

# Μηχανισμός Ανατροφοδότησης της Συμπεριφοράς του Οδηγού Μέσω Τηλεματικής



**Αρμίρα Κονταξή**

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ  
Υποψήφια Διδάκτωρ  
[akontaxi@mail.ntua.gr](mailto:akontaxi@mail.ntua.gr)

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Φεβρουάριος 2025



# Δομή Διδακτορικής Υποστήριξης

- Εισαγωγή και Στόχος
- Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας
- Ερευνητικά Ερωτήματα
- Μεθοδολογική Προσέγγιση
- Πείραμα Φυσικής Οδήγησης
- Επίδραση της Ανατροφοδότησης στη Συμπεριφορά των Οδηγών
- Επίδραση των Διαφορετικών Χαρακτηριστικών της Ανατροφοδότησης στη Συμπεριφορά των Οδηγών
- Επίδραση μετά την Ανατροφοδότηση στη Μακροπρόθεσμη Συμπεριφορά των Οδηγών
- Βασικά Ερευνητικά Ευρήματα
- Καινοτόμες Συνεισφορές
- Περιορισμοί και Μελλοντικές Προκλήσεις





# Εισαγωγή και Στόχος

- Εισαγωγή
- Στόχος Διδακτορικής Διατριβής



# Εισαγωγή

- Η οδική ασφάλεια αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη δημόσια υγεία και την κοινωνία, καθώς τα οδικά ατυχήματα στοιχίζουν εκατομμύρια ζωές και προκαλούν σοβαρούς τραυματισμούς σε παγκόσμιο επίπεδο ετησίως:
  - 1,19 εκατομμύρια θάνατοι παγκοσμίως το 2021
  - 20.400 στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2023
  - 654 στην Ελλάδα το 2022
- Ένα σημαντικό ποσοστό των οδικών ατυχημάτων, **έως και 95%, μπορεί να αποδοθεί σε ανθρώπινο λάθος**, αποκλειστικά ή μη (Singh, 2018)
- Έμφαση στην οδηγική συμπεριφορά και τις παρατηρήσεις φυσικής οδήγησης, εξετάζοντας (i) την καταγραφή της συμπεριφοράς και (ii) την ανάλυση του προφίλ του οδηγού
- Η ανατροφοδότηση των οδηγών έχει αποδειχθεί ως αποτελεσματική μέθοδος για την ενίσχυση της οδικής ασφάλειας, ωστόσο υπάρχουν ελάχιστες έρευνες που ποσοτικοποιούν την ακριβή επίδραση στη συμπεριφορά και την ασφάλεια των οδηγών



# Στόχος Διδακτορικής Διατριβής

- Ο κύριος στόχος της παρούσας διατριβής είναι να διερευνήσει τον συνολικό αντίκτυπο της ανατροφοδότησης του οδηγού στην οδηγική συμπεριφορά:
  - Σε ολόκληρο τον κύκλο ανατροφοδότησης - που περιλαμβάνει τις φάσεις (i) πριν, (ii) κατά τη διάρκεια και (iii) μετά την ανατροφοδότηση
  - Μέσα από πραγματικές συνθήκες οδήγησης ανά διαφορετικούς τύπους οδηγών



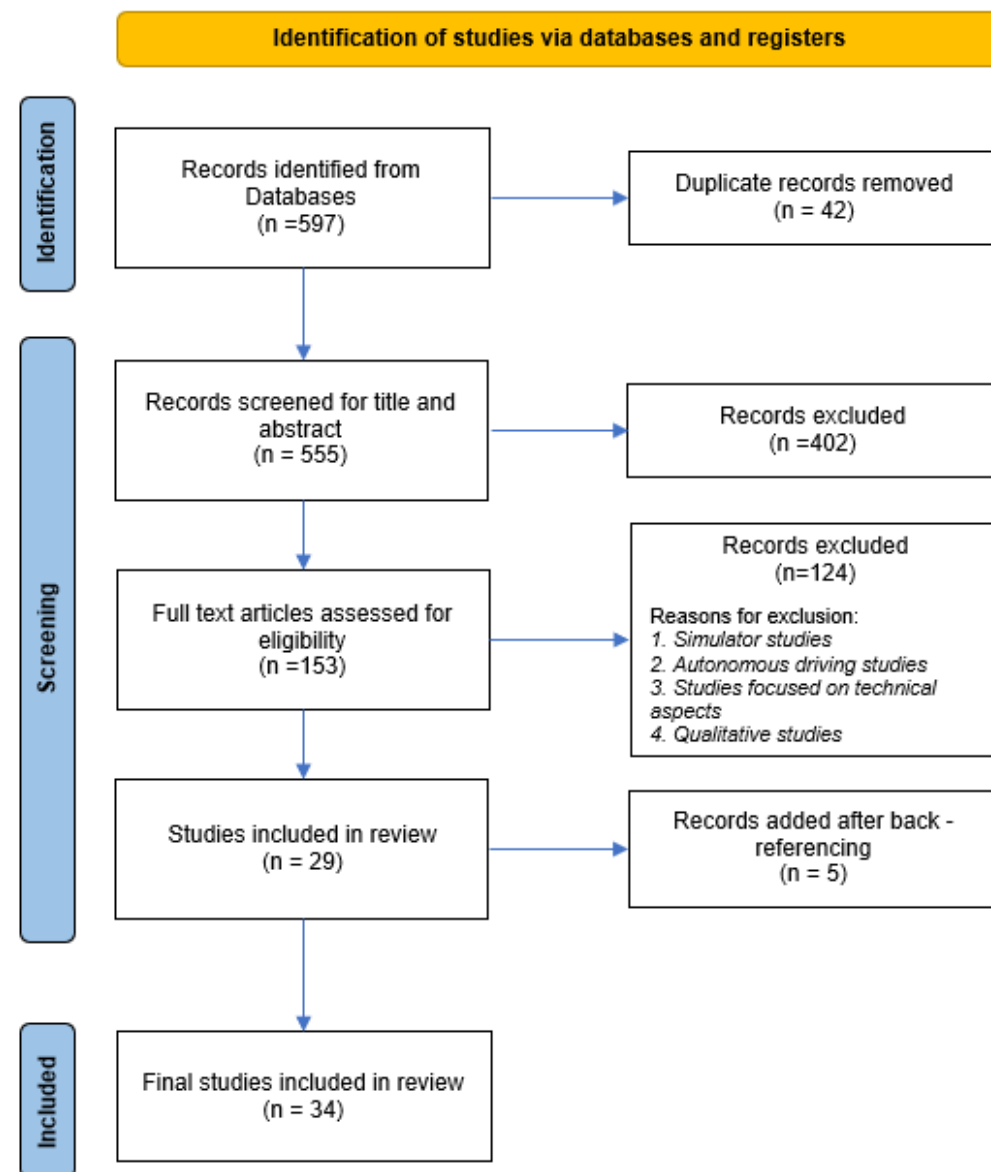


# Βιβλιογραφική Ανασκόπηση και Ερευνητικά Ερωτήματα

- Σκοπός Ανασκόπησης και Μεθοδολογία
- Τύποι Συστημάτων Ανατροφοδότησης Οδηγών
- Πειραματικό Πλαίσιο
- Τεχνικές Μοντελοποίησης
- Επίδραση Ανατροφοδότησης
- Ερευνητικά Ερωτήματα

# Σκοπός Ανασκόπησης και Μεθοδολογία

- Η ανασκόπηση είχε ως σκοπό:
  - Να συνθέσει τους διαφορετικούς τύπους και τα συστήματα ανατροφοδότησης που χρησιμοποιούνται σε έρευνες φυσικής οδήγησης
  - Να εξετάσει τις αξιοποιούμενες μεθοδολογίες για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ανατροφοδότησης του οδηγού
  - Να παρουσιάσει τεκμηριωμένα ευρήματα σχετικά με τον αντίκτυπο της ανατροφοδότησης στη συμπεριφορά και την ασφάλεια των οδηγών
- Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος PRISMA (Moher et al., 2015)
  - Αναζήτηση σε βάσεις δεδομένων: Scopus, TRID, Web of Science, Google Scholar
  - Συμπεριλήφθηκαν αποκλειστικά έρευνες φυσικής οδήγησης
  - Ποσοτικές έρευνες με επίπεδο αναφοράς για σύγκριση
  - Εξετάστηκαν 34 διεθνείς έρευνες τελικώς

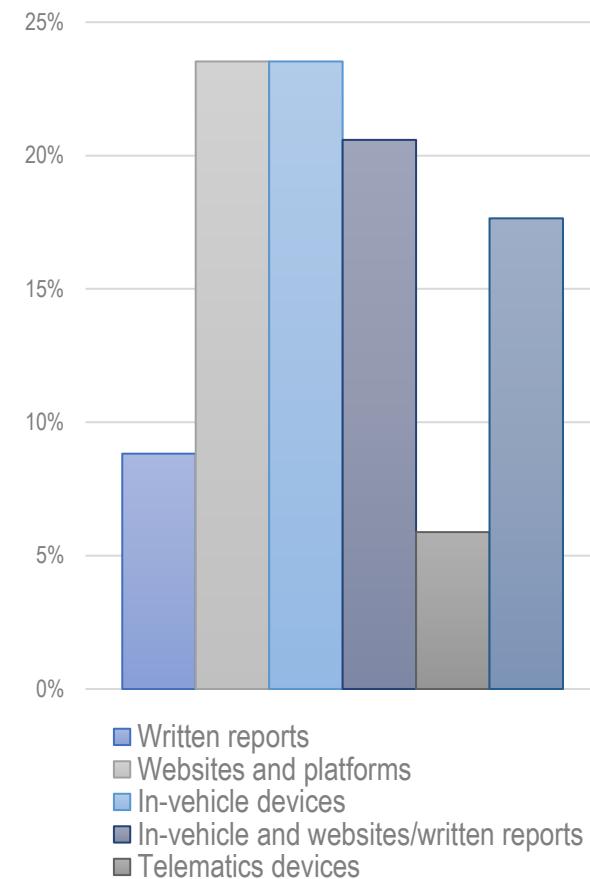




# Τύποι Συστημάτων Ανατροφοδότησης Οδηγών

- Οι συσκευές ανατροφοδότησης εντός του οχήματος υπερτερούν στις ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας ακουστικές, οπτικές ή απτικές προειδοποιήσεις για επικίνδυνη οδήγηση - ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη συμμόρφωση με την ταχύτητα (Chen & Donmez, 2021)
- Οι διαδικτυακές πλατφόρμες παρέχουν δομημένη ανατροφοδότηση μετά τη διαδρομή, ενσωματώνοντας συχνά χρηματικά κίνητρα ή προγράμματα κατάρτισης - η εμπλοκή του χρήστη μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα της ανατροφοδότησης (Ellison et al., 2015; Husnjak et al., 2015)
- Οι εφαρμογές για smartphone παρέχουν ποικίλους μηχανισμούς ανατροφοδότησης, όπως επίπεδα κινδύνου και προσαρμοσμένα συστήματα βαθμολόγησης (Meuleners et al., 2023; Stevenson et al., 2021), επιτρέποντας την ευέλικτη προσαρμογή στις διαφορετικές ανάγκες των χρηστών και στα πλαίσια οδήγησης
- Η ανατροφοδότηση με βάση την τηλεματική χρησιμοποιείται ευρέως σε ασφαλιστικά μοντέλα, αλλά οι περιορισμοί πρόσβασης δεδομένων εμποδίζουν τις διερευνήσεις μεγάλης κλίμακας - οι έρευνες δείχνουν θετικό αντίκτυπο στη συμπεριφορά των οδηγών, αν και οι ευρύτερες εφαρμογές παραμένουν ανεξερεύνητες (Soleymanian et al., 2019; Ghamari et al., 2022)

Τύποι Συστημάτων Ανατροφοδότησης





# Πειραματικό Πλαίσιο

- Το πειραματικό πλαίσιο είναι ουσιώδες για την **παραγωγή έγκυρων και ερμηνεύσιμων αποτελεσμάτων** στις έρευνες ανατροφοδότησης του οδηγού
- Οι περισσότερες έρευνες **συνδυάζουν σχεδιασμούς εντός και μεταξύ των υποκειμένων**, επιτρέποντας στους ερευνητές να ελέγχουν τις ατομικές διαφορές και να διασφαλίζουν τη μεταφερσιμότητα (Bell et al., 2017- Bolderdijk et al., 2011- Chen & Donmez, 2021- Farmer et al., 2010- Ghamari et al., 2022, κ.λπ.)
- Τα **χαρακτηριστικά του δείγματος ποικίλουν** ευρέως, από μικρή κλίμακα (15 οδηγοί, Aidman et al., 2015) έως μεγάλη κλίμακα (40.000+ οδηγοί, Soleymanian et al., 2019)
- Οι έρευνες υπογραμμίζουν τη σημασία της **παρακολούθησης των δεικτών επικινδυνότητας** (υπερβολική ταχύτητα, απότομη επιβράδυνση, κλπ.) και της **διάρθρωσης των φάσεων ανατροφοδότησης** που ποικίλλουν από 2 φάσεις (Meuleners et al., 2023- Strömberg et al., 2013), 4 φάσεις (Bell et al., 2017), ακόμη και 6 φάσεις (Kontaxi et al., 2023)
- Η **διάρκεια των πειραμάτων κυμαίνεται** από λίγες εβδομάδες (Aidman et al., 2015) έως 24 μήνες (Wouters & Bos, 2000), με τις μεγαλύτερες έρευνες να παρέχουν πληροφορίες για τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στη συμπεριφορά, αλλά όχι τόσο για τις πιθανές υποτροπές των οδηγών



# Τεχνικές Μοντελοποίησης

Η επιλογή της ανάλυσης εξαρτάται από τον πειραματικό σχεδιασμό

- Οι έρευνες εντός των υποκειμένων χρησιμοποιούν μοντέλα επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (π.χ. GLMM, GEE, ANOVA) για να ληφθούν υπόψη οι **ατομικές διαφορές** (Birrell & Fowkes, 2014- Kontaxi et al., 2021b)
- Οι έρευνες μεταξύ υποκειμένων βασίζονται σε t-tests, Mann-Whitney U, ANCOVA και παλινδρόμηση Poisson για τη **σύγκριση ανεξάρτητων ομάδων** (Farah et al., 2014- Reagan et al., 2013)

Ανάλυση της συμπεριφοράς μέσω παλινδρόμησης

- Τα μοντέλα γραμμικής και λογιστικής παλινδρόμησης αξιολογούν τις **σχέσεις μεταξύ της ανατροφοδότησης και των επιδόσεων οδήγησης** (Chen & Donmez, 2021- Merrikhpour et al., 2014)
- Παλινδρομήσεις διαφόρων μορφών (π.χ. σταθερών/τυχαίων επιδράσεων, Poisson) βοηθούν στην ανάλυση **δεικτών ασφάλειας που βασίζονται σε συμβάντα**, όπως η απότομη επιβράδυνση (Farmer et al., 2010- Soleymanian et al., 2019)

Προηγμένα μοντέλα μικτών επιδράσεων και επαναλαμβανόμενων μετρήσεων

- Τα μοντέλα GLMMs καταγράφουν επιπλέον όρους σε ατομικό επίπεδο, αποτυπώνοντας τη **μεταβλητότητα συγκεκριμένων οδηγών** σε συμπεριφορές όπως η υπερβολική ταχύτητα (Kontaxi et al., 2021b- Stevenson et al., 2021)
- Οι γενικευμένες εξισώσεις εκτίμησης (GEE) αντιμετωπίζουν **συσχετισμένα δεδομένα σε επαναλαμβανόμενες καταγραφές οδήγησης** (Bell et al., 2017- Ghamari et al., 2022)

Παραδείγματα μηχανικής μάθησης επεξηγηματικής ανάλυσης

- Το XGBoost και η ανάλυση SHAP βελτιώνουν τις **προβλέψεις συμπεριφοράς** και την κατάταξη της σημασίας των χαρακτηριστικών (Ziakopoulos et al., 2023)





# Επίδραση Ανατροφοδότησης

- Βελτίωση οδηγικής συμπεριφοράς και οδικής ασφάλειας:
  - Υπερβολική ταχύτητα κατά 5%–74% (Camden et al., 2019; Mazureck et al., 2006)
  - Απότομα συμβάντα κατά 10%-52% (Kontaxi et al., 2021b- Soleymanian et al., 2019)
  - Περιστατικά ασφαλείας κατά 8%-52% (Takeda et al., 2011- Toledo & Shiftan, 2016)
  - Οδικά ατυχήματα έως και 20% (Wouters & Bos, 2000)
- Η ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο και μετά τη διαδρομή βοηθούν, αλλά χρόνος και μέθοδος έχουν σημασία (Strömberg & Karlsson, 2013- Stevenson et al., 2021)
- Η βέλτιστη συχνότητα ανατροφοδότησης είναι ζωτικής σημασίας- η πολύ συχνή αναφορά μπορεί να προκαλέσει απευαισθητοποίηση (Molloy et al., 2023)
- Η παιχνιδοποίηση και η σύγκριση μεταξύ οδηγών βελτιώνουν τις βαθμολογίες ασφάλειας των οδηγών (Ghamari et al., 2022; Peer et al., 2020)
- Τα οικονομικά κίνητρα βελτιώνουν περαιτέρω τη συμμόρφωση με την ταχύτητα, ιδίως στους αυτοκινητοδρόμους (Chen & Donmez, 2021; Bolderdijk et al., 2011)
- Τα αποτελέσματα μετά την ανατροφοδότηση είναι ασυνεπή- ορισμένοι οδηγοί διατηρούν ασφαλέστερη συμπεριφορά, άλλοι υποτροπιάζουν (Ghamari et al., 2022- Merrikhpour et al., 2014)



# Ερευνητικά Ερωτήματα

1. Πώς επηρεάζει η ανατροφοδότηση τη συμπεριφορά του οδηγού όσον αφορά στην υπερβολική ταχύτητα και τη χρήση κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση;
2. Πώς επηρεάζει η ανατροφοδότηση τα απότομα οδηγικά συμβάντα, όσον αφορά τον αριθμό των απότομων επιταχύνσεων και των απότομων επιβραδύνσεων;
3. Έχουν διαφορετικές επιδράσεις τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της ανατροφοδότησης στη συμπεριφορά του οδηγού; Ποιο έχει τον σημαντικότερο αντίκτυπο;
4. Πώς επηρεάζεται η μακροπρόθεσμη συμπεριφορά των οδηγών μετά την ανατροφοδότηση; Σε ποιο βαθμό διατηρούνται οι αλλαγές αφού αφαιρεθεί η ανατροφοδότηση;
5. Πώς μπορούν να εφαρμοστούν προηγμένες στατιστικές τεχνικές για την κατανόηση των μηχανισμών της ανατροφοδότησης και την ανάπτυξη εξατομικευμένων προσεγγίσεων, βασισμένων σε δεδομένα, για την αλλαγή της οδηγικής συμπεριφοράς;





# Μεθοδολογική Προσέγγιση

➤ Μεθοδολογική Προσέγγιση



# Μεθοδολογική Προσέγγιση

## Σχεδιασμός μελέτης

- Πείραμα φυσικής οδήγησης με 230 οδηγούς σε 6 φάσεις ανατροφοδότησης

## Συλλογή δεδομένων

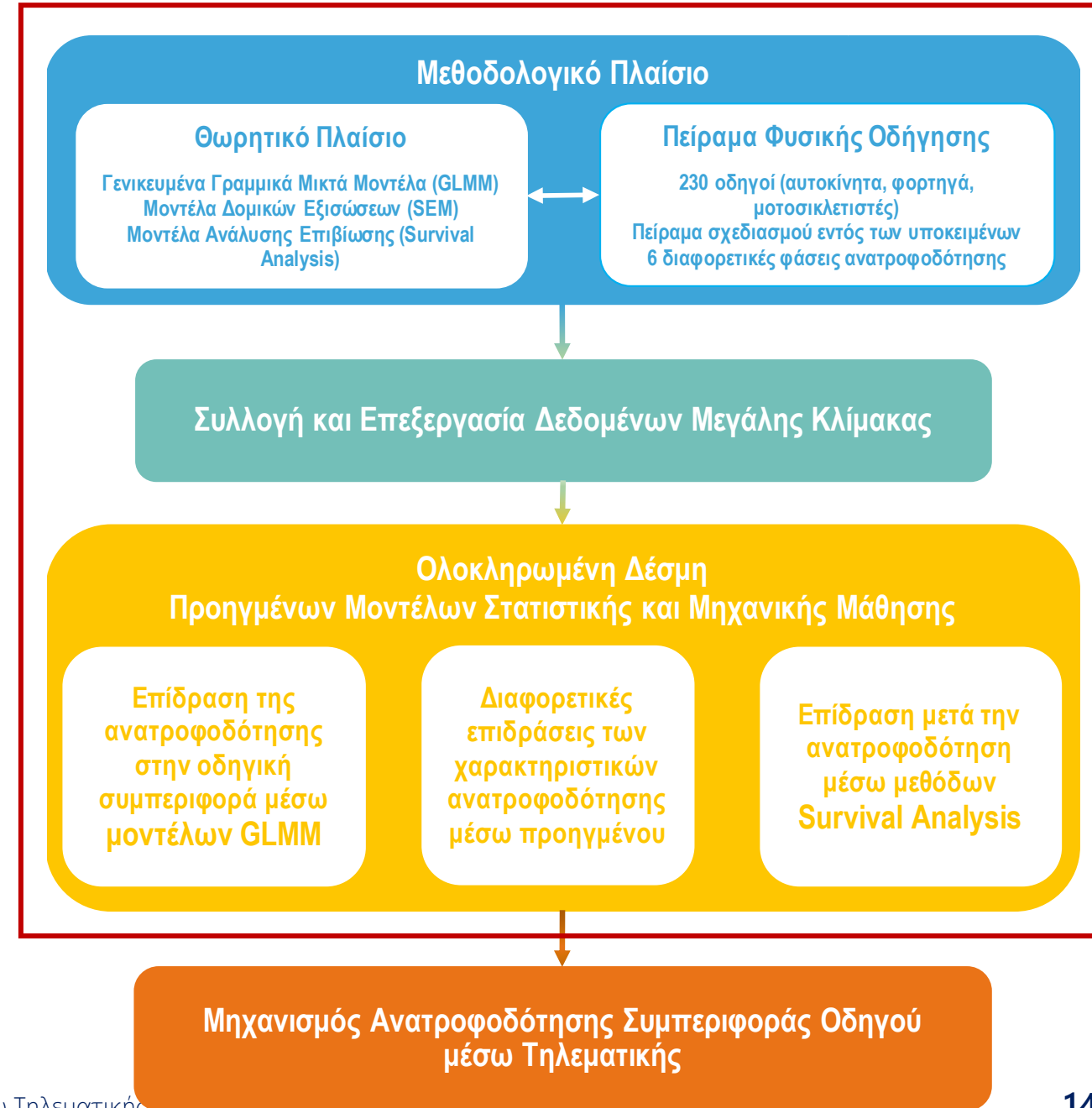
- Δεδομένα οδήγησης υψηλής ανάλυσης από αισθητήρες τηλεματικής μέσω smartphone

## Προσεγγίσεις μοντελοποίησης

- GLMMs: Επίδραση της ανατροφοδότησης στην συμπεριφορά του οδηγού
- SEM: Επίδραση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ανατροφοδότησης
- Survival analysis: Μακροπρόθεσμες επιδράσεις μετά την ανατροφοδότηση

## Βασικά ερευνητικά ευρήματα

- Μηχανισμός ανατροφοδότησης της συμπεριφοράς του οδηγού μέσω τηλεματικής





# Πείραμα Φυσικής Οδήγησης

- Πειραματικό Πλαίσιο
- Δεδομένα Εφαρμογής Smartphone
- Δεδομένα Ερωτηματολογίων
- Επεξεργασία Δεδομένων Μεγάλης Κλίμακας
- Περιγραφικά Στατιστικά



# Πειραματικό Πλαίσιο (1/2)

Πείραμα φυσικής οδήγησης για τον αντίκτυπο της ανατροφοδότησης μέσω τηλεματικής

- **Τρεις βασικοί πυλώνες:** επιπτώσεις σε διαφορετικές ομάδες οδηγών, επιπτώσεις των χαρακτηριστικών της ανατροφοδότησης και συμπεριφορά μετά την ανατροφοδότηση
- Πειραματικός σχεδιασμός εντός των υποκειμένων για την παρακολούθηση των ατομικών αλλαγών σε έξι φάσεις ανατροφοδότησης
- 230 συμμετέχοντες διαφόρων τύπων οδηγών
- Συμμετοχή οδηγών μέσω προσκλήσεων και στρατηγικών συνεργασιών, με πλήρη συμμόρφωση με τον ΓΚΠΔ

Σχεδιασμός Μελέτης	Φάσεις ανατροφοδότησης	Διάρκεια
Σχεδιασμός μίας ομάδας/ Εντός των υποκειμένων	1. Επίπεδο αναφοράς 2. Πίνακας βαθμολογίας 3. Χάρτες 4. Σύγκριση μεταξύ συμμετεχόντων 5. Διαγωνισμοί 6. Καμία ανατροφοδότηση	21 μήνες

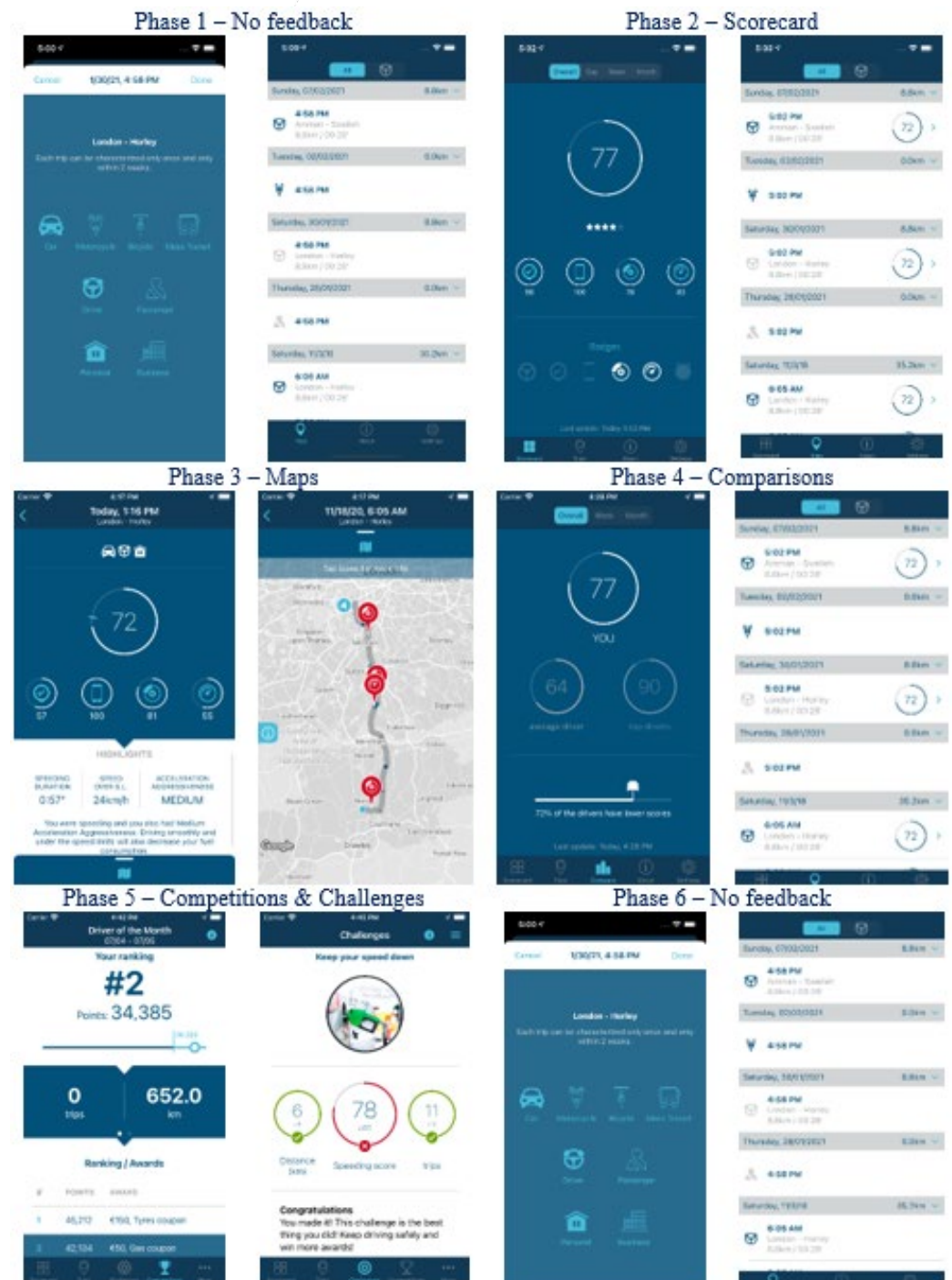
Μέσο μετακίνησης	Πλήθος προσκεκλημένων υποψηφίων	Πλήθος οδηγών	Ποσοστό πλήθους οδηγών
Επιβατικά οχήματα (ΙΧ)	260	176	76.5%
Επαγγελματίες (ΙΧ/Van)	80	27	11.7%
Μοτοσικλότες	55	22	9.6%
Ποδήλατα	10	5	2.2%
<b>Σύνολο</b>	<b>405</b>	<b>230</b>	<b>100%</b>



# Πειραματικό Πλαίσιο (2/2)

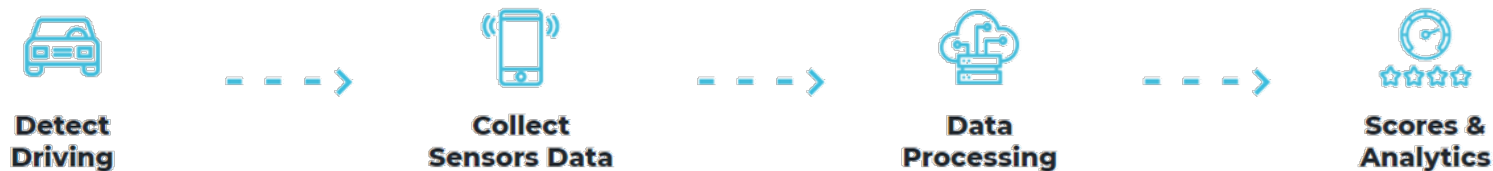
➤ Το πείραμα αποτελείται από 6 διαφορετικές φάσεις που διαφέρουν ως προς το είδος της ανατροφοδότησης που παρέχεται στους οδηγούς:

- Φάση 1 – Κατάλογος διαδρομών και χαρακτηρισμός προσβάσιμος στο χρήστη της εφαρμογής
- Φάση 2 - Κάρτα αποτελεσμάτων που επιτρέπει τη βαθμολόγηση ανά διαδρομή
- Φάση 3 - Χάρτες και Στιγμιότυπα που παρέχουν πληροφορίες ανά διαδρομή
- Φάση 4 - Συγκρίσεις μεταξύ οδηγών
- Φάση 5 - Διαγωνισμοί και προκλήσεις με βραβεία για ασφαλή οδήγηση
- Φάση 6 – Επιστροφή στη Φάση 1 - όλες οι ανατροφοδοτήσεις αφαιρούνται από τους οδηγούς



# Δεδομένα Εφαρμογής Smartphone

- Η προσαρμοσμένη εφαρμογή **BeSmart** της OSeven Telematics καταγράφει τη συμπεριφορά του οδηγού χρησιμοποιώντας αισθητήρες smartphone και προηγμένα APIs
- Η αυτόματη ανίχνευση οδήγησης αναγνωρίζει τις διαδρομές του οχήματος και ενεργοποιεί τη συλλογή δεδομένων
- Τα **δεδομένα που συλλέγονται** περιλαμβάνουν θέση GPS, επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, δραστηριότητα τηλεφώνου και κατάσταση οδήγησης



- Οι προηγμένοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης και επεξεργασίας ανιχνεύουν την υπερβολική ταχύτητα, τα απότομα συμβάντα και τη χρήση κινητού τηλεφώνου
- Το σύστημα βαθμολόγησης του οδηγού αξιολογεί την έκθεση σε κίνδυνο με βάση την απόσταση του ταξιδιού, τον χρόνο και τις παραβάσεις
- Η προσαρμοσμένη λειτουργία μοτοσικλέτας προσαρμόζει τη βαθμολόγηση για δίκυκλα, εξαιρώντας τις μετρήσεις χρήσης τηλεφώνου



# Δεδομένα Ερωτηματολογίων

- Ερωτηματολόγιο σχεδιασμένο για την αξιολόγηση των οδηγικών συνηθειών και της συμπεριφοράς
- Τέσσερις ενότητες:
  1. Εμπειρία οδήγησης
  2. Χαρακτηριστικά του οχήματος
  3. Συμπεριφορά οδήγησης
  4. Δημογραφικά στοιχεία
- Η ενότητα «Συμπεριφορά οδήγησης» περιλαμβάνει ιστορικό ατυχημάτων και αυτο-αξιολογούμενες δεξιότητες οδήγησης
- Προσαρμοσμένα ερωτηματολόγια για διαφορετικούς τύπους οχημάτων (ΙΧ, μοτοσικλέτες, επαγγελματίες οδηγοί, ποδήλατα)

BESMART



## Driver Behavior Questionnaire

### A. Driving Experience – Trips

1. Participant Email:
2. When did you obtain your car driver's license?
3. How many years of driving experience do you have, regardless of ve
4. How many days per week do you use your car? (1 to 7 options)
5. Approximate kilometers driven per week (<20 to 150+ options)
6. Average daily trips as a driver (1 to 5+ options)
7. Average daily trip length in kilometers (1-2 to 30+ options)
8. Approximate yearly kilometers driven (<5,000 to >20,000 options)

### B. Vehicle

9. Ownership status (Personal, family-owned, rented, company vehicle)
10. Engine capacity (<1001cc to >2000cc options)
11. Vehicle age (<5 years to >15 years options)
12. Average fuel consumption (<5lt/100km to >15lt/100km options)

### C. Driving Behavior

13. Accident history (last 3 years, with or without fault):
  - a. Total number of accidents you have been involved in.
  - b. Accidents with injuries.
  - c. Accidents with only material damages.
14. Traffic violation fines in the last 3 years (0 to >3 options)
15. Statements on driving behavior (Never to Always scale):
  - a. Exceeding speed limits

- b. Harsh braking
  - c. Aggressive acceleration
  - d. Sudden turns
  - e. Mobile phone use while driving
16. Compliance with speed limits (1: Not at all, 5: Very much):
    - a. Highway
    - b. National roads
    - c. Urban roads
  17. Driver self-assessment (1 to 5 scale):
    - a. How careful you perceive yourself to be?
    - b. How aggressive you perceive yourself to be?
- ### D. Demographic Data
18. Gender (Male, Female, Other)
  19. Age (ranges: 18-24 to ≥65)
  20. Marital status (Single, Married, Divorced, Widowed)
  21. Household size
  22. Family annual income (<10,000 to >30,000 options or 'Prefer not to say')
  23. Education level (Primary to Doctorate and Other)
  24. Familiarity with smartphone applications (1: Very low, 5: Very high)



# Επεξεργασία Δεδομένων Ευρείας Κλίμακας

- Τα δεδομένα οδήγησης μεγάλης κλίμακας επεξεργάστηκαν και δομήθηκαν για στατιστική ανάλυση
- Τα δεδομένα ανωνυμοποιήθηκαν και αποθηκεύτηκαν με ασφάλεια, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς περί προστασίας των προσωπικών δεδομένων
- Δημιουργήθηκαν υποσύνολα δεδομένων για ΙΧ και μοτοσικλέτες για να ενισχυθεί η ακρίβεια της ανάλυσης
- Συνολικά, συλλέχθηκαν δεδομένα υψηλής ανάλυσης από 106.776 διαδρομές, που κάλυψαν συνολικά 1.317.573 χιλιόμετρα και 30.532 ώρες οδήγησης από 230 οδηγούς
- Σε ορισμένες αναλύσεις, οι μεταβλητές της βάσης δεδομένων προέκυψαν από συνένωση των βάσεων OSeven και ερωτηματολογίου





# Περιγραφικά Στατιστικά

Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία ανά οδηγό  
(μέση τιμή και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση σε παρένθεση)

## Μείωση της ταχύτητας σε όλες τις φάσεις

- Οι οδηγοί ΙΧ παρουσίασαν σημαντική μείωση του ποσοστού υπερβολικής ταχύτητας από τη Φάση 1 στη Φάση 2, με σχετικά σταθερή τάση στις επόμενες φάσεις
- Οι επαγγελματίες οδηγοί διατήρησαν χαμηλότερα ποσοστά υπέρβασης ταχύτητας

## Μείωση της χρήσης κινητού τηλεφώνου

- Οι οδηγοί ΙΧ παρουσίασαν μείωση της χρήσης κινητού τηλεφώνου από τη Φάση 1 έως τη Φάση 6, υποδεικνύοντας θετικό αντίκτυπο των παρεμβάσεων ανατροφοδότησης

## Μεταβλητότητα σε απότομα γεγονότα

- Οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις παρουσίασαν μικτές τάσεις σε όλες τις φάσεις
- Οι οδηγοί ΙΧ παρουσίασαν αρχική μείωση στις απότομες επιταχύνσεις αλλά διακυμάνσεις σε μεταγενέστερες φάσεις, ενώ οι μοτοσικλετιστές παρουσίασαν μεγάλη μεταβλητότητα

## Συμπεριφορά υψηλού κινδύνου των μοτοσικλετιστών

- Οι μοτοσικλετιστές παρουσίασαν σταθερά υψηλότερα ποσοστά απότομων συμβάντων και υπερβολικής ταχύτητας σε όλες τις φάσεις

Speeding percentage (%)	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6
<b>Car drivers</b>	5.98 (0.05)	3.66 (0.03)	3.63 (0.04)	4.38 (0.04)	3.25 (0.04)	3.88 (0.04)
<b>Professional drivers</b>	-	1.61 (0.02)	0.78 (0.01)	0.96 (0.01)	1.05 (0.01)	2.26 (0.01)
<b>Motorcyclists</b>	10.42 (0.09)	7.91 (0.09)	9.58 (0.12)	9.23 (0.09)	7.86 (0.08)	9.09 (0.07)

Mobile use percentage	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6
<b>Car drivers</b>	4.20 (0.06)	3.58 (0.05)	3.89 (0.06)	3.66 (0.06)	3.03 (0.07)	2.83 (0.04)
<b>Professional drivers</b>	-	0.80 (0.01)	0.76 (0.01)	0.82 (0.01)	1.00 (0.02)	1.44 (0.01)
<b>Motorcyclists</b>	-	-	-	-	-	-

Harsh accelerations per 100km	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6
<b>Car drivers</b>	9.31 (9.76)	9.01 (8.21)	10.62 (9.89)	10.51 (11.33)	8.81 (9.49)	8.33 (5.61)
<b>Professional drivers</b>	-	0.58 (1.07)	0.59 (0.98)	1.04 (1.51)	0.42 (0.65)	2.09 (1.21)
<b>Motorcyclists</b>	48.38 (29.77)	19.76 (19.66)	28.53 (28.83)	19.26 (14.74)	8.27 (10.30)	12.24 (13.83)

Harsh braking per 100km	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6
<b>Car drivers</b>	18.04 (14.14)	17.35 (11.94)	18.31 (10.70)	17.35 (11.90)	12.08 (9.94)	13.71 (8.31)
<b>Professional drivers</b>	-	2.57 (3.39)	2.24 (2.89)	2.90 (3.04)	1.37 (2.13)	4.79 (1.58)
<b>Motorcyclists</b>	31.36 (24.36)	26.38 (22.27)	39.95 (41.94)	33.81 (33.81)	13.68 (9.77)	18.18 (9.80)





# Επίδραση της Ανατροφοδότησης στη Συμπεριφορά των Οδηγών

- **Ανάλυση GLMM**
- **Χρήση Κινητού από Οδηγούς ΙΧ**
- **Υπέρβαση Ταχύτητας από Μοτοσικλετιστές**
- **Απότομα Συμβάντα από Επαγγελματίες Οδηγούς**



# Ανάλυση GLMM

## Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (GLM)

- Επεκτείνουν τις παραδοσιακές μεθόδους παλινδρόμησης επιτρέποντας στην εξαρτημένη μεταβλητή να ακολουθεί κατανομές εκθετικής μορφής, όπως Poisson, αρνητική διωνυμική ή Gaussian
- Για δεδομένα ακέραιων μετρήσεων, όπως η συχνότητα απότομων συμβάντων ανά διαδρομή, χρησιμοποιείται η κατανομή Poisson ή η αρνητική διωνυμική

## Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα μικτών επιδράσεων (GLMM)

- Επεκτείνουν τα GLM με την προσθήκη τυχαίων επιδράσεων για να ληφθεί υπόψη η ομαδοποίηση των δεδομένων, όπως οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ανά οδηγό. Υποπεριπτώσεις:

### 1. GLMM με τυχαίες σταθερές

Αποτυπώνει τη μεταβλητότητα της αρχικής συχνότητας του εξεταζόμενου δείκτη μεταξύ των οδηγών, διατηρώντας σταθερή την επίδραση των προβλεπτικών παραγόντων GLMM

### 2. GLMM με τυχαίους συντελεστές

Επεκτείνει περαιτέρω το μοντέλο διευρύνοντας την επίδραση μιας ανεξάρτητης μεταβλητής, όπως η διάρκεια ή η απόσταση διαδρομής, ώστε να μεταβάλλεται μεταξύ των οδηγών

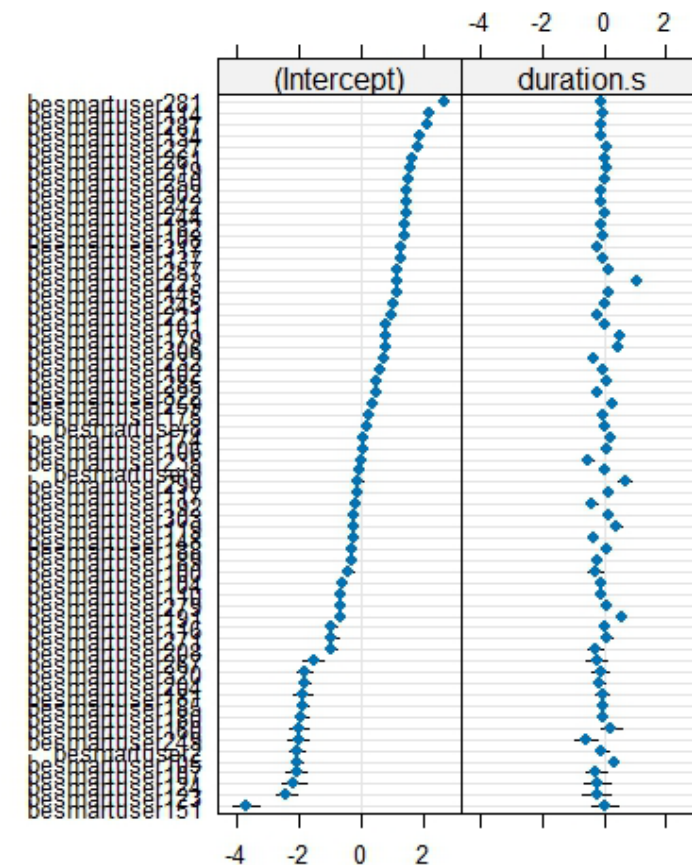


# Χρήση Κινητού από Οδηγούς ΙΧ (1/2)

- Κατά τη διάρκεια των **Φάσεων 1 & 2** του πειράματος καταγράφηκε ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων **21.167** διαδρομών από ένα δείγμα **65** οδηγών ΙΧ
- Για τη μοντελοποίηση του ποσοστού χρήσης κινητού ανά διαδρομή για τους συμμετέχοντες οδηγούς, **προσαρμόστηκαν GLMM** μέσω μέγιστης πιθανοφάνειας και χρησιμοποιώντας κανονικοποίηση z-factor scaling
- Η αντιπροσωπευτικότερη μορφή των τυχαίων επιδράσεων περιλάμβανε τόσο **τυχαίες σταθερές** όσο και **τυχαίους συντελεστές** στα **GLMM** ώστε να αποδώσει μοναδικά χαρακτηριστικά των οδηγών

Model Family	Model Configuration	D.f.	AIC	BIC	logLik	$\chi^2$
GLM	Fixed effects only [baseline]	7	267329	267385	-133658	–
GLMM	Fixed effects & Random Intercepts	8	193060	193123	-96522	74271.3
GLMM	Fixed effects, Random Intercepts & Random Slopes	10	191573	191652	-95777	1490.9

	Age groups			
	<25	25-55	>55	Total%
Male	0	27	3	46%
Female	3	31	1	54%
Total %	5%	89%	6%	100%





# Χρήση Κινητού από Οδηγούς ΙΧ (2/2)

	Overall model				Urban Model				Rural Model				Highway			
Random Effects																
Group	Variable	SD	Variance		Variable	SD	Variance		Variable	SD	Variance		Variable	SD	Variance	
Identifier	Intercept	1.4024	1.9667		Intercept	1.3711	<0.001		Intercept	1.6843	<0.001		Intercept	3.536	12.506	
	duration	0.2827	0.0799		duration	0.0008	<0.001		duration	0.0007	<0.001		duration	1.931	3.731	
Fixed Effects																
Variable	Estimate	S.e.	z value	P-value	Estimate	S.e.	z value	P-value	Estimate	S.e.	z value	P-value	Estimate	S.e.	z value	P-value
Intercept	0.6528	0.1754	3.7220	<0.001	0.4750	0.1721	2.7590	0.006	-0.2269	0.2102	-1.0790	0.281	-4.1676	0.4586	-9.0880	<0.001
Driver Feedback	-0.4276	0.0081	-52.5660	<0.001	-0.3687	0.0083	-44.2790	<0.001	-0.1180	0.0095	-12.4290	<0.001	0.5490	0.0235	23.4120	<0.001
Trip duration	0.1514	0.0374	4.0440	<0.001	0.0004	0.0001	3.9160	<0.001	0.0008	0.0001	8.5510	<0.001	0.6892	0.2451	2.8120	0.0049
Harsh accelerations	0.0424	0.0034	12.4380	<0.001	-0.0131	0.0013	-9.8620	<0.001	0.0511	0.0044	11.5500	<0.001	0.0883	0.0055	16.0250	<0.001
Risky hours	-0.0543	0.0046	-11.6940	<0.001	-0.3298	0.0124	-26.6670	<0.001	-0.0114	0.0012	-9.5000	<0.001	-0.0653	0.0097	-6.7170	<0.001
Morning Rush	-0.3390	0.0124	-27.4020	<0.001	0.1533	0.0088	17.3810	<0.001	-0.2634	0.0136	-19.3220	<0.001	-0.4071	0.0281	-14.4940	<0.001
Afternoon Rush	0.1586	0.0089	17.9030	<0.001	0.4750	0.1721	2.7590	0.007	0.1624	0.0104	15.6600	<0.001	-0.4439	0.0285	-15.5990	<0.001
AIC	191573.2				214914.1				191416.0				59690.4			
BIC	191652.3				214985.3				191495.1				59769.5			
logLik	-95776.6				-107448.0				-95698.0				-29835.2			

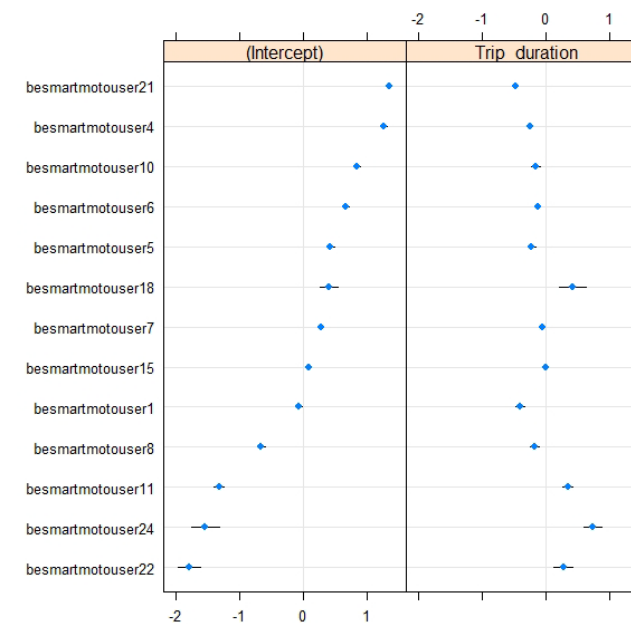
- Η ανατροφοδότηση είναι **σταθερά αποτελεσματική** σε γενικά, αστικά και υπεραστικά περιβάλλοντα, αλλά ο αντίκτυπός της ποικίλλει ανάλογα με το περιβάλλον, με μια απροσδόκητη θετική συσχέτιση στους αυτοκινητόδρομους
- Η σημαντική μεταβλητότητα στις **τυχαίες σταθερές** υποδηλώνει **αξιοσημείωτες διαφορές** στα βασικά επίπεδα χρήσης κινητού κατά την οδήγηση **μεταξύ των οδηγών**
- Η **μεταβλητότητα στη διάρκεια της διαδρομής (τυχαίος συντελεστής)** αναδεικνύει διαφορές στον τρόπο με τον οποίο η διάρκεια διαδρομής επηρεάζει τη συμπεριφορά χρήσης κινητού κατά την οδήγηση



# Υπέρβαση Ταχύτητας από Μοτοσικλετιστές

- Συνολικά, κατά τη διάρκεια των Φάσεων 1 & 2 του πειράματος καταγράφηκε ένα σύνολο δεδομένων 3.537 διαδρομών από δείγμα 13 μοτοσικλετιστών (4 γυναίκες, 9 άνδρες, ηλικίας 25-34 (n=9), 35-45 (n=4))
- Για τη μοντελοποίηση προσαρμόστηκαν GLMM μέσω μέγιστης πιθανοφάνειας
- Επιλέχθηκαν GLMM με τυχαίες σταθερές και τυχαίους συντελεστές

	Overall model				Urban Model				Rural Model			
<b>Random Effects</b>												
<b>Group</b>	Variable	SD	Variance		Variable	SD	Variance		Variable	SD	Variance	
<b>Identifier</b>	<b>Intercept</b>	0.9935	0.9870		<b>Intercept</b>	3.081	<0.001		<b>Intercept</b>	3.081	<0.001	
	<b>duration</b>	0.3397	0.1154		<b>duration</b>	0.004	<0.001		<b>duration</b>	0.004	<0.001	
<b>Fixed Effects</b>												
<b>Variable</b>	<b>Estimate</b>	<b>S.E</b>	<b>z value</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Estimate</b>	<b>S.E</b>	<b>z value</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Estimate</b>	<b>S.E</b>	<b>z value</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>Intercept</b>	<b>1.898</b>	0.276	6.874	<0.001	<b>1.810</b>	0.351	5.152	<0.001	-	0.870	-0.689	-
<b>Rider Feedback</b>	<b>-0.144</b>	0.013	-10.911	<0.001	<b>-0.031</b>	0.011	-2.801	<b>0.005</b>	<b>-0.420</b>	0.019	-22.01	<0.001
<b>Trip duration</b>	<b>0.194</b>	0.095	2.030	<b>0.042</b>	<b>0.001</b>	0.000	3.563	<0.001	<b>0.003</b>	0.001	2.819	<b>0.004</b>
<b>Harsh accelerations</b>	<b>0.246</b>	0.005	53.127	<0.001	-	-	-	-	<b>0.056</b>	0.002	28.986	<0.001
<b>Risky hours</b>	<b>0.018</b>	0.003	5.161	<0.001	<b>0.006</b>	0.013	7.279	<b>0.001</b>	<b>0.019</b>	0.002	8.611	<0.001
<b>Morning Rush</b>	<b>0.066</b>	0.015	4.356	<0.001	<b>0.093</b>	0.013	-22.969	<0.001	<b>0.130</b>	0.020	6.551	<0.001
<b>Afternoon Rush</b>	<b>-0.287</b>	0.015	-18.826	<0.001	<b>-0.303</b>	0.351	5.152	<0.001	<b>-0.436</b>	0.023	-19.27	<0.001
<b>AIC</b>	37114.1				54460.9				34576.3			
<b>BIC</b>	37175.9				54516.4				34638.0			
<b>logLik</b>	-18547.1				-27221.4				-17278.2			



- Η ανατροφοδότηση του μοτοσικλετιστή μειώνει την πιθανότητα υπερβολικής ταχύτητα κατά 14,5% συνολικά, κατά 3,0% σε αστικές περιοχές και κατά 34,3% σε υπεραστικές περιοχές

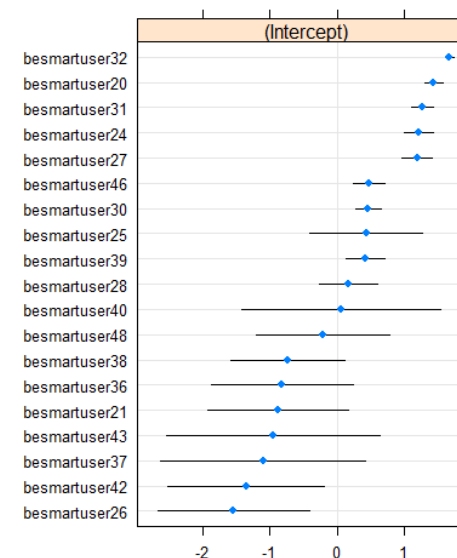


# Απότομα Συμβάντα από Επαγγελματίες Οδηγούς

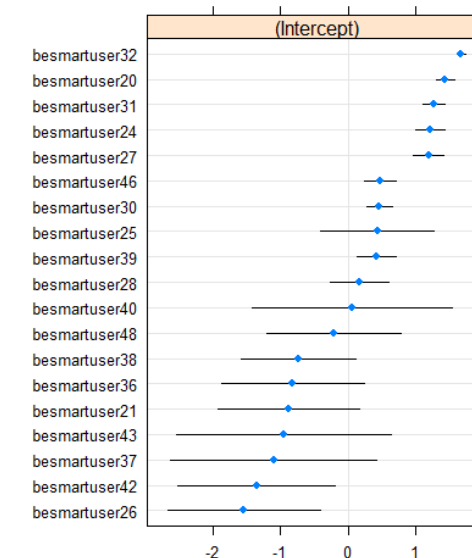
- Κατά τη διάρκεια των δύο εξεταζόμενων φάσεων καταγράφηκε ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων 5.345 διαδρομών από ένα δείγμα 19 επαγγελματιών οδηγών (όλοι άνδρες, ηλικίας 25-34 (n=9), 35-45 (n=9) και 45-54 (n=1))
- GLMM με τυχαίες σταθερές

	Harsh accelerations				Harsh brakings			
<b>Random Effects</b>								
<b>Group</b>	Variable	SD	Variance		Variable	SD	Variance	
<b>Identifier</b>	<b>Intercept</b>	1.07	1.145		<b>Intercept</b>	1.125	1.266	
<b>Fixed Effects</b>								
<b>Variable</b>	<b>Estimate</b>	<b>S.E</b>	<b>z value</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Estimate</b>	<b>S.E</b>	<b>z value</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>
<b>Intercept</b>	<b>-3.530</b>	0.341	-10.342	<b>&lt;0.001</b>	<b>-2.384</b>	0.292	-8.161	<b>&lt;0.001</b>
<b>Competition</b>	<b>-1.053</b>	0.218	-4.821	<b>&lt;0.001</b>	<b>-0.906</b>	0.117	-7.738	<b>&lt;0.001</b>
<b>Trip duration</b>	<b>0.443</b>	0.025	17.363	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.447</b>	0.009	45.106	<b>&lt;0.001</b>
<b>Weekend</b>	<b>-0.414</b>	0.174	-2.369	<b>0.017</b>	<b>-0.290</b>	0.084	-3.432	<b>&lt;0.001</b>
<b>AIC</b>	2323.6				6196.7			
<b>BIC</b>	2356.5				6229.7			
<b>logLik</b>	-1156.8				-3093.4			

Harsh accelerations



Harsh brakings



- Η παρούσα έρευνα αποτυπώνει τον θετικό αντίκτυπο του διαγωνισμού 30 ημερών και στους δύο εξεταζόμενους παράγοντες κινδύνου



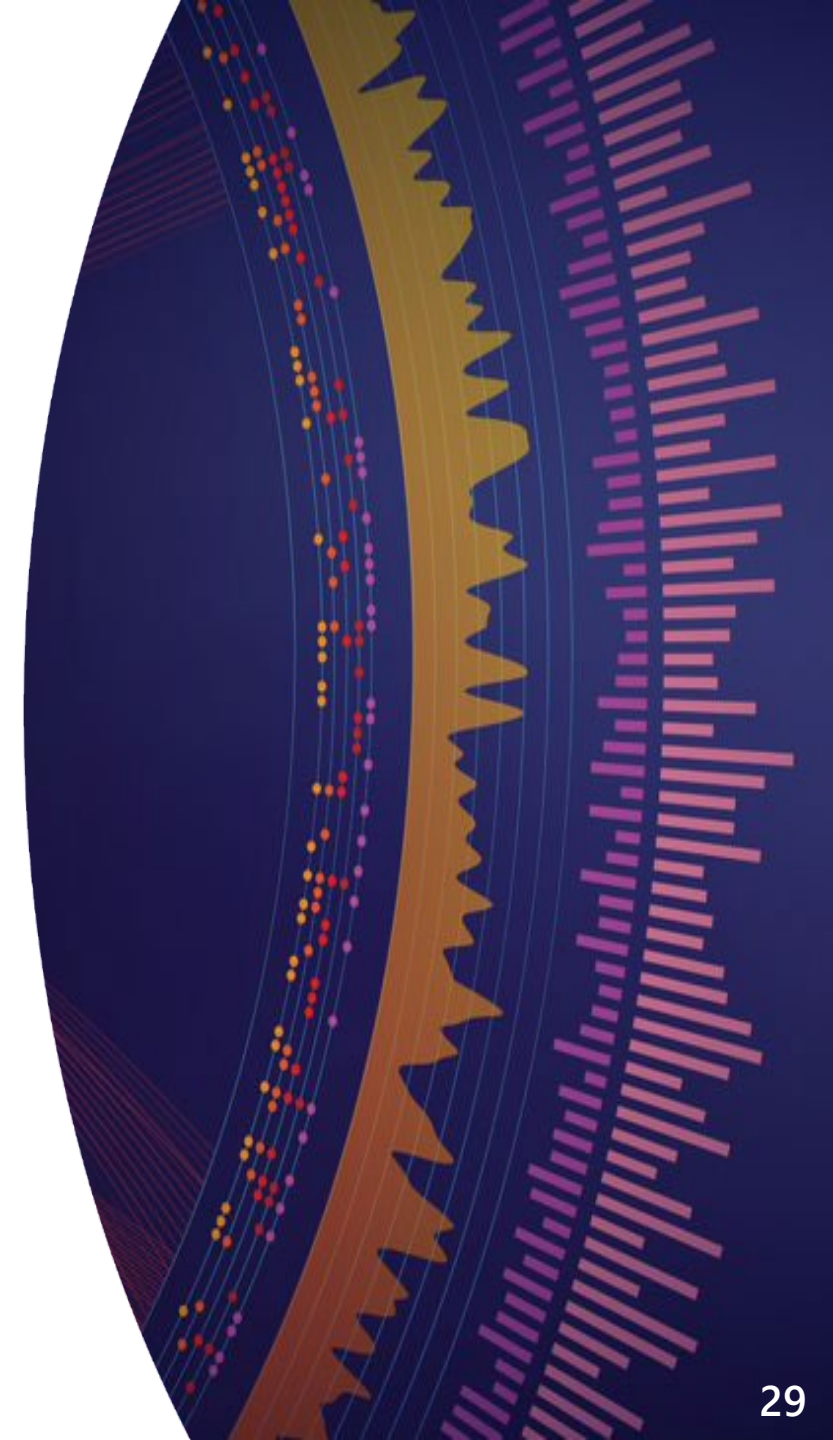
# Επίδραση των Διαφορετικών Χαρακτηριστικών της Ανατροφοδότησης

- **Ανάλυση SEM**
- **Αποτελέσματα SEM ανάλυσης**



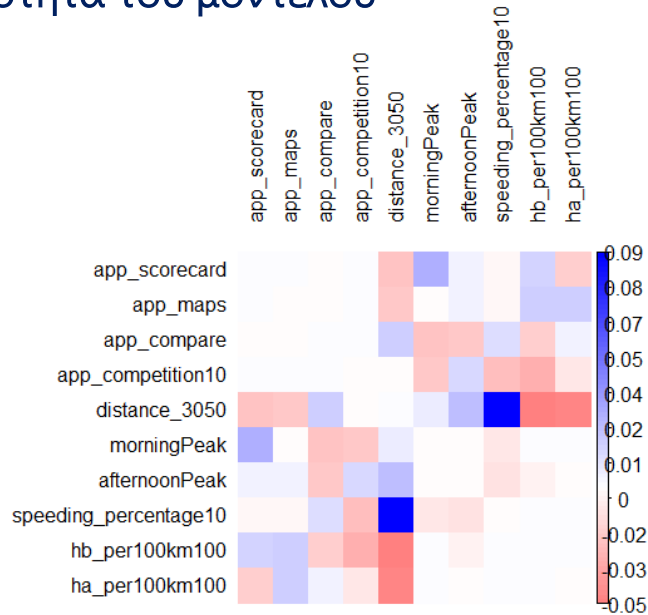
# Ανάλυση SEM

- Τα μοντέλα δομικών εξισώσεων (SEM) είναι μια πολυπαραμετρική μέθοδος που υποστηρίζει την παράλληλη μοντελοποίηση πολλαπλών εισροών και εκροών
- Τα SEM χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση διαφόρων μη παρατηρούμενων ποσοτήτων ως λανθάνουσες μεταβλητές από διαφορετικές παρατηρούμενες μεταβλητές που συλλέγονται μέσω του πειράματος φυσικής οδήγησης
- Η ανάλυση διαδρομών (path analysis), ένα υποσύνολο της SEM, επικεντρώνεται στη μοντελοποίηση των δομικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών
- Η προτεινόμενη δομή SEM όρισε δύο λανθάνουσες (μη παρατηρούμενες) μεταβλητές:
  1. **Ανατροφοδότηση:** Εκφράζει την επιρροή των διαφόρων χαρακτηριστικών της εφαρμογής smartphone
  2. **Έκθεση:** Εκφράζει την επιρροή των μεγεθών χρονικής και χωρικής έκθεσης



# Αποτελέσματα SEM (1/2)

- Εξαρτημένες μεταβλητές: (i) ποσοστό του χρόνου υπέρβασης ταχύτητας και (ii) απότομα συμβάντα ανά 100χλμ
- Οι 4 εξεταζόμενοι δείκτες καλής προσαρμογής και τα πρόσημα των εκτιμώμενων συντελεστών υποδεικνύουν **εξαιρετική προσαρμογή του μοντέλου**
- Το σχετικά χαμηλό εύρος των τιμών των υπολοίπων (μέγιστη απόλυτη τιμή = 0,09) υποστηρίζει την **ανθεκτικότητα του μοντέλου**

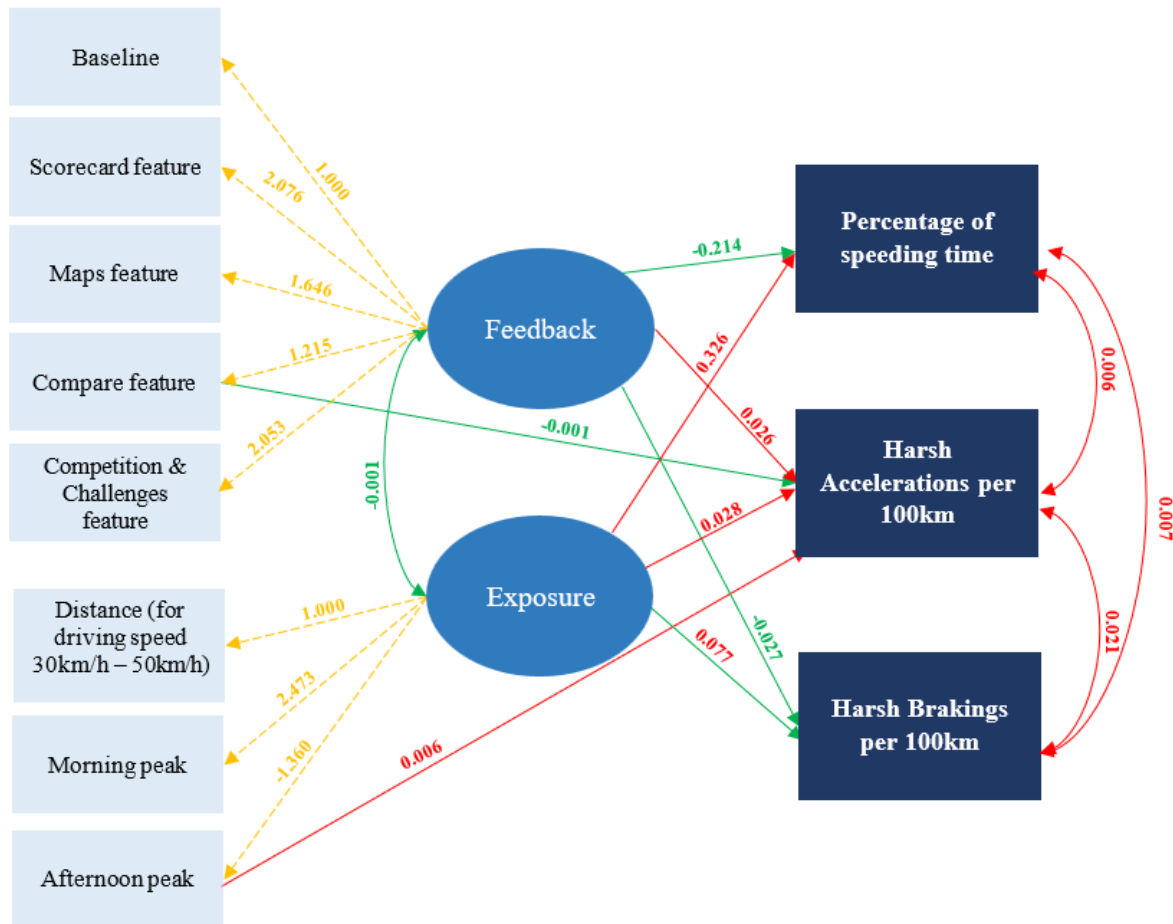


SEM Components		Parameters	Estimate	S.E.	z-value	P(> z )
<b>Latent</b>	Feedback	Baseline	1.000	–	–	–
		<b>Variables</b>	Scorecard feature	2.076	0.014	148.640
		Maps feature	1.646	0.010	157.864	<b>0.000</b>
		Compare feature	1.215	0.029	41.754	<b>0.000</b>
		Competition & Challenges feature	2.053	0.038	54.447	<b>0.000</b>
	Exposure	Distance (for driving speed 30km/h – 50km/h)	1.000	–	–	–
		Morning peak	2.473	0.350	7.072	<b>0.000</b>
		Afternoon peak	-1.360	0.129	-10.579	<b>0.000</b>
<b>Regressions</b>	Percentage of speeding time	Intercept	<b>0.409</b>	0.003	138.941	<b>0.000</b>
		Exposure	<b>0.326</b>	0.043	7.627	<b>0.000</b>
		Feedback	<b>-0.214</b>	0.014	-15.655	<b>0.000</b>
	Harsh Accelerations per 100km	Intercept	<b>0.099</b>	0.001	95.037	<b>0.000</b>
		Exposure	0.028	0.010	2.769	0.006
		Feedback	<b>0.026</b>	0.004	6.493	<b>0.000</b>
		Competition & Challenges feature	<b>-0.001</b>	0.000	-2.748	<b>0.000</b>
		Afternoon peak	<b>0.006</b>	0.002	3.095	<b>0.002</b>
	Harsh Brakings per 100km	Intercept	<b>0.184</b>	0.001	158.258	<b>0.000</b>
		Exposure	<b>0.077</b>	0.014	5.542	<b>0.000</b>
		Feedback	<b>-0.027</b>	0.005	-4.976	<b>0.000</b>
<b>Covariances</b>	Percentage of speeding time	Harsh Brakings per 100km	0.007	0.001	7.686	<b>0.000</b>
	Harsh Accelerations per 100km	Percentage of speeding time	0.006	0.001	9.526	<b>0.000</b>
	Harsh Brakings per 100km	Harsh Accelerations per 100km	0.021	0.000	75.739	<b>0.000</b>
	Feedback	Exposure	-0.001	0.000	-5.558	<b>0.000</b>
<b>Goodness-of-fit measures</b>		CFI	0.940			
		TLI	0.944			
		RMSEA	0.049			0.845
		SRMR	0.025			





# Αποτελέσματα SEM (2/2)



## Ανατροφοδότηση

- Η λειτουργία της κάρτας αποτελεσμάτων έχει την υψηλότερη θετική εκτίμηση υποδεικνύοντας τον κρίσιμο ρόλο της στην τροποποίηση των οδηγικών συνηθειών
- Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά παιχνιδιοποίησης και κινήτρων

## Έκθεση

- Οι παράγοντες έκθεσης, ιδίως οι ώρες της ημέρας, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις οδηγικές συμπεριφορές
- Η έκθεση στην πρωινή αιχμή συνδέεται με αυξημένη επιθετικότητα στην οδήγηση

## Παλινδρομήσεις

- Οι μηχανισμοί ανατροφοδότησης μειώνουν σημαντικά τα συμβάντα υπερβολικής ταχύτητας και απότομης επιβράδυνσης,
- Η ανατροφοδότηση μειώνει τις απότομες επιταχύνσεις κατά τη διάρκεια των διαγωνισμών, αλλά όχι συνολικά

## Συνδιακυμάνσεις

- Η ανάλυση συνδιακύμανσης αναδεικνύει ισχυρές θετικές συσχετίσεις μεταξύ των εξαρτημένων μεταβλητών, καταδεικνύοντας ότι τα επιθετικά προφίλ οδήγησης συχνά περιλαμβάνουν πολλαπλές επικίνδυνες συμπεριφορές
- Η αρνητική συσχέτιση μεταξύ ανατροφοδότησης και έκθεσης δείχνει ότι η αυξημένη ανατροφοδότηση μειώνει την έκθεση σε επικίνδυνες συνθήκες οδήγησης



# Επίδραση μετά την Ανατροφοδότηση στη Μακροπρόθεσμη Συμπεριφορά των Οδηγών

- **Ανάλυση Επιβίωσης**
- **Καμπύλες Επιβίωσης**
- **Μοντέλο Cox-PH με Ευθραυστότητα**
- **Μοντέλο Weibull AFT με Ομαδοποιημένη Ετερογένεια**
- **Τυχαία Δάση Επιβίωσης (Random Survival Forest)**
- **Σύγκριση Μεθόδων**



# Ανάλυση Επιβίωσης

- Μοντελοποιεί το χρόνο μέχρι την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου συμβάντος, λαμβάνοντας υπόψη «λογοκριμένα» δεδομένα
  - Συμβάν: η «υποτροπή» της οδηγικής συμπεριφοράς, όταν ο δείκτης συμπεριφοράς του οδηγού υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο, το μέσο ποσοστό του δείκτη συμπεριφοράς κατά τη φάση ανατροφοδότησης
  - Μεταβλητή διάρκειας: Η μεταβλητή διάρκειας αντιπροσωπεύεται από τον διαδοχικό αριθμό των διαδρομών που πραγματοποιούνται μέχρι να συμβεί ένα συμβάν υποτροπής

## Οι καμπύλες Kaplan-Meier

- Υπολογισμός της πιθανότητας επιβίωσης σε κάθε χρονική στιγμή όπου συμβαίνει ένα συμβάν, ενημερώνοντας ανάλογα τη σωρευτική πιθανότητα επιβίωσης

## Μοντέλο αναλογικών κινδύνων (Cox-PH) με ετερογένεια

- Μέθοδος ημιπαραμετρικής παλινδρόμησης που εκτιμά την επίδραση μεταβλητών στη **συνάρτηση κινδύνου**, χρησιμοποιώντας έναν αρχικό κίνδυνο και συντελεστές παλινδρόμησης
- Για να ληφθεί υπόψη η ετερογένεια σε ομαδοποιημένα δεδομένα, εισάγονται τυχαίες επιδράσεις

## Μοντέλο Επιταχυνόμενου Χρόνου Αποτυχίας (Weibull AFT) με ετερογένεια

- Μοντελοποιεί άμεσα το χρόνο επιβίωσης ως συνάρτηση των συνδιαλλακτικών και του τυχαίου σφάλματος, καθιστώντας το μια ευέλικτη παραμετρική προσέγγιση για την ανάλυση επιβίωσης
- Για να ληφθεί υπόψη η ετερογένεια σε ομαδοποιημένα δεδομένα, εισάγονται τυχαίες επιδράσεις

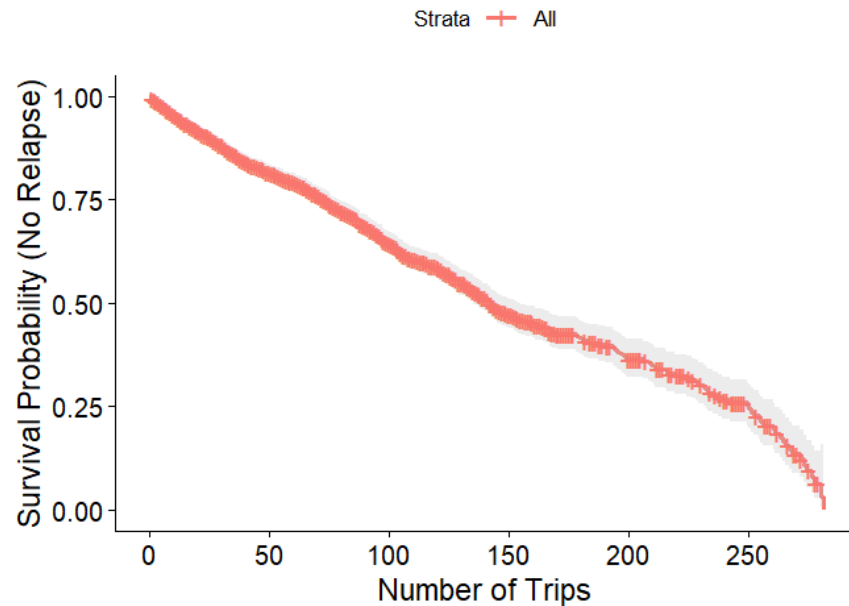
## Τυχαίο δάσος επιβίωσης (RSF)

- Επεκτείνει τα τυχαία δάση σε δεδομένα από χρόνο σε συμβάν
- Η αθροιστική συνάρτηση κινδύνου εκτιμάται με τη χρήση ενός συνόλου δέντρων απόφασης, υπολογίζοντας κατά μέσο όρο τις προβλέψεις σε πολλαπλά δέντρα



# Καμπύλες Επιβίωσης Υπερβολικής Ταχύτητας και Χρήσης Κινητού Τηλεφώνου

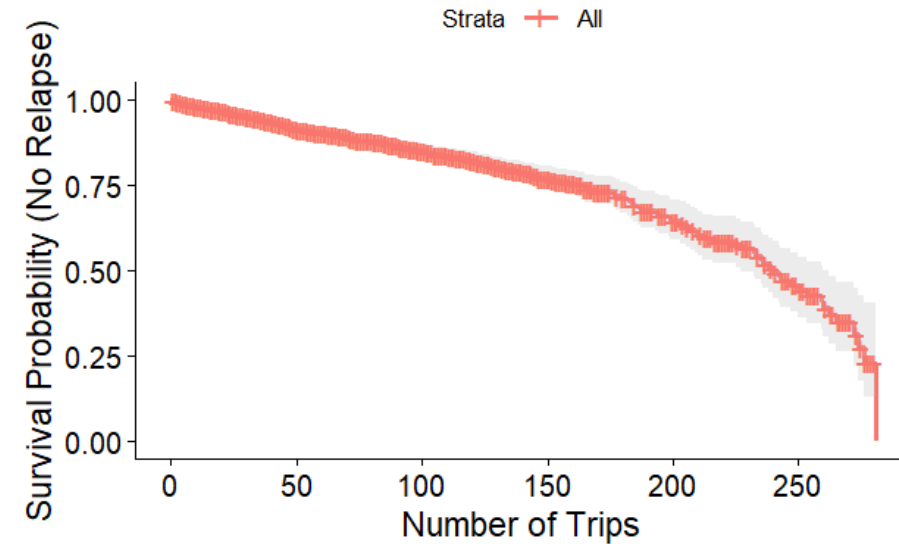
Percentage of speeding per trip



Η πιθανότητα επιβίωσης μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των διαδρομών:

- **50 διαδρομές:** περίπου το 82,3% των οδηγών διατηρούν χαμηλότερα επίπεδα ταχύτητας
- **100 διαδρομές:** Η πιθανότητα επιβίωσης μειώνεται στο 65,2%.
- **150 διαδρομές:** Περίπου 46,8% των οδηγών διατηρούν βελτιωμένη συμπεριφορά, παρουσιάζοντας σημαντική υποτροπή μεταξύ των υπόλοιπων οδηγών

Percentage of mobile use per trip

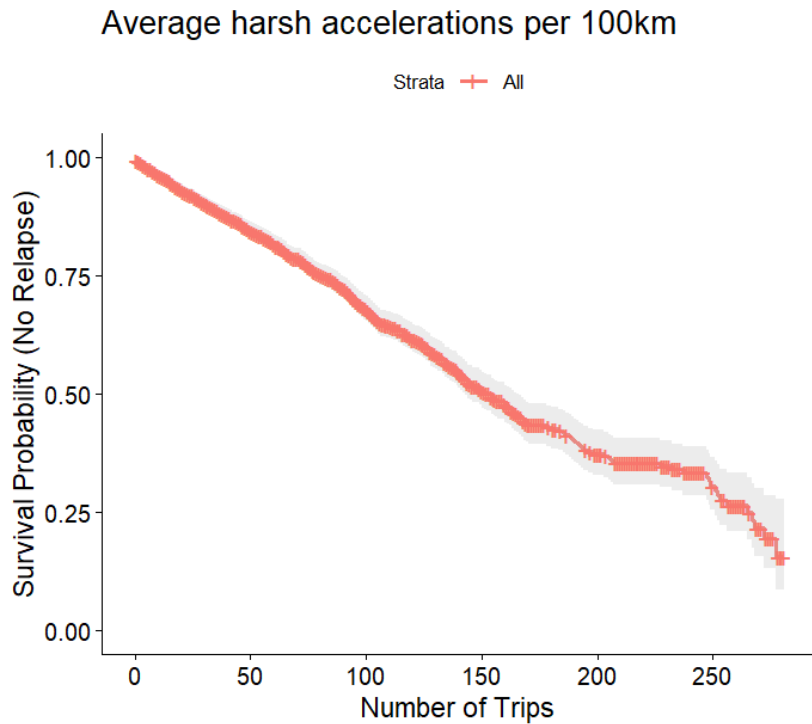


Η πιθανότητα επιβίωσης παραμένει υψηλή, υποδεικνύοντας ότι οι οδηγοί στις αρχικές διαδρομές διατηρούν μειωμένη χρήση του τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης:

- **50 διαδρομές :** Περίπου το 91,7% των οδηγών εξακολουθούν να επιδεικνύουν αυτοσυγκράτηση στη χρήση του τηλεφώνου,
- **100 διαδρομές:** Η πιθανότητα επιβίωσης μειώνεται σε περίπου 84,8%, δείχνοντας σταθερή αύξηση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου



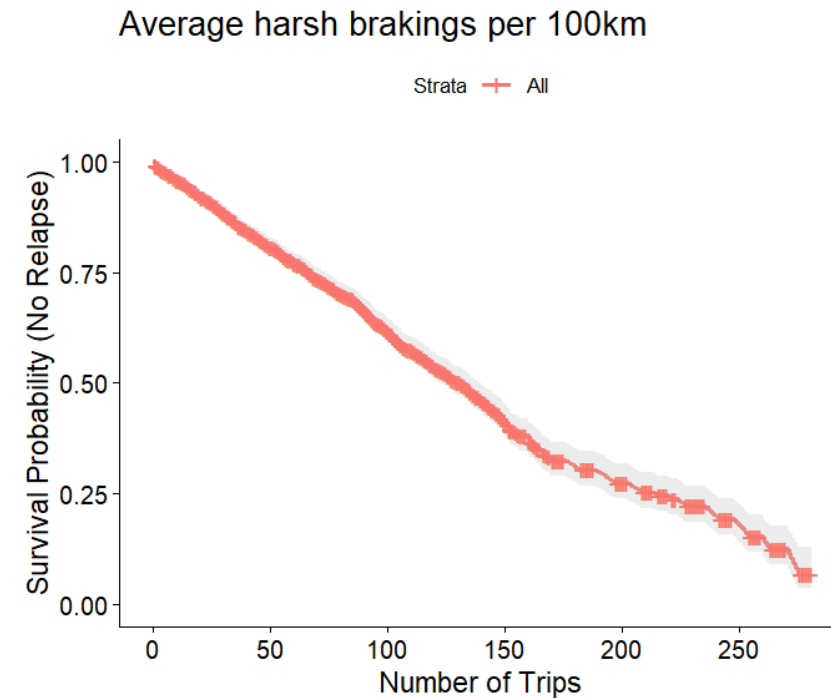
# Καμπύλες Επιβίωσης Απότομων Συμβάντων



**50 διαδρομές:** 84,8% περίπου των οδηγών εξακολουθούν να διατηρούν βελτιωμένη συμπεριφορά (χωρίς υποτροπή)

**100 διαδρομές:** περίπου 68,7% των οδηγών

**150 διαδρομές:** 49,2%, γεγονός που υποδηλώνει ότι σχεδόν οι μισοί οδηγοί έχουν υποτροπιάσει στα επίπεδα σκληρής επιτάχυνσης πριν από την ανατροφοδότηση



**50 διαδρομές:** περίπου το 81,5% των οδηγών διατηρούν τη βελτιωμένη συμπεριφορά τους, με ένα αξιοσημείωτο 18,5% να υποτροπιάζει

**100 διαδρομές :** Η πιθανότητα επιβίωσης πέφτει στο 61,4%.

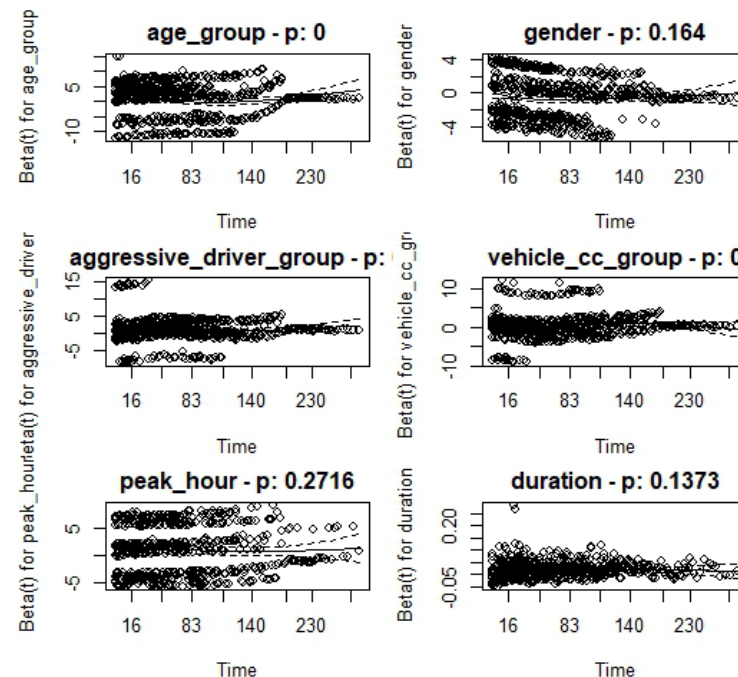
**150 διαδρομές :** Η πιθανότητα επιβίωσης πέφτει περαιτέρω στο 40,3%, υποδεικνύοντας ότι η πλειονότητα των οδηγών έχει υποτροπιάσει σε αυτό το στάδιο

# Απότομες Επιταχύνσεις - Μοντέλο Cox-PH με Ετερογένεια – Πιθανότητα Υποτροπής

Random Effects						
Group	Variable	SD	Variance			
Identifier	Intercept	1.189	1.415			
Metrics						
	chisq	df	p	AIC	BIC	
Integrated loglik	489	9.00	0.00	471	431.4	
Penalized Loglik	584	26.66	0.00	530.7	413.2	
Fixed Effects						
Variable	Coef	Exp(Coef)	SE(Coef)	z	p	
Participant's age						
Age [18-34]	Ref.					
Age [35-54]	-1.851	0.156	0.652	-2.84	0.004	
Age [55+]	-0.930	0.394	1.020	-0.91	0.362	
Participant's gender						
Female	Ref.					
Male	-0.653	0.520	0.520	-1.25	0.209	
Self-reported aggressiveness						
Low	Ref.					
High	1.176	3.243	0.651	1.81	0.070	
Participant's vehicle cc						
<1400cc	Ref.					
>1400cc	0.500	1.649	0.677	0.74	0.459	
Peak hour						
Off peak	Ref.					
Morning peak	-0.244	0.783	0.110	-2.21	0.026	
Afternoon peak	-0.368	0.691	0.108	-3.39	<0.001	
Trip duration	0.011	1.011	0.002	4.75	<0.001	
Concordance Index (C-index):						
	0.675					
AIC	7588.86					
BIC	7740.94					

- Υπάρχει σημαντική μη παρατηρούμενη ετερογένεια μεταξύ των οδηγών, όπως υποδεικνύεται από μια τυχαία παρεμβολή  $sd=1,189$  και διακύμανση 1,415, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για τυχαία αποτελέσματα στο μοντέλο
- Οι βασικοί παράγοντες πρόβλεψης της υποτροπής περιλαμβάνουν την ηλικιακή ομάδα [35-54], την ώρα αιχμής και τη διάρκεια της διαδρομής

## Global Schoenfeld Test p: 0.00

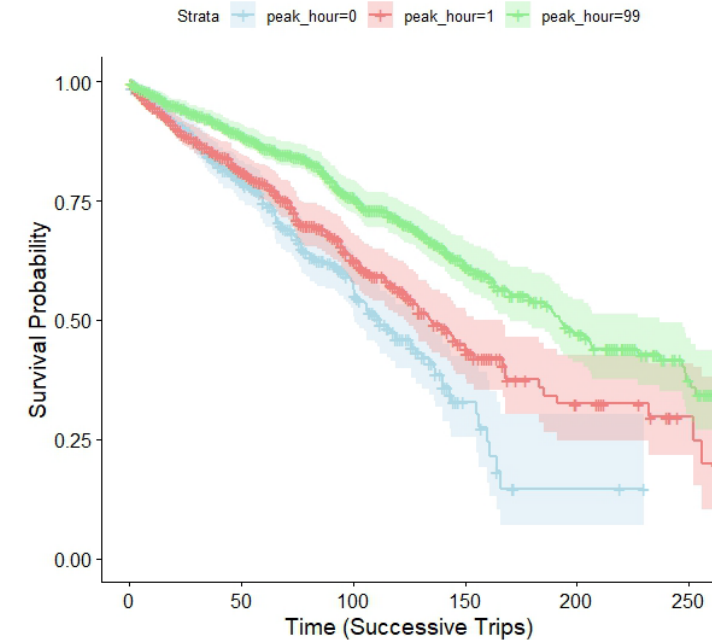
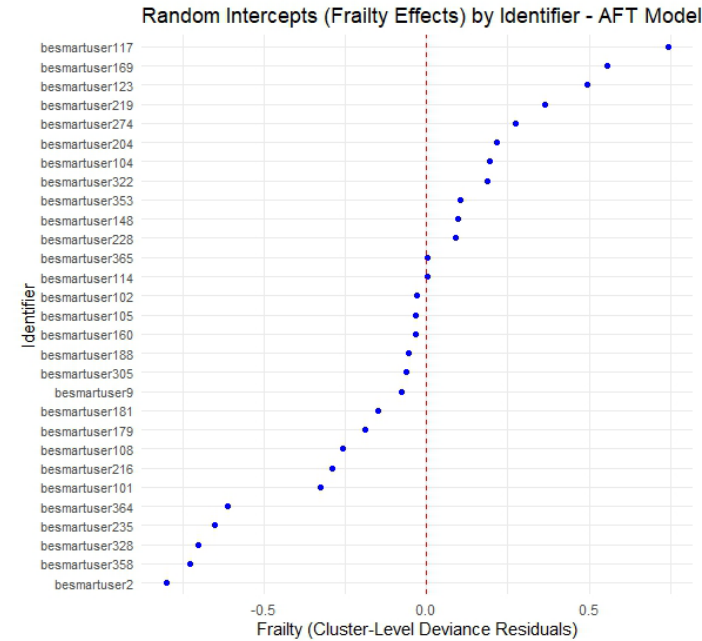


Τα αποτελέσματα του ελέγχου Schoenfeld δείχνουν ότι η υπόθεση της αναλογικότητας παραβιάζεται, καθώς  $p < 0,05$



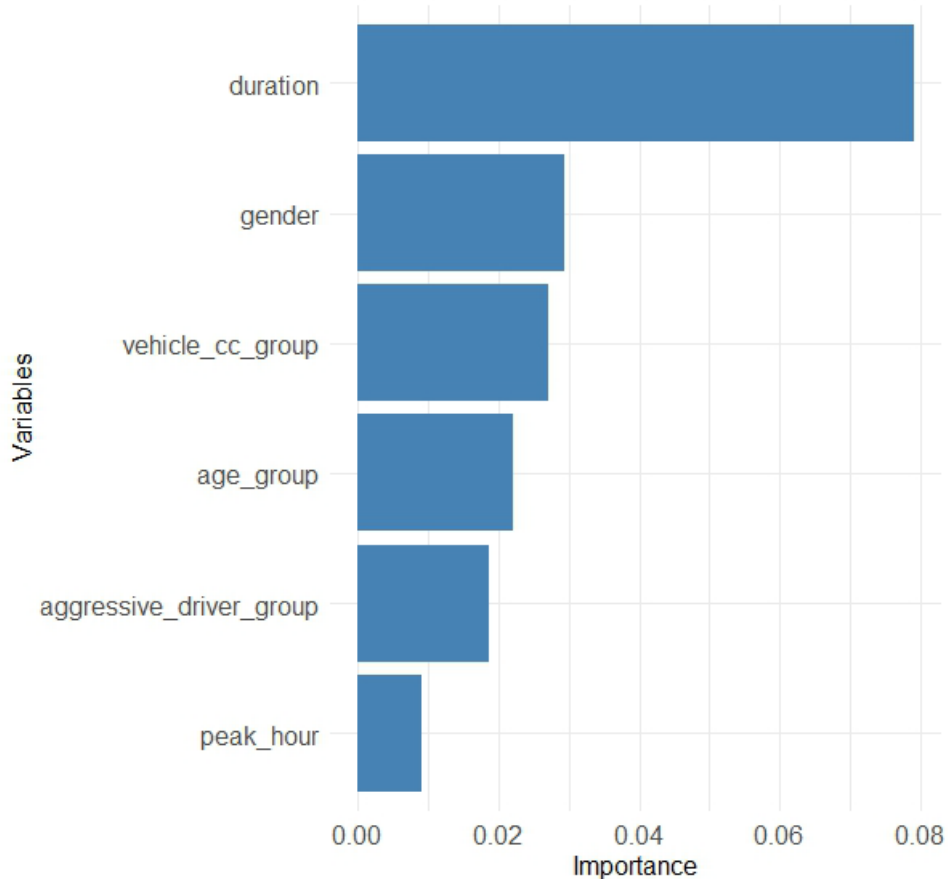
# Απότομες Επιταχύνσεις - Μοντέλο Weibull AFT με Ετερογένεια – Πιθανότητα Επιβίωσης

Variable	Value	Std. Err	(Naive SE)	z	p
(Intercept)	5.011	0.362	0.091	13.82	<0.001
Participant's age					
Age [18-34]	Ref.				
Age [35-54]	0.245	0.21892	0.078	1.12	0.042
Age [55+]	0.387	0.2108	0.169	1.84	0.085
Participant's gender					
Female	Ref.				
Male	0.382	0.27019	0.073	1.41	0.157
Self-reported aggressiveness					
Low	Ref.				
High	-0.643	0.25925	0.115	-2.48	0.013
Participant's vehicle cc					
<1400cc	Ref.				
>1400cc	-0.008	0.28301	0.110	-0.03	0.046
Peak hour					
Off peak	Ref.				
Morning peak	0.189	0.10928	0.084	1.73	0.083
Afternoon peak	0.411	0.13258	0.080	3.11	0.001
Trip duration	-0.015	0.00332	0.001	-4.58	<0.001
Log(scale)	-0.253	0.083	0.032	-3.05	0.002
Scale	0.776				
Loglik(model)	-3842.7				
Loglik(intercept only)	-3944.9				
Chisq	204.41				<0.001
Number of Newton-Raphson Iterations	8				
Concordance Index	0.677				
AIC	7705.44				
BIC	7762.49				



- Οι αυτοαναφερόμενοι επιθετικοί οδηγοί υποτροπιάζουν ταχύτερα, ενώ η οδήγηση στις απογευματινές ώρες αιχμής καθυστερεί την υποτροπή
- Οι επιδράσεις της ευθραυστότητας επιβεβαιώνουν τη μεταβλητότητα των οδηγών - τα διαγράμματα επιβίωσης δείχνουν υψηλότερη επιβίωση στις απογευματινές ώρες αιχμής
- Ο δείκτης συμφωνίας (C-index) του μοντέλου δείχνει καλή ακρίβεια, αναδεικνύοντας τις ατομικές και καταστασιακές επιρροές της υποτροπής

# Απότομες Επιταχύνσεις - Random Survival Forest



Type	Survival
Number of trees	30
Sample size	2220
Number of independent variables	6
Mtry	2
Target node size	5
Variable importance mode	permutation
Splitrule	logrank
Number of unique death times	196
OOB prediction error (1-C)	0.32969

- Η διάρκεια της διαδρομής είναι ο ισχυρότερος παράγοντας πρόβλεψης της υποτροπής στις απότομες επιταχύνσεις, σε σχέση με τους άλλους παράγοντες
- Το μοντέλο RSF παρουσιάζει καλή ακρίβεια (RMSE: 91,36, MAE: 69,63) με λογική διάκριση (δείκτης 1-C: 0,33)
- Το RSF αποτυπώνει πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις, συμπληρώνοντας τα μοντέλα επιβίωσης στην κατανόηση της δυναμικής της συμπεριφοράς υποτροπής



# Απότομες Επιταχύνσεις – Σύγκριση Μεθόδων

Aspect	Weibull AFT Model	Cox Model with Frailty	Random Survival Forest (RSF)
<b>Purpose</b>	Models survival time directly	Models hazard rate	Captures non-linear effects
<b>C-index</b>	0.677	0.675	0.670
<b>AIC</b>	7705.44	7588.86	N/A
<b>BIC</b>	7762.49	7740.94	N/A
<b>Key Predictors</b>	Age, aggressive driver group, duration	Age, Aggressive driver group, vehicle_cc_group, duration	Duration, gender, vehicle_cc_group
<b>Frailty Effects</b>	Accounted (Clustered Heterogeneity)	Accounted (Shared Frailty)	Implicitly handled (Non-parametric)
<b>Prediction Error (RMSE/MAE)</b>	RMSE: 92.81, MAE: 71.30	RMSE: 173.08, MAE: 152.21	RMSE: 91.36, MAE: 69.63
<b>Strengths</b>	Interpretable, adjusts for clustering	Handles heterogeneity flexibly	Captures complex interactions
<b>Weaknesses</b>	Assumes Weibull distribution	Assumes proportional hazards	Less interpretable

- Το Weibull AFT εξισορροπεί την ερμηνευσιμότητα και την ακρίβεια χειριζόμενο αποτελεσματικά τις επιδράσεις ετερογένειας
- Το RSF επιτυγχάνει την καλύτερη προβλεπτική απόδοση, αλλά δεν υποστηρίζει εκτενέστερη ερμηνεία
- Το Cox αστοχεί στα κριτήρια αναλογικών κινδύνων
- Οι βασικοί προγνωστικοί παράγοντες διαφέρουν ανάλογα με το μοντέλο: Το RSF προσδιορίζει το φύλο και τον κυβισμό του οχήματος ως πρόσθετους παράγοντες επιρροής
- Η επιλογή της μεθόδου μοντέλου εξαρτάται από τις προτεραιότητες: Weibull AFT για ερμηνευσιμότητα και RSF για ακρίβεια



# Απότομες Επιβραδύνσεις - Σύγκριση Μεθόδων

Aspect	Weibull AFT Model	Cox Model with Frailty	Random Survival Forest (RSF)
<b>Purpose</b>	Models survival time directly	Models hazard rate	Captures non-linear effects
<b>C-index</b>	0.724	0.653	0.636
<b>AIC</b>	9501.4	9796.8	N/A
<b>BIC</b>	9558.4	9945.9	N/A
<b>Key Predictors</b>	Age group, vehicle CC group, trip duration	Vehicle CC group, peak hour, trip duration	Vehicle CC group, age group, gender, trip duration
<b>Frailty Effects</b>	Accounted (Clustered Heterogeneity)	Accounted (Shared Frailty)	Implicitly handled (Non-parametric)
<b>Prediction Error (RMSE/MAE)</b>	RMSE: 91.73, MAE: 70.25	RMSE: 121.11, MAE: 102.42	RMSE: 91.92, MAE: 70.67
<b>Strengths</b>	Interpretable, adjusts for clustering	Handles heterogeneity flexibly	Captures complex interactions
<b>Weaknesses</b>	Accounts for driver-specific effects	Provides interpretable hazard ratios	Robust to outliers, identifies non-linear effects

- Το Weibull AFT αποδίδει καλύτερα (δείκτης C: 0,724), εξισορροπώντας την ερμηνευσιμότητα και την ακρίβεια πρόβλεψης
- Το Cox αστοχεί στα κριτήρια αναλογικών κινδύνων, παρουσιάζοντας χαμηλότερο δείκτη C (0,653) και υψηλότερα σφάλματα πρόβλεψης
- Το RSF καταγράφει πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις, αλλά η χαμηλή ερμηνευσιμότητα (δείκτης C: 0,636) περιορίζει την ερμηνευτική ισχύ
- Η επιλογή της μεθόδου μοντέλου εξαρτάται από τους στόχους: Weibull AFT για ερμηνευσιμότητα, RSF για πρόβλεψη



# Υπερβολική Ταχύτητα - Σύγκριση Μεθόδων

Aspect	Weibull AFT Model	Cox Model with Frailty	Random Survival Forest (RSF)
<b>Purpose</b>	Models survival time directly	Models hazard rate	Captures non-linear effects
<b>C-index</b>	0.70	0.696	0.704 (OOB)
<b>AIC</b>	8632.26	8549.06	N/A
<b>BIC</b>	8689.31	8708.31	N/A
<b>Key Predictors</b>	Trip duration, aggressiveness, age group	Trip duration, aggressiveness, age group	Trip duration, age group, aggressive driving
<b>Frailty Effects</b>	Accounted (Clustered Heterogeneity)	Accounted (Shared Frailty)	Implicitly handled (Non-parametric)
<b>Prediction Error (RMSE/MAE)</b>	RMSE: 92.47, MAE: 70.91	RMSE: 146.59, MAE: 130.41	RMSE: 91.87, MAE: 70.17
<b>Strengths</b>	Interpretable, adjusts for clustering; Accounts for driver-specific effects	Handles heterogeneity flexibly; Provides interpretable hazard ratios	Captures complex interactions; Robust to outliers, identifies non-linear effects
<b>Weaknesses</b>	Assumes Weibull distribution; Sensitive to outliers	Assumes proportional hazards; Lower predictive accuracy	Less interpretable; Requires larger datasets

- Το μοντέλο Weibull AFT εξισορροπεί την ερμηνευσιμότητα και την ακρίβεια (δείκτης C: 0,70, RMSE: 92,47, MAE: 70,91)
- Το μοντέλο Cox παρουσιάζει συγκρίσιμη διάκριση (δείκτης C: 0,696) αλλά (RMSE: 146,59) **υψηλότερα σφάλματα πρόβλεψης**
- Το μοντέλο RSF επιτυγχάνει την καλύτερη προβλεπτική απόδοση (δείκτης C: 0,704) αλλά έχει ελλιπή ερμηνευτική ικανότητα
- Η επιλογή της μεθόδου μοντέλου εξαρτάται από τις προτεραιότητες: Weibull AFT για ερμηνευσιμότητα, RSF για πρόβλεψη

# Χρήση Κινητού Τηλεφώνου- Σύγκριση Μεθόδων

Aspect	Weibull AFT Model	Cox Model with Frailty	Random Survival Forest (RSF)
<b>Purpose</b>	Models survival time directly	Models hazard rate	Captures non-linear effects
<b>C-index</b>	0.773	0.737	0.755
<b>AIC</b>	3976.995	3371.426	N/A
<b>BIC</b>	4034.048	3513.939	N/A
<b>Key Predictors</b>	Age group, aggressive driver group, vehicle CC, duration	Age group, aggressive driver group, duration	Age group, duration, vehicle CC group, aggressive driving
<b>Frailty Effects</b>	Accounted (Clustered Heterogeneity)	Accounted (Shared Frailty)	Implicitly handled (Non-parametric)
<b>Prediction Error (RMSE/MAE)</b>	RMSE: 92.47, MAE: 70.91	RMSE: 105.87, MAE: 85.41	RMSE: 85.87, MAE: 65.41
<b>Strengths</b>	Interpretable, adjusts for clustering; Highlights significant predictors	Adjusts for heterogeneity across clusters; Provides interpretable hazard ratios	Captures complex relationships; Robust to outliers
<b>Weaknesses</b>	Assumes Weibull distribution; Sensitive to deviations and outliers	Lower discrimination ability; Assumes proportional hazards	Less interpretable; Weaker numerical precision compared to parametric models

- Το μοντέλο Weibull AFT αποδίδει **καλύτερα** (δείκτης C: 0,773), εξισορροπώντας την ερμηνευσιμότητα και την ακρίβεια πρόβλεψης
- Το μοντέλο Cox έχει χαμηλότερη διακριτική ικανότητα (δείκτης C: 0,737)
- Το RSF επιτυγχάνει τα χαμηλότερα σφάλματα πρόβλεψης (RMSE: 85,87, MAE: 65,41), αλλά στερείται ερμηνευσιμότητας
- Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από τους στόχους: Weibull AFT για ερμηνεία και RSF για ακρίβεια



# Συμπεράσματα, Συνεισφορές και Μελλοντικές Προκλήσεις

- Βασικά Ερευνητικά Ευρήματα
- Καινοτόμες Επιστημονικές Συνεισφορές
- Μελλοντικές Προκλήσεις



# Βασικά Ερευνητικά Ευρήματα (1/3)

Η ανατροφοδότηση μείωσε σημαντικά τις επικίνδυνες συμπεριφορές

- Η υπερβολική ταχύτητα μεταξύ των μοτοσικλετιστών μειώθηκε κατά 13,5% συνολικά και κατά 34,3% στις αγροτικές περιοχές
- Η χρήση κινητού τηλεφώνου μεταξύ των οδηγών ΙΧ μειώθηκε σημαντικά στις αστικές και υπεραστικές περιοχές, αλλά αυξήθηκε στους αυτοκινητόδρομους

Τα απότομα συμβάντα μειώθηκαν σημαντικά

- Οι απότομες επιταχύνσεις μειώθηκαν κατά 12% και οι απότομες επιβραδύνσεις κατά 10% στους οδηγούς ΙΧ
- Η ανατροφοδότηση σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον είχε τον ισχυρότερο αντίκτυπο στη μείωση αυτών των συμβάντων

Οι κάρτες αποτελεσμάτων ήταν το πιο αποτελεσματικό εργαλείο ανατροφοδότησης

- Οι κάρτες αποτελεσμάτων είχαν την υψηλότερη επιρροή στην ασφαλή οδήγηση παρέχοντας σαφείς και εφαρμόσιμες πληροφορίες
- Οι χάρτες και οι συγκρίσεις μεταξύ οδηγών συνέβαλαν επίσης σημαντικά στη βελτίωση της συμπεριφοράς





## Βασικά Ερευνητικά Ευρήματα (2/3)

Η παιχνιδοποίηση και τα κίνητρα βελτίωσαν αποτελεσματικά τη συμπεριφορά οδηγού

- Οι επαγγελματίες οδηγοί σε ένα παιχνιδοποιημένο σύστημα μειώνουν την πιθανότητα απότομων επιταχύνσεων κατά 65,2% και απότομων επιβραδύνσεων κατά 59,6%
- Οι διαγωνισμοί και οι προκλήσεις παρακίνησαν σημαντικά την ασφαλέστερη οδηγική συμπεριφορά μεταξύ της ομάδας των οδηγών ΙΧ

Η υπερβολική ταχύτητα και οι απότομες επιβραδύνσεις ήταν σε μεγάλο βαθμό αλληλένδετα

- Η ανάλυση συνδιακύμανσης έδειξε ότι η υπερβολική ταχύτητα οδηγεί συχνά σε απότομη επιβράδυνση, υποδεικνύοντας επιθετικές τάσεις οδήγησης
- Ενισχύεται η ανάγκη πολύπλευρων παρεμβάσεων που στοχεύουν ταυτόχρονα πολλαπλές επικίνδυνες συμπεριφορές



# Βασικά Ερευνητικά Ευρήματα (3/3)

Μετά την ανατροφοδότηση σημειώθηκε υποτροπή, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχείς παρεμβάσεις

- Οι πιθανότητες επιβίωσης για βελτιωμένη οδήγηση μειώθηκαν με την πάροδο του χρόνου, με την υποτροπή της υπερβολικής ταχύτητας να φτάνει το 46,8% μέχρι τις 150 διαδρομές, τις απότομες επιταχύνσεις το 49,2% και τις απότομες επιβραδύνσεις το 40,3%
- Η χρήση κινητού έδειξε ελαφρώς μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, διατηρώντας το 75,6% της επιβίωσης σε 150 διαδρομές

Η διάρκεια της διαδρομής αναδείχθηκε σε κυρίαρχο προγνωστικό παράγοντα υποτροπής

- Οι μεγαλύτερες διαδρομές αύξησαν την πιθανότητα υποτροπής σε όλους τους δείκτες
- Οι πρωινές ώρες αιχμής αύξησαν την υποτροπή, ενώ οι απογευματινές ώρες αιχμής ευνόησαν την επιβίωση της βελτιωμένης συμπεριφοράς

Το μοντέλο Weibull AFT παρείχε την καλύτερη ισορροπία ερμηνευσιμότητας και ακρίβειας

- Αυξημένη αξιοπιστία πρόβλεψης της υποτροπής
- Σημαντική μεταβλητότητα μεταξύ των οδηγών, ενισχύοντας τον ρόλο των επιδράσεων της ομαδοποιημένης ετερογένειας





# Συνεισφορά Διατριβής - Καινοτομίες



# Μελλοντικές Προκλήσεις

Ενσωμάτωση κυκλοφοριακών, μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

- Η ενσωμάτωση εξωτερικών πηγών δεδομένων μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια του πλαισίου της ανάλυσης της οδηγικής συμπεριφοράς

Κλιμάκωση των μελετών σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες

- Η διεξαγωγή ερευνών σε διαφορετικές περιοχές και κουλτούρες οδήγησης θα ενισχύσει τη δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων

Μακροπρόθεσμη αξιολόγηση της βιωσιμότητας της ανατροφοδότησης

- Η κατανόηση της αλλαγής της συμπεριφοράς σε βάθος ετών και όχι μηνών είναι ζωτικής σημασίας για το σχεδιασμό βιώσιμων παρεμβάσεων

Προσαρμογή των μηχανισμών ανατροφοδότησης στις εξελισσόμενες τεχνολογίες οχημάτων

- Η άνοδος των συνδεδεμένων και αυτόνομων οχημάτων απαιτεί προσαρμοστική ενσωμάτωση της ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο για μελλοντικές βελτιώσεις της οδικής ασφάλειας





