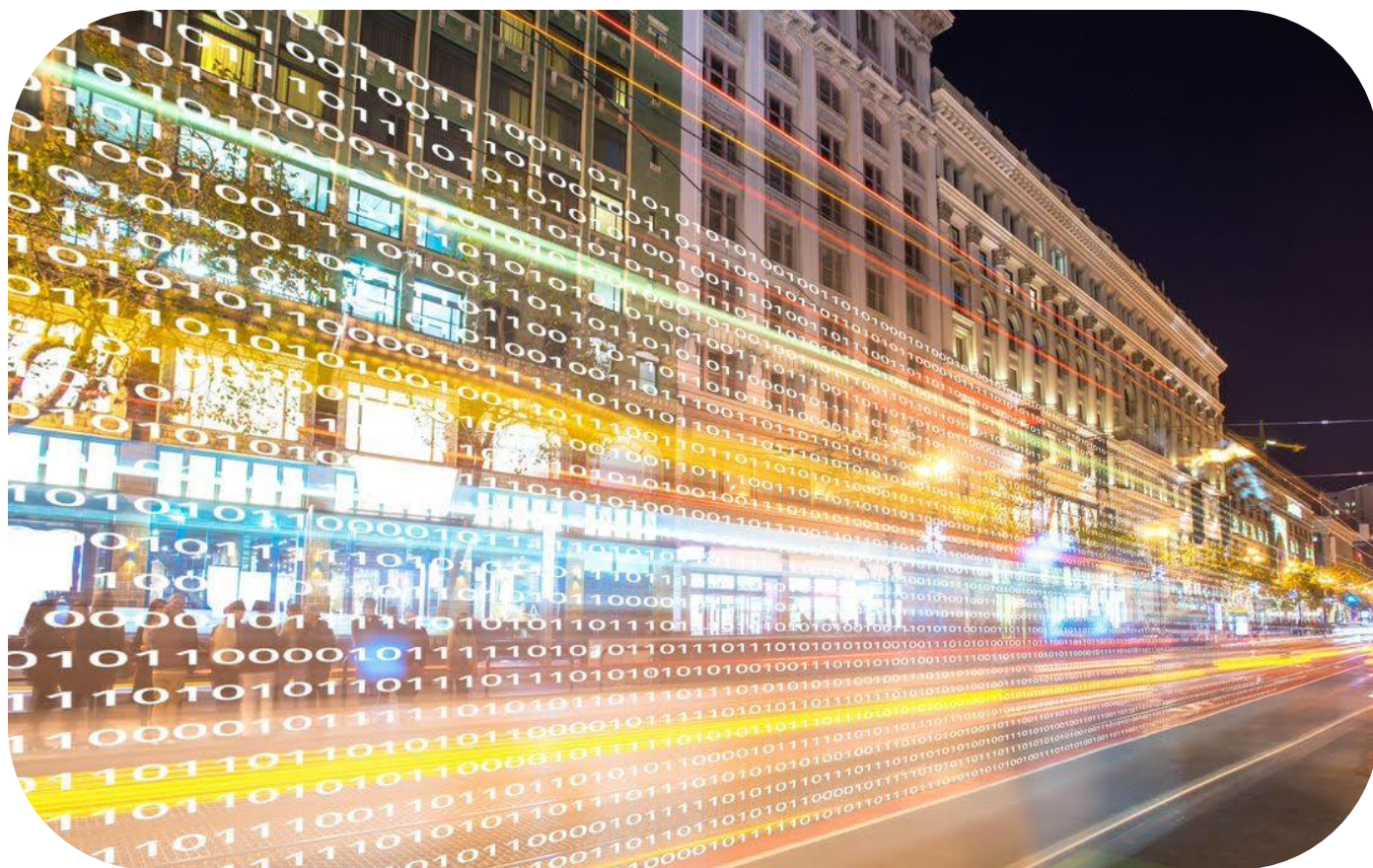




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση Κρίσιμων Παραγόντων Επιρροής των Κυκλοφοριακών Συνθηκών στην Αθήνα



Κρινή Παρασκευή

Επιβλέπων:

Γ. Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών, στη διάρκεια των οποίων γνώρισα και συνεργάστηκα με σημαντικούς ανθρώπους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη καθοδήγηση του και για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω εξίσου θερμά την Βιργινία Πετράκη, υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π. για την καθοριστική της συμβολή για την ολοκλήρωση της εργασίας, για την επιμονή και υπομονή της δίνοντας απαντήσεις σε όλες μου τις απορίες, και καθοδηγώντας με σε έννοιες και μεθόδους όπου δεν ήμουν εξοικειωμένη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους μου τους νέους φίλους αλλά και τους παλιούς μου συνέβαλλαν στην δημιουργία όμορφων εμπειριών κατά τα φοιτητικά μου χρόνια. Καθώς επίσης και την οικογένεια μου που με υποστήριξε ψυχολογικά και οικονομικά έτσι ώστε να επιτύχω τους στόχους μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Κρινή Παρασκευή

Σύνοψη

Ανάλυση κρίσιμων παραγόντων επιρροής κυκλοφοριακών συνθηκών στην Αθήνα

Κρινή Παρασκευή

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάλυση κρίσιμων παραγόντων επιρροής των κυκλοφοριακών συνθηκών στην Αθήνα. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται η διερεύνηση της πολυπαραγοντικής φύσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης και η ανάδειξη των παραμέτρων που την επηρεάζουν όπως οι καιρικές συνθήκες, η χρονική περίοδος (ώρα, ημέρα) και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών αξόνων. Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα, όπως η ταχύτητα κυκλοφορίας μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google για 62 οδικούς άξονες στην Αθήνα και ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος σε 26 σημεία, μέσω του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας, για την περίοδο από Ιανουάριο έως Ιούλιο του 2022. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκαν δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες και γεωμετρικά οδικά χαρακτηριστικά. Σε πρώτο στάδιο διερευνήθηκε η σχέση ταχύτητας-φόρτου και η εξέλιξη της κυκλοφορίας υπό διαφορετικές καιρικές και χρονικές συνθήκες. Έπειτα, αναπτύχθηκε αλγόριθμος Μηχανικής Μάθησης CatBoost με σκοπό τη διερεύνηση του βαθμού επιρροής κάθε μεταβλητής στον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο και στη ταχύτητα κυκλοφορίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν πέντε Αναλύσεις Συστάδων (Cluster Analysis) που στόχευαν στην ταυτοποίηση συστάδων ωρών με βάση τις παρατηρούμενες κυκλοφοριακές συνθήκες υπό διάφορες συνθήκες, αξιοποιώντας τη μέθοδο K-means. Τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Συστάδων αποκαλύπτουν ότι τις καθημερινές πρωινές ώρες επικρατούν υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι και χαμηλές ταχύτητες, ενώ οι βραδινές ώρες του σαββατοκύριακου εμφανίζουν διαφοροποιήσεις στον φόρτο. Επιπλέον, η θερμοκρασία και η βροχόπτωση επιδρούν στις κυκλοφοριακές συνθήκες, με τις υψηλές θερμοκρασίες και ελαφριά βροχόπτωση να αυξάνουν τον φόρτο και να μειώνουν την ταχύτητα, ενώ η έντονη βροχή συνδέεται με μειωμένο φόρτο και υψηλότερες ταχύτητες.

Λέξεις-κλειδιά: κυκλοφοριακός φόρτος, ταχύτητα κυκλοφορίας, καιρικά φαινόμενα, CatBoost, Ανάλυση σε συστάδες

Abstract

Analysis of factors influencing traffic conditions changes in Athens

The aim of this thesis is to analyse the critical factors influencing traffic conditions in Athens. More specifically, it aims to investigate the multifaceted nature of traffic congestion and highlight the parameters affecting it, such as weather conditions, time period (hour, day), and geometric characteristics of (road axes). For this reason, traffic data was collated from selected road segments in Athens, including traffic speed through Google Maps for 62 (road axes) and the hourly traffic volume at 26 points via the Centre for Traffic Management, covering the period from January to July 2022. Additionally, data on weather conditions were gathered, and the final database was completed with geometric road features. In the first phase, the relationship between traffic speed - traffic volume was examined, along with the evolution of traffic under different weather and time conditions. Subsequently, a CatBoost Machine Learning algorithm was developed to discover the degree of influence of each variable under investigation on traffic, specifically concerning hourly traffic volume and traffic speed. Then, five Cluster Analyses were conducted which aimed to identify clusters based on observed traffic conditions under various environmental and time factors, using the K-means method. The application of the models revealed that traffic metrics are significantly related to the time and type of day (weekday/weekend), with peak traffic volume occurring on weekdays during morning rush hours. Moreover, an increase in temperature is associated with a decrease in traffic volume in the morning and an increase in the evening, while the presence of rain increases low volume of traffic and decreases high traffic speeds.

Keywords: traffic volume, average traffic speed, weather phenomena, CatBoost, Cluster analysis.

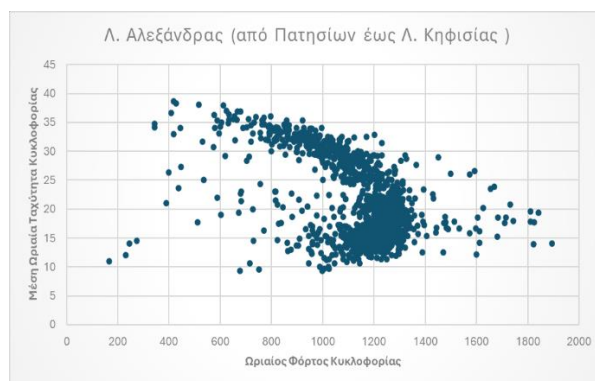
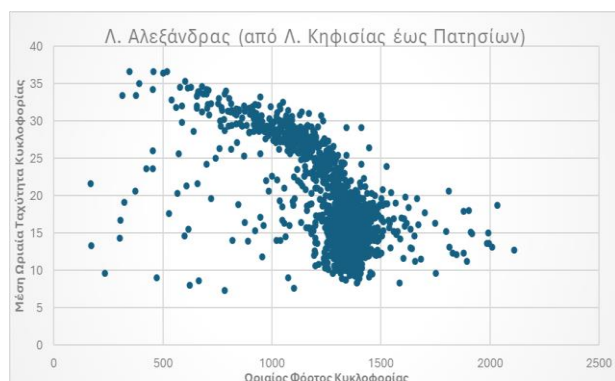
Περίληψη

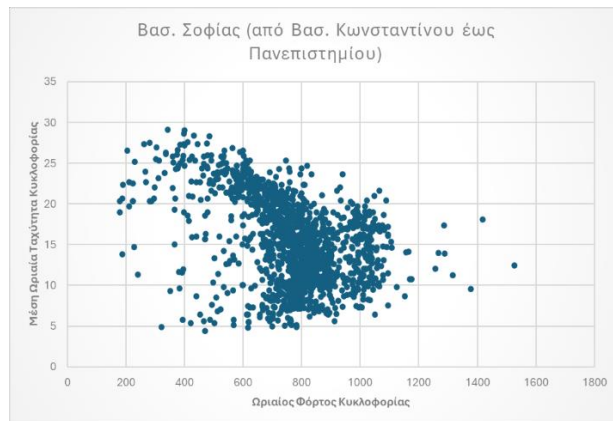
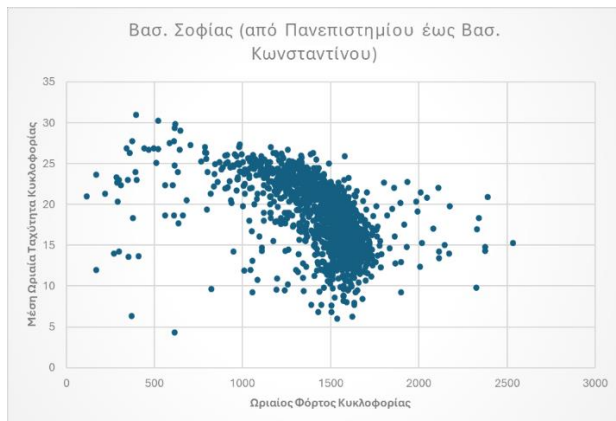
Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η ανάλυση **κρίσιμων παραγόντων επιρροής των κυκλοφοριακών συνθηκών στην Αθήνα**. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται η διερεύνηση της πολυπαραγοντικής φύσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης και η ανάδειξη των παραμέτρων που την επηρεάζουν όπως οι καιρικές συνθήκες, η χρονική περίοδος (ώρα, ημέρα) και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών αξόνων.

Για το σκοπό αυτό **συλλέχθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα** σε επιλεγμένα οδικά τμήματα της Αθήνας, όπως ταχύτητα κυκλοφορίας μέσω της υπηρεσίας χαρτών Google Maps για 62 οδικούς άξονες στην Αθήνα και ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος σε 26 σημεία, μέσω του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας, για την περίοδο από Ιανουάριο έως Ιούλιο του έτους 2022. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκαν δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες όπως ύψος βροχής, θερμοκρασία, ύψος χιονόπτωσης και η τελική βάση συμπληρώθηκε με γεωμετρικά οδικά χαρακτηριστικά όπως τύπος οδού, όριο ταχύτητας και αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας.

Έπειτα από τη συλλογή των δεδομένων και τη δημιουργία της κεντρικής βάσης δεδομένων, ακολουθήθηκε στατιστική περιγραφική ανάλυση με σκοπό την πρωταρχική ερμηνεία των δεδομένων. Σε πρώτο στάδιο διερευνήθηκε η σχέση ταχύτητας-φόρτου αξιοποιώντας δεδομένα από δύο διαφορετικές πηγές και η εξέλιξή της κυκλοφορίας υπό διαφορετικές καιρικές και χρονικές συνθήκες. Αναπτύχθηκε ο **αλγόριθμος Μηχανικής Μάθησης CatBoost** με σκοπό της αναζήτησης του βαθμού επιρροής κάθε μεταβλητής υπό εξέταση στην κυκλοφορία και πιο συγκεκριμένα στον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο και στην ταχύτητα κυκλοφορίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν **πέντε Αναλύσεις Συστάδων** (Cluster Analysis) που στόχευαν στην ταυτοποίηση συστάδων με βάση τις παρατηρούμενες κυκλοφοριακές συνθήκες υπό διάφορους περιβαλλοντικούς και χρονικούς παράγοντες, αξιοποιώντας τη μέθοδο K-means. Η εν λόγω ανάλυση μπορεί να συμβάλει στον χαρακτηρισμό των ωρών υπό συγκεκριμένες συνθήκες ως περισσότερο ή λιγότερο επιβαρυσμένες κυκλοφοριακά. Οι κύριες μεταβλητές που αξιοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των κυκλοφοριακών συνθηκών στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης ήταν ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα και η ταχύτητα κυκλοφορίας.

Μέσω των ακόλουθων διαγραμμάτων μπορεί να επιβεβαιωθεί η μη γραμμική σχέση ταχύτητας φόρτου.





Διάγραμμα 1: Σχέση ταχύτητας κυκλοφορίας-ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγορίθμου CatBoost.

Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος		Ταχύτητα Κυκλοφορίας	
Feature	Importance (%)	Feature	Importance (%)
Αριθμός λωρίδων	42,146	Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος	19,38
Ταχύτητα Κυκλοφορίας	18,266	Ημέρα της εβδομάδας	17,63
Ώρα	11,445	Όριο ταχύτητας	13,34
Θερμοκρασία	8,862	Θερμοκρασία	12,27
Όριο ταχύτητας	5,724	Ώρα	11,37
Ημέρα	5,451	Μήνας	10,98
Μήνας	4,391	Ημέρα	8,57
Ημέρα της εβδομάδας	2,447	Αριθμός λωρίδων	4,68
Βροχόπτωση	0,821	Βροχόπτωση	1,01
Χιονόπτωση	0,236	Μέρα/Νύχτα	0,49
Μέρα/Νύχτα	0,213	Χιονόπτωση	0,28

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας βαθμού επιρροής (CatBoost)

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις Αναλύσεις Συστάδων καθώς και οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη για τη διαμόρφωση των απαραίτητων συνθηκών για την κάθε Ανάλυση.

Μεταβλητή	1 ^η Ανάλυση	2 ^η Ανάλυση	3 ^η Ανάλυση	4 ^η Ανάλυση	5 ^η Ανάλυση
Βροχή	X				
Μέρα		X		X	
Ώρα			X		
Ημέρα της εβδομάδας			X		
Θερμοκρασία				X	
Αριθμός λωρίδων					X
Όριο ταχύτητας					X

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας συνδυασμού μεταβλητών ανά Ανάλυση Συστάδων

	Κυκλοφοριακή Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά λωρίδα
Συνθήκη 1.1 (χωρίς βροχή)		
Cluster 1	19.518	271.050
Cluster 2	18.498	477.820
Συνθήκη 1.2 (με βροχή)		
Cluster 1	19.499	283.548
Cluster 2	18.466	468.375

	Κυκλοφοριακή Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά λωρίδα
Συνθήκη 2.1(πρωί)		
Cluster 1	18.286	477.414
Cluster 2	18.857	271.552
Συνθήκη 2.2 (βράδυ)		
Cluster 1	26.225	263.997
Cluster 2	25.836	431.723
Συνθήκη 3.1 (Καθημερινή 8-10π.μ.)		
Cluster 1	16.225	508.070
Cluster 2	15.758	362.184
Cluster 3	25.111	156.510
Cluster 4	16.644	713.666
Συνθήκη 3.2 (Καθημερινή 4-6μ.μ.)		
Cluster 1	16.896	251.365
Cluster 2	16.859	477.046
Συνθήκη 3.3 (Σαββατοκύριακο 4-6μ.μ.)		
Cluster 1	26.385	372.415
Cluster 2	23.687	217.489
Cluster 3	22.894	502.096
Συνθήκη 3.4 (Σαββατοκύριακο 9-11μ.μ.)		
Cluster 1	26.225	263.997
Cluster 2	25.836	431.723
Συνθήκη 4.1 (Πρωί $t \leq 10^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	17.182	264.104
Cluster 2	17.629	487.837
Συνθήκη 4.2 (Βράδυ $t \leq 10^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	25.335	417.847
Cluster 2	27.134	255.632
Συνθήκη 4.3 (Πρωί $10^{\circ}\text{C} < t \leq 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	18.455	477.218
Cluster 2	18.936	275.767
Συνθήκη 4.4 (Βράδυ $10^{\circ}\text{C} < t \leq 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	26.278	282.096
Cluster 2	25.303	459.259
Συνθήκη 4.5 (Πρωί $t > 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	19.882	271.522
Cluster 2	18.569	469.329
Συνθήκη 4.6 (Βράδυ $t > 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	22.684	228.022
Cluster 2	26.746	367.997
Cluster 3	28.678	504.391
Συνθήκη 5.1 (Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 3)		
Cluster 1	17.825	431.002
Cluster 2	26.989	301.266
Συνθήκη 5.2 (Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 4)		
Cluster 1	16.750	693.020
Cluster 2	23.648	254.619
Cluster 3	20.771	497.236
Συνθήκη 5.3 (Όριο ταχύτητας 60, λωρίδες 3)		
Cluster 1	18.049	499.873
Cluster 2	16.069	257.277

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία σειρά συμπερασμάτων που συνδέονται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα

ερωτήματα που τέθηκαν. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα αυτά, με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα **συμπεράσματα** συνοψίζονται ως εξής:

- 1. Συσχέτιση Ταχύτητας και Φόρτου:** Ένα από τα κύρια ευρήματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η επαλήθευση της μη γραμμικής και ισχυρής συσχέτισης μεταξύ ταχύτητας κυκλοφορίας και ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου. Συγκεκριμένα, επαληθεύτηκε η θεμελιώδης μη γραμμική σχέση ταχύτητας - φόρτου, αξιοποιώντας δεδομένα από δύο διαφορετικές πηγές, προσφέροντας τη δυνατότητα σύγκρισης και ενοποίησης διαφορετικών προσεγγίσεων στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας.
- 2. Παράγοντες Επιρροής Ταχύτητας Κυκλοφορίας:** Ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος, η ημέρα μέσα στην εβδομάδα, το όριο ταχύτητας και η θερμοκρασία είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν και μπορούν να συμβάλλουν στην πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας των οχημάτων ανά ώρα. Ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας επιρροής της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας συγκριτικά με τις υπόλοιπες υπό εξέταση παραμέτρους. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η ημέρα της εβδομάδας επηρεάζει τη μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σημαντικά, δεδομένου ότι τις καθημερινές παρατηρείται σημαντικά υψηλότερη κυκλοφορία και δραστηριότητα λόγω εργασιακών και καθημερινών αναγκών συγκριτικά με τα σαββατοκύριακα που η κυκλοφορία είναι πιο αραιή με αποτέλεσμα υψηλότερες ταχύτητες. Το όριο ταχύτητας καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα κυκλοφορίας ενώ η θερμοκρασία επηρεάζει τις κυκλοφοριακές συνθήκες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να οδηγούν σε υψηλότερες ταχύτητες λόγω της αποφυγής μετακινήσεων ή ενδεχόμενων θερινών διακοπών. Παράγοντες όπως το ύψος χιονόπτωσης και βροχόπτωσης δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα κυκλοφορίας, ενδεχομένως λόγω της απουσίας ακραίων καιρικών φαινομένων στην Αθήνα.
- 3. Παράγοντες Επιρροής Κυκλοφοριακού Φόρτου:** Αντίστοιχα, ο αριθμός λωρίδων της οδού, η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας, η ώρα μέσα στην ημέρα, και η θερμοκρασία επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο. Ο αριθμός των λωρίδων είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας, καθώς αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα του άξονα. Η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας είναι ο δεύτερος πιο καθοριστικός παράγοντας επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου, αφού έχουν έντονη συσχέτιση μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, η ώρα της ημέρας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την πρόβλεψη του κυκλοφοριακού φόρτου, με τις ώρες αιχμής να αντιστοιχούν σε αυξημένο φόρτο. Ενώ η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης σημαντικά και μη γραμμικά τον κυκλοφοριακό φόρτο αναλόγως την ώρα μέσα στην ημέρα. Παράγοντες όπως το ύψος χιονόπτωσης και βροχόπτωσης δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά τον κυκλοφοριακό φόρτο, ενδεχομένως λόγω της απουσίας ακραίων καιρικών φαινομένων στην Αθήνα.
- 4. Επίδραση Ημέρας και Ώρας στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες:**
 - Τις καθημερινές παρατηρούνται **υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι κατά τις πρωινές ώρες (8-10 π.μ.)**, συνοδευόμενοι από σημαντικά χαμηλές ταχύτητες,

υποδεικνύοντας αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αυτό είναι λογικό διότι οι περισσότεροι εργαζόμενοι και μαθητές ξεκινούν τις μετακινήσεις τους προς χώρους εργασίας, σχολεία ή πανεπιστήμια. Αντίθετα, τα σαββατοκύριακα το βράδυ παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση στον κυκλοφοριακό φόρτο, καθώς οι μετακινήσεις εξαρτώνται περισσότερο από ψυχαγωγικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Αυτό σημαίνει ότι ο φόρτος μπορεί να αυξηθεί σε ορισμένους οδικούς άξονες που οδηγούν σε περιοχές διασκέδασης ή κέντρα πόλεων, ενώ άλλοι άξονες μπορεί να εμφανίζουν μείωση.

- Η πρωινή ώρα αιχμής τις καθημερινές (**8-10 π.μ.**) παρουσιάζει **έντονη συμφόρηση**, με τέσσερις συστάδες ωρών που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακών συνθηκών. Οι συστάδες με πολύ υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο αντιστοιχούν σε χαμηλότερες ταχύτητες, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα ωριαίου φόρτου οδηγούν σε υψηλότερες ταχύτητες. Κατά την απογευματινή ώρα αιχμής ο κυκλοφοριακός φόρτος φαίνεται να έχει μικρότερη επίδραση στην ταχύτητα σε σύγκριση με την πρωινή αιχμή και οι κυκλοφοριακές συνθήκες είναι λιγότερο σύνθετες και ποικίλες.
- Τα σαββατοκύριακα, οι ταχύτητες είναι σημαντικά υψηλότερες, ακόμα και με υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους, υποδεικνύοντας **καλύτερες κυκλοφοριακές συνθήκες**.

5. Επίδραση Θερμοκρασίας στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες

- Στις διάφορες θερμοκρασιακές συνθήκες προκύπτει ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος αποτελεί τον κύριο παράγοντα διαχωρισμού των συστάδων κατά τις πρωινές ώρες, όπου οι ταχύτητες παραμένουν σχετικά σταθερές ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία. Συγκριτικά, παρατηρείται σταδιακή μείωση του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου και αύξηση της ταχύτητας κυκλοφορίας, με αύξηση της θερμοκρασίας κατά τις πρωινές ώρες.
- Αντίθετα, τις βραδινές ώρες, η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει και την ταχύτητα και τον κυκλοφοριακό φόρτο, με τις συστάδες ωρών να διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με την κυκλοφοριακή ροή και τη θερμοκρασιακή διακύμανση, υποδεικνύοντας πιο σύνθετες συνθήκες κυκλοφορίας. Το βράδυ, οι μετακινήσεις γίνονται λιγότερο οργανωμένα και είναι συνήθως λιγότερο πυκνές, με μεγαλύτερη επίδραση από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία.

6. Επίδραση Βροχής στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες

- Το ύψος της βροχής επηρεάζει τη διαφοροποίηση του κυκλοφοριακού φόρτου και της ταχύτητας κυκλοφορίας. Σταδιακή αύξηση της βροχής επιφέρει αρχικά αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου και στη συνέχεια μείωση. Αντίστοιχα, η κυκλοφοριακή ταχύτητα σημειώνει μείωση, και η περεταίρω αύξηση της βροχής οδηγεί σε αυξημένες ταχύτητες. Η μέγιστη τιμή της κυκλοφοριακής ταχύτητας είναι τα 28Km/h, συνεπώς η αύξηση οφείλεται σε μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης.
- Η ύπαρξη της βροχής επιδρά κυρίως **στον κυκλοφοριακό φόρτο**. Οι χαμηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι φαίνεται να αυξάνονται με την βροχή, ενώ αντίθετα, οι

υψηλοί φόρτοι μειώνονται. Κατά τις ώρες αιχμής, η βροχή λειτουργεί αποθαρρυντικά για τη χρήση ιδιωτικού οχήματος.

- Η βροχή δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την **ταχύτητα κυκλοφορίας** αφού παρουσιάζει μικρή μείωση, και συνεπώς δεν επιδρά θετικά στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

7. Επίδραση Γεωμετρικών Οδικών Χαρακτηριστικών στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες

- Εξετάζοντας την επιρροή του **ορίου ταχύτητας**, διαπιστώθηκε ότι στους οδικούς άξονες με υψηλότερο όριο ταχύτητας παρουσιάζεται υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος και χαμηλότερες ταχύτητες κυκλοφορίας. Το αυξημένο όριο ταχύτητας επιφέρει **εντονότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση** προσελκύνοντας υψηλότερο κυκλοφοριακό φόρτο.
- Ο αυξημένος **αριθμός λωρίδων** επιφέρει **έντονη συμφόρηση**, σημειώνοντας υψηλότερο κυκλοφοριακό φόρτο στους άξονες με τέσσερις λωρίδες, με ταυτόχρονη μείωση στην ταχύτητα κυκλοφορίας. Ο οδηγός φαίνεται να προτιμάει τους άξονες με το μεγαλύτερο πλάτος, αφού θεωρεί ότι θα εξυπηρετηθεί πιο γρήγορα.

8. Κυκλοφοριακές Τάσεις:

- Παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σε όλους τους υπό μελέτη οδικούς άξονες, κυμαίνεται υπό του ορίου ταχύτητας, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνεται περίπου στο μισό του ορίου.
- Η μέση μηνιαία ταχύτητα αυξάνεται κατά τους μήνες που παρατηρούνται αργίες/διακοπές (Απρίλιος: Πάσχα, Ιούλιος). Ενώ, ο μηνιαίος ωριαίος φόρτος φαίνεται να αυξάνεται κατά την περίοδο του Φεβρουαρίου και του Ιουνίου.

9. Γενικά Συμπεράσματα:

- **Μη-γραμμική σχέση φόρτου-ταχύτητας:** Η σχέση μεταξύ ταχύτητας κυκλοφορίας και ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου είναι μη -γραμμική και στατιστικά σημαντική.
- **Κυκλοφοριακός Φόρτος:** Ο βασικός παράγοντας που καθορίζει την ταχύτητα κυκλοφορίας στις περισσότερες συνθήκες, με τους υψηλούς φόρτους να οδηγούν σε χαμηλότερες ταχύτητες κυκλοφορίας, ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες αιχμής.
- **Καιρός:** Η βροχή αυξάνει ελαφρώς τον κυκλοφοριακό φόρτο, αλλά έχει σχετικά μικρή επίδραση στη συνολική ταχύτητα κυκλοφορίας.
- **Ώρα της Ημέρας:** Οι βραδινές ώρες επιτρέπουν πιο ομαλή ροή της κυκλοφορίας με υψηλότερες ταχύτητες, ενώ οι πρωινές ώρες χαρακτηρίζονται από πιο έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση.
- **Θερμοκρασία:** Οι υψηλότερες θερμοκρασίες, ειδικά το βράδυ, αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελαφρώς μειωμένες ταχύτητες.

Χαρακτηριστικά της οδού: Περισσότερες λωρίδες και χαμηλότερα όρια ταχύτητας βελτιώνουν τη ροή της κυκλοφορίας, αλλά όταν υπάρχει υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος, αυτές οι βελτιώσεις δεν είναι αρκετές για να αποτρέψουν τη μείωση της ταχύτητας.

Περιεχόμενα

1.1	Γενική Ανασκόπηση.....	12
1.2	Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	13
1.3	Μεθοδολογία.....	14
1.4	Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	15
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	16
2.1	Εισαγωγή.....	16
2.2	Πρακτικές Βιώσιμης Κινητικότητας.....	16
2.2.1	Ισπανία.....	16
2.2.2	Μπογκοτά.....	17
2.2.3	Σιγκαπούρη.....	17
2.3	Παράγοντες επιρροής κυκλοφοριακών μεγεθών.....	18
2.4	Τρόπος Μέτρησης Κυκλοφοριακών Μεγεθών.....	18
2.4.1	Μέθοδοι Άμεσης Παρατήρησης.....	19
2.4.2	Αυτόματες Μέθοδοι Καταγραφής σταθερού σημείου.....	19
2.4.3	Συλλογή δεδομένων από τους χρήστες.....	20
2.4.4	Αεροφωτογραφία και Δορυφορικοί Μέθοδοι.....	21
2.4.5	Συνδυαστικές Μέθοδοι.....	21
2.5	Τρόποι Ανάλυση Κυκλοφοριακών Μεγεθών.....	21
2.5.1	Μέθοδοι Μηχανικής Μάθησης.....	21
2.5.2	Μέθοδοι Βαθιάς Μάθησης.....	23
2.6	Σύνοψη.....	23
3	Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	25
3.1	Εισαγωγή.....	25
3.2	Βασικές Έννοιες Κυκλοφοριακής Ανάλυσης.....	25
3.3	Συσχέτιση Μεγεθών Κυκλοφοριακής Ανάλυσης.....	26
3.3.1	Σχέση Ταχύτητας – Πυκνότητας.....	27
3.3.2	Σχέση Ταχύτητας – Φόρτου.....	28
3.3.3	Σχέση Φόρτου – Πυκνότητας.....	29
3.4	Βασικές Έννοιες Στατιστικής.....	29
3.5	CatBoost.....	30
3.6	Ανάλυση σε συστάδες (Cluster Analysis).....	31
3.7	Silhouette Width.....	31
4	Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων.....	33
4.1	Εισαγωγή.....	33
4.2	Συλλογή δεδομένων.....	33

4.2.1	Google maps	33
4.2.2	Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας	33
4.2.3	Open-Meteo	35
4.2.4	Συγχώνευση Βάσεων Δεδομένων	35
4.3	Περιγραφική Ανάλυση	37
5	Εφαρμογή Μεθοδολογίας και Αποτελέσματα	54
5.1	Εισαγωγή	54
5.2	Δεδομένα Εισόδου- Καθορισμός Μεταβλητών.....	54
5.3	Ανάλυση Σημαντικότητας Παραγόντων Επιρροής της Κυκλοφορίας (Αλγόριθμος CatBoost).....	55
5.4.1	1 ^η Ανάλυση Συστάδων: Συνθήκη βροχής	58
5.4.2	2 ^η Ανάλυση: Συνθήκη πρωί/βράδυ	59
5.4.3	3 ^η Ανάλυση: Συνθήκη Καθημερινές/ώρες αιχμής	61
5.4.4	4 ^η Ανάλυση: Συνθήκη Πρωί/Βράδυ με θερμοκρασιακές μεταβολές	64
5.4.5	5 ^η Ανάλυση: Συνθήκη Ορίου ταχύτητας και αριθμού λωρίδων.....	69
6	Συμπεράσματα.....	72
6.1	Σύνοψη Αποτελεσμάτων	72
6.2	Συνολικά Αποτελέσματα	75
6.3	Προτάσεις αποφυγής κυκλοφοριακής συμφόρησης και βελτίωση της κινητικότητας στην Αθήνα.....	78
6.4	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	79

1. Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Στα αστικά κέντρα, **οι οδικές μεταφορές και η διαχείρισή τους φαίνεται να επηρεάζουν άμεσα το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων**. Σε όλη την έκταση των πόλεων αναπτύσσονται εκτάσεις γης (κέντρα), που αποτελούν πόλους έλξης για την κάλυψη των καθημερινών δραστηριοτήτων, όπως η εργασία, η αναψυχή και τα εμπορικά κέντρα. Έτσι, όσο μεγαλύτερη η πόλη, τόσο περισσότερα τα κέντρα, και άρα τόσο περισσότερες οι μετακινήσεις που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Αυτές οι μετακινήσεις έρχονται να καλυφθούν από τα διαθέσιμα μέσα μεταφοράς, δηλαδή τα επιβατικά οχήματα ιδιωτικής χρήσης (ΙΧ), τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (ΜΜΜ), τα ταξί, τα ποδήλατα αλλά και από τις διαθέσιμες υποδομές όπως το αστικό οδικό δίκτυο, οι ποδηλατοδρόμοι, τα πεζοδρόμια κλπ. Ωστόσο, η έντονη χρήση ιδιωτικής χρήσης ΙΧ οχημάτων, κατά βάση έχει αρνητικές επιπτώσεις στην κοινωνία, στο περιβάλλον αλλά και στην οδική ασφάλεια. Συγκεκριμένα το 2021 στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), το 72% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου οφειλόταν στις οδικές μεταφορές, ενώ το 15% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στα επιβατικά οχήματα και τα ημιφορτηγά ([European Parliament](#)). Η κατάσταση αυτή οδηγεί την πολιτεία στην ανάγκη ανάπτυξης ενός στρατηγικού σχεδιασμού με στόχο τη βιώσιμη αστική κινητικότητα και εν τέλει την καλύτερευση της καθημερινότητας του ανθρώπου στα αστικά κέντρα.

Λόγος γίνεται για το όρο **Αστική Κινητικότητα**, ο οποίος σύμφωνα με την Ειδική Έκθεση, *Βιώσιμη αστική κινητικότητα στην ΕΕ*, του 2020 αναφέρεται στην ευκολία με την οποία οι πολίτες μπορούν να μετακινούνται μεταξύ προορισμών σε αστικές περιοχές με τη βοήθεια του διαθέσιμου δικτύου και των υπηρεσιών μεταφορών ([European Court of Auditors](#), 2020). Σημαντικό ρόλο επιρροής έχουν, η χρήση γης, η δημογραφία, η διακυβέρνηση, η ύπαρξη δημόσιων μέσων συγκοινωνίας, η χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων και η τοπική οικονομία. Σημαντική είναι η σύνδεση με την οικονομική ανάπτυξη και την μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, για αυτό η ΕΕ προωθεί την **Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα**, που αφορά καθαρότερους και βιωσιμότερους τρόπους μεταφοράς, υποστηρίζοντας την ολοκλήρωση και την ισόρροπη ανάπτυξη όλων των μέσων.

Βασικότερο πρόβλημα αποτελεί η **κυκλοφοριακή συμφόρηση** που γίνεται αντιληπτή όταν λόγω κυκλοφοριακού φόρτου, η ικανότητα εξυπηρέτησης μίας οδού ξεπερνιέται και δημιουργούνται ουρές οχημάτων με χαμηλότερες ταχύτητες. Όπως προαναφέρθηκε, οι χρήστες κατά πλειοψηφία χρησιμοποιούν ΙΧ για τις μετακινήσεις τους, δηλαδή για συγκεκριμένο αριθμό ατόμων προκύπτει αυξημένος αριθμό οχημάτων στην κυκλοφορία, γεγονός που αποτελεί μία από τις βασικές αιτίες της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αυτό μπορεί να είναι και απόρροια της μη επάρκειας ή σωστής λειτουργίας των ΜΜΜ. Άλλες αιτίες είναι τυχόν οδικά ατυχήματα ή/και οδικά έργα κατά μήκος του δικτύου. Ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν και οι καιρικές συνθήκες.

Οι **οικονομικές επιπτώσεις** αφορούν τόσο τους χρήστες (κατανάλωση καυσίμων, σπατάλη πολύτιμου και παραγωγικού χρόνου), αλλά και τις υπηρεσίες λόγω αύξηση χρόνου

υλοποίησης εργασιών, μεταφορά αγαθών κλπ. Η ΕΕ αναφέρει ότι το κόστος της κυκλοφοριακής συμφόρησης για την κοινωνία είναι υψηλό και εκτιμάται έως και 270 δισεκατομμύρια ετησίως για την ΕΕ ([European Commission DG Mobility and Transport](#)), ενώ η ομαλή κυκλοφορία αυξάνει τις πιθανότητες και οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Σημαντικό είναι να αναφερθεί η ψυχολογική αστάθεια που δημιουργείται στους οδηγούς αφού ένα μπουτιλιάρισμα μπορεί να δημιουργήσει εκνευρισμό και άγχος. Τέλος, ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνεται έως ότου οι καθυστερήσεις λειτουργήσουν αποτρεπτικά για την προσέλκυση περισσότερων χρηστών. Έτσι, η αύξηση της ικανότητας της οδού δεν αποτελεί λύση του προβλήματος, καθώς θα φέρει αύξηση της ζήτησης έως ότου φτάσει πάλι στο σημείο της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι **η ανάλυση κρίσιμων παραγόντων επιρροής των κυκλοφοριακών συνθηκών στην Αθήνα**. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται η διερεύνηση της κυκλοφοριακής κατάστασης σε οδικούς άξονες αστικών περιοχών, λαμβάνοντας υπόψη τον κυκλοφοριακό φόρτο, τη μέση ταχύτητα κυκλοφορίας και εξωτερικές συνθήκες, όπως καιρικές και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Σκοπός είναι να αναλυθεί η πολυπαραγοντική φύση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και να αναδειχθούν οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Συγκεκριμένα επιδιώκεται να αναδειχθούν πρότυπα και συσχετίσεις μεταξύ παραμέτρων όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, η μέση ταχύτητα, οι καιρικές συνθήκες και οι χρονικές περίοδοι (ημέρα/νύχτα, Καθημερινή/Σαββατοκύριακο).

Ειδικότερα, η παρούσα Διπλωματική στοχεύει:

- Στη διερεύνηση και επαλήθευση της μη γραμμικής σχέσης μεταξύ κυκλοφοριακού φόρτου και μέσης ταχύτητας.
- Στη διερεύνηση της επιρροής παραγόντων όπως οι θερμοκρασίες, οι βροχοπτώσεις, και η χρονική κατηγοριοποίηση (ημέρα/νύχτα, εργάσιμη/αργία), στη διαμόρφωση της κυκλοφοριακής ροής.
- Η αναγνώριση των συνθηκών που οδηγούν σε αυξημένη συμφόρηση.

Για την εκπλήρωση των στόχων της παρούσας Διπλωματικής, θα γίνει η εφαρμογή του αλγορίθμου Μηχανικής Μάθησης CatBoost για την αξιολόγηση της σημαντικότητας των παραγόντων που επηρεάζουν την μέση ταχύτητα κυκλοφορίας και τον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο. Ενώ θα εφαρμοστούν τεχνικές συνολοποίησης (Cluster Analysis) για την ομαδοποίηση των δεδομένων κυκλοφορίας σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά. Μέσα από την ανάλυση αυτή, θα εντοπιστούν μοτίβα που συνδέουν συγκεκριμένες συνθήκες κυκλοφορίας (π.χ., υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος κατά τις ώρες αιχμής, επιπτώσεις καιρικών συνθηκών στις ταχύτητες) και θα διαμορφωθούν προφίλ για διαφορετικά είδη οδικών συνθηκών.

Ο τελικός στόχος είναι η απόκτηση χρήσιμων πληροφοριών που θα μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της κυκλοφοριακής διαχείρισης και στην ανάπτυξη στρατηγικών για την αποσυμφόρηση των αστικών δρόμων, προωθώντας μια πιο βιώσιμη και αποδοτική αστική κινητικότητα.

1.3 Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας και για την επίτευξη του τελικού στόχου ακολουθήθηκε συγκεκριμένη **μεθοδολογία**, τα στάδια της οποίας παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Αρχικό στάδιο αποτέλεσε ο **καθορισμός του αντικειμένου** προς εξέταση και του επιδιωκόμενου στόχου. Για την πραγματοποίηση του στόχου πραγματοποιήθηκε **βιβλιογραφική ανασκόπηση**. Αναζητήθηκαν έρευνες και επιστημονικά άρθρα με συναφές περιεχόμενο με εκείνο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Μέσω των ερευνών αυτών αποκτήθηκε σχετική εμπειρία στον τρόπο ανάλυσης παρόμοιων θεμάτων, καθώς επίσης συνέβαλλε στην επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας των δεδομένων.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η **συλλογή στοιχείων**. Το πρώτο στάδιο εύρεσης δεδομένων αποτέλεσε η συλλογή δεδομένων που αφορούν την ταχύτητα συναρτήσεων του χρόνου σε άξονες της Αθήνας, μέσω της υπηρεσίας Google Maps, ενώ ταυτόχρονα συλλέχθηκαν δεδομένα για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών. Σε αυτό συνέβαλε και η διαδικτυακή υπηρεσία OpenStreetMap από όπου και αντλήθηκαν περαιτέρω χαρακτηριστικά (είδος οδού, λωρίδες). Έπειτα αναζητήθηκαν δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (ΚΔΚ), όπου είχαν μετρηθεί με τον μηχανικό εξοπλισμό του. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε η υπηρεσία Open-Meteo από την οποία συλλέχθηκαν καιρικά δεδομένα (θερμοκρασία, βροχή, χιόνι) για την χρονική περίοδο που μελετάται.

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η **διαδικασία επεξεργασίας** των στοιχείων που συλλέχθηκαν από τις προηγούμενες διαδικασίες. Αρχικά ταξινομήθηκαν και επεξεργάστηκαν κατάλληλα σε ενιαία ηλεκτρονική μορφή, μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R, σε ένα ενιαίο φύλλο εργασίας Excel, προκειμένου να είναι έτοιμα για το στάδιο της στατιστικής ανάλυσης. Αρχικά, επεξεργάστηκαν από τον αλγόριθμο CatBoost για ανάλυση της μεταξύ τους συσχέτισης, και έπειτα αναπτύχθηκαν τα κατάλληλα πρότυπα με την τεχνική μέθοδο Ανάλυση σε Συστάδες με την μέθοδο K-means.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η **αξιολόγηση και ερμηνεία** των αποτελεσμάτων, βάση των οποίων προέκυψαν συμπεράσματα για τον τρόπο επιρροής της εκάστοτε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψαν πληροφορίες για το υπό εξέταση ζήτημα και διατυπώθηκαν αξιολογικές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας μέσω συνοπτικής περίληψης του εκάστοτε κεφαλαίου.

Το **πρώτο κεφάλαιο** είναι **εισαγωγικό** και αποτελεί την πρώτη επαφή του αναγνώστη με το αντικείμενο της Διπλωματικής. Γίνεται μία σύντομη αναφορά στη Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα καθώς και το βασικό πρόβλημα των σύγχρονων αστικών κέντρων που είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επίσης, αναλύεται ο στόχος της εργασίας, αλλά και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, ενώ παρουσιάζεται και η δομή της.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της **βιβλιογραφικής ανασκόπησης**, όπως αυτά προέκυψαν από την αναζήτηση ερευνών και παρεμφερών εργασιών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής. Αναλύονται βασικές έννοιες, όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος και η ταχύτητα, ο τρόπος συλλογής και ανάλυσής τους.

Το **τρίτο κεφάλαιο** αποτελεί το **θεωρητικό υπόβαθρο**, στο οποίο βασίζεται η ανάλυση των δεδομένων. Συγκεκριμένα, αναλύεται το κριτήριο επιλογής της ανάλυσης μέσω του αλγορίθμου CatBoost και της τεχνικής Ανάλυση σε Συστάδες με την μέθοδο K-means. Επιπλέον, αναφέρονται όλες οι βασικές έννοιες με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και επεξήγηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναφέρεται ο **τρόπος συλλογής και επεξεργασίας** των δεδομένων της Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, η χρήση των στοιχείων που συλλέγει το Google maps, το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας και το Open-Meteo. Ενώ, παρουσιάζονται πίνακες που προέκυψαν από τις αναλύσεις αυτών.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύει την διαδικασία με την οποία επεξεργάστηκαν τα στοιχεία από την **εφαρμογή της μεθοδολογίας**, ενώ παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματά της.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρατίθενται τα συνολικά **συμπεράσματα** που προέκυψαν από τα παραπάνω κεφάλαια, και συγκεκριμένα από την ανάλυση των μαθηματικών προτύπων, και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα.

Το **έβδομο κεφάλαιο** αποτελεί την **βιβλιογραφία** που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζονται με μορφή καταλόγου με την σειρά που αναφέρθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια.

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αφορά τη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζονται έρευνες που έχουν διεξαχθεί είτε στην Ελλάδα είτε σε διεθνές επίπεδο, με αντικείμενο ή/και τη μεθοδολογία τους να παρουσιάζουν συνάφεια με τα υπό μελέτη ζητήματα, όπως αυτά τέθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Αρχικά, παρουσιάζονται έρευνες που αναφέρονται στην **Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα**, είτε εκφράζοντας την αναγκαιότητα εφαρμογής της, είτε την ανάλυση και παρουσίαση αποτελεσμάτων, καθώς στο πέρας της Διπλωματικής Εργασίας θα κριθεί η αναγκαιότητα ή όχι στρατηγικών σχεδίων προς την κατεύθυνση αυτή. Επιπλέον, περιγράφονται οι τρόποι **συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων**, όπου έχουν εφαρμοσθεί σε έρευνες. Τέλος, για την επίτευξη της κυκλοφοριακής ανάλυσης, παρουσιάζονται μέθοδοι **επεξεργασίας δεδομένων** που έχουν μελετηθεί και εφαρμοσθεί.

2.2 Πρακτικές Βιώσιμης Κινητικότητας

Αν και οι πόλεις μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους σε ιστορία, πολιτισμό και γεωγραφία, όλες πλήττονται από μία σειρά προβλημάτων που έχουν τοπικό έως παγκόσμιο αντίκτυπο. Ανά τον κόσμο έχει προβληματίσει το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της οδικής ασφάλειας, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και της ηχορύπανσης, αφού αποτελούν άμεσες επιπτώσεις της αστικοποίησης και την οικονομικής ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό έχουν εφαρμοσθεί ή βρίσκονται σε διαδικασία εφαρμογής **Σχέδια Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (ΣΒΑΚ)**. Παρακάτω παρουσιάζονται κυκλοφοριακές παρεμβάσεις που εφαρμόστηκαν ή σχεδιάζονται προς εφαρμογή στην Ισπανία, τη Μπογκοτά (Κολομβία) και τη Σιγκαπούρη.

2.2.1 Ισπανία

Το 2018 πραγματοποιήθηκε μία έρευνα όπου **σύγκρινε** τον τρόπο εφαρμογής των **σχεδίων βιώσιμης κινητικότητας** σε 38 πόλεις της Ισπανίας (M. A. Mozos-Blanco et al., 2018). Όλες οι πόλεις που συμμετείχαν είναι μέλη του Ισπανικού Δικτύου Έξυπνων Πόλεων, με συνολικό πληθυσμό 12,95 εκατομμύρια. Για την αξιολόγηση των εφαρμογών χρησιμοποιήθηκαν 16 κριτήρια, εκ των οποίων είναι η ιεράρχηση των οδών, τα ΜΜΜ, τα ιδιωτικά οχήματα, ο χώρος στάθμευσης, οι πεζοί, η ποδηλασία, τα ηλεκτρικά οχήματα, η διατροφικότητα (συνδεσιμότητα μεταξύ διαφορετικών μέσων μεταφοράς) και η συμμετοχή κοινού.

Βάση όλων των 16 κριτηρίων εξήχθη **συμπεράσματα** το οποία παρουσιάζουν που δόθηκε έμφαση από την πολιτεία και σε τι βαθμό. Αρχικά, επισημαίνεται ότι οι πρωτοβουλίες και οι ενέργειες προώθησης, στην κινητικότητα, των πεζών και της ποδηλασίας είναι άνιση σε σχέση με την ποιότητα που εν τέλει προσφέρεται. Σε σχέση με την ιεράρχηση των οδών και τη διαμόρφωση του δημόσιου χώρου, οι ενέργειες εστιάζουν κυρίως σε θέσεις στάθμευσης, ενώ φαίνεται οι υποδομές για ηλεκτρικά οχήματα να μην επαρκούν. Ταυτόχρονα, δίνεται έμφαση στην βελτίωση των υποδομών ΜΜΜ. Παράλληλα, διαπιστώνεται ότι η εισαγωγή νέων καινοτομιών είναι αργή, καθώς

έρχεται αντιμέτωπη με ζητήματα νομικού πλαισίου. Η γενικότερη παρατήρηση των ερευνητών είναι ότι οι εφαρμογές θα πρέπει να έχουν ολιστικό χαρακτήρα και να λαμβάνουν υπόψιν όχι μόνο την κινητικότητα αλλά και την ποιότητα ζωής.

2.2.2 Μπογκοτά

Η Μπογκοτά είναι η πρωτεύουσα της Κολομβίας, και αποτελεί παράδειγμα ταχέως αναπτυσσόμενης πόλης, καθώς συγκεντρώνει αυξημένο επίπεδο οικονομικών δραστηριοτήτων και έρχεται αντιμέτωπη με την εσωτερική μετανάστευση. Η συνέπεια αυτού είναι η **έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση** και η συνέπειες αυτής. Το 2015 καταγράφηκαν καθημερινά 12,75 εκατομμύρια ταξίδια (διάρκειας άνω των 15 λεπτών), εκ των οποίων το 43,4% αποτελούσε μετακινήσεις εργασίας. Συγκρίνοντας τα έτη 2011 και 2015, ο μέσος χρόνος ταξιδιού αυξήθηκε κατά 25%, σε 60,6 λεπτά, δηλαδή ένας άνθρωπος κατανάλωνε 2 ώρες συνολικά την ημέρα κατά μέσο όρο για μετακίνηση προς και από την εργασία του.

Έτσι, η **στροφή προς τη βιώσιμη αστική κινητικότητα** αποτέλεσε μονόδρομος. Με έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2020, εξετάσθηκαν και αναλύθηκαν **3 στρατηγικά σενάρια** (L. A. Guzman et al., 2020). Το πρώτο στρατηγικό σενάριο περιλαμβάνει, εφαρμογή κοινής χρήσης ποδηλάτου και παροχή ασφάλειας ποδηλάτου και ντους στους χώρους εργασίας. Το αποτέλεσμα αυτού, ήταν 13% αύξηση των χρηστών ποδηλάτου, ωστόσο η αύξηση οφειλόταν σε προηγούμενους πεζούς ή χρήστες ταξί. Το δεύτερο σενάριο αποτελούταν από επιδοτήσεις μαζικής μεταφοράς ή παροχή λεωφορείων από το χώρο εργασίας, όμως δεν φάνηκε να προσφέρει σημαντικές αλλαγές στα επίπεδα κυκλοφορίας. Το τελευταίο σενάριο, περιελάμβανε στρατηγικές στάθμευσης, με αύξηση του κόστους στάθμευσης. Κάτι τέτοιο φάνηκε να έχει τις μεγαλύτερες επιδράσεις στην αύξηση της κοινής χρήσης οχημάτων και την επιλογή των MMM. Σημειώνεται ότι το 2016, η κυβέρνηση εξέδωσε νόμο όπου έδινε στους δημόσιους υπαλλήλους μισή μέρα άδεια για κάθε 30 φορές χρήσης του ποδηλάτου για μετακίνηση λόγω εργασίας. Η ενέργεια αυτή όμως δεν είχε τα αποτελέσματα που ήλπιζαν, κάτι το οποίο αποτελεί παράδειγμα για την ενημέρωση του κόσμου, με σκοπό την αλλαγή κουλτούρας.

2.2.3 Σιγκαπούρη

Η Σιγκαπούρη αποτελεί μια πόλη-κράτος η οποία βλέπει **ραγδαία πληθυσμιακή και οικονομική ανάπτυξη**. Το 2015 ο πληθυσμός ανερχόταν στα 5,54 εκατομμύρια (6,04 εκατ. 2024), με πυκνότητα πληθυσμού 7697 κατ./Km². Το βασικό δημόσιο μεταφορικό μέσο είναι το Mass Rapid Transit (MRT) το οποίο αποτελεί το κύριο δίκτυο υπόγειων και επίγειων τρένων. Για την συνδεσιμότητα χρησιμοποιείται το Light Rail Transit (LRT), ένα συμπληρωματικό δίκτυο τραινών μικρότερης κλίμακας, καθώς και λεωφορεία και ταξί.

Το 2019 πραγματοποιήθηκε μία μελέτη για την **ανάλυση των μέτρων βιώσιμης αστικής κινητικότητας** (M. Diao, 2019). Αρχικά, το 2012 πραγματοποιήθηκε επέκταση του δικτύου MRT κατά 19,4% και του LRT 369,2%, με συνολικά 142 νέες στάσεις. Ενώ, σχεδιάζεται μέχρι το 2030 να διπλασιαστεί το συνολικό μήκος σε 360Km, όπου προβλέπεται ότι το 80% των νοικοκυριών θα έχει πρόσβαση στο δίκτυο εντός 10 λεπτών περπατήματος. Καθώς διαμορφώνεται ένα τόσο μεγάλο δίκτυο, σημαντικό ρόλο λαμβάνουν και οι σταθμοί διαμετακίνησης, δηλαδή κόμβοι σύνδεσης μεταφορικών μέσων, όπου σχεδιάζονται με

τέτοιο τρόπο ώστε στις εγκαταστάσεις τους να προσφέρουν μία σειρά υπηρεσιών για καθημερινές ανάγκες, με σκοπό την αποφυγή επιπλέον μετακινήσεων. Μία ακόμη ενέργεια που έχει πραγματοποιηθεί είναι το δυναμικό σύστημα τιμολόγησης που αποτυπώνει το μεταβαλλόμενο κόστος του ταξιδιού με βάση τη ζήτηση. Δηλαδή, το εισιτήριο έχει αυξημένη τιμή κατά τις ώρες αιχμής, έτσι ώστε να ενθαρρύνει την μετακίνηση εκτός αιχμής, με έκπτωση ή δωρεάν μετακίνηση. Επιπλέον, έχουν πραγματοποιηθεί έργα για την βελτίωση των εγκαταστάσεων για περπάτημα, ποδηλασία και γενικότερα χώρου πρασίνου, καθώς προωθείται και το πρόγραμμα κοινής χρήσης ποδηλάτου. Τέλος, για τα ιδιωτικά οχήματα έχουν δημιουργηθεί τα προγράμματα: Αυτοκίνητο εκτός Αιχμής και Αυτοκίνητο Σαββατοκύριακου.

Όλες οι παραπάνω ενέργειες είχαν **θετικές επιδράσεις** στη βελτίωση της κινητικότητας. Το μέσο ετήσιο μήκος που έχει διανύσει ένα όχημα, για τη χρονική περίοδο 2006-2012, μειώθηκε κατά 2800Km. Επιπλέον, τα ημερήσια ταξίδια με MRT αυξήθηκαν σε 2,53 εκατομμύρια. Τέλος, λόγω της επέκτασης του δικτύου το μερίδιο χρήσης των μέσων μεταφορών, για εκείνους που μένουν σε απόσταση μικρότερη των 400μ. από σταθμό, αυξήθηκε σε 71% το 2012, από το 65% του 2008.

2.3 Παράγοντες επιρροής κυκλοφοριακών μεγεθών

Η παρακολούθηση και εξέταση του κυκλοφοριακού φόρτου και της ταχύτητας διαδρομής αποτελεί σημαντικό μέρος της Βιώσιμης Αστικής κινητικότητας καθώς καθορίζει τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των οδικών αξόνων, καθώς και για την μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της ρύπανσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της βαθιάς κατανόησης των **παραγόντων επιρροής** των κυκλοφοριακών μεγεθών και κατά συνέπεια της αστικής οδικής κυκλοφορίας. Η ακριβής πρόβλεψη της κυκλοφορίας είναι πολυσύνθετη και πολυπαραγοντική, ενώ χρειάζεται ή διερεύνηση τις συσχετίσεις όλων των παραγόντων. Η επίδραση του χρόνου, και συγκεκριμένα ο προσδιορισμός των ωρών και των ημερών μέσα στην εβδομάδα καθώς και ο προσδιορισμός των εποχικών διακυμάνσεων, είναι θεμελιώδης αφού εντοπίζονται διαφορετικά μοτίβα στην κυκλοφορία. Ταυτόχρονα, η προσέλευση όγκου κυκλοφορίας επηρεάζεται και από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες, όπως η βροχή και η ηλιοφάνεια (Z. Ruan et al., 2019). Στην διαμόρφωση συμβάλει η σύνθεση της κυκλοφορίας, δηλαδή το ποσοστό των επιβατικών οχημάτων, φορτηγών κ.α., λόγω διαφορετικών τεχνικών χαρακτηριστικών των οχημάτων, όπως ο όγκος και η ταχύτης (C. Gao et al., 2020). Οι οδικές συνθήκες καθορίζουν σημαντικά την κυκλοφορία, μέσω του γεωμετρικού σχεδιασμού αξόνων και του ορίου ταχύτητας (C. Gao et al., 2019). Τέλος, η χρήση της χωρικής διαίρεσης της μελέτης περιβάλλοντος, ανάλογα με την προσέλευση της κυκλοφορίας, συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των μεταβλητών επιρροής (T. Wang et al., 2022).

2.4 Τρόπος Μέτρησης Κυκλοφοριακών Μεγεθών

Πρώιμο στάδιο της ανάλυσης της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας αποτελεί η ανάλυση των κυκλοφοριακών συνθηκών. Η συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση και τη βελτίωση των συνθηκών, τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και την ενίσχυση της ασφάλειας στους δρόμους. Οι μετρήσεις αφορούν

κυρίως την ταχύτητα και τον κυκλοφοριακό φόρτο, από την επεξεργασία των οποίων βγαίνουν τα συμπεράσματα. Σχετικά με τα **μήκη το τμημάτων** της οδού που γίνονται οι μετρήσεις, υπάρχουν οι εξής διαδικασίες (I.M. Φραντζεσκάκης et al.,2009):

- Μετρήσεις σε σημείο
- Μετρήσεις σε μικρό τμήμα οδού (<10μ.)
- Μετρήσεις κατά μήκος της οδού (≥500μ.)
- Μετρήσεις σε μία ευρύτερη περιοχή

Η συλλογή και ανάλυση δεδομένων δικτύου στοχεύει στην απόκτηση ακριβούς και αξιόπιστης κατανόησης των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας. Οι μέθοδοι μετρήσεων διαφέρουν ανάλογα των μεγεθών που ζητούνται, τις υφιστάμενες συνθήκες και τα μέσα που χρησιμοποιούνται.

2.4.1 Μέθοδοι Άμεσης Παρατήρησης

- **Μέτρηση με παρατηρητές:** Στην προκειμένη περίπτωση μπορεί να μετρηθεί η ταχύτητα, ένας ή δύο παρατηρητές καταγράφουν τον χρόνο που χρειάστηκε ένα όχημα για να διανύσει μία συγκεκριμένη απόσταση. Ενώ, για την μέτρηση του φόρτου κυκλοφορίας, ο παρατηρητής σημειώνει σε ένα έντυπο κάθε όχημα, ανάλογα με το είδος οχήματος, που περνά από το σημείο παρατήρησης σε μία καθορισμένη χρονική περίοδο. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να καταγραφούν δεδομένα που προέρχονται από την κρίση του μηχανικού. Τέτοια δεδομένα είναι η συμπεριφορά του οδηγού, οι κινήσεις πεζών, η ποιότητα του οδικού δικτύου, οι στρέφουσες κινήσεις σε έναν κόμβο κ.α. (I.M. Φραντζεσκάκης et al.,2009).

2.4.2 Αυτόματες Μέθοδοι Καταγραφής σταθερού σημείου

- **Επαγωγικοί Βρόχοι:** Ανιχνευτές είναι θαμμένοι κάτω από την επιφάνεια του δρόμου και καταγράφουν τα διερχόμενα οχήματα με βάση την αλλαγή μαγνητικού πεδίου. Μπορούν να καταγράψουν την ροή και την χρονική κατάληψη στα εγκατεστημένα σημεία, με αποτέλεσμα μέσω επεξεργασίας, και βάζοντας ως δεδομένο το μέσο μήκος οχήματος, να εκτιμηθεί η κυκλοφοριακή πυκνότητα και η ταχύτητα (Toru Seo et al., 2015).
- **Αισθητήρες Υπερήχων:** Εντοπίζουν οχήματα με την χρήση ηχητικών κυμάτων. Μέσω αυτών μπορεί να εκτιμηθεί η ταχύτητα του οχήματος, καθώς ο αισθητήρα αντιλαμβάνεται τον θόρυβο του κινητήρα, των ελαστικών, των καυσαερίων και τον θόρυβο των αναταράξεων του αέρα (V. Cevher et al.,2009), συνεπώς μπορεί να τοποθετηθεί σε κόμβο και να αντιλαμβάνεται την κατεύθυνση του οχήματος. Ενώ ταυτόχρονα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν τα οχήματα ανάλογα με το μέγεθος τους (E. Odat et al.,2018).
- **Αισθητήρες ραντάρ:** Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση οχημάτων και την μέτρηση ταχύτητας, μέσω του φαινομένου Doppler με βάση τη μεταβολή της συχνότητας των κυμάτων που επιστρέφουν. Οι σύγχρονοι αισθητήρες μπορούν να καταγράψουν σε πολλαπλές λωρίδες κυκλοφορίας, δηλαδή σε μεγάλες οδικές αρτηρίες και αυτοκινητόδρομους.

- **Κάμερες Παρακολούθησης:** Οι κάμερες καταγράφουν τις κινήσεις των οχημάτων αλλά και των πεζών. Μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την κυκλοφορία σε πραγματικό χρόνο, αλλά και να συλλέξουν τις πληροφορίες για μετέπειτα επεξεργασία. Σε πολλές περιπτώσεις οι κάμερες χρησιμοποιούνται και για τον εντοπισμό παραβάσεων.
- **Αισθητήρες Υπέρυθρων:** Μέσω της θερμότητας που εκπέμπουν τα οχήματα, καταγράφουν των αριθμό τους. Χρησιμοποιείται κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιοχές όπου η ορατότητα δεν είναι εφικτή.

Γενικότερα, οι μέθοδοι παρακολούθησης σταθερού σημείου έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να καλύψουν όλο το εύρος ενός οδικού δικτύου, καθώς είναι ανέφικτη η επάρκεια εγκατάστασης σε όλη την έκταση.

2.4.3 Συλλογή δεδομένων από τους χρήστες

- **Δεδομένα GPS από Οχήματα:** Τα οχήματα είτε διαθέτουν ενσωματωμένα συστήματα, είτε οι οδηγοί μέσω κινητών τηλεφώνων χρησιμοποιούν GPS, κι έτσι υπάρχει πρόσβαση σε πληροφορίες εν κινήσει. Μπορούν να συλλεχθούν δεδομένα όπως η προέλευση και ο προορισμός του οδηγού, και η γενικότερη καταγραφή σε όλο το οδικό δίκτυο. Ενώ, ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να καταγράψει την ταχύτητα και τυχόν συμφόρηση (Seo Toru et al.,2015). Με τέτοια συστήματα μπορούν να εξοπλιστούν δημόσιες συγκοινωνίες όπως λεωφορεία, ταξί κ.α. όπου θα δίνουν ένα καθολικό εύρος πληροφοριών αφού καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό μίας περιοχής (Z. Li et al.,2011). Βασικό πλεονέκτημα είναι ότι δίνεται η δυνατότητα για συλλογή δεδομένων σε ευρύτερο χωροχρονικό φάσμα, αφού η χρήση GPS έχει ευρεία κάλυψη του οδικού δικτύου.
- **Δεδομένα από Κινητές Συσκευές:** Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την κίνηση οχημάτων και πεζών, μέσω των κινητών δικτύων τηλεφωνίας σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να συνεισφέρουν στην διαχείριση της κυκλοφορίας και την αξιολόγηση του τρόπου ταξιδιού. Παράδειγμα αποτελεί έρευνα, η οποία μέσω μίας εφαρμογής σε κινητά τηλέφωνα, που αναπτύχθηκε από την OSeven Telematics, μπόρεσε να συλλέξει και να επεξεργαστεί δεδομένα που αφορούν την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη, αξιοποιώντας αισθητήρες των κινητών και APIs για την ανάγνωση δεδομένων και μετάβαση σε κεντρική βάση (D. Tselentis et al., 2018).
- **Αυτόνομα οχήματα με ADAS:** Το Προηγμένα Συστήματα Υποβοήθησης οδηγού (ADAS) αναπτύχθηκαν για λόγους ασφαλείας και βελτιστοποίησης της οδήγησης. Ένα τέτοιο σύστημα λειτουργεί αναγνωρίζοντας τον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο του οχήματος, συνεπώς συλλέγει πληροφορίες όπως η απόσταση που μπορεί να μεταφραστεί σε κυκλοφοριακή πυκνότητα και ροή, ενώ ταυτόχρονα διαβάζει και την ταχύτητα. Μία τέτοια μέθοδος για να δίνει ικανοποιητικό αριθμό δεδομένων θα πρέπει να υπάρχει και ικανοποιητικός αριθμός τέτοιων οχημάτων διασκορπισμένων στο δίκτυο (Seo Toru et al.,2015).

2.4.4 Αεροφωτογραφία και Δορυφορικοί Μέθοδοι

- **Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα:** Τέτοια μέσα χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος, υψηλή ευελιξία και μεγάλο εύρος θέασης. Μπορεί να δώσει σε πραγματικό χρόνο κυκλοφοριακά δεδομένα όπως η ταχύτητα και η πυκνότητα, και μία καθολική εικόνα της κυκλοφορίας. Σε πειραματική εργασία που έχει γίνει σε 5 διαφορετικές συνθήκες η μέθοδος αυτή απέδωσε με 87-96% ακρίβεια στην εκτίμηση της μέσης ταχύτητας και τον αριθμό των οχημάτων (KE Ruimin et al.,2016).
- **Δορυφορικές εικόνες:** Δίνουν δεδομένα για τον κυκλοφοριακό φόρτο και κατά συνέπεια την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Χρησιμοποιούνται για να μελετήσουν μακροπρόθεσμα την πορεία της κυκλοφορίας και την ανάπτυξη υποδομών. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι παρέχουν κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών, καθώς και ότι προσφέρει πληροφορίες σε δυσπρόσιτες περιοχές όπου άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοσθούν.

2.4.5 Συνδυαστικές Μέθοδοι

- **Συνδυασμός Δεδομένων:** Η ενσωμάτωση δεδομένων από όλες τις παραπάνω μεθόδους (π.χ. αισθητήρες, κάμερες, GPS) για να την δημιουργία μίας ευρύτερης ομάδας πληροφοριών για πληρέστερες και ακριβέστερες αναλύσεις της κυκλοφορίας.
- **Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας (ITS):** Είναι τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών όπου χρησιμοποιούν συνδυαστικές μεθόδους για την διαχείριση κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Τέτοιοι σκοποί είναι: η διαχείριση λωρίδων σε μία αρτηρία, η επιτήρηση, η διαχείριση στάθμευσης, η αυτόνομη χρέωση διοδίων, η διαχείριση διασταυρώσεων κ.α. (Juan Guerrero-Ibáñez et al.,2018).

2.5 Τρόποι Ανάλυση Κυκλοφοριακών Μεγεθών

Η **ανάλυση των κυκλοφοριακών μεγεθών** (φόρτος, ταχύτητα, πυκνότητα) συνεισφέρει στην αξιολόγηση των υφιστάμενων συνθηκών με σκοπό την πρόβλεψη των μελλοντικών. Τα κυκλοφοριακά δεδομένα είναι χωροχρονικά εξαρτώμενα, δηλαδή αλλάζουν συνεχώς με το χρόνο και το χώρο, και έχουν πολύπλοκες και δυναμικές εξαρτήσεις μεταξύ τους. Μία εξεταζόμενη θέση σε ένα κυκλοφοριακό δίκτυο επηρεάζεται από άλλες θέσεις, αλλά και η ίδια διαφέρει με το χρόνο. Ενώ ταυτόχρονα σημαντικό ρόλο επιρροής έχουν οι καιρικές συνθήκες, τυχαία συμβάντα και τα χαρακτηριστικά του άξονα. Συνεπώς, η επιλογή των πιο σχετικών ιστορικών δεδομένων για την ανάλυση παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς η ακριβής πρόβλεψη θα βοηθήσει στον σχεδιασμό μίας διαδρομής, την σωστή ταξινόμηση της κυκλοφορίας και την μείωση συμφόρησης. Οι μέθοδοι ανάλυσης χωρίζονται σε Κλασσικές μεθόδους Μηχανικής Μάθησης και σε μεθόδους Βαθιάς Μάθησης.

2.5.1 Μέθοδοι Μηχανικής Μάθησης

Οι **Μέθοδοι Μηχανικής Μάθησης** εκπαιδεύουν διάφορα μοντέλα ώστε να επεξεργαστούν καθορισμένα δεδομένα και να έχουν ως αποτέλεσμα μία πρόβλεψη.

Η **Ομαδοποίηση** (clustering) είναι μία μέθοδος χωρίς επίβλεψη. Σκοπός της μεθόδου είναι να χωρίσει το μεγάλο αριθμό δεδομένων σε μικρότερα υποσύνολα βάση

ομοιογένειας ή ετερογένειας. Στην ομοιογένεια τα χαρακτηριστικά των δεδομένων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ίδια, ενώ στην ετερογένεια όσο τον δυνατόν πιο διαφορετικά. Αυτό τονίζεται καθώς όταν ένα στοιχείο μπει σε ένα υποσύνολο (συστάδα) δεν θα μπορεί να ενταχθεί σε κάποιο άλλο. Έτσι είναι σημαντική η διαχώριση των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για αποφυγή μη αξιόπιστων αποτελεσμάτων (Yingya Zhang et al.,2016). Συνολικά τα χαρακτηριστικά των συστάδων παρέχουν έναν καλό προσδιορισμό του συνόλου. Επιπλέον, κρίσιμη είναι η επιλογή του κατάλληλου μέτρου ομοιότητας. Στην κυκλοφοριακή ανάλυση σημαντική εφαρμογή έχουν, η ευκλείδεια απόσταση και η Manhattan απόσταση για ανάλυση ταχυτήτων και αποστάσεων, ενώ η ομοιότητα Jaccard και η Dynamic Time Warping για την μελέτη σύνθετων μοτίβων κίνησης. Στην ομαδοποίηση υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται. Στον αλγόριθμο K-means, ο χρήστης ορίζει το αριθμό k των υποσυνόλων και διαχωρίζονται τα δεδομένα βάση των χαρακτηριστικών τους. Η ιεραρχική ομαδοποίηση χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, την αθροιστική και την διαιρετική. Στην αθροιστική, ακολουθείτε μία πορεία από κάτω προς τα πάνω, η οποία δημιουργεί υποσύνολα από μεμονωμένα δεδομένα έως ότου όλα τα δεδομένα να αντιστοιχούν σε ένα σύμπλεγμα ή, έστω μία συνθήκη τερματισμού. Η διαιρετική ιεραρχική ομαδοποίηση, ακολουθεί την πορεία από πάνω προς τα κάτω έως ούτε να δημιουργηθούν μικρότερα υποσύνολα. Ένας ακόμη αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στην κυκλοφοριακή ανάλυση είναι η ομαδοποίηση διαμερισμάτων, όπου ομαδοποιούνται τα δεδομένα βάση ενός κριτηρίου. Και τέλος, η Gaussian Mixture Models, η οποία χρησιμοποιεί πιθανοτικές σχέσεις μεταξύ των δεδομένων. (Amit Saxena et al.,2017).

Μία ακόμη κατηγορία Μηχανικής Μάθησης είναι οι **στατικές μέθοδοι**. Μία από αυτές είναι το *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)* και χρησιμοποιείται για την ανάλυση και πρόβλεψη χρονοσειρών. Βασίζεται στο AR - Αυτοπαλίνδρομο τμήμα γραμμικής παλινδρόμησης που χρησιμοποιεί δικές του τιμές καθυστέρησης, όταν οι καθυστερήσεις δεν συσχετίζονται, το I – Ολοκληρωμένο που αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ διαδοχικών τιμών (σταθερά στατιστικά χαρακτηριστικά), και το MA – Κινούμενος Μέσος Όρος όπου λαμβάνει υπόψιν την εξάρτηση των τιμών από προηγούμενα σφάλματα. Ενώ είναι από τις ακριβείς μεθόδους το βασικό μειονέκτημα της είναι ότι χρειάζεται μεγάλο μέγεθος ιστορικών δεδομένων. Ένας ακόμη αλγόριθμος είναι το *φίλτρο Kalman* που χρησιμεύει σε προβλέψεις πραγματικού χρόνου, και το πλεονέκτημα του είναι ότι χρειάζεται να αποθηκεύσει μόνο τη τελευταία συνθήκη έτσι ώστε να ενημερώσει την πρόβλεψη. Η *εκθετική εξομάλυνση Holt Wins* είναι ένα μοντέλο που χρησιμεύει στους παράγοντες της εποχικότητας, και κατά την οποία οι τρέχουσες παρατηρήσεις έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα από τις παλιότερες. Εποχικότητα ορίζεται ως η τάση των δεδομένων να παρουσιάζουν επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές αν μία χρονική περίοδο. Ο *αλγόριθμος K-nearest neighbor (KNN)* εφαρμόζεται σε προβλήματα αστικής κυκλοφορίας, και λειτουργεί βρίσκοντας επαναλαμβανόμενα ιστορικά μοτίβα στην τρέχουσα κατάσταση. Επιπλέον χρησιμοποιείται στις έξυπνες μεταφορές για την επιλογή της καλύτερης διαδρομής για τον προορισμό. (Zahra Karami et al.,2020).

2.5.2 Μέθοδοι Βαθιάς Μάθησης

Οι **Μέθοδοι Βαθιάς Μάθησης** αποτελούνται από πολύπλοκους αλγόριθμους και περιλαμβάνουν εκμάθηση εγγενών κανόνων και επιπέδων αναπαράστασης δεδομένων μέσω νευρωνικών δικτύων σε πολλαπλά επίπεδα. Δηλαδή, τα μοντέλα αυτά στοιβάζουν πολυεπίπεδα δεδομένα εκμάθησης, και ολόκληρο το δίκτυο εκπαιδεύεται από άκρο σε άκρο.

Ένα τέτοιο μοντέλο αποτελεί το **Συνελικτικό Νευρωνικό Δίκτυο (CNN)** που χρησιμοποιείται για την ανάλυση χωροχρονικών δεδομένων. Η βασική πράξη είναι η συνέλιξη, οποία πραγματοποιείται μεταξύ των δεδομένων εισόδου κι ενός φίλτρου (kernel). Το αποτέλεσμα αυτής της πράξης είναι η δημιουργία ενός πίνακα χαρακτηριστικών που περιέχει πληροφορίες που έχει συλλέξει από τα δεδομένα. Βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι δημιουργούνται περιβάλλοντα σταθερού μεγέθους και μπορούν εύκολα να μεγαλώσουν με την στοίβαξη πολλών επιπέδων (Xueyan Yin et al.,2021).

Το **Συνελικτικό Νευρωνικό Δίκτυο (GCN)** είναι ένας τύπος νευρωνικών δικτύων που λειτουργεί για δεδομένα σε μορφή γραφήματος. Τα γραφήματα αποτελούνται από κόμβους και ακμές που αντιπροσωπεύει ένα κυκλοφοριακό δίκτυο. Ο βασικός τρόπος λειτουργίας του είναι η ενημέρωση αναπαράστασης κόμβους λαμβάνοντας πληροφορίες από τον γείτονα κόμβο. Αποτελείται από δύο μεθόδους την φασματική μέσω φίλτρων αφαιρούνται τα θορυβώδη δεδομένα, και την χωρική όπου συλλέγονται οι πληροφορίες μίας περιοχής, οι οποίες στο τέλος λειτουργούν συνδυαστικά (Xueyan Yin et al.,2021).

Τα **Επαναλαμβανόμενα Νευρωνικά Δίκτυα (RNN)** είναι δίκτυα που επεξεργάζονται δεδομένα με μορφή ακολουθίας όπως ο χρόνος. Η βασική διαφορά είναι ότι κάθε είσοδος δεδομένων εξαρτάται από την προηγούμενη είσοδο αφού τις αποθηκεύει σε μία «κρυφή» κατάσταση, η οποία ενημερώνεται διαδοχικά με τα δεδομένα εισόδου. Για την βελτιστοποίηση αυτής της μεθόδου αναπτύχθηκαν οι *LSTM (Long Short-TERM Memory)* και *GRU (Gated Recurrent Unit)*. Στην κυκλοφοριακή ανάλυση επιτρέπουν την μοντελοποίηση μακροχρόνιων εξαρτήσεων εισάγοντας πύλες οι οποίες ελέγχουν τη ροή των δεδομένων (Zahra Karami et al.,2020).

Σημείωση: Για την αποτελεσματικότερη επεξεργασία των δεδομένων και πιο ρεαλιστικών και αξιόπιστων αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούνται υβριδικοί μέθοδοι ανάλυσης με συνδυασμό μεθόδων.

2.6 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν μελέτες που αφορούσαν πόλεις και χώρες με σημαντικές κοινωνικοπολιτισμικές, γεωγραφικές και οικονομικές διαφορές, όπως η Ισπανία, η Μπογκοτά (Κολομβία) και η Σιγκαπούρη. Οι επιλεγμένες περιοχές αντιπροσωπεύουν διαφορετικά πολιτισμικά και αστικά πλαίσια, παρέχοντας μία συγκριτική ανάλυση σε ποικίλα περιβάλλοντα. Κάθε περιοχή που παρουσιάζει οικονομική ανάπτυξη, ακόμη και διαφορετικής κλίμακας, έρχεται αντιμέτωπη με το φαινόμενο της αστικοποίησης και κατά συνέπεια της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Έτσι, αποτελεί επιτακτική ανάγκη η εφαρμογή πρακτικών **Βιώσιμης Κινητικότητας**, τόσο για την πόλη όσο και για το περιβάλλον. Συνοψίζοντας, τονίζεται η αναγκαιότητα για σφαιρικά στρατηγικά σχέδια. Η αναδιαμόρφωση και βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος,

δημιουργώντας συνθήκες άνεσης, αποτελεί βασικό παράγοντα για την ενθάρρυνση των χρηστών να τροποποιήσουν τη ρουτίνα κινητικότητάς τους. Ταυτόχρονα, καθοριστικό ρόλο στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης αποδεικνύεται να έχει η βελτίωση των ΜΜΜ, εξασφαλίζοντας την προσβασιμότητα και την αμεσότητα. Τέλος, τονίζεται ότι η συμμετοχή των πολιτών αποτελεί προϋπόθεση για το βιώσιμο σχεδιασμό της αστικής κινητικότητας.

Για να μπορέσουν να μελετηθούν οι παρεμβάσεις βελτίωσης θα πρέπει πρώτα να μελετηθούν οι υφιστάμενες κυκλοφοριακές συνθήκες, με πρώτο στάδιο την **συλλογή δεδομένων**. Αρχικά, οι μέθοδοι διακρίνονται ανάλογα με εύρος της περιοχής μελέτης. Ενώ, ανάλογα με τα μέσα που χρησιμοποιούν που χρησιμοποιούν διαχωρίζονται σε Μέθοδοι Άμεσης Παρατήρησης, Αυτόματες Μέθοδοι Καταγραφής Σταθερού Σημείου, Συλλογή Δεδομένων από Χρήστες, Αεροφωτογραφίες και Δορυφορικοί Μέθοδοι και Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας (ITS). Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις κυκλοφοριακής ανάλυσης χρησιμοποιείται συνδυασμός μεθόδων. Έτσι και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 4, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από χρήστες για την ταχύτητα, και δεδομένα από σταθερά σημεία για τον κυκλοφοριακό φόρτο. Επόμενο στάδιο αποτελεί η ανάλυση των δεδομένων. Οι **μέθοδοι ανάλυσης** χωρίζονται στις Μεθόδους Μηχανικής Μάθησης, όπου εκπαιδεύουν διάφορα μοντέλα ώστε να επεξεργαστούν καθορισμένα δεδομένα και να έχουν ως αποτέλεσμα μία πρόβλεψη, και τις Μεθόδους Βαθιάς Μάθησης που αποτελούνται από πολύπλοκους αλγόριθμους και εκπαιδεύουν το δίκτυο από άκρο σε άκρο. Έπειτα από βιβλιογραφική ανασκόπηση, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Μηχανικής Μάθησης και συγκεκριμένα η Ομαδοποίηση με τη μέθοδο K-means, καθώς είναι μία μέθοδος χωρίς επίβλεψη, όπου ο μελετητής ορίζει των αριθμό των υποσυνόλων και το χαρακτηριστικό διαφοροποίησης, δίνοντας την ευχέρεια πειραματισμών και κατανόησης της μεθόδου και των αποτελεσμάτων σε μεγαλύτερο βαθμό.

3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** που αξιοποιήθηκε για την ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, γίνεται επεξήγηση των βασικών εννοιών της στατιστικής, για την βέλτιστη κατανόηση του αντικειμένου. Έπειτα, παρουσιάζονται οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων για την ερμηνεία της κυκλοφορίας (ταχύτητα, κυκλοφοριακός φόρτος).

3.2 Βασικές Έννοιες Κυκλοφοριακής Ανάλυσης

Ένα οδικό δίκτυο μελετάτε και αξιολογείται μέσω ορισμένων βασικών μεγεθών. Στην συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία θα γίνει μακροσκοπική ανάλυση, δηλαδή θα εξετασθεί η συνολική κίνηση των οχημάτων σε ορισμένα τμήματα οδών. Τα βασικά κυκλοφορικά μεγέθη σε μακροσκοπικό επίπεδο είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, η μέση ταχύτητα και η πυκνότητα (I.M. Φραντζεσκάκης et al., 2009).

Ο **κυκλοφοριακός φόρτος** (traffic volume) ορίζεται ως η ποσότητα και η ένταση της κυκλοφορίας των οχημάτων ή πεζών σε μία οδό ή καθορισμένη περιοχή, σε δεδομένη χρονική στιγμή. Συνήθως, μετριέται ως ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχονται από ένα σημείο ή μία διατομή οδού τη μονάδα του χρόνου (π.χ. ανά ώρα, ημέρα). Μαθηματική σχέση : $q(x) = \frac{n(x)}{T}$, όπου $n(x)$ ο αριθμός οχημάτων που πέρνα από τη θέση x σε χρόνο T .

Η **ταχύτητα διαδρομής** (travel speed) αναφέρεται στη μέση ταχύτητα που αναπτύσσει ένα όχημα κατά την διάρκεια της διαδρομής του, από το σημείο προέλευσης στο σημείο προορισμού, συμπεριλαμβανομένων των καθυστερήσεων για λόγους όπως συμφόρησης, φωτεινών σηματοδοτών και στάσεων κλπ. Μαθηματικά υπολογίζεται ως ο λόγος της συνολικής απόστασης που διανύθηκε προς τον συνολικό χρόνο που απαιτήθηκε για την πραγματοποίηση της διαδρομής:

$$\text{ταχύτητα διαδρομής} = \frac{\text{Συνολική απόσταση}}{\text{Συνολικό χρόνο διαδρομής (με τις καθυστερήσεις)}}$$

Η **ταχύτητα ελεύθερης ροής** (free-flow speed) είναι η μέση ταχύτητα που αναπτύσσει ένα όχημα σε έναν οδικό άξονα όπου δεν συναντάει κανένα αίτιο καθυστερήσεων. Σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο, ταχύτητα ελεύθερης ροής έχουμε όταν ο φόρτος είναι πολύ χαμηλός. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ικανότητας ενός δρόμου σε ιδανικές συνθήκες, και συνήθως είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διαδρομής.

Η **μέση ταχύτητα** (average highway speed) ορίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των ταχυτήτων μελέτης των επιμέρους τμημάτων μιας οδού. Μαθηματικά εκφράζεται ως:

$$\text{Μέση ταχύτητα} = \frac{\text{Συνολική Απόσταση}}{\text{Συνολικός χρόνος}}$$

Η **πυκνότητα κυκλοφορίας** (traffic density) εκφράζει τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται σε μία δεδομένη στιγμή, σε καθορισμένο τμήμα οδού ανά μονάδα μήκους.

Συνήθως ορίζεται ως αριθμός οχημάτων ανά χιλιόμετρο ή ανά χιλιόμετρο ανά λωρίδα, ανάλογα τι μελετάται. Μαθηματική σχέση: $\text{Πυκνότητα κυκλοφορίας} = \frac{\text{Αριθμός οχημάτων}}{\text{Μήκος οδικού τμήματος}}$.

Η πυκνότητα είναι σημαντικό μέγεθος, γιατί χαρακτηρίζει την ένταση της κυκλοφορίας, όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα τόσο οδηγούμαστε σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Ο **κυκλοφοριακός ρυθμός ροής** (traffic flow rate) ορίζεται ως η ποσότητα οχημάτων που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο ή διατομή της οδού κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου μικρότερη της ώρας, ανηγμένος στην ώρα (ισοδύναμος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος). Συνήθως η χρονική περίοδος που αναφέρεται είναι διάρκειας 15 λεπτών και εκφράζεται σε οχήματα ανά ώρα.

3.3 Συσχέτιση Μεγεθών Κυκλοφοριακής Ανάλυσης

Η **θεμελιώδης σχέση** που συνδέει και τα τρία μεγέθη είναι:

$$q = k * u_s,$$

όπου: q: κυκλοφοριακός φόρτος

k: κυκλοφοριακή πυκνότητα

u_s : μέση ταχύτητα χώρου.

Οι συσχετισμοί μεταξύ Ταχύτητας – Πυκνότητας, Ταχύτητας – Φόρτου και Φόρτου – Πυκνότητας, αποτελούν τα **θεμελιώδη διαγράμματα** για την περιγραφή της κυκλοφορίας. Τα θεμελιώδη διαγράμματα περιγράφουν τι εμπειρικές σχέσεις μεταξύ των καταστάσεων κυκλοφορίας, με τη χρήση των μακροσκοπικών μεγεθών, όπως η ταχύτητα, η πυκνότητα και ο φόρτος. Οι θεμελιώδεις αυτές σχέσεις βασίζονται πάνω σε ομογενή και σταθερή κυκλοφοριακή ροή. Προϋπόθεση μίας σταθερής συνθήκης είναι οι ταχύτητες των οχημάτων να είναι ίσες μεταξύ τους και αμετάβλητες στον χρόνο (G Dahiya et al., 2022). Συνεπώς δεν περιγράφουν όλο το εύρος των κυκλοφοριακών συνθηκών. Αυτό οφείλεται στην έντονη μεταβλητότητα που υπάρχει, η οποία επηρεάζεται από την εξαναγκασμένη κίνηση των οχημάτων (επιρροή από γειτονικά οχήματα), την περιοχή μέτρησης (αστική, υπεραστική κ.α.), την γεωμετρία και το είδος ροής της οδού, αλλά και από την θέση μετρήσεων (π.χ. απόσταση από φωτεινό σηματοδότη) (I.M. Φραντζεσκάκης et al., 2009). Έτσι, παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στα συμπεράσματα από τα θεμελιώδη διαγράμματα και της πραγματικής κυκλοφοριακής συνθήκης.

➤ **Σημείωση:** τα παρακάτω διαγράμματα χρησιμοποιούν τις εξής **μεταβλητές:**

q: κυκλοφοριακός φόρτος

k: κυκλοφοριακή πυκνότητα

u_s : μέση ταχύτητα χώρου

u_f : ταχύτητα ελεύθερης ροής

k_j : πυκνότητα κορεσμού

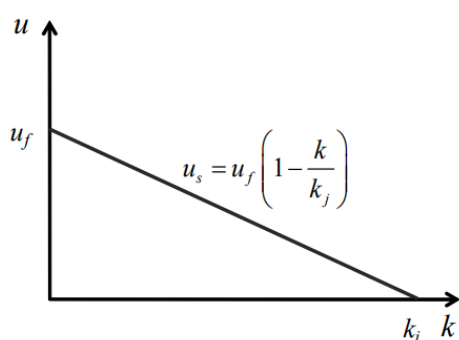
k_c : το ήμισυ της πυκνότητας κορεσμού

q_c : μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος

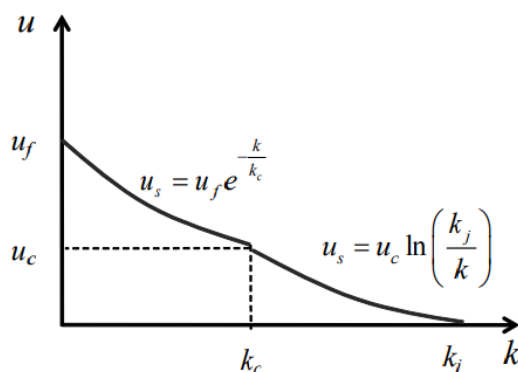
3.3.1 Σχέση Ταχύτητας – Πυκνότητας

Η **θεμελιώδης σχέση ταχύτητας – πυκνότητας** παρέχει πληροφορίες για την ταχύτητα και την χωρητικότητα ελεύθερης ροής, και χρησιμοποιείται για την κατανόηση της δυναμικότητας και την μοντελοποίηση της κυκλοφορίας, την αξιολόγηση για αποφυγή της συμφόρησης και την πρόβλεψη ικανότητας ενός οδικού άξονα (Bai Lu et al.,2024). Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι κάθε τιμή πυκνότητας αντιστοιχεί σε έναν αριθμό ταχύτητας (μονοσήμαντη σχέση). Στην προκειμένη περίπτωση δεν έχει καθοριστεί μία συγκεκριμένη μαθηματική σχέση, για αυτό υπάρχουν γραμμικές, λογαριθμικές, εκθετικές αλλά και σύνθετες συναρτήσεις. Το βέλτιστο είναι να δοθεί μία σχέση σε όσο το δυνατόν πιο απλούστερη μορφή με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Τα μοντέλα διαφέρουν ως προς τις παραμέτρους και τη δομή, γεγονός που επηρεάζει την χρησιμότητα του καθενός, ενώ ασφαλέστερη θεωρείται μία σχέση που χρειάζεται λίγα και συγκεκριμένα δεδομένα για αποφυγή σφαλμάτων, λόγω μεγάλης μεταβλητότητας.

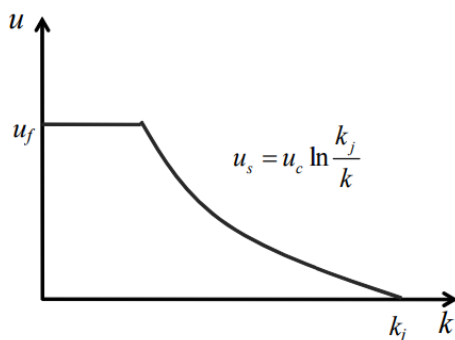
Χαρακτηριστική σχέση είναι αυτή του **Greenshields**, η οποία αποτυπώνει γραμμική σχέση μεταξύ των μεγεθών και έχει αποτελέσει πρότυπο και θεμελιώδες μοντέλο για την εξέλιξη των υπολοίπων. Το ακόλουθο διάγραμμα δείχνει ότι όταν η πυκνότητα άρα και ο φόρτος τείνει στο μηδέν, τότε η ταχύτητα ταυτίζεται με την ταχύτητα ελεύθερης ροής. Όσο η πυκνότητα φτάνει στην μέγιστη τιμή της (κορεσμός), τότε η ταχύτητα τείνει στο μηδέν (πλήρης ακινητοποίηση οχημάτων) (G Dahiya et al.,2022).



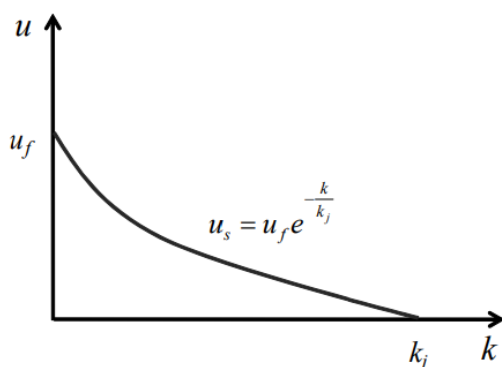
Εικόνα 1: Διάγραμμα ταχύτητα-πυκνότητα Greenshields



Εικόνα 2: Διάγραμμα ταχύτητα-πυκνότητα Eddie



Εικόνα 3: Διάγραμμα ταχύτητα-πυκνότητα Greenberg



Εικόνα 4: Διάγραμμα ταχύτητα-πυκνότητα Underwood

Ο **Eddie** έχει εισάγει μία ασυνέχεια στο διάγραμμα του, γεγονός που έχει σχολιαστεί ως αναξιόπιστο λέγοντας ότι δεν δύναται να αντιστοιχεί σε ισορροπία, και ότι έχει επηρεαστεί από την περιοχή μελέτης. Το διάγραμμα αυτό υποδεικνύει ότι ο ρυθμός μείωσης

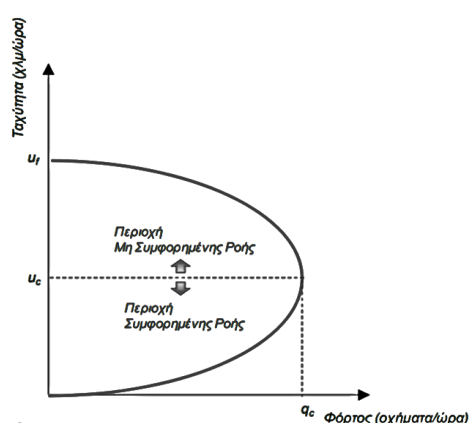
ταχύτητας διαφέρει πριν και μετά της κατά το ήμισυς πυκνότητας, και συνδυάζει εκθετική και λογαριθμική συνάρτηση (G Dahiya et al.,2022).

Χρησιμοποιώντας την υδροδυναμική ο **Greenberg** συσχέτισε την κυκλοφοριακή κίνηση με τέλειο ρευστό. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις κίνησης και συνέχειας για μονοδιάστατη συμπιεστή ροή, κατέληξε σε μία αλγοριθμική συνάρτηση ταχύτητας – πυκνότητας (G Dahiya et al.,2022). Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι η ταχύτητα παραμένει στα επίπεδα ταχύτητας ελεύθερης ροής μέχρι κάποια πυκνότητα, από την οποία και μετά επέρχεται απότομη μείωση.

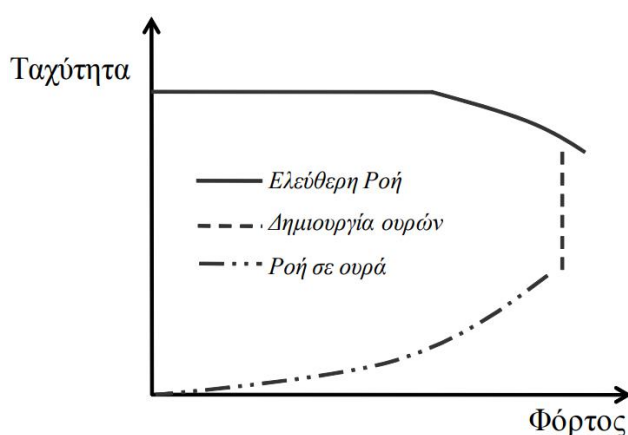
Ένα ακόμη μοντέλο που πρότεινε ο **Underwood**, βασίζεται στο ότι κατά μήκος την κλίμακας της πυκνότητας θα πρέπει να υπάρχει ασύμπτωτη προς το άπειρο, διότι η ευαισθησία της κυκλοφοριακής συνθήκης είναι ανάλογη της ταχύτητας τους μπροστινού οχήματος και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης (G Dahiya et al.,2022).

3.3.2 Σχέση Ταχύτητας – Φόρτου

Ξεκινώντας από τη θεμελιώδη γραμμική σχέση ταχύτητας – πυκνότητας του Greenshields, αναπτύχθηκε η θεμελιώδης μορφή της **σχέσης ταχύτητας – φόρτου**. Η συνάρτηση αυτών των δύο μεγεθών παίζει σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό, καθώς συμβάλλει εύρεση του σημείου της βέλτιστης ταχύτητας εξαρτημένη του φόρτου. Με την προσέγγιση της γραμμικότητας της ταχύτητας και της πυκνότητας, το θεμελιώδες διάγραμμα ταχύτητα – φόρτου φέρει παραβολική μορφή. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η μέγιστη τιμή της ταχύτητας (ταχύτητα ελεύθερης ροής) εμφανίζεται όταν ο φόρτος παίρνει μηδενική τιμή. Ενώ, η ταχύτητα μειώνεται όσο αυξάνεται ο φόρτος. Το διάγραμμα χωρίζεται σε δύο μέρη. Το άνω τμήμα περιγράφει την κυκλοφορία πριν επέλθει συμφόρηση, και οροθετείται στο σημείο του μέγιστου φόρτου. Από το σημείο αυτό και έπειτα ο φόρτος υπερβαίνει την κυκλοφοριακή ικανότητα του άξονα, δημιουργώντας συνθήκες συμφόρησης, με αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας (I.M. Φραντζεσκάκης et al.,2009).



Εικόνα 5: Διάγραμμα ταχύτητας-φόρτου Greenshields



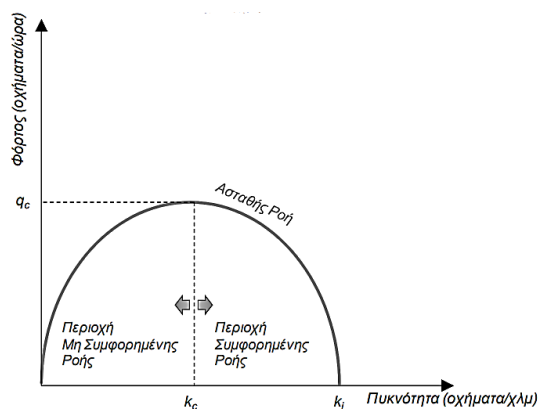
Εικόνα 6: Γενικευμένη σχέση ταχύτητας-φόρτου

Μία **εμπειρική σχέση για ταχύτητα- φόρτος** είναι αυτή που περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα και συμπεριλαμβάνει την έννοια των ουρών.

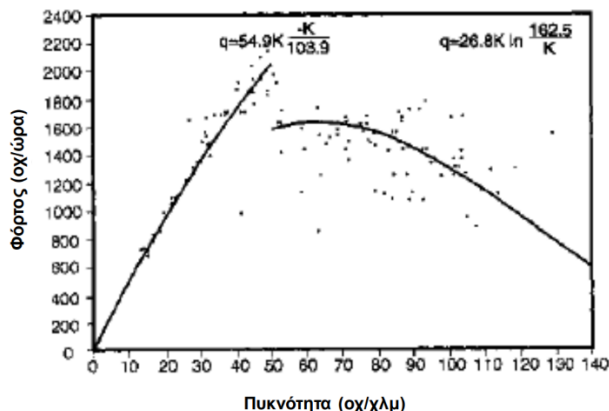
Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι καθώς ο φόρτος πλησιάζει την τιμή της κυκλοφοριακής ικανότητας του άξονα, τότε για ένα διάστημα η τιμή της ταχύτητας παραμένει σταθερή. Σε αυτή την περίπτωση, περιγράφεται η δημιουργία ουρών. Δηλαδή, όταν ο ρυθμός άφιξης οχημάτων ξεπερνάει τον ρυθμό εξυπηρέτησης της οδού. Επιπλέον, παρατηρείται ότι λίγο πριν την εμφάνιση του κορεσμού υπάρχει μικρή μείωση του φόρτου σε βαθμό 3%-5%, ωστόσο αυτό δεν γίνεται αντιληπτό αφού οι υψηλοί φόρτοι λίγο πριν την δημιουργία συμφόρησης έχουν μικρή χρονική διάρκεια (I.M. Φραντζεσκάκης et al.,2009).

3.3.3 Σχέση Φόρτου – Πυκνότητας

Λαμβάνοντας υπόψιν την γραμμική σχέση του Greenshields για την ταχύτητα και την πυκνότητα έχουμε και το αντίστοιχο **θεμελιώδες διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας**. Σημειώνεται ότι όταν η πυκνότητα παίρνει μηδενική τιμή τότε και ο φόρτος τείνει στο μηδέν. Ταυτόχρονα, ο φόρτος τείνει στο μηδέν όταν έχουμε πυκνότητα κορεσμού. Αυτό εκφράζει την περίπτωση της πλήρης ακινητοποίησης των οχημάτων (συμφόρηση). Επιπλέον, ο μέγιστος φόρτος σημειώνεται στην τιμή της πυκνότητας k_c , όπου είναι ίση με την μισή ποσότητα της πυκνότητας κορεσμού (I.M. Φραντζεσκάκης et al.,2009).



Εικόνα 7: Διάγραμμα Φόρτος-Πυκνότητα Greenshields



Εικόνα 8: Διάγραμμα φόρτου-πυκνότητα Eddie

Ο Eddie χρησιμοποιώντας την σύνθετη σχέση ταχύτητας – φόρτου μελέτησε και την **εμπειρική συνάρτηση** των μεγεθών **φόρτος – πυκνότητα**. Λόγω της ασυνέχειας στο πρώτο διάγραμμα Εικ.2 που εκφράζονται λόγω της ασταθούς ροής, και σε αυτό παρατηρείται μία ασυνέχεια στις υψηλές τιμές φόρτου (I.M. Φραντζεσκάκης et al.,2009).

3.4 Βασικές Έννοιες Στατιστικής

Ο όρος **πληθυσμός** αναφέρεται στο σύνολο των παρατηρήσεων ενός χαρακτηριστικού που ενδιαφέρει την στατιστική έρευνα. Πρόκειται για ένα σύνολο απόλυτα καθορισμένο. Ένας πληθυσμός μπορεί να είναι πραγματικός ή θεωρητικός.

Ο όρος **δείγμα** αναφέρεται σε ένα υποσύνολο του πληθυσμού. Κατά πλειοψηφία οι στατιστικές μελέτες βασίζονται σε στατιστικά δείγματα. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν γενικεύονται για όλο το σύνολο των δεδομένων, αρκεί να ισχύουν με

ικανοποιητική ακρίβεια για όλο το πληθυσμό. Αυτό προϋποθέτει την σωστή επιλογή δείγματος, ορίζοντας το ως αντιπροσωπευτικό. Η σωστή επιλογή δίνει την δυνατότητα σε κάθε στατιστική μονάδα του πληθυσμού, την ίδια πιθανότητα να βρεθεί εντός δείγματος.

Κάθε χαρακτηριστικό του πληθυσμού ορίζεται ως **μεταβλητή**. Ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνει η κάθε μεταβλητή χαρακτηρίζεται ως:

- **Ποιοτικές** (κατηγορικές): αναφέρονται ως οι μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν ένα χαρακτηριστικό του πληθυσμού. Οι τιμές που λαμβάνουν μπορεί να είναι και αριθμοί, μόνο ως συμβολική χρήση. Μία τέτοια μεταβλητή είναι η `is_day` (μέρα/νύχτα).
- **Ποσοτικές**: είναι οι μεταβλητές που εκφράζουν αριθμητικές τιμές και έχουν σημασία μέτρησης. Οι μεταβλητές αυτές διακρίνονται σε διακριτές και συνεχείς. Τις διακριτές τις χαρακτηρίζει ότι η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορούν να έχουν δύο τιμές είναι σταθερή (π.χ. Hour). Ενώ, συνεχείς είναι οι μεταβλητές που μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή, ανεξαρτήτου διαφοράς (π.χ. ταχύτητα).

Μέσος όρος (mean) στη στατιστική ανάλυση αναφέρεται ως η αριθμητική μέση τιμή ενός συνόλου. Δηλαδή, είναι το άθροισμα όλων των τιμών διά το πλήθος.

$$\text{mean} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_1^n x}{n}$$

Η **τυπική απόκλιση** (sd) στη στατιστική δείχνει το πόσο διασκορπισμένες είναι οι τιμές του συνόλου γύρω από το μέσο όρο του. Μαθηματικά εκφράζεται ως η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγωνικών αποκλίσεων των τιμών από το μέσο όρο.

$$\text{sd} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \text{mean})^2}{n}}$$

3.5 CatBoost

Για τον εντοπισμό του βαθμού επιρροής κάθε μεταβλητής στην ταχύτητα και τον κυκλοφοριακό φόρτο, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος **CatBoost**. Είναι ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης που έχει σχεδιαστεί για χρήση σε προβλήματα πρόβλεψης και ανάλυσης δεδομένων (A. Ibrahim et al.,2020). Το CatBoost μπορεί να χειριστεί κατηγορικά δεδομένα χωρίς να απαιτείται προεπεξεργασία για μετατροπή τους σε αριθμητικές μορφές, οι βασικοί παράμετροι είναι ήδη βελτιστοποιημένες, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία πιο εύκολη. Κατά την διάρκεια της ανάλυσης ο αλγόριθμος χωρίζει τα δεδομένα σε δεδομένα εκπαίδευσης και δεδομένα ελέγχου. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνει να αξιολογήσει την απόδοση του σε νέα δεδομένα, αποφεύγοντας την υπερεκπαίδευση. Επιπλέον, το CatBoost, χρησιμοποιεί την τεχνική Gradient Boosting κατά την οποία κατασκευάζονται σταδιακά δέντρα αποφάσεων, με το κάθε επόμενο να διορθώνει τα σφάλματα του προηγούμενου. Η ροή εργασίας του αλγορίθμου είναι:

Βάση δεδομένων → Εκπαίδευση/Ελεγχος (διαχωρισμός) → CatBoost → Αποτέλεσμα

3.6 Ανάλυση σε συστάδες (Cluster Analysis)

Μία συλλογή δεδομένων μπορεί να αναλυθεί για την παραγωγή νέων πληροφοριών. Η **ανάλυση σε συστάδες** είναι μια τεχνική μηχανικής μάθησης, χωρίς παρακολούθηση για τον εντοπισμό ομαδοποιήσεων σε μεγάλα σύνολα δεδομένων. Μία συνηθισμένη ανάλυση σε συστάδα είναι η **K-means**. Σε αυτή την περίπτωση, ο αριθμός των συστάδων k που θα χωριστεί η βάση δεδομένων πρέπει να ορισθεί από τον ερευνητή. Ο αλγόριθμος K-means ξεκινά δημιουργώντας k αριθμό συστάδων, και στη συνέχεια ταξινομεί το κάθε σημείο των δεδομένων στη συστάδα με την πλησιέστερη μέση τιμή. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει πάνω από μία επανάληψεις. Στην πρώτη επανάληψη, οι συστάδες είναι συχνά ατελείς, αφού ο διαχωρισμός σε ομάδες γίνεται αυθαίρετα. Αφού έχουν χωριστεί όλα τα δεδομένα σε συστάδες, τότε πραγματοποιείται η δεύτερη επανάληψη με νέες μέσες τιμές, και πραγματοποιούνται νέες αντιστοιχίσεις των δεδομένων. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου οι προηγούμενες μέσες τιμές να είναι σχεδόν ίσες με τις τρέχουσες. Όλη η παραπάνω διαδικασία γίνεται αυτόματα και παρουσιάζεται μόνο το τελικό αποτέλεσμα (B. Lund et al.,2021).

Μαθηματικά ο αλγόριθμος K-means λειτουργεί ως εξής. Το κέντρο κάθε συστάδας είναι η μέση τιμή των σημείων δεδομένων που ανήκουν σε αυτή τη συστάδα. Συγκεκριμένα, ορίζεται ένα μέτρο απόστασης $d(x_k, c_i)$, όπου x το σημείο δεδομένο και c το κέντρο της συστάδας. Για να προσδιοριστεί σε ποια συστάδα ανήκει κάθε δεδομένο, συγκρίνεται η απόστασή του από τα κέντρα όλων των συστάδων. Τελικός, το κάθε σημείο δεδομένο ανήκει στην συστάδα από την οποία απέχει την μικρότερη απόσταση.

$$l_k(x_k) = \operatorname{argmin}_i d(x_k - c_i) = \operatorname{argmin}_i \|x_k - c_i\|^2$$

Όπου, l_k η ετικέτα (μικρότερη απόσταση) για το σημείο x_k .

Ο αλγόριθμος K-means προσπαθεί να κατηγοριοποιήσει τα δεδομένα στο σύνολο συστάδων, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης. Ως παραμόρφωση ορίζεται το συνολικό άθροισμα των αποστάσεων (SMA Burney et al.,2014).

$$L(x, c) = \sum_{i=1}^n d(x_k, c_i)^2$$

3.7 Silhouette Width

Για την μέθοδο Cluster Analysis K-means πρέπει να ορισθεί από εξωτερικό παράγοντα ο αριθμός των συστάδων. Για αυτό το σκοπό στην παρούσα Διπλωματική Εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος **Silhouette Width**. Κάθε συστάδα αντιπροσωπεύεται από την λεγόμενη «σιλουέτα», η οποία βασίζεται στη σύγκριση μεταξύ της συνοχής και την απόσταση μεταξύ των ομαδοποιήσεων. Η μέθοδος αυτή δείχνει ποια στοιχεία δεδομένων είναι καλά ορισμένα σε μία συστάδα και ποια βρίσκονται ενδιάμεσα. Η συνολική ομαδοποίηση εμφανίζεται σε ένα διάγραμμα, επιτρέποντας την εκτίμηση της ποιότητας των συστάδων και δίνοντας μία συνολική εικόνα της διαμόρφωσης των δεδομένων. Το μέσο πλάτος της Silhouette είναι ο βέλτιστος λόγος που μεγιστοποιεί την απόσταση μεταξύ των συστάδων και ελαχιστοποιεί την απόσταση εντός των συστάδων.

Αυτή η μέση τιμή παρέχει μία εκτίμηση της εγκυρότητας της ομαδοποίησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάλληλη επιλογή του αριθμού των συστάδων k . Το μέσο πλάτος ορίζεται ως:

$$S(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))}$$

Όπου $a(i)$ ορίζεται η απόσταση από την συστάδα που ανήκει το σημείο δεδομένο, και $b(i)$ η απόσταση από την συστάδα που δεν ανήκει. Όσο πιο κοντά στο 1 το $s(i)$ τόσο καλύτερη ομαδοποίηση έχει γίνει (SMA Burney et al., 2014).

4 Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιγραφική ανάλυση των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Τα δεδομένα αφορούν άξονες σε όλη την περιφέρεια της Αθήνας και ο σκοπός είναι η ανάλυση της μέσης ταχύτητας και του κυκλοφοριακού φόρτου. Για την έρευνα αυτή συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα :

- a. Χρόνος διαδρομής και μέση ταχύτητα από την Google Maps API
- b. Κυκλοφοριακοί φόρτοι από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (ΚΔΚ)
- c. Καιρικά φαινόμενα από το Open-Meteo

4.2 Συλλογή δεδομένων

4.2.1 Google maps

Τα δεδομένα κυκλοφορίας των χαρτών της **Google maps** έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε κυκλοφοριακές αναλύσεις για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας, για δρομολόγηση οχημάτων, πρόβλεψη χρόνου ταξιδιού κ.α. με την χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης και μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης. Η Google μέσω της λειτουργίας του GPS συλλέγει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, για την τοποθεσία, τον προορισμό και την ταχύτητα του χρήστη, κι έτσι δημιουργεί έναν ζωντανό κυκλοφοριακό χάρτη. Τα ζωντανά αυτά δεδομένα προέρχονται από το crowdsourcing του Google API. Ενώ, ταυτόχρονα κρατάει ιστορικό δεδομένων για μελλοντικές προβλέψεις μέσω αλγορίθμων που αναλύουν μοτίβα κίνησης. Επιπλέον, η Google συνεργάζεται με δημόσιες ή ιδιωτικές υπηρεσίες για όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα από άλλες πηγές όπως ραντάρ. (Sumit Mishra et al.,2018)

Τα **δεδομένα που συλλέχθηκαν** περιλαμβάνουν γεωγραφικά στοιχεία και δεδομένα μέσης ταχύτητας και χρόνου διαδρομής για 62 οδούς. Πιο συγκεκριμένα έχουμε δεδομένα για κεντρικούς, κυρίως, άξονες μίας ή δύο κατευθύνσεων και η κάθε κατεύθυνση έχει υπολογιστεί ως μεμονωμένος άξονας με δικά της δεδομένα. Τα γεωγραφικά στοιχεία περιλαμβάνουν συντεταγμένες σημείου σε αρχή, μέση και τέλος σε κάθε δρόμο καθώς και το μήκος του. Τα δεδομένα αντιστοιχούν στο έτος του 2022, ωστόσο δεν συμπεριλαμβάνεται ο μήνας Αύγουστος, καθώς οι κινήσεις εκείνη την περίοδο δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικές. Επιπλέον, σημειώνεται ότι δεν αντιστοιχούν μετρήσεις για τις ημερομηνίες 6-9 Απριλίου, 25-31 Μαΐου, 1-13 Ιουνίου, 7-16 και 18-31 Ιουλίου, και τέλος 1-19 Σεπτεμβρίου. Οι τιμές των μέσων ταχυτήτων αφορούν τις ώρες, από τις 8:00 έως 9:40, 12:00 έως 18:40 και από τις 21:00 έως 23:40, ανά 20 λεπτά. Τέλος, επισημαίνεται ότι για την ημέρα Σάββατο υπάρχουν δεδομένα για τα διαστήματα 12:00-18:40 και 21:00-23:40, και για την Κυριακή 12:00-18:40.

4.2.2 Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας

Το **Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (ΚΔΚ)** μία υπηρεσία που ξεκίνησε το 2004 στην Περιφέρεια Αττικής, με σκοπό την παρακολούθηση και αξιολόγηση των κυκλοφοριακών

συνθηκών. Η λειτουργία του είναι καθημερινή και όλο το χρόνο (24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο), και βασικοί στόχοι είναι:

- Η βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών και της οδικής ασφάλειας, την άμεση απόκριση σε συμβάντα, την γρήγορη ενημέρωση των οδηγών και την παρέμβαση στη φωτεινή σηματοδότηση
- Η λήψη κυκλοφοριακών δεδομένων που λαμβάνεται κατά μήκος των βασικών αξόνων για επεξεργασία και μελέτη, καθώς και συναφειών ερευνών μέσω πανεπιστημιακών φορέων
- Συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και αξιοποίηση από τρίτους για στήριξη της τηλεματικής
- Συνολική συνεργασία με άλλα κέντρα ελέγχου κυκλοφορίας (Τροχαία, Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας Αττικής Οδού, Πυροσβεστική κ.α.)

Η συλλογή όλων των πληροφοριών γίνεται μέσω εγκατάστασης συστημάτων παρακολούθησης κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, διατίθενται 550 θέσεις μέτρησης κυκλοφοριακών δεδομένων (απλοί επαγωγικοί βρόχοι και βρόχοι «μηχανικής όρασης»), 217 κάμερες εποπτείας της κυκλοφορίας, 24 Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων, το σύστημα Εποπτείας της Κυκλοφορίας SITRAFFIC CONCERT, καθώς και ρυθμιστικές κυκλοφορίας στους σηματοδοτούμενος κόμβους (περίπου 850). Σημειώνεται, ότι κατά τη διαδικασία αυτή ακολουθούνται αυστηρά όροι και προϋποθέσεις της Αρχής Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα, και για αυτό το λόγο δεν διατηρούνται εικόνες, ούτε κάποιο εξατομικευμένο κυκλοφοριακό στοιχείο. (Περιφέρεια Αττικής, 2021).

Τα κυκλοφοριακά μεγέθη που λαμβάνονται από το ΚΔΚ, αφορούν δεδομένα μέσω των βρόγχων, όπως η **κατάληψη** (occupancy). Το μέγεθος της κατάληψης εκφράζει την ένταση κυκλοφορίας στο χρόνο, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που μία διατομή καταλαμβάνεται από όχημα. Ο χρόνος που καταλαμβάνει ένα όχημα i σε μία διατομή εξαρτάται από την ταχύτητα ($u_i(x)$), στη συγκεκριμένη θέση x , και το μήκος του οχήματος (L). Συνεπώς,, η μαθηματική έκφραση της κατάληψης για το χρονικό διάστημα T είναι: $O(x) = \frac{\sum_i^{n(x)} \frac{L_i}{u_i(x)}}{T}$ (I. Μ. Φραντζεσκάκης et al., 2009). Ένα ακόμη μέγεθος είναι και ο κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα).

Τα **δεδομένα που συλλέχθηκαν** αφορούν το φόρτο σε καθορισμένη θέση. Συνολικά τα δεδομένα αποτελούνταν από 26 θέσεις. Οι βρόχοι είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία με συντεταγμένες. Έτσι, το ποσοτικό νούμερο που αναγράφεται εκφράζει τον φόρτο σε ένα σημείο, δηλαδή σε οδό δύο κατευθύνσεων υπολογίζεται ο φόρτος σε αυτή τη μία κατεύθυνση που έχει τοποθετηθεί. Τα στοιχεία συμπεριλάμβαναν ακριβείς συντεταγμένες και έδειχναν τις καθημερινές ωριαίες διελεύσεις οχημάτων ανά ώρα για το έτος 2022, τους μήνες Ιανουάριο έως Ιούλιο.

4.2.3 Open-Meteo

Το **Open-Meteo** αποτελεί ένα API καιρού ανοιχτού κώδικα με δωρεάν πρόσβαση. Χρησιμοποιεί προγνώσεις καιρού ανοιχτών δεδομένων προ προέρχονται από εθνικές μετεωρολογικές υπηρεσίες, καθώς ενσωματώνει τοπικά και παγκόσμια μοντέλα καιρού υψηλής ανάλυσης. Σε καθημερινή βάση 2TB δεδομένων συλλέγονται, επεξεργάζονται και αποθηκεύονται σε τοπικά αρχεία χρησιμοποιώντας μία προσαρμοσμένη μορφή αρχείου και τεχνική συμπίεσης για να υποστηριχθεί η πρόσβαση σε δεδομένα χρονοσειρών (π.χ. πρόβλεψη καιρού 14 ημερών). Σημειώνεται ότι, για να επεξεργαστεί κάποιος χρήστης τα δεδομένα από το Open-Meteo χρειάζεται τεχνογνωσία για δυαδικές μορφές αρχείων, συστήματα πλέγματος, προβολές και τις βασικές αρχές πρόβλεψης καιρού. (Open-Meteo, 2024)

Τα **δεδομένα που συλλέχθηκαν** για την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας αφορούν ωριαία καιρικά φαινόμενα που έχουν καταγραφεί στους πέντε άξονες, που προέκυψαν από τη σύμπτυξη των προηγούμενων βάσεων. Συγκεκριμένα, καταγράφηκαν η ωριαία μέση θερμοκρασία, το ύψος της βροχής, το ύψος χιονόπτωσης και η αλλαγή από μέρα σε νύχτα.

4.2.4 Συγχώνευση Βάσεων Δεδομένων

Από τη **συγχώνευση των τριών βάσεων** δεδομένων ταχυτήτων κυκλοφορίας, κυκλοφοριακών φόρτων και καιρικών φαινομένων από την Google Maps και το ΚΔΚ και το Open-Meteo, δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας όπου αντιστοιχεί στις πέντε οδούς υπό εξέταση.

Συγκεκριμένα από συνδυασμό των δύο βάσεων δεδομένων ταχυτήτων και κυκλοφοριακών φόρτων, προέκυψε η αντιστοίχιση των βρόγχων μέτρησης κυκλοφοριακού φόρτου σε πέντε οδικούς άξονες (αποτελούν βασικούς άξονες στο κέντρο της Αθήνας):

1. Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων)
 2. Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας)
 3. Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου)
 4. Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου)
 5. Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου)
- Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι που διερευνήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής:

Παράμετρος	Κατηγορίες/ Περιγραφή
LatSt_x, LonSt_x, LatEn_x, LonEn_x	Γεωγραφικό πλάτος/μήκος για αρχή/τέλος κάθε οδικού τμήματος
odosEN	Ονομασία οδικού τμήματος
Date	
Day	1:Δευτέρα, 2:Τρίτη, 3:Τετάρτη, 4:Πέμπτη, 5:Παρασκευή, 6:Σάββατο, 7:Κυριακή
Weekday	0: Σαββατοκύριακο, 1:Καθημερινή

Month	1:Ιανουάριος, 2:Φεβρουάριος, 3:Μάρτιος, 4:Απρίλιος, 5:Μάιος, 6:Ιούνιος, 7:Ιούλιος
Hour	
OriginsX, OriginsY	Συντεταγμένες αρχής
DestinationsX, DestinationsY	Συντεταγμένες τέλους
ViaX, ViaY	Συντεταγμένες μέσου
RouteLength	Συνολικό μήκος άξονα
Road Type	Είδος οδού (Primary)
Lanes	Αριθμός λωρίδων (3 ή 4)
Maxspeed	Όριο ταχύτητας (50 ή 60)
duration_sec	Χρόνος διαδρομής εκφρασμένος σε δευτερόλεπτα
speed_km_h	Μέση ωριαία ταχύτητα εκφρασμένη σε χιλιόμετρα/ώρα
TrafficVollume2	Ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος
temperature_2m	Μέση ωριαία θερμοκρασία
rain	Ύψος βροχόπτωσης
snowfall	Ύψος χιονόπτωσης
ls_day	1: Μέρα, 0: Νύχτα

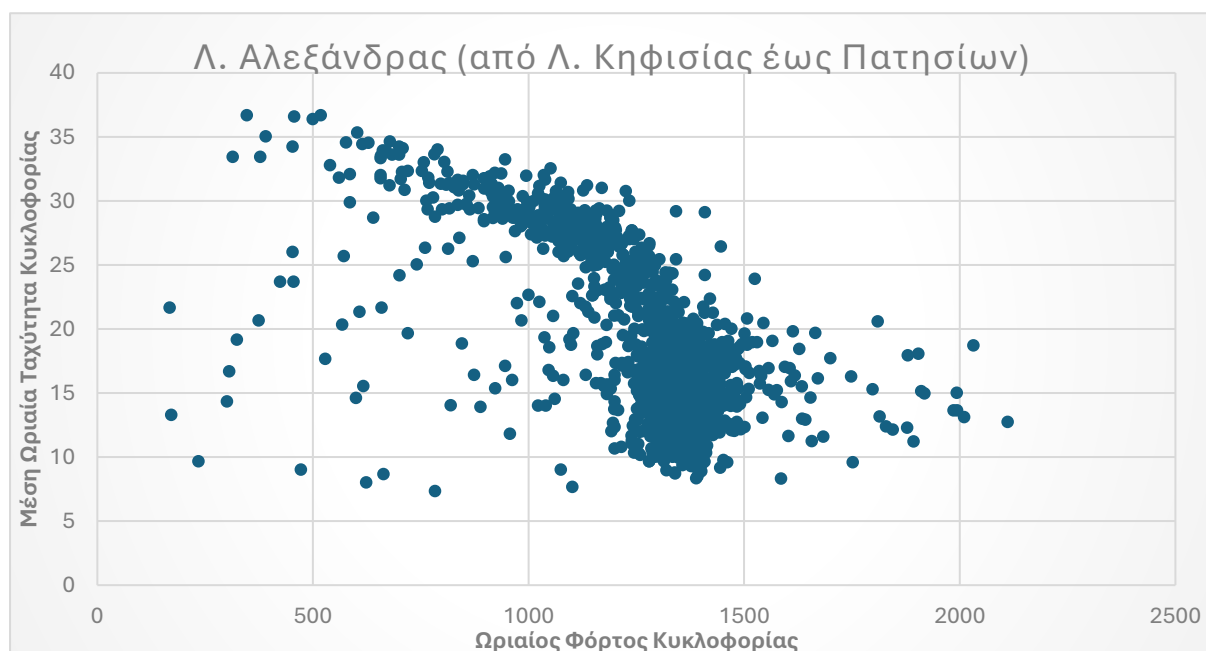
- Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται, ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή, για τα μεγέθη του χρόνου διαδρομής, της ταχύτητας και του κυκλοφοριακού φόρτου.

duration_sec	mean	sd	min	max
Alexandras_KifisiasTOPatision	569	188	259	1531
Alexandras_PatisionTOKifisias	509	151	248	1077
VasAmalias_AthDiakouTOPanepistimiou	205	97	91	870
VasSofias_PanepistimiouTOVasKonstantinou	244	73	136	1041
VasSofias_VasKonstantinouTOPanepistimiou	333	139	150	993
speed_km_h	mean	sd	min	max
Alexandras_KifisiasTOPatision	19	6	7	37
Alexandras_PatisionTOKifisias	21	7	9	39
VasAmalias_AthDiakouTOPanepistimiou	20	7	5	39
VasSofias_PanepistimiouTOVasKonstantinou	19	4	4	31
VasSofias_VasKonstantinouTOPanepistimiou	15	5	4	29
TrafficVollume	mean	sd	min	max
Alexandras_KifisiasTOPatision	1263	222	168	2111
Alexandras_PatisionTOKifisias	1145	196	30	1894
VasAmalias_AthDiakouTOPanepistimiou	2014	456	0	4667
VasSofias_PanepistimiouTOVasKonstantinou	1428	283	33	2535
VasSofias_VasKonstantinouTOPanepistimiou	767	179	52	1527
TrafficVollume_per_lane	mean	sd	min	max
Alexandras_KifisiasTOPatision	421	74	56	704
Alexandras_PatisionTOKifisias	382	63	56	631
VasAmalias_AthDiakouTOPanepistimiou	505	110	41	1167
VasSofias_PanepistimiouTOVasKonstantinou	477	91	39	845
VasSofias_VasKonstantinouTOPanepistimiou	257	58	60	509

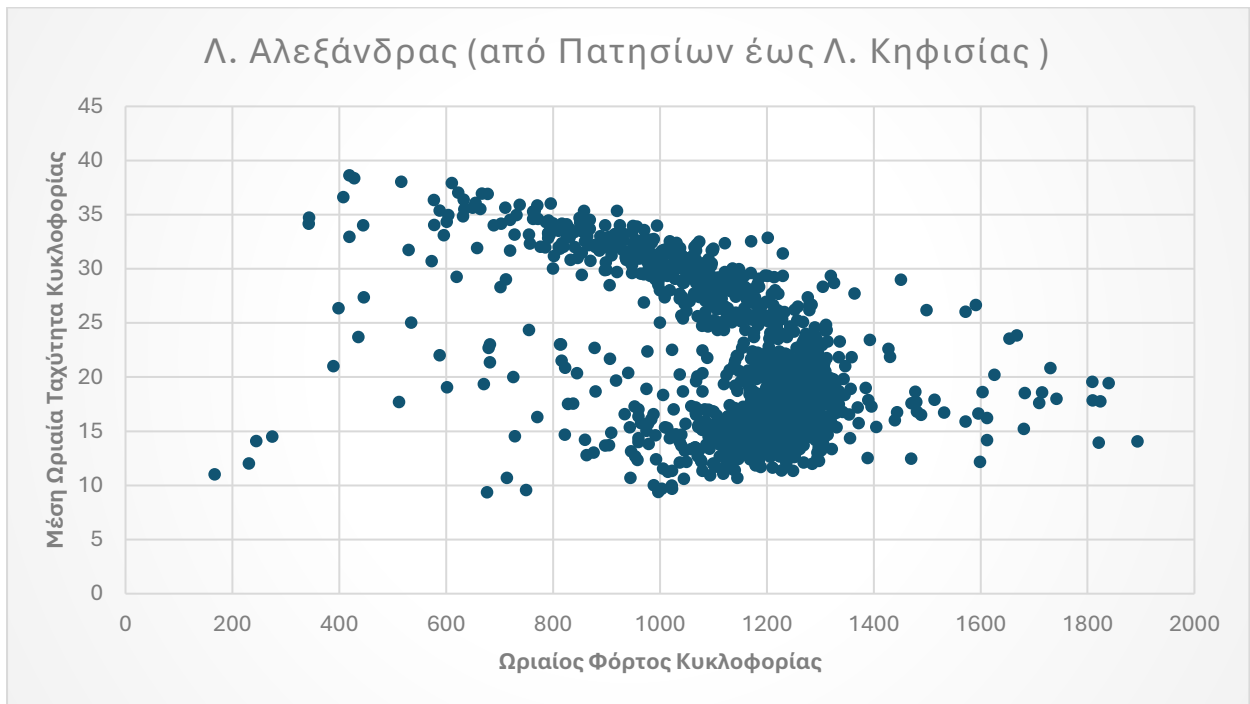
4.3 Περιγραφική Ανάλυση

Με σκοπό τη **διερεύνηση** της μέσης ταχύτητας και του χρόνου διαδρομής, για τους δεδομένους άξονες, βάση των κυκλοφοριακών μεγεθών, παρουσιάζονται **διαγράμματα** ως μία προκαταρκτική ανάλυση που συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση και την εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων. Η **περιγραφική ανάλυση** επιτρέπει μία πρώτη ανασκόπηση των δεδομένων με αποτέλεσμα τον εντοπισμό τυχόν φαινομένων ή τάσεων, την εξοικείωση με τους αριθμούς και την τάξη μεγέθους τους. Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα να βρεθεί να μεταβλητή με τη μεγαλύτερη βαρύτητα για τα συμπεράσματα που θα προκύψουν.

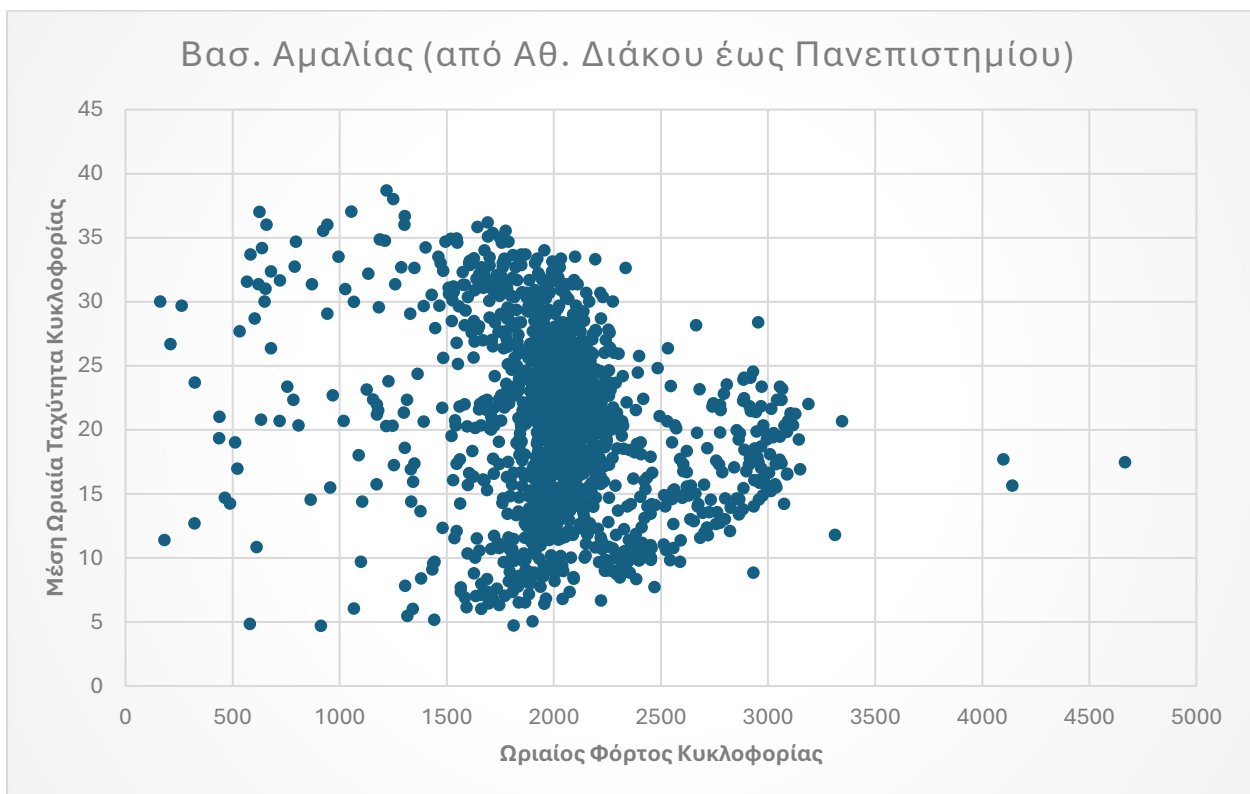
- Για τους άξονες Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων), Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας), Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου), Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου), Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) δημιουργήθηκαν τα **διαγράμματα Μέσης Ωριαία Ταχύτητας και Ωριαίου Φόρτου Κυκλοφορίας**:



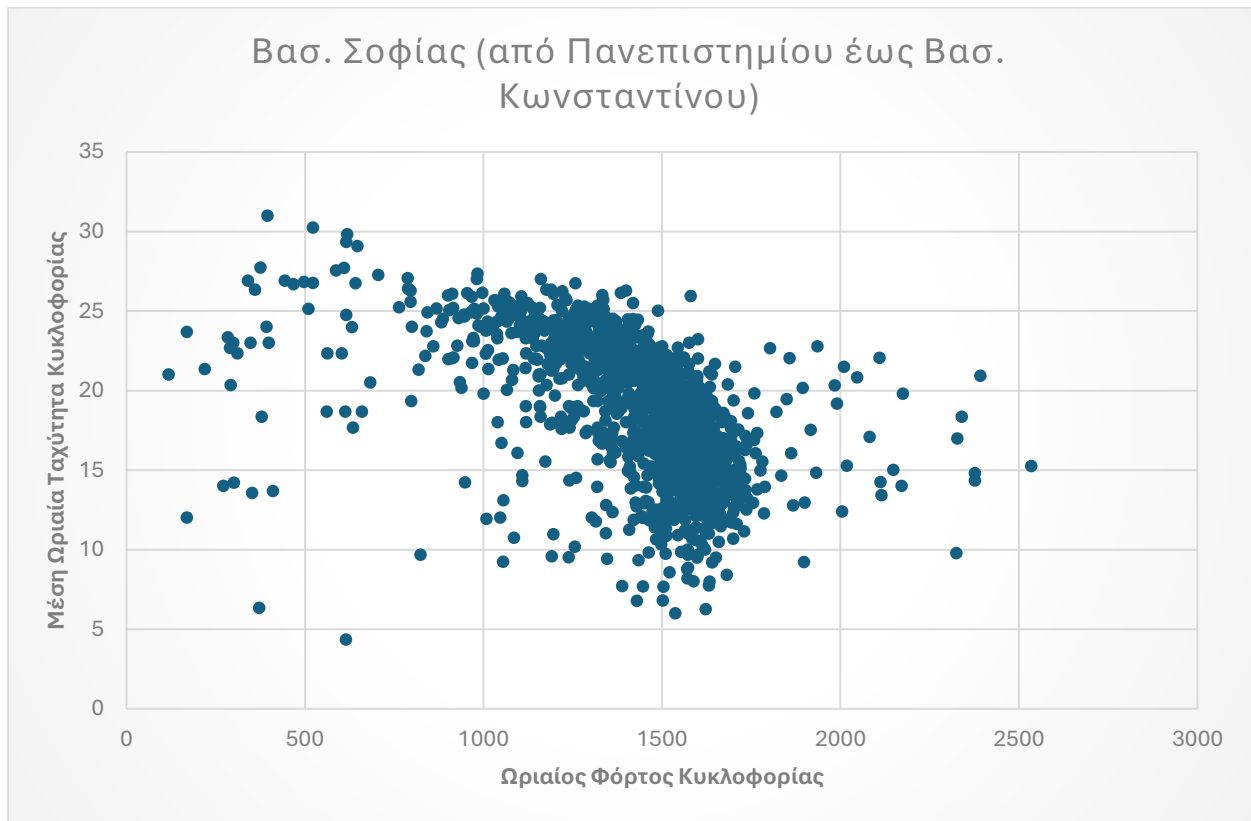
Διάγραμμα 1: Μέσης Ωριαίας Ταχύτητας-Ωριαίος Φόρτος Κυκλοφορίας για τον άξονα Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων)



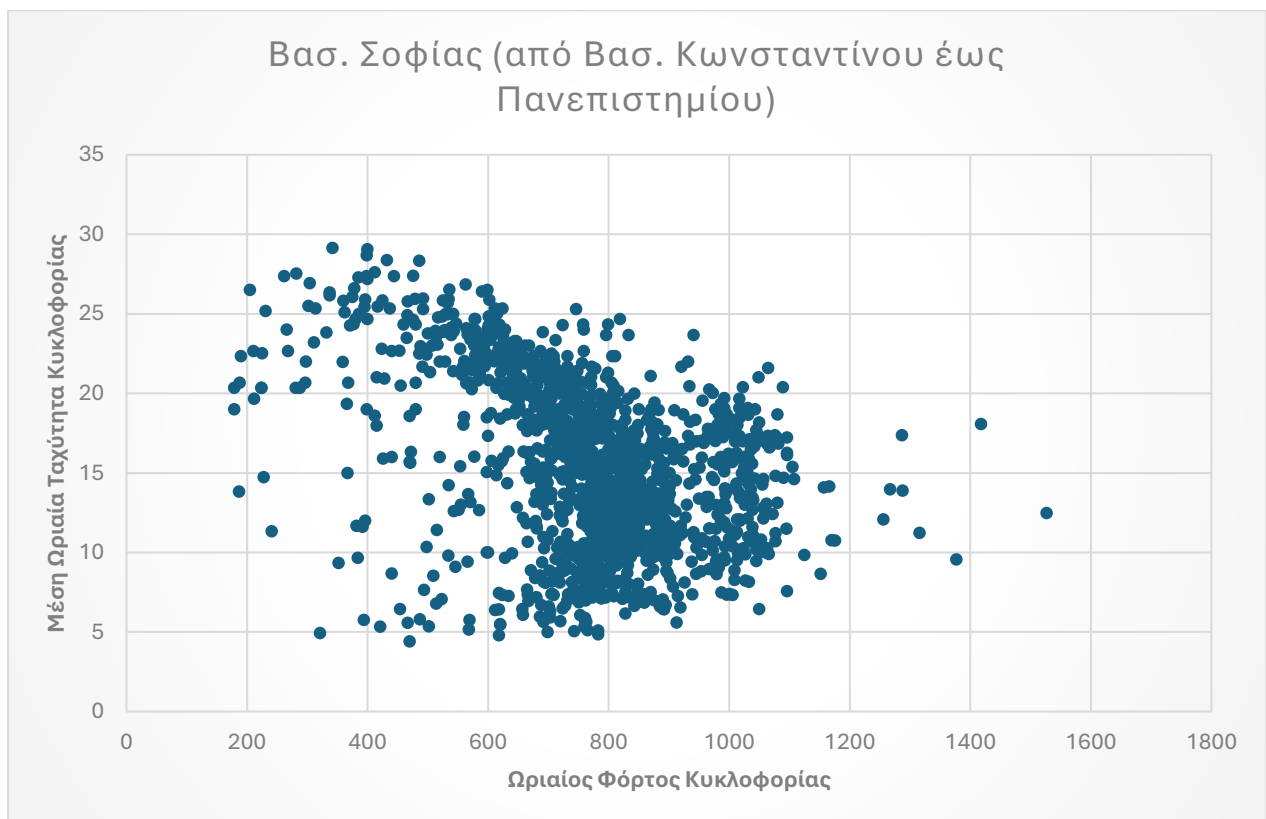
Διάγραμμα 2: Μέσης Ωριαίας Ταχύτητας-Ωριαίος Φόρτος Κυκλοφορίας για τον άξονα Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας)



Διάγραμμα 3: Μέσης Ωριαίας Ταχύτητας-Ωριαίος Φόρτος Κυκλοφορίας για τον άξονα Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου)



Διάγραμμα 4: Μέσης Ωριαίας Ταχύτητας-Ωριαίος Φόρτος Κυκλοφορίας για τον άξονα Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου)

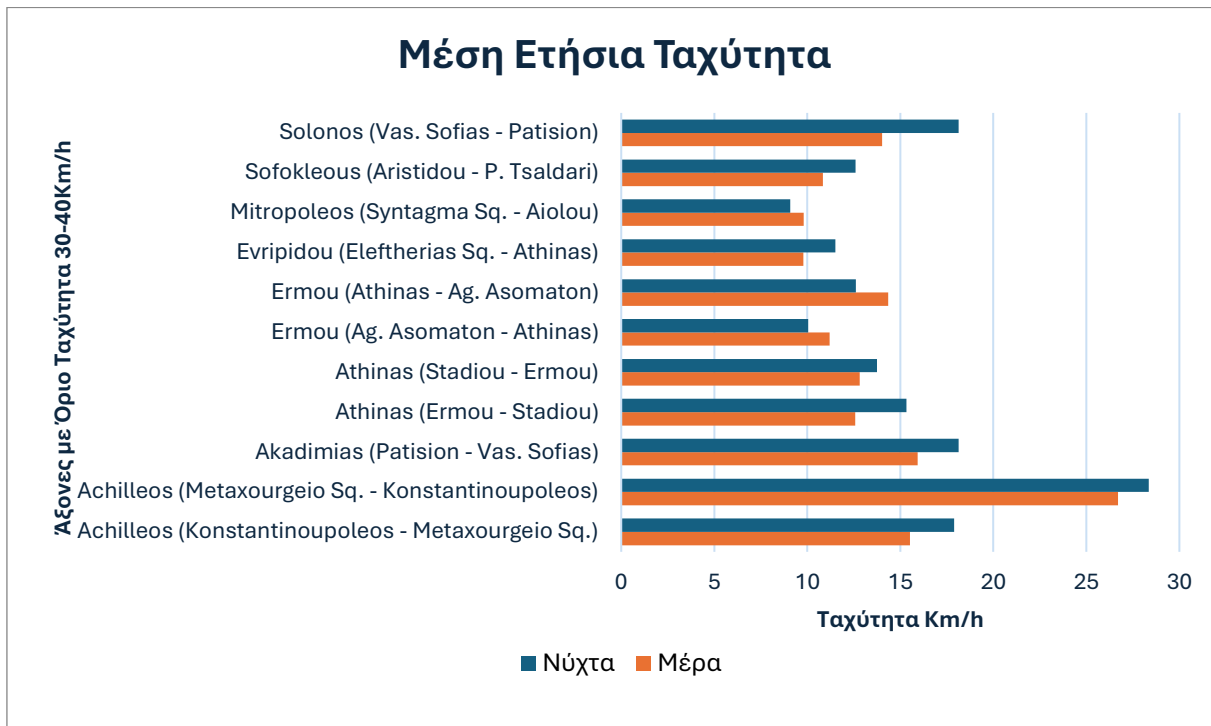


Διάγραμμα 5: Μέσης Ωριαίας Ταχύτητας-Ωριαίος Φόρτος Κυκλοφορίας για τον άξονα Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου)

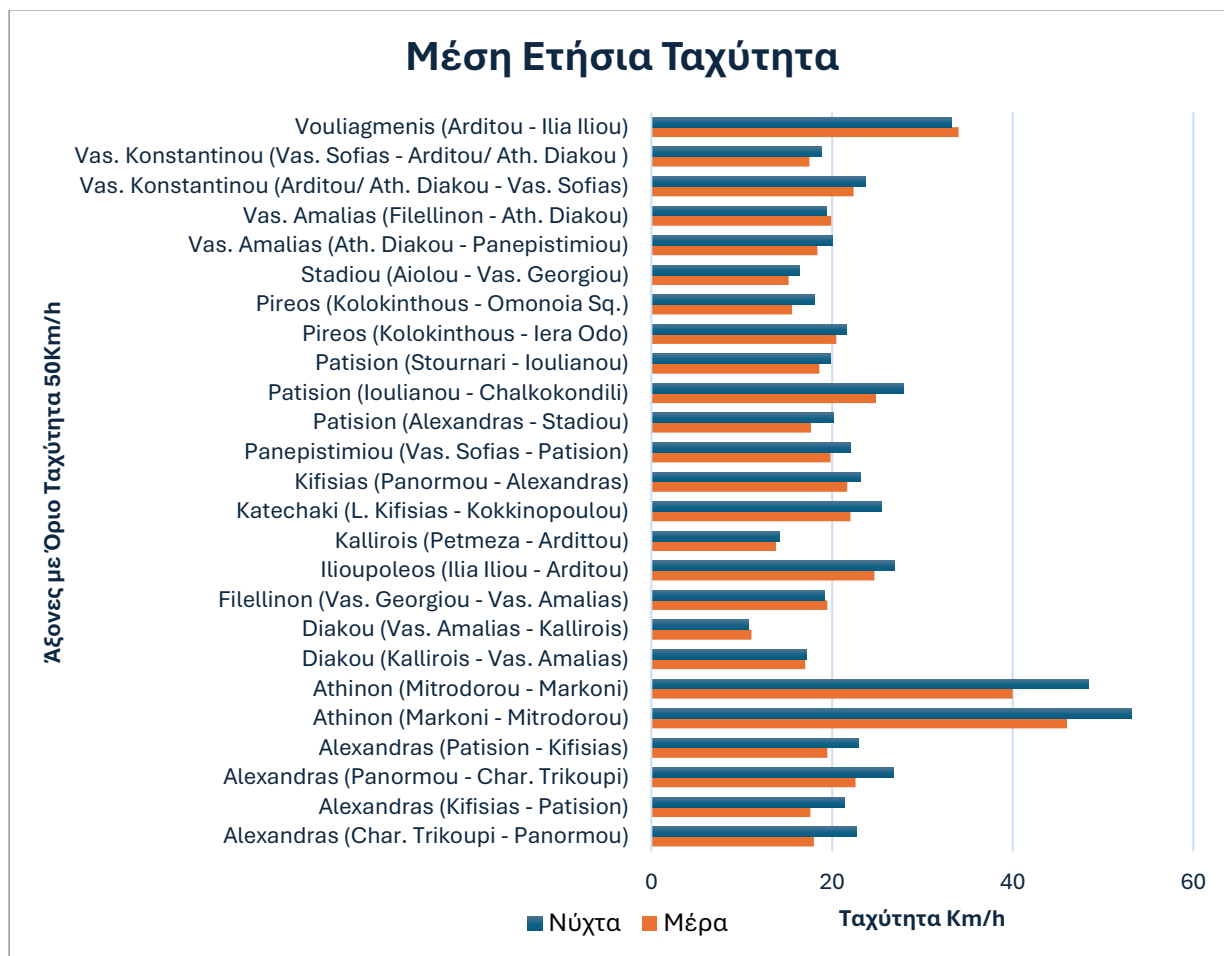
- Ως μία πρώτη ανάλυση των δεδομένων από τη Google maps επισημαίνονται διαγράμματα που αφορούν την μέση ετήσια (2022) ταχύτητα ανά ομάδα οδών σύμφωνα με το όριο ταχύτητάς τους (30-40, 50, 60, 70, 80 Km/h), και ανάλογα εάν είναι ημέρα (9:00-18:40) ή νύχτα (19:00-8:00).

MaxSeep 30-40Km/h	MaxSpeed 50Km/h	MaxSpeed 60Km/h
Akadimias (Patision - Vas. Sofias)	Panepistimiou (Vas. Sofias - Patision)	Vas. Sofias (Vas. Konstantinou - Panepistimiou)
Solonos (Vas. Sofias - Patision)	Stadiou (Aiolou - Vas. Georgiou)	Vas. Sofias (Kifisias - Vas. Konstantinou)
Athinas (Ermou - Stadiou)	Vas. Amalias (Ath. Diakou - Panepistimiou)	Syngrou Av. (Vas. Amalias - Frantzi)
Ermou (Ag. Asomaton - Athinas)	Pireos (Kolokinthous - Omonoia Sq.)	Vas. Sofias (Vas. Konstantinou - Kifisias)
Ermou (Athinas - Ag. Asomaton)	Diakou (Kallirois - Vas. Amalias)	Syngrou Av. (Frantzi - Vas. Amalias)
Evipidou (Eleftherias Sq. - Athinas)	Vas. Amalias (Filellinon - Ath. Diakou)	Kifisias (Alexandras - Panormou)
Sofokleous (Aristidou - P. Tsaldari)	Filellinon (Vas. Georgiou - Vas. Amalias)	Mesogion (Katechaki - Kiprou)
Mitropoleos (Syntagma Sq. - Aiolou)	Pireos (Kolokinthous - Iera Odo)	Mesogion (Kiprou - Katechaki)
Achilleos (Konstantinoupoleos - Metaxourgeio Sq.)	Diakou (Vas. Amalias - Kallirois)	Posidonos (Amfitheas - Alimou)
Achilleos (Metaxourgeio Sq. - Konstantinoupoleos)	Vas. Konstantinou (Arditou/ Ath. Diakou - Vas. Sofias)	Posidonos (Alimou - Amfitheas)
	Vas. Konstantinou (Vas. Sofias - Arditou/ Ath. Diakou)	Amfitheas (Achilleos - Taxiarchon)
	Alexandras (Kifisias - Patision)	Amfitheas (Taxiarchon - Achilleos)
	Kallirois (Petmeza - Ardittou)	
	Kifisias (Panormou - Alexandras)	
	Athinon (Markoni - Mitrodorou)	
	Athinon (Mitrodorou - Markoni)	
	Katechaki (L. Kifisias - Kokkinopoulou)	

MaxSpeed 70Km/h	MaxSpeed 80Km/h
Kifisias (Ethn. Antistaseos - Idras)	Cephissus (Posidonos - Pireos)
Kifisias (Ventiri - Eth. Antistaseos)	Cephissus (Pireos - Posidonos)
Vouliagmenis (Ag. Konstantinou - Pirronos)	Cephissus (Athinon - Moudrou)
Katechaki (Kokkinopoulou - L. Kifisias)	Cephissus (Lachana - Attiki Odos)
	Cephissus (Attiki Odos - Lachana)
	Posidonos (Cephissus - Nerou Sq.)
	Posidonos (Niarchos - Cephissus)

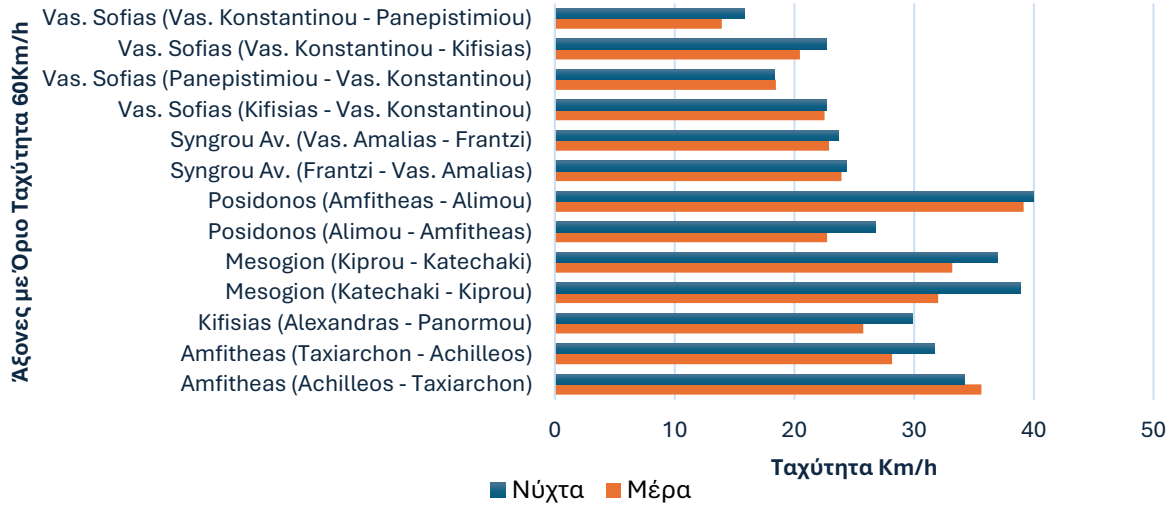


Διάγραμμα 6: Μέση Ετήσια Ταχύτητα Ανά Αξονα με όριο ταχύτητας 30-40Km/h σε ΜΕΡΑ/ΝΥΧΤΑ



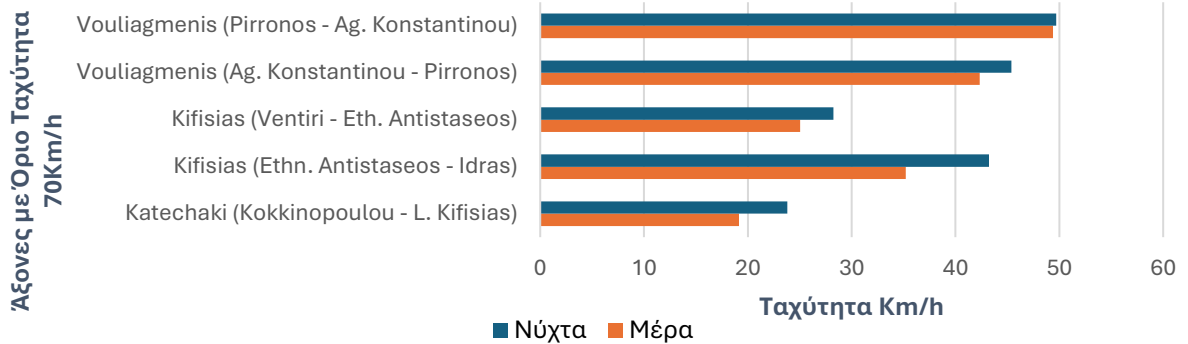
Διάγραμμα 7: Μέση Ετήσια Ταχύτητα Ανά Αξονα με όριο ταχύτητας 50Km/h σε ΜΕΡΑ/ΝΥΧΤΑ

Μέση Ετήσια Ταχύτητα σε Άξονες με Όριο Ταχύτητα 60Km/h



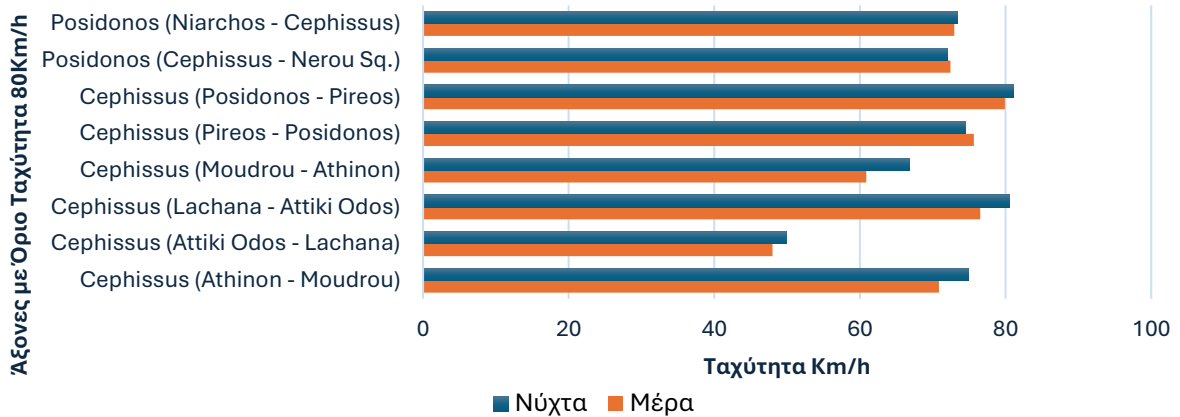
Διάγραμμα 8: Μέση Ετήσια Ταχύτητα Ανά Άξονα με όριο ταχύτητας 60Km/h σε ΜΕΡΑ/ΝΥΧΤΑ

Μέση Ετήσια Ταχύτητα



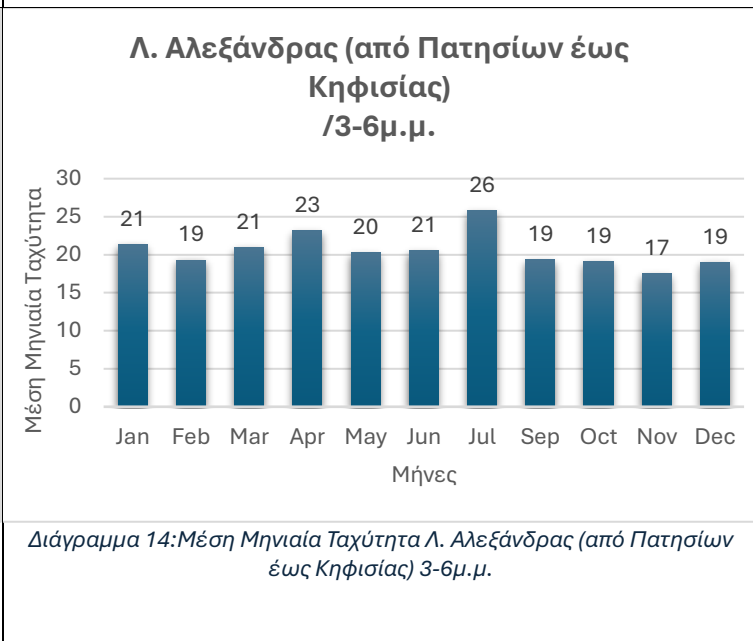
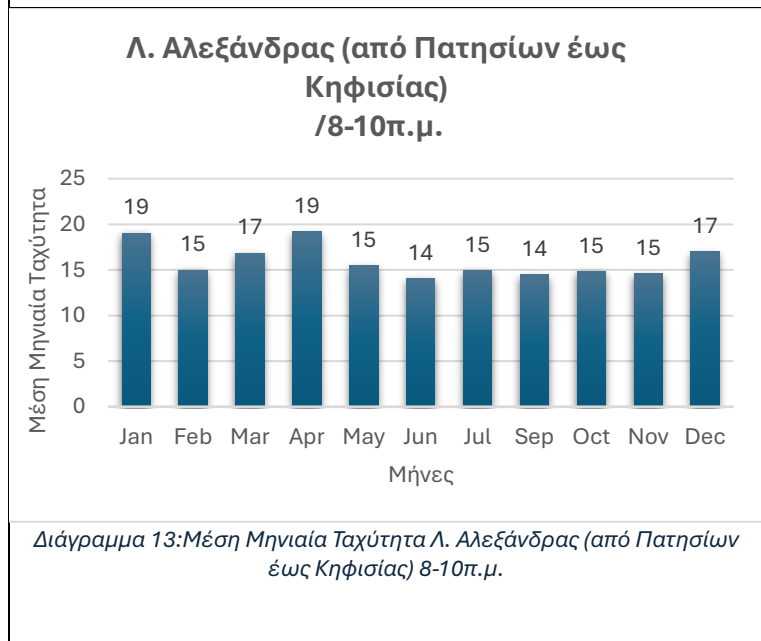
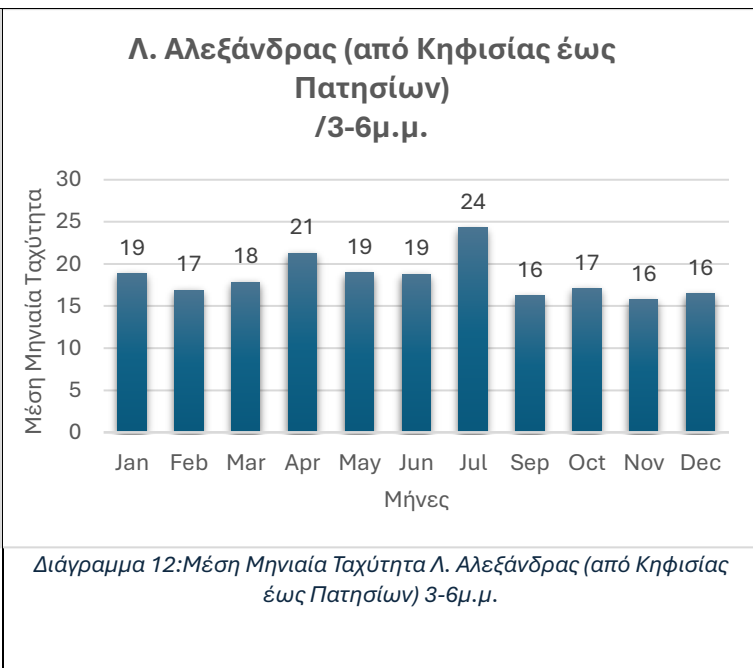
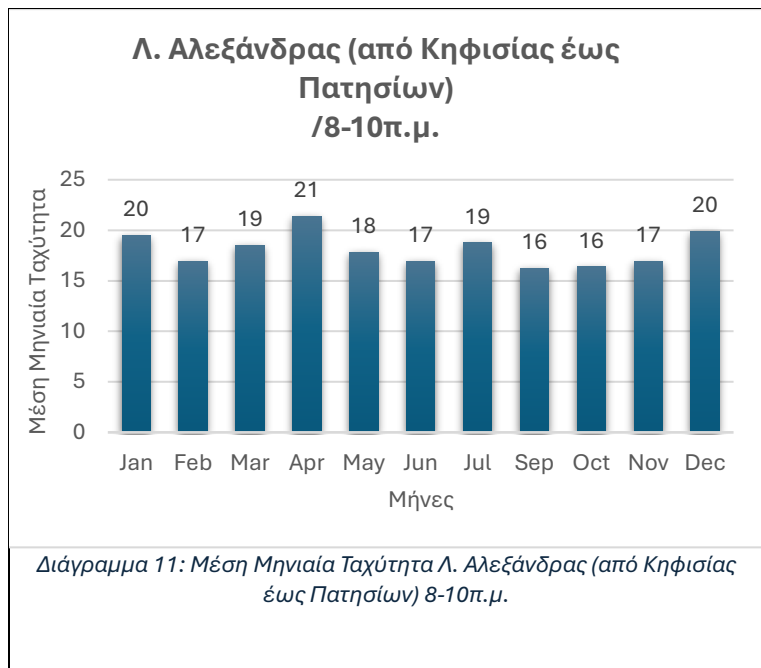
Διάγραμμα 9: Μέση Ετήσια Ταχύτητα Ανά Άξονα με όριο ταχύτητας 70Km/h σε ΜΕΡΑ/ΝΥΧΤΑ

Μέση Ετήσια Ταχύτητα

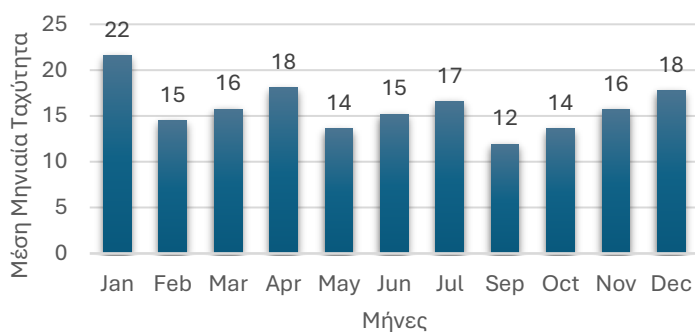


Διάγραμμα 10: Μέση Ετήσια Ταχύτητα Ανά Άξονα με όριο ταχύτητας 80Km/h σε ΜΕΡΑ/ΝΥΧΤΑ

- Για τους πέντε άξονες που ήταν το αποτέλεσμα από το συνδυασμό των δύο βάσεων παρουσιάζονται περιγραφικά διαγράμματα με τη μέση μηνιαία ταχύτητα για το έτος 2022 και για τις ώρες αιχμής 8-10π.μ.(πρωινές ώρες αιχμής) και 3-6μ.μ. (απογευματινές ώρες αιχμής).

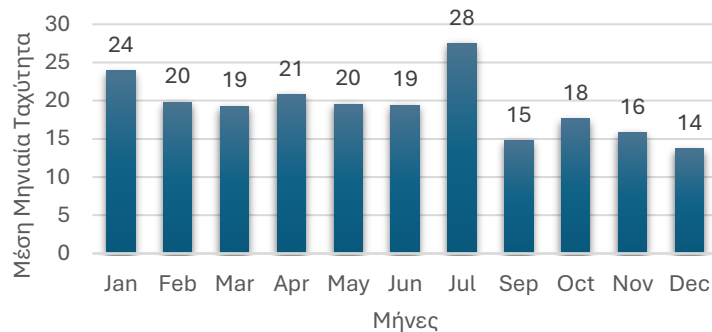


Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) /8-10π.μ.



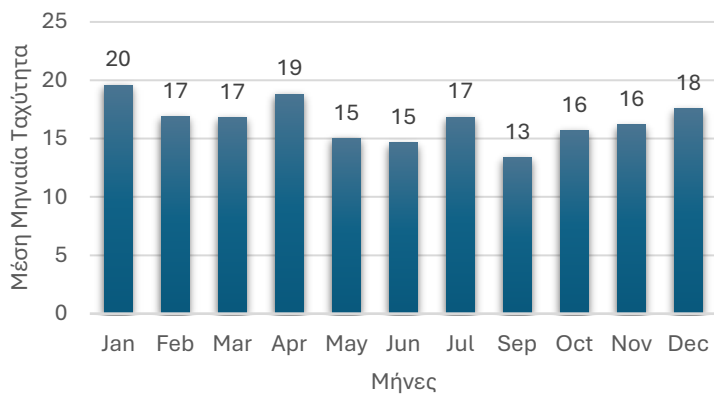
Διάγραμμα 15: Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) 8-10π.μ.

Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) /3-6μ.μ.



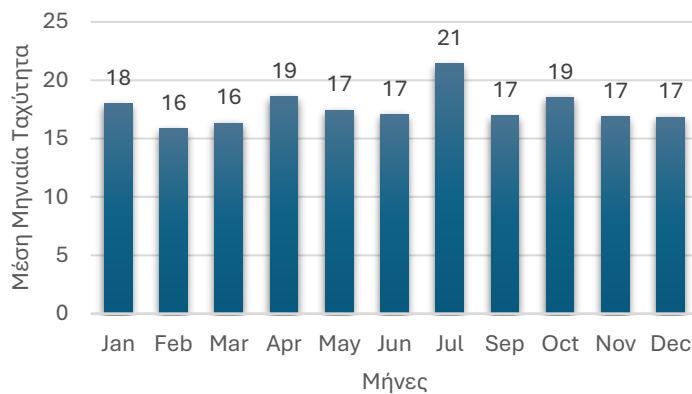
Διάγραμμα 16: Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) 3-6μ.μ.

Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) /8-10π.μ.



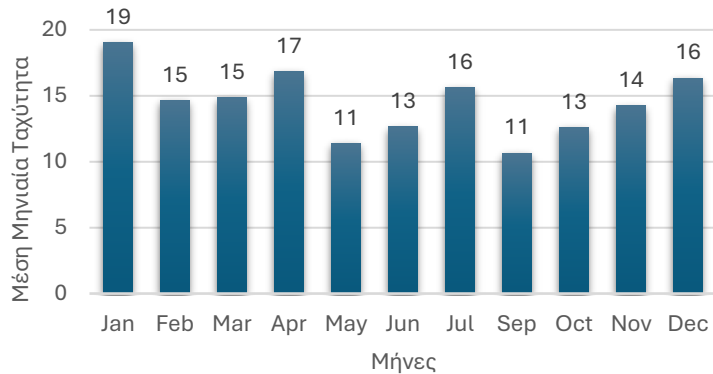
Διάγραμμα 17: Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) 8-10π.μ.

Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) /3-6μ.μ.



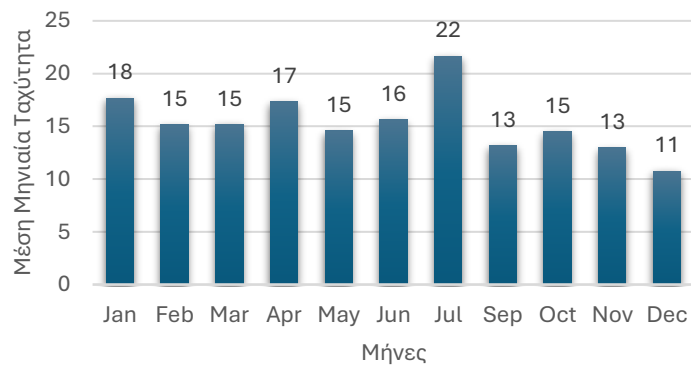
Διάγραμμα 18: Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) 3-6μ.μ.

Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) /8-10π.μ.



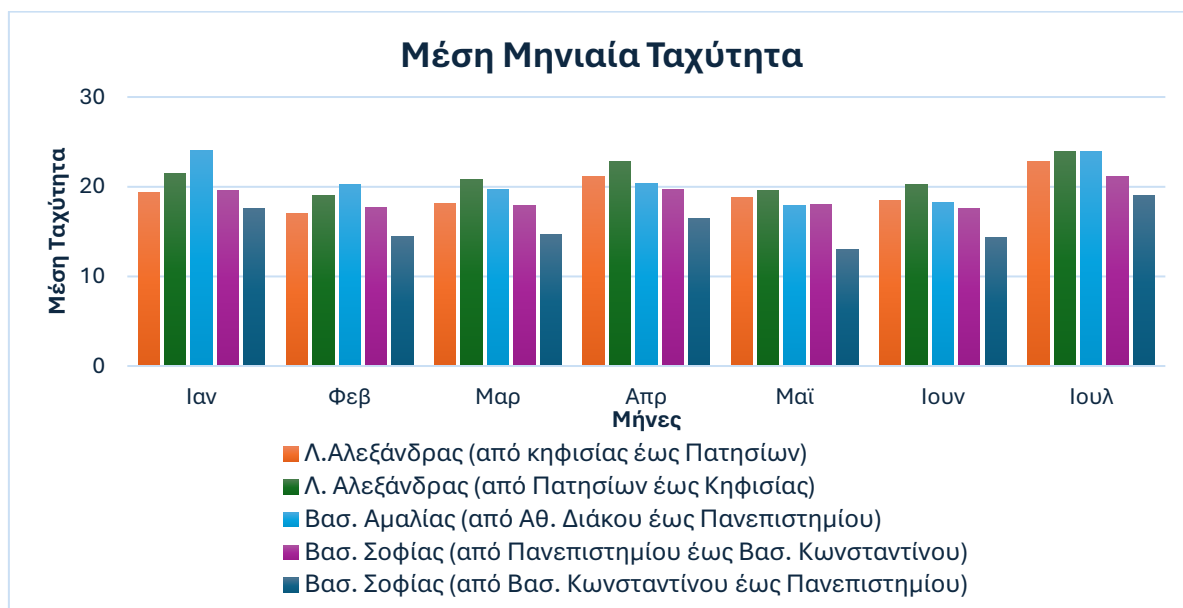
Διάγραμμα 19: Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου από Πανεπιστημίου) 8-10π.μ.

Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) /3-6μ.μ.

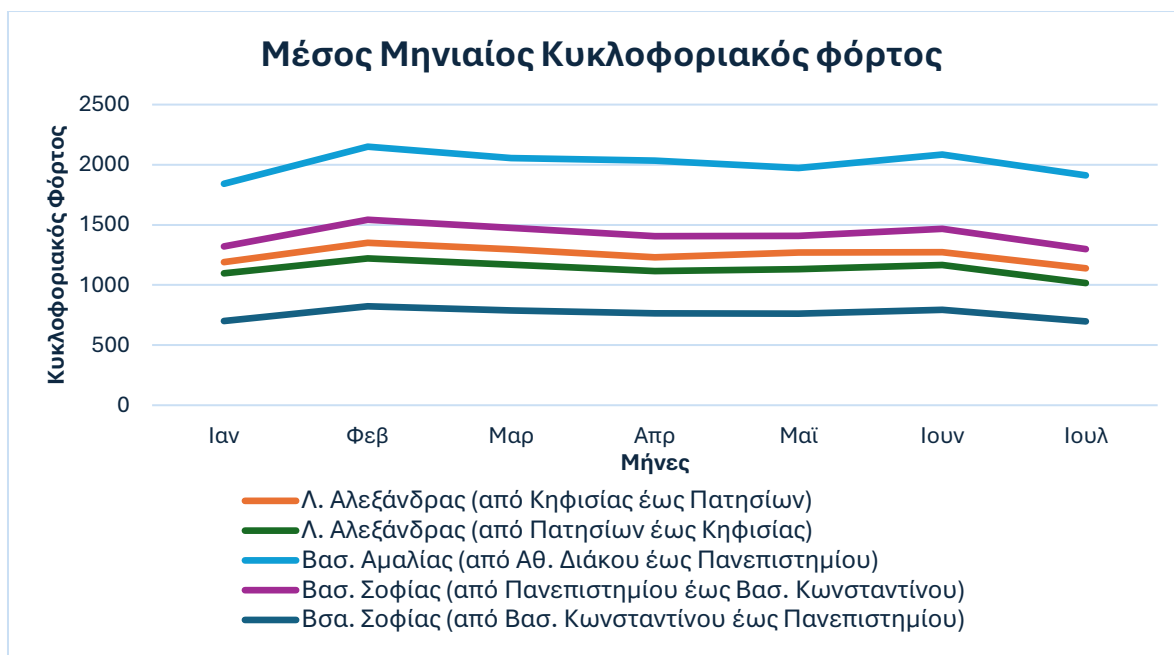


Διάγραμμα 20: Μέση Μηνιαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου από Πανεπιστημίου) 3-6μ.μ.

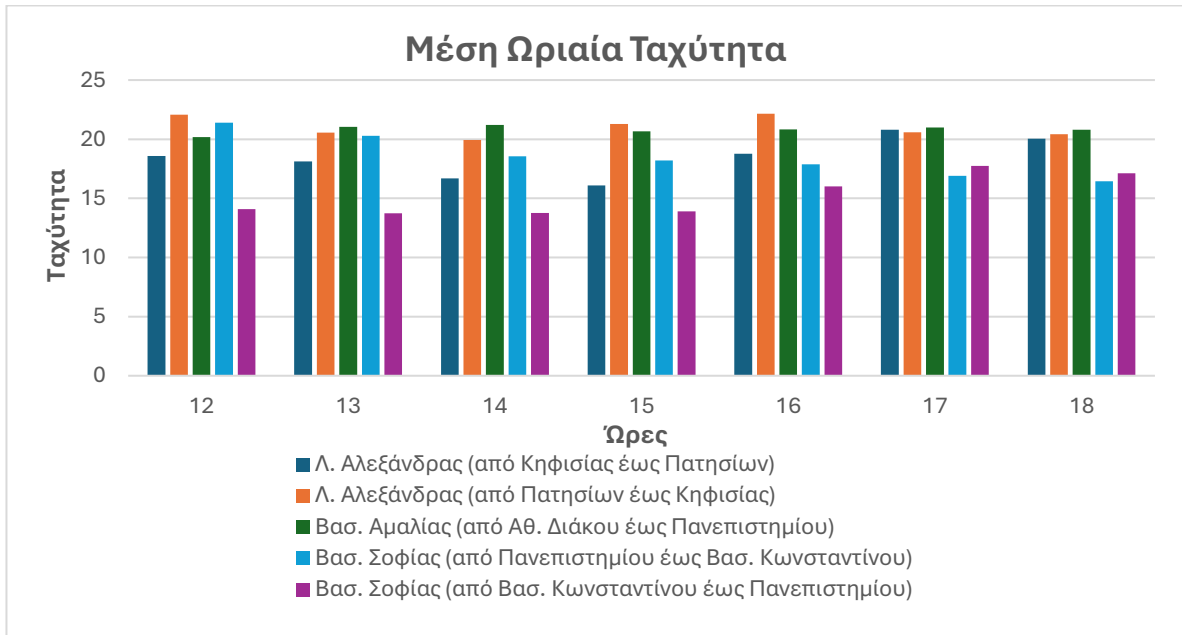
- Από τη συγχώνευση των τριών βάσεων δεδομένων ταχυτήτων κυκλοφορίας, κυκλοφοριακών φόρτων και καιρικών φαινομένων από την Google Maps και το ΚΔΚ και το Open-Meteo, δημιουργήθηκαν τα ακόλουθα διαγράμματα.



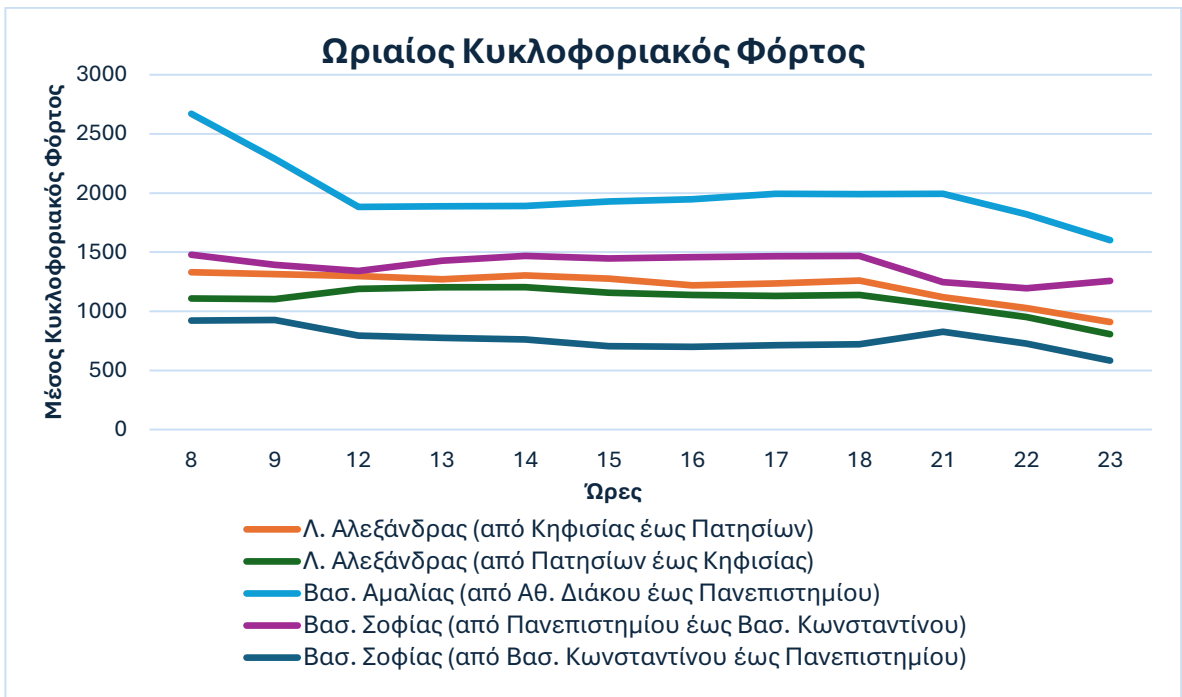
Διάγραμμα 21: Μέση Ταχύτητα ανά Μήνα 5 Αξόνων



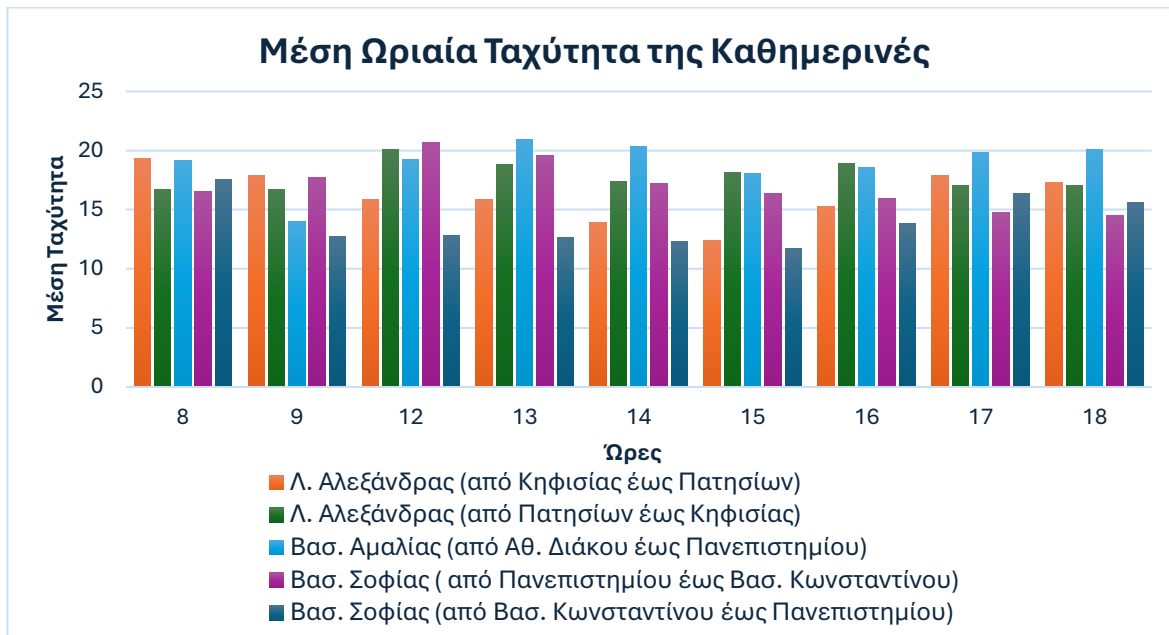
Διάγραμμα 22: Μέσος Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά Μήνα 5 Αξόνων



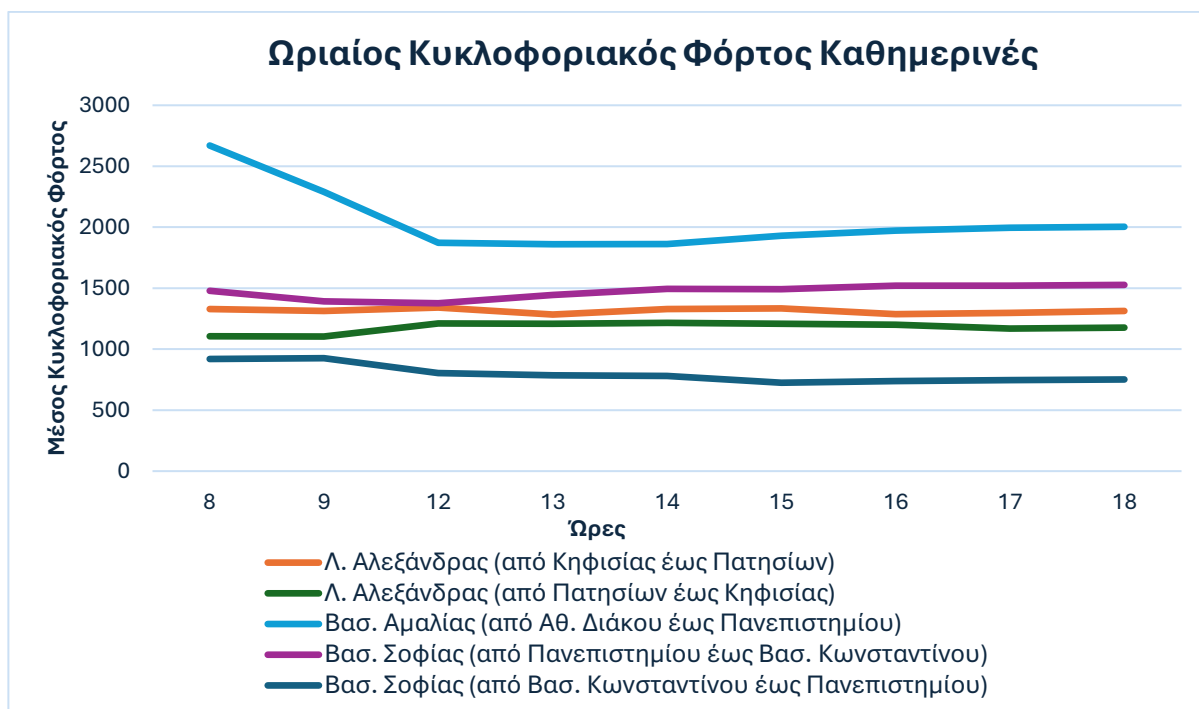
Διάγραμμα 23: Μέση Ωριαία Ταχύτητα 5 Αξόνων



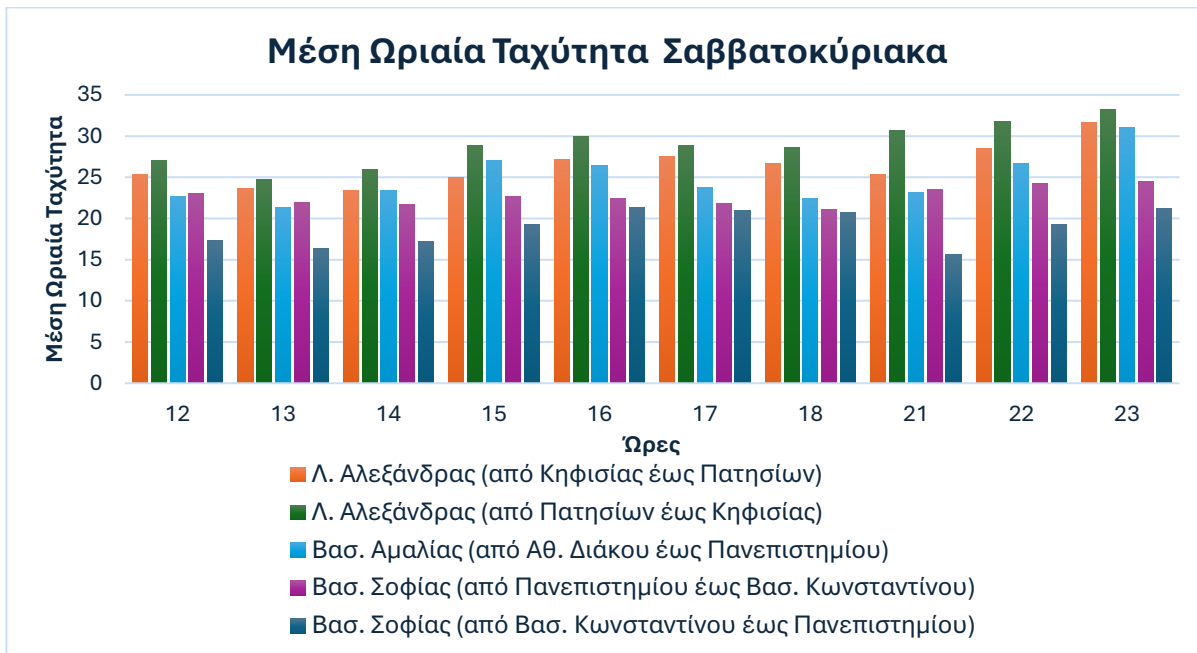
Διάγραμμα 24: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος 5 Αξόνων



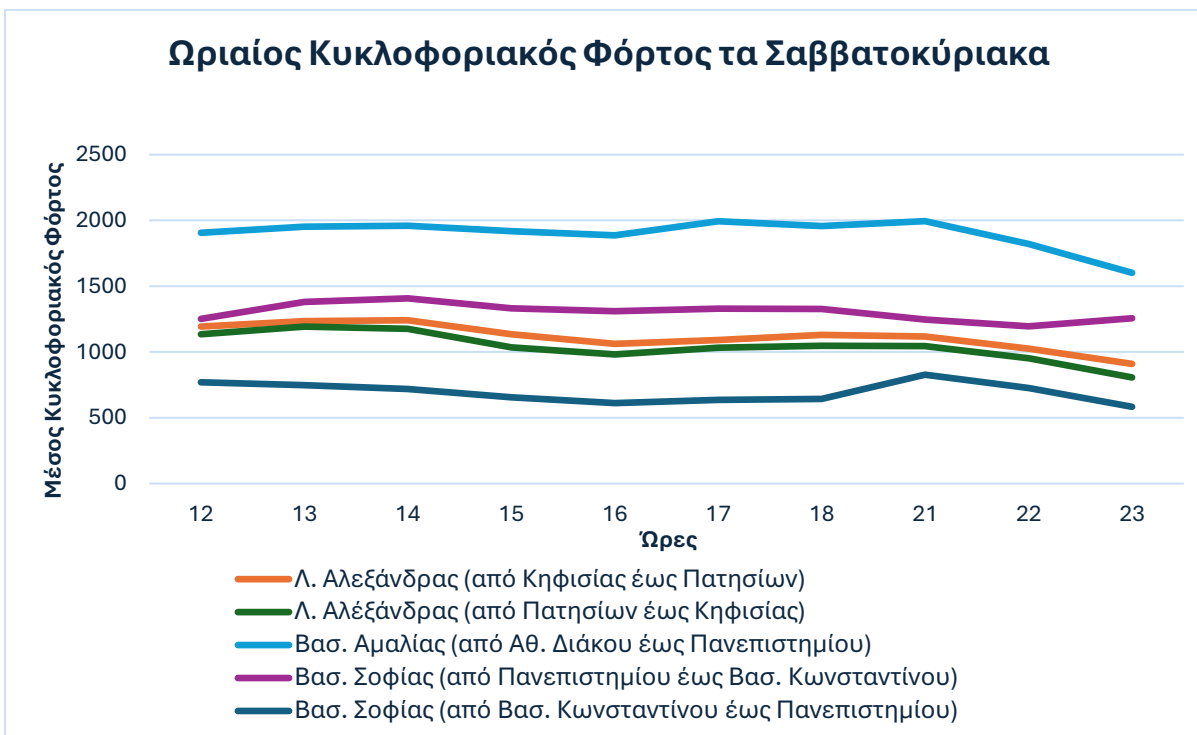
Διάγραμμα 25: Μέση Ωριαία Ταχύτητα της ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΕΣ 5 Αξόνων



Διάγραμμα 26: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος της ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΕΣ 5 Αξόνων

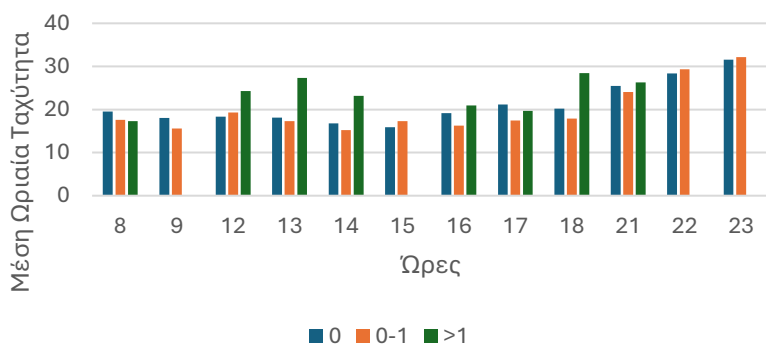


Διάγραμμα 27: Μέση Ωριαία Ταχύτητα τα ΣΑΒΒΑΤΟΚΥΡΙΑΚΑ 5 αξόνων



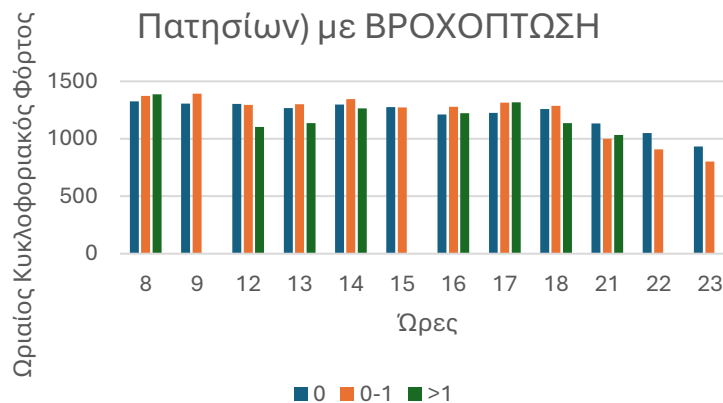
Διάγραμμα 28: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος τα ΣΑΒΒΑΤΟΚΥΡΙΑΚΑ 5 Αξόνων

Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



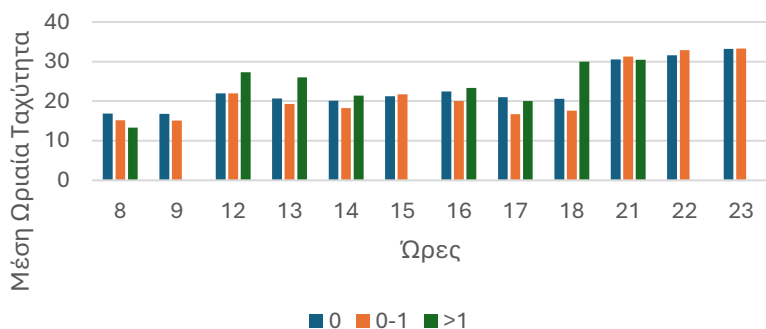
Διάγραμμα 29: Μέση Ωριαία Ταχύτητα Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



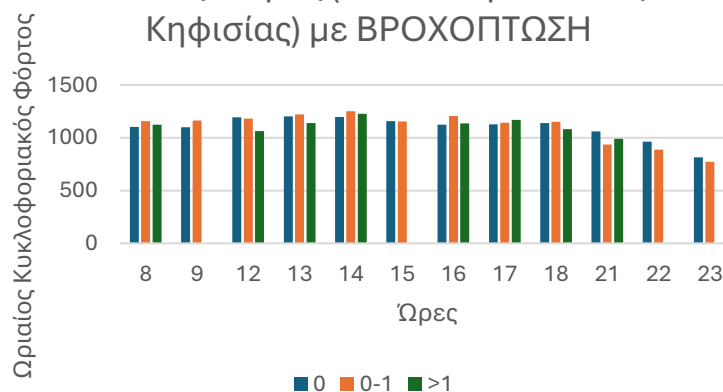
Διάγραμμα 30: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



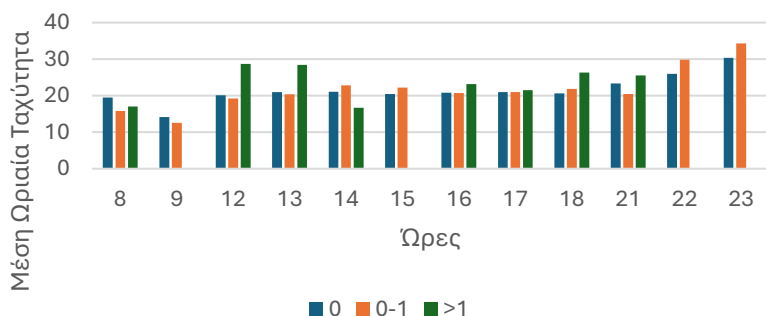
Διάγραμμα 31: Μέση Ωριαία Ταχύτητα Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



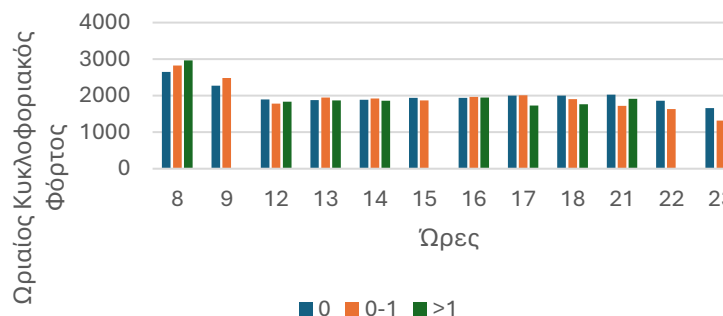
Διάγραμμα 32: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



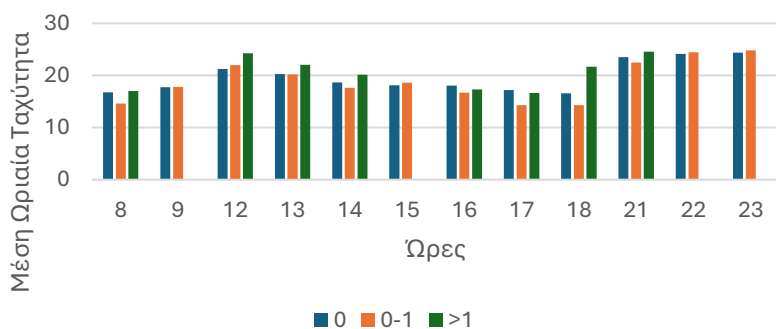
Διάγραμμα 33: Μέση Ωριαία Ταχύτητα Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



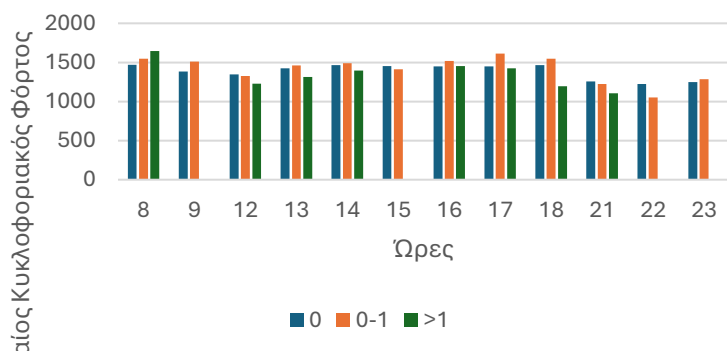
Διάγραμμα 34: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



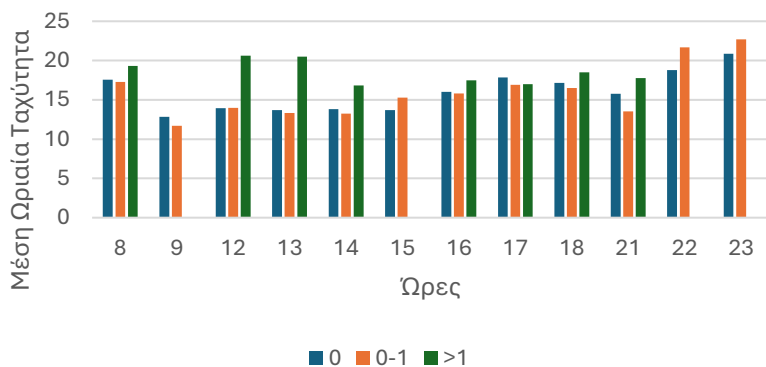
Διάγραμμα 35: Μέση Ωριαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



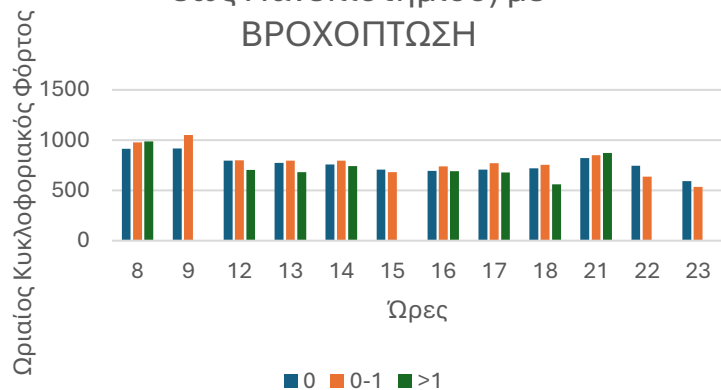
Διάγραμμα 36: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



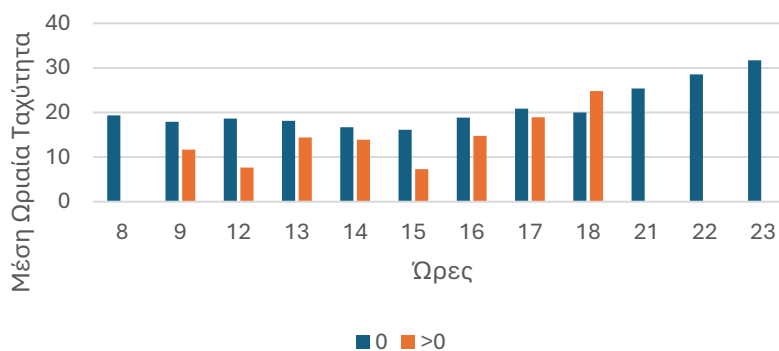
Διάγραμμα 37: Μέση Ωριαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) με ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



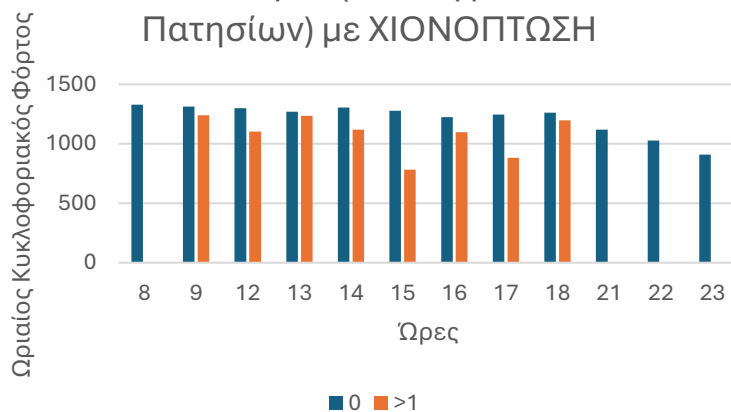
Διάγραμμα 38: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Βροχόπτωσης

Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



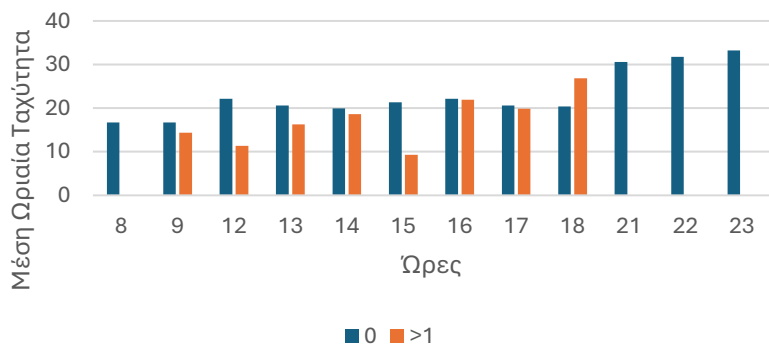
Διάγραμμα 39:Μέση Ωριαία Ταχύτητα Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



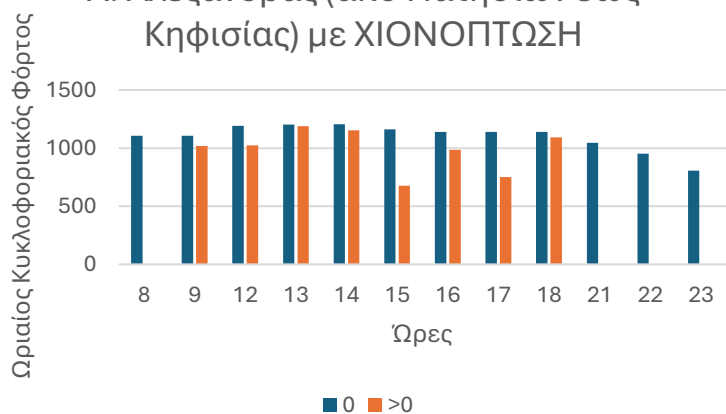
Διάγραμμα 40:Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



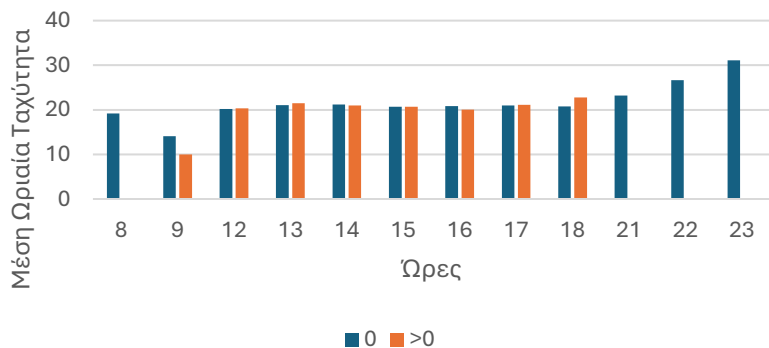
Διάγραμμα 41:Μέση Ωριαία Ταχύτητα Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



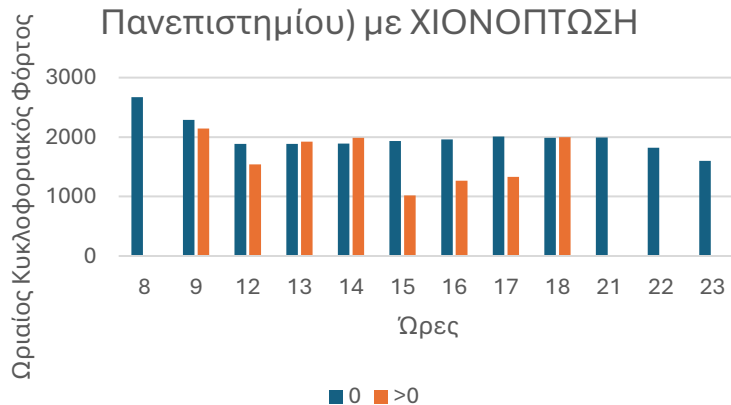
Διάγραμμα 42:Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Λ. Αλεξάνδρας (από Πατησίων έως Κηφισίας) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



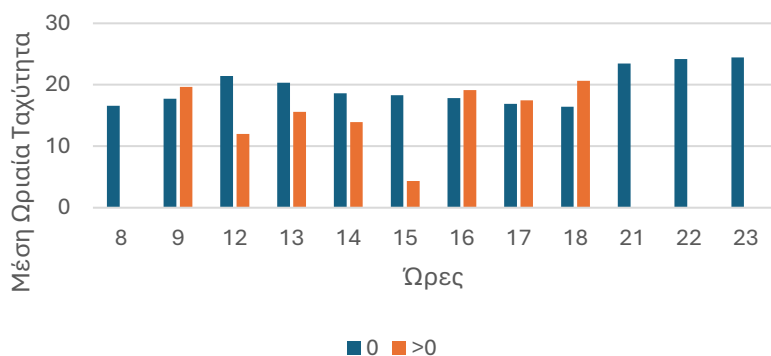
Διάγραμμα 43:Μέση Ωριαία Ταχύτητα Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ

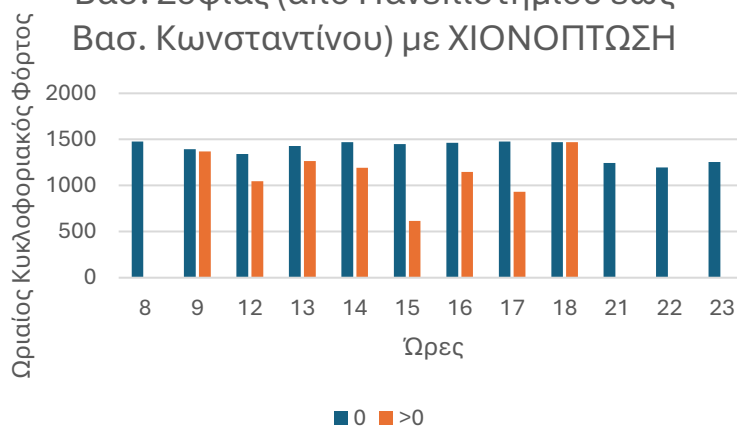


Διάγραμμα 44:Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



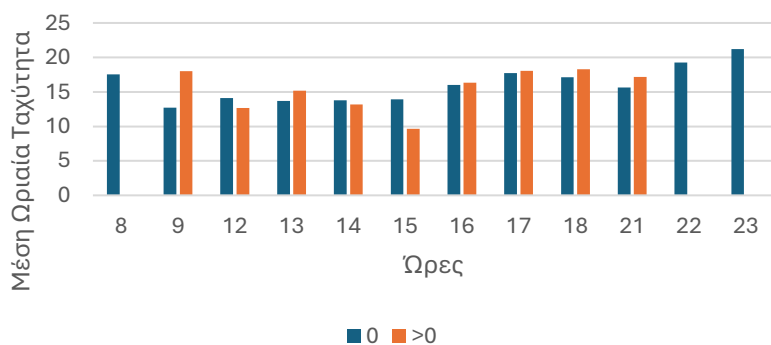
Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



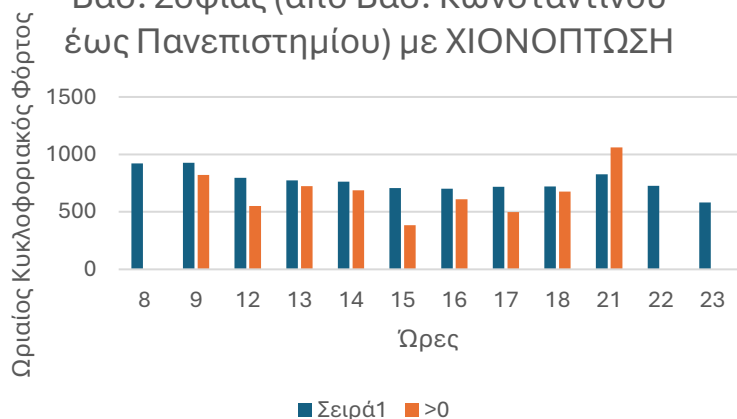
Διάγραμμα 45: Μέση Ωριαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Διάγραμμα 46: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) με ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗ



Διάγραμμα 47: Μέση Ωριαία Ταχύτητα Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Διάγραμμα 48: Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου) ανάλογα με Ύψος Χιονόπτωσης

Σύνοψη

Συνοπτικά παρατηρούνται τα ακόλουθα:

1. Για τις οδούς με μέγιστη ταχύτητας έως 40 Km/h δεν ξεπερνιέται το όριο, όπως το ίδιο σημειώνεται και για τις οδούς με όριο ταχύτητας 60 και 70Km/h. Για τους άξονες με όριο ταχύτητας 50 και 80Km/h σημειώνεται ότι ξεπερνάται κυρίως τις απογευματινές ώρες, με πιο χαρακτηριστικές οδούς Αθηνών και Κηφισό.
2. Κατά πλειοψηφία η μέση ταχύτητα αυξάνεται κατά τις απογευματινές ώρες, με εξαίρεση να αποτελούν ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος. Ενώ σημειώνεται σημαντική αύξηση τον Ιούλιο.
3. Ο μηνιαίος κυκλοφοριακός φόρτος παραμένει σταθερός για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο και Ιούλιο με μικρές αυξομειώσεις.

4. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η μέση ωριαία ταχύτητα αυξάνεται όσο περνάνε οι ώρες. Τις πρωινές ώρες από τις 8:00 έως τις 9:00 παρατηρείται μια σταθερότητα (με μικρή μείωση) με ταχύτητες λίγο παραπάνω από 15Km/h. Από τις 12:00 έως τις 18:00 κατά μέσο όρο μετρούνται ταχύτητες 20Km/h, ενώ υπάρχουν σημαντικές αυξήσεις στις ώρες 21:00 έως 23:00 με ταχύτητες αυξημένες κατά 10Km/h. Σημαντικά μειωμένες ταχύτητες σημειώνονται στον άξονα Βασ. Σοφίας (Βασ. Κωνσταντίνου-Πανεπιστημίου).
5. Όπως φανερώνεται και από τις ταχύτητες ο κυκλοφοριακός φόρτος αλλάζει σημαντικά μετά τις 12:00 όπου και ξεκινάει μια αργού ρυθμού μείωση. Ενώ τονίζεται, ότι στις 8:00 σημειώνεται ο μεγαλύτερος όγκος κυκλοφορίας, με το μεγαλύτερο πρόβλημα στην οδό Βασ. Αμαλίας (Αθ. Διάκου-Πανεπιστημίου) με κυκλοφοριακό φόρτο να ισούται με 2.670 οχήματα/ώρα.
6. Για την οδό Βασ. Σοφίας σημειώνεται σημαντικά αυξημένος όγκος κυκλοφορίας από την κατεύθυνση Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου (≈ 1400 οχ/ώρα), σε σχέση με την κατεύθυνση Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου (≈ 800 οχ/ώρα).
7. Τις Καθημερινές έως τις 18:00 φαίνεται να μην έχει σημαντικές διακυμάνσεις η μέση ωριαία ταχύτητα, όπως και τα Σαββατοκύριακα (ΣΚ). Ωστόσο στη μεταξύ τους σχέση σημειώνονται αυξημένες τιμές το ΣΚ.
8. Ενώ, αντίθετα με τη μέση ταχύτητα ο κυκλοφοριακός φόρτος μειώνεται τα ΣΚ με μειώσεις έως και 500 οχ/ώρα.
9. Σε ότι αφορά τα καιρικά φαινόμενα χωρίστηκαν τα ύψη της βροχής σε 3 κατηγορίες 0, 0 έως 1 και >1 . Για τις 2 πρώτες ομάδες η μέση ταχύτητα φαίνεται να μην έχει μεγάλη απόκλιση κατά τη διάρκεια της ημέρας όπως και στον κυκλοφοριακό φόρτο. Όμως, στην τρίτη ομάδα με μικρή μείωση του όγκου κυκλοφορίας σημειώνεται μεγάλη αύξηση στη μέση ταχύτητα.
10. Στην περίπτωση της χιονόπτωσης χωρίστηκαν οι εξής 2 ομάδες με ή χωρίς χιόνι. Παρατηρείται μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου στη δεύτερη ομάδα και ακόμη μεγαλύτερη μείωση στη μέση ταχύτητα.

5 Εφαρμογή Μεθοδολογίας και Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την **αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας** για τη στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων και την παρουσίαση των συνολικών αποτελεσμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Έπειτα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, και την περιγραφική ανάλυση των δεδομένων, έγινε η επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας για τη στατιστική ανάλυσή τους.

Οι **μέθοδοι** που επιλέχθηκαν για την **ανάλυση** των κυκλοφοριακών δεδομένων, περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3 με τίτλο, «Θεωρητικό Υπόβαθρο» της Διπλωματικής εργασίας, και είναι ο αλγόριθμος Μηχανικής Μάθησης CatBoost και η Ανάλυση σε Συστάδες (Cluster Analysis) με τη μέθοδο K-means. Η χρήση του αλγορίθμου CatBoost ήταν κρίσιμη για τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν περισσότερο τον κυκλοφοριακό φόρτο και την ταχύτητα κυκλοφορίας. Αυτό βοήθησε στο να εντοπιστούν οι πιο σημαντικοί παράγοντες επιρροής πριν από την εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου, που ήταν η Ανάλυση Συστάδων με τη μέθοδο K-means. Στο δεύτερο βήμα, η ανάλυση των συστάδων αναπτύχθηκε με βάση τις δύο σημαντικότερες μεταβλητές κυκλοφορίας, τον φόρτο κυκλοφορίας και την ταχύτητα. Η μέθοδος K-means επέτρεψε την ομαδοποίηση των κυκλοφοριακών δεδομένων σε διαφορετικές συστάδες με βάση τις διαφορετικές καιρικές συνθήκες, τις χρονικές περιόδους (π.χ. ώρα, ημέρα) και τις συνθήκες γεωμετρίας της οδού (π.χ. μέγιστη ταχύτητα, αριθμό λωρίδων), ώστε να προσδιοριστούν ομοιογενείς ομάδες συμπεριφοράς της κυκλοφορίας.

Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο αυτό **περιγράφονται τα βήματα** που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάλυσης των υπό εξέταση δεδομένων. Έμφαση δίνεται στην σημαντικότητα των στοιχείων και στον τρόπο επιρροής στην ανάλυση της κυκλοφορίας. Στη συνέχεια, περιγράφονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα, μέσω παρουσίασης διαγραμμάτων.

5.2 Δεδομένα Εισόδου- Καθορισμός Μεταβλητών

Για την στατιστική ανάλυση του βαθμού επιρροής στην ταχύτητα και το φόρτο, χρησιμοποιήθηκαν όλες οι μεταβλητές που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4, που καταγράφηκαν από το Google maps (μέση ταχύτητα ανά οδικό τμήμα αλλά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδών), το ΚΔΚ (κυκλοφοριακός φόρτος) και το Open-Meteo (καιρικές συνθήκες).

Η βάση δεδομένων που εισάχθηκε στο πρόγραμμα αποτελούταν από στήλες με την ταχύτητα, τον φόρτο, το χρόνο διαδρομής και των καιρικών φαινομένων κάθε οδού, καθώς και χαρακτηριστικά της οδού όπως, ο αριθμός λωρίδων και το όριο ταχύτητας. Όλα συναρτήσκει του χρόνου, ο οποίος αναγόταν σε ώρες, ημέρες και μήνες. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν μεταβλητές όπως την *is_day* (μέρα/νύχτα) και την *Weekday* (καθημερινή/σαββατοκύριακο). Επιπλέον, το ύψος της βροχής και του χιονιού μετατράπηκαν από cm σε mm, για την εξυπηρέτηση της σύγκρισης μεταξύ της τάξης των μεγεθών της ταχύτητας και του κυκλοφοριακού φόρτου. Ενώ, προστέθηκε η στήλη

TrafficVolume_per_lane, η οποία εκφράζει τον κυκλοφοριακό φόρτο σε κάθε άξονα ανά λωρίδα, για τον ίδιο σκοπό.

Σημειώνεται ότι τα τελικά πρότυπα που προέκυψαν ήταν αποτέλεσμα μιας σειράς δοκιμών, κατά τις οποίες αναπτύχθηκαν μαθηματικά πρότυπα με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς μεταβλητών. Οι μεταβλητές αξιολογήθηκαν με βάση της στατιστικής τους σημαντικότητας, και απορρίφθηκαν όσες δεν είχαν σημαντική επιρροή. Τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν αξιολογήθηκαν με βάση στατιστικών ελέγχων, αλλά και με βάση τη λογική εξήγηση των αποτελεσμάτων. Με τη διαδικασία των συνεχών δοκιμών, στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα πρότυπα με τις καλύτερες επιδόσεις.

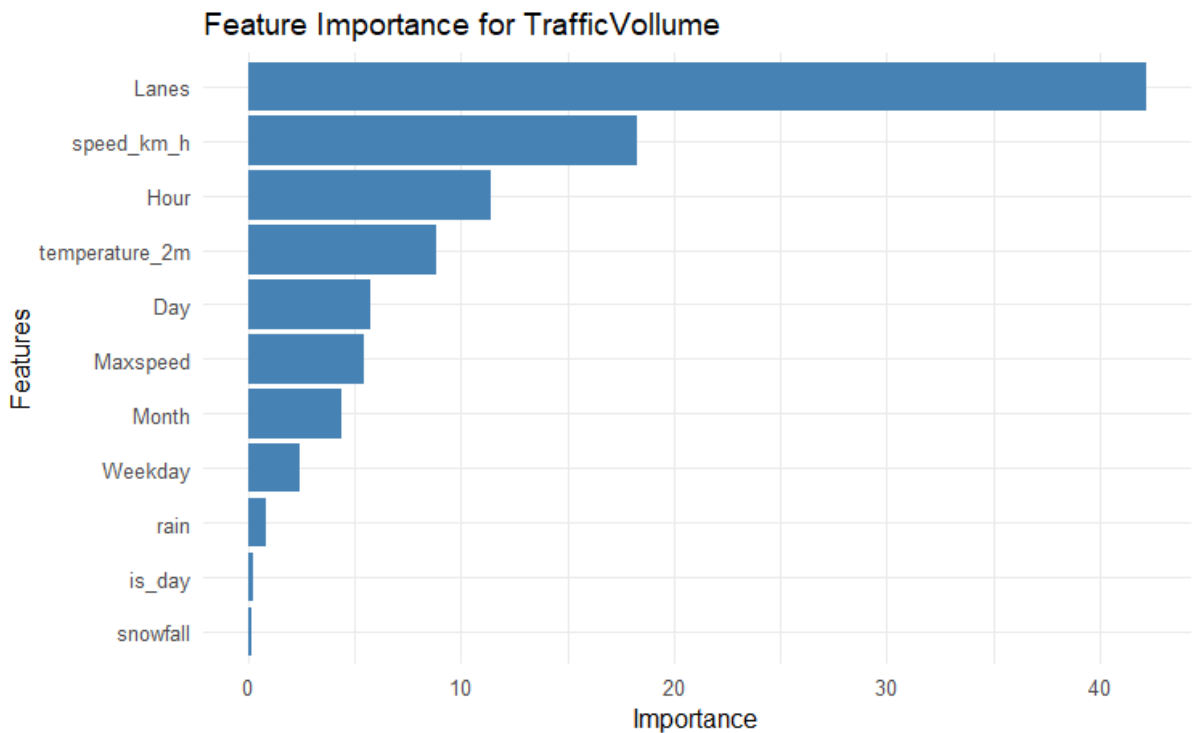
5.3 Ανάλυση Σημαντικότητας Παραγόντων Επιρροής της Κυκλοφορίας (Αλγόριθμος CatBoost)

Αρχικά, διερευνήθηκε η **σημαντικότητα των μεταβλητών** που επηρεάζουν την κυκλοφορία μέσω της αξιοποίησης του αλγορίθμου Μηχανικής Μάθησης **CatBoost**. Πρακτικά, αυτό που επιδιώκεται να ποσοτικοποιηθεί είναι το ποσοστό επιρροής, κάθε μεταβλητής υπό εξέταση με μεταβλητή-στόχο την ταχύτητα κυκλοφορίας, και στον ωριαίο φόρτο κυκλοφορίας.

Από την συνολική βάση αφαιρέθηκαν οι μεταβλητές οι οποίες δεν μπορούσαν να συμπεριληφθούν στην υπάρχουσα μορφή στην παρούσα ανάλυση όπως το όνομα της οδού, η ημερομηνία καταγραφής, οι συντεταγμένες αρχή και τέλους το κάθε οδικού τμήματος υπό εξέταση κ.α. Για τις ανάγκες του αλγορίθμου CatBoost το **σύνολο των δεδομένων** μετατράπηκε σε έναν αριθμητικό πίνακα (matrix) και διαχωρίστηκαν σε δεδομένα εκπαίδευσης και δεδομένα δοκιμής, καθώς ορίστηκαν και οι μεταβλητές στόχοι. Τέλος, υπολογίστηκε ο δείκτης **Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (RMSE)**, για την αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου, καθώς εκφράζει τον βαθμό απόκλισης από τις πραγματικές τιμές.

- Ανάλυση Ωριαίου Φόρτου Κυκλοφορίας

Ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος	
Feature	Importance (%)
Αριθμός λωρίδων	42,146
Ταχύτητα Κυκλοφορίας	18,266
Ωρα	11,445
Θερμοκρασία	8,862
Οριο ταχύτητας	5,724
Ημέρα	5,451
Μήνας	4,391
Μέρα της εβδομάδας	2,447
Βροχόπτωση	0,821
Χιονόπτωση	0,236
Μέρα/Νύχτα	0,213



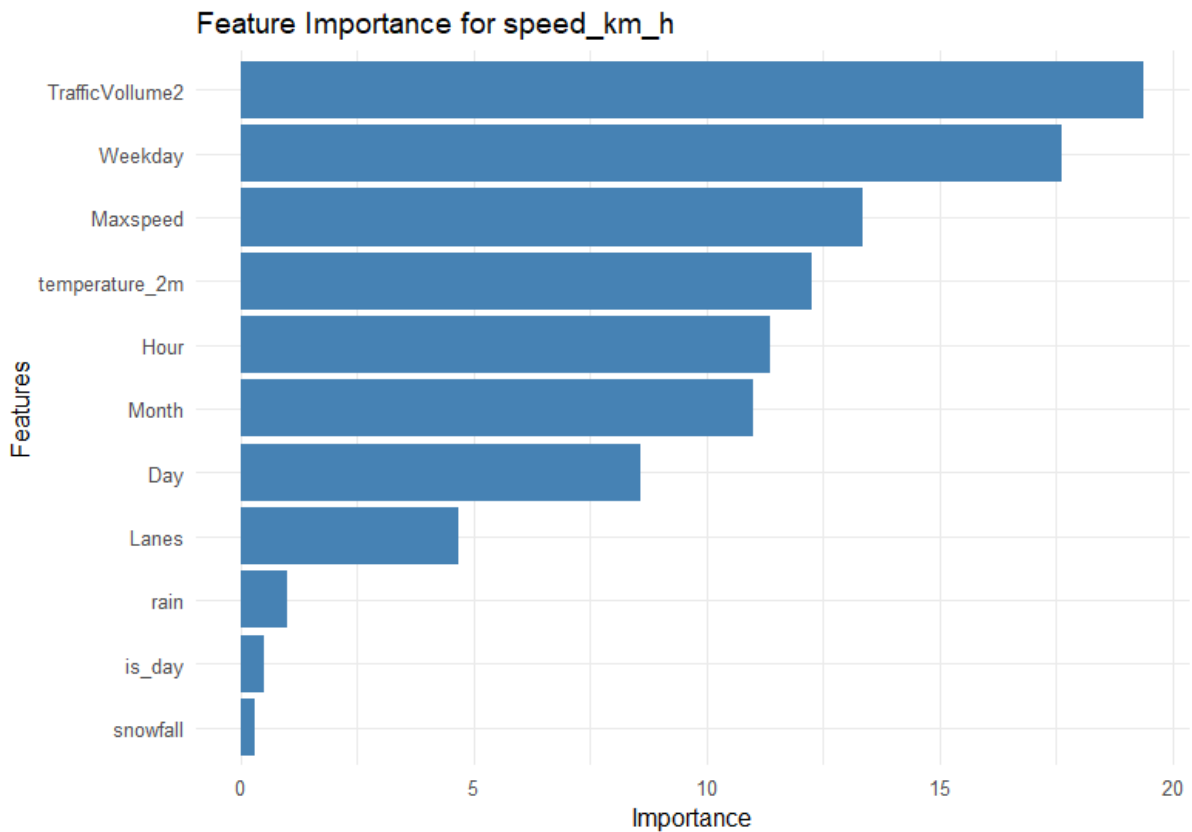
Διάγραμμα 49: CatBoost ποσοστό επιρροής μεταβλητών στον Φόρτο Κυκλοφορίας

Με **σφάλμα απόκλισης (RMSE)** από την πραγματική τιμή 78,5, αποδεκτή τιμή καθώς ο φόρτος έχει μέσο όρο τιμών 1323 με τυπική απόκλιση 267. Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνονται το **ποσοστό επιρροής** της κάθε μεταβλητής **στον κυκλοφοριακό φόρτο**. Όπως φαίνεται, ο φόρτος και η ταχύτητα είναι άμεσα συνδεδεμένα με το μεγαλύτερο ποσοστό συσχέτισης στο 42,146%. Ακολουθεί η ώρα μέσα στην ημέρα με ποσοστό 18,266%, και ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, που αντιπροσωπεύει το πλάτος του άξονα, με 11,445%. Φαίνεται, ότι η βροχή και το χιόνι έχουν την μικρότερη επιρροή καθώς δεν υπάρχει έντονες διακυμάνσεις αλλαγών στην Αθήνα. Η μεταβλητή *is_day* τείνει στο μηδέν καθώς αντιπροσωπεύεται καλύτερα από την μεταβλητή *Hour*, όπου δείχνει πως επηρεάζει μεμονωμένα κάθε στιγμή της ημέρας και όχι μία ομάδα ωρών.

- Ανάλυση Ταχύτητας Κυκλοφορίας

Ταχύτητα Κυκλοφορίας

Feature	Importance (%)
Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος	19,38
Ημέρα της εβδομάδας	17,63
Όριο ταχύτητας	13,34
Θερμοκρασία	12,27
Ώρα	11,37
Μήνας	10,98
Ημέρα	8,57
Αριθμός λωρίδων	4,68
Βροχόπτωση	1,01
Μέρα/Νύχτα	0,49
Χιονόπτωση	0,28



Διάγραμμα 50: CatBoost ποσοστό επιρροής μεταβλητών στην Ταχύτητα

Με **σφάλμα απόκλισης (RMSE)** από την πραγματική τιμή 2,87, αποδεκτή τιμή καθώς η ταχύτητα έχει μέσο όρο τιμών 18,8 και τυπική απόκλιση 6. Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται τα **ποσοστά επιρροής** κάθε μεταβλητής στην **ταχύτητα**. Επιβεβαιώνεται πάλι, η συσχέτιση φόρτου-ταχύτητας. Ενώ, ακολουθεί η μεταβλητή Weekday με 17,5%, όπου δείχνει τις καθημερινές και τα Σαββατοκύριακα. Στην συνέχεια, σημειώνεται το όριο ταχύτητας και η θερμοκρασία με περίπου 12%. Η βροχή, το χιόνι και η is_day είναι οι πιο χαμηλές μεταβλητές επιρροής για τους ίδιους λόγους.

5.4 Ανάλυση Συστάδων (Cluster Analysis)

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι βέλτιστες αναλύσεις σε συστάδες, οι οποίες επιλέχθηκαν για να **αναδείξουν τα μοτίβα και τη συσχέτιση των κυκλοφοριακών δεδομένων**. Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα και αρκετές δοκιμές επιλέχθηκαν οι κατάλληλες ομαδοποιήσεις και μεταβλητές με σκοπό την παρουσίαση συσχέτισης και ομαδοποίησης των κυκλοφοριακών δεδομένων. Επιλέχθηκαν συνθήκες, οι οποίες διαιρούν την αρχική βάση σε μικρότερες, με ικανοποιητικά ποσοστά αντιπροσώπευσης. Ο διαχωρισμός του δείγματος σε μικρότερες ομάδες πραγματοποιήθηκε για να διευκολυνθεί η διερεύνηση των συνθηκών υπό τις οποίες μεταβάλλονται ο φόρτος και η ταχύτητα των οχημάτων, καθώς και η συσχέτιση αυτών των μεταβλητών.

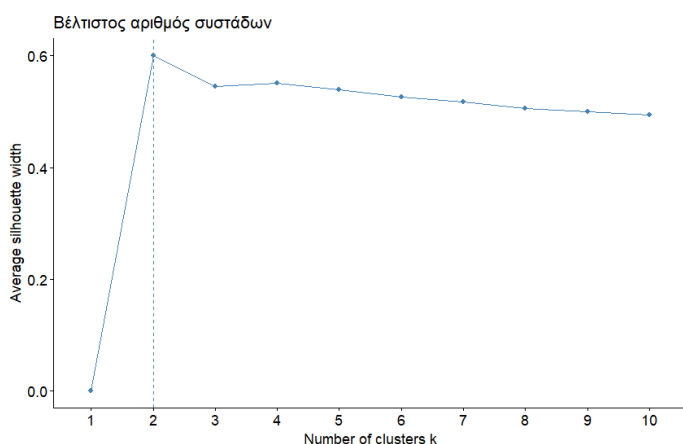
Η μέθοδος **Silhouette** χρησιμοποιήθηκε για να προσδιοριστεί ο βέλτιστος αριθμός συστάδων, καθώς αξιολογεί την ποιότητα της ομαδοποίησης, μετρώντας πόσο καλά ταιριάζει κάθε σημείο στη συστάδα του. Αφού προσδιορίστηκε ο βέλτιστος αριθμός

συστάδων, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος **K-means**. Ο K-means επιλέχθηκε επειδή είναι ένας αποδοτικός και ευρέως χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος για την ομαδοποίηση δεδομένων, ειδικά όταν υπάρχει ανάγκη να ταξινομηθούν τα δεδομένα σε συγκεκριμένο αριθμό συστάδων με βάση την ομοιότητα των χαρακτηριστικών τους. Η μέθοδος αυτή προσφέρει καθαρούς διαχωρισμούς ανάμεσα στις ομάδες και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ανάλυση κυκλοφοριακών δεδομένων, καθώς αναδεικνύει τα μοτίβα που επικρατούν σε διαφορετικές συνθήκες (π.χ. καιρικές, χρονικές).

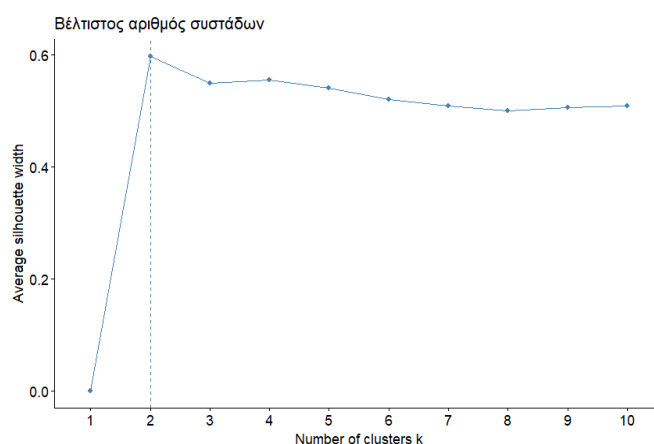
5.4.1 1^η Ανάλυση Συστάδων: Συνθήκη βροχής

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την 1^η ανάλυση συστάδων. Η ανάλυση συστάδων που πραγματοποιήθηκε χωρίστηκε σε δύο συνθήκες: την 1.1 χωρίς βροχή και την 1.2 με βροχή, με βάση την τιμή της μεταβλητής rain_mm που διαχωρίζει τα δείγματα σε αυτές τις συνθήκες.

Συνθήκη	Δείγμα	Ποσοστό(%)
1.1	rain_mm = 0	87.8
1.2	rain_mm > 0	12.2

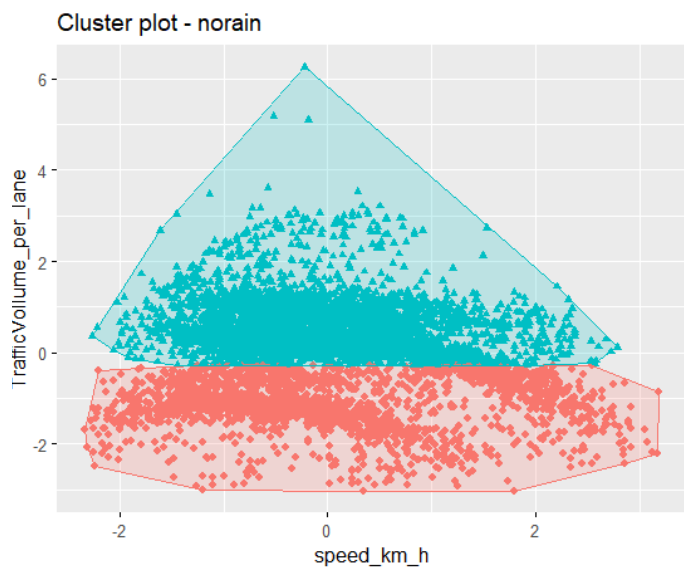


Διάγραμμα 51: Silhouette συνθήκη 1.1

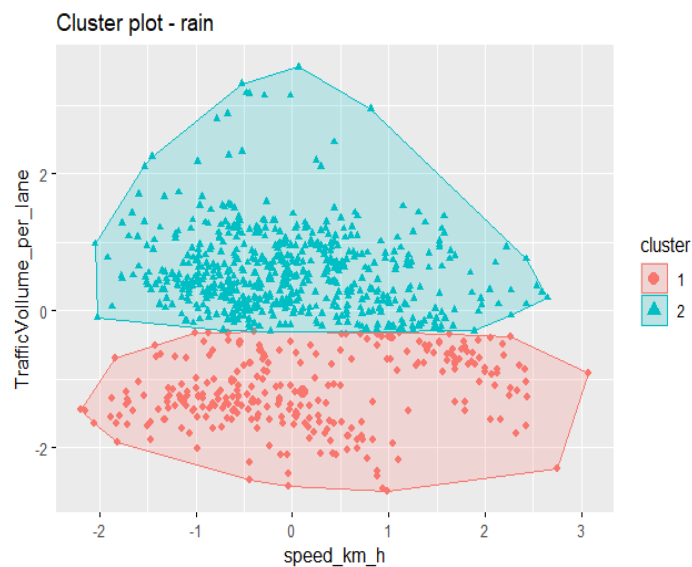


Διάγραμμα 52: Silhouette συνθήκη 1.2

	Speed_km_h	TrafficVollume_per_lane
Συνθήκη 1.1 (χωρίς βροχή)		
Cluster 1	19.51822	271.0501
Cluster 2	18.49748	477.8203
Συνθήκη 1.2 (με βροχή)		
Cluster 1	19.49854	283.5483
Cluster 2	18.46554	468.3748



Διάγραμμα 53: Cluster plot συνθήκη 1.1 χωρίς βροχή



Διάγραμμα 54: Cluster plot συνθήκη 1.2 με βροχή

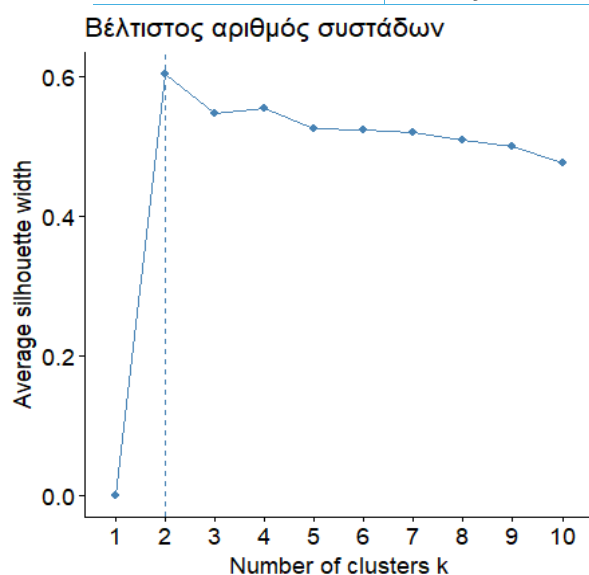
Σχόλια

- **Συνθήκη 1.1 - Χωρίς Βροχή:** Το δείγμα αντιστοιχεί στο 87.8% των συνολικών δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 51) έδειξε ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**, όπως φαίνεται από την ανάλυση της μέσης τιμής του Silhouette width. Η υψηλή τιμή του Silhouette width δείχνει καλή διαφοροποίηση ανάμεσα στις συστάδες. Στο Διάγραμμα 53, το οποίο απεικονίζει την κατανομή των δεδομένων χωρίς βροχή και διακρίνεται ότι οι δύο (2) συστάδες διαχωρίζονται κυρίως με βάση τον ωριαίο φόρτο κυκλοφορίας, καθώς η ταχύτητα παραμένει σχετικά σταθερή.
- **Συνθήκη 1.2 - Με Βροχή:** Το δείγμα περιλαμβάνει 864 περιπτώσεις, που αντιστοιχούν στο 12.2% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 52) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**, με την τιμή του Silhouette width επίσης υψηλή (0.6). Στο Διάγραμμα 54, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων υπό συνθήκες βροχής, παρατηρείται ότι επαναλαμβάνεται η μη διαφοροποίηση στην ταχύτητα ανάμεσα στις δύο συστάδες, ενώ ο φόρτος κυκλοφορίας παραμένει σημαντικός παράγοντας στον διαχωρισμό.
- **Σύγκριση:** Χωρίς βροχή ή με βροχή, η ανάλυση δείχνει ότι η ταχύτητα των οχημάτων είναι σχετικά σταθερή μεταξύ των δύο συστάδων. Ωστόσο, παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στον φόρτο κυκλοφορίας ανά λωρίδα, με το Cluster 2 να έχει πολύ μεγαλύτερο φόρτο σε σχέση με το Cluster 1. Συγκρίνοντας τις δύο συνθήκες, παρατηρείται ότι η βροχή μειώνει αυξάνει τους χαμηλούς φόρτους, ενώ μειώνει του υψηλούς.

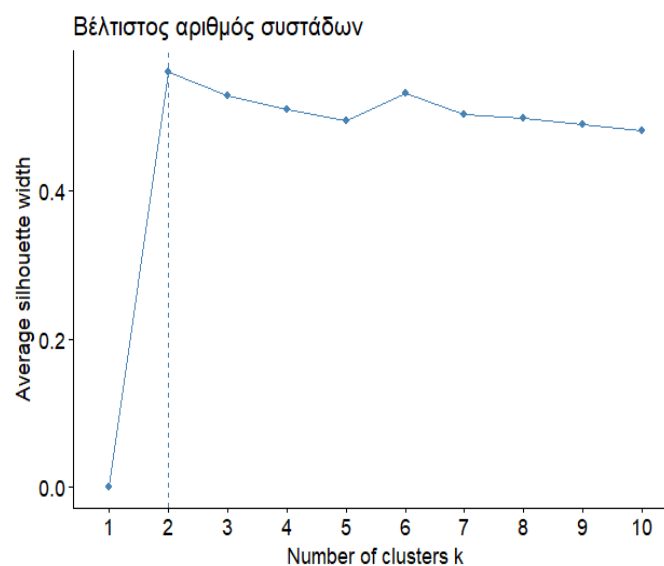
5.4.2 2^η Ανάλυση: Συνθήκη πρωί/βράδυ

Η ανάλυση αυτή εξετάζει τη διαφοροποίηση στη κυκλοφορία κατά τις πρωινές (με φως) και βραδινές (χωρίς φως) ώρες. Η συνθήκη ημέρας (2.1) αναφέρεται στις πρωινές ώρες, ενώ η συνθήκη νύχτας (2.2) αναφέρεται στις βραδινές ώρες. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Συνθήκη	Δείγμα	Ποσοστό(%)
2.1	is_day = 1	6783
2.2	Is_day = 0	345



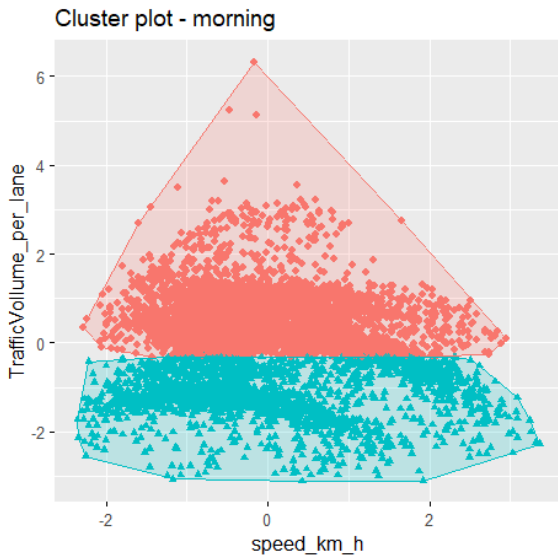
Διάγραμμα 55:Silhouette συνθήκη 2.1



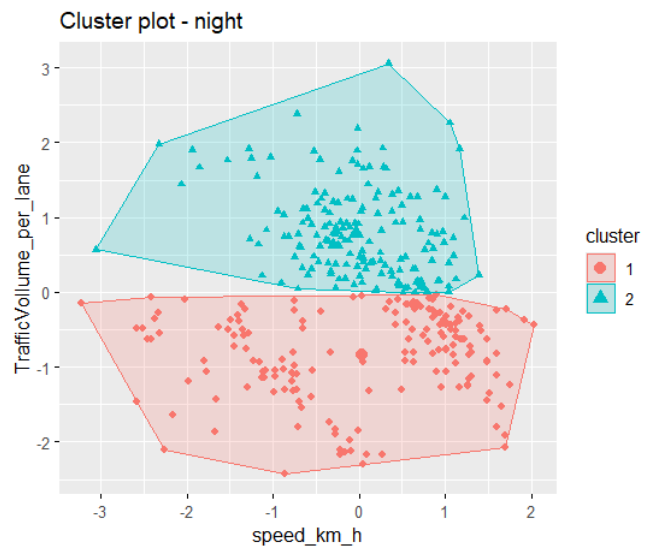
Διάγραμμα 56:Sihlouete συνθήκη 2.2

Σύμφωνα με την ανάλυση Silhouette, ο βέλτιστος αριθμός συστάδων (clusters) για τις δύο συνθήκες είναι δύο, κάτι που υποδεικνύεται τόσο στο Διάγραμμα 55 (για τη Συνθήκη 2.1) όσο και στο Διάγραμμα 56 (για τη Συνθήκη 2.2). Τα αναλυτικά αποτελέσματα για τις τιμές ταχύτητας και φόρτου κυκλοφορίας ανά λωρίδα για τις δύο συνθήκες και τα δύο clusters παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Speed_km_h	TrafficVollume_per_lane
Συνθήκη 2.1(πρωί)		
Cluster 1	18.28640	477.4139
Cluster 2	18.85731	271.5523
Συνθήκη 2.2 (βράδυ)		
Cluster 1	26.22511	263.9965
Cluster 2	25.83629	431.7225



Διάγραμμα 57: Cluster plot συνθήκη 2.1 πρωί



Διάγραμμα 58: Cluster plot συνθήκη 2.2 βράδυ

Σχόλια

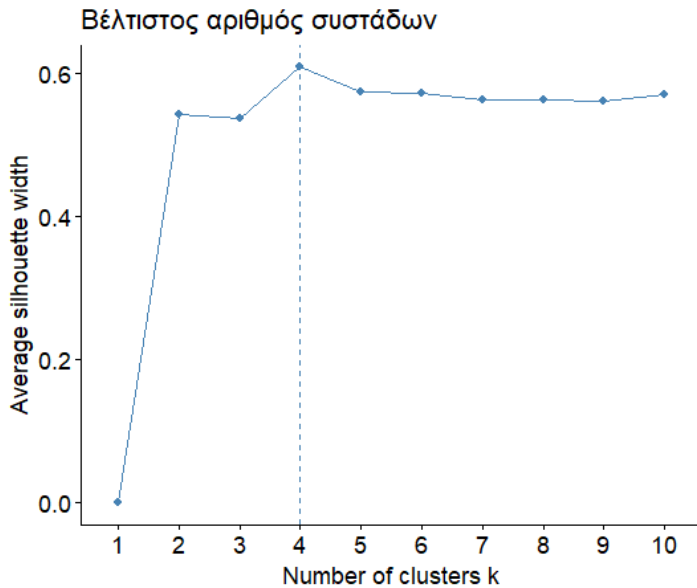
- Συνθήκη 2.1 - Πρωί:** Το δείγμα αντιστοιχεί στο 95.16% των συνολικών δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 55) έδειξε ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**, με υψηλή τιμή του Silhouette width. Στο Διάγραμμα 57, με την κατανομή των δεδομένων τις πρωινές ώρες, διακρίνεται ότι οι δύο συστάδες διαχωρίζονται κυρίως με βάση τον φόρτο κυκλοφορίας ανά λωρίδα, καθώς η ταχύτητα παραμένει σχετικά σταθερή. Αυτό σημαίνει ότι οι ώρες με υψηλότερο φόρτο δεν επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα των οχημάτων, πιθανώς επειδή οι ώρες αιχμής δεν επιτρέπουν μεγάλες διακυμάνσεις στις ταχύτητες, παρά τον αυξημένο αριθμό οχημάτων.
- Συνθήκη 2.2 -Βράδυ:** Το δείγμα περιλαμβάνει 543 περιπτώσεις, που αντιστοιχούν στο 4.84% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 56) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**. Στο Διάγραμμα 58, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων το βράδυ, παρατηρείται μεγαλύτερη διαφοροποίηση στην ταχύτητα ανάμεσα στις δύο συστάδες, με τις τιμές να μειώνονται όσο αυξάνεται ο φόρτος.
- Σύγκριση:** Κατά τις ώρες με φως (ημέρα), η ανάλυση δείχνει ότι η ταχύτητα των οχημάτων είναι σχετικά σταθερή μεταξύ των δύο συστάδων. Ωστόσο, παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στον ωριαίο φόρτο κυκλοφορίας, με το Cluster 2 να έχει πολύ μεγαλύτερο φόρτο σε σχέση με το Cluster 1. Ενώ, στη δεύτερη συνθήκη (βράδυ), σημειώνεται μικρή διαφοροποίηση και στην ταχύτητα, αλλά και σημαντική στο φόρτο, μεταξύ των συστάδων. Συνολικά, οι ταχύτητες είναι υψηλότερες το βράδυ σε σύγκριση με το πρωί, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στη μείωση του συνολικού φόρτου κυκλοφορίας.

5.4.3 3^η Ανάλυση: Συνθήκη Καθημερινές/ώρες αιχμής

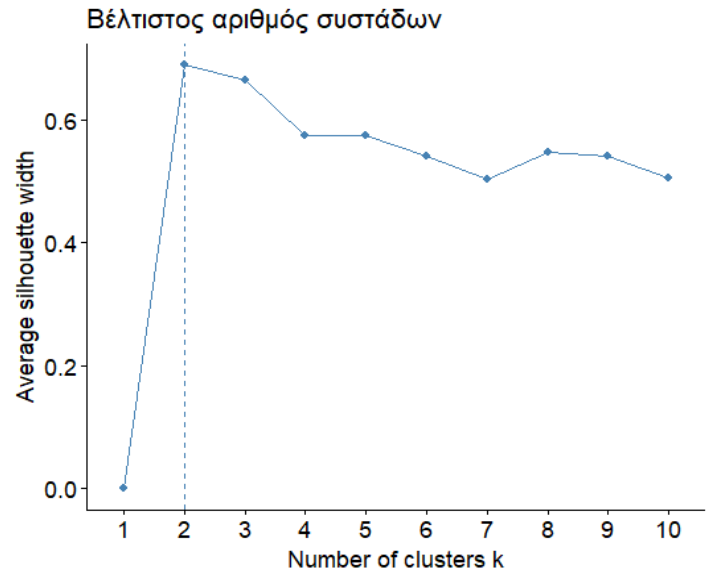
Αυτή η ανάλυση εξετάζει τη διαφοροποίηση στη κυκλοφορία κατά τις ώρες αιχμής σε καθημερινές και σαββατοκύριακα, καλύπτοντας διαφορετικά χρονικά διαστήματα της ημέρας. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Συνθήκη	Δείγμα	Ποσοστό(%)
3.1	Weekday = 1, 8 <= Hour <=10	1143
3.2	Weekday = 1, 16 <= Hour <=18	1703
3.3	Weekday = 0, 16 <= Hour <=18	712
3.4	Weekday = 0, 21 <= Hour <=23	345

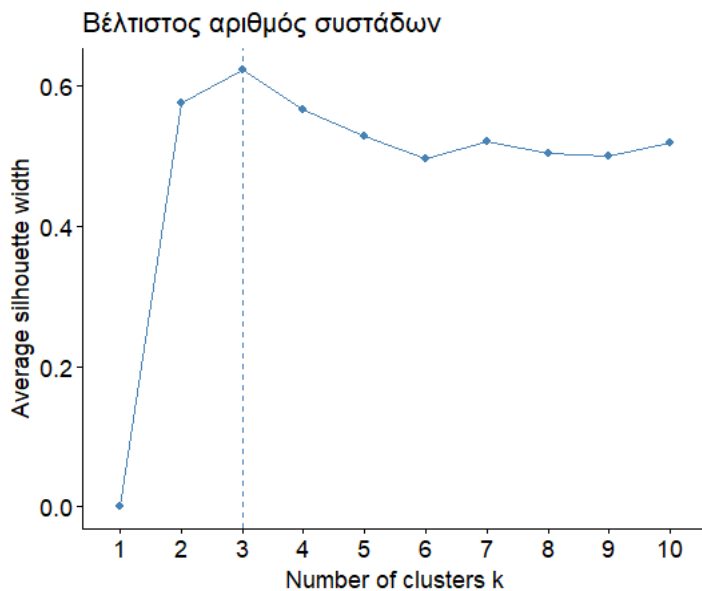
Η ανάλυση με τη μέθοδο Silhouette έδειξε ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων ποικίλλει μεταξύ των διαφορετικών συνθηκών, όπως παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 59-62. Οι τιμές ταχύτητας και φόρτου κυκλοφορίας ανά λωρίδα για κάθε συνθήκη και cluster παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:



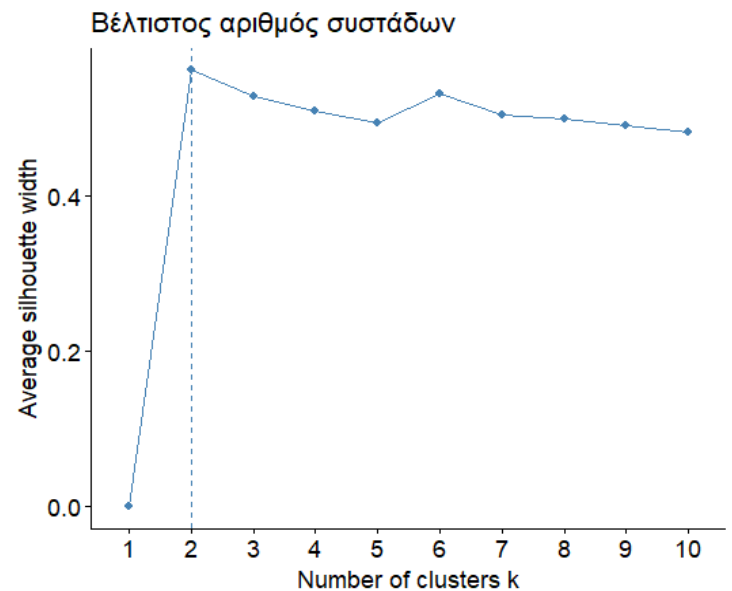
Διάγραμμα 59: Silhouette συνθήκη 3.1



Διάγραμμα 60: Silhouette συνθήκη 3.2

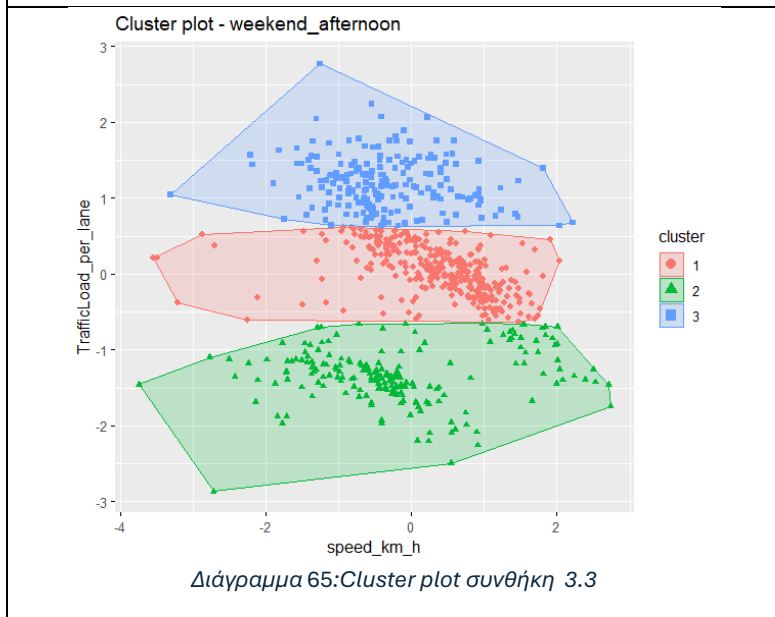
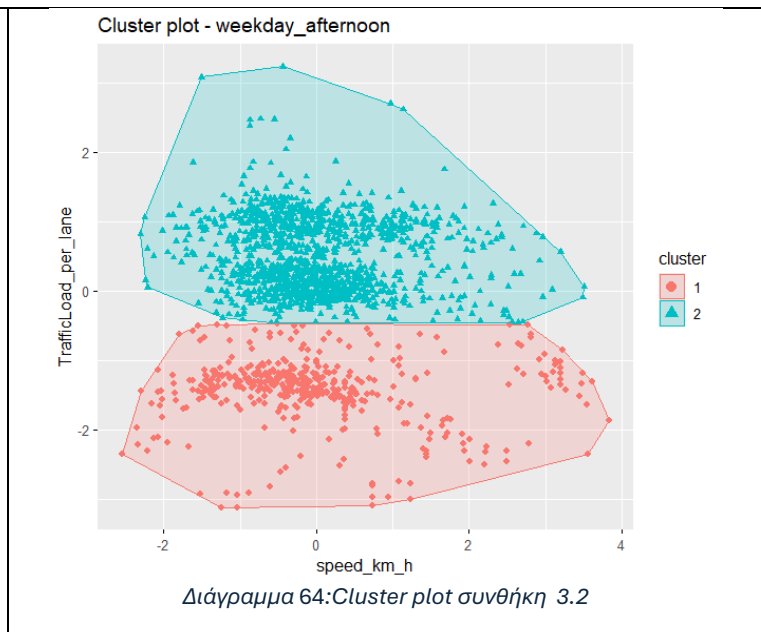
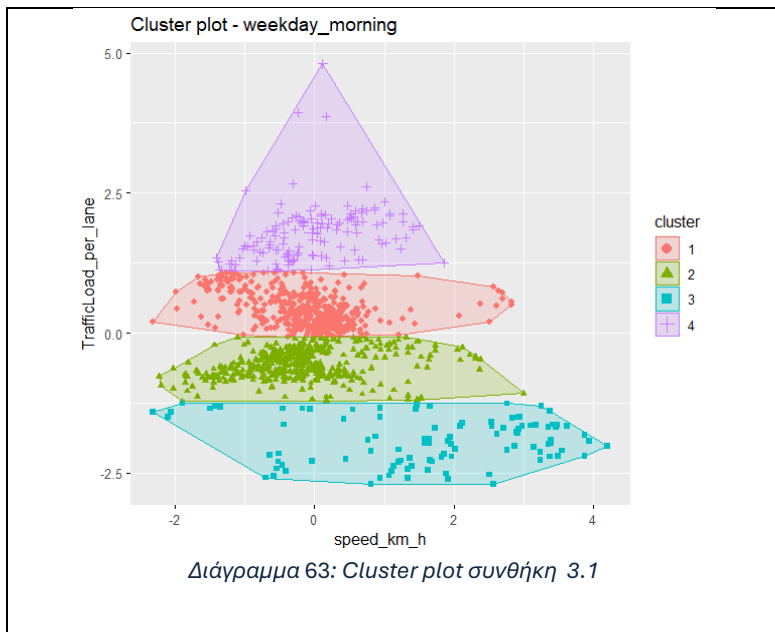


Διάγραμμα 61: Silhouette συνθήκη 3.3



Διάγραμμα 62: Silhouette συνθήκη 3.4

	Speed_kmh	TrafficVollume_per_lane
Συνθήκη 3.1 (Καθημερινή 8-10π.μ.)		
Cluster 1	16.22463	508.0698
Cluster 2	15.75812	362.1843
Cluster 3	25.11097	156.5095
Cluster 4	16.64397	713.6664
Συνθήκη 3.2 (Καθημερινή 4-6μ.μ.)		
Cluster 1	16.89563	251.3645
Cluster 2	16.85949	477.0460
Συνθήκη 3.3 (Σαββατοκύριακο 4-6μ.μ.)		
Cluster 1	26.38458	372.4151
Cluster 2	23.68686	217.4888
Cluster 3	22.89438	502.0957
Συνθήκη 3.4 (Σαββατοκύριακο 9-11μ.μ.)		
Cluster 1	26.22511	263.9965
Cluster 2	25.83629	431.7225



Σχόλια

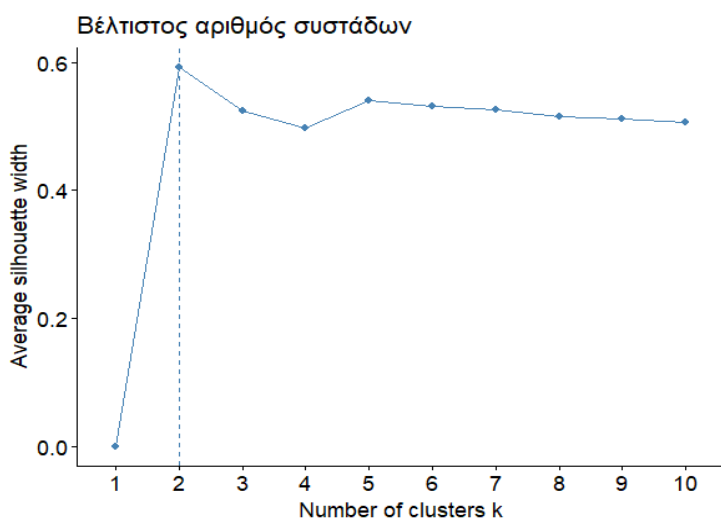
- **Συνθήκη 3.1 – Καθημερινή ώρες αιχμής 8-10π.μ.:** Το δείγμα αντιστοιχεί στο 16% των συνολικών δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 59) έδειξε ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **4**, όπως φαίνεται από την ανάλυση της μέσης τιμής του Silhouette width. Στο Διάγραμμα 63, το οποίο απεικονίζει την κατανομή των δεδομένων στη συνθήκη 3.1, διακρίνεται ότι οι τέσσερις συστάδες διαχωρίζονται και με βάση την ταχύτητα (κατά πλειοψηφία) και με βάση το φόρτο. Σημειώνεται ότι με περαιτέρω αύξηση από την τιμή 508.0698 του φόρτου, δεν επέρχεται επιπλέον μείωση της ταχύτητας. Πιο συγκεκριμένα, οι τέσσερις συστάδες δείχνουν ότι κατά τις πρωινές ώρες αιχμής υπάρχει σημαντική διακύμανση τόσο στον φόρτο κυκλοφορίας όσο και στην ταχύτητα των οχημάτων. Σε ώρες αιχμής, η αύξηση του φόρτου δεν οδηγεί απαραίτητα σε περαιτέρω μείωση της ταχύτητας μετά από ένα σημείο, ενώ σε περιόδους με χαμηλότερο φόρτο, οι ταχύτητες αυξάνονται αισθητά.
- **Συνθήκη 3.2 - Καθημερινή ώρες αιχμής 4-6μ.μ.:** Το δείγμα περιλαμβάνει 1703 παρατηρήσεις, που αντιστοιχούν στο 23.8% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 60) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**, με την τιμή του Silhouette width επίσης υψηλή πάνω από 0.6. Στο Διάγραμμα 64, παρατηρείται ότι κατά τις απογευματινές ώρες αιχμής τις καθημερινές, η ταχύτητα των οχημάτων παραμένει σταθερή, ανεξάρτητα από τον φόρτο κυκλοφορίας, με τον φόρτο κυκλοφορίας να αποτελεί σημαντικό παράγοντα στον διαχωρισμό των δύο συστάδων.
- **Συνθήκη 3.3 - Σαββατοκύριακο ώρες αιχμής 4-6μ.μ.:** Το δείγμα περιλαμβάνει το 10% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 61) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **3**. Στο Διάγραμμα 65, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων, παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας στην πρώτη αύξηση του φόρτου, ενώ στην δεύτερη μειώνεται.
- **Συνθήκη 3.4 - Σαββατοκύριακο ώρες αιχμής 9-11μ.μ.:** Το δείγμα περιλαμβάνει το 4.8% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 62) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**. Στο Διάγραμμα 68, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων κατά τις βραδινές ώρες τα Σαββατοκύριακα, παρατηρείται ότι η ταχύτητα παραμένει σχετικά σταθερή, και ότι ο διαχωρισμός των συστάδων οφείλεται κυρίως στον κυκλοφοριακό φόρτο.
- **Σύγκριση:** Τις καθημερινές σημειώνεται μείωση των ταχυτήτων από τις πρωινές στις απογευματινές ώρες. Συγκρίνοντας τις ώρες 4-6μ.μ. τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα, παρατηρείται αύξηση της μέσης ταχύτητας με ταυτόχρονη μείωση φόρτου στη δεύτερη περίπτωση. Το ίδιο επαναλαμβάνεται και ανάμεσα στις ώρες αιχμής του σαββατοκύριακου. Συνολικά, σημειώνονται αυξημένες ταχύτητας και φόρτοι στην τρίτη και τέταρτη συνθήκη.

5.4.4 4^η Ανάλυση: Συνθήκη Πρωί/Βράδυ με θερμοκρασιακές μεταβολές

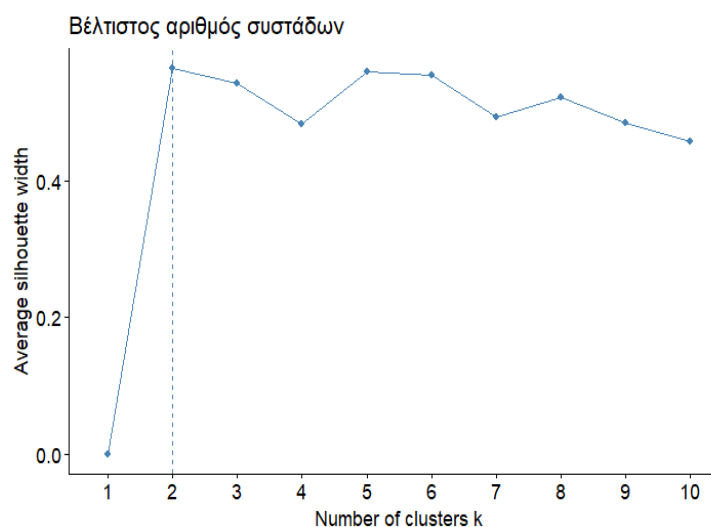
Η παρούσα ανάλυση συστάδων εξετάζει την κυκλοφοριακή κατάσταση τόσο το πρωί όσο και το βράδυ, λαμβάνοντας υπόψη τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Συνθήκη	Δείγμα	Ποσοστό(%)	
4.1	is_day = 1, temperature_2m<=10	1592	22.33
4.2	is_day = 0, temperature_2m<=10	160	2.25
4.3	is_day = 1, 10<temperature_2m<=20	3119	43.76
4.4	is_day = 0, 10<temperature_2m<=20	130	1.82
4.5	is_day = 1, temperature_2m>20	2072	29.07
4.6	is_day = 0, temperature_2m>20	55	0.77

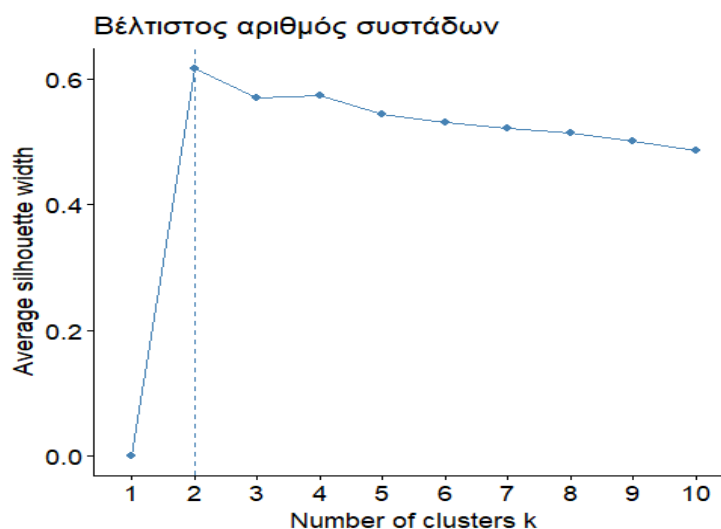
Σύμφωνα με την ανάλυση Silhouette, ο βέλτιστος αριθμός συστάδων (clusters) ποικίλλει ανάλογα με τη συνθήκη, όπως παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 67-72. Ακολουθούν τα αποτελέσματα για τις ταχύτητες και τον κυκλοφοριακό φόρτο για κάθε συνθήκη και cluster:



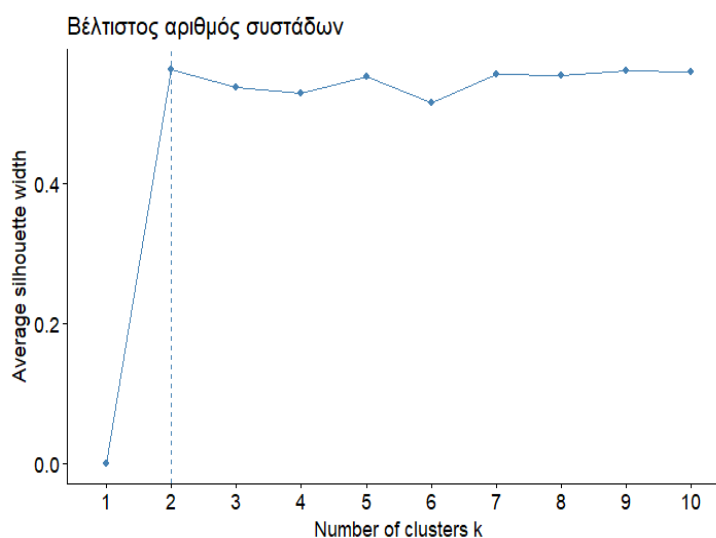
Διάγραμμα 67: Silhouette συνθήκη 4.1



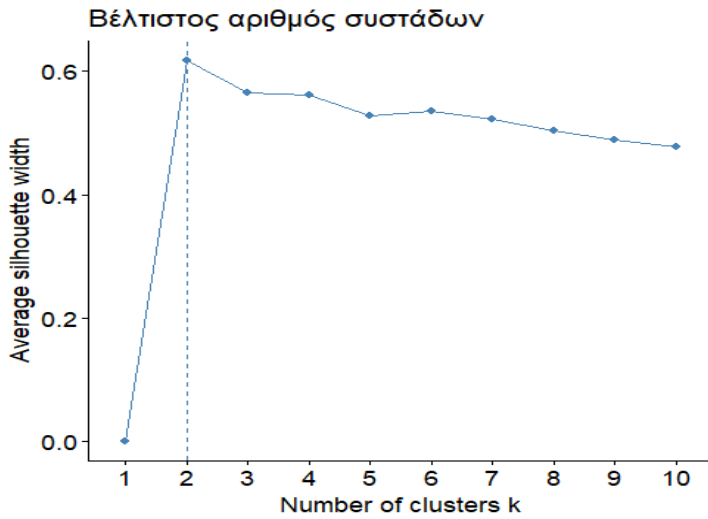
Διάγραμμα 68: Silhouette συνθήκη 4.2



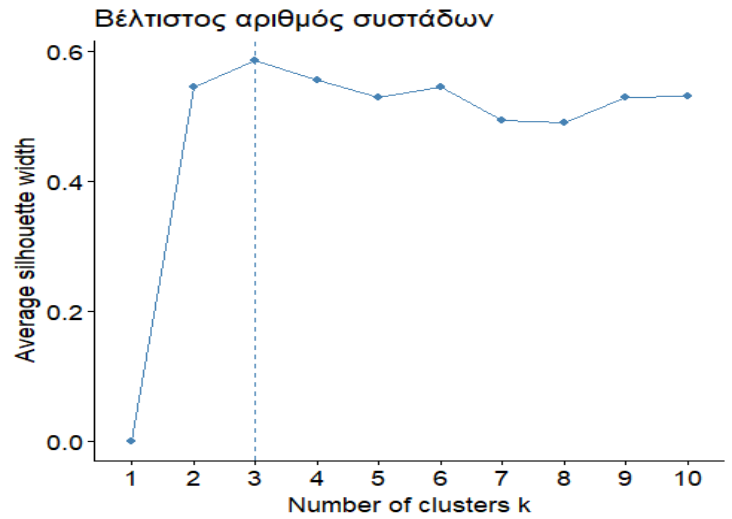
Διάγραμμα 69: Silhouette συνθήκη 4.3



Διάγραμμα 70: Silhouette συνθήκη 4.4

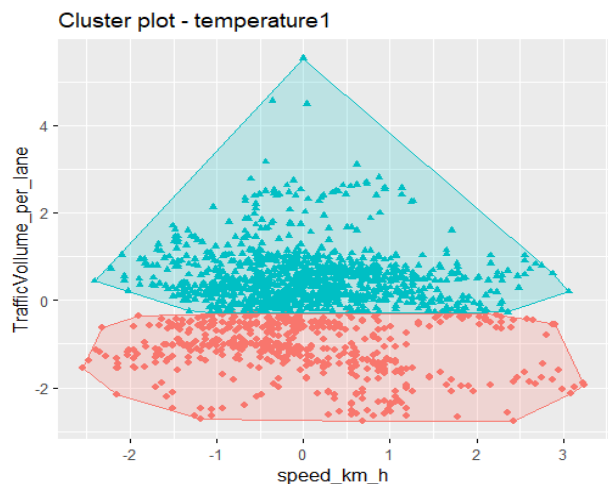


Διάγραμμα 71: Silhouette συνθήκη 4.5

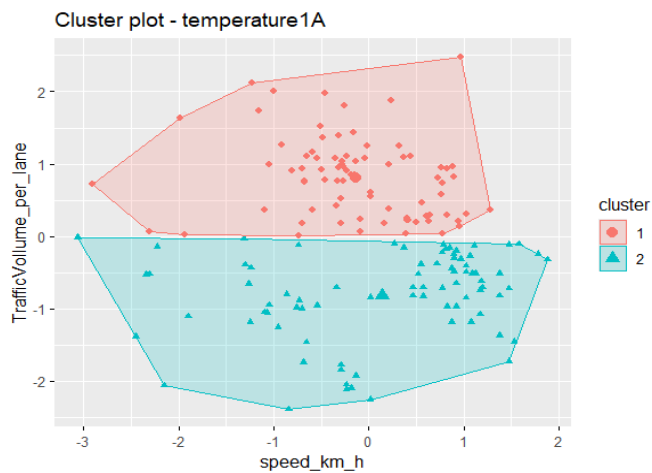


Διάγραμμα 72: Silhouette συνθήκη 4.6

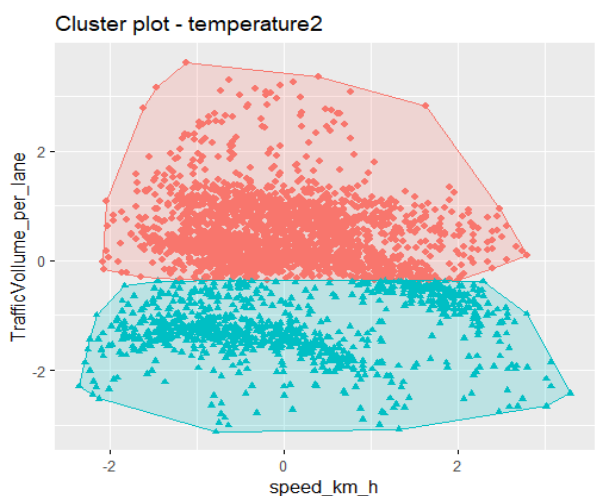
	Speed_km_h	TrafficVollume_per_lane
Συνθήκη 4.1 (Πρωί $t \leq 10^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	17.18241	264.1038
Cluster 2	17.62853	487.8371
Συνθήκη 4.2 (Βράδυ $t \leq 10^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	25.33518	417.8474
Cluster 2	27.13422	255.6318
Συνθήκη 4.3 (Πρωί $10^{\circ}\text{C} < t \leq 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	18.45523	477.2181
Cluster 2	18.93563	275.7668
Συνθήκη 4.4 (Βράδυ $10^{\circ}\text{C} < t \leq 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	26.27827	282.0962
Cluster 2	25.30319	459.2587
Συνθήκη 4.5 (Πρωί $t > 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	19.88157	271.5217
Cluster 2	18.56850	469.3285
Συνθήκη 4.6 (Βράδυ $t > 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	22.68378	228.0222
Cluster 2	26.74644	367.9974
Cluster 3	28.67825	504.3906



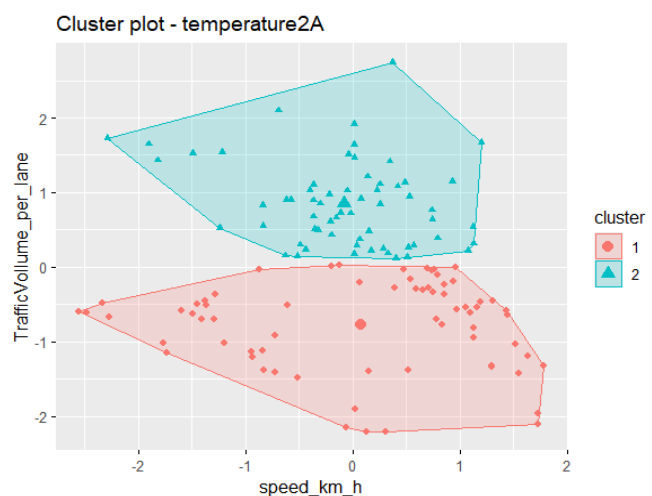
Διάγραμμα 73: Cluster plot συνθήκη 4.1



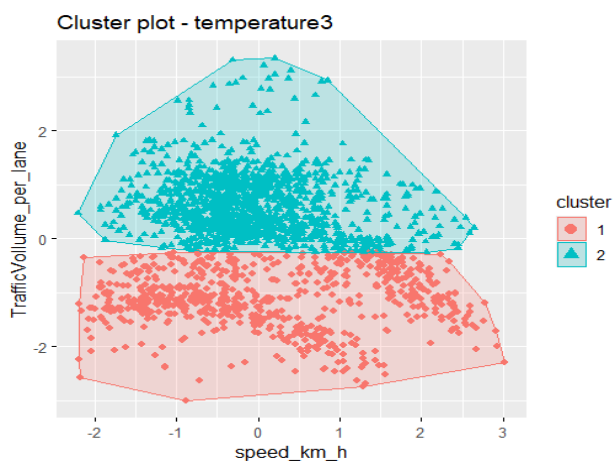
Διάγραμμα 74: Cluster plot συνθήκη 4.2



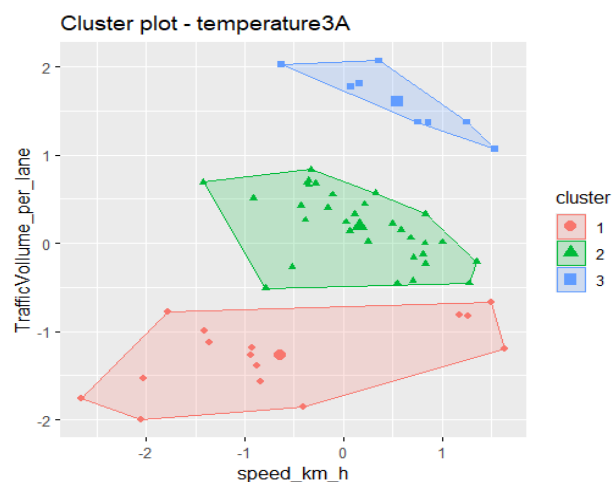
Διάγραμμα 75: Cluster plot συνθήκη 4.3



Διάγραμμα 76: Cluster plot συνθήκη 4.4



Διάγραμμα 77: Cluster plot συνθήκη 4.5



Διάγραμμα 78: Cluster plot συνθήκη 4.6

Σχόλια

- **Συνθήκη 4.1 – Πρωί με $0 \leq t \leq 10$:** Το δείγμα αντιστοιχεί στο 22.33% των συνολικών δεδομένων, με 1592 παρατηρήσεις. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 67) έδειξε ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**, όπως φαίνεται από την ανάλυση της μέσης τιμής του Silhouette width, με υψηλή τιμή (0.6). Στο Διάγραμμα 73, το οποίο

απεικονίζει την κατανομή των δεδομένων στη συνθήκη, πρωί με θερμοκρασία από 10°C και κάτω, διακρίνεται ότι οι δύο συστάδες διαχωρίζονται βάση του φόρτου, ενώ σημειώνεται σχεδόν σταθερή ταχύτητα.

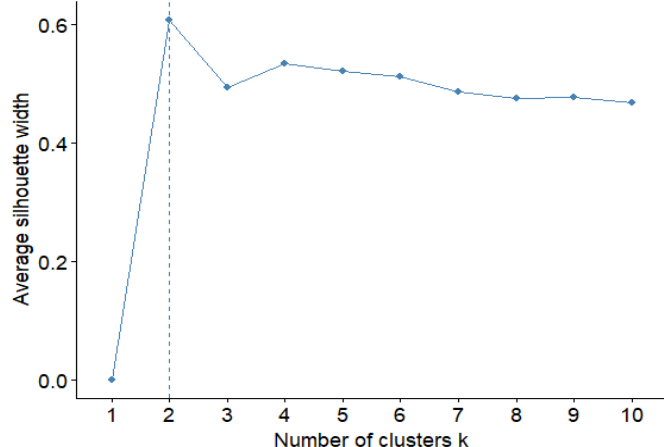
- **Συνθήκη 4.2 – Βράδυ με $0 \leq t \leq 10$:** Το δείγμα αντιστοιχεί στο 2.25% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 68) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι 2. Στο Διάγραμμα 74, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων κατά τις βραδινές ώρες με θερμοκρασία 10°C και κάτω, παρατηρείται μεγαλύτερη διαφοροποίηση στην ταχύτητα, όπως και στον κυκλοφοριακό φόρτο.
- **Συνθήκη 4.3 – Πρωί με $10 < t \leq 20$:** Το δείγμα περιλαμβάνει το 43.76%, με συνολικές περιπτώσεις 3119. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 69) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι 2. Στο Διάγραμμα 75, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων κατά τις πρωινές ώρες με θερμοκρασιακές συνθήκες μεταξύ 10 °C και 20 °C, σημειώνεται, οριακά σταθερή ταχύτητα, με κύριο παράγοντα διαφοροποίησης των συστάδων τον κυκλοφοριακό φόρτο.
- **Συνθήκη 4.4 - Βράδυ με $10 < t \leq 20$:** Το δείγμα περιλαμβάνει το 1.82% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 70) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι 8, ενώ προτιμήθηκε η διεξαγωγή της ανάλυσης με 2 συστάδες ομαδοποίησης. Το Διάγραμμα 76 παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων, με τις ίδιες θερμοκρασιακές μεταβολές 10 °C – 20 °C, κατά τις βραδινές ώρες. Παρατηρείται, σχεδόν σταθερή ταχύτητα, ενώ οι συστάδες διαφοροποιούνται κυρίως λόγω φόρτου.
- **Συνθήκη 4.5 – Πρωί με $t > 20$:** Το δείγμα περιλαμβάνει το 29.07% των δεδομένων, με 2072 περιπτώσεις. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 71) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι 2. Στο Διάγραμμα 77, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων σε πρωινές συνθήκες με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 20°C, σημειώνεται μικρή διαφοροποίηση στις ταχύτητες, με τον φόρτο να αποτελεί των βασικό παράγοντα διαφοροποίησης των συστάδων.
- **Συνθήκη 4.6 – Βράδυ με $t > 20$.** Το δείγμα περιλαμβάνει το 0.77% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 72) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι 3. Το Διάγραμμα 78 παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων κατά τις βραδινές ώρες με θερμοκρασία άνω των 20 °C. Διακρίνεται ότι ο διαχωρισμός των συστάδων βασίζεται τόσο στη μεταβολή της ταχύτητας, όσο και στη διαφοροποίηση του φόρτου.

Σύγκριση: Συνολικά σε όλη την ανάλυση, παρατηρείται ότι με αύξηση της θερμοκρασίας επέρχεται αύξηση της ταχύτητας, και στις πρωινές και στις βραδινές ώρες. Επιπλέον, κατά τις πρωινές ώρες με σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, σημειώνεται μείωση των υψηλών φόρτων, με τους μικρούς φόρτους να έχουν μη σταθερή αυξητική πορεία. Ενώ, κατά τις βραδινές ώρες, διακρίνεται καθολική αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, με αύξηση της θερμοκρασίας.

5.4.5 5^η Ανάλυση: Συνθήκη Ορίου ταχύτητας και αριθμού λωρίδων

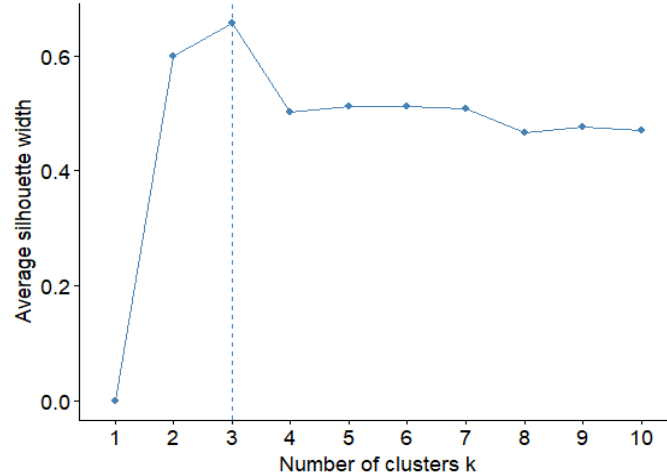
Συνθήκη	Μαξspeed = 50, Lanes = 3	Μαξspeed = 50, Lanes = 4	Μαξspeed = 60, Lanes = 3
5.1	2857	40.08	
5.2	1419	19.91	
5.3	2852	40.01	

Βέλτιστος αριθμός συστάδων



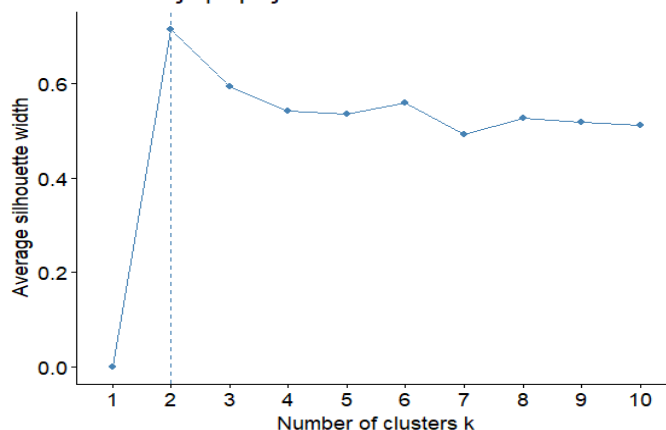
Διάγραμμα 79: Silhouette συνθήκη 5.1

Βέλτιστος αριθμός συστάδων



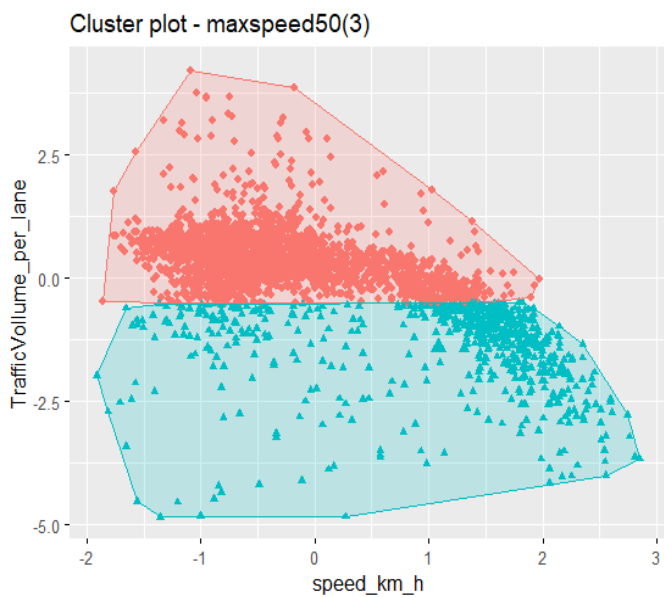
Διάγραμμα 80: Silhouette συνθήκη 5.2

Βέλτιστος αριθμός συστάδων



Διάγραμμα 81: Silhouette συνθήκη 5.3

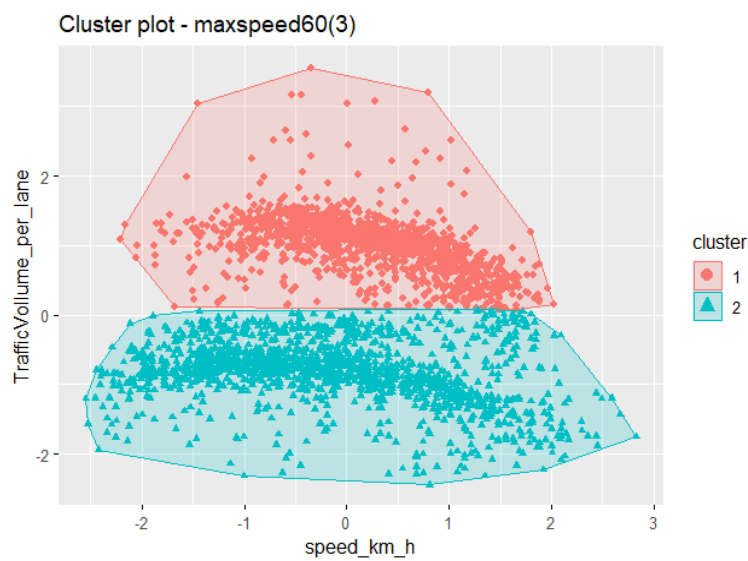
	Speed_km_h	TrafficVollume_per_lane
Συνθήκη 5.1 (Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 3)		
Cluster 1	17.82505	431.0020
Cluster 2	26.98924	301.2663
Συνθήκη 5.2 (Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 4)		
Cluster 1	16.74970	693.0203
Cluster 2	23.64778	254.6189
Cluster 3	20.77091	497.2361
Συνθήκη 5.3 (Όριο ταχύτητας 60, λωρίδες 3)		
Cluster 1	18.04871	499.8725
Cluster 2	16.06905	257.2765



Διάγραμμα 82: Cluster plot συνθήκη 5.1



Διάγραμμα 83: Cluster plot συνθήκη 5.2



Διάγραμμα 84: Cluster plot συνθήκη 5.3

Σχόλια

- Συνθήκη 5.1 – Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 3:** Το δείγμα αντιστοιχεί στο 40.8% των συνολικών δεδομένων, με 2857 περιπτώσεις. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 79) έδειξε ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**, όπως φαίνεται από την ανάλυση της μέσης τιμής του Silhouette width. Στο Διάγραμμα 82, το οποίο απεικονίζει την κατανομή των δεδομένων, σημειώνεται διαφοροποίηση φόρτου και ταχύτητας ανάμεσα στις δύο συστάδες, με αύξηση ταχύτητας με ταυτόχρονη μείωση του φόρτου.

- **Συνθήκη 5.2 - Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 4:** Το δείγμα περιλαμβάνει 1419 περιπτώσεις, που αντιστοιχούν στο 19.91% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 80) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **3**, με την τιμή του Silhouette width επίσης υψηλή πάνω από 0.6. Στο Διάγραμμα 83, που παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων με όριο ταχύτητας 50Km/h και 4 λωρίδες ανά κατεύθυνση οδικού άξονα, σημειώνεται ότι οι τρεις συστάδες διαφοροποιούνται και σε σχέση με την ταχύτητα αλλά και το φόρτο.
- **Συνθήκη 5.3 - Όριο ταχύτητας 60, λωρίδες 3:** Το δείγμα περιλαμβάνει το 40.01% των δεδομένων. Η ανάλυση με την μέθοδο Silhouette (Διάγραμμα 81) έδειξε επίσης ότι ο βέλτιστος αριθμός συστάδων είναι **2**. Το Διάγραμμα 84 παρουσιάζει την κατανομή των δεδομένων με όριο ταχύτητας τα 60Km/h με 3 λωρίδες. Παρατηρείται μικρότερη διαφοροποίηση της ταχύτητας σε σχέση με τις υπόλοιπες συνθήκες, ενώ ο φόρτος φέρει τη κύρια διαφοροποίηση για τις συστάδες.
- **Σύγκριση:** Όσον αφορά τον αριθμό λωρίδων, διακρίνεται αύξηση του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου με μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας στις οδού με περισσότερες λωρίδες. Ενώ, όσον αφορά τα όρια ταχύτητας με αύξηση του ορίου ταχύτητας σημειώνεται αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

6 Συμπεράσματα

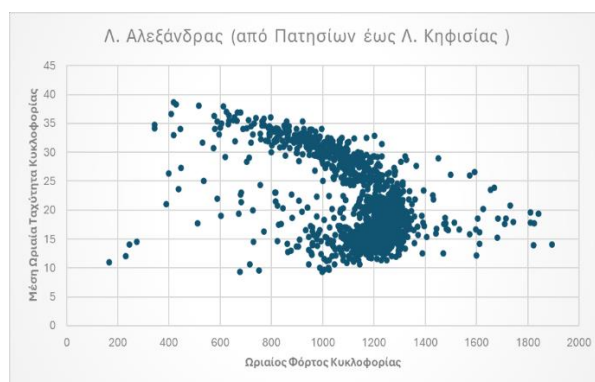
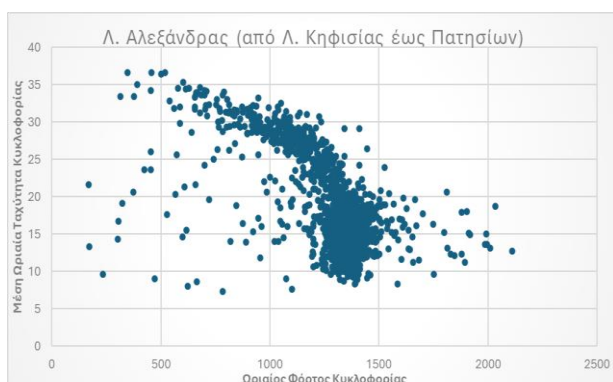
6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

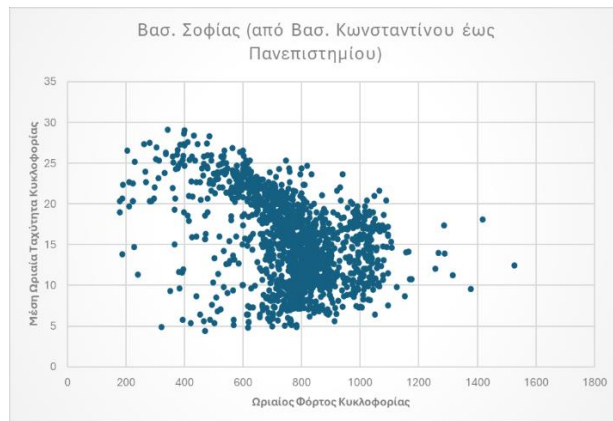
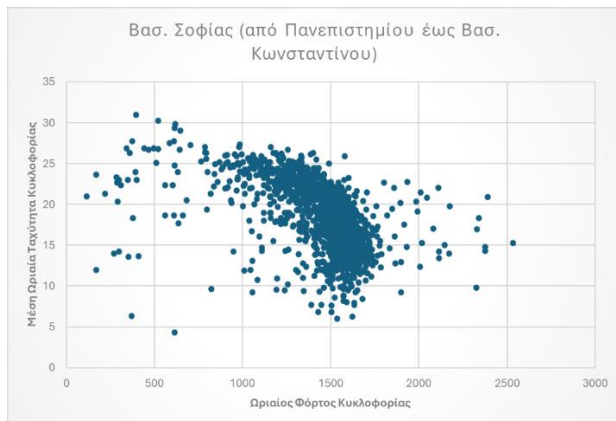
Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η ανάλυση **κρίσιμων παραγόντων επιρροής των κυκλοφοριακών συνθηκών στην Αθήνα**. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται η διερεύνηση της πολυπαραγοντικής φύσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης και η ανάδειξη των παραμέτρων που την επηρεάζουν όπως οι καιρικές συνθήκες, η χρονική περίοδος (ώρα, ημέρα) και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών αξόνων.

Για το σκοπό αυτό **συλλέχθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα** σε επιλεγμένα οδικά τμήματα της Αθήνας, όπως ταχύτητα κυκλοφορίας μέσω της υπηρεσίας χαρτών Google Maps για 62 οδικούς άξονες στην Αθήνα και ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος σε 26 σημεία, μέσω του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας, για την περίοδο από Ιανουάριο έως Ιούλιο του έτους 2022. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκαν δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες όπως ύψος βροχής, θερμοκρασία, ύψος χιονόπτωσης και η τελική βάση συμπληρώθηκε με γεωμετρικά οδικά χαρακτηριστικά όπως τύπος οδού, όριο ταχύτητας και αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας.

Έπειτα από τη συλλογή των δεδομένων και τη δημιουργία της κεντρικής βάσης δεδομένων, ακολουθήθηκε στατιστική περιγραφική ανάλυση με σκοπό την πρωταρχική ερμηνεία των δεδομένων. Σε πρώτο στάδιο διερευνήθηκε η σχέση ταχύτητας-φόρτου αξιοποιώντας δεδομένα από δύο διαφορετικές πηγές και η εξέλιξή της κυκλοφορίας υπό διαφορετικές καιρικές και χρονικές συνθήκες. Αναπτύχθηκε ο **αλγόριθμος Μηχανικής Μάθησης CatBoost** με σκοπό της αναζήτησης του βαθμού επιρροής κάθε μεταβλητής υπό εξέταση στην κυκλοφορία και πιο συγκεκριμένα στον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο και στην ταχύτητα κυκλοφορίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν **πέντε Αναλύσεις Συστάδων** (Cluster Analysis) που στόχευαν στην ταυτοποίηση συστάδων με βάση τις παρατηρούμενες κυκλοφοριακές συνθήκες υπό διάφορους περιβαλλοντικούς και χρονικούς παράγοντες, αξιοποιώντας τη μέθοδο K-means. Η εν λόγω ανάλυση μπορεί να συμβάλλει στον χαρακτηρισμό των ωρών υπό συγκεκριμένες συνθήκες ως περισσότερο ή λιγότερο επιβαρυσμένες κυκλοφοριακά. Οι κύριες μεταβλητές που αξιοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των κυκλοφοριακών συνθηκών στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης ήταν ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα και η ταχύτητα κυκλοφορίας.

Μέσω των ακόλουθων διαγραμμάτων μπορεί να επιβεβαιωθεί η μη γραμμική σχέση ταχύτητας φόρτου.





Διάγραμμα 1: Σχέση ταχύτητας κυκλοφορίας-ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγορίθμου CatBoost.

Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος		Ταχύτητα Κυκλοφορίας	
Feature	Importance (%)	Feature	Importance (%)
Αριθμός λωρίδων	42,146	Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος	19,38
Ταχύτητα Κυκλοφορίας	18,266	Ημέρα της εβδομάδας	17,63
Ώρα	11,445	Όριο ταχύτητας	13,34
Θερμοκρασία	8,862	Θερμοκρασία	12,27
Όριο ταχύτητας	5,724	Ώρα	11,37
Ημέρα	5,451	Μήνας	10,98
Μήνας	4,391	Ημέρα	8,57
Ημέρα της εβδομάδας	2,447	Αριθμός λωρίδων	4,68
Βροχόπτωση	0,821	Βροχόπτωση	1,01
Χιονόπτωση	0,236	Μέρα/Νύχτα	0,49
Μέρα/Νύχτα	0,213	Χιονόπτωση	0,28

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας βαθμού επιρροής (CatBoost)

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις Αναλύσεις Συστάδων καθώς και οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη για τη διαμόρφωση των απαραίτητων συνθηκών για την κάθε Ανάλυση.

Μεταβλητή	1 ^η Ανάλυση	2 ^η Ανάλυση	3 ^η Ανάλυση	4 ^η Ανάλυση	5 ^η Ανάλυση
Βροχή	X				
Μέρα		X		X	
Ώρα			X		
Ημέρα της εβδομάδας			X		
Θερμοκρασία				X	
Αριθμός λωρίδων					X
Όριο ταχύτητας					X

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας συνδυασμού μεταβλητών ανά Ανάλυση Συστάδων

	Κυκλοφοριακή Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά λωρίδα
Συνθήκη 1.1 (χωρίς βροχή)		
Cluster 1	19.518	271.050
Cluster 2	18.498	477.820
Συνθήκη 1.2 (με βροχή)		
Cluster 1	19.499	283.548
Cluster 2	18.466	468.375

	Κυκλοφοριακή Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά λωρίδα
Συνθήκη 2.1(πρωί)		
Cluster 1	18.286	477.414
Cluster 2	18.857	271.552
Συνθήκη 2.2 (βράδυ)		
Cluster 1	26.225	263.997
Cluster 2	25.836	431.723
Συνθήκη 3.1 (Καθημερινή 8-10π.μ.)		
Cluster 1	16.225	508.070
Cluster 2	15.758	362.184
Cluster 3	25.111	156.510
Cluster 4	16.644	713.666
Συνθήκη 3.2 (Καθημερινή 4-6μ.μ.)		
Cluster 1	16.896	251.365
Cluster 2	16.859	477.046
Συνθήκη 3.3 (Σαββατοκύριακο 4-6μ.μ.)		
Cluster 1	26.385	372.415
Cluster 2	23.687	217.489
Cluster 3	22.894	502.096
Συνθήκη 3.4 (Σαββατοκύριακο 9-11μ.μ.)		
Cluster 1	26.225	263.997
Cluster 2	25.836	431.723
Συνθήκη 4.1 (Πρωί $t \leq 10^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	17.182	264.104
Cluster 2	17.629	487.837
Συνθήκη 4.2 (Βράδυ $t \leq 10^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	25.335	417.847
Cluster 2	27.134	255.632
Συνθήκη 4.3 (Πρωί $10^{\circ}\text{C} < t \leq 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	18.455	477.218
Cluster 2	18.936	275.767
Συνθήκη 4.4 (Βράδυ $10^{\circ}\text{C} < t \leq 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	26.278	282.096
Cluster 2	25.303	459.259
Συνθήκη 4.5 (Πρωί $t > 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	19.882	271.522
Cluster 2	18.569	469.329
Συνθήκη 4.6 (Βράδυ $t > 20^{\circ}\text{C}$)		
Cluster 1	22.684	228.022
Cluster 2	26.746	367.997
Cluster 3	28.678	504.391
Συνθήκη 5.1 (Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 3)		
Cluster 1	17.825	431.002
Cluster 2	26.989	301.266
Συνθήκη 5.2 (Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 4)		
Cluster 1	16.750	693.020
Cluster 2	23.648	254.619
Cluster 3	20.771	497.236
Συνθήκη 5.3 (Όριο ταχύτητας 60, λωρίδες 3)		
Cluster 1	18.049	499.873
Cluster 2	16.069	257.277

6.2 Συνολικά Αποτελέσματα

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία σειρά συμπερασμάτων που συνδέονται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα ερωτήματα που τέθηκαν. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα αυτά, με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα **συμπεράσματα** συνοψίζονται ως εξής:

10. **Συσχέτιση Ταχύτητας και Φόρτου:** Ένα από τα κύρια ευρήματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η επαλήθευση της μη γραμμικής και ισχυρής συσχέτισης μεταξύ ταχύτητας κυκλοφορίας και ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου. Συγκεκριμένα, επαληθεύτηκε η θεμελιώδης μη γραμμική σχέση ταχύτητας - φόρτου, αξιοποιώντας δεδομένα από δύο διαφορετικές πηγές, προσφέροντας τη δυνατότητα σύγκρισης και ενοποίησης διαφορετικών προσεγγίσεων στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας.
11. **Παράγοντες Επιρροής Ταχύτητας Κυκλοφορίας:** Ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος, η ημέρα μέσα στην εβδομάδα, το όριο ταχύτητας και η θερμοκρασία είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν και μπορούν να συμβάλλουν στην πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας των οχημάτων ανά ώρα. Ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας επιρροής της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας συγκριτικά με τις υπόλοιπες υπό εξέταση παραμέτρους. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η ημέρα της εβδομάδας επηρεάζει τη μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σημαντικά, δεδομένου ότι τις καθημερινές παρατηρείται σημαντικά υψηλότερη κυκλοφορία και δραστηριότητα λόγω εργασιακών και καθημερινών αναγκών συγκριτικά με τα σαββατοκύριακα που η κυκλοφορία είναι πιο αραιή με αποτέλεσμα υψηλότερες ταχύτητες. Το όριο ταχύτητας καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα κυκλοφορίας ενώ η θερμοκρασία επηρεάζει τις κυκλοφοριακές συνθήκες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να οδηγούν σε υψηλότερες ταχύτητες λόγω της αποφυγής μετακινήσεων ή ενδεχόμενων θερινών διακοπών. Παράγοντες όπως το ύψος χιονόπτωσης και βροχόπτωσης δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα κυκλοφορίας, ενδεχομένως λόγω της απουσίας ακραίων καιρικών φαινομένων στην Αθήνα.
12. **Παράγοντες Επιρροής Κυκλοφοριακού Φόρτου:** Αντίστοιχα, ο αριθμός λωρίδων της οδού, η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας, η ώρα μέσα στην ημέρα, και η θερμοκρασία επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο. Ο αριθμός των λωρίδων είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας, καθώς αντιπροσωπεύει τη χωρητικότητα του άξονα. Η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας είναι ο δεύτερος πιο καθοριστικός παράγοντας επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου, αφού έχουν έντονη συσχέτιση μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, η ώρα της ημέρας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την πρόβλεψη του κυκλοφοριακού φόρτου, με τις ώρες αιχμής να αντιστοιχούν σε αυξημένο φόρτο. Ενώ η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης σημαντικά και μη γραμμικά τον κυκλοφοριακό φόρτο αναλόγως την ώρα μέσα στην ημέρα. Παράγοντες όπως το ύψος χιονόπτωσης και βροχόπτωσης δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά τον κυκλοφοριακό φόρτο, ενδεχομένως λόγω της απουσίας ακραίων καιρικών φαινομένων στην Αθήνα.

13. Επίδραση Ημέρα και Ώρας στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες:

- Τις καθημερινές παρατηρούνται **υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι κατά τις πρωινές ώρες (8-10 π.μ.)**, συνοδευόμενοι από σημαντικά χαμηλές ταχύτητες, υποδεικνύοντας αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αυτό είναι λογικό διότι οι περισσότεροι εργαζόμενοι και μαθητές ξεκινούν τις μετακινήσεις τους προς χώρους εργασίας, σχολεία ή πανεπιστήμια. Αντίθετα, τα σαββατοκύριακα το βράδυ παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση στον κυκλοφοριακό φόρτο, καθώς οι μετακινήσεις εξαρτώνται περισσότερο από ψυχαγωγικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Αυτό σημαίνει ότι ο φόρτος μπορεί να αυξηθεί σε ορισμένους οδικούς άξονες που οδηγούν σε περιοχές διασκέδασης ή κέντρα πόλεων, ενώ άλλοι άξονες μπορεί να εμφανίζουν μείωση.
- Η πρωινή ώρα αιχμής τις καθημερινές **(8-10 π.μ.)** παρουσιάζει **έντονη συμφόρηση**, με τέσσερις συστάδες ωρών που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακών συνθηκών. Οι συστάδες με πολύ υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο αντιστοιχούν σε χαμηλότερες ταχύτητες, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα ωριαίου φόρτου οδηγούν σε υψηλότερες ταχύτητες. Κατά την απογευματινή ώρα αιχμής ο κυκλοφοριακός φόρτος φαίνεται να έχει μικρότερη επίδραση στην ταχύτητα σε σύγκριση με την πρωινή αιχμή και οι κυκλοφοριακές συνθήκες είναι λιγότερο σύνθετες και ποικίλες.
- Τα σαββατοκύριακα, οι ταχύτητες είναι σημαντικά υψηλότερες, ακόμα και με υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους, υποδεικνύοντας **καλύτερες κυκλοφοριακές συνθήκες**.

14. Επίδραση Θερμοκρασίας στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες

- Στις διάφορες θερμοκρασιακές συνθήκες προκύπτει ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος αποτελεί τον κύριο παράγοντα διαχωρισμού των συστάδων κατά τις **πρωινές ώρες**, όπου οι ταχύτητες παραμένουν σχετικά σταθερές ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία. Συγκριτικά, παρατηρείται σταδιακή μείωση του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου και αύξηση της ταχύτητας κυκλοφορίας, με αύξηση της θερμοκρασίας κατά τις πρωινές ώρες.
- Αντίθετα, τις **βραδινές ώρες**, η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει και την ταχύτητα και τον κυκλοφοριακό φόρτο, με τις συστάδες ωρών να διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με την κυκλοφοριακή ροή και τη θερμοκρασιακή διακύμανση, υποδεικνύοντας πιο σύνθετες συνθήκες κυκλοφορίας. Το βράδυ, οι μετακινήσεις γίνονται λιγότερο οργανωμένα και είναι συνήθως λιγότερο πυκνές, με μεγαλύτερη επίδραση από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία.

15. Επίδραση Βροχής στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες

- Το ύψος της βροχής επηρεάζει τη διαφοροποίηση του κυκλοφοριακού φόρτου και της ταχύτητας κυκλοφορίας. Σταδιακή αύξηση της βροχής επιφέρει αρχικά αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου και στη συνέχεια μείωση. Αντίστοιχα, η κυκλοφοριακή ταχύτητα σημειώνει μείωση, και η περεταίρω αύξηση της βροχής οδηγεί σε

αυξημένες ταχύτητες. Η μέγιστη τιμή της κυκλοφοριακής ταχύτητας είναι τα 28Km/h, συνεπώς η αύξηση οφείλεται σε μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

- Η ύπαρξη της βροχής επιδρά κυρίως **στον κυκλοφοριακό φόρτο**. Οι χαμηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι φαίνεται να αυξάνονται με την βροχή, ενώ αντίθετα, οι υψηλοί φόρτοι μειώνονται. Κατά τις ώρες αιχμής, η βροχή λειτουργεί αποθαρρυντικά για τη χρήση ιδιωτικού οχήματος.
- Η βροχή δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την **ταχύτητα κυκλοφορίας** αφού παρουσιάζει μικρή μείωση, και συνεπώς δεν επιδρά θετικά στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

16. Επίδραση Γεωμετρικών Οδικών Χαρακτηριστικών στις Κυκλοφοριακές Συνθήκες

- Εξετάζοντας την επιρροή του **ορίου ταχύτητας**, διαπιστώθηκε ότι στους οδικούς άξονες με υψηλότερο όριο ταχύτητας παρουσιάζεται υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος και χαμηλότερες ταχύτητες κυκλοφορίας. Το αυξημένο όριο ταχύτητας επιφέρει **εντονότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση** προσελκύνοντας υψηλότερο κυκλοφοριακό φόρτο.
- Ο αυξημένος **αριθμός λωρίδων** επιφέρει **έντονη συμφόρηση**, σημειώνοντας υψηλότερο κυκλοφοριακό φόρτο στους άξονες με τέσσερις λωρίδες, με ταυτόχρονη μείωση στην ταχύτητα κυκλοφορίας. Ο οδηγός φαίνεται να προτιμάει τους άξονες με το μεγαλύτερο πλάτος, αφού θεωρεί ότι θα εξυπηρετηθεί πιο γρήγορα.

17. Κυκλοφοριακές Τάσεις:

- Παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας σε όλους τους υπό μελέτη οδικούς άξονες, κυμαίνεται υπό του ορίου ταχύτητας, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνεται περίπου στο μισό του ορίου.
- Η μέση μηνιαία ταχύτητα αυξάνεται κατά τους μήνες που παρατηρούνται αργίες/διακοπές (Απρίλιος: Πάσχα, Ιούλιος). Ενώ, ο μηνιαίος ωριαίος φόρτος φαίνεται να αυξάνεται κατά την περίοδο του Φεβρουαρίου και του Ιουνίου.

18. Γενικά Συμπεράσματα:

- **Μη-γραμμική σχέση φόρτου-ταχύτητας:** Η σχέση μεταξύ ταχύτητας κυκλοφορίας και ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου είναι μη -γραμμική και στατιστικά σημαντική.
- **Κυκλοφοριακός Φόρτος:** Ο βασικός παράγοντας που καθορίζει την ταχύτητα κυκλοφορίας στις περισσότερες συνθήκες, με τους υψηλούς φόρτους να οδηγούν σε χαμηλότερες ταχύτητες κυκλοφορίας, ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες αιχμής.
- **Καιρός:** Η βροχή αυξάνει ελαφρώς τον κυκλοφοριακό φόρτο, αλλά έχει σχετικά μικρή επίδραση στη συνολική ταχύτητα κυκλοφορίας.
- **Ώρα της Ημέρας:** Οι βραδινές ώρες επιτρέπουν πιο ομαλή ροή της κυκλοφορίας με υψηλότερες ταχύτητες, ενώ οι πρωινές ώρες χαρακτηρίζονται από πιο έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση.

- **Θερμοκρασία:** Οι υψηλότερες θερμοκρασίες, ειδικά το βράδυ, αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελαφρώς μειωμένες ταχύτητες.
- **Χαρακτηριστικά της οδού:** Περισσότερες λωρίδες και χαμηλότερα όρια ταχύτητας βελτιώνουν τη ροή της κυκλοφορίας, αλλά όταν υπάρχει υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος, αυτές οι βελτιώσεις δεν είναι αρκετές για να αποτρέψουν τη μείωση της ταχύτητας.

6.3 Προτάσεις αποφυγής κυκλοφοριακής συμφόρησης και βελτίωση της κινητικότητας στην Αθήνα

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση μίας **σειράς προτάσεων**, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στη βελτίωση της κινητικότητας στο κέντρο της Αθήνας, όπου βρίσκονται οι υπό μελέτη άξονες .

1. **Τιμολόγηση συμφόρησης** επιδρά ενδεχόμενος στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Με βάση τις πιο επιβαρυμένες κυκλοφοριακές ώρες και περιοχές, ο οδηγός θα καλείται να πληρώσει κόμιστρο για την είσοδο του ιδιωτικού του οχήματος στην εκάστοτε περιοχή και ώρα.
2. Ενθάρρυνση **χρήσης περιφερειακών αξόνων**. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με **μείωση διοδίων** στην Αττική Οδό, για τους μόνιμους κατοίκους της Αθήνας, είτε με χρήση **έξυπνων πινακίδων**, οι οποίες θα ενημερώνουν και θα καθοδηγούν τους οδηγούς σε άξονες με χαμηλότερο κυκλοφοριακό φόρτο. Σημαντικό είναι να τονισθεί ότι η ενημέρωση των πινακίδων θα πρέπει να πραγματοποιείται σε ζωντανό χρόνο, για την αποφυγή συμφόρησης άλλων οδών.
3. Ο **δακτύλιος στο κέντρο της Αθήνας** έχει ήδη εφαρμοσθεί και καλύπτει όλες τις, υπό μελέτη, οδούς πλην της Λ. Αλεξάνδρας. Επιπλέον, εξαίρεση αποτελούν τα οχήματα των κατηγοριών :
 - ηλεκτρικό
 - εκ κατασκευής φυσικού αερίου ή υγραερίου
 - υβριδικό
 - κατηγορίας Euro 6 **και** ταυτόχρονα να εκπέμπει κάτω από 120 gr CO₂, τα οποία ταξινομήθηκαν για πρώτη φορά σε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως και την 31.12.2020
 - κατηγορίας Euro 6 **και** ταυτόχρονα να εκπέμπει κάτω από 120 gr CO₂, τα οποία ταξινομήθηκαν για πρώτη φορά σε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως και την 01.101.2021

Κατ' επέκταση του σχεδίου εφαρμογής αυτού, να μελετηθεί η διαμόρφωση της νέας κυκλοφορίας, και το ενδεχόμενο της μη εξαίρεσης οχημάτων, ανεξαρτήτου περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

4. Τα **Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (MMM)** λαμβάνουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των κυκλοφοριακών συνθηκών. Ο αρμόδιος οργανισμός διαχείρισης οφείλει να φροντίζει και να παρέχει υψηλό επίπεδο υπηρεσιών, εξασφαλίζοντας άνεση, καθαριότητα και ενίσχυση δρομολογίων κατά τις ώρες αιχμής. Επιπλέον,

για περαιτέρω προτροπή του κόσμου για χρήση των MMM, ίσως αποτελεί το ενδεχόμενο μείωση κομίστρων, ή ακόμα και δωρεάν χρήση των MMM, κατά τις πρωινές ώρες αιχμής 8-9π.μ. όπου σημειώνονται οι μεγαλύτεροι κυκλοφοριακοί φόρτοι.

5. Προώθηση **εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς**. Η διάδοση των εφαρμογών car sharing (κοινή χρήση αυτοκινήτου) και carpooling (συνεπιβίβαση), θα μπορούσαν ενδεχομένως να συμβάλουν στην μείωση την συμφόρησης και τη βελτίωση της κινητικότητας.
6. Η δημιουργία και αναβάθμιση των **πεζοδρομίων**, και η διαμόρφωση ελεύθερων χώρων πρασίνου, μπορούν να λειτουργήσουν ενθαρρυντικά στον πολίτη να περπατήσει για να φτάσει στον προορισμό του.
7. Η ανάπτυξη **ποδηλατοδρόμων** και η δημιουργία ασφαλών θέσεων στάθμευσης, θα δημιουργήσουν στον πολίτη το αίσθημα της ασφαλούς μετακίνησης. Έτσι, ολοένα και περισσότεροι πολίτες ενθαρρυνθούν και θα αντικαταστήσουν το ιδιωτικό τους όχημα με ένα ποδήλατο (ηλεκτρικό ή μη).
8. Ένα ακόμη **σχέδιο δράσης** που θα μπορούσε να κρατήσει το κέντρο της πόλης μακριά από αυτοκίνητα, καθώς αποτελεί και πόλο έλξης για τουρισμό, είναι η **πεζοδρόμηση βασικών αξόνων**. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με ενίσχυση και αναβάθμιση των περιφερειακών αξόνων και ενίσχυση της συγκοινωνίας γύρω από το κέντρο (π.χ. δημιουργία γραμμής τραμ που θα ακολουθεί κυκλική τροχιά γύρω από το κέντρο θα συνδέεται με τις γραμμές μετρό).
9. Τέλος, έχει καθοριστική σημασία η **εκπαίδευση και η κουλτούρα** που αναπλάθεται στους πολίτες μίας πόλης. Η καλλιέργεια της αντίληψης για τη σημαντικότητα της χρήσης των MMM, τόσο για την ανάδειξη της ομορφιάς της περιοχής όσο και για την περιβαλλοντική προστασία, από μικρή ηλικία θα διαμορφώσει μία διαφορετική πόλη. Όπως ακόμα, και η ενημέρωση για την αξία της σωματικής άσκησης και τα οφέλη που μπορούν να έχουν το καθημερινό περπάτημα και η ποδηλασία.

6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την επέκταση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και την περαιτέρω **διερεύνηση του αντικειμένου** της, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ακόλουθες προτάσεις:

1. **Ενίσχυση βάσης δεδομένων**, δηλαδή συλλογή δεδομένων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, και για περισσότερες παραμέτρους (π.χ. χρήση MMM, τουρισμός) που πιθανώς να επηρεάζουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση στην Αθήνα. Με αυτό τον τρόπο θα αναλυόταν η κυκλοφορία σε βάθος χρόνου, και θα μπορούσε να διερευνηθεί καλύτερα η επίδραση των παραγόντων.
2. Επιπλέον, η **διεύρυνση της περιοχής μελέτης** συμπεριλαμβάνοντας περισσότερους οδικούς άξονες με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της διανομής της κυκλοφορίας στη περιφέρεια της Αθήνας.
3. Επίσης, η **εφαρμογή** της παρούσας μεθοδολογίας, **σε άλλο αστικό κέντρο**, με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων και την βαθύτερη κατανόηση της επιρροής των μεταβλητών .

4. Μία ακόμη έρευνα με ενδιαφέρον, αποτελεί η εφαρμογή **διαφορετικής μεθοδολογίας** στατιστικής ανάλυσης, π.χ. γραμμική παλινδρόμηση, χρονοσειρές κτλ., με στόχο την επιβεβαίωση ή και όχι των αποτελεσμάτων.

7. Βιβλιογραφία

1. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Κινητικότητας και Μεταφορών, *EU transport in figures : statistical pocketbook 2021*, Publications Office, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2832/27610>
2. Ινδία: TSUBOI, Tsutomu; YOSHIKAWA, Noriaki. Traffic flow analysis in Ahmedabad (India). *Case Studies on Transport Policy*, 2020, 8.1: 215-228.
3. Tselentis, D. I., Vlahogianni, E. I., & Yannis, G. (2018). Comparative evaluation of driving efficiency using smartphone data. *Methodology*, 32, 33. <https://www.nrso.ntua.gr/geyannis/wp-content/uploads/geyannis-pc285.pdf>
4. MOZOS-BLANCO, Miguel Ángel, et al. The way to sustainable mobility. A comparative analysis of sustainable mobility plans in Spain. *Transport policy*, 2018, 72: 45-54.
5. GUZMAN, Luis A.; ARELLANA, Julian; ALVAREZ, Vilma. Confronting congestion in urban areas: Developing Sustainable Mobility Plans for public and private organizations in Bogotá. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2020, 134: 321-335.
6. DIAO, Mi. Towards sustainable urban transport in Singapore: Policy instruments and mobility trends. *Transport policy*, 2019, 81: 320-330.
7. RUAN, Zhongyuan, et al. Empirical analysis of urban road traffic network: A case study in Hangzhou city, China. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2019, 527: 121287.
8. GAO, Chao, et al. Influence of large vehicles on the speed of expressway traffic flow. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 2020.1: 2454106.
9. GAO, Chao, et al. The effect of posted speed limit on the dispersion of traffic flow speed. *Sustainability*, 2019, 11.13: 3594.
10. WANG, Tianxiao, et al. Research on the Mechanism of Influencing Factors of the Urban Road Traffic Operation State. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 2022.1: 7283841.
11. Φραντζεσκάκης, Ι. Μ., Ι. Κ. Γκόλιας, and Μ. Χ. Πιτσιάβα–Λατινοπούλου (2009) "Κυκλοφοριακή Τεχνική." Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
12. SEO, Toru; KUSAKABE, Takahiko; ASAKURA, Yasuo. Estimation of flow and density using probe vehicles with spacing measurement equipment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, 53: 134-150.
13. KE, Ruimin, et al. Real-time bidirectional traffic flow parameter estimation from aerial videos. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, 18.4: 890-901.
14. Z. Li, Y. Zhu, H. Zhu and M. Li, "Compressive Sensing Approach to Urban Traffic Sensing," *2011 31st International Conference on Distributed Computing Systems*, Minneapolis, MN, ΗΠΑ, 2011, σελ. 889-898, [doi : 10.1109/ICDCS.35.2011](https://doi.org/10.1109/ICDCS.35.2011).
15. V. Cevher, R. Chellappa and J. H. McClellan, "Vehicle Speed Estimation Using Acoustic Wave Patterns," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 57, no. 1, pp. 30-47, Jan. 2009, doi: [10.1109/TSP.2008.2005750](https://doi.org/10.1109/TSP.2008.2005750).
16. E. Odat, J. S. Shamma and C. Claudel, "Vehicle Classification and Speed Estimation Using Combined Passive Infrared/Ultrasonic Sensors," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 5, pp. 1593-1606, May 2018, doi: [10.1109/TITS.2017.2727224](https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2727224)
17. GUERRERO-IBÁÑEZ, Juan; ZEADALLY, Sherati; CONTRERAS-CASTILLO, Juan. Sensor technologies for intelligent transportation systems. *Sensors*, 2018, 18.4: 1212.
18. DAHIYA, Garima; ASAKURA, Yasuo; NAKANISHI, Wataru. Analysis of the single-regime speed-density fundamental relationships for varying spatiotemporal resolution using Zen Traffic Data. *Asian Transport Studies*, 2022, 8: 100066.

19. BAI, Lu, et al. Fusion of multi-resolution data for estimating speed-density relationships. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2024, 165: 104742.
20. ZHANG, Yingya, et al. Μια μέθοδος για την κρίση ομαδοποίησης κυκλοφοριακής συμμόρφωσης που βασίζεται σε γκρι σχεσιακή ανάλυση. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2016, 5.5: 71.
21. SAXENA, Amit, et al. A review of clustering techniques and developments. *Neurocomputing*, 2017, 267: 664-681.
22. KARAMI, Zahra; KASHEF, Rasha. Smart transportation planning: Data, models, and algorithms. *Transportation Engineering*, 2020, 2: 100013.
23. YIN, Xueyan, et al. Deep learning on traffic prediction: Methods, analysis, and future directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, 23.6: 4927-4943.
24. MISHRA, Sumit; BHATTACHARYA, Devanjan; GUPTA, Ankit. Congestion adaptive traffic light control and notification architecture using google maps APIs. *Data*, 2018, 3.4: 67.
25. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ,
https://www.patt.gov.gr/koinonia/odiki_asfaleia/%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE-%CE%BA%CE%AD%CE%BD%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%85-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CE%BF/
26. Open-Meteo, <https://open-meteo.com/>
27. LUND, Brady; MA, Jinxuan. A review of cluster analysis techniques and their uses in library and information science research: k-means and k-medoids clustering. *Performance Measurement and Metrics*, 2021, 22.3: 161-173.
28. BURNEY, SM Aqil; TARIQ, Humera. K-means cluster analysis for image segmentation. *International Journal of Computer Applications*, 2014, 96.4.
29. Ibrahim, A.A., Ridwan, R.L., Muhammed, M.M., Abdulaziz, R.O., & Saheed, G.A. (2020). Comparison of the CatBoost Classifier with other Machine Learning Methods. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11.