



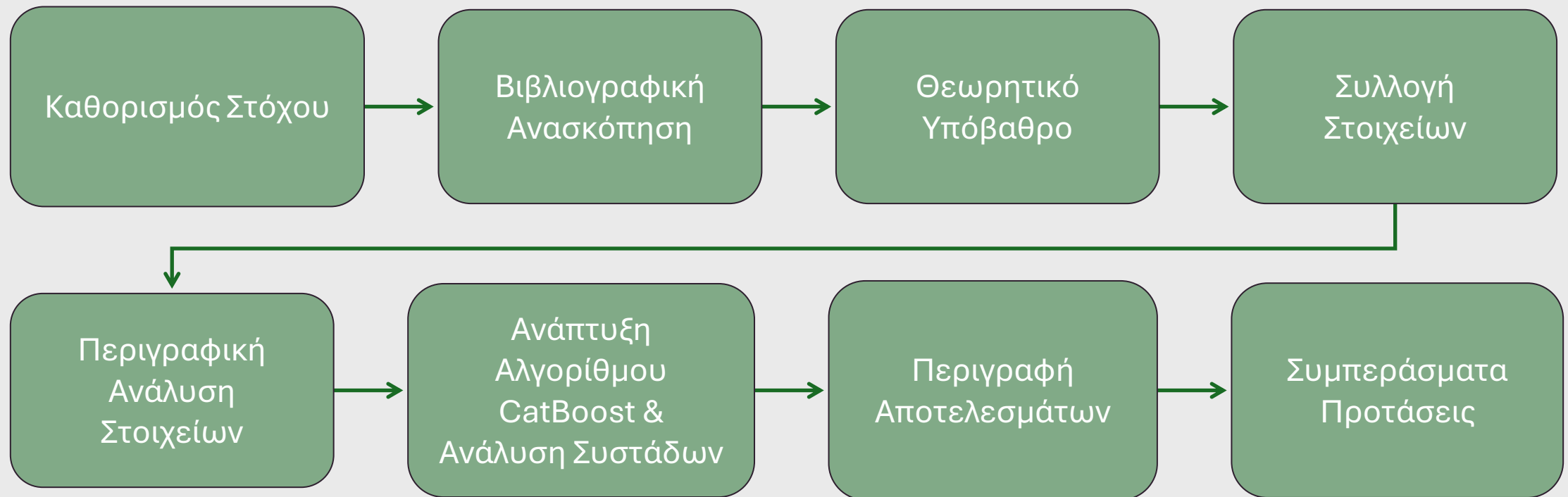
Ανάλυση Κρίσιμων Παραγόντων Επιρροής των Κυκλοφοριακών Συνθηκών στην Αθήνα



Κρινή Παρασκευή

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Βασικά στάδια Διπλωματικής Εργασίας



Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Η ανάλυση **κρίσιμων παραγόντων** επιρροής των κυκλοφοριακών συνθηκών στην Αθήνα.

Επαλήθευση της μη γραμμικής σχέσης **κυκλοφοριακού φόρτου – μέση ταχύτητα**

Διερεύνηση **παραγόντων επιρροής κυκλοφοριακής συμφόρησης**

Εντοπισμός συνθηκών που οδηγούν σε αύξηση συμφόρησης

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Παράγοντες επιρροής κυκλοφοριακής συμφόρησης:

- Ώρα της ημέρας
- Ημέρα της εβδομάδας
- Εποχιακές διακυμάνσεις
- Τυχαία συμβάντα
- Καιρικές συνθήκες
- Γεωμετρικές συνθήκες
- Ποιότητα κατασκευής οδού

Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα:

- Ισπανία
- Μπογκοτά
- Σιγκαπούρη

Τρόποι ανάλυσης κυκλοφοριακών μεγεθών:

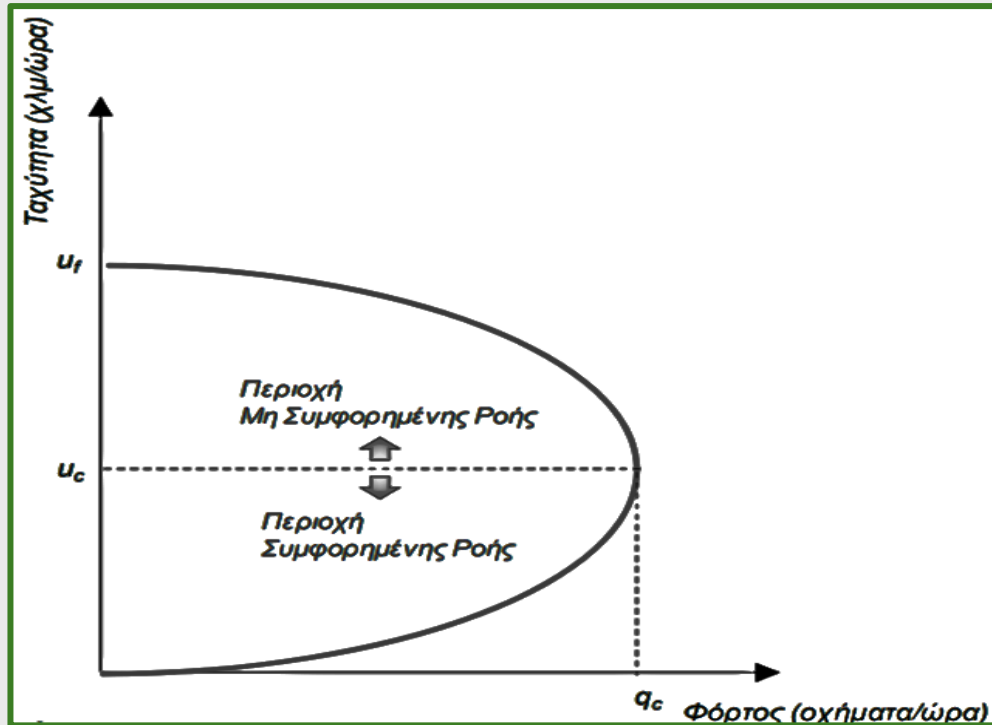
- Μέθοδοι μηχανικής μάθησης (Ομαδοποίηση, γραμμική παλινδρόμηση)
- Μέθοδοι βαθιάς μάθησης (Νευρωνικά δίκτυα)

Τρόποι μέτρησης κυκλοφοριακών μεγεθών (ταχύτητας, κυκλοφοριακού φόρτου):

- Μέθοδοι άμεσης παρατήρησης
- Αυτόματες μέθοδοι καταγραφής σταθερού σημείου
- Συλλογή δεδομένων από χρήστες
- Αεροφωτογραφία και δορυφορικού μέθοδοι
- Συνδυαστικές μέθοδοι

Θεωρητικό Υπόβαθρο (1/2)

Θεμελιώδες διάγραμμα ταχύτητας – φόρτου:

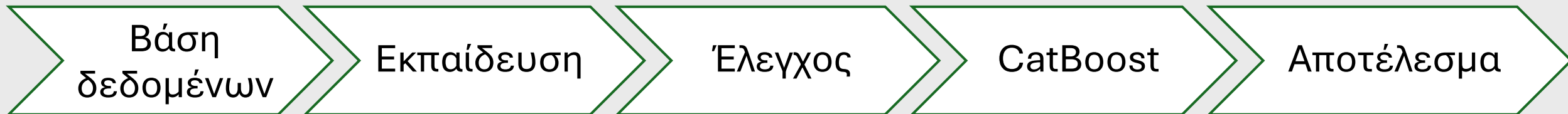


- Παραβολική μορφή.
- Ταχύτητα ελεύθερης ροής (μέγιστη) προκύπτει όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μηδενικός.
- Το άνω τμήμα της γραφικής παράστασης αντιστοιχεί σε συνθήκες ελεύθερης ροής με οριοθέτηση τον μέγιστο φόρτο.
- Όσο ο φόρτος αυξάνεται η ταχύτητα μειώνεται.
- Μετά το σημείο μέγιστου φόρτου, ο φόρτος υπερβαίνει την ικανότητα και ακολουθεί μείωση ταχύτητας και φόρτου.

Θεωρητικό Υπόβαθρο (2/2)

Εντοπισμός **βαθμού επιρροής** μεταβλητών, CatBoost:

- Αλγόριθμος μηχανικής μάθησης
- Δεδομένα εκπαίδευσης (20%) / δεδομένα ελέγχου (80%)



Αναλύσεις συστάδων (Cluster Analysis):

- Silhouette Width: ορίζει αριθμό συστάδων μέσω σύγκρισης της συνοχής (εσωτερικά) και της απόστασης (εξωτερικά)
- Ανάλυση σε συστάδες K-means: ταξινόμηση δεδομένων στην συστάδα με την μικρότερη απόσταση από το κέντρο της

Συλλογή στοιχείων - Ταχύτητα

Διαδικτυακή υπηρεσία Google maps

- Συλλέχθηκαν δεδομένα μέσης ταχύτητας σε **62 άξονες** στην περιφέρεια της Αθήνας, κάθε κατεύθυνσή θεωρείται ξεχωριστός άξονας
- Χρονική περίοδος συλλογής: **2022** (εκτός μήνα Αύγουστου)
- Για τις ακόλουθες ώρες:
 - Καθημερινές: 8:00-9:40, 12:00-18:40
 - Σάββατο: 12:00-18:40, 21:00-23:40
 - Κυριακή: 12:00-18:40

Συλλογή στοιχείων - Κυκλοφοριακός φόρτος

Κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας

- Συλλέχθηκαν δεδομένα ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου σε **26 θέσεις** μέσω βρόγχων
- Χρονική περίοδος συλλογής: **Ιανουάριος 2022 - Ιούλιος 2022**
- Όλο το **24ωρο**

Συλλογή στοιχείων- Καιρικά φαινόμενα

Διαδικτυακή υπηρεσία Open-Meteo

- Συλλέχθηκαν δεδομένα μέσης ωριαίας **θερμοκρασίας**, ωριαίο ύψος **βροχής**, ωριαίο ύψος **χιονόπτωσης**
- Χρονική περίοδος συλλογής: **2022**
- Όλο το **24ωρο**

Δημιουργία βάσης δεδομένων

Από την **συγχώνευση των δεδομένων** ταχυτήτων και κυκλοφοριακών φόρτων προέκυψαν δεδομένα για τους άξονες:

Οδικά Τμήματα υπό Εξέταση

Λ. Αλεξάνδρας (από Κηφισίας έως Πατησίων)

A 37.986568,23.761195

B 37.99181,23.731507

Λ. Αλεξάνδρας(από Πατησίων έως Κηφισίας)

A 37.991672,23.731488

B 37.986469,23.76115

Βασ. Αμαλίας (από Αθ. Διάκου έως Πανεπιστημίου)

A 37.968445,23.731712

B 37.976063,23.735778

Βασ. Σοφίας (από Πανεπιστημίου έως Βασ. Κωνσταντίνου)

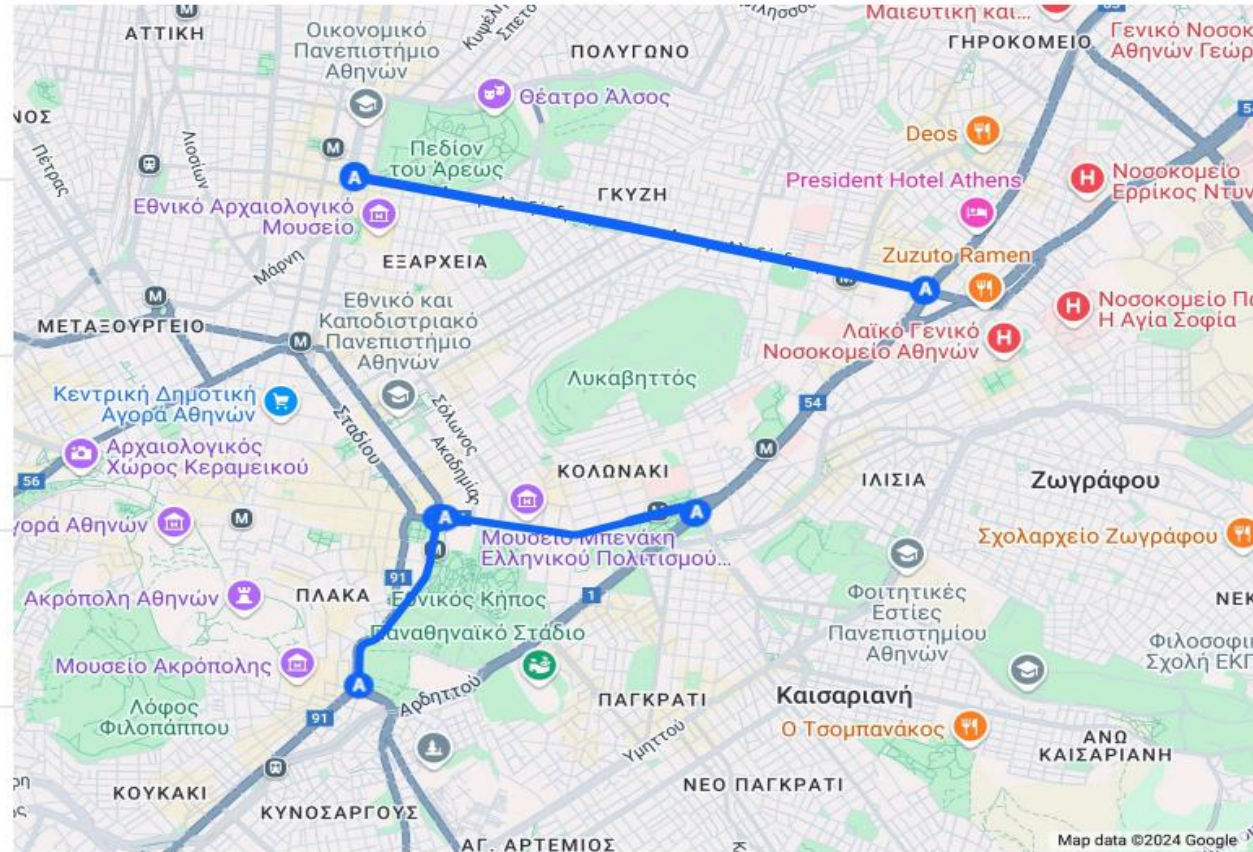
A 37.976102,23.73619

B 37.976275,23.74916

Βασ. Σοφίας (από Βασ. Κωνσταντίνου έως Πανεπιστημίου)

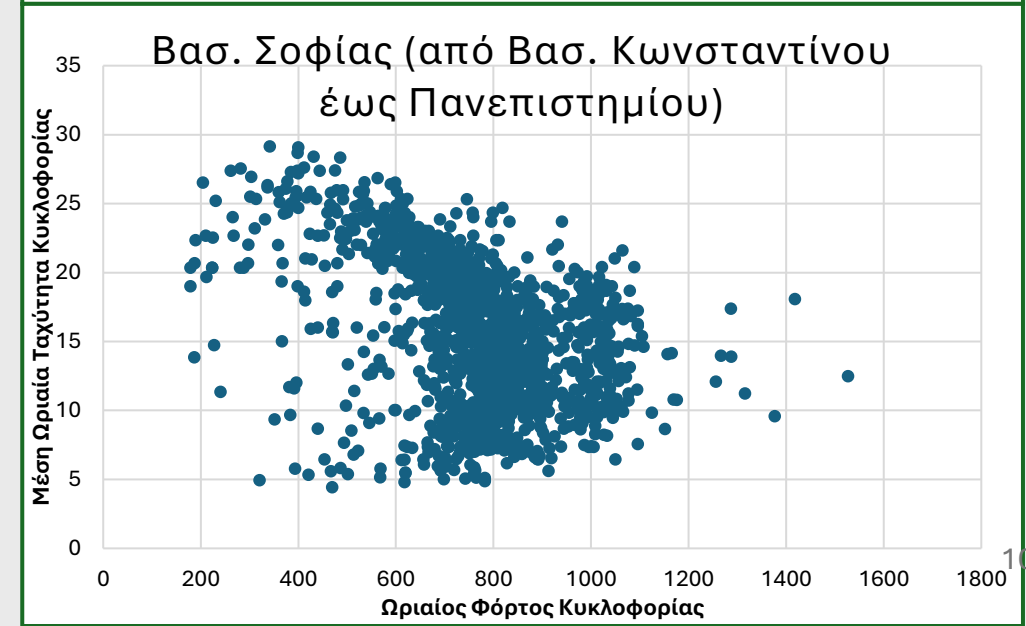
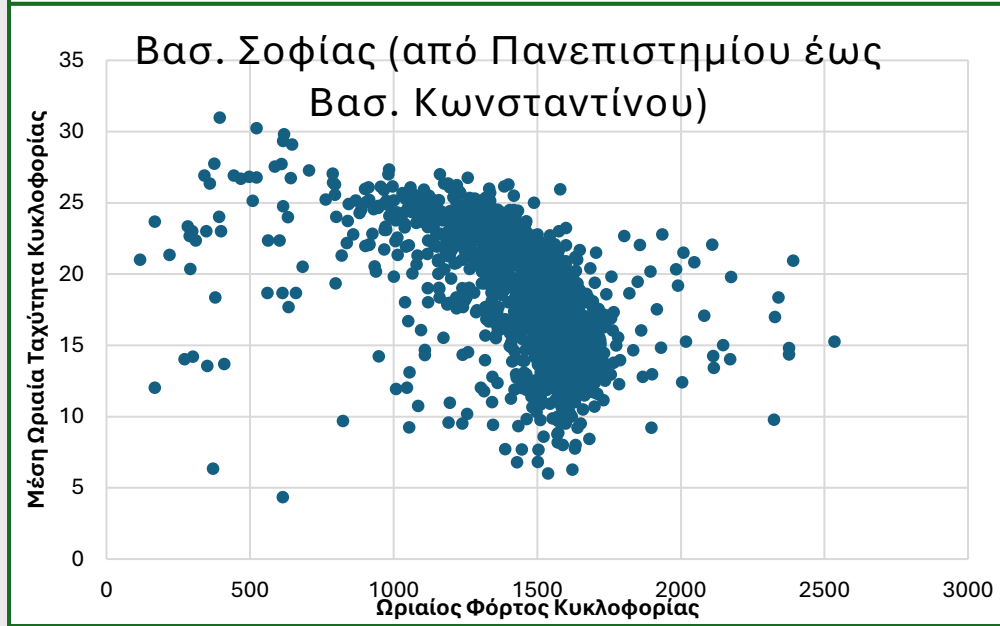
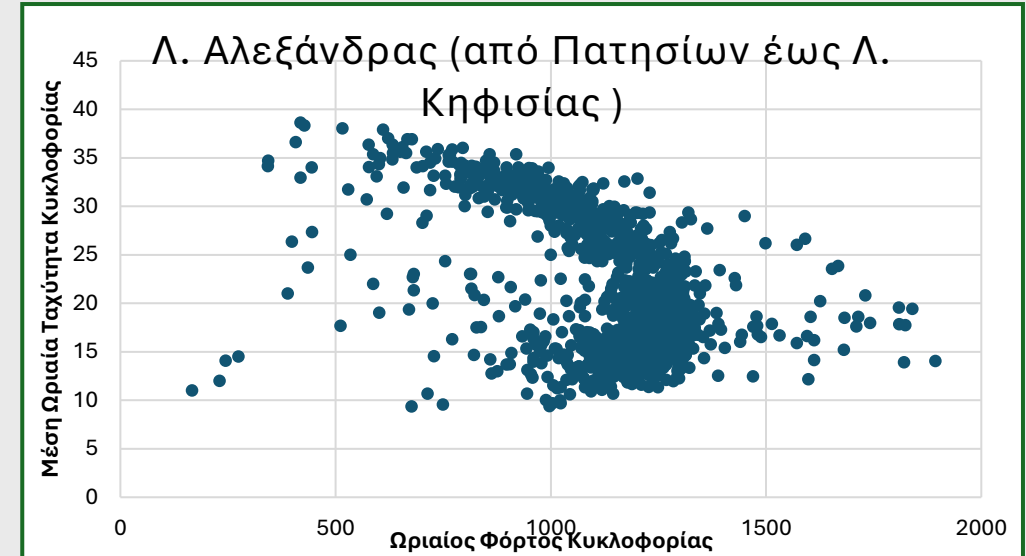
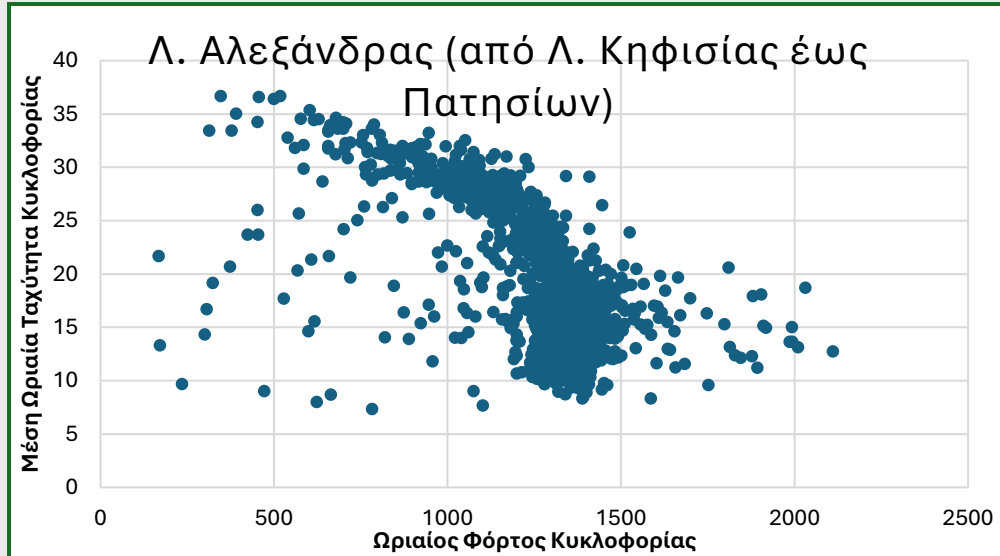
A 37.976369,23.7493

B 37.976154,23.73586



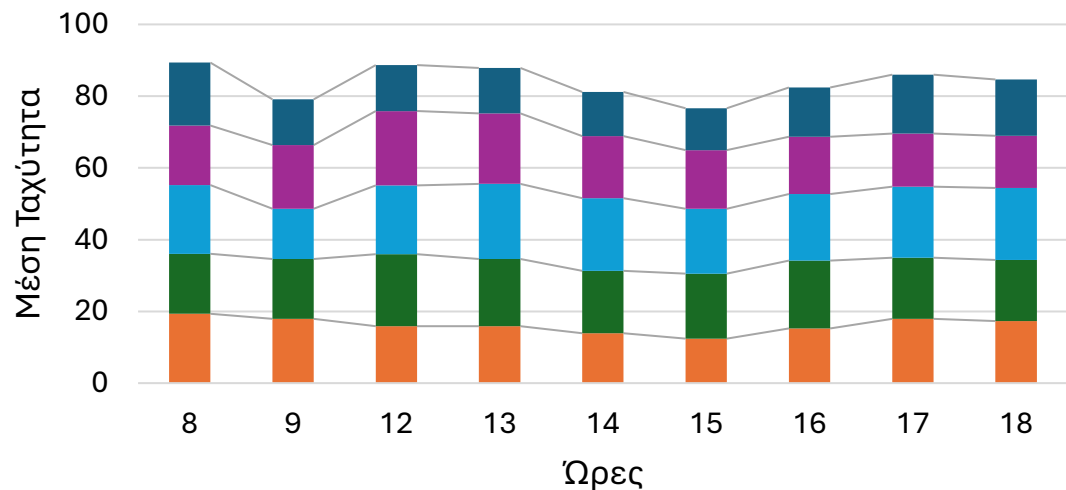
Περιγραφική ανάλυση (1/2)

Δημιουργήθηκαν διαγράμματα Μέσης Ωριαίας Ταχύτητας – Ωριαίος Φόρτος Κυκλοφορίας:

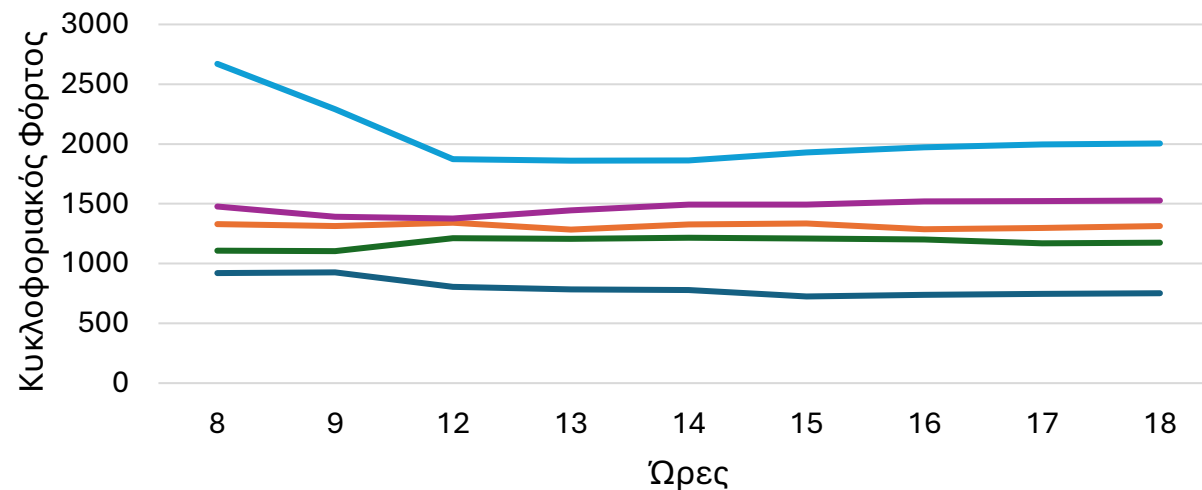


Περιγραφική ανάλυση (2/2)

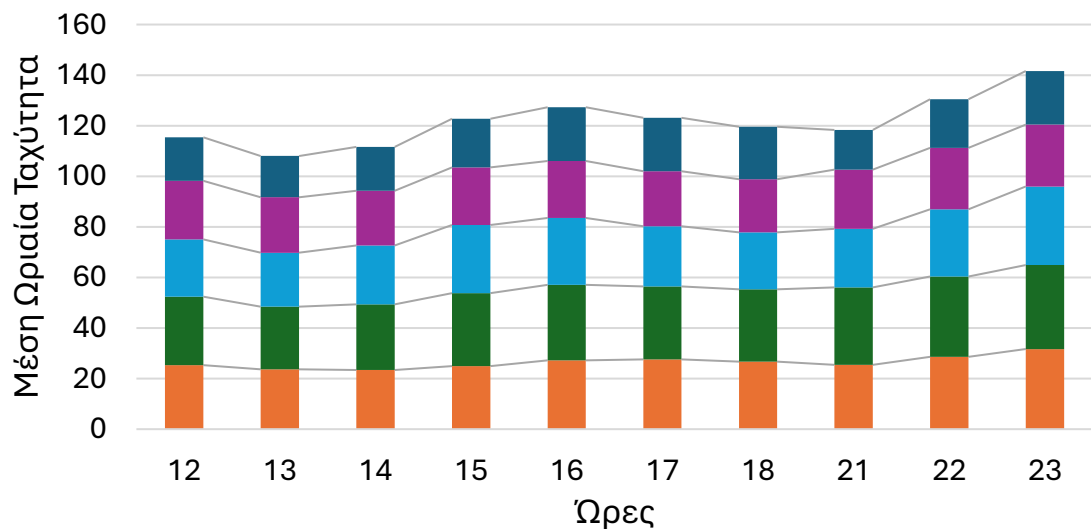
Μέση Ωριαία Ταχύτητα της Καθημερινές



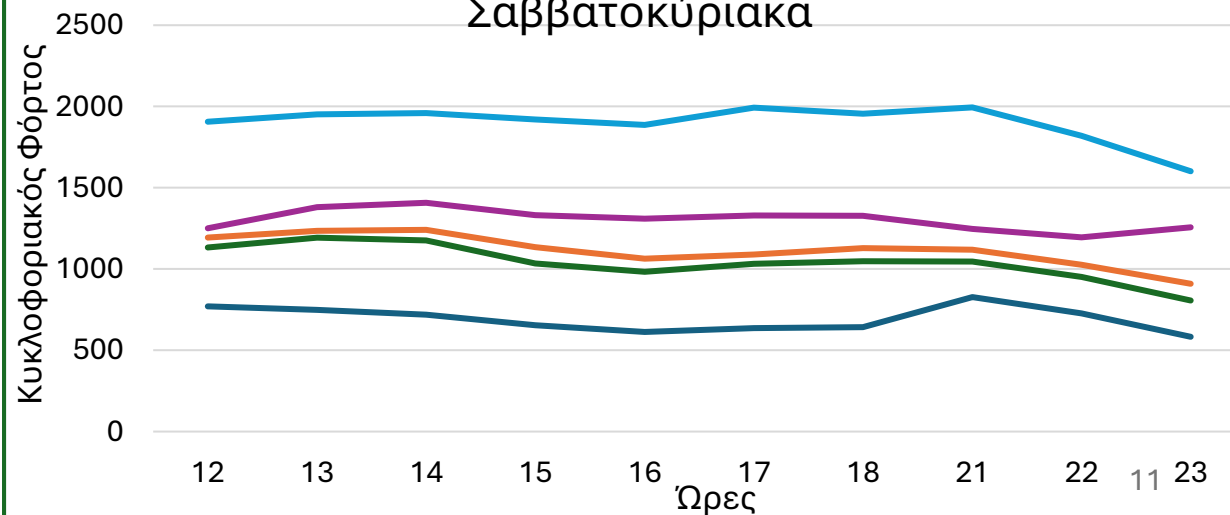
Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Καθημερινές



Μέση Ωριαία Ταχύτητα Σαββατοκύριακα



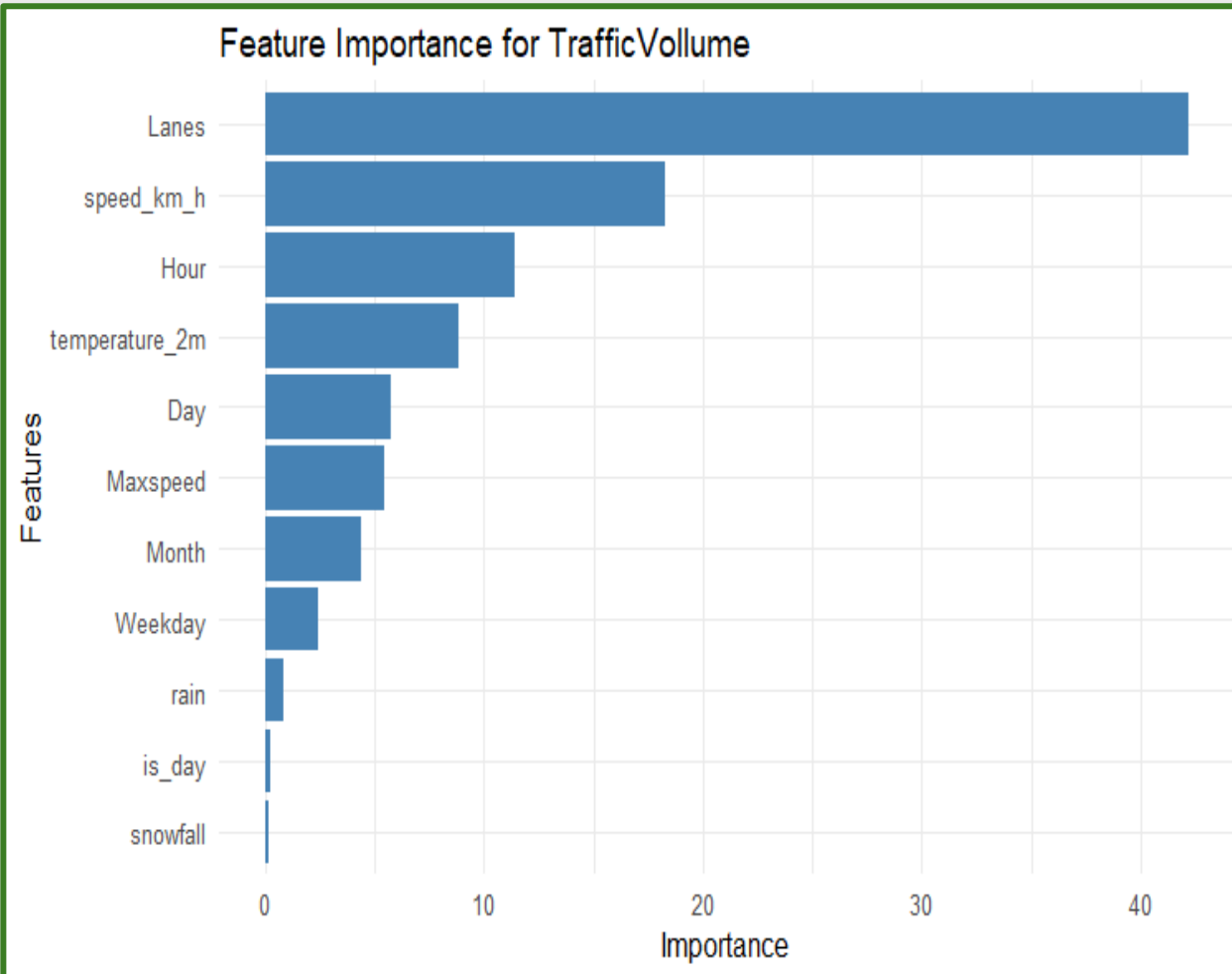
Ωριαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Σαββατοκύριακα



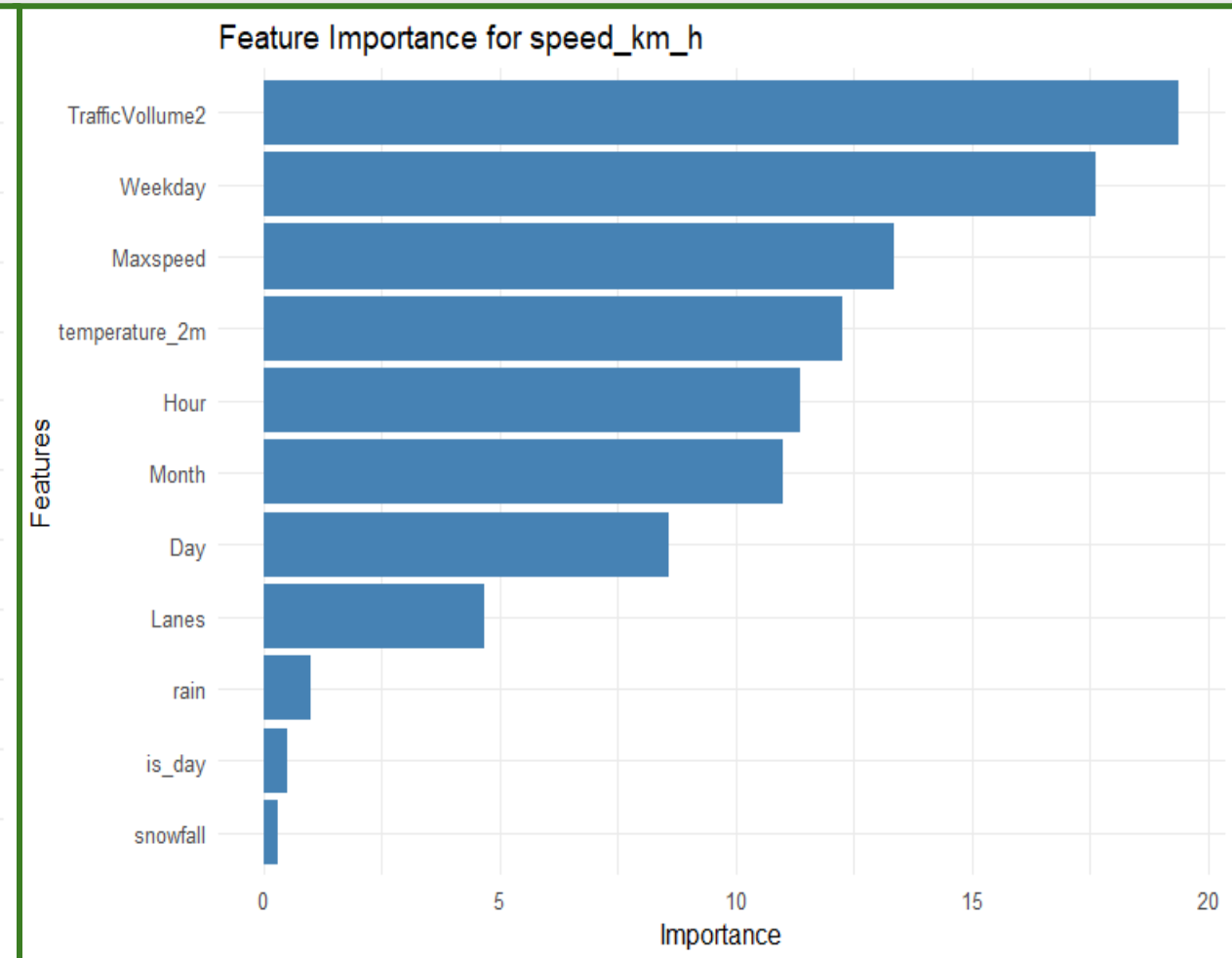
Προσδιορισμός μεταβλητών

Μεταβλητή	Περιγραφή
Speed_km_h	Μέση ωριαία ταχύτητα εκφρασμένη σε χιλιόμετρα/ώρα
TrafficVollume2	Ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος
TrafficVollume_per_lane	Ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα
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
Is_day	1: Μέρα (8:00-18:00), 0: Νύχτα (21:00-23:00)
Temperature_2m	Μέση ωριαία θερμοκρασία
Rain	Ύψος βροχόπτωσης
snowfall	Ύψος χιονόπτωσης
Lanes	Αριθμός λωρίδων (3 ή 4)
Maxspeed	Όριο ταχύτητας (50 ή 60)

Ανάλυση σημαντικότητας χαρακτηριστικών (CatBoost)



- **Δείκτης RMSE:** 78,5 σφάλμα απόκλισης
- **Μέσος όρος τιμών:** 1.323
- **Τυπική απόκλιση:** 267



- **Δείκτης RMSE:** 2,87 σφάλμα απόκλισης
- **Μέσος όρος τιμών:** 18,8
- **Τυπική απόκλιση:** 6

1^η Ανάλυση Συστάδων

• Συνθήκη βροχής

	Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Κυκλοφορίας Κυκλοφοριακός φόρτος (οχ/ώρα) 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

• Κατανομή Δείγματος

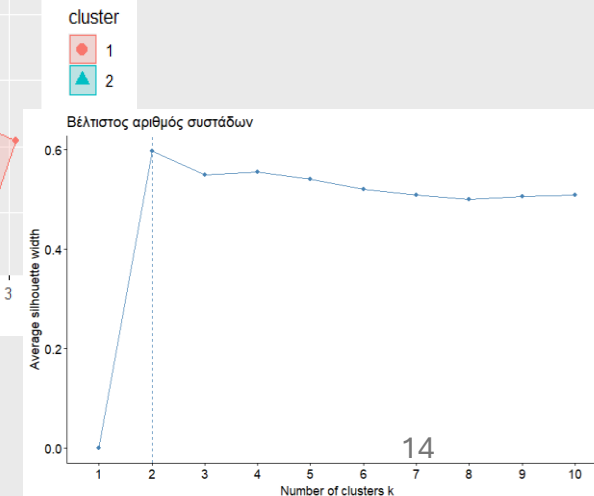
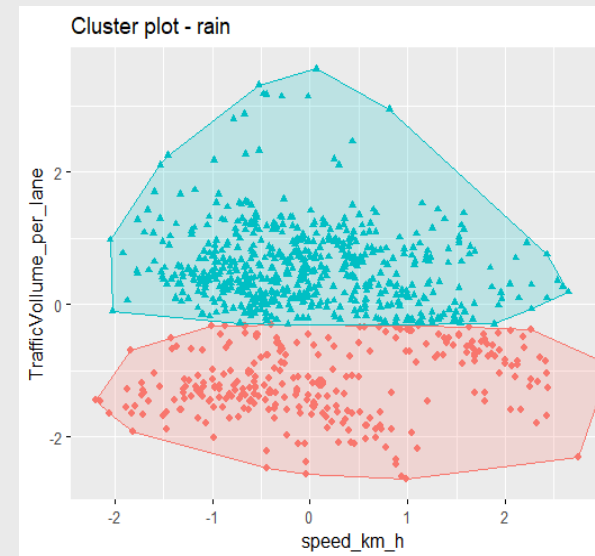
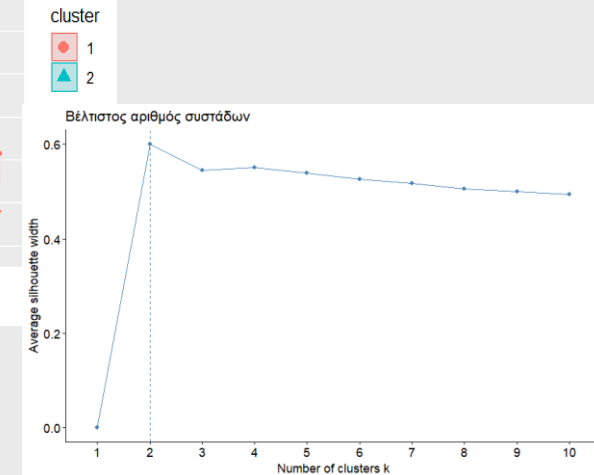
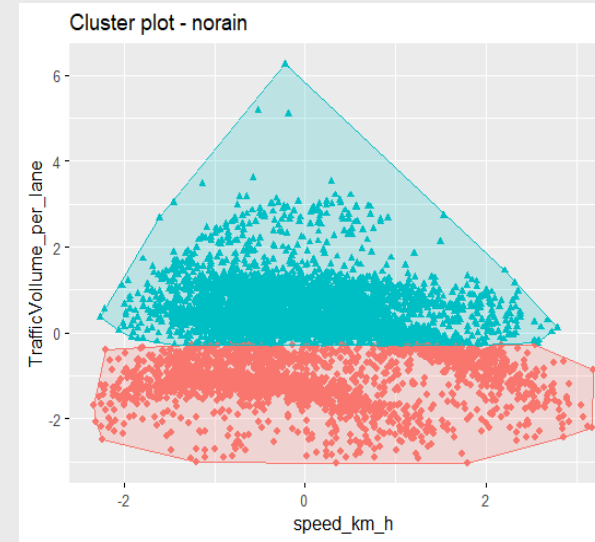
- Χωρίς βροχή: 87,8%
- Με βροχή: 12,2%

• Ο βέλτιστος αριθμός συστάδων που επιλέχθηκε με τη μέθοδο Shilhouette (>0,5), ανέρχεται σε **2** και για τις δύο συνθήκες.

• **Χωρίς βροχή:** διαχωρισμός συστάδων κυρίως λόγω κυκλοφοριακού φόρτου.

• **Με βροχή:** παρόμοιος διαχωρισμός σε δύο συστάδες, χωρίς αξιοσημείωτη αλλαγή στην ταχύτητα.

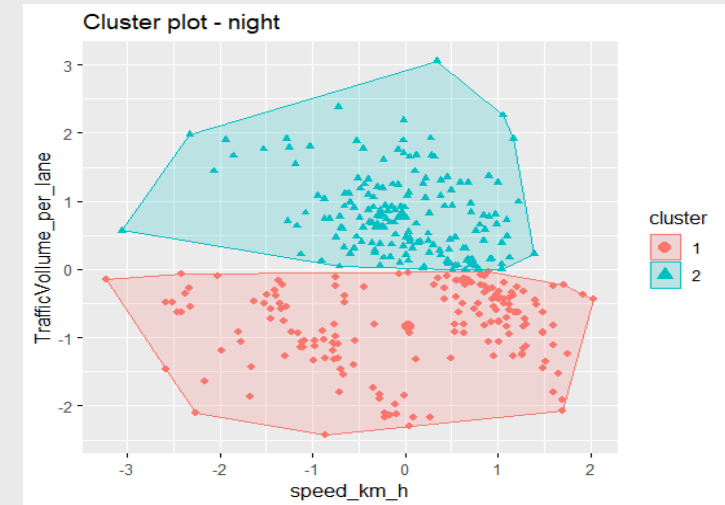
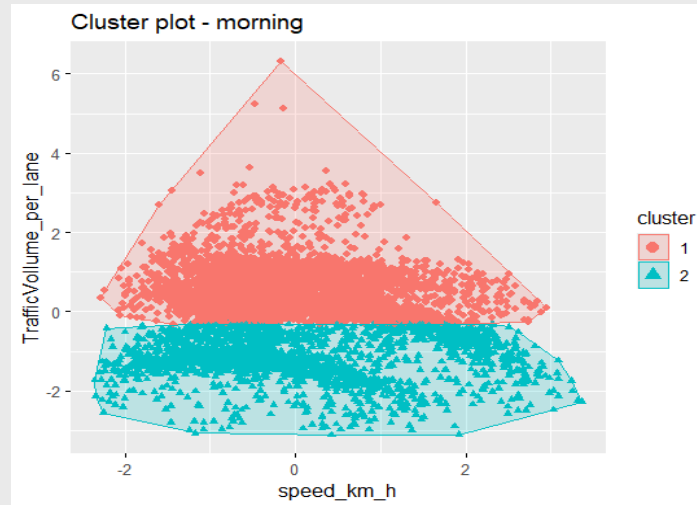
• **Συγκριτικά:** παρατηρείται ότι η βροχή αυξάνει τους χαμηλούς φόρτους, ενώ μειώνει τους υψηλούς.



2^η Ανάλυση συστάδων

• Ανάλυση σε συνθήκες πρωί/βράδυ

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



- **Κατανομή δείγματος:**
 - Πρωί: 95,16%
 - Βράδυ: 4,84%.
- **Πρωί:** Διαφοροποίηση κυρίως λόγω φόρτου, με την ταχύτητα να παραμένει οριακά σταθερή και στις δύο συστάδες.
- **Βράδυ:** Διαφοροποίηση λόγω φόρτου, με μικρή διαφοροποίηση της ταχύτητας.
- **Συγκριτικά:** Παρατηρείται ότι με μικρή μείωση των φόρτων κατά τις βραδινές ώρες, λαμβάνονται σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητας σε σχέση με το πρωί.

3^η Ανάλυση συστάδων

- Ανάλυση σε συνθήκες Καθημερινές 8-10π.μ., 4-6μ.μ., Σαββατοκύριακα 4-6μ.μ., 9-11μ.μ.

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	16.860	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

- Κατανομή δείγματος: 16%, 23,8%, 10%, 4,8%.
- Καθημερινή πρωινή ώρα αιχμής: Έντονη συμφόρηση, ο υψηλός φόρτος αντιστοιχεί σε μειωμένες ταχύτητες και αντίστροφα.
- Καθημερινή απογευματινή ώρα αιχμής: Διαχωρισμός κυρίως λόγω φόρτου με μικρότερη επίδραση στην ταχύτητα.
- Σαββατοκύριακο απογευματινή ώρα αιχμής: Αύξηση της κυκλοφορίας όπου δεν επηρεάζει αρνητικά την ταχύτητα.
- Σαββατοκύριακο βραδινή ώρα αιχμής: Μέτρια υψηλό φόρτο με υψηλότερες ταχύτητες, η κυκλοφορία ρέει πιο ελεύθερα.
- Συγκριτικά: Μεγαλύτεροι φόρτοι και αύξηση ταχύτητας στις κοινές ώρες (καθημερινή/σαββατοκύριακο).

4^η Ανάλυση συστάδων

• Ανάλυση συνθήκης πρωί/βράδυ με θερμοκρασιακές μεταβολές

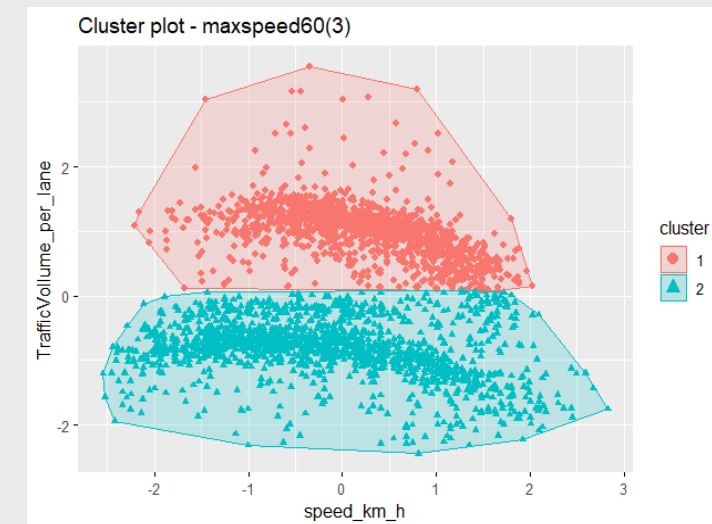
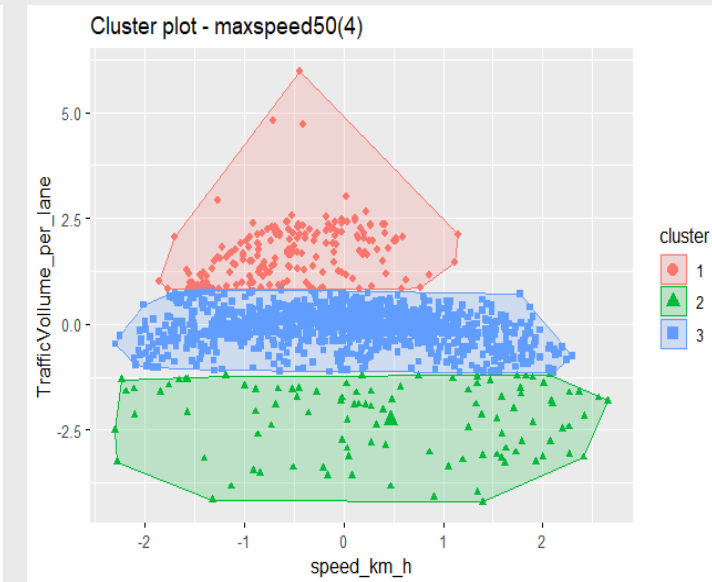
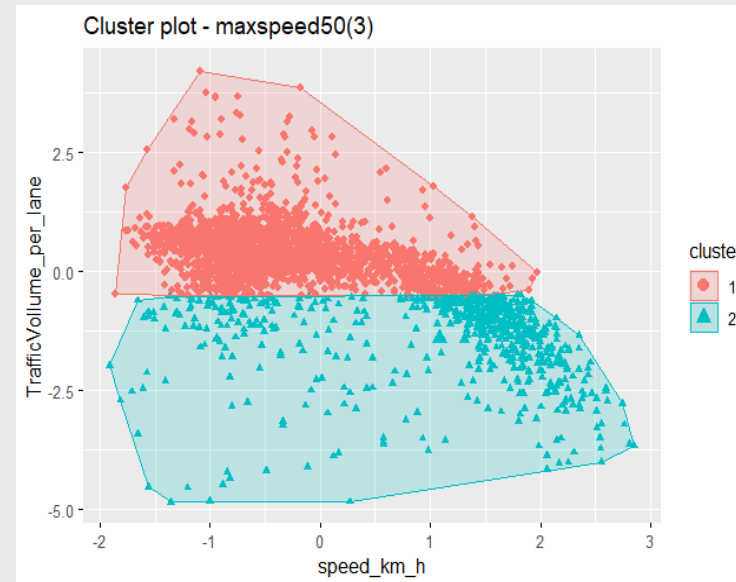
Συνθήκη 4.1 (Πρωί $t \leq 10^\circ\text{C}$)		
Cluster 1	17.182	264.104
Cluster 2	17.629	487.837
Συνθήκη 4.3 (Πρωί $10^\circ\text{C} < t \leq 20^\circ\text{C}$)		
Cluster 1	18.455	477.218
Cluster 2	18.936	275.767
Συνθήκη 4.5 (Πρωί $t > 20^\circ\text{C}$)		
Cluster 1	19.882	271.522
Cluster 2	18.569	469.329
Συνθήκη 4.2 (Βράδυ $t \leq 10^\circ\text{C}$)		
Cluster 1	25.335	417.847
Cluster 2	27.134	255.632
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 4.6 (Βράδυ $t > 20^\circ\text{C}$)		
Cluster 1	22.684	228.022
Cluster 2	26.746	367.997
Cluster 3	28.678	504.391

- Κατανομή δείγματος: 22,33%, 43,76%, 29,07%, 2,25%, 1,82%, και 0,77%.
- **Πρωί $t \leq 10^\circ\text{C}$:** Διαφοροποίηση κυρίως λόγω φόρτου στις συστάδες με οριακά σταθερή ταχύτητα.
- **Πρωί $10^\circ\text{C} < t \leq 20^\circ\text{C}$:** Αύξηση μικρών φόρτων, μείωση μεγάλων φόρτων με συνολική αύξηση ταχύτητας.
- **Πρωί $t > 20^\circ\text{C}$:** Μείωση φόρτων και αύξηση ταχύτητας.
- **Βράδυ $t \leq 10^\circ\text{C}$:** Διαφοροποίηση και των δύο μεγεθών, ο μεγάλος φόρτος αντιστοιχεί σε μικρότερη ταχύτητα και αντίστροφα.
- **Βράδυ $10^\circ\text{C} < t \leq 20^\circ\text{C}$:** Αύξηση φόρτων με μείωση ταχύτητας με εντονότερη διαφοροποίηση στις υψηλές ταχύτητες.
- **Βράδυ $t > 20^\circ\text{C}$:** Συνολική αύξηση φόρτων και ταχύτητας.
- **Συγκριτικά:** Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει συνολικά την ταχύτητα, ενώ ο φόρτος μειώνεται κατά τις πρωινές ώρες και αυξάνεται τις βραδινές.

5^η Ανάλυση συστάδων

• Ανάλυση συνθήκης ορίου ταχύτητας με αριθμό λωρίδων

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



- Κατανομή δείγματος: 40,08%, 19,91% και 40,01%.
- Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 3: Διαφοροποίηση συστάδων λόγω φόρτου και ταχύτητας, με τον υψηλό φόρτο να αντιστοιχεί στη μειωμένη ταχύτητα.
- Όριο ταχύτητας 50, λωρίδες 4: Αύξηση του φόρτου και μείωση ταχύτητας, έντονη διαφοροποίηση και για τα δύο μεγέθη.
- Όριο ταχύτητας 60, λωρίδες 3: Έντονη διαφοροποίηση λόγω φόρτου με μικρή διαφοροποίηση ταχύτητας ανάμεσα στις συστάδες.
- Συγκριτικά: Η αύξηση των λωρίδων και η αύξηση του ορίου ταχύτητας οδηγούν συνολική κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Συμπεράσματα – Ειδικά Συμπεράσματα (1/2)

- Επαληθεύτηκε η θεμελιώδης **σχέση ταχύτητας φόρτου**, και επιβεβαιώθηκε η μη γραμμική και ισχυρή συσχέτιση αξιοποιώντας δεδομένα δύο διαφορετικών πηγών.
- **Παράγοντες επιρροής της ταχύτητας κυκλοφορίας:**
 - ❖ ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος: ο πιο καθοριστικός παράγοντας
 - ❖ ημέρα μέσα στην εβδομάδα: καθημερινές υψηλότερη κίνηση και δραστηριότητα (μικρές ταχύτητες) συγκριτικά με τα σαββατοκύριακα όπου η κίνηση είναι πιο αραιή (μεγάλες ταχύτητες)
 - ❖ όριο ταχύτητας: καθορίζει την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα
 - ❖ Θερμοκρασία: διαμόρφωση κυκλοφοριακών συνθηκών λόγω αποφυγής μετακίνησης ή ενδεχόμενων θερινών διακοπών
- **Παράγοντες επιρροής κυκλοφοριακού φόρτου:**
 - ❖ αριθμό λωρίδων: χωρητικότητα οδικού τμήματος
 - ❖ ταχύτητα κυκλοφορίας: έντονη συσχέτιση
 - ❖ ώρα μέσα στην μέρα: διαμόρφωση κυκλοφορίας σε σχέση με τις ώρες αιχμής
 - ❖ Θερμοκρασία: μη γραμμική σχέση, ανάλογα την ώρα μέσα στην ημέρα

Συμπεράσματα – Ειδικά Συμπεράσματα (2/2)

- Η επιλογή **ημέρας και ώρας** καθορίζει σημαντικά τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Τις καθημερινές κατά τις πρωινές ώρες παρατηρείται έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση, ενώ τις απογευματινές μειωμένοι φόρτοι με μικρότερη επίδραση στην ταχύτητα. Τα σαββατοκύριακα σημειώνονται καλύτερες κυκλοφοριακές συνθήκες, με το φόρτο να παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση.
- Η **αύξηση της θερμοκρασίας τις πρωινές ώρες** επιφέρει μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου με ταυτόχρονη αύξηση της ταχύτητας (διακοπές/αργίες), ενώ κατά τις **βραδινές ώρες** παρατηρούνται πιο σύνθετες κυκλοφοριακές συνθήκες καθώς οι μετακινήσεις είναι λιγότερο οργανωμένες έχοντας μεγαλύτερη επίδραση από εξωτερικούς παράγοντες.
- Η **βροχή** λειτουργεί αποθαρρυντικά στη χρήση ιδιωτικού οχήματος στις ώρες αιχμής αφού παρουσιάζεται μείωση κυκλοφοριακού φόρτου. Στις ώρες εκτός αιχμής ο φόρτος αυξάνεται. Συνολικά, δεν επιδρά σημαντικά στην ταχύτητα παρουσιάζοντας μικρή μείωση.
- Οι άξονες με αυξημένο **όριο ταχύτητας** παρουσιάζουν μεγαλύτερη κυκλοφοριακή συμφόρηση, σημειώνοντας μειωμένες ταχύτητες με αύξηση κυκλοφοριακού φόρτου.
- Ο **αριθμός των λωρίδων** προσελκύει κυκλοφοριακό φόρτο με ταυτόχρονη μείωση της ταχύτητας, δημιουργώντας συνθήκες έντονης συμφόρησης.

Συμπεράσματα – Γενικά συμπεράσματα

- **Κυκλοφοριακός φόρτος:** καθορίζει την ταχύτητα, με τους υψηλούς φόρτους να οδηγούν σε χαμηλότερες ταχύτητες τις πρωινές ώρες.
- **Ώρα της ημέρας:** Η βραδινές ώρες επιτρέπουν πιο ομαλή ροή της κυκλοφορίας, σε σχέση με τις πρωινές που παρατηρείται έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση.
- **Καιρός:** Η βροχή αυξάνει ελαφρώς την κυκλοφοριακή συμφόρηση με μικρή επίδραση στην συνολική ταχύτητα.
- **Θερμοκρασία:** Οι υψηλότερες θερμοκρασίες, ειδικά το βράδυ, αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελαφρώς μειωμένες ταχύτητες.
- **Χαρακτηριστικά οδού:** Περισσότερες λωρίδες και υψηλότερα όρια ταχύτητας βελτιώνουν την ροή, ωστόσο σε υψηλούς φόρτους δεν επαρκούν για να αποτρέπουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Προτάσεις βελτίωσης

- **Τιμολόγηση συμφόρησης** συναρτήσει επιβαρυμένων ωρών και περιοχών.
- **Χρήση περιφερειακών αξόνων**, μέσω μείωσης διοδίων και καθοδήγησης κυκλοφορίας μέσω **έξυπνων πινακίδων**.
- **Δακτύλιος** στο κέντρο της Αθήνας
- Ενίσχυση και βελτίωση των **MMM**
- Προώθηση **εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς**, όπως car sharing και carpooling.
- Ανάπτυξη και βελτίωση **πεζοδρομίων και ποδηλατοδρόμων**.
- **Καλλιέργεια αντίληψης** για την σημαντικότητα χρήσης των MMM και της σωματικής άσκησης.



Ανάλυση Κρίσιμων Παραγόντων Επιρροής των Κυκλοφοριακών Συνθηκών στην Αθήνα



Κρινή Παρασκευή

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Οκτώβριος 2024