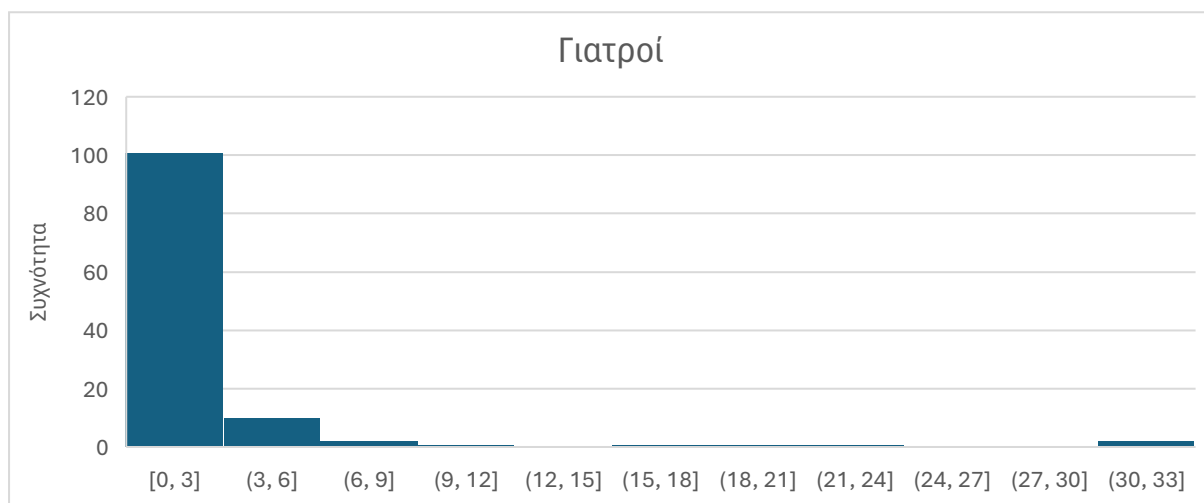
Παρουσιάζονται συνοπτικά οι αρχικές τιμές ανά Ταχυδρομικό Κώδικα (Τ.Κ.), πριν από οποιονδήποτε μετασχηματισμό ή κανονικοποίηση. Τα γραφήματα δίνουν άμεση εικόνα της κατανομής, του πλήθους και τυχόν ακραίων τιμών ανά Ταχυδρομικό Κώδικα, τεκμηριώνοντας την ανάγκη για τους μετασχηματισμούς που ακολουθούν.



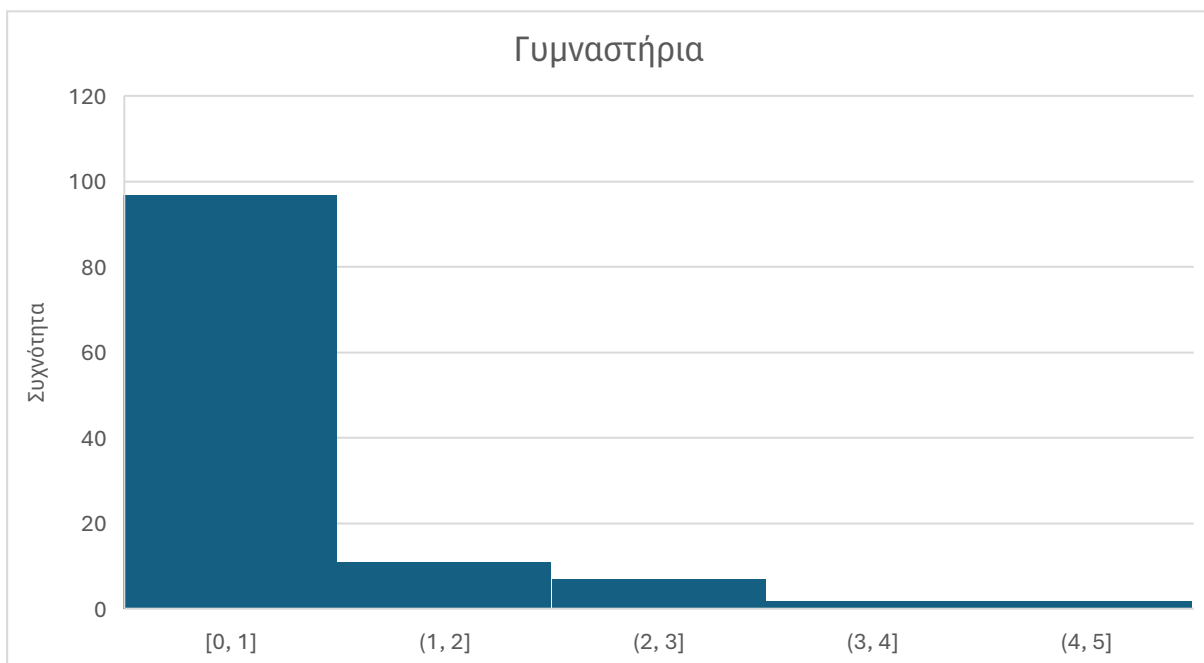
Διάγραμμα 14 - Κατανομή Κ0 Κριτηρίου



Διάγραμμα 15 - Κατανομή του Κ2 Κριτηρίου



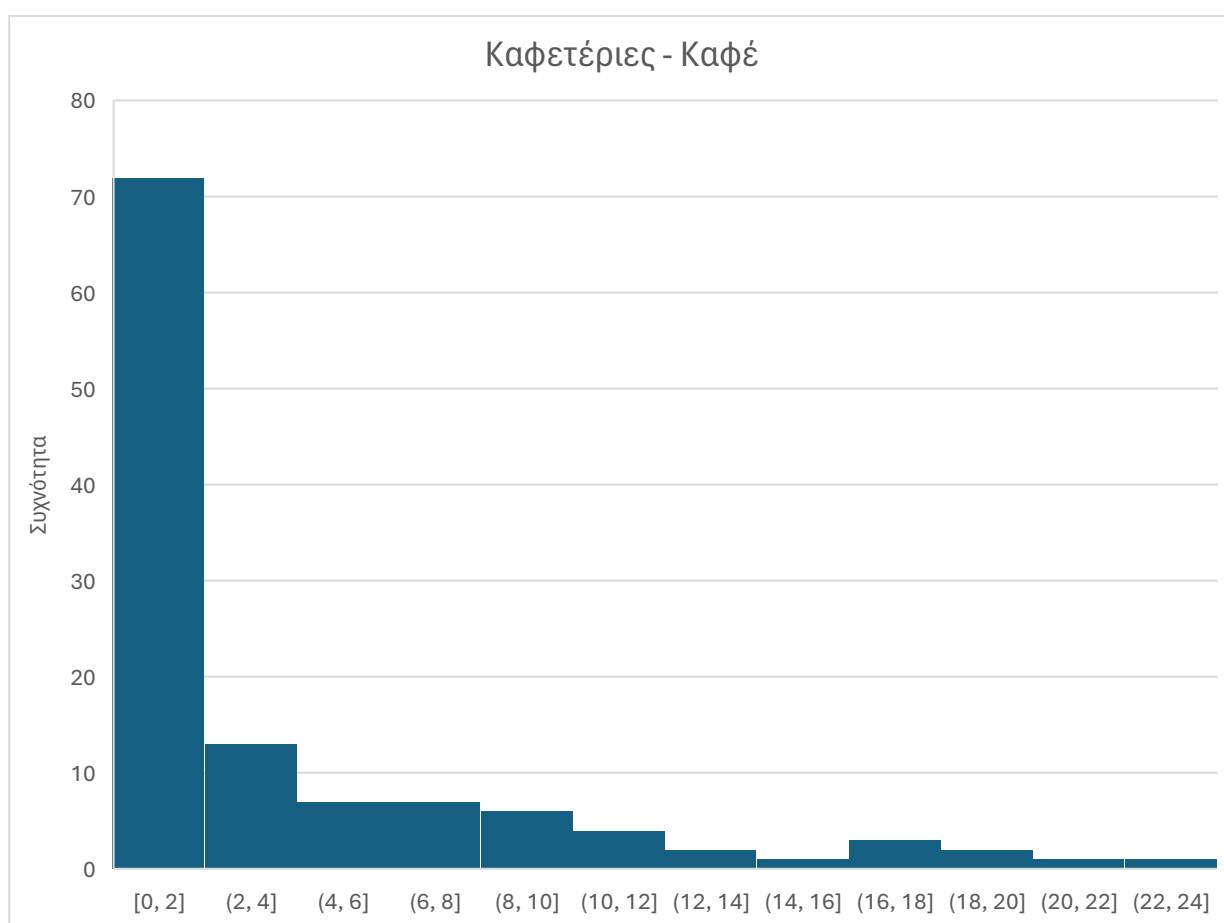
Διάγραμμα 16 - Κατανομή του K4 Κριτηρίου



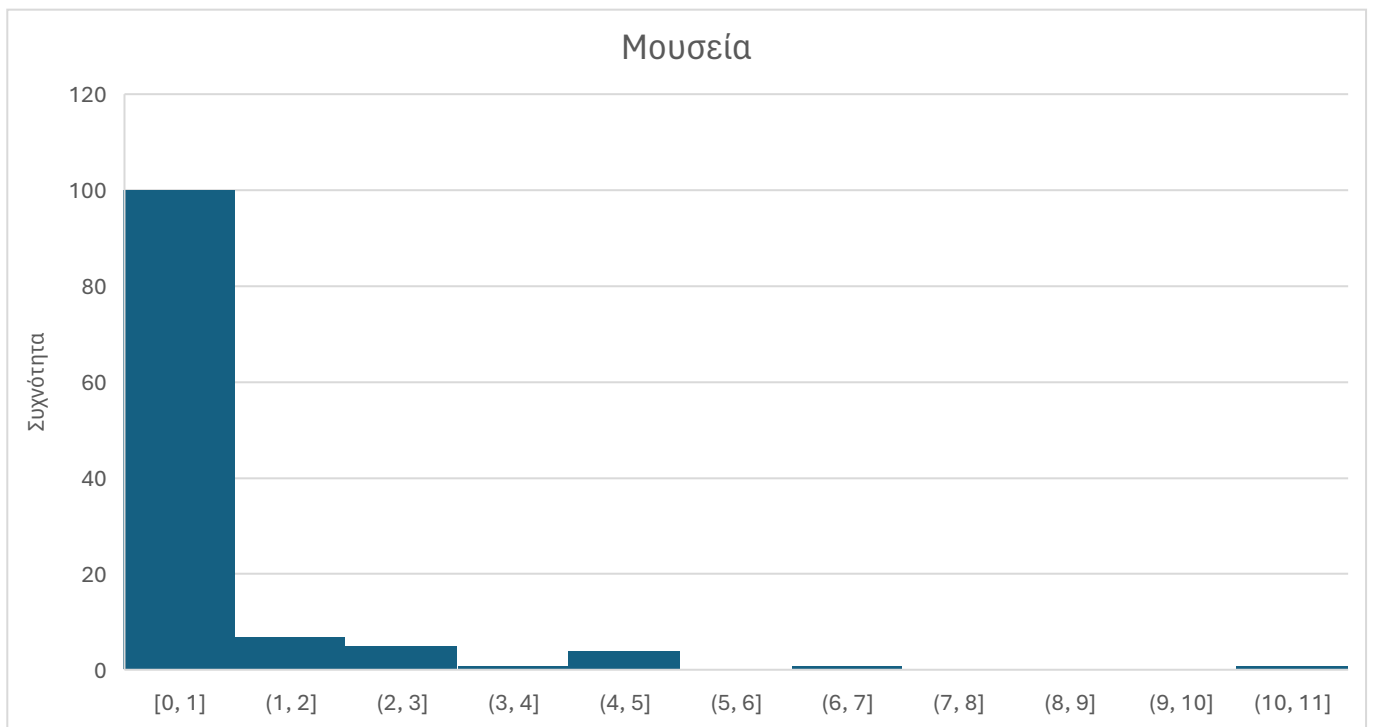
Διάγραμμα 17 - Κατανομή του K5 Κριτηρίου



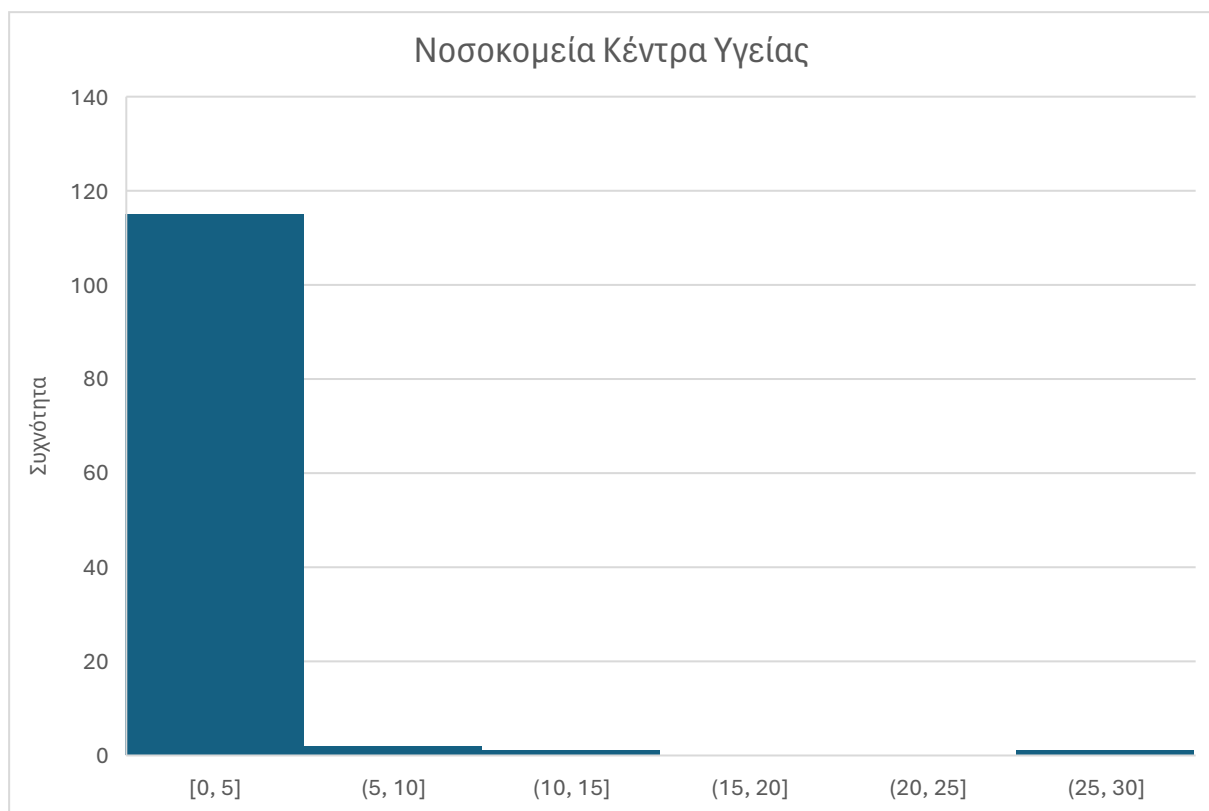
Διάγραμμα 19 - Κατανομή του K6 Κριτηρίου



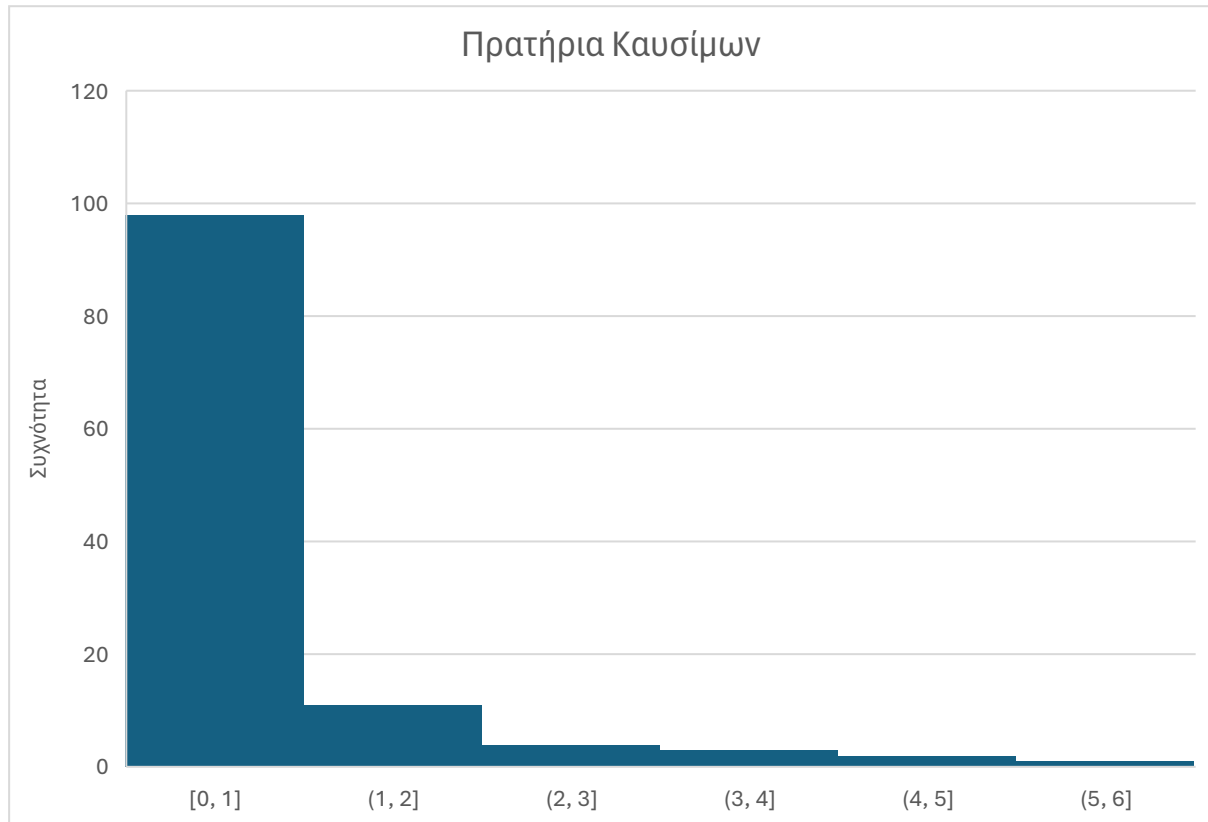
Διάγραμμα 18 - Κατανομή του K12 Κριτηρίου



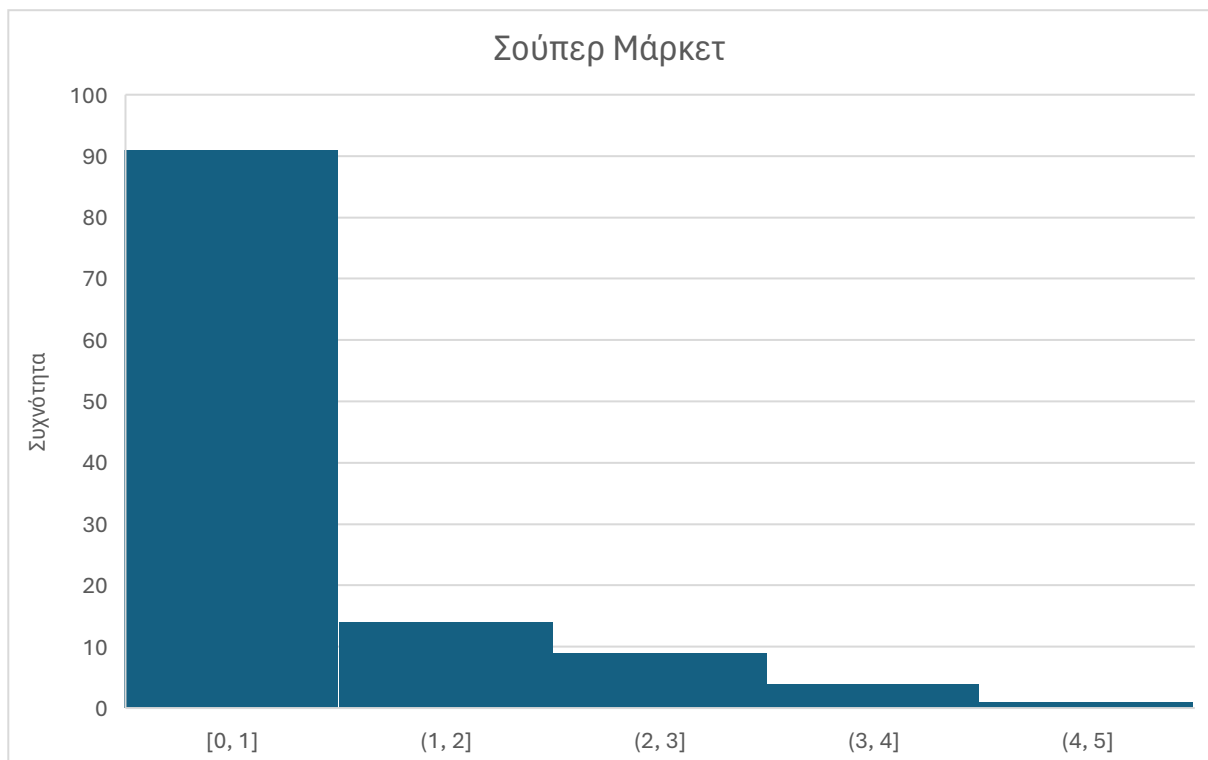
Διάγραμμα 20 - Κατανομή του K14 Κριτηρίου



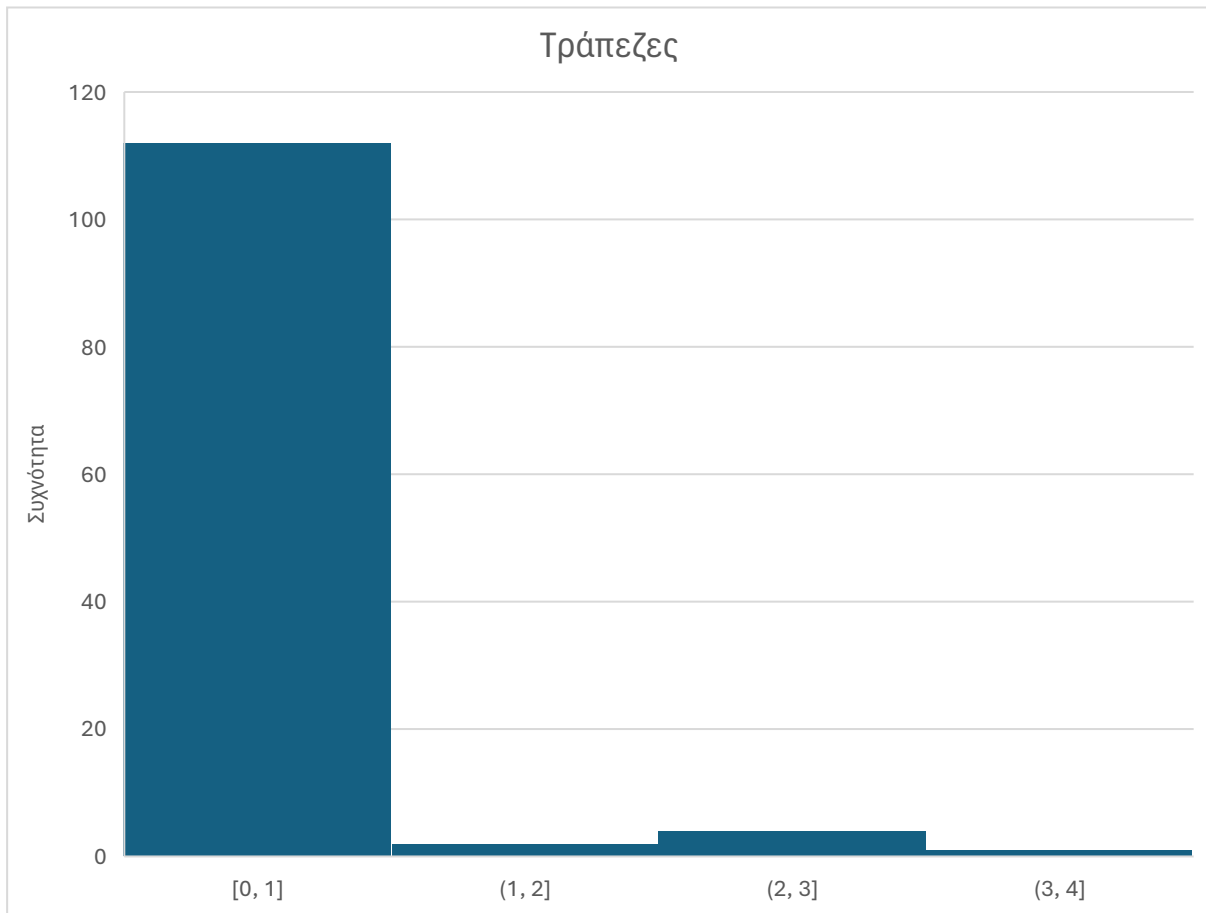
Διάγραμμα 21 - Κατανομή K15 Κριτηρίου



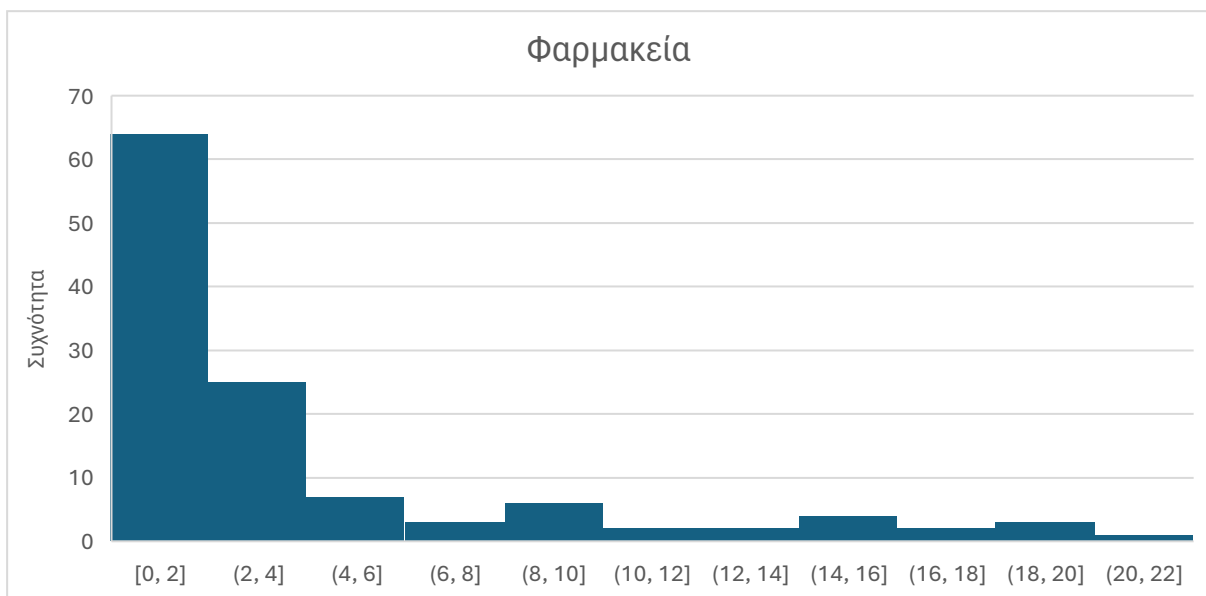
Διάγραμμα 22 - Κατανομή Κ17 Κριτηρίου



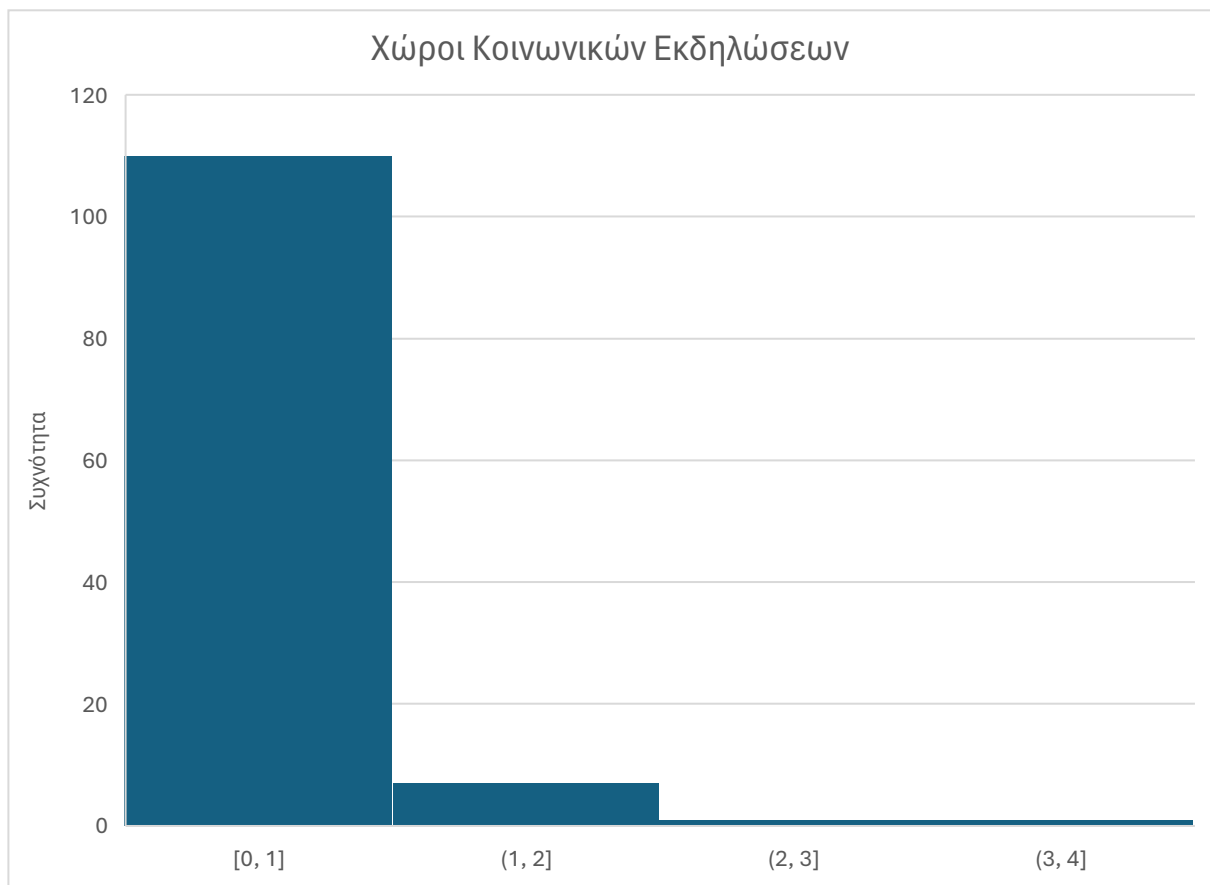
Διάγραμμα 23 - Κατανομή Κ18 Κριτηρίου



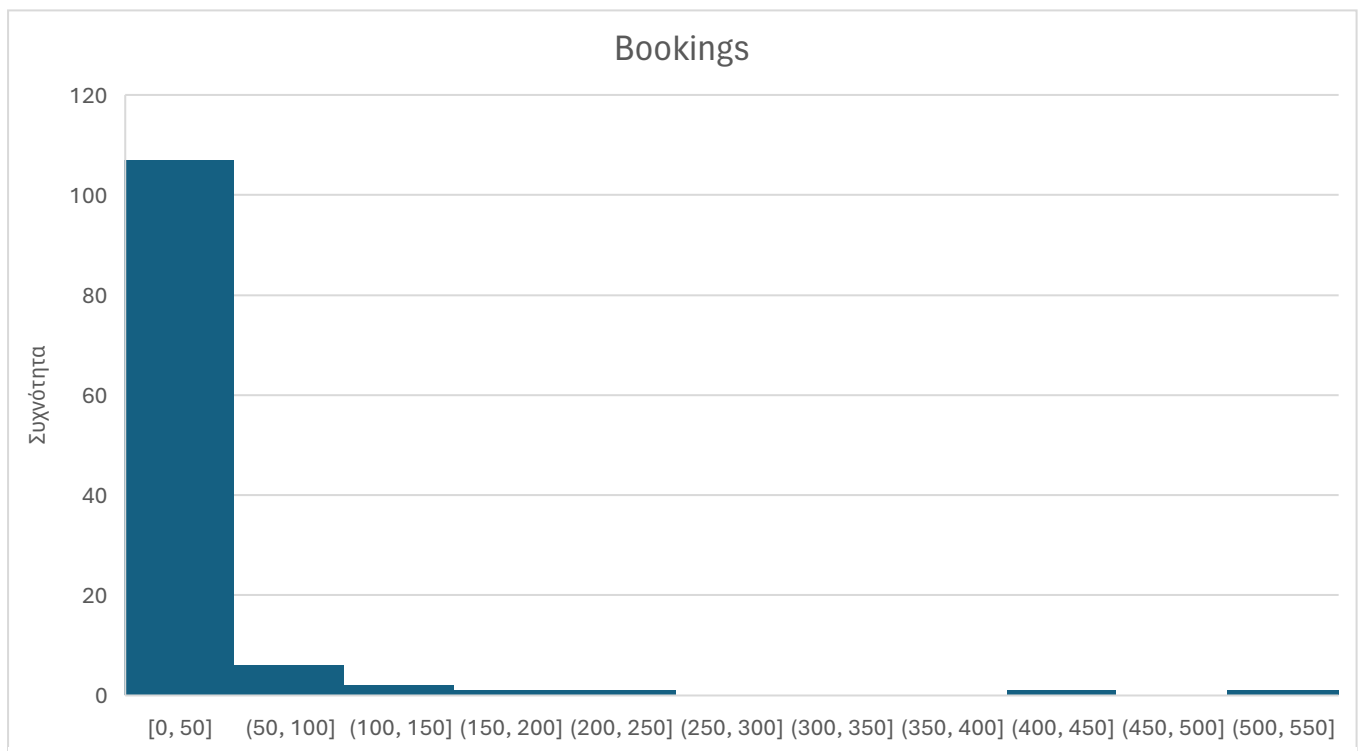
Διάγραμμα 24 - Κατανομή K19 Κριτηρίου



Διάγραμμα 25 - Κατανομή K20 Κριτηρίου



Διάγραμμα 26 - Κατανομή K21 Κριτηρίου

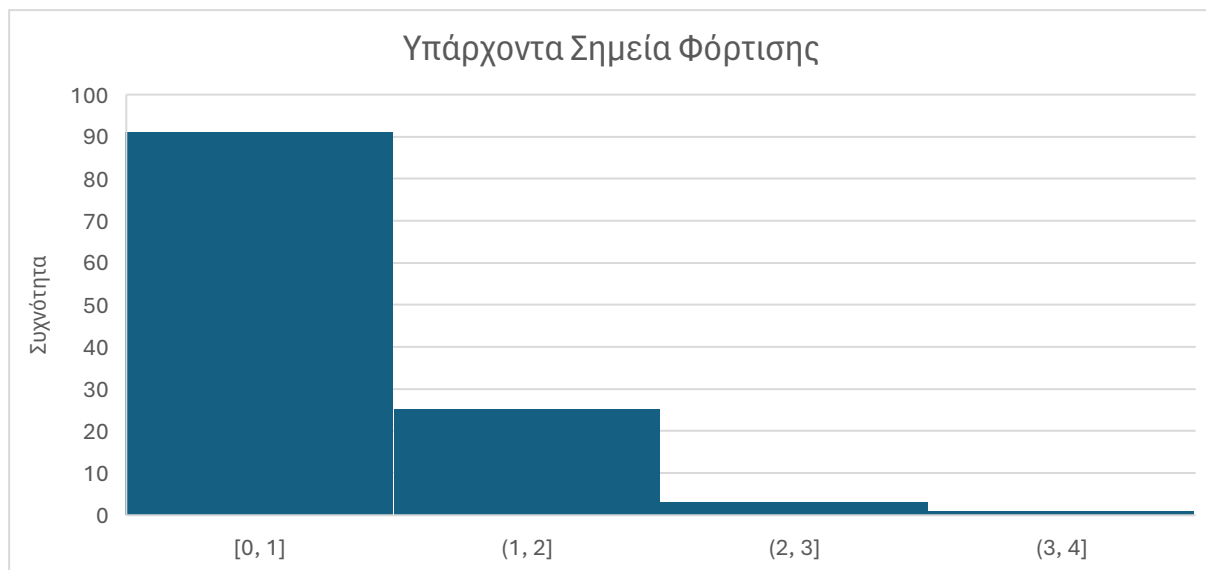


Διάγραμμα 27 - Κατανομή K22 Κριτηρίου

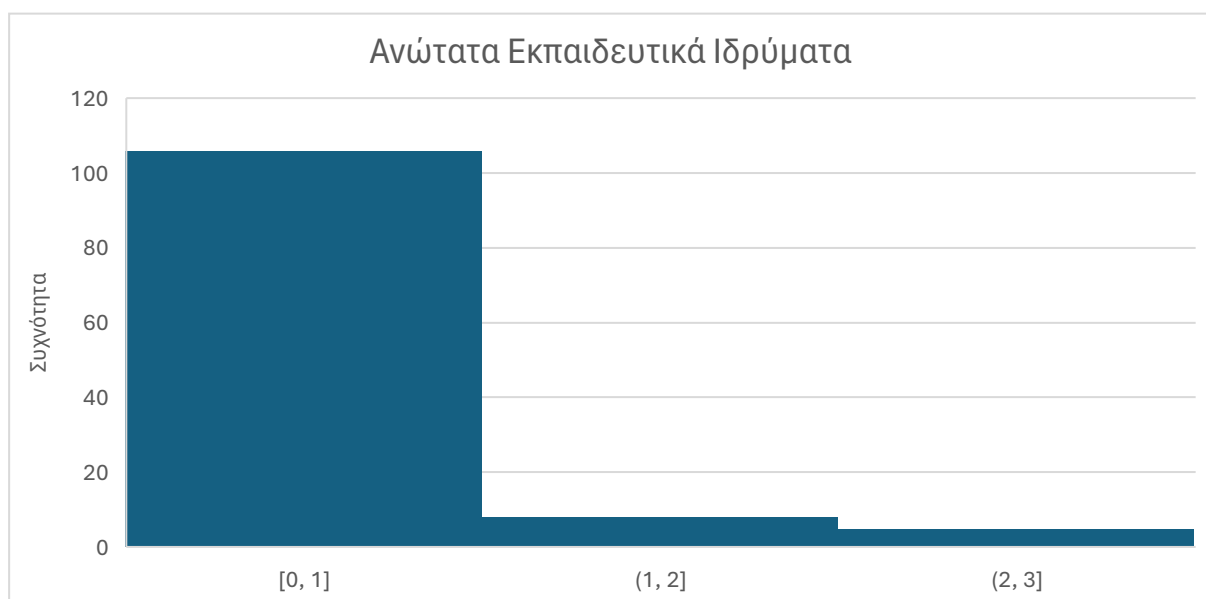
Για λόγους σταθεροποίησης της διακύμανσης και μείωσης της ασυμμετρίας που παρατηρήθηκε στα διαγράμματα (πολλά μικρά counts και λίγες μεγάλες τιμές), εφαρμόστηκε μετασχηματισμός τετραγωνικής ρίζας ($\sqrt{x}$) στις κατηγορίες K0 K2, K4, K5, K6, K12, K14, K15, K17, K18, K19, K20 και K21. Η ρίζα «συμμαζεύει» τις κορυφές χωρίς να αλλοιώνει τη σχετική κατάταξη των παρατηρήσεων, προσφέροντας πιο ομαλή κατανομή για την επόμενη φάση κανονικοποίησης/TOPSIS.

Για την K22 εφαρμόστηκε λογαριθμικός μετασχηματισμός ($\log_{10}$, δηλ. $\log(1+x)$), επειδή παρουσίαζε εντονότερες ουρές/μεγάλες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες και ο log μετασχηματισμός είναι πιο αποτελεσματικός στη συμπίεση τέτοιων ακραίων τιμών.

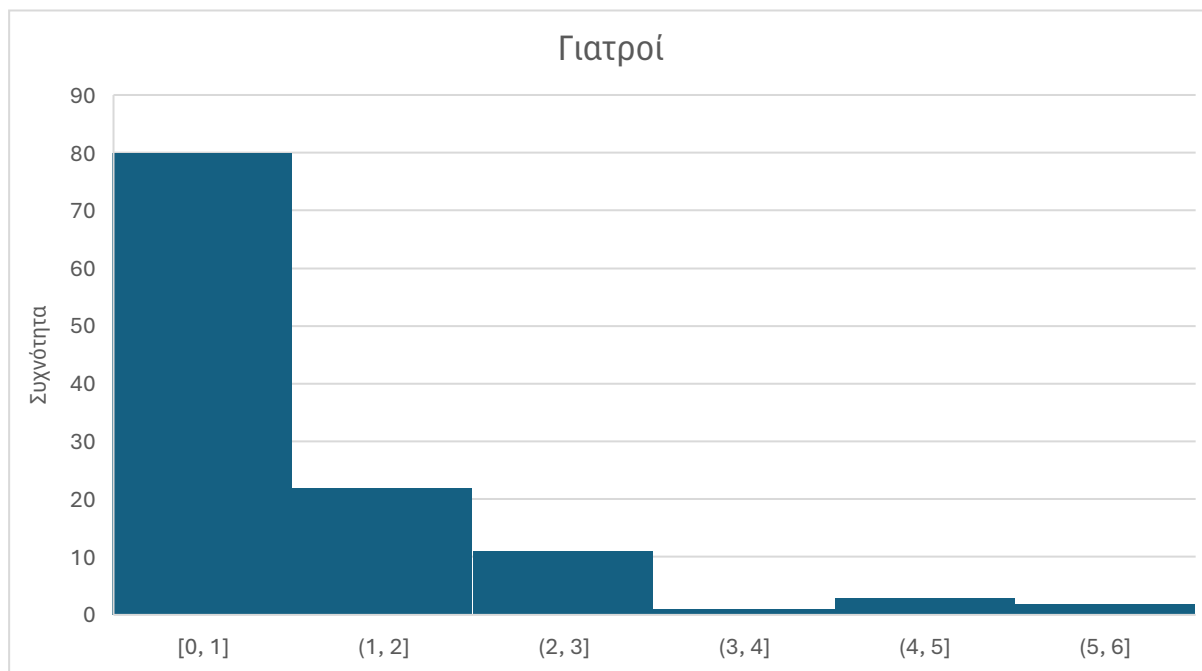
Μετά τους μετασχηματισμούς, όλα τα κριτήρια κανονικοποιήθηκαν ώστε να είναι συγκρίσιμα στο στάδιο της πολυκριτηριακής αξιολόγησης.



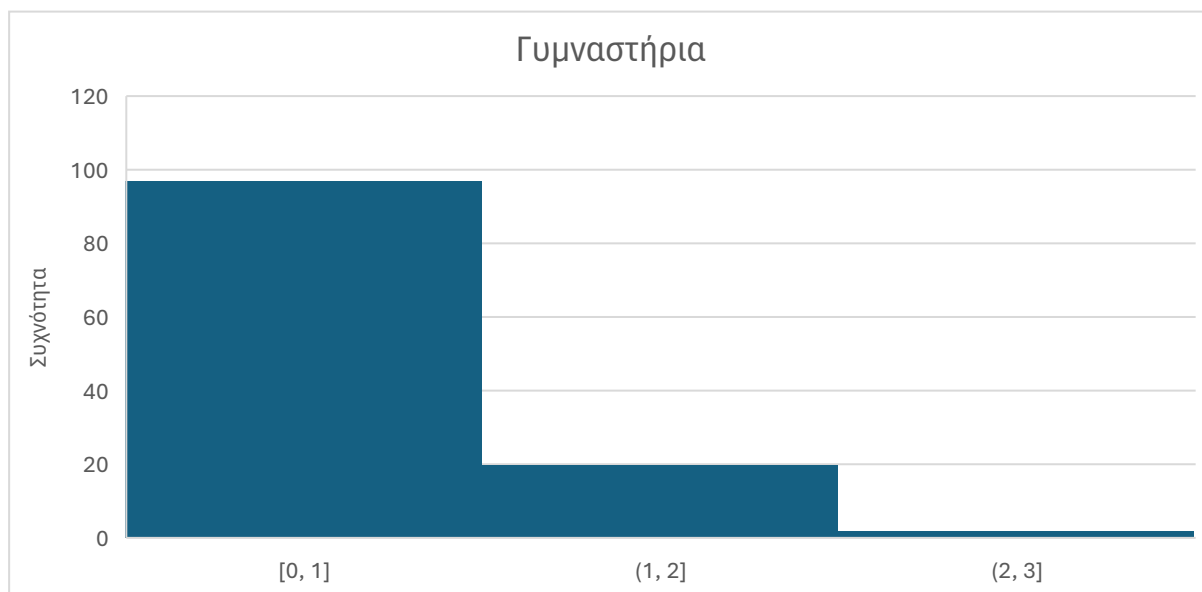
Διάγραμμα 28 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K0 Κριτηρίου



Διάγραμμα 29 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K2 Κριτηρίου



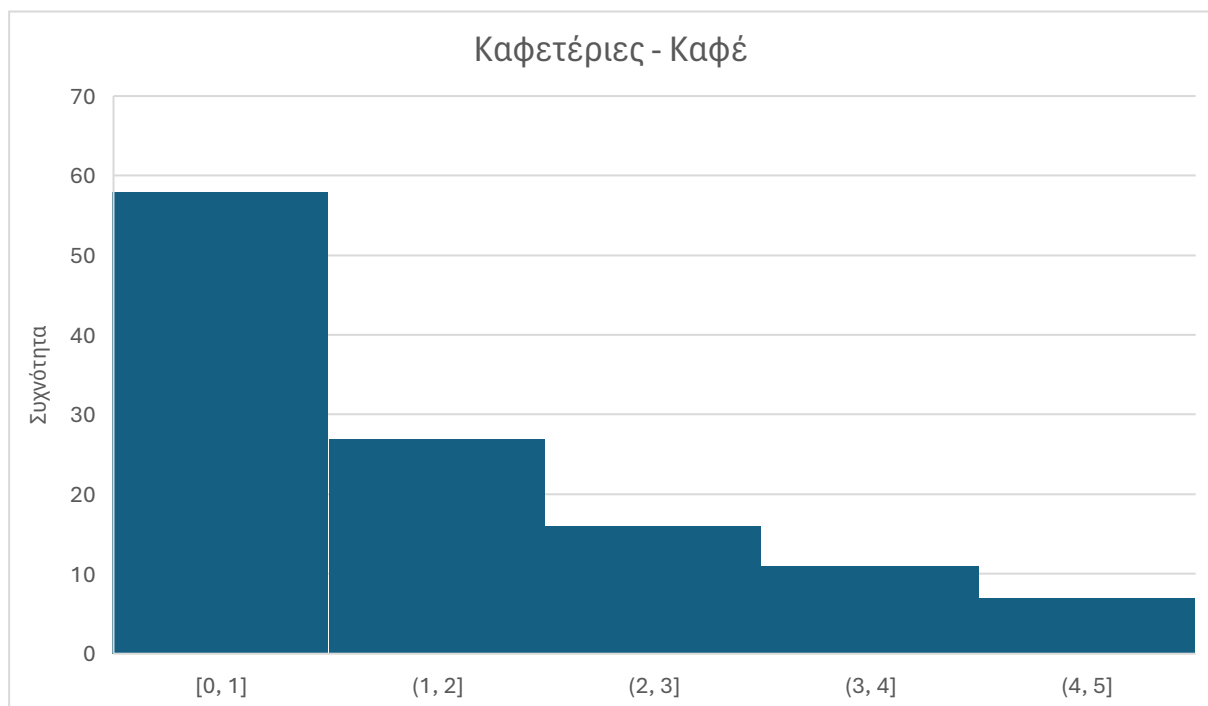
Διάγραμμα 30 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ4 Κριτηρίου



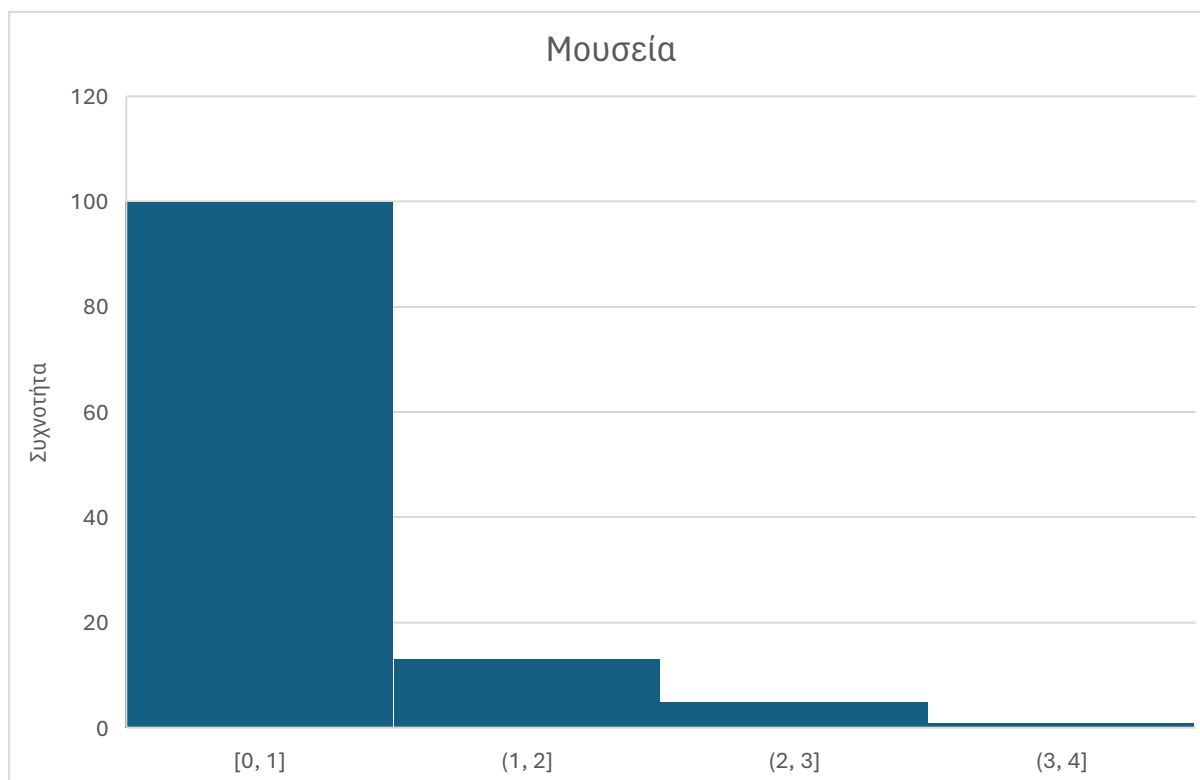
Διάγραμμα 31 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ5 Κριτηρίου



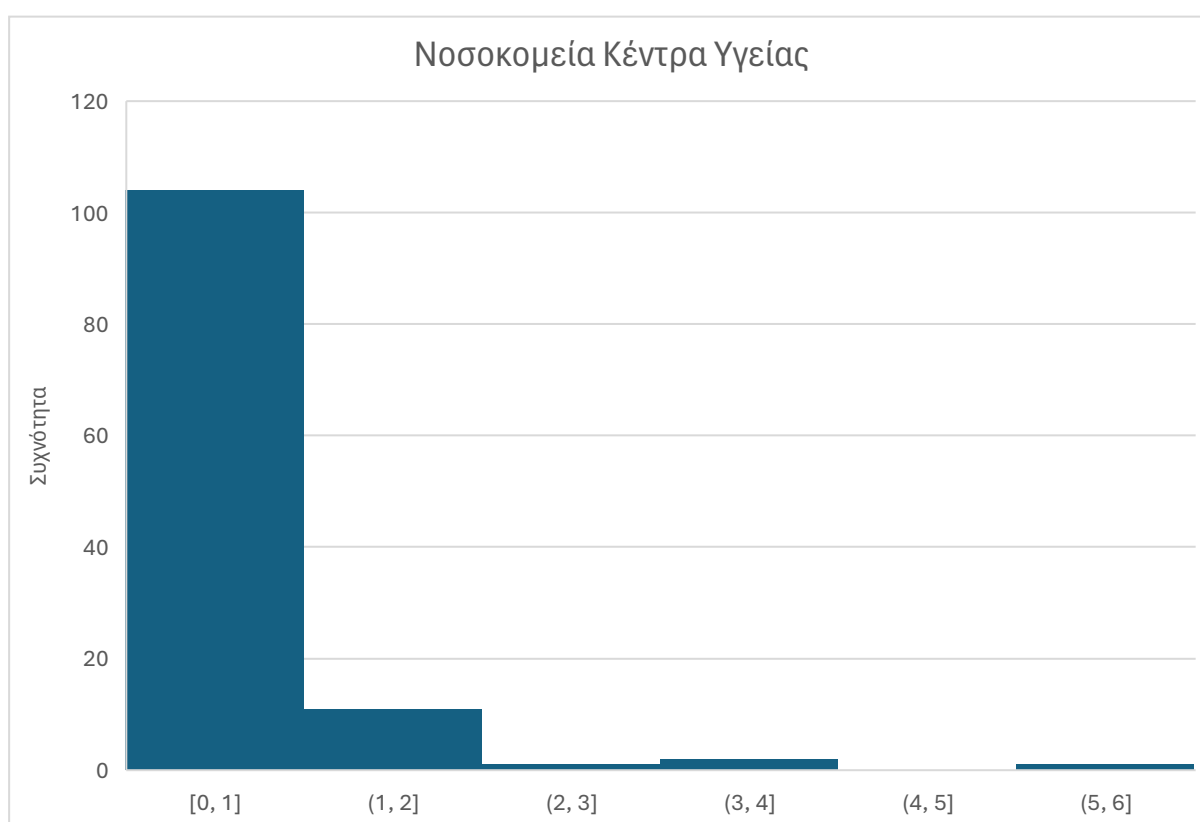
Διάγραμμα 33 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ6 Κριτηρίου



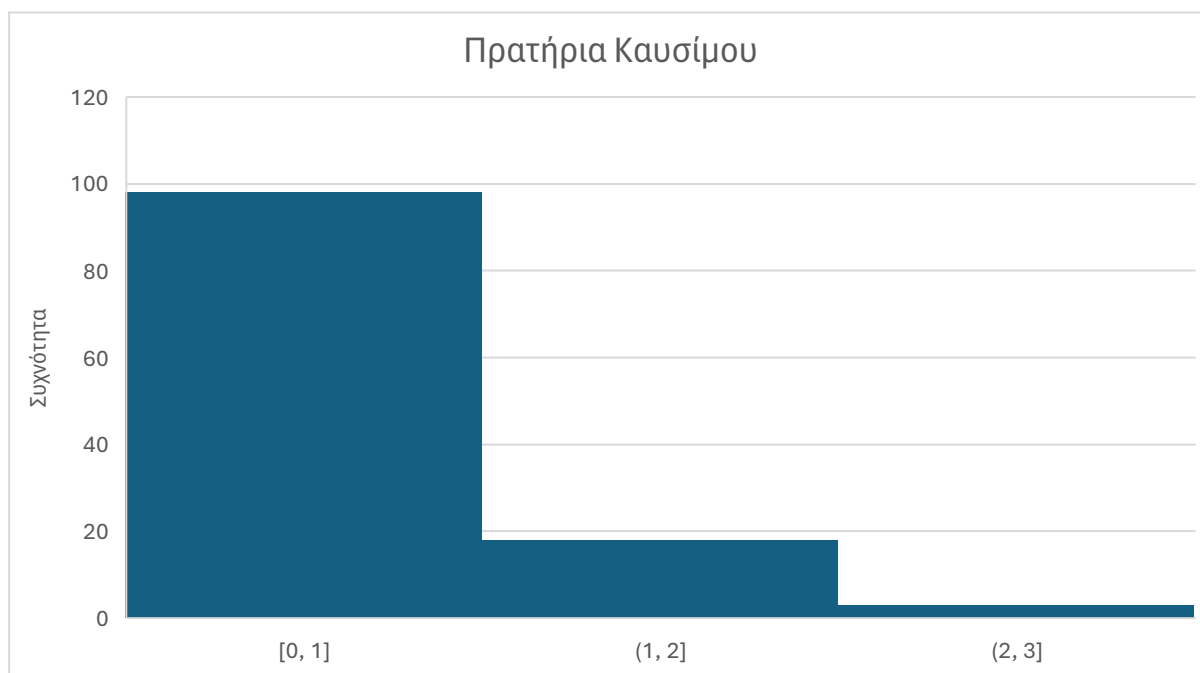
Διάγραμμα 32 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ12 Κριτηρίου



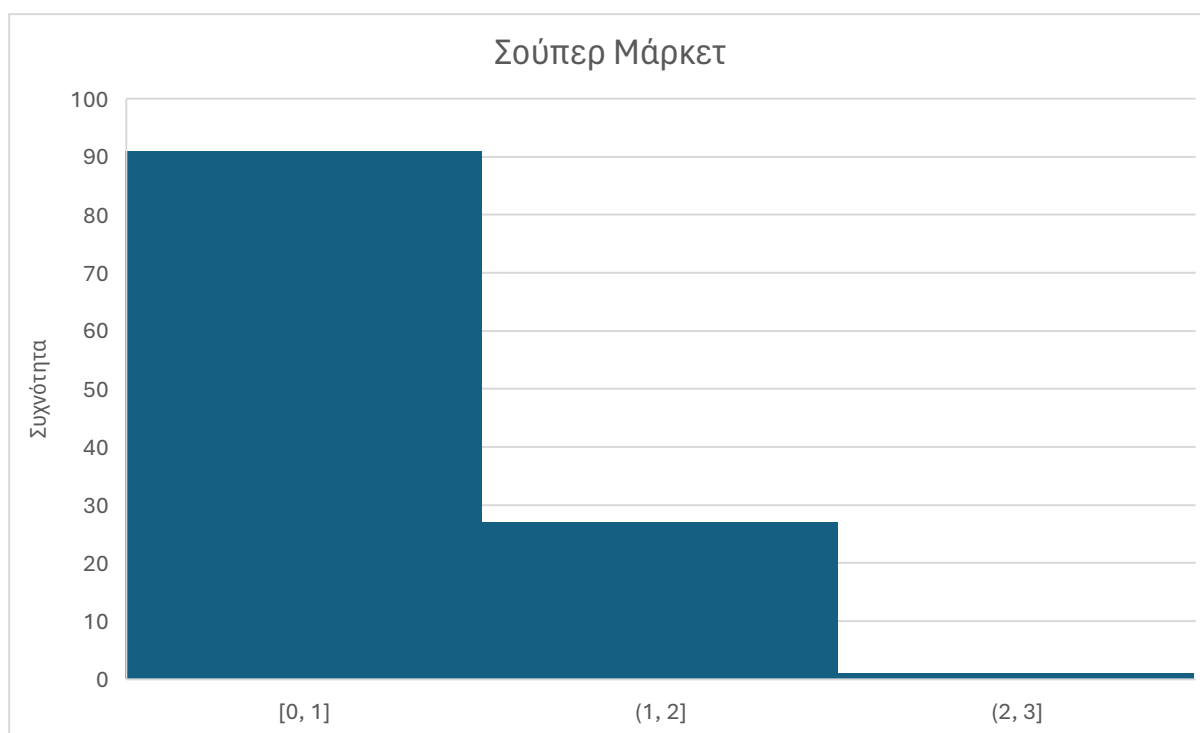
Διάγραμμα 34 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ14 Κριτηρίου



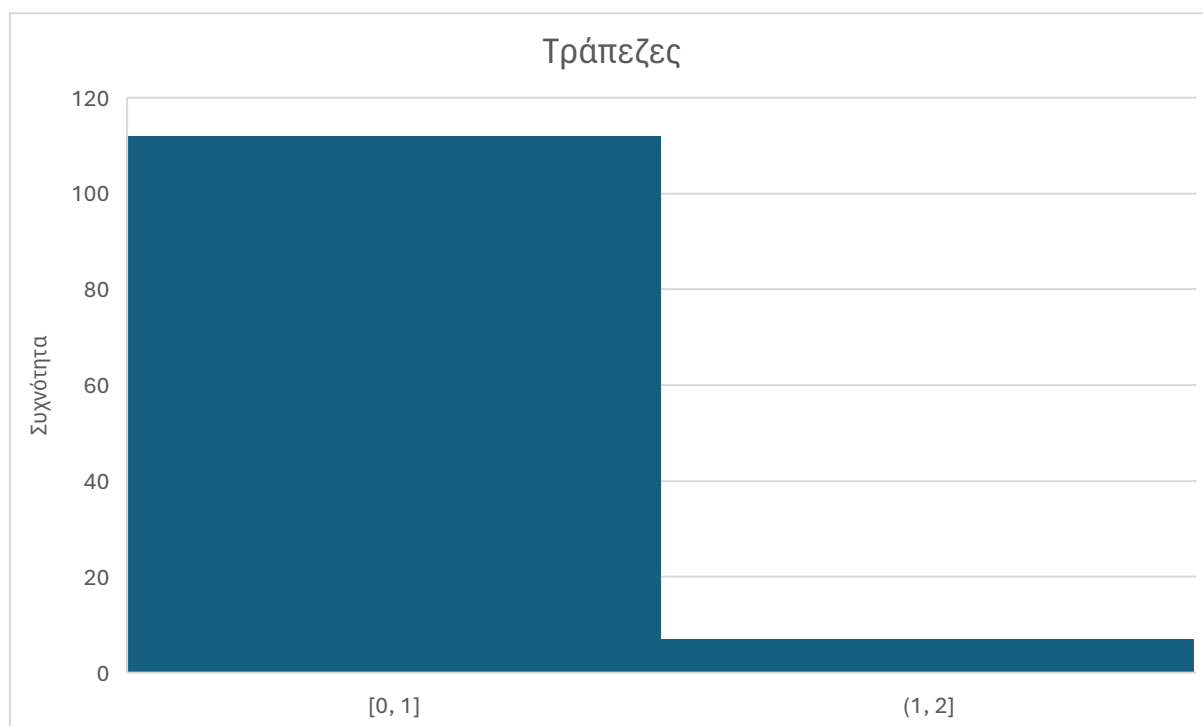
Διάγραμμα 35 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ15 Κριτηρίου



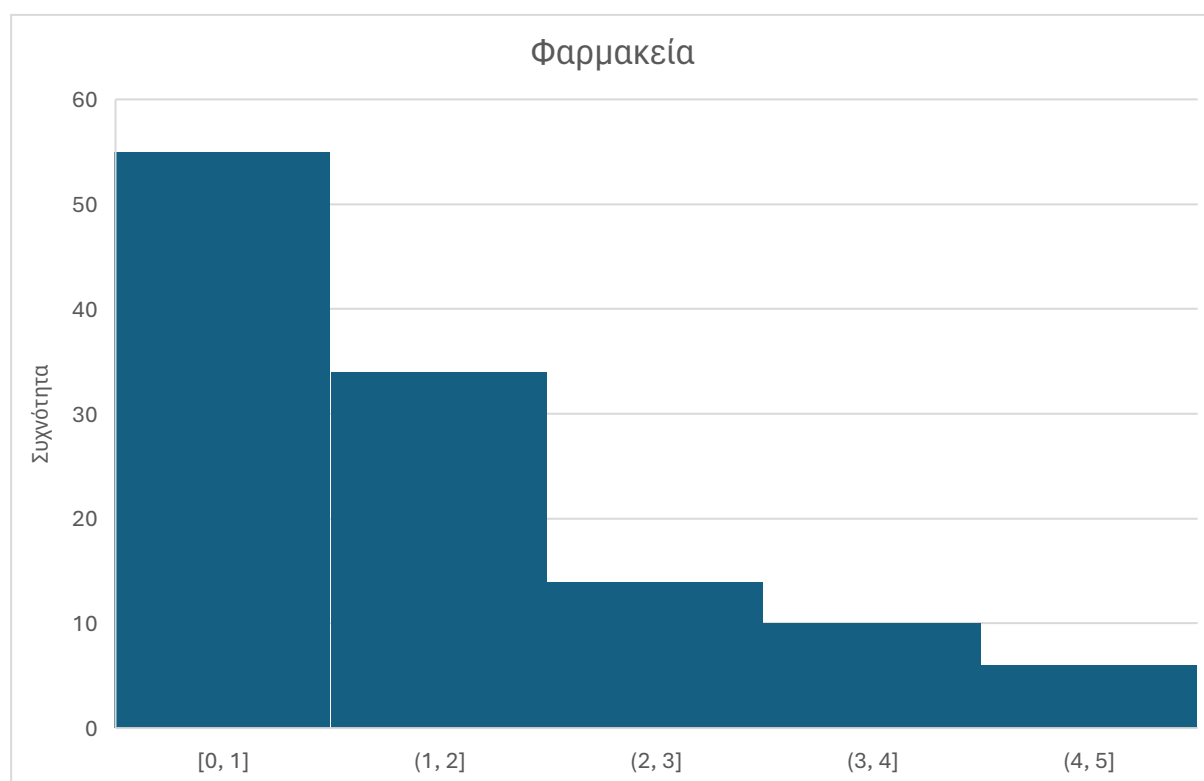
Διάγραμμα 36 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K17 Κριτηρίου



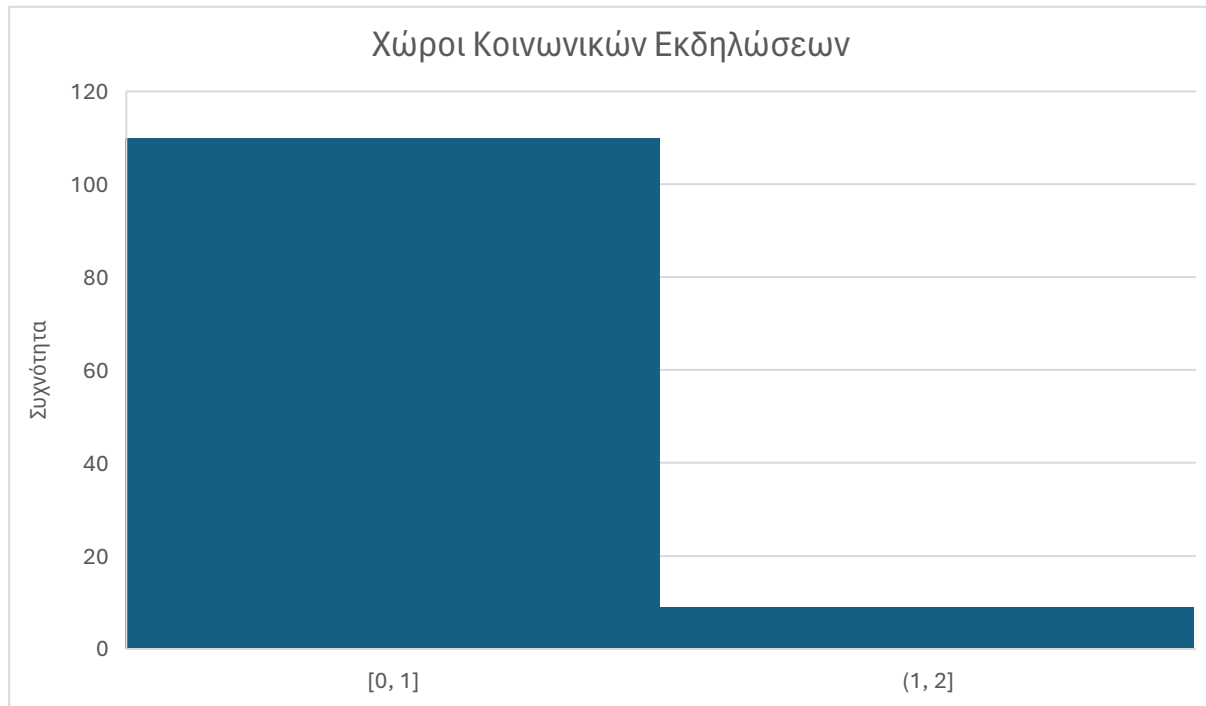
Διάγραμμα 37 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K18 Κριτηρίου



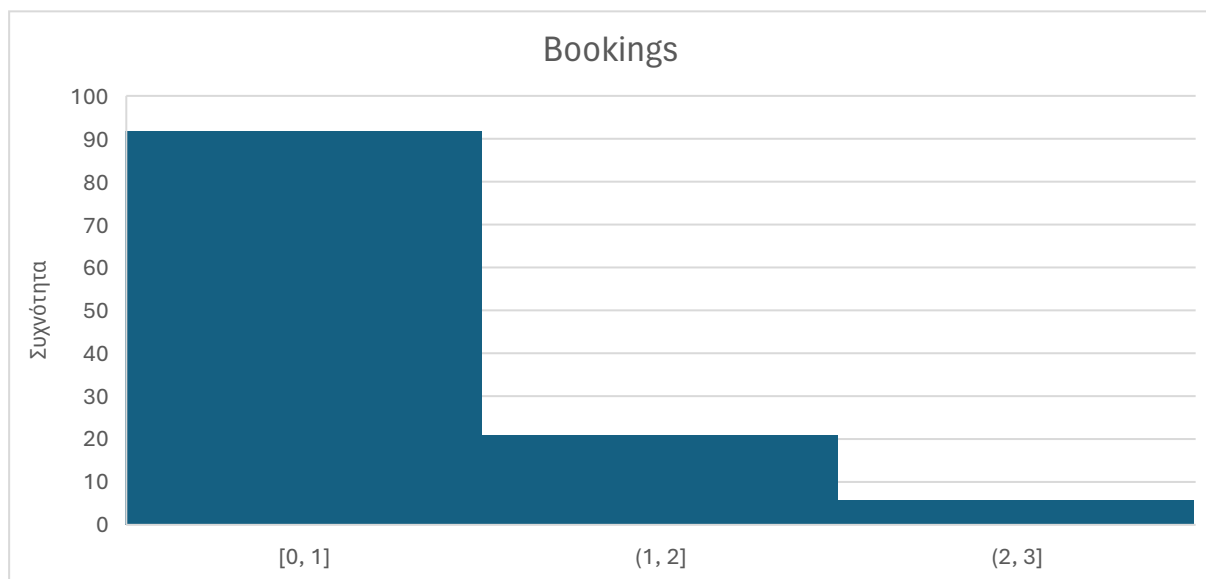
Διάγραμμα 38 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K19 Κριτηρίου



Διάγραμμα 39 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K20 Κριτηρίου



Διάγραμμα 40 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K21 Κριτηρίου

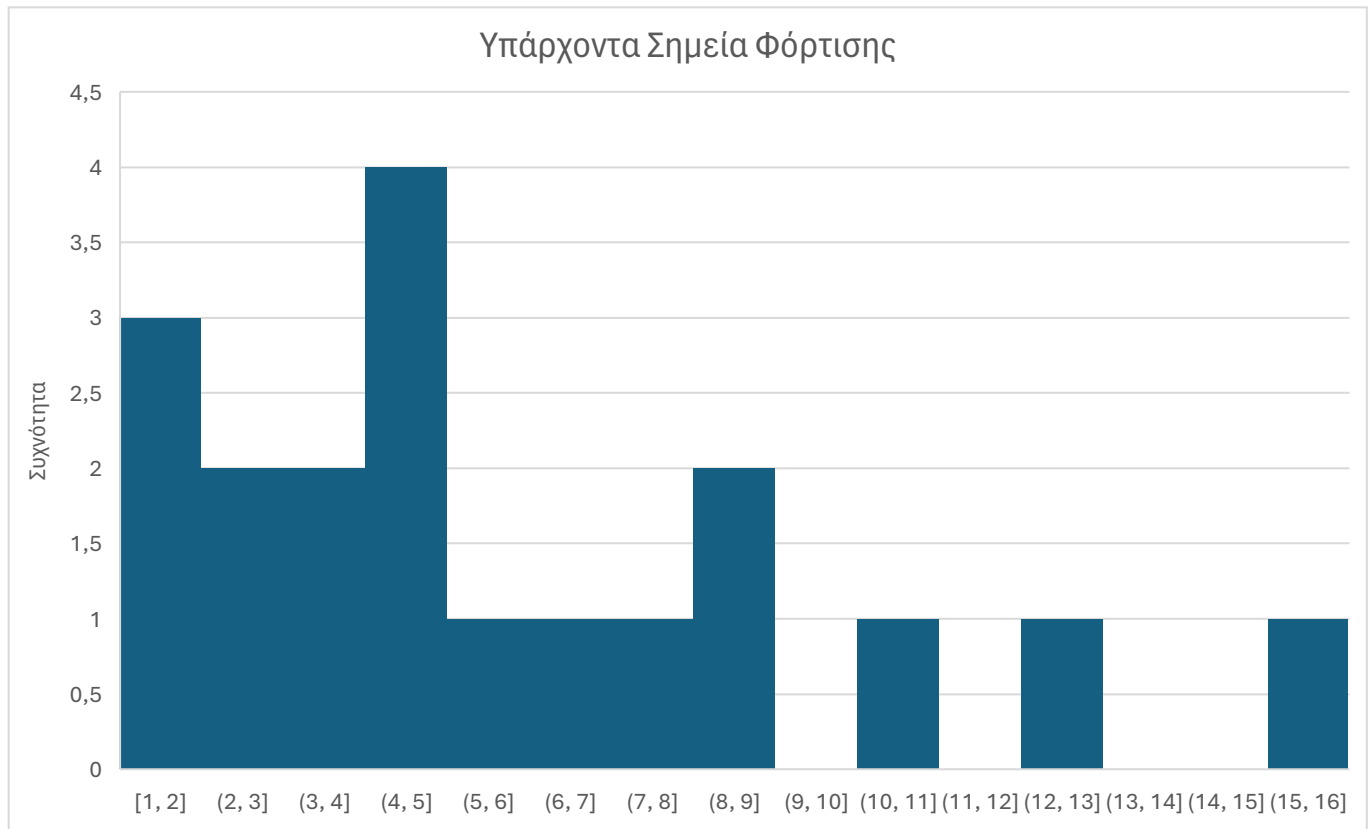


Διάγραμμα 41 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K22 Κριτηρίου

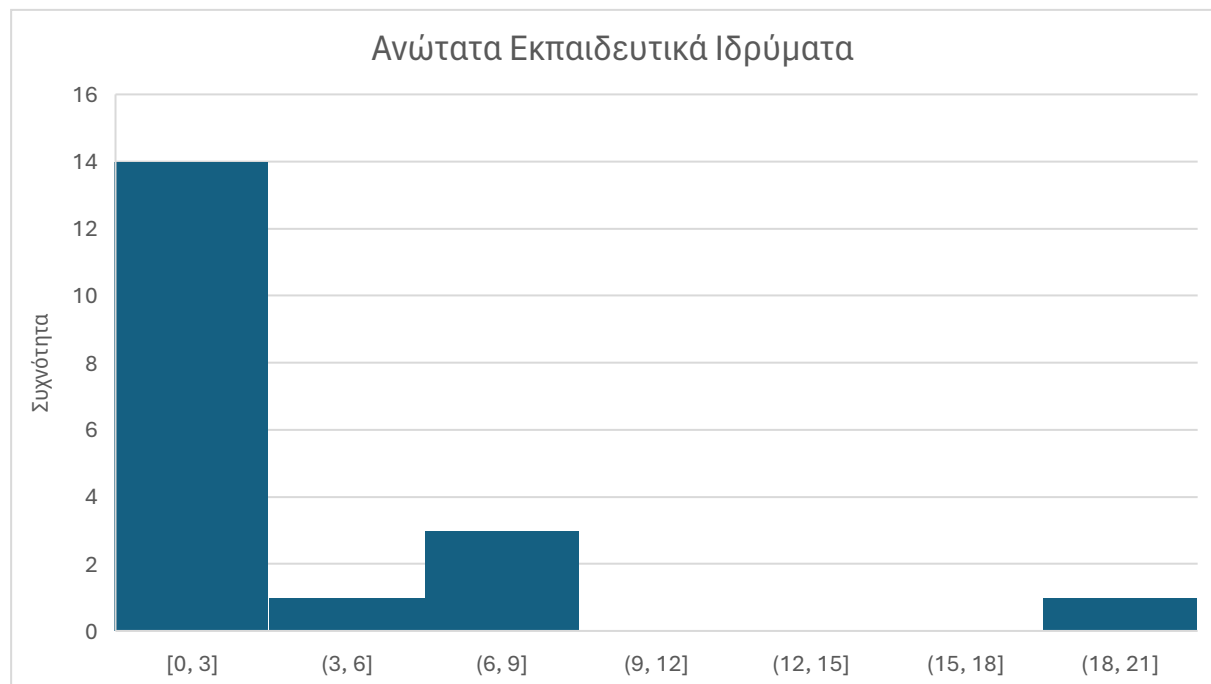
6.3.2 Μετασχηματισμοί και κανονικοποίηση ανά Γειτονιά

Παρατίθενται συνοπτικά οι αρχικές τιμές ανά γειτονιά, πριν από οποιονδήποτε στατιστικό μετασχηματισμό ή κανονικοποίηση. Τα διαγράμματα αποτυπώνουν τη φυσική κατανομή των μετρήσεων και αναδεικνύουν τυχόν ακραίες ή άνισες συγκεντρώσεις, προσφέροντας πλήρη

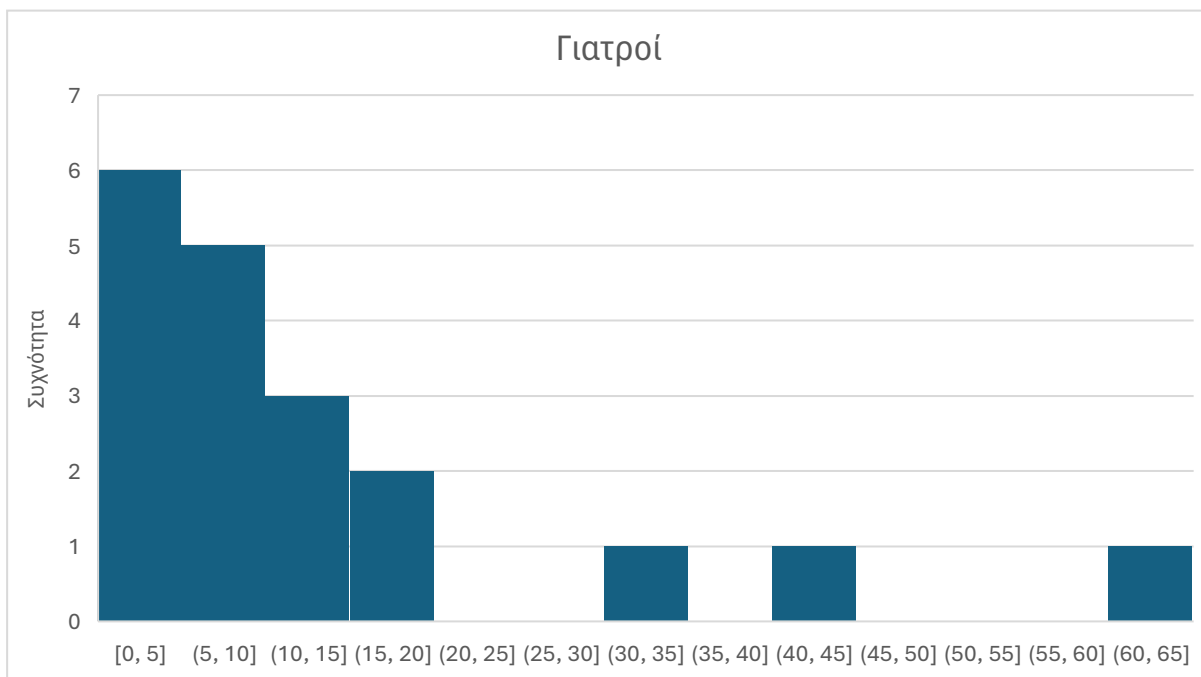
εικόνα για το πλήθος ανά Γειτονιά και σαφή τεκμηρίωση για τους μετασχηματισμούς που εφαρμόζονται στη συνέχεια.



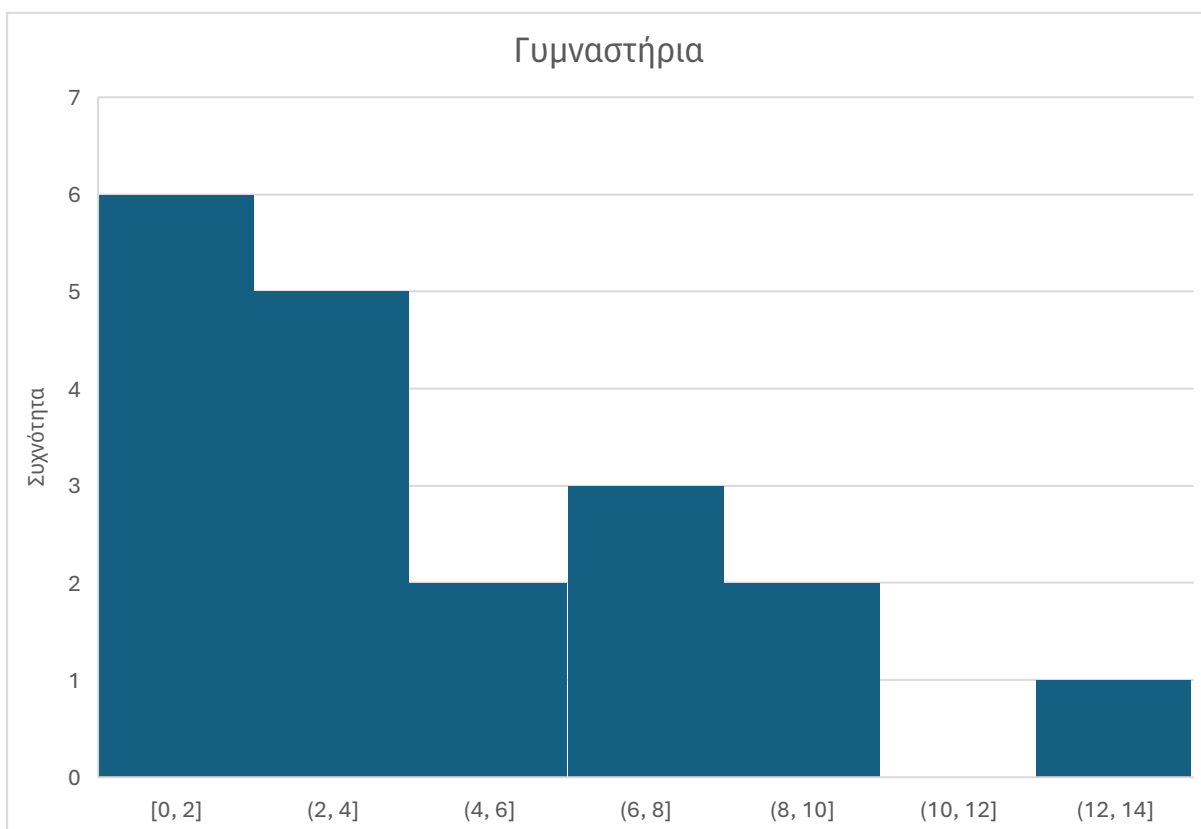
Διάγραμμα 42 - Κατανομή Κ0 Κριτηρίου



Διάγραμμα 43 - Κατανομή Κ2 Κριτηρίου



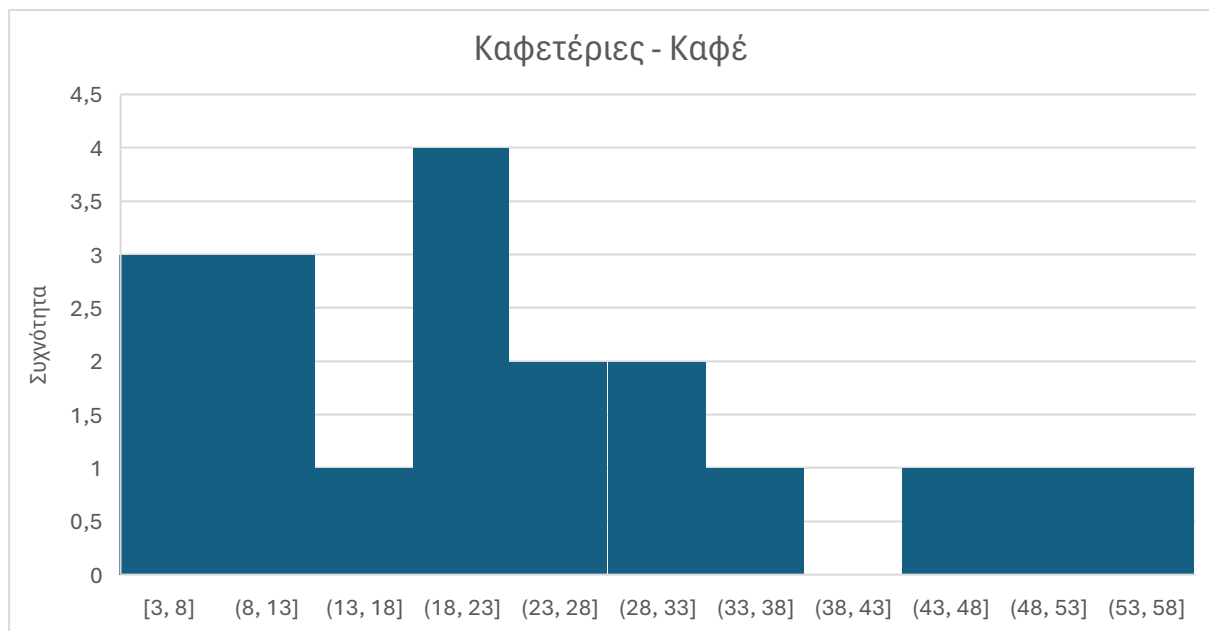
Διάγραμμα 44- Κατανομή K4 Κριτηρίου



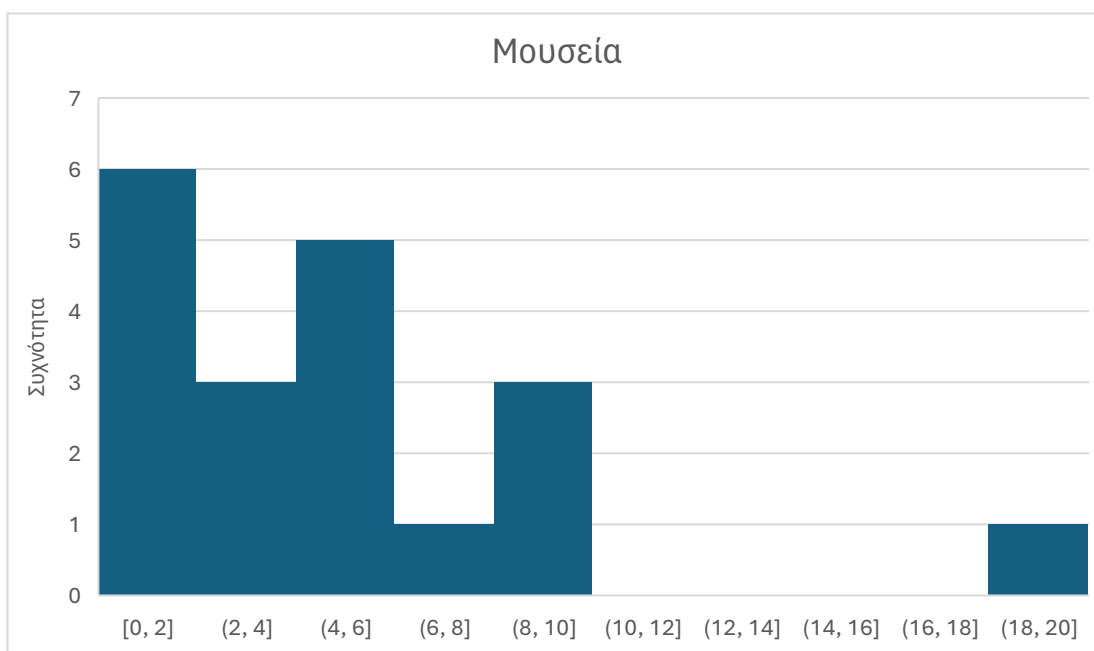
Διάγραμμα 45 - Κατανομή K5 Κριτηρίου



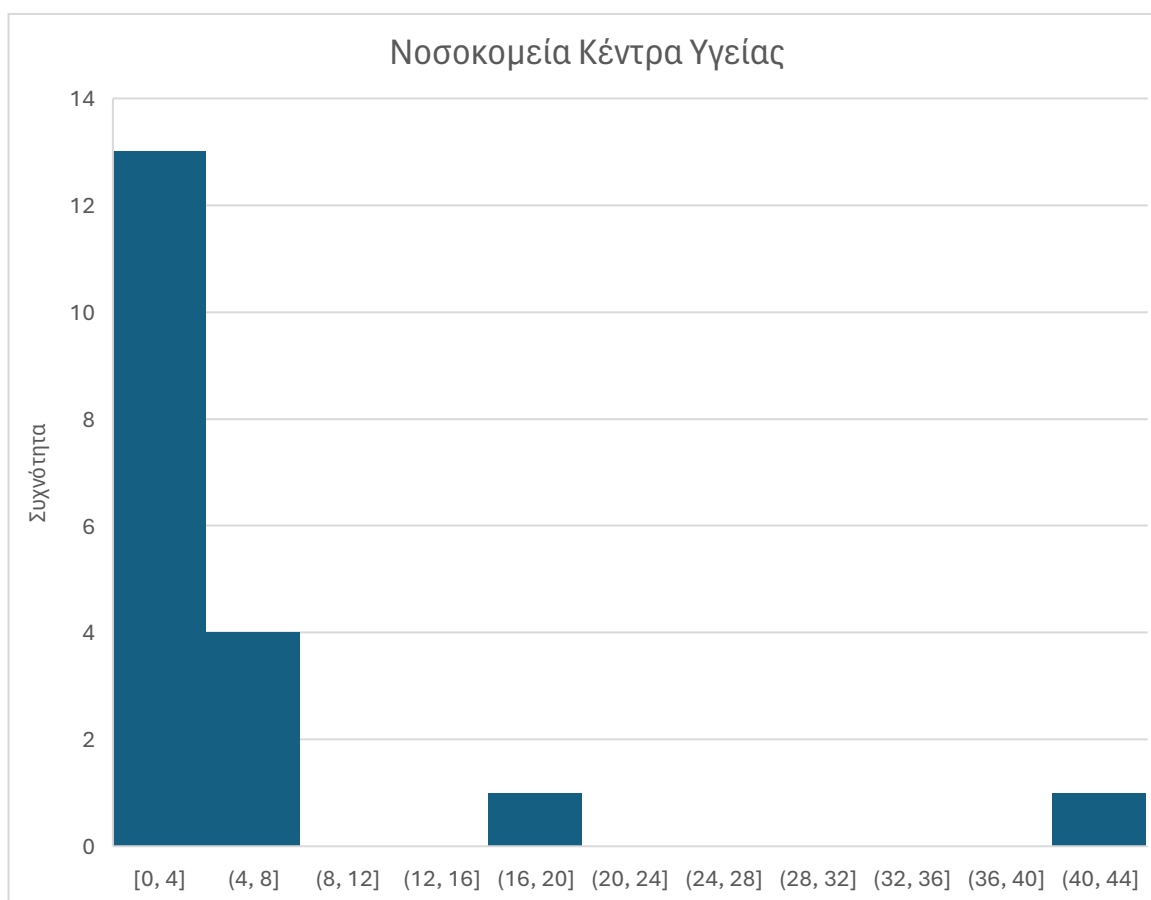
Διάγραμμα 46 - Κατανομή K6 Κριτηρίου



Διάγραμμα 47 - Κατανομή K12 Κριτηρίου



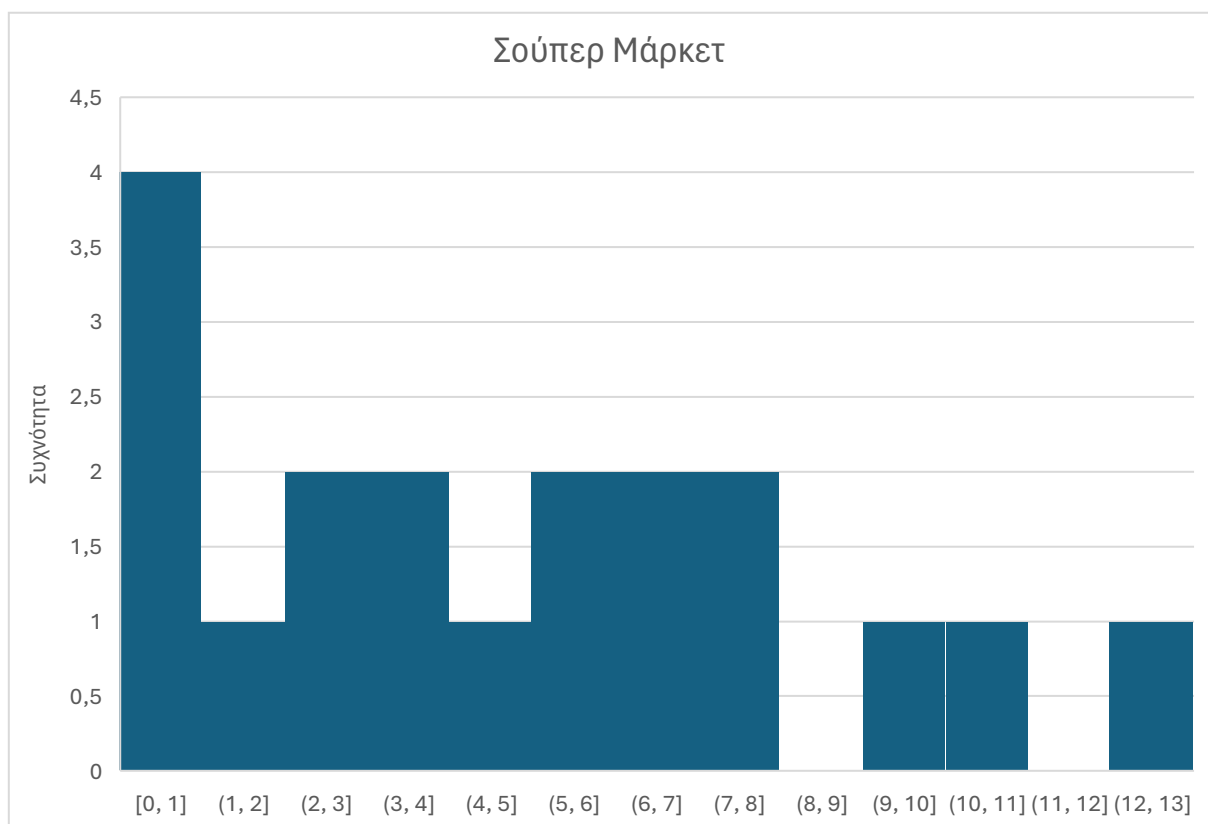
Διάγραμμα 48 - Κατανομή Κ14 Κριτηρίου



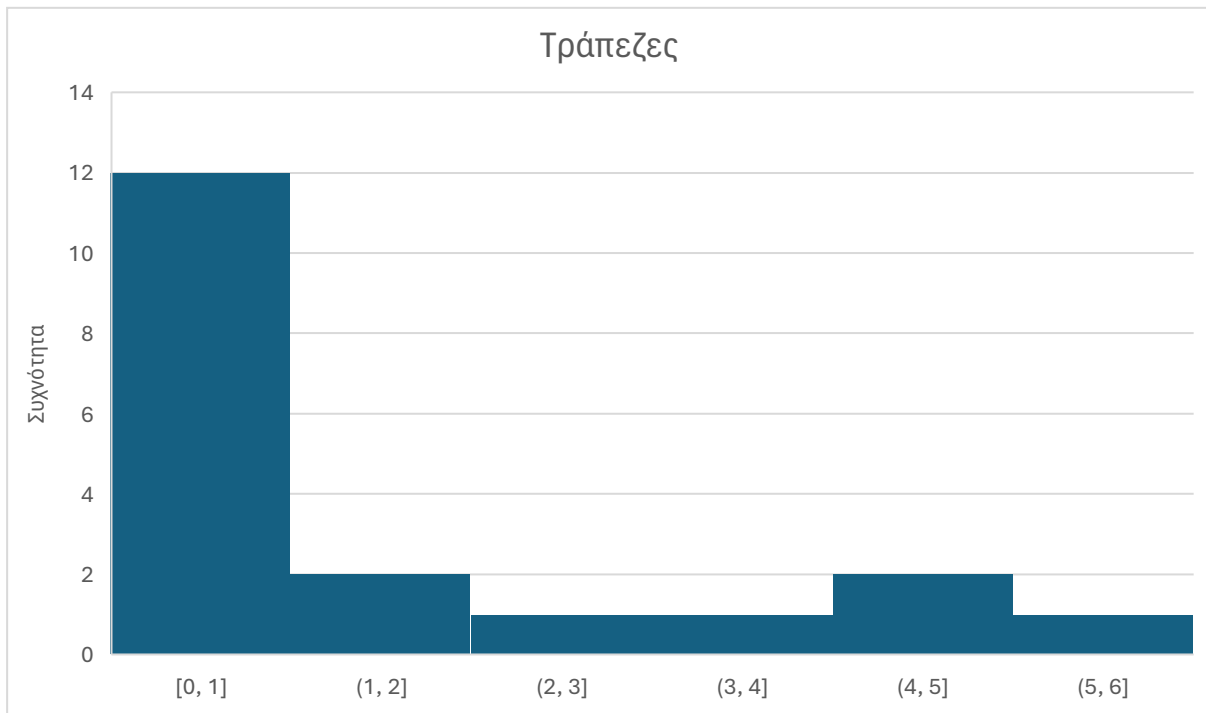
Διάγραμμα 49 - Κατανομή Κ15 Κριτηρίου



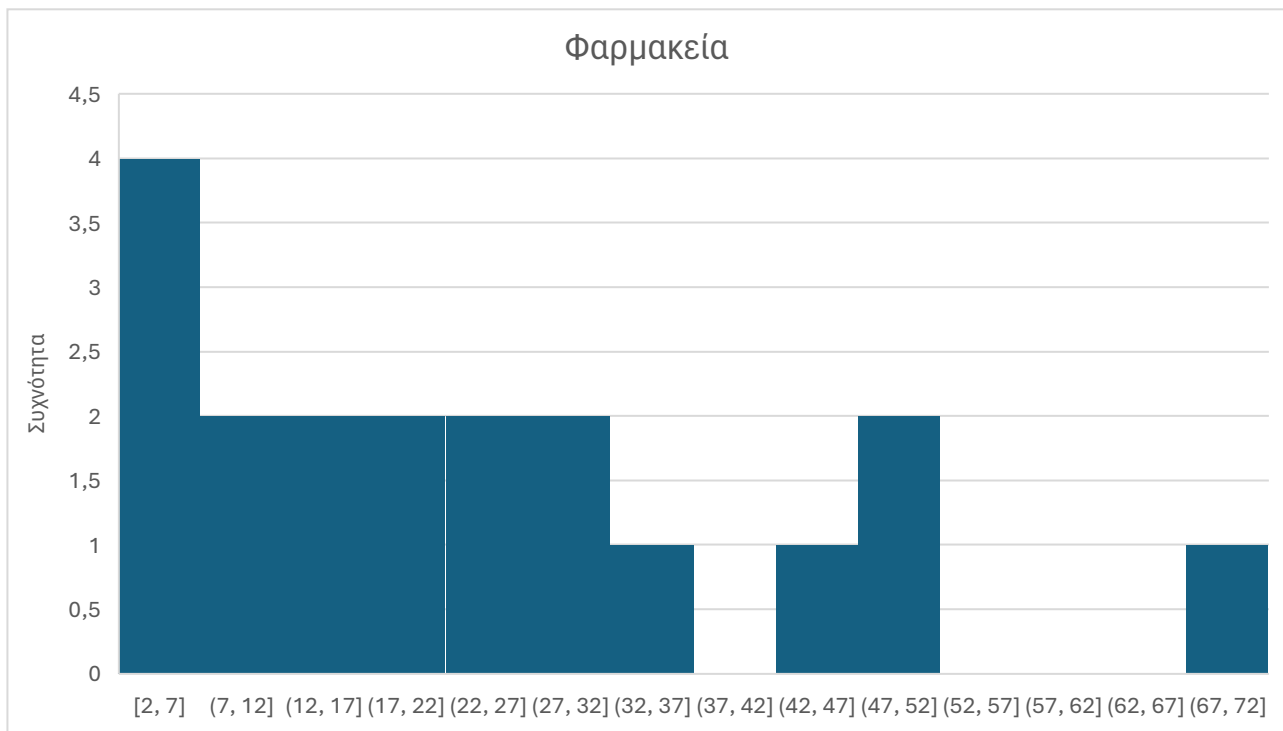
Διάγραμμα 50 - Κατανομή Κ17 Κριτηρίου



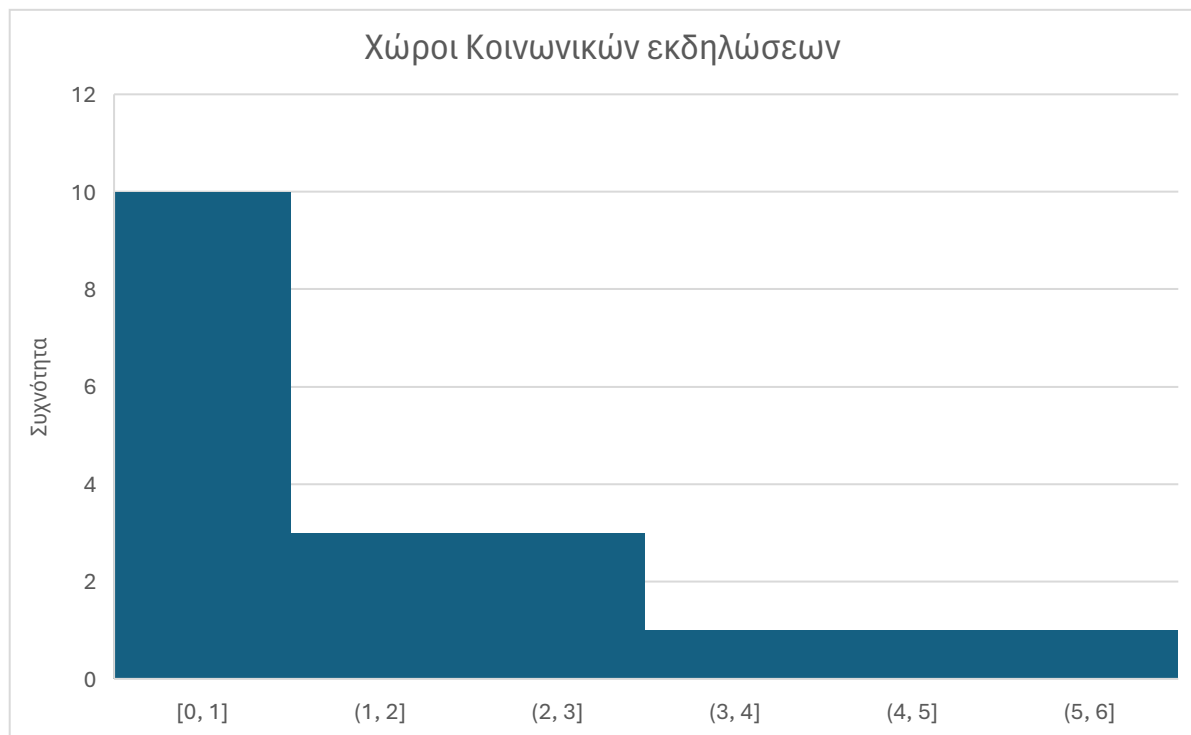
Διάγραμμα 51 - Κατανομή Κ18 Κριτηρίου



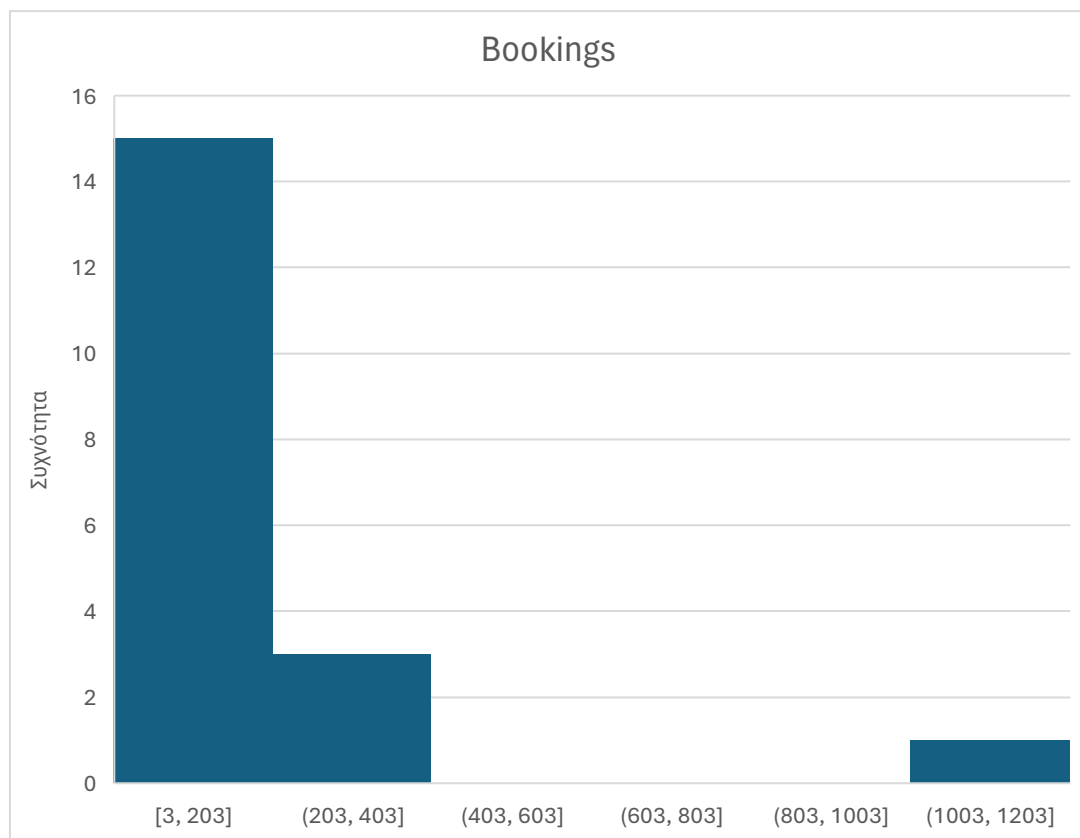
Διάγραμμα 52 - Κατανομή K19 Κριτηρίου



Διάγραμμα 53 - Κατανομή K20 Κριτηρίου



Διάγραμμα 54 - Κατανομή K21 Κριτηρίου

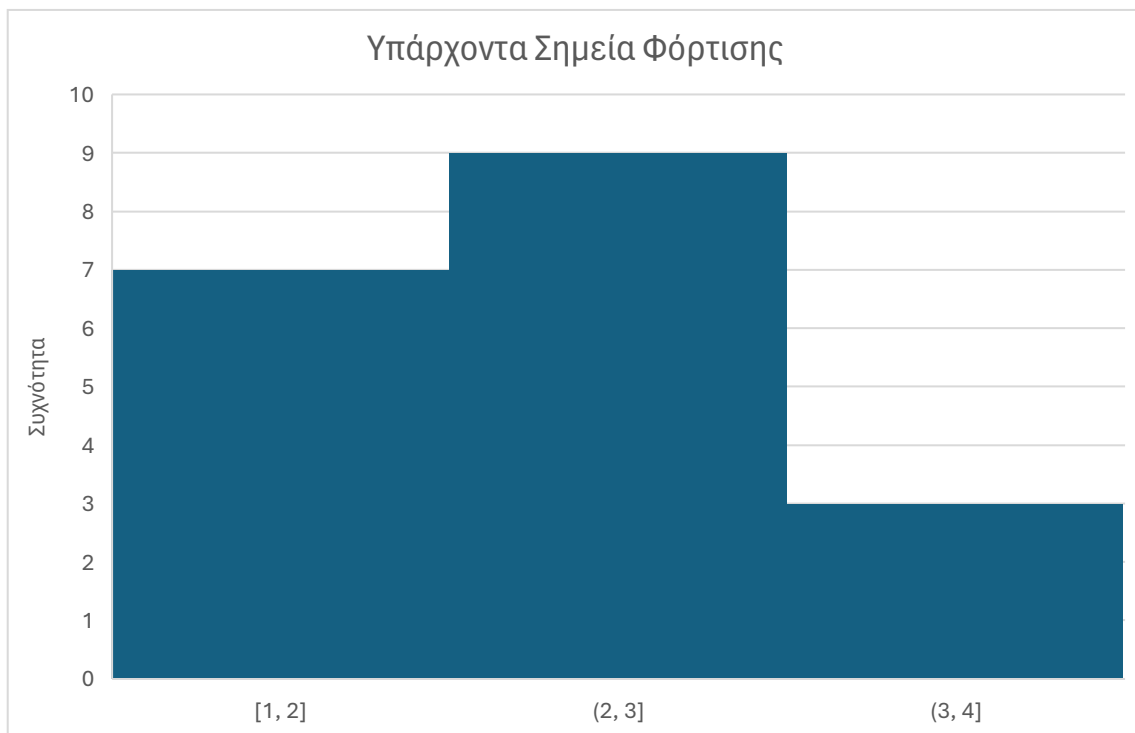


Διάγραμμα 55 - Κατανομή K22 Κριτηρίου

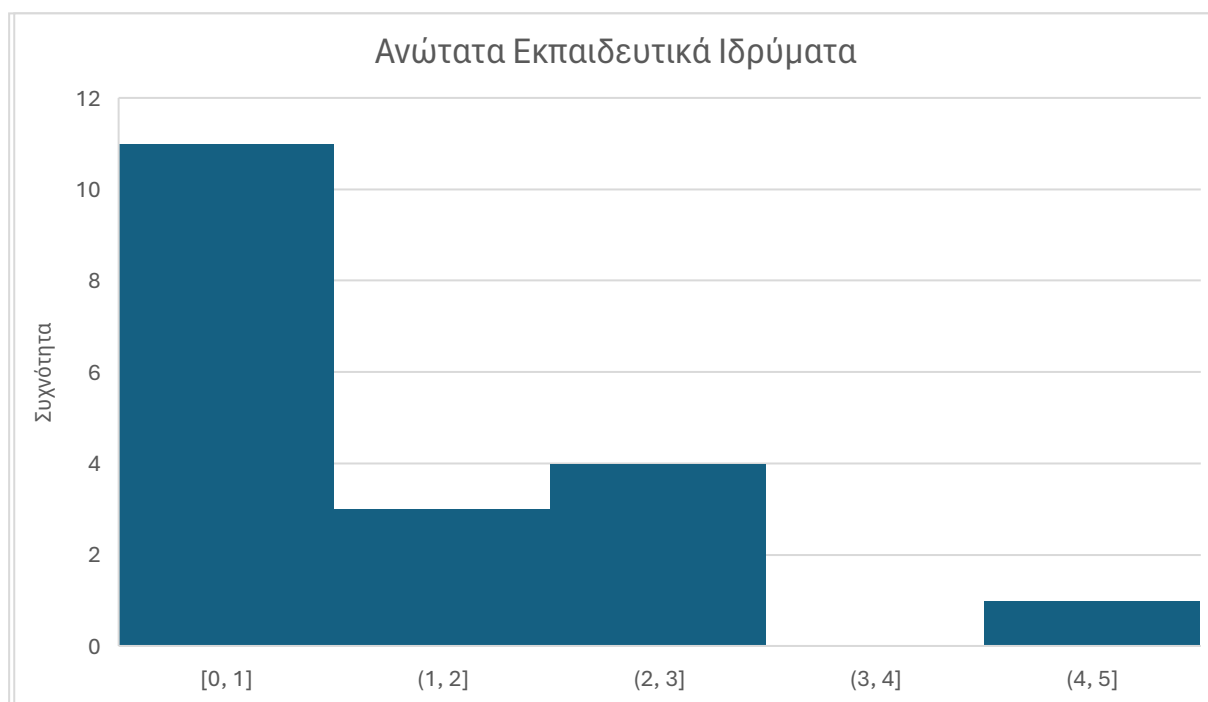
Σε επίπεδο γειτονιάς, για λόγους σταθεροποίησης της διακύμανσης και μείωσης της δεξιάς ασυμμετρίας που φάνηκε στα διαγράμματα (πολλά μικρά counts και λίγες πολύ μεγάλες τιμές), εφαρμόστηκε μετασχηματισμός τετραγωνικής ρίζας ($\sqrt{x}$) στις κατηγορίες K0 K2, K4, K5, K6, K12, K14, K15, K17, K18, K19, K20 και K21. Η ρίζα «μαζεύει» τις κορυφές χωρίς να αλλάζει τη σχετική κατάταξη των γειτονιών, δίνοντας πιο ομαλή κατανομή για το επόμενο βήμα.

Για την K22 χρησιμοποιήθηκε λογαριθμικός μετασχηματισμός $\log_{10}(1+x)$ (δηλ. $\log(1+x)$), επειδή εμφάνιζε πολύ μακριές ουρές/υπερμεγέθεις τιμές σε ορισμένες γειτονιές και ο $\log$ μετασχηματισμός συμπιέζει αποτελεσματικά τέτοια άκρα.

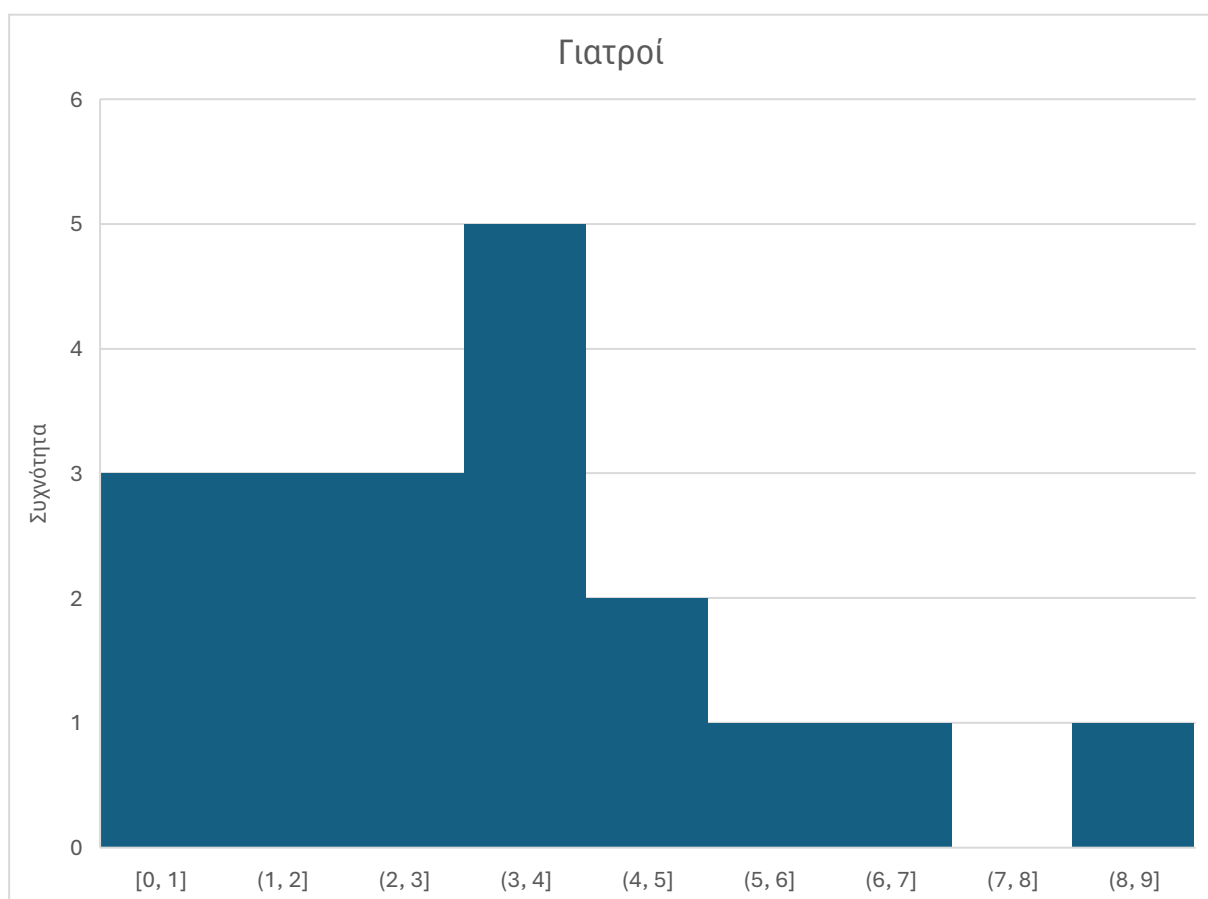
Τέλος, μετά τους μετασχηματισμούς, όλα τα κριτήρια κανονικοποιήθηκαν ώστε να είναι απευθείας συγκρίσιμα στη φάση της πολυκριτήριας αξιολόγησης (TOPSIS).



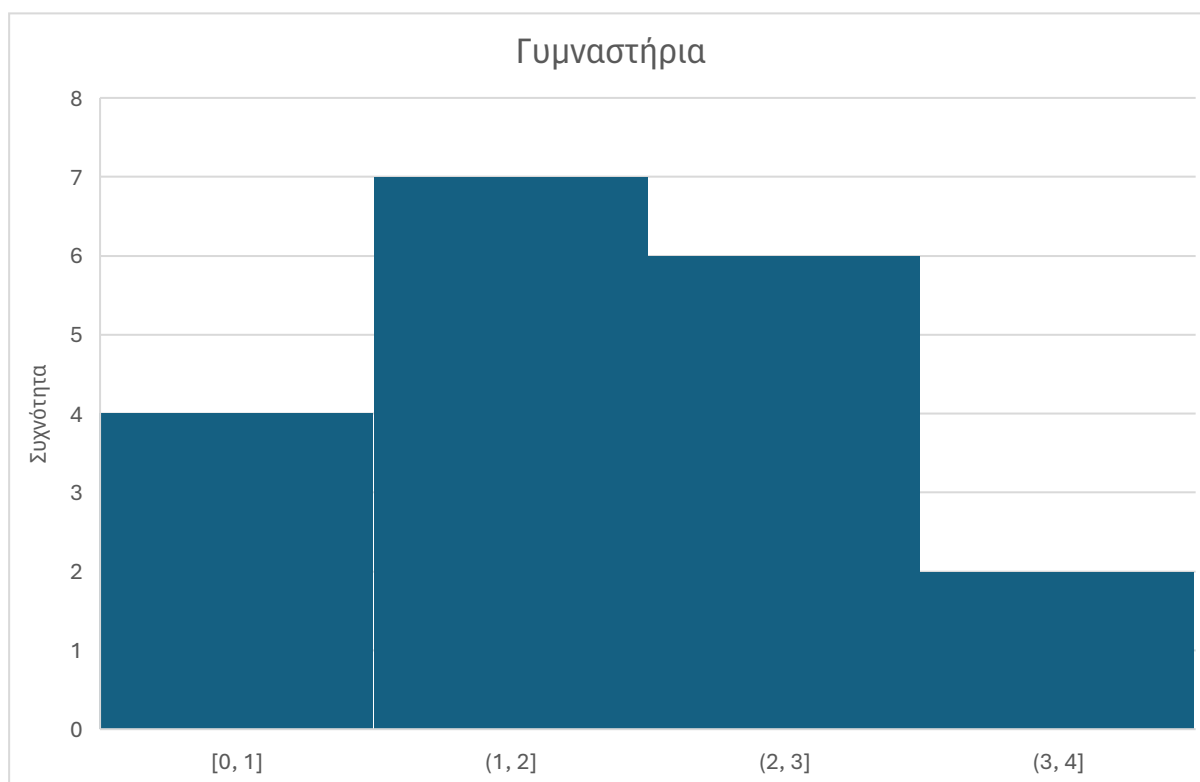
Διάγραμμα 56 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K0 Κριτηρίου



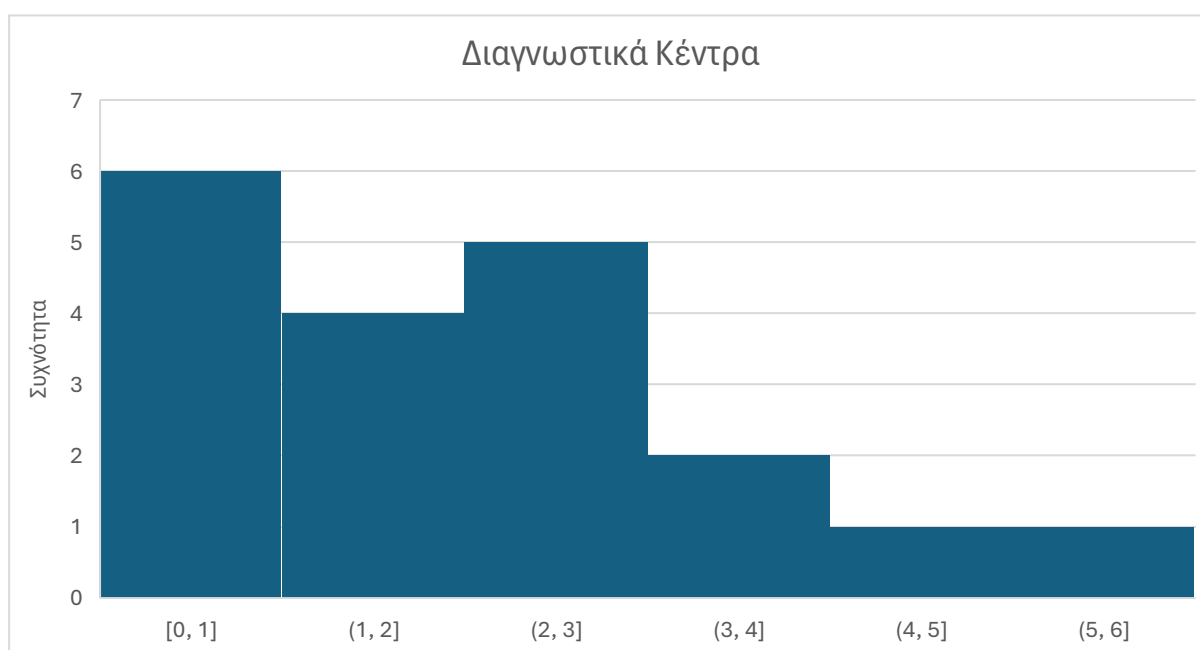
Διάγραμμα 58 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ2 Κριτηρίου



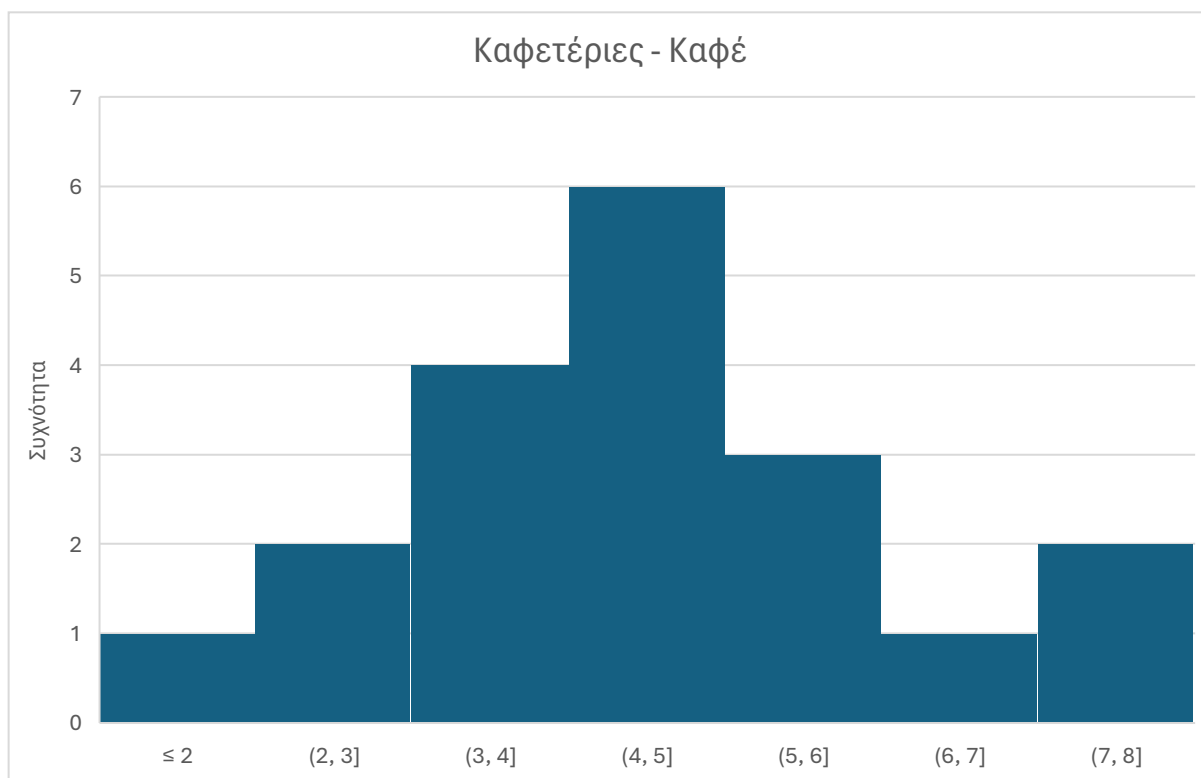
Διάγραμμα 57 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ4 Κριτηρίου



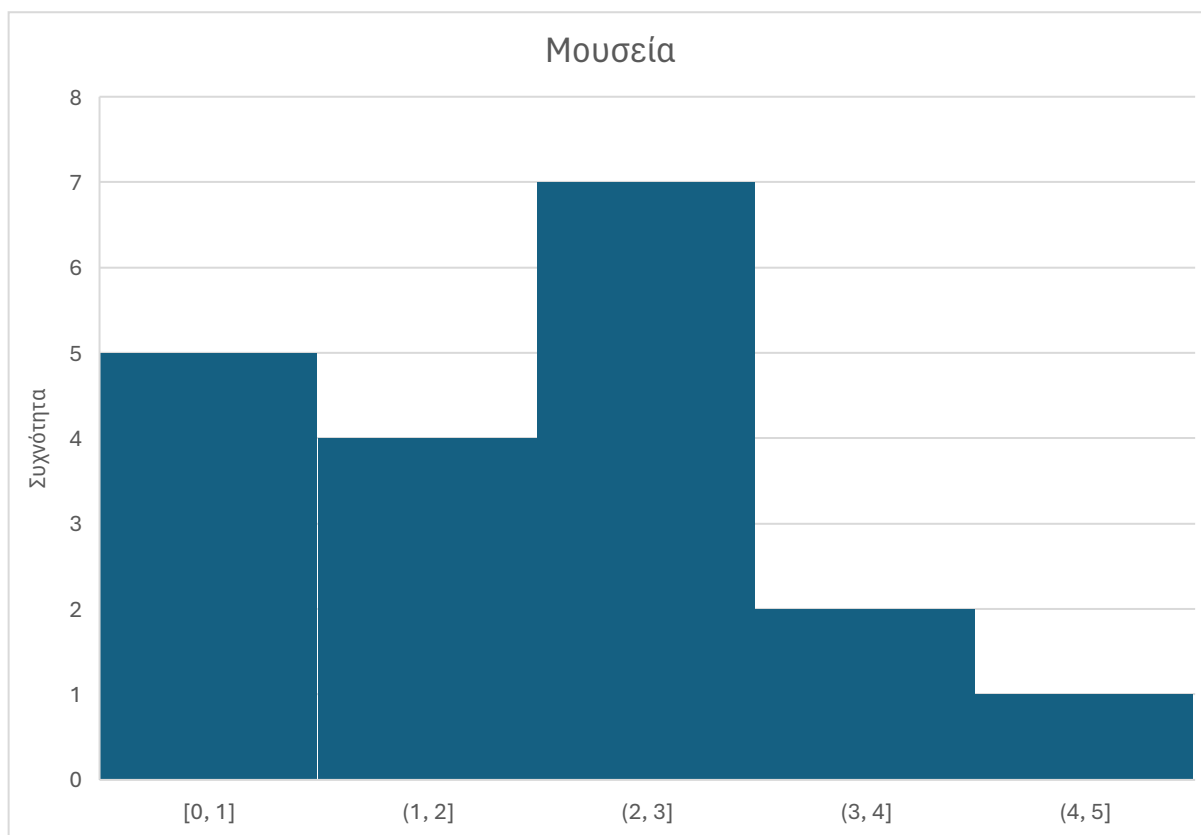
Διάγραμμα 59 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K5 Κριτηρίου



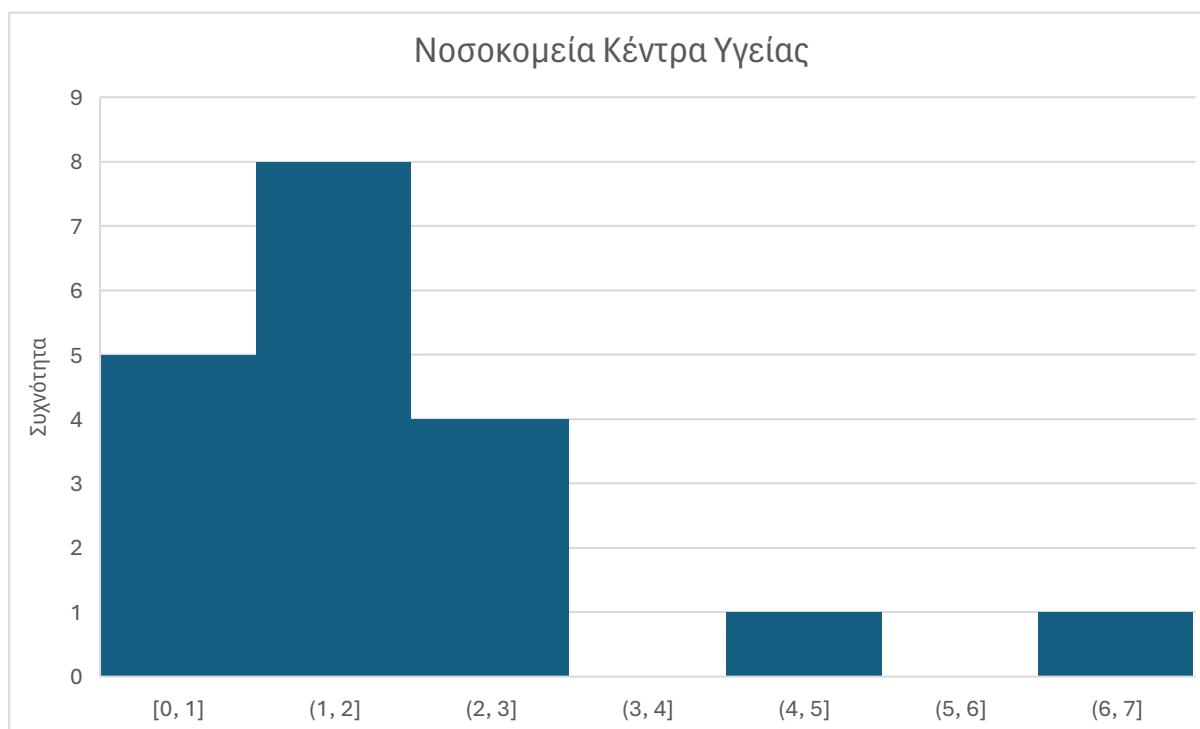
Διάγραμμα 60 -Κατανομή Κανονικοποιημένου K6 Κριτηρίου



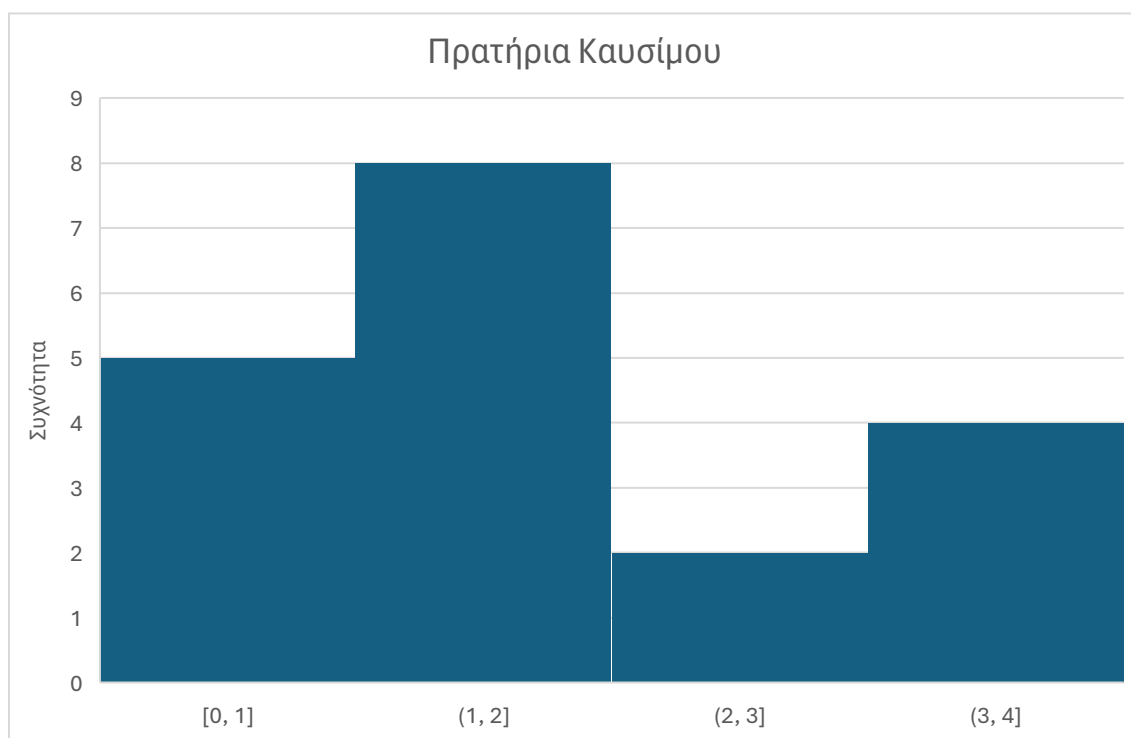
Διάγραμμα 62 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ12 Κριτηρίου



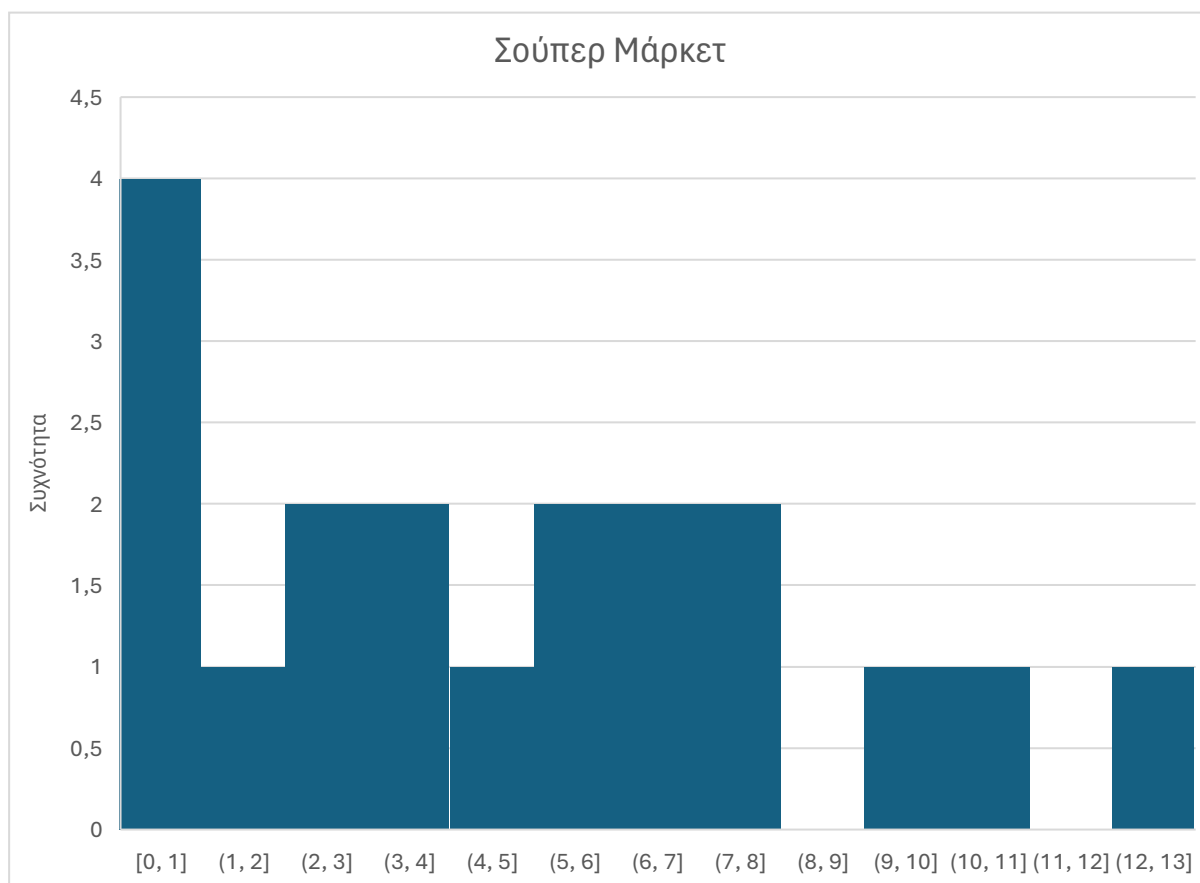
Διάγραμμα 61 -Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ14 Κριτηρίου



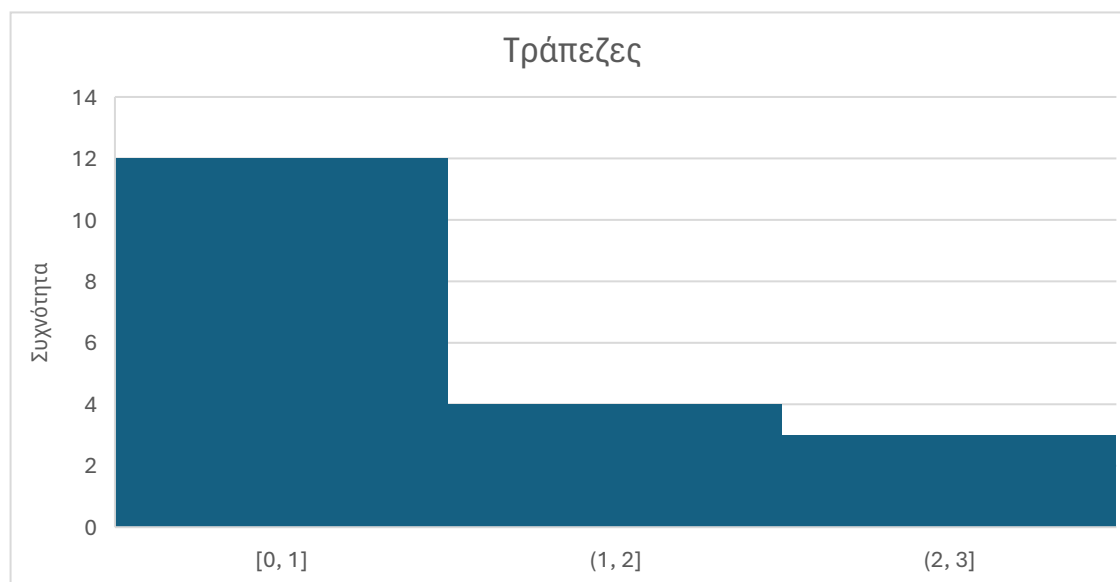
Διάγραμμα 63 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ15 Κριτηρίου



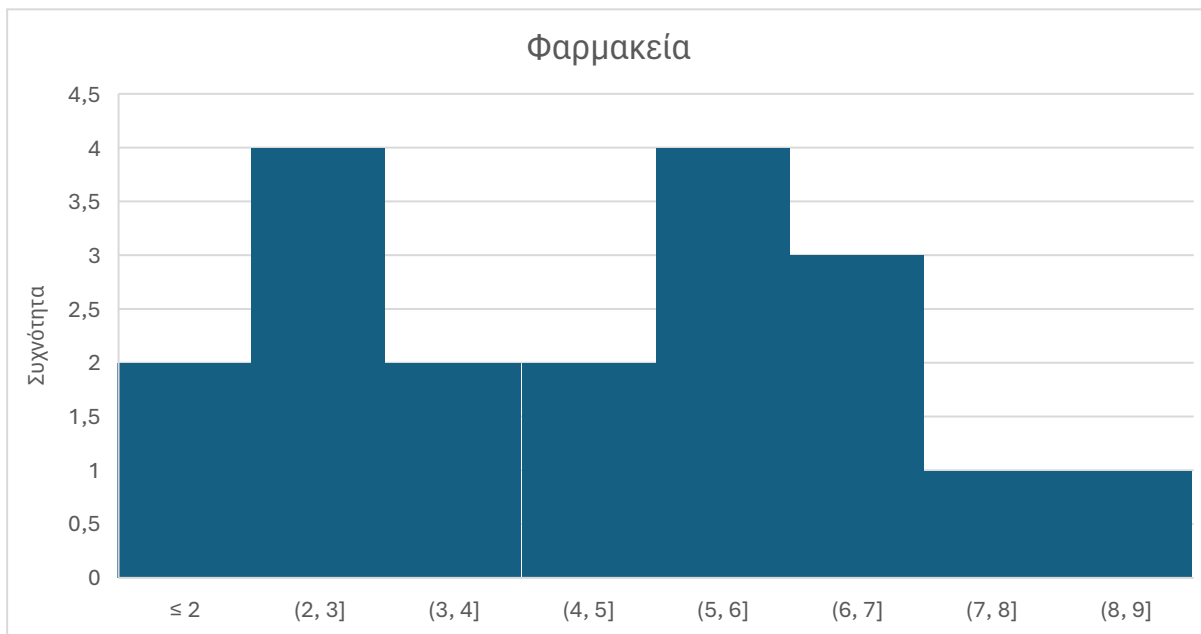
Διάγραμμα 64 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ17 Κριτηρίου



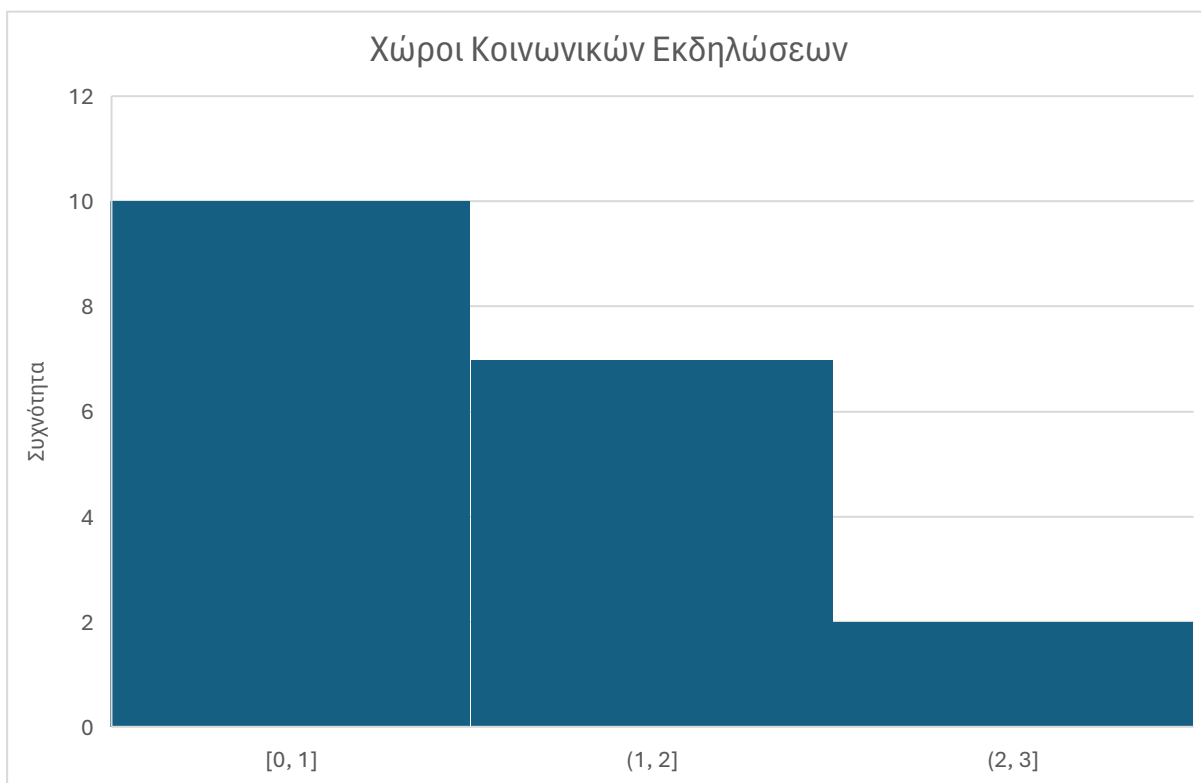
Διάγραμμα 65 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ18 Κριτηρίου



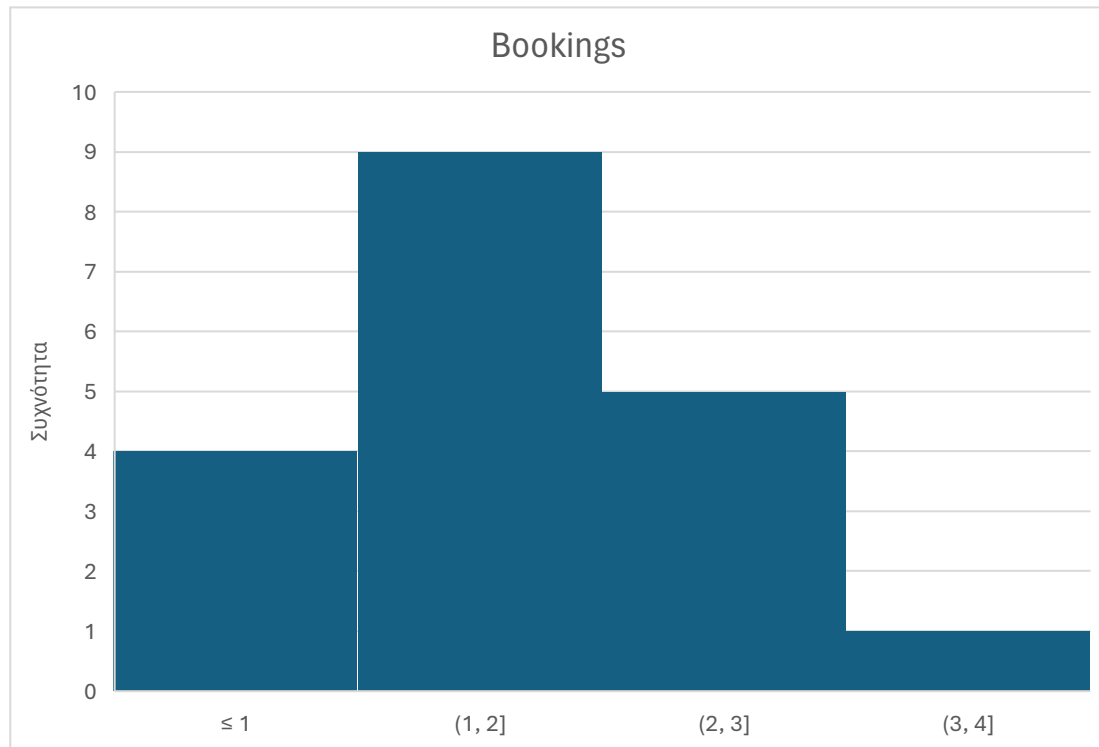
Διάγραμμα 66 - Κατανομή Κανονικοποιημένου Κ19 Κριτηρίου



Διάγραμμα 68 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K20 Κριτηρίου



Διάγραμμα 67 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K21 Κριτηρίου



Διάγραμμα 69 - Κατανομή Κανονικοποιημένου K22 Κριτηρίου

6.4 Καθορισμός Συντελεστών Βαρύτητας Κριτηρίων

Η ανάθεση συντελεστή βαρύτητας στα κριτήρια είναι από τα πιο καθοριστικά βήματα στην Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA), γιατί «μεταφράζει» σε αριθμούς το ποια διάσταση του προβλήματος θεωρούμε σημαντικότερη. Τα βάρη:

- αποτυπώνουν τις προτιμήσεις/προτεραιότητες του λήπτη απόφασης,
- επιτρέπουν ρητούς συμβιβασμούς μεταξύ κριτηρίων (trade-offs),
- περιορίζουν την τεχνητή κυριαρχία ενός κριτηρίου λόγω κλίμακας ή διασποράς,
- και βελτιώνουν τη διαφάνεια: γίνεται σαφές «γιατί» μια περιοχή κατατάσσεται ψηλότερα.

Στη βιβλιογραφία διακρίνονται δύο κύριες οικογένειες μεθόδων βαρών: (α) υποκειμενικές, όπου τα βάρη προκύπτουν από κρίσεις ειδικών ή ενδιαφερόμενων (π.χ. AHP, Simos), και (β) αντικειμενικές, όπου τα βάρη εξάγονται αμιγώς από τις ιδιότητες των δεδομένων (π.χ. Entropy, CRITIC). Η παρούσα μελέτη επιλέγει αντικειμενική στάθμιση μέσω Entropy, ώστε ο καθορισμός βαρών να είναι αμερόληπτος και επαναλήψιμος, χωρίς εισαγωγή υποκειμενικών προτιμήσεων.

Διαισθητικά, η Entropy αποδίδει μεγαλύτερο βάρος στα κριτήρια που «πληροφορούν» περισσότερο-δηλαδή εκείνα με μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ περιοχών-και μικρότερο βάρος σε κριτήρια σχεδόν ομοιόμορφα (χαμηλή διασπορά), που δεν συμβάλλουν ουσιαστικά στη διάκριση των εναλλακτικών. Η διαδικασία εφαρμόζεται πάνω στον ήδη μετασχηματισμένο και κανονικοποιημένο πίνακα κριτηρίων, ώστε όλα τα μεγέθη να είναι συγκρίσιμα. Οι προκύπτοντες συντελεστές βαρύτητας τροφοδοτούν τη TOPSIS και επηρεάζουν γραμμικά τον τελικό δείκτη εγγύτητας, άρα και την κατάταξη.

Ανάλυση της Μεθόδου Entropy

Η μέθοδος Εντροπίας στηρίζεται στη θεωρία πληροφορίας του Shannon, όπου η «εντροπία» μετρά τον βαθμό αβεβαιότητας/απροσδιοριστίας ενός συστήματος. Στο πλαίσιο της MCDA, για κάθε κριτήριο υπολογίζεται μια κατανομή (από κανονικοποιημένες τιμές) και εκτιμάται η εντροπία του όσο μεγαλύτερη είναι η διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ εναλλακτικών, τόσο μικρότερη η εντροπία και τόσο περισσότερη πληροφορία προσφέρει το κριτήριο. Κατ' επέκταση, αποδίδεται υψηλότερο βάρος στα κριτήρια με έντονη διασπορά (ισχυρή διακριτική ικανότητα) και χαμηλότερο σε εκείνα που είναι σχεδόν ομοιόμορφα.

1. Κανονικοποίηση των δεδομένων

Εφόσον οι τιμές των κριτηρίων δεν έχουν κοινή κλίμακα, γίνεται κανονικοποίηση συνήθως με τη μέθοδο Min-Max:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

- x_{ij} = αρχική τιμή για την εναλλακτική i και το κριτήριο j ,
- x'_{ij} = κανονικοποιημένη τιμή.

Στην παρούσα εργασία, τα δεδομένα είχαν ήδη υποβληθεί σε κανονικοποίηση κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας.

2. Υπολογισμός Πιθανοτήτων

Για κάθε κριτήριο υπολογίζεται η σχετική συμμετοχή κάθε εναλλακτικής:

$$P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}}, \text{ όπου } n = \text{αριθμός εναλλακτικών}$$

3. Υπολογισμός Εντροπίας

Η εντροπία E_j κάθε κριτηρίου εκφράζεται ως:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}), \quad k = \frac{1}{\ln(n)}$$

Η εντροπία λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Χαμηλές τιμές E_j υποδεικνύουν μεγάλη διαφοροποίηση και υψηλή πληροφορία.

4. Υπολογισμός διαφοροποίησης και τελικών βαρών

Το μέτρο διαφοροποίησης d_j υπολογίζεται ως:

$$d_j = 1 - E_j$$

Τα τελικά βάρη w_j υπολογίζονται μέσω κανονικοποίησης:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}, \text{ όπου } m = \text{αριθμός κριτηρίων.}$$

6.4.1 Εφαρμογή της Μεθόδου στα Δεδομένα Χωροθέτησης Σταθμών Φόρτισης Ανά Ταχυδρομικό Κώδικα

Η εφαρμογή της μεθόδου Entropy στα κανονικοποιημένα δεδομένα των δεκατεσσάρων (14) επιλεγμένων κριτηρίων επέτρεψε την αντικειμενική εκτίμηση της σχετικής τους σημασίας, με βάση το πόσο διαφέρουν οι τιμές τους μεταξύ ταχυδρομικών περιοχών. Για κάθε κριτήριο υπολογίστηκε η εντροπία από τον κανονικοποιημένο πίνακα, προέκυψε ο συντελεστής διαφοροποίησης και, κατόπιν, το βάρος του: όσο μεγαλύτερη η διασπορά των τιμών στον χώρο, τόσο υψηλότερο το αναλογούν βάρος (μεγαλύτερη πληροφορία για τη διάκριση εναλλακτικών). Οι τελικοί συντελεστές βαρύτητας έχουν κανονικοποιηθεί ώστε να αθροίζουν σε 1 και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οι τελικοί συντελεστές βαρύτητας ανά κριτήριο, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Entropy στα κανονικοποιημένα δεδομένα. Τα βάρη είναι κανονικοποιημένα (άθροισμα = 1) και θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο στάδιο της TOPSIS.

Πίνακας 19 – Βάρη Κριτηρίων Ανά Ταχυδρομικό Κώδικα

Κωδικός Κριτηρίου	Κατηγορία	Βάρος Entropy
K0	Υπάρχοντα Σημεία Φόρτισης	0,0403
K2	Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα	0,0983
K4	Γιατροί	0,0743
K5	Γυμναστήρια	0,0539
K6	Διαγνωστικά Κέντρα	0,0709
K12	Καφετέριες – Καφέ	0,0445
K14	Μουσεία	0,0681
K15	Νοσοκομεία Κέντρα Υγείας	0,1031
K17	Πρατήρια Κουσίμου	0,0621
K18	Σούπερ Μάρκετ	0,0527
K19	Τράπεζες	0,1071
K20	Φαρμακεία	0,0408
K21	Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων	0,0856
K22	Bookings	0,0975

Η ανάλυση βαρών με Entropy αναδεικνύει με σαφήνεια ποιες κατηγορίες «διαχωρίζουν» περισσότερο τον χώρο και άρα συνεισφέρουν ουσιαστικά στη λήψη απόφασης για νέες θέσεις

ΣΦΗΟ. Στην κορυφή βρίσκονται οι Τράπεζες (0,1071), τα Νοσοκομεία/Κέντρα Υγείας (0,1031), τα Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (0,0983) και τα Bookings/Καταλύματα (0,0975). Πολύ κοντά ακολουθούν οι Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων (0,0856). Οι κατηγορίες αυτές εμφανίζουν έντονη χωρική ετερογένεια (συγκεντρώσεις σε συγκεκριμένους πόλους/γειτονιές), κάτι που η Entropy «ανταμείβει» με υψηλά βάρη.

Η μεσαία βαθμίδα περιλαμβάνει κατηγορίες με μετρήσιμη αλλά πιο ομοιόμορφη παρουσία: Γιατροί (0,0743), Διαγνωστικά Κέντρα (0,0709), Μουσεία (0,0681), Πρατήρια Καυσίμου (0,0621), Γυμναστήρια (0,0539) και Σούπερ Μάρκετ (0,0527). Συσχετίζονται με συχνές μετακινήσεις και ουσιαστικούς χρόνους παραμονής, όμως η ευρύτερη γεωγραφική τους κάλυψη μειώνει τη διακύμανση τιμών ανά περιοχή σε σχέση με την κορυφαία ομάδα.

Στη χαμηλότερη βαθμίδα συναντώνται οι Καφετέριες – Καφέ (0,0445), τα Φαρμακεία (0,0408) και τα Υπάρχοντα Σημεία Φόρτισης (0,0403). Η συγκριτικά μικρότερη βαρύτητά τους δεν υποδηλώνει χαμηλή σημασία για χωροθέτηση αποτυπώνει ότι η εκτεταμένη διάχυσή τους στον αστικό ιστό μειώνει την ικανότητα διαφοροποίησης μεταξύ περιοχών (χαμηλότερη πληροφοριακή συνεισφορά).

Ερμηνευτικά, τα υψηλά βάρη δείχνουν κριτήρια με μεγάλη μεταβλητότητα από γειτονιά σε γειτονιά και συνεπώς μεγαλύτερη «πληροφορία» για ιεράρχηση προτεραιοτήτων. Αντίστοιχα, τα χαμηλότερα βάρη αντιστοιχούν σε πιο ομοιόμορφα κατανομημένα φαινόμενα. Σημαντική διευκρίνιση: το βάρος Entropy αποτυπώνει διακριτική ικανότητα, όχι κατεύθυνση προτίμησης. Η τελική κατάταξη θα προκύψει στο επόμενο στάδιο με TOPSIS, όπου κάθε κριτήριο θα χαρακτηριστεί ως «οφέλους» ή «κόστους» και θα συνδυαστεί πολυκριτηριακά με τα υπόλοιπα, ώστε να παραχθεί στιβαρή ιεράρχηση περιοχών ανά Τ.Κ. και γειτονιά για τον σχεδιασμό νέων ΣΦΗΟ.

6.4.2 Εφαρμογή της Μεθόδου στα Δεδομένα Χωροθέτησης Σταθμών Φόρτισης Ανά Γειτονιά

Η εφαρμογή της μεθόδου Entropy στα κανονικοποιημένα δεδομένα των δεκατεσσάρων (14) επιλεγμένων κριτηρίων πραγματοποιήθηκε πλέον σε επίπεδο γειτονιάς. Για κάθε κριτήριο υπολογίστηκε η εντροπία από τον κανονικοποιημένο πίνακα ανά γειτονιά, στη συνέχεια ο συντελεστής διαφοροποίησης και, τέλος, το βάρος του. Όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά των τιμών μεταξύ γειτονιών, τόσο υψηλότερο το αναλογούν βάρος (δηλαδή μεγαλύτερη πληροφορία για τη διάκριση εναλλακτικών). Οι τελικοί συντελεστές βαρύτητας έχουν κανονικοποιηθεί ώστε να αθροίζουν σε 1.

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται οι τελικοί συντελεστές βαρύτητας ανά κριτήριο, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της Entropy στα κανονικοποιημένα δεδομένα ανά γειτονιά. Τα βάρη (άθροισμα = 1) θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο στάδιο της TOPSIS.

Πίνακας 20 – Βάρη Κριτηρίων Ανά Γειτονιά

Κωδικός Κριτηρίου	Κατηγορία	Βάρος Entropy
K0	Υπάρχοντα Σημεία Φόρτισης	0,0171
K2	Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα	0,1897
K4	Γιατροί	0,0793
K5	Γυμναστήρια	0,0351
K6	Διαγνωστικά Κέντρα	0,0829
K12	Καφετέριες – Καφέ	0,0168
K14	Μουσεία	0,0553
K15	Νοσοκομεία Κέντρα Υγείας	0,0917
K17	Πρατήρια Καυσίμου	0,0892
K18	Σούπερ Μάρκετ	0,0628
K19	Τράπεζες	0,1762
K20	Φαρμακεία	0,0275
K21	Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων	0,0476
K22	Bookings	0,0281

Η ανάλυση βαρών με Entropy σε κλίμακα γειτονιάς δείχνει καθαρά ποια κριτήρια ξεχωρίζουν τον χώρο και μεταφέρουν τη μεγαλύτερη πληροφορία για ιεράρχηση παρεμβάσεων ΣΦΗΟ. Στην κορυφή αναδεικνύονται τα Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα K2 με βάρος 0,1897 και οι Τράπεζες K19 με 0,1762. Πρόκειται για χρήσεις με έντονη χωρική συγκέντρωση σε λίγους πόλους και με ισχυρή έλξη μετακινήσεων, γεγονός που αυξάνει τη διακύμανση μεταξύ γειτονιών και αποτυπώνεται ως υψηλή πληροφοριακή συνεισφορά.

Ακολουθεί ένα ισχυρό μπλοκ υγείας και καθημερινής εξυπηρέτησης που προσθέτει σημαντική διακριτική ισχύ. Τα Νοσοκομεία και Κέντρα Υγείας K15 έχουν βάρος 0,0917, τα Πρατήρια Καυσίμου K17 0,0892, τα Διαγνωστικά Κέντρα K6 0,0829 και οι Γιατροί K4 0,0793. Σε ενδιάμεση ζώνη βρίσκονται τα Σούπερ Μάρκετ K18 με 0,0628 και τα Μουσεία K14 με 0,0553. Οι Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων K21 φτάνουν το 0,0476 και συμβάλλουν με πιο περιοδικές ή εποχικές αιχμές ζήτησης που διαφοροποιούν συγκεκριμένες περιοχές.

Πιο χαμηλά εμφανίζονται κατηγορίες με ευρύτερη και πιο ομοιόμορφη διασπορά. Τα Γυμναστήρια K5 έχουν βάρος 0,0351, τα Bookings K22 0,0281 και τα Φαρμακεία K20 0,0275. Ακόμη χαμηλότερα βρίσκονται οι Καφετέριες – Καφέ K12 με 0,0168 και τα Υπάρχοντα Σημεία Φόρτισης K0 με 0,0171. Τα χαμηλότερα βάρη δεν μειώνουν την πρακτική σημασία αυτών των χρήσεων αλλά δείχνουν ότι λόγω της διάχυτης παρουσίας τους διαφοροποιούν λιγότερο τις γειτονιές. Το βάρος Entropy αποτυπώνει διακριτική ικανότητα και όχι κατεύθυνση προτίμησης και η τελική ιεράρχηση θα προκύψει στη φάση TOPSIS όπου τα κριτήρια θα χαρακτηριστούν ως οφέλους ή κόστους και θα συνδυαστούν πολυκριτηριακά.

Πρακτικά, γειτονιές με συστάδες ΑΕΙ και τραπεζών ξεχωρίζουν ως σημεία υψηλής προτεραιότητας, ενώ το υγειονομικό τρίπτυχο νοσοκομεία διαγνωστικά ιατροί σηματοδοτεί περιοχές με μεγάλους χρόνους παραμονής και έντονη καθημερινή ροή. Στον σχεδιασμό προτάσσονται θέσεις όπου συνυπάρχουν υψηλόβαρα κριτήρια, επειδή εκεί η εγκατάσταση νέων φορτιστών αναμένεται να προσφέρει μεγαλύτερη ωφέλεια ανά σημείο μεγιστοποιώντας την αποτελεσματικότητα του δικτύου.

6.4.3 Διαφορές Εφαρμογών των Μεθόδων στα Δεδομένα Χωροθέτησης Σταθμών Φόρτισης μεταξύ Ταχυδρομικού Κώδικα και Γειτονιών

Παρακάτω η σύγκριση ανα κατηγορία με τα ακριβή βάρη Entropy σε γειτονιές και Τ.Κ., μαζί με σύντομο σχόλιο:

- **Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (Κ2)** – Γειτονιά 0,1897 | Τ.Κ. 0,0983
Ισχυρό σήμα στη μικροκλίμακα που αραιώνει όταν αθροίζεται σε επίπεδο Τ.Κ.
- **Τράπεζες (Κ19)** – Γειτονιά 0,1762 | Τ.Κ. 0,1071
Υψηλή διακριτική ισχύς και στις δύο κλίμακες με εντονότερη ανάδειξη των εμπορικών μετώπων στη γειτονιά.
- **Νοσοκομεία / Κέντρα Υγείας (Κ15)** – Γειτονιά 0,0917 | Τ.Κ. 0,1031
Ορισμένοι Τ.Κ. φορτώνονται με μεγάλες μονάδες υγείας κρατώντας το βάρος υψηλό στο επίπεδο Τ.Κ.
- **Διαγνωστικά Κέντρα (Κ6)** – Γειτονιά 0,0829 | Τ.Κ. 0,0709
Οριακά ισχυρότερα στη γειτονιά λόγω τοπικών συσπειρώσεων γύρω από υγειονομικούς άξονες.
- **Γιατροί (Κ4)** – Γειτονιά 0,0793 | Τ.Κ. 0,0743
Παρόμοια συνεισφορά στις δύο κλίμακες με εμφανείς συσσωρεύσεις αλλά και σημαντική διασπορά.
- **Πρατήρια Καυσίμων (Κ17)** – Γειτονιά 0,0892 | Τ.Κ. 0,0621
Ισχυρό σήμα στη γειτονιά κατά μήκος αρτηριών ενώ στο Τ.Κ. η εικόνα εξομαλύνεται.
- **Σούπερ Μάρκετ (Κ18)** – Γειτονιά 0,0628 | Τ.Κ. 0,0527
- Μέτρια και σχετικά σταθερή συνεισφορά με σχετικά ομοιόμορφη χωρική διάχυση.
- **Μουσεία (Κ14)** – Γειτονιά 0,0553 | Τ.Κ. 0,0681
Λίγοι Τ.Κ. συγκεντρώνουν πολιτιστικούς πόρους και έτσι το βάρος αναδεικνύεται περισσότερο στο επίπεδο Τ.Κ.
- **Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων (Κ21)** – Γειτονιά 0,0476 | Τ.Κ. 0,0856
Συχνά απλώνονται σε ευρύτερες ζώνες που συμβαδίζουν με όρια Τ.Κ. και το βάρος ανεβαίνει εκεί.
- **Γυμναστήρια (Κ5)** – Γειτονιά 0,0351 | Τ.Κ. 0,0539
Πιο ομοιόμορφα στη μικροκλίμακα διαφοροποιούνται καθαρότερα όταν αθροίζονται σε Τ.Κ.
- **Καφετέριες – Καφέ (Κ12)** – Γειτονιά 0,0168 | Τ.Κ. 0,0445
Η εκτεταμένη διασπορά μειώνει το σήμα στη γειτονιά ενώ ορισμένοι εμπορικοί Τ.Κ. ενισχύουν το βάρος.

- **Bookings (K22)** – Γειτονιά 0,0281 | Τ.Κ. 0,0975
Η τουριστική συγκέντρωση αποτυπώνεται κυρίως σε λίγους Τ.Κ. με πολύ υψηλότερο βάρος στο Τ.Κ.
- **Φαρμακεία (K20)** – Γειτονιά 0,0275 | Τ.Κ. 0,0408
Η σχεδόν πανταχού παρουσία μειώνει τη διακριτική ισχύ ιδιαίτερα στη γειτονιά παραμένουν μικρές αλλά μετρήσιμες διαφοροποιήσεις.
- **Υπάρχοντα Σημεία Φόρτισης (K0)** – Γειτονιά 0,0171 | Τ.Κ. 0,0403
Η ευρεία κάλυψη ρίχνει το βάρος στη μικροκλίμακα και δίνει μέτριο σήμα όταν συγκεντρώνεται σε Τ.Κ.

Πορισματική σύνοψη

Η σύγκριση γειτονιάς και ταχυδρομικού κώδικα δείχνει σαφή διαφοροποίηση των βαρών. Στη γειτονιά υπερισχύουν τα Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (K2 0,1897) και οι Τράπεζες (K19 0,1762), με ισχυρό σήμα και τοπικές συστάδες. Ισχυρό παραμένει και το υγειονομικό αποτύπωμα με Νοσοκομεία Κέντρα Υγείας, Διαγνωστικά Κέντρα και Γιατρούς, ενώ τα Πρατήρια Καυσίμων εμφανίζονται ιδιαίτερα έντονα κατά μήκος αρτηριών. Στο επίπεδο ταχυδρομικού κώδικα ανεβαίνουν κατηγορίες που συγκροτούν ευρύτερες ζώνες προορισμού ή μεγάλους πόλους όπως Bookings, Χώροι Κοινωνικών Εκδηλώσεων, Μουσεία και Τ.Κ. με μεγάλες νοσοκομειακές μονάδες, ενώ οι ΑΕΙ και οι Τράπεζες διατηρούν υψηλή διακριτική ισχύ. Κατηγορίες με εκτεταμένη και ομοιόμορφη διασπορά όπως Καφετέριες, Φαρμακεία και Υπάρχοντα Σημεία Φόρτισης έχουν χαμηλότερα βάρη και στις δύο κλίμακες.

Η ερμηνεία είναι λειτουργική. Τα βάρη Entropy αποτυπώνουν διακριτική ικανότητα και όχι προτίμηση, επομένως η τελική ιεράρχηση θα καθοριστεί στη φάση TOPSIS με χαρακτηρισμό κριτηρίων ως οφέλους ή κόστους και πολυκριτηριακό συνδυασμό. Σε γειτονιά προτεραιοποιούνται σημεία όπου συνυπάρχουν υψηλόβαρα κριτήρια όπως συστάδες ΑΕΙ ή τραπεζικών μετώπων με υγειονομικούς πόλους ή πρατήρια, ενώ σε ταχυδρομικό κώδικα αξιοποιούνται ισχυροί τουριστικοί, πολιτιστικοί και υγειονομικοί πυρήνες ώστε να καλυφθούν ευρύτερες ροές.

Πρακτικά η γειτονιά προσφέρεται για τακτικές παρεμβάσεις υψηλής στόχευσης με αξιοποίηση ενός συμπλέγματος δραστηριοτήτων γύρω από έναν κόμβο, ενώ ο ταχυδρομικός κώδικας υποστηρίζει στρατηγικές αποφάσεις κάλυψης σε περιφερειακές ζώνες με συστηματικές ανάγκες όπως υγεία, τουρισμός και κύριες αρτηρίες. Και οι δύο οπτικές είναι έγκυρες και συμπληρωματικές. Η καθεμία φωτίζει διαφορετικό επίπεδο ζήτησης και χωρικής λογικής. Συνεπώς τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνεύονται αυτοτελώς ανά κλίμακα, με τη σύγκλισή τους να αποτελεί ισχυρή ένδειξη προτεραιότητας για νέες εγκαταστάσεις φόρτισης.

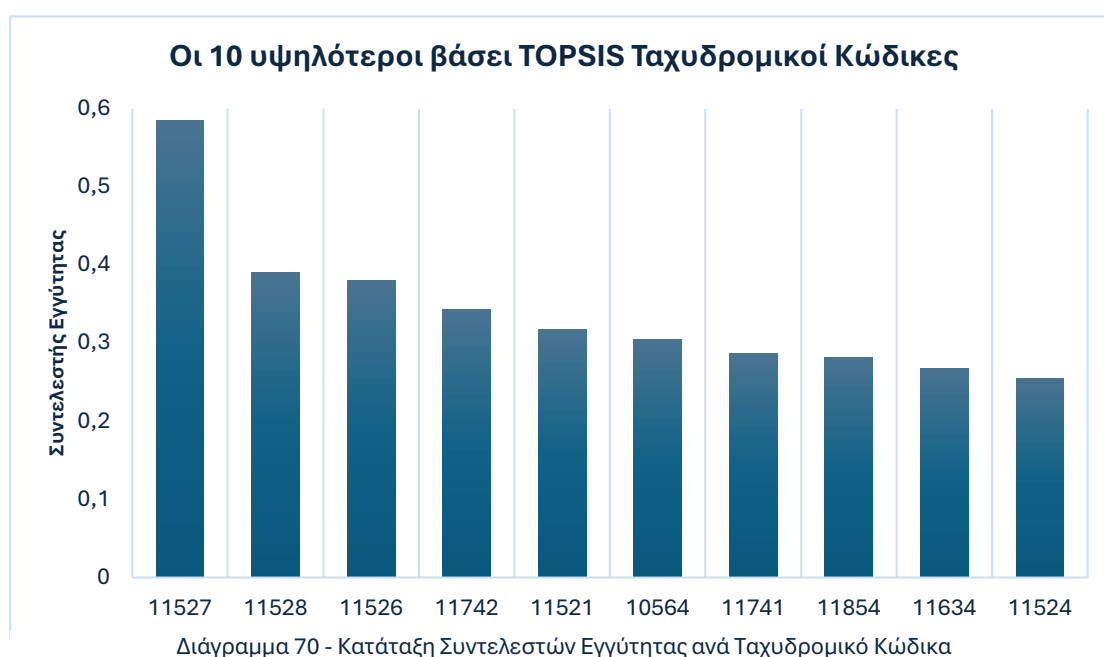
Κεφάλαιο 7 – Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης από την Μέθοδο TOPSIS

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με τη μέθοδο TOPSIS, όπως εφαρμόστηκε στα δεδομένα της μελέτης σε δύο χωρικές κλίμακες: ανά Ταχυδρομικό Κώδικα (Τ.Κ.) και ανά γειτονιά. Υπενθυμίζεται ότι τα κριτήρια προήλθαν από τα σημεία ενδιαφέροντος και τον τουρισμό (λειτουργική ζήτηση), καθώς και από την υφιστάμενη εικόνα εξυπηρέτησης προηγήθηκαν στοχευμένοι μετασχηματισμοί/κανονικοποίηση και αντικειμενικός καθορισμός βαρών μέσω Entropy. Έτσι, το τελικό TOPSIS score κάθε περιοχής εκφράζει την εγγύτητά της στο «ιδανικό» προφίλ για νέα εγκατάσταση (υψηλή δυνητική ζήτηση, χαμηλή επάρκεια), και την απόστασή της από το «αντι-ιδανικό» (κορεσμός/μικρή πρόσθετη αξία).

Η παρουσίαση οργανώνεται ως εξής: αρχικά δίνονται τα αποτελέσματα ανά Τ.Κ., με πίνακες κατάταξης, περιγραφικά στατιστικά και θεματικούς χάρτες που αναδεικνύουν περιοχές υψηλής, μεσαίας και χαμηλής προτεραιότητας. Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση ανά γειτονιά, η οποία αποτυπώνει λεπτομερέστερα μικρο-χωρικά μοτίβα που ενδέχεται να «κρύβονται» σε μεγαλύτερες ενότητες Τ.Κ. Για κάθε κλίμακα παρέχονται σύντομα σχόλια ερμηνείας (drivers βαθμολογίας, χωρικές συγκεντρώσεις, δυνητικά «κενού» κάλυψης), καθώς και ενδεικτικοί χάρτες πυκνότητας/χρωματικοί χάρτες με τη σειρά προτεραιότητας.

7.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης TOPSIS και Κατάταξη Ταχυδρομικών Κωδικών

Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι 10 κορυφαίοι ταχυδρομικοί κώδικες για χωροθέτηση ΣΦΗΟ βάσει TOPSIS με βάρη Entropy. Με τετραψήφια στρογγυλοποίηση ο συντελεστής εγγύτητας δίνει την εξής σειρά προτεραιότητας 11527 (0,5854), 11528 (0,3907), 11526 (0,3799), 11742 (0,3431), 11521 (0,3169), 10564 (0,3049), 11741 (0,2869), 11854 (0,2814), 11634 (0,2671), 11524 (0,2550). Ο 11527 εμφανίζει καθαρό προβάδισμα, ενώ οι υπόλοιποι εννέα σχηματίζουν συμπαγές δεύτερο κλιμάκιο στο εύρος 0,391–0,255, χρήσιμο για ιεράρχηση επόμενων παρεμβάσεων.



Διακρίνεται καθαρά άλμα ανάμεσα στον πρώτο και τον δεύτερο, με διαφορά 0,1947, γεγονός που αναδεικνύει τον 11527 (0,5854) ως σαφές σημείο προτεραιότητας και υποδηλώνει συνύπαρξη πολλών υψηλόβαρων κριτηρίων. Η μεσαία ζώνη περιλαμβάνει τους 11528 (0,3907), 11526 (0,3799), 11742 (0,3431) και 11521 (0,3169). Η εσωτερική τους διασπορά είναι 0,0738, δείχνοντας κλιμάκωση χωρίς μεγάλη απόσταση από το επόμενο γκρουπ. Οι θέσεις 6–10 αποτελούν σφιχτό σύμπλεγμα με τους 10564 (0,3049), 11741 (0,2869), 11854 (0,2814), 11634 (0,2671) και 11524 (0,2550), εύρους 0,0499, άρα είναι μεταξύ τους σχεδόν ισοδύναμοι και μπορούν να αναδιαταχθούν με μικρές αλλαγές στα βάρη ή λόγω επιχειρησιακών περιορισμών.

Σε όρους προτεραιοτήτων, η δράση ξεκινά από τον 11527, ακολουθούν κατά αξιολόγηση οι 11528 και 11526, έπονται οι 11742 και 11521, και τέλος εξετάζεται το «καλάθι» των 10564, 11741, 11854, 11634 και 11524 με τοπικό έλεγχο διαθεσιμότητας χώρου, χωρητικότητας δικτύου και αδειοδοτήσεων.

Υπενθυμίζεται ότι το σκορ TOPSIS είναι δείκτης εγγύτητας στην ιδανική λύση στο [0,1] μεγαλύτερη αξία έχει η σχετική κατάταξη και όχι η απόλυτη τιμή. Πρακτικά, η ιεράρχηση παρεμβάσεων ξεκινά από τον 11527. Ακολουθεί η αξιολόγηση των 11528 και 11526, στη συνέχεια των 11742 και 11521. Τέλος εξετάζεται ως «σύμπλεγμα» η πεντάδα 10564, 11741, 11854, 11634, 11524, που είναι μεταξύ τους κοντά και μπορεί να αναδιαταχθεί με μικρές μεταβολές βαρών ή επιχειρησιακών περιορισμών. Σε κάθε βήμα απαιτείται έλεγχος τοπικών περιορισμών (διαθεσιμότητα χώρου, ισχύς δικτύου, αδειοδοτήσεις).

Η ανάλυση δείχνει καθαρή διαφοροποίηση ανάμεσα στον στενό ιστορικό πυρήνα και το περιμετρικό δαχτυλίδι του κέντρου. Οι 11527, 11528 και 11526 ανήκουν στα πέριξ και καταγράφουν πολύ υψηλές τιμές TOPSIS. Η ισχύς τους προκύπτει από συγκέντρωση κρίσιμων χρήσεων όπως ανώτατη εκπαίδευση, τράπεζες και υγειονομικές μονάδες μαζί με ευρύ φάσμα υπηρεσιών, ενώ οι δυνατότητες ιδιωτικής στάθμευσης είναι περιορισμένες. Το προφίλ αυτό οδηγεί σε σταθερούς χρόνους παραμονής μέσα στην ημέρα και αυξημένη πιθανότητα ανάγκης φόρτισης, άρα αποτελούν προφανείς υποψήφιους για παρεμβάσεις πρώτου κύματος.

Ο 11742 εμφανίζει προφίλ μικτού αστικού κόμβου με υψηλές ροές όλη την ημέρα. Η συνύπαρξη πολιτιστικών πόλων, εμπορίου και αναψυχής, σε συνδυασμό με πρόσβαση σε μετρό/τραμ και κύριες οδικές αρτηρίες, δημιουργεί συνεχές φορτίο στάσης και βραχείας παραμονής. Οι χρήστες είναι ετερογενείς (κάτοικοι, εργαζόμενοι, επισκέπτες) και οι αιχμές επαναλαμβανόμενες. Το αποτέλεσμα είναι αυξημένη πιθανότητα ανάγκης φόρτισης εντός ημέρας, ανεξάρτητα από τη διασπορά των καθημερινών δραστηριοτήτων. Με σκορ TOPSIS 0,3431 τοποθετείται στο άνω άκρο της μεσαίας ζώνης και στηρίζει παρεμβάσεις δεύτερου κύματος με έμφαση σε σημεία υψηλής προσπελασιμότητας και δυνατότητα γρήγορης εναλλαγής θέσεων.

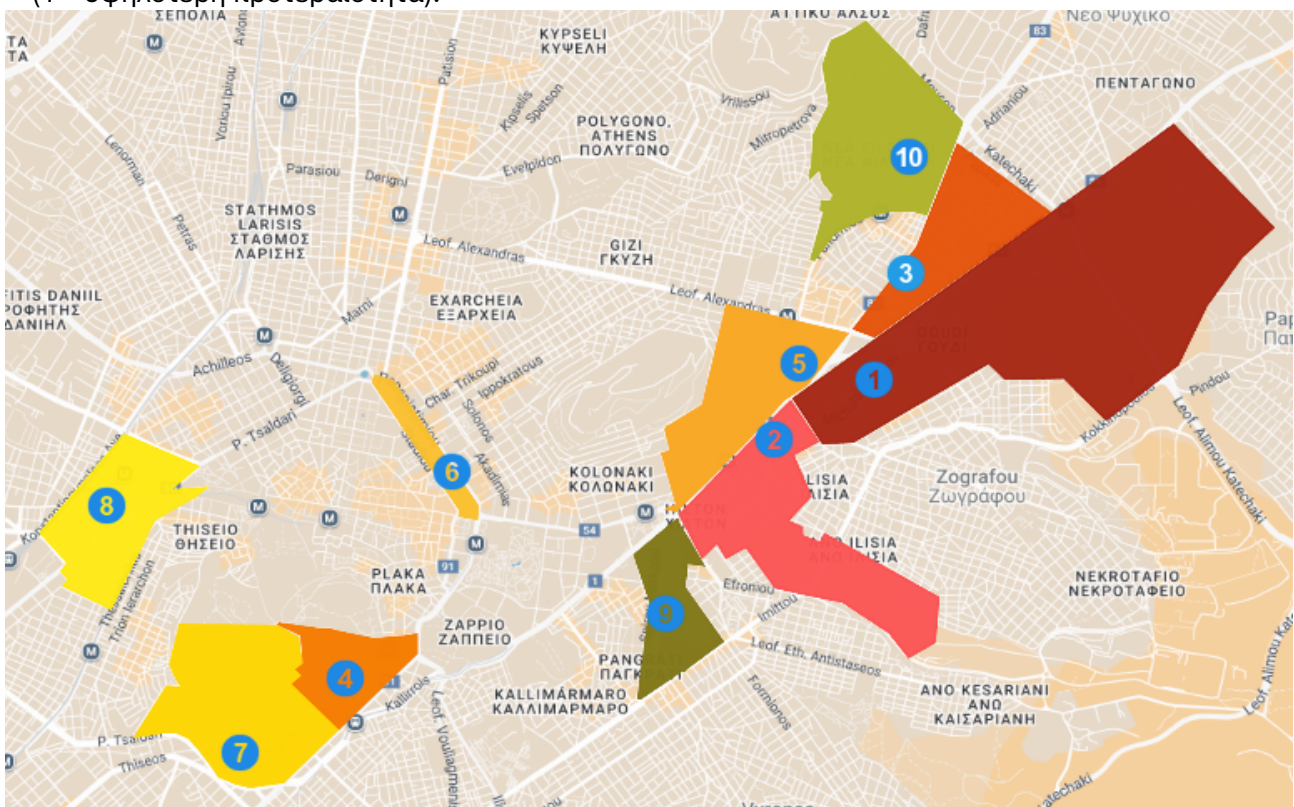
Ο T.K. 11521 καταγράφει σκορ TOPSIS 0,3169 και τοποθετείται στο ανώτερο τμήμα της μεσαίας ζώνης προτεραιότητας. Το προφίλ του χαρακτηρίζεται από συγκέντρωση γραφείων, τραπεζικών καταστημάτων και υγειονομικών δομών, που παράγουν σταθερές ροές εργαζομένων και επισκεπτών κατά την εργάσιμη ημέρα. Οι περιορισμένες ιδιωτικές θέσεις στάθμευσης και η υψηλή ζήτηση στον δημόσιο χώρο οδηγούν σε προβλέψιμα παράθυρα παραμονής 1–3 ωρών, αυξάνοντας την πιθανότητα ανάγκης φόρτισης μέσα στην ημέρα για στόλους, επαγγελματίες και ιδιώτες. Προτείνεται χωροθέτηση κοντά σε διοικητικούς και υγειονομικούς πόλους, κατά μήκος εμπορικών μετώπων και περιμετρικά κόμβων MMM, με έμφαση σε παρόδιες θέσεις και δημοτικούς χώρους στάθμευσης ώστε να μεγιστοποιείται η

κάλυψη των ημερήσιων ροών. Η τελική επιλογή θέσεων απαιτεί έλεγχο διαθεσιμότητας χώρου, ισχύος δικτύου και αδειοδοτήσεων, δεδομένης της σχετικής «ισοδυναμίας» με γειτονικούς κώδικες της ίδιας κατηγορίας προτεραιότητας.

Αντιθέτως, ο 10564, που ανήκει στον κατεξοχήν κεντρικό ιστό μαζί με γειτονικούς κώδικες, αντλεί υψηλή κατάταξη από την έντονη μίξη εμπορίου, εστίασης και υπηρεσιών, ενώ η εικόνα του επηρεάζεται από «κεντρικές» ιδιαιτερότητες, όπως πεζοδρομήσεις, μεγάλη τουριστική ροή και ισχυρές ημερήσιες αιχμές. Εκεί, η ζήτηση φόρτισης είναι πιο μεταβλητή μέσα στο εικοσιτετράωρο, αλλά με μεγάλες κορυφώσεις που πρέπει να καλύπτονται επαρκώς.

Συνολικά, προκύπτουν δύο συμπληρωματικά πρότυπα προτεραιότητας. Πρώτον, το περιμετρικό «δαχτυλίδι» του κέντρου, όπως οι 11527, 11528 και 11526, που ευνοείται από τη συγκέντρωση κρίσιμων λειτουργιών της καθημερινότητας και την έλλειψη ιδιωτικών λύσεων φόρτισης. Δεύτερον, ο σκληρός πυρήνας που αποτυπώνεται στους 11742, 11521 και 10564, καθώς και οι κεντρικοί κώδικες με ισχυρό τουριστικό/πολιτιστικό αποτύπωμα όπως οι 11741, 11854, 11634 και 11524, όπου κυριαρχούν εμπορικές και τουριστικές ροές με έντονες αιχμές. Και τα δύο πρότυπα πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό νέων σταθμών φόρτισης, ώστε το δίκτυο να παραμένει αποδοτικό στις καθημερινές ροές και ανθεκτικό στις εποχικές μεταβολές.

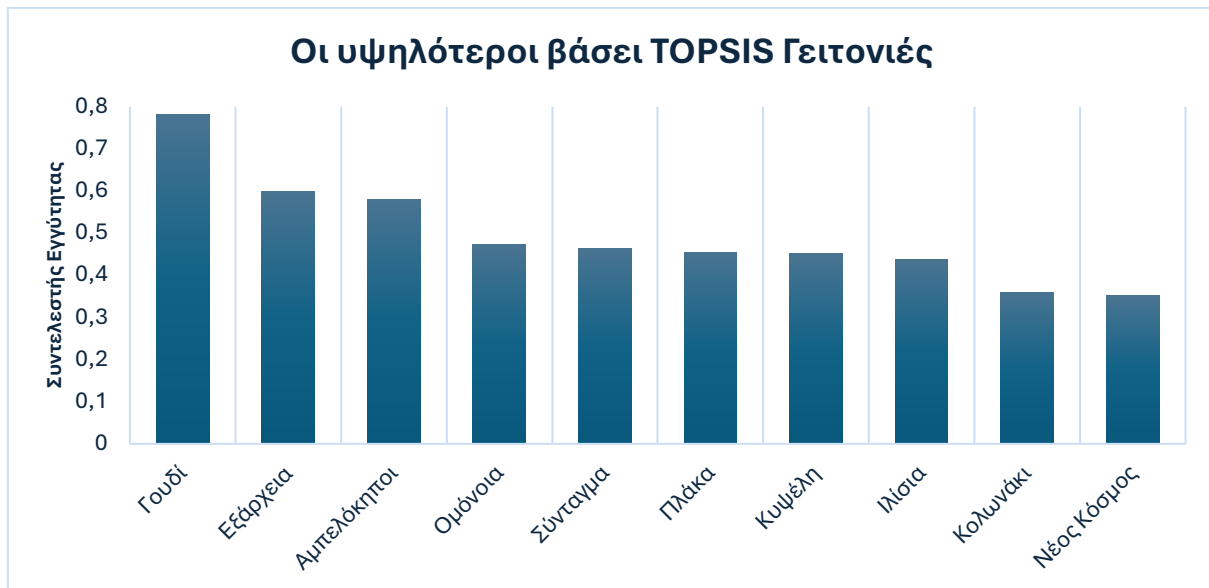
Ακολουθεί εικονική (σχηματική) απεικόνιση των γειτονιών που αξιολογήθηκαν. Τα πολύγωνα αποδίδουν συμβολικά τις χωρικές ενότητες της μελέτης (όχι τα επίσημα διοικητικά όρια), ενώ η αρίθμηση 1–10 αντιστοιχεί στην κατάταξη που προέκυψε από την ανάλυση TOPSIS (1 = υψηλότερη προτεραιότητα).



Διάγραμμα 71 - Χαρτογράφηση των 10 υψηλότερων Ταχυδρομικών Κωδικών

7.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης TOPSIS και Κατάταξη Γειτονιών

Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι 10 γειτονιές με το υψηλότερο σκορ καταλληλότητας για νέες εγκαταστάσεις ΣΦΗΟ βάσει TOPSIS (με βάρη Entropy). Η κατάταξη είναι: Γουδί (0,7821), Εξάρχεια (0,5992), Αμπελόκηποι (0,5806), Ομόνοια (0,4746), Σύνταγμα (0,4654), Πλάκα (0,4546), Κυψέλη (0,4515), Ιλίσια (0,4369), Κολωνάκι (0,3603) και Νέος Κόσμος (0,3527).



Διάγραμμα 72 - Κατάταξη Συντελεστών Εγγύτητας ανά Γειτονιά

Διακρίνεται ένα σαφές «άλμα» ανάμεσα στην 1η θέση (Γουδί) και την 2η-3η, που υποδηλώνει συσσώρευση πολλών υψηλόβαρων κριτηρίων στο Γουδί. Ακολουθεί μια μεσαία ζώνη (Ομόνοια-Ιλίσια) με σχετικά κοντινές τιμές, γεγονός που σημαίνει ότι μικρές μεταβολές στα βάρη μπορεί να αναδιατάξουν μερικώς τη σειρά. Το τελευταίο δίδυμο (Κολωνάκι, Νέος Κόσμος) σχηματίζει χαμηλότερο «κατώφλι», παραμένοντας μεν αξιοσημείωτο, αλλά με μικρότερη προτεραιότητα σε σχέση με τις πρώτες θέσεις.

Υπενθυμίζεται ότι το σκορ TOPSIS εκφράζει την εγγύτητα στην ιδανική λύση στο $[0,1]$ η σχετική κατάταξη έχει μεγαλύτερη σημασία από την απόλυτη τιμή. Πρακτικά, ο σχεδιασμός προτεραιοτήτων θα ξεκινούσε από το Γουδί, θα εξέταζε αμέσως μετά το «δίδυμο» Εξάρχεια-Αμπελόκηποι, έπειτα τη συμπαγή μεσαία ομάδα (Ομόνοια-Ιλίσια) και τέλος τις γειτονιές με χαμηλότερο σκορ, πάντα με έλεγχο τοπικών περιορισμών (διαθεσιμότητα χώρου, δυνατότητα σύνδεσης δικτύου, αδειοδοτήσεις).

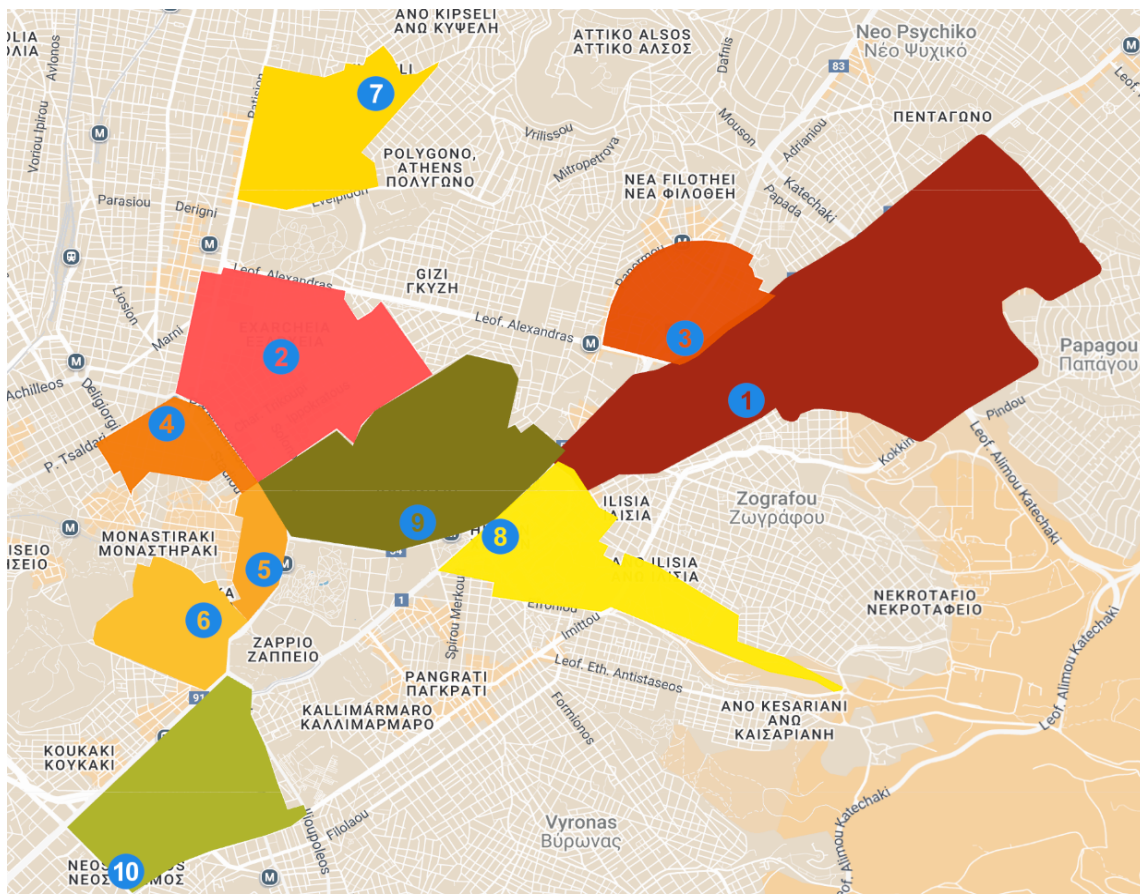
Παρατηρώντας τις κορυφαίες γειτονιές, διακρίνεται καθαρά μια διάκριση ανάμεσα στον «σκληρό» πυρήνα του ιστορικού κέντρου και στο περιμετρικό δαχτυλίδι γύρω του. Στο δεύτερο ανήκει το Γουδί, που αναδεικνύεται πρώτο: η υψηλή συγκέντρωση πανεπιστημιακών σχολών και μεγάλων μονάδων υγείας, σε συνδυασμό με περιορισμένες δυνατότητες ιδιωτικής στάθμευσης, δημιουργεί συνεχείς και προβλέψιμες ροές με μεγάλους χρόνους παραμονής-δηλαδή ένα προφίλ που «ευνοεί» τη ζήτηση φόρτισης. Στην ίδια λογική κινούνται και οι Αμπελόκηποι και, σε μικρότερο βαθμό, τα Ιλίσια: πυκνή μίξη χρήσεων, έντονη παρουσία υγειονομικών/εκπαιδευτικών δομών και καθημερινών υπηρεσιών.

Στον στενό πυρήνα, οι Ομόνοια και Σύνταγμα αποτυπώνουν την ισχυρή εμπορική και διοικητική δραστηριότητα, με μεγάλες ημερήσιες αιχμές. Η Πλάκα και το Κολωνάκι προσθέτουν το στοιχείο της αναψυχής και του πολιτισμού, ενώ σε αρκετά σημεία η τουριστική ζήτηση-μέσω υψηλής συγκέντρωσης καταλυμάτων-λειτουργεί ως ανεξάρτητος πολλαπλασιαστής των αναγκών φόρτισης, ακόμη κι όταν τα «καθημερινά» σημεία ενδιαφέροντος δεν είναι τόσο πυκνά.

Η Κυψέλη εμφανίζει ένα ενδιαμέσο, αλλά ιδιαίτερα ενδιαφέρον, προφίλ: πολύ υψηλή κατοικία, συνεχές λιανεμπόριο και υπηρεσίες γειτονιάς, με μεγάλα ωράρια λειτουργίας και σταθερά παράθυρα στάσης. Ο Νέος Κόσμος ακολουθεί με ανάλογη μίξη χρήσεων, όμως με ελαφρώς ηπιότερες κορυφώσεις σε σχέση με τον στενό πυρήνα.

Συνολικά, αναδεικνύονται δύο συμπληρωματικά πρότυπα προτεραιότητας: (α) το περιμετρικό δαχτυλίδι (Γουδί, Αμπελόκηποι, Ιλίσια), όπου επικρατούν υγεία-εκπαίδευση-καθημερινές υπηρεσίες και σπανίζει ο ιδιωτικός χώρος φόρτισης, παράγοντας σταθερή λειτουργική ζήτηση και (β) ο ιστορικός/εμπορικός πυρήνας (Ομόνοια, Σύνταγμα, Πλάκα, Κολωνάκι), όπου η εμπορική και τουριστική κινητικότητα δημιουργεί έντονες αιχμές. Η Κυψέλη και ο Νέος Κόσμος λειτουργούν ως «γέφυρες» ανάμεσα στα δύο πρότυπα. Ένας αποτελεσματικός σχεδιασμός νέων ΣΦΗΟ οφείλει να καλύψει και τις δύο λογικές: να υποστηρίξει τις καθημερινές ροές του δαχτυλιδιού και να θωρακίσει τον πυρήνα απέναντι στις υψηλές, συχνά τουριστικά ενισχυμένες, αιχμές.

Ακολουθεί απεικόνιση χάρτη με αριθμημένες τις γειτονιές (1-10) σύμφωνα με τη σειρά κατάταξης που προέκυψε από την ανάλυση TOPSIS. Η αρίθμηση διευκολύνει την άμεση ανάγνωση προτεραιοτήτων και της χωρικής κατανομής (συστάδες, γειτνιάσεις, αποστάσεις). Η χαρτογράφηση είναι περιγραφική -τα όρια είναι ενδεικτικά και στόχος είναι να δοθεί μια γρήγορη, συγκριτική εικόνα των περιοχών με τη μεγαλύτερη ανάγκη για νέες υποδομές φόρτισης.



Διάγραμμα 73 - Χαρτογράφηση των 10 υψηλότερων γειτονιών

Κεφάλαιο 8

8.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανέπτυξε ένα πλήρες, εφαρμόσιμο πλαίσιο πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων για τη χωροθέτηση δημοσίως προσβάσιμων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στον Δήμο Αθηναίων. Αφετηρία αποτέλεσε η ανάγκη να συνδεθεί ο σχεδιασμός των υποδομών με τον πραγματικό τρόπο που «χρησιμοποιείται» η πόλη: πού οι άνθρωποι παραμένουν αρκετή ώρα ώστε να αξίζει να φορτίσουν, πού συσσωρεύονται καθημερινές και τουριστικές ροές, πού υπάρχουν κενά κάλυψης. Για να το πετύχουμε, συλλέξαμε, καθαρίσαμε και ενοποιήσαμε δεδομένα από θεματικές πλατφόρμες και επίσημα μητρώα, γεωκωδικοποιήσαμε τις εγγραφές και δημιουργήσαμε ένα ενιαίο σύνολο πληροφοριών που περιλαμβάνει κρίσιμες κατηγορίες σημείων ενδιαφέροντος (υγεία, εκπαίδευση, λιαν εμπόριο, αναψυχή, στάθμευση κ.ά.) καθώς και ένδειξη τουριστικής έντασης μέσω καταλυμάτων. Στόχος ήταν να καταγραφεί όχι μόνο η «προσφορά» υφιστάμενων φορτιστών, αλλά κυρίως η «λειτουργική ζήτηση» που γεννά ο αστικός ιστός.

Η αξιολόγηση έγινε με τη μέθοδο TOPSIS, ώστε κάθε περιοχή να συγκρίνεται ως προς την εγγύτητά της σε μια ιδανική λύση που συνδυάζει υψηλές τιμές στα «ευνοϊκά» κριτήρια και χαμηλές στα «ανασταλτικά». Τα βάρη των κριτηρίων υπολογίστηκαν αντικειμενικά με Entropy, δηλαδή με βάση το πόση πληροφορία φέρει κάθε κριτήριο από τη διαφοροποίησή του στον χώρο. Η ανάλυση εφαρμόστηκε συνειδητά σε δύο κλίμακες -ταχυδρομικοί κώδικες και γειτονιές- ώστε να παραχθούν αποτελέσματα χρήσιμα τόσο για στρατηγικό προγραμματισμό όσο και για στοχευμένη υλοποίηση. Η διπλή κλίμακα αποδείχθηκε κρίσιμη: όταν τα ίδια συμπεράσματα επαναλαμβάνονται και στις δύο αναλύσεις, τότε η προτεραιότητα εδραζόταν σε στέρεη, πολυεπίπεδη τεκμηρίωση.

Τα βασικά ευρήματα έχουν σαφή χωρική λογική. Πρώτον, αναδείχθηκε μια «στεφάνη» γύρω από τον ιστορικό πυρήνα: αρκετές κορυφαίες θέσεις δεν βρίσκονται στο απόλυτο κέντρο, αλλά στον περιγύρω του, όπου η μίξη χρήσεων (υγεία, εκπαίδευση, τράπεζες, υπηρεσίες) είναι έντονη, οι χρόνοι παραμονής μεγάλοι και οι δυνατότητες ιδιωτικής στάθμευσης περιορισμένες. Δεύτερον, η τουριστική ένταση λειτουργεί ως ανεξάρτητος επιταχυντής ζήτησης γειτονιές με συγκέντρωση καταλυμάτων εμφανίζουν υψηλή προτεραιότητα ακόμη κι όταν τα «καθημερινά» σημεία ενδιαφέροντος είναι πιο αραιά, επειδή η συνεχής εναλλαγή επισκεπτών δημιουργεί πρόσθετες αιχμές. Τρίτον, όπου συνυπάρχουν οι δύο μηχανισμοί -σταθερές καθημερινές ροές και τουριστικές συγκεντρώσεις- η ανάγκη για νέους σταθμούς φόρτισης είναι εντονότερη και η αναμενόμενη αξιοποίησή τους υψηλή.

Αυτή η εικόνα μεταφράζεται σε σαφείς κατευθύνσεις σχεδιασμού. Χρειάζεται ένας βασικός κορμός υποδομών στους κόμβους καθημερινότητας (συμπλέγματα υγείας, εκπαιδευτικοί άξονες, περιοχές πυκνών τραπεζικών και εμπορικών υπηρεσιών), συμπληρωμένος από στοχευμένες παρεμβάσεις σε ζώνες τουριστικής έντασης, ώστε το δίκτυο να είναι αποδοτικό στις κανονικές ροές και ανθεκτικό στις εποχικές μεταβολές. Παράλληλα, η ανάλυση υποδεικνύει ότι οι πρώτες προτεραιότητες δεν ταυτίζονται πάντα με τον «σκληρό» πυρήνα του κέντρου, αλλά συχνά με τις περιοχές γύρω από αυτόν, όπου το κενό δημόσιας φόρτισης είναι μεγαλύτερο ενώ η ζήτηση στηρίζεται σε πραγματικούς χρόνους στάσης.

Ως προς τη μεθοδολογία, η εργασία απέδειξε ότι ένα διαφανές πλαίσιο MCDA μπορεί να μετατρέψει ετερογενή δεδομένα σε συνεκτική ιεράρχηση, έτοιμη να χρησιμοποιηθεί από υπηρεσίες σχεδιασμού. Η TOPSIS με βάρη Entropy προσφέρει αντικειμενική, επαναλήψιμη και

εύκολα επικοινωνήσιμη κατάταξη, ενώ η εργασία έδειξε πώς η ποιότητα των εισροών (καθαρισμός, γεωκωδικοποίηση, ομαδοποίηση) καθορίζει τη χρησιμότητα των εκροών. Η αποτύπωση σε δύο κλίμακες και η σύγκλιση των αποτελεσμάτων ενισχύουν την αξιοπιστία των συμπερασμάτων και επιτρέπουν να μεταφερθούν άμεσα σε χωρικά σχέδια ή πιλοτικές παρεμβάσεις.

Υπάρχουν, βεβαίως, όρια και φυσικές επεκτάσεις. Τα δεδομένα αντικατοπτρίζουν συγκεκριμένη χρονική περίοδο και ορισμένες κατηγορίες μεταβάλλονται εποχικά γι' αυτό προτείνεται επικαιροποίηση και χρονικοποίηση με σενάρια αιχμών. Χρήσιμος είναι επίσης ο εμπλουτισμός με τεχνικούς περιορισμούς (ισχύς και τύπος φορτιστών, χωρητικότητα δικτύου, δυνατότητα παραχώρησης χώρου στο οδόστρωμα) και με αναλύσεις ευαισθησίας στα βάρη. Τέλος, η διασύνδεση της κατάταξης με εκτιμήσεις κόστους-οφέλους και χρονοδιαγράμματα υλοποίησης θα μετατρέψει τη μεθοδολογία σε πλήρες εργαλείο λήψης αποφάσεων.

Συνοψίζοντας, η εργασία έδειξε πού «βγάζει νόημα» να τοποθετηθούν πρώτα νέοι φορτιστές: εκεί όπου οι πραγματικοί χρόνοι παραμονής είναι υψηλοί, οι καθημερινές και τουριστικές ροές συναντώνται, και τα κενά εξυπηρέτησης παραμένουν αισθητά. Με αυτό τον τρόπο, ο δήμος μπορεί να περάσει από τη συγκυριακή ανάπτυξη σημείων φόρτισης σε στοχευμένη, τεκμηριωμένη προτεραιοποίηση, μεγιστοποιώντας το κοινωνικό όφελος και τη χρηστικότητα του δικτύου για κατοίκους και επισκέπτες.

8.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Σε εξέλιξη της παρούσας εργασίας, το φυσικό επόμενο βήμα είναι η μετάβαση από μια «στιγμιότυπη» κατάταξη περιοχών σε ένα ζωντανό, προγνωστικό και επιχειρησιακό σύστημα λήψης αποφάσεων για τη χωροθέτηση και λειτουργία ΣΦΗΟ. Ο πρώτος άξονας αφορά τον εμπλουτισμό και την αυτοματοποίηση των δεδομένων: πέρα από σημεία ενδιαφέροντος και καταλύματα, να ενσωματωθούν δημογραφικά/εργασιακά προφίλ σε υψηλή χωρική ανάλυση, προβλέψεις υιοθέτησης EV ανά περιοχή και στόλο, πραγματικές συνεδρίες φόρτισης (συχνότητα, διάρκεια, SOC άφιξης), κινητικότητα O-D και εποχικότητα. Παράλληλα, ένας αγωγός ETL θα συλλέγει σε τακτική βάση νέες εγγραφές (PlugShare/MYH, κρατήσεις καταλυμάτων, ανοικτά δημοτικά δεδομένα, πραγματική πληρότητα φορτιστών), θα επανυπολογίζει μετασχηματισμούς/κανονικοποιήσεις, θα ενημερώνει τα βάρη Entropy και θα παράγει επικαιροποιημένες κατατάξεις. Τεχνικές ανίχνευσης μεταβολής προτύπων θα ειδοποιούν όταν το περιβάλλον «μετακινεί» τη βέλτιστη στρατηγική.

Για να συνδεθεί άμεσα με τις ανάγκες των φορέων, η παραπάνω μηχανή μπορεί να εκτεθεί μέσω διαδραστικού GIS: δυναμικοί χάρτες με σενάρια βαρών, επισκόπηση εκτιμώμενου κόστους σύνδεσης και χρόνων υλοποίησης, φίλτρα για ειδικά προγράμματα (π.χ. εξυπηρέτηση στόλων, τουριστική αιχμή), καθώς και «πίνακες επιχειρησιακής ετοιμότητας» ανά υποψήφιο σημείο. Οι δήμοι θα αντλούν τεκμηριωμένες προτάσεις για ΣΦΗΟ στα σχέδιά τους, οι διαχειριστές δικτύου θα βλέπουν αιχμές/περιθώρια και ιεράρχηση ενισχύσεων, ενώ οι πάροχοι θα αξιολογούν απόδοση επένδυσης με βάση πραγματικές καμπύλες ζήτησης. Πιλοτικές εγκαταστάσεις σε 2–3 αντιπροσωπευτικές περιοχές (περιμετρικό κέντρο, τουριστικός πυρήνας, ζώνη υπηρεσιών) θα τροφοδοτούν με μετρήσεις έναν κύκλο «σχεδιάζω–υλοποιώ–μετρώ–αναθεωρώ», βελτιώνοντας σταδιακά τις παραμέτρους του μοντέλου.

Τρίτος άξονας είναι η μετάβαση από την κατάταξη στη βελτιστοποίηση. Η TOPSIS παρέχει προτεραιότητες το επόμενο βήμα είναι να λυθεί ένα πρόβλημα χωροθέτησης υπό περιορισμούς προϋπολογισμού και τεχνικής σκοπιμότητας, με μοντέλα τύπου p-median, maximal covering ή ρομποστό/στοχαστικό προγραμματισμό. Έτσι, αντί να γνωρίζουμε απλώς «πού» είναι καλό να

επενδύσουμε, θα υπολογίζουμε και «πόσα» σημεία, «ποιας» ισχύος και «με ποια» ακολουθία υλοποίησης ώστε να ελαχιστοποιείται η μη εξυπηρετούμενη ζήτηση και να μεγιστοποιείται η κάλυψη.

Στο επόμενο στάδιο, η παρούσα μεθοδολογία μπορεί να «προϊόντοποιηθεί» ως υπηρεσία λήψης αποφάσεων για τους φορείς: ένα πλαίσιο που τεκμηριώνει ρητά τις επιλογές βαρών, εξηγεί τα trade-offs και παράγει για κάθε υποψήφιο σημείο ένα σύντομο «δελτίο απόφασης» με οφέλη, ρίσκα και εναλλακτικές. Η αξία εδώ δεν βρίσκεται σε νέα δεδομένα ή πιο περίπλοκους αλγορίθμους, αλλά στη διαφάνεια, την επαναληψιμότητα και τη δυνατότητα συν-διαμόρφωσης με τους εμπλεκόμενους. Καθιερώνεται ετήσιος κύκλος αναθεώρησης με έκθεση προτεραιοτήτων, σύνολο δεικτών αποτελέσματος και κανόνες ίσης μεταχείρισης, ώστε το εργαλείο να λειτουργεί ως κοινή «γλώσσα» σχεδιασμού και λογοδοσίας.

Βιβλιογραφία

- [1] European Environment Agency. (n.d.). Transport and mobility. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/transport-and-mobility>
- [2] European Automobile Manufacturers' Association. (2025, July). New car registrations -1.9% in H1 2025; battery-electric: 15.6% market share. ACEA. <https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-1-9-in-h1-2025-battery-electric-15-6-market-share>
- [3] European Automobile Manufacturers' Association. (2025, August). New car registrations -0.7% in July 2025 year-to-date; battery-electric: 15.6% market share. ACEA. <https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-0-7-in-july-2025-year-to-date-battery-electric-15-6-market-share>
- [4] U.S. Department of Energy. (n.d.). Timeline: History of the electric car. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/timeline-history-electric-car>
- [5] National High Magnetic Field Laboratory. (n.d.). Planté battery (1859). National MagLab. <https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/plante-battery-1859>
- [6] European Commission. (2024). Alternative fuels infrastructure. European Commission. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure_en
- [7] European Commission. (2025, April 11). Commission enhances interoperability and transparency of alternative fuels infrastructure data. European Commission. https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-enhances-interoperability-and-transparency-alternative-fuels-infrastructure-data-2025-04-11_en
- [8] EVStats. (n.d.). EVStats Greece. EVStats. <https://www.evstats.gr/en>
- [9] Versinetic. (n.d.). EV charging connector types: The complete guide. Versinetic. <https://www.versinetic.com/news-blog/ev-charging-connector-types-guide>
- [9],[11] [13] International Energy Agency. (2023). Global EV outlook 2023. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- [10] Statista. (2023). Global lithium-ion battery pack costs from 2011 to 2030 (in U.S. dollars per kilowatt hour). Statista. <https://www.statista.com/statistics/883118/global-lithium-ion-battery-pack-costs/>
- [12] Tesla, Inc. (n.d.). Impact report. Tesla. <https://www.tesla.com/impact>
- [14] Battery University. (n.d.). BU-205: Types of lithium-ion. Cadex Electronics. <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>
- [15] EV Database. (n.d.). Electric vehicle database. EV Database. <https://ev-database.org/>
- [16] Tesla, Inc. (n.d.). Supercharger. Tesla. <https://www.tesla.com/support/charging/supercharger>
- [17] InsideEVs. (2020, September 27). Polestar 2 DC fast charging test: Peak at 150 kW. InsideEVs. <https://insideevs.com/news/446844/polestar2-dc-charging-test-peak-150-kw/>
- [18] International Council on Clean Transportation. (2024). EEA-OEM briefing (ID-102). ICCT. https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/02/ID-102-%E2%80%93-EEA-OEM-briefing_final.pdf
- [19] BloombergNEF. (2023). Lithium-ion battery pack prices hit record low of \$139/kWh. BloombergNEF. <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh>
- [20] European Parliament & Council of the European Union. (2018). Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32018L2001>
- [21] European Commission. (2021). Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. European Commission. http://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en
- [22] Springel, K. (2021). Network externality and subsidy structure in two-sided markets: Evidence from electric vehicle incentives. National Bureau of Economic Research (Working Paper No. 29093). https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29093/w29093.pdf
- [23] Arefin, A. A., Meraj, S. T., Lipu, M. H., Rahman, M. S., Rahman, T., Hasan, K., ... & Muttaqi, K. M. (2025). Societal, environmental, and economic impacts of electric vehicles towards achieving sustainable development goals. Results in Engineering, 107060.
- [24] Li, M., Sun, X., & Liu, X. (2024). A comparative study on optimization of electric vehicle charging scheduling. Applied Energy, 370, 121013. <https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v370y2024ics0306261924007505.html>
- [25] Zhang, Y., Wang, L., & Chen, J. (2024). Advances in lithium battery recycling for electric vehicles. Energy Reports, 10, 1543–1562. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671124003620>
- [26] International Energy Agency. (2024). Global EV outlook 2024. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
- [27] Li, W., Zhang, H., & Yang, F. (2024). Charging infrastructure planning for electric vehicles: Review and outlook. Applied Energy, 370, 121045. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261924007505>
- [28] Ziegler, M. S., & Trancik, J. E. (2019). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. Nature Energy, 4(4), 216–222. <https://www.nature.com/articles/s41560-019-0400-1>

- [29] Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., ... & Anderson, P. (2020). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Joule*, 4(3), 509–529. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123020300151>
- [30] Mizushima, K., Jones, P. C., Wiseman, P. J., & Goodenough, J. B. (1980). Li_xCoO_2 ($0 < x \leq 1$): A new cathode material for batteries of high energy density. *Materials Research Bulletin*, 15(6), 783–789. <https://www.nature.com/articles/35104644>
- [31] Goodenough, J. B., & Kim, Y. (2010). Challenges for rechargeable Li batteries. *Advanced Functional Materials*, 20(3), 387–399. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.201200691>
- [32] International Energy Agency. (2019). Energy storage and renewables: Integration and enabling technologies. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-storage-and-renewables-integration>
- [33] International Renewable Energy Agency. (2019). Innovation outlook: Smart charging for electric vehicles. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2019/May/Innovation-Outlook-Smart-Charging>
- [34] Kempton, W., & Tomić, J. (2005). Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 144(1), 280–294. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775304007123>
- [35] European Parliament & Council of the European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/1804 on the deployment of alternative fuels infrastructure. *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj/eng>
- [36] McKinsey & Company. (2019). The future of mobility is at our doorstep. McKinsey Sustainability Insights. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-future-of-mobility-is-at-our-doorstep>
- [37] European Parliament & Council of the European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/851 on the reduction of fluorinated greenhouse gases. *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/851/oj/eng>
- [38] European Commission. (2024). EU customs union: Major trading partners. Taxation and Customs Union. https://taxation-customs.ec.europa.eu/customs/eu-customs-union-facts-and-figures/eu-customs-union-major-trading-partner_en
- [39] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (n.d.). Κινούμαι Ηλεκτρικά 2. <https://kinoumeilektrika2.gov.gr>
- [40] Government of Norway. (2024, November 29). Notification: Prolongation of VAT benefits for battery-electric passenger vehicles. Ministry of Finance. <https://www.regjeringen.no/contentassets/48c034b961c64d009eab5470dd565985/notification-prolongation-of-vat-benefits-for-battery-electric-passenger-vehicles-pdf-29.11.2024.pdf>
- [41] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (n.d.). Συχνές Ερωτήσεις – Κινούμαι Ηλεκτρικά 2. <https://kinoumeilektrika2.gov.gr/faqs.html>
- [42] GetElectric. (2025, April). Ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα – Απρίλιος 2025. <https://getelectric.gr/taxinomiseis-ilektrikon-aytokiniton-stin-ellada-aprilios-2025>
- [43] International Transport Forum & OECD. (2023). Advancing sustainable mobility: Greece electric vehicles report. ITF-OECD. https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/advancing_sustainable_mobility-greece-ev_full_el.pdf
- [44] AutoTriti. (2025, April). Τέλος ταξινόμησης: Τι γλιτώνουν υβριδικά & ηλεκτρικά – Ποιοι απαλλάσσονται. https://www.autotriti.gr/data/news/preview_news/Telos-taksinomhshs-Ti-glitwnoun-ybridika-hlektrika-Poioi-apallassontai_270797.asp
- [45] Insider.gr. (2025, May). Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα: Πολιτικές και προοπτικές για το μέλλον. <https://www.insider.gr/sustainability/358184/ilektrokinisi-stin-ellada-politikes-kai-prooptikes-gia-mellon>
- [46] EVStats. (n.d.). EVStats Greece. <https://evstats.gr>
- [47] GetElectric. (2025, June). Ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα – Ιούνιος 2025. <https://getelectric.gr/taxinomiseis-ilektrikon-aftokiniton-stin-ellada-iounios-2025>
- [48] Greece in Figures. (2025). Ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα. <https://www.greeceinfigures.com/ilektrika-autokinita>
- [49] Metafores Press. (2024). Η πορεία της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα. <https://www.metaforespress.gr/taxografos/%CE%B7-%CF%80%CE%BF%CF%81%CE%B5%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC/>
- [50] International Transport Forum & OECD. (2023). Advancing sustainable mobility: Greece electric vehicles report. ITF-OECD. https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/advancing_sustainable_mobility-greece-ev_full_el.pdf
- [51] Ελληνική Δημοκρατία. (2020). Νόμος 4710/2020 – Προώθηση της ηλεκτροκίνησης. Κωδικοποίηση Νομοθεσίας. <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/633619/nomos-4710-2020>
- [53] European Environment Agency. (2024). New registrations of electric vehicles. EEA. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>
- [54] European Alternative Fuels Observatory. (2024). Greece EV and PHEV sales soar 36%. EAFO. <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/news/greece-ev-and-phev-sales-soar-36-2024>
- [55] European Automobile Manufacturers' Association. (2025, July). Press release: Car registrations July 2025. ACEA. https://www.acea.auto/files/Press_release_car_registrations_July_2025.pdf
- [56] Focus2Move. (2025). Greek cars market. <https://www.focus2move.com/greek-cars-market>

- [57] Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (n.d.). Χάρτης σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Ηλεκτροκίνηση. <https://electrokinisi.yme.gov.gr/public/ChargingPoints>
- [58] European Parliament & Council of the European Union. (2014). Directive 2014/94/EU on the deployment of alternative fuels infrastructure. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32014L0094>
- [59] European Automobile Manufacturers' Association. (2023). Charging ahead: Accelerating the roll-out of EU electric vehicle charging infrastructure. ACEA. https://www.acea.auto/files/Charging_ahead-Accelerating_the_roll-out_of_EU_electric_vehicle_charging_infrastructure.pdf
- [60] European Investment Bank. (2025, September 25). EIB invests EUR 17.5 million under InvestEU to expand electric vehicle charging network in Greece and Cyprus. EIB Press Release. <https://www.eib.org/en/press/all/2025-325-eib-invests-eur17-5-million-under-investeu-to-expand-electric-vehicle-charging-network-in-greece-and-cyprus>
- [61] European Alternative Fuels Observatory. (2025). Greece – Road transport overview. EAFO. <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/greece>
- [62] Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2025). Φορτίζω Παντού. <https://fortizopantou.gov.gr>
- [63] EVnow. (2025, March). Φορτίζω Παντού: Εγκατάσταση 4.500 σημείων με 80 εκατ. από το ΤΑΑ. <https://evnow.gr/fortizo-pantou-egkatastasi-4500-simeion-me-80-ekat-apo-to-taa/>
- [64] European Commission. (2023). Greece: Draft updated National Energy and Climate Plan 2021–2030. European Commission. https://commission.europa.eu/publications/greece-draft-updated-necp-2021-2030_en
- [65] Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας. (2024, September 15). Υπόμνημα ΕΛΕΤΑΕΝ για το ΕΣΕΚ. ΕΛΕΤΑΕΝ. <https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2024/09/2024-09-15-ipomnima-eletaen-esek.pdf>
- [66] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. (2024, March). Δεκαετής Πρόγραμμα Ανάπτυξης 2025–2034 (ΔΠΑ). ΑΔΜΗΕ. <https://www.admie.gr/sites/default/files/diaboyleyseis/attached-files2024/03/%CE%94%CE%A0%CE%91%202025-2034%20%CE%9A%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%BF%20%CE%A4%CE%B5%CF%85%CF%87%CE%BF%CF%82.pdf>
- [67] GreenBusiness.gr. (2024, November). Πλάνο έως το 2029 για την ηλεκτροδότηση των νησιών με ΑΠΕ και διασυνδέσεις. <https://greenbusiness.gr/green-business/13675/plano-eos-to-2029-gia-tin-ilektrodotisi-ton-nision-me-ape-kai-diasyndeseis>
- [68] European Parliament & Council of the European Union. (2019). Regulation (EU) 2019/631 setting CO₂ emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/631/oj/eng>
- [69] Ινστιτούτο ΣΕΤΕ. (2025, May). Tourism and the Greek economy 2023–2024. INSET. https://insete.gr/wp-content/uploads/2025/05/25_05_Tourism_and_Greek_Economy_2023-2024-1.pdf
- [70] Δήμος Αθηναίων. (2023, June). Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (ΣΒΑΚ) Δήμου Αθηναίων 2021. City of Athens. <https://www.cityofathens.gr/wp-content/uploads/2023/06/svak-dimou-athinaion-2021.pdf>
- [71] ΔΕΔΔΗΕ. (2025, April). Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2024–2028 (ΣΑΔ). ΔΕΔΔΗΕ. https://www.deddie.gr/wp-content/uploads/2025/04/%CF%83%CE%B1%CE%B4-2024-2028-%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%87%CE%BF%CF%82_2_7_2_4.pdf
- [72] PlugShare. (n.d.). PlugShare: EV charging station map. <https://www.plugshare.com/>
- [73] Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (n.d.). Χάρτης σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Ηλεκτροκίνηση. <https://electrokinisi.yme.gov.gr/public/ChargingPoints/>
- [74] Google. (n.d.). Google Maps APIs. Google Cloud Console. <https://console.cloud.google.com/google/maps-apis/home;onboard=true?project=psychic-upgrade-470815-j4>
- [75] Vrisko.gr. (n.d.). Vrisko.gr – Επαγγελματικός κατάλογος. <http://www.vrisko.gr>
- [76] Booking.com. (n.d.). Booking.com: Hotels, apartments & travel deals. <http://www.booking.com>
- [77] Saaty, T. L. (1990). The Analytic Hierarchy Process. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>
- [78] Pinedo, M., & Chao, X. (2003). Operations scheduling with applications in manufacturing and services. European Journal of Operational Research, 149(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00369-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00369-2)
- [79] Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174084>
- [80] Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2004). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8(5), 481–492. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
- [81] Boyle, G. (2009). Renewable energy: Power for a sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6–7), 1373–1380. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.05.007>
- [82] Banar, M., Cokaygil, Z., & Ozkan, A. (2005). Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. Waste Management, 26(11), 1209–1215. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.002>
- [83] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill. https://books.google.gr/books/about/The_Analytic_Hierarchy_Process.html?id=Xxi7AAAAIAAJ
- [84] Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). A preference ranking organisation method. Management Science, 31(6), 647–656. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00134132>

- [85] Ehrgott, M., & Gandibleux, X. (2003). Multiobjective combinatorial optimization—Theory, methodology, and applications. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 495–516. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221703000201>
- [86] Saaty, T. L. (1985). Decision making for leaders: The analytic hierarchy process for decisions in a complex world. *Management Science*, 31(6), 647–657. <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.31.6.647>
- [87] Greco, S., Ehrgott, M., & Figueira, J. R. (2016). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (2nd ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-48318-9>
- [88] Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. SAGE Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/multiple-attribute-decision-making/book4997>
- [89] Chen, T. Y., & Wang, H. (2012). Fuzzy multi-criteria decision-making approach for selecting a flexible manufacturing system. *Expert Systems with Applications*, 39(10), 8899–8910. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417412007725>
- [90] Alavi, S., & Hadian, H. (2024). Renewable energy and sustainability: Perspectives on global transition. *Energies*, 17(14), 3452. <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/14/3452>
- [91] Ren, J., & Sovacool, B. K. (2018). Quantifying and evaluating synergies of multiple energy system transitions. *Energy*, 163, 1017–1031. <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v163y2018icp1017-1031.html>
- [92] Govindan, K., & Jepsen, M. B. (2013). Electromobility in Europe: A critical review of recent developments and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 40, 42–49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261300437X>
- [93] Sovacool, B. K., Axsen, J., & Sorrell, S. (2017). Promoting electric vehicles: Lessons from Norway. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 216–232. <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v71y2017icp216-256.html>