

Πολυεπίπεδη Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση της **Ασφαλούς** και **Πράσινης** Κινητικότητας



Βιργινία Πετράκη

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

30 Απριλίου 2026

Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8

Δομή



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8

Δομή



Βιώσιμη Κινητικότητα

- Η βιώσιμη κινητικότητα βασίζεται στην ευρύτερη έννοια της **βιώσιμης ανάπτυξης**
 - «Η βιώσιμη ανάπτυξη καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να υπονομεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους» (WCED, 1987)
- Προσδιορίζεται από 3 αλληλένδετες διαστάσεις:
 1. **κοινωνική βιωσιμότητα**
 2. **περιβαλλοντική βιωσιμότητα**
 3. **οικονομική βιωσιμότητα**
- Ο ΟΗΕ και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζουν τη **βιώσιμη κινητικότητα** ως σύστημα μετακινήσεων που διασφαλίζει ασφάλεια, χαμηλές εκπομπές, οικονομική προσιτότητα και ισότιμη πρόσβαση
- Ωστόσο, οι υφιστάμενες μεθοδολογίες εξετάζουν την κάθε διάσταση **μεμονωμένα**, παραβλέποντας πιθανές συνέργειες και συμβιβασμούς από τη συνδυαστική τους ανάλυση



Επιπτώσεις Οδικών Μεταφορών

Η αυξημένη εξάρτηση από τις οδικές επιβατικές μεταφορές, οι οποίες καλύπτουν **~72%** των μετακινήσεων, δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για τη βιώσιμη κινητικότητα



Οδική Ασφάλεια

- Τα οδικά ατυχήματα αποτελούν μείζον ζήτημα δημόσιας υγείας
- **1,19** εκατ. θάνατοι ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο



Εκπομπές Ρύπων

- Ο τομέας μεταφορών ευθύνεται για **25%** των εκπομπών CO₂ στην Ευρώπη
- **72%** αυτών αφορά τις οδικές μεταφορές



Κατανάλωση Καυσίμου

- Ο τομέας μεταφορών καταναλώνει το **31%** της συνολικής ενέργειας στην Ευρώπη
- **74%** αυτών αφορά τις οδικές μεταφορές



Η οδηγική συμπεριφορά αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα
→ ευθύνεται για το **94%** των οδικών ατυχημάτων
→ έως και **40%** κατανάλωσης καυσίμου & εκπομπών

Στόχος Διδακτορικής Διατριβής

Πολυεπίπεδη Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση
της Ασφαλούς και Πράσινης Κινητικότητας

Επίπεδα Ανάλυσης

Επίπεδο
διαδρομής



Χωρικό
επίπεδο



Ολοκληρωμένη Συγχώνευση Δεδομένων

- Οδηγική συμπεριφορά
- Οδική υποδομή
- Οδικά ατυχήματα
- Κυκλοφορία
- Καιρός



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8

Δομή



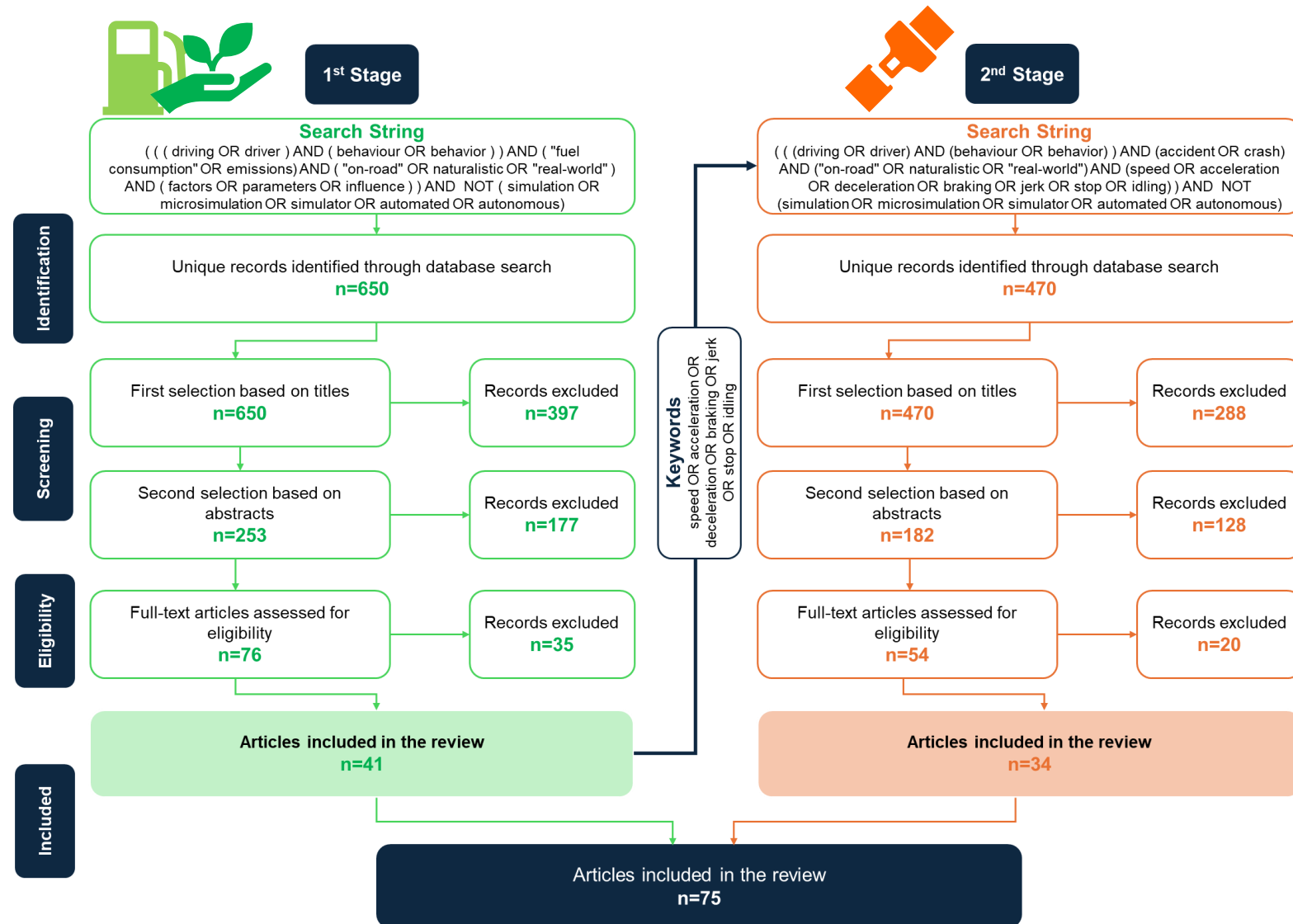
Στόχος Ανασκόπησης & Μεθοδολογία

Στόχος

- Διερεύνηση κοινών παραμέτρων οδηγικής συμπεριφοράς που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια & την κατανάλωση και εκπομπές
- Μέθοδοι συλλογής δεδομένων & μοντελοποίησης για ασφαλή και πράσινη οδήγηση

Μεθοδολογία

- Μέθοδος PRISMA
- Διφασική στρατηγική αναζήτησης:
 - 1^η Φάση: εντοπισμός παραμέτρων οδηγικής συμπεριφοράς που επηρεάζουν την κατανάλωση & τις εκπομπές
 - 2^η Φάση: διερεύνηση της επίδρασής τους στην οδική ασφάλεια
- Συμπεριλήφθηκαν 75 άρθρα



Κοινές Παράμετροι

➤ Κοινές παράμετροι

- Εντοπισμός **32** κοινών παραμέτρων και **78** μέτρων αυτών
- Σχετικές με οδηγική συμπεριφορά και εξωγενείς συνθήκες

➤ Κοινές παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς

Ταχύτητα, επιτάχυνση, ο ρυθμός μεταβολής επιτάχυνσης (vehicular jerk), μεταβλητότητα οδήγησης και στάσεις

➤ Η ταχύτητα ως βασικός παράγοντας συμβιβασμού

- Μέτριες ταχύτητες: - βέλτιστη αποδοτικότητα
- αυξημένη επικινδυνότητα
- Χαμηλές ταχύτητες: - μειωμένη αποδοτικότητα
- μειωμένη επικινδυνότητα

➤ Εξάρτηση από τις εξωγενείς συνθήκες

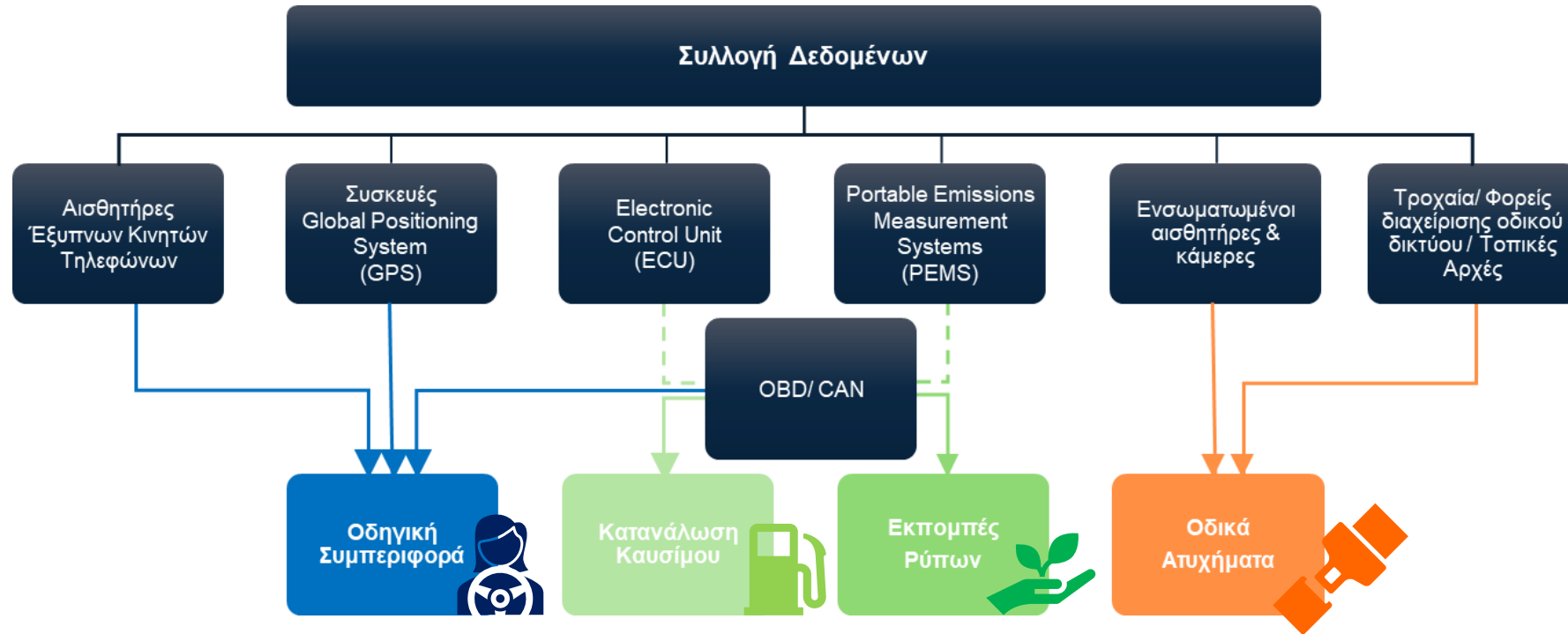
Οι επιδράσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με τις κυκλοφοριακές, οδικές και τις περιβαλλοντικές συνθήκες



	Παράμετρος	Κατεύθυνση Παραμέτρου	Πιθανότητα Ατυχήματος	Κατανάλωση Καυσίμου	Εκπομπές Ρύπων
Οδηγική Συμπεριφορά	Ταχύτητα Οδήγησης	0-50 χλμ/ώρα ▲	- (αναφορά)	▲	▲
		50-70 χλμ/ώρα ▲	▲	βέλτιστο	βέλτιστο
		>70 χλμ/ώρα ▲	▲▲	▲	▲
	Μεταβλητότητα Οδήγησης	▼	▼	▼	▼
	Απότομες Επιταχύνσεις & Επιβραδύνσεις	▼	▼	▼	▼
	Στάσεις	▼	▼	▼	▼
Εξωγενείς Συνθήκες	Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	▼	▼ (▲ σοβαρότητα)	▼	▼
	Κλίση Οδού	▲	▲	▲	▲
	Αστικές Περιοχές	▲	▲	▲	▲
	Συχνότητα Κόμβων	▲	▲	▲	▲



Μέθοδοι Συλλογής Δεδομένων



➤ Οδηγική συμπεριφορά

- Ευρείας κλίμακας
- Μέσω OBD, GPS και αισθητήρων κινητών τηλεφώνων

➤ Κατανάλωση καυσίμου & εκπομπές

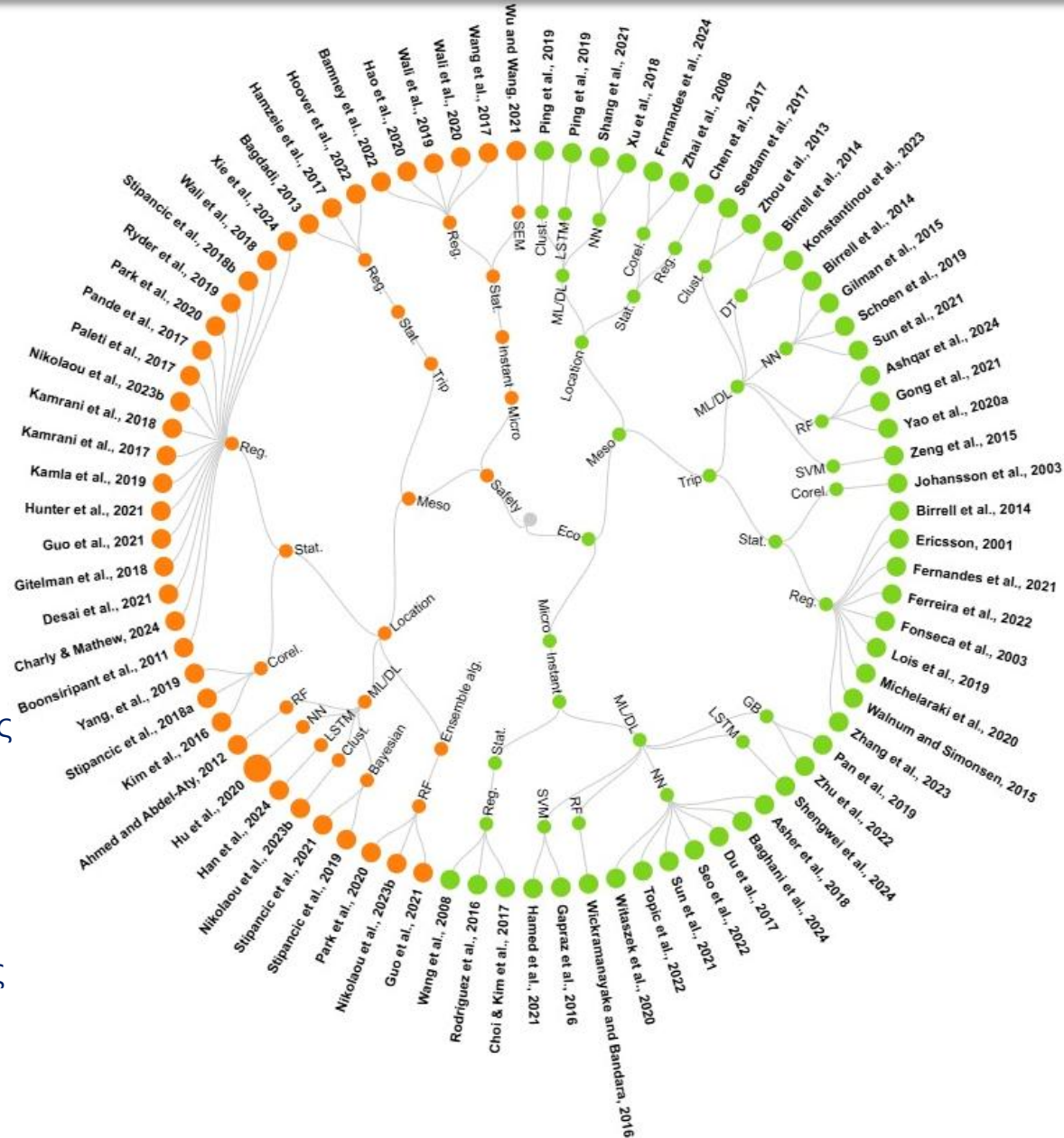
- Άμεσες μετρήσεις :
 - υψηλή ακρίβεια (OBD, PEMS, ECU)
 - δαπανηρές και χρονοβόρες
 - περιορισμένη κάλυψη
- Μοντέλα φυσικής:
 - χαμηλότερη ακρίβεια
 - βασισμένα σε δεδομένα οδήγησης και οχήματος
 - ευέλικτη εκτίμηση

➤ Οδική ασφάλεια

- Ιστορικά δεδομένα ατυχημάτων από θεσμικούς φορείς
- Δεδομένα από μη-ελεγχόμενα πειράματα μέσω **καμερών** και αισθητήρων
- Χρήση Έμμεσων Δεικτών Ασφάλειας (ΕΔΑ) όπως απότομες επιβραδύνσεις, υπέρβαση ορίου ταχύτητας κ.ά.

Τεχνικές Μοντελοποίησης

- Οι έρευνες για την οδηγική συμπεριφορά και τις επιπτώσεις της στην οδική ασφάλεια και το περιβάλλον/οικονομία καυσίμου πραγματοποιούνται κυρίως σε μικρο- και μεσο-κλίμακα
- Περιβάλλον/οικονομία καυσίμου
 - Εκτεταμένη χρήση μεθόδων Μηχανικής (ML) & Βαθιάς Μάθησης (DL)
 - Σε μικρο-κλίμακα, χρησιμοποιούνται στιγμιαίες μεταβλητές για την εκτίμηση της κατανάλωσης και των εκπομπών
 - Σε μεσο-κλίμακα, τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε επίπεδο διαδρομής ή τοποθεσίας
- Στην οδική ασφάλεια
 - Σε μικρο-κλίμακα, η λογιστική παλινδρόμηση χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση της πιθανότητας ατυχήματος
 - Σε μεσο-κλίμακα, κυριαρχούν μοντέλα παλινδρόμησης (π.χ. Poisson) για την πρόβλεψη συχνότητας ατυχημάτων σε επίπεδο οδικού τμήματος ή κόμβου
 - Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα δεδομένων ευρείας κλίμακας οδηγικής συμπεριφοράς και χρήση ΕΔΑ ενισχύει τη χρήση μεθόδων ML/DL



Ερευνητικά Ερωτήματα

Πώς μπορούν να συγχωνευθούν δεδομένα πολλαπλών πηγών ώστε να καταστεί δυνατή η ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας σε επίπεδο διαδρομής και σε χωρικό επίπεδο;

Πώς μπορούν να εντοπιστούν και να συσχετιστούν χωρικά μοτίβα περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας και κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο οδικού κόμβου;

Πώς μπορεί να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα της βιώσιμης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής, μέσω της ενσωμάτωσης της οδικής ασφάλειας, της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου διαδρομής, και εν συνεχεία να μεταφραστεί σε βιωσιμότητα του οδικού δικτύου;



Πώς μπορούν να εντοπιστούν βιώσιμα μοτίβα διαδρομών μέσω της ενσωμάτωσης δεικτών οδικής ασφάλειας, και κατανάλωσης καυσίμου; Είναι εφικτό να προβλεφθούν και να ερμηνευθούν;

Πώς μπορούν να μοντελοποιηθούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής και οδικού τμήματος;

Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8

Δομή



Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Διφασική Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση βάσει PRISMA

- **Συνέργειες και συμβιβασμοί** μεταξύ ασφαλούς και πράσινης οδήγησης
- **Παράμετροι** που επηρεάζουν ταυτόχρονα την ασφάλεια, κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές
- **Μοντελοποίηση και συλλογή δεδομένων** ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε πολλαπλές κλίμακες

Ανάγκη για ολοκληρωμένα πλαίσια αξιολόγησης ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας

Ερευνητικά Ερωτήματα

- 1 Πώς μπορούν να συγχωνευθούν δεδομένα πολλαπλών πηγών για την αξιολόγηση της ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας σε επίπεδο διαδρομής και σε χωρικό;
- 2 Πώς μπορούν να εντοπιστούν, να προβλεφθούν και να ερμηνευθούν βιώσιμα μοτίβα διαδρομών;
- 3 Πώς εντοπίζονται και συσχετίζονται περιοχές αυξημένης επικινδυνότητας ατυχημάτων και κατανάλωσης καυσίμου σε αστικούς κόμβους;
- 4 Πώς μπορούν να μοντελοποιηθούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής και οδικού τμήματος;
- 5 Πώς αξιολογείται η αποδοτικότητα βιώσιμης οδήγησης από τη διαδρομή έως το επίπεδο του οδικού δικτύου;

Μεθοδολογικό Υπόβαθρο

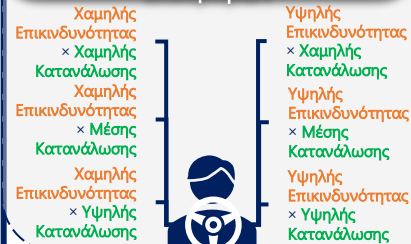
- Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων
- Προγνωστική Μοντελοποίηση
- Χωρική Ανάλυση
- Αιτιώδης και Δομική Ανάλυση
- Ανάλυση Αποδοτικότητας

Συλλογή & Επεξεργασία Δεδομένων



1^η Συνιστώσα Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

Εντοπισμός & Πρόβλεψη Μοτίβων Βιωσιμότητας Διαδρομών



Εντοπισμός & Συσχέτιση Χωρικών Μοτίβων Βιωσιμότητας



2^η Συνιστώσα Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

Συνδυαστική μοντελοποίηση συμπεριφορικών και εξωγενών μηχανισμών & των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ **οδικής ασφάλειας** – **κατανάλωσης καυσίμου** σε επίπεδο διαδρομής

Συνδυαστική μοντελοποίηση συμπεριφορικών και εξωγενών μηχανισμών & των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ **οδικής ασφάλειας** – **κατανάλωσης καυσίμου** σε επίπεδο οδικού τμήματος

3^η Συνιστώσα Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης



Αποδοτικότητα Βιωσιμότητας Οδικού Άξονα

Επίπεδο Διαδρομής

Χωρικό Επίπεδο

Πολυεπίπεδη Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση της Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας



Συλλογή Δεδομένων



Δεδομένα Οδηγικής Συμπεριφοράς



Πηγή: Δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς συλλέχθηκαν μέσω ενός προηγμένου συστήματος της OSeven Telematics

Συλλογή: Τα δεδομένα οδηγικής συμπεριφοράς καταγράφηκαν:

- υπό πραγματικές συνθήκες
- σε ανωνυμοποιημένη μορφή
- ανά δευτερόλεπτο
- για την περίοδο Μαρτίου-Μαΐου 2024
- στην Περιφέρεια Αττικής [ερευνητική περιοχή]

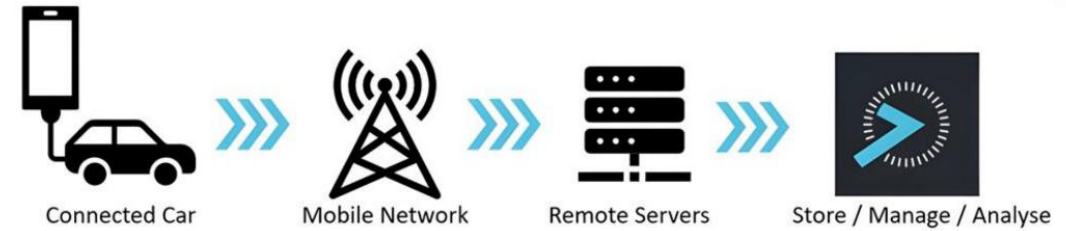
Αριθμός Διαδρομών	Χρόνος Οδήγησης (δευτερόλεπτα)	Απόσταση Οδήγησης (χιλιόμετρα)
35.637	37.231.697	319.482

Κύριες Μεταβλητές:

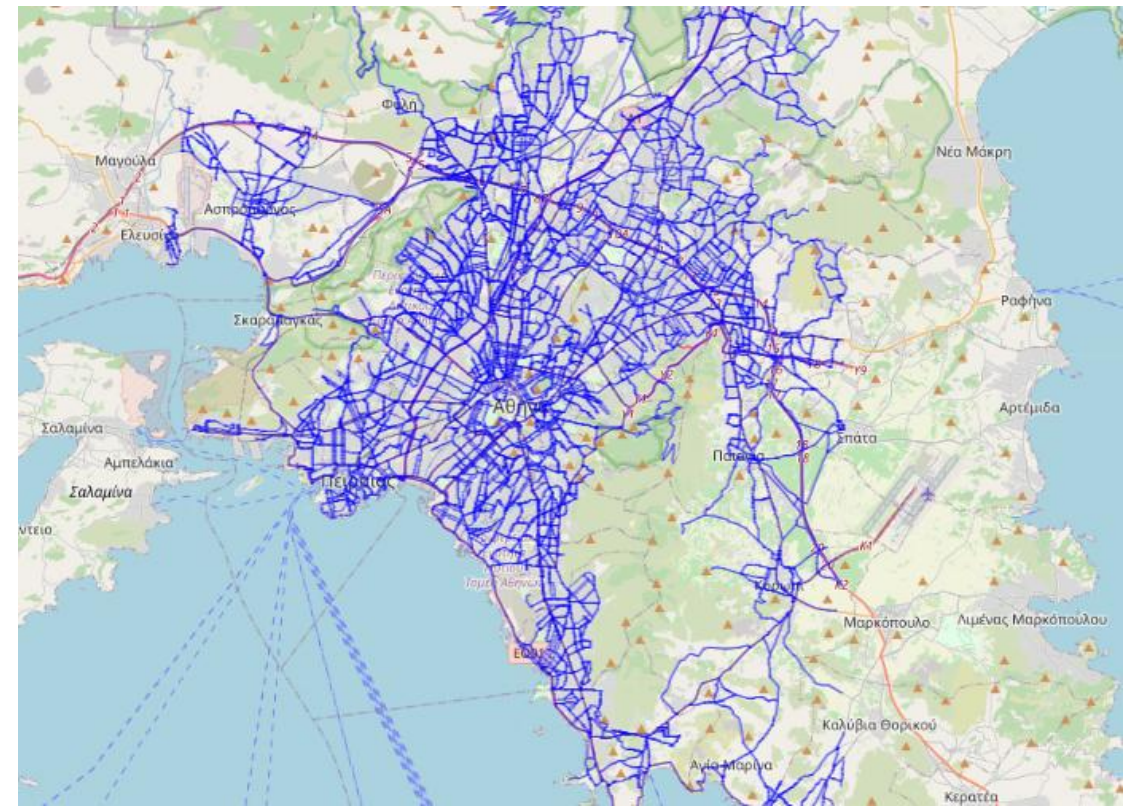
- Προηγμένοι αλγόριθμοι MM εντοπίζουν ΕΔΑ, όπως υπέρβαση ορίου ταχύτητας, απότομα συμβάντα και χρήση κινητού τηλεφώνου
- Υπολογίστηκαν επιπλέον παράμετροι, όπως ο ρυθμός μεταβολής επιτάχυνσης (vehicular jerk), η σταθερή ταχύτητα κίνησης (cruising) και τα πρότυπα στάσεων

Σύστημα ροής δεδομένων της OSeven

Πηγή: OSeven Telematics



Ερευνητική Περιοχή



Δεδομένα Οδικού Δικτύου



Πηγές: Λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου συλλέχθηκαν μέσω ψηφιακών χαρτών

1. OpenStreetMap - ανοικτή πλατφόρμα γεωγραφικών δεδομένων

Συλλογή:

- Οδικά χαρακτηριστικά ανά:
 - Οδικό κόμβο → Σημεία (nodes)
 - Οδικό τμήμα → Γραμμές (ways)
- Ερευνητική περιοχή όπως ορίστηκε από τα δεδομένα οδήγησης

Κύριες Μεταβλητές: κατηγορία οδού, μήκος οδικού τμήματος, όριο ταχύτητας, αριθμός λωρίδων, κ.ά.

2. Mapzen Global Terrain - ανοικτό Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)

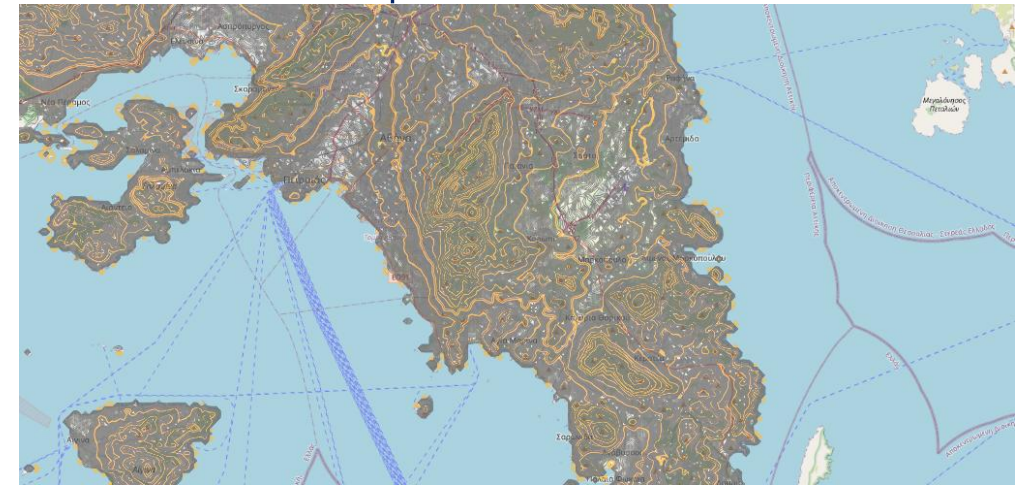
Συλλογή:

- Υψομετρικά δεδομένα ανά οδικό κόμβο
- Πρόσβαση και επεξεργασία μέσω QGIS

Κύριες Μεταβλητές: Κλίση οδικού τμήματος που υπολογίστηκε από τη διαφορά υψομέτρου μεταξύ των κόμβων αφετηρίας και προορισμού

Κατηγορία Οδού	Οδικά Τμήματα	Μέσο Μήκος (μέτρα)
Οικιστική (residential)	17,495	76
Τριτεύουσα (tertiary)	7,751	75
Δευτερεύουσα (secondary)	5,053	86
Πρωτεύουσα (primary)	2,850	107
Αυτοκινητόδρομος (motorway)	559	456
Κύρια (trunk)	507	195

Mapzen Global Terrain



Κατανάλωση Καυσίμου

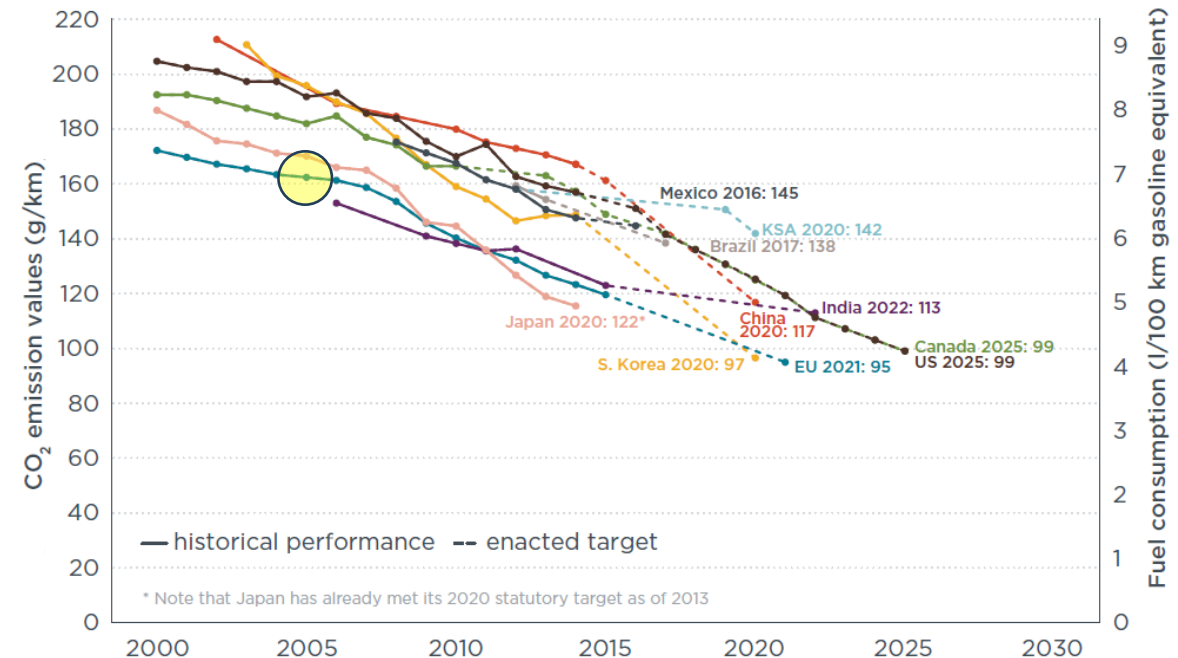


- Η κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε μέσω του μοντέλου Virginia Tech Comprehensive Power-Based Fuel Consumption Model (Rakha et al., 2011)
- Αξιοποιούνται τα δεδομένα οδήγησης ευρείας κλίμακας και υψομετρίας
- Η στιγμιαία κατανάλωση (λίτρα/δευτερόλεπτο) υπολογίζεται ως συνάρτηση της στιγμιαίας ισχύος $P(t)$
- Το μοντέλο VT-CPFM επιλέχθηκε λόγω:
 - της απλότητας και της ικανοποιητικής ακρίβειας (σφάλμα ~7%)
 - της περιορισμένης ανάγκης για δεδομένα σχετικά με το όχημα
 - της δυνατότητας εύκολης βαθμονόμησης
- Αντιπροσωπευτικό όχημα
 - Μη διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των οχημάτων (GDPR)
 - Αντιπροσωπευτικό όχημα: επιβατικό βενζινοκίνητο όχημα ηλικίας 17 ετών (ACEA, 2022)
 - Οικονομία Καυσίμου (WLTP): $FE_{city} = 7,5$ λίτρα/100 χλμ
 $FE_{hwy} = 5,5$ λίτρα/100 χλμ

$$FC(t) = \begin{cases} a_0 + a_1 \times P(t) + a_2 \times P(t)^2, & \text{if } P(t) \geq 0 \\ a_0, & \text{if } P(t) < 0 \end{cases}$$

$$\text{Στιγμιαία Ισχύς: } P(t) = \left(R(t) + \frac{1,04 \times m \times a(t)}{3,600 \times \eta_d} \times v(t) \right)$$

$$\text{Στιγμιαία Αντίσταση: } R(t) = R_{aero}(t) + R_{roll}(t) + R_{grade}(t)$$



Δεδομένα Ατυχημάτων



Πηγή: Τα δεδομένα ατυχημάτων συλλέχθηκαν μέσω της Εθνικής Βάσης Οδικών Ατυχημάτων της ΕΛ.ΣΤΑΤ.

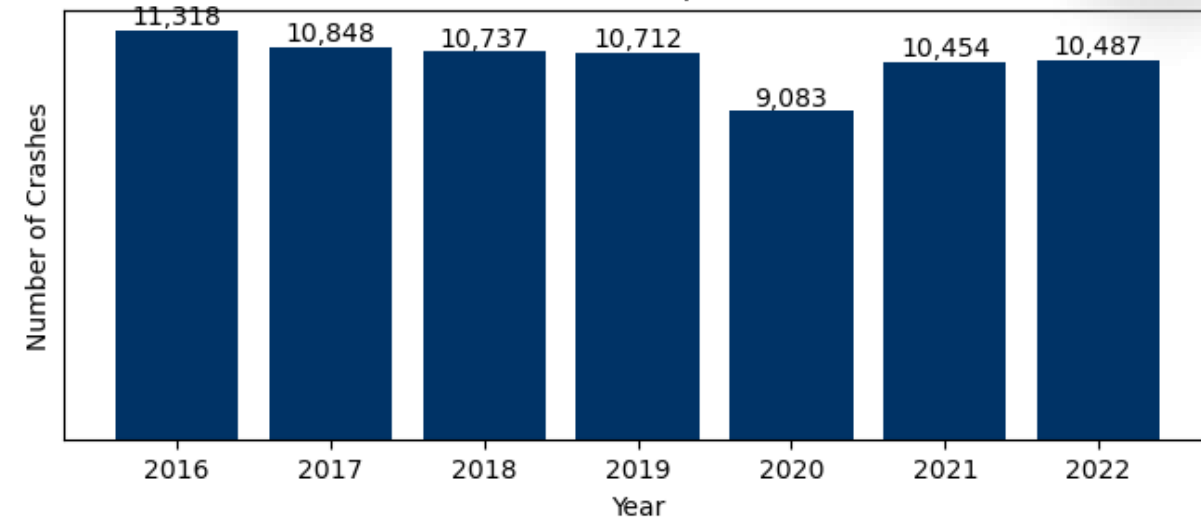
Συλλογή:

- Περίοδος Συλλογής → 2016-2022
- Περιοχή Συλλογής → Περιφέρεια Αττικής
- 73.639 καταγεγραμμένα ατυχήματα

Κύριες Μεταβλητές:

Για κάθε ατύχημα λήφθηκαν υπόψη:

- ο κωδικός ταυτοποίησής του,
 - η διοικητική ενότητα που έλαβε χώρα,
 - η οδός που έλαβε χώρα και,
 - η διασταυρούμενη οδός (εφόσον συνέβη σε κόμβο)
- Στην ανάλυση συμπεριλήφθηκαν τα ατυχήματα που έλαβαν χώρα σε οδικούς **κόμβους**



Μεταβλητή	Περιγραφή
CRASH_ID	5ψήφιος κωδικός ατυχήματος, μοναδικός για κάθε συνδυασμό έτους και μήνα
GEOCODE_ACC_CL	10ψήφιος γεωγραφικός κωδικός που προσδιορίζει τη διοικητική ενότητα της θέσης του ατυχήματος με βάση τη διοικητική ταξινόμηση «Καλλικράτης»
CODE_STREET_CL	4ψήφιος κωδικός που προσδιορίζει την κύρια οδό όπου συνέβη το ατύχημα
CODE_STREET_DIAST_CL	4ψήφιος κωδικός που προσδιορίζει την διασταυρούμενη οδό στο σημείο του ατυχήματος



Δεδομένα Κυκλοφορίας



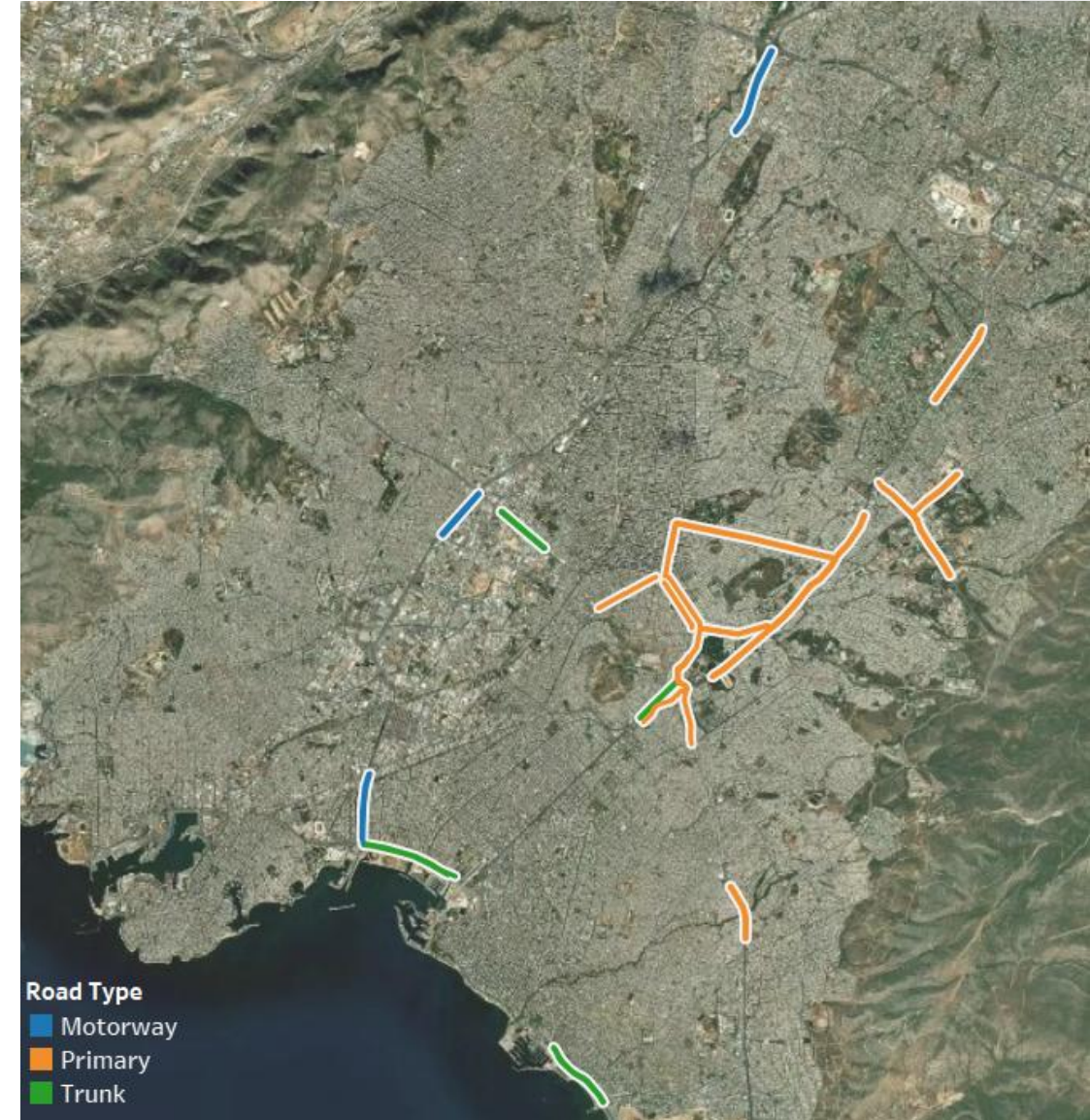
Πηγή: Δεδομένα κυκλοφορίας συλλέχθηκαν μέσω του Google Maps Directions API

Συλλογή: Τα δεδομένα κυκλοφορίας συλλέχθηκαν:

- για την περίοδο **Μαρτίου-Μαΐου 2024**
- ανά **20 λεπτά**
- σε **42 βασικούς οδικούς άξονες** στην Περιφέρεια Αττικής
- υπό συγκεκριμένο χρονικό προγραμματισμό, για την αποτύπωση **τυπικών προτύπων** ζήτησης μετακινήσεων:
 - Καθημερινές: 08:00–18:40
 - Σάββατο: 12:00–18:40 και 21:00–23:40
 - Κυριακή: 12:00–18:40

Κύρια Μεταβλητή:

- **Ταχύτητα Κυκλοφορίας** (χλμ/ ώρα)



Δεδομένα Καιρικών Συνθηκών



Πηγή: Μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω Open-Meteo

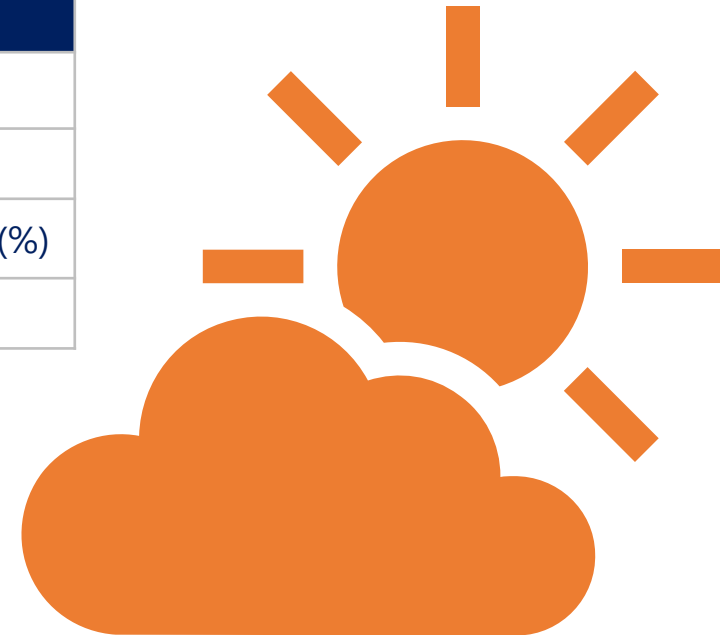
Συλλογή: Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν:

- ανά ώρα
- από μετεωρολογικό σταθμό στο κέντρο της Αθήνας
(location: latitude 37.996483, longitude 23.709677)

Κύριες Μεταβλητές:

Μεταβλητή	Περιγραφή
is_day	Διαδικός δείκτης συνθηκών φυσικού φωτισμού (1 = ημέρα, 0 = νύχτα)
temperature_2m	Θερμοκρασία σε ύψος 2 μέτρων από το έδαφος, σε βαθμούς Κελσίου (°C)
relative_humidity_2m_pct	Σχετική υγρασία σε ύψος 2 μέτρων από το έδαφος, εκφρασμένη σε ποσοστό (%)
rain_mm	Ύψος βροχόπτωσης σε χιλιοστά (mm)

- Τα μετεωρολογικά δεδομένα **αντιστοιχίστηκαν χρονικά** με τα δεδομένα οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής



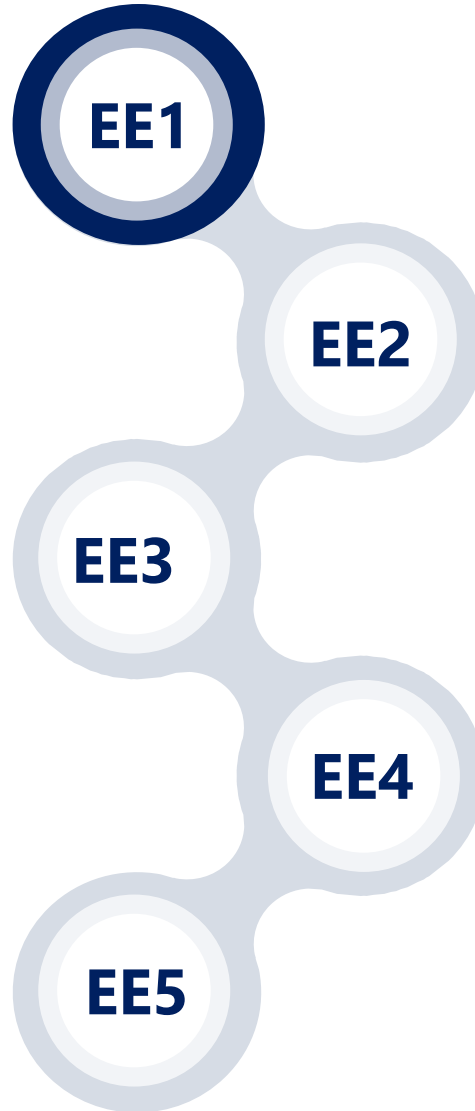
Ερευνητικό Ερώτημα 1

Πώς μπορούν να συγχωνευθούν δεδομένα

πολλαπλών πηγών ώστε να καταστεί δυνατή η ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας σε επίπεδο διαδρομής και σε χωρικό επίπεδο;

Πώς μπορούν να εντοπιστούν και να συσχετιστούν χωρικά μοτίβα περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας και κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο οδικού κόμβου;

Πώς μπορεί να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα της βιώσιμης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής, μέσω της ενσωμάτωσης της οδικής ασφάλειας, της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου διαδρομής, και εν συνεχεία να μεταφραστεί σε βιωσιμότητα του οδικού δικτύου;



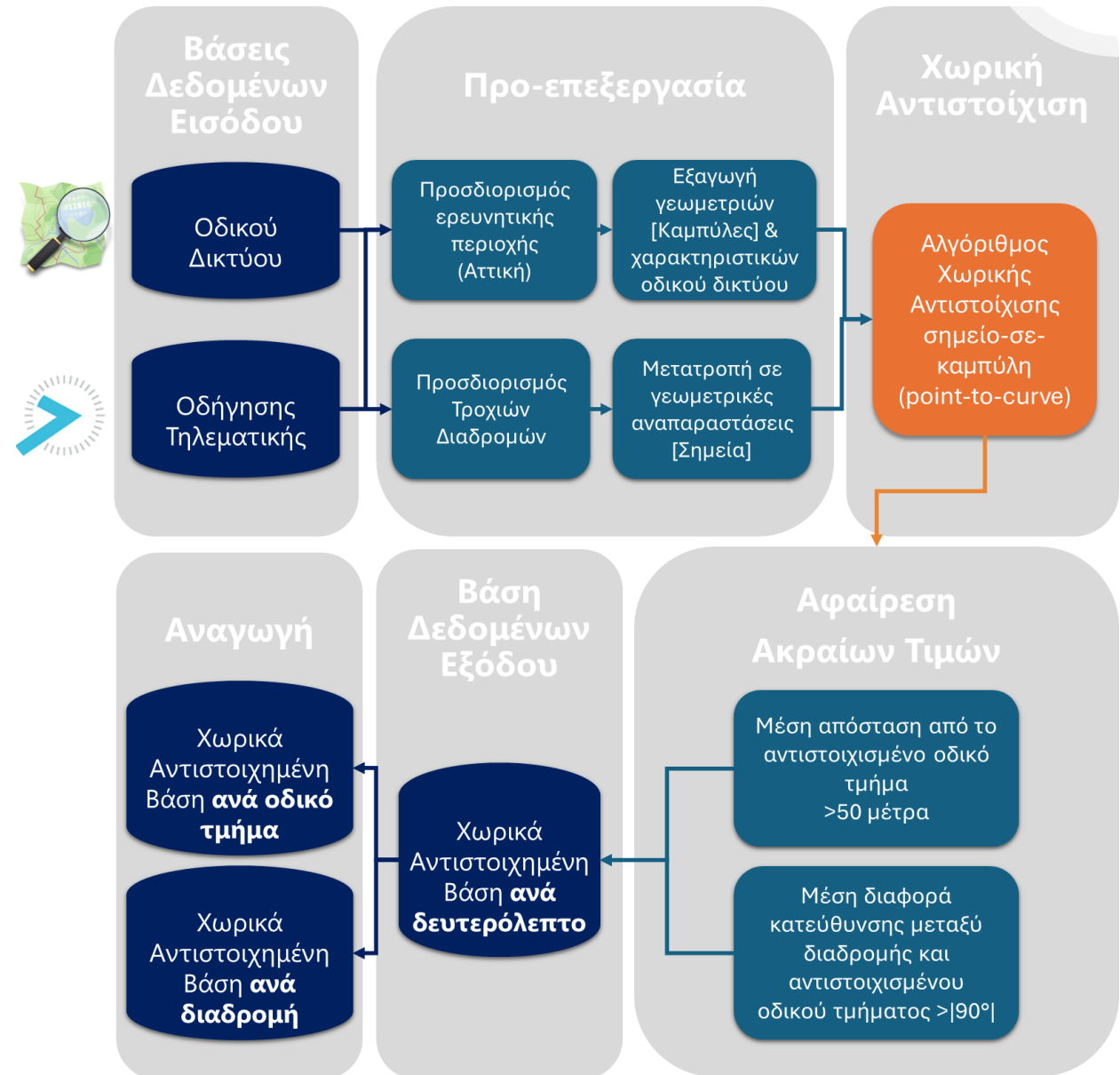
Πώς μπορούν να εντοπιστούν βιώσιμα μοτίβα διαδρομών μέσω της ενσωμάτωσης δεικτών οδικής ασφάλειας, και κατανάλωσης καυσίμου; Είναι εφικτό να προβλεφθούν και να ερμηνευθούν;

Πώς μπορούν να μοντελοποιηθούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής και οδικού τμήματος;

➤ Η χωρική αντιστοίχιση (map-matching) των δεδομένων οδηγικής συμπεριφοράς καθιστά δυνατή την αντιστοίχιση των παρατηρήσεων ανά δευτερόλεπτο στα οδικά τμήματα

➤ Βάσεις Δεδομένων
(1) ανά οδικό τμήμα, (2) ανά διαδρομή

	std	min	median	max
Δευτερόλεπτα ανά οδικό τμήμα	2.584	1	88	139.958
Διαδρομές ανά οδικό τμήμα	99	1	18	1.821



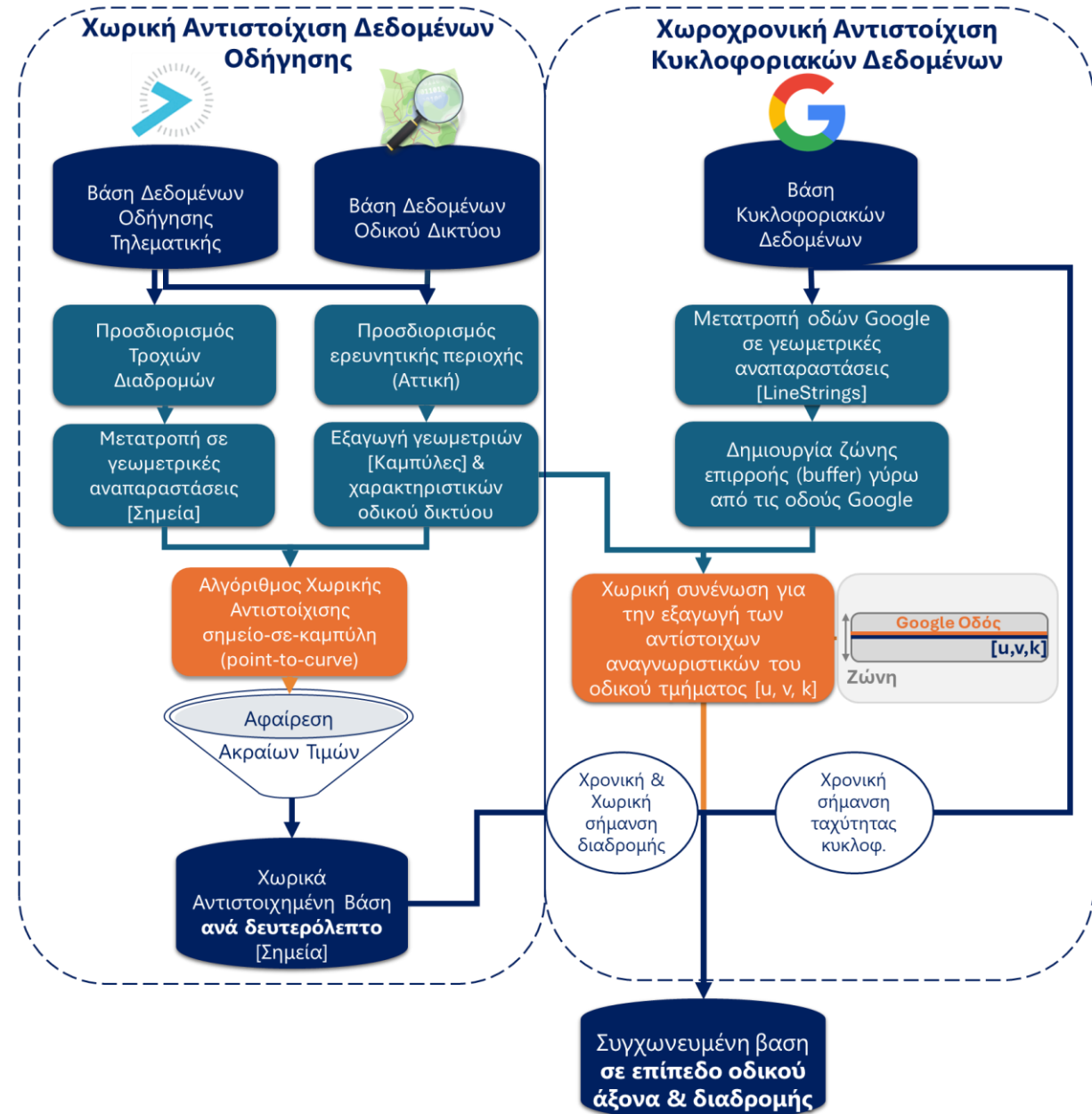
Χωρική Αντιστοίχιση Ατυχημάτων

- Η χωρική αντιστοίχιση των ατυχημάτων καθιστά δυνατή την αντιστοίχισή τους σε οδικούς κόμβους
- 10,893 ατυχήματα αντιστοιχήθηκαν σε 5.517 κόμβους , ενώ κατά μέσο όρο 53 διαδρομές διέρχονται ανά κόμβο



Ενοποίηση δεδομένων οδήγησης τηλεματικής και κυκλοφορίας μέσω χωροχρονικής αντιστοίχισης

- Χωρική αντιστοίχιση δεδομένων οδήγησης
- Χωρική αντιστοίχιση οδικών αξόνων: Εξάγονται οι γεωμετρίες των 42 οδικών αξόνων και δημιουργούνται ζώνες επιρροής (10 μ) με σκοπό την αντιστοίχισή τους με τα OSM οδικά τμήματα
- Συγχώνευση δεδομένων οδήγησης: Τα δεδομένα τηλεματικής αντιστοιχίζονται με τους 42 οδικούς άξονες από τους οποίους διέρχονται, μέσω των κοινών OSM οδικών τμημάτων
- Χρονική αντιστοίχιση: Τα δεδομένα τηλεματικής ευθυγραμμίζονται χρονικά με τα δεδομένα κυκλοφορίας, αντιστοιχίζοντας τις χρονικές σημάνσεις τους μέσα σε ένα παράθυρο ± 10 λεπτών
- Βάση Δεδομένων Εξόδου: 8.725 διαδρομές αντιστοιχίστηκαν επιτυχώς σε 42 οδικούς άξονες



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

Επίπεδο Διαδρομής

Χωρικό Επίπεδο

4

1^η Συνιστώσα

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8

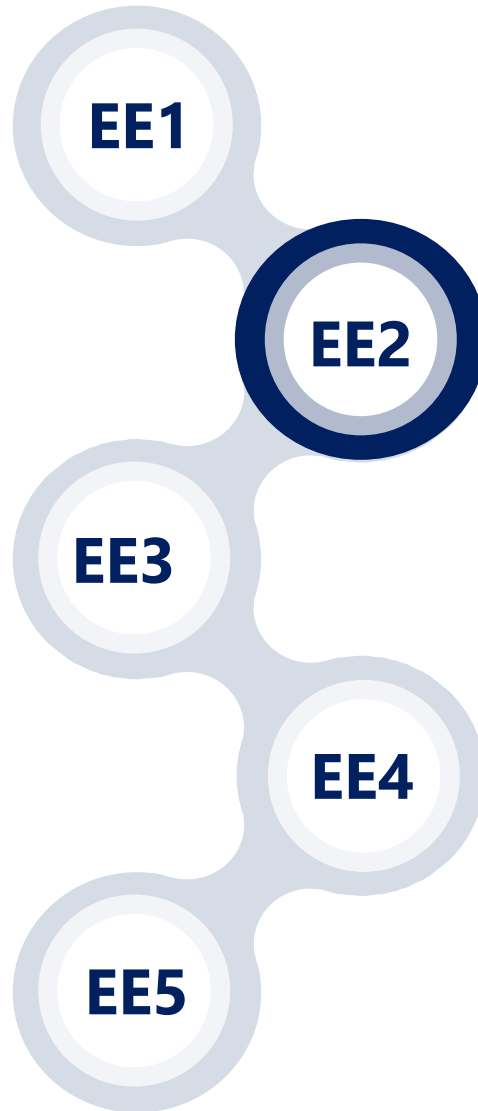


Ερευνητικό Ερώτημα 2

Πώς μπορούν να συγχωνευθούν δεδομένα πολλαπλών πηγών ώστε να καταστεί δυνατή η ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας σε επίπεδο διαδρομής και σε χωρικό επίπεδο;

Πώς μπορούν να εντοπιστούν και να συσχετιστούν χωρικά μοτίβα περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας και κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο οδικού κόμβου;

Πώς μπορεί να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα της βιώσιμης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής, μέσω της ενσωμάτωσης της οδικής ασφάλειας, της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου διαδρομής, και εν συνεχεία να μεταφραστεί σε βιωσιμότητα του οδικού δικτύου;



Πώς μπορούν να εντοπιστούν βιώσιμα μοτίβα διαδρομών μέσω της ενσωμάτωσης δεικτών οδικής ασφάλειας, και κατανάλωσης καυσίμου; Είναι εφικτό να προβλεφθούν και να ερμηνευθούν;

Πώς μπορούν να μοντελοποιηθούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής και οδικού τμήματος;

Προσέγγιση Επιπέδου Διαδρομής

Η μεθοδολογική προσέγγιση δομείται σε 3 διαδοχικά στάδια

➤ 1^ο Στάδιο

Οι διαδρομές κατηγοριοποιούνται, με βάση το ποσοστό χρόνου σε κάθε τύπο οδού

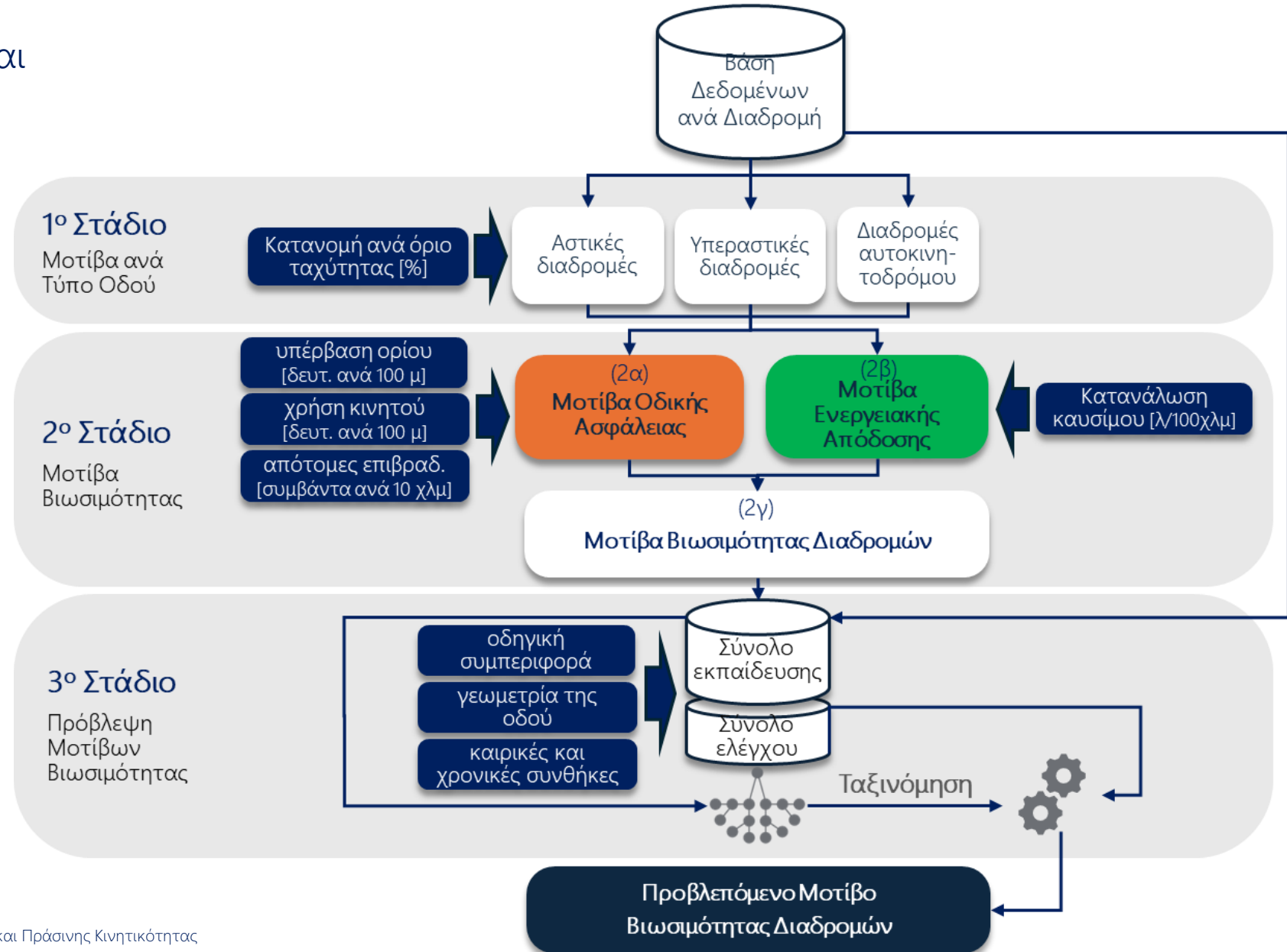
➤ 2^ο Στάδιο

Οι διαδρομές κατηγοριοποιούνται περαιτέρω:

- 2^α σε **μοτίβα οδικής ασφάλειας**
- 2^β σε **μοτίβα ενεργειακής αποδοτικότητας**
- 2^γ συνδυάζονται σε **μοτίβα βιωσιμότητας**

➤ 3^ο Στάδιο

Τα προσδιορισμένα μοτίβα βιωσιμότητας προβλέπονται



1^ο Στάδιο - Μοτίβα ανά Τύπο Οδού

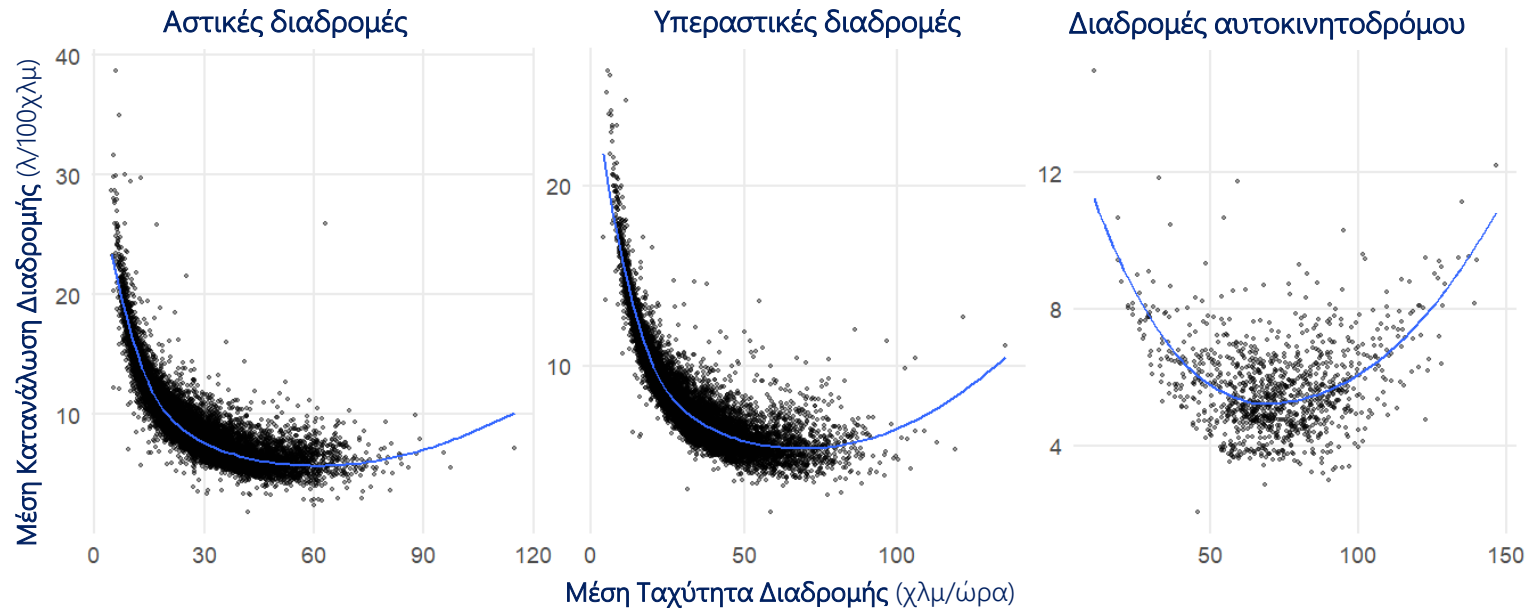
- Κάθε διαδρομή χαρακτηρίστηκε από τον τύπο οδού όπου καταγράφεται το υψηλότερο ποσοστό χρόνου οδήγησης

Αστικό → Όριο < 50 χλμ/ώρα
Υπεραστικό → Όριο = 50-80 χλμ/ώρα
Αυτοκινητόδρομος → Όριο > 80 χλμ/ώρα

- Αστικές διαδρομές: υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου & αυξημένη επικινδυνότητα

- Διαδρομές αυτοκινητοδρόμου: χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου & πιο σταθερή οδήγηση, χαμηλότερη απόσπαση

- Η κατανάλωση καυσίμου εμφανίζει μη γραμμική συσχέτιση με τη μέση ταχύτητα διαδρομής: Ακραίες τιμές ταχύτητας οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση



Μοτίβα Διαδρομών ανά Τύπο Οδού	Αριθμός Διαδρομών	Μέση Τιμή						
		Αστικό Δίκτυο (%)	Υπεραστικό Δίκτυο (%)	A/Δ (%)	Κατανάλωση Καυσίμου (λίτρα ανά 100χλμ)	Απότομες Επιβραδύνσεις (συμβάντα ανά 10χλμ)	Χρήση Κινητού Τηλεφώνου ανά 100μ	Υπέρβαση Ορίου Ταχύτητας (συμβάντα ανά 100μ)
Αστικές διαδρομές	20.744	76,7	21,9	1,5	9,5	2,0	0,9	0,5
Υπεραστικές διαδρομές	10.940	31,5	66,0	2,5	8,2	1,7	0,7	0,4
Διαδρομές αυτοκινητοδρόμου	1.104	20,1	19,0	60,1	5,7	0,5	0,3	0,5

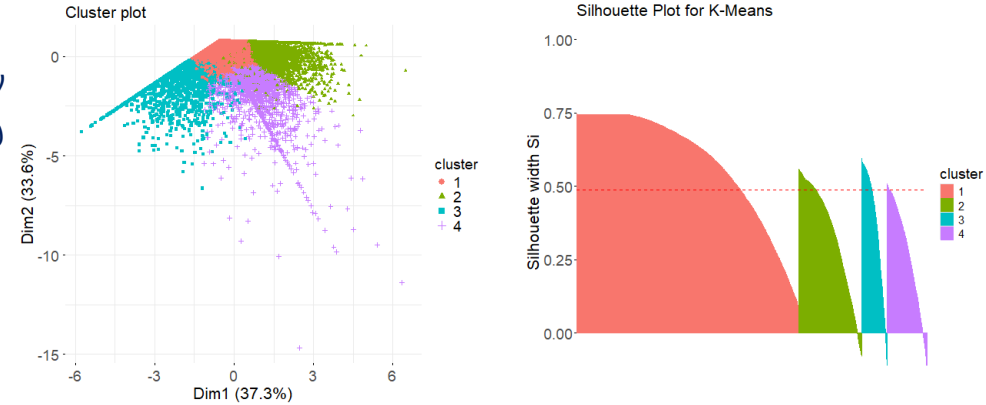


2^α Στάδιο - Μοτίβα Οδικής Ασφάλειας

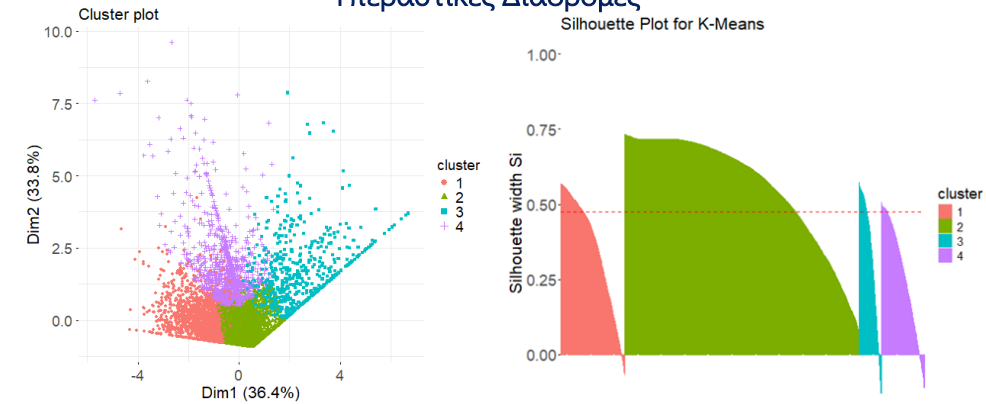
- Μέσω του αλγορίθμου ομαδοποίησης K-means προσδιορίστηκαν **μοτίβα διαδρομών οδικής ασφάλειας**, λαμβάνοντας υπόψη τη συχνότητα απότομων επιβραδύνσεων, υπέρβασης ορίου ταχύτητας και χρήσης κινητού τηλεφώνου
- **4 μοτίβα διαδρομών οδικής ασφάλειας:**
 - (1) Χαμηλής επικινδυνότητας*
 - (2) Υπερβολικής ταχύτητας
 - (3) Απόσπασης προσοχής
 - (4) Επιθετικής οδήγησης

Μοτίβα Διαδρομών Οδικής Ασφάλειας	Απότομες Επιβραδύνσεις ανά 10χλμ	Υπέρβαση Ορίου Ταχύτητας ανά 100μ	Χρήση Κινητού Τηλεφώνου ανά 100μ	Αριθμός Διαδρομών	(%)	Μέση τιμή δείκτη Silhouette
Αστικές Διαδρομές						
1 Χαμηλής επικινδυνότητας	0,000	1,209	0,000	13.145	63%	0.58
2 Υπερβολικής ταχύτητας	0,145	15,475	0,000	3.739	18%	0.33
3 Απόσπασης προσοχής	0,000	0,337	6,778	1.502	7%	0.37
4 Επιθετικής οδήγησης	0,688	2,299	0,000	2.358	11%	0.27
Υπεραστικές Διαδρομές						
1 Υπερβολικής ταχύτητας	0,135	12,692	0,000	1.916	18%	0.35
2 Χαμηλής επικινδυνότητας	0,065	1,342	0,000	7.057	65%	0.56
3 Απόσπασης προσοχής	0,097	0,221	5,452	668	6%	0.33
4 Επιθετικής οδήγησης	0,542	1,240	0,000	1.299	12%	0.27
Διαδρομές Αυτοκινητόδρομου						
1 Υπερβολικής ταχύτητας	0,034	13,343	0,000	184	17%	0.37
2 Απόσπασης προσοχής	0,040	4,448	2,319	61	6%	0.23
3 Επιθετικής οδήγησης	0,191	5,417	0,000	92	8%	0.24
4 Χαμηλής επικινδυνότητας	0,000	2,254	0,000	767	69%	0.57

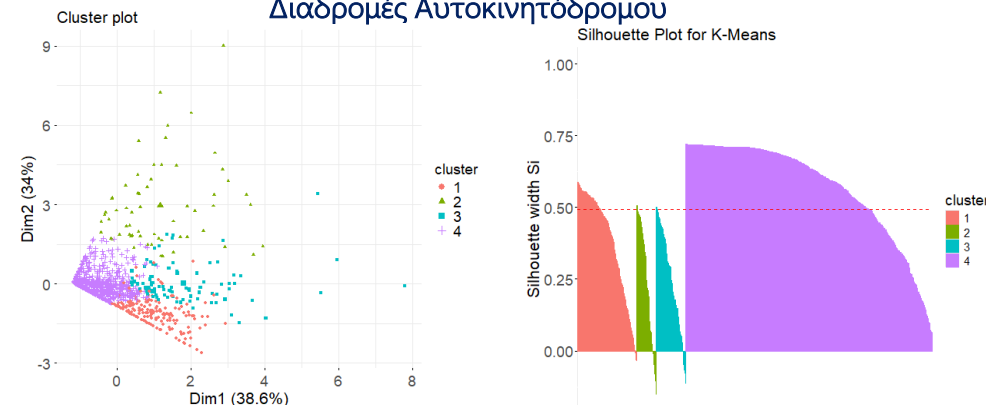
Αστικές Διαδρομές



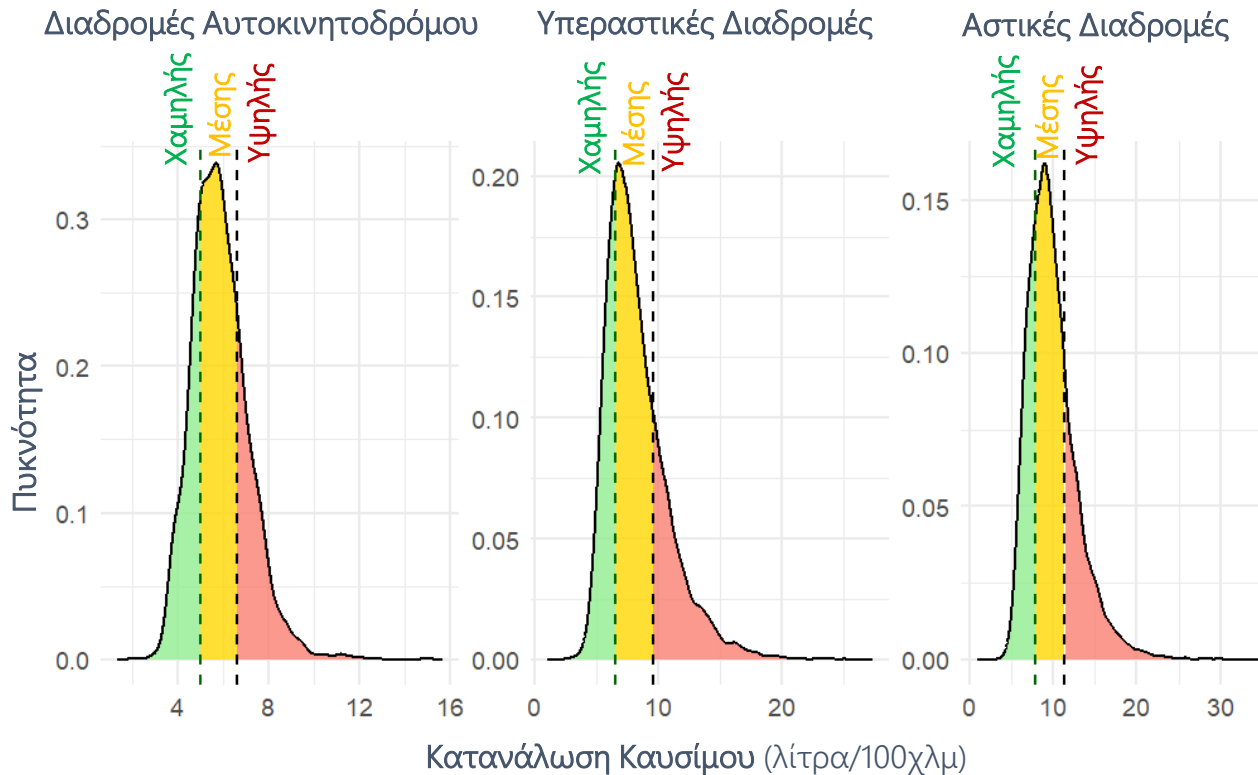
Υπεραστικές Διαδρομές



Διαδρομές Αυτοκινητόδρομου



- Οι διαδρομές κατηγοριοποιήθηκαν βάσει της ενεργειακής τους απόδοσης
- Προσδιορίστηκαν 3 μοτίβα διαδρομών με βάση τα εκατοστημόρια κατανάλωσης καυσίμου, όπως υπολογίστηκαν για κάθε μοτίβο διαδρομών ανά τύπο οδού:



Μοτίβα Διαδρομών ανά Τύπο Οδού	Μοτίβα Διαδρομών Κατανάλωσης	Αριθμός Διαδρομών	Μέση Κατανάλωση Καυσίμου (λ/100χλμ)
Διαδρομές Αυτοκινητοδρόμου	1 Χαμηλής κατανάλωσης	276	4,39
	2 Μέσης κατανάλωσης	552	5,53
	3 Υψηλής κατανάλωσης	276	7,12
Υπεραστικές Διαδρομές	4 Χαμηλής κατανάλωσης	2.735	5,61
	5 Μέσης κατανάλωσης	5.470	7,57
	6 Υψηλής κατανάλωσης	2.735	11,20
Αστικές Διαδρομές	7 Χαμηλής κατανάλωσης	5.186	6,49
	8 Μέσης κατανάλωσης	10.372	8,96
	9 Υψηλής κατανάλωσης	5.186	12,70



Ανάπτυξη Μοτίβων Βιωσιμότητας Διαδρομών

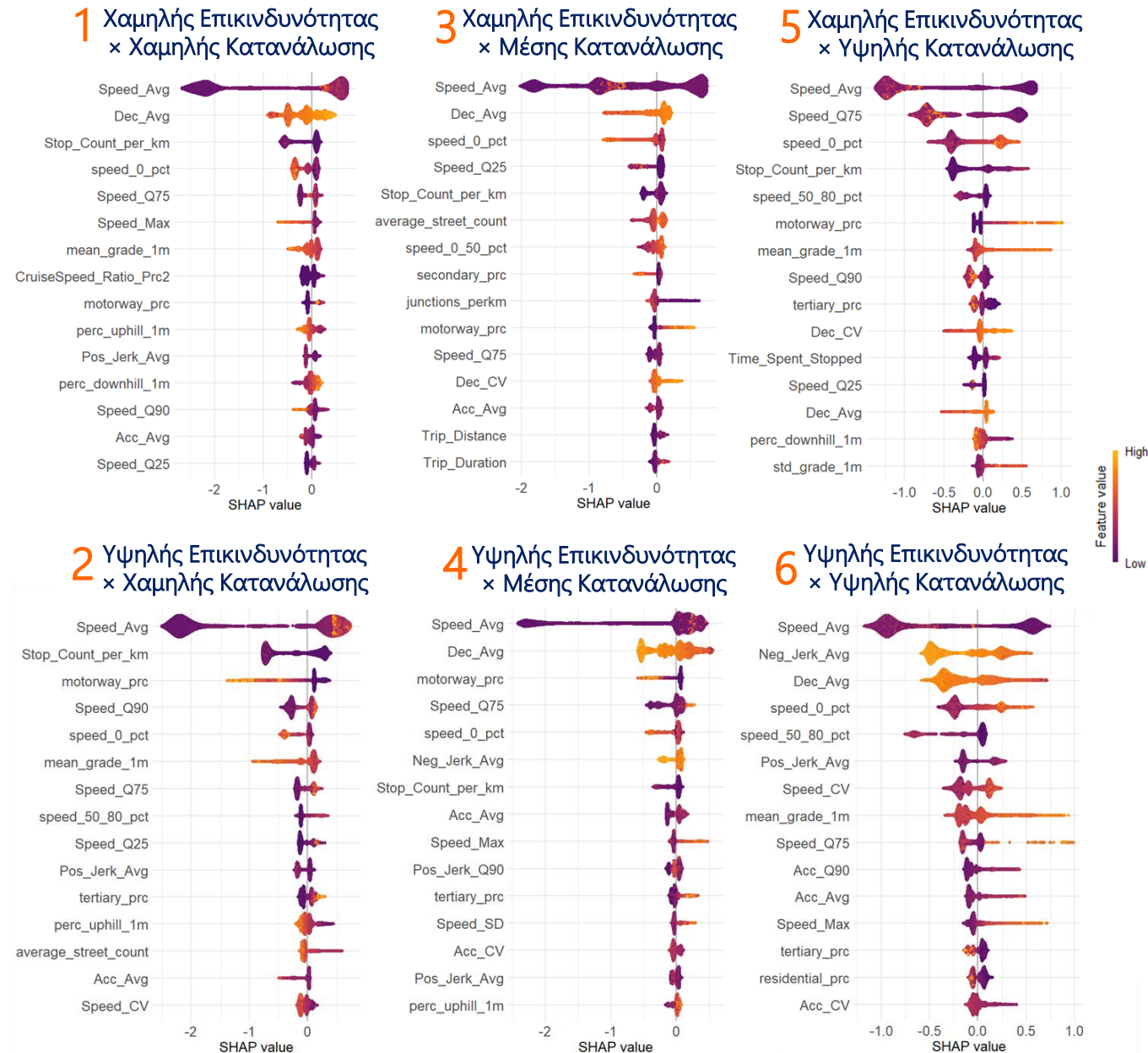
- Τα μοτίβα διαδρομών ασφάλειας και ενεργειακής απόδοσης συνδυάστηκαν σε **12 λεπτομερή μοτίβα βιωσιμότητας**
- Λόγω ανισορροπίας μεγέθους, τα 3 μοτίβα αυξημένης επικινδυνότητας συγχωνεύθηκαν σε ένα «Υψηλής Επικινδυνότητας», **μειώνοντας τα συνολικά μοτίβα βιωσιμότητας σε 6**
- Τα συνδυασμένα μοτίβα διαδρομών αναδεικνύουν **συνέργειες και συμβιβασμούς** μεταξύ οδικής ασφάλειας και αποδοτικότητας

	Λεπτομερή Μοτίβα Βιωσιμότητας Διαδρομών	Αριθμός Διαδρομών	%		Συνδυασμένα Μοτίβα Διαδρομών Βιωσιμότητας	Αριθμός Διαδρομών	%	
1	Χαμηλής Επικινδυνότητας *Χαμηλής Κατανάλωσης	4.847	14,8	➤	1	Χαμηλής Επικινδυνότητας *Χαμηλής Κατανάλωσης	4.847	14,8
2	Υπερβολικής Ταχύτητας *Χαμηλής Κατανάλωσης	2.827	8,6		2	Υψηλής Επικινδυνότητας *Χαμηλής Κατανάλωσης	3.350	10,2
3	Επιθετικής Οδήγησης *Χαμηλής Κατανάλωσης	226	0,7					
4	Απόσπασης Προσοχής *Χαμηλής Κατανάλωσης	297	0,9					
5	Χαμηλής Επικινδυνότητας * Μέσης Κατανάλωσης	10.672	32,5	➤	3	Χαμηλής Επικινδυνότητας *Μέσης Κατανάλωσης	10.672	32,5
6	Υπερβολικής Ταχύτητας *Μέσης Κατανάλωσης	2.624	8,0		4	Υψηλής Επικινδυνότητας *Μέσης Κατανάλωσης	5.722	17,5
7	Επιθετικής Οδήγησης *Μέσης Κατανάλωσης	1.961	6,0					
8	Απόσπασης Προσοχής *Μέσης Κατανάλωσης	1.137	3,5					
9	Χαμηλής Επικινδυνότητας * Υψηλής Κατανάλωσης	5.450	16,6	➤	5	Χαμηλής Επικινδυνότητας *Υψηλής Κατανάλωσης	5.450	16,6
10	Υπερβολικής Ταχύτητας *Υψηλής Κατανάλωσης	388	1,2		6	Υψηλής Επικινδυνότητας *Υψηλής Κατανάλωσης	2.747	8,4
11	Επιθετικής Οδήγησης *Υψηλής Κατανάλωσης	1.562	4,8					
12	Απόσπασης Προσοχής *Υψηλής Κατανάλωσης	797	2,4					

3^ο Στάδιο – Πρόβλεψη

- Αναπτύχθηκαν 4 πολυωνυμικά επιβλεπόμενα μοντέλα ταξινόμησης (XGBoost, Random Forest, Decision Tree και k-NN) με στόχο την πρόβλεψη των 6 μοτίβων βιωσιμότητας
- Οι μεταβλητές πρόβλεψης περιελάμβαναν χαρακτηριστικά οδηγικής συμπεριφοράς, γεωμετρίας οδικού δικτύου, κυκλοφορίας, καιρού και χρονικές μεταβλητές
- Το XGBoost μοντέλο υπερείχε, με ακρίβεια 60%, και το χαμηλότερο ποσοστό ψευδών συναγερμών (8%)
- Η ανάλυση SHAP ανέδειξε ως σημαντικότερους προσδιοριστικούς παράγοντες:
 - τη μέση ταχύτητα,
 - τη συχνότητα στάσεων,
 - τη μέση επιβράδυνση και ρυθμό μεταβολής επιβράδυνσης,
 - και την πολυπλοκότητα της διαδρομής, όπως η κλίση και η έκθεση σε κόμβους και α/δ

Ενώ οι χρονικές και καιρικές συνθήκες δεν αποτέλεσαν σημαντικούς προσδιοριστικούς παράγοντες



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Επίπεδο Διαδρομής

Χωρικό Επίπεδο

1^η **Συνιστώσα**

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8



Ερευνητικό Ερώτημα 3

Πώς μπορούν να συγχωνευθούν δεδομένα πολλαπλών πηγών ώστε να καταστεί δυνατή η ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας σε επίπεδο διαδρομής και σε χωρικό επίπεδο;

Πώς μπορούν να εντοπιστούν και να συσχετιστούν χωρικά μοτίβα περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας και κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο οδικού κόμβου;

Πώς μπορεί να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα της βιώσιμης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής, μέσω της ενσωμάτωσης της οδικής ασφάλειας, της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου διαδρομής, και εν συνεχεία να μεταφραστεί σε βιωσιμότητα του οδικού δικτύου;

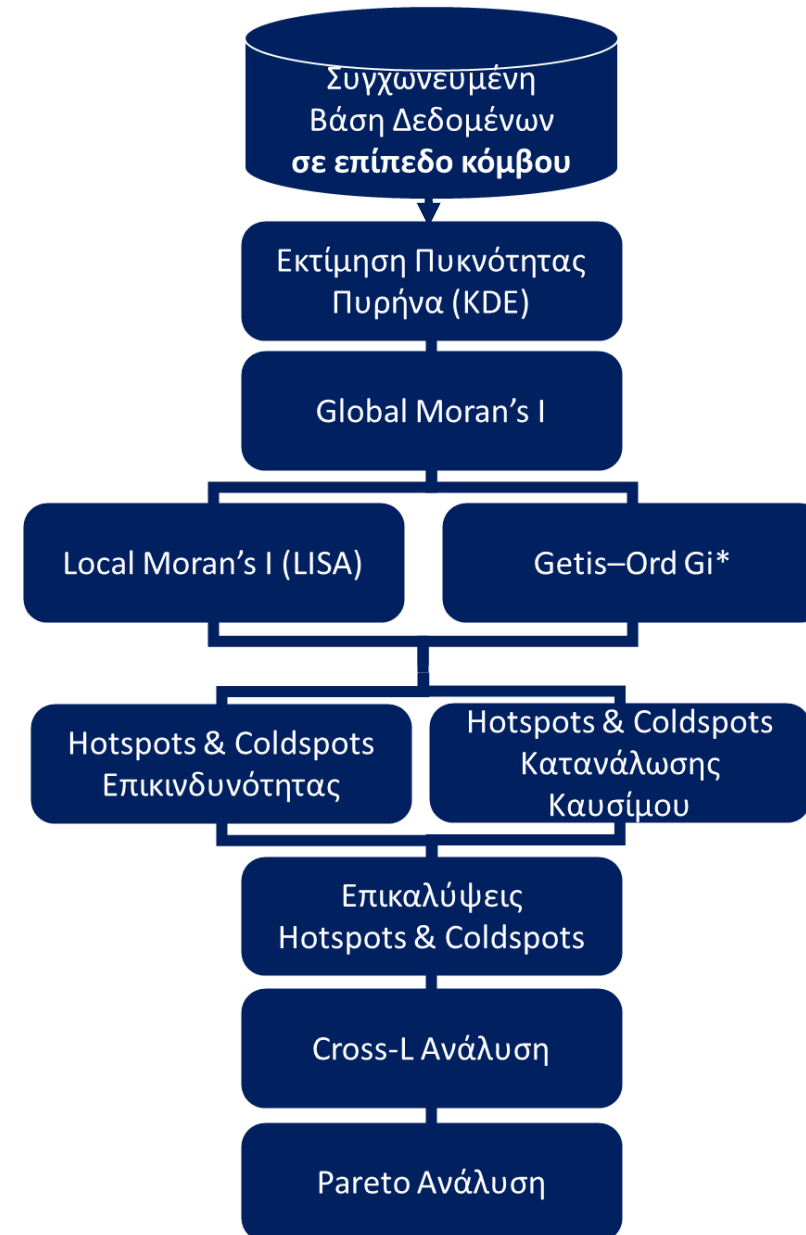


Πώς μπορούν να εντοπιστούν βιώσιμα μοτίβα διαδρομών μέσω της ενσωμάτωσης δεικτών οδικής ασφάλειας, και κατανάλωσης καυσίμου; Είναι εφικτό να προβλεφθούν και να ερμηνευθούν;

Πώς μπορούν να μοντελοποιηθούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής και οδικού τμήματος;

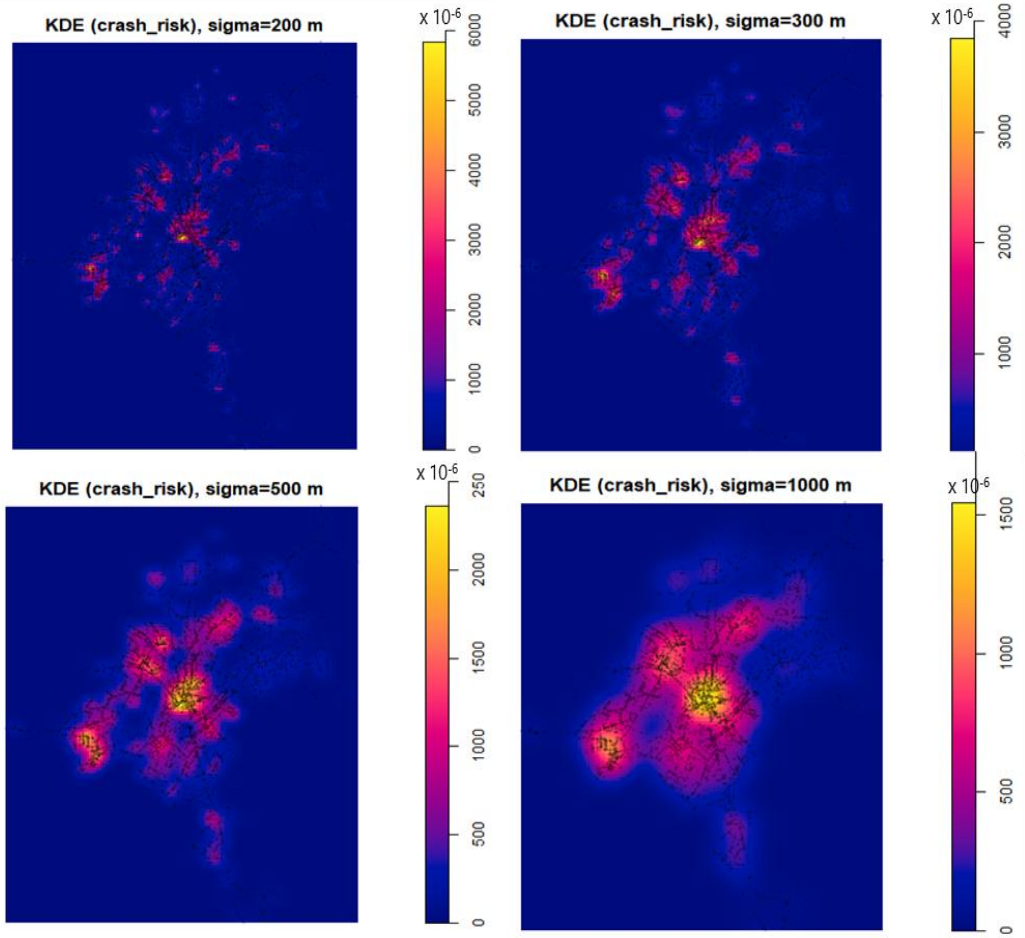
Προσέγγιση Χωρικού Επιπέδου

1. Διερευνητική χωρική ανάλυση μέσω της Εκτίμησης Πυκνότητας Πυρήνα (Kernel Density Estimation - KDE)
2. Αξιολόγηση ολικής χωρικής αυτοσυσχέτισης μέσω του δείκτη Moran's I
3. Εντοπισμός κόμβων υψηλής και χαμηλής επικινδυνότητας και κατανάλωσης μέσω δεικτών τοπικής χωρικής αυτοσυσχέτισης (LISA και Getis-Ord Gi*)
4. Προσδιορισμός χωρικής συσχέτισης κόμβων υψηλής επικινδυνότητας και κατανάλωσης μέσω ανάλυση διασταυρούμενης L-συνάρτησης (Cross-L)
5. Εντοπισμός κόμβων που παρουσιάζουν τους βέλτιστους συμβιβασμούς μέσω του συνόρου Pareto (Pareto frontier)



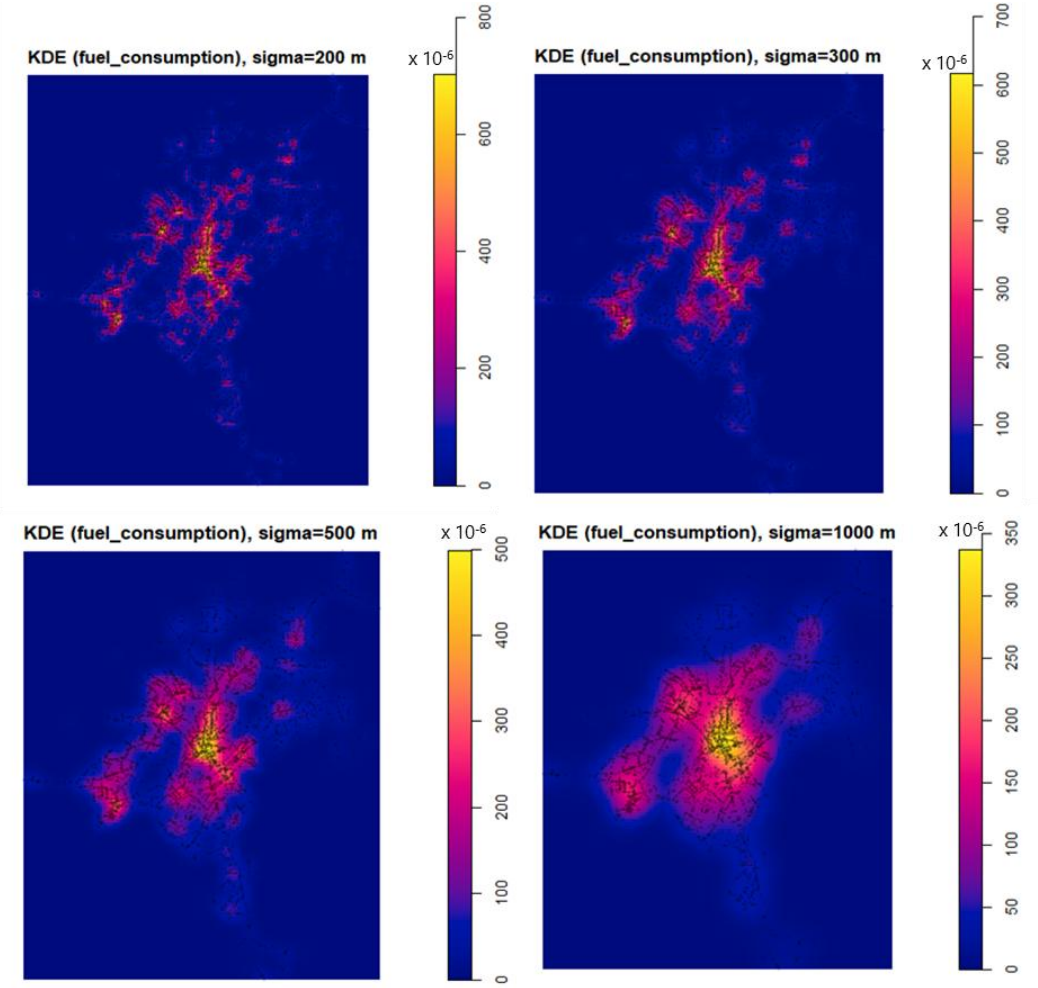
Εκτίμηση Πυκνότητας Πυρήνα (KDE)

➤ Δείκτης: αριθμός ατυχημάτων ανά 1.000 διαδρομές



Ασφαλής Κινητικότητα
Πράσινη Κινητικότητα

➤ Δείκτης: συνολική κατανάλωση καυσίμου (λίτρα) ανά 1.000 διαδρομές



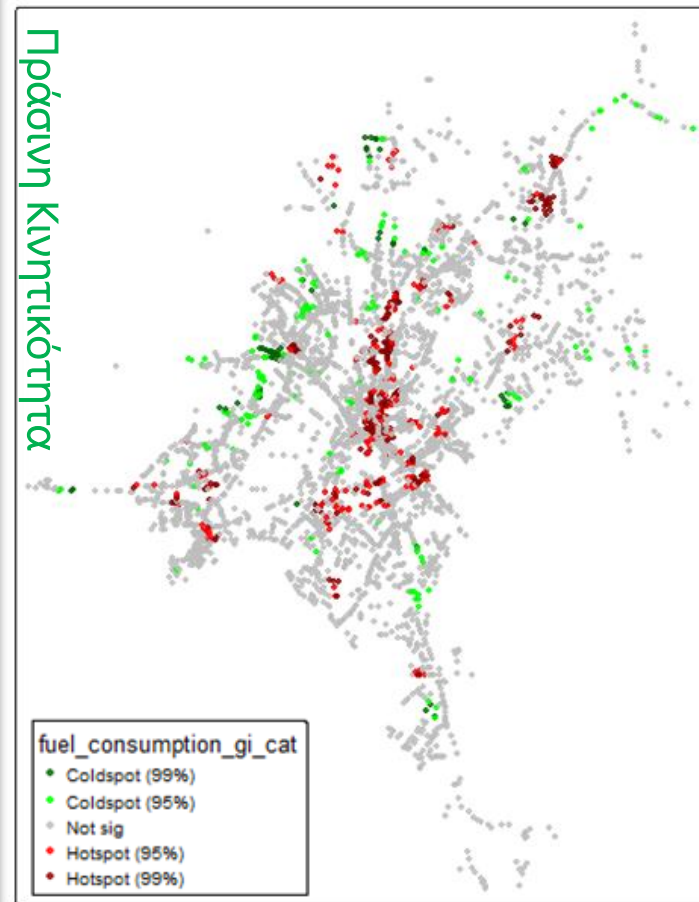
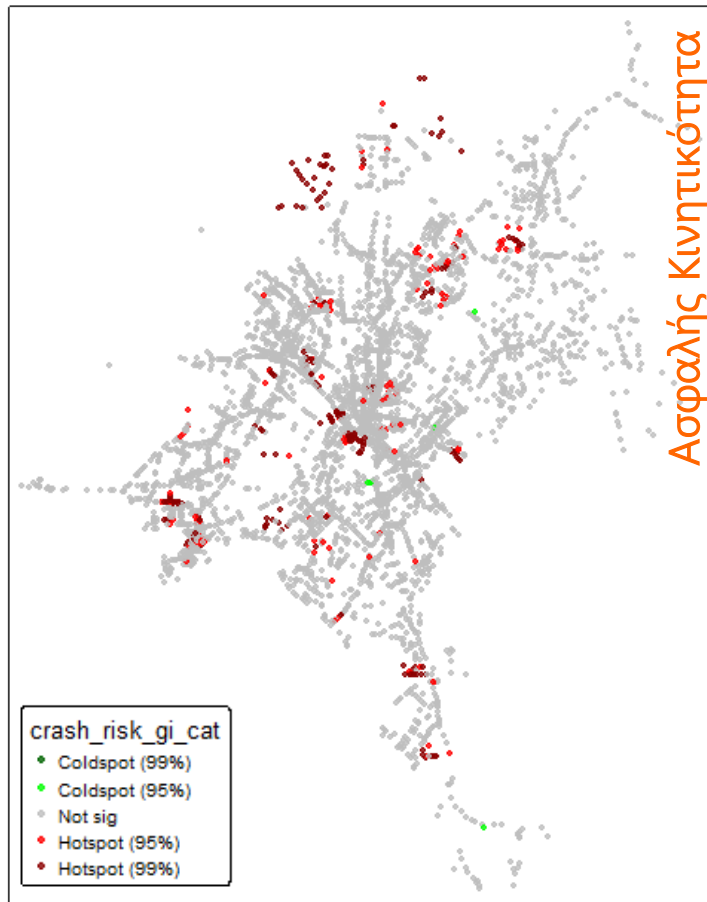
Ολική Χωρική Αυτοσυσχέτιση

- Η ολική χωρική αυτοσυσχέτιση αξιολογήθηκε με χρήση του δείκτη Moran's I
- Στόχος ήταν ο έλεγχος της ύπαρξης στατιστικά σημαντικής χωρικής ομαδοποίησης στην επικινδυνότητα και την κατανάλωση καυσίμου για ένα ευρύ φάσμα μεγεθών γειτονιάς
- Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν συνεπή παρουσία ολικής χωρικής ομαδοποίησης
- Η επιλογή των 8 πλησιέστερων γειτόνων για κάθε κόμβο θεωρείται ότι αποτυπώνει μια αντιπροσωπευτική χωρική κλίμακα

Μέγεθος Γειτονιάς (k)	Επικινδυνότητα (ατυχήματα/1.000 διαδρομές)		Κατανάλωση Καυσίμου (λίτρα/1.000 διαδρομές)		Διάμεση απόσταση έως τον k-οστό πλησιέστερο κόμβο (μέτρα)
	Moran's I	Moran's I p-value	Moran's I	Moran's I p-value	
1	0.279	0.000	0.343	0.000	88
5	0.189	0.000	0.194	0.000	247
8	0.157	0.000	0.162	0.000	331
10	0.137	0.000	0.148	0.000	378
15	0.110	0.000	0.131	0.000	479
20	0.093	0.000	0.115	0.000	563
25	0.082	0.000	0.104	0.000	636
50	0.059	0.000	0.080	0.000	931
70	0.048	0.000	0.069	0.000	1,106
100	0.039	0.000	0.063	0.000	1,332

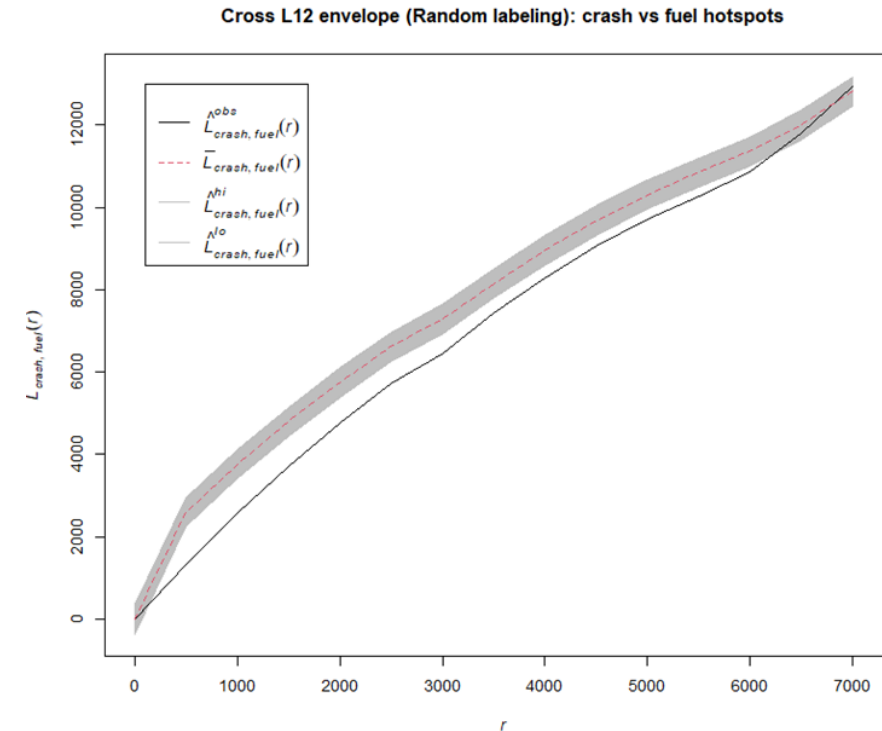
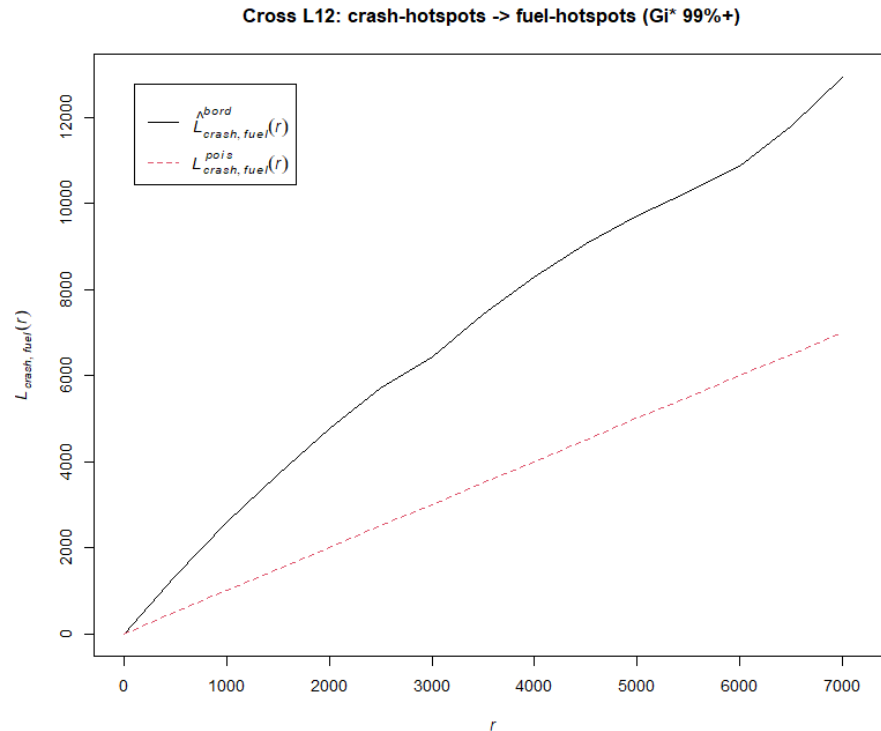
Τοπική Χωρική Αυτοσυσχέτιση

- Μέσω του δείκτη G_i^* εντοπίστηκαν 182 hotspots επικινδυνότητας ($G_i^* > +2.58$) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% και 305 σε επίπεδο 95% ($G_i^* > +1.96$)
- Τα coldspots επικινδυνότητας είναι περιορισμένα και στα δύο επίπεδα εμπιστοσύνης



- Μέσω του δείκτη G_i^* εντοπίστηκαν 232 hotspots κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% και 465 σε επίπεδο 95%
- Τα coldspots κατανάλωσης είναι εμφανίζονται πιο συχνά, με 56 σε επίπεδο 99% και 222 σε επίπεδο 95%

- Η κατανάλωση καυσίμου αποτυπώνει συνεχές φαινόμενο, ενώ τα ατυχήματα είναι σπάνια και χωρικά εντοπισμένα
- Η άμεση επικάλυψη μεταξύ των δύο τύπων hotspots είναι περιορισμένη (0,3-1,2%)



- Διασταυρούμενη συνάρτηση L_{12} για τη διερεύνηση της χωρικής συσχέτισης μεταξύ hotspots κατανάλωσης & επικινδυνότητας
- Ευρύτερη κλίμακα: Και οι δύο τύποι συγκεντρώνονται στις ίδιες ευρύτερες περιοχές
- 0–3 χλμ: Παρατηρείται στατιστικά σημαντικός χωρικός διαχωρισμός
- >6 χλμ: Δεν ανιχνεύεται στατιστικά σημαντική χωρική σχέση
- Οι δύο τύποι των hotspots συγκεντρώνονται στις ίδιες αστικές περιοχές, αλλά διαχωρίζονται χωρικά σε μικρή κλίμακα

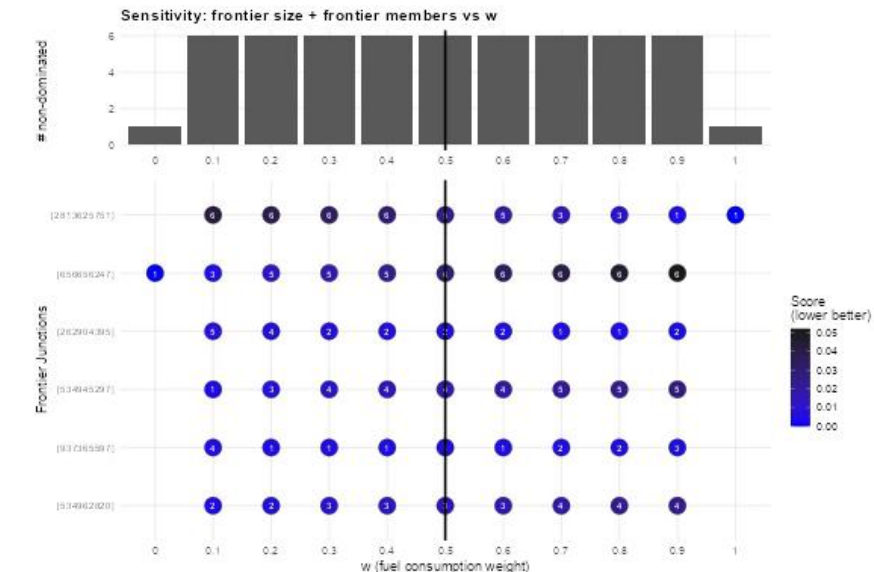
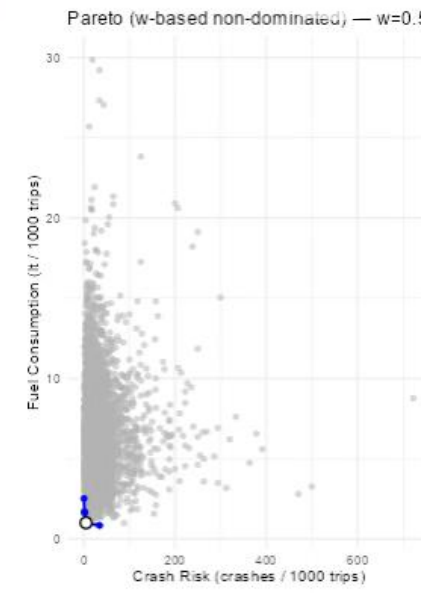
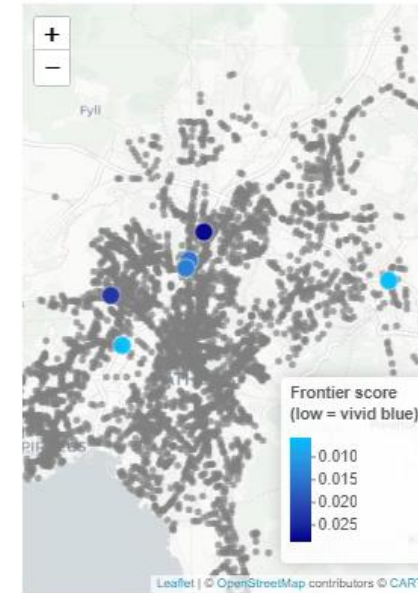
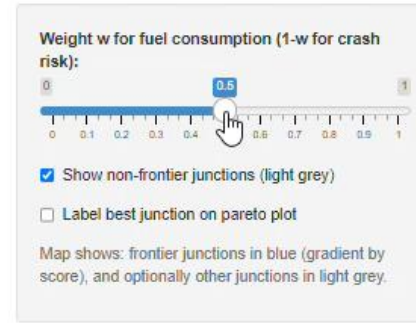
➤ Μέσω του συνόρου (frontier) Pareto αναδείχθηκε ένα σύνολο οδικών κόμβων, που παρουσιάζουν τους βέλτιστους συμβιβασμούς μεταξύ οδικής ασφάλειας και κατανάλωσης καυσίμου

➤ Το **σύνορο Pareto** αποτελείται από τους «μη κυριαρχούμενος» κόμβους, στους οποίους η βελτίωση (μείωση) του ενός στόχου συνεπάγεται επιδείνωση (αύξηση) του άλλου

➤ **Ανάλυση Ευαισθησίας:**

Υπολογίζεται δείκτης, για τον εντοπισμό των κόμβων με τους βέλτιστους συμβιβασμούς, ανάλογα με τις προτεραιότητες της εκάστοτε πολιτικής

$$\text{Score} = w \cdot \text{Fuel}_{norm} + (1 - w) \cdot \text{Crash_Risk}_{norm}$$



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Επίπεδο Διαδρομής

Χωρικό Επίπεδο

2^η Συνιστώσα

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8

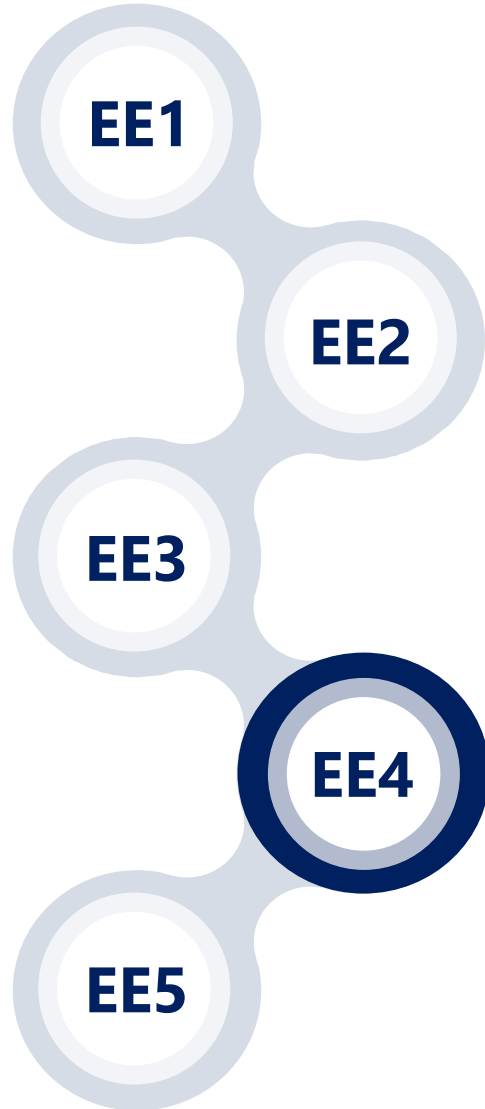


Ερευνητικό Ερώτημα 4

Πώς μπορούν να συγχωνευθούν δεδομένα πολλαπλών πηγών ώστε να καταστεί δυνατή η ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας σε επίπεδο διαδρομής και σε χωρικό επίπεδο;

Πώς μπορούν να εντοπιστούν και να συσχετιστούν χωρικά μοτίβα περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας και κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο οδικού κόμβου;

Πώς μπορεί να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα της βιώσιμης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής, μέσω της ενσωμάτωσης της οδικής ασφάλειας, της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου διαδρομής, και εν συνεχεία να μεταφραστεί σε βιωσιμότητα του οδικού δικτύου;



Πώς μπορούν να εντοπιστούν βιώσιμα μοτίβα διαδρομών μέσω της ενσωμάτωσης δεικτών οδικής ασφάλειας, και κατανάλωσης καυσίμου; Είναι εφικτό να προβλεφθούν και να ερμηνευθούν;

Πώς μπορούν να μοντελοποιηθούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής και οδικού τμήματος;

➤ Εφαρμογή Μοντέλου Δομικών Εξισώσεων (SEM) σε 33.000 διαδρομές

➤ Δομήθηκαν 5 λανθάνουσες μεταβλητές

➤ Ενδογενείς Μεταβλητές

- Κατανάλωση καυσίμου (λίτρα/100 χλμ)
- Δείκτες οδικής ασφάλειας:
 - ➔ Συχνότητα υπέρβασης ορίου ταχύτητας (ανά 100 μ)
 - ➔ Συχνότητα χρήσης κινητού τηλεφώνου (ανά 100 μ)
 - ➔ Συχνότητα απότομων συμβάντων (ανά 10 χλμ)

➤ Οι δείκτες καλής προσαρμογής καταδεικνύουν **εξαιρετική επίδοση του μοντέλου** (CFI = 0.947, TLI = 0.922, RMSEA = 0.060, SRMR = 0.037)

	SEM Components	Parameters	Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)
Latent Variables	Driving_Volatility	stop_count_per_km	1.000	-	-	-
		speed_0_pct	0.099	0.001	195.037	0.000
		cruise_speed_pct	-0.418	0.009	-44.620	0.000
	Road_Network	pct_primary	1.000	-	-	-
		pct_residential	-2.207	0.060	-36.840	0.000
		inzone	-2.633	0.074	-35.463	0.000
	Road_Geometry	pct_grade_flat_1m_sc	1.000	-	-	-
		pct_grade_hard_1m_sc	-1.387	0.013	-109.803	0.000
		std_grade_1m_sc	-0.738	0.004	-164.035	0.000
	Exogenous_Conditions	is_day	1.000	-	-	-
		temperature_2m_sc	2.191	0.028	79.289	0.000
		relative_humidity_2m_pct_sc	-0.868	0.012	-75.455	0.000
	Harsh_events_per_10km	Harsh_Acc_per_10km	1.000	-	-	-
		Harsh_Brk_per_10km	0.931	0.024	38.616	0.000
	Regressions	Fuel_lit_per100km	Intercept	8.923	0.017	540.384
Driving_Volatility			2.326	0.012	199.519	0.000
Road_Network			-3.252	0.201	-16.140	0.000
Road_Geometry			-1.278	0.061	-20.994	0.000
Speeding_per_100m		Exogenous_Conditions	-0.289	0.043	-6.774	0.000
		Intercept	0.500	0.004	139.362	0.000
		Driving_Volatility	-0.201	0.004	-51.232	0.000
		Road_Network	0.615	0.082	7.457	0.000
MobileUsage_per_100m		Road_Geometry	-0.021	0.027	-0.798	0.425
		Exogenous_Conditions	-0.077	0.019	-4.077	0.000
		Intercept	0.801	0.011	74.710	0.000
		Driving_Volatility	0.130	0.012	10.541	0.000
Harsh_events_per_100km		Road_Network	-1.818	0.263	-6.914	0.000
		Road_Geometry	-0.258	0.085	-3.023	0.003
		Exogenous_Conditions	0.279	0.060	4.631	0.000
	Driving_Volatility	0.138	0.015	8.926	0.000	
Covariances	speed_0_pct	Road_Network	-0.041	0.001	-33.153	0.000
		Road_Geometry	-0.036	0.001	-32.490	0.000
	Driving_Volatility	Exogenous_Conditions	0.019	0.001	13.087	0.000
		Road_Network	0.004	0.000	30.825	0.000
	Road_Network	Exogenous_Conditions	0.000	0.000	0.641	0.521
		Road_Geometry	0.000	0.000	1.934	0.053
	Road_Geometry	Harsh_events_per_10km	0.512	0.019	26.395	0.000
		Fuel_lit_per100km	0.206	0.008	24.454	0.000
		Speeding_per_100m	0.017	0.026	0.671	0.502
	Harsh_events_per_100km	Fuel_lit_per100km	0.141	0.005	30.183	0.000
Speeding_per_100m		0.048	0.015	3.307	0.001	
Fuel_lit_per100km	MobileUsage_per_100m	-0.053	0.006	-8.223	0.000	
	Speeding_per_100m	MobileUsage_per_100m	-0.053	0.006	-8.223	0.000



Παλινδρομήσεις

Μεταβλητότητα Οδήγησης

- ↑ στάσεις, ↓ συνεχής ροή κίνησης (cruising)
- ↑ κατανάλωση, ↑ επιθετική οδήγηση, ↑ απόσπαση, ↓ υπέρβαση ορίου

Οδικό Πλαίσιο

- ↑ κύριοι οδικοί άξονες, ↓ τοπικοί άξονες/τοπικές διαδρομές
- ↓ κατανάλωση, ↓ επιθετική οδήγηση, ↓ απόσπαση, ↑ υπέρβαση ορίου

Γεωμετρία Οδού

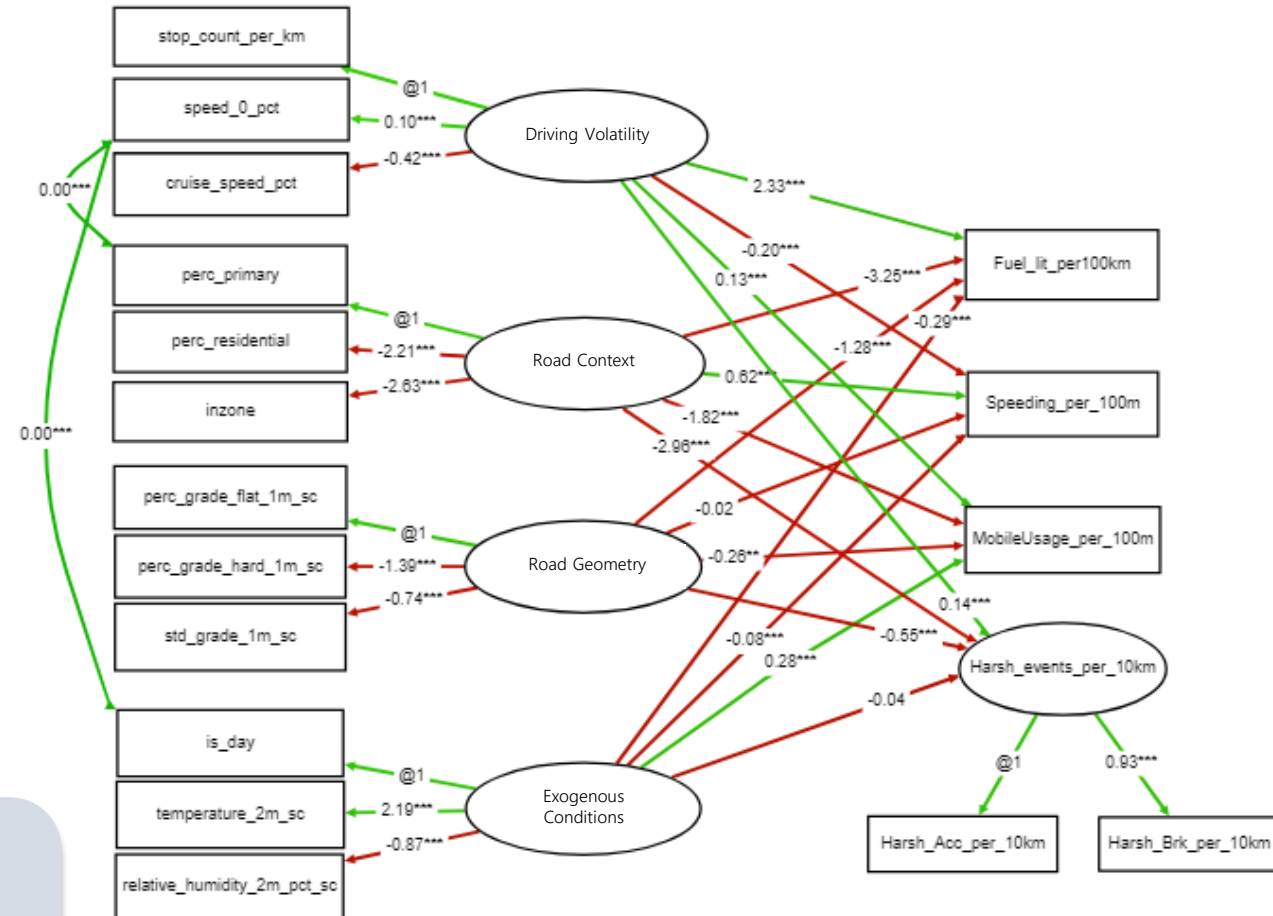
- ↑ επίπεδα οδικά τμήματα, ↓ έντονες & μεταβαλλόμενες κλίσεις
- ↓ κατανάλωση, ↓ επιθετική οδήγηση, ↓ απόσπαση

Εξωγενείς Καιρικές & Χρονικές Συνθήκες

- ↑ φως ημέρας, ↑ θερμοκρασία, ↓ υγρασία
- ↓ κατανάλωση, ↑ απόσπαση, ↓ υπέρβαση ορίου

Συνδιακύμανση

- ↓ κατανάλωση ↔ ↓ επιθετική οδήγηση, ↓ υπέρβαση ορίου, ↓ απόσπαση
- Οι διαδρομές χαμηλής κατανάλωσης τείνουν να είναι και πιο ασφαλείς



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Επίπεδο Διαδρομής

Χωρικό Επίπεδο

2^η Συνιστώσα

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8



Ανάλυση SEM – Χωρικό Επίπεδο

- Εφαρμογή Μοντέλου Δομικών Εξισώσεων (SEM) σε ~35.000 οδικά τμήματα
- Δομήθηκαν 5 λανθάνουσες μεταβλητές
- Ενδογενείς Μεταβλητές
 - Κατανάλωση καυσίμου (λίτρα/10 χλμ)
 - Δείκτες οδικής ασφάλειας:
 - ➔ Συχνότητα υπέρβασης ορίου ταχύτητας (ανά 100 μ)
 - ➔ Συχνότητα χρήσης κινητού τηλεφώνου (ανά 100 μ)
 - ➔ Συχνότητα απότομων συμβάντων (ανά χλμ)
- Οι δείκτες καλής προσαρμογής καταδεικνύουν **εξαιρετική επίδοση του μοντέλου** (CFI = 0.947, TLI = 0.923, RMSEA = 0.044, SRMR = 0.036)

	SEM Components	Parameters	Estimate	S.E	z-value	P(> z)
Latent Variables	Driving_Volatility	stops_prc	1.000	-	-	-
		stops_duration_days	0.148	0.002	75.032	0.000
		speed_cv_mps	0.608	0.002	288.99	0.000
	Road_Network	residential_road	1.000	-	-	-
		primary_road	-0.243	0.007	-34.122	0.000
		oneway_num	0.371	0.011	33.496	0.000
	Road_Geometry	street_count_origin_node	1.000	-	-	-
		length_scaled	-2.557	0.098	-25.973	0.000
	Exogenous_Conditions	segment_elevation_100m_1m	-0.934	0.047	-20.069	0.000
		is_day_1	1.000	-	-	-
		weekday_1	-0.101	0.018	-5.725	0.000
		temperature_cat_1	-1.056	0.029	-35.903	0.000
		temperature_cat_3	0.557	0.015	36.839	0.000
	Harsh_events_per_km	ha_per_km	1.000	-	-	-
		hb_per_km	1.965	0.114	17.216	0.000
Regressions	fuel_cons_median_per10km	Intercept	0.746	0.002	410.477	0.000
		Driving_Volatility	0.189	0.008	23.327	0.000
		Road_Network	0.485	0.017	29.236	0.000
		Road_Geometry	0.142	0.027	5.213	0.000
		Exogenous_Conditions	0.055	0.033	1.681	0.093
	speeding_per_100m	Intercept	0.342	0.005	65.546	0.000
		Driving_Volatility	-0.423	0.029	-14.535	0.000
		Road_Network	-0.196	0.042	-4.624	0.000
		Road_Geometry	-1.859	0.122	-15.173	0.000
		Exogenous_Conditions	-0.291	0.118	-2.463	0.014
	mobile_per_100m	Intercept	1.025	0.007	145.191	0.000
		Driving_Volatility	0.353	0.034	10.462	0.000
		Road_Network	0.379	0.046	8.248	0.000
		Road_Geometry	0.969	0.114	8.526	0.000
		Exogenous_Conditions	0.176	0.139	1.269	0.204
	Harsh_events_per_km	Driving_Volatility	0.238	0.013	18.552	0.000
		Road_Network	0.076	0.011	7.008	0.000
		Road_Geometry	-0.109	0.025	-4.371	0.000
Exogenous_Conditions		0.037	0.032	1.183	0.237	
Intercept		0.004	0.000	33.283	0.000	
Covariances	stops_duration_days	primary_road	0.004	0.000	33.283	0.000
		residential_road	-0.004	0.000	-23.075	0.000
		length_scaled	0.023	0.001	31.148	0.000
	is_day_1	weekday_1	0.007	0.000	41.627	0.000
	oneway_num	segment_elevation_100m_1m	-0.086	0.002	-36.301	0.000
	Driving_Volatility	Road_Network	0.008	0.001	13.767	0.000
		Road_Geometry	0.007	0.001	13.373	0.000
		Exogenous_Conditions	-0.001	0.000	-5.551	0.000
		Intercept	-0.001	0.000	-5.551	0.000
	Road_Network	Road_Geometry	0.033	0.001	26.999	0.000
	Road_Network	Exogenous_Conditions	-0.002	0.000	-5.888	0.000
	Road_Geometry	Exogenous_Conditions	-0.002	0.000	-8.882	0.000
	Harsh_events_per_km	fuel_cons_median_per10km	0.003	0.001	5.215	0.000
		mobile_per_100m	-0.001	0.002	-0.581	0.561
		speeding_per_100m	-0.007	0.002	-4.055	0.000
fuel_cons_median_per10km	mobile_per_100m	0.011	0.002	5.019	0.000	
	speeding_per_100m	-0.007	0.002	-3.694	0.000	
	Intercept	-0.014	0.008	-1.728	0.084	

Κύρια Ευρήματα SEM - Χωρικό Επίπεδο

Παλινδρομήσεις

Μεταβλητότητα Οδήγησης

- ↑ στάσεις & μεταβλητότητα ταχύτητας
- ↑ κατανάλωση, ↑ επιθετική οδήγηση, ↑ απόσπαση, ↓ υπέρβαση ορίου

Οδικό Πλαίσιο

- ↑ τοπικές /μίας κατεύθυνσης οδοί, ↓ πρωτεύουσες οδοί
- ↑ κατανάλωση, ↑ επιθετική οδήγηση, ↑ απόσπαση, ↓ υπέρβαση ορίου

Γεωμετρία Οδού

- ↓ μήκος οδικών τμημάτων, ↑ συχνότητα κόμβων, ↓ υψόμετρο
- ↑ κατανάλωση, ↓ επιθετική οδήγηση, ↑ απόσπαση, ↓ υπέρβαση ορίου

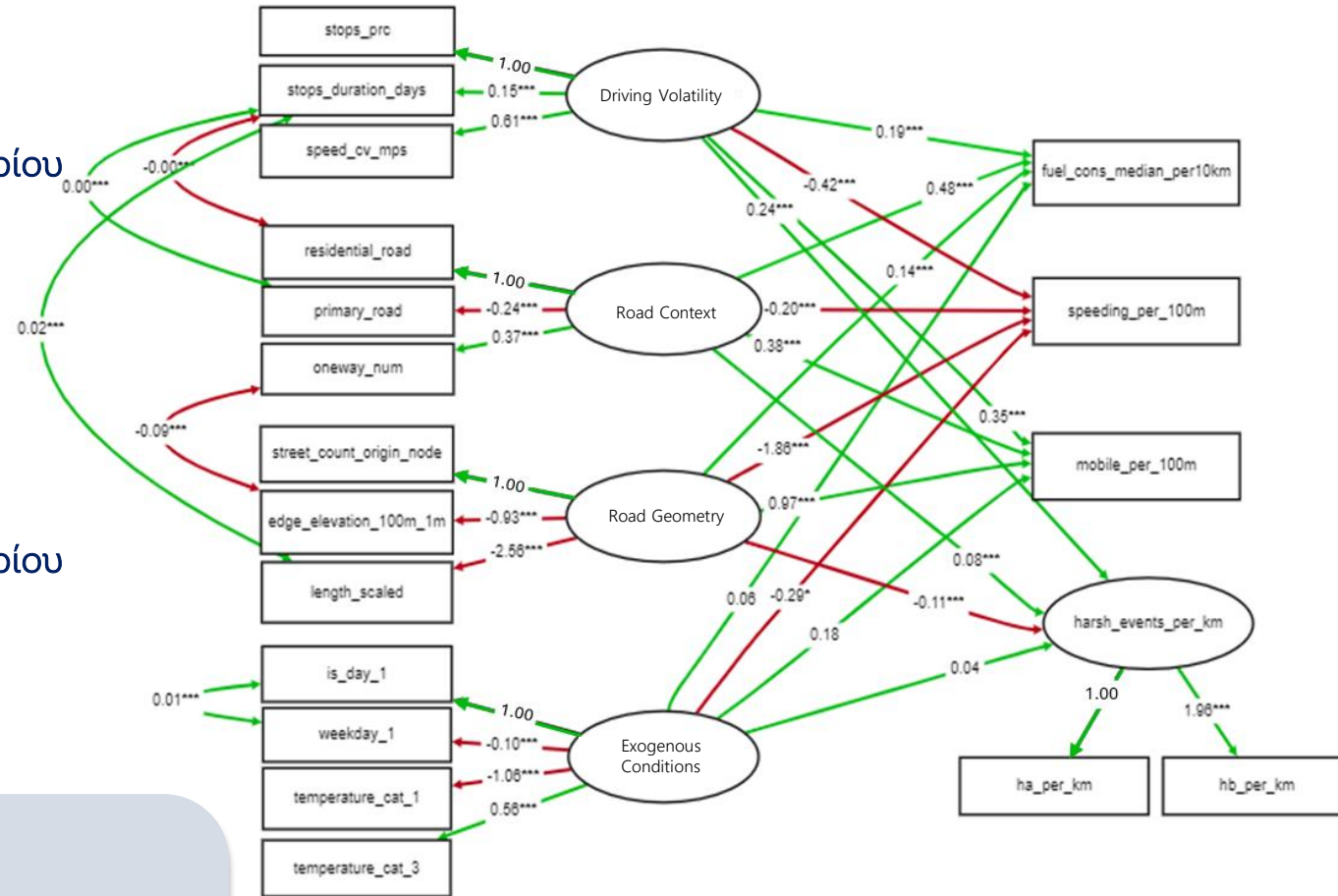
Εξωγενείς Καιρικές & Χρονικές Συνθήκες

- ↑ νυχτερινή περίοδος, ↑ καθημερινές, ↓ θερμοκρασία
- ↑ υπέρβαση ορίου

Συνδιακύμανση

↑ κατανάλωση ↔ ↑ επιθετική οδήγηση, ↑ απόσπαση, ↓ υπέρβαση ορίου

Τα οδικά τμήματα με αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και συχνά απότομα συμβάντα επιτάχυνσης/επιβράδυνσης δεν συμπίπτουν, με εκείνα όπου παρατηρούνται υπερβάσεις ταχύτητας



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

3^η Συνιστώσα

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8

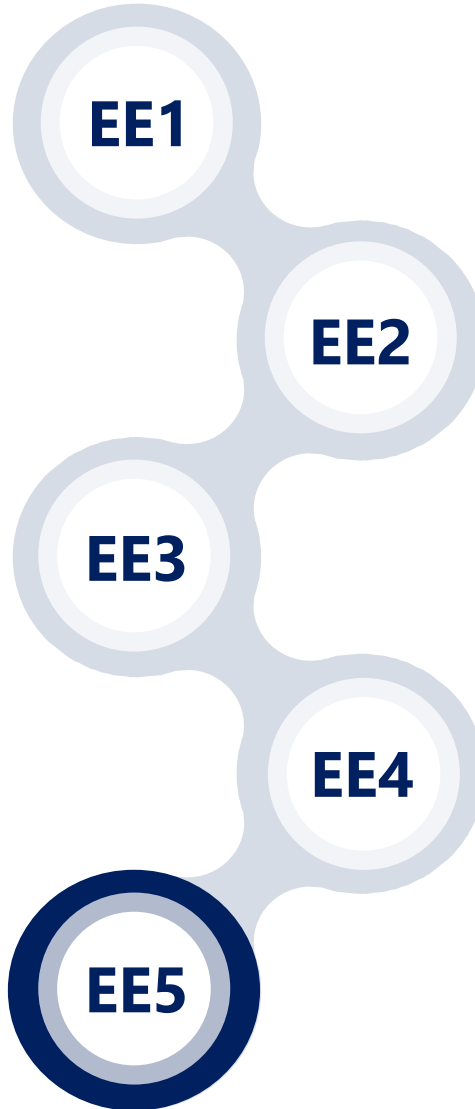


Ερευνητικό Ερώτημα 5

Πώς μπορούν να συγχωνευθούν δεδομένα πολλαπλών πηγών ώστε να καταστεί δυνατή η ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας σε επίπεδο διαδρομής και σε χωρικό επίπεδο;

Πώς μπορούν να εντοπιστούν και να συσχετιστούν χωρικά μοτίβα περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας και κατανάλωσης καυσίμου σε επίπεδο οδικού κόμβου;

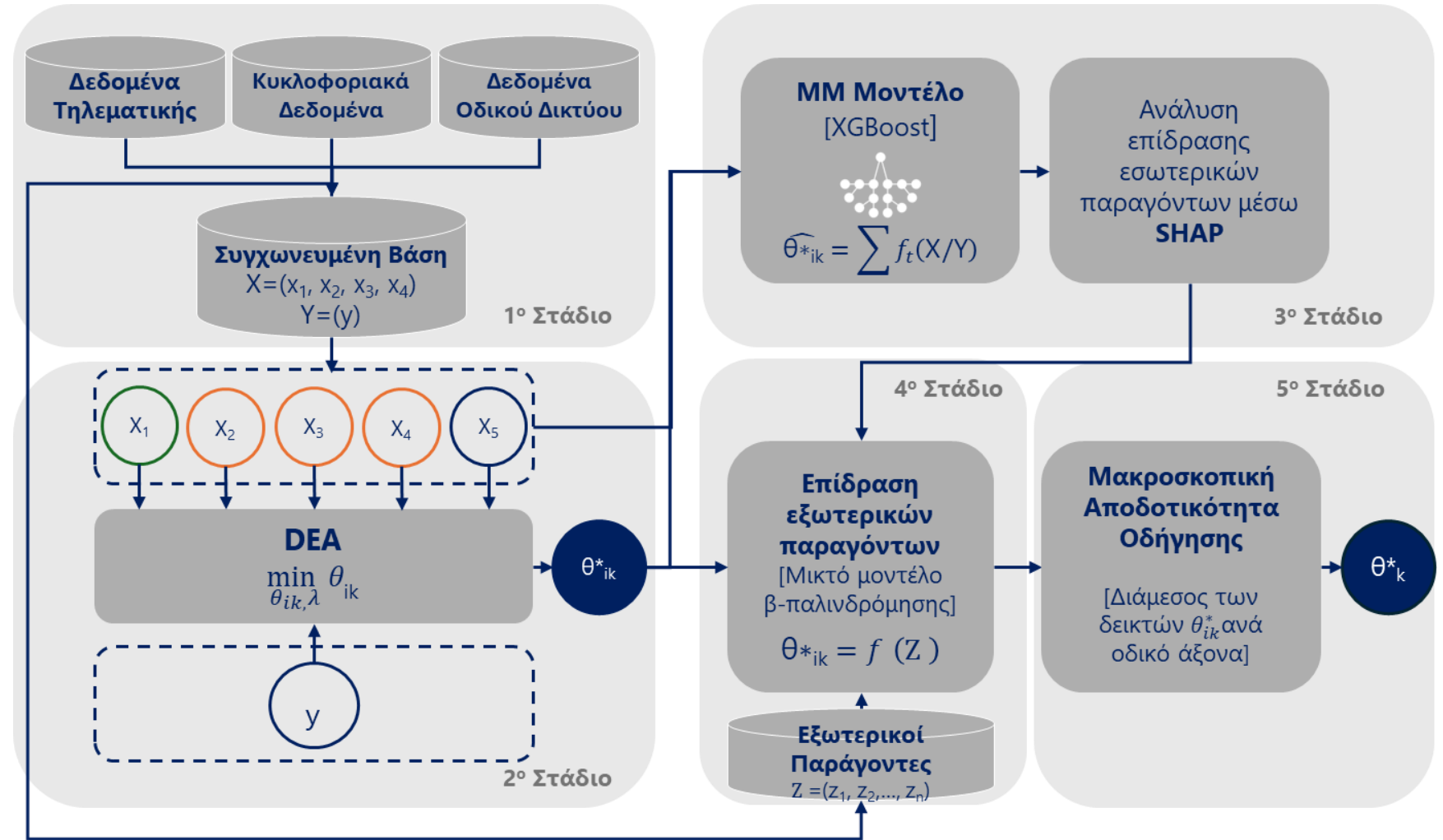
Πώς μπορεί να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα της βιώσιμης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής, μέσω της ενσωμάτωσης της οδικής ασφάλειας, της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου διαδρομής, και εν συνεχεία να μεταφραστεί σε βιωσιμότητα του οδικού δικτύου;



Πώς μπορούν να εντοπιστούν βιώσιμα μοτίβα διαδρομών μέσω της ενσωμάτωσης δεικτών οδικής ασφάλειας, και κατανάλωσης καυσίμου; Είναι εφικτό να προβλεφθούν και να ερμηνευθούν;

Πώς μπορούν να μοντελοποιηθούν συνδυαστικά τα αποτελέσματα ασφαλούς και πράσινης οδήγησης σε επίπεδο διαδρομής και οδικού τμήματος;

- 1^ο Στάδιο
Ενοποίηση δεδομένων
- 2^ο Στάδιο
Εκτίμηση δείκτη αποδοτικότητας διαδρομών μέσω Ανάλυσης Περιβάλλουσας Δεδομένων (DEA)
- 3^ο Στάδιο
Ερμηνεία επίδρασης των εσωτερικών παραγόντων αποδοτικότητας
- 4^ο Στάδιο
Ερμηνεία επίδρασης των εξωτερικών παραγόντων
- 5^ο Στάδιο
Αξιολόγηση βιωσιμότητας οδήγησης σε επίπεδο οδικού δικτύου



Κύρια Ευρήματα DEA

- Ανάπτυξη μοντέλων Ανάλυσης Περιβάλλουσας Δεδομένων (DEA)
 - Μεταβαλλόμενες Αποδόσεις Κλίμακας (Variable Returns to Scale)
 - έμφαση στις εισροές (input-oriented)
- Οι διαδρομές αντιμετωπίζονται ως Μονάδες Λήψης Αποφάσεων (Decision-Making Units - DMUs)
- 3 προδιαγραφές DEA μοντέλων με διαφορετικά σύνολα εισροών για την αποτύπωση εναλλακτικών διαστάσεων βιωσιμότητας
- Ξεχωριστά μοντέλα DEA ανά τύπο οδού για τη διασφάλιση συγκρίσιμων συνθηκών λειτουργίας
- Η ενσωμάτωση δεικτών ασφάλειας, περιβάλλοντος και λειτουργίας (Μοντέλο 3):
 - βελτιώνει τη ικανότητα διάκρισης των δεικτών και
 - αποτυπώνει πιο ολοκληρωμένα τη βιωσιμότητα
- Για να ληφθεί υπόψη η σπανιότητα των ΕΔΑ, εκτιμήθηκε μια πρόσθετη προδιαγραφή μοντέλου (Μοντέλο 3s) συμπεριλαμβάνοντας τις διαδρομές με τουλάχιστον έναν ΕΔΑ

Μοντέλο DEA	Εισροές & Εκροές	
Μοντέλο1_X	Εισροές	fuel_X harsh_acc_X, harsh_brk_X, mobile_usage_X
	Εκροή	trip_distance_X
Μοντέλο2_X	Εισροές	fuel_X harsh_brk_X, mobile_usage_X
	Εκροή	trip_distance_X
Μοντέλο3_X	Εισροές	fuel_X harsh_brk_X, mobile_usage_X trip_duration_X
	Εκροή	trip_distance_X

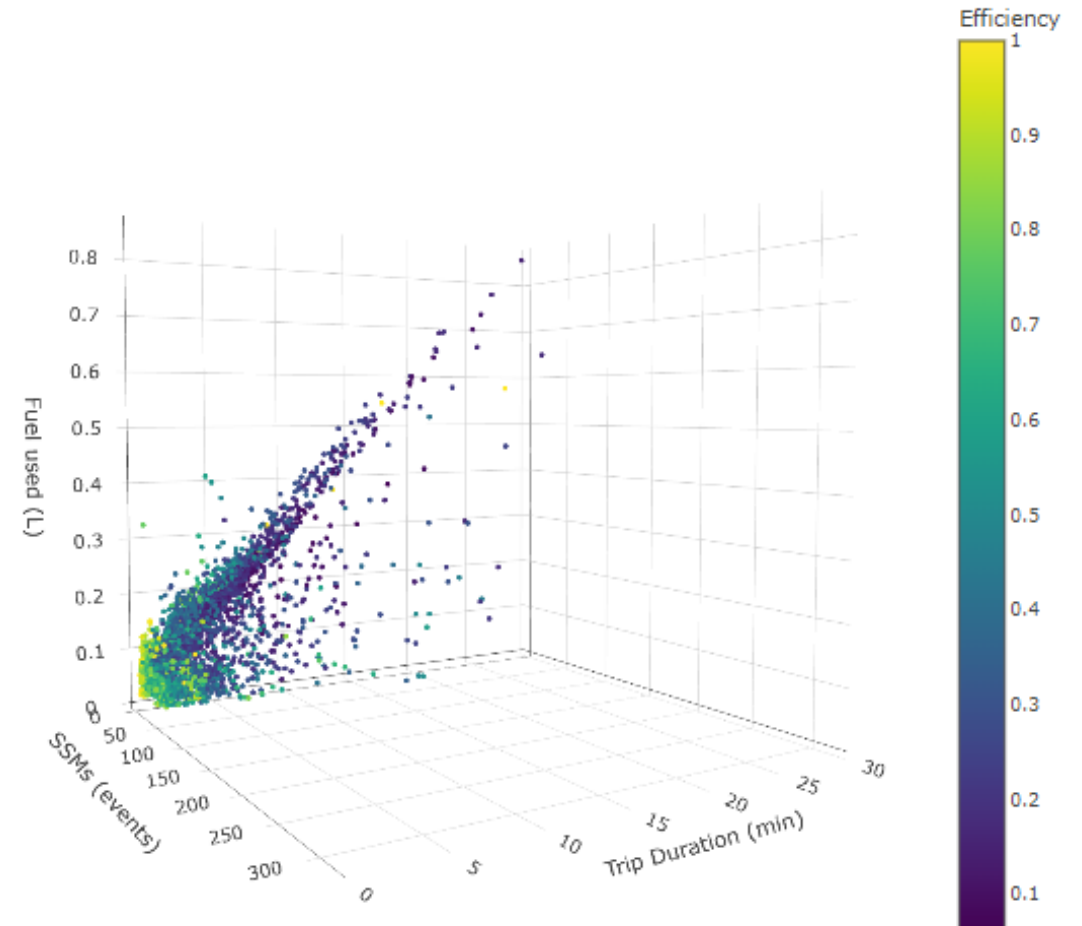
Μοντέλο DEA	Αριθμός Διαδρομών	Δείκτης Αποδοτικότητας	
		std	median
Μοντέλο1_α/δ	1.982	0,189	0,484
Μοντέλο1_κύριες	1.887	0,184	0,549
Μοντέλο1_πρωτεύουσες	4.674	0,180	0,424
Μοντέλο1_σύνολο	8.707	0,191	0,380
Μοντέλο2_α/δ	1.982	0,189	0,484
Μοντέλο2_κύριες	1.887	0,184	0,549
Μοντέλο2_πρωτεύουσες	4.674	0,180	0,424
Μοντέλο2_σύνολο	8.707	0,191	0,380
Μοντέλο3_κύριες	1.886	0,206	0,629
Μοντέλο3_α/δ	1.982	0,209	0,611
Μοντέλο3_πρωτεύουσες	4.695	0,195	0,423
Μοντέλο3_σύνολο	8.762	0,211	0,385
Μοντέλο3s_κύριες	439	0,315	0,567
Μοντέλο3s_α/δ	353	0,263	0,760
Μοντέλο3s_πρωτεύουσες	1.578	0,303	0,629
Μοντέλο3s_σύνολο	2.464	0,260	0,713



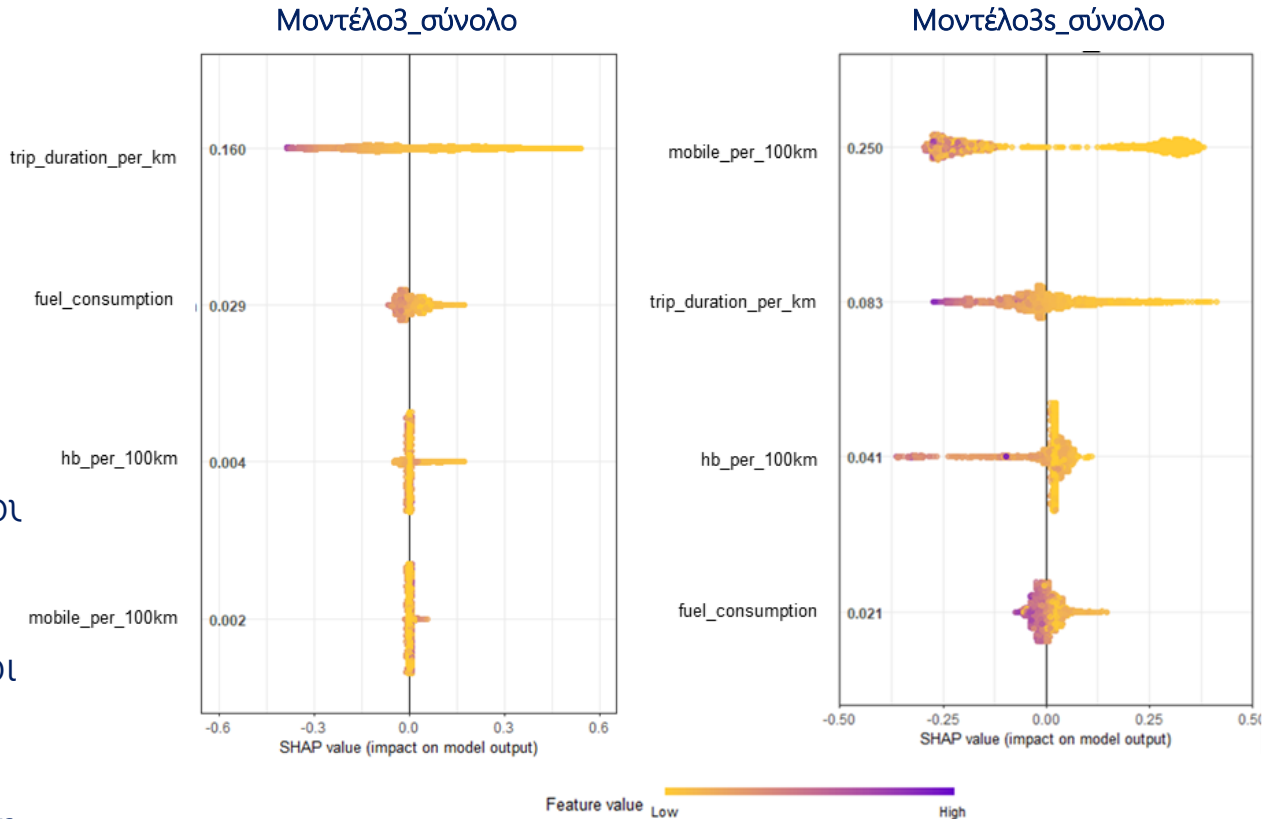
Κύρια Ευρήματα DEA – Μοντέλο 3

DEA Μοντέλο 3	Κατηγορίες Αποδοτικότητας	Απόσταση Διαδρομής (μέτρα)	Κατανάλωση Καυσίμου (λίτρα/100 χλμ)	Χρήση Κινητού ανά 100 χλμ	Απότομες Επιβραδύνσεις ανά 100 χλμ	Χρόνος Διαδρομής (λεπτά/χλμ)	Δείκτης Αποδοτικότητας
Μοντέλο3_πρωτεύουσες	Αποδοτικές (75–100% pctl.)	1.253	5,98	682,67	14,53	1,35	0,72
	Μέτρια (25–75% pctl.)	1.112	6,70	774,06	25,73	2,28	0,43
	Μη αποδοτικές (0–25% pctl.)	1.021	8,45	998,87	25,63	4,92	0,23
Μοντέλο3_κύριες	Αποδοτικές (75–100% pctl.)	1.120	4,93	280,44	5,09	0,85	0,85
	Μέτρια (25–75% pctl.)	1.021	6,25	511,28	12,78	1,36	0,61
	Μη αποδοτικές (0–25% pctl.)	1.181	8,53	1.009,34	22,53	3,58	0,32
Μοντέλο3_α/δ	Αποδοτικές (75–100% pctl.)	1.342	4,46	337,13	0,72	0,73	0,82
	Μέτρια (25–75% pctl.)	1.305	5,20	359,64	4,77	1,00	0,60
	Μη αποδοτικές (0–25% pctl.)	1.160	8,00	636,65	9,66	3,05	0,28
Μοντέλο3_σύνολο	Αποδοτικές (75–100% pctl.)	1.221	4,96	366,17	4,07	0,90	0,73
	Μέτρια (25–75% pctl.)	1.153	7,30	695,03	19,43	1,85	0,40
	Μη αποδοτικές (0–25% pctl.)	1.072	7,74	1.003,74	24,68	4,34	0,19

- Η υψηλότερη αποδοτικότητα οδήγησης συνδέεται με χαμηλότερη κατανάλωση, λιγότερα συμβάντα οδικής ασφάλειας και μικρότερο χρόνο διαδρομής ανά απόσταση



- Τα μοντέλα XGBoost προσεγγίζουν τον δείκτη αποδοτικότητας χρησιμοποιώντας ως μεταβλητές πρόβλεψης τις παραμέτρους εισόδου κανονικοποιημένες ως προς την απόσταση διαδρομής
- Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων υποστηρίζεται μέσω της ανάλυσης SHAP
- Τα Μοντέλα 3 και 3s παρουσιάζουν υψηλότερη ερμηνευτική ικανότητα ($R^2 \approx 0,90-0,91$), υποδηλώνοντας πιο δομημένη ερμηνεία της αποδοτικότητας
- Στο Μοντέλο 3, ο χρόνος διαδρομής αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα, ακολουθούμενος από την κατανάλωση καυσίμου ενώ οι μεταβλητές ασφάλειας έχουν δευτερεύοντα ρόλο
- Στο Μοντέλο 3s, οι δείκτες ασφάλειας καθίστανται κυρίαρχοι προσδιοριστικοί παράγοντες της αποδοτικότητας
- Το Μοντέλο 3 παρέχει την πιο γενικευμένη και ισορροπημένη αποτύπωση της αποδοτικότητας



Επίδραση Εξωτερικών Παραγόντων

- Ανάπτυξη 8 μοντέλων βήτα παλινδρόμησης σταθερών και μικτών επιδράσεων
- Εξαρτημένη μεταβλητή: Δείκτης αποδοτικότητας διαδρομής, με τιμές στο διάστημα 0-1
- Τα μοντέλα τυχαίων σταθερών παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση, αναδεικνύοντας τη σημασία της ετερογένειας σε επίπεδο οδικού άξονα

↓ Συμφόρηση

↓ Φως Ημέρας

↑ Καθημερινές

↑ Λωρίδες οδού

↑ Όρια ταχύτητας

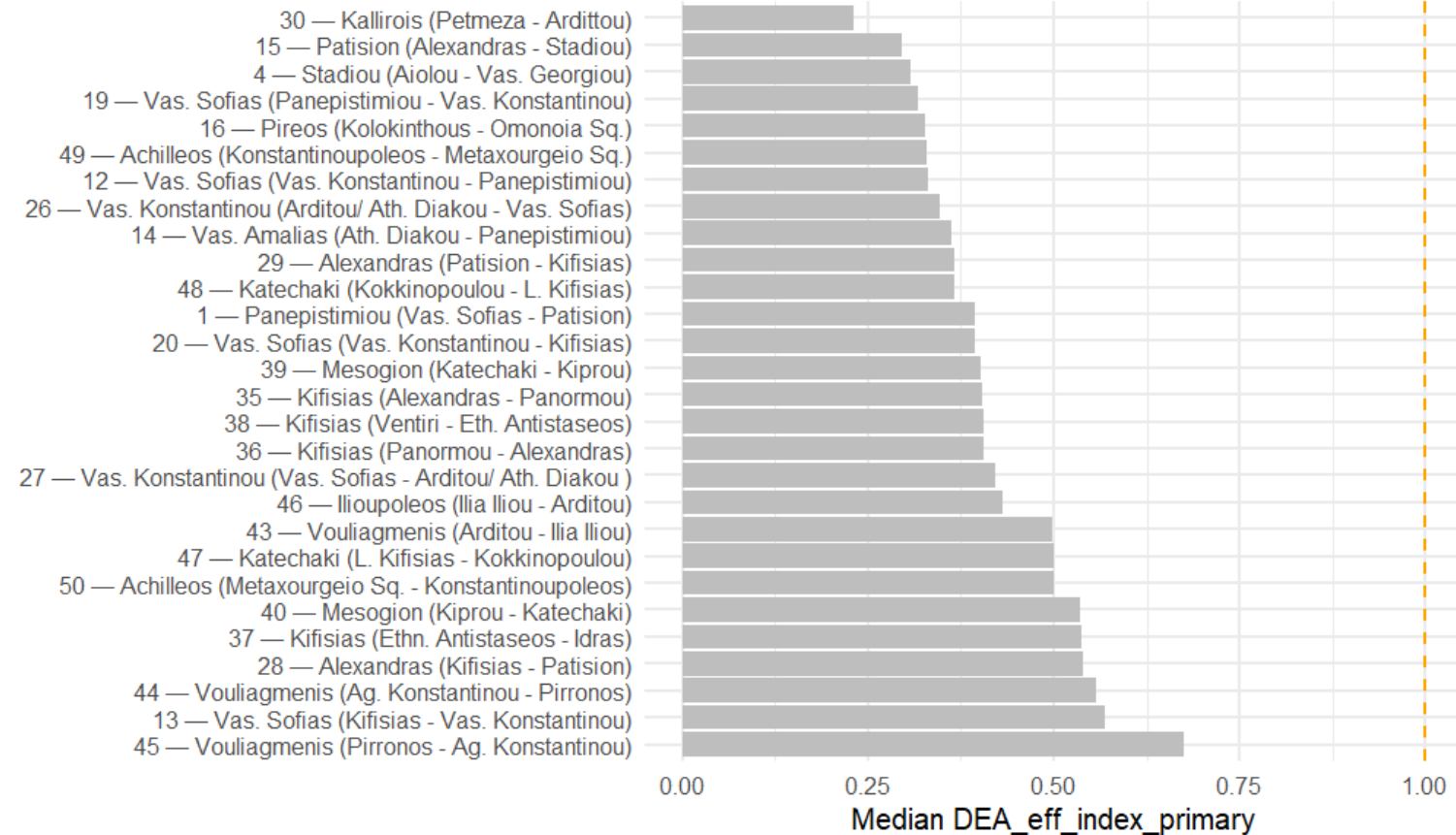
↓ Κλίση οδού



↑ βιωσιμότητα
διαδρομής

Μεταβλητές	Μοντέλο3_σύνολο (Σταθερές Επιδράσεις)	Μοντέλο3_σύνολο (Μικτές Επιδράσεις)	Μοντέλο3_πρωτευ. (Μικτές Επιδράσεις)	Μοντέλο3_κύρια (Μικτές Επιδράσεις)	Μοντέλο3_α/δ (Μικτές Επιδράσεις)
Σταθερά	-2.030 (<0.0001)	-1.642 (0.000)	0.091 (0.856)	-2.469 (0.000)	0.195 (0.551)
Δείκτης Συμφόρησης	-1.882 (<0.0001)	-2.068 (<0.0001)	-1.915 (<0.0001)	-1.928 (<0.0001)	-2.921 (<0.0001)
Φως Ημέρας	-0.165 (0.000)	-0.146 (0.000)	-0.076 (0.166)	-0.074 (0.284)	-0.189 (0.040)
Καθημερινή (αναφορά: ΣΚ)	-0.042 (0.020)	-0.061 (0.000)	-0.079 (0.005)	0.083 (0.033)	-0.085 (0.050)
Λωρίδες Οδού	0.057 (0.000)	0.158 (0.038)	-0.097 (0.463)	0.367 (0.001)	0.428 (0.000)
Όριο Ταχύτητας	0.037 (<0.0001)	0.026 (0.000)	0.0142 (0.011)	0.033 (0.000)	-
Κλίση Οδού	-0.064 (<0.0001)	-0.060 (0.097)	-0.073 (0.047)	0.218 (0.000)	-0.296 (0.007)
Ετερογένεια Οδών:	-	0.096	0.082	0.019	0.049
AIC:	-8,921	-10,475	-3,430	-2,151	-2,072
BIC:	-8,865	-10,411	-3,372	-2,101	-2,027
Conditional R ² :	-	0.801	0.664	0.886	0.899
Marginal R ² :	-	0.643	0.461	0.857	0.831

- Οι δείκτες αποδοτικότητας των διαδρομών που διέρχονται από κάθε οδικό άξονα χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό του επιπέδου βιωσιμότητάς του άξονα
- Η αξιολόγηση βιωσιμότητας πραγματοποιείται **ανά κατηγορία οδού**, διασφαλίζοντας συγκρίσιμες κατατάξεις των οδικών αξόνων
- Αποτελεί ένα πρακτικό εργαλείο για την ιεράρχηση παρεμβάσεων σε χωρικό επίπεδο, με στόχο την προώθηση της βιώσιμης κινητικότητας



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8



Κύρια Ευρήματα-1^η Συνιστώσα

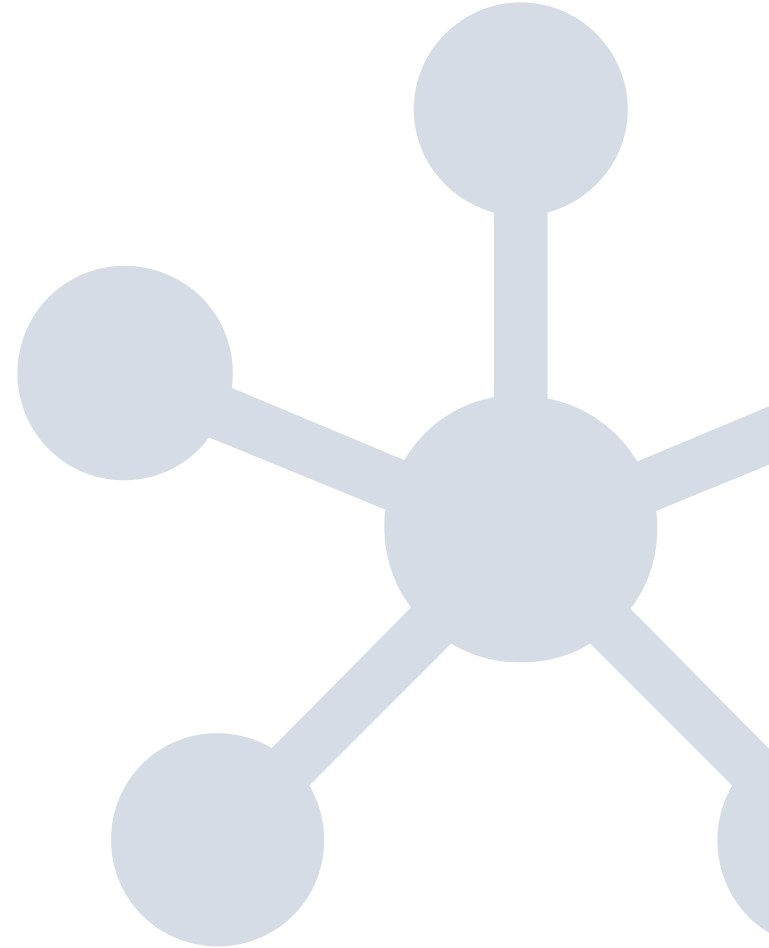
Τα εντοπισμένα μοτίβα **ασφαλούς** & **πράσινης** κινητικότητας δεν συνιστούν ανεξάρτητες διαστάσεις, αλλά χαρακτηρίζονται από σημαντικές και δυναμικές αλληλεπιδράσεις

Επίπεδο Διαδρομής

- Εντοπίζονται **έξι μοτίβα βιωσιμότητας διαδρομών** μέσω του συνδυασμού δεικτών οδικής ασφάλειας και κατανάλωσης καυσίμου
- Αναδεικνύονται **δομημένες συνέργειες** (Χαμηλής Επικινδυνότητας × Χαμηλής Κατανάλωσης) και **συμβιβασμούς** (Υψηλής Επικινδυνότητας × Χαμηλής Κατανάλωσης)
- Τα μοτίβα προβλέπονται με ικανοποιητική ακρίβεια, **με κυρίαρχους προσδιοριστικούς παράγοντες** τους δείκτες οδηγικής συμπεριφοράς και την πολυπλοκότητα του οδικού περιβάλλοντος

Χωρικό Επίπεδο

- Εντοπίζονται **182 κόμβοι υψηλής επικινδυνότητας** και **232 υψηλής κατανάλωσης (hotspots)**, παρουσιάζοντας περιορισμένη χωρική επικάλυψη μεταξύ τους
- **Οι δύο τύποι hotspots εμφανίζουν σημαντική θετική χωρική συσχέτιση** εντός ευρύτερων αστικών περιοχών, καταδεικνύοντας ωστόσο σημαντικό χωρικό διαχωρισμό σε μικρές αποστάσεις
- Εντοπίζεται ένα **σύνολο κόμβων που παρουσιάζουν τους βέλτιστους συμβιβασμούς** μεταξύ ασφαλούς και πράσινης κινητικότητας



Κύρια Ευρήματα-2^η Συνιστώσα

Τα αποτελέσματα **ασφαλούς** & **πράσινης** οδήγησης μοντελοποιούνται συνδυαστικά μέσω Μοντέλων Δομικών Εξισώσεων, αναδεικνύοντας κοινούς μηχανισμούς που τα επηρεάζουν κατά βάση προς την ίδια κατεύθυνση και στα δύο σε επίπεδα ανάλυσης

Επίπεδο Διαδρομής

- Η υψηλή κατανάλωση καυσίμου συνυπάρχει με την επιθετική και υπό απόσπαση οδήγηση, παρουσιάζοντας κοινούς υποκείμενους μηχανισμούς
- Η υπέρβαση ορίου ταχύτητας παρουσιάζει εν μέρει διαφοροποιημένους μηχανισμούς, ωστόσο εξακολουθεί να συνυπάρχει με την υψηλή κατανάλωση καυσίμου
- Συνολικά, οι διαδρομές χαμηλής κατανάλωσης **τείνουν να είναι και πιο ασφαλείς**

Χωρικό Επίπεδο

- Τα οδικά τμήματα υψηλής κατανάλωσης καυσίμου συνδέονται με αυξημένα επίπεδα επιθετικής οδήγησης και χρήσης κινητού τηλεφώνου
- Τα τοπικά γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού **περιορίζουν τη συνύπαρξη χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου και υψηλής οδικής ασφάλειας**, καθώς η συχνή υπέρβαση των ορίων ταχύτητας λειτουργεί ως βασικός παράγοντας συμβιβασμού



Κύρια Ευρήματα-3^η Συνιστώσα

Η αποδοτικότητα βιώσιμης οδήγησης μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ως ένα ολοκληρωμένο δείκτη, επιτρέποντας την αξιολόγηση από το επίπεδο διαδρομής έως το επίπεδο οδικού δικτύου

- Η Ανάλυση Περιβάλλουσας Δεδομένων επιτρέπει την **ολοκληρωμένη ενσωμάτωση** της ασφάλειας, του περιβάλλοντος και της οικονομίας σε έναν δείκτη αποδοτικότητας αντικατοπτρίζοντας ολοκληρωμένα τη βιώσιμη οδήγηση
- Ο χρόνος διαδρομής αναδεικνύεται ως ο **σημαντικότερος εσωτερικός προσδιοριστικός παράγοντας** του δείκτη βιώσιμης οδήγησης, ακολουθούμενος από την κατανάλωση καυσίμου, ενώ οι δείκτες ασφάλειας λειτουργούν κυρίως ως περιοριστικοί παράγοντες
- Όταν καταγράφονται **συμβάντα υψηλής επικινδυνότητας**, αυτομάτως αναδεικνύονται σε κυρίαρχους προσδιοριστικούς εσωτερικούς παράγοντες της βιώσιμης οδήγησης
- Η **κυκλοφοριακή συμφόρηση** αναδεικνύεται ως ο σημαντικότερος εξωγενής προσδιοριστικός παράγοντας, επηρεάζοντας αρνητικά και συστηματικά τη βιωσιμότητα
- Η αναγωγή των δεικτών βιώσιμης οδήγησης από το επίπεδο διαδρομής στο επίπεδο οδικού άξονα επιτρέπει την **αξιολόγηση της βιώσιμης κινητικότητας σε μακροσκοπικό επίπεδο οδικού δικτύου**



Ερευνητικά Κίνητρα

1

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση & Ερευνητικά Ερωτήματα

2

Μεθοδολογική Προσέγγιση & Συλλογή Δεδομένων

3

Εντοπισμός Μοτίβων Ασφαλούς & Πράσινης Κινητικότητας

4

Συνδυαστική Μοντελοποίηση Ασφαλούς & Πράσινης Οδήγησης

5

Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Βιώσιμης Οδήγησης

6

Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

7

Καινοτόμες Συνεισφορές & Μελλοντικές Προκλήσεις

8



Καινοτόμες Συνεισφορές



Μελλοντικές Προκλήσεις

Βελτίωση εκτίμησης κατανάλωσης καυσίμου

- Αξιοποίηση εμπειρικών δεδομένων και περαιτέρω επικύρωση των υπολογιστικών προσεγγίσεων

Ενίσχυση περιβαλλοντικής διάστασης

- Ενσωμάτωση δεδομένων εκπομπών για πιο ολοκληρωμένη και αξιόπιστη αξιολόγηση της βιώσιμης κινητικότητας

Ενίσχυση δεδομένων

- Επέκταση της κάλυψης κυκλοφοριακών και μετεωρολογικών δεδομένων
- Δυνατότητα ταυτοποίησης οδηγών και ενσωμάτωση χαρακτηριστικών οχήματος

Επέκταση χωρικού και χρονικού εύρους ανάλυσης

- Διερεύνηση διαφορετικών οδικών περιβαλλόντων και εποχικών μεταβολών

Πρακτική εφαρμογή και υποστήριξη λήψης αποφάσεων

- Ανάπτυξη εργαλείων υποστήριξης πολιτικών, σχεδιασμού υποδομών και καθοδήγησης οδηγών για την προώθηση της βιώσιμης κινητικότητας



Πολυεπίπεδη Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση της Ασφαλούς και Πράσινης Κινητικότητας



Βιργινία Πετράκη

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

30 Απριλίου 2026