



---

## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

---

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ  
ΥΠΟΔΟΜΗΣ

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Παράγοντες που επηρεάζουν την λήψη απόφασης για  
εγκατάσταση ταχυφορτιστών σε ιδιωτικούς χώρους  
στάθμευσης*

**Βλάχος Α. Γεώργιος**

Επιβλέπων: Γκιτσιάλιτης Κωνσταντίνος, Επίκ. Καθηγητής  
Ε.Μ.Π.



Αθήνα, Οκτώβριος 2024



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους καθηγητές μου για την αμέριστη υποστήριξη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Ειδικότερα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γκιτσιάλιτη Κωνσταντίνο, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις διορατικές παρατηρήσεις και τις εποικοδομητικές συμβουλές του. Η βοήθειά του ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Επιπλέον, θερμές ευχαριστίες οφείλω στον Αθανάσιο Κοψιδά, Ερευνητή του ΕΜΠ, καθώς στάθηκε δίπλα μου από την πρώτη στιγμή, βοηθώντας με χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Οι συμβουλές και οι κατευθύνσεις που μου προσέφερε ήταν πολύτιμες και με βοήθησαν να κατανοήσω και να αντιμετωπίσω τις προκλήσεις της έρευνάς μου. Η συνεχής του υποστήριξη και η προθυμία του να μοιραστεί τις γνώσεις του ήταν καθοριστικές για την πορεία μου προς την επίτευξη των στόχων μου.

Είμαι ευγνώμων για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν όλοι οι καθηγητές μου, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσαν να μάθω και να αναπτύξω τις ικανότητές μου. Οι συμβουλές και η συνεχής τους υποστήριξη έχουν αφήσει μια βαθιά εντύπωση σε μένα και θα τους είμαι ευγνώμων για πάντα.

Τέλος θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη και την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Επιπλέον ευχαριστώ όλους τους συμμετέχοντες στην έρευνα για τον πολύτιμο χρόνο τους και τη συνεισφορά τους στα δεδομένα της μελέτης μου. Χωρίς τη βοήθειά τους, αυτή η εργασία δεν θα ήταν εφικτή.

Γεώργιος Βλάχος

Οκτώβριος, 2024

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο σύγχρονο κοινωνικό πλαίσιο, οι ραγδαίες εξελίξεις σε διάφορους τομείς καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για βιώσιμη κινητικότητα και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Με την ταχύτατη πρόοδο της τεχνολογίας και την αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρικά οχήματα, οι ταχυφορτιστές αναδεικνύονται ως αναγκαίοι για την εξασφάλιση γρήγορης και εύκολης πρόσβασης σε φόρτιση, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και διευκολύνοντας την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η ανάπτυξη ενός εκτεταμένου δικτύου ταχυφορτιστών είναι κεντρικής σημασίας για τη βιώσιμη και πράσινη μεταφορά. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην έρευνα και συλλογή πληροφοριών σχετικά με την εγκατάσταση ταχυφορτιστών σε ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης, με τη χρήση κατάλληλων μοντέλων στατιστικής ανάλυσης. Η ανάλυση στηρίχθηκε σε δεδομένα από 242 έγκυρα ερωτηματολόγια, που συλλέχθηκαν κυρίως ηλεκτρονικά. Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι το 60% των συμμετεχόντων εκφράζει θετική στάση απέναντι στην ηλεκτροκίνηση, με σημαντική διάθεση να υιοθετήσει ηλεκτρικό όχημα. Επίσης, το 70% των συμμετεχόντων δήλωσε ότι οι επιδοτήσεις για την εγκατάσταση ταχυφορτιστών θα ενίσχυαν την απόφασή τους να επενδύσουν σε αυτούς. Παρά τις θετικές προθέσεις, οι συμμετέχοντες εκφράζουν ανησυχίες σχετικά με το κόστος εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα αυτά υπογραμμίζουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα προκειμένου να διασταυρωθεί η αξιοπιστία των ευρημάτων και να εξαχθούν πιο ολοκληρωμένα συμπεράσματα.

*Λέξεις-κλειδιά:* Βιώσιμη κινητικότητα, Ταχυφορτιστές, Ηλεκτρικά οχήματα, Περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

## **ABSTRACT**

In today's societal context, rapid developments in various sectors make the need for sustainable mobility and the reduction of the environmental footprint imperative. With the rapid advancement of technology and the growing demand for electric vehicles, fast chargers are emerging as necessary to ensure quick and easy access to charging, boosting consumer confidence and facilitating the adoption of electric vehicles. The development of an extensive network of fast chargers is central to sustainable and green transport. This thesis aims to research and collect information on the installation of fast chargers in private parking lots, using appropriate statistical analysis models. The analysis was based on data from 242 valid questionnaires, mainly collected electronically. The findings show that 60% of the participants expressed positive attitudes towards electromobility, with a significant willingness to adopt an electric vehicle. Also, 70% of participants stated that subsidies for the installation of fast chargers would strengthen their decision to invest in them. Despite positive intentions, participants expressed concerns about the cost of installation. These results highlight the need for further research to cross-check the reliability of the findings and draw more comprehensive conclusions.

*Keywords:* Sustainable mobility, Fast chargers, Electric vehicles, Environmental sustainability.

# Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ABSTRACT .....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Γενικά στοιχεία.....	12
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	16
1.3 Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας .....	16
1.4 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	16
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Τρόποι φόρτισης και συνδέσεις.....	19
2.3 Σύνοψη και συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης.....	38
3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	41
3.1 Εισαγωγή.....	41
3.2 Εργαλεία έρευνας.....	41
3.3 Δομή ερωτηματολογίου .....	41
3.4 Διανομή ερωτηματολογίων και συλλογή απαντήσεων .....	42
3.5 Κατανομή απαντήσεων ερωτηματολογίων .....	43
3.5.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά .....	43
3.5.2 Χαρακτηριστικά χρήσης ΙΧ .....	49
3.5.3 Χρήση ταχυφορτιστή .....	53
3.6 Συμπεράσματα από τις απαντήσεις της έρευνας.....	60
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	61
4.1 Εισαγωγή.....	61
4.2 Θεωρητικό υπόβαθρο .....	61
4.2.1 Θεωρητική ανάπτυξη μοντέλου.....	61
4.2.2 Λογιστική παλινδρόμηση.....	63
4.3 Μέθοδοι επιλογής, προσαρμογής και αξιολόγησης του μοντέλου.....	65
4.3.1 Μέθοδος επιλογής των ανεξάρτητων μεταβλητών .....	66
4.3.2 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου.....	66
4.4 Βάση δεδομένων .....	67
4.5 Μαθηματικά μοντέλα.....	67
4.5.1 Ενδιαφέρον για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή (5βαθμη εξαρτημένη με δημογραφικά) .....	69

4.5.2 Ενδιαφέρον για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή (Διχτομική εξαρτημένη χωρίς δημογραφικά).....	71
4.6 Αποτελέσματα και συζήτηση .....	74
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	78
5.1 Συμπεράσματα εργασίας.....	78
5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Επισκόπηση της υποδομής φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα (EV) (Alrubaie et al., 2023) .....	15
Εικόνα 2: Διάφοροι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων.....	19
Εικόνα 3: Τρόποι φόρτισης σε διαφορετικά επίπεδα (Pal et al., 2021).....	19
Εικόνα 4: Πρότυπα και πρωτόκολλα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (Pal et al., 2021).....	23
Εικόνα 5: Τα συστήματα φόρτισης EV ταξινομούνται σε διαφορετικές στρατηγικές έλεγχου. ....	26
Εικόνα 6: Ένα σύστημα φόρτισης EV με αποκεντρωμένο και κεντρικό έλεγχο. ....	28
Εικόνα 7: Μεταβολές ρεύματος και τάσης κατά τη φόρτιση CC-CV (Pal et al., 2021).....	30
Εικόνα 8: Σύστημα σύγκλισης δικτύου ηλεκτρικών οχημάτων (Pal et al., 2021) .....	33

## Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1: Κατανομή φύλου συμμετεχόντων στην έρευνα.....	44
Διάγραμμα 3.2: Κατανομή ηλικιών.....	44
Διάγραμμα 3.3: Κατανομή επαγγέλματος συμμετεχόντων.....	45
Διάγραμμα 3.4: Κατανομή εκπαιδευτικού επιπέδου.....	46
Διάγραμμα 3.5: Κατανομή οικογενειακής κατάστασης.....	46
Διάγραμμα 3.6: Κατανομή μεγέθους νοικοκυριού.....	47
Διάγραμμα 3.7: Κατανομή περιοχής κατοικίας.....	48
Διάγραμμα 3.8: Κατανομή ετήσιου εισοδήματος.....	48
Διάγραμμα 3.9: Κατανομή τύπου κατοικίας.....	49
Διάγραμμα 3.10: Κατανομή ιδιοκτησιακού καθεστώτος τύπου κατοικίας.....	49
Διάγραμμα 3.11: Κατανομή διαθεσιμότητας ΙΧ.....	50
Διάγραμμα 3.12: Κατανομή πρόσβασης ΙΧ από άλλα άτομα πέραν του ερωτώμενου.....	50
Διάγραμμα 3.13: Κατανομή τύπου ΙΧ.....	51
Διάγραμμα 3.14: Κατανομή εβδομαδιαίας συχνότητας χρήσης ΙΧ.....	51
Διάγραμμα 3.15: Κατανομή σκοπού κύριας μετακίνησης.....	52
Διάγραμμα 3.16: Κατανομή κύριου χώρου στάθμευσης.....	52
Διάγραμμα 3.17: Κατανομή μέσου ημερήσιου χρόνου οδήγησης.....	53
Διάγραμμα 3.18: Κατανομή μέσου χρόνου κύριας μετακίνησης.....	53
Διάγραμμα 3.19: Κατανομή διαθεσιμότητας ταχυφορτιστή.....	54
Διάγραμμα 3.20: Κατανομή απόψεων για την ταχυφόρτιση.....	55
Διάγραμμα 3.21: Κατανομή μέγιστου ποσού επιδότησης που θα επιθυμούσαν οι συμμετέχοντες για την εγκατάσταση του ταχυφορτιστή .....	55
Διάγραμμα 3.22: Κατανομή απαντήσεων σχετικά με τον διαμοιρασμό του κόστους εγκατάστασης ταχυφορτιστή.....	56
Διάγραμμα 3.23: Κατανομή βαθμού ενδιαφέροντος των ερωτώμενων για τη συμμετοχή στο πρόγραμμα επιδοτήσεων.....	57
Διάγραμμα 3.24: Κατανομή ελάχιστου ποσού επιδότησης που θα επιθυμούσαν οι ερωτώμενοι για εγκατάσταση ταχυφορτιστή .....	57
Διάγραμμα 3.25: Κατανομή μεγέθους χώρου για εγκατάσταση ταχυφορτιστή.....	58



Διάγραμμα 3.26: Κατανομή απαντήσεων σχετικά με την προοπτική της ηλεκτροκίνησης.....	58
Διάγραμμα 3.27: Κατανομή πιθανότητας αγοράς ηλεκτρικού ΙΧ εντός διετίας.....	59
Διάγραμμα 3.28: Κατανομή απαντήσεων σχετικά με τα πλεονεκτήματα της ταχυφόρτησης .....	59
Διάγραμμα 4.1: Τυπική Ανάπτυξη σιγμοειδούς καμπύλης.....	63
Διάγραμμα 4.2: Γραμμική Παλινδρόμηση (Βικιπαίδεια).....	67

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 4.1: Περιγραφή μεταβλητών.....	68
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα μοντέλου με δημογραφικές ανεξάρτητες μεταβλητές.....	69
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα μοντέλου χωρίς δημογραφικές ανεξάρτητες μεταβλητές.....	72

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αυξανόμενη ζήτηση για συμβατικές πηγές ενέργειας έχει οδηγήσει σε διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι διαθέσιμοι πόροι μειώνονται συνεχώς και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αυξάνονται, συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην ανεπιθύμητη υπερθέρμανση του πλανήτη (Wang and Cheng, 2020). Ωστόσο, μετά τη Συμφωνία των Παρισίων, πολλές χώρες δεσμεύτηκαν να περιορίσουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας (Saerbeck et al., 2020). Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, αναπτύχθηκαν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σχετικές τεχνολογίες. Παρά την τεχνολογική πρόοδο που έχει μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών, περίπου το ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών εξακολουθεί να προέρχεται από αυτόν τον τομέα (Naroli et al., 2019). Σύμφωνα με στατιστικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν το 2010, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του πληθυσμού και η μεταφορά αγαθών θα οδηγήσουν σε επέκταση του τομέα των μεταφορών κατά 77% μέχρι το 2055. Απόρροια των παραπάνω λόγων, είναι η έρευνα και η υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Η τρέχουσα πρόκληση με την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η θεωρία της "κότας ή του αυγού" (Greene et al., 2020). Στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs), αυτή η θεωρία υποδηλώνει μια αλληλεξάρτηση μεταξύ της ανάπτυξης της υποδομής φόρτισης και της ευρείας υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπρόσθετα, τα ηλεκτρικά οχήματα, που εκπέμπουν ελάχιστους ή καθόλου ρύπους και κάνουν πολύ λίγο θόρυβο, συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και στη βελτίωση του περιβάλλοντος διαβίωσης (Guo and Zhao, 2015; Sanchez-Sutil et al., 2015; Abid et al., 2022; Chakir et al., 2022; Huang et al., 2022; Lan et al., 2022; Soares et al., 2022;). Ως αποτέλεσμα αυτής της στροφής προς οχήματα μηδενικών εκπομπών, η αυτοκινητοβιομηχανία προσανατολίζεται στην παραγωγή τέτοιων οχημάτων (Domínguez-Navarro et al., 2019; Bräunl et al., 2020). Συγκεκριμένα το 2019, προστέθηκαν περίπου ενάμισι εκατομμύριο νέα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) στον παγκόσμιο στόλο, με συνολικά περίπου 4,8 εκατομμύρια BEV να είναι σε χρήση παγκοσμίως (Martins et al., 2021).

## 1.1 Γενικά στοιχεία

Οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, όταν τοποθετούνται σε στρατηγικές τοποθεσίες, είναι κρίσιμοι για την παροχή οικονομικής και καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας, προερχόμενης από το δίκτυο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, διευκολύνοντας έτσι την ευρύτερη υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (Sathaye and Kelley, 2013, Alhazmi et al., 2017). Επομένως, η δημιουργία ενός κατάλληλου δικτύου σταθμών φόρτισης θα συμβάλει στην άμβλυνση του άγχους των ιδιοκτητών γύρω από τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, επιτρέποντας στα ηλεκτροκίνητα οχήματα να ανταγωνιστούν τους κινητήρες εσωτερικής καύσης όσον αφορά τις επιδόσεις τους (Clemente et al., 2014). Επιπρόσθετα, το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων οφείλει να αυξηθεί, προκειμένου να δοθεί έμφαση στις συνεχείς βελτιώσεις της τεχνολογίας επαναφόρτισης. Μια κατάλληλη υποδομή φόρτισης που εγγυάται την επιτυχή ολοκλήρωση του ταξιδιού χωρίς ή με ελάχιστες καθυστερήσεις στο χρόνο φόρτισης αναμένεται με ανυπομονησία από τους καταναλωτές. Παράλληλα, οι επενδυτές περιμένουν να κυκλοφορήσουν αρκετά ηλεκτρικά οχήματα στους δρόμους για να καταστεί κερδοφόρα η επιχείρηση υποδομών φόρτισης. Ωστόσο, η πλειοψηφία των ενδιαφερόμενων αμφιταλαντεύονται για το ποια είναι η καλύτερη επιλογή για τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων: η ταχεία φόρτιση ή η έξυπνη φόρτιση. Η ταχεία φόρτιση αποτελεί τη διαδικασία φόρτισης με υψηλή ισχύ, επιτρέποντας στο χρήστη την άμεση αναπλήρωση της μπαταρίας σε σημαντικά μικρότερο χρόνο από τη συμβατική φόρτιση. Από την άλλη, η έξυπνη φόρτιση χρησιμοποιεί τεχνολογίες και συστήματα που βελτιστοποιούν τη διαδικασία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) με στόχο την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, τη μείωση του κόστους και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αν και οι δύο αυτές μέθοδοι φόρτισης διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους, μοιράζονται κάποια κοινά στοιχεία που αφορούν κυρίως την τεχνολογία με την οποία θα αναπτυχθούν.

Ένα από τα χαρακτηριστικά προβλήματα της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η έλλειψη μπαταριών σε προσιτές τιμές που να μπορούν να αποθηκεύουν αρκετή ενέργεια για πιο παρατεταμένο χρονικό διάστημα, ώστε να βελτιώσουν την εμβέλεια των EV. Αυτός είναι ένας άλλος ουσιαστικός παράγοντας που επηρεάζει την υιοθέτηση των EV (Benysek and Jarnut, 2012, Nie and Ghamami, 2013, Ghosh, 2020). Επομένως, οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS)

αποτελούν βασικό στοιχείο της υποδομής που υποστηρίζει την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η ιδανική τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και ο αντίκτυπος των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα διανομής αποτελεί καίριο ερευνητικό θέμα (Lam et al., 2014).

Οι κατηγορίες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελούνται από τρεις ομάδες:

- το Επίπεδο 1, το οποίο χρησιμοποιεί τυπικές οικιακές πρίζες και έχει αργό χρόνο φόρτισης,
- το Επίπεδο 2, το οποίο χρησιμοποιεί ειδικές πρίζες και έχει μέτριο χρόνο φόρτισης,
- και η Γρήγορη Φόρτιση DC (Επίπεδο 3), η οποία χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα και επιτυγχάνει γρήγορη φόρτιση.

Οι διαφορετικοί τύποι συνδέσεων περιλαμβάνουν τα πρότυπα CHAdeMO, CCS, Tesla Supercharger, Type 1 (SAE J1772) και Type 2 (Mennekes), καλύπτοντας διάφορες ανάγκες και περιοχές (Pal et al., 2021).

Η έξυπνη φόρτιση, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι μια καινοτομία που βελτιστοποιεί τη διαδικασία φόρτισης μέσω της διαχείρισης φορτίου, της δυναμικής τιμολόγησης και της τεχνολογίας Vehicle-to-Grid (V2G), η οποία επιτρέπει στα οχήματα να επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο. Παρά τα πλεονεκτήματα, όπως η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και η καλύτερη ενεργειακή απόδοση, υπάρχουν προκλήσεις όπως η ανάγκη για εκτεταμένη υποδομή φόρτισης, η ανισορροπία στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας, και το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Οι σταθμοί φόρτισης EVCS είναι κρίσιμοι για την επιτυχή υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, υποστηρίζοντας τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

Επί του παρόντος, τρεις επαναστάσεις βρίσκονται σε εξέλιξη στον τομέα των μεταφορών: αυτόνομα οχήματα, κοινόχρηστη κινητικότητα και ηλεκτροκίνηση. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός της υποδομής φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτεί να ληφθούν υπόψη οι συνέργειες και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των τριών επαναστάσεων που βρίσκονται σε έξαρση. Σε απάντηση στην αύξηση της υιοθέτησης ηλεκτρικών οχημάτων, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί σημαντικά, απαιτώντας αναβάθμιση των υποδομών (Green II et al., 2011). Ωστόσο, οι γραμμές μεταφοράς δεν μπορούν να μεταφέρουν τόση ενέργεια

όση το δίκτυο διανομής, περιορίζοντας τον τρόπο μεταφοράς ενέργειας (Zhang et al., 2011). Για να ανταποκριθεί το δίκτυο διανομής στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτείται εκτεταμένη αναδιάρθρωση σε μεγάλη κλίμακα. Είναι απαραίτητη μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην απόδοση του δικτύου, ιδίως όταν πρόκειται για μεγάλης κλίμακας συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (REG) που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο και για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS). Αυτή η αξιολόγηση θα βοηθήσει στην κατανόηση των προκλήσεων και των απαιτήσεων που προκύπτουν από τη συνύπαρξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υποδομών φόρτισης, διασφαλίζοντας την ομαλή και αποδοτική λειτουργία του δικτύου. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να πραγματοποιήσουν τέτοιες αναλύσεις για την ανάπτυξη αποδοτικού εξοπλισμού (Farhoodnea et al., 2013).

Τα επίπεδα φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης στην Εικόνα 1 απεικονίζουν την υποδομή φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα (Borlaug et al., 2020). Σύμφωνα με τη μελέτη των Lee et al. (2020), «οι οικιακές εγκαταστάσεις φόρτισης είναι η πιο δημοφιλής και απαραίτητη θέση φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) και τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με σύνδεση (PHEV)». Η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής υποδομής φόρτισης απαιτεί ένα αποτελεσματικό δίκτυο επικοινωνίας για την ανταλλαγή πληροφοριών, μια μονάδα βελτιστοποίησης για τη μείωση του χρόνου φόρτισης στο σταθμό φόρτισης και μια μονάδα πρόβλεψης για τη βοήθεια της μονάδας βελτιστοποίησης στη λήψη των καλύτερων αποφάσεων (Shukla and Sengupta, 2020). Η άμεση υιοθέτηση πολλαπλών ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για τον ενεργειακό τομέα. Ενόψει όλων των παραπάνω έχουν ληφθεί πολλά μέτρα για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα, όπως η αναβάθμιση της υποδομής φόρτισης και η ενθάρρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη φόρτιση των οχημάτων.

Υπάρχουν ήδη αρκετά άρθρα που συνοψίζουν τη δομή και τη διαμόρφωση των ηλεκτρικών οχημάτων (Tie and Tan, 2013). Το κόστος των μπαταριών, η αποτελεσματικότητα των στρατηγικών φόρτισης, η διαλειτουργικότητα των σταθμών φόρτισης και οι επιπτώσεις της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο πρέπει να αντιμετωπιστούν για να καταστούν τα ηλεκτρικά οχήματα ανταγωνιστικά στην αγορά (Singh et al., 2013). Η ανάπτυξη διεθνών προτύπων και κωδίκων, καθολικών υποδομών, περιφερειακών συσκευών και φιλικού προς τον χρήστη

λογισμικού θα είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των EV κατά την επόμενη δεκαετία (Arancibia and Strunz, 2012). Υπάρχει μια μεγάλη ομάδα ερευνητών που εργάζονται σε αυτούς τους τομείς σε ολόκληρο τον κόσμο. Για τη διεύρυνση της αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι ζωτικής σημασίας η ολοκληρωμένη κατανόηση της ανάπτυξης της υποδομής φόρτισης EV και των επιπτώσεών της στο δίκτυο. Πολλοί συγγραφείς έχουν περιλάβει στα έργα τους αναλύσεις για την υποδομή φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα (Yilmaz and Krein, 2012a), την ενσωμάτωση των EV στα έξυπνα δίκτυα (Tan et al., 2016), τον αντίκτυπο της τεχνολογίας vehicle-to-grid (Habib et al., 2015) και την αλληλεπίδραση μεταξύ EV και έξυπνων δικτύων (Mwasilu et al., 2014). Οι ταχύτερες εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα τα τελευταία χρόνια έχουν καταστήσει αυτές τις εκθέσεις λίγο ξεπερασμένες. Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να αναλύσει τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των σταθμών φόρτισης, από τα στάδια του σχεδιασμού και της μελέτης έως τη λειτουργική διαχείριση των σταθμών.

#### Υποδομή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων



Εικόνα 1: Επισκόπηση της υποδομής φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα (EV) (Alrubaie et al., 2023).

## **1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η έρευνα και συλλογή πληροφοριών σχετικά με την εγκατάσταση ταχυφορτιστών σε ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης, καθώς και η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν αυτή την απόφαση με χρήση κατάλληλου στατιστικού μοντέλου. Επιπλέον γίνεται επισκόπηση της υπάρχουσας δημοσιευμένης βιβλιογραφίας και καταγραφή των σημαντικότερων ευρημάτων με στόχο τη βαθύτερη μελέτη του θέματος.

## **1.3 Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας**

Για τη δημιουργία της παρούσας διπλωματικής εργασίας αρχικά έγινε λεπτομερής επισκόπηση επιστημονικών δημοσιεύσεων από αξιόπιστες πηγές και βάσεις δεδομένων όπως τα Google Scholar και Web of science. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων με χρήση ερωτηματολογίων, με στόχο την κατανόηση των απόψεων και των εμπειριών των συμμετοχόντων σχετικά με το υπό μελέτη θέμα. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που αποκτήθηκαν. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση του εξειδικευμένου στατιστικού προγράμματος SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) και το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η τακτική λογιστική παλινδρόμηση (ordinal logistic regression).

## **1.4 Δομή της διπλωματικής εργασίας**

Η δομή της διπλωματικής εργασίας περιγράφεται στα παρακάτω βήματα. Αρχικά, παρουσιάζεται η εισαγωγή στο θέμα, καθώς και ο σκοπός της εργασίας. Στη συνέχεια του ίδιου κεφαλαίου γίνεται καταγραφή της μεθοδολογίας της μελέτης. Ακολούθως, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, με σκοπό να παρουσιαστεί η έως τώρα επιστημονική στάθμη. Έπειτα γίνεται η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων με τη χρήση του μοντέλου τακτικής λογιστικής παλινδρόμησης, ενώ στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα και τα ευρήματα,



παρέχοντας ερμηνείες και συμπεράσματα. Τέλος, προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και πρακτικές συστάσεις.

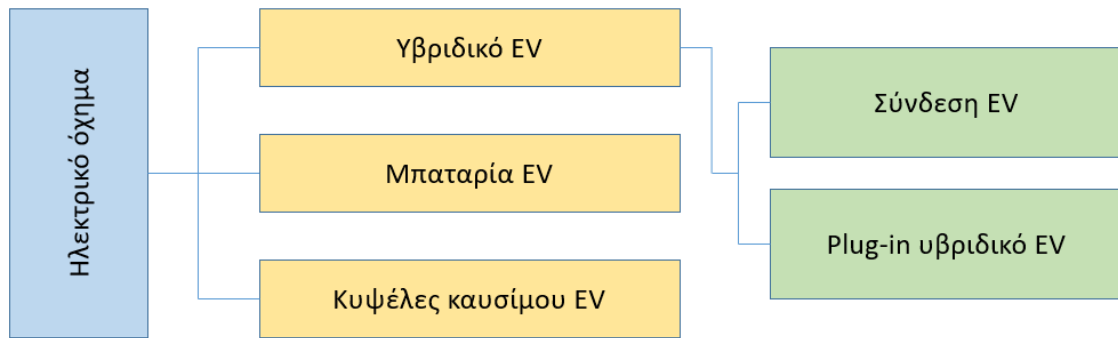
## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Εισαγωγή

Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν γίνει δημοφιλή ως εναλλακτική λύση στα μέσα μεταφοράς στον σύγχρονο κόσμο. Ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν, χωρίζονται συνήθως σε τρεις κατηγορίες, σύμφωνα με τους Miele et al. (2020) και τους Thompson et al. (2018):

- Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV)
- Ηλεκτρικά οχήματα με φόρτιση από εξωτερική πηγή (PEV)
- Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCEV).

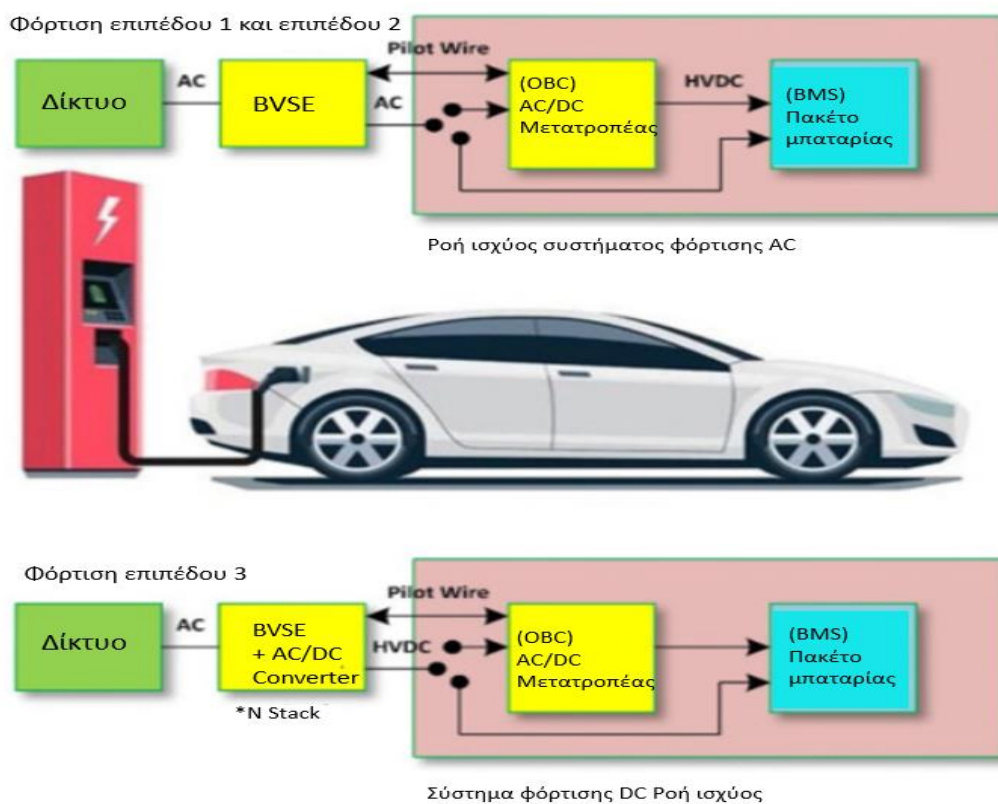
Ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης συνδυάζεται με έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης για την κίνηση υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων. Σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, αυτό επιτρέπει στα οχήματα να είναι πιο αποδοτικά ως προς την κατανάλωση καυσίμου, να έχουν χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, να έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια οδήγησης κ.λπ. (Sun et al., 2019). Οι τύποι των ηλεκτρικών οχημάτων με φόρτιση από εξωτερική πηγή (PEV) περιλαμβάνουν τα Battery Electric Vehicles (BEV) και τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV). Τα BEV κινούνται με ηλεκτροκινητήρες και τροφοδοτούνται από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Όταν η μπαταρία εξαντλείται, ένας βενζινοκινητήρας παρέχει εφεδρική ισχύ. Το PHEV συνήθως διαθέτει ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, αλλά μπορεί να είναι εξοπλισμένο και με βενζινοκινητήρα. Τα οχήματα που κινούνται με τεχνολογία κυψελών καυσίμου χρησιμοποιούν σύστημα πρόωσης που βασίζεται σε κυψέλες καυσίμου αντί για μπαταρίες ή μια μπαταρία συνδυασμένη με υπερπυκνωτή. Η ταξινόμηση των τύπων των ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Διάφοροι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων.

## 2.2 Τρόποι φόρτισης και συνδέσεις

Για τη δημιουργία ενός EVCS υπάρχουν διάφορα επίπεδα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3, τρόποι φόρτισης και τα συστήματα φόρτισης, καθώς και μερικά διεθνή πρότυπα που πρέπει να ληφθούν υπόψη.



Εικόνα 3: Τρόποι φόρτισης σε διαφορετικά επίπεδα (Pal et al., 2021).

### Τρόποι φόρτισης

Τα EVCS είναι κυρίως σταθμοί ανεφοδιασμού που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η θέση φόρτισης ενσωματώνεται στο καλώδιο, στη θύρα φόρτισης και στον πίνακα διασύνδεσης. Ανάλογα με την υποδομή ενός δικτύου, ποικίλες παράμετροι όπως η ονομαστική τάση και η ονομαστική συχνότητα καθορίζουν τον τύπο της πρίζας. Επιπλέον, το Ερευνητικό Ινστιτούτο Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI), η Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE) και η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) έχουν κεντρικό ρόλο στην προσδιορισμό των προτύπων φόρτισης και στην εφαρμογή προτύπων ασφαλείας (Pal et al., 2021). Τα πρότυπα κατατάσσουν τους τύπους φόρτισης σε επίπεδα, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων 1 και 2 εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και ταχείας φόρτισης με συνεχές ρεύμα (DCFC). Ένας νέος κανονισμός ορίζει τα επίπεδα DCC DC Level-1 και DC Level-2 (Brown et al., 2011). Σύμφωνα με μια μελέτη των Schroeder and Traber (2012), η οικιακή υποδομή φόρτισης είναι η πιο κοινή μέθοδος φόρτισης των EVs, με τα επίπεδα 1 και 2 ως τα πιο δημοφιλή. Στην εξελισσόμενη αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων, η ταχεία φόρτιση αναδεικνύεται ως κρίσιμος παράγοντας για την ευρεία υιοθέτησή τους. Η ταχεία φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DCFC) παρέχει τη δυνατότητα γρήγορης αναγόμωσης των μπαταριών, μειώνοντας το χρόνο αναμονής για τους χρήστες. Αυτή η μέθοδος φόρτισης είναι ιδιαίτερα σημαντική σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης, όπου οι χρήστες επιθυμούν να επαναφορτίσουν τα οχήματά τους όσο το δυνατόν πιο γρήγορα, διευκολύνοντας έτσι τη μετάβαση από τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τα πρότυπα που καθορίζονται από οργανισμούς όπως το Ερευνητικό Ινστιτούτο Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI), η Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE) και η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) έχουν καταστήσει σαφή τη σημασία της ταχείας φόρτισης, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα στη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι κατηγορίες φόρτισης, όπως τα επίπεδα 1 και 2 εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και τα νέα επίπεδα DCC DC Level-1 και DC Level-2, καθορίζουν τις διαφορές στην ταχύτητα και την αποδοτικότητα της φόρτισης, με την ταχεία φόρτιση να αναγνωρίζεται ως η πιο επιθυμητή επιλογή για τη μεγιστοποίηση της χρήσης των EVs. Μια μελέτη των Schroeder και Traber (2012) δείχνει ότι, αν και η οικιακή υποδομή φόρτισης παραμένει η πιο κοινή μέθοδος φόρτισης των EVs, η ταχεία φόρτιση αναμφισβήτητα παίζει καθοριστικό ρόλο στη διευκόλυνση της καθημερινής μετακίνησης. Η ύπαρξη

δημόσιων σταθμών ταχείας φόρτισης μπορεί να μειώσει την «ανησυχία για την αυτονομία» που συχνά περιορίζει τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων. Συνδυάζοντας την ταχεία φόρτιση με τα αναπτυσσόμενα πρότυπα και τις υποδομές φόρτισης, διασφαλίζεται ότι οι καταναλωτές θα έχουν πρόσβαση σε γρήγορες και ασφαλείς λύσεις φόρτισης, ενισχύοντας την αποδοχή και τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων στην καθημερινότητά τους.

Τα καλώδια φόρτισης επιπέδου 1 (L1) περιλαμβάνονται σε κάθε EV. Η συσκευή είναι καθολικά συμβατή, δεν απαιτεί έξοδα εγκατάστασης και μπορεί να συνδεθεί σε οποιαδήποτε τυπική γειωμένη πρίζα 120 V. Ανάλογα με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και τον βαθμό απόδοσης του EV, η φόρτιση L1 μπορεί να κοστίζει από δύο έως έξι δολάρια ανά χιλιόμετρο. Ο φορτιστής L1, με μέγιστη ονομαστική ισχύ 2,4 kW, μπορεί να φορτίσει ένα ηλεκτρικό όχημα με ταχύτητα περίπου 40 μιλίων ανά οκτώ ώρες, ή με ταχύτητα 5 μιλίων ανά ώρα (EV Guide, n.d.). Για πολλούς χρήστες, αυτό είναι αρκετά ικανοποιητικό, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μέσος οδηγός διανύει περίπου 37 μίλια την ημέρα.

Επιπλέον, οι φορτιστές L1 αποτελούν μια χρήσιμη λύση για όσους έχουν πρόσβαση σε σημεία φόρτισης L1 στους χώρους εργασίας ή τα σχολεία τους, καθώς μπορούν να φορτίζουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Εντούτοις, λόγω του ότι το καλώδιο φόρτισης L1 δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις μεγάλες αποστάσεις ή τις διαδρομές του Σαββατοκύριακου, οι οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων τον αναφέρουν συχνά ως φόρτιση έκτακτης ανάγκης ή φορτιστή trickle. Οι τυπικές οικιακές πρίζες λειτουργούν στα 120 V για τη φόρτιση L1, με μέγιστο ρεύμα 16 αμπέρ. Αυτό το σημείο φόρτισης παρέχει μέγιστη πρίζα ισχύος 1,9 kW και απαιτεί μεταξύ 8 και 16 ωρών για να φορτίσει πλήρως την μπαταρία ανάλογα με τη χωρητικότητά της. Για τη σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος και του πυλώνα φόρτισης χρησιμοποιείται ο σύνδεσμος SAE J1772. Οι φορτίσεις με αυτόν τον τρόπο είναι οι λιγότερο δαπανηρές αλλά οι πιο αργές από όλες τις μεθόδους φόρτισης. Η φόρτιση L1 μπορεί να μειώσει ακόμη περισσότερο το κόστος φόρτισης όταν συνδυάζεται με ένα σύστημα φόρτισης βάσει τιμολογίου. Οι σταθμοί φόρτισης επιπέδου 2 (L2) αποτελούν κύρια πηγή φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε δημόσιες και οικιστικές περιοχές. Για να πληρούν τις απαιτήσεις του επιπέδου L2, αυτοί οι σταθμοί χρησιμοποιούν μονοφασική παροχή ρεύματος 240 V με μέγιστη ικανότητα ροής ρεύματος 40 A για οικιακές και εμπορικές εγκαταστάσεις και τριφασική παροχή ρεύματος

εναλλασσόμενου ρεύματος 400 V με μέγιστη ικανότητα ροής ρεύματος 80 A για δημόσιους σταθμούς. Η τιμή ενός φορτιστή επιπέδου 2 κυμαίνεται συνήθως από 500 έως 2000 δολάρια, ανάλογα με τον κατασκευαστή και τις απαιτήσεις εγκατάστασης. Η χρήση τους είναι δημοφιλής στην καθημερινή ζωή, καθώς βρίσκονται συχνά σε χώρους στάθμευσης δημόσιων χώρων, σχολείων, κολλεγίων και επιχειρήσεων, παρέχοντας εύκολη πρόσβαση στη φόρτιση για μαθητές, εργαζόμενους και επισκέπτες. Οι σταθμοί φόρτισης L2 υποστηρίζουν το βιομηχανικό πρότυπο J-plug, καθιστώντας τους συμβατούς με πολλά ηλεκτρικά οχήματα. Η μέγιστη ισχύς φόρτισης σε σταθμούς L2 είναι περίπου 12 kW, προσφέροντας τη δυνατότητα φόρτισης περίπου 100 μιλίων κάθε οκτώ ώρες. Για τον μέσο οδηγό, ο οποίος διανύει 37 μίλια την ημέρα, ο χρόνος φόρτισης είναι περίπου 3 ώρες. Η φόρτιση L2 προσφέρει πιο γρήγορη φόρτιση από την L1 και είναι ιδανική για μακρινά ταξίδια, διευρύνοντας την εμβέλεια των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι σταθμοί φόρτισης L2 διαθέτουν ενσωματωμένη προστασία κατά της υπέρτασης, ενισχύοντας την ασφάλεια κατά τη χρήση τους. Επιπλέον, είναι μια οικονομική επιλογή, με κόστος φόρτισης από 2 έως 6 δολάρια ανά μίλι, εξοικονομώντας χρήματα στους ιδιοκτήτες. Η συνεργασία με συστήματα χρέωσης βάσει χρόνου προσφέρει επιπλέον οικονομία. Συνολικά, οι σταθμοί φόρτισης επιπέδου 2 είναι κρίσιμη υποδομή για τα ηλεκτρικά οχήματα, παρέχοντας έναν πρακτικό και οικονομικό τρόπο φόρτισης.

Η ταχύτερη μέθοδος φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι το επίπεδο 3 (L3). Οι σταθμοί φόρτισης L3 παρέχουν τη δυνατότητα γρήγορης επαναφόρτισης, κυρίως σε δημόσιους και εμπορικούς χώρους. Αυτό επιτρέπει στα ηλεκτρικά οχήματα να επαναφορτιστούν γρήγορα σε περιοχές με υψηλή κυκλοφορία, όπως στάσεις ανάπαυσης, εμπορικά κέντρα και περιοχές ψυχαγωγίας. Η χρέωση σε σταθμούς φόρτισης L3 μπορεί να γίνει είτε με βάση την ώρα χρήσης είτε ανά kWh. Οι χρεώσεις για τη φόρτιση L3 μπορεί να κυμαίνονται από 12 έως 25 δολάρια ανά χιλιόμετρο. Εντούτοις, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι φορτιστές L3 δεν συμμορφώνονται με τα βιομηχανικά πρότυπα και συχνά δεν είναι καθολικά συμβατοί με όλα τα ηλεκτρικά οχήματα. Χρησιμοποιώντας τεχνολογία φόρτισης συνεχούς ρεύματος, οι σταθμοί αυτοί έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν παρόμοια εμπειρία χρήσης με εκείνη των παραδοσιακών πρατηρίων. Ο χρόνος φόρτισης μιας μπαταρίας από 0 έως 80% είναι συνήθως 15 έως 20 λεπτά με τη γρήγορη φόρτιση DC και το 20% της εναπομένουσας μπαταρίας θα φορτίζεται πάντα στην αργή λειτουργία, ανεξάρτητα από το επίπεδο

φόρτισης. Η ισχύς συνεχούς ρεύματος παρέχεται στο ηλεκτρικό όχημα με μετατροπή της ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος από έναν φορτιστή εκτός οχήματος. Οι τάσεις φόρτισης για το L3 κυμαίνονται συνήθως από 200 έως 600 V και η ισχύς εξόδου κυμαίνεται από 36 έως 240 kW. Τα DCFC μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες με βάση τα πρότυπα SAE: DC Level 1 και DC Level 2. Εκτός από την έξοδο ισχύος 36 kW, οι σταθμοί φόρτισης DC L1 έχουν επίσης ικανότητα ροής ρεύματος 80 A. Οι φορτιστές με έξοδο ισχύος DC L2 έχουν ικανότητα ροής ρεύματος 200 A και έξοδο ισχύος 90 kW. Οι περισσότεροι σταθμοί φόρτισης ισχύος DC βρίσκονται σε εμπορικά κέντρα, κυβερνητικά κτίρια, κινηματογράφους, αεροδρόμια και σταθμούς ανεφοδιασμού (Mayfield and Ohio, 2012). Οι σύνδεσμοι φορτιστών συνεχούς ρεύματος που διαθέτουν το πρότυπο SAE/IEC J1772/IEC 62,196-3 συνιστώνται από την SAE και την IEC, όπως περιγράφονται στην Εικόνα 4. Οι σταθμοί ταχείας φόρτισης συνεχούς ρεύματος έχουν ένα σημαντικό μειονέκτημα λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασής τους.

Τοπολογία φορτιστή EV	Σύνδεσμος φόρτισης	Επικοινωνία φόρτισης	Ποιότητα ισχύος φόρτισης	Ασφάλεια φόρτισης
IEC 61851-1	IEC 62196-1	ISO 15118/IEC 61850	IEEE 1547	IEC 60529
IEC 61851- 21	IEC 62196-2	SAE J2847/SAE J2836	SAE J2894	IEC 60364- 7-722
IEC 61851- 22	IEC 62196-3	SAE J2293-2/OCPP	IEC 1000-3-2	ISO 6469-3
IEC 61851- 23	SAE J1772	OCPI/OSCP/	NEC 690	SAE J1766
IEC 61851- 24	IEEE 1901	OpenADR	SAE J2380	SAE J2464

*Εικόνα 4: Πρότυπα και πρωτόκολλα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (Pal et al., 2021).*

Τα πλεονεκτήματα της αγωγίμης φόρτισης είναι η οικονομική βιωσιμότητά της, η ικανότητα γρήγορης φόρτισης, η απλότητα της λειτουργίας και η υψηλή αποδοτικότητα. Εκτός από τα συστήματα φόρτισης επί του οχήματος και εκτός του οχήματος, η αγωγή φόρτιση έχει επίσης κατηγοριοποιηθεί (Illmann and Kluge, 2020). Οι φορτιστές που τοποθετούνται μέσα σε ένα ηλεκτρικό όχημα, όπως οι μετατροπείς από εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα (AC-DC), είναι συνήθως

σχεδιασμένοι για αργή φόρτιση, φορτίζοντας την μπαταρία του οχήματος πλήρως από το εσωτερικό του συστήματος. Αντίθετα, οι φορτιστές που βρίσκονται εκτός του οχήματος προσφέρουν τη δυνατότητα ταχείας φόρτισης, επιτρέποντας την ταχύτερη αναπλήρωση της ενέργειας της μπαταρίας. Επιπλέον, η αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να βελτιωθεί μειώνοντας το συνολικό βάρος του οχήματος, το οποίο επιτυγχάνεται με την χρήση εξωτερικών φορτιστών που δεν προσθέτουν βάρος στο όχημα (Khaligh και Dusmez, 2012).

Η ολονύκτια φόρτιση σε αποθήκη αποτελεί μια εγκατάσταση που παρέχει φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας και προσφέρει επιλογές γρήγορης και αργής φόρτισης. Το σημείο φόρτισης βρίσκεται συνήθως στο τέλος των γραμμών. Χρησιμοποιείται για τη φόρτιση τη νύχτα. Λόγω των χαμηλών επιπτώσεων της φόρτισης στο δίκτυο διανομής, η αργή φόρτιση είναι η πιο συμφέρουσα επιλογή (Arif et al., 2020; 2021). Ωστόσο, η τεχνική φόρτισης με παντογράφο είναι καταλληλότερη για εφαρμογές με υψηλή χωρητικότητα μπαταρίας και απαιτήσεις γρήγορης φόρτισης.

Η φόρτιση παντογράφου αποτελεί μια μέθοδο φόρτισης που προσφέρει διάφορες επιλογές φόρτισης. Συνήθως, αυτή η υποδομή χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη χωρητικότητα μπαταρίας και υψηλότερη ισχύ, όπως τα λεωφορεία και τα φορτηγά. Ως αποτέλεσμα αυτής της τεχνικής φόρτισης, οι μπαταρίες των λεωφορείων απαιτούν λιγότερες επενδύσεις, οπότε το κόστος επένδυσης μειώνεται, αλλά το κόστος της υποδομής φόρτισης αυξάνεται (Meishner et al., 2017). Η φόρτιση με παντογράφο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω ως εξής:

- Παντογράφος από πάνω προς τα κάτω:  
Η διάταξη φόρτισης βρίσκεται στην κορυφή της στάσης του λεωφορείου, οπότε αναφέρεται συνήθως ως παντογράφος top-down εκτός οχήματος. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα για την παραγωγή υψηλής ισχύος (Carrilero et al., 2018), η οποία εφαρμόζεται ήδη στη Γερμανία, τη Σιγκαπούρη και τις ΗΠΑ.
- Παντογράφος από κάτω προς τα πάνω:  
Τα λεωφορεία έχουν ήδη εξοπλιστεί με εξοπλισμό φόρτισης, επομένως αυτή η μέθοδος φόρτισης είναι κατάλληλη όταν το λεωφορείο διαθέτει ήδη εξοπλισμό φόρτισης. Εναλλακτικά, ο παντογράφος από κάτω προς τα πάνω ονομάζεται παντογράφος επί του οχήματος.



### Συνδέσεις για φόρτιση DC

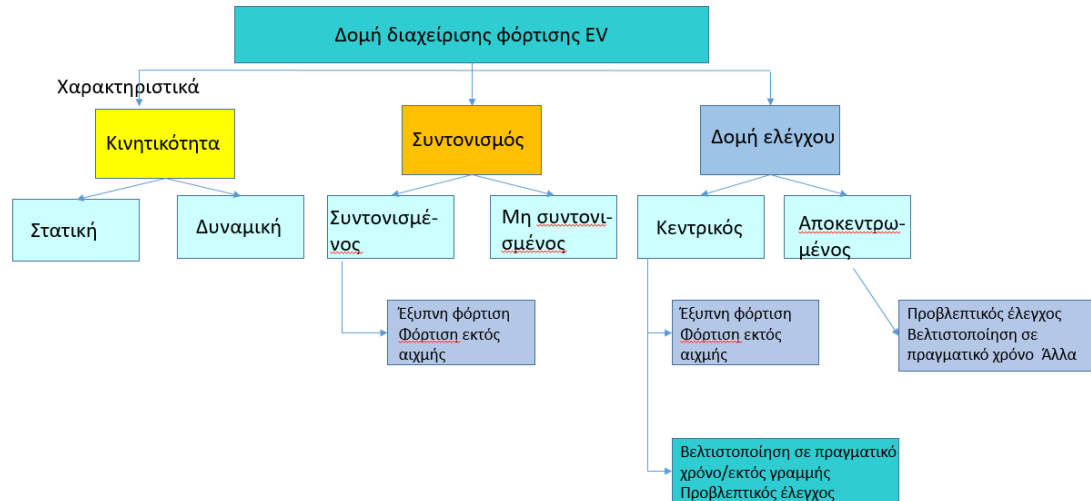
Ο γρήγορος φορτιστής DC μπορεί να αντικαταστήσει τους φορτιστές επιπέδου 1 και 2. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, η ισχύς εξόδου τους κυμαίνεται από 50 kW έως 500 kW. Εκτός από την πιο μεγάλη ικανότητα ισχύος, η μετατροπή ισχύος και ο έλεγχος γίνονται πιο ακριβοί και πιο ογκώδεις. Οι γρήγοροι φορτιστές συνεχούς ρεύματος αναπτύσσονται συνήθως εκτός εξοπλισμού για να αποφεύγεται η παρεμβολή στις γραμμές ρεύματος. Ένας επιπλέον λόγος είναι τα ζητήματα ασφαλείας. Με την αύξηση του μεγέθους των μετατροπέων ισχύος και των εξαρτημάτων διαχείρισης ισχύος, η προστασία των επιβατών αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Προς το παρόν, υπάρχουν πέντε βασικές παραλλαγές συνδετήρων συνεχούς ρεύματος.

### Υποδομή ελέγχου και επικοινωνίας για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

Το σύστημα ελέγχου και επικοινωνίας ελέγχει και παρακολουθεί το σύστημα φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος (Anon, 2010). Η φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος αυξάνει τη ζήτηση ισχύος για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

- Αρχιτεκτονική ελέγχου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Οι έλεγχοι για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων αφορούν το ηλεκτρικό δίκτυο, τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και τα ηλεκτρικά οχήματα.



Εικόνα 5: Τα συστήματα φόρτισης EV ταξινομούνται σε διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου.

Λαμβάνοντας υπόψη την κινητικότητα των οχημάτων, συμπεραίνουμε ότι μπορεί να αναπτυχθεί υποδομή φόρτισης τόσο για στατικές όσο και για δυναμικές συνθήκες για τα ηλεκτρικά οχήματα. Οι στατικοί σταθμοί φόρτισης επιτρέπουν τη φόρτιση του οχήματος ενώ αυτό είναι σταθμευμένο. Αντίθετα, μια δυναμική ή λύση φόρτισης με γνώμονα την κινητικότητα θα λαμβάνει υπόψη διάφορα είδη κίνησης, όπως ο χρόνος άφιξης και αναχώρησης του EV στο σταθμό φόρτισης (Sortomme & El-Sharkawi, 2011a; Sortomme & El-Sharkawi, 2011b), καθώς & οι μη προγραμματισμένες αφίξεις και αναχωρήσεις των EVs (Mukherjee & Gupta, 2014), οι οποίες θα ήταν πιο ρεαλιστικές λόγω της χωροχρονικής σχέσης μεταξύ των EVs. Ωστόσο, είναι πιο πολύπλοκη και συνδέεται με πιο προηγμένες υποδομές ελέγχου (Εικόνα 5).

- Ο συντονισμός της φόρτισης:  
Έλεγχος φόρτισης χωρίς συντονισμό και συντονισμένος έλεγχος φόρτισης. Όταν συνδέεται μια μπαταρία EV σε μια πηγή φόρτισης, μπορεί να αρχίσει αμέσως τη διαδικασία φόρτισης ή να υπάρξει μια καθυστέρηση που ορίζεται από τον χρήστη. Η φόρτιση συνεχίζεται μέχρι η μπαταρία να φτάσει στη μέγιστη χωρητικότητά της. Όμως, οι διαδικασίες φόρτισης δεν συντονίζονται κατά τις ώρες αιχμής, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες ισχύος, υπερφόρτωση των μετασχηματιστών διανομής και μείωση της αξιοπιστίας του δικτύου. Οι εταιρείες κοινής ωφελείας προσφέρουν φθηνές νυχτερινές τιμές για

τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, ώστε να ανακουφιστούν οι περίοδοι αιχμής φόρτισης. Η έξυπνη φόρτιση μπορεί να μειώσει τους χρόνους αιχμής φόρτισης, βελτιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας και μειώνοντας το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Μια συντονισμένη μέθοδος φόρτισης μπορεί να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας τη φόρτιση εκτός αιχμής σε συγκεκριμένα σημεία κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου τα φορτία του δικτύου είναι χαμηλότερα. Ωστόσο, πρέπει να υπάρχει επικοινωνία με τους παρόχους κοινής ωφελείας για τη διαμόρφωση του χρονικού διαστήματος των ημερών, προκειμένου να αντιμετωπιστεί εν μέρει το πρόβλημα της υπερφόρτωσης. Τέλος, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να προκαλέσει αναστάτωση στους χρήστες τους.

- Εξέταση της δομής ελέγχου:

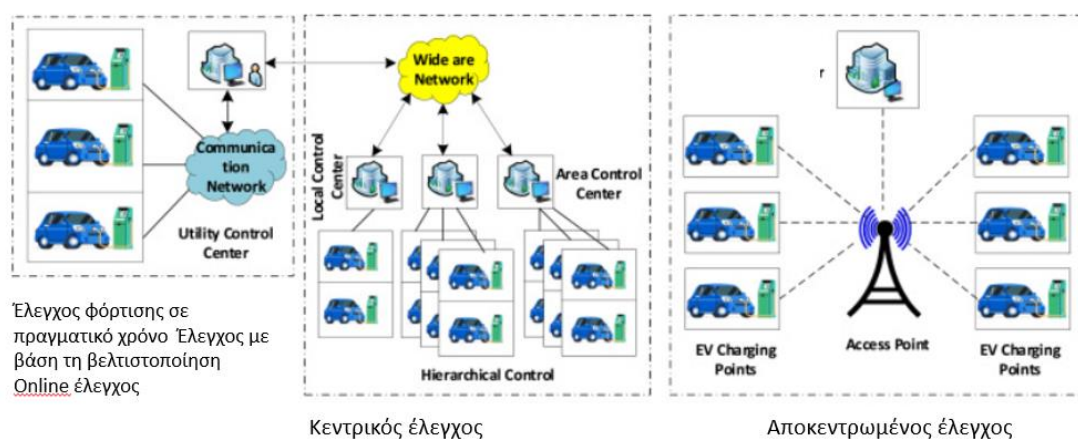
Οι σταθμοί φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα κατανέμονται χωρικά μέσω ενός δικτύου διανομής. Η ροή ισχύος των σταθμών φόρτισης EV μπορεί να διαχειριστεί και να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας διάφορες στρατηγικές, όπως η κεντρική ή η αποκεντρωμένη φόρτιση (Ahmed & Kim, 2017, Wang et al., 2017).

- Κεντρικός έλεγχος

Στην κεντρική φόρτιση, τα προγράμματα και οι τιμές φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων αποφασίζονται από μια κύρια μηχανή ελέγχου, η οποία λαμβάνει πληροφορίες από τα οχήματα. Η διαχείριση της ενεργού φόρτισης συχνά ανατίθεται σε μια κεντρική δομή, όπως προτείνουν οι Esmaili και Goldoust (2015). Αυτή η δομή επεξεργάζεται τις πληροφορίες κεντρικά και παρέχει βέλτιστες λύσεις, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του δικτύου και τις προτιμήσεις των χρηστών. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτής της δομής περιορίζεται από το μέγεθος του προβλήματος βελτιστοποίησης, όπως παρατηρούν οι Esmaili και Goldoust. Επιπλέον, οι Tang, κ.ά. (2014) και De Hoog, κ.ά. (2014) παρουσιάζουν στρατηγικές ελέγχου που μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία από αυτήν την κεντρική δομή, περιλαμβάνοντας τον online έλεγχο και την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο.

### Αποκεντρωμένος έλεγχος

Οι ιδιοκτήτες EV καθορίζουν το πρόγραμμα φόρτισης σε μια αποκεντρωμένη στρατηγική γνωστή ως έλεγχος φόρτισης (Moeini-Aghaie et al., 2013). Αυτή η μέθοδος ελέγχου βασίζεται κυρίως στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και στην ευκολία του χρήστη για τον καθορισμό των αποφάσεων φόρτισης (Ma et al., 2011). Ο αποκεντρωμένος έλεγχος (Εικόνα 6) εγγυάται ότι οι χρήστες EV θα επιτύχουν τους στόχους φόρτισης όταν αποφασίζουν τα πρότυπα φόρτισης. Το συνολικό σύστημα θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο, τα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να αντιστοιχιστούν με τις απαιτήσεις του δικτύου με την κατάλληλη εφαρμογή των μηχανισμών τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας και την ευθύνη των χρηστών EV.



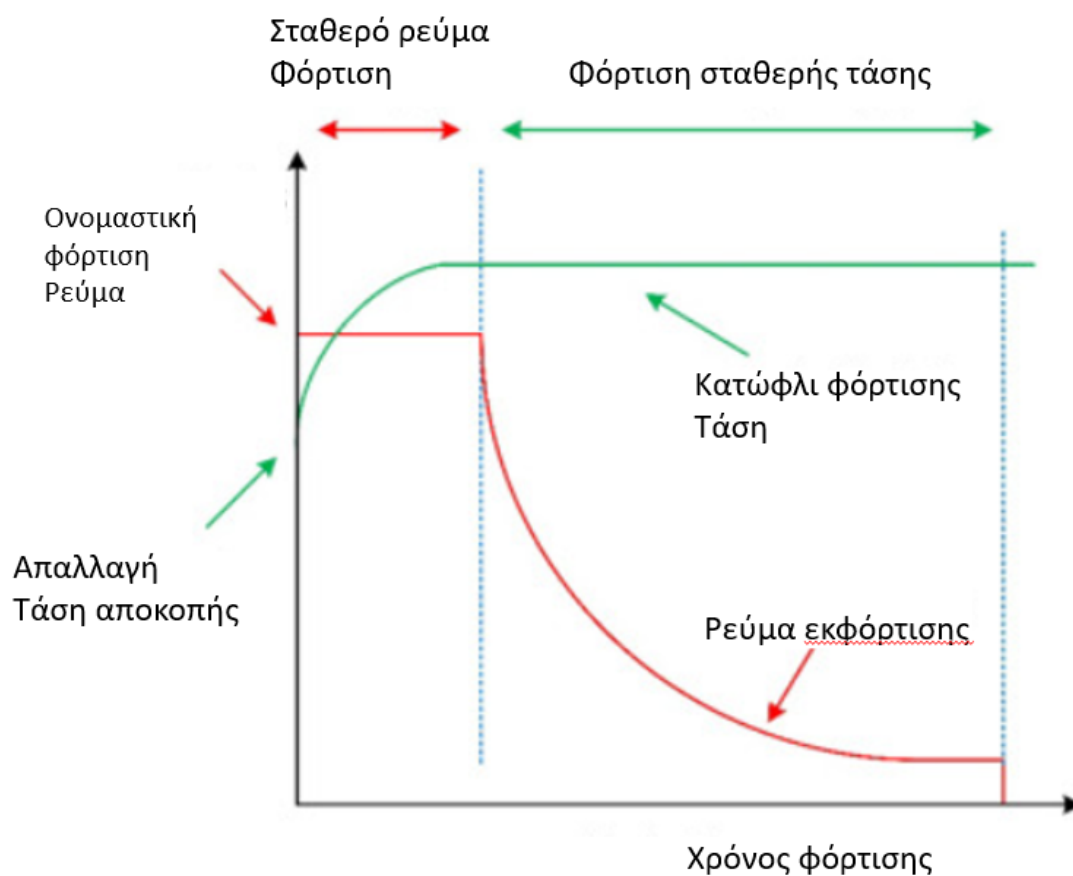
Εικόνα 6: Ένα σύστημα φόρτισης EV με αποκεντρωμένο και κεντρικό έλεγχο.

### Σύστημα φόρτισης σταθερού ρεύματος και σταθερής τάσης

Τα συστήματα παθητικής φόρτισης σταθερού ρεύματος (CC) και σταθερής τάσης (CV) βασίζονται σε προκαθορισμένες οδηγίες. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης CC πρέπει να διατηρείται σταθερό ρεύμα. Το ρεύμα φόρτισης μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα, παρόλο που έχει περιορισμένο ρεύμα για την αποφυγή υπερέντασης. Εκτός από τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για τη φόρτιση μπαταριών λιθίου. Παρόλα αυτά, η εκτίμηση της κατάστασης φόρτισης (SoC) παρουσιάζει πρόβλημα λόγω σωρευτικών σφαλμάτων, τα οποία οδηγούν σε υπερφόρτιση ή υποφόρτιση, με αποτέλεσμα μειωμένο κύκλο ζωής της μπαταρίας. Ως

αποτέλεσμα της αυτοεκφόρτισης της μπαταρίας, η φόρτιση CC εφαρμόζεται συνεχώς στη μπαταρία με ρηχό ρυθμό (0,01C-0,1C), που ονομάζεται φόρτιση Trickle. Οι επισκευές και οι ενεργοποιήσεις μπαταριών πραγματοποιούνται συνήθως με αυτή τη μέθοδο. Στη μέθοδο φόρτισης CV, το ρεύμα φόρτισης ελέγχεται από το εκτιμώμενο SoC χρησιμοποιώντας ένα τροφοδοτικό σταθερής τάσης (Hussein and Batarseh, 2011, Fattal & Karami, 2015, Suarez & Martinez, 2019). Ωστόσο, οι μπαταρίες ενδέχεται να υποστούν βλάβη από μεγάλα ρεύματα κατά την αρχική φόρτιση. Υπολογίζεται ότι έως και το 85% της διαδικασίας φόρτισης CC-CV για μπαταρίες ιόντων λιθίου πραγματοποιείται με φόρτιση CC. Εκτός από τα πολλά πλεονεκτήματά της, η φόρτιση CC-CV είναι εύκολο να σχεδιαστεί, να υλοποιηθεί και να λειτουργήσει, καθώς δεν απαιτείται γνώση του μοντέλου της μπαταρίας (Wu et al., 2015, Liu et al., 2020). Παρά τα πλεονεκτήματά της, η διαδικασία CV απαιτεί σημαντικό χρονικό διάστημα, οπότε είναι ακατάλληλη για γρήγορη φόρτιση- η τάση πόλωσης της μπαταρίας αυξάνεται καθώς γερνάει και τα κύτταρα δεν μπορούν να διακριθούν. Παράμετροι της μπαταρίας, όπως η εσωτερική αντίσταση και η θερμοκρασία, δεν λαμβάνονται υπόψη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης. Όπως περιγράφεται στους Koletli et al. (2021), τα σύγχρονα BMS έχουν προσθέσει την CC-CV trickle charging (Εικόνα 7). Όταν η μπαταρία είναι βαθιά εκφορτισμένη, η φόρτιση trickle charging ενεργοποιείται στο πρώτο στάδιο φόρτισης. Αντίθετα, στο τέλος της διαδικασίας φόρτισης, η μπαταρία φορτίζεται μέχρι το ρεύμα φόρτισης να πέσει σε ένα προκαθορισμένο όριο, αυξάνοντας έτσι πολύ αποτελεσματικά τον κύκλο ζωής των μπαταριών ιόντων λιθίου. Η λειτουργία CV επιταχύνει τη διαδικασία φόρτισης κατά 11% σε σύγκριση με τη λειτουργία CC, η οποία χωρίζεται σε πέντε στάδια. Ειδικότερα, η λειτουργία CC μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργειακής απόδοσης μετά την προκαθορισμένη φόρτιση. Οι Shrivastava et al. (2019) περιγράφουν μια διαδικασία ελέγχου φόρτισης σε πραγματικό χρόνο που βασίζεται στην πρόβλεψη των SoC και SoH. Στη λειτουργία CC, χρησιμοποιείται μια μέθοδος προ-επιταχυνόμενης φόρτισης για τη μείωση του χρόνου φόρτισης με τη χρήση ενός υψηλού ρεύματος αποεπιτάχυνσης πριν από την CC. Ωστόσο, ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι απαραίτητος για την ασφάλεια και την αποδοτικότητα της μπαταρίας. Η λειτουργία CV βελτιώνεται στους Hu et al. (2018) με μια μεταβλητή τροχιά ρεύματος για την αύξηση της απόδοσης φόρτισης κατά 7% μέσω της επιτάχυνσης της φόρτισης κατά 34%. Θα ήταν, ωστόσο, δυνατό να προβλεφθεί το ρεύμα φόρτισης υπό τη λειτουργία CV συνδυάζοντας μια μέτρηση εσωτερικής

αντίστασης σε πραγματικό χρόνο με έναν κλειστό βρόγχο που προβλέπει τη θερμοκρασία.



Εικόνα 7: Μεταβολές ρεύματος και τάσης κατά τη φόρτιση CC-CV (Pal et al., 2021).

#### Δίκτυο επικοινωνίας για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

Ένα επιτυχημένο σύστημα διαχείρισης φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα εξαρτάται από την αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των EVs, των EVSEs και του δικτύου (Markel et al., 2009, Gadh et al., 2015). Τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας ταξινομούνται σε ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες (Su et al., 2011, Erol-Kantarci & Mouftah, 2014). Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) σε διάφορους ιδιωτικούς τομείς είναι εφικτή, συμπεριλαμβανομένων των οικιακών περιοχών (HAN), των βιομηχανικών περιοχών (IAN), των κτιριακών περιοχών (BAN), των γειτονιών (NAN), αλλά και των πεδίων (FAN). Ο έλεγχος και η παρακολούθηση της

φόρτισης/εκφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και άλλων οικιακών χρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας διενεργούνται μέσω αυτών των δικτύων.

1. Η ενσύρματη επικοινωνία είναι ιδανική για τις μεγάλες αστικές περιοχές, όπου οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) είναι πυκνοί. Μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες επικοινωνίας σε αυτό το πλαίσιο είναι το Power Line Communication (PLC), το οποίο χρησιμοποιεί την ίδια γραμμή ρεύματος για τη μετάδοση δεδομένων (Ancillotti et al., 2013). Η αξιοπιστία του το καθιστά κατάλληλο για περιβάλλοντα με παρεμβολές. Επίσης, επιλέγονται πρωτόκολλα οπτικής επικοινωνίας και DSL, με την οπτική επικοινωνία να προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και ανθεκτικότητα στις παρεμβολές (Galli et al., 2011).
2. Η ασύρματη επικοινωνία είναι απαραίτητη για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ οχημάτων και σταθμών φόρτισης. Χρησιμοποιούνται τεχνολογίες όπως το Zigbee, τα κυψελοειδή δίκτυα, το WIFI και τα δορυφορικά δίκτυα. Η ιεραρχική δομή πλέγματος στον ασύρματο LAN βοηθά στη σύνδεση των συσκευών και εξασφαλίζει αξιόπιστη επικοινωνία.

#### Βέλτιστη θέση για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να βιώσουν λιγότερο άγχος εμβέλειας όταν το EVCS τους βρίσκεται σε βέλτιστη τοποθεσία (Luo et al., 2020; Xu et al., 2020). Η θέση ενός σταθμού φόρτισης καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η ικανοποίηση του οδηγού από τη φόρτιση, οι ανησυχίες του φορέα εκμετάλλευσης για τα οικονομικά, οι απώλειες του στόλου από διακοπές ρεύματος, τα ζητήματα ασφάλειας του δικτύου και τα κυκλοφοριακά προβλήματα στο σύστημα μεταφορών (Kong et al., 2019).

#### Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

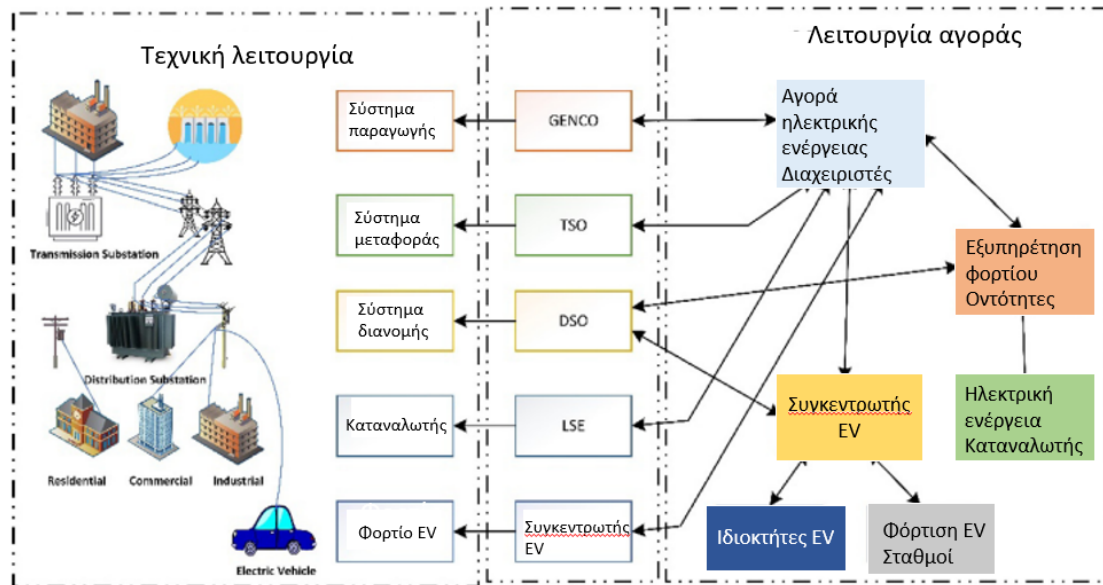
Η ενσύρματη επικοινωνία μεταξύ των τομέων των μεταφορών και της ηλεκτρικής ενέργειας έχει εμφανίσει στενές σχέσεις μόλις πρόσφατα. Οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις δημόσιας ωφέλειας έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές λόγω της έντονης ηλεκτροκίνησης στον τομέα των μεταφορών. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα ηλεκτρικά οχήματα συνεπάγονται επίσης μεγάλες αλλαγές στην υποδομή του

ηλεκτρικού δικτύου. Ωστόσο, παρά τις προκλήσεις αυτές, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν φέρει σημαντικά οφέλη. Η ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο ηλεκτρικών οχημάτων έχει κρίσιμη σημασία για τη φόρτισή τους. Πιθανώς να μπορούσαν τα ηλεκτρικά οχήματα να αποτελέσουν σημαντική πηγή επιστροφής ενέργειας στο δίκτυο και να παρέχουν υπηρεσίες όπως η μείωση των αρμονικών, η παροχή αναμονής ισχύος, η εξοικονόμηση ζήτησης κορυφής κ.λπ., σε ένα πλαίσιο έξυπνης διαχείρισης της ενέργειας. Η επιτυχία της ενσωμάτωσής τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων της τεχνολογικής ανάπτυξης και της επιχειρηματικής στρατηγικής.

#### Ηλεκτρικά οχήματα και δίκτυο: τρόποι διασύνδεσης ισχύος

Η αλληλεπίδραση ανταλλαγής ισχύος μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των δικτύων μπορεί να είναι ασυντόνιστη ή συγχρονισμένη ανάλογα με την τεχνική φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Πολλά ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν σε μη συντονισμένους τρόπους φόρτισης ανεξάρτητα από την απόδοση και την κατάσταση χρήσης του δικτύου μεταφοράς, επηρεάζοντας σημαντικά την ποιότητα και την αξιοπιστία. Η συντονισμένη λειτουργία V2G αναπτύσσεται για τον έλεγχο πολλών ηλεκτρικών οχημάτων στην παρούσα δομή ελέγχου. Δεν υπάρχει πρόοδος στην ανάπτυξη ενός προσαρμοστικού μηχανισμού φόρτισης/εκφόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα. Στην Εικόνα 8 απεικονίζεται η ροή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ του δικτύου και του PEV για μη συντονισμένες λειτουργίες φόρτισης και V2G (δηλ. όχημα προς δίκτυο).





Εικόνα 8: Σύστημα σύγκλισης δικτύου ηλεκτρικών οχημάτων (Pal et al., 2021).

### Ανάγκη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προέρχονται κυρίως από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τις μεταφορές, αυξάνοντας τους κινδύνους για την υγεία και το περιβάλλον. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη και στην προστασία του περιβάλλοντος, αλλά η παραγωγή τους είναι ασυνεπής και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αποτελέσουν λύση, αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές και εξισορροπώντας την αστάθεια στην παραγωγή. Επίσης, μπορούν να στηρίξουν την οικονομία της καθαρής ενέργειας, αρκεί να εξασφαλιστεί η κατάλληλη αποθήκευση μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών και των ηλεκτρικών οχημάτων, για πιο αποτελεσματική χρήση της ενέργειας (Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας, 2023).

### Οι επιπτώσεις της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο μπορεί να έχει τόσο αρνητικές όσο και θετικές επιπτώσεις. Αρνητικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Η υπερβολική ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο διανομής μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότά του.

Αυτό οφείλεται σε αλλαγές στο προφίλ φορτίου, ανισορροπίες τάσης και συχνότητας, υπερβολική έγχυση αρμονικών και απώλειες ισχύος. Η ποιότητα της ισχύος μπορεί να υποβαθμιστεί, ενώ μπορούν να προκύψουν και προβλήματα ρύθμισης ισχύος λόγω της υπερβολικής διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση προηγμένων τεχνικών διαχείρισης ισχύος.

### *Ρόλος πράκτορα στο EVGI*

Στην Εικόνα 8, ένας πράκτορας είναι ένα ανεξάρτητο πρόγραμμα που μπορεί να ελέγχει τη δράση του με βάση τις παρατηρήσεις του για το περιβάλλον λειτουργίας. Οι πράκτορες ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να διαθέτουν αυτονομία, ευφυΐα, ορθολογισμό και ικανότητα μάθησης και ενσωμάτωσης (Li, 2009). Ένας μη ρυθμιζόμενος πράκτορας είναι ένας πράκτορας που λειτουργεί στη χονδρική αγορά ενέργειας ή στη λιανική αγορά ενέργειας, αντίστοιχα, στις αγορές χονδρικής και λιανικής. Άλλοι, όπως οι TSO και οι DSO, είναι ρυθμιζόμενοι πράκτορες. Αν και οι ρυθμιζόμενοι πράκτορες λειτουργούν σε φυσικά μονοπώλια, η βάση της ρύθμισής τους είναι η ρύθμιση με βάση τα κίνητρα. Εκτός από αυτούς τους πράκτορες, η EVGI μπορεί να απαιτεί και άλλους πράκτορες, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοκτητών EV, των προμηθευτών-συλλεκτών EV (EVSA) και των διαχειριστών σημείων φόρτισης (CPM).

### *Ο ρόλος των συσσωρευτών EV στο EVGI*

Οι συγκεντρωτές EV λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ του δικτύου και των ηλεκτρικών οχημάτων, συλλέγοντας πληροφορίες όπως η ζήτηση ισχύος φόρτισης και ο χρόνος σύνδεσης από τους οδηγούς και μεταφέροντας τα στους διαχειριστές του δικτύου. Επιπλέον, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τους σταθμούς φόρτισης και τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων. Σε μια αγορά όπου υπάρχουν πολλαπλοί συσσωρευτές, ο ιδιοκτήτης ηλεκτρικού οχήματος μπορεί να επιλέξει αυτόν που ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις του. Σε συνεργασία με τον Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής (DSO), οι συσσωρευτές προβλέπουν τη ζήτηση ενέργειας της επόμενης ημέρας και προετοιμάζουν τις τιμές αγοράς/πώλησης. Η ανάλυση και η αξιολόγηση των προβλέψεων ζήτησης είναι αρμοδιότητα του DSO.

Αφού λάβει μια αποδεκτή πρόβλεψη, ο συσσωρευτής μπορεί να προχωρήσει σε διαπραγματεύσεις στην αγορά. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο DSO θα απαιτήσει από τον συσσωρευτή να προβεί στις απαραίτητες αλλαγές για να διασφαλίσει την ασφάλειά του (Hui et al., 2013).

#### *Ο ρόλος των συσσωρευτών EV στο EVGI*

Χρησιμοποιώντας έξυπνους μετρητές ως διεπαφή, οι συγκεντρωτές EV λειτουργούν ως σύνδεσμος μεταξύ του δικτύου και των EV, συλλέγοντας τη ζήτηση ισχύος φόρτισης και τον χρόνο σύνδεσης από τους οδηγούς και στέλνοντάς τα στους διαχειριστές του δικτύου. Επιπλέον, οι συγκεντρωτές ηλεκτρικών οχημάτων (EV) λειτουργούν ως ενδιάμεσος σύνδεσμος μεταξύ του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και των ιδιοκτητών EV. Μέσω έξυπνων μετρητών, συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τους σταθμούς φόρτισης και τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους ιδιοκτήτες EV. Σε περιοχές όπου λειτουργούν πολλοί συσσωρευτές, ο ιδιοκτήτης EV έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τον συσσωρευτή που καλύπτει καλύτερα τις ανάγκες του. Σε συνεργασία με τον Διαχειριστή Συστήματος Διανομής (DSO), οι συσσωρευτές προβλέπουν τη ζήτηση ενέργειας για την επόμενη ημέρα και προετοιμάζουν τις τιμές αγοράς και πώλησης (Hui et al., 2013). Η αξιολόγηση της τεχνικής σκοπιμότητας των προβλέψεων ζήτησης είναι υπόθεση του DSO, ενώ ο συσσωρευτής πρέπει να προβλέψει τη συμπεριφορά και τις προτιμήσεις των ιδιοκτητών EV, όπως τον χρόνο και την απόσταση αναχώρησης και άφιξης, καθώς και τις προτιμήσεις φόρτισης της μπαταρίας τους. Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται πιο αποτελεσματική καθώς οι συσσωρευτές εκμεταλλεύονται την αποθήκευση των μπαταριών των πελατών τους, ενώ μπορούν να ανταγωνιστούν απευθείας τους λιανοπωλητές ηλεκτρικής ενέργειας σε θέματα αγοράς και πώλησης ενέργειας. Επιπλέον, συμμετέχοντας στον δευτερεύοντα έλεγχο συχνότητας, συμβάλλουν στην ασφάλεια του δικτύου. (Sortomme and El-Sharkawi, 2010).

#### *Πολιτική και κίνητρα*

Η συνδυασμένη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων με πηγές ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα είναι ο δρόμος προς την παραγωγή μηδενικών εκπομπών καυσαερίων. Σε

αντίθεση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίοι εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου, οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας προσφέρουν λιγότερες εκπομπές αερίων. Συνεπώς, πολλές χώρες έχουν αναλάβει πολιτικές πρωτοβουλίες για την προώθηση της ανάπτυξης και της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων στα μεταφορικά τους δίκτυα. Μερικές από αυτές τις πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν την κατάργηση των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης ή την επίτευξη προτύπων μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για τα αυτοκίνητα έως το 2050. Παραδείγματος χάριν, η Γαλλία έχει θέσει ως στόχο το 2040 για την απαγόρευση των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Οι κυβερνητικές αποφάσεις και τα κίνητρα που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα επηρεάζονται σημαντικά από την παρούσα κατάσταση της βιομηχανίας των ηλεκτρικών οχημάτων. Για την επιτάχυνση της υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων, οι απαιτήσεις για αυτά και τους φορτιστές τους πρέπει να εφαρμοστούν έγκαιρα. Επιπλέον, η δημόσια προβολή της τεχνολογίας μέσω κυβερνητικών οχημάτων και δημόσιων μεταφορών αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο προώθησης της υιοθέτησης. Πολλές κυβερνήσεις εστιάζουν τις πολιτικές και τα κίνητρά τους σε φορολογικές απαλλαγές, μειώσεις του μοναδιαίου κόστους και πρόσβαση σε υποδομές φόρτισης. Οι κανονισμοί και τα οικονομικά κίνητρα προωθούν την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, θέτοντας συγκεκριμένους στόχους για τη βιομηχανία. Ως απάντηση σε πολλούς από αυτούς τους κανονισμούς, πολλοί κατασκευαστές υποχρεούνται να κατασκευάζουν υβριδικά αυτοκίνητα και αυτοκίνητα με υψηλότερη αποδοτικότητα καυσίμου. Σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς της ΕΕ για τις εκπομπές ρύπων, τα οχήματα πρέπει να εκπέμπουν 95 γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο, αυξάνοντας τις πωλήσεις υβριδικών οχημάτων σε όλη την Ευρώπη. Η κινεζική κυβέρνηση ανακοίνωσε νέα πιστωτική πολιτική με στόχους για το 2021-2023. Λόγω του νόμου SAFE (Safer Affordable Fuel-Efficient) που τέθηκε σε εφαρμογή τον Μάρτιο 2020, οι απαιτήσεις αποδοτικότητας καυσίμου έχουν μειωθεί από 4,7% το 2012 σε 1,5% το 2021. Οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο λαμβάνουν πρωτοβουλίες και εισάγουν πολιτικές για την ταχύτερη και ευκολότερη προώθηση της υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτές οι διεθνείς πολιτικές περιγράφονται παρακάτω:

Η εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων έχει δημιουργήσει εξαιρέσεις από τους περιορισμούς πρόσβασης σε αστικές περιοχές. Πολλές πόλεις σε όλο τον κόσμο έχουν εφαρμόσει περιορισμούς πρόσβασης για οχήματα με υψηλή ρύπανση, όπως αυτοί που ισχύουν στην Ευρώπη. Τα ηλεκτρικά οχήματα εξαιρούνται από αυτούς τους νόμους,

καθώς δεν παράγουν εκπομπές ρύπων. Επίσης, η στρατηγική πρόσβασης σε δρόμους με μονό αριθμό δεν ισχύει για τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς έχουν πρόσβαση σε όλους τους δρόμους.

Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν πρόσβαση σε δημόσιους χώρους στάθμευσης και έχουν καθορισμένες θέσεις στάθμευσης. Πολιτικά κίνητρα, όπως αποκλειστικές θέσεις στάθμευσης και δημόσιοι σταθμοί φόρτισης, εφαρμόζονται συνήθως σε τοπικό ή δημοτικό επίπεδο, ενθαρρύνοντας έτσι τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, ορισμένες πόλεις έχουν θέσει λωρίδες και τροχιές για λεωφορεία και οχήματα υψηλής πληρότητας (HOV), στις οποίες τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν πρόσβαση. Αυτά τα μέτρα όχι μόνο προωθούν την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολό τους, αλλά επίσης δημιουργούν επιπλέον κίνητρα για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, η απαγόρευση κυκλοφορίας ρυπογόνων οχημάτων στο μέλλον αναμένεται να καταστήσει τα ηλεκτρικά οχήματα πιο ελκυστικά στη δευτερογενή αγορά, επιδρώντας έτσι στην οικονομική τους αξία (McKenzie, 2016).

#### *Δομή της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων*

Κατά την περίοδο 2022-2030, προβλέπεται ότι ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων θα αυξηθεί σημαντικά, από 8.151.000 μονάδες σε 39.208.000 μονάδες, με συνολικό ετήσιο ρυθμό αύξησης 21,7%. Αυτή η αύξηση οφείλεται κυρίως στις κρατικές επιδοτήσεις και τις φορολογικές εκπτώσεις που ενθαρρύνουν τους κατασκευαστές να αναπτύξουν οχήματα μεγάλης εμβέλειας και μηδενικών εκπομπών. Τα κράτη έχουν θέσει στόχους για τη μείωση των εκπομπών και προωθούν την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων με σκοπό τη μετάβαση σε μεταφορικά μέσα με χαμηλές εκπομπές ρύπων. Ως αποτέλεσμα, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν καταστεί πιο δημοφιλή. Στην Ασία-Ειρηνικό, η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να αυξηθεί σταθερά λόγω της μεγάλης ζήτησης για οχήματα χαμηλού κόστους και χαμηλών εκπομπών ρύπων. Αντίθετα, στις αγορές της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης, παρατηρείται ταχεία ανάπτυξη λόγω των πρωτοβουλιών των κυβερνήσεων και της αύξησης των υψηλής απόδοσης ηλεκτρικών οχημάτων (Springel et al., 2021). Ωστόσο, η παγκόσμια αγορά ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να αυξηθεί με μέτριο ρυθμό λόγω της έλλειψης ηλεκτρικών οχημάτων και σταθμών φόρτισης, καθώς και λόγω του υψηλού κόστους αρχικής επένδυσης και των περιορισμών στην απόδοση. Επίσης, η

επιχείρηση φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάστηκε μέτρια από την πανδημία, ενώ η εξόρυξη υλικών όπως ο χάλυβας, ο χαλκός και το αλουμίνιο επηρεάστηκε αρνητικά. Παρόλα αυτά, οι κυβερνήσεις παγκοσμίως συνεχίζουν να πιέζουν για τη σταδιακή κατάργηση των οχημάτων εσωτερικής καύσης (Li, 2019).

### **2.3 Σύνοψη και συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης**

Η ανάλυση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) αποκαλύπτει μια αυξανόμενη τάση προς την υιοθέτηση εναλλακτικών τρόπων μετακίνησης που προσφέρουν τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά οφέλη. Τα EVs χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Τα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEV) συνδυάζουν έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, βελτιώνοντας την κατανάλωση καυσίμου και μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα. Τα Ηλεκτρικά Οχήματα με Φόρτιση από Εξωτερική Πηγή (PEV) περιλαμβάνουν τα Battery Electric Vehicles (BEV), τα οποία λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια, και τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV), τα οποία συνδυάζουν ηλεκτρική και βενζινοκίνητη πρόωση για μεγαλύτερη ευελιξία. Τέλος, τα Ηλεκτρικά Οχήματα με Κυψέλες Καυσίμου (FCEV) χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προσφέροντας μια καθαρή εναλλακτική. Η φόρτιση των EVs πραγματοποιείται μέσω δύο βασικών επιπέδων. Η φόρτιση Επίπεδο 1 (L1) χρησιμοποιεί οικιακές πρίζες 120 V και είναι αργή, κατάλληλη για καθημερινή χρήση στο σπίτι με χαμηλό κόστος. Αντίθετα, η φόρτιση Επίπεδο 2 (L2) λειτουργεί με πρίζες 240 V ή 400 V και προσφέρει ταχύτερη φόρτιση και καλύτερη απόδοση ανά μίλι, κάνοντάς την ιδανική για δημόσιους χώρους και εμπορικές εγκαταστάσεις (International Energy Agency, 2023). Η ενσωματωμένη προστασία από υπερτάσεις στους φορτιστές L2 ενισχύει την ασφάλεια, καθιστώντας τους κρίσιμους για την ευρύτερη υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η αυξανόμενη ανησυχία για την κλιματική αλλαγή και η ανάγκη μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έχουν οδηγήσει σε μια στροφή προς καθαρές και βιώσιμες ενεργειακές λύσεις. Οι κύριες πηγές εκπομπών CO<sub>2</sub> προέρχονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις μεταφορές, που επιβαρύνουν το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική, προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για τη μείωση αυτών των εκπομπών, αλλά η ασυνέπεια στην παραγωγή τους λόγω καιρικών συνθηκών παραμένει πρόκληση (U.S. Department of Energy). Σ' αυτό το

πλαίσιο, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση του ενεργειακού συστήματος. Λειτουργώντας ως αποθηκευτές πλεονάζουσας ανανεώσιμης ενέργειας, συμβάλλουν στην εξοικονόμηση καθαρής ενέργειας και αποφεύγουν την περικοπή της. Ωστόσο, η ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο ενέργειας εγείρει προκλήσεις, όπως η σταθερότητα του δικτύου και οι ανισορροπίες τάσης. Η ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών διαχείρισης ισχύος είναι κρίσιμη για την ασφαλή ενσωμάτωσή τους. Ο ρόλος των φορέων του συστήματος ενσωμάτωσης EV (EVGI) είναι επίσης σημαντικός. Οι συγκεντρωτές EV και οι διαχειριστές σημείων φόρτισης συνεργάζονται με τους διαχειριστές συστημάτων διανομής (DSO) για την πρόβλεψη και διαχείριση της ζήτησης ενέργειας. Οι πολιτικές και τα κίνητρα από κυβερνήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο συμβάλλουν στην προώθηση των EV, με μέτρα όπως η κατάργηση οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης και η διευκόλυνση της πρόσβασης σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης. Φοροαπαλλαγές, επιδοτήσεις και ειδικές θέσεις στάθμευσης ενθαρρύνουν την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων. Η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να σημειώσει σημαντική ανάπτυξη την επόμενη δεκαετία, κυρίως λόγω των κρατικών επιδοτήσεων και της συνεχούς πρόοδου των τεχνολογιών. Ενώ υπάρχουν περιορισμοί, όπως η έλλειψη υποδομών φόρτισης και το υψηλό κόστος, η συνδυασμένη πίεση από κυβερνήσεις και η τεχνολογική εξέλιξη υπόσχονται μια σταδιακή μετάβαση προς ένα καθαρότερο μέλλον μεταφορών. Συνολικά, η ενσωμάτωσή τους στο ενεργειακό δίκτυο και η στήριξη των ανανεώσιμων πηγών αναδεικνύονται ως κρίσιμα βήματα για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Η αποτελεσματική διαχείριση, η πολιτική υποστήριξη και η ανάπτυξη υποδομών είναι θεμελιώδη στοιχεία για την επιτυχία αυτών των στόχων, δημιουργώντας μια πιο βιώσιμη και ευέλικτη ενεργειακή υποδομή για τις μελλοντικές γενιές (McKinsey & Company, 2022).

Παρά την εντυπωσιακή πρόοδο που έχει σημειωθεί στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων και την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης, ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για την ευρεία υιοθέτηση των EVs παραμένει η διαθεσιμότητα ταχυφορτιστών, ιδιαίτερα σε ιδιωτικούς χώρους. Η εγκατάσταση ταχυφορτιστών σε οικιστικές εγκαταστάσεις μπορεί να προσφέρει κρίσιμη υποστήριξη στους κατόχους EVs, παρέχοντας ταχύτερη φόρτιση και μεγαλύτερη ευκολία, επιτρέποντας στους χρήστες να φορτίζουν τα οχήματά τους πιο γρήγορα στην καθημερινή τους ζωή. Η προώθηση αυτών των υποδομών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διευκόλυνση της

μετάβασης σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον μεταφορών. Στο πλαίσιο αυτό, η εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη της διερεύνησης των παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη απόφασης για την εγκατάσταση ταχυφορτιστών σε οικιστικές περιοχές, προσφέροντας πολύτιμη γνώση γύρω από ζητήματα όπως η οικονομική βιωσιμότητα, η τεχνολογική ετοιμότητα, και η αποδοχή από τους χρήστες. Αυτή η έρευνα συμβάλλει στην κατανόηση των προκλήσεων και των ευκαιριών που συνοδεύουν ένα τέτοιο εγχείρημα, ενώ παράλληλα προσφέρει πρακτικές προτάσεις για την ενίσχυση της ηλεκτροκίνησης μέσω της ευρύτερης και ταχύτερης υιοθέτησης υποδομών ταχείας φόρτισης. Η σχετική γνώση που αποκτάται από την έρευνα αυτή είναι πολύτιμη για τη διαμόρφωση στρατηγικών που θα διευκολύνουν τη μετάβαση προς μια καθαρότερη και πιο βιώσιμη ενεργειακή υποδομή.



### **3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των μεταβλητών που επηρεάζουν την επιλογή εγκατάστασης ταχυφορτιστή σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Μετά τη διεξαγωγή βιβλιογραφικής επισκόπησης του σχετικού θέματος, πραγματοποιήθηκε έρευνα όπου συγκεντρώθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα και υποβλήθηκαν σε κατάλληλη επεξεργασία. Η διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή και εξέταση των δεδομένων - τα οποία προήλθαν από τους ερωτηθέντες - συζητείται σε αυτό το κεφάλαιο.

Η δομή του ερωτηματολογίου εξηγείται στην αρχή και στη συνέχεια εμφανίζονται γραφήματα που αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα της έρευνας. Τέλος, παρέχεται αναλυτικός σχολιασμός μαζί με τα εξαγόμενα αποτελέσματα.

#### **3.2 Εργαλεία έρευνας**

Για αυτό το εγχείρημα, η δημιουργία ενός ερωτηματολογίου κρίθηκε ως ο καλύτερος τρόπος συλλογής δεδομένων. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των ερωτήσεων και η πιθανότητα οι συμμετέχοντες να μην τις ολοκληρώσουν όλες, χρησιμοποιήθηκαν ερωτήσεις κλειστού τύπου. Η σαφήνεια και η συνοχή ήταν ζωτικής σημασίας για τη σωστή επιλογή ερωτήσεων, καθώς δημιουργούν ροή και κεντρίζουν την προσοχή του συμμετέχοντα.

#### **3.3 Δομή ερωτηματολογίου**

Υπάρχουν συνολικά 39 ερωτήσεις, χωρισμένες σε 3 βασικούς τομείς του ερωτηματολογίου.

Στην *πρώτη ενότητα*, εξετάζονται οι συνήθειες μετακίνησης των συμμετεχόντων στην έρευνα. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται ο σκοπός της κύριας μετακίνησης, ο τύπος του αυτοκινήτου, ο χώρος στάθμευσης και άλλες παρόμοιες ερωτήσεις.

Η *δεύτερη ενότητα* ασχολείται με το κύριο μέρος της εργασίας. Στην ενότητα αυτή καταγράφονται οι απόψεις για το κατά πόσο ενδιέφερε τους συμμετέχοντες στην

έρευνα να συμμετέχουν σε προγράμματα επιδοτήσεων ή εκπτώσεων για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή, το ελάχιστο ποσό επιδότησης το οποίο θα τους παρακινούσε να εγκαταστήσουν ταχυφορτιστή, το μέγεθος του χώρου στάθμευσης που μπορούν να διαθέσουν για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή, οι απόψεις τους για την προοπτική της ηλεκτροκίνησης και τα ηλεκτρικά οχήματα γενικότερα, εάν είναι πιθανό να αγοράσουν ηλεκτροκίνητο ΙΧ στα επόμενα 2 έτη και παρόμοιες σχετικές ερωτήσεις. Τέλος εξετάζονται τα πιθανά πλεονεκτήματα χρήσης ταχυφορτιστή με τη βοήθεια 6 ερωτήσεων.

Τα δημογραφικά στοιχεία των χρηστών καταγράφονται στην **τρίτη ενότητα**. Αυτές είναι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής σχετικά με την ηλικία, το επίπεδο εκπαίδευσης, το ετήσιο εισόδημα και το εάν και κατά πόσο οι συμμετέχοντες μπορούν ή όχι να χρησιμοποιήσουν ένα Ι.Χ. για να διευκολύνουν τα ταξίδια τους. Παρακολουθώντας αυτά τα στοιχεία, μπορεί κανείς να λάβει υπόψιν τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων του δείγματος και να βγάλει συμπεράσματα σε συνδυασμό με τους προηγούμενους παράγοντες.

### **3.4 Διανομή ερωτηματολογίων και συλλογή απαντήσεων**

Δύο προσεγγίσεις λήφθηκαν υπόψη για τη συλλογή του ερωτηματολογίου: πρώτον, χρησιμοποιώντας έντυπα και δεύτερον, ηλεκτρονικά, χρησιμοποιώντας συνδέσμους που κοινοποιούνται μέσω των μέσων κοινωνικής δικτύωσης ή του email. Λόγω της πανδημίας και των περιβαλλοντικών ανησυχιών, επιλέχθηκε η δεύτερη προσέγγιση — κυρίως με χρήση κοινωνικών δικτύων λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους.

Συγκεντρώθηκαν συνολικά 242 παρατηρήσεις. Προκειμένου να αποφευχθούν ανακρίβειες και αναπάντητες ερωτήσεις, οι απαντήσεις εξετάστηκαν για λογική συνέπεια και αξιοπιστία αφού συγκεντρώθηκαν. Τα ερωτηματολόγια με ασυνεπείς απαντήσεις και εκείνα με πάνω από το 50% των απαντήσεων να είναι κενές, δεν λήφθηκαν υπόψιν.

Οι πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν φορτώθηκαν στο στατιστικό πακέτο S.P.S.S. για να υποβληθούν σε στατιστική ανάλυση. Το πρόγραμμα που αναφέρεται παραπάνω συγκαταλέγεται στα πιο δημοφιλή και φιλικά προς τον χρήστη προγράμματα στατιστικής ανάλυσης. Τα δεδομένα προετοιμάστηκαν και

κωδικοποιήθηκαν πριν εισαχθούν στο πρόγραμμα, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η ανάλυσή τους.

### **3.5 Κατανομή απαντήσεων ερωτηματολογίων**

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων και παράλληλα πραγματοποιείται αναλυτικός σχολιασμός τους, επιμέρους και συνολικά.

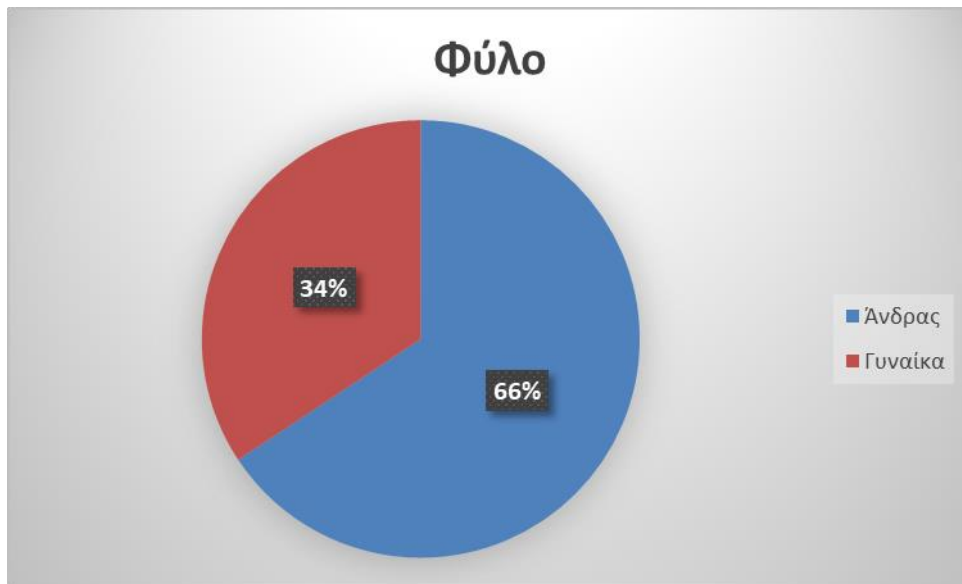
#### **3.5.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά**

Μέσω των ερωτήσεων της τρίτης ενότητας του ερωτηματολογίου εξήχθησαν κάποια χρήσιμα δεδομένα που αφορούν το φύλο, την ηλικία, το επάγγελμα, το μορφωτικό επίπεδο, την οικογενειακή κατάσταση, τον τόπο κατοικίας και το μέγεθος του νοικοκυριού των ερωτηθέντων.

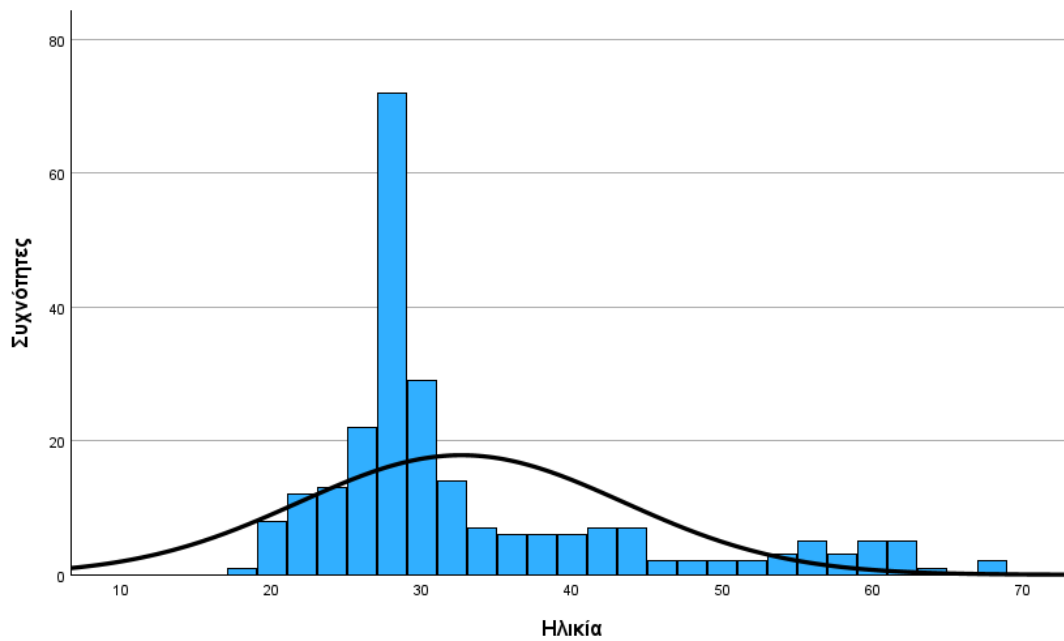
Διαπιστώθηκε ότι το 66% των ερωτηθέντων είναι άνδρες και το 34% είναι γυναίκες, όπως φαίνεται στο *Διάγραμμα 3.1*.

Παρακάτω, στο *Διάγραμμα 3.2* εμφανίζονται τα ηλικιακά χαρακτηριστικά των ερωτηθέντων. Παρατηρείται ότι το δείγμα έχει άτομα από όλο το ηλικιακό φάσμα, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία του.

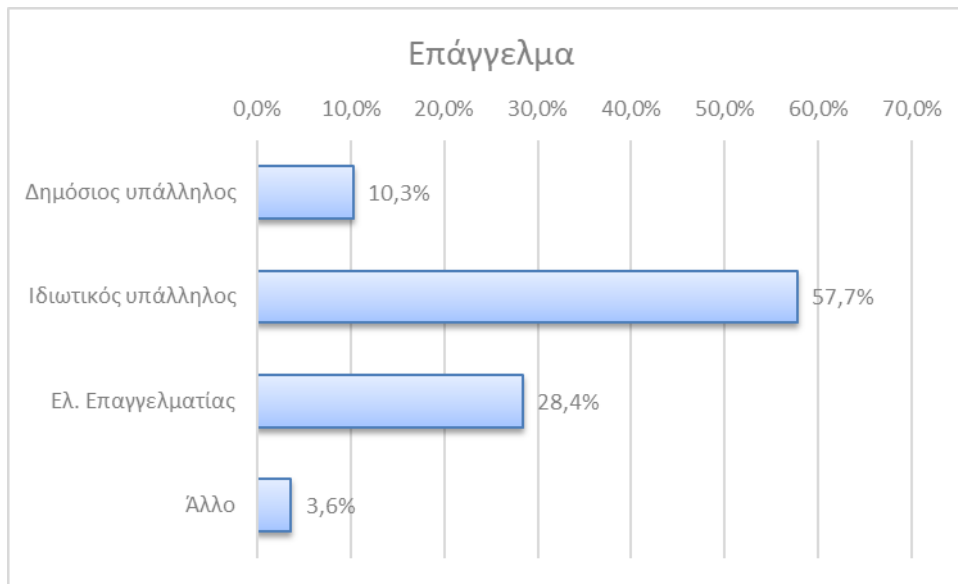
Στο *Διάγραμμα 3.3* παρατηρείται ο διαχωρισμός του δείγματος με βάση την επαγγελματική τους ενασχόληση. Όπως και στην ηλικία, έτσι και στο επάγγελμα επιτεύχθηκε η δειγματοληψία να περιέχει όλο το επαγγελματικό φάσμα. Φαίνεται ότι η πλειοψηφία των ερωτηθέντων ανήκει στις κατηγορίες, κατά φθίνουσα σειρά, ιδιωτικών υπαλλήλων πλήρους απασχόλησης (57,7%), Ελεύθερων επαγγελματιών (28,4%) και δημοσίων υπαλλήλων (10,3%) ενώ το 3,6% δήλωσε «Άλλο».



Διάγραμμα 3.1. Κατανομή φύλου συμμετεχόντων στην έρευνα..



Διάγραμμα 3.2. Κατανομή ηλικιών.

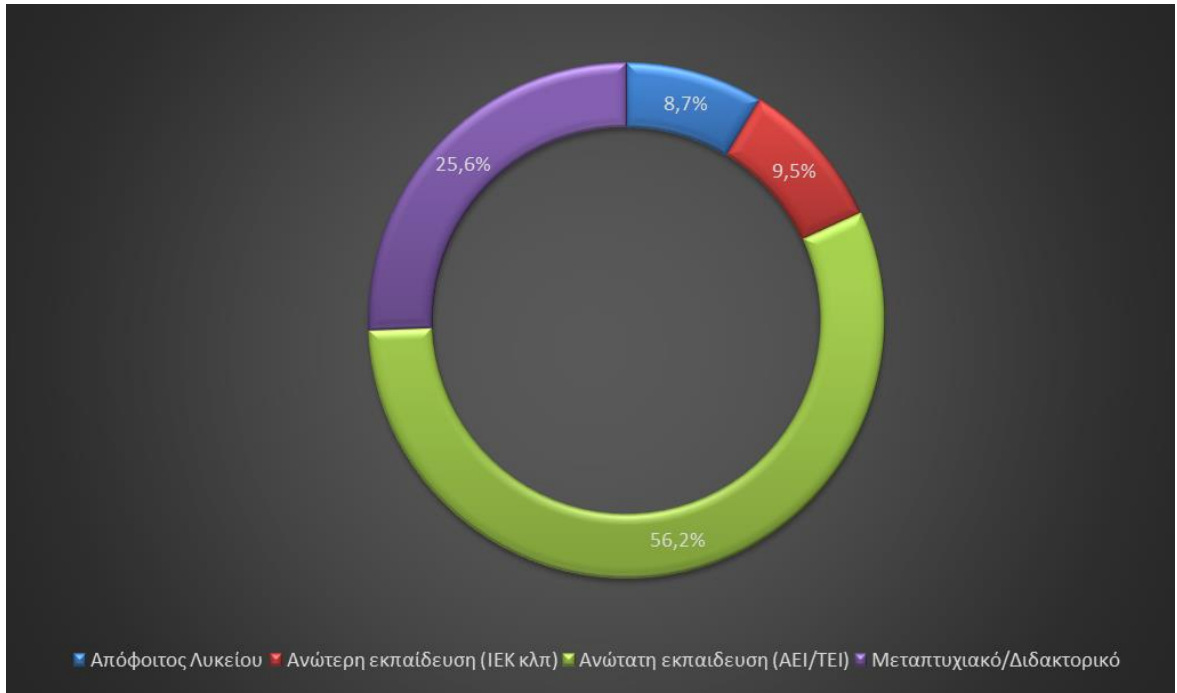


*Διάγραμμα 3.3. Κατανομή επαγγέλματος συμμετεχόντων.*

Στο **Διάγραμμα 3.4** παρουσιάζεται το μορφωτικό επίπεδο των ατόμων που απάντησαν. Παραπάνω από τους μισούς (56,2%) έχουν λάβει Ανώτατη Εκπαίδευση, ενώ επίσης μεγάλη μερίδα ανθρώπων κατέχει Μεταπτυχιακό ή Διδακτορικό τίτλο (25,6%). Μικρότερα ποσοστά συγκεντρώνονται στους απόφοιτους Λυκείου και κατόχους πτυχίου ανώτερης εκπαίδευσης.

Στη συνέχεια, στο **Διάγραμμα 3.5** φαίνεται η οικογενειακή κατάσταση των ερωτηθέντων όπου η κατηγορία Άγαμος/η σε σχέση είχε ποσοστό 46%. Στη συνέχεια, το 29% απάντησαν ότι είναι άγαμοι, το 22% ότι είναι έγγαμοι ενώ το 1% απάντησε ότι είναι σε χηρεία και το 2% απάντησε άλλο.

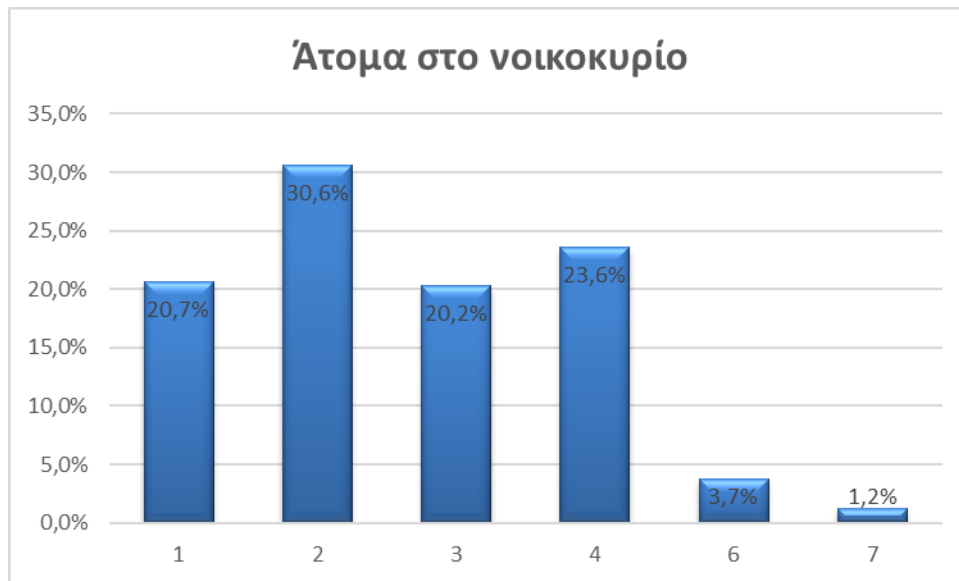
Μία παράμετρος που συμπεριλήφθηκε στο ερωτηματολόγιο είναι ο αριθμός των ατόμων που κατοικούν στην οικία των ερωτηθέντων ή αλλιώς το μέγεθος του νοικοκυριού τους. Στο **Διάγραμμα 3.6** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 3.4. Κατανομή εκπαιδευτικού επιπέδου.



Διάγραμμα 3.5. Κατανομή οικογενειακής κατάστασης.



*Διάγραμμα 3.6. Κατανομή μεγέθους νοικοκυριού.*

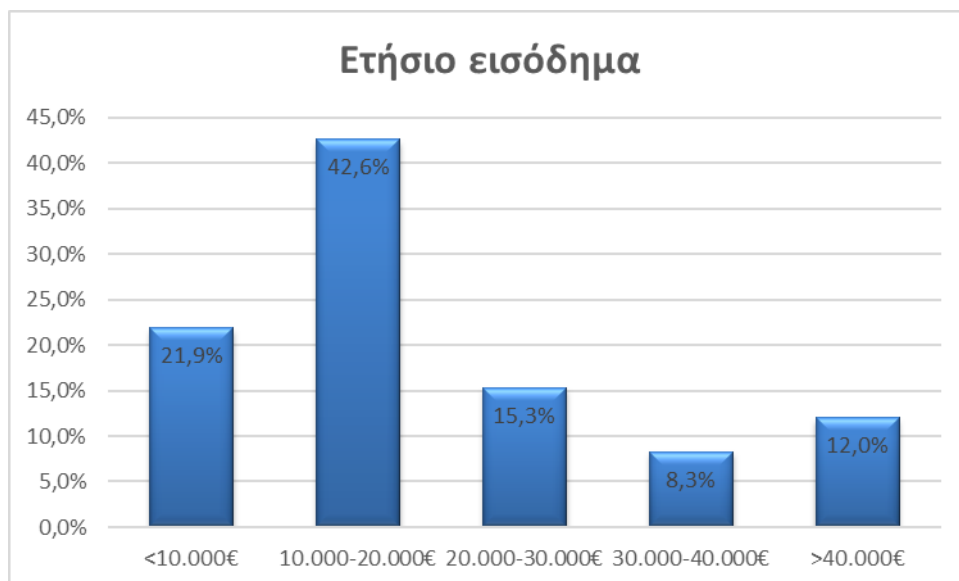
Στο **Διάγραμμα 3.7** παρατηρείται η κατανομή στις περιοχές Αττικής που διαμένουν οι ερωτηθέντες. Το 37% απάντησε ότι κατοικεί στα βόρεια προάστια, το 18% στο κέντρο της Αθήνας, το 15% στα νότια προάστια, το 12% στα ανατολικά προάστια, το 10% στα Δυτικά προάστια και το 8% απάντησε άλλο.

Στοχεύοντας στην κάλυψη όλων των οικονομικών και κοινωνικών ομάδων, οι συμμετέχοντες ερωτήθηκαν για το ετήσιο ατομικό τους εισόδημα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 3.8**. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το 42,6% έχει ετήσιο εισόδημα 10.000€ με 20.000€ και το 21,9% μικρότερο των 10.000€.

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 3.9** διαπιστώθηκε ότι 74% των συμμετεχόντων κατοικούν σε πολυκατοικία και το 25% σε μονοκατοικία ενώ το 1% απάντησε άλλο. Τέλος, από το **Διάγραμμα 3.10** διαπιστώθηκε ότι το 60,7% είναι ιδιοκτήτες, το 34,3% ενοικιαστές και το 5% απάντησε άλλο.



Διάγραμμα 3.7. Κατανομή περιοχής κατοικίας.

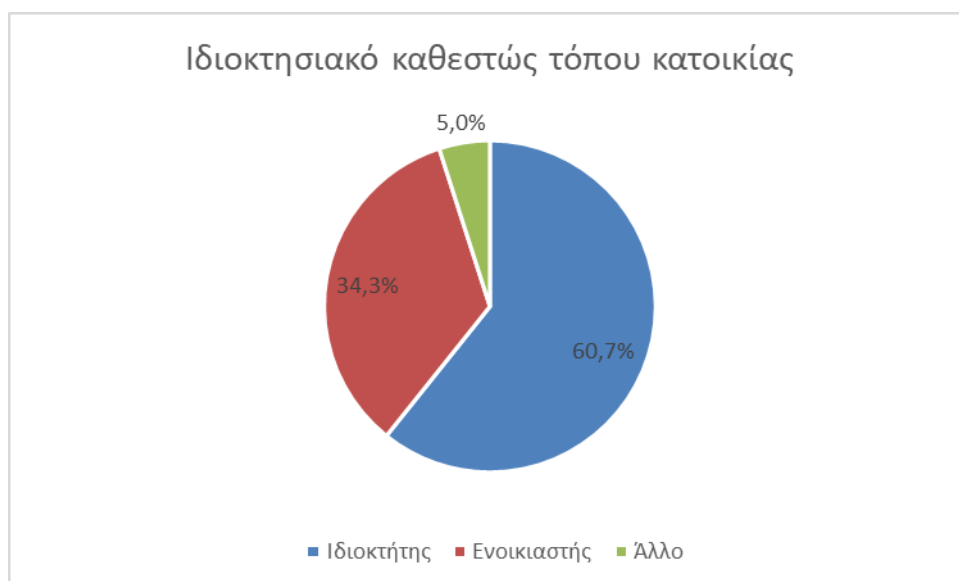


Διάγραμμα 3.8. Κατανομή ετήσιου εισοδήματος.





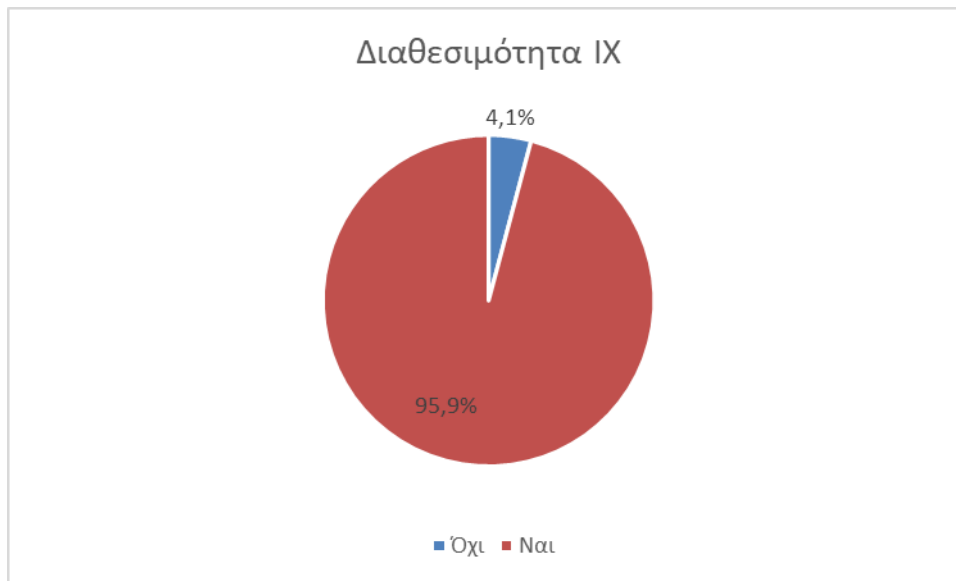
Διάγραμμα 3.9. Κατανομή τύπου κατοικίας



Διάγραμμα 3.10. Κατανομή ιδιοκτησιακού καθεστώτος τύπου κατοικίας

### 3.5.2 Χαρακτηριστικά χρήσης ΙΧ

Οι επόμενες ερωτήσεις αφορούσαν τα χαρακτηριστικά χρήσης ΙΧ. Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 3.11** το 95,9% των συμμετεχόντων είχαν δικό τους ΙΧ. Σε αυτό είχε πρόσβαση και άλλο άτομο στο 43,8% των περιπτώσεων ενώ το 56,2% απάντησε αρνητικά (**Διάγραμμα 3.12**).

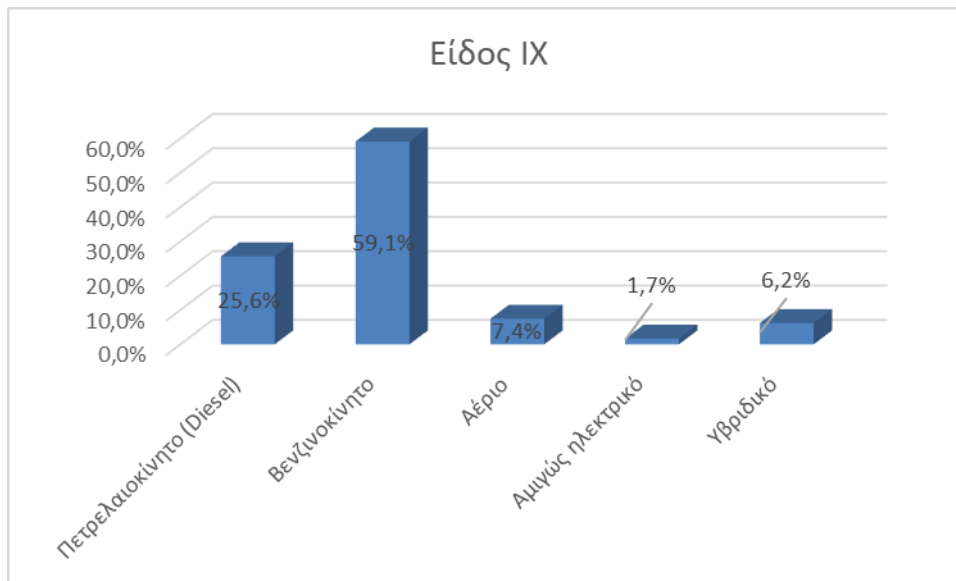


*Διάγραμμα 3.11. Κατανομή διαθεσιμότητας ΙΧ.*

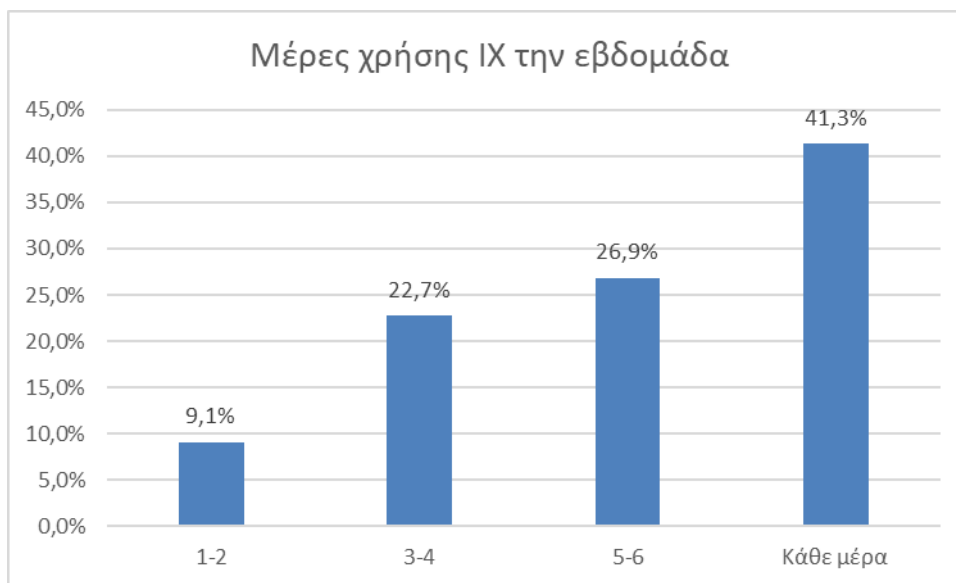


*Διάγραμμα 3.12. Κατανομή πρόσβασης ΙΧ και από άλλα άτομα πέραν του ερωτώμενου.*

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 3.13**, το 59,1% των συμμετεχόντων έχουν βενζινοκίνητο αυτοκίνητο, το 25,6% πετρελαιοκίνητο και το 7,4% με φυσικό αέριο. Αμιγώς ηλεκτρικά είχε μόνο το 1,7% των συμμετεχόντων και υβριδικό το 6,2%. Στη συνέχεια, το **Διάγραμμα 3.14** έδειξε ότι 41,3% των ερωτώμενων κάνουν καθημερινή χρήση του ΙΧ, 26,9% 5 με 6 ημέρες την εβδομάδα, το 22,7% 3 με 4 ημέρες την εβδομάδα και το 9,1% μια με δύο ημέρες την εβδομάδα.



Διάγραμμα 3.13. Κατανομή τύπου ΙΧ.



Διάγραμμα 3.14. Κατανομή εβδομαδιαίας συχνότητας χρήσης ΙΧ.

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 3.15**, το 65,3% των συμμετεχόντων χρησιμοποιούν το αυτοκίνητο τους κυρίως για εργασία, το 14% για ψυχαγωγία το 9,5% για αγορές και ψώνια και το 8,7% για σπουδές. Όσον αφορά το χώρο στάθμευσης τους, το **Διάγραμμα 3.16** έδειξε ότι το 38,4% χρησιμοποιεί υπόγειο χώρο στάθμευσης, το 34,3% δημόσιο χώρο στάθμευσης και το 27,3% πιλοτή.

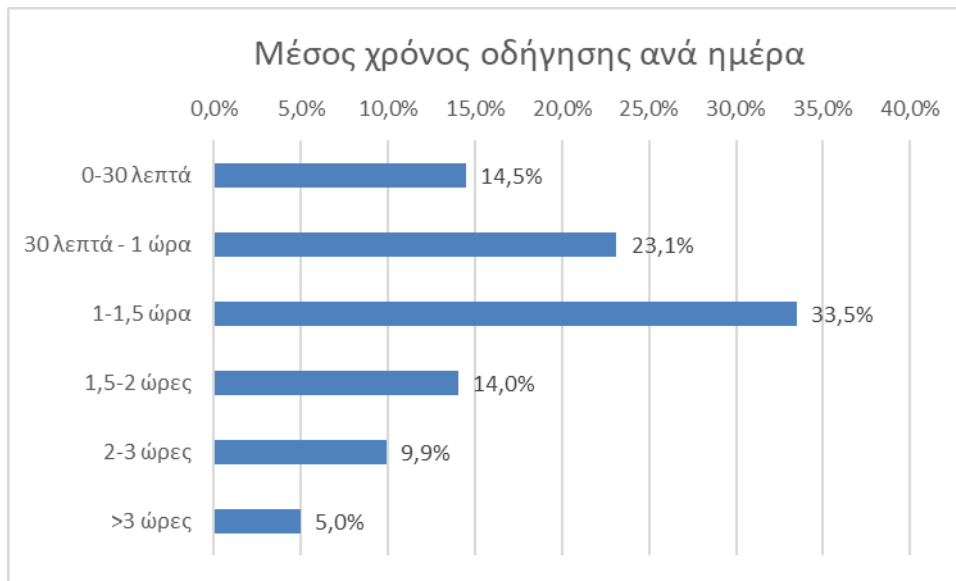


Διάγραμμα 3.15. Κατανομή σκοπού κύριας μετακίνησης.

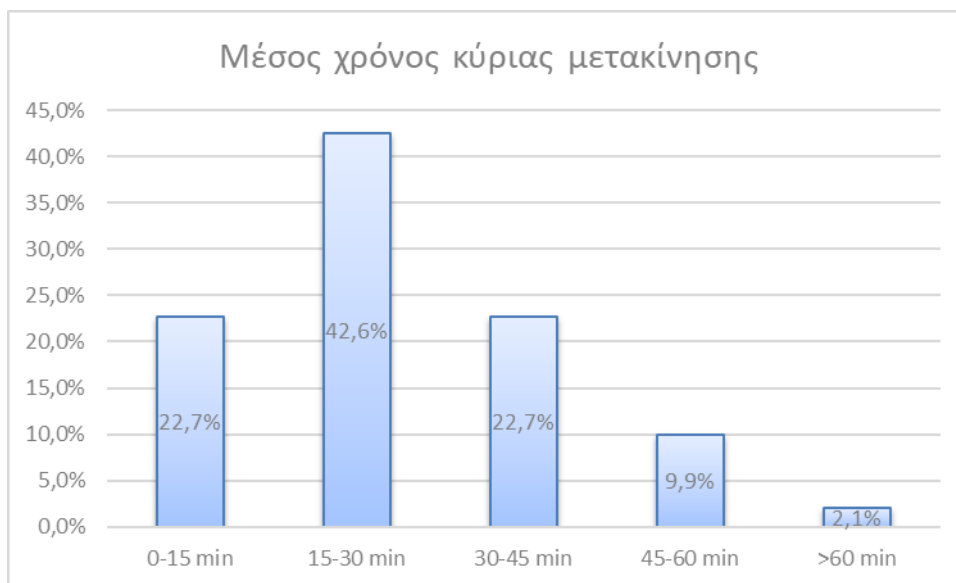


Διάγραμμα 3.16. Κατανομή κύριου χώρου στάθμευσης.

Ο μέσος χρόνος οδήγησης των συμμετεχόντων στην έρευνα είναι μία έως μιάμιση ώρα για το 33,5%, 30 λεπτά με μια ώρα για το 23,1%, 0 έως 30 λεπτά για το 14,5% ενώ περισσότερες από 3 ώρες απάντησε το 5% (Διάγραμμα 3.17). Όμως, ο μέσος χρόνος μετακίνησης ήταν 15 έως 30 λεπτά για το 42,6% ενώ περισσότερο από μια ώρα απάντησε το 2,1% (Διάγραμμα 3.18).



Διάγραμμα 3.17. Κατανομή μέσου ημερήσιου χρόνου οδήγησης.



Διάγραμμα 3.18. Κατανομή μέσου χρόνου κύριας μετακίνησης.

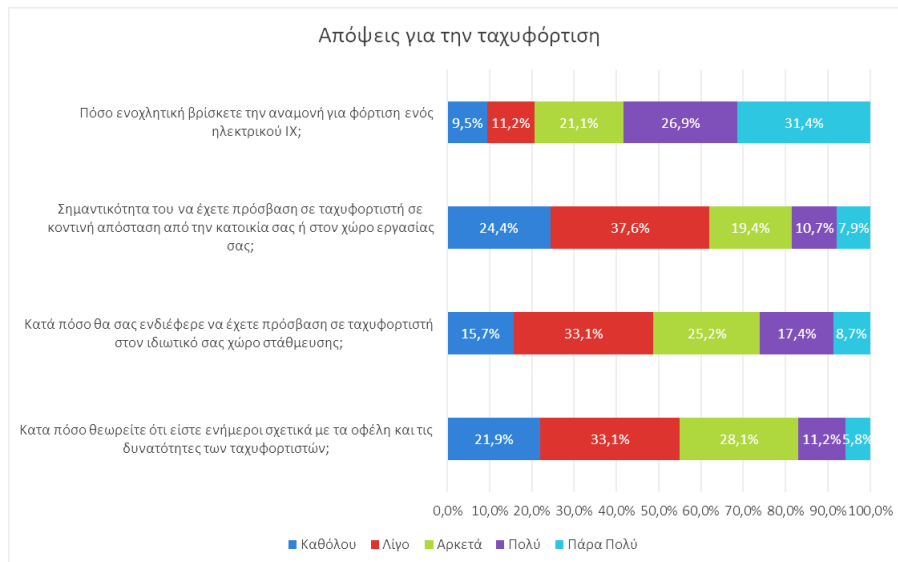
### 3.5.3 Χρήση ταχυφορτιστή

Οι επόμενες ερωτήσεις αφορούσαν την χρήση ταχυφορτιστή. Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 3.19** μόνο το 6,2% των συμμετεχόντων στην έρευνα διαθέτουν ταχυφορτιστή στον τόπο κατοικία τους. Στο **Διάγραμμα 3.20** παρουσιάζονται οι απόψεις σε 4 θέματα σχετικά με τον ταχυφορτιστή. Η βαθμολόγηση αυτών έγινε με τη βοήθεια ερωτήσεων της κλίμακας Likert (1 =Καθόλου...5 = Πάρα πολύ) και τα θέματα

που εξέταζε ήταν πόσο ενοχλητική είναι η αναμονή για τη φόρτιση, πόσο σημαντικό είναι να υπάρχει ταχυφορτιστής σε κοντινή απόσταση από την κατοικία ή τον χώρο εργασίας, η προσβασιμότητα σε ταχυφορτιστή στον χώρο στάθμευσης και τέλος οι γνώσεις των συμμετεχόντων στην έρευνα σχετικά με τα οφέλη και τις δυνατότητες των ταχυφορτιστών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η αναμονή για την φόρτιση είναι ενοχλητική πολύ ή πάρα πολύ για το 58,3%. Η πρόσβαση σε ταχυφορτιστή κοντά στο σπίτι είναι Καθόλου ή λίγο σημαντική για το 61% και μόνο το 26,1% ενδιαφέρεται πολύ ή πάρα πολύ να έχει πρόσβαση στο χώρο στάθμευσης τους. Τέλος, το 54% απάντησε ότι είναι καθόλου ή λίγο ενημερωμένοι για τα οφέλη του ταχυφορτιστή.



*Διάγραμμα 3.19. Κατανομή διαθεσιμότητάς ταχυφορτιστή.*



*Διάγραμμα 3.20. Κατανομή απόψεων για την ταχυφόρτιση.*

Στο **Διάγραμμα 3.21** παρουσιάζονται οι απαντήσεις στην ερώτηση «*Ποιο είναι το μέγιστο ποσό που είστε πρόθυμοι να διαθέσετε για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή στον ιδιωτικό σας χώρο στάθμευσης;*». Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το μέγιστο ποσό που θα επιθυμούσαν να ξοδέψουν οι συμμετέχοντες για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή είναι 3.000€ για το 46,3%, 2.000€ για το 42,6% και 4.500€ για το 11,2%. Το κόστος αυτό και τη χρήση του ταχυφορτιστή συμφωνούν να μοιραστούν το 29,7% (**Διάγραμμα 3.22**).



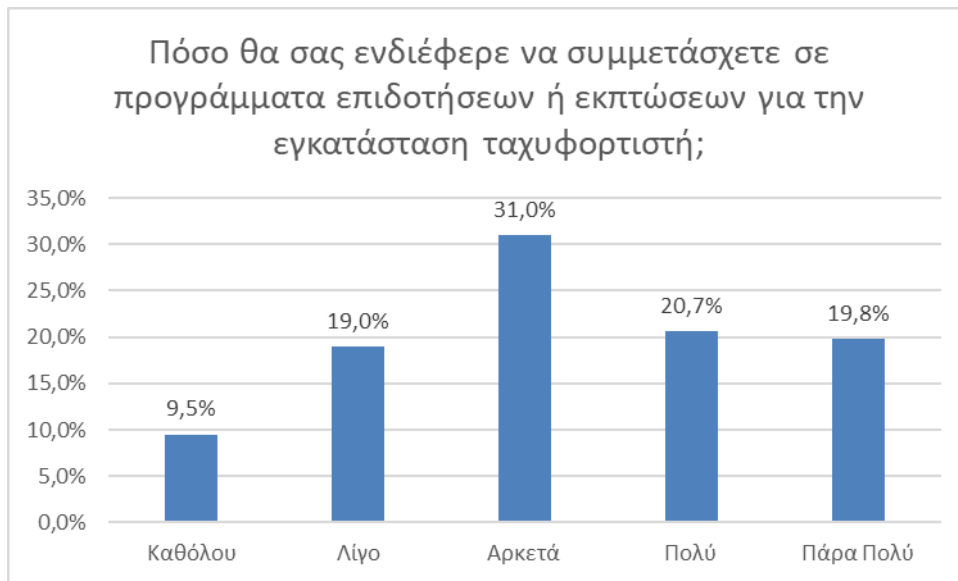
*Διάγραμμα 3.21. Κατανομή μέγιστου ποσού επιδότησης που θα επιθυμούσαν οι συμμετέχοντες για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή.*



*Διάγραμμα 3.22. Κατανομή απαντήσεων σχετικά με τον διαμοιρασμό του κόστους εγκατάστασης ταχυφορτιστή.*

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 3.23** το 40,5% ενδιαφέρεται πολύ ή πάρα πολύ να συμμετάσχει σε πρόγραμμα επιδότησης ή έκπτωσης για την εγκατάσταση του ταχυφορτιστή. Το ελάχιστο ποσό επιδότησης που θα παρακινούσε τους συμμετέχοντες στην έρευνα για την αγορά ταχυφορτιστή είναι 40% με 60% για το 40,5% των συμμετεχόντων. Στη συνέχεια, το 30,2% απάντησε ότι θα επιθυμούσε επιδότηση που να αντιστοιχεί στο 20% με 40% της αξίας και το 23,6% ότι θα ήθελε ποσό επιδότησης μεταξύ 60% και 80% (**Διάγραμμα 3.24**).





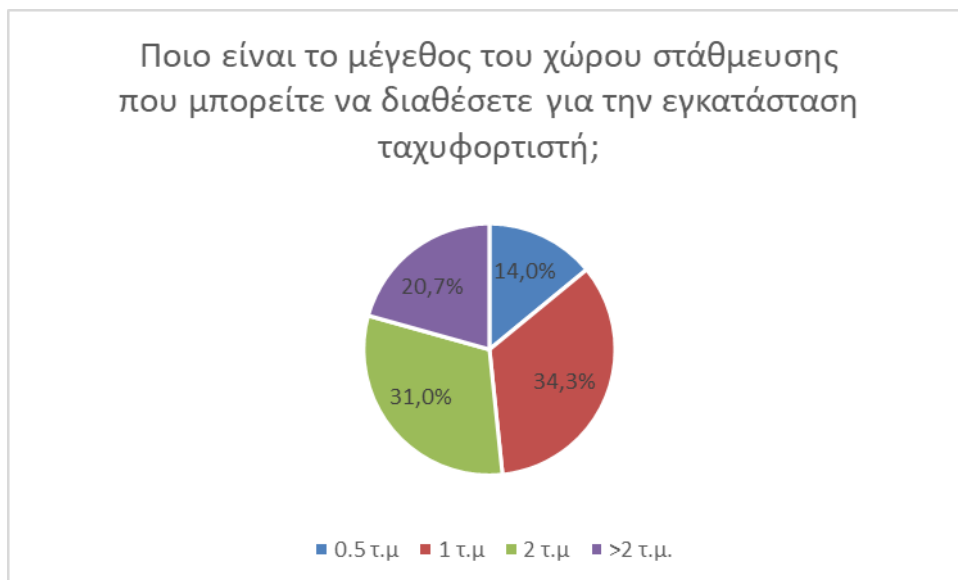
*Διάγραμμα 3.23. Κατανομή βαθμού ενδιαφέροντος των ερωτώμενων για συμμετοχή στο πρόγραμμα επιδοτήσεων.*



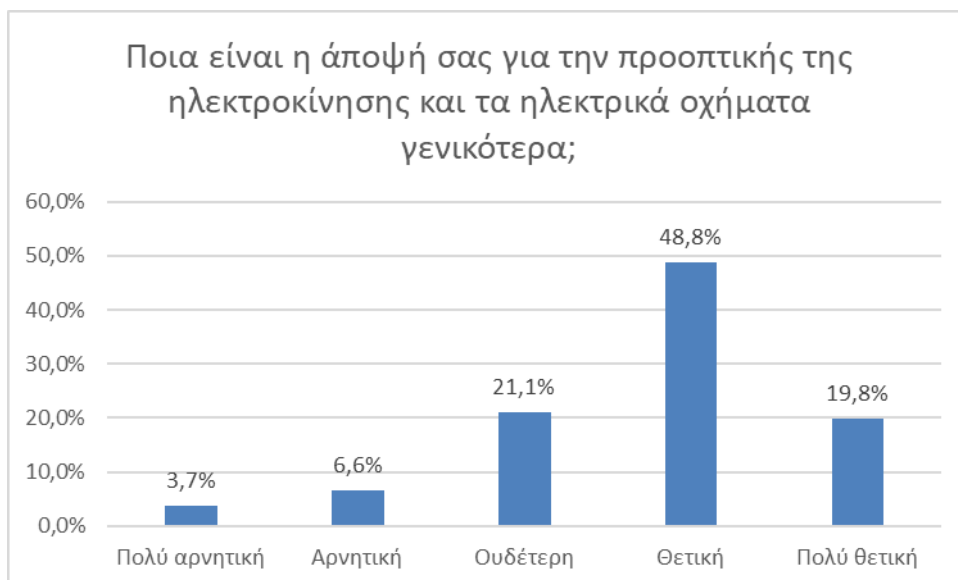
*Διάγραμμα 3.24. Κατανομή ελάχιστου ποσού επιδότησης που θα επιθυμούσαν οι ερωτώμενοι για εγκατάσταση ταχυφορτιστή.*

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 3.25** το 34,3% μπορεί να διαθέσει 1 τ.μ. του χώρου στάθμευσης για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή, και το 31% 2 τ.μ. Η άποψη τους για την προοπτική της ηλεκτροκίνησης είναι θετική ή πολύ θετική για το 68,6%

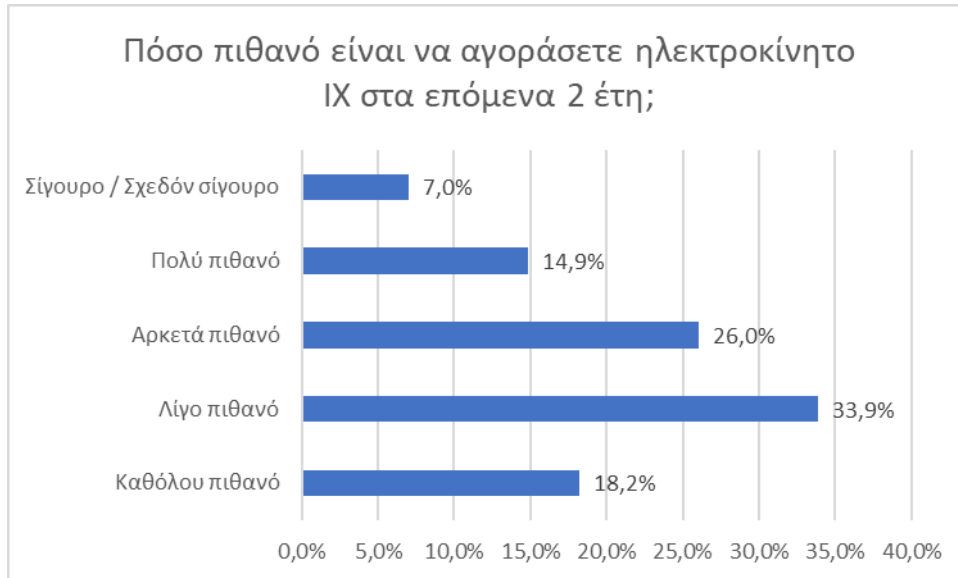
(Διάγραμμα 3.26) ενώ το 42,1% δήλωσε ότι είναι λίγο ή καθόλου πιθανό να αγοράσει ηλεκτροκίνητο όχημα στα επόμενα 2 έτη (Διάγραμμα 3.27).



Διάγραμμα 3.25. Κατανομή μεγέθους χώρου για εγκατάσταση ταχυφορτιστή.

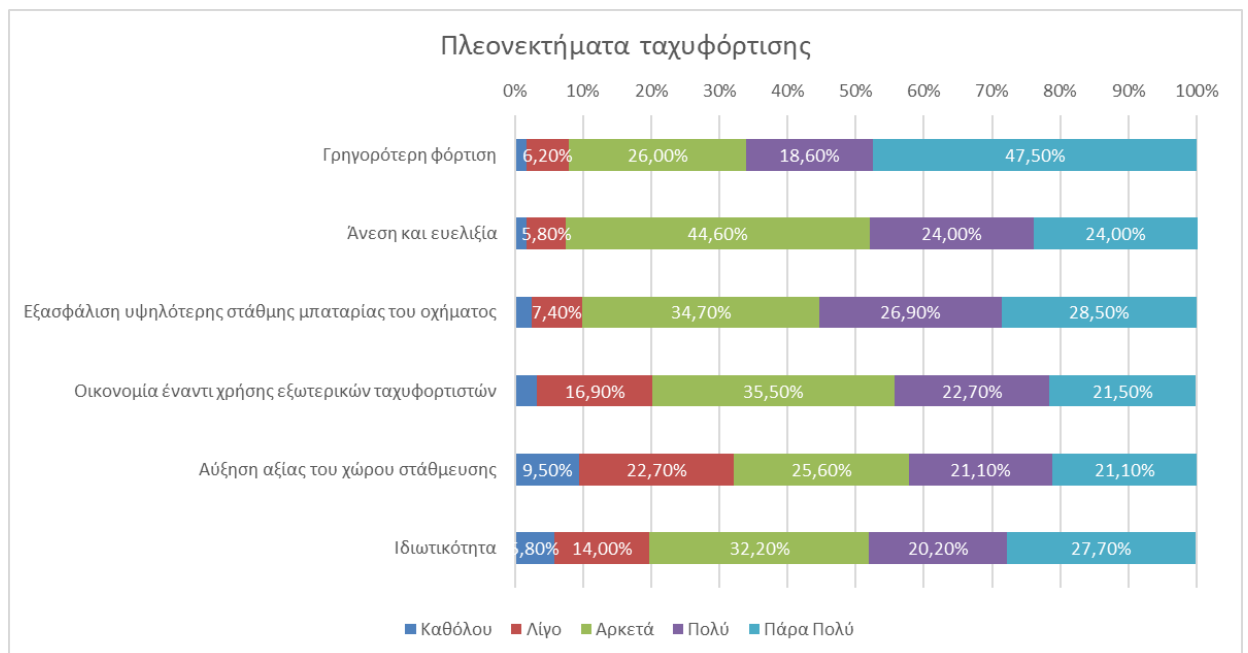


Διάγραμμα 3.26. Κατανομή απαντήσεων σχετικά με την προοπτική της ηλεκτροκίνησης



Διάγραμμα 3.27. Κατανομή πιθανότητας αγοράς ηλεκτροκίνητου ΙΧ εντός διετίας.

Οι τελευταίες 6 ερωτήσεις αφορούσαν τα πλεονεκτήματα της ταχυφόρτισης και τα αποτελέσματα των απαντήσεων παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 3.28**. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η γρηγορότερη φόρτιση ήταν το σημαντικότερο πλεονέκτημα με ποσοστό 66,10% ενώ η αύξηση της αξίας του χώρου στάθμευσης ήταν το λιγότερο σημαντικό με ποσοστό 42,2%.



Διάγραμμα 3.28. Κατανομή απαντήσεων σχετικά με τα πλεονεκτήματα της ταχυφόρτισης

### 3.6 Συμπεράσματα από τις απαντήσεις της έρευνας

Τα αποτελέσματα των απαντήσεων των συμμετεχόντων στην έρευνα έδειξαν ότι σχεδόν όλοι οι συμμετέχοντες είχαν πρόσβαση σε ΙΧ ενώ περίπου το 60% το είχαν σε αποκλειστική χρήση, δηλαδή δεν το μοιραζόταν με άλλους. Σε παρόμοιο ποσοστό, δηλαδή περίπου 60%, είχαν βενζινοκίνητα αυτοκίνητα και περίπου 4 στους 10 χρησιμοποιούν κάθε ημέρα με κύριο σκοπό μετακίνησης την εργασία. Ο κύριος χώρος στάθμευσης είναι είτε ιδιωτικός είτε δημόσιος χώρος στάθμευσης. Ο μέσος χρόνος οδήγησης ανά ημέρα είναι μέχρι μιάμιση ώρα και ο μέσος χρόνος κύριας μετακίνησης στις περισσότερες περιπτώσεις 15 με 30 λεπτά.

Όσον αφορά την χρήση ταχυφορτιστή, μόνο το 6% απάντησε ότι διαθέτει ταχυφορτιστή στον τόπο κατοικίας του και η ενόχληση από την αναμονή για φόρτιση είναι σημαντική για περίπου έναν στους δυο ερωτηθέντες. Το μέγιστο ποσό για εγκατάσταση ταχυφορτιστή κυμαίνεται μεταξύ 2.000€ και 3.000€ όμως λιγότεροι από έναν στους 3 συμμετέχοντες είναι διατεθειμένοι να μοιραστούν το κόστος εγκατάστασης, εφόσον προϋποθέτει και την από κοινού χρήση του ταχυφορτιστή. Όσον αφορά τη συμμετοχή σε πρόγραμμα επιδοτήσεων, περίπου 4 στους 10 συμμετέχοντες στην έρευνα έδειξαν ενδιαφέρον με το ελάχιστο ποσοστό της επιδότησης να αφορά τουλάχιστον το 40% της αξίας του. Όσον αφορά τον χώρο εγκατάστασης σχεδόν 9 στους 10 ανέφεραν ότι μπορούν να διαθέσουν τουλάχιστον 1 τετραγωνικό μέτρο του χώρου στάθμευσης τους. Σχετικά με τις απόψεις τους για το μέλλον της ηλεκτροκίνησης οι απόψεις ήταν κυρίως θετικές όμως περίπου 2 στους 10 ανέφεραν ότι είναι πιθανό να αγοράσουν ηλεκτροκίνητο όχημα στα επόμενα δύο έτη. Τέλος το κυριότερο πλεονέκτημα της ταχυφόρτισης που ανέφεραν οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν η γρηγορότερη φόρτιση ενώ η αύξηση της αξίας του χώρου στάθμευσης ήταν το λιγότερο σημαντικό πλεονέκτημα.

Τέλος, σύμφωνα με τα πρηγούμενα αποτελέσματα διαπιστώθηκαν οι παρακάτω περιορισμοί σχετικά με τη σύσταση του δείγματος. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα είναι σε ένα βαθμό ανισοβαρές υπέρ των ανδρών, νεότερων σε ηλικία και σχεδόν όλοι είχαν δικό τους ΙΧ αυτοκίνητο. Το γεγονός αυτό ίσως προέκυψε λόγω της διαδικτυακής φύσης της έρευνας καθώς ως γνωστόν οι γηραιότεροι χρησιμοποιούν σπανιότερα τέτοια μέσα. Αυτού του είδους η μεροληψία ενδέχεται να επηρεάσει τις δυνατότητες γενίκευσης όποιων συμπερασμάτων προκύψουν, δεν θέτει υπό αμφισβήτηση όμως την εγκυρότητα αυτών.

## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ένας κατάλληλος σχολιασμός των ευρημάτων, καθώς και μια πλήρης περιγραφή της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του ερωτηματολογίου.

Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας κατάλληλων στατιστικών μοντέλων. Αυτό έγινε με τη βοήθεια του εξειδικευμένου στατιστικού προγράμματος SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) και το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η τακτική λογιστική παλινδρόμηση ή ordinal logistic regression.

Επιπλέον, γίνεται εκτενής έκθεση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη στατιστική εξέταση, σε συνδυασμό με προσπάθεια ερμηνείας τους.

### 4.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

Υπάρχουν πολλές χρήσεις για τη στατιστική επιστήμη και τη μαθηματική μοντελοποίηση στον κλάδο των μεταφορών. Μια δημοφιλής στατιστική τεχνική που μας βοηθά να αναλύσουμε τους αιτιακούς συνδέσμους είναι η ανάλυση παλινδρόμησης, η οποία ερμηνεύει τις αλλαγές στις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής σε σχέση με μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές. Η μεταβλητή της οποίας η τιμή πρέπει να προβλεφθεί είναι γνωστή ως εξαρτημένη μεταβλητή και η μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής είναι γνωστή ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Για το σκοπό αυτό δημιουργούνται κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα με σκοπό να εξεταστεί η επίδραση που έχουν μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές σε μια εξαρτημένη μεταβλητή (Field, 2018).

#### 4.2.1 Θεωρητική ανάπτυξη μοντέλου

Στην ουσία, ένα μοντέλο για την κατηγοριοποίηση των τιμών  $Y$  της μεταβλητής απόκρισης χρησιμοποιώντας τη θεωρία πιθανοτήτων και με βάση τη λογιστική συνάρτηση ονομάζεται λογιστική παλινδρόμηση. Ο στόχος αυτού του μοντέλου είναι

να προβλέψει αυτό το αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας μια ποικιλία παραγόντων πρόβλεψης, οι οποίοι μπορεί να είναι ονομαστικοί, τακτικοί ή ποσοτικοί. Η μεταβλητή  $Y$  έχει συχνά δυαδικό χαρακτήρα (παίρνει δύο τιμές).

Η βασική διάκριση μεταξύ λογιστικής και γραμμικής παλινδρόμησης είναι ο τύπος της μεταβλητής απόκρισης που χρησιμοποιείται. Στην πρώτη, πρέπει να είναι κατηγορική (ονομαστική ή τακτική), ενώ στη δεύτερη, συνήθως είναι ποσοτική. Στην λογιστική παλινδρόμηση, οι παράμετροι εκτιμώνται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (η οποία συνήθως εφαρμόζεται σε γενικευμένα γραμμικά μοντέλα), δηλαδή τις πιο πιθανές τιμές των παραμέτρων προκειμένου να παραχθούν τα παρατηρούμενα αποτελέσματα, σε αντίθεση με την κλασική γραμμική παλινδρόμηση, όπου οι παράμετροι  $a$  και  $b$  υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Τοπούζης, 2012).

Ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά της εξαρτημένης κατηγορικής μεταβλητής, υπάρχουν τρεις διαφορετικές μορφές λογιστικής παλινδρόμησης που μπορούν να προσδιοριστούν:

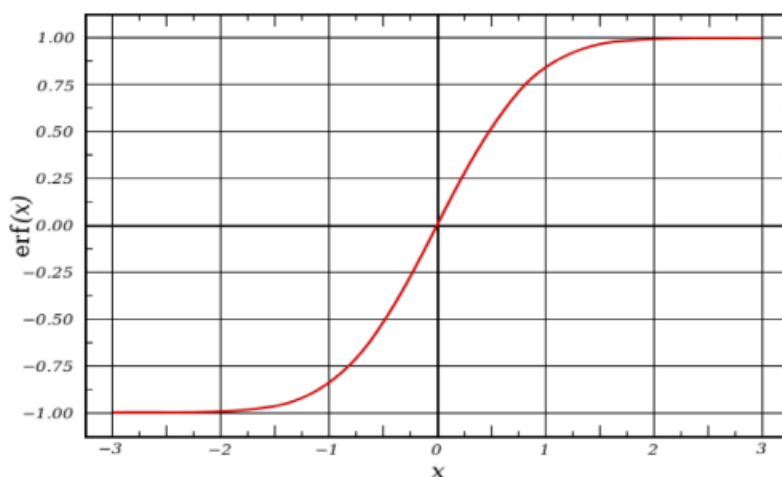
1. Εξαρτημένη μεταβλητή που είναι δυαδική. Χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, για παράδειγμα, επιτυχία/αποτυχία, ΝΑΙ/ΟΧΙ κ.ο.κ.
2. Τακτική (ordinal) μεταβλητή. Η έννοια της ιεραρχίας ισχύει για τρεις ή περισσότερες κατηγορίες που συνθέτουν την εξαρτημένη μεταβλητή. Για παράδειγμα, σε ένα θέμα κλίμακας, οι κατηγορίες διαφωνώ καθόλου, λίγο, κάπως και αρκετά αντιπροσωπεύουν ιεραρχική σειρά κατάταξης.
3. Μεταβλητές απόκρισης που είναι πολλαπλής επιλογής (nominal), πολυωνυμικές, κατηγορικές, μη διατεταγμένες ή κατηγοριοποιημένες που περιλαμβάνουν τρεις ή περισσότερες κατηγορίες που στερούνται οποιουδήποτε είδους φυσικής διαβάθμισης, όπως κόκκινο, πράσινο ή άλλα χρώματα.

Προκειμένου να κατηγοριοποιηθούν τα στοιχεία (ονομαστικά ή τακτικά) της εξαρτημένης μεταβλητής, αναπτύχθηκε η λογιστική παλινδρόμηση ως εναλλακτική λύση στη γραμμική ανάλυση. Έχει ευρεία εφαρμογή σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, συγκεκριμένα στις κοινωνικές επιστήμες και τους ιατρικούς τομείς.

Οι δημοσιεύσεις των Cox & Snell (1989), Hosmer & Lemeshow (2000), Long & Freese (2014), καθώς και των Everitt (1992) και Agresti (1996), προσφέρουν μια διεξοδική εξήγηση των τεχνικών λογιστικής παλινδρόμησης.

#### 4.2.2 Λογιστική παλινδρόμηση

Χρησιμοποιώντας λογιστική παλινδρόμηση, μπορεί κανείς να προβλέψει την πιθανότητα ενός περιστατικού προσαρμόζοντας τα ερευνητικά δεδομένα στην εξίσωση για την λογιστική καμπύλη, η οποία εμφανίζεται στο Διάγραμμα 4.1 παρακάτω.



Διάγραμμα 4.1 : Τυπική ανάπτυξη σιγμοειδούς καμπύλης (Wikimedia).

Το σιγμοειδές σχήμα αυτής της καμπύλης οφείλεται στο εκθετικό στάδιο ανάπτυξης της, το οποίο τελειώνει στο στάδιο ασυμπτωτικού κορεσμού της ανάπτυξης (η γραμμή τελικά ευθυγραμμίζεται παράλληλα με τον άξονα X) όταν ο ρυθμός ανάπτυξης σταδιακά επιβραδύνεται. Η μεταβλητή απόκρισης (Y) στη δυαδική λογιστική παλινδρόμηση είναι το τυχαίο αποτέλεσμα ενός από τα δύο πιθανά αποτελέσματα - επιτυχία ή αποτυχία.

Η μορφή μιας διωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης είναι:

$$f(z) = \frac{e^z}{1 + e^z} = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (1)$$

Όπου z η μεταβλητή εισόδου και f(z) το αποτέλεσμα αυτής. Ένα από τα οφέλη της εξίσωσης είναι ότι, αν και η έξοδος, f(z), μπορεί να έχει τιμές μόνο στο διάστημα

μεταξύ 0 και 1, η μεταβλητή εισόδου μπορεί να έχει θετικές και αρνητικές τιμές. Πιο συγκεκριμένα, η πιθανότητα ενός συγκεκριμένου αποτελέσματος που προκύπτει από τη δράση μιας ομάδας ανεξάρτητων μεταβλητών προσδιορίζεται από το  $f(z)$ , ενώ η μεταβλητή  $z$  αντανακλά τη δράση αυτής της ομάδας. Επιπλέον, η λογιστική μεταβλητή, ή η μεταβλητή  $z$ , εκφράζει το μέτρο της συνεισφοράς στο μοντέλο όλων των συμμετεχουσών ανεξάρτητων μεταβλητών και ορίζεται ως εξής:

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (2)$$

όπου  $\beta_i$  είναι οι συντελεστές παλινδρόμησης, καθένας από τους οποίους αντικατοπτρίζει το ποσό της συνεισφοράς της αντίστοιχης μεταβλητής και  $\beta_0$  είναι το ύψος της κλίσης της γραμμής παλινδρόμησης, που ισούται με την τιμή του  $z$  όταν οι τιμές όλων των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι ίσες με 0. Εάν ο συντελεστής έχει θετική τιμή, σημαίνει ότι η επεξηγηματική μεταβλητή είναι πιο πιθανό να οδηγήσει σε καλό αποτέλεσμα ή να συμβεί το γεγονός. Εάν έχει αρνητική τιμή, είναι λιγότερο πιθανό να συμβεί. Όταν ο συντελεστής είναι υψηλός, σημαίνει ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή έχει σημαντικό αντίκτυπο στην πιθανότητα να συμβεί το γεγονός και όταν είναι χαμηλός, υποδηλώνει ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή έχει μικρό αντίκτυπο στην πιθανότητα να συμβεί το αντίστοιχο αποτέλεσμα.

Συμπερασματικά, η σχέση που προκύπτει μεταξύ μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών (όπως η ηλικία, το φύλο κλπ.) και μια μεταβλητή δυαδικής απόκρισης — όπως η θετικό (1) αρνητικό (0), παρόν ενδεχόμενο (1) απουσία ενδεχομένου (0)— μπορεί να περιγραφεί με λογιστική παλινδρόμηση.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου της εξίσωσης πολλαπλής λογιστικής παλινδρόμησης μπορεί να έχουν ποσοτική, τακτική ή ονομαστική (μη διαβαθμισμένη κατηγορική) φύση. Ένας λόγος δύο ακεραίων τιμών (πιθανότητες) χρησιμοποιείται για να περιγράψει πιθανότητες που συγκλίνουν υπέρ της εμφάνισης ενός γεγονότος ή μιας πρόθεσης. Ο αριθμητής του λόγου δείχνει την πιθανότητα να συμβεί το αναμενόμενο γεγονός, ενώ ο παρονομαστής δείχνει την πιθανότητα να μην συμβεί. Επομένως, ο λόγος των πιθανοτήτων είναι  $p/(1-p)$ , όπου  $p$  είναι η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός και  $1-p$  είναι η πιθανότητα ότι δεν θα συμβεί.

Η παραπάνω σχέση (logit) μπορεί να ενσωματωθεί στο μοντέλο της παλινδρόμησης σε λογαριθμική μορφή ως εξής:



$$\text{logit}(p) = \log_e \left( \frac{p}{1-p} \right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (3)$$

Το τυπικό σφάλμα συντελεστών υπολογίζεται ως το ασυμπτωτικό τυπικό σφάλμα όπου όσο μικρότερη η τιμή τόσο μεγαλύτερη η παρεχόμενη ακρίβειά της εκτίμησης. Η στατιστική σημαντικότητα των συντελεστών των ανεξάρτητων μεταβλητών ελέγχεται με το κριτήριο του Wald:

$$z = \frac{\beta_i}{SE} \quad (4)$$

Η  $z$  συγκρίνεται με την τιμή 1,96 ή υψούμενη στο τετράγωνο συγκρίνεται με την θεωρητική τιμή  $X^2$  ίση με 3,841. Τιμές  $Z$  μεγαλύτερες από 1,96 σε απόλυτη τιμή δηλώνουν τη στατιστική σημαντικότητα της μεταβλητής. Τα σχετικά όρια εμπιστοσύνης της αναλογίας επιτυχημένης έκβασης υπολογίζονται με αντλιογαριθμισμό του άνω και του κατώτερου της προαναφερθείσας σχέσης. Τα όρια εμπιστοσύνης 95% κάθε συντελεστή  $\beta_i$  δημιουργούνται ως  $\beta_i \pm z_{0,05/2} \cdot SE$ . Εντός του εύρους των ορίων εμπιστοσύνης, ο λόγος των πιθανοτήτων αντιπροσωπεύεται πλήρως και ισοδύναμα από οποιαδήποτε τιμή. Το κριτήριο του Wald προκαλεί διεύρυνση του τυπικού σφάλματος όταν οι συγκρινόμενοι συντελεστές έχουν υψηλή τιμή, μία ιδιότητα καθόλου επιθυμητή, διότι οδηγεί σε πολύ μικρή τιμή του στατιστικού Wald και στην λανθασμένα αποδοχή της σημαντικότητας του εξεταζόμενου συντελεστή (Hauck and Donner 1977).

### 4.3 Μέθοδοι επιλογής, προσαρμογής και αξιολόγησης του μοντέλου

Ένα υπόδειγμα (μοντέλο) παλινδρόμησης για να θεωρείται αποδεκτό οφείλει να υπακούει σε ορισμένα κριτήρια τα οποία σχετίζονται με τον κατάλληλο αριθμό επιλογής των ανεξάρτητων μεταβλητών από ένα υποψήφιο πλήθος αυτών που έχουν καταμετρηθεί. Ελέγχεται επίσης το ποσοστό ακρίβειας του επιλεγμένου μοντέλου, ο βαθμός καταλληλότητας του μοντέλου στα στοιχεία που το αναπαράγουν και η ποιότητα σύνδεσης των στοιχείων μεταξύ τους.

### **4.3.1 Μέθοδος επιλογής των ανεξάρτητων μεταβλητών**

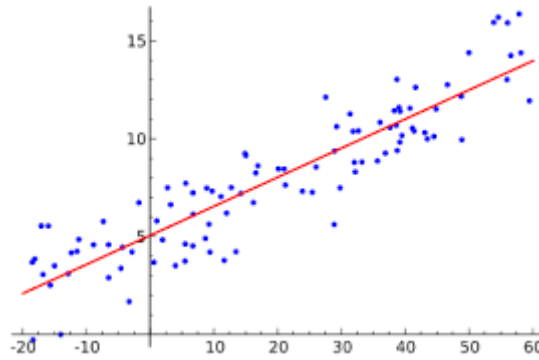
Ο στόχος της λογιστικής παλινδρόμησης είναι να προσδιορίσει το καλύτερο μοντέλο - δηλαδή το μοντέλο που περιέχει μόνο τις στατιστικά σημαντικές ανεξάρτητες μεταβλητές - προκειμένου να προβλέψει με ακρίβεια τα αποτελέσματα των μεμονωμένων παρατηρήσεων. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται η σταδιακή παλινδρόμηση, η οποία συνεπάγεται τη σταδιακή συμπερίληψη ή αφαίρεση μεταβλητών από το μοντέλο. Συχνά συνιστάται η χρήση μιας μεθόδου όπου όλες οι μεταβλητές περιλαμβάνονται στο πρώτο μοντέλο και όσες δεν ικανοποιούν μια στατιστική απαίτηση εξαλείφονται σταδιακά έως ότου απομένουν μόνο στατιστικά σημαντικές μεταβλητές.

Υπάρχουν δύο κύριες χρήσεις της λογιστικής παλινδρόμησης:

1. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών, εγγυάται την ακριβή πρόβλεψη των συμμετεχόντων σε καθεμία από τις δύο κατηγορίες. Ουσιαστικά, η λογιστική παλινδρόμηση υπολογίζει το πηλίκο (αναλογία) της ευνοϊκής πιθανότητας (επιτυχές αποτέλεσμα):  $p/q=p/(1-p)$  ή την πιθανότητα επιτυχίας μιας ενέργειας ( $p$ ) προς την πιθανότητα αποτυχίας της ( $q$ ).
2. Με βάση το μέγεθος των τιμών των συντελεστών παλινδρόμησης, προσφέρει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την ισχύ και τη σχέση που προκύπτει μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών.

### **4.3.2 Κριτήρια αποδοχής μοντέλου**

Ο δείκτης αναλογίας πιθανότητας, ή ο συντελεστής McFadden  $R^2$ , υποδεικνύει το τμήμα της εξαρτημένης μεταβλητής που μπορεί να ληφθεί υπόψη από τους ανεξάρτητους παράγοντες. Για παράδειγμα,  $R^2 = 0,40$  υποδηλώνει ότι το 40% της διακύμανσης στο  $Y$  μπορεί να ληφθεί υπόψη από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Στο Διάγραμμα 4.2, οι μπλε κουκκίδες (πραγματικές τιμές) που περιβάλλουν την κόκκινη γραμμή (υπολογισμένες τιμές) αντιπροσωπεύουν τη διασπορά του  $Y$ . Στην Εξίσωση (5) είναι ο τύπος McFadden-Pseudo- $R^2$ . Για να γίνει αποδεκτό το αντίστοιχο μοντέλο, θεωρείται ότι  $R^2 > 0,25$  (Πετρίδης Δημήτριος, 2015).



Διάγραμμα 4.2: Γραμμική παλινδρόμηση (Βικιπαίδεια).

$$R_{MF}^2 = 1 - \frac{\log_e L_M - k}{L_0} \quad (5)$$

#### 4.4 Βάση δεδομένων

Μετά τη συλλογή του ερωτηματολογίου, οι απαντήσεις εισήχθησαν στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτέλεση περίπλοκων χειρισμών δεδομένων και απλών αναλύσεων με στόχο την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων.

#### 4.5 Μαθηματικά μοντέλα

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο SPSS και την επεξεργασία τους, ακολούθησε η στατιστική ανάλυση των στοιχείων μέσω της μεθόδου της Τακτικής Λογιστικής Παλινδρόμησης (Ordinal Logistic Regression). Αυτό το μέρος παρουσιάζει τα ευρήματα της ανάλυσης και παρέχει μια λεπτομερή περιγραφή της διαδικασίας δημιουργίας στατιστικών μοντέλων, προσπαθώντας ταυτόχρονα να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα.

Στο πρώτο μοντέλο ως εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$  χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή Fast Charger Interest, η οποία αντιστοιχεί στην ερώτηση «Κατά πόσο θα σας ενδιέφερε να έχετε πρόσβαση σε ταχυφορτιστή στον ιδιωτικό σας χώρο στάθμευσης;». Η μεταβλητή αυτή επιλέχθηκε ως εξαρτημένη, καθώς ο σκοπός της έρευνας μας είναι να

ερευνήσουμε τις μεταβλητές που επηρεάζουν την επιλογή εγκατάστασης ταχυφορτιστή σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Επίσης, για την ανάγνωση των μοντέλων, είναι χρήσιμη η κατανόηση της κλίμακας (πάρα πολύ=5 - λίγο=1, πολύ συχνά=5 - σπάνια=1, υψηλό εισόδημα =4 - χαμηλότερο εισόδημα=1). Η εξαρτημένη και οι ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων, καθώς και οι τιμές που αυτές λαμβάνουν φαίνονται στη συνέχεια.

*Πίνακας 4.1. Περιγραφή μεταβλητών*

Μεταβλητή	Κωδικοποίηση	Ερμηνεία	Τιμές	Τύπος
Εξαρτημένη	FastChargerInterest	Κατά πόσο θα σας ενδιέφερε να έχετε πρόσβαση σε ταχυφορτιστή στον ιδιωτικό σας χώρο στάθμευσης;	1 = Καθόλου – 5 = Πάρα πολύ	Διατακτική
	FastChargerKnow	Κατα πόσο θεωρείτε ότι είστε ενήμεροι σχετικά με τα οφέλη και τις δυνατότητες των ταχυφορτιστών;		Διατακτική
	ChargerAvailableSpace	Ποιο είναι το μέγεθος του χώρου στάθμευσης που μπορείτε να διαθέσετε για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή;		Διατακτική
	EV_Opinion	Ποια είναι η άποψή σας για την προοπτικής της ηλεκτροκίνησης και τα ηλεκτρικά οχήματα γενικότερα;		Διατακτική
Ανεξάρτητες	IncomeYear	Ετήσιο εισόδημα	1 = < 10.000€ ... 5 = > 40.000€	Διατακτική
	WaitForChargeAnoy	Πόσο ενοχλητική βρίσκετε την αναμονή για φόρτιση ενός ηλεκτρικού ΙΧ;	1 = Καθόλου – 5 = Πάρα πολύ	Διατακτική
	Parking	Ιδιωτικός χώρος στάθμευσης	Όχι / Ναι	Διχοτομική
	PurposeofTransport	Μετακίνηση για Ψυχαγωγία	Όχι / Ναι	Διχοτομική
	FastChargerAvail	Είστε ενήμεροι σχετικά με τα οφέλη και τις δυνατότητες των ταχυφορτιστών;	Όχι / Ναι	Διχοτομική

#### 4.5.1 Ενδιαφέρον για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή (5βαθμη εξαρτημένη με δημογραφικά)

Στη συνέχεια, εκτελέσαμε λογιστική παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή την ερώτηση «Κατά πόσο θα σας ενδιέφερε να έχετε πρόσβαση σε ταχυφορτιστή στον ιδιωτικό σας χώρο στάθμευσης;» και ανεξάρτητες μεταβλητές το ετήσιο εισόδημα (Income), την ενόχληση για την αναμονή φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (Wait for Charge Annoy), το εάν ο κύριος χώρος στάθμευσης είναι δημόσιος ή ιδιωτικός (Parking), το σκοπό της κύριας μετακίνησης (Purpose of transport) και τη διαθεσιμότητα ταχυφορτιστή στο χώρο της πολυκατοικίας (Fast Charge Avail).

Τα αποτελέσματα αυτής της εξέτασης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Σε αυτόν, ο συντελεστής της παλινδρόμησης δείχνει εάν η επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής είναι θετική ή αρνητική με το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα ανά περίπτωση. Σημειώνεται ότι για τις κατηγορικές μεταβλητές, στο μοντέλο αυτό λαμβάνεται ως κατηγορία αναφοράς πάντα η τελευταία, η οποία αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη τιμή για τις διατακτικές μεταβλητές και στην τιμή «Ναι» για τις διοχοτομικές. Επιπλέον, παρουσιάζεται και το κριτήριο σημαντικότητας του Wald με την αντίστοιχη σημαντικότητα του, την τιμή της  $p$ . Τέλος, με  $R^2$  συμβολίζεται ο συντελεστής καλής προσαρμογής του μοντέλου.

Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα μοντέλου τακτικής λογιστικής παλινδρόμησης

	Συντελεστής παλινδρόμησης (b)	Τυπικό Σφάλμα.	Wald	p
<b>Εξαρτημένες</b>				
FastChargerInterest 1	2,536	0,957	7,024**	0,008
FastChargerInterest 2	5,311	1,020	27,129***	<0,001
FastChargerInterest 3	7,166	1,060	45,695***	<0,001
FastChargerInterest 4	9,321	1,121	69,134***	<0,001
<b>Ανεξάρτητες</b>				
FastChargerKnow	0,966	0,151	40,808***	<0,001
ChargerAvailableSpace	0,644	0,149	18,563***	<0,001
EV_Opinion	1,080	0,164	43,122***	<0,001
Income Year 1	-1,191	0,480	6,166*	0,013
Income Year 2	-1,509	0,425	12,617***	<0,001
Income Year 3	-1,478	0,496	8,884**	0,003
Income Year 4	-0,927	0,589	2,654	0,103
Income Year 5	0			.
WaitForChargeAnoy 1	-1,891	0,550	11,826**	0,001

WaitForChargeAnoy 2	-0,358	0,461	0,604	0,437
WaitForChargeAnoy 3	-0,685	0,376	3,331	0,068
WaitForChargeAnoy 4	-0,551	0,334	2,723	0,099
WaitForChargeAnoy 5	0			.
Parking Όχι	-0,678	0,300	5,102*	0,024
Parking Ναι	0			.
PurposeofTransport Όχι	0,735	0,371	3,934*	0,047
PurposeofTransport Ναι	0			.
FastChargerAvail Όχι	-1,245	0,568	4,912*	0,028
FastChargerAvail Ναι	0			.
<b>Συντελεστές καλής προσαρμογής R<sup>2</sup></b>				
Cox and Snell	0,569			
Nagelkerke	0,598			
McFadden	0,277			

\* $p < .05$  \*\* $p < .01$  \*\*\* $p < .001$

Από το παραπάνω μοντέλο παρατηρήθηκε καταρχήν ότι τηρούνται οι βασικές προϋποθέσεις που τέθηκαν ( $R^2 > 0.25$ ) και στις περισσότερες μεταβλητές  $significance(sig) < 0.05$ , οπότε το μοντέλο είναι αποδεκτό και στατιστικά σημαντικό.

Θέσαμε εξαρτημένη μεταβλητή Y το FastChargerInterest, η οποία αντιστοιχεί στην ερώτηση «Κατά πόσο θα σας ενδιέφερε να έχετε πρόσβαση σε ταχυφορτιστή στον ιδιωτικό σας χώρο στάθμευσης;» και το οποίο λαμβάνει τιμές 1–Καθόλου, 2–Λίγο, 3–Αρκετά, 4–Πολύ, 5–Πάρα πολύ.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές X που προέκυψαν με  $sig < 0.05$  είναι το «Fast Charger Know» (δηλ. πόσο ενήμεροι είστε σχετικά με τα οφέλη των ταχυφορτιστών), με πιθανές τιμές 1-5 δηλαδή καθόλου έως πάρα πολύ, η μεταβλητή «Charger Available space» (δηλ. το μέγεθος του χώρου στάθμευσης που μπορεί να διατεθεί για την εγκατάσταση του ταχυφορτιστή), η οποία λαμβάνει τις τιμές 1-4 δηλαδή από 0,5 τ.μ. έως και μεγαλύτερο των 2 τ.μ. , η μεταβλητή “EV\_Opinion” (δηλ. η άποψη για την προοπτική της ηλεκτροκίνησης), η οποία παίρνει τιμές 1-5, δηλαδή πολύ αρνητική έως πολύ θετική, το «Income», το οποίο δείχνει το ετήσιο εισόδημα, που λαμβάνει τιμές 1-5, δηλαδή λιγότερο από 10.000€ έως περισσότερο από 40.000€, η «WaitForChargeAnoy» δηλαδή κατά πόσο είναι ενοχλητική η αναμονή για τη φόρτιση του οχήματος η οποία παίρνει τιμές 1 -5 δηλαδή "Καθόλου έως Πάρα πολύ, η «Parking» που παίρνει τιμές 0 και 1 και αντιστοιχούν στο εάν υπάρχει ή όχι ιδιωτικός χώρος στάθμευσης, και η μεταβλητή «Purpose of Transport» που παίρνει τιμές 0 και 1 και περιγράφει τον σκοπό

μετακίνησης 1 = Ψυχαγωγία και 0 = Οτιδήποτε άλλο π.χ. Αγορές, Εκπαίδευση και Άλλο). Η Fast Charge Avail που αντιστοιχεί στην ερώτηση «Διαθεσιμότητα ταχυφορτιστή στον τόπο κατοικίας;» και παίρνει τιμές 0/1 που αντιστοιχούν στο Ναι-Όχι.

Εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Αρχικά είναι πιο πιθανό αν κάποιος είναι ενημερωμένος για τα οφέλη των ταχυφορτιστών να ενδιαφέρεται περισσότερο για την πρόσβαση σε ταχυφορτιστή όπως φαίνεται από την τιμή του συντελεστή  $b$  ίση με 0,966. Παρόμοια το ενδιαφέρον για την πρόσβαση σε ταχυφορτιστή αυξάνεται σε άτομα που έχουν μεγαλύτερο διαθέσιμο χώρο (Charger Available space: Estimate = 0.644) και σε άτομα που έχουν θετικότερη άποψη για την ηλεκτροκίνηση (EV\_Opinion: Estimate = 1.080). Ταυτόχρονα, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση του εισοδήματος αυξάνει και την πιθανότητα κάποιος να ενδιαφερθεί για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή (Income). Επίσης οι συμμετέχοντες στην έρευνα που θεωρούν πιο ενοχλητική την αναμονή για φόρτιση είναι και πιο πιθανό να εκφράσουν και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή.

Παράλληλα, είναι προφανές ότι όσοι παρκάρουν σε ιδιωτικό χώρο έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ενδιαφερθούν για την πρόσβαση σε ταχυφορτιστή σε σύγκριση με αυτούς που παρκάρουν σε δημόσιο χώρο ( $(b=0) = -0.678$ ).

Επιπρόσθετα, από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, όσον αφορά την αιτία της μετακίνησης, διαπιστώθηκε ότι όσοι δεν ταξιδεύουν για ψυχαγωγία έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ενδιαφερθούν για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή ( $(b=0) = 0.735$ )

Ακόμη, από τη μεταβλητή Fast Charge Avail, δηλαδή τη διαθεσιμότητα ή μη ταχυφορτιστή στον τόπο κατοικίας, συμπεραίνεται ότι όποιος έχει ήδη ταχυφορτιστή είναι περισσότερο πιθανό να ενδιαφερθεί για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή.

#### ***4.5.2 Ενδιαφέρον για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή (Διχοτομική εξαρτημένη χωρίς δημογραφικά)***

Στη συνέχεια, για περαιτέρω διερεύνηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων, εκτελέσαμε λογιστική παλινδρόμηση (binary logistic regression) και πάλι με εξαρτημένη μεταβλητή την ερώτηση «Κατά πόσο θα σας ενδιέφερε να έχετε πρόσβαση σε ταχυφορτιστή στον ιδιωτικό σας χώρο στάθμευσης;» (η οποία μετασχηματίστηκε

σε δυαδική με δύο κατηγορίες «Με ενδιαφέρει» (αντιστοιχεί στις τιμές Αρκετά έως και Πάρα πολύ) και «Δεν με ενδιαφέρει» (Καθόλου και Λίγο) και ανεξάρτητες μεταβλητές τον βαθμό ενημέρωσης σχετικά με τα οφέλη και τις δυνατότητες των ταχυφοριστών (FastChargerKnow), την ενόχληση για την αναμονή φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (Wait for Charge Annoy), εάν είναι κάτοχοι ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Ownership), την επιθυμία για επένδυση μεγαλύτερου ποσού για την αγορά ταχυφοριστή (Charger Cost) τη διάθεση μεγαλύτερου χώρου για την εγκατάσταση ταχυφοριστή (Charger Available Space) την άποψη για την ηλεκτροκίνηση (EV\_Opinion), την διάθεση για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου στα επόμενα δύο χρόνια (Buy EV2) και το κατά πόσο ενδιέφερε τους ερωτηθέντες να συμμετέχουν σε προγράμματα επιδοτήσεων ή εκπτώσεων για την εγκατάσταση ταχυφοριστή «StateSupportCharger».

Τα αποτελέσματα αυτής της εξέτασης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3. Σε αυτόν ο συντελεστή της παλινδρόμησης δείχνει εάν η επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής είναι θετική ή αρνητική με το αντίστοιχο λόγο πιθανοτήτων του συντελεστή αυτού (Odds Ratio). Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι στις κατηγορικές μεταβλητές του μοντέλου αυτού λαμβάνεται η πρώτη και όχι η τελευταία κατηγορία ως κατηγορία αναφοράς. Συνεπώς, αντίστοιχες επιδράσεις των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη με αυτές του προηγούμενου μοντέλου μπορεί να αποτυπώνονται με διαφορετικό πρόσημο. Η διαφοροποίηση αυτή στα δύο μοντέλα είναι αποτέλεσμα τεχνικών περιορισμών του προγράμματος στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον, παρουσιάζεται και το κριτήριο σημαντικότητας του Wald με την αντίστοιχη σημαντικότητα του, την τιμή της p. Τέλος, με  $R^2$  συμβολίζεται η ερμηνευτικότητα του μοντέλου.

Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα μοντέλου δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης

	Συντελεστής παλινδρόμησης (b)	Λόγος Πιθανοτήτων - Odds Ratio	Wald	p
FastChargerKnow 1			8,924	0,063
FastChargerKnow 2	0,812	2,253	2,182	0,140
FastChargerKnow 3	0,007	1,007	0,000	0,991
FastChargerKnow 4	2,643	14,056	4,594*	0,032
FastChargerKnow 5	2,371	10,712	30,35	0,082



WaitForChargeAnoy 1			6,097	0,192
WaitForChargeAnoy 2	0,046	1,047	0,002	0,961
WaitForChargeAnoy 3	0,947	2,577	1,285	0,257
WaitForChargeAnoy 4	1,144	3,139	1,869	0,172
WaitForChargeAnoy 5	1,729	5,636	3,959*	0,047
Ownership_1	1,058	2,879	5,063*	0,024
ChargerCost	0,934	2,545	8,049**	0,005
ChargerAvailableSpace	0,534	1,706	4,897*	0,027
EV_Opinion	0,505	1,656	4,156*	0,041
BuyEV2Years 1			28,680***	<0,001
BuyEV2Years 2	-0,199	0,819	0,104	0,747
BuyEV2Years 3	2,186	8,898	10,284**	0,001
BuyEV2Years 4	3,313	27,466	12,727***	<0,001
BuyEV2Years 5	2,989	19,863	3,822	0,051
StateSupportCharger	0,359	1,432	4,036*	0,045
Constant	-9,269	0,000	33,417***	<0,001
<b>Ερμηνευτικότητα</b>				
Cox and Snell	0,495			
Nagelkerke	0,660			

\* $p < .05$  \*\* $p < .01$  \*\*\* $p < .001$

Αρχικά, φαίνεται ότι η γνώση σχετικά με τα οφέλη των ταχυφορτιστών αυξάνει και την πιθανότητα επιθυμίας πρόσβασης σε αυτούς αφού ο συντελεστής παλινδρόμησης της FastChargeKnow αυξάνει με την αντίστοιχη κατηγορία (1 = Καθόλου ... 5 = Πάρα πολύ).

Η ενόχληση από την αναμονή αυξάνει και την επιθυμία πρόσβασης σε ταχυφορτιστή (Wait For Charge Anoy). Η κατοχή ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Ownership\_1:  $b = 1.058$ ), η επιθυμία για επένδυση μεγαλύτερου ποσού για την αγορά ταχυφορτιστή (Charger Cost :  $b = 0.934$ ) η διάθεση μεγαλύτερου χώρου για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή (Charger Available Space :  $b = 0.534$ ) και η θετικότερη άποψη για την ηλεκτροκίνηση (EV\_Opinion :  $b = 0.505$ ) αυξάνουν και την πιθανότητα επιθυμίας πρόσβασης σε ταχυφορτιστή.

Επίσης φαίνεται ότι αυτοί που είναι περισσότερο διατεθειμένοι να αγοράσουν ηλεκτρικό αυτοκίνητο στα επόμενα δύο χρόνια έχουν και μεγαλύτερη πιθανότητα επιθυμίας πρόσβασης σε ταχυφορτιστή.

Τέλος, η μεταβλητή «StateSupportCharger» συμβολίζει το κατά πόσο ενδιαφέρει του ερωτηθέντες να συμμετέχουν σε προγράμματα επιδοτήσεων ή εκπτώσεων για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή και δέχεται τιμές από 1-Καθόλου έως 5 – Πάρα πολύ.

Παρατηρείται ότι μεγαλύτερη επιθυμία για συμμετοχή αυξάνει και την πιθανότητα για πρόσβαση σε ταχυφοριστή ( $b = 0.359$ ).

Στο παρόν στάδιο πρέπει να σημειωθεί ότι τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν μοιράζονται τις ίδιες εξαρτημένες μεταβλητές, ενώ όσον αφορά τις ανεξάρτητες μεταβλητές κάποιες είναι κοινές και κάποιες άλλες διαφέρουν μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, κοινές ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η Fast Charger Know, η Wait For Charge Anoy, η Charger Available Space και η EV\_Opinion. Παράλληλα, το πρώτο μοντέλο βασίζεται σε επιπλέον μοναδικές ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες είναι οι Income Year, Parking, Purpose of Transport και Fast Charger Avail. Αντίθετα το δεύτερο μοντέλο χρησιμοποιεί επιπρόσθετα τις μοναδικές ανεξάρτητες μεταβλητές Ownerhip, ChargerCost, Buy EV 2 Years και State Support Charger. Αξίζει να επισημανθεί πως τα δύο μοντέλα εφαρμόστηκαν για τη διασφάλιση της πληρότητας και την ολοκληρωμένη κάλυψη της παρούσας μελέτης.

#### **4.6 Αποτελέσματα και συζήτηση**

Τα αποτελέσματα των απαντήσεων των συμμετεχόντων στην έρευνα αποκαλύπτουν ενδιαφέρουσες πτυχές της σύγχρονης αστικής κινητικότητας και της σχέσης των ανθρώπων με τα προσωπικά τους οχήματα. Αναλύοντας τα ευρήματα υπό το πρίσμα θεωρητικών πλαισίων από τους τομείς της κοινωνιολογίας, της ψυχολογίας και της οικονομίας των μεταφορών, προκύπτουν τα παρακάτω: Η ιδιοκτησία και η χρήση του ΙΧ συνδέονται άμεσα με την έννοια του κοινωνικού status και της ατομικής ελευθερίας. Σύμφωνα με τη θεωρία της Κοινωνικής Ταυτότητας (Tajfel & Turner, 1986), το αυτοκίνητο αποτελεί σύμβολο κύρους και προσωπικής επιτυχίας, ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε αποκλειστική βάση. Το γεγονός ότι περίπου το 60% των συμμετεχόντων χρησιμοποιεί το ΙΧ αποκλειστικά υπογραμμίζει την τάση για ατομικισμό και αυτονομία στις μετακινήσεις. Η ψυχολογία των μεταφορών εξετάζει πώς οι προσωπικές προτιμήσεις και οι συνήθειες επηρεάζουν τη χρήση του ΙΧ. Το ποσοστό του 60% που κατέχουν βενζινοκίνητα οχήματα μπορεί να ερμηνευθεί μέσω της Θεωρίας της Σχεδιασμένης Συμπεριφοράς (Ajzen, 1991), όπου οι στάσεις, οι κοινωνικές νόρμες και η πεποίθηση για το αν κάποιος μπορεί να ελέγξει τη συμπεριφορά του, καθορίζουν τις προθέσεις και τις πραγματικές συμπεριφορές. Οι επιλογές αυτές υποδηλώνουν μια προτίμηση για τις καθιερωμένες και αξιόπιστες

λύσεις, παρά τις πιο οικολογικές εναλλακτικές. Από την οικονομική σκοπιά, η χρήση του ΙΧ και η συχνότητα μετακίνησης για την εργασία αναδεικνύουν θέματα κόστους και ωφέλειας. Ο μέσος χρόνος οδήγησης μέχρι μιάμιση ώρα την ημέρα συνδέεται με την Οικονομική Θεωρία της Χωρικής Συμπεριφοράς (Beckmann, 1952), η οποία αναλύει πώς οι άνθρωποι επιλέγουν τις θέσεις κατοικίας και εργασίας τους με βάση το κόστος και τον χρόνο μετακίνησης. Η επιλογή του ΙΧ αντικατοπτρίζει την ανάγκη για άνεση και ευελιξία, παρά τα υψηλότερα κόστη σε καύσιμα και συντήρηση. Τέλος, τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να εξεταστούν μέσα από το πρίσμα της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η υψηλή χρήση βενζινοκίνητων οχημάτων και η καθημερινή χρήση του ΙΧ για εργασία επιβαρύνουν το περιβάλλον με εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η θεωρία της Περιβαλλοντικής Συμπεριφοράς (Stern, 2000) υποστηρίζει ότι οι ατομικές επιλογές επηρεάζονται από τις κοινωνικές και πολιτικές δομές που προάγουν ή αποθαρρύνουν βιώσιμες πρακτικές.

Τα ευρήματα της έρευνας για τη χρήση ταχυφορτιστών και τις απόψεις σχετικά με την ηλεκτροκίνηση αποκαλύπτουν σημαντικές πληροφορίες για τις αντιλήψεις και τις προθέσεις των καταναλωτών. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων μέσα από διάφορα θεωρητικά πλαίσια μπορεί να μας προσφέρει βαθύτερη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Το Technology Acceptance Model (TAM), που αναπτύχθηκε από τους Davis, Bagozzi και Warshaw (1989), παρέχει ένα πλαίσιο για την κατανόηση του πώς οι χρήστες αποδέχονται και χρησιμοποιούν μια νέα τεχνολογία. Σύμφωνα με το TAM, οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή μιας τεχνολογίας είναι η αντιληπτή χρησιμότητα και η ευκολία χρήσης. Τα ευρήματα της έρευνας συμφωνούν, καθώς αποδεικνύουν ότι ο καταναλωτής είναι πιο πιθανό να εγκαταστήσει ταχυφορτιστή, εάν είναι ενημερωμένος για την τεχνολογία και για τα οφέλη των ταχυφορτιστών, όπως φαίνεται από την τιμή του συντελεστή  $b$  ίση με 0,966.

Η χαμηλή χρήση ταχυφορτιστών (μόνο 6%) και η σημαντική ενόχληση από την αναμονή (περίπου 50%) δείχνουν ότι, παρά την αναγνωρισμένη χρησιμότητα της ταχυφόρτισης, η αντιληπτή ευκολία χρήσης μπορεί να είναι ανεπαρκής. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα που θεωρούν πιο ενοχλητική την αναμονή για φόρτιση είναι και πιο πιθανό να εκφράσουν και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή. Το υψηλό κόστος εγκατάστασης (2.000€ - 3.000€) αποτελεί επίσης

σημαντικό εμπόδιο, καθώς επηρεάζει την αντίληψη της συνολικής αξίας και της οικονομικής βιωσιμότητας της τεχνολογίας. Από τα ευρήματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνεται ότι η αύξηση του εισοδήματος, αυξάνει και την πιθανότητα εκδήλωσης ενδιαφέροντος για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή.

Η απροθυμία των συμμετεχόντων να μοιραστούν το κόστος εγκατάστασης ταχυφορτιστή υποδηλώνει μια έντονη προτίμηση για ατομική ιδιοκτησία και έλεγχο, γεγονός που μπορεί να σχετίζεται με την έννοια της κοινωνικής διευκόλυνσης (Zajonc, 1965) και τη συλλογική δράση (Olson, 1965). Η έλλειψη συνεργασίας για κοινή χρήση των πόρων μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ευρύτερη υιοθέτηση των ταχυφορτιστών. Η Θεωρία της Σχεδιασμένης Συμπεριφοράς (Ajzen, 1991) μπορεί να εξηγήσει το ενδιαφέρον των καταναλωτών για προγράμματα επιδοτήσεων και την προθυμία τους να επενδύσουν σε ταχυφορτιστές. Οι αντιλήψεις των καταναλωτών για τις κοινωνικές νόρμες και τον έλεγχο που έχουν στη χρήση ταχυφορτιστών επηρεάζουν τις προθέσεις και τη συμπεριφορά τους. Το γεγονός ότι περίπου 4 στους 10 συμμετέχοντες ενδιαφέρονται για προγράμματα επιδοτήσεων υποδεικνύει ότι οι οικονομικά ενισχυμένες επιλογές είναι πιο αποδεκτές όταν μειώνουν το οικονομικό βάρος. Ακόμη, από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, όσον αφορά την αιτία της μετακίνησης, διαπιστώθηκε ότι όσοι δεν ταξιδεύουν για ψυχαγωγία έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ενδιαφερθούν για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή ( $b=0$ ) = 0.735). Η θετική στάση των συμμετεχόντων απέναντι στην ηλεκτροκίνηση και η πρόθεση αγοράς ηλεκτροκίνητου οχήματος από 2 στους 10 στα επόμενα δύο έτη δείχνουν μια αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για θέματα περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η Περιβαλλοντική Ψυχολογία (Stern, 2000) εξετάζει πώς οι περιβαλλοντικές στάσεις και οι κοινωνικοί κανόνες επηρεάζουν τις συμπεριφορές προς πιο βιώσιμες πρακτικές. Η προθυμία των συμμετεχόντων να επενδύσουν στον χώρο στάθμευσης τους και η αντίληψη της αύξησης της αξίας του χώρου δείχνουν μια οικονομική ανάλυση κόστους-οφέλους (Becker, 1965). Παρά το γεγονός ότι η γρηγορότερη φόρτιση αναγνωρίζεται ως το κυριότερο πλεονέκτημα, η αύξηση της αξίας του χώρου στάθμευσης θεωρείται λιγότερο σημαντική, υποδηλώνοντας ότι οι άμεσες λειτουργικές βελτιώσεις υπερέχουν των μακροπρόθεσμων οικονομικών ωφελειών στην αντιληπτή αξία.



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Συμπεράσματα εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε έρευνα και συλλογή πληροφοριών σχετικά με την εγκατάσταση ταχυφορτιστών σε ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης, καθώς και διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν αυτή την απόφαση με χρήση κατάλληλου στατιστικού μοντέλου. Επιπλέον, έγινε ανασκόπηση της υπάρχουσας δημοσιευμένης βιβλιογραφίας και καταγραφή των σημαντικότερων ευρημάτων με στόχο τη βαθύτερη μελέτη του θέματος.

Συγκεκριμένα, αρχικά έγινε λεπτομερής επισκόπηση επιστημονικών δημοσιεύσεων από αξιόπιστες πηγές και βάσεις δεδομένων όπως τα Google Scholar και Web of Science. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων με χρήση ερωτηματολογίων, με στόχο την κατανόηση των απόψεων και των εμπειριών των συμμετοχόντων σχετικά με το υπό μελέτη θέμα. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν, χρησιμοποιώντας το εξειδικευμένο στατιστικό πρόγραμμα SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), με το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε να είναι η τακτική λογιστική παλινδρόμηση ή ordinal logistic regression.

Σαν συμπέρασμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιδιώκεται να ανακεφαλαιωθούν τα κύρια ευρήματα και αποτελέσματα της έρευνας. Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση του μοντέλου καταδεικνύουν ότι ο καταναλωτής είναι πιο πιθανό να εγκαταστήσει ταχυφορτιστή αν είναι ενημερωμένος για τα οφέλη τους, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για εκπαιδευτικές εκστρατείες που θα ενημερώνουν το κοινό σχετικά με τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης. Επιπλέον, η εγκατάσταση ταχυφορτιστή είναι πιο πιθανή σε άτομα που διαθέτουν μεγαλύτερο χώρο στάθμευσης και σε όσους έχουν θετική άποψη για την ηλεκτροκίνηση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε στοχευμένες στρατηγικές μάρκετινγκ που θα εστιάζουν σε συγκεκριμένες ομάδες καταναλωτών, προσδιορίζοντας τους καλύτερους υποψηφίους για την εγκατάσταση φορτιστών. Επίσης, η αύξηση του εισοδήματος σχετίζεται με μεγαλύτερη πιθανότητα ενδιαφέροντος για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή, υποδεικνύοντας ότι πολιτικές που περιλαμβάνουν οικονομικά κίνητρα και επιδοτήσεις μπορούν να ενισχύσουν αυτή την τάση. Το συμπέρασμα ότι οι καταναλωτές που είναι διατεθειμένοι να αγοράσουν ηλεκτρικό αυτοκίνητο στα

επόμενα δύο χρόνια έχουν μεγαλύτερη επιθυμία για πρόσβαση σε ταχυφορτιστή αποδεικνύει ότι η προώθηση ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να συνδυαστεί με την αύξηση της ζήτησης για φορτιστές. Τέλος, προκύπτει ότι μεγαλύτερη επιθυμία για συμμετοχή σε προγράμματα επιδότησης ή εκπτώσεων για την εγκατάσταση ταχυφορτιστή αυξάνει την πιθανότητα πρόσβασης σε ταχυφορτιστή, γεγονός που καθιστά την ενίσχυση των προγραμμάτων επιδότησης σημαντική στρατηγική για την υποστήριξη της ηλεκτροκίνησης. Με αυτές τις στρατηγικές, η έρευνα μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη μιας πιο βιώσιμης υποδομής ηλεκτροκίνησης και να ενισχύσει τη συνολική υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων στην κοινωνία.

## **5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Η περαιτέρω έρευνα στον τομέα της χρήσης ταχυφορτιστών και της υιοθέτησης ηλεκτροκίνητων οχημάτων μπορεί να αποκαλύψει σημαντικές πληροφορίες για τους παράγοντες που επηρεάζουν τις αποφάσεις των καταναλωτών και να προσφέρει λύσεις για την ενίσχυση της βιώσιμης κινητικότητας. Ένας τομέας ενδιαφέροντος είναι η διερεύνηση των εμποδίων και των κινήτρων για την υιοθέτηση ταχυφορτιστών. Παρά το γεγονός ότι η ταχυφόρτιση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η γρηγορότερη φόρτιση των οχημάτων, η χαμηλή προθυμία των καταναλωτών να επενδύσουν σε ταχυφορτιστές υποδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση των ψυχολογικών και κοινωνικών παραγόντων που επηρεάζουν αυτήν την απόφαση. Έρευνες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται το κόστος και τα οφέλη της εγκατάστασης ταχυφορτιστών, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικές, περιβαλλοντικές και πρακτικές πτυχές.

Ένας άλλος τομέας που αξίζει να διερευνηθεί είναι η κοινωνική διευκόλυνση και η συλλογική δράση σε σχέση με τη χρήση ταχυφορτιστών. Η απροθυμία των συμμετεχόντων στην έρευνα να μοιραστούν το κόστος εγκατάστασης υποδηλώνει ότι υπάρχει έντονη προτίμηση για ατομική ιδιοκτησία και έλεγχο. Αυτό μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για την ευρύτερη υιοθέτηση των ταχυφορτιστών. Η έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει στους παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την απροθυμία και να προτείνει στρατηγικές για την προώθηση κοινοτικών πρωτοβουλιών και

προγραμμάτων που θα ενισχύσουν τη συνεργασία και τη μείωση του κόστους μέσω κοινής χρήσης των πόρων.

Επιπλέον, η διερεύνηση της αποδοχής τεχνολογίας και της προθυμίας των καταναλωτών να συμμετάσχουν σε προγράμματα επιδοτήσεων αποτελεί κρίσιμο τομέα έρευνας. Η θεωρία της σχεδιασμένης συμπεριφοράς μπορεί να προσφέρει ένα πλαίσιο για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι αντιλήψεις των καταναλωτών για τις κοινωνικές νόρμες και τον έλεγχο που έχουν στη χρήση ταχυφορτιστών επηρεάζουν τις προθέσεις και τη συμπεριφορά τους. Ειδικά, ενδιαφέρον έχει το πώς οι επιδοτήσεις και τα οικονομικά κίνητρα μπορούν να μειώσουν το οικονομικό βάρος και να ενθαρρύνουν περισσότερους καταναλωτές να επενδύσουν σε ταχυφορτιστές.

Η περιβαλλοντική ψυχολογία μπορεί επίσης να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην κατανόηση των στάσεων και των συμπεριφορών των καταναλωτών προς την ηλεκτροκίνηση. Η θετική στάση των συμμετεχόντων απέναντι στην ηλεκτροκίνηση και η πρόθεση αγοράς ηλεκτροκίνητου οχήματος από ένα σημαντικό ποσοστό των συμμετεχόντων δείχνουν αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για θέματα περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα μπορεί να εστιάσει στο πώς οι περιβαλλοντικές στάσεις και οι κοινωνικοί κανόνες επηρεάζουν τις καταναλωτικές συμπεριφορές και πώς μπορούν να ενισχυθούν οι βιώσιμες πρακτικές μέσω εκπαιδευτικών και προωθητικών ενεργειών.

Επιπρόσθετα, η οικονομική θεωρία των καταναλωτών μπορεί να προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για τις αποφάσεις των καταναλωτών σχετικά με την επένδυση σε υποδομές φόρτισης. Η ανάλυση κόστους-οφέλους μπορεί να αποκαλύψει τις προτεραιότητες των καταναλωτών, όπως την προτίμηση για άμεσες λειτουργικές βελτιώσεις σε σύγκριση με μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη. Η έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει στις οικονομικές παραμέτρους που επηρεάζουν τις καταναλωτικές αποφάσεις και να προτείνει πολιτικές και κίνητρα που θα καταστήσουν την επένδυση σε ταχυφορτιστές πιο ελκυστική.

Τέλος, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής η έρευνα διαδραματίστηκε κυρίως στην ευρύτερη περιοχή της Περιφέρειας Αττικής. Προτείνεται λοιπόν, η διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας σε πανελλήνιο επίπεδο με σκοπό την βελτίωση της αξιοπιστίας του δείγματος και την εξαγωγή πληρέστερων αποτελεσμάτων. Με βάση αυτά τα ευρήματα



θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί πληροφόρηση του κοινού σχετικά με τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abid M., Tabaa M., Chakir A., et al. (2022). Routing and charging of electric vehicles: Literature review. *Energy Rep.*, 8, pp. 556-578.
- Ahmed, M.A., Kim, Y.-C. (2017). Performance analysis of communication networks for EV charging stations in residential grid. In: Proceedings of the 6th ACM Symposium on Development and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications, pp. 63–70.
- Alhazmi Y.A., Mostafa H.A., Salama M.M.A. (2017). Optimal allocation for electric vehicle charging stations using trip success ratio *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 91, pp. 101-116.
- Alrubaie, A. J., Salem, M., Yahya, K., Mohamed, M., & Kamarol, M. (2023). A comprehensive review of electric vehicle charging stations with solar photovoltaic system considering market, technical requirements, network implications, and future challenges. *Sustainability*, 15(10), 8122. <https://doi.org/10.3390/su15108122>
- Ancillotti E., Bruno R., Conti M. (2013). The role of communication systems in smart grids: Architectures, technical solutions and research challenges. *Comput. Commun.*, 36 (17–18), pp. 1665-1697.
- Anon (2010). DoE U.S. Communications Requirements of Smart Grid Technologies: Tech. Rep. *US Department of Energy*, pp. 1-69.
- Arif S.M., Lie T.T., Seet B.C., et al. (2020). Plug-in electric bus depot charging with PV and ESS and their impact on LV feeder. *Energies*, 13 (9), p. 2139.
- Arif S.M., Lie T.T., Seet B.C., et al. (2021). A novel and cost-efficient energy management system for plug-in electric bus charging depot owners. *Electr. Power Syst. Res.*, 199, Article 107413.
- Benysek G., Jarnut M. (2012). Electric vehicle charging infrastructure in Poland. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16 (1), pp. 320-328.
- Borlaug B., Salisbury S., Gerdes M., et al. (2020). Levelized cost of charging electric vehicles in the United States. *Joule*, 4 (7), pp. 1470-1485.
- Bräunl T., Harries D., McHenry M., et al. (2020). Determining the optimal electric vehicle DC-charging infrastructure for western Australia. *Transp. Res. Part D*, 84, Article 102250.
- Brown K., Ramirez C., Karwa M., et al. (2011). Electric vehicle supply equipment.
- Brown, M., & Kromer, M. (2011). The impact of charging infrastructure on electric vehicle adoption. *Electric Vehicle Symposium*, 25, 1-12.
- Carrilero I., González M., Anseán D., et al. (2018). Redesigning European public transport: Impact of new battery technologies in the design of electric bus fleets. *Transp. Res. Procedia*, 33, pp. 195-202.
- Chakir A., Abid M., Tabaa M., et al. (2022). Demand-side management strategy in a smart home using electric vehicle and hybrid renewable energy system. *Energy Rep.*, 8, pp. 383-393

- Clemente M., Fanti M.P., Ukovich W. (2014). Smart management of electric vehicles charging operations: The vehicle-to-charging station assignment problem. *IFAC Proc. Vol.*, 47 (3), pp. 918-923.
- De Hoog J., Alpcan T., Brazil M., et al. (2014). Optimal charging of electric vehicles taking distribution network constraints into account. *IEEE Trans. Power Syst.*, 30 (1), pp. 365-375.
- Domínguez-Navarro J.A., Dufo-López R., Yusta-Loyo J.M., et al. (2019). Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 105, pp. 46-58.
- Erol-Kantarci M., Mouftah H.T. (2014). Energy-efficient information and communication infrastructures in the smart grid: A survey on interactions and open issues. *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 17 (1), pp. 179-197.
- Esmaili M., Goldoust A. (2015). Multi-objective optimal charging of plug-in electric vehicles in unbalanced distribution networks. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 73, pp. 644-652.
- EV Guide. (n.d.). EV charging speed. EV Guide. Retrieved August 6, 2024, from <https://www.ev.guide/lesson-articles/ev-charging-speed>
- Fairley P. (2010). Speed bumps ahead for electric-vehicle charging. *IEEE Spectr.*, 47 (1), pp. 13-14.
- Farhoodnea M., Mohamed A., Shareef H., et al. (2013). Power quality impact of renewable energy based generators and electric vehicles on distribution systems. *Proc. Technol.*, 11, pp. 11-17.
- Fattal J., Karami P.B.D.N. (2015). Review on different charging techniques of a lithium polymer battery. 2015 Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE), *IEEE*, pp. 33-38.
- Field, A.P. (2018) *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. 5th Edition, Sage, Newbury Park.
- Gadh R., Mal S., Prabhu S., et al. (2015). Smart electric vehicle (Ev) charging and grid integration apparatus and methods.
- Galli S., Scaglione A., Wang Z. (2011). For the grid and through the grid: The role of power line communications in the smart grid. *Proc. IEEE*, 99 (6) (2011), pp. 998-1027.
- Galus M.D., Zima M., Andersson G. (2010). On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures. *Energy Policy*, 38 (11), pp. 6736-6745.
- Ghosh A. (2020). Possibilities and challenges for the inclusion of the electric vehicle (EV) to reduce the carbon footprint in the transport sector: A review. *Energies*, 13 (10), p. 2602
- Green II R.C., Wang L., Alam M. (2011). The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15 (1), pp. 544-553.
- Greene D.L., Kontou E., Borlaug B., et al. (2020). Public charging infrastructure for plug-in electric vehicles: What is it worth? *Transp. Res. Part D*, 78, Article 102182.
- Guo S., Zhao H. (2015). Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Appl. Energy*, 158, pp. 390-402.

- Hu S., Li X., Bhat A.K.S. (2018). Operation of a bidirectional series-resonant converter with minimized tank current and wide ZVS range. *IEEE Trans. Power Electron.*, 34 (1), pp. 904-915.
- Huang Y., Wu X., Jing J. (2022). Research on the electric vehicle heat pump air conditioning system based on R290 refrigerant. *Energy Rep.*, 8, pp. 447-455.
- Hussein A.A.-H., Batarseh I. (2011). A review of charging algorithms for nickel and lithium battery chargers. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 60 (3), pp. 830-838.
- Illmann U., Kluge J. (2020). Public charging infrastructure and the market diffusion of electric vehicles. *Transp. Res. Part D*, 86, Article 102413.
- International Energy Agency. (2023). Global EV Outlook 2023. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- Khaligh A., Dusmez S. (2012). Comprehensive topological analysis of conductive and inductive charging solutions for plug-in electric vehicles. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 61 (8), pp. 3475-3489
- Kisacikoglu M.C., Kesler M., Tolbert L.M. (2014). Single-phase on-board bidirectional PEV charger for V2G reactive power operation. *IEEE Trans. Smart Grid*, 6 (2), pp. 767-775.
- Koleti U.R., Bui T.N.M., Dinh T.Q., et al. (2021). The development of optimal charging protocols for lithium-ion batteries to reduce lithium plating. *J. Energy Storage*, 39, Article 102573.
- Lam A.Y.S., Leung Y.-W., Chu X. (2014). Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions *IEEE Trans. Smart Grid*, 5 (6), pp. 2846-2856.
- Lan H., Hao D., Hao W., et al. (2022). Development and comparison of the test methods proposed in the Chinese test specifications for fuel cell electric vehicles. *Energy Rep.*, 8, pp. 565-579.
- Lee J.H., Chakraborty D., Hardman S.J., et al. (2020). Exploring electric vehicle charging patterns: Mixed usage of charging infrastructure. *Transp. Res. Part D*, 79, Article 102249.
- Li C.-T., Ahn C., Peng H., et al. (2012). Integration of plug-in electric vehicle charging and wind energy scheduling on electricity grid. *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, IEEE, pp. 1-7.
- Liu H., Naqvi I.H., Li F., et al. (2020). An analytical model for the CC-CV charge of Li-Ion batteries with application to degradation analysis. *J. Energy Storage*, 29, Article 101342.
- Luo Z., He F., Lin X., et al. (2020). Joint deployment of charging stations and photovoltaic power plants for electric vehicles. *Transp. Res. Part D*, 79 (2020), Article 102247.
- Ma Z., Callaway D.S., Hiskens I.A. (2011). Decentralized charging control of large populations of plug-in electric vehicles. *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, 21 (1), pp. 67-78.
- Markel T., Kuss M., Denholm P. (2009). Communication and control of electric drive vehicles supporting renewables. *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, IEEE*, pp. 27-34.
- Martins L.S., Guimarães L.F., Junior A.B.B., et al. (2021). Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability. *J. Environ. Manag.*, 295, Article 113091.

- Masoum M.A.S., Moses P.S., Hajforoosh S. (2012). Distribution transformer stress in smart grid with coordinated charging of plug-in electric vehicles. *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), IEEE*, pp. 1-8.
- Mayfield D., Ohio C.F. (2012). Siting electric vehicle charging stations. Editor Carlotta Collette.
- McKinsey & Company. (2022). The future of mobility: How the transition to electric vehicles will transform the automotive industry. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-future-of-mobility>.
- Meishner F., Satvat B., Sauer D.U. (2017). Battery electric buses in European cities: Economic comparison of different technological concepts based on actual demonstrations. *2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), IEEE*, pp. 1-6.
- Miele A., Axsen J., Wolinetz M., et al. (2020). The role of charging and refuelling infrastructure in supporting zero-emission vehicle sales. *Transp. Res. Part D*, 81, Article 102275.
- Moeini-Aghaie M., Abbaspour A., Fotuhi-Firuzabad M., et al. (2013). PHEVs centralized/decentralized charging control mechanisms: Requirements and impacts. 2013 North American Power Symposium (NAPS), IEEE, pp. 1-6.
- Mukherjee J.C., Gupta A. (2014). A review of charge scheduling of electric vehicles in smart grid. *IEEE Syst. J.*, 9 (4), pp. 1541-1553.
- Mwasilu F., Justo J.J., Kim E.-K., et al. (2014). Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 34, pp. 501-516.
- Napoli G., Polimeni A., Micari S., et al. (2019). Optimal allocation of electric vehicle charging stations in a highway network: Part 2. *The Italian case study J. Energy Storage*, 26, Article 101015
- Nie Y.M., Ghamami M. (2013). A corridor-centric approach to planning electric vehicle charging infrastructure. *Transp. Res. B*, 57 (2013), pp. 172-190.
- Pal, A., Bhattacharya, A., & Chakraborty, A. K. (2021). Allocation of electric vehicle charging station considering uncertainties. *Sustainable Energy, Grids & Networks*, 25, Article 100422. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2021.100422>.
- Qian K., Zhou C., Allan M., et al. (2010). Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems. *IEEE Trans. Power Syst.*, 26 (2), pp. 802-810.
- Rangaraju S., De Vroey L., Messagie M., et al. (2015). Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study. *Appl. Energy*, 148, pp. 496-505.
- Saerbeck B., Well M., Jörgens H., et al. (2020). Brokering climate action: The UNFCCC secretariat between parties and nonparty stakeholders. *Global Environmental Politics*, 20 (2), pp. 105-127
- Sanchez-Sutil F., Hernández J.C., Tobajas C. (2015). Overview of electrical protection requirements for integration of a smart DC node with bidirectional electric vehicle charging stations into existing AC and DC railway grids *Electr. Power Syst. Res.*, 122, pp. 104-118

- Sathaye N., Kelley S. (2013). An approach for the optimal planning of electric vehicle infrastructure for highway corridors. *Transp. Res. Part E*, 59, pp. 15-33.
- Schroeder A., Traber T. (2012). The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. *Energy Policy*, 43, pp. 136-144.
- Schroeder, A., & Traber, T. (2012). The role of charging infrastructure for electric vehicles: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 232-244. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.036>
- Shrivastava P., Soon T.K., Idris M.Y.I. Bin, et al. (2019). Overview of model-based online state-of-charge estimation using Kalman filter family for lithium-ion batteries. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 113, Article 109233.
- Shukla R.M., Sengupta S. (2020). Cop: An integrated communication, optimization, and prediction unit for smart plug-in electric vehicle charging. *Internet Things*, 9, Article 100148.
- Singh M., Kumar P., Kar I. (2013). A multi charging station for electric vehicles and its utilization for load management and the grid support IEEE Trans. *Smart Grid*, 4 (2), pp. 1026-1037.
- Soares J., Almeida J., Gomes L., et al. (2022). Electric vehicles local flexibility strategies for congestion relief on distribution networks. *Energy Rep.*, 8, pp. 62-69.
- Sortomme E., El-Sharkawi M.A. (2011). Optimal scheduling of vehicle-to-grid energy and ancillary services. *IEEE Trans. Smart Grid*, 3 (1), pp. 351-359. Sortomme E., El-Sharkawi M.A. (2011). Optimal combined bidding of vehicle-to-grid ancillary services. *IEEE Trans. Smart Grid*, 3 (1), pp. 70-79.
- Su W., Eichi H., Zeng W., et al. (2011). A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment. *IEEE Trans. Ind. Inform.*, 8 (1), pp. 1-10.
- Suarez C., Martinez W. (2019). Fast and ultra-fast charging for battery electric vehicles—a review. 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), *IEEE*, pp. 569-575.
- Sun X., Li Z., Wang X., et al. (2019). Technology development of electric vehicles: A review. *Energies*, 13 (1), p. 90.
- Tan K.M., Ramachandaramurthy V.K., Yong J.Y. (2016). Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 53, pp. 720-732.
- Tang W., Bi S., Zhang Y.J. (2014). Online coordinated charging decision algorithm for electric vehicles without future information. *IEEE Trans. Smart Grid*, 5 (6), pp. 2810-2824.
- Thompson S.T., James B.D., Huya-Kouadio J.M., et al. (2018). Direct hydrogen fuel cell electric vehicle cost analysis: System and high-volume manufacturing description, validation, and outlook. *J. Power Sources*, 399, pp. 304-313.
- Tie S.F., Tan C.W. (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 20, pp. 82-102.
- U.S. Department of Energy. (n.d.). Electric vehicle basics. <https://www.energy.gov/eere/electricvehicles/electric-vehicle-basics>

Van Vliet O., Brouwer A.S., Kuramochi T., et al. (2011). Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars. *J. Power Sources*, 196 (4), pp. 2298-2310.

Wang R., Xiao G., Wang P. (2017). Hybrid centralized-decentralized (HCD) charging control of electric vehicles. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 66 (8), pp. 6728-6741.

Wang W., Cheng Y. (2020). Optimal charging scheduling for electric vehicles considering the impact of renewable energy sources. 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), IEEE, pp. 1150-1154

Wolbertus R., Jansen S., Kroesen M. (2020). Stakeholders' perspectives on future electric vehicle charging infrastructure developments. *Futures*, 123, Article 102610.

Zhang C., Huang Q., Tian J., et al. (2011). Smart grid facing the new challenge: The management of electric vehicle charging loads. *Energy Procedia*, 12, pp. 98-103.

Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (IEA). (2023). *Global EV Outlook 2023: Catching up with Climate Ambitions*. Διαθέσιμο στο: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>.