

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση των προτιμήσεων των Ευρωπαίων πολιτών έναντι των
ηλεκτρικών οχημάτων: Μια προσέγγιση βασιζόμενη σε
μεθόδους μηχανικής μάθησης

Επιβλέπων καθηγητής: Μιχαήλ Δούμπος

Επιμέλεια: Παρασκευή Χρηστάκου

Χανιά, 2024

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, σχετίζεται με την διερεύνηση των προτιμήσεων των Ευρωπαίων πολιτών έναντι των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, δεδομένης της σύγχρονης παγκόσμιας περιβαλλοντικής κρίσης. Αναλυτικότερα, βασικός στόχος της εργασίας αποτελεί η υποστήριξη των ενδιαφερόμενων φορέων της αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως οι κατασκευαστές αυτοκινήτων, οι έμποροι και οι κρατικοί φορείς, ώστε να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους στις πιθανές ανάγκες των οδηγών. Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των δεδομένων, περιλαμβάνοντας τη μελέτη του προφίλ των καταναλωτών, τις αντιλήψεις του καταναλωτικού κοινού και τις προοπτικές των ηλεκτρικών οχημάτων στις ευρωπαϊκές αγορές. Η ανάλυση βασίζεται σε έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε σε πέντε ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Δανία, Νορβηγία, Ολλανδία, Ουγγαρία) στο χρονικό διάστημα 28/04/2020 έως 8/05/2020. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν μέθοδοι μηχανικής μάθησης.

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Γραφημάτων	4
Πρόλογος	5
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1-Ανάλυση των αντιλήψεων των καταναλωτών για τα ηλεκτρικά οχήματα.....	8
1.1 Η ηλεκτροκίνηση στην Ευρώπη	8
1.2 Ηλεκτρικά οχήματα (EVs): Αναλυτικός ορισμός και είδη	9
1.3 Η διάχυση της τεχνολογίας της ηλεκτροκίνησης στην Ευρώπη	12
1.4 Η έννοια της «οικολογικής ταυτότητας» των καταναλωτών	14
Κεφάλαιο 2-Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας	17
2.1 Η στάση των Ευρωπαίων καταναλωτών στο παρελθόν και οι ευρωπαϊκοί στόχοι για την ηλεκτροκίνηση	17
2.2 Οι παράγοντες καθυστέρησης της διάδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων και οι πολιτικές πρακτικές στην Ευρώπη	20
2.3 Συνολικό κόστος ιδιοκτησίας και η αγορά των μεταχειρισμένων EVs	21
Κεφάλαιο 3-Μεθοδολογία της έρευνας	26
3.1 Περιγραφή της βάσης δεδομένων	26
3.2 Αλγόριθμοι με επίβλεψη (supervised)	27
3.2.1 Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression)	28
3.2.2 Αλγόριθμος Random Forest	30
3.2.3 Νευρωνικά δίκτυα	32
3.3 Αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη (unsupervised)	36
3.3.1 Αλγόριθμος K-Means	37
Κεφάλαιο 4-Εφαρμογή των μεθόδων	39
4.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων της έρευνας	39
4.2 Εφαρμογή του αλγορίθμου K-Means για τις τάσεις των καταναλωτών	49
4.3 Πρόβλεψη των αντιλήψεων των καταναλωτών με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης	50
4.5 Ανάλυση των τάσεων με Νευρωνικά Δίκτυα	64
Κεφάλαιο 5-Συμπεράσματα και προοπτικές	71
Βιβλιογραφία	73

Κατάλογος Γραφημάτων

Σχήμα 1: Εγγραφές νέων αυτοκινήτων στην Ε.Ε. ανά πηγή ενέργειας.....	9
Σχήμα 2 Ταξινόμηση ειδών ηλεκτρικών οχημάτων με βάση τα μηχανολογικά τους χαρακτηριστικά	10
Σχήμα 3:Καμπύλη διάχυσης της τεχνολογίας και οι ομάδες χρηστών που διαμορφώνονται.	13
Σχήμα 4: Διαθεσιμότητα μοντέλων οχημάτων με σύστημα μετάδοσης κίνησης για την περίοδο 2010-2023 και το 2028 βάσει των ανακοινωθέντων λανσαρισμάτων.....	14
Σχήμα 5: Γράφημα πυκνότητας VOSviewer.....	15
Σχήμα 6:Αξιολόγηση της Κατανομής των Δυνατοτήτων και της Ισχύς Επαναφόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων μεταξύ των Ευρωπαϊκών Χωρών.	22
Σχήμα 7:Κύρια Ευρήματα για τις Υποδομές Φόρτισης στην ΕΕ.....	25
Σχήμα 8:Τυπικό γράφημα Απλής Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	28
Σχήμα 9:Αλγόριθμος Random Forest.	32
Σχήμα 10:Το νευρωνικό δίκτυο.....	33
Σχήμα 11:Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης K-Means.....	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 12:Αλγόριθμος συσταδοποίησης K-Means για τον προσδιορισμό των τάσεων των καταναλωτών αναφορικά με την αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	49
Σχήμα 13: Γραμμική Παλινδρόμηση ,για το ίδιο Test Set με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στον αλγόριθμο Random Forest.	55
Σχήμα 14: Ελάχιστο ορόσημο έναντι του αριθμού αξιολογήσεων της συνάρτησης για τον αλγόριθμο Random Forest	61
Σχήμα 15: Διάγραμμα εκπαίδευσης και δοκιμής του αλγορίθμου Random Forest	62
Σχήμα 16: Διασταυρωμένο σφάλμα έναντι του αριθμού δέντρων στον αλγόριθμο Random Forest .	63
Σχήμα 17 :Αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου με ένα κρυφό επίπεδο 10 νευρώνων	65
Σχήμα 18: Training state plot.....	67
Σχήμα 19: Performance plot	68
Σχήμα 20: Regression plot.....	69

Πρόλογος

Η παγκόσμια μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον οικονομία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις της εποχής μας. Στο πλαίσιο αυτής της προσπάθειας, τα ηλεκτρικά οχήματα διαδραματίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, η υιοθέτηση αυτών των οχημάτων από τους καταναλωτές, παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, δεν είναι ακόμη εκτεταμένη στην Ευρώπη. Καθώς οι παράγοντες που διαμορφώνουν τις προτιμήσεις των πολιτών έναντι των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι ποικίλοι και σύνθετοι, οι στρατηγικές των ενδιαφερόμενων φορέων στην αγορά απαιτούν λεπτομερή κατανόηση αυτών των προτιμήσεων για να είναι αποτελεσματικές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να διερευνήσει τις προτιμήσεις των Ευρωπαίων πολιτών απέναντι στα ηλεκτρικά οχήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές τους αντιλήψεις. Με την αξιοποίηση μεθόδων μηχανικής μάθησης, η εργασία επιδιώκει να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις σε κατασκευαστές αυτοκινήτων, εμπόρους και δημόσιους φορείς, προκειμένου να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους στις ανάγκες και τις ανησυχίες του καταναλωτικού κοινού. Μέσω της ποσοτικής και ποιοτικής ανάλυσης δεδομένων από πέντε ευρωπαϊκές χώρες, η έρευνα φιλοδοξεί να εντοπίσει κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη στάση των πολιτών απέναντι στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, προωθώντας έτσι την καλύτερη κατανόηση των καταναλωτικών προτιμήσεων και την ενίσχυση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην ευρωπαϊκή αγορά.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μ. Δούμπο, για την αδιάκοπη καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τους συνεργάτες και φίλους μου για τη συνεχή υποστήριξή τους, καθώς και την οικογένειά μου για την ενθάρρυνση και την υπομονή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Εισαγωγή

Η παγκόσμια κλιματική κρίση αποτελεί μια από τις πιο επείγουσες προκλήσεις του 21^{ου} αιώνα. Οι συνέπειές της είναι αναμφισβήτητα καταστροφικές, ενώ πολύ συχνά αποτελούν πρωτοσέλιδο επιστημονικών εκδόσεων και αντικείμενο μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος. Από την τήξη των πολικών πάγων, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την αύξηση της συχνότητας και της έντασης ακραίων καιρικών φαινομένων, μέχρι και τη διαταραχή οικοσυστημάτων και βιοποικιλότητας, ως βασικότερη αιτία όλων αυτών των φαινομένων θεωρείται η αυξημένη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο. Ο κλάδος των μεταφορών, μια από τις σημαντικότερες πηγές αέριας ρύπανσης ιδίως στις αστικές περιοχές, ευθύνεται για το 23,1% των συνολικών εκπομπών ρύπων στην Ευρώπη (Tiseo, 2024a¹), ενώ την πρωτοκαθεδρία κατέχει ο κλάδος της παραγωγής ενέργειας με ποσοστό 26,6% ρυπαίνοντας κάθε χρόνο όλο και περισσότερο (Tiseo, 2024b²).

Η μετάβαση, λοιπόν, από τα συμβατικά επιβατικά οχήματα, με κινητήρες εσωτερικής καύσης πετρελαίου και diesel (Internal Combustion Cars- ICEs), στα ηλεκτρικά οχήματα με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ((Battery) Electric Vehicles-(B)EVs, Plug-In Hybrid Electric Vehicles-PHEVs, Hybrid Electric Vehicles-HEVs και Fuel Cell Electric Vehicles-FCEVs) βρίσκεται σε εξέλιξη, χωρίς όμως αυτό να προεξοφλεί την πλήρη αντιμετώπιση του προβλήματος, καθώς η υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας εξαρτάται άμεσα από τις αντιλήψεις του καταναλωτικού κοινού.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις αλλαγές που αντιμετωπίζει η αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, συμπεριλαμβανομένων μεταβολών στη νομοθεσία πολλών ευρωπαϊκών κρατών, τη βελτίωση των υποδομών φόρτισης και την εξέλιξη της τεχνολογίας των οχημάτων, η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην διερεύνηση των προτιμήσεων και των τάσεων των υποψήφιων αγοραστών, αναλύοντας μια βάση δεδομένων 7661 συμμετεχόντων από 5 ευρωπαϊκές χώρες. Πρόκειται για μια προσέγγιση του ζητήματος με μεθόδους μηχανικής μάθησης, εφαρμόζοντας αλγόριθμους με επίβλεψη (supervised algorithms) , όπως η γραμμική παλινδρόμηση, ο αλγόριθμος random forest,

¹ Ian Tiseo. (2024a, May 22). *EU-27: GHG emissions breakdown by sector* | Statista.
<https://www.statista.com/statistics/1325132/ghg-emissions-shares-sector-european-union-eu/>

² Ian Tiseo. (2024b, June 20). *Transportation GHG emissions in the European Union - Statistics & Facts* | Statista.
<https://www.statista.com/topics/7968/transportation-emissions-in-the-eu/#topicOverview>

αλλά και τα νευρωνικά δίκτυα. Επιπρόσθετα, εφαρμόζεται και ο χωρίς επίβλεψη αλγόριθμος (unsupervised algorithms) k-means, για τη συσταδοποίηση των δεδομένων. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν η γλώσσα Python και το MATLAB.

Η εργασία διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια τα οποία περιληπτικά περιλαμβάνουν τα εξής:

- Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία, γραφήματα και δείκτες που αφορούν τις πεποιθήσεις των καταναλωτών και το γενικότερο κλίμα που επικρατεί στην ευρωπαϊκή ήπειρο, αναφορικά με τα EVs. Επίσης, παρατίθενται μερικές εισαγωγικές έννοιες και ορισμοί συναφείς με το θέμα της έρευνας.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση της βιβλιογραφίας και των επιστημονικών ερευνών σε σχέση με την ηλεκτροκίνηση.
- Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη μεθοδολογία της έρευνας και βασικές πληροφορίες για την υλοποίηση της, καθώς και την περιγραφή των χαρακτηριστικών της βάσης δεδομένων.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση με μεθόδους μηχανικής μάθησης.
- Το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο εμπεριέχει τα σχόλια και τις διαπιστώσεις έπειτα από την εφαρμογή των μεθόδων ανάλυσης.

Κεφάλαιο 1-Ανάλυση των αντιλήψεων των καταναλωτών για τα ηλεκτρικά οχήματα

1.1 Η ηλεκτροκίνηση στην Ευρώπη

Για την επίτευξη των στόχων κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προωθώντας την ιδέα της ηλεκτροκίνησης και άλλες περιβαλλοντικά υπεύθυνες πολιτικές, έχει θέσει ως στόχο τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 55% μέχρι το έτος 2030. Τα δεδομένα των πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων, σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA, 2024), παραμένουν ισχυρά κατακτώντας το 25% της αγοράς οχημάτων. Το έτος 2023 οι πωλήσεις ήταν κατά €3,1 εκατομμύρια υψηλότερες από το 2022, σημειώνοντας άνοδο της τάξεως του 35% μέσα σε ένα χρόνο. Συνεχίζοντας στο ίδιο κλίμα, καταδεικνύεται ότι σταδιακά οι μεγάλες αγορές αποκτούν εμπιστοσύνη στην καινοτόμα αυτή τεχνολογία και εισέρχονται σε μια νέα εποχή, με αποτέλεσμα να προκύπτουν αισιόδοξες προβλέψεις για το έτος 2024. Συγκεκριμένα, ειδικοί του κλάδου υποστηρίζουν ότι οι πωλήσεις στην Ευρώπη για την τρέχουσα χρονιά θα μπορούσαν να φτάσουν τα €17 εκατομμύρια, αντιπροσωπεύοντας έτσι περισσότερα από το 1 στα 5 αυτοκίνητα που πωλούνται σε παγκόσμια κλίμακα.

Τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να γίνουν προϊόντα μαζικής κατανάλωσης σε μεγαλύτερο αριθμό χωρών, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολύ δημοφιλή στο απαιτητικό ευρωπαϊκό καταναλωτικό κοινό. Η Νορβηγία κατέχει την πρώτη θέση με πωλήσεις που αγγίζουν το 82%, ακολουθούν η Ολλανδία με ποσοστό 32%, η Δανία με 23%, η Γερμανία με 20%, ενώ η Ουγγαρία εμφανίζει ποσοστό 3%. Σφιχτά οικονομικά περιθώρια, αυξομειώσεις στις τιμές των μετάλλων κατασκευής μπαταριών, υψηλός πληθωρισμός στις ευρωπαϊκές οικονομίες, αλλά και σταδιακή κατάργηση των προνομίων και κινήτρων επιλογής ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε αρκετές χώρες, όπως η Γερμανία, πυροδότησαν ανησυχίες για τη βιωσιμότητα του κλάδου. Ωστόσο, η ηλεκτροκίνηση, όπως θα αναλυθεί και στις επόμενες παραγράφους, φαίνεται (βλ. Σχήμα 1) να κερδίζει έδαφος, έναντι των συμβατικών αυτοκινήτων.



Σχήμα 1: Εγγραφές νέων αυτοκινήτων στην Ε.Ε. ανά πηγή ενέργειας.

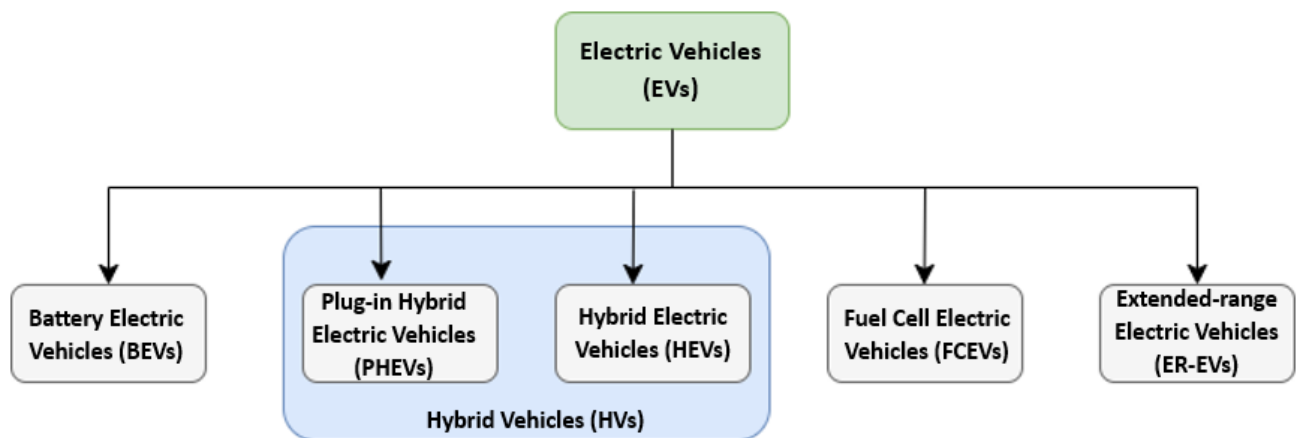
Οι καταχωρήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων, κατά το χρονικό διάστημα Ιανουαρίου-Απριλίου του 2024, σημείωσαν άνοδο 14,8%, δηλαδή 108.552 τεμάχια, διατηρώντας σταθερά το 12% του μεριδίου της αγοράς. Τα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα επίσης σημείωσαν ισχυρή άνοδο της τάξεως του 33,1% στο κλείσιμο της περιόδου, αυξάνοντας έτσι και το μερίδιο αγοράς τους στο 29,1%, από το 24,9% που κατείχαν τον Απρίλιο του 2023. Ηπιότερη αύξηση παρατηρήθηκε στα Plug-In υβριδικά μοντέλα ηλεκτρικών αυτοκινήτων με ποσοστό 3,7% και μερίδιο αγοράς 6,8%. Τέλος, τα συμβατικά οχήματα πετρελαίου και diesel σημείωσαν αύξηση 7,3%, η οποία μεταφράζεται σε 328.967 τεμάχια επί των συνολικών 913.995 οχημάτων τα οποία πουλήθηκαν σε αυτή την περίοδο, ενώ το μερίδιο της αγοράς που κατέχουν μειώθηκε από το 38,1% στο 36% συγκριτικά με το προηγούμενο έτος. Πηγή: (ACEA, 2024)³

1.2 Ηλεκτρικά οχήματα (EVs): Αναλυτικός ορισμός και είδη

Σε αυτή την παράγραφο παρατίθεται μια ταξινόμηση και συνοπτική περιγραφή των τύπων ηλεκτρικών οχημάτων. Γενικά, η ηλεκτροκίνηση σχετίζεται με οχήματα τα οποία φέρουν τουλάχιστον έναν ηλεκτροκινητήρα για την προώθηση των οχημάτων αυτών. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα λειτουργούν με ενέργεια αποθηκευμένη σε μπαταρίες ή άλλες μορφές συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, σε αντιδιαστολή με τα παραδοσιακά οχήματα που φέρουν κινητήρες εσωτερικής καύσης, πετρελαίου ή diesel. Η ηλεκτρική ενέργεια, παρά το γεγονός ότι αναγνωρίζεται ως μια πολύ πιο καθαρή και αποδοτική πηγή ενέργειας συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα, ανάλογα βεβαίως και με τις μεθόδους με τις οποίες παράγεται, εξακολουθεί να αντιμετωπίζεται με δυσπιστία τόσο από το ευρύ κοινό, όσο και από παράγοντες της αγοράς

³ Interactive map – Correlation between electric car sales and charging point availability (2023 data) - ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. (2024, May 7). ACEA. <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-correlation-between-electric-car-sales-and-charging-point-availability-2023-data/>

(βιομηχανίες, εμπόρους κτλ.). Μελετώντας το Σχήμα 2, διαπιστώνεται ότι τα ηλεκτρικά οχήματα ουσιαστικά περιλαμβάνουν ένα ευρύτερο φάσμα τύπων αυτοκινήτων, ηλεκτρικά αμιγώς οχήματα (BEVs), υβριδικά Plug-In (PHEVs), υβριδικά (HEs), οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEVs) και οχήματα με εκτεταμένη αυτονομία και οχήματα με εκτεταμένη αυτονομία (ER-EVs) (Cruz-Jesus et al., 2023). Η κατανόηση των διαφόρων τύπων ηλεκτρικών οχημάτων είναι σημαντική για την επιλογή του κατάλληλου τύπου για τις ανάγκες του κάθε χρήστη, λαμβάνοντας υπόψη την αυτονομία, την ευελιξία, και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Σχήμα 2 Ταξινόμηση ειδών ηλεκτρικών οχημάτων με βάση τα μηχανολογικά τους χαρακτηριστικά

Πηγή (Sanguesa, 2021) (Edited).

➤ **Αποκλειστικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Battery Electric Vehicles)**

Τα BEVs είναι αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία φέρουν μεγάλες μπαταρίες για την αποθήκευση της ενέργειας. Η φόρτιση πραγματοποιείται μέσω εξωτερικών πηγών, δηλαδή φορτιστών ή σταθμών φόρτισης. Η χωρητικότητα της μπαταρίας καθορίζει και την αυτονομία τους, συνήθως κυμαίνεται από 150 έως 500 χιλιόμετρα ανά φόρτιση, επιπλέον δεν διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης.

➤ **Plug-in Υβριδικά Οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles)**

Τα PHEVs διαθέτουν έναν ηλεκτροκινητήρα και έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Μπαταρία τους μπορεί να φορτιστεί εξωτερικά μέσω πρίζας, αλλά έχουν επίσης τη δυνατότητα να λειτουργούν με βενζίνη ή diesel όταν η μπαταρία εξαντληθεί. Αυτός ο τύπος οχήματος προσφέρει την ευελιξία της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για μικρές διαδρομές και καυσίμων για μεγαλύτερες αποστάσεις. Λόγω των μικρότερων μπαταριών, η ηλεκτρική τους αυτονομία κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 80 χιλιόμετρα και σε συνδυασμό με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης προσφέρουν συνολική αυτονομία 500 χιλιομέτρων.

➤ **Υβριδικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles)**

Τα HEVs συνδυάζουν έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ηλεκτροκινητήρα. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα PHEVs, οι μπαταρίες των HEVs δεν μπορούν να φορτιστούν εξωτερικά αλλά μόνο μέσω της λειτουργίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης ή μέσω αναγέννησης ενέργειας κατά την πέδηση. Τα HEVs χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του καυσίμου και να μειώσουν τις εκπομπές. Η ηλεκτρική αυτονομία είναι πολύ περιορισμένη, συνήθως μερικά χιλιόμετρα. Η συνολική αυτονομία εξαρτάται από την αποθήκευση καυσίμου, και είναι παρόμοια με τα παραδοσιακά οχήματα, κυμαινόμενη από 500 έως 800 χιλιόμετρα.

➤ **Οχήματα Κυψελών Καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles)**

Τα FCEVs χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδρογόνο. Η κυψέλη καυσίμου μετατρέπει το υδρογόνο και το οξυγόνο σε ηλεκτρισμό και νερό. Αυτά τα οχήματα διαθέτουν ηλεκτροκινητήρα και μπαταρία για την αποθήκευση ενέργειας, αλλά η κύρια πηγή ενέργειας είναι το υδρογόνο. Γενικά, τα FCEVs προσφέρουν μεγάλο εύρος που κυμαίνεται από 300 έως 500 χιλιόμετρα με πλήρη δεξαμενή υδρογόνου και σύντομο χρόνο ανεφοδιασμού, συνήθως λίγα λεπτά.

➤ **Οχήματα με Εκτεταμένη Αυτονομία (Extended-Range Electric Vehicles)**

Τα ER-EVs είναι παρόμοια με τα BEVs, αλλά διαθέτουν επίσης έναν μικρό κινητήρα εσωτερικής καύσης που λειτουργεί ως γεννήτρια για τη φόρτιση της μπαταρίας όταν αυτή εξαντληθεί. Αυτός ο κινητήρας δεν χρησιμοποιείται για την άμεση κίνηση του οχήματος αλλά μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, επεκτείνοντας έτσι την αυτονομία του οχήματος πέρα από τη χωρητικότητα της μπαταρίας. Η ηλεκτρική αυτονομία τους

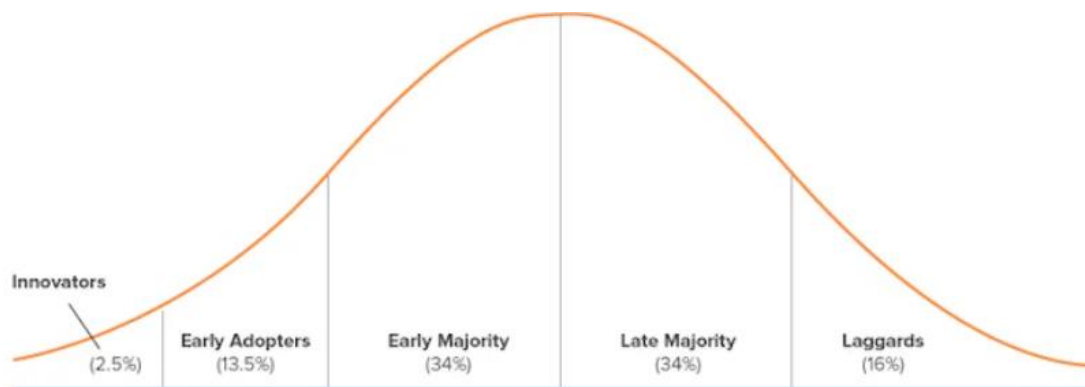
συνήθως κυμαίνεται από 80 έως 150 χιλιόμετρα και η συνολική μπορεί να φτάσει ή να υπερβεί τα 500 χιλιόμετρα.

1.3 Η διάχυση της τεχνολογίας της ηλεκτροκίνησης στην Ευρώπη

Η διάχυση της τεχνολογίας της ηλεκτροκίνησης στην Ευρώπη έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, λόγω των περιβαλλοντικών πολιτικών, των κυβερνητικών επιδοτήσεων, και της ανάπτυξης των υποδομών φόρτισης. Το γεγονός ότι τα κίνητρα αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων ορίζονται σε εθνικό επίπεδο συμβάλλει στην παρατήρηση σημαντικών διαφορών στα μερίδια αγοράς μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Η Νορβηγία είναι το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα ισχυρών κρατικών κινήτρων για την υιοθέτηση EVs με αποτέλεσμα η χώρα να έχει τα υψηλότερα ποσοστά πωλήσεων στην ευρωπαϊκή ήπειρο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στη Νορβηγία για τα ηλεκτρικά οχήματα δεν απαιτείται η καταβολή φόρου προστιθέμενης αξίας, με αποτέλεσμα να έχουν σημαντικό τιμολογιακό πλεονέκτημα έναντι των ICEs. Επιπρόσθετα, επισημαίνεται ότι σύμφωνα με στοιχεία που εξέδωσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2019, εκτιμάται ότι όλες οι χώρες έχουν φθάσει ή πλησιάζουν στο άνω όριο της χωρητικότητας τους σε αυτοκίνητα. (Fluchs, 2020)

Το ζήτημα της διάδοσης της τεχνολογίας των ηλεκτροκινήτων δύναται να προσεγγιστεί μέσω του μοντέλου διάχυσης των προϊόντων του Rogers (Rogers product diffusion model, 2003). Αναλυτικότερα, υποτίθεται ότι η διαδικασία διάχυσης της τεχνολογίας προσομοιάζει με τη διαδικασία εξάπλωσης μιας ασθένειας. Η βασική παραδοχή τέτοιου είδους προσεγγίσεων είναι ότι συνήθως υπάρχει ένας σταθερός αριθμός ατόμων που πιθανώς να υιοθετήσουν αυτή την τεχνολογία και όσοι δεν την έχουν υιοθετήσει ακόμα, μέσω της κοινωνικής ώσμωσης θα την αποδεχθούν. Επίσης, η επαφή με κάποιον που έχει αγοράσει ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην προκειμένη περίπτωση θεωρείται ότι αυξάνει τον ρυθμό διάχυσης. Ο Rogers ορίζει πέντε διαφορετικές ομάδες χρηστών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, ανάλογα με το πόσο νωρίς στη διαδικασία είναι πρόθυμοι να υιοθετήσουν μια νέα τεχνολογική καινοτομία: καινοτόμοι (innovators), πρώιμοι χρήστες (early adopters), πρώιμη πλειοψηφία (early majority), αργοπορημένη πλειοψηφία (late majority) και αργοπορημένοι (laggards). Αυτή τη στιγμή κατά μέσο όρο το ευρωπαϊκό κοινό κατέχει ποσοστό 25% και βρίσκεται στη μεταβατική φάση μεταξύ πρώιμων χρηστών και πρώιμης πλειοψηφίας, ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις χωρών, όπως η Ουγγαρία, οι οποίες εξακολουθούν να κατατάσσονται στην ομάδα των καινοτόμων με ποσοστό

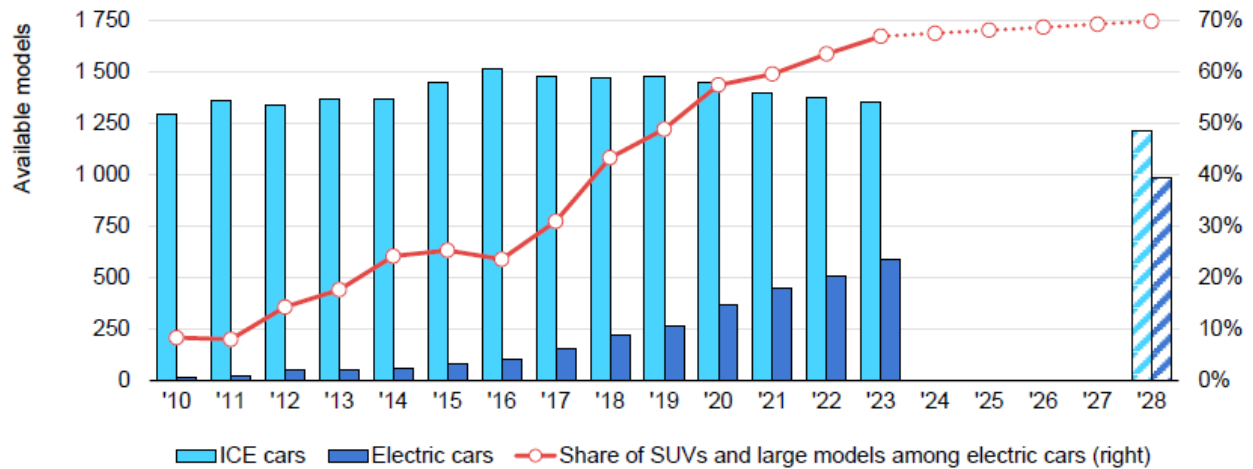
διάχυσης και χρήσης της ηλεκτροκίνησης περίπου 3%. (IEA, 2024) (Stoneman, 2001) (Rogers, 2023)



Σχήμα 3: Καμπύλη διάχυσης της τεχνολογίας και οι ομάδες χρηστών που διαμορφώνονται.

Πηγή: (The Product Diffusion Curve, n.d.)

Παρά το γεγονός ότι διαφορετικές χώρες παρουσιάζουν διαφορετικές ταχύτητες υιοθέτησης της ηλεκτροκίνησης στον ρυπογόνο τομέα των μεταφορών, περισσότερα ηλεκτρικά μοντέλα γίνονται διαθέσιμα, με την τάση να επικεντρώνεται σε μεγαλύτερα οχήματα. Ο αριθμός των διαθέσιμων μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων πλησιάζει τα 600, με τα δύο τρίτα αυτών να είναι μεγάλα οχήματα και SUV. Το 2023, ο αριθμός των διαθέσιμων ηλεκτρικών μοντέλων αυξήθηκε κατά 15% σε σχέση με το προηγούμενο έτος, φτάνοντας σχεδόν τα 590, καθώς οι αυτοκινητοβιομηχανίες κλιμάκωσαν τα σχέδια ηλεκτροκίνησης τους, επιδιώκοντας να προσελκύσουν έναν αυξανόμενο αριθμό καταναλωτών (βλ. Σχήμα 4). Ταυτόχρονα, ο αριθμός των μοντέλων με πλήρως κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE), εξαιρουμένων των υβριδικών, μειώθηκε για τέταρτη συνεχόμενη χρονιά, κατά μέσο όρο 2%. (IEA, 2024)

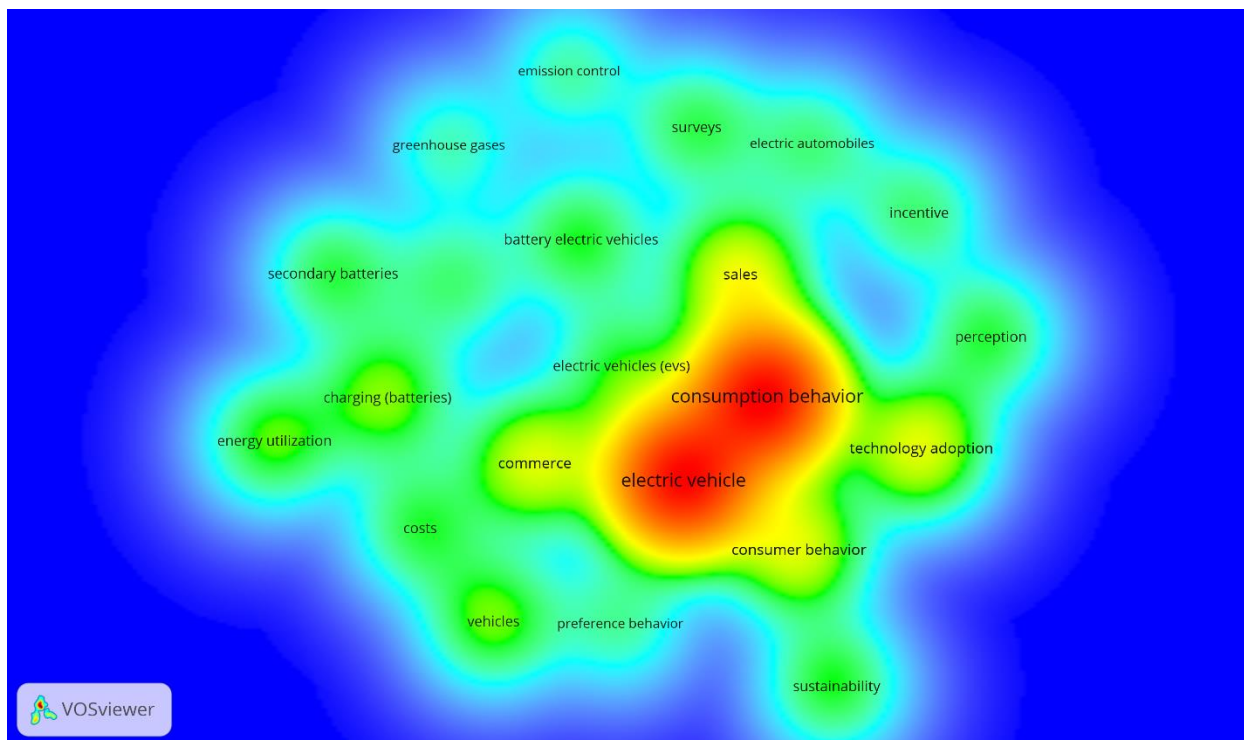


Σχήμα 4: Διαθεσιμότητα μοντέλων οχημάτων με σύστημα μετάδοσης κίνησης για την περίοδο 2010-2023 και το 2028 βάσει των ανακοινωθέντων λανσαρισμάτων.

Το μερίδιο της αγοράς των SUV και των αυτοκινήτων μεγάλου μεγέθους μεταξύ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Επισημαίνεται ότι στην κατηγορία των ICEs δεν συγκαταλέγονται τα υβριδικά αυτοκίνητα και στην κατηγορία των EVs περιλαμβάνονται τα BEVs & PHEVs. Πηγή: (IEA, 2024)

1.4 Η έννοια της «οικολογικής ταυτότητας» των καταναλωτών

Η έννοια της πράσινης ταυτότητας (green self-identity) επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά των καταναλωτών, ιδιαίτερα όσον αφορά την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων (EVs). Ειδικότερα, η πράσινη ταυτότητα αναφέρεται στον βαθμό που τα άτομα αντιλαμβάνονται τον εαυτό τους ως περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένα και δεσμευμένα σε βιώσιμες πρακτικές. Αυτή η «αυτοαντίληψη» οδηγεί στην υπεύθυνη καταναλωτική συμπεριφορά, όπου οι καταναλωτές προτιμούν προϊόντα και υπηρεσίες που ευθυγραμμίζονται με τις περιβαλλοντικές τους αξίες (βλ. Σχήμα 5). Ως αποτέλεσμα, οι καταναλωτές με ισχυρή πράσινη ταυτότητα είναι πιο πιθανό να εξετάσουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των αγορών τους και να προβούν σε επιλογές που ελαχιστοποιούν το ενεργειακό τους αποτύπωμα. Συνεπώς, η περιβαλλοντικά καθοδηγούμενη διαδικασία λήψης αποφάσεων αντικατοπτρίζει μια ευρύτερη τάση όπου οι προσωπικές αξίες και η περιβαλλοντική ηθική παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των καταναλωτικών επιλογών γενικότερα.



Σχήμα 5: Γράφημα πυκνότητας VOSviewer.

Παρουσιάζει τη συνάφεια των εικονιζόμενων εννοιών-λέξεων κλειδιά με βάση την συχνότητα εμφάνισής τους σε βιβλιογραφικές αναφορές στη βάση δεδομένων του Scopus. Μέσω του γραφήματος γίνεται εμφανής η συσχέτιση της υιοθέτησης και τελικά αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων με τις αντιλήψεις του καταναλωτικού κοινού και τις περιβαλλοντικές ανησυχίες του.

Η κοινωνική αλληλεπίδραση και οι συμπεριφορικοί παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι αξίες, οι στάσεις και οι γνώσεις των οδηγών διαμορφώνουν την προθυμία τους να αγοράσουν EVs. Παράλληλα, η αλληλεπίδραση με τους τρέχοντες χρήστες και η ισχυρή επίδραση της διαφήμισης από στόμα σε στόμα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενθάρρυνση και άλλων οδηγών να εξετάσουν την εναλλακτική των ηλεκτρικών οχημάτων. Η κοινωνική διάσταση, λοιπόν, την οποία λαμβάνει η απόφαση αγοράς ενός νέου αυτοκινήτου έχει τη δυναμική να οδηγήσει σε ευρύτερη αποδοχή και υιοθέτηση της τεχνολογίας των ηλεκτροκινήτων. Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι στις ελεύθερες αγορές, όπως σε αυτή της Ευρώπης, η ενεργή συμμετοχή των ατόμων και των επιχειρήσεων είναι κρίσιμη για την επίτευξη των συλλογικών στόχων περιορισμού της περιβαλλοντικής κρίσης.

Επομένως, συνάγεται ότι οι ψυχολογικοί και κοινωνικοί παράγοντες, όπως τα δημογραφικά χαρακτηριστικά και οι κοινωνικοί κανόνες, διαμορφώνουν επίσης τη συμπεριφορά των αρχικά δύσπιστων καταναλωτών απέναντι στα ηλεκτρικά οχήματα. Οι θετικές αντιλήψεις για τα EVs προέρχονται από τα περιβαλλοντικά τους οφέλη, τα χαμηλότερα λειτουργικά κόστη και τις υποστηρικτικές κυβερνητικές πολιτικές. Ωστόσο, δεν λείπουν οι ανησυχίες για την ανακύκλωση των μπαταριών, τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση και την επάρκεια της αυτονομίας του αυτοκινήτου σε μακρινές αποστάσεις οδήγησης. (Neshat, 2023) (Barkenbus, 2020)

Κεφάλαιο 2-Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

2.1 Η στάση των Ευρωπαίων καταναλωτών στο παρελθόν και οι ευρωπαϊκοί στόχοι για την ηλεκτροκίνηση

Βασιζόμενο σε έρευνα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του 2012 με τίτλο “ Attitude of European car drivers towards electric vehicles: a survey”⁴, οι ευρωπαίοι οδηγοί αυτοκινήτων αντιμετώπιζαν τα ηλεκτρικά οχήματα με περιέργεια, αλλά και σκεπτικισμό. Η έκθεση υπογράμμιζε ότι, ενώ υπήρχε αυξανόμενη ενημέρωση και ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα, υπήρχαν και σημαντικοί φραγμοί όσον αφορά την υιοθέτησή τους. Οι κύριες ανησυχίες περιλάμβαναν την περιορισμένη αυτονομία, το υψηλό κόστος αγοράς και την ανεπαρκή υποδομή φόρτισης. Ωστόσο, η αντίληψη για τα ηλεκτρικά οχήματα επηρεαζόταν θετικά από τα περιβαλλοντικά τους οφέλη και τις δυνητικές εξοικονομήσεις στο κόστος καυσίμου και συντήρησης.

Σχετικά με το ιδανικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο, η έρευνα έδειξε ότι οι ευρωπαίοι οδηγοί εξέφρασαν προτιμήσεις για ηλεκτρικά οχήματα που προσφέρουν μεγαλύτερη αυτονομία, γρηγορότερους χρόνους φόρτισης και ανταγωνιστική τιμολόγηση σε σύγκριση με τα συμβατικά βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα. Επίσης, εκτίμησαν ως σημαντικά χαρακτηριστικά την αξιοπιστία, την απόδοση και την άνεση συγκριτικά με τα παραδοσιακά αυτοκίνητα. Επιπλέον, οι απανταχού παρευρισκόμενοι εστίασαν στη σημασία μιας καλά αναπτυγμένης υποδομής φόρτισης για την υποστήριξη της ευρείας υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων σε όλη την Ευρώπη. Συνολικά, η έρευνα ανέδειξε μία συγκρατημένη αισιοδοξία μεταξύ των ευρωπαίων καταναλωτών αναφορικά με τα ηλεκτρικά οχήματα, επισημαίνοντας τόσο τα δυνητικά οφέλη όσο και τις πρακτικές προκλήσεις που έπρεπε να αντιμετωπιστούν για να επιτευχθεί ευρύτερη αποδοχή στην αγορά.

Τρία χρόνια αργότερα, το 2015, δημοσιεύτηκε έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής με τίτλο “ *Electric vehicles in the EU from 2010 to 2014 - is full scale commercialization near?* ”⁵, η οποία διερευνούσε το ενδεχόμενο πλήρους εμπορευματοποίησης της τεχνολογίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ε.Ε. κατά τη χρονική περίοδο 2010-2014. Η έρευνα αντλούσε δεδομένα από βάσεις παρακολούθησης των εκπομπών CO₂ για ιδιωτικά οχήματα για τη χρονική περίοδο 2010-

⁴ Scarcella et al., (2012). *Attitude of European car drivers towards electric vehicles: a survey.*

⁵ Thiel et al., (2015). *Electric vehicles in the EU from 2010 to 2014 - is full scale commercialization near?*

2014. Σε αυτό το σημείο, επισημαίνεται ότι κάθε κράτος μέλος επιβάλλεται να αναφέρει στο σύστημα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος τις πωλήσεις του προηγούμενου έτους, τέτοιου είδους μηχανοκίνητων, στην επικράτειά του. Περίπου το 0.25% των συνολικών νέων καταχωρήσεων αυτοκινήτων στην Ευρώπη ήταν ηλεκτρικά, ενώ το 2014 κατέκτησαν το 0.57% της αγοράς. Ο ρυθμός μετάβασης στην εποχή της ηλεκτροκίνησης ήταν ανάλογος με τα οικονομικά κίνητρα και τις πολιτικές που προωθούσε η κάθε χώρα, με αποτέλεσμα τα κράτη να κατατάσσονται στις εξής 4 ομάδες. Σε ορισμένες χώρες παρέχονται ισχυρά οικονομικά κίνητρα, τα οποία αυξάνονται ανάλογα με την τιμή του αυτοκινήτου, όπως στη Νορβηγία, την Αυστρία, το Βέλγιο, τη Δανία, τη Φινλανδία, την Ελλάδα, την Ολλανδία, την Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Σε άλλες χώρες, όπως η Εσθονία, η Γαλλία, η Ιρλανδία, το Λουξεμβούργο, η Ισπανία και η Σουηδία, τα κίνητρα είναι εξίσου ισχυρά, αλλά δεν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του οχήματος. Υπάρχουν, όμως, και χώρες με πιο περιορισμένα κίνητρα, όπως η Τσεχία, η Γερμανία, η Ουγγαρία, η Ιταλία, η Λετονία και η Ρουμανία. Τέλος, ορισμένες χώρες, όπως η Βουλγαρία, η Κροατία, η Κύπρος, η Λιθουανία, η Μάλτα, η Πολωνία, η Σλοβακία και η Σλοβενία, δεν παρέχουν οικονομικά κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων.

Ειδικότερα, στη Νορβηγία, το μερίδιο των νέων ηλεκτρικών οχημάτων το 2014 ανήλθε στο 14%, ποσοστό το οποίο ήταν το υψηλότερο στον κόσμο εκείνη την εποχή. Σύμφωνα με τον εκπρόσωπο της νορβηγικής ένωσης ηλεκτρικών οχημάτων, P. Haugneland, η χώρα προσφέρει ισχυρά οικονομικά και άλλα κίνητρα που κάνουν τα ηλεκτρικά οχήματα ελκυστική επιλογή για τους καταναλωτές. Εκτός από φορολογικές απαλλαγές, οι Νορβηγοί ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων απολαμβάνουν δωρεάν διόδους, δωρεάν χρήση εθνικών πλοίων, δωρεάν δημοτικούς χώρους στάθμευσης, δωρεάν φόρτιση σε πολλούς σταθμούς φόρτισης και πρόσβαση στις λωρίδες των λεωφορείων. Οι ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι, από το 2010, η ανάπτυξη των EV στην Ε.Ε. έχει επιταχυνθεί, με περισσότερα μοντέλα να διατίθενται στην αγορά και την κάλυψη διαφορετικών κατηγοριών οχημάτων. Ως αποτέλεσμα, οι εγγραφές και το μερίδιο αγοράς των EV αυξάνονται σταθερά, παρόλο που παραμένουν μικρά σε σχέση με την αγορά των συμβατικών οχημάτων. Αναλυτικότερα, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) επικεντρώνονται σε μεγαλύτερα μεγέθη αυτοκινήτων, ενώ τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (BEV) είναι πιο συνηθισμένα στα μικρότερα. Παρά το υψηλό κόστος αγοράς, κυρίως λόγω των ακριβών μπαταριών, μελέτες υποδεικνύουν ότι οι τιμές των μπαταριών μπορεί να μειωθούν γρηγορότερα από τις αρχικές προβλέψεις, μειώνοντας έτσι τη διαφορά κόστους μεταξύ EV και συμβατικών οχημάτων. ζήτηση

για τα ηλεκτρικά οχήματα έχει επηρεαστεί από διάφορα προγράμματα κινήτρων στα κράτη μέλη της Ε.Ε., με τα υψηλότερα οικονομικά οφέλη να σχετίζονται με μεγαλύτερους αριθμούς εγγραφών. Σε χώρες όπως οι Κάτω Χώρες και η Εσθονία, οι αλλαγές στα κίνητρα οδήγησαν σε αυξομειώσεις στις εγγραφές EV, δείχνοντας ότι χρειάζονται συνεπείς πολιτικές. Τα διάφορα μέτρα στήριξης που εφαρμόστηκαν προσφέρουν σημαντικά διδάγματα για την ανάπτυξη εθνικών πολιτικών, όπως προσδιορίζονται και από την τροπολογία για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων το 2016. Η συνεργασία μεταξύ κρατών μελών πρέπει να ενθαρρύνει μια συντονισμένη προσέγγιση, ιδίως στην ενίσχυση της ζήτησης, ενώ απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για τις υποδομές. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η Ευρώπη είναι σε παρόμοια θέση με τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία όσον αφορά το μερίδιο αγοράς των EV, ενώ η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ έχει αυξηθεί από 30% το 2011 σε 65% το 2014. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω αύξηση της παραγωγής μπαταριών στην Ε.Ε.. Αντίθετα, η αγορά των ελαφρών επαγγελματικών ηλεκτρικών οχημάτων (eLCV) έχει μείνει στάσιμη, με μικρή μόνο αύξηση στις εγγραφές.

Οι Held και Gerrits (2019) πραγματοποίησαν με στόχο να εντοπίσουν ποιες συνδυασμένες δράσεις σε τοπικό και εθνικό επίπεδο μπορούν να προωθήσουν πιο αποτελεσματικά τη βιώσιμη αστική κινητικότητα. Σύμφωνα με τα ευρήματα, οι πολιτικές που εστιάζουν σε μια μόνο πτυχή των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) είναι πιθανό να αποτύχουν. Η επιτυχημένη υιοθέτηση των EV απαιτεί ένα συνδυασμό μέτρων που μειώνουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, ενθαρρύνουν την εγκατάσταση φορτιστών σε ιδιωτικούς χώρους, αναπτύσσουν δημόσια δίκτυα φόρτισης και περιορίζουν τη χρήση συμβατικών οχημάτων. Τα δεδομένα έδειξαν ότι η επιτυχής ενσωμάτωση των EV απαιτεί ολοκληρωμένες πολιτικές που συνδυάζουν φορολογικά κίνητρα και τοπικά μέτρα, καθιστώντας ανεπαρκείς τις μεμονωμένες δράσεις.

Η ανάλυση κατέδειξε πως κανένα μεμονωμένο μέτρο δεν είναι αρκετό για την επιτυχία, αλλά χρειάζεται ένας συνδυασμός παραγόντων για την επίτευξη θετικών αποτελεσμάτων. Αυτά τα συμπεράσματα ευθυγραμμίζονται με άλλες έρευνες, όπως εκείνες των Wang et al. (2019) και Kester et al. (2018), που επισημαίνουν τη σημασία των πρακτικών μέτρων, όπως η προτεραιότητα στους δρόμους, έναντι των άμεσων επιδοτήσεων για την προώθηση των EV. Οι προτεινόμενες λύσεις αποτελούν καλή βάση για τη χάραξη πολιτικών που επιδιώκουν την ανάπτυξη των EV στις ευρωπαϊκές πόλεις. Οι συγγραφείς τονίζουν ότι οι πολιτικές πρέπει να είναι συνολικές και όχι αποσπασματικές, ώστε να είναι πιο αποτελεσματικές. Ωστόσο, επισημαίνουν πως η έρευνά τους

δεν μετρά με ακρίβεια την επίδραση των φορολογικών κινήτρων στις πωλήσεις των EV και προτείνουν μελλοντικές έρευνες με περισσότερες περιπτώσεις για καλύτερη αξιολόγηση. Παρά τους περιορισμούς, τα αποτελέσματα της έρευνας προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για την πολυπλοκότητα των κοινωνικοτεχνολογικών μεταβάσεων στην Ευρώπη, ένα ζήτημα που δεν έχει ακόμη μελετηθεί επαρκώς.

2.2 Οι παράγοντες καθυστέρησης της διάδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων και οι πολιτικές πρακτικές στην Ευρώπη

Με βάση την έκθεση για τους ευρωπαίους καταναλωτές για το 2022 (EAFO, 2022), η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη αντιμετωπίζει πολλά βασικά εμπόδια. Το κυριότερο μεταξύ αυτών είναι η υψηλή τιμή αγοράς των EV σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα, παρά τις πρόσφατες μειώσεις κόστους στην τεχνολογία μπαταριών. Επιπλέον, εξακολουθούν να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την αυτονομία των EVs, παρόλο που τα νεότερα μοντέλα προσφέρουν πλέον αυτονομίες που ξεπερνούν τα 400 χιλιόμετρα ανά φόρτιση. Επιπλέον, η περιορισμένη διαθεσιμότητα υποδομών επαναφόρτισης, ιδιαίτερα σε ορισμένες δύσβατες, απομονωμένες, αλλά και σε κάποιες αστικές περιοχές, παραμένει σημαντικός αποτρεπτικός παράγοντας για τους πιθανούς αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτά τα εμπόδια συμβάλλουν συλλογικά, ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να αντιπροσωπεύουν μόνο το 1,23% του συνολικού στόλου επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ για το έτος 2022.

Για να ενθαρρύνει την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εφαρμόσει μια σειρά από πολιτικές και οικονομικά κίνητρα. Ο κανονισμός για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFIR), για παράδειγμα, παρέχει ένα συνεκτικό πλαίσιο για την ανάπτυξη υποδομών επαναφόρτισης σε ολόκληρη την ΕΕ. Αυτή η πρωτοβουλία συμπληρώνεται από το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Εναλλακτικών Καυσίμων (EAFO), το οποίο προσφέρει δεδομένα και πόρους στους ενδιαφερόμενους φορείς, βοηθώντας στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για την προώθηση της υιοθέτησης της ηλεκτροκίνησης. Επιπλέον, οικονομικοί μηχανισμοί, όπως η Cleaner Transport Facility και η Alternative Fuels Infrastructure Facility (AFIF), διαθέτουν σημαντική χρηματοδότηση για την υποστήριξη της εγκατάστασης σημείων φόρτισης EVs κατά μήκος του διευρωπαϊκού δικτύου. Αυτές οι προσπάθειες αποσκοπούν στη βελτίωση της προσβασιμότητας και της ευκολίας, αντιμετωπίζοντας βασικά προβλήματα και διευκολύνοντας τη μετάβαση προς τη βιώσιμη κινητικότητα σε ολόκληρη την Ευρώπη.

2.3 Συνολικό κόστος ιδιοκτησίας και η αγορά των μεταχειρισμένων EVs

Η αγορά ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, με πολλούς καταναλωτές να ελκύονται από το αθόρυβο και κομψό σχεδιασμό τους, προτιμώντας αυτά τα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα σπορ χαρακτηριστικά των παραδοσιακών αυτοκινήτων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα EVs αρχίζουν να αντικαθιστούν τα pick-up φορτηγά, τα οποία εξακολουθούν να θεωρούνται σύμβολο κοινωνικής θέσης από πολλούς. Παρά αυτήν τη μεταβολή, τα EVs συχνά θεωρούνται είδος πολυτελείας, βρίσκοντας ιδιαίτερα επικερδείς αγορές για τα υψηλότερης κατηγορίας μοντέλα στην Ασία. Η τιμή παραμένει ένας κρίσιμος παράγοντας για τις επιλογές των καταναλωτών, συχνά οδηγώντας τις οικογένειες που διαθέτουν δύο αυτοκίνητα να προτιμούν μικρότερα EVs. Οι επιλογές εξατομίκευσης και η προηγμένη τεχνολογία, όπως η δυνατότητα αυτόνομης οδήγησης, παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στις προτιμήσεις των καταναλωτών. Ωστόσο, προκλήσεις όπως οι αργοί χρόνοι παράδοσης ,έως 24 εβδομάδες για τα πιο ακριβά μοντέλα, αποθαρρύνουν τους καταναλωτές.

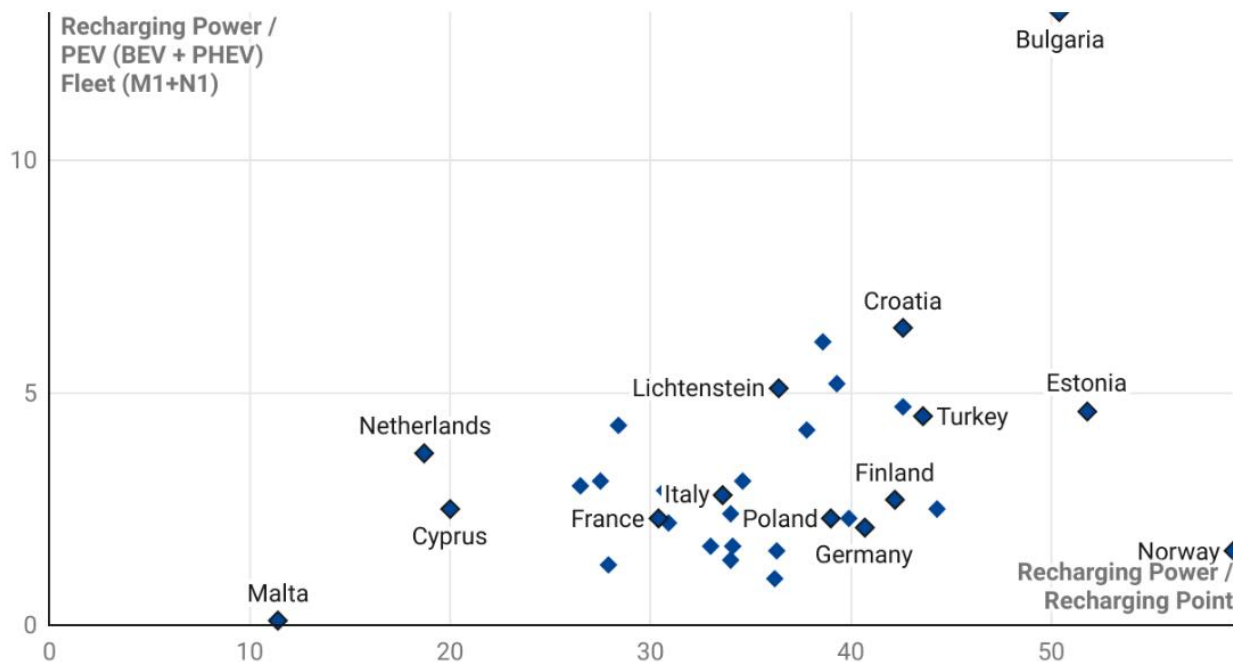
Η δευτερογενής αγορά ηλεκτρικών οχημάτων εξελίσσεται επίσης, με σημαντικές προκλήσεις και ευκαιρίες. Οι τιμές των μεταχειρισμένων EVs έχουν μειωθεί, καθιστώντας τα πιο προσιτά σε ένα ευρύτερο φάσμα καταναλωτών. Ωστόσο, το υψηλό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για φόρτιση στο σπίτι, συγκρίσιμο με αυτό της βενζίνης, μπορεί να αποθαρρύνει τους δυνητικούς αγοραστές. Επιπλέον, τα έξοδα φόρτισης σε δημόσιους σταθμούς είναι ισοδύναμα με αυτά του ανεφοδιασμού με καύσιμα για αυτοκίνητα καύσης, προσθέτοντας στους οικονομικούς προβληματισμούς.

Η έλλειψη εξειδικευμένων υπηρεσιών για τη συντήρηση και επισκευή των EVs, μαζί με τις ανησυχίες για τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, παραμένουν σημαντικοί αποτρεπτικοί παράγοντες στη αγορά των μεταχειρισμένων. Παρά τις προκλήσεις αυτές, η αγορά παρουσιάζει σταδιακή ανάπτυξη. Για παράδειγμα, ορισμένα μοντέλα EVs στην Αγγλία είναι πλέον διαθέσιμα για €30.000 ή λιγότερο, σηματοδοτώντας μια τάση προς πιο προσιτές επιλογές. Η συζήτηση με επαγγελματίες του κλάδου οδηγεί στην εκτίμηση ότι μέχρι το 2026, η διαφορετική τιμολόγηση θα επιτρέψει στα EVs να είναι το ίδιο προσιτά με τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης, πιθανόν να ενισχύσει τόσο τις νέες όσο και τις δευτερογενείς αγορές EVs.

2.4 Φόρτιση και μπαταρίες

Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα λόγω της ανισομερούς κατανομής των σταθμών φόρτισης και του χρόνου επαναφόρτισης. Η ανάγκη για γρήγορη φόρτιση, η οποία θα επιτρέπει στα οχήματα να φορτίζονται για δέκα λεπτά και να διανύουν 100 μίλια, είναι εφικτή μόνο με τους φορτιστές επιπέδου III που χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα (DC). Καθώς οι φορτιστές επιπέδου III επιτρέπουν ταχύτερη φόρτιση, είναι σημαντικό οι δημόσια διαθέσιμοι σταθμοί φόρτισης να διαθέτουν αυτή την τεχνολογία. Επίσης, η τεχνολογία ανταλλαγής μπαταριών, που επιτρέπει την αλλαγή της μπαταρίας σε μόλις 90 δευτερόλεπτα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για μακρινά ταξίδια. Παρόλα αυτά, με βάση τις ευρωπαϊκές στατιστικές η φόρτιση των οχημάτων στο σπίτι είναι δύσκολη για το 64% των ανθρώπων που δεν διαθέτουν ιδιωτικό χώρο στάθμευσης.

Calculated as per situation of 2024 Q1.



Σχήμα 6: Αξιολόγηση της Κατανομής των Δυνατοτήτων και της Ισχύς Επαναφόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων μεταξύ των Ευρωπαϊκών Χωρών.

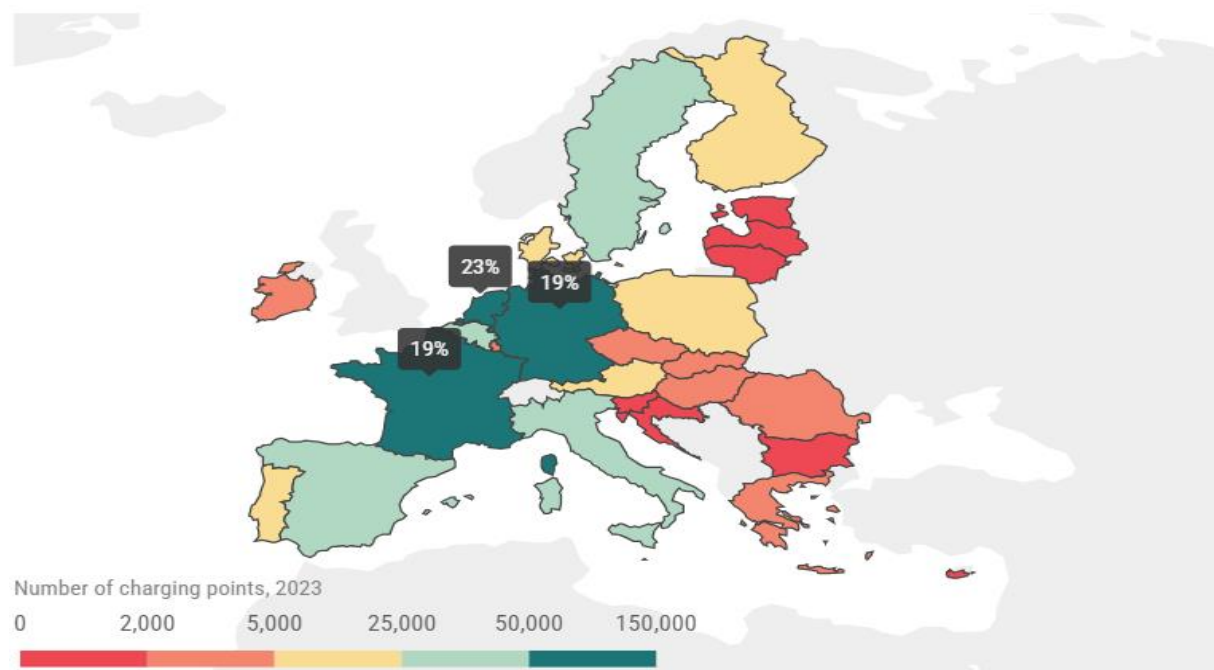
(EAFO Analysis: Trends in EV Charging Infrastructure Across Europe, 2024)

Σύμφωνα με τα στοιχεία της έρευνας, από την Σχήμα 6, προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Ομάδες με μεγάλες δυνατότητες φόρτισης: Η Ανατολική Ευρώπη ηγείται στην ισχύ ανά σημείο φόρτισης, με χώρες όπως η Βουλγαρία, η Εσθονία και η Λετονία να δείχνουν ανθεκτική υποδομή σε σχέση με τον αριθμό των σταθμών φόρτισης. Παρόμοια, οι χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης όπως η Σλοβακία, η Κροατία και η Τσεχική Δημοκρατία επενδύουν σημαντικά σε υψηλής χωρητικότητας υποδομές φόρτισης.
- Ισορροπημένες υποδομές στη Δυτική Ευρώπη: Οι χώρες της Δυτικής Ευρώπης όπως η Ολλανδία, η Γερμανία και η Γαλλία ακολουθούν ισορροπημένη προσέγγιση με ευρεία δίκτυα φόρτισης. Παρά το μέτριο επίπεδο ισχύς ανά σημείο φόρτισης, η εκτεταμένη κάλυψη υποστηρίζει μια μεγάλη μερίδα ηλεκτρικών οχημάτων, ενισχυμένη από σημαντικές επενδύσεις σε γρήγορους φορτιστές για τη βελτίωση της αποδοτικότητας.
- Αναδυόμενες ομάδες με αυξανόμενη υποδομή: Στη Νότια Ευρώπη, χώρες όπως η Ισπανία, η Ιταλία και η Ελλάδα επιδεικνύουν αναδυόμενες τάσεις στην ανάπτυξη της υποδομής ηλεκτρικών οχημάτων. Παρά το χαμηλό επίπεδο ισχύς ανά σημείο φόρτισης σε σχέση με την Ανατολική Ευρώπη, η συνεχής αύξηση των σημείων φόρτισης αντικατοπτρίζει τις συνεχείς επενδύσεις και τις διευρυμένες προσπάθειες.
- Ανάγκη για επιταχυνόμενη ανάπτυξη: Οι αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Ιρλανδία, η Μάλτα και η Κύπρος διαθέτουν σημαντικό δυναμικό, αλλά αυτή τη στιγμή έχουν ανεπτυγμένες υποδομές. Αυτές οι περιοχές εμφανίζουν χαμηλή ισχύ φόρτισης ανά όχημα, υποδεικνύοντας την επείγουσα ανάγκη για επιταχυνόμενες επενδύσεις και ανάπτυξη για την υποστήριξη μελλοντικών υιοθεσιών ηλεκτρικών οχημάτων.

Ακόμα, η διάρκεια ζωής των μπαταριών και το κόστος που συνδέεται με την αγορά ή την αντικατάστασή τους συνεχίζουν να αποτελούν σημαντικό θέμα συζήτησης μεταξύ των καταναλωτών. Το κόστος της μπαταρίας, το οποίο ήταν €8000 το 2012, έχει μειωθεί προοδευτικά λόγω διαφόρων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του τύπου παραγωγής τους και των πρώτων υλών. Η Ευρώπη δεν εισάγει ηλεκτρικά αυτοκίνητα και ορισμένα ανταλλακτικά από την Κίνα, αποφεύγοντας έτσι την υψηλή παραγωγή CO₂ κατά τη μεταφορά, με συνέπεια τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να είναι ακριβότερα στην Ε.Ε. Επιπλέον, οι ευρωπαϊκές πολιτικές προβλέπουν την ανάκτηση και ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων μπαταριών, με ανάκτηση 95% νικελίου και κοβαλτίου και 50% λιθίου έως το 2031. Ωστόσο, η ανησυχία για την υποβάθμιση των μπαταριών παραμένει μεγάλη, καθώς οι καταναλωτές φοβούνται ότι η οικονομική επένδυση σε ένα EV μπορεί να μην αποδώσει λόγω της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και της υποτίμησης του αυτοκινήτου. Επιπλέον, η έλλειψη εξειδικευμένων μηχανικών που μπορούν να διαχειριστούν τις επισκευές των EVs προσθέτει στην ανησυχία αυτή, κάνοντας την υποστήριξη και συντήρηση των EVs κρίσιμη πρόκληση για την περαιτέρω υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής.

Σύμφωνα με το Σχήμα 7, παρατηρείται σημαντική συγκέντρωση των υποδομών φόρτισης της ΕΕ βρίσκεται σε μόλις τρεις χώρες: την Ολλανδία, τη Γαλλία και τη Γερμανία. Αυτά τα κράτη, τα οποία μαζί καλύπτουν πάνω από το 20% της έκτασης της ΕΕ, φιλοξενούν σχεδόν τα δύο τρίτα (61%) όλων των σημείων φόρτισης της ΕΕ. Σε έντονη αντίθεση, το υπόλοιπο 39% των φορτιστών είναι διασκορπισμένο σε 24 άλλα κράτη μέλη, καλύπτοντας σχεδόν το 80% της επιφάνειας της περιοχής. Η διαφορά είναι ιδιαίτερα έντονη στην Ολλανδία, η οποία κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο υποδομών, έχοντας πάνω από 52 φορές περισσότερα σημεία φόρτισης από τη Ρουμανία, μια χώρα περίπου επτά φορές μεγαλύτερη σε μέγεθος. Αυτό τονίζει μια σημαντική ανισορροπία στην κατανομή των υποδομών φόρτισης σε όλη την ΕΕ. Επιπλέον, υπάρχει αξιοσημείωτη συσχέτιση μεταξύ της διαθεσιμότητας δημόσιων σημείων φόρτισης και των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων μπαταρίας (BEV). Χώρες όπως η Γερμανία, η Ολλανδία, η Γαλλία και το Βέλγιο, που είναι μεταξύ των πέντε πρώτων σε αριθμό φορτιστών, παρουσιάζουν επίσης μερικά από τα μεγαλύτερα μερίδια αγοράς για BEV. Αυτό υποδηλώνει ότι η διαθεσιμότητα υποδομών φόρτισης είναι βασικός παράγοντας για την υιοθέτηση των BEV.



Σχήμα 7:Κύρια Ευρήματα για τις Υποδομές Φόρτισης στην ΕΕ.

Πηγή: (Interactive map – Correlation between electric car sales and charging point availability (2023 data), 2024)

Κεφάλαιο 3-Μεθοδολογία της έρευνας

3.1 Περιγραφή της βάσης δεδομένων

Σε αυτό το μέρος της εργασίας, παρουσιάζεται η βάση δεδομένων (J.Roberto Reyes García, 2023) που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση δεδομένων και προέρχεται από μια διασυνοριακή έρευνα σχετικά με τα επίπεδα γνώσης και στάσης προς τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) μεταξύ των Ευρωπαίων καταναλωτών. Η αρχική έρευνα διεξήχθη μεταξύ των δανέζικων νοικοκυριών το 2018 στο πλαίσιο του προγράμματος «proEME» (proEME, 2024). Η έρευνα είχε ως στόχο την κατανόηση της γνώσης και αντίληψης για τα EVs και την αναγνώριση τυχόν παρανοήσεων σχετικά με αυτά από την πλευρά του καταναλωτικού κοινού. Στη συνέχεια, εξαιτίας των χρήσιμων στοιχείων που αποκτήθηκαν από αυτήν την έρευνα, αποφασίστηκε να επαναληφθεί στην Ολλανδία (τον Δεκέμβριο του 2019) και στη συνέχεια στη Γερμανία, την Ουγγαρία, τη Νορβηγία και ξανά στη Δανία (τον Μάιο του 2020). Η διασυνοριακή έρευνα περιλαμβάνει 51 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που καλύπτουν θέματα όπως κοινωνικά, δημογραφικά στοιχεία, καθώς και κινητικότητα των καταναλωτών. Επιπλέον, στο πλαίσιο της έρευνας εξετάστηκαν 23 θέματα, που αφορούσαν κοινές παρανοήσεις αναφορικά με τα ηλεκτρικά οχήματα.

Συνολικά, η έρευνα αυτή αποσκοπεί στη σύγκριση της αντίληψης και γνώσης του κοινού για τα EVs μεταξύ των χωρών με διαφορετικά επίπεδα ωριμότητας της αγοράς στην ηλεκτροκίνηση. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ενός διαδικτυακού ερωτηματολογίου και οι συμμετέχοντες ήταν υπό την εποπτεία εταιρείας έρευνας αγοράς. Οι συμμετέχοντες είναι στο σύνολό τους 7661, περίπου 1500 συμμετέχοντες ηλικίας μεταξύ 18 και 70 από κάθε χώρα, και ολοκλήρωσαν το ερωτηματολόγιο στη μητρική τους γλώσσα. Τέλος, επισημαίνεται ότι η έρευνα διεξήχθη στο Πανεπιστήμιο του Twente, Τμήμα Τεχνολογίας Μηχανικής, Τμήμα Σχεδιασμού, Παραγωγής και Διαχείρισης, Enschede, Ολλανδία.

3.2 Αλγόριθμοι με επίβλεψη (supervised)

Οι εποπτευόμενοι αλγόριθμοι αποτελούν μια κατηγορία αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που βασίζονται σε δεδομένα εκπαίδευσης με ετικέτες για να κάνουν προβλέψεις ή να παίρνουν αποφάσεις. Στην εποπτευόμενη μάθηση, κάθε δείγμα εκπαίδευσης συνοδεύεται από μια ετικέτα ή στόχο, που λειτουργεί ως πραγματική τιμή. Ο αλγόριθμος προβλέπει επαναληπτικά αποτελέσματα με βάση τα δεδομένα εισόδου, συγκρίνει αυτές τις προβλέψεις με τις πραγματικές ετικέτες και προσαρμόζει τις εσωτερικές παραμέτρους του για να μειώσει τη διαφορά (σφάλμα). Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το μοντέλο να επιτύχει το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας στα δεδομένα εκπαίδευσης.

Βασικά Χαρακτηριστικά:

- **Δεδομένα με Ετικέτες:** Οι εποπτευόμενοι αλγόριθμοι απαιτούν ένα σύνολο δεδομένων όπου κάθε είσοδος συνδέεται με τη σωστή έξοδο.
- **Στόχος Μάθησης:** Ο κύριος στόχος είναι να μάθουν τη συσχέτιση από τις εισόδους στις εξόδους, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε νέα, άγνωστα δεδομένα.
- **Βρόχος Ανατροφοδότησης:** Ο αλγόριθμος λαμβάνει ανατροφοδότηση με τη μορφή σφαλμάτων ή απωλειών, και χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να προσαρμόσει τις παραμέτρους του.

Η γραμμική παλινδρόμηση επιλέχθηκε καθώς αποτελεί μια ευρέως αποδεκτή μέθοδο επεξηγηματικής ανάλυσης, προσφέροντας σαφή συμπεράσματα σχετικά με τη σημαντικότητα και την επίδραση των μεταβλητών. Παράλληλα, οι αλγόριθμοι random forest και neural networks είναι δύο δημοφιλείς αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Ο random forest στηρίζεται στην αρχή ότι ο συνδυασμός πολλών μοντέλων μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, ενώ τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν έναν παραδοσιακό αλγόριθμο με ευρεία χρήση. Η εφαρμογή αυτών των δύο αλγορίθμων αποσκοπεί στη διερεύνηση του αν μπορούν να παρέχουν πιο ακριβείς εκτιμήσεις σε σύγκριση με τη γραμμική παλινδρόμηση.

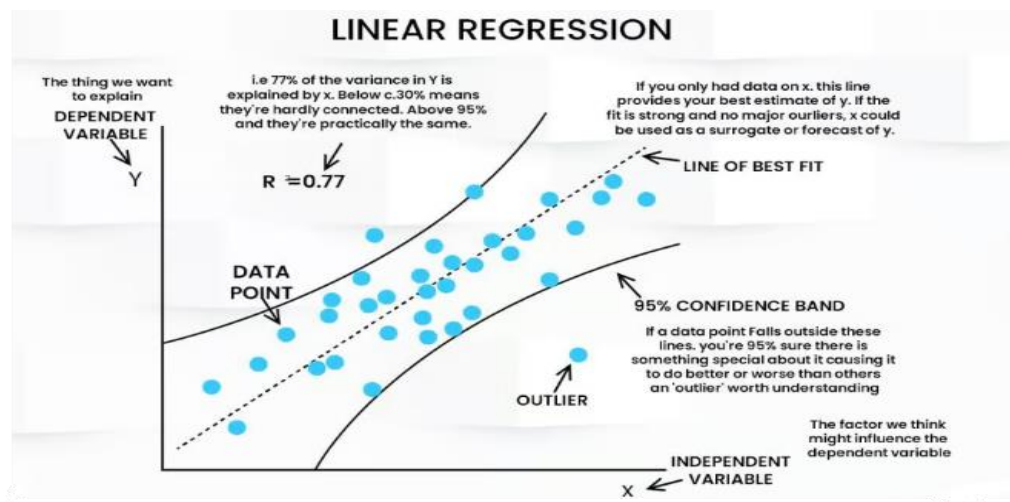
3.2.1 Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression)

Η γραμμική παλινδρόμηση είναι μια βασική μεθοδολογία πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης και αποτελεί τη βάση πολλών εξελιγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Σε αυτήν τη μέθοδο, τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της τιμής της εξόδου ή εξαρτημένης μεταβλητής βάσει μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Όπως υποδηλώνει το όνομα, η σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής θεωρείται γραμμική. Υπάρχουν δύο τύποι γραμμικής παλινδρόμησης που βασίζονται στον αριθμό των μεταβλητών πρόβλεψης, και θα επικεντρωθούμε στην απλή γραμμική παλινδρόμηση στην οποία υφίσταται μόνο μία μεταβλητή πρόβλεψης και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής (βλ. Σχήμα 8).

Η μαθηματική σχέση που ορίζει την εξίσωση της γραμμής της γραμμικής παλινδρόμησης είναι η εξής: $\hat{y} = a + bx$, όπου υπάρχει μόνο μια μεταβλητή πρόβλεψης x με συντελεστή b . Επίσης, το

$$\hat{y} \text{ είναι η τιμή πρόβλεψης του } y, a = \bar{y} - b\bar{x}, b = \frac{s_{xy}}{s_{xx}} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum(xy) - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}, \bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\text{Και } \bar{y} = \frac{\sum y}{n}.$$



Σχήμα 8:Τυπικό γράφημα Απλής Γραμμικής Παλινδρόμησης. Πηγή: (Linear Regression Explained,2020)⁶

⁶ Jason Wong. (2020, November 29). *Linear Regression Explained A High-Level Overview of Linear Regression Analysis*. Towards Data Science Towards Data Science Follow Towards Data Science Publication · 744K Followers Your Home for Data Science. A Medium Publication Sharing Concepts, Ideas and Codes.

Ο Συντελεστής Προσδιορισμού R^2

Ο συντελεστής προσδιορισμού, όπως απεικονίζεται στη γραμμή παλινδρόμησης, είναι ένα μέτρο που δείχνει το ποσό εξάρτησης της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Με λίγα λόγια, το R^2 μας πληροφορεί για το πόσο καλά προσαρμόζεται το μοντέλο μας στα δεδομένα. Η τιμή του R-squared κυμαίνεται από 0 έως 1. Μια τιμή κοντά στο 1 υποδηλώνει γενικά ότι το μοντέλο ταιριάζει καλά στα δεδομένα του προβλήματος, ή πιο συγκεκριμένα ότι ένα σημαντικό μέρος της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής επηρεάζεται από την ανεξάρτητη μεταβλητή ή τις ανεξάρτητες μεταβλητές.

$$\text{Συνεπώς, } R^2 = \frac{ESS}{TSS} = \frac{TSS - RSS}{TSS} = 1 - \frac{RSS}{TSS}, \text{ όπου}$$

$$\text{RSS (Residual Sum of Squares equation): } RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2,$$

όπου \hat{y}_i είναι η τιμή πρόβλεψης της πραγματικής τιμής y_i και n ο αριθμός των παρατηρήσεων

$$\text{ESS (Explained Sum of Squares equation): } ESS = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2,$$

Όπου \hat{y}_i είναι η τιμή πρόβλεψης, \bar{y}_i είναι η μέση τιμή της πραγματικής τιμής y_i και n ο αριθμός των παρατηρήσεων

$$\text{TSS (Total Sum of Squares equation): } TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2,$$

όπου \bar{y}_i είναι η μέση τιμή της πραγματικής τιμής y_i και n ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Και γενικά ισχύει ότι: $TSS = ESS + RSS$

Προσαρμοσμένο R^2 (Adjusted R^2)

Στην περίπτωση ενός μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης στο οποίο προτίθενται μεταβλητές, η τιμή του R^2 αυξάνεται. Ωστόσο, εάν η προστιθέμενη μεταβλητή δεν είναι σημαντική, μπορεί να καταστήσει το μοντέλο περιττά πολύπλοκο και να αυξήσει την πιθανότητα υπερπροσαρμογής (overfitting). Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιείται το προσαρμοσμένο R^2 , το οποίο «τιμωρεί» το μοντέλο όταν μια ασήμαντη μεταβλητή προστίθεται,

διασφαλίζοντας ότι το μοντέλο παραμένει απλό και αποφεύγεται η υπερπροσαρμογή στα δεδομένα.

$Adjusted R^2 = 1 - \frac{(1-R^2) \cdot (N-1)}{N-P-1}$, όπου N είναι ο αριθμός των στοιχείων των δεδομένων και P είναι ο αριθμός των μεταβλητών πρόβλεψης.

Ένα αξιόπιστο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης συνήθως έχει παρόμοιες τιμές για το R^2 και το προσαρμοσμένο R^2 , δείχνοντας ότι εξηγεί καλά την διακύμανση στην εξαρτημένη μεταβλητή με βάση τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Ωστόσο, η προσαρμοσμένη τιμή στο R^2 είναι πάντα μικρότερη από την τιμή του απλού R^2 , καθώς λαμβάνει υπόψη την προσθήκη μη σημαντικών μεταβλητών που μπορεί να προκαλέσουν υπερπροσαρμογή στο μοντέλο.

3.2.2 Αλγόριθμος Random Forest

Ο αλγόριθμος Random Forest (Breiman, 2001) είναι μια μέθοδος μηχανικής μάθησης, η οποία βασίζεται στο συνδυασμό πολλών επιμέρους βασικών μοντέλων μάθησης (ensembles). Ο αλγόριθμος λειτουργεί αναπτύσσοντας πολλαπλά δέντρα αποφάσεων κατά την εκπαίδευση (ή άλλες μορφές μοντέλων πρόβλεψης) και εξάγει την επικρατέστερη κλάση (για ταξινόμηση) ή τη μέση πρόβλεψη (για παλινδρόμηση) των μεμονωμένων δέντρων. Τα δέντρα απόφασης είναι η βάση για τα random forest classifiers και λειτουργούν παίρνοντας το χώρο πρόβλεψης n -διαστάσεων και χωρίζοντάς τον αναδρομικά σε τμήματα που μεγιστοποιούν την «καθαρότητα» (purity) μέσα σε ένα τμήμα (βλ. Σχήμα 9). Η καθαρότητα ουσιαστικά αντικατοπτρίζει τον αριθμό των προβλέψεων που είναι ίδιες σε ένα διαμέρισμα και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον δείκτη ‘Gini Index’⁷.

Ο δείκτης Gini για την περιοχή R_λ (δηλαδή το τμήμα λ) υπολογίζεται ως εξής:

$$G_m = \sum_{k=1}^K \hat{p}_{\lambda k}(1 - \hat{p}_{\lambda k}), \text{ για } k \in K, \text{ όπου } K \text{ είναι ο συνολικός αριθμός των τάξεων πρόβλεψης.}$$

Ο δείκτης Gini αξιολογεί την καθαρότητα, υπολογίζοντας την πιθανότητα μιας λανθασμένης ταξινόμησης βάσει των δεδομένων στην επιλεγμένη περιοχή διαχωρισμού. Η αναζήτηση του σημείου κατά μήκος ενός από τους άξονες πρόβλεψης για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός, στοχεύει

⁷ Anshul. (2024, July 25). *Random Forest Algorithm for Beginners in Data Science* | Analytics Vidhya. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/an-introduction-to-random-forest-algorithm-for-beginners/>

στη μέγιστη καθαρότητα, και αυτό πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την έννοια της ποιότητας, η οποία περιγράφεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$Q(s) = \frac{N_1}{N_1 + N_2} \cdot G_1 + \frac{N_2}{N_1 + N_2} \cdot G_2 ,$$

όπου N_1, N_2, G_1, G_2 είναι ο αριθμός των σημείων και ο αντίστοιχος δείκτης Gini για την περιοχή 1 και 2 μετά τη δειγματοληψία ενός διαχωρισμού.

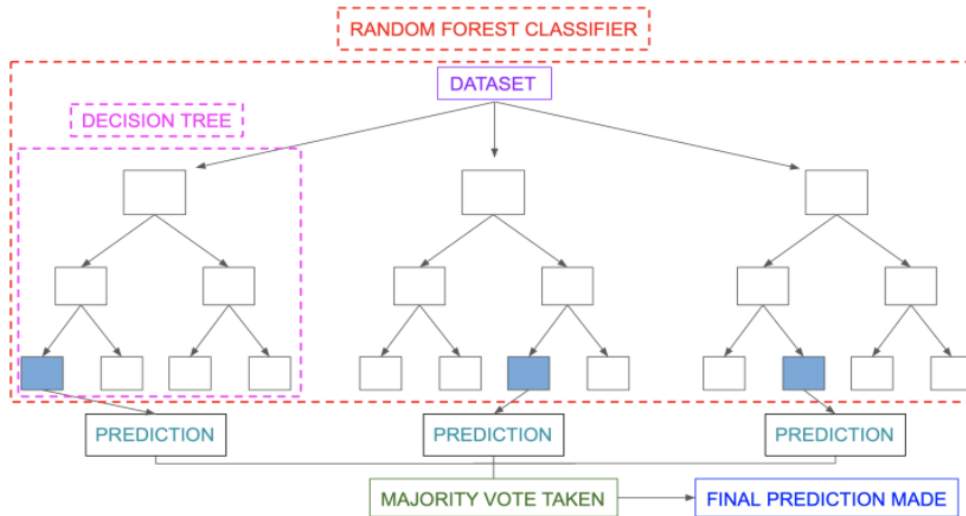
Έπειτα, το βέλτιστο σημείο διαίρεσης προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$S^* = \operatorname{argmin} Q(s)$$

Υπολογίζεται η ποιότητα για κάθε προγνωστικό και το σημείο με την ελάχιστη ποιότητα από όλα τα προγνωστικά είναι αυτό όπου θα γίνει η διάσπαση. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρι να ικανοποιηθεί η συνθήκη για να σταματήσει ο διαχωρισμός. Κάθε διαχωρισμός ονομάζεται κόμβος ή φύλλο, και ο αριθμός των διαχωρισμών ονομάζεται βάθος. Ο μέγιστος αριθμός κόμβων ή το μέγιστο βάθος μπορούν να καθοριστούν ως συνθήκες για τη διακοπή του διαχωρισμού.

Τα βήματα του αλγορίθμου περιληπτικά είναι τα παρακάτω:

- **Βήμα 1:** Αρχικά, δημιουργούνται υποσύνολα από τα αρχικά δεδομένα. Αυτό περιλαμβάνει δειγματοληψία παρατηρήσεων και χαρακτηριστικών, δηλαδή επιλέγονται παρατηρήσεις και μεταβλητές με αντικατάσταση (sampling with replacement) και δημιουργούνται υποσύνολα από το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης.
- **Βήμα 2:** Δημιουργείται ένα ξεχωριστό δέντρο απόφασης για κάθε υποσύνολο που έχει δημιουργηθεί στο προηγούμενο στάδιο.
- **Βήμα 3:** Κάθε δέντρο απόφασης παρέχει μια έξοδο.
- **Βήμα 4:** Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από μια ψηφοφορία πλειοψηφίας εάν πρόκειται για πρόβλημα ταξινόμησης και από τον μέσο όρο εάν πρόκειται για πρόβλημα παλινδρόμησης.



Σχήμα 9: Αλγόριθμος Random Forest.

Πηγή: (Webscale, 2020)⁸

3.2.3 Νευρωνικά δίκτυα

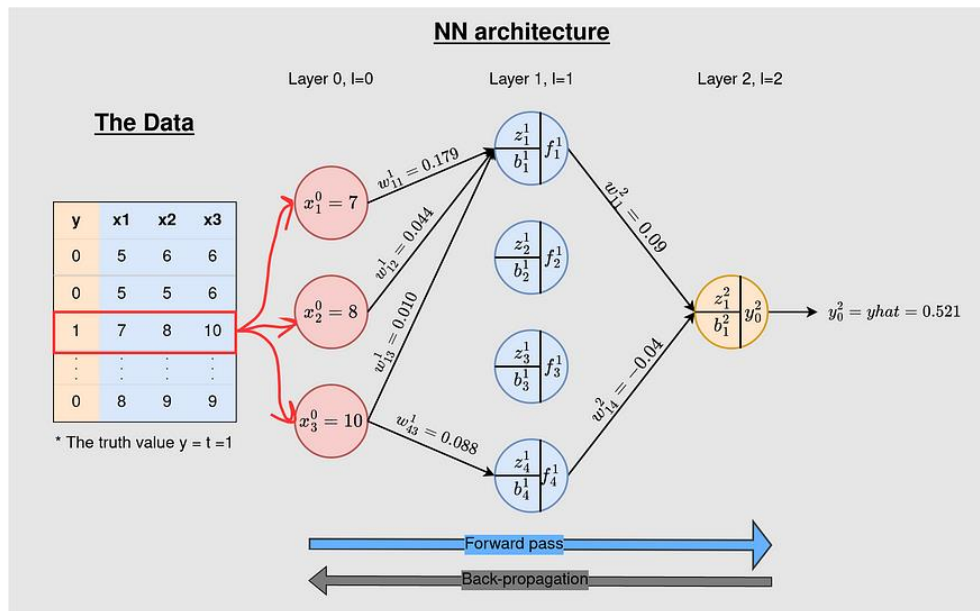
Τα νευρωνικά δίκτυα είναι μια από τις βασικότερες μεθοδολογίες και πεδία έρευνας της μηχανικής μάθησης και αποτελούν μέρος της ευρύτερης περιοχής της τεχνητής νοημοσύνης. Εμπνέονται από τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου, και αποτελούνται από διασυνδεδεμένους κόμβους ή "νευρώνες" που είναι οργανωμένοι σε επίπεδα. Κάθε νευρώνας λαμβάνει μια είσοδο, την επεξεργάζεται μέσω ενός συνόλου βαρών και προκαταλήψεων, και παράγει μια έξοδο που μεταφέρεται στους επόμενους νευρώνες του δικτύου. Ο στόχος των νευρωνικών δικτύων είναι να μάθουν και να γενικεύουν από δεδομένα ώστε να μπορούν να κάνουν προβλέψεις ή να ταξινομούν νέα, άγνωστα δεδομένα.

⁸ Introduction to Random Forest in Machine Learning <https://www.cloudzilla.ai/dev-education/introduction-to-random-forest-in-machine-learning/#get-started>

Βασικά Χαρακτηριστικά:

- **Επίπεδα:** Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από τρία κύρια επίπεδα: το επίπεδο εισόδου, τα κρυφά επίπεδα, και το επίπεδο εξόδου. Τα κρυφά επίπεδα είναι εκεί όπου λαμβάνει χώρα η πλειονότητα της επεξεργασίας και της εκμάθησης.
- **Συνδέσεις και Βάρη:** Οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων φέρουν βάρη που προσαρμόζονται κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης του δικτύου, επιτρέποντας στο δίκτυο να μάθει από τα δεδομένα.
- **Εκπαίδευση:** Κατά την εκπαίδευση, τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούν αλγορίθμους όπως ο αλγόριθμος οπίσθιας διάδοσης (backpropagation) για να προσαρμόσουν τα βάρη και να ελαχιστοποιήσουν το σφάλμα στις προβλέψεις.

Αλγόριθμος Backpropagation



Σχήμα 10: Το νευρωνικό δίκτυο

Το νευρωνικό δίκτυο που παρουσιάζεται στο παράδειγμα έχει τρία επίπεδα με αρχιτεκτονική 3-4-1. Σε αυτό το πυκνά συνδεδεμένο δίκτυο, κάθε νευρώνας σε κάθε επίπεδο συνδέεται με όλους τους νευρώνες του προηγούμενου επιπέδου, εκτός

από το επίπεδο εισόδου. Ωστόσο, έχουν καταργηθεί κάποιες από αυτές τις συνδέσεις για να είναι το διάγραμμα λιγότερο πολύπλοκο. Πηγή: (Koech, 2022)⁹

Ο αλγόριθμος οπίσθιας διάδοσης ήταν μια από τις αρχικές μεθόδους που αναπτύχθηκαν προκειμένου τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα να μπορούν να αναπτύξουν αποτελεσματικές εσωτερικές αναπαραστάσεις, δηλαδή να μπορούν να εκπαιδευτούν αποτελεσματικά (Rumelhart et al., 1986, Werbos, 1982) . Ερευνητές που μελετούσαν πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα τροφοδοσίας, τα οποία εκπαιδεύτηκαν με backpropagation, παρατήρησαν ότι πολλοί νευρώνες ανέπτυξαν χαρακτηριστικά που ήταν παρόμοια με αυτά που είχαν σχεδιάσει επιστήμονες του κλάδου, καθώς και με εκείνα που εντόπισαν νευροεπιστήμονες που ερευνούσαν βιολογικά νευρωνικά δίκτυα σε εγκεφάλους θηλαστικών (π.χ. κάποιοι νευρώνες εκπαιδεύτηκαν να ανιχνεύουν άκρες, ενώ άλλοι νευρώνες υπολόγιζαν τα φίλτρα Gabor).

Ακόμα πιο σημαντικό ήταν ότι ο αλγόριθμος, λόγω της αποτελεσματικότητάς του και της δυνατότητάς του να εξάγει αποτελέσματα χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης αναζήτησης χαρακτηριστικών από ειδικούς, επέτρεψε την εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων που προηγουμένως ήταν ανέφικτος, λόγω περιορισμών χρόνου και κόστους.. Όμως, το κύριο πρόβλημα στην εκπαίδευση πολυεπίπεδων νευρωνικών δικτύων τροφοδοσίας είναι η απόφαση για το πώς να μάθει κανείς καλές εσωτερικές αναπαραστάσεις, δηλαδή τις βέλτιστες τιμές για τα βάρη και τις παραμέτρους των κόμβων του κρυφού επιπέδου. Σε αντίθεση με τον perceptron, ο οποίος χρησιμοποιεί τον κανόνα δέλτα για να προσεγγίσει ένα καθορισμένο στόχο εξόδου, οι κόμβοι του κρυφού επιπέδου δεν έχουν καθορισμένο στόχο εξόδου καθώς χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσα στάδια στον υπολογισμό. (Koech, 2022)

Επιπρόσθετα, εξαιτίας της απουσίας στόχου εξόδου για τους κόμβους του κρυφού επιπέδου, είναι αδύνατο να οριστεί απλά μια συνάρτηση σφάλματος για κάθε κόμβο. Αντίθετα, οποιαδήποτε συνάρτηση σφάλματος για έναν κόμβο εξαρτάται από τις τιμές των παραμέτρων στα προηγούμενα επίπεδα (καθώς τα προηγούμενα επίπεδα καθορίζουν την είσοδο για αυτόν τον κόμβο) και τα επόμενα επίπεδα (καθώς η έξοδος αυτού του κόμβου επηρεάζει τον υπολογισμό της συνάρτησης σφάλματος $E(X, \theta)$). Αυτή η σύνδεση των παραμέτρων μεταξύ των επιπέδων μπορεί να κάνει τους

⁹ Kiprono Elijah Koech. (2022, July 9). *How Does Back-Propagation Work in Neural Networks?* | by Kiprono Elijah Koech | Towards Data Science. Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/how-does-back-propagation-work-in-neural-networks-with-worked-example-bc59dfb97f48>

μαθηματικούς υπολογισμούς ιδιαίτερα πολύπλοκους και μπορεί να επιβραδύνει τις τελικές διαδικασίες υπολογισμού της κατεύθυνσης της κλίσης.

Στην κλασική περίπτωση του αλγορίθμου ανάστροφης διάδοσης¹⁰, η συνάρτηση σφάλματος είναι συνήθως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα: $E(X, \theta) = \frac{1}{2 \cdot N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2$, όπου y_i είναι η επιθυμητή τιμή για το ζεύγος εισόδου-εξόδου (x_i, y_i) και \hat{y}_i η υπολογισμένη έξοδος του δικτύου- πρόβλεψη για την είσοδο x .

Ο αλγόριθμος backpropagation στηρίζεται στις ακόλουθες πέντε εξισώσεις και υλοποιείται με τα ακόλουθα βήματα, υποθέτοντας έναν κατάλληλο συντελεστή-ρυθμό μάθησης α και τυχαία αρχικοποίηση των παραμέτρων w_{ij}^k :

- Εξίσωση για τα επιμέρους παράγωγα:

$$\frac{\partial E_d}{\partial w_{ij}^k} = \delta_j^k \cdot o_i^{k-1}$$

- Εξίσωση για τον όρο σφάλματος του τελικού επιπέδου:

$$\delta_1^m = g'_0(a_1^m) \cdot (\hat{y}_d - y_d)$$

- Εξίσωση για τους όρους σφάλματος των κρυφών επιπέδων:

$$\delta_j^m = g'_j(a_j^k) \cdot \sum_{l=1}^{r^{k+1}} w_{lj}^{k+1} \cdot \delta_l^{k+1}$$

- Εξίσωση για το συνδυασμό των μερικών παραγώγων για κάθε ζεύγος εισόδου-εξόδου:

$$\frac{\partial E(X, \theta)}{\partial w_{ij}^k} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{d=1}^N \frac{\partial}{\partial w_{ij}^k} \left(\frac{1}{2} \cdot (\hat{y}_d - y_d)^2 \right) = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N \frac{\partial E_d}{\partial w_{ij}^k}$$

- Εξίσωση για ενημέρωση των βαρών:

$$\Delta w_{ij}^k = -\alpha \cdot \frac{\partial E(X, \theta)}{\partial w_{ij}^k}$$

Βήμα 1: Πρώτα εκτελείται η εμπρόσθια φάση για κάθε ζεύγος εισόδου-εξόδου (\vec{x}_d, y_d) και αποθηκεύονται τα υπολογισμένα αποτελέσματα $\hat{y}_d, a_{jk}, o_{jk}$ για κάθε κόμβο j στο επίπεδο k , ξεκινώντας από το επίπεδο 0 (επίπεδο εισόδου) και προχωρώντας στο επίπεδο m (επίπεδο εξόδου).

¹⁰ John McGonagle, G. S. C. W. and 3 others contributed. (n.d.). Backpropagation | Brilliant Math & Science Wiki. Brilliant. <https://archive.ph/NB26I>

Βήμα 2: Κατόπιν, εκτελείται η φάση ανάστροφης διάδοσης για κάθε ζεύγος εισόδου-εξόδου (\vec{x}_d, y_d) και καταγράφονται οι μερικές παράγωγοι $\frac{\partial E_d}{\partial w_{ij}^k}$ για κάθε βάρος w_{ij}^k που συνδέει τον κόμβο i στο επίπεδο $k-1$ με τον κόμβο j στο επίπεδο k , μετακινούμενοι από το επίπεδο m (επίπεδο εξόδου) πίσω στο επίπεδο 1 (επίπεδο εισόδου).

α) Σε αυτό το πλαίσιο, υπολογίζεται ο όρος σφάλματος για το τελικό δ_1^m επίπεδο χρησιμοποιώντας τη δεύτερη εξίσωση.

β) Μετά διαδίδονται προς τα πίσω οι όροι σφάλματος για τα κρυφά επίπεδα δ_j^m εργαζόμενοι ανάστροφα από το τελευταίο κρυφό επίπεδο $k=m-1$, χρησιμοποιώντας επανειλημμένα την τρίτη εξίσωση.

γ) Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι μερικές παράγωγοι του ατομικού σφάλματος E_d σε σχέση με το w_{ij}^k χρησιμοποιώντας την πρώτη εξίσωση.

Βήμα 3: Συνδυασμός των ατομικών κλίσεων για κάθε ζεύγος εισόδου-εξόδου $\frac{\partial E_d}{\partial w_{ij}^k}$ ώστε να ληφθεί η συνολική κλίση $\frac{\partial E(X,\theta)}{\partial w_{ij}^k}$ για όλο το σύνολο ζευγών εισόδου-εξόδου $X = \{(\vec{x}_1, y_1), \dots, (\vec{x}_N, y_N)\}$ χρησιμοποιώντας την τέταρτη εξίσωση (απλός μέσος όρος των ατομικών κλίσεων).

Βήμα 4: Τέλος, επικαιροποιούνται τα βάρη χρησιμοποιώντας τον συντελεστή μάθησης α και τη συνολική κλίση $\frac{\partial E(X,\theta)}{\partial w_{ij}^k}$, αλλά και την πέμπτη εξίσωση, μετακινούμενοι προς την κατεύθυνση της αρνητικής κλίσης.

3.3 Αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη (unsupervised)

Οι αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη ανήκουν σε μια κατηγορία αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και ομαδοποίηση δεδομένων που δεν φέρουν ετικέτες. Σε αντίθεση με τους αλγόριθμους επιβλεπόμενης μάθησης, οι οποίοι χρειάζονται ζεύγη εισόδου-εξόδου για να εκπαιδευτούν, οι αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη αναγνωρίζουν μοτίβα, δομές και σχέσεις στα δεδομένα χωρίς να γνωρίζουν τα αποτελέσματα εκ των προτέρων. Αυτοί οι

αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται συχνά για διαδικασίες όπως η ομαδοποίηση, η μείωση των διαστάσεων και η ανίχνευση ανωμαλιών.

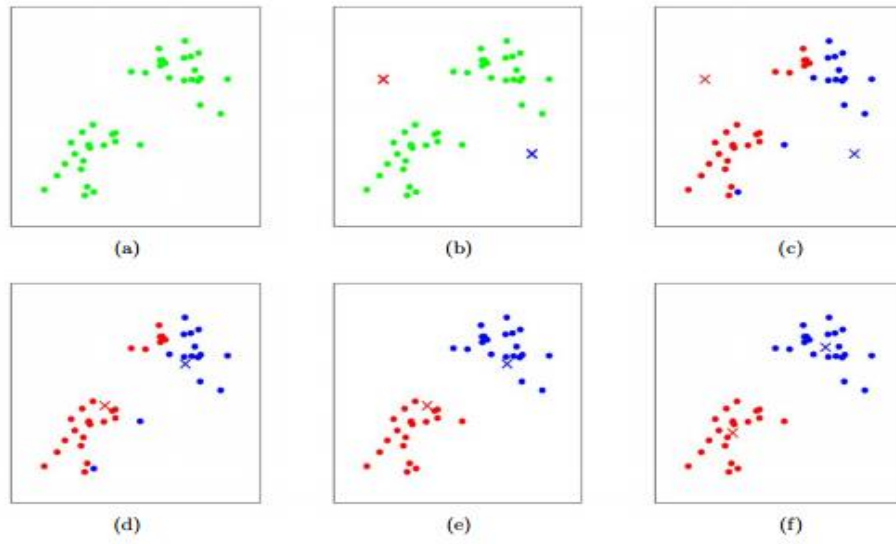
Βασικά Χαρακτηριστικά:

- **Δεδομένα χωρίς ετικέτες:** Οι αλγόριθμοι χωρίς επίβλεψη δεν απαιτούν δεδομένα με ετικέτες. Επεξεργάζονται ακατέργαστα, μη ταξινομημένα δεδομένα για να ανακαλύψουν κρυμμένα μοτίβα ή εσωτερικές δομές.
- **Εξερεύνηση δεδομένων:** Είναι χρήσιμοι για την ανάλυση δεδομένων με σκοπό την κατανόηση της υποκείμενης δομής ή της κατανομής τους.
- **Περιοχές εφαρμογής:** Συνήθεις εφαρμογές περιλαμβάνουν την τμηματοποίηση πελατών, την εκμάθηση χαρακτηριστικών και τη συμπίεση δεδομένων.

3.3.1 Αλγόριθμος K-Means

Όταν έχουμε ένα σύνολο δεδομένων χωρίς ετικέτες, δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε αλγόριθμους εποπτευόμενης μάθησης, όπως οι υποστηρικτικές μηχανές διανυσμάτων (SVM), που απαιτούν ετικέτες για να μάθουν μια συνάρτηση πρόβλεψης. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές συσταδοποίησης για να βρούμε ομάδες παρόμοιων δεδομένων. Ο αλγόριθμος k-means, ένας από τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους συσταδοποίησης, λειτουργεί με τη διατήρηση k κεντροειδών, τα οποία ορίζουν τις συστάδες. Κάθε σημείο δεδομένων ανατίθεται στη συστάδα της οποίας το κεντροειδές είναι πιο κοντά, και στη συνέχεια τα κεντροειδή επαναπροσδιορίζονται βάσει της κατανομής των σημείων στις συστάδες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 11. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθούν τα βέλτιστα κεντροειδή που αντιπροσωπεύουν τις συστάδες. Ο στόχος του αλγορίθμου είναι η ελαχιστοποίηση του τετραγωνικού σφάλματος, το οποίο υπολογίζεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$MSE = \sum_{i=1}^N \sum_{x \in C_i} ||x - \mu_i||^2$$
, όπου $C_i, \{i = 1, 2, 3, \dots, N\}$ αντιπροσωπεύει τις συστάδες και το μ_i αποτελεί το μέσο διάνυσμα της συστάδας C_i και δίνεται από την εξίσωση: $\mu_i = \frac{1}{C_i} \sum_{x \in C_i} x$.



Σχήμα 11: Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης *K-Means*¹¹.

¹¹ [CS221 \(stanford.edu\)](http://CS221.stanford.edu)

Κεφάλαιο 4-Εφαρμογή των μεθόδων

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των απαντήσεων των συμμετεχόντων στην έρευνα ,αλλά και επεξεργασία των δεδομένων του dataset με μεθόδους μηχανικής μάθησης. Η ενότητα πραγματεύεται την ερμηνεία των εξαγόμενων στατιστικών αποτελεσμάτων, με τη χρήση της γλώσσας Python. Κατόπιν, αρχικά δεδομένα και επιλεγμένα στατιστικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης, του αλγορίθμου random forest, k-means και των νευρωνικών δικτύων στο Matlab. Επίσης, σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η διαδικασία επιλογής και διαμόρφωσης της ερώτησης Q18 του ερωτηματολογίου ως ανεξάρτητη μεταβλητή για την υλοποίηση των αλγορίθμων.

4.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων της έρευνας

Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης θα αιτιολογηθεί η επιλογή της ερώτησης Q18 ως η κρισιμότερη του ερωτηματολογίου και θα πραγματοποιηθεί μια περιγραφική ανάλυση των δεδομένων του δείγματος. Ειδικότερα, η ερώτηση Q18 περιλαμβάνει σενάρια που αναφέρονται σε αρνητικές και ιδιαίτερα διαδεδομένες αντιλήψεις για τα ηλεκτρικά οχήματα. Οι συμμετέχοντες καλούνται να δηλώσουν τη στάση τους απέναντι σε περιπτώσεις όπως: ο κίνδυνος ανάφλεξης, η επικινδυνότητα, το υψηλό κόστος κτήσης και συντήρησης, η εξάρτηση της απόδοσης από τις καιρικές συνθήκες, η χαμηλή επιτάχυνση, η γοργή απαξίωση της τεχνολογίας, το μικρό εύρος οδήγησης, η δύσκολη και αργή φόρτιση, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος εξαιτίας των μπαταριών λιθίου κτλ. Συγκεντρώνοντας τις απαντήσεις κάθε συμμετέχοντα, δημιουργείται μια νέα βάση δεδομένων αποκλειστικά για αυτή την ερώτηση, μέσω της γλώσσας Python. Στη συνέχεια, με τη χρήση δεικτών στη βάση δεδομένων της ερώτησης Q18, παράγονται τα δεδομένα που θα εισαχθούν στον αλγόριθμο k-means, με σκοπό τον προσδιορισμό των τάσεων των ευρωπαϊών καταναλωτών. Επιπλέον, η κατανομή ίσων βαρών σε κάθε use-case και η κωδικοποίηση των πιθανών απαντήσεων συμβάλλουν στη διαμόρφωση της μεταβλητής Q18_Scores, η οποία δηλώνει κατά μέσο όρο την προδιάθεση κάθε ερωτηθέντα απέναντι στους κυριότερους ανασταλτικούς παράγοντες κατά την αγορά ενός ηλεκτρικού οχήματος.

Προχωρώντας στην περιγραφική ανάλυση των δεδομένων της έρευνας, παρατίθεται ο Πίνακας 1, ο οποίος περιλαμβάνει τις συχνότητες των απαντήσεων, καθώς και τα ανάλογα ποσοστά για τις καθοριστικότερες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται είναι

δηλωτικές της σύνθεσης του δείγματος και ως τέτοιες αναλύονται διεξοδικά στις επόμενες παραγράφους.

Πίνακας 1: Στατιστική ανάλυση των απαντήσεων των συμμετεχόντων στην έρευνα

	Συχνότητες	Ποσοστά
Χώρα		
Δανία	1532	19,997%
Γερμανία	1539	20,089%
Ουγγαρία	1539	20,089%
Ολλανδία	1553	20,272%
Νορβηγία	1498	19,554%
Φύλο		
Αντρας	3924	51,220%
Γυναίκα	3737	48,780%
Ηλικιακή Ομάδα		
18 -24	1106	14,437%
25 - 34	1351	17,635%
35 - 44	1494	19,501%
45 - 54	1607	20,976%
55 - 70	2103	27,451%
Εκπαίδευση		
Ανώτατη	2277	29,722%
Χαμηλή	1670	21,799%
Μέση	3714	48,479%
Ετήσιο οικογενειακό εισόδημα Q24		
≤€19.999	1182	15,429%
€20.000-€34.999	1551	20,245%
€35.000-€49.999	1245	16,251%
€50.000-€64.999	866	11,304%
€65.000-€79.999	629	8,210%
€80.000-€94.999	367	4,790%

€95.000-€109.999	230	3,002%
≥ €110.000	304	3,968%
Χωρίς απάντηση	1287	16,799%
Πολιτικές πεποιθήσεις		
Δεξιά/ Κέντρο-Δεξιά	2481	32,385%
Αριστερά/ Κέντρο-Αριστερά	3142	41,013%
Δεν ψήφισα	318	4,151%
Λευκή ψήφος	395	5,156%
Δεν γνωρίζω	1004	13,105%
Άλλο κόμμα	321	4,190%
Πιθανότητα αγοράς καινούριου αυτοκινήτου στα επόμενα 10 χρόνια Q2		
Δεν γνωρίζω	470	6,135%
Πιθανόν	2142	27,960%
Καμία	745	9,725%
Απίθανο	420	5,482%
Πολύ πιθανό	3067	40,034%
Πολύ απίθανο	817	10,664%
Αυτοκίνητα στο νοικοκυριό (περιλαμβάνονται εταιρικά αυτοκίνητα / κοινή χρήση αυτοκινήτου) Q3		
0 οχήματα	1413	18,444%
1 όχημα	4115	53,714%
2 οχήματα	1742	22,739%
3 οχήματα	391	5,104%
Αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων / plug-in οχημάτων στο νοικοκυριό Q4		
Δεν γνωρίζω	259	3,381%
Όχι	6154	80,329%
Ναι, ηλεκτρικό/ά όχημα/τα	576	7,519%

Ναι, plug-in υβριδικό/ά όχημα/τα	479	6,252%
Ναι, plug-in υβριδικό/ά όχημα/τα και ηλεκτρικό/ά όχημα/τα	193	2,519%
Πόσα άτομα γνωρίζετε που οδηγούν τακτικά ηλεκτρικό αυτοκίνητο;		
(οικογένεια, φίλοι, γείτονες, συνάδελφοι, κ.λπ.) Q5		
1 άτομο	1556	20,311%
2 άτομα	1101	14,371%
3 άτομα	352	4,595%
4 άτομα ή περισσότερα	879	11,474%
Δεν γνωρίζω	658	8,589%
Κανένα άτομο	3115	40,660%
Υπεύθυνος λήψης αποφάσεων για την αγορά αυτοκινήτου στο νοικοκυριό Q6		
Ίσο μερίδιο στη λήψη αποφάσεων	2524	32,946%
Δεν γνωρίζω	190	2,480%
Ο εαυτός μου	3977	51,912%
Άλλος/οι στο νοικοκυριό	970	12,662%
Αριθμός χιλιομέτρων που διανύονται με αυτοκίνητο σε ένα χρόνο Q7		
1.000-4.999	616	8,041%
10.000-19.999	2150	28,064%
20.000-29.999	870	11,356%
30.000-39.999	412	5,378%
40.000-49.999	158	2,062%
5.000-9.999	1259	16,434%
50.000 ή περισσότερα	212	2,767%
Δεν γνωρίζω	1144	14,933%
Λιγότερα από 1.000 km	840	10,965%
Συνθήκες στάθμευσης στο νοικοκυριό Q10		
Δεν γνωρίζω	435	5,678%
Άλλο	306	3,994%

Ιδιωτικός δρόμος/αυτοκινητόδρομος/γκαράζ	3487	45,516%
Ιδιωτική θέση στάθμευσης σε κοινόχρηστο χώρο	1001	13,066%
Στάθμευση σε κοινόχρηστο χώρο χωρίς ατομικό χώρο στάθμευσης	852	11,121%
Δημόσιος χώρος στάθμευσης γκαράζ/υπόγειος χώρος στάθμευσης	283	3,694%
Δημόσιος δρόμος	1297	16,930%
Τα πιο σημαντικά κριτήρια για την επιλογή αυτοκινήτου (Πολλαπλές απαντήσεις) Q11		
Q11 economic		
Δεν Αναφέρθηκε	1601	20,898%
Αναφέρθηκε	6060	79,102%
Q11 EV characteristics		
Δεν Αναφέρθηκε	2589	33,795%
Αναφέρθηκε	5072	66,205%
Q11 environmental		
Δεν Αναφέρθηκε	5665	73,946%
Αναφέρθηκε	1996	26,054%
Ο πιο σημαντικός παράγοντας στην επιλογή ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Πολλαπλές απαντήσεις) Q12		
Q12 economic		
Δεν Αναφέρθηκε	2029	26,485%
Αναφέρθηκε	5632	73,515%
Q12 EV characteristics		
Δεν Αναφέρθηκε	4082	53,283%
Αναφέρθηκε	3579	46,717%
Q12 environmental		
Δεν Αναφέρθηκε	6141	80,159%
Αναφέρθηκε	1520	19,841%
Ποια οφέλη θα μπορούσαν να σας κάνουν πιο θετικούς		

στην αγορά ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου;

(Πολλαπλές απαντήσεις) Q13

Q13 economic

Δεν Αναφέρθηκε

2491 32,515%

Αναφέρθηκε

5170 67,485%

Q13 EVs Performance

Δεν Αναφέρθηκε

5941 77,549%

Αναφέρθηκε

1720 22,451%

Q13 environmental

Δεν Αναφέρθηκε

3962 51,716%

Αναφέρθηκε

3699 48,284%

Q13 EVs Infrastructure

Δεν Αναφέρθηκε

4104 53,570%

Αναφέρθηκε

3557 46,430%

Συμφωνείτε ή διαφωνείτε με την παρακάτω δήλωση;

Η κοινωνία πρέπει να επιβραβεύει τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα

αντί για τα αυτοκίνητα βενζίνης και diesel. Q14

Δεν γνωρίζω

576 7,519%

Συμφωνώ

2064 26,942%

Διαφωνώ

576 7,519%

Ουδέτερο

1878 24,514%

Συμφωνώ απολύτως

1911 24,945%

Διαφωνώ απολύτως

656 8,563%

Αριθμός συμμετεχόντων που έχουν οδηγήσει ηλεκτρικό αυτοκίνητο

Q15

Δεν γνωρίζω

110 1,436%

Όχι

5529 72,171%

2022 26,393%

Ποια από τις παρακάτω δηλώσεις για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σας ταιριάζει περισσότερο; Q16

Δεν γνωρίζω
 Δεν θα αγόραζα ποτέ EV
 Εάν είχα ένα EV, θα ήταν συμπληρωματικό σε ένα αυτοκίνητο βενζίνης ή ντίζελ
 Εάν είχα ένα EV, θα ήταν το μοναδικό μου αυτοκίνητο

Αν είχατε μόνο ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, πόσο πιστεύετε ότι θα ταίριαζε στις καθημερινές σας οδηγικές ανάγκες; Q17

Άσχημα
 Καλά
 Δεν γνωρίζω
 Ουδέτερο
 Πολύ άσχημα
 Πολύ καλά

Πηγές πληροφόρισης για τα ηλεκτρικά οχήματα Q19

Μια άλλη πηγή, που δεν αναφέρεται σε αυτή τη λίστα
 Έμπορος(οι) αυτοκινήτου
 Κατασκευαστές αυτοκινήτων
 Οικογένεια, φίλοι, συνάδελφοι
 Ειδησεογραφικά άρθρα (εφημερίδες, τηλεόραση και ιστότοποι)
 Επίσημες κυβερνητικές ιστοσελίδες
 Οργανισμοί όπως: ADAC (DE), FDM (DK), Magyar Autoklub (HU), ANWB (NL), NAF or Norsk Elbilforening (NO)
 Μέσα κοινωνικής δικτύωσης (e.g. Twitter, Facebook, Instagram etc.)

Γνώμη για τα αυτοκίνητα με κινητήρα diesel ή βενζίνης κατά τη διάρκεια του προηγούμενου έτους .Q20

1101	14,371%
1220	15,925%
1711	22,334%
3629	47,370%
465	6,070%
2513	32,803%
1006	13,131%
1467	19,149%
351	4,582%
1859	24,266%
644	8,406%
1380	18,013%
819	10,691%
991	12,936%
1281	16,721%
785	10,247%
1387	18,105%
374	4,882%

Δεν μεταβλήθηκε	4822	62,942%
Περισσότερο αρνητική	936	12,218%
Περισσότερο θετική	1224	15,977%
Πολύ πιο αρνητική	218	2,846%
Πολύ πιο θετική	461	6,017%
Γνώμη για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κατά τη διάρκεια του προηγούμενου έτους. Q21		
Δεν μεταβλήθηκε	3958	51,664%
Περισσότερο αρνητική	431	5,626%
Περισσότερο θετική	2464	32,163%
Πολύ πιο αρνητική	229	2,989%
Πολύ πιο θετική	579	7,558%
Αριθμός ατόμων άνω των 18 ετών στο νοικοκυριό. Q22		
1 άτομο	2380	31,066%
2 άτομα	3873	50,555%
3 άτομα ή περισσότερα	1408	18,379%
Αριθμός ατόμων κάτω των 18 ετών στο νοικοκυριό. Q23		
1 άτομο	1239	16,173%
2 άτομα	949	12,387%
3 άτομα	246	3,211%
4 άτομα	73	0,953%
5 άτομα ή περισσότερα	37	0,483%
Κανένα άτομο	5117	66,793%

Τα στοιχεία και τα ποσοστά του Πίνακα 1, προσφέρουν πληροφορίες για τη δημογραφική σύνθεση, τις απόψεις και τις συμπεριφορές των συμμετεχόντων από πέντε ευρωπαϊκές χώρες (Ολλανδία, Νορβηγία, Γερμανία, Ουγγαρία και Δανία) σε σχέση με τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs). Τα κυριότερα ευρήματα είναι η ομοιόμορφη κατανομή του δείγματος μεταξύ των πέντε χωρών με κάθε χώρα να εκπροσωπεί περίπου το 20% του συνολικού αριθμού συμμετεχόντων, ενώ και η κατανομή των φύλων είναι ισομερής, με μια μικρή υπεροχή του ποσοστού των ανδρών. Μελετώντας τις ηλικιακές ομάδες των συμμετεχόντων, επικρατέστερη είναι η ομάδα 55-70 ετών (27,45%), ακολουθούμενη από την ομάδα των 45-50 ετών, καθώς το ποσοστό των νεότερων συμμετεχόντων (18-24 ετών) ανέρχεται στο 14,44% του δείγματος. Όσον αφορά το επίπεδο εκπαίδευσης των ερωτηθέντων οι πλειοψηφία έχει μέσο επίπεδο εκπαίδευσης (48,48%) , με σημαντικό μέρος του δείγματος να κατέχει ανώτατη εκπαίδευση (29,72%).

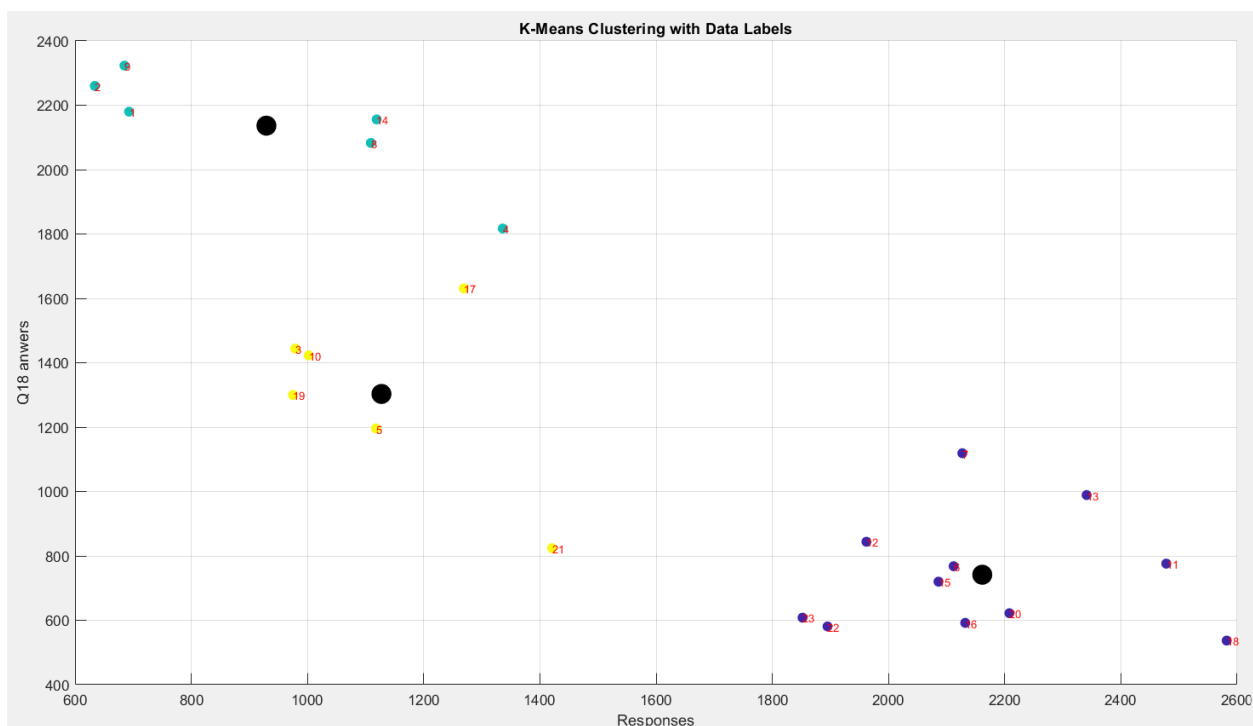
Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας ο οποίος καθορίζει την καταναλωτική συμπεριφορά των ατόμων είναι το οικονομικό τους υπόβαθρο. Συγκεκριμένα, η κατανομή του οικογενειακού εισοδήματος στην έρευνα δείχνει διάφορα επίπεδα με τους περισσότερους συμμετέχοντες να βρίσκονται μεταξύ €20.000-€34.999 (20,25%) και €35.000-€49.999 (16,25%). Την ίδια στιγμή που το 16,80% προτίμησαν να μην αποκαλύψουν το εισόδημά τους. Εξετάζοντας την σύνδεση του πολιτικού προσανατολισμού με τη δεκτικότητα στην υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης, παρατηρείται ότι η πλειοψηφία ταυτίζεται με την “Αριστερά/Κέντρο-Αριστερά” (41,01%), η “Δεξιά/Κέντρο-Δεξιά” αντιπροσωπεύει το 32,39% και το 13,11% του δείγματος δεν είναι σίγουροι για την πολιτική τους στάση. Στην ερώτηση για την πιθανότητα αγοράς νέου αυτοκινήτου μέσα στην επόμενη δεκαετία 40,03% του δείγματος αποκρίθηκε θετικά. Σε επόμενη ερώτηση αναφορικά με την ιδιοκτησία αυτοκινήτου, διαπιστώνεται ότι τα περισσότερα νοικοκυριά διαθέτουν τουλάχιστον ένα αυτοκίνητο (53,71%), ενώ 18,44% δεν διαθέτουν καθόλου αυτοκίνητο. Επίσης, εξειδικεύοντας την ερώτηση ως προς την κατοχή ηλεκτρικών οχημάτων, το 80,33% των Ευρωπαίων που μελετήθηκαν δεν διαθέτουν ηλεκτρικό ή plug-in hybrid αυτοκίνητο. Τα ποσοστά των κατόχων BEVs και plug-in hybrid οχημάτων συνιστούν το 7,52% και 6,25% αντίστοιχα. Επιχειρώντας, να αναλυθεί περαιτέρω η αντίληψη και να προσδιοριστεί η εμπειρία των καταναλωτών με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, βρέθηκε ότι το 72,17% δεν έχουν οδηγήσει ποτέ ηλεκτρικό όχημα. Ωστόσο, σχεδόν οι μισοί συμμετέχοντες θα εξέταζαν το ενδεχόμενο αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος ως το μοναδικό τους αυτοκίνητο και το 22,33% ως συμπλήρωμα σε ένα

βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο αυτοκίνητο, με το υπόλοιπο 15,93% των ερωτηθέντων να δηλώνουν ότι δεν θα αγόραζαν ποτέ ηλεκτρικό όχημα.

Περίπου το 56% εκτιμούν ότι ένα ηλεκτρικό όχημα καθίσταται κατάλληλο για την κάλυψη των καθημερινών τους αναγκών σε μετακινήσεις, με τα κυριότερα κριτήρια επιλογής αυτοκινήτου να σχετίζονται πρωτίστως με οικονομικούς παράγοντες (αναφέρθηκαν από το 79,10% του δείγματος), τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού οχήματος (αναφέρθηκαν από το 66,21% του δείγματος) και περιβαλλοντικούς παράγοντες (αναφέρθηκαν από το 26,05% του δείγματος). Συνεκδοχικά, τα οικονομικά κίνητρα για την αγορά EVs είναι οι πιο ισχυροί παράγοντες για την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (67,49%), ακολουθούμενα από τα περιβαλλοντικά κίνητρα και την υποδομή για τα ηλεκτροκίνητα με σχεδόν όμοια ποσοστά. Επιπρόσθετα, οι παραδοσιακές πηγές πληροφόρησης, όπως οι έμποροι αυτοκινήτων (18%) και οι οργανισμοί (18,1%), είναι τα κύρια κανάλια πληροφόρησης για το καταναλωτικό κοινό, ενώ λιγότερο από το 5% πληροφορείται από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Συνολικά, τα δεδομένα δείχνουν ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα, με το 32,16% να σχηματίζει μια πιο θετική άποψη για αυτά το τελευταίο έτος. Όμως, η πλειοψηφία, σε ανάλογη ερώτηση, δήλωσε ότι εξακολουθεί να είναι επιφυλακτική απέναντι στην τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης και εμπιστεύεται περισσότερο βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα (62,94% δεν άλλαξαν άποψη κατά τη διάρκεια του περασμένου έτους).

4.2 Εφαρμογή του αλγορίθμου K-Means για τις τάσεις των καταναλωτών

Σε συνέχεια της σύντομης αναφοράς στην χρήση του αλγορίθμου συσταδοποίησης k-means στην αρχή της προηγούμενης ενότητας, επισημαίνεται ότι ο στόχος του k-means, στην περίπτωση μας είναι να διαιρέσει τις πιθανές απαντήσεις στην 18η ερώτηση σε συγκεκριμένες διαστάσεις (τις οποίες δεν μοντελοποιούμε ή εξηγούμε με λεπτομέρεια σε αυτή την ενότητα) σε k συστάδες, όπου το k δηλώνει τον αριθμό των ομάδων των απαντήσεων (θετικές, αρνητικές, ουδέτερες) στην ερώτηση τη στιγμή t-1. Στον αλγόριθμο εισάγονται τα δεδομένα προκύπτουν από την χρήση δεικτών στη βάση δεδομένων της ερώτησης Q18 και πρόκειται για ένα πίνακα διαστάσεων 23•7, του οποίου οι στήλες αντιπροσωπεύουν τις δυνατές απαντήσεις στην ερώτηση και οι γραμμές τα υποερωτήματα-σενάρια της ερώτησης. Επίσης, οι τελείες στο Σχήμα 12 αναπαριστούν τις 23 περιπτώσεις που προτείνει η Q18, και ομαδοποιούνται με βάση τη συνάφεια και τα κοινά τους χαρακτηριστικά ως προς τις απαντήσεις των καταναλωτών.



Σχήμα 12: Αλγόριθμος συσταδοποίησης K-Means για τον προσδιορισμό των τάσεων των καταναλωτών αναφορικά με την αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

Η ερώτηση Q18 του ερωτηματολογίου της έρευνας χρησιμοποιείται ως ανεξάρτητη μεταβλητή από τους αλγορίθμους που ακολουθούν και σκοπός της συσταδοποίησης είναι η διαμόρφωσης μιας αρχικής άποψης για το δείγμα.

Από τη υλοποίηση του αλγορίθμου k-means στο Matlab για τις ενδεχόμενες απαντήσεις στην ερώτηση Q18, παρατηρώντας το Σχήμα 12, προκύπτουν οι εξής τρεις συστάδες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διαφορετικές ανησυχίες των καταναλωτών για τα ηλεκτρικά οχήματα:

- Η 1^η συστάδα (τυρκουάζ χρώμα) εκφράζει την επιφυλακτικότητα των ερωτηθέντων για την ασφάλεια των EVs και την έλλειψη ενθουσιασμού για αυτή την τεχνολογία, με την έννοια ότι τα οχήματα αυτά είναι λιγότερο συναρπαστικά από τα συμβατικά οχήματα. Οι ανησυχίες περιλαμβάνουν την αντίληψη ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι βαρετά, αποτελούν μεγαλύτερο κίνδυνο για την ασφάλεια και έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα ανάφλεξης σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα βενζίνης και πετρελαίου.
- Η 2^η συστάδα (σκούρο μπλε χρώμα) εκφράζει ανησυχίες για την πρακτικότητα και τις υποδομές. Ειδικότερα, φαίνεται ότι πολλοί συμμετέχοντες ανησυχούν για την πρακτικότητα της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων στην καθημερινή ζωή, ιδίως σε σχέση με την "άγχος αυτονομίας", τους χρόνους φόρτισης και την επάρκεια των υποδομών φόρτισης. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται δυσκολίες στη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, περιορισμένους δημόσιους φορτιστές, προκλήσεις στα μακρινά ταξίδια και τον αντίκτυπο των καιρικών συνθηκών στην αυτονομία οδήγησης.
- Η 3^η συστάδα (κίτρινο χρώμα) σχετίζεται με το κόστος και τη βιωσιμότητα των ηλεκτροκίνητων στο μέλλον. Υπογραμμίζονται ζητήματα που αφορούν το κόστος κτήσης, συντήρησης, μικρής διάρκειας ζωής και αντικατάστασης των μπαταριών, καθώς και για το εάν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι μια προσωρινή λύση, με την πιθανότητα να εμφανιστεί στο μέλλον καλύτερη τεχνολογία.

4.3 Πρόβλεψη των αντιλήψεων των καταναλωτών με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 2, καθώς και του Σχήματος 13, στο οποίο απεικονίζονται η σχέση των παρατηρούμενων με τις προβλεπόμενες τιμές, χρειάζεται πρώτα να εξεταστούν οι εκτιμώμενοι συντελεστές (coefficients), οι τιμές τους -ως προς το πρόσημο-, και τα επίπεδα σημαντικότητας (p-Value) για κάθε παράμετρο. Οι συντελεστές που προέκυψαν από το μοντέλο στην γραμμική παλινδρόμησης υποδεικνύουν την επίδραση κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή (πρόθεση ή τάση για αγορά ηλεκτρικού οχήματος).

Πίνακας 2: Αποτελέσματα Γραμμικής Παλινδρόμησης

	<i>Εκτίμηση</i>	<i>p-Value</i>
Σταθερός όρος	3,713	0,00
Χώρα_ Δανία	0,076	0,215
Χώρα_ Γερμανία	0,154	0,016
Χώρα_ Ουγγαρία	0,069	0,323
Χώρα_ Ολλανδία	0,029	0,657
Φύλο_ Άνδρας	0,047	0,221
Ηλικιακή Ομάδα_ 25-34	-0,075	0,246
Ηλικιακή Ομάδα_ 35-44	-0,055	0,397
Ηλικιακή Ομάδα_ 45-54	0,034	0,598
Ηλικιακή Ομάδα_ 55-70	-0,020	0,752
Πολιτική_ Δεν ψήφισα	-0,228	0,065
Πολιτική_ Δεν γνωρίζω	-0,161	0,109
Πολιτική_ Αριστερά/Κέντρο-Αριστερά	-0,109	0,243
Πολιτική_ Άλλο κόμμα	-0,150	0,217
Πολιτική_ Δεξιά/Κέντρο-Δεξιά	-0,068	0,459
Q2_ Πιθανό	0,059	0,469
Q2_ Καμία	0,168	0,069
Q2_ Απίθανο	-0,119	0,263
Q2_ Πολύ πιθανό	-0,033	0,686
Q2_ Πολύ απίθανο	0,071	0,447
Q3_ 1 όχημα	0,030	0,651
Q3_ 2 οχήματα	0,068	0,391
Q3_ 3 οχήματα ή περισσότερα	0,241	0,022
Q4_ Όχι	-0,106	0,231
Q4_ Ναι, ηλεκτρικό/ά όχημα/τα	-0,333	0,003
Q4_ Ναι, plug-in υβριδικό/ά οχήμα/τα	-0,026	0,824
Q4_ Ναι, plug-in υβριδικό/ά οχήμα/τα και ηλεκτρικό/ά όχημα/τα	-0,019	0,896

<i>Q5_2</i> άτομα	-0,141	0,020
<i>Q5_3</i> άτομα	0,018	0,842
<i>Q5_4</i> άτομα ή περισσότερα	-0,121	0,073
<i>Q5_Δεν γνωρίζω</i>	-0,151	0,051
<i>Q5_Κανένα άτομο</i>	0,010	0,830
<i>Q6_Δεν γνωρίζω</i>	0,226	0,066
<i>Q6_Ο εαυτός μου</i>	-0,003	0,942
<i>Q6_Άλλος/οι στο νοικοκυριό</i>	0,049	0,414
<i>Q7_10.000-19.999</i>	0,111	0,128
<i>Q7_20.000-29.999</i>	0,048	0,559
<i>Q7_30.000-39.999</i>	-0,021	0,827
<i>Q7_40.000-49.999</i>	0,324	0,029
<i>Q7_Δεν γνωρίζω</i>	0,003	0,963
<i>Q7_Λιγότερα από 1.000 km</i>	-0,097	0,264
<i>Q10_Άλλο</i>	-0,127	0,294
<i>Q10_Ιδιωτικός</i>	0,148	0,122
δρόμος/αυτοκινητόδρομος/γκαράζ		
<i>Q10_Ιδιωτική θέση στάθμευσης σε κοινόχρηστο χώρο</i>	0,162	0,119
<i>Q10_Στάθμευση σε κοινόχρηστο χώρο χωρίς ατομικό χώρο στάθμευσης</i>	0,141	0,165
<i>Q10_Δημόσιος χώρος στάθμευσης γκαράζ/υπόγειος χώρος στάθμευσης</i>	0,035	0,776
<i>Q10_Δημόσιος δρόμος</i>	0,053	0,588
<i>Q11Economic_Δεν Αναφέρθηκε</i>	0,007	0,878
<i>Q11EVCharacteristics_Δεν Αναφέρθηκε</i>	-0,030	0,475
<i>Q11Environmental_Δεν Αναφέρθηκε</i>	0,044	0,360
<i>Q12Economic_Δεν Αναφέρθηκε</i>	-0,022	0,662
<i>Q12EVCharacteristics_Δεν Αναφέρθηκε</i>	0,058	0,166
<i>Q12Environmental_Δεν Αναφέρθηκε</i>	0,040	0,431

<i>Q13Economic_</i> Δεν Αναφέρθηκε	0,055	0,233
<i>Q13EVsPerformance_</i> Δεν Αναφέρθηκε	-0,125	0,004
<i>Q13Environmental_</i> Δεν Αναφέρθηκε	0,019	0,662
<i>Q13EVsInfrastructure_</i> Δεν Αναφέρθηκε	-0,094	0,021
<i>Q14_</i> Συμφωνώ	0,151	0,082
<i>Q14_</i> Διαφωνώ	0,254	0,012
<i>Q14_</i> Ουδέτερο	0,267	0,001
<i>Q14_</i> Συμφωνώ απολύτως	0,101	0,262
<i>Q14_</i> Διαφωνώ απολύτως	0,585	0,000
<i>Q15_</i> Όχι	0,033	0,830
<i>Q15_</i> Ναι	0,088	0,586
<i>Q16_</i> Δεν θα αγόραζα ποτέ EV	0,056	0,454
<i>Q16_</i> Εάν είχα ένα EV, θα ήταν συμπληρωματικό σε ένα αυτοκίνητο βενζίνης ή ντίζελ	0,127	0,060
<i>Q16_</i> Εάν είχα ένα EV, θα ήταν το μοναδικό μου αυτοκίνητο	-0,039	0,520
<i>Q17_</i> Καλά	-0,320	0,000
<i>Q17_</i> Δεν γνωρίζω	-0,400	0,000
<i>Q17_</i> Ουδέτερο	-0,059	0,489
<i>Q17_</i> Πολύ άσχημα	0,170	0,149
<i>Q17_</i> Πολύ καλά	-0,467	0,000
<i>Q19_</i> Έμπορος(οι) αυτοκινήτου	0,073	0,358
<i>Q19_</i> Κατασκευαστές αυτοκινήτων	0,049	0,565
<i>Q19_</i> Οικογένεια, φίλοι, συνάδελφοι	0,064	0,450
<i>Q19_</i> Ειδησεογραφικά άρθρα (εφημερίδες, τηλεόραση και ιστότοποι)	0,112	0,168
<i>Q19_</i> Επίσημες κυβερνητικές ιστοσελίδες	0,051	0,554
<i>Q19_</i> Οργανισμοί όπως: <i>ADAC (DE)</i> , <i>FDM (DK)</i> , <i>Magyar Autoklub (HU)</i> ,	0,026	0,743

ANWB (NL), NAF or Norsk Elbilforening (NO)

Q19_ Μέσα κοινωνικής δικτύωσης (e.g. Twitter, Facebook, Instagram etc.)

0,123 0,231

Q20_ Περισσότερο αρνητική

-0,162 0,007

Q20_ Περισσότερο θετική

0,108 0,048

Q20_ Πολύ πιο αρνητική

-0,135 0,259

Q20_ Πολύ πιο θετική

0,508 0,000

Q21_ Περισσότερο αρνητική

0,006 0,938

Q21_ Περισσότερο θετική

0,003 0,945

Q21_ Πολύ πιο αρνητική

-0,094 0,454

Q21_ Πολύ πιο θετική

-0,447 0,000

Q22_ 2 άτομα

-0,066 0,162

Q22_ 3 άτομα ή περισσότερα

-0,186 0,002

Q24_ €110.000 ή περισσότερα

0,074 0,485

Q24_ €19.999 ή λιγότερα

0,016 0,810

Q24_ €20.000 - €34.999

0,037 0,549

Q24_ €35.000 - €49.999

0,005 0,937

Q24_ €50.000 - €64.999

0,036 0,605

Q24_ €65.000 - €79.999

0,043 0,588

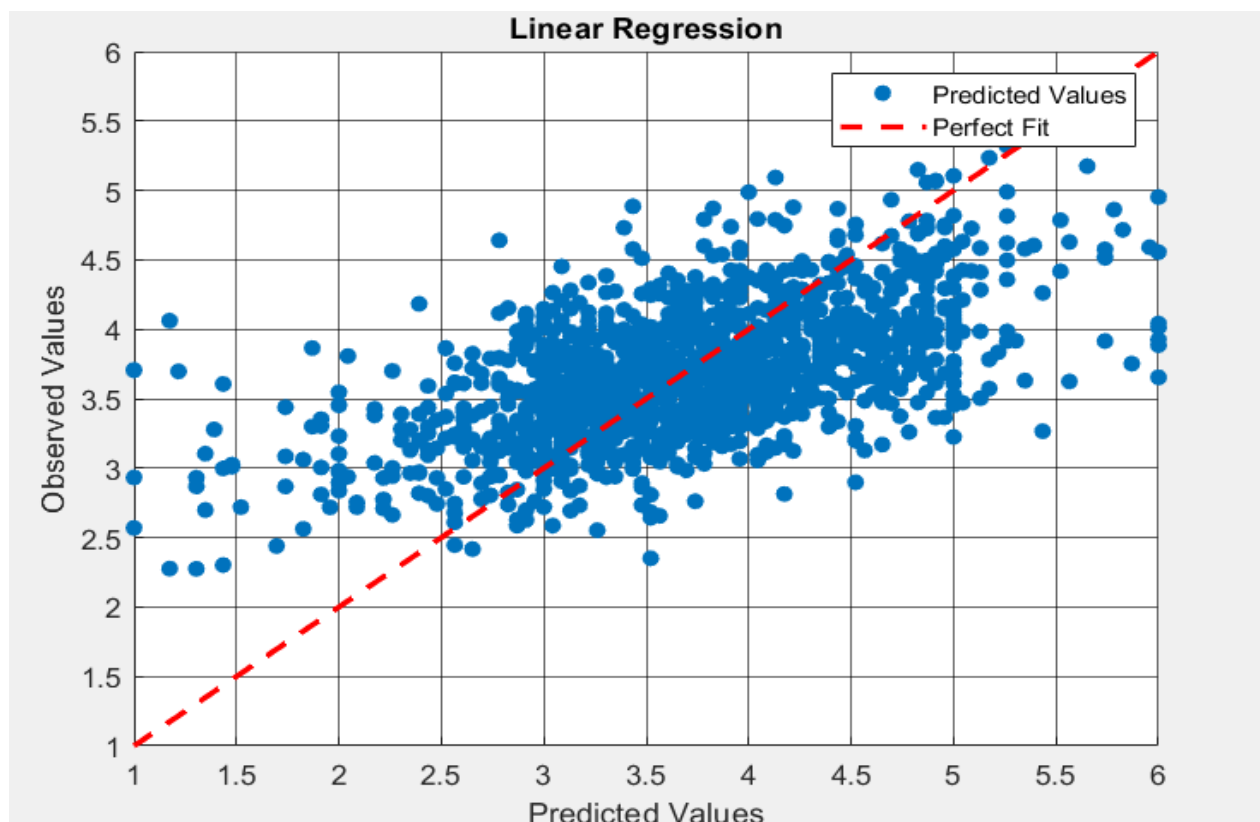
Q24_ €80.000 - €94.999

-0,065 0,512

Q24_ €95.000 - €109.999

0,062 0,565

	<i>Value</i>
<i>Number of Observations</i>	1532,000
<i>Error Degrees of Freedom</i>	1433,000
<i>Root Mean Squared Error</i>	0,663
<i>R-squared</i>	0,343
<i>Adjusted R-Squared</i>	0,298
<i>F-statistic vs. Constant</i>	7,640
<i>Model</i>	
<i>p-value for F-statistic</i>	0,000



Σχήμα 13: Γραμμική Παλινδρόμηση για το ίδιο Test Set με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στον αλγόριθμο Random Forest.

Ξεκινώντας από το σταθερό όρο (Intercept), ο οποίος έχει τιμή 3,7134, χαρακτηρίζεται ως στατιστικά σημαντικός, διότι όταν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές λαμβάνουν τιμή 0, η εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής θα είναι 3,71. Στην προκειμένη περίπτωση ο σταθερός όρος είναι θετικός, επομένως η αρχική τιμή εξάρτησης είναι ήδη πάνω από τη μέση τιμή, πιθανώς λόγω κάποιας γενικής θετικής στάσης του κοινού απέναντι στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Κατόπιν, μελετώντας μεταβλητές με θετικά πρόσημα, ουσιαστικά διαπιστώνεται ότι το θετικό πρόσημο υποδεικνύει ότι καθώς αυξάνεται η τιμή αυτών των μεταβλητών, αυξάνεται και η εκτιμώμενη πρόθεση αγοράς EVs. Αναλυτικότερα, αναλύοντας την παράμετρο “Χώρα”, παρατηρείται ότι για τη Δανία η εκτίμηση είναι 0,076 και η τιμή $p=0,215$, άρα δεν υφίσταται στατιστικά σημαντική επίδραση της Δανίας σε σχέση με τη χώρα αναφοράς (Νορβηγία). Αντίθετα, η Γερμανία έχει εκτίμηση=0,154 και τιμή $p=0,016$, οπότε η χώρα αυτή στατιστικά έχει σημαντική επίδραση ($p<0,05$), υποδεικνύοντας θετική επίδραση σε σχέση με τη χώρα αναφοράς. Πρακτικά η θετική τιμή του συντελεστή για την Γερμανία υποδηλώνει ότι οι κάτοικοί της τείνουν να είναι πιο δεκτικοί στην υιοθέτηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων και η χαμηλή τιμή του p-Value καθιστά το αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό, γεγονός που ενδέχεται να συνδέεται με την ισχυρή παρουσία υποδομών και πολιτικών υπέρ της βιώσιμης μετακίνησης στη Γερμανία. Ελέγχοντας τις τιμές της Ουγγαρίας και της Ολλανδίας διαπιστώνεται ότι δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Ακόμα, επισημαίνεται ότι οι αρνητικές τιμές των συντελεστών δείχνουν ότι όσο αυξάνεται η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής, φθίνει η εκτίμηση για την αγορά ηλεκτροκίνητου.

Επαναλαμβάνοντας το ίδιο έλεγχο σε όλες τις παραμέτρους προκύπτουν οι εξής διαπιστώσεις. Η διαφορά μεταξύ ανδρών και γυναικών ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή, αλλά και η ηλικιακή ομάδα των συμμετεχόντων δεν έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση. Ο πολιτικός προσανατολισμός γενικά δεν είναι στατιστικά σημαντικός, ωστόσο όσοι απείχαν από τις εκλογές τείνουν να έχουν αρνητική στάση σε σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή (οριακά αρνητικοί). Για την πρόθεση αγοράς νέου αυτοκινήτου μέσα στην επόμενη δεκαετία (Q2) μόνο όσοι δηλώνουν ουδέτεροι φαίνεται να έχουν θετικότερη προδιάθεση απέναντι στα EVs (p-value 0,069), ενώ για την επόμενη παράμετρο που αφορά τον αριθμό οχημάτων στο νοικοκυριό, οι ερωτηθέντες με 3 ή περισσότερα αυτοκίνητα έχουν πιο θετική στάση (εκτίμηση= 0,2417, p-value 0,022<0,05). Στατιστικά σημαντική είναι, επίσης, η παράμετρος “Q4 __ Yes, electric car(s)” (-0.33338, p-value 0.0033), σύμφωνα με την οποία τα άτομα που ήδη κατέχουν ένα ηλεκτρικό όχημα έχουν μειωμένη πιθανότητα να αγοράσουν δεύτερο. Αυτό μπορεί να εξηγείται από το γεγονός ότι το άτομο που έχει ήδη επενδύσει σε κάποιου είδους ηλεκτρικό όχημα είναι ικανοποιημένο και δεν έχει ανάγκη από περαιτέρω αλλαγές ή νέες αγορές. Στη συνέχεια, στην ερώτηση Q5 η επαφή με 2 μόνο άτομα που οδηγούν τακτικά ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει σημαντική αρνητική επίδραση και στα νοικοκυριά που δεν είναι ξεκάθαρο το ποιος λαμβάνει την απόφαση αγοράς αυτοκινήτου (Q6) η θετική στατιστική επίδραση είναι οριακά σημαντική. Η απόσταση οδήγησης ετησίως (Q7) δεν δείχνει να είναι κοντά στη σημαντικότητα και το ίδιο παρατηρείται για τις παραμέτρους κατοχής θέσης στάθμευσης στο νοικοκυριό (Q10), καθώς και στα κριτήρια αγοράς ηλεκτρικού οχήματος (Q11). Επιπλέον, που σχετίζονται με οικονομικούς, τεχνικούς ή περιβαλλοντικούς παράγοντες δεν έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση (Q12).

Οφέλη που δυνητικά θα μπορούσαν να κάνουν πιο θετικούς τους Ευρωπαίους καταναλωτές στην αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Q13), η μη αναφορά προβληματισμών για την απόδοση και τις υποδομές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων φαίνεται να έχει αρνητική επίδραση. Από την άλλη, στην περίπτωση “Q14_Totally disagree” (0.5853, p-value 0,000), όσοι διαφωνούν πλήρως με συγκεκριμένες αρνητικές δηλώσεις για τα ηλεκτρικά οχήματα φαίνεται να έχουν σημαντικά αυξημένη πιθανότητα να αγοράσουν ένα. Αυτή η μεταβλητή δείχνει ότι η αλλαγή άποψης από την απόλυτη διαφωνία προς μια πιο θετική στάση για τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να είναι καθοριστική στην πρόθεση αγοράς. Στην ερώτηση, εάν οι συμμετέχοντες έχουν οδηγήσει ηλεκτρικό όχημα (Q15), δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές με βάση την πρόθεση αγοράς κάποιου τύπου EV. Παράλληλα, η στάση του καταναλωτικού κοινού απέναντι

στα EVs δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση, εκτός από την οριακή περίπτωση όπου το EV θα ήταν συμπληρωματικό αυτοκίνητο (“Q16_If I had an EV, it would be a supplement to a petrol or diesel car” (0,1275, p-value 0,061)). Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της μεταβλητής “Q17_Very good (-0,46793, p-value 0,000)”, η αρνητική τιμή της οποίας ενδέχεται να υποδηλώνει ότι όσοι θεωρούν τα ηλεκτρικά οχήματα "πολύ καλά" είναι λιγότερο πιθανό να τα αγοράσουν. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι άνθρωποι που έχουν πολύ θετική άποψη ήδη για τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να θεωρούν ότι δεν χρειάζονται επιπλέον πειστικά στοιχεία, ή να είναι σκεπτικοί για τη διαφημιστική προώθηση. Γενικά, διαπιστώνεται ότι οι απόψεις που κυμαίνονται από “Good” έως “Very good” έχουν αρνητική συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ οι “I don't know” είναι επίσης αρνητικά σημαντικοί. Οι πηγές πληροφόρησης που επιλέγουν οι καταναλωτές δεν εμφανίζουν στατιστική σημασία (Q19), ωστόσο η άποψη τους για τα παραδοσιακά αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης πετρελαίου/diesel παρουσιάζει αξιοσημείωτες μεταβολές (Q20). Συγκεκριμένα, η “More positive” και “Much more positive” στάση είναι στατιστικά πολύ σημαντικές και έχουν θετική συσχέτιση, ενώ η “More negative” στάση έχει στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση. Στην αντίστοιχη ερώτηση για τα ηλεκτρικά οχήματα (Q21) μόνο η κατηγορία “Much more positive” είναι στατιστικά σημαντική, με αρνητική συσχέτιση. Ολοκληρώνοντας την ανάλυση των συντελεστών, τα νοικοκυριά με 3 και πλέον ενήλικες σχετίζονται αρνητικά με την εξαρτημένη μεταβλητή (Q22), ενώ συγχρόνως καμία από τις κατηγορίες εισοδήματος δεν είναι στατιστικά σημαντική (Q24).

Το Σχήμα 13 της γραμμικής παλινδρόμησης δείχνει τη σύγκριση των προβλεπόμενων τιμών με τις παρατηρήσεις. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει την "τέλεια πρόβλεψη", όπου οι προβλεπόμενες τιμές θα ήταν ίσες με τις παρατηρήσεις. Όμως, η πλειονότητα των σημείων αποκλίνει από αυτή τη γραμμή, δείχνοντας ότι υπάρχουν αρκετές αποκλίσεις μεταξύ των παρατηρούμενων και των προβλεπόμενων τιμών. Αυτό αντικατοπτρίζεται επίσης στο μέτριο $R^2(0,343)$, που δείχνει ότι το μοντέλο εξηγεί το 34,3% της συνολικής διακύμανσης των παρατηρήσεων. Συνεπώς, το μοντέλο που αναπτύχθηκε έχει κάποια προβλεπτική ικανότητα, αλλά σημαντικό ποσοστό της μεταβλητότητας παραμένει ανεξήγητο και ενδεχομένως το ποσοστό θα βελτιωνόταν με την προσθήκη επιπλέον παραγόντων ή την προσαρμογή πιο σύνθετων τεχνικών, όπως μη γραμμικά μοντέλα.

4.4 Ανάλυση των τάσεων με τον αλγόριθμο Random Forest

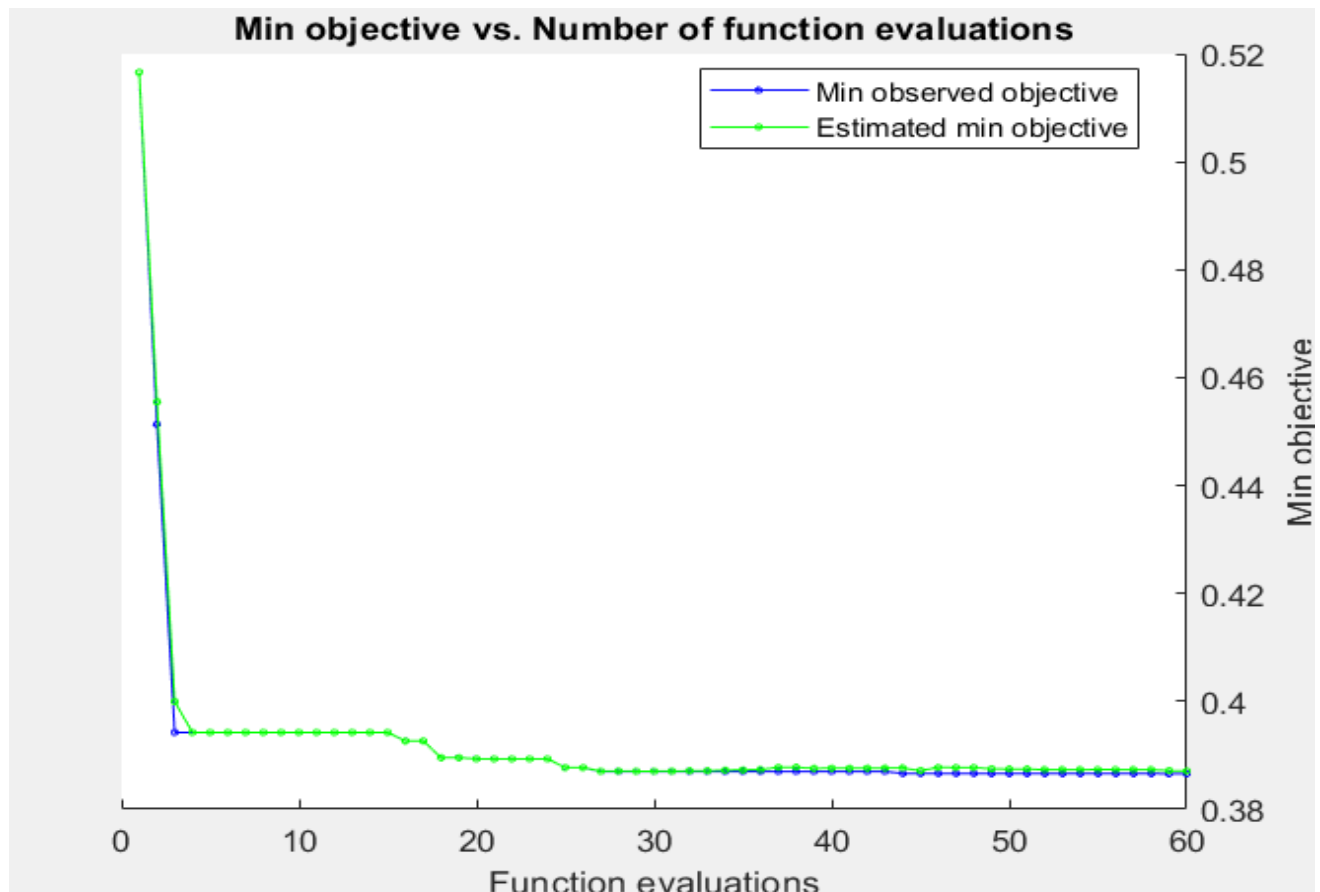
Για τον αλγόριθμο random forest, πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση των παραμέτρων του, όπως ο αριθμός των συνδυαζόμενων δέντρων παλινδρόμησης, ο ελάχιστος αριθμός περιπτώσεων ανά τελικό κόμβο και ο μέγιστος αριθμός διακλαδώσεων. Η βελτιστοποίηση αυτή έγινε με τη χρήση της εργαλειοθήκης του MATLAB, η οποία βασίζεται σε έναν αλγόριθμο Bayesian optimization για την εύρεση των καλύτερων παραμέτρων, τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στον Πίνακα 3 και στα Σχήματα 14,15 και 16.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα αλγορίθμου Random Forest

<i>Optimization Summary</i>	<i>Value</i>
<i>Max Objective Evaluations</i>	60
<i>Total Function Evaluations</i>	60
<i>Total Elapsed Time (seconds)</i>	1191,7674
<i>Total Objective Function Eval Time (seconds)</i>	1168,8146
<i>Best Observed Feasible Point</i>	
<i>NumLearningCycles</i>	464
<i>MinLeafSize</i>	1
<i>MaxNumSplits</i>	510
<i>Observed Objective Function Value</i>	0,386
<i>Estimated Objective Function Value</i>	0,387
<i>Function Evaluation Time (seconds)</i>	45,068
<i>Best Estimated Feasible Point</i>	
<i>NumLearningCycles</i>	495
<i>MinLeafSize</i>	1
<i>MaxNumSplits</i>	866
<i>Estimated Objective Function Value</i>	0,387
<i>Estimated Function Evaluation Time (seconds)</i>	53,320
<i>R² for training data</i>	0,770
<i>R² for testing data</i>	0,289

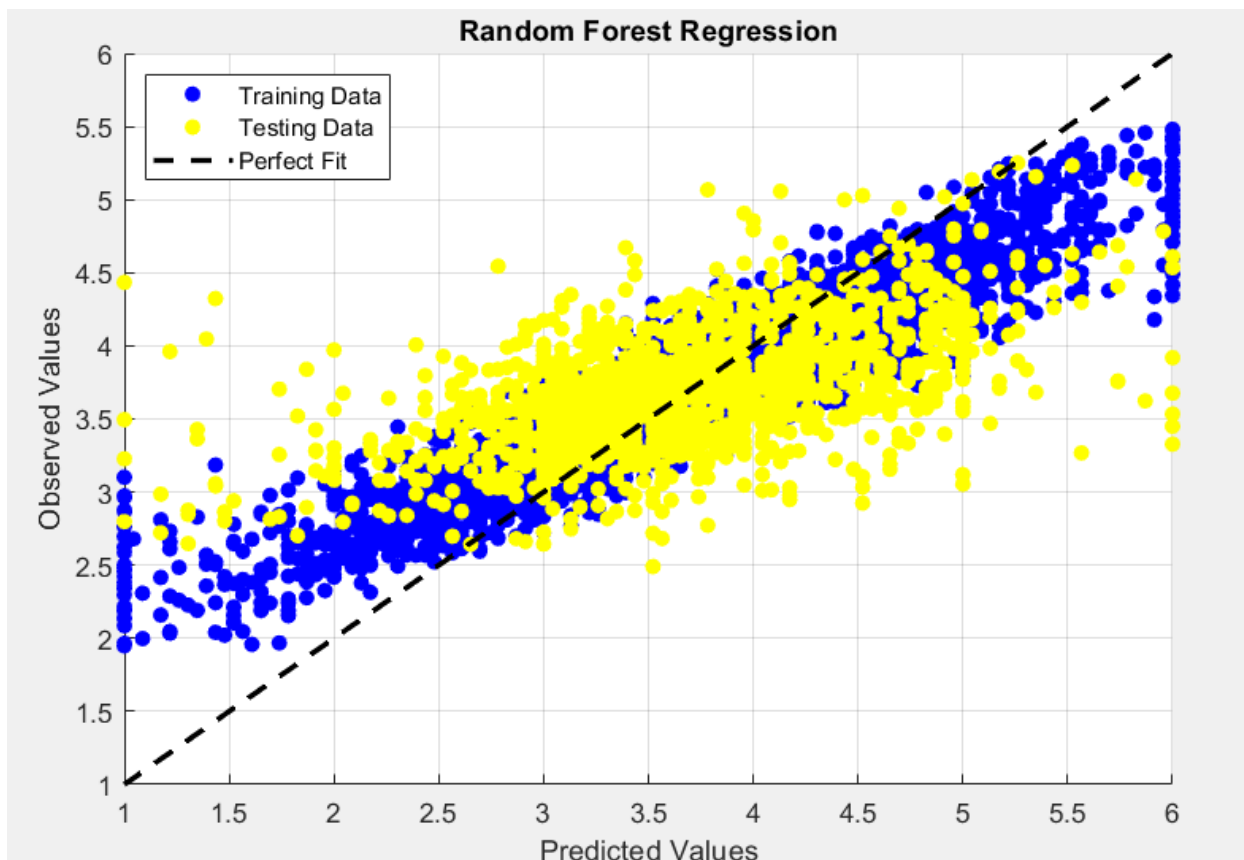
Για να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα του αλγορίθμου Random Forest, πρέπει να εξετάσουμε βασικά σημεία και τάσεις από τα δεδομένα του Πίνακα 3. Ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης κόστους (objective function), η οποία σε αυτήν την περίπτωση προοδευτικά βελτιώνεται, με την καλύτερη παρατηρηθείσα τιμή να είναι 0,386 και την καλύτερη εκτιμώμενη 0,387. Στα πρώτα στάδια της εκπαίδευσης, δηλαδή στις Iterations 1 έως 4, παρατηρείται μια ταχεία βελτίωση στις τιμές της συνάρτησης κόστους, ενώ από το στάδιο 5 και έπειτα η βελτίωση γίνεται πιο αργή με κάποιες παλινδρομήσεις. Οι καλύτερες επιδόσεις του αλγορίθμου (Best) σημειώνονται στα στάδια: 16,18,20,25,27,44,49 και 59. Κατ' επέκταση, όσον αφορά τον αριθμό των κύκλων εκμάθησης (NumLearningCycles), διαπιστώνουμε ότι οι καλύτερες τιμές της συνάρτησης κόστους συχνά επιτυγχάνονται όταν ο αριθμός των κύκλων αυξάνεται, γεγονός που υποδηλώνει ότι η μεγαλύτερη διάρκεια εκπαίδευσης του μοντέλου μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα. Παράλληλα, παρατηρούμε ότι η βελτίωση της απόδοσης σχετίζεται και με το μέγεθος των φύλλων (MinLeafSize) και τον μέγιστο αριθμό διαχωρισμών (MaxNumSplits). Οι καλύτερες επιδόσεις επιτυγχάνονται όταν οι τιμές του MaxNumSplits είναι υψηλές, κάτι που υποδηλώνει ότι το μοντέλο επωφελείται από πιο σύνθετους διαχωρισμούς και δένδρα με περισσότερες διακλαδώσεις.

Ο χρόνος εκτέλεσης (Objective Runtime) ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών βημάτων, αλλά δεν φαίνεται να έχει άμεση συσχέτιση με την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι η βελτίωση της απόδοσης δεν είναι πάντοτε γραμμική σε σχέση με τον χρόνο που αφιερώνεται στη διαδικασία εκπαίδευσης. Τέλος, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 για το training set είναι 0,770 και για το test set 0,289. Συνολικά, η ανάλυση δείχνει ότι ενώ η επιπλέον εκπαίδευση και η αυξημένη πολυπλοκότητα του μοντέλου μπορεί να βελτιώσουν την απόδοση, αυτές οι βελτιώσεις δεν ακολουθούν πάντα έναν σταθερό ρυθμό και μπορεί να απαιτούν διαφορετικό χρόνο επεξεργασίας σε κάθε στάδιο.



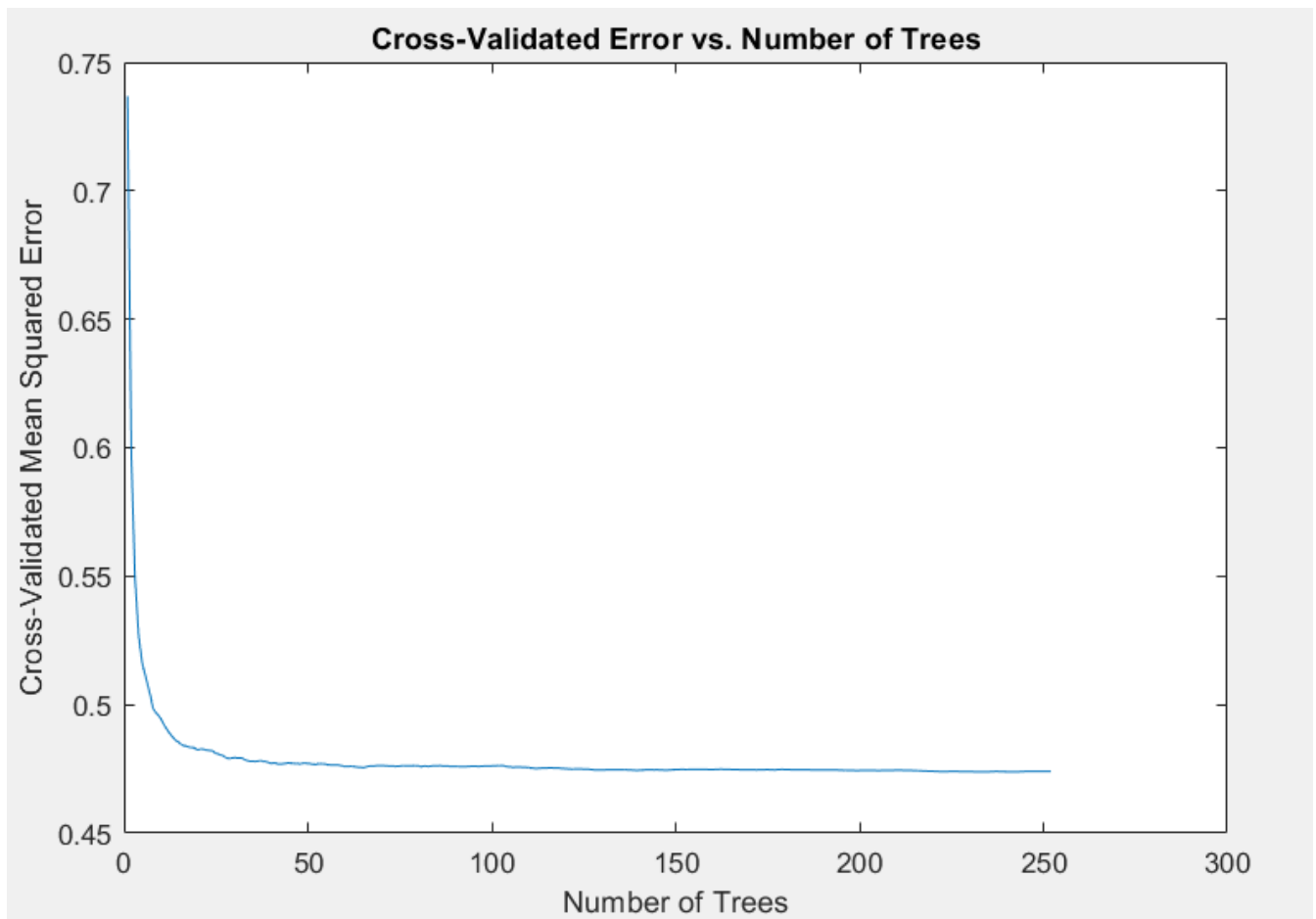
Σχήμα 14: Ελάχιστο ορόσημο έναντι του αριθμού αξιολογήσεων της συνάρτησης για τον αλγόριθμο Random Forest

Το Σχήμα 14, που εξετάζει το ελάχιστο αποδεκτό ορόσημο σε σχέση με τον αριθμό αξιολογήσεων της συνάρτησης, αποτυπώνει τη μεταβολή της συνάρτησης στόχου ($\log(1+\text{loss})$) κατά τη διάρκεια πολλαπλών αξιολογήσεων. Παρατηρείται ότι η συνάρτηση στόχου σταθεροποιείται μετά τις πρώτες 10-15 αξιολογήσεις, με ελάχιστες βελτιώσεις στη συνέχεια. Ειδικότερα, η διαδικασία βελτιστοποίησης είναι εξ αρχής αποτελεσματική και γρήγορα φτάνει σε ένα σημείο όπου οι επιπλέον επαναλήψεις επηρεάζουν ελάχιστα ή καθόλου στην περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης του μοντέλου, δείχνοντας πως το μοντέλο έχει ήδη αγγίξει το καλύτερο δυνατό επίπεδο απόδοσής του.



Σχήμα 15: Διάγραμμα εκπαίδευσης και δοκιμής του αλγορίθμου Random Forest

Το διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζεται στο Σχήμα 15, αναλύει τη σύγκριση των προβλεπόμενων τιμών με τις παρατηρούμενες τιμές, τόσο για τα δεδομένα εκπαίδευσης όσο και για τα δεδομένα δοκιμής, στο πλαίσιο του αλγορίθμου Random Forest Regression. Τα δεδομένα εκπαίδευσης απεικονίζονται με μπλε κουκκίδες, ενώ τα δεδομένα δοκιμής με κίτρινες κουκκίδες. Ακόμα, η μαύρη διακεκομμένη γραμμή ορίζεται ως η γραμμή τέλειας προσαρμογής, όπου οι προβλεπόμενες τιμές θα έπρεπε να είναι ίσες με τις παρατηρούμενες. Η εγγύτητα των σημείων εκπαίδευσης και δοκιμής στη γραμμή αυτή υποδηλώνει ότι το μοντέλο Random Forest αποδίδει ικανοποιητικά στην πρόβλεψη των τάσεων των καταναλωτών. Παρόλα αυτά, παρατηρείται κάποια διακύμανση, ιδίως στα δεδομένα δοκιμής, γεγονός που δείχνει ότι, ενώ το μοντέλο γενικεύει καλά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι προβλέψεις του αποκλίνουν από τις πραγματικές τιμές.



Σχήμα 16: Διασταυρωμένο σφάλμα έναντι του αριθμού δέντρων στον αλγόριθμο Random Forest

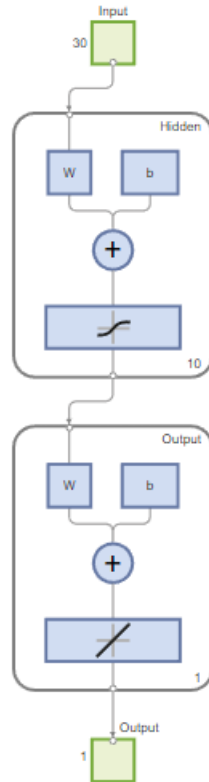
Το Σχήμα 16 απεικονίζει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) της διασταυρωμένης επικύρωσης σε σχέση με τον αριθμό των δέντρων στο μοντέλο random forest. Στην αρχή, η καμπύλη καταδεικνύει μια σημαντική μείωση του σφάλματος με την αύξηση των δέντρων, δείχνοντας βελτίωση και στην ακρίβεια του μοντέλου. Όμως, έπειτα από περίπου 50-100 δέντρα, η καμπύλη σταθεροποιείται, υποδηλώνοντας ότι η προσθήκη επιπλέον δέντρων πέρα από αυτό το σημείο δεν βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του μοντέλου.

Συνολικά, η ανάλυση τάσεων καταναλωτών μέσω του μοντέλου random forest δείχνει ότι το μοντέλο αποδίδει με αξιοπιστία και καλή προγνωστική ακρίβεια, όπως φαίνεται από τη στενή αντιστοιχία μεταξύ παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών. Το cross-validated error υποδεικνύει ότι το μοντέλο μπορεί να γενικεύσει αποτελεσματικά σε διάφορα υποσύνολα δεδομένων, ενώ ελέγχοντας δεδομένα από έρευνες σε χώρες, όπως η Δανία, η Γερμανία, η Νορβηγία, η Ουγγαρία και η Ολλανδία, το μοντέλο δύναται να αναγνωρίσει τους κύριους

παράγοντες που επηρεάζουν τις καταναλωτικές αποφάσεις σχετικά με τα ηλεκτρικά οχήματα, όπως οι περιβαλλοντικές ανησυχίες, το κόστος, τα κρατικά κίνητρα και η αυτονομία του οχήματος. Όμως, παρά το γεγονός ότι ο αλγόριθμος εξάγει ικανοποιητικά αποτελέσματα, οι μικρές αποκλίσεις στα δεδομένα δοκιμής υποδηλώνουν ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης και ότι ορισμένοι εξωτερικοί παράγοντες, που ενδεχομένως επηρεάζουν τις αποφάσεις των καταναλωτών, δεν καταγράφονται πλήρως.

4.5 Ανάλυση των τάσεων με Νευρωνικά Δίκτυα

Σε αυτή την ενότητα, αναλύονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα της προσέγγισης του δείγματος με νευρωνικά δίκτυα. Μελετώντας το Σχήμα 17, το οποίο απεικονίζει την αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου, γίνονται διακριτά τα τρία βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται και μέσω αυτών γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων. Σε αυτό το σημείο, αναφέρεται ότι η αρχιτεκτονική του παρόντος νευρωνικού δικτύου εστιάζει στην κατανόηση του πώς ένας μοναδικός, σημαντικός παράγοντας επηρεάζει ένα ευρύ σύνολο συμπεριφορών των καταναλωτών. Αρχικά, εντοπίζεται το επίπεδο εισόδου, όπου στην προκειμένη περίπτωση το μοντέλο χρησιμοποιεί 30 επίπεδα, δηλαδή 30 νευρώνες. Τα δεδομένα αυτά οδηγούν στον προσδιορισμό του βασικού παράγοντα που σχετίζεται με την επιλογή των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα φόρτισης ή η περιβαλλοντική ανησυχία. Κατόπιν, το κρυφό επίπεδο, το οποίο συνίσταται από 10 νευρώνες, είναι διαμορφωμένο ώστε να συλλαμβάνει πιο σύνθετα και λεπτομερή μοτίβα στα δεδομένα. Ο αριθμός των νευρώνων του κρυφού επιπέδου καθορίστηκε με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος. Σκοπός του κρυφού επιπέδου είναι η ερμηνεία των σχέσεων μεταξύ του χαρακτηριστικού εισόδου και των διάφορων αποκρίσεων των συμμετεχόντων στην έρευνα. Στο επίπεδο εξόδου, ο νευρώνας υποδηλώνει ότι ο αλγόριθμος μοντέλο προβλέπει ένα πιθανό αίτιο, το οποίο σχετίζεται με τις διαφορετικές πτυχές των αντιλήψεων των καταναλωτών. Για παράδειγμα εξετάζει την δεκτικότητα, τις επιφυλάξεις ή τον ενθουσιασμό τους προς τα ηλεκτρικά οχήματα, ενώ με ανάλογο τρόπο μπορούν να γίνουν προβλέψεις με στόχο την τμηματοποίηση του καταναλωτικού κοινού.



Σχήμα 17 :Αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου με ένα κρυφό επίπεδο 10 νευρώνων

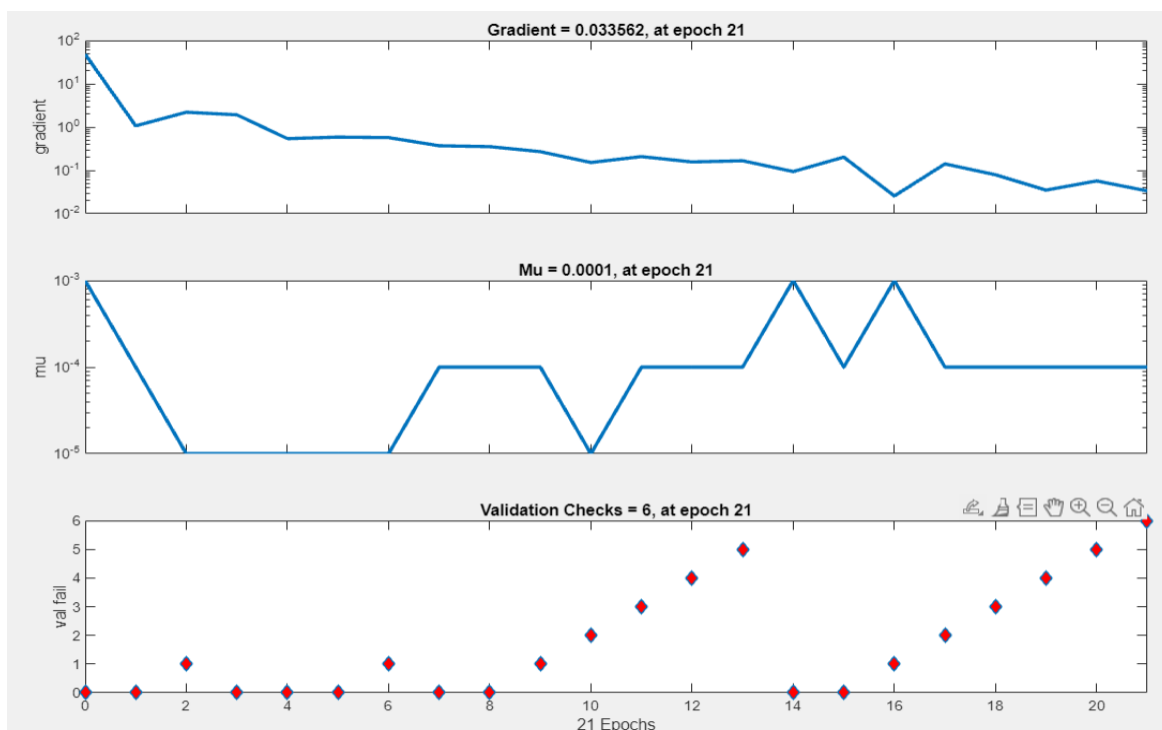
Πίνακας 4:Τα χαρακτηριστικά του νευρωνικού δικτύου

<i>Model</i>	<i>Algorithm</i>	<i>Random</i>
Summary		
Training	Levenberg-	
Algorithm	Marquardt	
Performance	Mean	
Measure	Squared	
	Error	
Training Start	18-Feb-	
Time	2025	
	12:40:22	
Layer Size	10	
Data		

Predictors (input)	30x7661 double
Responses (output)	1x7661 double
X (Target Array)	double array (30x1)
Observations	
Training	5363
Validation	1149
Test	1149
MSE	
Training	0,4793
Validation	0,5746
Test	0,5847
R (Correlation Coefficient)	
Training	0,5198
Validation	0,4192
Test	0,4096

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του Πίνακα 5 και συγκεκριμένα τις τιμές του συντελεστή R^2 για το training set (0,519) και για το testing set (0, 419), με τις τιμές του συντελεστή στον αλγόριθμο random forest, συμπεραίνουμε ότι το νευρωνικό δίκτυο είναι αποτελεσματικότερο για τους εξής λόγους. Το νευρωνικό δίκτυο παρουσιάζει καλύτερη ικανότητα γενίκευσης και πιο αξιόπιστες προβλέψεις σε αθέατα δεδομένα ,διότι στο σετ δεδομένων δοκιμής του είναι υψηλότερο από το 0,289 του random forest. Επομένως, το νευρωνικό δίκτυο αποδίδει καλύτερα σε δεδομένα στα οποία δεν έχει εκπαιδευτεί. Ακόμα, η απόδοσή του είναι συνεπής μεταξύ των δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμής, χωρίς να παρουσιάζει υπερπροσαρμογή, σε αντίθεση με το random

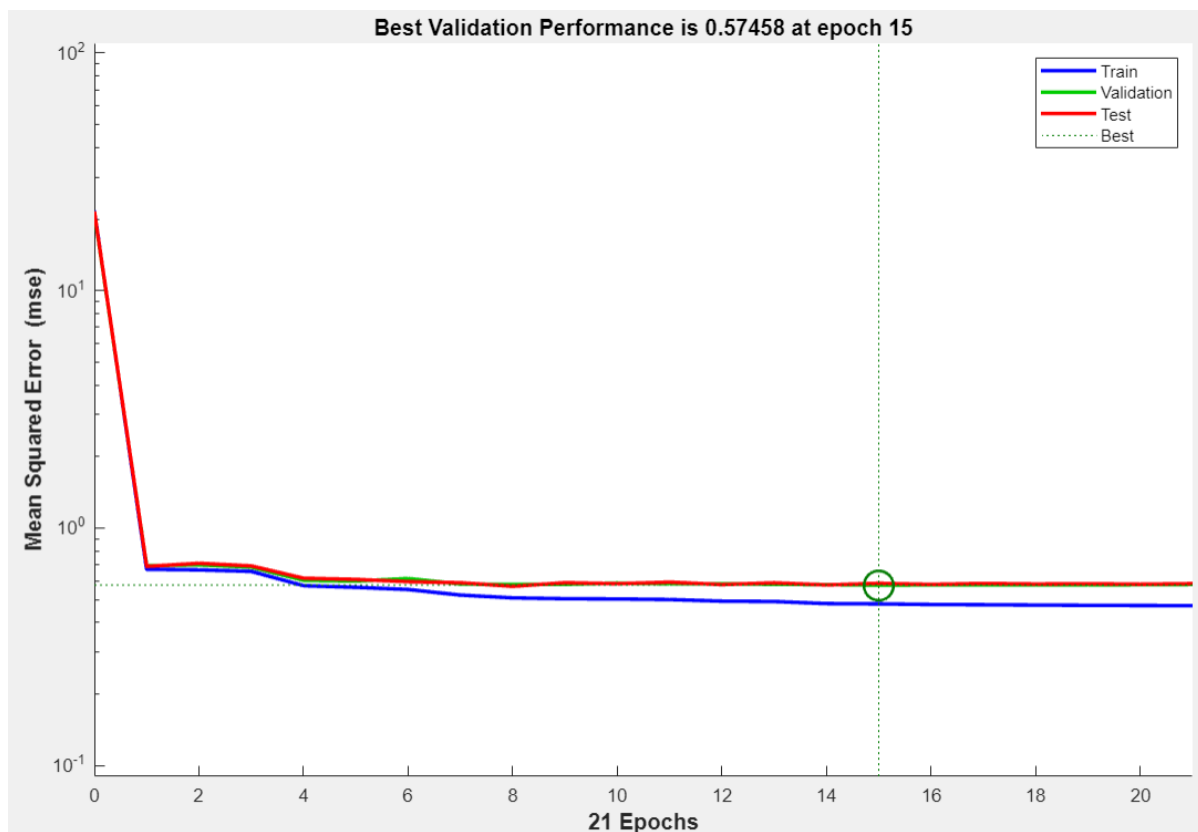
forest, το οποίο παρότι έχει υψηλό R^2 στα δεδομένα εκπαίδευσης (0,770), δείχνει σημαντική μείωση στο σετ δοκιμής, κάτι που καθιστά το νευρωνικό δίκτυο την καλύτερη επιλογή.



Σχήμα 18: Training state plot

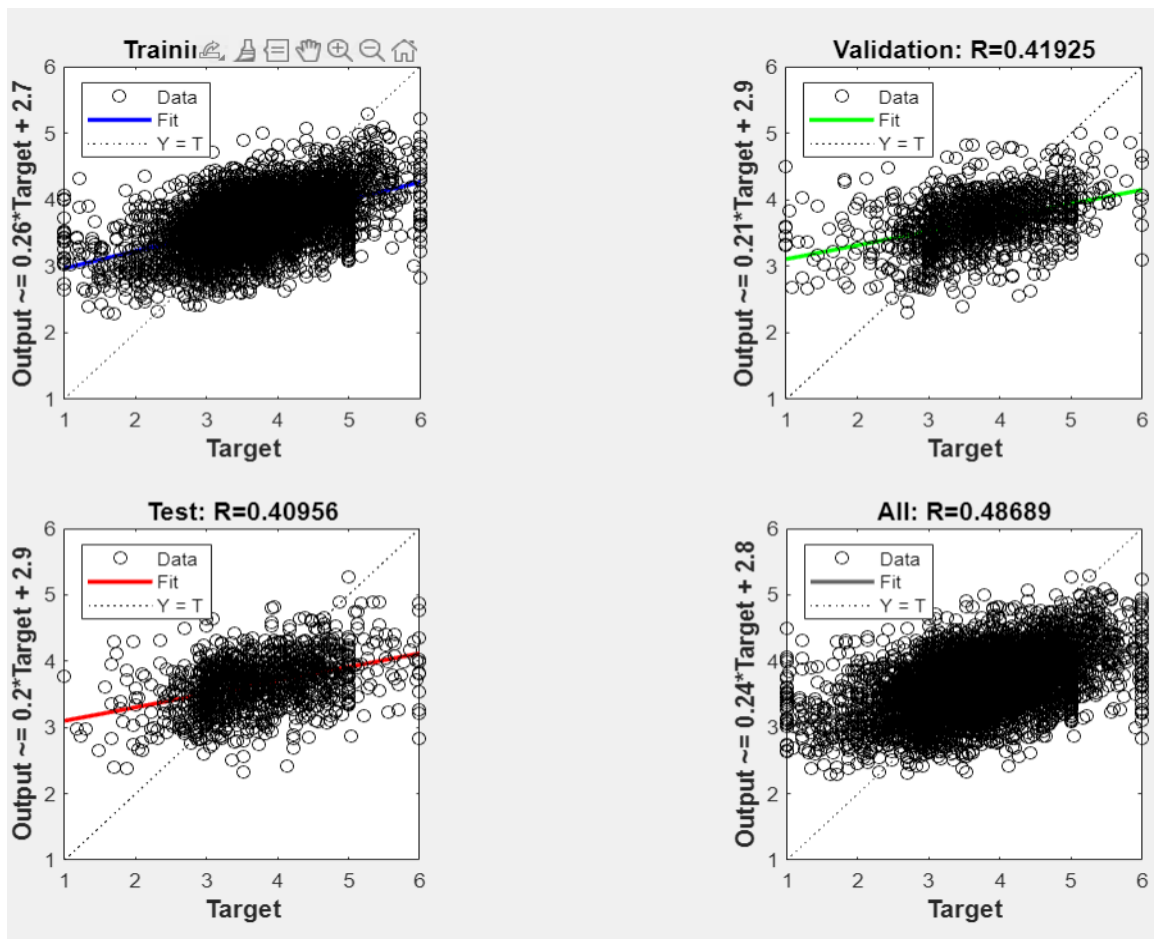
Κατά την περίοδο εκπαίδευσης του μοντέλου, όπως αυτή αναπαρίσταται στο Σχήμα 18, εξετάζονται η σταθεροποίηση της κλίσης (Gradient), ο ρυθμός μάθησης (MU) και οι έλεγχοι επικύρωσης (Validation Checks). Αναλυτικότερα, ξεκινώντας από την κλίση, παρατηρείται σταθερή ελάττωσή της, πράγμα που σημαίνει ότι το νευρωνικό δίκτυο μαθαίνει αποτελεσματικά και βελτιώνει τις προβλέψεις του με την πάροδο του χρόνου, ενώ το μοντέλο φαίνεται να συγκλίνει μέχρι την εποχή 21. Ύστερα, η μείωση του δείκτη μάθησης επιβεβαιώνει ότι η διαδικασία βελτιστοποίησης είναι καλά ελεγχόμενη, αποφεύγοντας τα προβλήματα της υπέρβασης και διασφαλίζοντας ότι οι παράμετροι του μοντέλου ρυθμίζονται σταδιακά. Τρίτον, η αύξηση των ελέγχων επικύρωσης μετά την 16^η εποχή προειδοποιούν για υπερπροσαρμογή στα δεδομένα εκπαίδευσης από εκείνο το σημείο και μετά, αντί να επεξεργάζεται-γενικεύει άγνωστα δεδομένα. Περιληπτικά, το μοντέλο φαίνεται να μαθαίνει αποτελεσματικά στην αρχή, αλλά μετά την 16^η

εποχή παρατηρείται overfitting, μαρτυρώντας την αδυναμία διαχείρισης της φυσικής μεταβλητότητας στις απαντήσεις των καταναλωτών.



Σχήμα 19: Performance plot

Διερευνώντας την σχέση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MSE) με την υπολογιστική ακρίβεια του νευρικού δικτύου (βλ. Σχήμα 19), διαπιστώνονται χαμηλές τιμές MSE στα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης, δοκιμών και επικύρωσης, οπότε το μοντέλο καταγράφει αποτελεσματικά τις γενικές τάσεις στα δεδομένα και πραγματοποιεί ακριβείς προβλέψεις. Η βέλτιστη απόδοση εντοπίζεται στην 15^η εποχή, όπου το MSE είναι το χαμηλότερο και μέχρι αυτό το σημείο θεωρείται ότι ο αλγόριθμος έχει μάθει καλά τα μοτίβα δεδομένων. Περαιτέρω εκπαίδευση, όμως, οδηγεί σε μικρές αυξήσεις στο σφάλμα και συνεπώς σε αύξηση του κινδύνου υπερπροσαρμογής. Στην εποχή 16 το νευρωνικό είναι ικανό να αναγνωρίσει τους βασικούς παράγοντες που ωθούν το ευρωπαϊκό καταναλωτικό κοινό στην επιλογή ηλεκτροκίνητων οχημάτων.



Σχήμα 20: Regression plot

Η μελέτη του γραφήματος που προκύπτουν από την εκπαίδευση νευρωνικού δικτύου ολοκληρώνεται με την περιγραφή του Σχήματος 20, το οποίο εκφράζει τη συνάρτηση την ανάλυση τμημάτων των καταναλωτών. Η έξοδος-στόχος (output and target) δείχνουν ότι το μοντέλο ευθυγραμμίζεται αποτελεσματικά με τις πραγματικές τιμές-στόχους, προβλέποντας έτσι με ακρίβεια την πλειοψηφία των απαντήσεων των συμμετεχόντων στην έρευνα, παρουσιάζοντας μικρές αδυναμίες σε συγκεκριμένες περιοχές. Η κατανομή των σφαλμάτων θα μπορούσε να χαρακτηριστεί συνεπής για τις περισσότερες εισόδους, με την έννοια ότι οι αιχμές προβάλλουν τη δυσκολία του μοντέλου με ορισμένα υποσύνολα δυνητικών πελατών ή χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, τέτοια είναι περιοχές με διαφορετικά επίπεδα υποδομών, ποικίλα επίπεδα γνώσεων των καταναλωτών ή άλλους παράγοντες που δεν έχουν ληφθεί πλήρως υπόψη.

Κλείνοντας, η ανάλυση της συμπεριφοράς των Ευρωπαίων καταναλωτών προς τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) μέσω ενός νευρωνικού δικτύου παρέχει κάποιες χρήσιμες, αλλά περιορισμένες πληροφορίες. Οι χαμηλές τιμές MSE δείχνουν ότι το μοντέλο έχει σχετικά καλή ακρίβεια πρόβλεψης, ενώ οι τιμές R, που βρίσκονται γύρω στο 0,51, υποδηλώνουν μια μέτρια θετική συσχέτιση μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο καταφέρνει να αναγνωρίσει κάποιες γενικές τάσεις, αλλά δεν αποτυπώνει πλήρως όλες τις λεπτομέρειες των καταναλωτικών αντιλήψεων, αφήνοντας περιθώρια βελτίωσης. Κατά την εκπαίδευση του δικτύου, η κλίση μειώθηκε σημαντικά και ο ρυθμός μάθησης σταθεροποιήθηκε, δείχνοντας ότι το δίκτυο μάθαινε αποτελεσματικά. Ωστόσο, η διακοπή της εκπαίδευσης μετά από 6 ελέγχους επικύρωσης υποδηλώνει ότι υπήρχε κίνδυνος υπερπροσαρμογής, γεγονός που μπορεί να περιορίσει την ικανότητα του μοντέλου να αποδίδει σε νέα δεδομένα. Παρόλο που το νευρωνικό δίκτυο κατάφερε να αναγνωρίσει κάποια πρότυπα στις καταναλωτικές αντιλήψεις, όπως οι ανησυχίες για το κόστος, την αυτονομία και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των EVs, η μέτρια συσχέτιση και η μεταβλητότητα στις απαντήσεις, μαρτυρούν ότι υπάρχουν επιπλέον παράγοντες που το μοντέλο δεν αποτυπώνει πλήρως. Αυτή η αδυναμία πιθανόν οφείλεται στην πολυπλοκότητα των δεδομένων και στις μη γραμμικές σχέσεις που το μοντέλο δεν εντόπισε επαρκώς. Για να βελτιωθεί η απόδοση του μοντέλου, κρίνεται σκόπιμο να εξεταστούν πιο σύνθετες αρχιτεκτονικές δομές νευρωνικών δικτύων ή να εφαρμοστούν εναλλακτικές μέθοδοι μηχανικής μάθησης, όπως τα gradient boosting machines. Οι βελτιώσεις αυτές, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη πιο στοχευμένων στρατηγικών μάρκετινγκ, τη διαμόρφωση πολιτικών αποφάσεων και την καθοδήγηση της ανάπτυξης προϊόντων, ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες και τις ανησυχίες των καταναλωτών.

Κεφάλαιο 5-Συμπεράσματα και προοπτικές

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία παρείχε μια εκτενή ανάλυση των προτιμήσεων των Ευρωπαίων πολιτών σχετικά με τα ηλεκτρικά οχήματα, αξιοποιώντας σύγχρονες τεχνικές μηχανικής μάθησης. Μέσω της χρήσης γραμμικής παλινδρόμησης, του αλγορίθμου random forest και νευρωνικών δικτύων με backpropagation, αναδείχθηκαν βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την πρόθεση των καταναλωτών για αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Σημαντικοί παράγοντες, όπως η χώρα καταγωγής (ιδίως η Γερμανία), η κατοχή περισσότερων οχημάτων και η προηγούμενη επαφή με ηλεκτρικά οχήματα, αποδείχθηκαν καθοριστικοί στην επιλογή των καταναλωτών. Επίσης, κοινωνικές και δημογραφικές μεταβλητές, όπως ο πολιτικός προσανατολισμός και οι στάσεις απέναντι στα παραδοσιακά οχήματα, φάνηκε να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των καταναλωτικών προτιμήσεων.

Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων αποκάλυψαν ότι, παρά την επαρκή απόδοση των μοντέλων μηχανικής μάθησης στην ανάλυση των προτιμήσεων, υπήρξαν αποκλίσεις μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών. Άρα, το σημαντικότερο είναι να εντοπιστούν άλλοι παράγοντες, πέρα από αυτούς της συγκεκριμένης έρευνας, οι οποίοι να ερμηνεύουν καλύτερα τις αντιλήψεις των καταναλωτών. Η μέτρια επίδοση του R^2 στην γραμμική παλινδρόμηση και οι διαφοροποιήσεις στις προβλέψεις των αλγορίθμων random forest και νευρωνικών δικτύων καταδεικνύουν την ανάγκη για πιο προηγμένες τεχνικές. Παράλληλα, τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη σημασία της προσαρμογής στρατηγικών προώθησης και δημόσιων πολιτικών για την ενίσχυση της υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων, με βάση τις ποικίλες ανάγκες και ανησυχίες των Ευρωπαίων καταναλωτών. Η βελτίωση των υποδομών, η οικονομική ενίσχυση και η κατάλληλη πληροφόρηση για τα οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στην αύξηση της αποδοχής τους.

Τέλος, η μελέτη αυτή αναδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω ερευνητικής διερεύνησης και χρήσης πιο προηγμένων τεχνικών, όπως τα gradient boosting machines ή τα πιο σύνθετα νευρωνικά δίκτυα, ώστε να βελτιωθεί η πρόβλεψη της καταναλωτικής συμπεριφοράς. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι προτιμήσεις των καταναλωτών μεταβάλλονται δυναμικά και επηρεάζονται από εξωγενείς παράγοντες (οικονομικούς, γεωπολιτικούς, κτλ.), τέτοιου είδους έρευνες θα πρέπει να πραγματοποιούνται περιοδικά. Με την πρόοδο της τεχνολογίας και των υποδομών, οι μελλοντικές

έρευνες μπορούν να προσφέρουν σημαντικές γνώσεις για την προώθηση της υιοθέτησης ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη.

Βιβλιογραφία

- International Energy Agency, I. (2023). *Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions*. www.iea.org
- Barkenbus, J. N. (2020a). Prospects for electric vehicles. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 14, pp. 1–13). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12145813>
- Barkenbus, J. N. (2020b). Prospects for Electric Vehicles. *Sustainability*, 12(14), 5813. <https://doi.org/10.3390/su12145813>
- Brescia, V., Degregori, G., Maggi, D., & Hadro, D. (2023). An integrated vision of electric vehicles' consumer behaviour: Mapping the practitioners to consolidate the research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137210>
- Contestabile, M., Tal, G., & Turrentine, T. (n.d.). *Lecture Notes in Mobility Who's Driving Electric Cars Understanding Consumer Adoption and Use of Plug-in Electric Cars*. <http://www.springer.com/series/11573>
- Cruz-Jesus, F., Figueira-Alves, H., Tam, C., Pinto, D. C., Oliveira, T., & Venkatesh, V. (2023). Pragmatic and idealistic reasons: What drives electric vehicle drivers' satisfaction and continuance intention? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103626>
- EAFO Analysis: Trends in EV Charging Infrastructure Across Europe. (2024, May 10). *European Commission*.
- Energy Agency, I. (2024). *Global EV Outlook 2024 Moving towards increased affordability*. www.iea.org
- Fluchs, S. (2020). The diffusion of electric mobility in the European Union and beyond. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102462>
- Haugneland, P., & Hauge, E. (2015). Norwegian electric car user experiences 2014. *World Electric Vehicle Journal*, 7(4), 650–658. <https://doi.org/10.3390/wevj7040650>

Held, T., & Gerrits, L. (2019). On the road to electrification – A qualitative comparative analysis of urban e-mobility policies in 15 European cities. *Transport Policy*, 81, 12–23. <https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2019.05.014>

Neshat, N., Kaya, M., & Ghaboulia Zare, S. (2023). Exploratory policy analysis for electric vehicle adoption in European countries: A multi-agent-based modelling approach. *Journal of Cleaner Production*, 414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137401>

Numeracy, Maths and Statistics - Academic Skills Kit. (n.d.). NewcastleUniversity. Retrieved September 10, 2024, from <https://www.ncl.ac.uk/webtemplate/ask-assets/external/maths-resources/statistics/regression-and-correlation/simple-linear-regression.html>

Press_release_car_registrations-April_2024. (2024). ACEA.

Puja P. Pathak. (2021, March 8). *The Mathematics behind Linear Regression*. Medium. <https://pujappathak.medium.com/the-mathematics-behind-linear-regression-fb4db1ebd7b5>

Rob Kroon. (2020, January 9). *Rob Kroon | Effectiveness of financial incentive for stimulating BEV uptake | proEME.eu*. <https://www.pro-eme.eu/2020/01/09/rob-kroon-effectiveness-of-financial-incentive-for-stimulating-bev-uptake/>

Rogers, E. M. . (1995). *Diffusion of innovations*. Free Press.

Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities 2021, Vol. 4, Pages 372-404*, 4(1), 372–404. <https://doi.org/10.3390/SMARTCITIES4010022>

Scarcella, G. ., Zubaryeva, C. ., Alemanno, A. ., Thiel, C. ., & Pasaoglu, G. . (2012). *Attitude of European car drivers towards electric vehicles : a survey*. Publications Office.

Serhii, H. (n.d.). *EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY*.

S&P Global Mobility Survey Finds EV Affordability tops Charging and Range Concerns in Slowing EV Demand. (2023). www.spglobal.com/mobility.

The Economics of Technological Diffusion, Basil Blackwell, 2002. (n.d.). Retrieved September 10, 2024, from

https://www.researchgate.net/publication/261159541_The_Economics_of_Technological_Diffusion_Basil_Blackwell_2002

The Product Diffusion Curve - Matching Messages to Client Groups During a Product's Life. (n.d.). MindTools. Retrieved September 10, 2024, from <https://www.mindtools.com/az39osf/the-product-diffusion-curve>

Thiel, Christian., Krause, Jette., & Dilara, Panagiota. (2015). *Electric vehicles in the EU from 2010 to 2014 - is full scale commercialisation near?* Publications Office.

Tietge, U., Mock, P., Lutsey, N., Beijing, A. C., Berlin, |, & Brussels, |. (2016). *COMPARISON OF LEADING ELECTRIC VEHICLE POLICY AND DEPLOYMENT IN EUROPE*. www.theicct.org

Tom Clarke. (2021). Machine Learning — Beginner's Guide to Random Forest Classifiers (The Maths). *CodeX*.

Westerhof, M., Reyes García, J. R., Haveman, S., & Bonnema, G. M. (2023). Transnational survey data on European consumers' attitude and perceived knowledge about electric vehicles. *Data in Brief*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109378>

Kester, J., Noel, L., Zarazua de Rubens, G., & Sovacool, B. K. (2018). Policy mechanisms to accelerate electric vehicle adoption: A qualitative review from the Nordic region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 719–731. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.067>

Wang, N., Tang, L., & Pan, H. (2019). A global comparison and assessment of incentive policy on electric vehicle promotion. *Sustainable Cities and Society*, 44, 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.024>

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324/METRICS>

Werbos, P. J. (2005). Applications of advances in nonlinear sensitivity analysis. *System Modeling and Optimization*, 762–770. <https://doi.org/10.1007/BFB0006203>

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature* 1986 323:6088, 323(6088), 533–536. <https://doi.org/10.1038/323533a0>