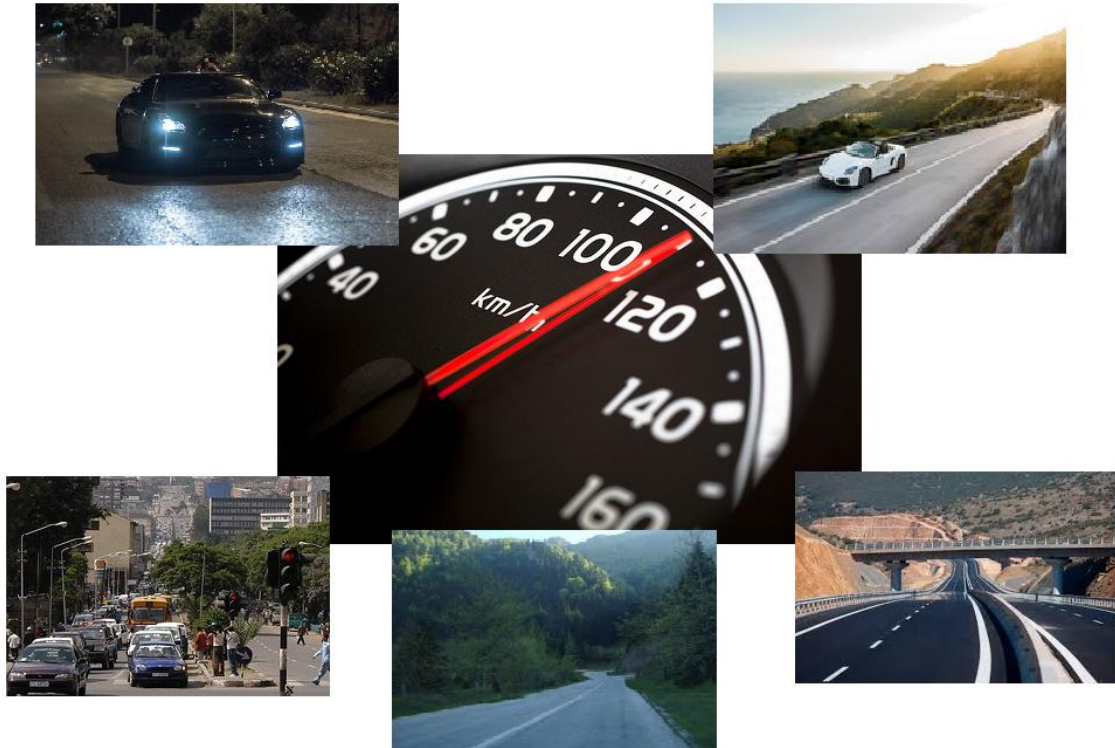




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

# Ανάπτυξη προτύπων ταχύτητας του οδηγού με βάση λεπτομερή δεδομένα οδήγησης από αισθητήρες κινητών τηλεφώνων

Διπλωματική Εργασία



**Χριστίνα Γονίδα**

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

Αθήνα, Ιούλιος 2017



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την Διπλωματική μου Εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη, την άψογη συνεργασία και τις χρήσιμες συμβουλές που αφορούν όχι μόνο την παρούσα εργασία αλλά και την γενικότερη μετέπειτα πορεία μου στον επαγγελματικό χώρο ως μηχανικός και ως άνθρωπος.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής: κ. Ι. Γκόλια, Πρύτανη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και κα Ε. Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους και για τις γνώσεις που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στη σχολή.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κα Ελεονώρα Παπαδημητρίου, Διδάκτωρ Συγκοινωνιολογίας και Επιστημονικό Συνεργάτη ΕΜΠ, για τη βοήθεια και τις υποδείξεις της σε σημαντικά ζητήματα της εργασίας. Εξίσου ευχαριστώ και τον κ. Δημήτρη Τσελέντη, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια του, για τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές του, την επιμονή και υπομονή του δίνοντας απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν και στην εταιρεία τηλεματικής OSeven, η οποία παραχώρησε τα πολύ χρήσιμα στοιχεία μέτρησης της συμπεριφοράς του οδηγού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου, για την αγάπη και την ηθική, αλλά και υλική, υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, ευχαριστώ όλους τους φίλους μου για τις πολύ όμορφες αλλά και δύσκολες στιγμές που περάσαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Ιούλιος 2017  
Χριστίνα Γονίδη



**Ανάπτυξη προτύπων ταχύτητας του οδηγού  
με βάση λεπτομερή δεδομένα οδήγησης  
από αισθητήρες κινητών τηλεφώνων**

Χριστίνα Γονίδη

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

**ΣΥΝΟΨΗ:**

Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι η **ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων ταχύτητας του οδηγού με βάση λεπτομερή δεδομένα του τρόπου οδήγησης που συλλέγονται από αισθητήρες κινητών τηλεφώνων**. Αξιοποιήθηκε μεγάλος αριθμός δεδομένων που καταγράφονταν ανά δευτερόλεπτο και αφορούσαν στην ακριβή θέση του οχήματος, στην ταχύτητά του, στη συνολική απόσταση και στον χρόνο της μετακίνησης, στην επιτάχυνση και στην επιβράδυνση του οχήματος, στα σημεία όπου ο οδηγός πραγματοποιούσε απότομη αλλαγή ταχύτητας ή απότομο ελιγμό, στη χρήση του κινητού τηλεφώνου κ.α. Για την ανάλυση των στοιχείων των μετρήσεων αναπτύχθηκαν στατιστικά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression). Αναπτύχθηκαν συνολικά 6 μοντέλα πρόβλεψης της μέσης ταχύτητας, ένα γενικό μοντέλο, δύο μοντέλα για τις περιόδους εντός και εκτός των κρίσιμων ωρών και τρία μοντέλα για κάθε τύπο οδικού δικτύου (αστικό, υπεραστικό, αυτοκινητόδρομο). Τα αποτελέσματα έδειξαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της μέσης ταχύτητας και της απόστασης που διανύει ο οδηγός, καθώς επίσης και με την επιτάχυνση που είτε αναπτύσσει συνολικά ο οδηγός, είτε της απότομης αλλαγής της.

Λέξεις κλειδιά: ταχύτητα, ελιγμός, επιτάχυνση, συμπεριφορά οδηγού, γραμμική παλινδρόμηση



# **Development of driver speed models based on detailed driving data from smartphone sensors**

Christina Gonidi

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

## **ABSTRACT :**

The aim of this Diploma Thesis is the development of driver speed models based on detailed driving data from smartphone sensors. A large data set recorded per second was used, containing information about the exact position of the vehicle, its acceleration and deceleration and the point where the drivers performed a harsh manoeuvre or speed change or when they used their mobile phone, etc. In order to analyze the available data, six statistical linear regression models forecasting driver average speed were developed: one general model, two models for the periods inside or outside risky hours and three models for each road type (urban, rural and highways). The results demonstrated a strong correlation between the average speed and the distance covered by the driver as well as driver accelerations and harsh changes

Key words: speed, maneuver, acceleration, driver behaviour, linear regression





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το **αντικείμενο** της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας έχει ως σκοπό την **ανάπτυξη προτύπων ταχύτητας του οδηγού με βάση λεπτομερή δεδομένα του τρόπου οδήγησης που συλλέγονται από αισθητήρες κινητών τηλεφώνων**. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε ο βαθμός στον οποίο τα διάφορα στοιχεία που συνθέτουν τον τρόπο οδήγησης του οδηγού (απότομη επιτάχυνση, απότομη επιβράδυνση, απόσταση ταξιδιού, ποσοστό χρόνου οδήγησης σε κάθε τύπο οδού, τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης κάθε οδηγού στις μετακινήσεις του, κτλ.) αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και καθορίζουν την ταχύτητα που αναπτύσσει ο εκάστοτε οδηγός ανάλογα τις συνθήκες.

Δεδομένου ότι η δυνατότητα αξιοποίησης των στοιχείων αυτών είναι σχετικά πρόσφατη, πρόκειται για ένα θέμα το οποίο δεν έχει μελετηθεί ιδιαίτερος ούτε διεθνώς ούτε στην Ελλάδα, ωστόσο, όπως προκύπτει και από τη **βιβλιογραφική ανασκόπηση**, τα τελευταία χρόνια χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας, παρατηρείται μία αυξανόμενη ενασχόληση των επιστημόνων κόσμου γύρω από το συγκεκριμένο ζήτημα.

Η **συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων** για τη διερεύνηση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς του οδηγού πραγματοποιήθηκε με μεταφορά των σχετικών δεδομένων φυσικής οδήγησης που καταγράφονται από το κινητό τηλέφωνο του οδηγού μέσω ειδικής εφαρμογής.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν σε 18.853 μετακινήσεις, από 100 οδηγούς οι οποίοι οδήγησαν από τον Ιούλιο ως και τον Δεκέμβριο του 2016, οποιαδήποτε ώρα της ημέρας, η οποία όμως καταγραφόταν και σε οποιοδήποτε τύπο οδού με βάση το GPS.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων και μία σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν **μαθηματικά μοντέλα με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης** για την εξαρτημένη μεταβλητή, η οποία ήταν η μέση ταχύτητα του οδηγού. Εκτός όμως από το γενικό μοντέλο, αναπτύχθηκαν και μοντέλα που προσδιορίζουν τη μέση ταχύτητα που χρησιμοποιεί κάθε οδηγός ανάλογα με το αν οδηγεί εντός ή εκτός των κρίσιμων ωρών και ανάλογα με τον τύπο της οδού, όπως αυτά συνοψίζονται.

Στον πίνακα που ακολουθεί το μέγεθος της **σχετικής επιρροής** χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση της επιρροής της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου. Στη στήλη  $ei^*$  δίνεται ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Πρόβλεψη του λογαριθμού της μέσης ταχύτητας που χρησιμοποιεί ο κάθε οδηγός εάν οδηγήει :																								
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	(γενικό μοντέλο)				εκτός κρίσιμων ωρών				εντός κρίσιμων ωρών				σε αστική οδό				σε επαρχιακή οδό				σε αυτοκινητόδρομο			
	βι	t	Σχετική επιπλοκή		βι	t	Σχετική επιπλοκή		βι	t	Σχετική επιπλοκή		βι	t	Σχετική επιπλοκή		βι	t	Σχετική επιπλοκή		βι	t	Σχετική επιπλοκή	
			ei	ei*			ei	ei*			ei	ei*			ei	ei*			ei	ei*			ei	ei*
σταθερά	1,554	38,87			1,726	49,83			1,548	38,63			1,21	32,18			1,593	99,94			1,915	71,43		
μέση απόσταση	,004	4,772	,182	5,222	,001	2,228	,167	5,044	,005	5,035	,197	6,527	,019	5,109	,201	3,415	,005	7,119	,225	3,069	2,99*10 <sup>^</sup> (-4)	2,430	,071	-9,55
απότομη επιτάχυνση	,012	1,965	,035	1,000	,014	2,505	,062	1,860	,012	1,969	,030	1,000									,005	1,764	,064	-7,25
τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	,255	3,803	,194	5,579	,070	1,769	,033	1,000	-,186	-4,586	,194	6,412												
ποσοστό χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	-,183	-4,502	-,174	-4,994	-,239	-5,533	-,090	-2,707	,253	3,672	-,182	-6,006												
μέση επιβραδυνση																								
τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης																								
απότομη στροφή																								
μέσος χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου																								
<b>Συντελεστής Συσχέτισης</b>																								
		0,569				0,564				0,575				0,369				0,372				0,354		

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων, όπως αυτά συνοψίζονται παρακάτω:

- ✚ Οι οδηγοί που έχουν την τάση να **επιταχύνουν** πολύ, απότομα και συχνά, είναι και εκείνοι που τελικά αναπτύσσουν **μεγαλύτερες ταχύτητες**. Το ίδιο ισχύει και για την επιβράδυνση αλλά σε μικρότερο βαθμό.
- ✚ Διαπιστώθηκε ότι οι οδηγοί που διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις, άρα και **οδηγούν περισσότερο, αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες**. Συνεπώς οι οδηγοί αυτοί είναι περισσότερο επικίνδυνοι παρά την εμπειρία τους, αφού η εμπειρία αυτή τους ωθεί ενδεχομένως σε μεγαλύτερες ταχύτητες και δεν αξιοποιείται πάντα για πιο συνετή οδήγηση.
- ✚ Εξετάζοντας τους **απότομους ελιγμούς** του οδηγού, το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση με τις απότομες εναλλαγές ταχύτητας και, φυσικά, με την υπέρβαση του ορίου ταχύτητας. Δηλαδή, όσο περισσότερους απότομους ελιγμούς κάνει ο οδηγός τόσο περισσότερες εναλλαγές και υπερβάσεις στην ταχύτητά του εμφανίζει.
- ✚ Οι **απότομοι ελιγμοί για στροφή** όταν οι οδηγοί κινούνται σε αυτοκινητόδρομο είναι ελάχιστοι και πολύ λιγότεροι από εκείνους σε κάθε άλλο τύπο οδού. Σε αστική οδό παρατηρούνται οι περισσότεροι ελιγμοί στροφής. Στην υπεραστική οδό η συμπεριφορά των οδηγών τείνει να είναι όμοια με εκείνη των αστικών οδών, αλλά κάπως βελτιωμένη στην πλειοψηφία των οδηγών. Σε αυτό ενδεχομένως να επηρεάζει και το γεγονός ότι οι αυτοκινητόδρομοι είναι σχεδιασμένοι με μεγαλύτερες ακτίνες καμπύλης για υψηλότερες ταχύτητες.
- ✚ Η ώρα οδήγησης φαίνεται να επηρεάζει μόνο την ταχύτητα του οχήματος και όχι τη συνολική κυκλοφοριακή συμπεριφορά του οδηγού. Κατά τη διάρκεια **των επικίνδυνων ωρών**, παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας του οχήματος, κάτι το οποίο συμβαίνει – πιθανότατα– λόγω χαμηλότερου κυκλοφοριακού φόρτου στις οδούς. Παρόλα αυτά, δεν προκύπτει ότι στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ο οδηγός είναι πιο απρόσεκτος ή πιο επικίνδυνος καθώς στα υπόλοιπα μαθηματικά μοντέλα, το επίπεδο σημαντικότητας της μεταβλητής των επικίνδυνων ωρών ήταν ιδιαίτερα χαμηλό.

- ✚ Οι οδηγοί που έχουν την τάση να **επιταχύνουν περισσότερες φορές απότομα είναι και εκείνοι που επιβραδύνουν πιο συχνά απότομα**. Ενδεχομένως αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι οδηγοί που επιταχύνουν περισσότερο, για να σταματήσουν σύντομα και να μην δημιουργηθεί ατύχημα πρέπει να επέμβουν δραστικά και απότομα.
- ✚ Οι οδηγοί όταν κινούνται σε **αστική οδό τείνουν να οδηγούν πιο απότομα και να έχουν μεγαλύτερες μέσες επιταχύνσεις**, ενώ οι οδηγοί όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο έχουν πολύ χαμηλότερες επιταχύνσεις, ενδεχομένως διότι στους αυτοκινητόδρομους οι οδηγοί διατηρούν σταθερή ταχύτητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Στην υπεραστική οδό η συμπεριφορά τους τείνει να είναι λίγο καλύτερη (χαμηλότερες επιταχύνσεις) από εκείνη των αστικών οδών.
- ✚ Η **επιτάχυνση φάνηκε να επηρεάζει περισσότερο την ταχύτητα από την επιβράδυνση**, καθώς κάθε μοντέλο έχει έναν όρο επιτάχυνσης, ενώ όρο επιβράδυνσης δεν έχουν όλα τα μοντέλα. Προέκυψε επίσης για όλα τα μοντέλα, ότι το επίπεδο σημαντικότητας των μεταβλητών επιτάχυνσης ήταν μεγαλύτερο από εκείνο της επιβράδυνσης.
- ✚ Η **τυπική απόκλιση που παρουσιάζει η επιτάχυνση και η επιβράδυνση** κάθε οδηγού προέκυψε πως επηρεάζει σημαντικά τη μέση ταχύτητα. Πιθανόν να συμβαίνει αυτό γιατί εάν ένας οδηγός έχει μεγάλες διαφορές στις επιταχύνσεις και στις επιβραδύνσεις του ανά μετακίνηση, ενδέχεται να οδηγεί κάθε φορά υπό διαφορετικές συνθήκες και να τροποποιείται η ταχύτητά του από αυτές.
- ✚ Η **χιλιομετρική απόσταση** που έχει να διανύσει ένας οδηγός φάνηκε πως είναι καθοριστική για τη μέση ταχύτητα που θα αναπτύξει ο οδηγός, καθώς εμπεριέχεται σε όλα τα μοντέλα και στα περισσότερα, είναι η μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή.
- ✚ Μεγαλύτερες **διαφορές στη διάρκεια κίνησης από τη διάρκεια διαδρομής** εμφανίζονται σε αστικές και υπεραστικές οδούς, ενώ στους αυτοκινητόδρομους οι διαφορές είναι πολύ μικρές για όλους τους οδηγούς. Αυτό πιθανόν συμβαίνει γιατί στους αυτοκινητόδρομους δεν υπάρχουν οι καθυστερήσεις από τους φωτεινούς σηματοδότες.
- ✚ Η **χρήση του κινητού τηλεφώνου** για τη μέση ταχύτητα που θα αναπτύξει ο κάθε οδηγός, προέκυψε ότι επηρεάζει τη μέση ταχύτητα του οδηγού αλλά όχι τόσο όσο άλλες μεταβλητές.

- ✚ Οι οδηγοί **χρησιμοποιούν περισσότερο το κινητό τους τηλέφωνο** ενώ οδηγούν σε αστική οδό, ενώ αρκετά λιγότερο όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι στις αστικές οδούς ο οδηγός κινείται με πιο μικρή ταχύτητα και πραγματοποιεί περισσότερες στάσεις.
- ✚ Οι **μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές** κάθε μεταβλητής δεν έδειξαν να επηρεάζουν την μέση ταχύτητα. Οι τιμές αυτές σε κανένα μοντέλο δεν είχαν κάποιο σημαντικό επίπεδο σημαντικότητας και υψηλή συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή.
- ✚ Οι μεταβλητές, μέσος όρος παραγωγού της επιτάχυνσης (avjerk), παράγωγος επιτάχυνσης-ρυθμός μεταβολής επιτάχυνσης (avjerkp), μειούμενος ρυθμός παραγωγού επιτάχυνσης (avjerkn), **δεν φαίνεται να έχουν ουσιαστική επιρροή** στη ταχύτητα του οδηγού. Σε όλα τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν, οι συγκεκριμένες μεταβλητές εμφάνιζαν ένα ιδιαίτερα χαμηλό επίπεδο σημαντικότητας, καταδεικνύοντας μη σημαντική επιρροή στην μέση ταχύτητα του οδηγού που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.
- ✚ Από την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας αυτής προκύπτει ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα μπορούν να αποθηκευτούν ηλεκτρονικά σε ειδικά πληροφορικά συστήματα και περιέχουν ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες οι οποίες, μετά από κατάλληλη επεξεργασία και ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, μπορούν να χρησιμεύσουν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη **μέση ταχύτητα του οδηγού**, αλλά και για τη γενικότερη κυκλοφοριακή συμπεριφορά τους.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική Ανασκόπηση .....	1
1.1.2. Οδικά Ατυχήματα .....	1
1.1.2.1. Γενικά .....	1
1.1.2.1.1. Τα αίτια των οδικών ατυχημάτων .....	1
1.1.2.1.2. Συνέπειες των οδικών ατυχημάτων.....	3
1.1.2.2. Η οδική ασφάλεια .....	4
1.1.2.2.1. Η οδική ασφάλεια σε παγκόσμιο επίπεδο ....	4
1.1.2.2.2. Η οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκό επίπεδο ...	4
1.1.2.2.3. Η οδική ασφάλεια στην Ελλάδα .....	6
1.1.2.3. Ταχύτητα .....	7
1.1.2.3.1. Έρευνα του Διεθνούς Φόρουμ Μεταφορών του ΟΟΣΑ.....	7
1.2. Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	9
1.3. Μεθοδολογία.....	10
1.4. Δομή Διπλωματικής Εργασίας .....	12

### 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Γενικά.....	15
2.2. Συναφείς έρευνες .....	15
2.2.1. Συστήματα καταγραφής επί των οχημάτων .....	15
2.2.1.1. Development of a driving data recorder (1994) .....	16
2.2.1.2. In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior (2008) .....	17
2.2.1.3. Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones (2011).....	18
2.2.1.4. Star rating driver traffic and safety behavior through OBD and smartphone data collection (2016).....	19
2.2.1.5. Innovative motor insurance schemes: A review of current practices and emerging challenges (2017).....	20
2.2.2. Η επιρροή της ταχύτητας στην οδική ασφάλεια.....	21
2.2.2.1. Driving speed and the risk of road crashes (2006) ...	22
2.2.2.2. Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Does it apply on urban roads? (2008) .....	22
2.2.2.3. The Power Model of the relationship between speed and road safety (2009) .....	23

2.2.2.4. Effects of in-vehicle monitoring on the driving behavior of teenagers (2010) .....	24
2.2.2.5. Factors Affecting Road Safety: A Review and Future Research Direction (2012) .....	25
2.2.2.6. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety (2014).....	25
2.2.3. Συναφείς μεθοδολογίες .....	26
2.2.3.1. Modeling the behavior of novice young drivers during the first year after licensure (2010) .....	26
2.2.3.2. Driving behavior and traffic safety: an acceleration-based safety evaluation procedure for smartphones (2014)...	27
2.3. Σύνοψη .....	28

### **3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

3.1. Εισαγωγή.....	31
3.2. Βασικές Έννοιες Στατιστικής .....	31
3.3. Συσχέτιση Μεταβλητών – Συντελεστής Συσχέτισης .....	33
3.4. Βασικές Κατανομές .....	34
3.4.1. Κανονική Κατανομή.....	34
3.4.2. Κατανομή Poisson.....	34
3.4.3. Αρνητική Διωνυμική Κατανομή.....	35
3.5. Μαθηματικά Πρότυπα .....	36
3.5.1. Γραμμική Παλινδρόμηση .....	36
3.5.1.1. Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων .....	37
3.5.2. Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	38
3.5.3. Λογιστική Ανάλυση Παλινδρόμησης.....	39
3.5.4. Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση.....	40
3.6. Διαδικασία Ανάπτυξης και Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου .....	41
3.7. Λειτουργία του Ειδικού Στατιστικού Λογισμικού .....	44

### **4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

4.1. Εισαγωγή.....	47
4.2. Συλλογή στοιχείων .....	47
4.2.1. Τρόπος Συλλογής Δεδομένων.....	48
4.2.1.1. Σύστημα καταγραφής δεδομένων .....	48
4.2.1.2. Μετάδοση δεδομένων.....	49
4.2.1.3. Αποθήκευση δεδομένων, θέματα ασφαλείας και ιδιωτικότητας .....	50
4.2.1.4. Επεξεργασία δεδομένων .....	50
4.2.1.5. Παρουσίαση δεδομένων .....	53



4.2.2. Τα Δεδομένα .....	53
4.3. Διαμόρφωση Δεδομένων .....	56
4.3.1. Διαμόρφωση βάσεων δεδομένων .....	56
4.3.1.1. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, εκτός των κρίσιμων ωρών.....	57
4.3.1.2. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, εντός των κρίσιμων ωρών.....	58
4.3.1.3. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, σε αστική οδό.....	58
4.3.1.4. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, σε υπεραστική οδό.....	59
4.3.1.5. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, σε αυτοκινητόδρομο.....	59
4.3.2. Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία .....	60
4.3.2.1. Διαγράμματα .....	60
4.3.2.2. Γενικά σχόλια - Παρατηρήσεις.....	69
4.3.3. Εισαγωγή δεδομένων στο ειδικό στατιστικό πρόγραμμα.....	71

## 5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

5.1. Εισαγωγή.....	77
5.2. Ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων .....	77
5.2.1. Δεδομένα εισόδου - Καθορισμός Μεταβλητών.....	77
5.2.2. Συσχέτιση μεταβλητών .....	78
5.2.3. Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	79
5.3. Μοντέλο 1 - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού .....	81
5.3.1. Ανάπτυξη Μοντέλου .....	81
5.3.2. Ποιότητα μοντέλο .....	83
5.3.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου.....	84
5.3.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών στο γενικό μοντέλο.....	84
5.3.5. Ανάλυση ευαισθησίας.....	87
5.4. Μοντέλο 2.1. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών .....	94
5.4.1. Ανάπτυξη Μοντέλου .....	94
5.4.2. Ποιότητα μοντέλο .....	96
5.4.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου.....	96
5.4.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών.....	97
5.5. Μοντέλο 2.2. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εντός κρίσιμων ωρών .....	98
5.5.1. Ανάπτυξη Μοντέλου .....	98
5.5.2. Ποιότητα μοντέλο .....	100
5.5.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου.....	101
5.5.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών.....	102

5.6A. Μοντέλο 3 - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού, ανάλογα τον τύπο της οδού.....	103
5.6. Μοντέλο 3.1. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού σε αστική οδό .....	103
5.6.1. Ανάπτυξη Μοντέλου .....	103
5.6.2. Ποιότητα μοντέλο .....	105
5.6.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου.....	106
5.6.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών.....	107
5.7. Μοντέλο 3.2. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού σε υπεραστική οδό.....	108
5.7.1. Ανάπτυξη Μοντέλου .....	108
5.7.2. Ποιότητα μοντέλο .....	110
5.7.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου.....	110
5.7.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών στο γενικό μοντέλο.....	111
5.8. Μοντέλο 3.3. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού σε αυτοκινητόδρομο.....	112
5.8.1. Ανάπτυξη Μοντέλου .....	112
5.8.2. Ποιότητα μοντέλο .....	114
5.8.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου.....	115
5.8.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών.....	116
5.9. Συγκριτική ανάλυση μοντέλων .....	117
5.9.1. Ποιότητα μοντέλων.....	117
5.9.2. Σχετική επιρροή μεταβλητών μοντέλων .....	117
5.9.3. Ανάλυση ευαισθησίας για συνδυασμό μοντέλων.....	119

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων .....	121
6.2. Συνολικά Συμπεράσματα .....	123
6.3. Προτάσεις για αντιμετώπιση της ανάπτυξης υψηλών ταχυτήτων.....	125
6.4. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	126
6.4.1. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα με πρόσθετες μεταβλητές..	126
6.4.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα με άλλες μεθόδους Ανάλυσης .....	127
6.4.3. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα με μηχανήματα μεγαλύτερης ακρίβειας .....	128

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1.: Οδικά τροχαία ατυχήματα και παθόντα πρόσωπα για το διάστημα Ιανουάριος-Δεκέμβριος των ετών 2014, 2015 και 2016. (Ελληνική Στατιστική Αρχή, ΕΛΣΤΑΤ, 2017) .....	6
Πίνακας 3.1.: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t.....	42
Πίνακας 5.1. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 1 .....	81
Πίνακας 5.2. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 1 .....	81
Πίνακας 5.3. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 1.....	81
Πίνακας 5.4. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 1 .....	82
Πίνακας 5.5.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο γενικό μοντέλο .....	86
Πίνακας 5.6. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 2.1 .....	94
Πίνακας 5.7. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 2.1 .....	94
Πίνακας 5.8. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 2.1.....	94
Πίνακας 5.9. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 2.1 .....	95
Πίνακας 5.10.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο εκτός των κρίσιμων ωρών .....	97
Πίνακας 5.11. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 2.2 .....	99
Πίνακας 5.12. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 2.2 .....	99
Πίνακας 5.13. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 2.2.....	99
Πίνακας 5.14. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 2.2 .....	99
Πίνακας 5.15.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο εκτός των κρίσιμων ωρών .....	102
Πίνακας 5.16. Αριθμός 'trip' ανά τύπο οδού .....	103

Πίνακας 5.17. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 3.1 .....	104
Πίνακας 5.18. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 3.1 .....	104
Πίνακας 5.19. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 3.1.....	104
Πίνακας 5.20. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 3.1 .....	104
Πίνακας 5.21.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για τις αστικές οδούς .....	107
Πίνακας 5.22. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 3.2 .....	108
Πίνακας 5.23. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 3.2. ....	108
Πίνακας 5.24. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 3.2. ....	108
Πίνακας 5.25. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 3.2. ....	109
Πίνακας 5.26.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για τις υπεραστικές οδούς .....	111
Πίνακας 5.27. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 3.3 .....	112
Πίνακας 5.28. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 3.3 .....	113
Πίνακας 5.29. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 3.3.....	113
Πίνακας 5.30. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 3.3 .....	113
Πίνακας 5.31.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για αυτοκινητόδρομους.....	116
Πίνακας 5.32.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για αυτοκινητόδρομους.....	118
Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων.....	122

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1.: Εκτιμώμενη μείωση ατυχημάτων τα έτη 2001-2020, European Commission, 2017.....	5
Διάγραμμα 1.2.: Εξέλιξη θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων για τα έτη 2010-2014, CARE (EU road accidents database) .....	5
Διάγραμμα 1.3.: Σύνολο Οδικών ατυχημάτων και νεκρών από αυτά, Ελλάδα, 1991-2016 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, ΕΛΣΤΑΤ, 2017).....	6
Διάγραμμα 1.4.: Διάγραμμα ροής των σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.....	11
Διάγραμμα 3.1.: Ευθεία Ελάχιστων Τετραγώνων .....	38
Διάγραμμα 4.1.: Διακύμανση απόστασης ανά Οδηγό.....	60
Διάγραμμα 4.2.: Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό.....	61
Διάγραμμα 4.2α.: Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό για αστική οδό.....	62
Διάγραμμα 4.2β. : Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό για υπεραστική οδό.....	62
Διάγραμμα 4.2γ.: Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό για αυτοκινητόδρομο.....	63
Διάγραμμα 4.3.: Απότομη επιτάχυνση και επιβράδυνση ανά Οδηγό.....	64
Διάγραμμα 4.4.: Μέσος όρος απότομων επιταχύνσεων και μέγιστος αριθμός απότομων επιταχύνσεων σε 'trip' ανά Οδηγό.....	64
Διάγραμμα 4.5.: Μέσος όρος απότομων επιβραδύνσεων και μέγιστος αριθμός απότομων επιβραδύνσεων σε 'trip' ανά Οδηγό.....	65
Διάγραμμα 4.6.: Μέσος όρος απότομων στροφών για κάθε τύπο οδού ανά Οδηγό .....	66
Διάγραμμα 4.7.: Μέση επιτάχυνση και Μέση επιβράδυνση ανά οδηγό.....	67
Διάγραμμα 4.8.: Μέση τιμή μέσων επιταχύνσεων για κάθε τύπο οδού ανά Οδηγό .....	67
Διάγραμμα 4.9.: Ποσοστό μέσης χρήσης κινητού τηλεφώνου ανά 'trip' και ποσοστό μέγιστης χρήσης κινητού σε κάποιο 'trip' ανά Οδηγό.....	68
Διάγραμμα 4.10.: Ποσοστό μέσης χρήσης κινητού τηλεφώνου ανά 'trip' σε κάθε τύπο οδού χωριστά ανά Οδηγό .....	69

Διάγραμμα 5.1.: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το γενικό μοντέλο .	82
Διάγραμμα 5.2. : Συσχέτιση και διασπορά σφαλμάτων στο γενικό μοντέλο .....	83
Διάγραμμα 5.3.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης απόστασης για: ✓ av_ha=0.2 και av_ha=5 ✓ std_avdecel=0.34 ✓ %time_rural=0.5 .....	87
Διάγραμμα 5.4.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης απόστασης για: ✓ av_ha=1.71 ✓ std_avdecel=0.2 και std_avdecel=0,5 ✓ %time_rural=0.52 .....	88
Διάγραμμα 5.5.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης απόστασης για: ✓ av_ha=1,71 ✓ std_avdecel=0.34 ✓ %time_rural=0.15 και %time_rural=0,80 .....	88
Διάγραμμα 5.6.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης απότομης επιτάχυνσης: ✓ av_totadist=7 και av_totadist=30 ✓ std_avdecel=0.34 ✓ %time_rural=0.52 .....	89
Διάγραμμα 5.7.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης απότομης επιτάχυνσης για: ✓ av_totadist=15,43 ✓ std_avdecel=0.2 και std_avdecel=0,5 ✓ %time_rural=0.52 .....	89
Διάγραμμα 5.8.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης απότομης επιτάχυνσης για: ✓ av_totadist=15,43 ✓ std_avdecel=0.34 ✓ %time_rural=0.15 και %time_rural=0,80 .....	90
Διάγραμμα 5.9.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης τυπικής απόκλισης επιτάχυνσης για: ✓ av_totadist=7 και av_totadist=30 ✓ av_ha=1,71 ✓ %time_rural=0.52 .....	90
Διάγραμμα 5.10.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης τυπικής απόκλισης επιτάχυνσης για: ✓ av_totadist=15,43 ✓ av_ha=0,15 av_ha=5 ✓ %time_rural=0.52 .....	91

Διάγραμμα 5.11.: Μέσης ταχύτητας προς μέσης τυπικής απόκλισης επιτάχυνσης για: ✓ av_totadist=15,43 ✓ av_ha=1,71 ✓ %time_rural=0.15 και %time_rural=0,80 .....	91
Διάγραμμα 5.12.: Μέσης ταχύτητας προς το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό για: ✓ av_totadist=7 και av_totadist=30 ✓ av_ha=1,71 ✓ std_avdecel=0.34 .....	92
Διάγραμμα 5.13: Μέσης ταχύτητας προς το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό για: ✓ av_totadist=15,43 ✓ av_ha=0,15 και av_ha=5 ✓ std_avdecel=0.2 και std_avdecel=0,5 .....	92
Διάγραμμα 5.14.: Μέσης ταχύτητας προς το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό για: ✓ av_totadist=15,43 ✓ av_ha=1,71 ✓ std_avdecel=0.2 και std_avdecel=0,8 .....	93
Διάγραμμα 5.15 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο εκτός κρίσιμων ωρών.....	95
Διάγραμμα 5.16 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο εκτός των κρίσιμων ωρών .....	96
Διάγραμμα 5.17 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο εντός των κρίσιμων ωρών.....	100
Διάγραμμα 5.18. : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο εντός των κρίσιμων ωρών.....	101
Διάγραμμα 5.19. : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο σε αστική οδό.....	105
Διάγραμμα 5.20 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο για τις αστικές οδούς .....	106
Διάγραμμα 5.21 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο σε υπεραστική οδό .....	109
Διάγραμμα 5.22 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο για την υπεραστική οδό.....	110

Διάγραμμα 5.23 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο σε αυτοκινητόδρομο.....	114
Διάγραμμα 5.24 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο για αυτοκινητόδρομο.....	115
Διάγραμμα 5.25.: Μέση ταχύτητα προς μέση απόστασης για:	
✓ av_ha=1,71	
✓ std_avdecel=0.34	
✓ %time_rural=0.52 .....	119

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 3.1.: Επεξήγηση πιθανών τιμών του Συντελεστή Συσχέτισης .....	33
Εικόνα 4.1.: Σύστημα ροής δεδομένων Oseven.....	49
Εικόνα 4.2: Ρυθμός εκτροπής, βαθμός έντασης και κύλιση .....	50
Εικόνα 4.3. Δείκτες κινδύνου οδήγησης .....	52
Εικόνα 4.4.: Εφαρμογή στο κινητό και διαδικτυακή πύλη.....	53
Εικόνα 4.5.: Παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό .....	71
Εικόνα 4.6.: Παράδειγμα καθορισμού μεταβλητών στο λογισμικό .....	72
Εικόνα 4.7.: Διαδικασία συσχέτισης μεταβλητών .....	73
Εικόνα 4.8: Επιλογή μεταβλητών και είδος συσχέτισης .....	74
Εικόνα 4.9.: Επιλογή γραμμικής παλινδρόμησης.....	75
Εικόνα 4.10.: Επιλογή μεταβλητών .....	76



## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1. Γενική Ανασκόπηση**

Οι **οδικές μεταφορές** είναι συνυφασμένες με την ύπαρξη της ανθρώπινης ζωής και αποτελούν δείκτη της εξέλιξης των κοινωνιών, καθώς συμβάλλουν στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου. Στη σύγχρονη εποχή, η περαιτέρω πρόοδος στον τομέα των μεταφορών, προσώπων και αγαθών, αποτελεί αντικείμενο της επιστήμης του συγκοινωνιολόγου μηχανικού και έχει στόχο την παροχή ασφαλών, γρήγορων, οικονομικών και άνετων μετακινήσεων.

Εδώ και αρκετά χρόνια η **οδική ασφάλεια** αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος από τους ερευνητές και τις Κυβερνήσεις των χωρών, καθώς η αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις οδηγεί καθημερινά σε οδικά ατυχήματα, με σημαντικό κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Τα οδικά ατυχήματα εκτιμάται διεθνώς ότι αποτελούν την τρίτη αιτία θανάτου, μετά τις καρδιοπάθειες και τον καρκίνο, ενώ αποτελούν και μία από τις βασικότερες αιτίες πρόκλησης μόνιμης αναπηρίας σε παγκόσμια κλίμακα, κυρίως σε άτομα νεαρής ηλικίας. Αν και έχουν γίνει βήματα προς την κατεύθυνση της μείωσης των οδικών ατυχημάτων εκτιμάται ότι το 2010 σε ατυχήματα βρήκαν το θάνατο 1,25 εκατομμύρια άνθρωποι **παγκοσμίως** και τραυματίστηκαν 50 εκατομμύρια (WorldHealthOrganization, 2016)

#### **1.1.2. Οδικά Ατυχήματα**

##### **1.1.2.1. Γενικά**

###### **1.1.2.1.1. Τα αίτια των οδικών ατυχημάτων**

Το θέμα της οδικής ασφάλειας είναι περίπλοκο καθώς εξαρτάται από πολλούς **παράγοντες** οι σπουδαιότεροι εκ των οποίων κατά σειρά αυξανόμενης σπουδαιότητας είναι: (Φραντζεσκάκης et al, 1994)

- το όχημα
- η οδός και το περιβάλλον
- οι χρήστες της οδού

Στις περισσότερες περιπτώσεις δύο ή και τρεις από τους παραπάνω παράγοντες συμβάλλουν στο ατύχημα. Η πολυπλοκότητα και η έλλειψη λεπτομερούς καταγραφής και ανάλυσης των συνθηκών υπό τις οποίες έγινε το ατύχημα, δεν επιτρέπουν πάντα την αντικειμενική διαπίστωση της συμβολής κάθε παράγοντα. Εν τούτοις, διάφορες μελέτες ατυχημάτων σε

βάθος δείχνουν ότι ο χρήστης της οδού μόνος ή σε συνδυασμό με τους άλλους δύο παράγοντες, αποτελεί την κύρια αιτία των οδικών ατυχημάτων.

#### ➤ **Το όχημα**

Τα χαρακτηριστικά των οχημάτων με τα οποία σχετίζονται τα ατυχήματα είναι:

- η ηλικία του οχήματος
- το μέγεθος του οχήματος
- ο τύπος του οχήματος

#### ➤ **Η οδός και το περιβάλλον**

Ατυχήματα προκαλούν οι παρακάτω συνθήκες στην οδό και γενικότερα στο περιβάλλον:

- Ανεπαρκή γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Χαμηλά πρότυπα κατασκευής
- Κακή μελέτη, τοποθέτηση και κατασκευή παρόδιων στοιχείων
- Κακή οργάνωση της κυκλοφορίας
- Ανεπαρκής έλεγχος και σήμανση κατά τη διάρκεια των κατασκευών
- Δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες

#### ➤ **Οι χρήστες της οδού**

Η **αντίληψη** που έχει ο οδηγός για την κυκλοφοριακή συμπεριφορά του δεν εξαρτάται μόνο από την ηλικία του αλλά και από το φύλο, το ετήσιο εισόδημα, την προσωπικότητα, την εμπειρία στην οδήγηση. (ESRA, 2016)

Η συμπεριφορά του χρήστη της οδού, είτε ως οδηγός ή επιβάτης ενός οχήματος είτε ως πεζός, αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για τα οδικά ατυχήματα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα και σχετίζονται με τη συμπεριφορά του χρήστη (Dingus et al, 2016) είναι οι εξής:

#### Παρατηρηθείσα διαταραχή

- Ναρκωτικά/ Μέθη (0.08%)
- Υπνηλία/ Κούραση (1.57%)
- Συναίσθημα (θυμός, λύπη κλπ.) (0.22%)

**Συνολικά 1.92 %**

#### Σφάλματα στην απόδοση του οδηγού

- Απειρία οδηγού (0.07%)
- Νεκρά σημεία (0.05%)
- Επικίνδυνη στροφή (0.51%)
- Παραβίαση σήμανσης (1.24%)
- Οδήγηση σε κατεύθυνση αντίθετη από την επιτρεπόμενη (0.19%)
- Οδήγηση με πολύ χαμηλές ταχύτητες (0.97%)
- Απότομο φρενάρισμα (0.01%)

- Αποτυχία έγκαιρης προειδοποίησης (2.27%)

**Συνολικά 4.81%**

Στιγμαίο λάθος κρίσεως οδηγού (επιθετική/ταχεία οδήγηση)

- Επιθετική οδήγηση (σε γενικά πλαίσια) (0.10%)
- Παραβίαση ορίου ταχύτητας (2.77%)
- Παραβίαση ορίου ταχύτητας σε εργατική περιοχή (0.05%)
- Παράνομο/ επικίνδυνο προσπέρασα (0.18%)
- Μικρή απόσταση οχημάτων μεταξύ τους (0.07%)
- Επιτηδευμένη παραβίαση σήμανσης (1.23%)

**Συνολικά 4.22%**

Απόσπαση προσοχής οδηγού

- Ραδιόφωνο (2.21%)
- Έλεγχος κλιματιστικού εντός του οχήματος (0.56%)
- Συνολική απόσπαση προσοχής από τα μηχανήματα εντός του οχήματος(3.53%)
- Χρήση κινητού τηλεφώνου εντός του οχήματος (6.4%)
- Απόσπαση προσοχής από τα πίσω καθίσματα(0.8%)
- Αλληλεπίδραση επιβατών (14.58%)
- Ανάγνωση / Γραφή εντός του οχήματος (0.09%)
- Κατανάλωση φαγητού εντός του οχήματος (1.9%)
- Κατανάλωση υγρού εντός του οχήματος (1.22%)
- Άλλα (4.81% συνολικά)

**Συνολικά 51.93%**

(Τα ποσοστά αυτά δηλώνουν το ποσοστό του χρόνου στο οποίο ο εκάστοτε παράγοντας είναι παρών κατά τη διάρκεια της οδήγησης υπό κανονικές συνθήκες.)

Γίνεται, επομένως, απαραίτητη η ανάλυση και η συνεχής παρακολούθηση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς του οδηγού είτε με χρήση προσομοιωτή οδήγησης είτε με χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

### **1.1.2.1.2. Συνέπειες των οδικών ατυχημάτων**

Τα οδικά ατυχήματα έχουν σοβαρές συνέπειες τόσο για το άτομο όσο και για την κοινωνία. Για το άτομο η απώλεια της ίδιας της ζωής του αλλά και ο τραυματισμός του που συνεπάγεται ενδεχόμενη αναπηρία για όλη του τη ζωή. Το οδικό ατύχημα μπορεί να προκαλέσει ψυχικά τραύματα και να επηρεάσει τις προσωπικές σχέσεις και την επαγγελματική σταδιοδρομία ενός ανθρώπου. Συνέπειες θα υπάρχουν επίσης για την οικογένεια και τους συγγενείς των θυμάτων, κυρίως με την ύπαρξη ψυχολογικών τραυμάτων.

### **1.1.2.2. Η οδική ασφάλεια**

#### **1.1.2.2.1. Η οδική ασφάλεια σε παγκόσμιο επίπεδο**

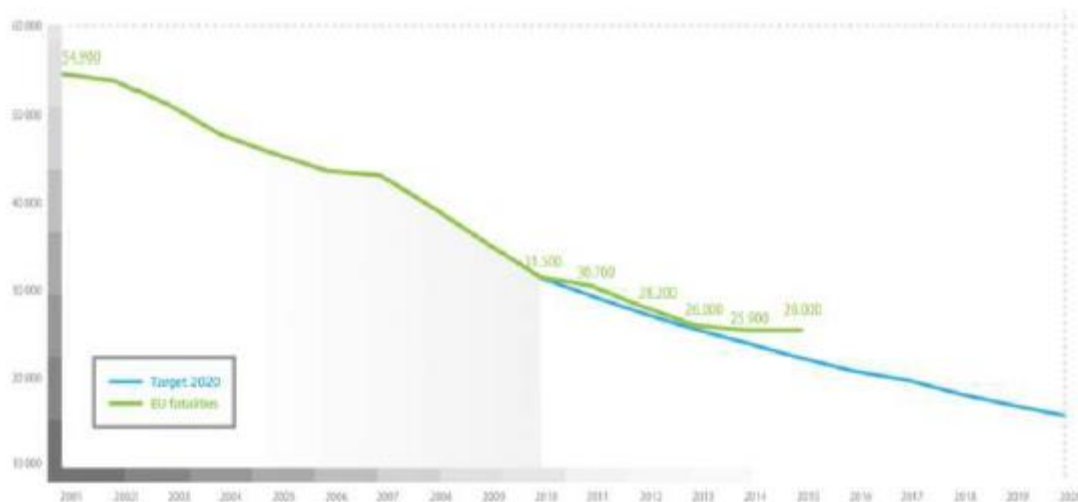
Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (**World Health Organization, 2016**) κάθε χρόνο περίπου 1.25 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους ανά τον κόσμο σε οδικό ατύχημα, 20 με 50 εκατομμύρια άνθρωποι υποφέρουν από μη θανάσιμα τραύματα και πολλά από αυτά μπορεί να προκαλέσουν αναπηρία.

Οι ομάδες ανθρώπων που είναι εκτεθειμένοι στον κίνδυνο του οδικού ατυχήματος ποικίλουν ανάλογα με :

- Την **κοινωνική και οικονομική θέση**: Περισσότερο από το 90% των θανάτων που είναι αποτέλεσμα οδικού ατυχήματος συμβαίνουν σε χαμηλού και μετρίου εισοδήματος χωρών. Συγκεκριμένα οι υψηλότεροι δείκτες τροχαίων ατυχημάτων εμφανίζονται στις αφρικανικές περιοχές. Ακόμη και στις υψηλού εισοδήματος χώρες οι χρήστες με χαμηλό κοινωνικοοικονομικό υπόβαθρο έχουν μεγαλύτερη τάση να συμμετέχουν σε οδικά συμβάντα.
- **Ηλικία**: Άνθρωποι ηλικίας μεταξύ 15 και 44 ετών συνιστούν το 48% των θανάτων στο οδικό σύστημα σε παγκόσμιο επίπεδο.
- **Φύλο**: Από τη νεαρά ηλικία, οι άντρες έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα συμμετοχής σε τροχαίο ατύχημα από τις γυναίκες. Τα τρία τέταρτα (73%) των νεκρών σε τροχαίο ατύχημα είναι άντρες. Μάλιστα, όσων αφορά στους νέους οδηγούς, οι άντρες κάτω των 25 ετών έχουν τρεις φορές μεγαλύτερη πιθανότητα να τραυματιστούν θανάσιμα σε τροχαίο ατύχημα από τις νέες γυναίκες.

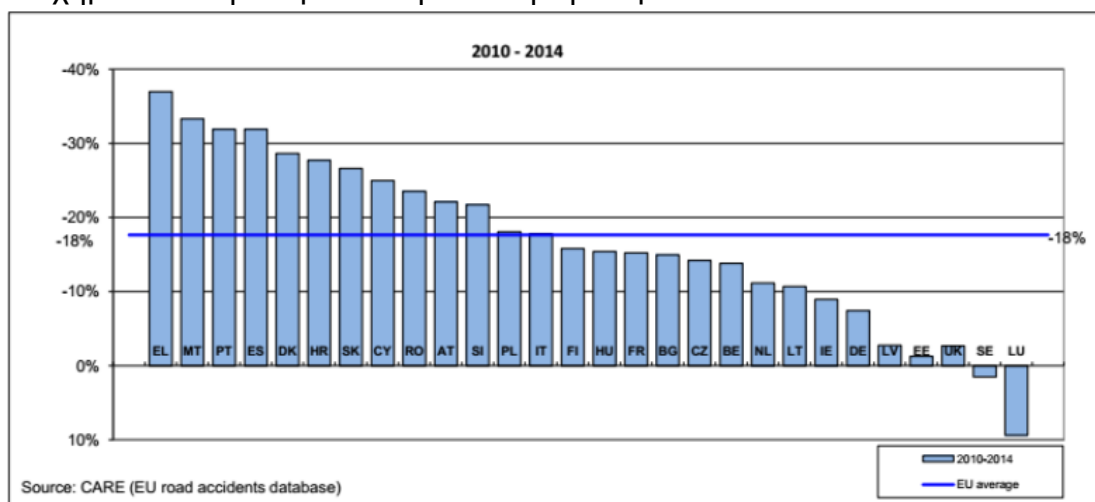
#### **1.1.2.2.2. Η οδική ασφάλεια σε Ευρωπαϊκό επίπεδο**

Στην Ευρώπη το 2015 περισσότερα από 26.000 άτομα έχασαν τη ζωή τους στο οδικό δίκτυο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αριθμός ίσος με τον πληθυσμό μιας μικρής πόλης. Για κάθε θάνατο σε ευρωπαϊκούς δρόμους εκτιμάται ότι αντιστοιχούν πέντε τραυματισμοί με μόνιμη αναπηρία, οχτώ σοβαροί τραυματισμοί και πενήντα ελαφρά τραυματισμένοι (European Commission, 2017). Για τον λόγο αυτό η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εφαρμόζει ένα πρόγραμμα οδικής ασφάλειας την περίοδο 2011-2020 ώστε να μειωθούν τα οδικά ατυχήματα στην Ευρώπη. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η εκτίμηση των οδικών ατυχημάτων στην Ευρώπη για τα έτη 2001-2020:



Διάγραμμα 1.1.: Εκτιμώμενη μείωση ατυχημάτων τα έτη 2001-2020, European Commission, 2017

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η εξέλιξη των θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση την περίοδο 2010-2014:



Διάγραμμα 1.2.: Εξέλιξη θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων για τα έτη 2010-2014, CARE (EU road accidents data base)

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, τα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν μειωθεί κατά ένα σημαντικό βαθμό στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες.

Σύμφωνα με τα στοιχεία για την περίοδο 2010-2014, η Μάλτα, η Σουηδία, η Νορβηγία και το Ηνωμένο Βασίλειο, συγκεντρώνουν τα **χαμηλότερα ποσοστά** θανατηφόρων τροχαίων, με λιγότερους από 30 θανάτους ανά εκατομμύριο κατοίκων όταν ο μέσος όρος θανάτων είναι 51 νεκροί ανά εκατομμύριο κατοίκων. Από την άλλη πλευρά στην Λετονία, στην Ρουμανία, στην Βουλγαρία στην Λιθουανία και στην Πολωνία ο αριθμός των θανάτων

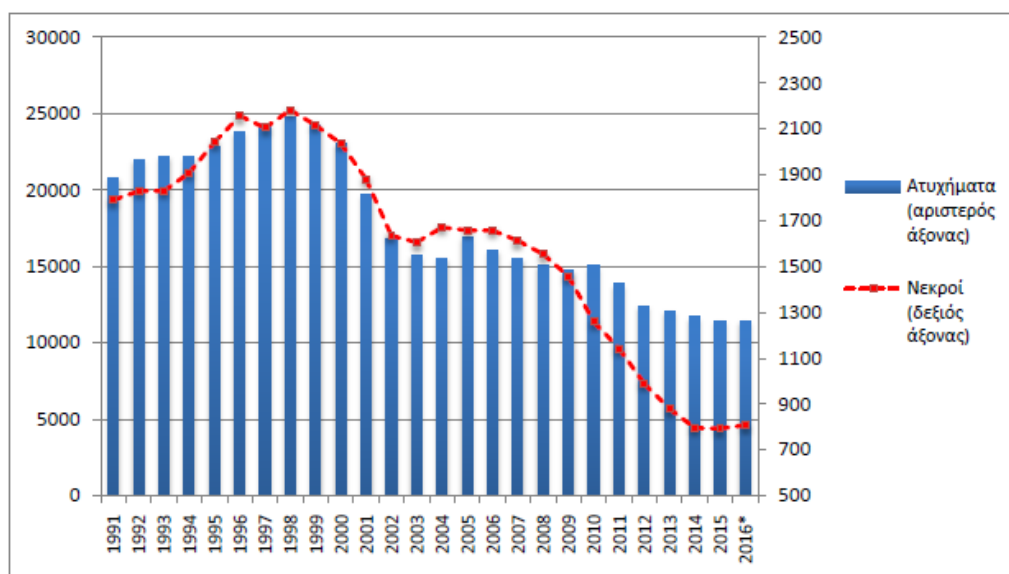
από οδικά ατυχήματα **υπερβαίνει** τους 80 νεκρούς ανά εκατομμύριο κατοίκων.

### 1.1.2.2.3. Η οδική ασφάλεια στην Ελλάδα

Η χώρα μας, βάσει στοιχείων της Eurostat (2017), κατέχει την **7η θέση στα θανατηφόρα οδικά ατυχήματα**. Ειδικότερα, στην Ελλάδα τα **τελευταία 50 χρόνια είχαμε 120.000 νεκρούς, 350.000 ανάπηρους** και 2 εκατομμύρια τραυματίες από οδικά ατυχήματα. Τα οδικά συμβάντα αποτελούν την **πρώτη αιτία θανάτου, για τους νέους από 15 έως 29 ετών**, τη δεύτερη αιτία θανάτου, για τις ηλικίες 5 έως 14 και την τρίτη για τις ηλικίες 30 έως 44 ετών. Μάλιστα τα ατυχήματα που χαρακτηρίζονται «σοβαρά» και «θανατηφόρα» αυξήθηκαν κατά 3,8% και 8,3% αντίστοιχα, ενώ αντιθέτως τα «ελαφρά» μειώθηκαν κατά 10,9%. Η κυριότερη αιτία των οδικών ατυχημάτων είναι η **αμέλεια των οδηγών**. Είναι χαρακτηριστικό ότι τα οδικά ατυχήματα αποτελούν την **πρώτη αιτία θανάτου σε ηλικίες 19-39 ετών και το 50% αυτών οφείλεται στην κατανάλωση αλκοόλ και άλλων ουσιών**.

	2014	2015	2016*
	Ιανουάριος - Δεκέμβριος	Ιανουάριος - Δεκέμβριος	Ιανουάριος - Δεκέμβριος
<b>Ατυχήματα</b>	11.690	11.440	11.439
<i>Ετήσια Μεταβολή (%) :</i>		-2,1%	0,0%
<b>Νεκροί</b>	795	793	807
<i>Ετήσια Μεταβολή (%) :</i>		-0,3%	1,8%

Πίνακας 1.1.: Οδικά τροχαία ατυχήματα και παθόντα πρόσωπα για το διάστημα Ιανουάριος-Δεκέμβριος των ετών 2014, 2015 και 2016 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, ΕΛΣΤΑΤ, 2017)



Διάγραμμα 1.3.: Σύνολο Οδικών ατυχημάτων και νεκρών από αυτά, Ελλάδα, 1991-2016 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, ΕΛΣΤΑΤ, 2017)

### 1.1.2.3. Ταχύτητα

Η **ακατάλληλη ταχύτητα** - ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα στον τομέα της οδικής ασφάλειας - αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο ατυχήματος. Η ακατάλληλη ταχύτητα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στο 30% περίπου των τροχαίων ατυχημάτων.

Το 40-50% περίπου των οδηγών οδηγούν με ταχύτητα άνω του επιτρεπόμενου ορίου, ενώ το 10-20% υπερβαίνουν το όριο αυτό κατά περισσότερα από 10 χλμ. Η ανάπτυξη υπερβολικής ταχύτητας αυξάνει όχι μόνο τον κίνδυνο σύγκρουσης, αλλά και την πιθανότητα σοβαρού τραυματισμού ή και θανατηφόρου τροχαίου ατυχήματος.

**Δεν υπάρχει μία και μοναδική λύση** στο πρόβλημα της υπερβολικής ταχύτητας. Χρειάζεται συνδυασμός αρκετών παραγόντων, όπως ο καλύτερος σχεδιασμός του οδικού δικτύου, η επιτήρηση ορίων ταχύτητας και της συμπεριφοράς του οδηγού και η εκπαίδευση των οδηγών. Τα όρια ταχύτητας στις πινακίδες πρέπει να είναι ευδιάκριτα και ανάλογα με την κατηγορία, τον σχεδιασμό της οδού, καθώς και τον τύπο οχημάτων για τα οποία αυτός έχει σχεδιαστεί. Στη μείωση της ταχύτητας μπορούν επίσης να συμβάλουν οι τοπικές υπερυψώσεις (τα "σαμαράκια") και οι στενώσεις του οδοστρώματος στις αστικές περιοχές.

Οι **έλεγχοι** από την αστυνομία και οι κάμερες ελέγχου ταχύτητας λειτουργούν αποτρεπτικά. Στο μέλλον, μπορεί να καθιερωθεί η επιτήρηση ορίων ταχύτητας παντού και συνεχώς χάρη στη χρήση νέων τεχνολογιών, όπως η ηλεκτρονική αναγνώριση του οχήματος, τα έξυπνα συστήματα ελέγχου ταχύτητας και τα μαύρα κουτιά των οχημάτων.

#### 1.1.2.3.1. Έρευνα του Διεθνούς Φόρουμ Μεταφορών του ΟΟΣΑ

Σύμφωνα με έρευνα του Διεθνούς Φόρουμ Μεταφορών του ΟΟΣΑ (ΟΟΣΑ, 2007) η **ακατάλληλη ταχύτητα** ευθύνεται για το 1/3 του συνόλου των ατυχημάτων που σημειώνονται στους δρόμους, με αποτέλεσμα τα όρια ταχύτητας να συνδέονται άμεσα με τη θνησιμότητα και τους σοβαρούς τραυματισμούς από οδικά ατυχήματα.

Η ίδια έρευνα καταρρίπτει τη λανθασμένη εντύπωση πως σε **αστική περιοχή**, όποιος πατάει το γκάζι λίγο παραπάνω, περιορίζει το χρόνο της μετακίνησής του. Είναι αποδεδειγμένο ότι η παρουσία σηματοδοτών και κόμβων δεν επιτρέπει τη μείωση του χρόνου μετακίνησης στην πόλη, ακόμη κι αν αυξηθεί η ταχύτητα του αυτοκινήτου, ενώ η δυνατότητα ενός αυτοκινητόδρομου σε αστική περιοχή δεν ξεπερνά τα 70 χλμ./ώρα.

**Σημαντικό είναι πως:**

- Η αύξηση της ταχύτητας κίνησης ενός οχήματος κατά 5% οδηγεί σε 10% άνοδο των τροχαίων ατυχημάτων και κατά 20% των ατυχημάτων.
- Διερχόμενο όχημα με ταχύτητα 50 χλμ./ ώρα αν χτυπήσει πεζό, η πιθανότητα θανάσιμου τραυματισμού του πεζού αγγίζει το 80%, ενώ εάν η ταχύτητα του οχήματος είναι 30 χλμ./ ώρα ο κίνδυνος περιορίζεται στο 10%.
- Ο οδηγός οχήματος που θα συγκρουστεί πλάγια με ταχύτητα μεγαλύτερη των 50 χλμ./ ώρα εκτιμάται ότι δεν έχει καμία πιθανότητα επιβίωσης, ενώ σε περίπτωση που η σύγκρουση είναι μετωπική, η πιθανότητα επιβίωσης του οδηγού ή επιβάτη υπάρχει μόνον εάν η ταχύτητα δεν ξεπερνά τα 70 χλμ./ ώρα.

Για μια **υπεραστική οδό**, λόγω των υψηλών ταχυτήτων που αναπτύσσονται, τα οδικά ατυχήματα που συμβαίνουν έχουν δυσμενέστερες επιπτώσεις. Στην Ελλάδα, περίπου το 1/3 των νεκρών σε οδικά ατυχήματα είναι από ατυχήματα στο Εθνικό Οδικό Δίκτυο.

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν πως τα **όρια ταχύτητας** έχουν υπολογιστεί βάσει πολλών παραμέτρων και πρέπει να τηρούνται. Σε περίπτωση όμως που υπάρχουν έργα στο δρόμο, υπάρχουν πεζοί, ποδηλάτες, μοτοσικλετιστές και ο φωτισμός και οι καιρικές συνθήκες είναι κακές, η ταχύτητά θα πρέπει να είναι ακόμη χαμηλότερη από τα όρια. ([www.aodos.gr](http://www.aodos.gr))



## **1.2. Στόχος Διπλωματικής Εργασίας**

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι **η ανάπτυξη προτύπων ταχύτητας του οδηγού με βάση λεπτομερή δεδομένα του τρόπου οδήγησης που συλλέγονται από αισθητήρες κινητών τηλεφώνων**. Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο τα διάφορα στοιχεία που συνθέτουν τον τρόπο οδήγησης του οδηγού (απότομη επιτάχυνση, απότομη επιβράδυνση, απόσταση ταξιδιού, ποσοστό χρόνου οδήγησης σε κάθε τύπο οδού, τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης κάθε οδηγού στις μετακινήσεις του, κτλ.) αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και καθορίζουν την ταχύτητα που αναπτύσσει ο εκάστοτε οδηγός ανάλογα τις συνθήκες.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, απαιτείται η ανάπτυξη και η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων ανάλυσης των δεδομένων. Επομένως, επιμέρους στόχος της Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί **η επιλογή των κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων**, που θα περιγράψουν και θα ποσοτικοποιούν επαρκώς την επιρροή των παραμέτρων που επηρεάζουν την μέση ταχύτητα του οδηγού.

Εκτός από το βασικό μοντέλο για το σύνολο των διαδρομών, θα **αναπτυχθούν επιμέρους μοντέλα** που θα συσχετίζουν την ταχύτητα του οδηγού με τους παράγοντες επιρροής, χωριστά για πρωί και βράδυ και χωριστά για κάθε τύπο οδού (αστικό, υπεραστικό, αυτοκινητόδρομο).

Εκτιμάται ότι **τα αποτελέσματα** που θα προκύψουν, με το τέλος της Διπλωματικής Εργασίας, θα επιτρέψουν την κατανόηση του βαθμού και του τρόπου με τον οποίο ο τρόπος οδήγησης του οδηγού, επηρεάζει την ταχύτητα οδήγησης. Κατά συνέπεια, με αυτόν τον τρόπο, θα προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά εκείνα, τα οποία διαχωρίζουν εκείνους που ακολουθούν έναν περισσότερο επικίνδυνο τρόπο οδήγησης, αυξάνοντας την πιθανότητα να συντελέσουν στην πρόκληση οδικού ατυχήματος, από τους πιο προσεκτικούς οδηγούς που δεν αναπτύσσουν τόσο μεγάλες ταχύτητες.

### **1.3. Μεθοδολογία**

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά καθορίστηκε το αντικείμενο που θα εξέταζε η παρούσα Διπλωματική Εργασία καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος. Για την υλοποίηση του στόχου πραγματοποιήθηκε ευρεία **βιβλιογραφική ανασκόπηση**. Αναζητήθηκαν, δηλαδή, έρευνες με θέμα συναφές με εκείνο της Διπλωματικής Εργασίας τόσο σε ελληνικό, όσο και σε διεθνές επίπεδο. Σε αυτή τη φάση, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση παρεμφερών ερευνών, επιστημονικών άρθρων καθώς επίσης και γενικών πληροφοριών που συνδέονται με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Μέσω αυτής της διαδικασίας ανακτήθηκε σχετική εμπειρία η οποία συνέβαλε στην επιλογή μεθόδου, βάση της οποίας θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των στοιχείων και θα επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος στόχος.

Μετά την ολοκλήρωση της αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών, σειρά είχε η εύρεση του τρόπου **συλλογής των στοιχείων**, τα οποία θα επιτρέπουν τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του οδηγού με την ταχύτητα που επιλέγει. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από μετρήσεις κυκλοφοριακών μεγεθών μέσω κινητού τηλεφώνου υπό την επίβλεψη του τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακών υποδομών του ΕΜΠ. Η συλλογή στοιχείων μέσω του κινητού τηλεφώνου αποτέλεσε την βασική πηγή της Διπλωματικής Εργασίας.

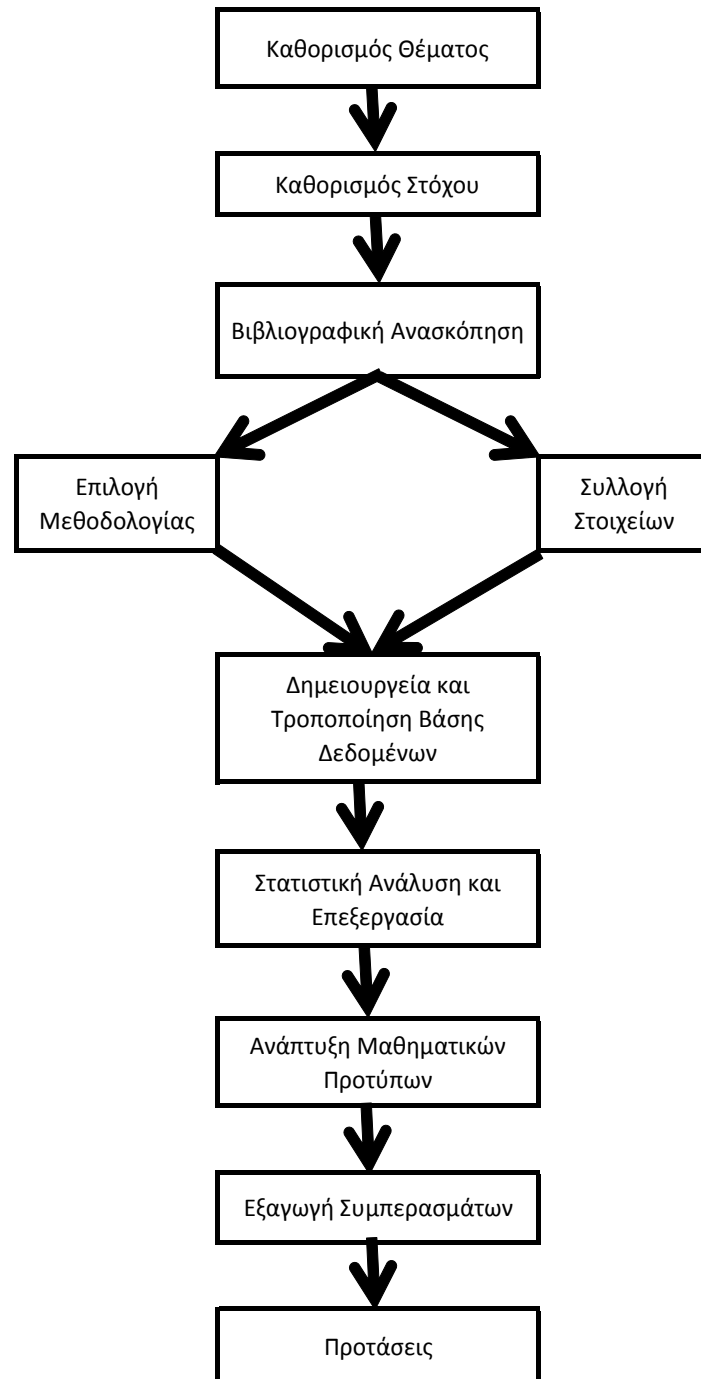
Στη συνέχεια, τα στοιχεία καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων (Microsoft Excel), η οποία βελτιώθηκε σταδιακά, έως ότου αποκτήσει την τελική της μορφή. Ακολούθησε **η επιλογή της μεθόδου** στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων και η εισαγωγή της βάσης δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (SPSS 21.0). Μετά από την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, αναπτύχθηκαν τα τελικά μαθηματικά μοντέλα προς επίτευξη των ορισθέντων στόχων της Διπλωματικής Εργασίας.

Ακολούθησε **η παρουσίαση των αποτελεσμάτων**, στο πλαίσιο της οποίας πραγματοποιήθηκε η περιγραφή της επιρροής των χαρακτηριστικών-συνηθειών της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς του οδηγού σε σχέση με την μέση ταχύτητα, με δεδομένα φυσικής οδήγησης, συλλεγμένα από το κινητό τηλέφωνο.

Μετά την αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, εξήχθησαν τα αντίστοιχα **συμπεράσματα** για τον βαθμό και τον τύπο της επιρροής των εκάστοτε ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη. Έτσι, προέκυψαν

σημαντικές πληροφορίες για το υπό εξέταση πρόβλημα καθώς και διατυπώθηκαν αξιολογες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται, υπό μορφή διαγράμματος ροής, τα διαδοχικά στάδια που ακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας.



Διάγραμμα 1.4.: Διάγραμμα ροής των σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας

#### 1.4. Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας, μέσω της συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου κάθε κεφαλαίου.

Το **Κεφάλαιο 1** είναι **εισαγωγικό** και αποτελεί τη βάση για την κατανόηση του αντικείμενου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά γίνεται μια γενική ανασκόπηση για τα οδικά ατυχήματα και παρουσιάζονται τα αίτια και οι συνέπειες αυτών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε στατιστικά στοιχεία οδικών ατυχημάτων σε παγκόσμιο, πανευρωπαϊκό και ελληνικό επίπεδο. Στη συνέχεια, αναλύεται η σημαντικότητα της ταχύτητας στην οδική ασφάλεια και συγκεκριμένα στα οδικά ατυχήματα. Ακολουθεί η καταγραφή με μεγαλύτερη σαφήνεια του στόχου που πρόκειται να επιτευχθεί μέσα από την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Τέλος, περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την διεκπεραίωση της και για την καλύτερη κατανόηση της παρατίθεται ένα διάγραμμα ροής που απεικονίζει την αλληλουχία των ενεργειών που πραγματοποιήθηκαν.

Το **Κεφάλαιο 2** αποτελεί τη **βιβλιογραφική ανασκόπηση**, στο πλαίσιο της οποίας παρουσιάζονται μεθοδολογίες και αποτελέσματα ερευνών με αντικείμενο συναφές της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε δυο υποκεφάλαια. Το πρώτο αφορά την παρουσίαση και ανασκόπηση αποτελεσμάτων από έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, και το δεύτερο από παρεμφερείς μεθοδολογίες με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Παρατίθενται εργασίες από την Ελλάδα και το εξωτερικό, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί σε συνέδρια, επιστημονικά περιοδικά, άρθρα ή συγγράμματα. Πραγματοποιείται σύνοψή της κάθε εργασίας που περιλαμβάνει το πλαίσιο της έρευνας, τη μεθοδολογία και τα βασικά αποτελέσματα, με έμφαση στα στοιχεία που παρουσιάζουν συνάφεια με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Στο τέλος του κεφαλαίου συνοψίζονται και αξιολογούνται κριτικά οι έρευνες ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός στον οποίο είναι ικανές να συμβάλουν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, αλλά και να αναδείξουν την αναγκαιότητα εξέτασης του αντικείμενου της εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 3**, παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** στο οποίο στηρίχτηκε η ανάλυση των στοιχείων. Αρχικά περιγράφονται βασικές μαθηματικές και στατιστικές έννοιες και στη συνέχεια αναλύονται οι προϋποθέσεις εφαρμογής και τα επιμέρους στοιχεία της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression). Ακολουθώντας, παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης μοντέλου και οι απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι στους οποίους υποβάλλεται. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μία σύντομη αναφορά στα βήματα που ακολουθούνται για την επεξεργασία δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (SPSS 21.0).

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται οι **διαδικασίες συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων**, στα οποία στηρίχτηκε η Διπλωματική Εργασία. Αρχικά γίνεται αναφορά στην πηγή προέλευσης των στοιχείων και στην ειδική επεξεργασία τους στο Microsoft Excel ώστε να αποκτήσουν την τελική τους μορφή. Ακολουθεί ο τρόπος κωδικοποίησης των στοιχείων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Το **Κεφάλαιο 5** είναι από τα σημαντικότερα της Διπλωματικής Εργασίας καθώς περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε ως την τελική εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Αρχικά περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης του μαθηματικού μοντέλου. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου κι εξόδου, με ιδιαίτερη έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, ενώ τα τελικά αποτελέσματα συνοδεύονται από τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις και την περιγραφή τους για την ευκολότερη κατανόησή τους.

Το **Κεφάλαιο 6** αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Σε αυτό περιλαμβάνονται τα **τελικά συμπεράσματα** που προέκυψαν ύστερα από την ερμηνεία των μαθηματικών μοντέλων. Αποτελούν μία σύνθεση αρκετών ποσοτικοποιημένων στοιχείων σε συνδυασμό με τα επιμέρους αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου. Επιπρόσθετα καταγράφονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας είτε με άλλες μεθόδους είτε με εξέταση πρόσθετων παραμέτρων και μεταβλητών.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρατίθεται ο κατάλογος των **βιβλιογραφικών αναφορών**. Ο κατάλογος αυτός περιλαμβάνει αναφορές που αφορούν τόσο σε έρευνες που παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια της εισαγωγής και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, όσο και σε στατιστικές έννοιες και μεθόδους που αναλύθηκαν στο θεωρητικό υπόβαθρο.



## **2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

### **2.1. Γενικά**

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** και περιλαμβάνει έρευνες στον τομέα της οδικής ασφάλειας, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί είτε στην Ελλάδα είτε στο εξωτερικό, και το αντικείμενο ή/και η μεθοδολογία τους παρουσιάζουν συνάφεια με την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται καταρχήν έρευνες που αναφέρονται στην κατανόηση της συμπεριφοράς των οδηγών μέσω τεχνολογικών συσκευών, προσαρμοσμένα στον εγκέφαλο του αυτοκινήτου, καθώς στην παρούσα Διπλωματική Εργασία θα εξεταστεί η επίδραση της ταχύτητας, ανάλογα με τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του οδηγού, με δεδομένα φυσικής οδήγησης, που έχουν συλλεχθεί από το κινητό τηλέφωνο. Για κάθε επιστημονική εργασία παρουσιάζεται σύντομη σύνοψη, με έμφαση στη μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε και στα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν. Μέσω της ανασκόπησης των μεθοδολογιών των ερευνών αυτών, επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός μιας κατάλληλης μεθόδου και κατάλληλων παραμέτρων για την αντιμετώπιση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας.

### **2.2. Συναφείς έρευνες**

#### **2.2.1. Συστήματα καταγραφής επί των οχημάτων**

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά σημεία ερευνών οι οποίες σχετίζονται με τη μελέτη συμπεριφοράς οδηγών, στα οχήματα των οποίων έχουν εγκατασταθεί ειδικά διαγνωστικά συστήματα. Οι έρευνες αυτές είναι δημοσιευμένες σε επιστημονικά περιοδικά και αποτελούν μέρος της διεθνούς βιβλιογραφίας γύρω από το συγκεκριμένο αντικείμενο της οδικής ασφάλειας. Σκοπός είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες εργασίες με παρεμφερές περιεχόμενο.

Οι έρευνες που παρατίθενται είναι οι εξής (με χρονολογική σειρά):

- Ohta, Tohru, and Shouji Nakajima. "**Development of a driving data recorder.**" JSAE Review, p:255-258, 1994.
- Toledo, Tomer, Oren Musicant, and Tsippy Lotan. "**In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior.**" Transportation Research Part C: Emerging Technologies, p: 320-331, 2008.

- Zaldivar, Jorge, et al. **"Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones."** Local Computer Networks (LCN), 2011.
- Yannis G., Tselentis D., Papadimitriou E., Mavromatis S.. **"Star rating driver traffic and safety behavior through OBD and smartphone data collection."** Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Intelligent Transport Systems, Technical University of Brest, Brest, Belarus, 2016.
- Tselentis D.I., Yannis G., Vlahogianni E.I.. **"Innovative motor insurance schemes: A review of current practices and emerging challenges."** Accident Analysis & Prevention, p:139-148, 2017

#### 2.2.1.1. Development of a driving data recorder (1994)

Η έρευνα αυτή αποτελεί μία από τις πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης ενός οργάνου καταγραφής δεδομένων από τον εγκέφαλο του αυτοκινήτου. Ο σκοπός της είναι να παρουσιάσει μία γενική επισκόπηση του οργάνου αυτού (DDR -Driving Data Recorded) και να παραθέσει τρόπους χρησιμοποίησής του.

##### Βασικά στοιχεία:

- Το DDR είναι αρκετά μικρό και ελαφρύ ώστε να μην δημιουργεί πρόβλημα στο όχημα.
- Είναι, επίσης, σχεδιασμένο ώστε να μην καταναλώνει μεγάλη ποσότητα μπαταρίας από το όχημα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για 9.000 ώρες οδήγησης ή 100.000 χιλιόμετρα.
- Τα δεδομένα, τα οποία αποθηκεύονται αρχικά σε μία κάρτα μνήμης, μπορούν να αναλυθούν μέσω προσωπικού Η/Υ.

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορούν να εγγραφούν τα δεδομένα οδήγησης:

- α)Σύστημα που βασίζεται στο χρόνο, όπου τα δεδομένα τοποθετούνται σε διαδοχική σειρά
- β)Σύστημα που βασίζεται στη συχνότητα, όπου η τοποθέτηση των δεδομένων γίνεται με βάση είτε τη συχνότητα χρήσης είτε τη συχνότητα εμφάνισης.



Ανάλογα με τις εντολές εγγραφής, το DDR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συλλέγει στοιχεία όπως ο συνολικός χρόνος οδήγησης, η συνολική απόσταση που διένυσε ο οδηγός, πόσες φορές άναψε ή έσβησε η μηχανή του αυτοκινήτου κ.τ.λ..

Εν κατακλείδι, το DDR σχεδιάστηκε για να καταγράψει τις συνθήκες οδήγησης ενός αυτοκινήτου σε κανονικές συνθήκες οδοστρώματος και να αναλύσει τη συμπεριφορά του οδηγού στο δρόμο. Επομένως, ήταν δυνατό να συσσωρευτούν ποσοτικά στοιχεία οδήγησης τα οποία θα καταδεικνύουν το προφίλ του οδηγού.

### **2.2.1.2. In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior (2008)**

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών μέσω ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, ονόματι Drive Diagnostics, το οποίο είναι προσαρμοσμένο στο εσωτερικό του αυτοκινήτου, έχει διαστάσεις 11x6x3 εκατοστά και φορτίζεται από την μπαταρία του οχήματος.

Η μέθοδος της έρευνας ήταν η εξής: Το σύστημα συλλέγει στοιχεία όπως η επιτάχυνση του οχήματος (κατά x, y), η ταχύτητά του, η ακριβής θέση του μέσω συντεταγμένων με τη βοήθεια του GPS, η κατανάλωση καυσίμων, ο συνολικός χρόνος ταξιδιού κτλ. Σε αντίθεση με άλλα παρόμοια συστήματα, η μετάδοση των πληροφοριών μέσω του DriveDiagnostics γίνεται συνεχώς και σε πραγματικό χρόνο, παρόλο που το όχημα βρίσκεται εν κινήσει.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εκτιμήσει τη συμπεριφορά των οδηγών, καταμετρώντας τον τρόπο οδήγησής τους μέσω συγκεκριμένων παραμέτρων (συχνότητα αλλαγής λωρίδων, απότομα φρεναρίσματα και επιταχύνσεις, υπερβολική ταχύτητα). Όλες αυτές οι πληροφορίες μεταφέρονται μέσω ασύρματων δικτύων σε έναν διακομιστή, ο οποίος τις αποθηκεύει ώστε για κάθε οδηγό να υπάρχει ένας συγκεκριμένος φάκελος με τα χαρακτηριστικά του (αριθμός οχήματος, μέση κατανάλωση καυσίμων, συμμετοχή σε οδικά ατυχήματα κτλ.). Τέλος, οι οδηγοί κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες (προσεκτικοί, κανονικοί και επιθετικοί), ανάλογα με το προφίλ που προκύπτει από τα δεδομένα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αρχική έκθεση των συμμετεχόντων στο πείραμα είχε σημαντική επίδραση στη βελτίωση της οδηγικής τους συμπεριφοράς και της οδικής ασφάλειας. Επιπλέον, η πρόσβαση που είχαν στα δεδομένα του συστήματος τους βοήθησε να καταλάβουν τα σφάλματα που διαπράττουν στο δρόμο. Παρόλα αυτά, η έρευνα έδειξε ότι αν δεν

υπάρξει περαιτέρω ενδιαφέρον για την καταγραφή της οδηγικής συμπεριφοράς των ανθρώπων, μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα δεν παρατηρείται καμία πρόοδος. Στην εν λόγω εργασία, η επίδραση του Drive Diagnostics και στους τριάντα-τρεις οδηγούς που χρησιμοποιήθηκε είχε εξαφανιστεί με το πέρασ πέντε μηνών.

### **2.2.1.3. Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones (2011)**

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι η ανάπτυξη μιας εφαρμογής για κινητά τηλεφωνα με λογισμικό Android η οποία παρακολουθεί το όχημα μέσω του συστήματος OBD-II (On Board Diagnostics) και ανιχνεύει οδικά ατυχήματα.

Το σύστημα OBD αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και είχε ως στόχο την ανίχνευση μηχανικών προβλημάτων στο όχημα, τα οποία προκαλούσαν υψηλά επίπεδα εκπομπής ρύπων, πάνω από τα αποδεκτά όρια. Για να το επιτύχει αυτό, το σύστημα είναι συνδεδεμένο με την μηχανή του αυτοκινήτου και όταν ανιχνεύσει ένα πρόβλημα, το αποθηκεύει στη μνήμη του ώστε να επιδιορθωθεί αργότερα από τους ειδικούς.

Η μέθοδος της εργασίας αυτής στηρίχθηκε κατά ένα σκέλος στο συγκεκριμένο σύστημα. Το κινητό τηλέφωνο συνδέεται μέσω Bluetooth με το μηχανήμα OBD-II και λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του οχήματος. Επιπλέον, μέσω GPS, γνωρίζει την ταχύτητα και την ακριβής τοποθεσία του. Για την ανίχνευση του οδικού ατυχήματος, 2 παράμετροι έχουν ληφθεί υπόψιν. Η μία αφορά την ενεργοποίηση του συστήματος των αερόσακων και η άλλη την επιτάχυνση του αυτοκινήτου, όπου πολύ υψηλές τιμές του G λαμβάνουν χώρα μόνον όταν σοβαρά ατυχήματα συμβαίνουν, καθώς ούτε τα μονοθέσια της Formula 1 μπορούν να πιάσουν τέτοιες τιμές.

Επομένως, μόλις ανιχνευθεί ότι ένα ατύχημα έχει γίνει, αμέσως ειδοποιείται είτε με γραπτό μήνυμα είτε με email ένα άτομο της επιλογής του οδηγού, το οποίο έχει αποφασιστεί από την αρχή της έρευνας, και γίνεται κλήση στην άμεση βοήθεια και την αστυνομία. Οι συντεταγμένες του οχήματος που λαμβάνονται από το GPS είναι απαραίτητες για την όσο το δυνατόν πιο γρήγορη άφιξη του ασθενοφόρου.

Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν άκρως ενθαρρυντικά όσον αφορά την οδική ασφάλεια και τον χρόνο διακομιδής των εμπλεκόμενων σε ατύχημα στο κοντινότερο νοσοκομείο. Ο χρόνος ειδοποίησης από την ώρα που συνέβη το ατύχημα υπολογίστηκε στα 3 δευτερόλεπτα, με τον μέγιστο χρόνο να φτάνει τα 6 δευτερόλεπτα. Η διαφορά έγκειται στην απόδοση σύνδεσης του κινητού τηλεφώνου στο διαδίκτυο.

#### **2.2.1.4. Star rating driver traffic and safety behavior through OBD and smartphone data collection (2016)**

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει τις δυνατότητες για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του οδηγού και της κυκλοφοριακής ασφάλειας, μέσω της χρήσης της συνεχούς συλλογής δεδομένων από το όχημα (On Board Diagnostics) και το κινητό τηλέφωνο (smartphone). Οι τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο κάνουν την συλλογή και αξιοποίηση των δεδομένων σημαντικά πιο εύκολη και πιο ακριβή από ό, τι παλιότερα.

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη συσχέτιση μεταξύ της οδικής συμπεριφοράς και του βαθμού της έκθεσης στον κίνδυνο. Επιπλέον, εξετάζονται οι επιπτώσεις της κριτικής συμπεριφοράς και της έκθεσης των δεικτών σχετικά με τους κινδύνους της κυκλοφορίας, καθώς και η οδηγική συμπεριφορά και τα μοντέλα της έκθεσης με τη χρήση των παραπάνω δεικτών για τον υπολογισμό του κινδύνου κυκλοφορίας.

Η οδική ασφάλεια απαιτεί μεγάλα κεφάλαια επενδύσεων ώστε να φέρει αποτελέσματα για να μειωθούν οι κίνδυνοι. Η απουσία παρακολούθησης έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης της οδικής ασφάλειας. Ως εκ τούτου υπάρχει μεγάλη ανάγκη για καλύτερη αστυνόμευση. Οι δείκτες οδικής ασφάλειας (SPIs) είναι οι δείκτες, που φανερώνουν αυτές τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος της οδικής κυκλοφορίας, τα οποία επηρεάζουν τις επιδόσεις ασφαλείας του συστήματος (Hakkert et al., 2007).

Ο στόχος των SPIs είναι να αντικατοπτριστούν οι τρέχουσες συνθήκες ασφάλειας ενός συστήματος οδικής κυκλοφορίας, η μέτρηση της επίδρασης των διαφόρων παρεμβάσεων της ασφάλειας και η συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών συστημάτων οδικής κυκλοφορίας. Μέχρι πρόσφατα, το υψηλό κόστος για τα συστήματα καταγραφής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο οδήγησης, οι υπηρεσίες cloud computing, η αδυναμία να συσσωρεύονται και να εκμεταλλεύονται τεράστιες βάσεις δεδομένων (Big Data) για τις μεταφορές και τη διαχείριση της κυκλοφορίας (De Romph, 2013, Lee, 2014 ), καθώς και το χαμηλό ποσοστό διείσδυσης των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones) και των κοινωνικών δικτύων, κατέστησε εξαιρετικά δύσκολη τη συλλογή και τη διαχείριση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και, ως εκ τούτου, την μελέτη της σχέσης μεταξύ της οδηγικής συμπεριφοράς και της ταξιδιωτικής συμπεριφοράς και την πιθανότητα εμπλοκής σε ατύχημα.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων σε παγκόσμιο επίπεδο, σταδιακά η συνεχής αξιολόγηση του

προγράμματος οδήγησης είναι ένας πιο εφικτός στόχος, ανοίγοντας νέες μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης της συμπεριφοράς της κυκλοφορίας και της ασφάλειας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τους οδηγούς προκειμένου να αυξήσει την ευαισθητοποίηση και να δεσμεύσει την ασφαλή και φιλική προς το περιβάλλον οδήγηση, αλλά και να παρέχει ανατροφοδότηση και υποστήριξη για τις οδηγικές επιδόσεις και τους κινδύνους. Ένα καινοτόμο ασφαλιστήριο συμβόλαιο θα μπορούσε να έχει σημαντική επίδραση στην ασφάλεια ανάλογα με το σχεδιασμό του (Zantema et al. 2008). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω εξατομικευμένων προγραμμάτων ασφάλισης συσχετίζοντας την έκθεση οδήγησης και την συμπεριφορά με τα ασφάλιστρα, ανάλογα της ταξιδιωτικής συμπεριφορά του οδηγού (PAYD) ή της οδηγικής συμπεριφοράς (PHYD).

Από την άποψη της οδικής ασφάλειας, η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι μια βαθμολογία με αστέρια, που παρακολουθεί και παρέχει ανατροφοδότηση σχετικά με την συμπεριφορά του οδηγού, θα μπορούσε να είναι ένα πολύ καλό κίνητρο για τους περισσότερους οδηγούς να οδηγούν με έναν ασφαλέστερο τρόπο. Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι υπάρχουν πολλές και σημαντικές προκλήσεις που προκύπτουν σε αυτό το πεδίο έρευνας, το οποίο θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω στο εγγύς μέλλον.

#### **2.2.1.5. Innovative motor insurance schemes: A review of current practices and emerging challenges (2017)**

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εφαρμόσει μια από τις πιο δημοφιλείς μεθοδολογίες που σχετίζονται με την ασφάλιση των αυτοκινήτων, την Usage-based motor insurance (UBI). Συστήματα UBI, όπως Pay-as-you-drive (PAYD) και Pay-how-you-drive (PHYD), είναι νέες καινοτόμες ιδέες που έχουν αρχίσει πρόσφατα να πραγματοποιούνται και να αναλύονται.

Η βασική ιδέα είναι ότι αντί για μια σταθερή τιμή, οι οδηγοί πρέπει να πληρώσουν ένα ασφάλιστρο με βάση τα ταξίδια τους και τη συμπεριφορά οδήγησης. Παρά το γεγονός ότι έχει εφαρμοστεί μόνο για μερικά χρόνια, φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη πρακτική με ένα σημαντικό δυνητικό αντίκτυπο στην ασφάλεια της κυκλοφορίας, καθώς και για την άμβλυση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και τη μείωση των εκπομπών ρύπανσης.

Για το σκοπό αυτό, η υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τα συστήματα UBI επανεξετάζει τυχόν κενά που μπορεί να υπάρχουν. Από τα ευρήματα προκύπτει ότι υπάρχει μια πολλαπλότητα και πολυμορφία των διαφόρων ερευνητικών μελετών στη σύγχρονη βιβλιογραφία. Εξετάζεται η συσχέτιση μεταξύ PAYD (βάση της ταξιδιωτικής συμπεριφοράς του οδηγού και της συχνότητας αυτής) και PHYD (βάση της οδηγικής συμπεριφοράς) και του

κινδύνου σύγκρουσης των δύο αυτών συστημάτων. Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι η εφαρμογή UBI θα εξαλείψει το φαινόμενο των cross-subsidies, πράγμα που σημαίνει λιγότερο κόστος ασφάλισης για λιγότερο επικίνδυνους και εκτεθειμένους οδηγούς. Θα προβλέπει επίσης ένα ισχυρό κίνητρο για τους οδηγούς που βελτιώσουν την οδική συμπεριφορά τους, η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της έκθεσης στον κίνδυνο τόσο συνολικά όσο και ατομικά.

Στο τέλος αυτής της έρευνας αναφέρονται οι τρέχουσες και οι αναδυόμενες προκλήσεις σε αυτό το πεδίο έρευνας.

### 2.2.2. Η επιρροή της ταχύτητας στην οδική ασφάλεια

Στο υποκεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται συναφείς έρευνες, οι οποίες είχαν σκοπό να προσδιορίσουν τις παραμέτρους που επιδρούν στην ταχύτητα που αναπτύσσει κάθε οδηγός ανάλογα με την συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του.

Οι έρευνες που παρατίθενται είναι οι εξής:  
(με χρονολογική σειρά)

- Letty Aarts, Ingrid van Schagen. "**Driving speed and the risk of road crashes.**" Institute for Road Safety Research SWOV, 2006.
- Cameron, M.H., Elvik, R.. "**Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Does it apply on urban roads?**" Institute of Transport Economics (Norway), 2008
- Rune Elvik. "**The Power Model of the relationship between speed and road safety.**" Institute of Transport Economics, 2009
- Farmer, Charles M., Bevan B. Kirley, and Anne T. McCartt. "**Effects of invehicle monitoring on the driving behavior of teenagers.**" Journal of Safety Research, p:39-45, 2010).
- Wang, Chao, Quddus, Mohammed A, Ison, Stephen G. "**Factors Affecting Road Safety: A Review and Future Research Direction.**" Transportation Research Board, 2012
- Athanasios Theofilatos, George Yannis. "**A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety.**" Department of Transportation Planning and Engineering, 2014.

### 2.2.2.1. Driving speed and the risk of road crashes (2006)

Σύμφωνα με τις Aarts και Van Schagen, το συμπέρασμα ορισμένων μελετών αντιπροσωπευτικού δείγματος, ότι η συχνότητα των οδικών ατυχημάτων αυξάνεται με την ελάττωση της μέσης ταχύτητας αντιτίθεται με αυτά άλλων μελετών.

Μια εξήγηση για αυτή την ασυμφωνία είναι το γεγονός ότι οι διάφοροι παράγοντες οι οποίοι εξετάστηκαν δεν είναι ανεξάρτητη μεταξύ τους, αλλά αλληλεπιδρούν. Ως παράδειγμα, μικρό πλάτος λωρίδων και αυξημένος αριθμός διασταυρώσεων, πιθανώς θα οδηγούσαν σε μειωμένη μέση ταχύτητα και τελικά σε αύξηση της συχνότητας οδικών ατυχημάτων.

Στο τέλος της αναφοράς τους καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι για δεδομένη οδό, ο κίνδυνος εμφάνισης ατυχήματος αυξάνει με την αύξηση της ταχύτητας είτε σε μεμονωμένο όχημα, είτε σε τμήμα οδού. Παρόλα αυτά, επισημαίνουν ότι η ακριβής σχέση εξαρτάται από ένα μεγάλο πλήθος εξωτερικών παραγόντων οι οποίοι εμποδίζουν τον ακριβή προσδιορισμό της και τη γενίκευση της σε πολλούς τύπους οδού, και για αυτό το λόγο χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

### 2.2.2.2. Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Does it apply on urban roads? (2008)

Η Nilsson πρότεινε συσχέτισμό δυνάμεων που συνδέει τις αλλαγές στην ταχύτητα κίνησης με τα οδικά ατυχήματα στα διάφορα επίπεδα της σοβαρότητας τραυματισμού. Στο τέταρτο επίπεδο ανήκουν τα θανατηφόρα ατυχήματα που σχετίζονται με την αύξηση της μέσης ταχύτητας, στο τρίτο επίπεδο ανήκουν τα σοβαρά οδικά ατυχήματα, δηλαδή εκείνα που αφορούν τον θάνατο ή σοβαρές σωματικές βλάβες και στο δεύτερο επίπεδο ανήκουν οι συγκρούσεις με οποιοδήποτε τραυματισμό. Μεγάλη αύξηση στον αριθμό των νεκρών σε οδικά ατυχήματα προσδίδει η πιθανότητα σε ένα ατύχημα να υπάρχουν παραπάνω από ένα θύμα και για αυτό, τέτοιου είδους ατυχήματα θα πρέπει να προβλέπονται για να μειωθούν.

Διαπιστώθηκε στη Σουηδία ότι κατά την διάρκεια 1967-1972 ατυχήματα με παραπάνω από έναν νεκρό γίνονται στις αγροτικές οδούς λόγω των συχνών αλλαγών του ορίου ταχύτητας. Επιπλέον, σημειώνεται ότι στην έρευνα διαπιστώθηκε ότι σε αστικές οδούς υπήρξαν πολύ λίγες αλλαγές του ορίου ταχύτητας. Ο Elvik, ο Christensen και ο Amundsen ανέλυσαν 98 μελέτες από τις οποίες προέρχεται 460 εκτιμήσεις που αφορούν θανατηφόρα ατυχήματα λόγω των αλλαγών των ορίων ταχύτητας στην διαδρομή.

Σημαντικό είναι να τονιστεί πως πολλά από τα ατυχήματα συνέβησαν σε αστικές περιοχές. Το έγγραφο αυτό παρουσιάζει μια μελέτη βασισμένη σε στοιχεία Elvik et al (2008) στην οποία οι δυνάμεις Nilsson του μοντέλο υπολογίζονται χωριστά για τις αστικές οδικές αρτηρίες, τις οδούς που ανήκουν σε κατοικημένες περιοχές, στις αγροτικές εθνικές οδούς και στους αυτοκινητόδρομους.

Διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει καμία απόδειξη που να συσχετίζει την αύξηση της ταχύτητας σε αστικές οδικές αρτηρίες με την σοβαρότητα των ατυχημάτων. Τα επίπεδα των δυνάμεων που εφαρμόζονται για σοβαρές απώλειες στις αστικές οδικές αρτηρίες ήταν σημαντικά μικρότερα από ότι στις αγροτικές οδούς, τα οποία ήταν επίσης σημαντικά μικρότερα από ότι στους αυτοκινητόδρομους. Οι συνέπειες αυτών των ευρημάτων για τον στρατηγικό σχεδιασμό προβλέπουν την μείωση του ορίου ταχύτητας που αναφέρθηκε.

### **2.2.2.3. The Power Model of the relationship between speed and road safety (2009)**

Η μελέτη αυτή περιέχει μια ενημερωμένη ανάλυση της σχέσης ανάμεσα στην ταχύτητα και την οδική ασφάλεια για την αξιολόγηση του μοντέλου δυνάμεων. Παρά το γεγονός ότι πολλά μοντέλα μπορούν να περιγράψουν επαρκώς τη σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα και την οδική ασφάλεια, το Power Model, επικράτησε λόγω της οικονομίας και της απλότητας του.

Το μοντέλο αυτό, όμως, βελτιώθηκε σε μια έκδοση που ισχύει σε αστικές οδούς ή σε οδούς μέσα σε κατοικημένες περιοχές και μία έκδοση που ισχύει για αγροτικούς δρόμους και αυτοκινητόδρομους. Οι μεταβλητές που αποτελούν τον πυρήνα του μοντέλου έχουν αναθεωρηθεί. Σε γενικές γραμμές, η επίδραση της ταχύτητας στην οδική ασφάλεια φαίνεται να επιδρά λιγότερο τα τελευταία χρόνια. Παρ' όλα αυτά, η ταχύτητα παραμένει ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τα ατυχήματα. Σε πολλές χώρες, η υπερβολική ταχύτητα είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της οδικής ασφάλειας.

Η μελέτη παρέχει επίσης μια επαναδιατύπωση της υπόθεσης για τα όρια ταχύτητας. Προβάλλεται το επιχείρημα ότι αν και οι οδηγοί μπορούν να είναι υποκειμενικοί όταν επιλέγουν ταχύτητα, οι επιλογές τους είναι πιθανό να βασίζονται σε προτιμήσεις που επηρεάζονται από πολλούς άλλους παράγοντες που δεν σχετίζονται με τον προσδιορισμό των ταχυτήτων όπως πιστεύουν οι περισσότεροι. Η μελέτη αυτή, τονίζει τη διάκριση μεταξύ υποκειμενικού και αντικειμενικού, πράγμα που σπάνια γίνεται σε αναλύσεις που βασίζονται στην υπόθεση ότι οι ατομικές επιλογές είναι και ορθολογικές.

#### **2.2.2.4. Effects of in-vehicle monitoring on the driving behavior of teenagers (2010)**

Ο κύριος σκοπός αυτής της εργασίας είναι να προσδιορίσει αν η οδηγική συμπεριφορά των εφήβων βελτιώνεται με την τοποθέτηση μιας συσκευής παρακολούθησης και ανατροφοδότησης πληροφοριών μέσα στο όχημά τους.

Για τις ανάγκες της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν 85 οδηγοί ηλικίας 16 και 17 χρόνων, οι οποίοι χωρίστηκαν τυχαία σε 4 ομάδες, με τη διαφορά να έγκειται στο αν θα ειδοποιούνται μέσω ηχητικών μηνυμάτων για τυχόν υπέρβαση συγκεκριμένων ορίων και αν θα ενημερώνονται ηλεκτρονικά οι γονείς τους για αυτές τις παραβάσεις. Η συσκευή μπορούσε να ανιχνεύσει όλα τα περιστατικά απότομης επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης, υπερβολικής ταχύτητας και μη χρήσης της ζώνης ασφαλείας. Κάθε φορά που ο οδηγός πραγματοποιούσε μία απότομη αλλαγή ταχύτητας ή δεν φορούσε τη ζώνη του, ένα σήμα στελνόταν σε κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή καταγράφοντας την εκάστοτε παράβαση. Όσον αφορά τα όρια ταχύτητας, μέσω του GPS ήταν δυνατό να εντοπιστεί η ακριβής θέση του οχήματος και να συγκριθεί η ταχύτητά του με τα όρια ταχύτητας του συγκεκριμένου τμήματος της οδού όπου βρισκόταν. Τα δεδομένα αυτά, επίσης, αποθηκεύονταν στον ίδιο κεντρικό υπολογιστή. Όσοι οδηγοί είχαν ενταχθεί στις ομάδες 1 και 2, είχαν ηλεκτρονική ειδοποίηση μέσω χαρακτηριστικών ήχων κάθε φορά που είχαν απότομη συμπεριφορά ή δεν φορούσαν ζώνη ασφαλείας.

Τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά για τη χρήση της ζώνης ασφαλείας, καθώς το 94% των συμμετεχόντων την φορούσε από τη στιγμή που επιβιβαζόταν στο όχημα, ενώ το υπόλοιπο 6% συμμορφωνόταν με τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας όταν άκουγε τον χαρακτηριστικό ήχο. Οι οδηγοί που ενημερωνόντουσαν μέσω ηχητικών μηνυμάτων για υπέρβαση του ορίου ταχύτητας προσάρμοζαν άμεσα τη συμπεριφορά τους καθώς δήλωσαν ότι τους ενοχλούσε ο ήχος. Σε όσους, όμως, δεν ερχόταν ειδοποίηση στο όχημά τους και απλά μάθαιναν οι γονείς τους για την παράβαση του ορίου ταχύτητας, δεν παρατηρήθηκε κάποια συμμόρφωση ως προς τους κανόνες ασφαλείας. Η συμπεριφορά των οδηγών με απότομη επιτάχυνση ή επιβράδυνση δεν βελτιωνόταν σημαντικά με την εκπομπή του ηχητικού μηνύματος παρά μόνο στις περιπτώσεις όπου οι γονείς τους μάθαιναν για αυτές τις παραβάσεις.



### **2.2.2.5. Factors Affecting Road Safety: A Review and Future Research Direction (2012)**

Η κατανόηση των παραγόντων κινδύνου που επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα αποτελεί έναν σημαντικά ενδιαφέρον τομέα της έρευνας για την οδική ασφάλεια. Η παρούσα έρευνα παρέχει επισκόπηση των στοιχείων αυτών, καθώς και τις θεωρίες για την οδική ασφάλεια που εξηγούν πώς και γιατί αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν τα οδικά ατυχήματα. Αυτό παρέχει την κοινότητα της οδικής ασφάλειας με την καλύτερη κατανόηση των τροχαίων ατυχημάτων και βοηθά στην ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων και πολιτικών για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Οι αναλυτές της οδικής ασφάλειας θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα ευρήματα αυτής της έρευνας ως δείκτες για τους σημαντικότερους παράγοντες κινδύνου που πρέπει να ελέγχονται για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης ατυχημάτων, ώστε να μειωθούν τα σφάλματα. Διάφοροι παράγοντες και κυρίως: η ταχύτητα, η πυκνότητα της κυκλοφορίας, η ροή, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα δημογραφικά, η οδική συμπεριφορά (που περιλαμβάνει την κατανάλωση αλκοόλ, το κράνος ή τη χρήση της ζώνης ασφαλείας) και τη χρήση γης, όπως η κατοικία ή οικονομικές ζώνες, βρέθηκαν να έχουν διάφορες επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια και χρειάζονται περαιτέρω εξέταση.

Επιπλέον, παράγοντες που σχετίζονται με το περιβάλλον, κυρίως ο φωτισμός, το οδόστρωμα και οι καιρικές συνθήκες θα πρέπει να διερευνηθούν. Σε μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις υπάρχει επίσης ανάγκη για περαιτέρω διερεύνησης θεμάτων όπως η επίδραση της ταχύτητας στα οδικά ατυχήματα, η χρήση των πιο εξελιγμένων στατιστικών μοντέλων, έτσι ώστε να κατανοήσουν καλύτερα τις επιπτώσεις των παραγόντων κινδύνου για τα οδικά ατυχήματα και να αξιοποιηθούν τα δεδομένα νατουραλιστικής οδήγησης στην ανάλυση των ατυχημάτων.

### **2.2.2.6. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety (2014)**

Λόγω της αύξησης της διαθεσιμότητας των στοιχείων κίνησης σε πραγματικό χρόνο και της προσπάθειας για προληπτική διαχείριση της ασφάλειας, η συγκεκριμένη έρευνα επιχειρεί να προσφέρει μια ανασκόπηση της επίδρασης της κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών στην οδική ασφάλεια, να εντοπίσει τα κενά και να συζητήσει τις ανάγκες για περαιτέρω έρευνα. Παρά την ύπαρξη πολλών συσχετισμένων δεδομένων και διάφορων παραμέτρων, τελικά προέκυψαν κάποια μοντέλα. Για παράδειγμα, η ροή της κυκλοφορίας φαίνεται να έχει μια μη γραμμική σχέση με τα ποσοστά των

ατυχημάτων, αν και μερικές μελέτες δείχνουν να έχουν γραμμική σχέση με τα ατυχήματα.

Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του ορίου ταχύτητας, έχει βρεθεί πως σχετίζεται με την αύξηση των ατυχημάτων. Σχετικά με τις επιπτώσεις του καιρού, η επίδραση των βροχοπτώσεων οδηγεί σε αυξημένη συχνότητα ατυχημάτων, αλλά δεν φαίνεται να έχει μια συνεπή επίδραση στην σοβαρότητα.

Η επίδραση άλλων παραμέτρων του καιρού για την ασφάλεια, όπως η ορατότητα, η ταχύτητα του ανέμου και η θερμοκρασία δεν βρέθηκε να σχετίζονται με την αύξηση των ατυχημάτων. Η συστηματικότερη χρήση αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αντιμετωπίσει πολλά από τα ερευνητικά κενά που εντοπίζονται σε αυτή την έρευνα.

### 2.2.3. Συναφείς μεθοδολογίες

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συναφείς μεθοδολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλες έρευνες με ειδικά διαγνωστικά συστήματα εντός του οχήματος.

Οι έρευνες που παρατίθενται είναι οι εξής:  
(με χρονολογική σειρά)

- Prato, Carlo Giacomo, et al. "**Modeling the behavior of novice young drivers during the first year after licensure.**" Accident Analysis & Prevention, p:480-486, 2010.
- Vaiana, Rosolino, et al. "**Driving behavior and traffic safety: an accelerationbased safety evaluation procedure for smartphones.**" Modern Applied Science, p:88, 2014

#### 2.2.3.1. Modeling the behavior of novice young drivers during the first year after licensure (2010)

Οι αρχάριοι οδηγοί συχνά εμφανίζονται ευάλωτοι μπροστά στον κίνδυνο ατυχήματος, κάτι το οποίο μεταφράζεται σε μεγάλη συμμετοχή τους στον κατάλογο των οδικών ατυχημάτων. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι η ανάλυση της συμπεριφοράς των νέων οδηγών με τη χρήση ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, το οποίο βρίσκεται εντός του οχήματος.

Για τις ανάγκες της εργασίας εξετάστηκαν 62 οδηγοί (36 άνδρες – 26 γυναίκες) ηλικίας 17 χρονών κατά την περίοδο των πρώτων 12 μηνών μετά την απόκτηση της άδειας οδήγησης. Για τους 3 πρώτους μήνες, ήταν απαραίτητο να υπάρχει στο όχημα ένας γονιός κατά τη διάρκεια της οδήγησης, ενώ μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, μπορούσαν να οδηγούν μόνοι.

Το σύστημα IVDR (In-Vehicle Data Recorder) κατέγραφε δεδομένα όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση του οχήματος ώστε να μπορεί να διακρίνει πότε ο οδηγός πραγματοποιεί επικίνδυνους ελιγμούς, οι οποίοι κατηγοριοποιούνταν ανάλογα με το είδος τους (αλλαγή λωρίδας, απότομο φρενάρισμα ή επιτάχυνση κτλ.) και τη σοβαρότητά τους (χαμηλή, μέση, υψηλή). Όλες αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονταν μέσω ασύρματων δικτύων σε έναν διακομιστή, ο οποίος διατηρούσε αρχείο για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα οχήματα, δημιουργώντας έτσι το προφίλ του κάθε αρχάριου οδηγού. Οι γονείς και οι νεαροί οδηγοί ήταν σε θέση να ελέγξουν τα δεδομένα αυτά μέσω μιας εφαρμογής που τους επέτρεπε να έχουν πρόσβαση στο προφίλ τους.

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν ότι οι άνδρες οδηγοί είναι πιο επιρρεπείς στον κίνδυνο και ότι όταν οδηγούν χωρίς επίβλεψη, οι αρχάριοι οδηγοί γίνονται πιο «επιθετικοί». Όσον αφορά την οδήγηση με παρόντες τους γονείς, ο κίνδυνος ατυχήματος αποτελεί συνάρτηση και της οδηγικής συμπεριφοράς του ενήλικα.

Τέλος, σημαντικό ρόλο στην μείωση της επικινδυνότητας των νέων οδηγών παίζει και ο έλεγχος των δεδομένων που προκύπτουν από το IVDR. Οι νεαροί οι οποίοι ελέγχονται ηλεκτρονικά από τους γονείς τους καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας γίνονται πιο προσεκτικοί όταν οδηγούν μόνοι τους, ενώ αντίθετα όσοι δεν έχουν την συνεχή επίβλεψη των γονέων μέσω της ηλεκτρονικής εφαρμογής, δεν δείχνουν διάθεση να βελτιώσουν την τάση που έχουν για επικίνδυνη οδήγηση.

### **2.2.3.2. Driving behavior and traffic safety: an acceleration-based safety evaluation procedure for smartphones (2014)**

Αυτή η εργασία πραγματοεύεται την ανάπτυξη μιας πρωτότυπης εφαρμογής για ηλεκτρονικές, κινητές συσκευές η οποία θα εκτιμάει τον βαθμό ασφάλειας των οδηγών που βρίσκονται εν κινήσει μετρώντας την διαμήκη και πλευρική τους επιτάχυνση, μέσω χρήσης των συστημάτων GPS . Όπου απαιτείτο, η εφαρμογή θα εμφανίζει μια προειδοποίηση στους οδηγούς ώστε να συμμορφώσουν την συμπεριφορά τους στον δρόμο.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Τοποθετώντας σε έναν άξονα x, y τις επιταχύνσεις του οχήματος (πλευρική και διαμήκης αντίστοιχα),

εκτιμήθηκε η συμπεριφορά του οδηγού στο τιμόνι (επιθετικός ή μη). Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, ο κύκλος τριβής του οχήματος, ο οποίος είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών των ελαστικών του αυτοκινήτου και των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Λαμβάνοντας, επιπλέον, υπόψη την εμπειρία του οδηγού και τον τύπο του αυτοκινήτου δημιουργήθηκε το **“Διάγραμμα Οδηγικής Συμπεριφοράς” (Driving Style Diagram – DSD)**, το οποίο αποτελεί μία συσχέτιση όλων των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με το ίδιο όχημα και το ίδιο κινητό τηλέφωνο (smartphone) και πήραν μέρος 5 οδηγοί με διαφορετικά οδηγικά χαρακτηριστικά. Η συμπεριφορά κάθε οδηγού εκτιμήθηκε με βάση το ποσοστό υπέρβασης των ορίων επιτάχυνσης του DSD.

Η έρευνα είχε ως αποτέλεσμα ότι η καλύτερη τιμή για να διαχωρίσεις τους επιθετικούς με τους ασφαλείς οδηγούς μπορεί να οριστεί στο 9% ως ποσοστό υπέρβασης των ορίων επιτάχυνσης του DSD.

### 2.3.Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν ορισμένες από τις σημαντικότερες έρευνες που σχετίζονται με την εκτίμηση της συμπεριφοράς του οδηγού μέσω συστημάτων καταγραφής δεδομένων που βρίσκονται εντός του οχήματος, καθώς και τη συμβολή της χρήσης αυτών των νέων τεχνολογιών στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Από την ανάλυση των παραπάνω ερευνών και την συνολική εξέτασή τους προκύπτουν τα παρακάτω κύρια σημεία:

- Για τη σωστή και αποτελεσματική λειτουργία των συστημάτων καταγραφής δεδομένων, απαιτείται **σύνδεση με πληροφοριακά συστήματα** ώστε να αποθηκεύονται και να επεξεργάζονται άμεσα οι πληροφορίες.
- Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται με τον **τρόπο οδήγησης** του οδηγού (ταχύτητα, επιτάχυνση, επιβράδυνση, απόσταση με τα υπόλοιπα αυτοκίνητα κτλ) καθώς και με τα **μηχανικά χαρακτηριστικά** του οχήματος (κατανάλωση καυσίμων, πίεση ελαστικών κοκ).
- Σε βάθος χρόνου, **δεν είναι πολλοί** οι οδηγοί που ανατρέχουν στα αρχεία οδήγησής τους ώστε να ελέγξουν τις οδηγικές παραβάσεις τις οποίες έχουν διαπράξει, μειώνοντας την χρησιμότητα αυτής της δυνατότητας του συστήματος.
- Τα συστήματα αυτά μπορούν να συμβάλλουν όχι μόνο στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και της συμπεριφοράς των οδηγών στο δρόμο, αλλά και στην **έγκαιρη πρόληψη και αντιμετώπιση οδικών ατυχημάτων**.

- Οι δυνατότητες για **καλύτερες προβλέψεις**, αυξάνονται όσο τα δεδομένα που λαμβάνονται, καταγράφονται για μεγάλο χρονικό διάστημα και σε κάθε διαδρομή του οδηγού.
- Η προσπάθεια εκτίμησης της συμπεριφοράς του οδηγού μέσω τεχνολογικά προηγμένων συστημάτων καταγραφής έχει ξεκινήσει πριν από περίπου 30 χρόνια και συνεχώς **εξελισσεται και βελτιώνεται**.
- Τα περισσότερα συστήματα καταγραφής συνδέονται με τον **"εγκέφαλο"** του οχήματος (π.χ. OBD, DDR).
- Οι συχνές **αλλαγές των ορίων ταχύτητας** δημιουργούν μεγαλύτερο κίνδυνο για τροχαίο ατύχημα.
- Η χρήση του **κινητού τηλεφώνου** στην οδήγηση οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης, χαμηλότερες ταχύτητες, μεγαλύτερες αποστάσεις και χρόνους διαχωρισμού μεταξύ των οχημάτων.
- Τα στοιχεία που συλλέγονται από το κινητό τηλέφωνο, **προσφέρουν μεγάλο όγκο πληροφοριών** και δίνουν **νέες δυνατότητες αξιολόγησης**.
- Σε διαφορετικούς **τύπους οδών** αναπτύσσονται και διαφορετικές συνθήκες-μοντέλα που εκφράζουν την ταχύτητα.
- Τα οδικά ατυχήματα σχετίζονται με την **ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων**.
- Η **βελτίωση της συμπεριφορά** οδήγησης των **νέων** οδηγών σχετίζεται με το αν οι **γονείς τους παρακολουθούν** τον τρόπο που οδηγούν.
- Είτε πρόκειται για νέους είτε για έμπειρους οδηγούς, όταν υπάρχει **ηχητική ειδοποίηση εντός του οχήματος** σχετικά με κάποια πιθανή παράβαση στην οποία έχουν υποπέσει, εμφανίζεται η τάση να βελτιώνουν άμεσα την οδηγική τους συμπεριφορά.
- Η κυριότερη μέθοδος ανάλυσης των δεδομένων που εφαρμόστηκε είναι η **παλινδρόμηση (ANOVA)**.
- Τέλος, είναι προφανές ότι υπάρχει **κενό γνώσης** γύρω από το εν λόγω θέμα, ωστόσο η εξέλιξη της τεχνολογίας και κατ' επέκταση των συστημάτων καταγραφής δεδομένων θα επιφέρει ακόμα πιο σημαντικά αποτελέσματα στον τομέα της οδικής ασφάλειας και βελτίωσης της συμπεριφοράς των οδηγών στο δρόμο.



### **3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Στο παρόν κεφάλαιο επιδιώκεται η περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου, στο οποίο θα βασιστεί η ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Ειδικότερα, παρουσιάζεται το **πλαίσιο της μεθοδολογίας**, στο οποίο θα μελετηθεί η επίδραση της ταχύτητας, ανάλογα με τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του οδηγού, με τη χρήση μαθηματικού προτύπου. Για τον σκοπό της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, είναι αναγκαία η ανάλυση πολλών συσχετιζόμενων τυχαίων μεταβλητών ταυτόχρονα, κάθε μία από τις οποίες θεωρείται εξ' ίσου σημαντική με τις υπόλοιπες. Αναλύονται τα θεωρητικά στοιχεία που αφορούν στη γραμμική παλινδρόμηση (linear regression), και λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση. Ο κύριος λόγος στον οποίο στηρίχθηκε η επιλογή της μεθόδου αυτής συνίσταται στο ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή του προβλήματος (ταχύτητα οχήματος) λαμβάνει συνεχείς τιμές. Επιπλέον, εντοπίζονται τα κριτήρια αποδοχής ενός μαθηματικού προτύπου καθώς επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος που επιτεύχθηκαν τα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης μέσω λειτουργιών του ειδικού στατιστικού λογισμικού. Μεγάλο τμήμα των θεωρητικών στοιχείων αυτών έχει αναπτυχθεί και σε προηγούμενες διπλωματικές.

#### **3.2. Βασικές Έννοιες Στατιστικής**

Ο όρος **πληθυσμός** (population) αναφέρεται στο σύνολο των παρατηρήσεων του χαρακτηριστικού που ενδιαφέρει τη στατιστική έρευνα. Πρόκειται για ένα σύνολο στοιχείων που είναι τελείως καθορισμένα. Ένας πληθυσμός μπορεί να είναι πραγματικός ή θεωρητικός.

Ο όρος **δείγμα** (sample) αναφέρεται σε ένα υποσύνολο του πληθυσμού. Οι περισσότερες στατιστικές έρευνες στηρίζονται σε δείγματα, αφού οι ιδιότητες του πληθυσμού είναι συνήθως αδύνατο να καταγραφούν. Όλα τα στοιχεία που ανήκουν στο δείγμα ανήκουν και στον πληθυσμό, χωρίς απαραίτητα να ισχύει το αντίστροφο. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την μελέτη του δείγματος θα ισχύουν με ικανοποιητική ακρίβεια για ολόκληρο τον πληθυσμό μόνο εάν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού.

Με τον όρο **μεταβλητές** (variables) ορίζονται τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν να μετρηθούν και να καταγραφούν σε ένα σύνολο ατόμων. Οι μεταβλητές διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ποιοτικές μεταβλητές** (qualitative variables): Είναι οι μεταβλητές των οποίων οι δυνατές τιμές είναι κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους. Η χρήση αριθμών για την παράσταση των τιμών μιας τέτοιας μεταβλητής είναι καθαρά συμβολική και δεν έχει την έννοια της μέτρησης.
- **Ποσοτικές μεταβλητές** (quantitative variables). Είναι οι μεταβλητές με τιμές αριθμούς, που όμως έχουν τη σημασία της μέτρησης. Η ηλικία και ο αριθμός παιδιών μιας οικογένειας συνιστούν τέτοιες μεταβλητές. Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις διακριτές (ή ασυνεχείς) και τις συνεχείς.
  - Σε μία **διακριτή** μεταβλητή η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορούν να έχουν δύο τιμές της είναι σταθερή ποσότητα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο αριθμός των μελών της οικογένειας.
  - Σε μία **συνεχή** μεταβλητή δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα. Ως παράδειγμα αναφέρουμε την ηλικία, για την οποία η διαφορά ανάμεσα σε δύο τιμές θα μπορούσε να είναι χρόνια, μήνες, ημέρες, ώρες, λεπτά, δευτερόλεπτα. Στην πράξη, συνεχής θεωρείται μια μεταβλητή όταν μπορεί να πάρει όλες τις τιμές σε ένα διάστημα, διαφορετικά θεωρείται διακριτή.

**Μέτρα κεντρικής τάσης** (measures of central tendency): Σε περίπτωση ανάλυσης ενός δείγματος  $x_1, x_2, \dots, x_n$  η **μέση τιμή** υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)$$

**Μέτρα διασποράς και μεταβλητότητας** (measures of variability): Στην περίπτωση όπου τα δεδομένα αποτελούν ένα δείγμα, η **διακύμανση** συμβολίζεται με  $s^2$  και ορίζεται ως:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

όπου  $\bar{x}$  είναι ο δειγματικός μέσος, δηλαδή η μέση τιμή των παρατηρήσεων του δείγματος.

Η μαθηματική σχέση που δίνει την **τυπική απόκλιση** του δείγματος είναι:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$



Για την περίπτωση συμμετρικά κατανομημένου δείγματος δεδομένων σύμφωνα με έναν εμπειρικό κανόνα, προκύπτει ότι:

- το διάστημα  $(-s, +s)$  περιέχει περίπου το 68% των δεδομένων
- το διάστημα  $(-2s, +2s)$  περιέχει περίπου το 95% των δεδομένων
- το διάστημα  $(-3s, +3s)$  περιέχει περίπου το 99% των δεδομένων

Η **συνδιακύμανση** (covariance of the two variables) αποτελεί ένα μέτρο της σχέσης μεταξύ δύο περιοχών δεδομένων και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

**Μέτρα αξιοπιστίας** είναι:

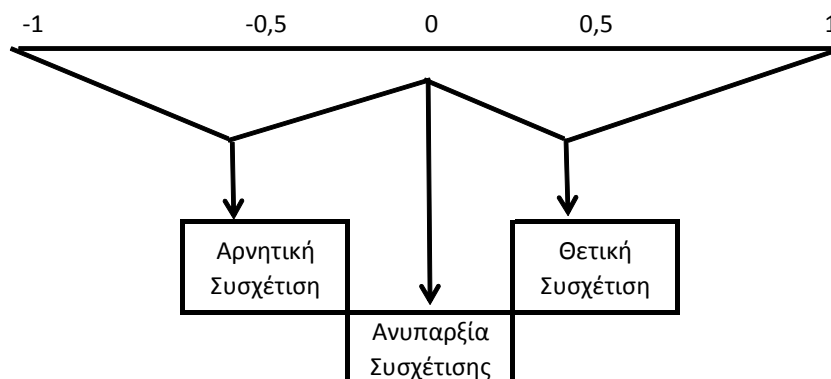
- το επίπεδο εμπιστοσύνης, που ορίζεται ως η αναλογία των περιπτώσεων που μια εκτίμηση θα είναι σωστή
- το επίπεδο σημαντικότητας, το οποίο ορίζεται ως η αναλογία των περιπτώσεων που ένα συμπέρασμα είναι εσφαλμένο

### 3.3. Συσχέτιση Μεταβλητών – Συντελεστής Συσχέτισης

Έστω  $X, Y$  δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές. Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο μεταβλητών  $X$  και  $Y$ , οι οποίες έχουν διασπορά  $\sigma_x^2$  και  $\sigma_y^2$  αντίστοιχα και συνδιασπορά  $\sigma_{XY} = \text{cov}[X, Y]$  καθορίζεται με τον **συντελεστή συσχέτισης** (correlation coefficient), ο οποίος συμβολίζεται με  $\rho$  και ορίζεται ως:

$$\rho = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Ο συντελεστής συσχέτισης  $\rho$  εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται. Δεν εξαρτάται από την μονάδα μέτρησης των  $X$  και  $Y$  και λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[-1, +1]$ . Τιμές κοντά στο  $+1$  δηλώνουν ισχυρή θετική συσχέτιση, τιμές κοντά στο  $-1$  δηλώνουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση και τιμές κοντά στο  $0$  δηλώνουν γραμμική ανεξαρτησία των  $X$  και  $Y$ , όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.1.: Επεξήγηση πιθανών τιμών του Συντελεστή Συσχέτισης

ΠΗΓΗ: Σύγγραμμα «Εφαρμογή Μεθόδων Ανάλυσης στην Έρευνα Αγοράς», Σιώμκος Γ., Βασιλακοπούλου Α., 2005)

Η **εκτίμηση** του συντελεστή συσχέτισης  $\rho$  γίνεται με την αντικατάσταση στην παραπάνω εξίσωση της συνδιασποράς  $\sigma_{XY}$  και των διασπορών  $\sigma_X$  και  $\sigma_Y$ , από όπου προκύπτει τελικά η έκφραση της **εκτιμήτριας r**:

$$r(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

### **3.4. Βασικές Κατανομές**

Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία της στατιστικής, για να μελετηθούν τα διάφορα στατιστικά μεγέθη πρέπει να είναι γνωστή η μορφή της κατανομής που ακολουθούν οι τιμές τους. Παρακάτω παρατίθενται οι σημαντικότερες στατιστικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των οδικών ατυχημάτων και της οδηγικής συμπεριφοράς.

#### **3.4.1. Κανονική Κατανομή**

Μία από τις πιο σημαντικές κατανομές πιθανότητας για συνεχείς μεταβλητές είναι η κανονική κατανομή ή κατανομή του Gauss. Μια συνεχής τυχαία μεταβλητή  $X$  θεωρείται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή με παραμέτρους  $\mu$ ,  $\sigma$  ( $-\infty < \mu < +\infty$ ,  $\sigma > 0$ ), και γράφεται  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας την:

$$F(x) = \left( \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \right) e^{[-(x-\mu)^2/2\sigma^2]}$$

όπου  $\mu$  και  $\sigma$  είναι σταθερές ίσες με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση αντίστοιχα.

#### **3.4.2. Κατανομή Poisson**

Είναι γνωστό ότι η πιο κατάλληλη κατανομή για την περιγραφή τελείως τυχαίων διακριτών γεγονότων είναι η κατανομή Poisson. Μια τυχαία μεταβλητή  $X$  (όπως π.χ. το πλήθος των ατυχημάτων ή των νεκρών από οδικά ατυχήματα) θεωρείται ότι ακολουθεί κατανομή Poisson με παράμετρο  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ), και γράφεται  $X \sim P(\lambda)$ , όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας την:

$$F(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!}$$

όπου  $x = 0, 1, 2, 3, \dots$  και  $x! = x \cdot (x-1) \cdot \dots \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1$

Η μέση τιμή και η διασπορά κατά Poisson είναι  $E\{x\} = \mu$  και  $\sigma^2\{x\} = \mu$  και είναι ίσες μεταξύ τους.

Η κατανομή Poisson αφορά στον αριθμό των “συμβάντων” σε ορισμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα. Γενικά, ο αριθμός  $X$  των συμβάντων σε χρονικό (ή χωρικό) διάστημα  $t$  ακολουθεί την κατανομή Poisson αν:

- ο ρυθμός  $\lambda$ , έστω των συμβάντων είναι χρονικά σταθερός
- οι αριθμοί των συμβάντων σε ξένα διαστήματα αποτελούν ανεξάρτητα ενδεχόμενα (Κοκολάκης και Σπηλιώτης, 1999)

Η κατανομή Poisson είναι κατάλληλη για την ανάπτυξη μοντέλων που αφορούν φαινόμενα που εμφανίζονται σπάνια και των οποίων οι εμφανίσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή η εμφάνιση του φαινομένου μια φορά δεν επηρεάζει την επόμενη.

Ο αριθμός των παθόντων είναι μία μεταβλητή, η οποία παρουσιάζει όμοιες ιδιότητες με την μεταβλητή του αριθμού των ατυχημάτων και γενικά υποστηρίζεται ότι τα οδικά ατυχήματα ακολουθούν συνήθως κατανομή Poisson (Chapman 1971, Zahavi 1962) ή κανονική κατανομή (Hojati 2011).

### 3.4.3. Αρνητική Διωνυμική Κατανομή

Μία άλλη πολύ σημαντική κατανομή που χρησιμοποιείται στην οδική ασφάλεια είναι η αρνητική διωνυμική κατανομή. Η χρήση της κατανομής αυτής ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου η διακύμανση των στοιχείων του δείγματος είναι μεγαλύτερη από τον μέσο όρο. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε φαινόμενα που εμφανίζουν περιοδικές μεταβολές (όπως για παράδειγμα αριθμός αφίξεων οχημάτων που αφορούν σε μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ. 10 sec) σε κάποιο σημείο μετά από φωτεινό σηματοδότη.

Μια τυχαία μεταβλητή  $X$  θεωρείται ότι ακολουθεί την αρνητική διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $k, p$  ( $k$ : θετικός ακέραιος,  $0 < p < 1$ ), και γράφεται  $X \sim NB(k, p)$ , όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας την:

$$P(x) = \binom{X + k - 1}{X} p^k (1 - p)^x$$

όπου  $X = 0, 1, 2, 3, \dots$

Μία συνήθης πρακτική στον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων, είναι ο υπολογισμός της τιμής της πιθανότητας  $p$  (probability-value ή  $p$ -value). Η πιθανότητα  $p$  είναι το μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  που οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης  $H_0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1$ . Είναι μία σημαντική τιμή, διότι ποσοτικοποιεί τη στατιστική απόδειξη που υποστηρίζει την εναλλακτική υπόθεση. Γενικά, όσο πιο μικρή είναι η τιμή της πιθανότητας  $p$ , τόσο περισσότερες είναι οι αποδείξεις για την απόρριψη της μηδενικής

υπόθεσης  $H_0$  έναντι της εναλλακτικής  $H_1$ . Εάν η τιμή  $p$  είναι μικρότερη ή ίση του επιπέδου σημαντικότητας  $\alpha$ , τότε η μηδενική υπόθεση  $H_0$  απορρίπτεται.

### **3.5. Μαθηματικά Πρότυπα**

#### **3.5.1. Γραμμική Παλινδρόμηση**

Ο κλάδος της στατιστικής, ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της μιας από τις υπόλοιπες, ονομάζεται **ανάλυση παλινδρόμησης** (regression analysis).

Με τον όρο **εξαρτημένη μεταβλητή** εννοείται η μεταβλητή της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί, ενώ με τον όρο **ανεξάρτητη** γίνεται αναφορά σε εκείνη τη μεταβλητή, η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία, αλλά παίρνει καθορισμένες τιμές. Η εξαρτημένη μεταβλητή θεωρείται τυχαία και «καθοδηγείται» από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Προκειμένου να προσδιοριστεί αν μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκάλεσε τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων.

Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου αποτελεί μια στατιστική διαδικασία που συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Επισημαίνεται ότι η επιλογή της μεθόδου ανάπτυξης ενός μοντέλου βασίζεται στο αν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές ή διακριτό μέγεθος.

Στην περίπτωση που η **εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές μέγεθος** και ακολουθεί κανονική κατανομή χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, της οποίας η πιο απλή περίπτωση είναι η **απλή γραμμική παλινδρόμηση** (simple linear regression). Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση υπάρχει μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  και μία εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$ , η οποία προσεγγίζεται ως μία γραμμική συνάρτηση του  $X$ . Η τιμή  $y_i$  της μεταβλητής  $Y$ , για κάθε τιμή  $x_i$  της μεταβλητής  $X$ , δίνεται από την σχέση:

$$y_i = a + \beta x_i + \epsilon_i$$

Το πρόβλημα της παλινδρόμησης είναι η εύρεση των παραμέτρων  $a$  και  $\beta$  που εκφράζουν όσο το δυνατόν καλύτερα τη γραμμική εξάρτηση της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  από την ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$ . Κάθε ζεύγος τιμών ( $a$ ,  $\beta$ ) καθορίζει και μία διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από ευθεία γραμμή και οι δύο παράμετροι ορίζονται ως εξής:

- Ο σταθερός όρος  $\alpha$  είναι η τιμή του  $y$  για  $x=0$
- Ο συντελεστής  $\beta$  του  $x$  είναι η κλίση (slope) της ευθείας ή αλλιώς ο **συντελεστής παλινδρόμησης** (regression coefficient). Εκφράζει την μεταβολή της μεταβλητής  $Y$  όταν η μεταβλητή  $X$  μεταβληθεί κατά μία μονάδα.

Ο όρος  $\epsilon_i$  ονομάζεται **σφάλμα παλινδρόμησης** (regression error). Στην πράξη ο γραμμικός προσδιορισμός που επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί μόνο να προσεγγίσει την πραγματική μαθηματική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών  $X$  και  $Y$ . Έτσι, είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί στο μοντέλο ο όρος του σφάλματος  $\epsilon_i$ . Αυτό γίνεται τόσο για να αντιπροσωπευθούν στο μοντέλο τυχόν παραληφθείσες μεταβλητές, όσο και για να ληφθεί υπόψη κάθε σφάλμα προσέγγισης που σχετίζεται με τη γραμμική συναρτησιακή μορφή (Σταθόπουλος και Καρλαούτης, 2008). Το  $\epsilon_i$  μπορεί συχνά να αναφέρεται και ως σφάλμα, απόκλιση, υπόλοιπο κλπ.

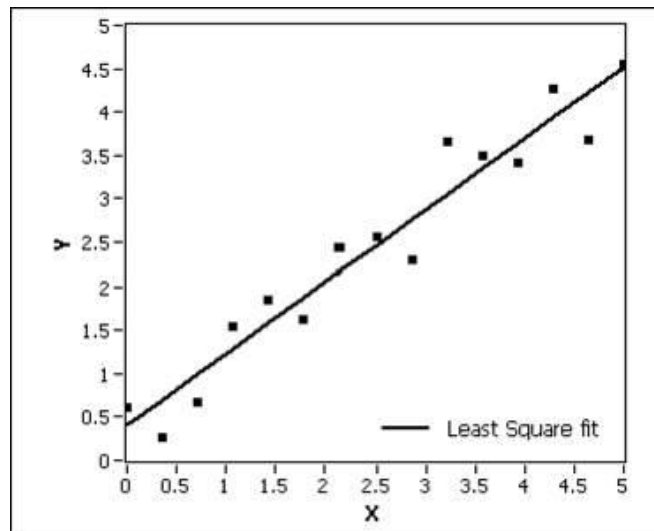
Για την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

- Η μεταβλητή  $X$  είναι ελεγχόμενη για το πρόβλημα υπό μελέτη, δηλαδή είναι γνωστές οι τιμές της χωρίς καμιά αμφιβολία.
- Η εξάρτηση της  $Y$  από τη  $X$  είναι γραμμική.
- Το σφάλμα παλινδρόμησης έχει μέση τιμή μηδέν για κάθε τιμή της  $X$  και η διασπορά του είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από τη  $X$ , δηλαδή  $E(\epsilon_i) = 0$  και  $Var(\epsilon_i) = \sigma_\epsilon^2$

Οι παραπάνω υποθέσεις για γραμμική σχέση και σταθερή διασπορά αποτελούν χαρακτηριστικά πληθυσμών με κανονική κατανομή. Συνήθως, λοιπόν, σε προβλήματα γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται η υπόθεση ότι η δεσμευμένη κατανομή της  $Y$  είναι κανονική.

### 3.5.1.1. Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων

Η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται με τη **μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων** (least squares method). Σύμφωνα με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, ο προσδιορισμός των συντελεστών  $\beta_i$  δίνει μια προσεγγιστική ευθεία που συνδέει τις τιμές της μεταβλητής  $Y$ , δοθέντων των τιμών της μεταβλητής  $X$ . Η ευθεία που προκύπτει ονομάζεται ευθεία παλινδρόμησης της  $Y$  πάνω στην  $X$ . Σκοπός είναι το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων  $(X, Y)$  από την ευθεία να είναι ελάχιστο. Παρακάτω δίνεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων.



Διάγραμμα 3.1.: Ευθεία Ελάχιστων Τετραγώνων

### 3.5.2. Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Σε περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$  εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μια ανεξάρτητες μεταβλητές  $X$  ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) τότε γίνεται αναφορά στην **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression). Η εξίσωση η οποία αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές έχει τη γενικότερη μορφή:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon_i$$

Οι **υποθέσεις της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης** είναι ίδιες με εκείνες της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή υποθέτει κανείς ότι τα σφάλματα  $\epsilon_i$  της παλινδρόμησης (όπως και η τυχαία μεταβλητή  $Y$  για κάθε τιμή της  $X$ ) ακολουθούν κανονική κατανομή με σταθερή διασπορά. Γενικά το πρόβλημα και η εκτίμηση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούριο στοιχείο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελέγξει αν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή θα πρέπει να ισχύει:

$$\rho(X_i, X_j) \quad i \neq j \rightarrow 0$$

Στην γραμμικά παλινδρόμηση οι παράμετροι εκτιμώνται με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων, δηλαδή οι συντελεστές υπολογίζονται έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών των παρατηρούμενων και των υπολογιζόμενων να είναι ελάχιστο.

### 3.5.3. Λογιστική Ανάλυση Παλινδρόμησης

Στα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης που αναφέρθηκαν παραπάνω, ισχύει η προϋπόθεση ότι η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής. Στην περίπτωση που η **εξαρτημένη μεταβλητή είναι διακριτή**, εφαρμόζεται η **λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης**. Η λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης και ταξινόμησης. Είναι δυνατή η έκβαση μιας κατηγορικής μεταβλητής με δύο κατηγορίες με τη χρήση ενός συνόλου συνεχών και διακριτών μεταβλητών. Σε αντίθεση με τη γραμμική παλινδρόμηση, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η πιθανότητα η έκβαση του αποτελέσματος να ισούται με 1. Χρησιμοποιείται ο νεπέριος λογάριθμος για την πιθανότητα ή τον λόγο πιθανοφάνειας (likelihood ratio), η εξαρτημένη μεταβλητή να είναι 1 σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$Y = \text{logit}(P) = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = B_0 + B_i x_i$$

όπου  $B_0$ : η σταθερά του μοντέλου

$B_i$ : οι παραμετρικές εκτιμήτριες για τις ανεξάρτητες μεταβλητές ( $x_i = 1, 2, \dots, n$ )

$n$ : το σύνολο των εξαρτημένων μεταβλητών.

Η πιθανότητα κυμαίνεται από 0 έως 1, ενώ ο νεπέριος λογάριθμος  $\ln [P_i/(1-P_i)]$  λαμβάνει τιμές από  $-\infty$  έως  $+\infty$ . Όταν οι πιθανές κατηγορίες της εξαρτημένης μεταβλητής είναι δύο, η ανάλυση ονομάζεται **διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση** (binary logistic regression), ενώ σε περίπτωση πλήθους κατηγοριών περισσότερων των δύο χρησιμοποιείται η **πολυωνυμική λογιστική παλινδρόμηση** (multinomial logistic regression).

Η λογική της λογιστικής παλινδρόμησης είναι παρόμοια με εκείνη της γραμμικής (πολλαπλής) παλινδρόμησης, με τη διαφορά ότι επειδή η εξαρτημένη μεταβλητή είναι κατηγορική, δεν προβλέπονται τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, αλλά ταξινόμηση σε μία εκ των (δύο) κατηγοριών της (group membership).

Τα μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης υπολογίζουν την **καμπυλόγραμμη σχέση** ανάμεσα στην κατηγορική επιλογή  $Y$  και στις μεταβλητές  $X_i$  οι οποίες μπορεί να είναι συνεχείς ή διακριτές. Η καμπύλη της λογιστικής παλινδρόμησης είναι προσεγγιστικά γραμμική στις μεσαίες τιμές και λογαριθμική στις ακραίες τιμές. Με απλό μετασχηματισμό της παραπάνω σχέσης οδηγούμαστε στην εξής νέα σχέση:

$$\frac{P_i}{1 - P_i} = e^{B_0 + B_i x_i}$$

Η θεμελιώδης εξίσωση για την λογιστική παλινδρόμηση δείχνει ότι όταν μια τιμή μιας ανεξάρτητης μεταβλητής αυξηθεί κατά μία μονάδα και όλες οι υπόλοιπες παραμείνουν σταθερές, ο **νέος λόγος πιθανοφάνειας**  $P_i/(1 - P_i)$  δίδεται από τη σχέση:

$$\frac{P_i}{1 - P_i} = e^{B_0 + B_i x_i + 1}$$

Έτσι παρατηρείται ότι όταν η εξαρτημένη μεταβλητή  $X_i$  αυξηθεί κατά μία μονάδα, με όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές να παραμένουν σταθερές, η πιθανότητα αυξάνεται κατά ένα συντελεστή  $e^{B_i}$ .

### 3.5.4. Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση

Μέσω της **λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης** (lognormal regression) δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου που συσχετίζει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Η σχέση που συνδέει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι γραμμική. Στη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση οι συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης. Υπολογίζονται από την ανάλυση της παλινδρόμησης με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων. Η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικά, ο φυσικός λογάριθμος της ανεξάρτητης μεταβλητής ακολουθεί την κανονική κατανομή και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$\log(y_i) = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

όπου  $y$ : η εξαρτημένη μεταβλητή

$b_0, b_1, \dots, b_k$ : οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης

$x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ : οι εξαρτημένες μεταβλητές και

$\varepsilon_i$ : το σφάλμα παλινδρόμησης.

### 3.6. Διαδικασία Ανάπτυξης και Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο εδάφιο, κάθε μοντέλο που αναπτύσσεται, για να θεωρηθεί αποδεκτό πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις.

Αρχικά πρέπει να ισχύει η **κανονικότητα**. Λόγω της προϋπόθεσης αυτής, απαιτείται οι τιμές της μεταβλητής να ακολουθούν κανονική κατανομή και να πληρούνται οι παρακάτω περιορισμοί.



➤ **Μη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών**

Βασική προϋπόθεση είναι η μη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές πρέπει να είναι γραμμικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή να ισχύει  $\rho(x_i, x_j) = 0$ , για κάθε  $i \neq j \rightarrow 0$  γιατί διαφορετικά δεν είναι δυνατή η εξακρίβωση της επιρροής της κάθε μεταβλητής στο αποτέλεσμα. Αν δηλαδή σε ένα μοντέλο εισάγονται δύο μεταβλητές που σχετίζονται αρκετά μεταξύ τους, εμφανίζονται προβλήματα μεροληψίας και επάρκειας.

➤ **Λογική ερμηνεία των πρόσημων**

Σημαντικό κριτήριο για την αποδοχή ενός μοντέλου μετά τη διαμόρφωση του είναι οι τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών παλινδρόμησης  $\beta$ . Πρέπει αρχικά να υπάρχει λογική ερμηνεία των πρόσημων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο επιφέρει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής ( $x_i$ ) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά  $\beta_i$  μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).

➤ **Κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας (Likelihood Ratio Test-LRT)**

Σημαντικό ρόλο στην επιλογή των μεταβλητών των μοντέλων της λογιστικής παλινδρόμησης παίζει και η πιθανοφάνεια. Για την εκτίμηση της επιρροής των παραμέτρων  $\beta$  χρησιμοποιείται η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Για να επιτευχθεί υψηλή πιθανοφάνεια επιχειρείται ο λογάριθμος των συναρτήσεων πιθανοφάνειας  $L = -\log(\text{likelihood})$  να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος, καθώς προτιμώνται μοντέλα με μικρότερο λογάριθμο της συνάρτησης πιθανοφάνειας. Μοντέλα που περιέχουν πολλές μεταβλητές είναι περισσότερο σύνθετα και χρειάζεται ένας κανόνας να αποφασίζει εάν η μείωση του λογαρίθμου της πιθανοφάνειας αξίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το Likelihood Ratio Test (LRT) ή αλλιώς κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο κριτήριο εάν ισχύει:

$$LRT = -2(L(b) - L(0)) > \chi_{b,0.05}^2$$

Όπου:

- $L(b)$  είναι ο λογάριθμος πιθανοφάνειας του μοντέλου με τις  $b$  μεταβλητές
- $L(0)$  είναι ο λογάριθμος πιθανοφάνειας του μοντέλου χωρίς τις  $b$  μεταβλητές
- $\chi_{b,0.05}^2$  η τιμή του κριτηρίου  $\chi^2$  για  $b$  βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5%

Το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνονται δεκτές οι μεταβλητές ως σημαντικές. Επισημαίνεται ότι οι διακριτές μεταβλητές με κατηγορίες  $k$  έχουν  $k-1$  βαθμούς ελευθερίας, ενώ οι συνεχείς έχουν πάντοτε ένα βαθμό ελευθερίας.

#### ➤ Στατιστική αξιολόγηση των παραμέτρων

Η στατιστική αξιολόγηση των παραμέτρων πραγματοποιείται μέσω του ελέγχου  $t$ -test (κριτήριο της κατανομής Student). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να διαπιστωθεί εάν οι παράμετροι που υπολογίστηκαν διαφέρουν σημαντικά από το 0, προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών και καθορίζονται ποιες μεταβλητές τελικά θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής  $t$  εκφράζεται από τη σχέση:

$$t_{\text{stat}} = \beta_i / \text{s.e.}$$

όπου  $\text{s.e.}$ : το τυπικό σφάλμα των σταθερών παραμέτρων (standard error).

Βάσει της παραπάνω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται η τιμή του  $t_{\text{stat}}$  και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του  $t_{\text{stat}}$  τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του  $t_{\text{stat}}$  για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης.

Βαθμός Ελευθερίας	Επίπεδο Εμπιστοσύνης				
	0,90	0,95	0,975	0,99	0,995
80	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
$\infty$	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Πίνακας 3.1.: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή  $t$

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα για ένα δείγμα περί τα 80 και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι  $t^* = 1,671$  και για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% είναι  $t^* = 1,3$ . Έτσι αν για παράδειγμα μια μεταβλητή έχει τιμή  $t^*$  ίση με  $-3,8$ , η απόλυτη τιμή της τιμής  $t$  είναι  $3,8$  δηλαδή μεγαλύτερη από  $1,671$  και επομένως η μεταβλητή είναι αποδεκτή και στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων.

Όσον αφορά στα μοντέλα λογιστικής ανάλυσης παλινδρόμησης, ισχύει ό,τι και στην απλή γραμμική παλινδρόμηση, με τη διαφορά ότι στη λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης το αντίστοιχο  $t$ -test έχει την ονομασία Wald. Η τιμή του Wald για κάθε μεταβλητή πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1,7 όπως ακριβώς ισχύει και για τον συντελεστή  $t$ .

➤ **Συντελεστής προσαρμογής  $R^2$**

Μετά τον έλεγχο στατιστικής εμπιστοσύνης εξετάζεται η ποιότητα του μοντέλου. Η ποιότητα του μοντέλου καθορίζεται με βάση τον συντελεστή προσαρμογής. Ο συντελεστής  $R^2$  χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και ορίζεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

όπου:

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \beta^2 * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Τα αρχικά SSR και SST έχουν προέλθει από τις φράσεις υπόλοιπο άθροισμα τετραγώνων (Residual Sum of Squares) και συνολικό άθροισμα τετραγώνων (Total Sum of Squares) αντίστοιχα. Με  $\hat{y}$  συμβολίζεται η προβλεπόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής από τις ανεξάρτητες.

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής  $Y$  που εξηγείται από την μεταβλητή  $X$ . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του  $R^2$  στην μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών  $Y$  και  $X$ . Ο συντελεστής  $R^2$  έχει συγκριτική αξία, κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του  $R^2$  που είναι αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή  $R^2$ . Ο συντελεστής  $R^2$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ισχυρότητας της γραμμικής σχέσης ανεξάρτητα από το αν το  $X$  παίρνει καθορισμένες τιμές ή αν είναι τυχαία μεταβλητή.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, ως κριτήριο καταλληλότητας του μοντέλου, χρησιμοποιείται ο συντελεστής **Adjusted  $R^2$** , ο οποίος είναι πάντοτε μικρότερος του  $R^2$  και απομονώνει τους τυχαίους παράγοντες καθώς επικεντρώνεται μονάχα στους παράγοντες διακύμανσης της ανεξάρτητης μεταβλητής.

### ➤ **Ελαστικότητα**

Η ελαστικότητα αντικατοπτρίζει την **ευαισθησία** μιας εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  στην μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η 1% μεταβολή της ανεξάρτητης. Η ελαστικότητα, για γραμμικά πρότυπα, δίδεται από τη σχέση:

$$e_i = \frac{\Delta Y_i}{Y_i} \frac{X_i}{\Delta X_i} = \beta_i \frac{X_i}{Y_i}$$

Επισημαίνεται ότι η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται αποκλειστικά σε **συνεχείς** μεταβλητές. Για **διακριτές** μεταβλητές χρησιμοποιείται η **έννοια της ψευδοελαστικότητας**, η οποία περιγράφει τη μεταβολή στην τιμή της πιθανότητας επιλογής κατά τη μετάβαση από τη μία τιμή της διακριτής μεταβλητής στην άλλη. Η σχέση που υπολογίζει την τιμή της ψευδοελαστικότητας για διακριτές μεταβλητές είναι η παρακάτω:

$$E_{x_{ink}}^{P_i} = e^{\beta_{ik}} \frac{\sum_{i=1}^I e^{\beta_i x_n}}{\sum_{i=1}^I e^{\Delta(\beta_i x_n)}} - 1$$

Όπου:

- $I$ , το πλήθος των πιθανών επιλογών
- $x_{ink}$ , η τιμή της μεταβλητής  $k$  για την εναλλακτική  $i$  του ατόμου  $n$
- $\Delta(\beta_i x_n)$ , η τιμή της συνάρτησης που καθορίζει την κάθε επιλογή αφού η τιμή της  $x_{nk}$  έχει μεταβληθεί από 0 σε 1
- $\beta_{ixn}$ , η αντίστοιχη τιμή όταν η  $x_{nk}$  έχει τιμή 0
- $\beta_{ik}$ , η τιμή της παραμέτρου της μεταβλητής  $x_{nk}$

Όσον αφορά στο **σφάλμα της εξίσωσης του μοντέλου**, πρέπει να πληρούνται κάποιες βασικές προϋποθέσεις:

- να ακολουθεί κανονική κατανομή
- να έχει σταθερή διασπορά,  $V_{ar(\varepsilon_i)} = \sigma_\varepsilon^2 = c$
- να έχει μηδενική συσχέτιση,  $\rho(x_i, x_j) = 0$ , για κάθε  $i \neq j$

Η **διασπορά του σφάλματος** εξαρτάται από τον συντελεστή  $R^2$ . Όσο μεγαλύτερο είναι το  $R^2$  τόσο μικρότερη είναι η διασπορά του σφάλματος, δηλαδή τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη που βασίζεται στην ευθεία παλινδρόμησης.

### **3.7. Λειτουργία του Ειδικού Στατιστικού Λογισμικού**

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση ειδικού στατιστικού λογισμικού. Αφού καταχωρήθηκαν τα δεδομένα σε ειδικές βάσεις δεδομένων,

μεταφέρθηκαν στο στατιστικό λογισμικό στο πεδίο δεδομένων και **ακολουθήθηκαν οι ενέργειες που συνοπτικά παρουσιάζονται στη συνέχεια.**

Αρχικά, καθορίστηκαν οι μεταβλητές στο πεδίο μεταβλητών (variable view). Εκεί δίνονται οι ονομασίες και καθορίζονται οι ιδιότητές τους (όνομα, τύπος μεταβλητής, αριθμός ψηφίων, κωδικοποίηση τιμών κ.α). Είναι σημαντικό να γίνει διάκριση των μεταβλητών σε συνεχείς (scale), διατεταγμένες (ordinal) και διακριτές (nominal).

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η εντολή **Analyze** για τη **στατιστική ανάλυση** των δεδομένων. Η εντολή αυτή περιλαμβάνει τις παρακάτω επιλογές:

- **Descriptive Statistics:** Διαδικασίες για την παραγωγή περιγραφικών αποτελεσμάτων. Εδώ βρίσκεται η επιλογή Options. Πρόκειται για χρήσιμες στατιστικές περιγραφικές συναρτήσεις (μέσος, τυπική απόκλιση, μέγιστο, ελάχιστο).
- **Correlate:** Η διαδικασία που μετράει τη συσχέτιση ανάμεσα σε ζευγάρια μεταβλητών. Από εδώ επιλέγεται η εντολή Bivariate correlations. Οι μεταβλητές που ενδιαφέρουν εισάγονται στο πλαίσιο Variables και χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης **Pearson** αν πρόκειται για συνεχείς μεταβλητές και ο συντελεστής συσχέτισης **Spearman** αν πρόκειται για διακριτές μεταβλητές. **Regression:** Η διαδικασία εκτελεί διάφορα είδη αναλύσεων παλινδρόμησης, μία εκ των οποίων είναι η λογιστική που επιλέξαμε για την ανάλυση των δεδομένων μας. Η μεταβλητή που ενδιαφέρει (εξαρτημένη μεταβλητή) εισάγεται στο πλαίσιο Dependent. Οι επεξηγηματικές μεταβλητές με τις οποίες θα εξηγηθεί η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής, εισάγονται στο πλαίσιο Independent(s). Στο πλαίσιο Method μπορεί να επιλεγεί μια μέθοδος για τη βέλτιστη επιλογή επεξηγηματικών μεταβλητών. Αυτή συνήθως αφήνεται Enter που σημαίνει ότι στο μοντέλο εισέρχονται όσες μεταβλητές βρίσκονται στο πλαίσιο Independent(s) με τη σειρά που αναγράφονται εκεί, αν και δοκιμάστηκαν και άλλες μέθοδοι.

Τέλος, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στα δεδομένα εξόδου. Για τον έλεγχο καταλληλότητας του μοντέλου εφαρμόζονται τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν.

**Επιδιώκεται:**

- Οι τιμές και τα πρόσημα των **συντελεστών παλινδρόμησης β<sub>i</sub>** να μπορούν να εξηγηθούν λογικά.
- Ο **σταθερός όρος** της εξίσωσης, που εκφράζει το σύνολο των παραμέτρων που δε λήφθηκαν υπόψη, να είναι κατά το δυνατό μικρότερος.
- Η **τιμή του στατιστικού** ελέγχου Wald (**t**) να είναι μεγαλύτερη από την τιμή 1,7 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και το **επίπεδο σημαντικότητας** να είναι μικρότερο από 5%.
- Τα τελικά μοντέλα να έχουν όσο το δυνατόν χαμηλότερο **LRT**, ειδικά σε σχέση με τα αρχικά (μοντέλα χωρίς μεταβλητές).
- Ο συντελεστής συσχέτισης **R<sup>2</sup>** να είναι κατά το δυνατό μεγαλύτερος, αν και δευτερεύων στην ανάλυση λογιστικής παλινδρόμησης.

## **4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

### **4.1. Εισαγωγή**

Το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **ανάπτυξη μοντέλων ταχύτητας του οδηγού με βάση λεπτομερή δεδομένα οδήγησης από αισθητήρες κινητών τηλεφώνων**. Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών, συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αναπτύχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο που οδήγησε στην επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης. Αφού επιλέχθηκε η γραμμική παλινδρόμηση ως μέθοδος στατιστικής ανάλυσης, επόμενο βήμα είναι η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και η επεξεργασία τους. Η σωστή επιλογή των στοιχείων είναι πάρα πολύ σημαντική, αφού η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων αυτών οδηγεί στην επίτευξη του στόχου της εργασίας.

Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων αυτών θα οδηγήσει στην επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας, που είναι ο προσδιορισμός των καθοριστικών παραγόντων οδηγικής συμπεριφοράς, που επηρεάζουν την μέση ταχύτητα κάθε οδηγού, ανεξάρτητα από τον τύπο της οδού, την ώρα και την μέρα. Πέρα όμως από το γενικό μοντέλο, θα αναπτυχθούν και μοντέλα που προσδιορίζουν την ταχύτητα που χρησιμοποιεί κάθε οδηγός ανάλογα με το αν οδηγεί εντός ή εκτός των κρίσιμων ωρών και ανάλογα με τον τύπο της οδού (αστικός, υπεραστικός, αυτοκινητόδρομος).

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η **διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας** των στοιχείων, έτσι ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα για την ποιότητα και αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο τρόπος κωδικοποίησης τους, σε μορφή τέτοια που να είναι συμβατή με το περιβάλλον του λογισμικού στο οποίο έγινε η στατιστική ανάλυση. Η αρχική επεξεργασία που υπέστησαν, πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Microsoft Excel. Στη συνέχεια περιγράφονται διάφορα προβλήματα που προέκυψαν στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής. Τέλος, παρουσιάζεται και ο τρόπος ανάλυσης των δεδομένων στο στατιστικό λογισμικό μέσω της περιγραφής των κυριότερων εντολών του λογισμικού.

### **4.2. Συλλογή στοιχείων**

Όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την συσχέτιση της ταχύτητας και της συμπεριφοράς οδήγησης, προέρχονται από τη χρήση λεπτομερών δεδομένων φυσικής οδήγησης που έχουν συλλεχθεί από το κινητό τηλέφωνο του οδηγού. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται από μια εφαρμογή

η οποία όποτε ο χρήστης οδηγεί καταγράφει μια σειρά στοιχείων για τον τρόπο οδήγησής του.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προέκυψε πως στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό έχουν πραγματοποιηθεί ελάχιστες συναφείς έρευνες με την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Πρώτον γιατί η αξιολόγηση σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης θέτει συχνά το ζήτημα της αξιοπιστίας και της αντικειμενικότητας και δεύτερον γιατί είναι ένας τρόπος καταγραφής που απαιτεί ανεπτυγμένη τεχνολογία και ακρίβεια, η οποία μόλις τώρα αναπτύσσεται.

#### 4.2.1. Τρόπος Συλλογής Δεδομένων

Η OSeven έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την καταγραφή, την συλλογή, την αποθήκευση, την αξιολόγηση και την παρουσίαση των δεδομένων της οδηγικής συμπεριφοράς χρησιμοποιώντας εφαρμογές έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphone) και προηγμένους αλγόριθμους Machine Learning. Αυτή η καινοτομία που εφαρμόζεται στον τρόπο συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα, παρουσιάζει νέες προκλήσεις συγκεντρώνοντας μεγάλο όγκο δεδομένων για ανάλυση κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας. Το σύστημα που αναπτύχθηκε ενσωματώνει μια διαδικασία συλλογής και διαβίβασης δεδομένων από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα (Smartphones), των οποίων τα κύρια χαρακτηριστικά περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

##### 4.2.1.1. Σύστημα καταγραφής δεδομένων

**Η καταγραφή των δεδομένων ξεκινάει αυτόματα** στις εφαρμογές του κινητού τηλεφώνου όταν αναγνωρίζεται μια κατάσταση οδήγησης και **σταματάει αυτόματα** όταν αναγνωρίζεται κατάσταση μη οδήγησης. Η εγγραφή κατά τη διάρκεια της οδήγησης μένει σε αναμονή για πέντε λεπτά μετά την διακοπή της κατάστασης της οδήγησης, για να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι ο οδηγός συνεχίζει το ταξίδι του με στάση λίγων λεπτών. Όλες οι επιπλέον πληροφορίες που συλλέγονται μετά την απενεργοποίηση του κινητήρα του οχήματος απορρίπτονται χρησιμοποιώντας τις τεχνικές εκμάθησης μηχανών που περιγράφονται παρακάτω.

Τα καταγεγραμμένα δεδομένα προέρχονται από τους διάφορους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphone) και αλγόριθμους σύντηξης δεδομένων που παρέχονται από το Android (Google) και το iOS (Apple). Μια εφαρμογή για το κινητό τηλέφωνο (mobile App) αναπτύσσεται για να καταγράφει τη συμπεριφορά του χρήστη χρησιμοποιώντας τους **αισθητήρες της συσκευής** και χρησιμοποιείται μια ποικιλία εφαρμογών για να διαβαστούν τα δεδομένα των αισθητήρων που έχουν καταγραφεί και να



αποθηκευτούν προσωρινά στη βάση δεδομένων του έξυπνου κινητού τηλεφώνου πριν μεταφερθούν στην κεντρική βάση δεδομένων. Μετά τη διαβίβαση των δεδομένων στη βάση δεδομένων, τα πάντα διαγράφονται από το κινητό τηλέφωνο. Τα ακατέργαστα δεδομένα είτε καταγράφονται από τους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (Smartphone) είτε παρέχονται από iOS και Android με τη μορφή δεδομένων σύντηξης.

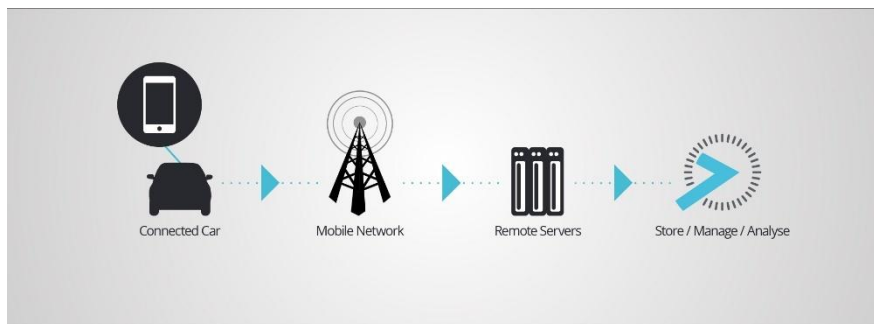
Ενδεικτικά, το κινητό τηλέφωνο ενσωματώνει αισθητήρες τεχνολογίας:

- Επιταχυνσιόμετρου \*
- Γυροσκόπιου \*
- Μαγνητόμετρου
- GPS (ταχύτητα, πορεία, γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος)

Τα δεδομένα που παρέχονται από iOS και Android:

- Ρυθμός εκτροπής, βαθμός έντασης και κύλιση
  - Γραμμική επιτάχυνση \*
  - Βαρύτητα \*
- \* (x, y, z στοιχεία)

Η συχνότητα της εγγραφής των δεδομένων ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα, με μέγιστη τιμή 1Hz. Είναι αξιοσημείωτο να τονιστεί ότι με αυτόν το τρόπο συλλέγεται ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων των χαρακτηριστικών οδήγησης και αυτό πραγματοποιείται μόνο με την χρήση των εφαρμογών του κινητού τηλεφώνου. Το βασικό πλαίσιο λειτουργίας της ροής δεδομένων φαίνεται στο σχήμα 1 που ακολουθεί.



Εικόνα 4.1.: Σύστημα ροής δεδομένων Oseven

#### 4.2.1.2. Μετάδοση δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση του ταξιδιού, η εφαρμογή μεταδίδει όλα τα δεδομένα που έχουν συλλέξει, στην **κεντρική βάση δεδομένων του OSeven backend office** μέσω ενός κατάλληλου δίαυλου επικοινωνίας, όπως είναι ένα δίκτυο Wi-Fi ή ένα κυψελοειδές δίκτυο (κατόπιν επιλογής του χρήστη) όπως είναι το δίκτυο 3G / 4G με βάση τις ρυθμίσεις του χρήστη.

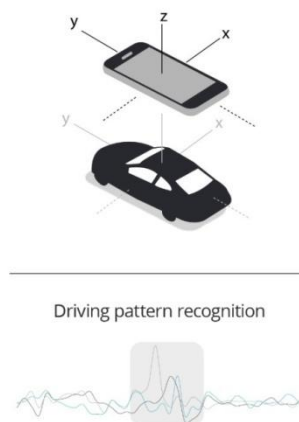
Για να επιτευχθεί η διάδραση μεταξύ αυτών των πλευρών, δημιουργήθηκε API το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των δεδομένων από μια ηλεκτρονική υπηρεσία σε μια εφαρμογή πελάτη. Αυτή η αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται για τη μεταφορά και τη λήψη δεδομένων μεταξύ συστημάτων, υποστηρίζοντας τη μεταξύ τους διαλειτουργικότητα. Κάνοντας τα δεδομένα προσβάσιμα μέσω του Παγκόσμιου Ιστού με τη χρήση API καθιστά δυνατή την υποβολή δεδομένων στη βάση δεδομένων από συσκευές τρίτων καθώς επίσης και την πληροφορία άμεσα διαθέσιμη. Ο συνολικός όγκος δεδομένων για έναν μέσο οδηγό υπολογίζεται σε 50Mb / μήνα.

#### 4.2.1.3. Αποθήκευση δεδομένων, θέματα ασφαλείας και ιδιωτικότητας.

Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο σύστημα OSeven backend χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές κρυπτογράφησης και ασφάλειας δεδομένων, σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και τις οδηγίες της ΕΕ για την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται υποστηρίζουν τον έλεγχο ταυτότητας του χρήστη και την κρυπτογράφηση για να αποτρέπεται η πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένα δεδομένα από τρίτους.

#### 4.2.1.4. Επεξεργασία δεδομένων

Αφού τα δεδομένα αποθηκευτούν στον εξυπηρετητή για να πραγματοποιηθεί η κεντρική επεξεργασία και να μειωθούν τα δεδομένα, μετατρέπονται τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε σημαντικές συμπεριφορές και σε συναφείς με την ασφάλεια παραμέτρους (δηλαδή μεγάλο χειρισμό και επεξεργασία δεδομένων). Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις δύο μεγάλες **μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων** που περιλαμβάνουν δύο οικογένειες τεχνικών, **τεχνικές εξόρυξης μεγάλων δεδομένων** και **αλγόριθμους Machine Learning (ML)**.



Εικόνα 4.2: Ρυθμός εκτροπής, βαθμός έντασης και κύλιση

Οι μέθοδοι εκμάθησης μηχανών (μέθοδοι φιλτραρίσματος, ομαδοποίησης και ταξινόμησης) χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των δεδομένων από τα μη σχετικά στοιχεία, τα σφάλματα και την αναγνώριση επαναλαμβανόμενων μοτίβων μέσα στα δεδομένα. Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα θα υποβληθούν σε επεξεργασία κατάλληλη για μεγάλο όγκο δεδομένων, προκειμένου να υπολογιστούν οι απαραίτητες παράμετροι και να ληφθούν δείκτες συμπεριφοράς που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση. Με άλλα λόγια, τα δεδομένα χωρικά και χρονικά διαχωρισμένα από το κινητό τηλέφωνο (Smartphone), επεξεργάζονται προκειμένου να προκύψουν **χρήσιμοι δείκτες οδικής ασφάλειας**. Οι μέθοδοι τεχνικής νοημοσύνης επιτρέπουν την ανίχνευση της επιθετικής συμπεριφοράς του οδηγού υπό τη μορφή σκληρών συμβάντων, την απόσπαση που διανύει ο οδηγός χρησιμοποιώντας το κινητό του τηλεφώνου, την αναγνώριση των τρόπων οδήγησης, την υπέρβαση του ορίου ταχύτητας, καθώς και ο προσδιορισμός των χρονικών και χωρικών χαρακτηριστικών όλων των παραπάνω.

Η διαδικασία των **αλγορίθμων Machine Learning** και η τεχνική εξόρυξης **big-data** δίνεται παρακάτω σε απλά βήματα:

- 1) Φιλτράρισμα δεδομένων και ανίχνευση τιμών που αποκλίνουν
- 2) Εξομάλυνση δεδομένων (όπου χρειάζεται)
- 3) Περιοχές υπερβολικής ταχύτητας
- 4) Συμβάντα απότομων επιταχύνσεων
- 5) Συμβάντα απότομων φρεναρισμάτων
- 6) Συμβάντα απότομων στροφών
- 7) Χρήση κινητού τηλεφώνου (ομιλία, σύνταξη μηνυμάτων, πλοήγηση στο διαδίκτυο)
- 8) Οδήγηση εντός επικίνδυνων ωρών (απόσταση σε επικίνδυνες ώρες)
- 9) Τρόπος μετακίνησης (αυτοκίνητο Ι.Χ., μέσα μαζικής μεταφοράς, ποδήλατο, μοτοποδήλατο)
- 10) Καθορισμός οδηγού ή επιβάτη

Υπολογίζεται μια ποικιλία διαφορετικών μετά-δεδομένων έπειτα από τη διαδικασία Machine Learning (ML) τα οποία είναι χρήσιμα στον χρήστη ή στην αξιολόγηση της οδηγικής συμπεριφοράς, όπως για παράδειγμα:

#### Δείκτες έκθεσης κινδύνου

- Συνολική απόσταση (απόσταση σε μίλια)
- Διάρκεια οδήγησης
- Τύπος (τύποι) οδικού δικτύου που χρησιμοποιείται (η θέση δίνεται στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού θέσης (GPS) και ενσωματώνεται σε χορηγούς χαρτών, π.χ. Google, OSM)

- Χρόνος οδήγησης στην ημέρα (ώρες αιχμής, επικίνδυνες ώρες)
  - Καιρικές Συνθήκες
  - Σκοπός του ταξιδιού
- συνδυασμένα με άλλες πηγές δεδομένων (όρια ταχυτήτων και λεπτομερείς χάρτες ατυχημάτων).



Εικόνα 4.3. Δείκτες κινδύνου οδήγησης

#### Δείκτες οδηγικής συμπεριφοράς

- Υπέρβαση του ορίου ταχύτητας (διάρκεια υπέρβασης του ορίου, υπέρβαση του ορίου ταχύτητας κλπ.)
- Αριθμός και σοβαρότητα απότομων συμβάντων
- Απότομο φρενάρισμα (επιτάχυνση κατά μήκος)
- Απότομη επιτάχυνση (επιτάχυνση κατά μήκος)
- Απότομες στροφές (γωνιακή ταχύτητα, πλευρική επιτάχυνση, πορεία)
- Οδηγική επιθετικότητα (π.χ. φρενάρισμα, επιτάχυνση)
- Απόσπαση λόγω χρήσης κινητού τηλεφώνου

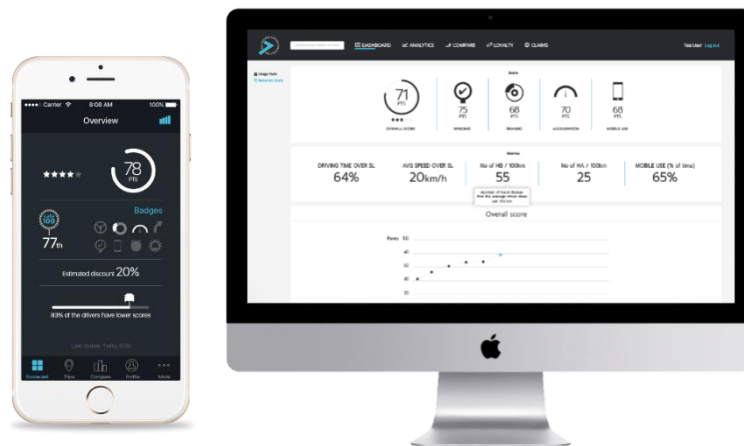
Αυτοί οι δείκτες μαζί με άλλα δεδομένα (π.χ. δεδομένα από χάρτες) αξιοποιούνται διαδοχικά για να εφαρμόσουν στατιστικές ατομικά στους οδηγούς, σε όλους τους τύπους οδών (αστική οδός, αυτοκινητόδρομος κλπ.) και κάτω από διάφορες συνθήκες οδήγησης, επιτρέποντας τη δημιουργία μιας μεγάλης βάσης δεδομένων με οδηγικά χαρακτηριστικά.

Το τελικό βήμα της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων είναι η **ανάπτυξη του μοντέλου** οδηγικής συμπεριφοράς. Συγκεντρωτικά δεδομένα αναλύονται και το σύστημα αξιολόγησης βαθμονομείται με βάση το συνολικό δείγμα. Το μοντέλο οδηγικής συμπεριφοράς αναπτύσσει διάφορους δείκτες για την αξιολόγηση της οδήγησης και τελικώς συγκεντρώνει την όλη διαδικασία σε μια **βάση ανά ταξίδι-διαδρομή για κάθε οδηγό στο δείγμα** με σκοπό να παραχθεί η τελική βαθμολόγηση κάθε οδηγού. Κάθε διαδρομή και επομένως κάθε οδηγός αξιολογείται με βάση τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η τελική αξιολόγηση που παράγεται περιλαμβάνει τόσο συνολική αξιολόγηση όσο και αξιολόγηση ανά χαρακτηριστικό. Τα επεξεργασμένα δεδομένα μεταφέρονται σε φιλικές προς το χρήστη

εφαρμογές έξυπνων κινητών τηλεφώνων ή σε πλατφόρμες στο διαδίκτυο που προσφέρουν φιλικά προς το χρήστη περιβάλλοντα για να λάβουν της αναλυτικές και τις αναφορές τους. Η **οπτικοποίηση** της διαδικασίας των δεδομένων περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο. Πρέπει να αναφερθεί ότι όλα τα επεξεργασμένα δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων της OSeven ακολουθώντας διαδικασίες ανωνυμίας ώστε τα δεδομένα να μη μπορούν να συνδεθούν με συγκεκριμένο χρήστη.

#### 4.2.1.5. Παρουσίαση δεδομένων

Τα αποτελέσματα όλης της προαναφερθείσας διαδικασίας είναι προσβάσιμα στην **εφαρμογή έξυπνων κινητών τηλεφώνων (Smartphone)** και στη **διαδικτυακή πύλη**, όπου είναι διαθέσιμα για το χρήστη να δει όλα τα συμβάντα που ανιχνεύθηκαν και τη θέση τους στο χάρτη όπως επίσης και όλα τα αποτελέσματα (συνολικά και ανά κατηγορία). Έτσι, προσφέρεται στον οδηγό ένας τρόπος φιλικός στον χρήστη να αντιλαμβάνεται τα τμήματα ταξιδιού με επικίνδυνη συμπεριφορά οδήγησης και να αποφύγει παρόμοιες συμπεριφορές στο μέλλον. Ταυτόχρονα, οι ασφαλιστικές εταιρείες έχουν πρόσβαση σε δεδομένα των πελατών τους χρησιμοποιώντας τη διαδικτυακή πύλη της OSeven. Τα αποτελέσματα οδήγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάμεσα στα άλλα και για τον καθορισμό των ασφάλιστρων ή/και προγραμμάτων αξιοπιστίας.



Εικόνα 4.4.: Εφαρμογή στο κινητό και διαδικτυακή πύλη

#### 4.2.2. Τα Δεδομένα

Για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, τα δεδομένα **αποθηκεύονταν** σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η Βάση Δεδομένων που αξιοποιήθηκε ήταν σε μορφή Excel. Κάθε γραμμή αποτελούσε μια μετακίνηση ενός οδηγού. Κάθε στήλη είχε και μια μεταβλητή για κάθε μετακίνηση.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν από 18853 μετακινήσεις, από 100 οδηγούς οι οποίοι οδήγησαν από τον Ιούλιο ως και τον Δεκέμβριο του 2016, οποιαδήποτε ώρα της ημέρας, η οποία όμως καταγραφόταν και σε οποιονδήποτε τύπο οδού, όπου και αυτός καταγράφονταν με την βοήθεια του GPS.

Οι μεταβλητές που δίνονταν ήταν οι εξής:

- No
- tripid\_userid (ταυτότητα χρήστη)
- tripstartedate (ημερομηνία έναρξης της μετακίνησης)
- tripstarted\_time (ώρα έναρξης της μετακίνησης)
- tripended (ημερομηνία λήξης της μετακίνησης)
- tripended\_time (ώρα λήξης της μετακίνησης)
- duration (διάρκεια διαδρομής)
- time\_urban (διάρκεια διαδρομής σε αστική οδό)
- time\_rural (διάρκεια διαδρομής σε υπεραστική οδό)
- time\_highway (διάρκεια διαδρομής σε αυτοκινητόδρομο)
- driving\_duration (διάρκεια κίνησης)
- driving\_duration\_urban (διάρκεια κίνησης σε αστική οδό)
- driving\_duration\_rural (διάρκεια κίνησης σε υπεραστική οδό)
- driving\_duration\_highway (διάρκεια κίνησης σε αυτοκινητόδρομο)
- totaldist (απόσταση σε χλμ)
- distance\_urban (απόσταση σε αστική οδό)
- distance\_rural (απόσταση σε υπεραστική οδό)
- distance\_highway (απόσταση σε αυτοκινητόδρομο)
- ha (απότομη επιτάχυνση)
- hb (απότομη επιβράδυνση)
- hc (απότομη στροφή)
- ha\_urban (απότομη επιτάχυνση σε αστική οδό)
- ha\_rural (απότομη επιτάχυνση σε υπεραστική οδό)
- ha\_highway (απότομη επιτάχυνση σε αυτοκινητόδρομο)
- hb\_urban (απότομη επιβράδυνση σε αστική οδό)
- hb\_rural (απότομη επιβράδυνση σε υπεραστική οδό)
- hb\_highway (απότομη επιβράδυνση σε αυτοκινητόδρομο)
- hc\_urban (απότομη στροφή σε αστική οδό)
- hc\_rural (απότομη στροφή σε υπεραστική οδό)
- hc\_highway (απότομη στροφή σε αυτοκινητόδρομο)
- avaccel (μέση επιτάχυνση σε χλμ/h/s)
- avdecel (μέση επιβράδυνση σε χλμ/h/s)
- smooth\_corner (μέση στροφική επιτάχυνση σε μοίρες/s)
- av\_accel\_urban (μέση επιτάχυνση σε αστική οδό)

- av\_accel\_rural (μέση επιτάχυνση σε υπεραστική οδό)
- av\_accel\_highway (μέση επιτάχυνση σε αυτοκινητόδρομο)
- av\_decel\_urban (μέση επιβράδυνση σε αστική οδό)
- av\_decel\_rural (μέση επιβράδυνση σε υπεραστική οδό)
- av\_decel\_highway (μέση επιβράδυνση σε αυτοκινητόδρομο)
- mobileUsage (ποσοστό χρήσης κινητού την ώρα οδήγησης)
- mobileUsage\_urban (ποσοστό χρήσης κινητού την ώρα οδήγησης σε αστική οδό)
- mobileUsage\_rural (ποσοστό χρήσης κινητού την ώρα οδήγησης σε υπεραστική οδό)
- mobileUsage\_highway (ποσοστό χρήσης κινητού την ώρα οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο)
- perc\_speeding (ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας)
- perc\_speeding\_urban (ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας σε αστική οδό)
- perc\_speeding\_rural (ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας σε υπεραστική οδό)
- perc\_speeding\_highway (ποσοστό οδήγησης πάνω από το όριο ταχύτητας σε αυτοκινητόδρομο)
- av\_speeding (μέση υπέρβαση ορίου ταχύτητας)
- av\_speeding\_urban (μέση υπέρβαση ορίου ταχύτητας σε αστική οδό)
- av\_speeding\_rural (μέση υπέρβαση ορίου ταχύτητας σε υπεραστική οδό)
- av\_speeding\_highway (μέση υπέρβαση ορίου ταχύτητας σε αυτοκινητόδρομο)
- avgspeed (μέση ταχύτητα)
- maxspeed (μέγιστη ταχύτητα)
- speedq25 (ταχύτητα που ξεπερνά το 25%)
- speedq50 (διάμεσος ταχύτητας)
- speedq75 (ταχύτητα που ξεπερνά το 75%)
- StSpDev (τυπική απόκλιση οδηγού)
- avjerk (μέσος όρος παραγώγου της επιτάχυνσης)
- avjerkp (παραγώγος επιτάχυνσης-ρυθμός μεταβολής επιτάχυνσης)
- avjerkn (μειούμενος ρυθμός παραγώγου επιτάχυνσης)
- riskyhoursdistance (ώρες οδήγησης σε επικίνδυνες ώρες- μεταξύ 22.00-5.00)

### **4.3. Διαμόρφωση Δεδομένων**

#### **4.3.1 Διαμόρφωση βάσεων δεδομένων**

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάστηκε η μέση ταχύτητα κάθε οδηγού. Για να γίνει αυτό, **τροποποιήθηκε** η δοσμένη βάση δεδομένων και μετατράπηκαν όλα τα στοιχεία που είχαμε **ανά οδηγό**. Για να μην χαθούν σημαντικές πληροφορίες και να είναι διαθέσιμα όλα τα στοιχεία της αρχική βάσης δεδομένων, στη νέα βάση δεδομένων η κάθε γραμμή αποτελούσε μια μετακίνηση και οι στήλες αφορούσαν στις μεταβλητές για κάθε μετακίνηση. Για **κάθε αρχική μεταβλητή που υπήρχε, υπολογίστηκε**:

- ο μέσος όρος
- η μικρότερη τιμή
- η μεγαλύτερη τιμή
- η τυπική απόκλιση

Αυτό έγινε με την βοήθεια του λογισμικού Excel, το οποίο έκανε την διαδικασία αυτή αρκετά πιο γρήγορα από ότι θα γινόταν χειροκίνητα.

Εκτός όμως από τη διαίρεση της μίας μεταβλητής σε τέσσερις για να μην χαθούν σημαντικές πληροφορίες, δημιουργήθηκαν και άλλες μεταβλητές για να βρεθεί το καλύτερο δυνατό μοντέλο. Οι επιπλέον μεταβλητές είναι:

- %time\_urban (το ποσοστό του ταξιδιού που ο οδηγός βρισκόταν σε αστική οδό)
- %time\_rural (το ποσοστό του ταξιδιού που ο οδηγός βρισκόταν σε υπεραστική οδό)
- %time\_high (το ποσοστό του ταξιδιού που ο οδηγός βρισκόταν σε αυτοκινητόδρομο)
- log\_av\_avgspeed (ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητα)

Επιπλέον, πέρα από αυτήν την βάση δεδομένων, από την οποία προέκυψε το γενικό μοντέλο πρόβλεψης της μέσης ταχύτητας κάθε οδηγού συσχετισμένο με διάφορα χαρακτηριστικά της οδηγικής του συμπεριφοράς, **δημιουργήθηκαν πέντε επιπλέον επιμέρους βάσεις δεδομένων**, μερικώς τροποποιημένες από την αρχική αλλά με την ίδια δομή, για να εισαχθούν και αυτές στο λογιστικό πρόγραμμα. Αυτές οι βάσεις αποτελούνταν από τις ίδιες μεταβλητές αλλά με επιπλέον περιορισμούς για να προκύψουν τα ειδικά μοντέλα. Επισημαίνεται ότι οι άλλες πέντε βάσεις δεδομένων είναι υποσύνολα της αρχικής.



Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν επιμέρους **μοντέλα** για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας που χρησιμοποιεί ο κάθε οδηγός:

- ❖ εάν οδηγεί **εκτός κρίσιμων ωρών** (σε οποιοδήποτε τύπο οδού)
- ❖ εάν οδηγεί **εντός κρίσιμων ωρών** (σε οποιοδήποτε τύπο οδού)
- ❖ εάν οδηγεί σε **αστική οδό** (όλες τις ώρες)
- ❖ εάν οδηγεί σε **υπεραστική οδό** (όλες τις ώρες)
- ❖ εάν οδηγεί σε **αυτοκινητόδρομο** (όλες τις ώρες)

Πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο ειδικό στατιστικό πρόγραμμα έγινε κατάλληλη επεξεργασία του αρχείου Excel, για κάθε μοντέλο έτσι ώστε να απαλειφθούν τυχόν λάθη και να δημιουργηθεί ένα αρχείο που θα έχει τα απαραίτητα στοιχεία για όλους τους οδηγούς.

#### 4.3.1.1. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, εκτός των κρίσιμων ωρών

Για να μπορεί να προληφθεί η μέση ταχύτητα **εκτός των κρίσιμων ωρών** ήταν απαραίτητο να γίνει η ίδια διαδικασία που έγινε και για το γενικό μοντέλο, αλλά και με έναν επιπλέον περιορισμό. Για αυτό το λόγο, στην αρχική βάση δεδομένων, η οποία ήταν ανά μετακίνηση, κατά την διαδικασία για να ενοποιηθούν οι μετακινήσεις του κάθε οδηγού και να παραχθεί μια νέα βάση δεδομένων ανά οδηγό, στην οποία θα παρουσιάζεται το γενικό προφίλ κάθε οδηγού, προστέθηκε ο περιορισμός:

"Θα βρίσκεται η μέση τιμή, η μικρότερη τιμή, η μεγαλύτερη τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε οδηγού, μόνο για όσες μετακινήσεις στην μεταβλητή **riskyhoursdistance** έχουν **τιμή ίση με το μηδέν.**"

Κάθε οδηγός είχε πάνω από μια μετακίνηση που είχε οδηγήσει εντός των κρίσιμων ωρών. Άρα και σε αυτήν την βάση δεδομένων είναι διαθέσιμα στοιχεία για 100 οδηγούς.

#### 4.3.1.2 Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, εντός των κρίσιμων ωρών

Για να μπορεί να προληφθεί η μέση ταχύτητα **εντός των κρίσιμων ωρών** ήταν απαραίτητο να γίνει η ίδια διαδικασία που έγινε και για το γενικό μοντέλο, αλλά και με έναν επιπλέον περιορισμό. Για αυτό το λόγο, στην αρχική βάση δεδομένων, η οποία ήταν ανά μετακίνηση, κατά την διαδικασία για να ενοποιηθούν οι μετακινήσεις του κάθε οδηγού και να παραχθεί μια νέα βάση δεδομένων ανά οδηγό, στην οποία θα παρουσιάζεται το γενικό προφίλ κάθε οδηγού, προστέθηκε ο περιορισμός:

"Θα βρίσκεται η μέση τιμή, η μικρότερη τιμή, η μεγαλύτερη τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε οδηγού, μόνο για όσες μετακινήσεις στην μεταβλητή **riskyhoursdistance** έχουν **τιμή μεγαλύτερη του μηδέν.**"

Δεν είχε κάθε οδηγός πάνω από μία μετακίνηση που είχε οδηγήσει εκτός των κρίσιμων ωρών. Συγκεκριμένα 2 οδηγοί από τους 100 δεν είχαν καμία μετακίνηση εκτός των κρίσιμων ωρών. Σε αυτήν την βάση δεδομένων είναι διαθέσιμα στοιχεία για 98 οδηγούς.

#### 4.3.1.3. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, σε αστική οδό

Για να μπορεί να προληφθεί η μέση ταχύτητα που αναπτύσσει κάθε οδηγός σε **αστική οδό**, ήταν απαραίτητο να γίνει η ίδια διαδικασία που έγινε και για το γενικό μοντέλο, αλλά και με έναν επιπλέον περιορισμό. Για αυτό το λόγο, στην αρχική βάση δεδομένων, η οποία ήταν ανά μετακίνηση, κατά την διαδικασία για να ενοποιηθούν οι μετακινήσεις του κάθε οδηγού και να παραχθεί μια νέα βάση δεδομένων ανά οδηγό, στην οποία θα παρουσιάζεται το γενικό προφίλ κάθε οδηγού, προστέθηκε ο περιορισμός:

"Θα βρίσκεται η μέση τιμή, η μικρότερη τιμή, η μεγαλύτερη τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε οδηγού, μόνο για όσες μετακινήσεις ισχύει ότι η **totaldist\*0.80 < distance\_urban.**"

Δεν είχε κάθε οδηγός πάνω από μία μετακίνηση που να έχει οδηγήσει σε αστική οδό πάνω από το 80% της συνολικής απόστασης που διένυσε. Συγκεκριμένα ένας οδηγός από τους 100 δεν είχε καμία μετακίνηση που να είναι σε αστική οδό για απόσταση μεγαλύτερη του 80% της συνολικής και ακόμα τέσσερεις είχαν μόνο μία. Σε αυτήν την βάση δεδομένων είναι διαθέσιμα στοιχεία για 95 οδηγούς, καθώς και οι τέσσερεις οδηγοί με μόνο μία μετακίνηση αφαιρούνται αφού δεν μπορεί να βρεθεί η τυπική απόκλιση των οδηγιών αυτών.

(Σημείωση: Από τις 18.853 μετακινήσεις την προϋπόθεση τηρούσαν οι 5.578 μετακινήσεις.)

#### 4.3.1.4. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, σε υπεραστική οδό

Για να μπορεί να προληφθεί η μέση ταχύτητα που αναπτύσσει κάθε οδηγός σε **υπεραστική οδό**, ήταν απαραίτητο να γίνει η ίδια διαδικασία που έγινε και για το γενικό μοντέλο, αλλά και με έναν επιπλέον περιορισμό. Για αυτό το λόγο, στην αρχική βάση δεδομένων, η οποία ήταν ανά μετακίνηση, κατά την διαδικασία για να ενοποιηθούν οι μετακινήσεις του κάθε οδηγού και να παραχθεί μια νέα βάση δεδομένων ανά οδηγό, στην οποία θα παρουσιάζεται το γενικό προφίλ κάθε οδηγού, προστέθηκε ο περιορισμός:

"Θα βρίσκεται η μέση τιμή, η μικρότερη τιμή, η μεγαλύτερη τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε οδηγού, μόνο για όσες μετακινήσεις ισχύει ότι η ***totaldist\*0.80 < distance\_rural.***"

Δεν είχε κάθε οδηγός πάνω από μία μετακίνηση που είχε οδηγήσει σε υπεραστική οδό πάνω από το 80% της συνολικής απόστασης που διένυσε. Συγκεκριμένα δύο οδηγοί από τους εκατό δεν είχαν καμία μετακίνηση που να είναι σε υπεραστική οδό για απόσταση μεγαλύτερη του 80% της συνολικής και ακόμα πέντε είχαν μόνο μία μετακίνηση. Σε αυτήν την βάση δεδομένων είναι διαθέσιμα στοιχεία για 93 οδηγούς, καθώς και οι πέντε οδηγοί με μόνο μία μετακίνηση αφαιρούνται αφού δεν μπορεί να βρεθεί η τυπική απόκλιση των οδηγιών αυτών.

(Σημείωση: Από τις 18.853 μετακινήσεις την προϋπόθεση τηρούσαν οι 1778 μετακινήσεις)

#### 4.3.1.5. Διαμόρφωση βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας, σε αυτοκινητόδρομο

Για να μπορεί να προληφθεί η μέση ταχύτητα που αναπτύσσει κάθε οδηγός σε **αυτοκινητόδρομο**, ήταν απαραίτητο να γίνει η ίδια διαδικασία που έγινε και για το γενικό μοντέλο, αλλά και με έναν επιπλέον περιορισμό. Για αυτό το λόγο, στην αρχική βάση δεδομένων, η οποία ήταν ανά μετακίνηση, κατά την διαδικασία για να ενοποιηθούν οι μετακινήσεις του κάθε οδηγού και να παραχθεί μια νέα βάση δεδομένων ανά οδηγό, στην οποία θα παρουσιάζεται το γενικό προφίλ κάθε οδηγού, προστέθηκε ο περιορισμός:

"Θα βρίσκεται η μέση τιμή, η μικρότερη τιμή, η μεγαλύτερη τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε οδηγού, μόνο για όσες μετακινήσεις ισχύει ότι η ***totaldist\*0.80 < distance\_highway.***"

Δεν είχε κάθε οδηγός πάνω από μία μετακίνηση που είχε οδηγήσει σε αυτοκινητόδρομο πάνω από το 80% της συνολικής απόστασης που διένυσε. Συγκεκριμένα σαράντα ένας οδηγοί από τους εκατό δεν είχαν καμία

μετακίνηση που να είναι σε αυτοκινητόδρομο για απόσταση μεγαλύτερη του 80% της συνολικής και ακόμα οκτώ είχαν μόνο μια μετακίνηση. Σε αυτήν την βάση δεδομένων έχουμε στοιχεία για πενήντα ένα οδηγούς, καθώς και οι οκτώ οδηγοί με μόνο μία μετακίνηση αφαιρούνται αφού δεν μπορεί να βρεθεί η τυπική απόκλιση των οδηγών αυτών.

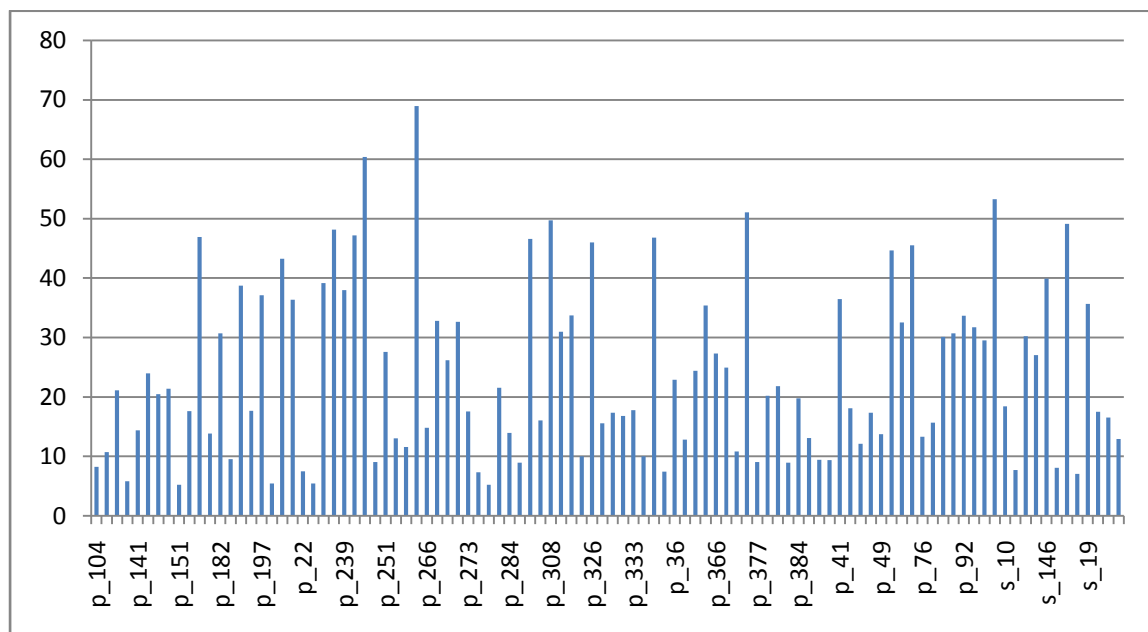
(Σημείωση: Από τις 18.853 μετακινήσεις την προϋπόθεση τηρούσαν οι 285 μετακινήσεις.)

### 4.3.2 Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία

#### 4.3.2.1. Διαγράμματα

Με στόχο τη διερεύνηση της **ταχύτητας που αναπτύσσει κάθε οδηγός**, ανάλογα με τα λεπτομερή δεδομένα οδήγησης, παρουσιάζονται διαγράμματα, τα οποία αποτελούν μία προκαταρκτική ανάλυση η οποία συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή ποιοτικότερων συμπερασμάτων. Αυτά τα στοιχεία επιτρέπουν μια πρώτη ανασκόπηση των δεδομένων και ως εκ τούτου την αναγνώριση ορισμένων φαινομένων ή τάσεων και την εξοικείωση με την τάξη μεγέθους των αριθμών. Τα διαγράμματα που ακολουθούν πραγματοποιήθηκαν με την εντολή Pivot Table του Excel.

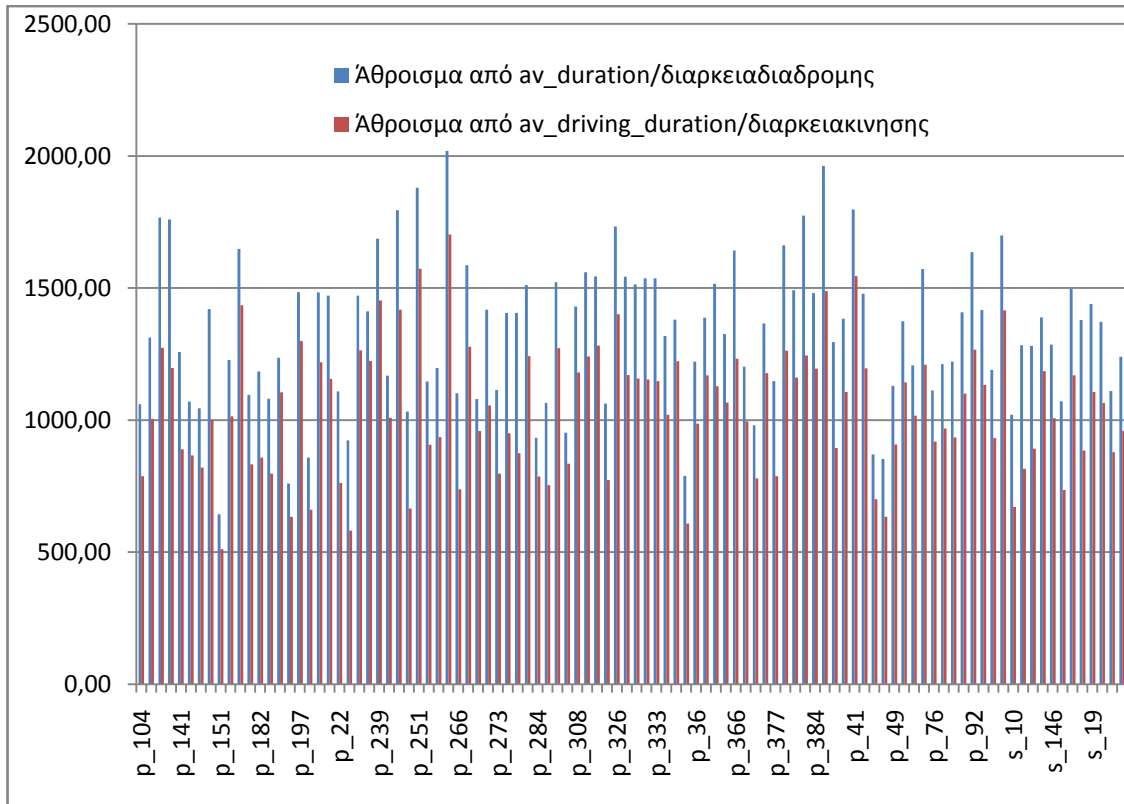
📊 Διάγραμμα 4.1.: Διακύμανση απόστασης ανά Οδηγό



Όσο μεγαλώνει η διακύμανση, τόσο περισσότερη ανομοιομορφία παρουσιάζουν οι μετακινήσεις που πραγματοποιεί ο οδηγός. Οι οδηγοί με

μικρή διακύμανση στην απόσταση, είναι οι οδηγοί που καθημερινά χρησιμοποιούν το όχημά τους για την ίδια μετακίνηση. Για παράδειγμα, για να πάνε και να έρθουν από την δουλειά τους στο σπίτι τους.

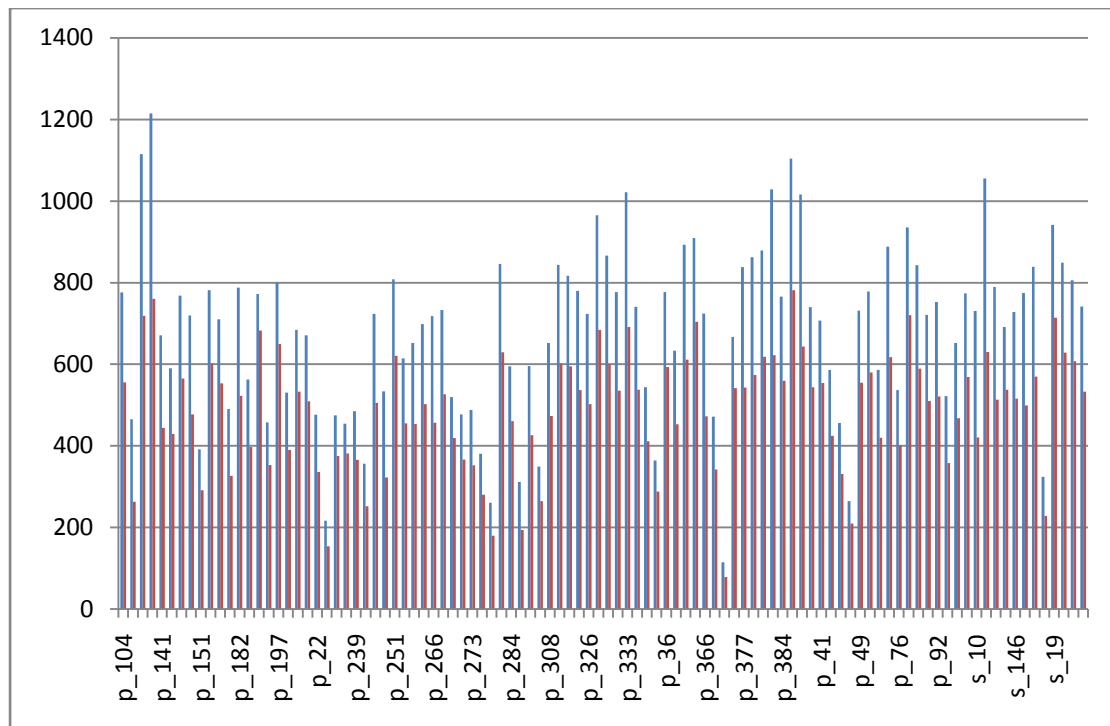
✚ Διάγραμμα 4.2.: Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό



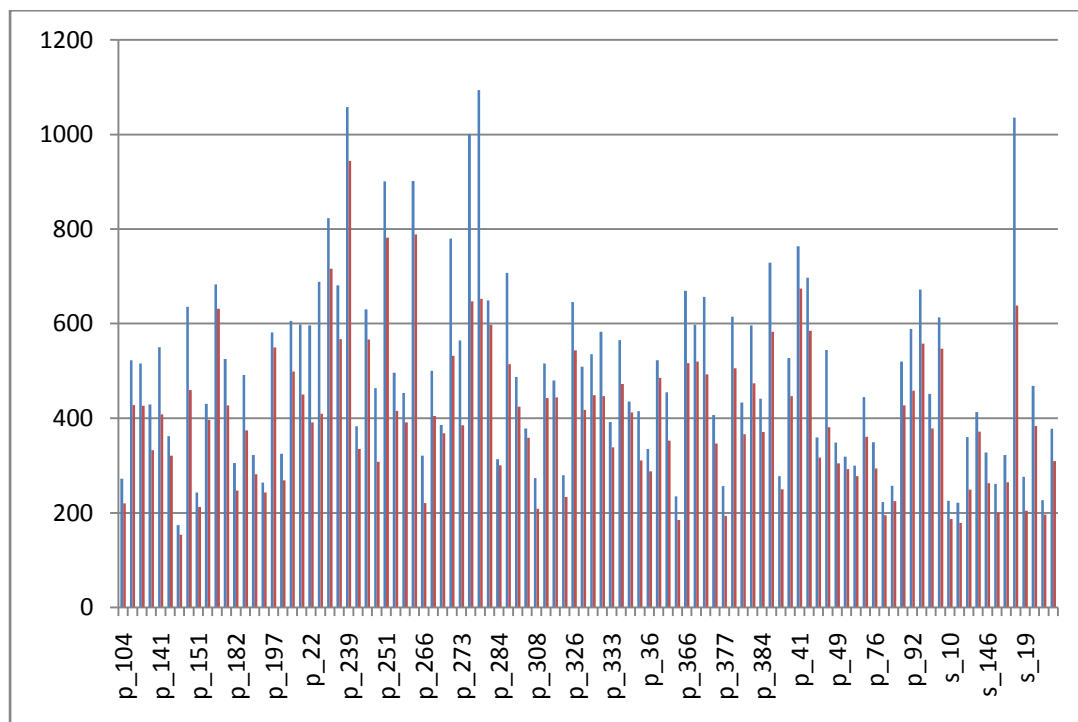
Όσο μεγαλύτερη διαφορά έχουν η διάρκεια κίνησης από τη διάρκεια της διαδρομής, τόσο περισσότερο ο οδηγός αυτός μετακινείται σε οδούς με συμφόρηση.

Σημαντικό όμως είναι να διερευνηθεί και σε ποιον τύπο οδού παρατηρούνται συχνότερα φαινόμενα συμφόρησης. Για αυτό τον λόγο στη συνέχεια θα απεικονιστούν τα διαγράμματα της διάρκειας διαδρομής και κίνησης για κάθε χρήστη, για κάθε τύπο οδού.

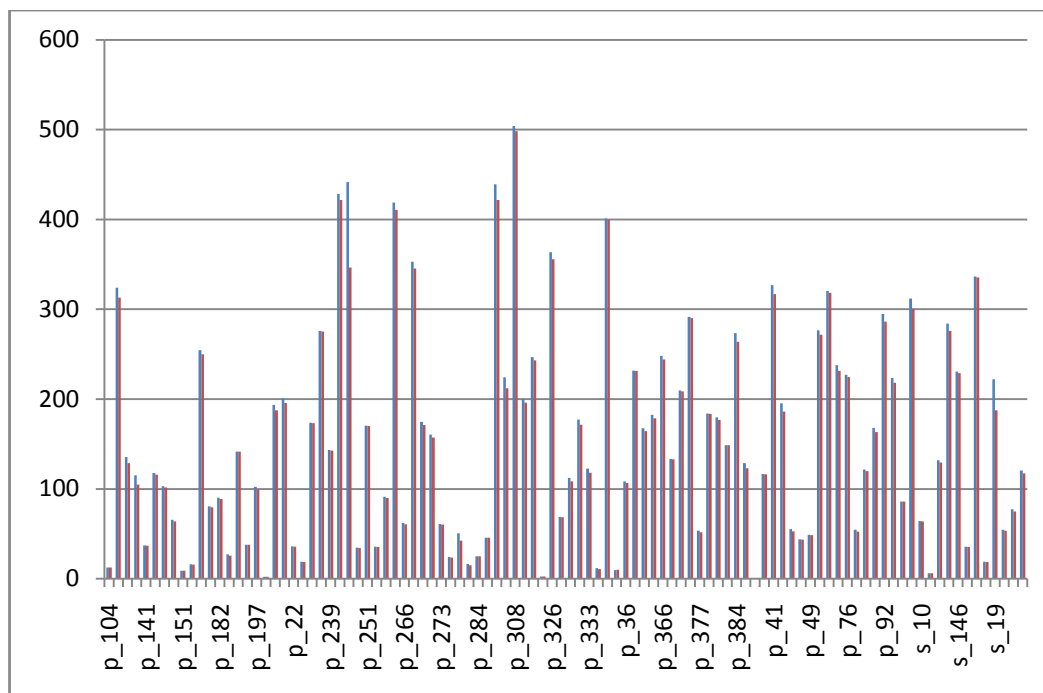
- Διάγραμμα 4.2α.: Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό για αστική οδό



- Διάγραμμα 4.2β. : Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό για υπεραστική οδό

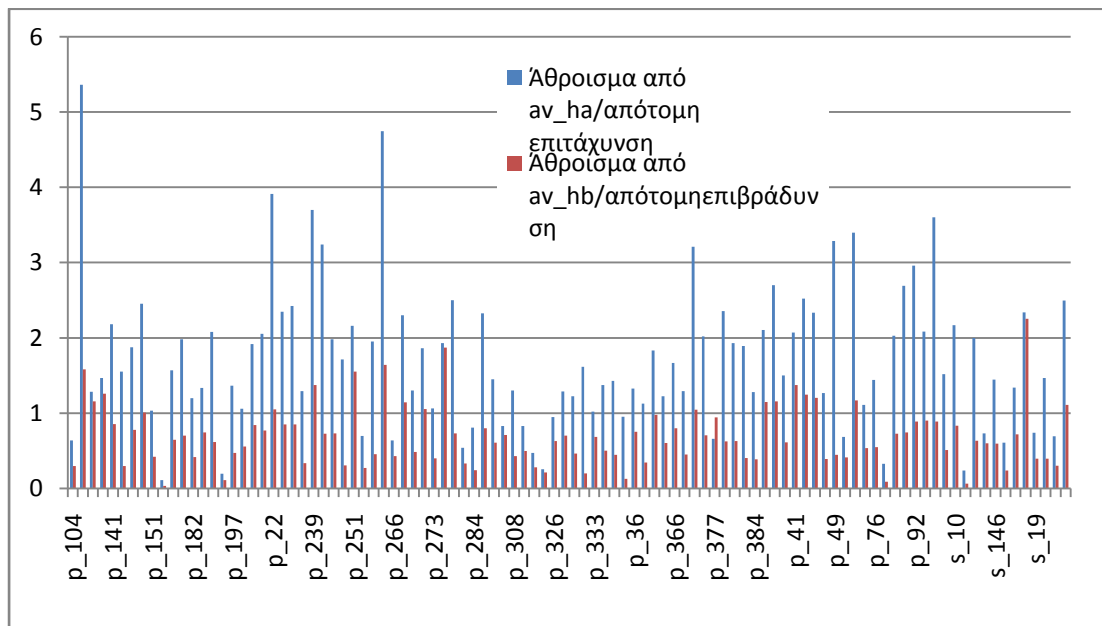


- Διάγραμμα 4.2γ.: Διάρκεια διαδρομής και διάρκεια κίνησης ανά Οδηγό για αυτοκινητόδρομο



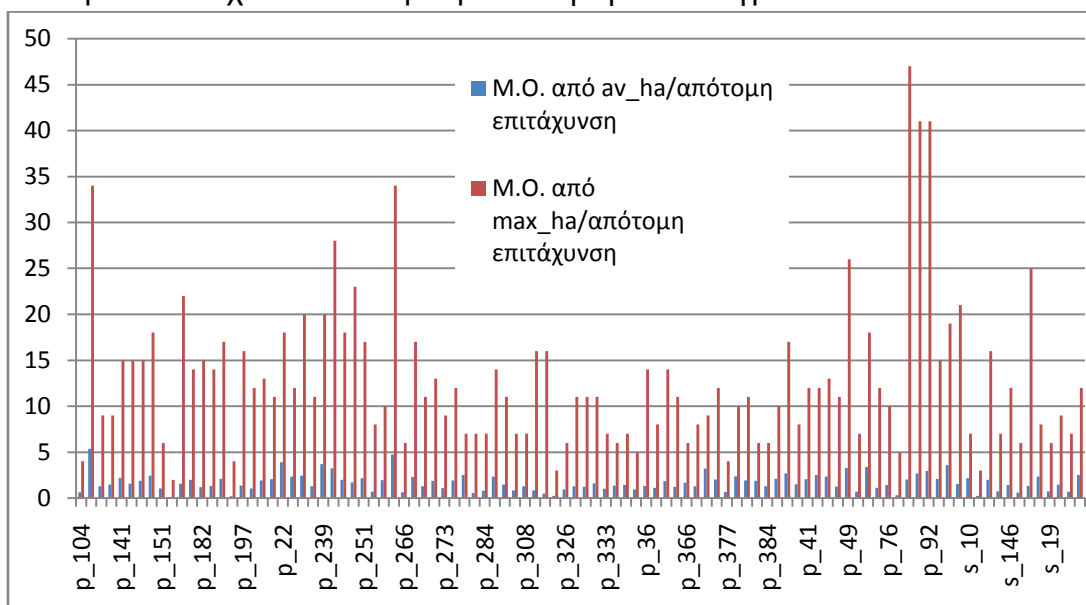
Από τα διαγράμματα 4.2α, 4.2β, 4.2γ παρατηρείται ότι μεγαλύτερες διαφορές στο χρόνο έχουμε στην αστική και υπεραστική οδό, ενώ στον αυτοκινητόδρομο οι διαφορές είναι πολύ μικρές για όλους τους οδηγούς. Άρα όταν κάποιος κινείται σε αυτοκινητόδρομο ελάχιστες φορές συναντά κίνηση. Για την αστική και υπεραστική οδό παρατηρείται ότι στην αστική οδό για όλους τους οδηγούς υπάρχει μια σημαντική διαφορά στη διάρκεια κίνησης και στη διάρκεια διαδρομής οι οποίες όμως είναι περίπου ίδιες για όλους τους οδηγούς, ενώ στην υπεραστική οδό παρατηρούνται μεγάλες διαφορές από οδηγό σε οδηγό, δηλαδή κάποιοι οδηγοί δεν συναντούν κίνηση (πολύ κοντά οι χρόνοι κίνησης και διαδρομής) σε υπεραστικές οδούς, ενώ άλλοι συναντούν.

🚦 Διάγραμμα 4.3.: Απότομη επιτάχυνση και επιβράδυνση ανά Οδηγό



Παρατηρείται ότι οι οδηγοί που έχουν την τάση να επιταχύνουν περισσότερες φορές απότομα είναι και αυτοί που επιβραδύνουν πιο συχνά απότομα. Όμως ανά οδηγό από το διάγραμμα φαίνεται ότι οι οδηγοί πολύ πιο συχνά επιταχύνουν απότομα από ότι οι ίδιοι επιβραδύνουν. Ελάχιστοι είναι αυτοί που όσο συχνά επιταχύνουν απότομα τόσο συχνά και επιβραδύνουν (στους 100 οδηγούς μόλις οι δύο). Τέλος, σημαντική διαπίστωση είναι πως κανένας οδηγός δεν επιβραδύνει απότομα περισσότερες φορές από ότι επιταχύνει.

🚦 Διάγραμμα 4.4.: Μέσος όρος απότομων επιταχύνσεων και μέγιστος αριθμός απότομων επιταχύνσεων σε μια μετακίνηση ανά Οδηγό

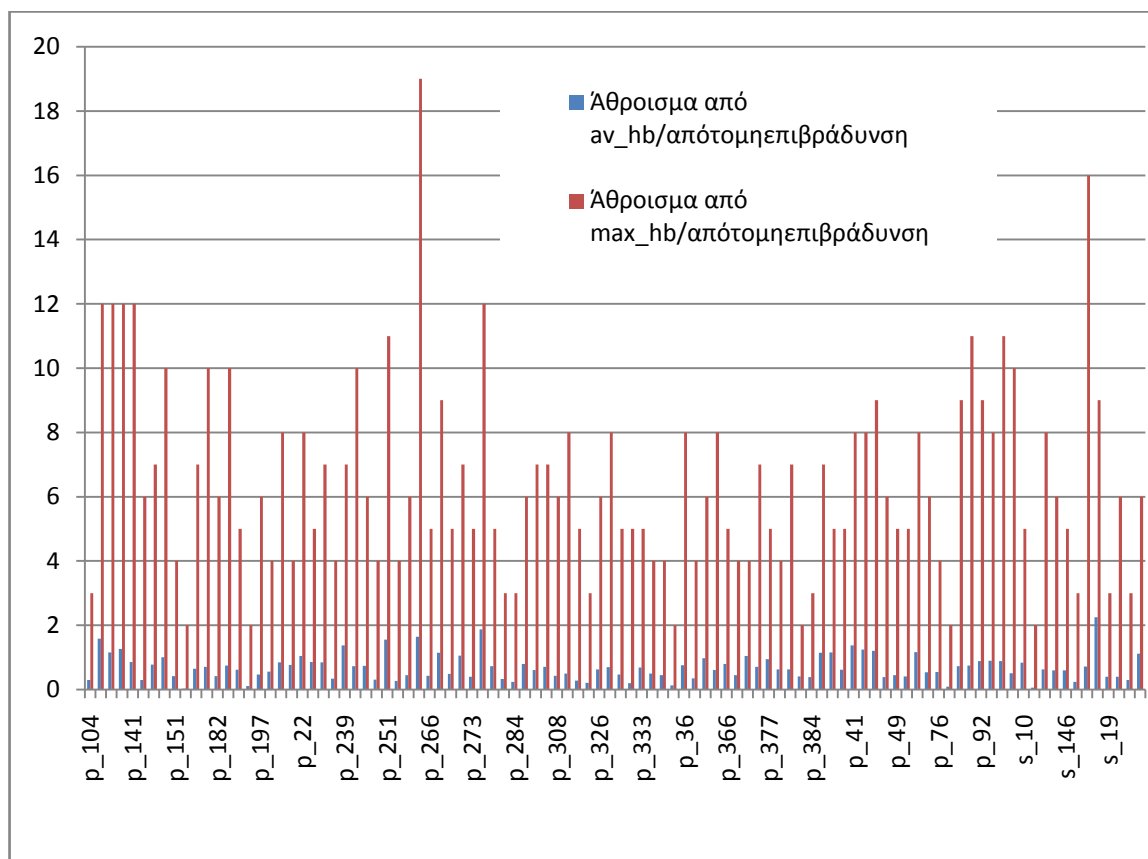




Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούνται οι διάφορες συμπεριφορές των οδηγών. Το επικρατέστερο που παρατηρείτε είναι ότι οι οδηγοί με μεγάλο μέσο όρο απότομων επιταχύνσεων είναι και αυτοί με μεγάλο αριθμό μέγιστων επιταχύνσεων σε κάποια μετακίνηση. Όμως πρέπει να σημειωθεί πως για παράδειγμα ο οδηγός με τις περισσότερες μέγιστες απότομες επιταχύνσεις δεν είναι από τους οδηγούς με τις περισσότερες μέσες απότομες επιταχύνσεις, που σημαίνει ότι ο οδηγός αυτός έτυχε μια φορά να οδηγήσει αρκετά επιθετικά αλλά δεν το συνηθίζει. Αντίθετα οι οδηγοί με τις λιγότερες μέγιστες απότομες επιταχύνσεις είναι και εκείνοι με τις λιγότερες μέσες απότομες επιταχύνσεις.

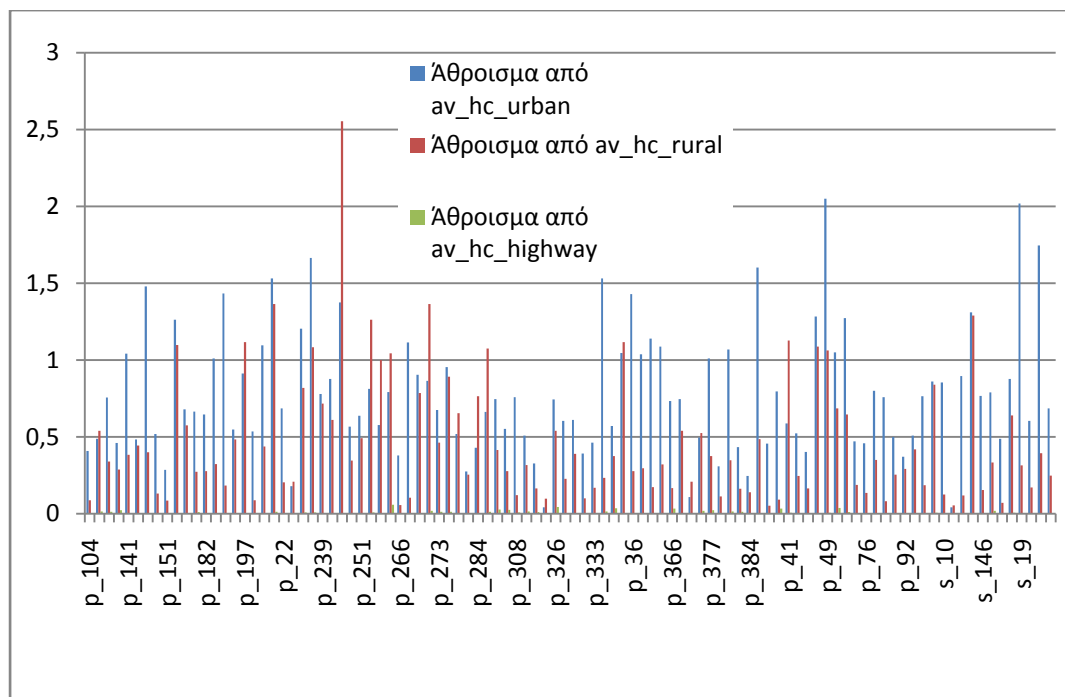
Σημείωση: Οι ελάχιστες τιμές απότομων επιταχύνσεων δεν σημειώνονται στο διάγραμμά καθώς για όλους τους οδηγούς ήταν 0. Δηλαδή όλοι οι οδηγοί πραγματοποίησαν ένα τουλάχιστον ταξίδι στο οποίο δεν έκαναν καμιά απότομη επιτάχυνση.

- ✚ Διάγραμμα 4.5.: Μέσος όρος απότομών επιβραδύνσεων και μέγιστος αριθμός απότομων επιβραδύνσεων σε μια μετακίνηση ανά Οδηγό



Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρείται ότι ακριβώς και στο διάγραμμα 4 μονό που οι τιμές σε αυτό το διάγραμμα είναι πολύ πιο μικρές.

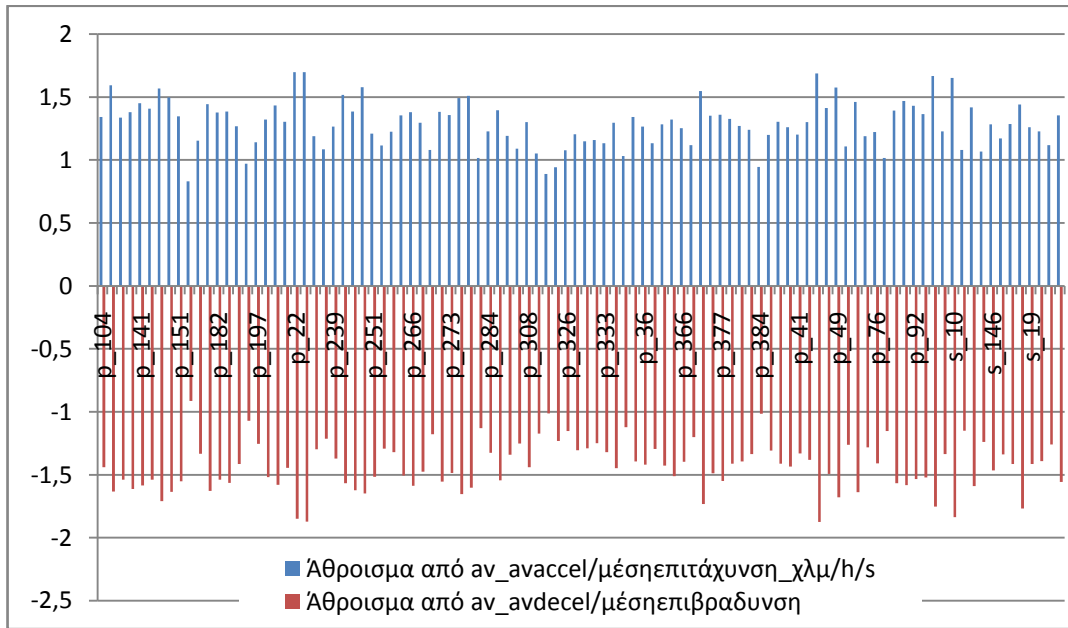
- ✚ Διάγραμμα 4.6.: Μέσος όρος απότομων στροφών για κάθε τύπο οδού ανά Οδηγό.



Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι οι οδηγοί όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο οι απότομες στροφές είναι ελάχιστες και πολύ λιγότερες από κάθε άλλο τύπο οδού. Αυτό προφανώς σχετίζεται με την πολύ καλύτερη χάραξη των αυτοκινητόδρομων. Από την άλλη οι οδηγοί όταν κινούνται σε αστική οδό τείνουν να οδηγούν πιο απότομα και με περισσότερες απότομες στροφές. Όταν οδηγούν σε υπεραστική οδό η συμπεριφορά τους τείνει να είναι σαν εκείνη των αστικών οδών, αλλά κάπως βελτιωμένη στην πλειοψηφία των οδηγών. Μόνο ένας οδηγός φαίνεται να έχει αρκετά περισσότερες απότομες στροφές σε υπεραστική οδό από ότι σε αστική που αυτό ίσως οφείλεται ότι στην υπεραστική οδό που τυχαίνει να οδηγεί πιο συχνά έχει αρκετές ατέλειες στο σχεδιασμό, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των απότομων στροφών σημαντικά.

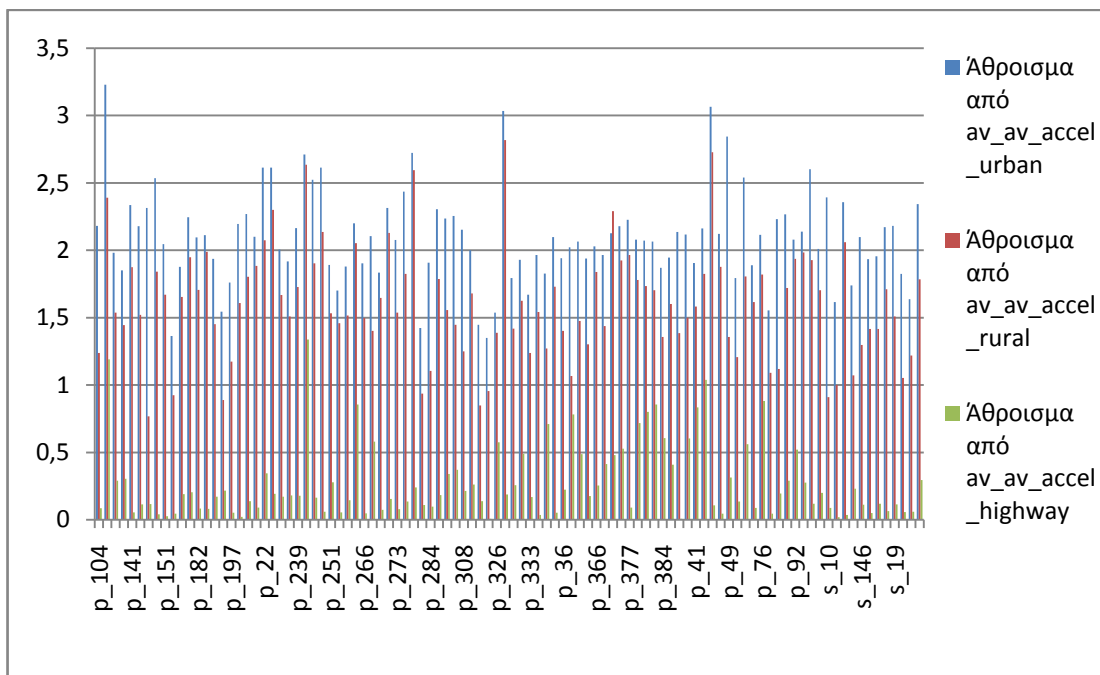
Σημείωση: Αν απεικονιστούν και τα διαγράμματα απότομων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων διαπιστώνεται ότι ισχύει το ίδιο για κάθε τύπο οδού. (Λιγότερες απότομες κινήσεις σε αυτοκινητόδρομο και περισσότερες σε αστική οδό.)

✚ Διάγραμμα 4.7.: Μέση επιτάχυνση και Μέση επιβράδυνση ανά οδηγό



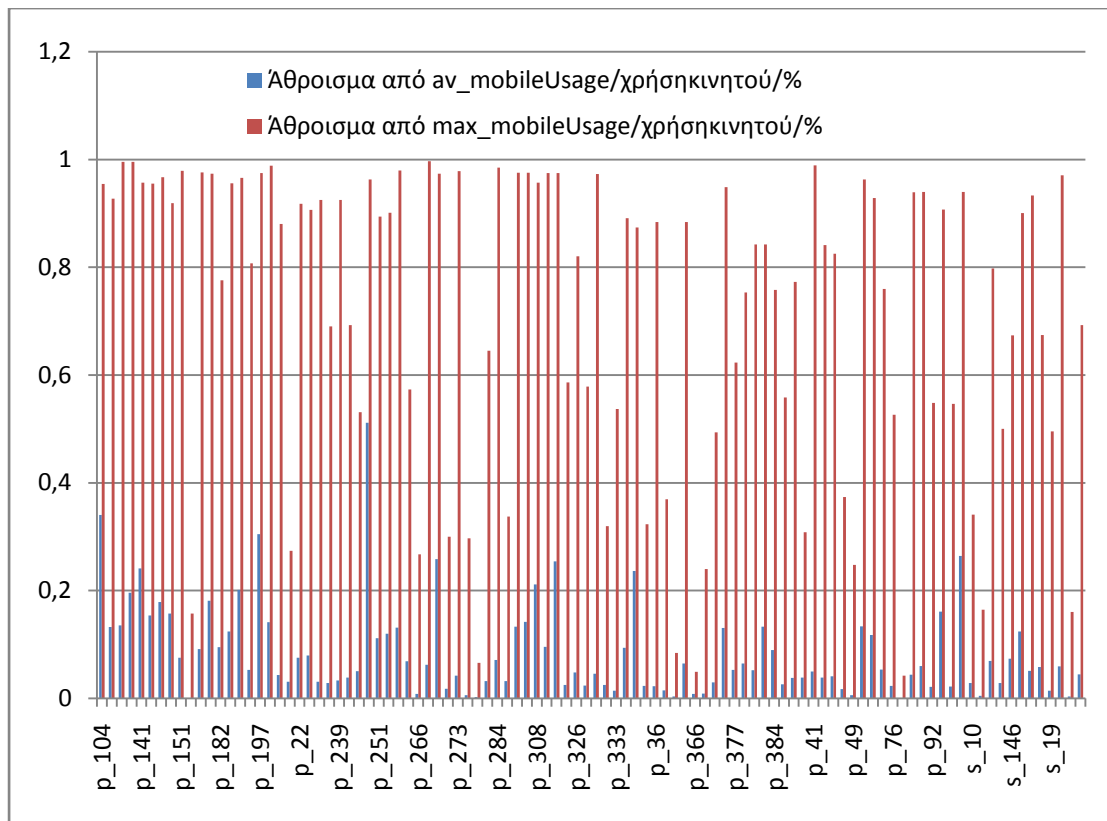
Παρατηρείται ότι η μέση επιτάχυνση για όλους τους οδηγούς είναι περίπου η ίδια με την μέση επιβράδυνση. Δηλαδή ο οδηγός που επιταχύνει περισσότερο, επιβραδύνει και περισσότερο. Επιπλέον ενώ ο αριθμός των απότομων επιταχύνσεων είναι μεγαλύτερος από των επιβραδύνσεων, εδώ η μέση επιτάχυνση έχει λίγο μικρότερες τιμές από την επιβράδυνση.

✚ Διάγραμμα 4.8.: Μέση τιμή μέσων επιταχύνσεων για κάθε τύπο οδού ανά Οδηγό.



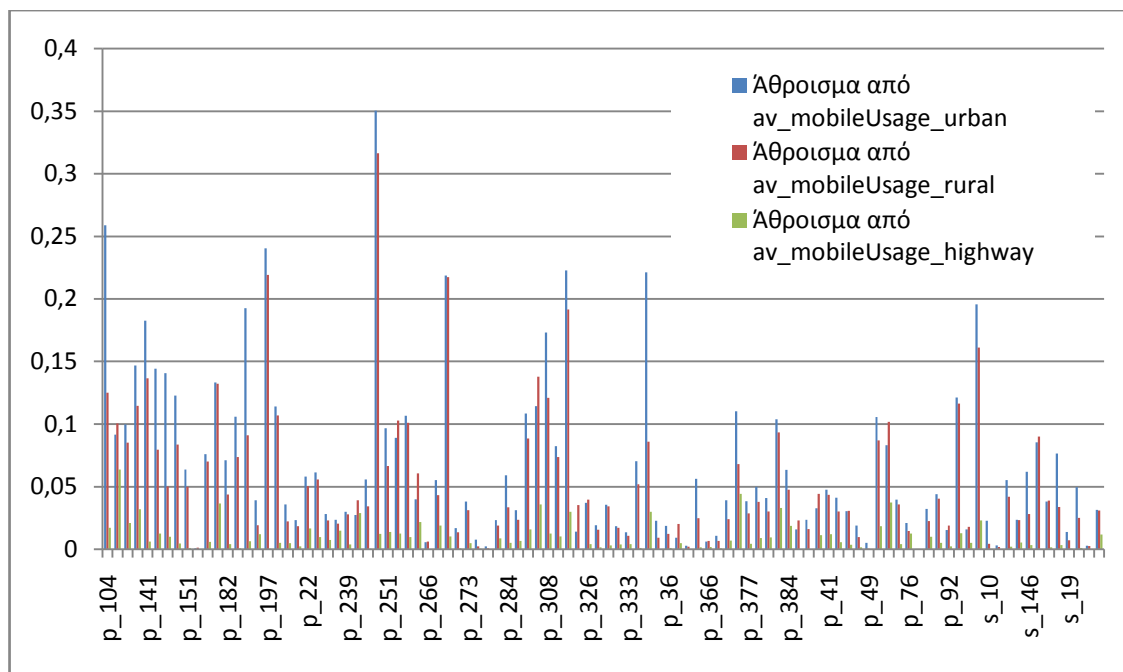
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι οι οδηγοί όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο έχουν πολύ χαμηλότερες επιταχύνσεις από κάθε άλλο τύπο οδού. Αυτό προφανώς σχετίζεται με την ανάπτυξη των μεγαλύτερων ταχυτήτων στον αυτοκινητόδρομο αλλά και τις συνεχείς ροής που επιτρέπει την διατήρηση της ταχύτητας και δεν χρειάζεται να γίνονται συχνά μεγάλες αυξομειώσεις. Από την άλλη οι οδηγοί όταν κινούνται σε αστική οδό τείνουν να οδηγούν πιο απότομα και με να έχουν μεγαλύτερες μέσες επιταχύνσεις από κάθε άλλο τύπο οδού. Όταν οδηγούν σε υπεραστική οδό η συμπεριφορά τους τείνει να είναι σαν εκείνη των αστικών οδών, αλλά κάπως βελτιωμένη στην πλειοψηφία των οδηγιών. Αυτό ισχύει για όλους τους οδηγούς ανεξαιρέτως.

- ❖ Διάγραμμα 4.9.: Ποσοστό μέσης χρήσης κινητού τηλεφώνου ανά μετακίνηση και ποσοστό μέγιστης χρήσης κινητού σε κάποια μετακίνηση ανά Οδηγό



Παρατηρείται ότι κατά μέσο όρο οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τους ενώ οδηγούν περίπου 20% σε κάθε μετακίνηση ενώ υπάρχει τουλάχιστον μία μετακίνηση που οι περισσότεροι οδηγοί το έχουν χρησιμοποιήσει σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80%. Επιπλέον να σημειωθεί πως όλοι οι οδηγοί είχαν μετακίνηση που δεν χρησιμοποίησαν το κινητό τους τηλέφωνο.

- ✚ Διάγραμμα 4.10.: Ποσοστό μέσης χρήσης κινητού τηλεφώνου ανά μετακίνηση σε κάθε τύπο οδού χωριστά ανά Οδηγό



Από το διάγραμμα προκύπτει ότι οι οδηγοί χρησιμοποιούν περισσότερο το κινητό τους τηλέφωνο ενώ οδηγούν σε αστική οδό, ενώ αρκετά λιγότερο όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο.

#### 4.3.2.2. Γενικά σχόλια - Παρατηρήσεις

Εξετάζοντας τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτουν οι εξής βασικές παρατηρήσεις:

- Μεγαλύτερες **διαφορές στη διάρκεια κίνησης από την διάρκεια διαδρομής** εμφανίζονται σε αστικές και υπεραστικές οδούς, ενώ στους αυτοκινητόδρομους οι διαφορές είναι πολύ μικρές για όλους τους οδηγούς. Αυτό πιθανόν συμβαίνει γιατί στους αυτοκινητόδρομους δεν υπάρχουν οι καθυστερήσεις από τους φωτεινούς σηματοδότες.
- Οι οδηγοί που έχουν την τάση να **επιταχύνουν** περισσότερες **φορές απότομα** είναι και εκείνοι που **επιβραδύνουν** πιο συχνά απότομα. Ενδεχομένως συμβαίνει αυτό λόγω του ότι οι οδηγοί που επιταχύνουν περισσότερο για να σταματήσουν σύντομα και να μην δημιουργηθεί ατύχημα πρέπει να επέμβουν δραστικά και απότομα.

- Οι οδηγοί **επιταχύνουν απότομα πολύ πιο συχνά από ότι επιβραδύνουν απότομα**, πιθανόν γιατί βλέποντας την οδό με μικρή κίνηση θέλουν να φτάσουν γρήγορα στον προορισμό τους και επιταχύνουν, ενώ όταν θέλουν να σταματήσουν, αρκετή ώρα πριν βλέπουν οχήματα ακινητοποιημένα μπροστά τους και σταδιακά μειώνουν ταχύτητα.
- Οι οδηγοί με μεγάλο **μέσο όρο απότομων επιταχύνσεων** είναι και εκείνοι με **μεγάλο αριθμό μέγιστων επιταχύνσεων** σε κάποια μετακίνηση. Οι οδηγοί που θα επιταχύνουν πολλές φορές απότομα σε μία τους μετακίνηση είναι πολύ πιθανό ότι θα επιταχύνουν σε κάθε τους μετακίνηση πολλές φορές.
- Οι απότομες στροφές όταν οι οδηγοί κινούνται σε αυτοκινητόδρομο είναι ελάχιστες και πολύ λιγότερες από κάθε άλλο τύπο οδού. Σε αστική οδό παρατηρούνται οι περισσότερες απότομες στροφές. Στην υπεραστική οδό η συμπεριφορά των οδηγών τείνει να είναι όμοια με εκείνη στις αστικές οδούς, αλλά κάπως βελτιωμένη στην πλειοψηφία των οδηγών. Σε αυτό ενδεχομένως να βοηθάει και το γεγονός ότι οι αυτοκινητόδρομοι είναι καλύτερα σχεδιασμένοι και πιο προσεγμένοι, αφού σε αυτούς τους δρόμους αναμένονται μεγάλες ταχύτητες.
- Η μέση επιτάχυνση για όλους τους οδηγούς είναι περίπου η ίδια (λίγο μικρότερη) από την μέση επιβράδυνση.
- Οι οδηγοί όταν κινούνται σε αστική οδό τείνουν να οδηγούν πιο απότομα και να έχουν μεγαλύτερες μέσες επιταχύνσεις, ενώ οι οδηγοί όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο έχουν πολύ χαμηλότερες επιταχύνσεις, ενδεχομένως διότι στους αυτοκινητόδρομους οι οδηγοί διατηρούν σταθερή ταχύτητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα . Στην υπεραστική οδό η συμπεριφορά τους τείνει να είναι λίγο καλύτερη από εκείνη των αστικών οδών.
- Οι οδηγοί χρησιμοποιούν περισσότερο το κινητό τους τηλέφωνο ενώ οδηγούν σε αστική οδό, ενώ αρκετά λιγότερο όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι στις αστικές οδούς ο οδηγός κινείται με πιο μικρή ταχύτητα και πραγματοποιεί περισσότερες στάσεις.

### 4.3.3. Εισαγωγή δεδομένων στο ειδικό στατιστικό πρόγραμμα

Μετά την τελική διαμόρφωση των πινάκων στο λογισμικό Microsoft Excel, τα στοιχεία μεταφέρθηκαν στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης SPSS Statistics. Η εισαγωγή τους πραγματοποιήθηκε αρχικά στο πεδίο δεδομένων (data view), το οποίο δέχεται στοιχεία μόνο αριθμητικής μορφής. Στη συνέχεια καθορίστηκε στο πεδίο μεταβλητών (variable view) το όνομα, ο τύπος, ο αριθμός των ψηφίων κάθε μεταβλητής και το αν η μεταβλητή είναι συνεχής (scale) ή διακριτή (nominal ή ordinal). Επισημαίνεται ότι nominal ονομάζεται μια μεταβλητή όταν οι απαντήσεις της παρουσιάζονται βάσει κατάταξης.

	Νοausonta	userida	av_duration	min_duration	max_duration	std_duration	av_time_urban
1	p_104	1060,190	229	4149	714,287	775,755	
2	p_11	1312,081	179	5417	740,498	465,541	
3	p_12	1766,380	227	13333	1401,967	1115,108	
4	p_121	1759,214	247	7787	1221,472	1214,921	
5	p_141	1258,174	198	7887	881,506	670,881	
6	p_143	1069,924	203	12406	1121,035	590,183	
7	p_149	1045,077	202	12288	971,324	768,022	
8	p_150	1420,369	200	11098	1181,608	719,284	
9	p_151	643,276	186	2764	434,199	391,293	
10	p_154	1227,691	242	7680	1036,556	781,629	
11	p_170	1648,018	180	11192	2101,456	710,511	
12	p_173	1095,607	226	6567	727,386	490,108	
13	p_182	1183,468	224	12697	1225,844	788,204	
14	p_183	1081,376	179	4225	757,466	562,606	
15	p_188	1236,316	243	10635	1549,802	772,500	
16	p_192	759,388	206	7621	958,713	457,532	
17	p_197	1484,959	210	12024	1602,721	801,371	
18	p_198	857,778	179	4047	607,739	530,496	
19	p_208	1483,171	214	11997	1713,700	683,993	
20	p_21	1470,599	208	13305	1490,308	671,000	
21	p_22	1108,646	196	4186	592,423	476,570	
22	p_228	923,904	196	3187	495,341	216,875	
23	p_23	1471,289	218	12956	1524,291	474,751	
24	p_238	1411,269	226	12956	1739,789	454,571	
25	p_239	1686,316	219	10463	1547,506	484,859	
26	p_242	1168,256	191	10784	1633,990	356,344	
27	p_244	1795,286	362	11481	2300,374	723,179	
28	p_245	1039,100	251	4400	704,477	522,026	

Εικόνα 4.5.: Παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό.

	Open data document	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	Noauζontas...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
2	useridtrau...	String	5	0		None	None	5	Left	Nominal	Input
3	av_duration...	Numeric	14	3		None	None	14	Right	Scale	Input
4	min_duratio...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
5	max_duratio...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
6	std_duration...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
7	av_time_ur...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
8	min_time_ur...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
9	max_time_u...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
10	std_time_ur...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
11	av_time_rur...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
12	min_time_ru...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
13	max_time_r...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
14	std_time_ru...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
15	av_time_hig...	Numeric	17	3		None	None	17	Right	Scale	Input
16	min_time_hi...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
17	max_time_h...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
18	std_time_hi...	Numeric	16	3		None	None	16	Right	Scale	Input
19	av_driving_d...	Numeric	14	3		None	None	14	Right	Scale	Input
20	min_driving...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
21	max_driving...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
22	std_driving...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
23	av_driving_d...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
24	min_driving...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
25	max_driving...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
26	std_driving...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
27	av_driving_d...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
28	min_driving...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Nominal	Input
29	max_driving...	Numeric	12	0		None	None	12	Right	Scale	Input
30	std_driving...	Numeric	15	3		None	None	15	Right	Scale	Input
31	av_driving_d...	Numeric	17	3		None	None	17	Right	Scale	Input

Εικόνα 4.6.: Παράδειγμα καθορισμού μεταβλητών στο λογισμικό.

Αρχικά ελέγχεται η συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Όλες οι επιλεγμένες μεταβλητές αναλύονται ανά ζεύγη και προκύπτουν οι συντελεστές συσχέτισης Pearson και Spearman. Οι συντελεστές κυμαίνονται από -1.00 που σημαίνει τελεία αντιστρόφως συσχέτιση έως +1.00 που σημαίνει τέλεια ανάλογη συσχέτιση, ενώ ο συντελεστής 0.00 δηλώνει τελεία ασυσχέτιστες μεταβλητές. Επισημαίνεται ότι παρά τους ορισμούς αυτούς δεν υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας αποδοχής ή απόρριψης ζεύγους μεταβλητών προς ανάλυση, παρά μόνο η κρίση του ερευνητή. Γενικώς, δεν επιλέγεται να υπάρχουν στον μοντέλο μεταβλητές με υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους.

Στη συνέχεια ελέγχεται η συσχέτιση μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών με την εξαρτημένη. Σε αυτήν την περίπτωση είναι επιθυμητό οι κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή που επιλέγεται να έχει υψηλή συσχέτιση με την εξαρτημένη για να την προσδιορίζει σωστά.



Τα βήματα των εντολών για το σκοπό αυτό είναι: Analyze -> Correlate -> Bivariate και έπειτα επιλέγονται οι μεταβλητές που είναι επιθυμητό να διερευνηθούν.

The screenshot displays the SPSS 'Analyze' menu with the 'Correlate' option selected, and the 'Bivariate...' dialog box open. The background data table is partially visible, showing columns for 'Noauξonταςαριθμός', 'userπ', 'αυτητη', and 'ρησ'. The 'Bivariate...' dialog box is currently empty, and the 'Data View' tab is active at the bottom of the window.

	Noauξonταςαριθμός	userπ	αυτητη	ρησ
1	1	p_104		
2	2	p_11		
3	3	p_12		
4	4	p_12		
5	5	p_14		
6	6	p_14		
7	7	p_14		
8	8	p_15		
9	9	p_15		
10	10	p_15		
11	11	p_17		
12	12	p_17		
13	13	p_18		
14	14	p_18		
15	15	p_18		
16	16	p_19		
17	17	p_19		
18	18	p_19		
19	19	p_20		
20	20	p_21		
21	21	p_22	1108,646	196
22	22	p_228	923,904	196
23	23	p_23	1471,289	218
24	24	p_238	1411,269	226
25	25	p_239	1686,316	219
26	26	p_242	1168,256	191
27	27	p_244	1795,286	362
28	28	p_245	1032,100	251

Εικόνα 4.7.: Διαδικασία συσχέτισης μεταβλητών.

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Data Editor interface. The background is a data table with the following columns: 'Noauζοντασ αριθμός', 'useridτα υπητηαχ ρησηη', 'av\_durationδιαρκειαδιαδρομης', 'min\_durationδιαρκειαδιαδρομης', 'max\_durationδιαρκειαδιαδρομης', 'std\_durationδιαρκειαδιαδρομης', 'av\_time\_urbanαστικός', and 'min\_time\_k'. The data rows are numbered 1 through 28. Overlaid on this is the 'Bivariate Correlations' dialog box. In the 'Variables' list, 'log\_av\_V' is selected. Under 'Correlation Coefficients', the 'Pearson' checkbox is checked. Under 'Test of Significance', the 'Two-tailed' radio button is selected. At the bottom, the 'Flag significant correlations' checkbox is unchecked. The dialog box has 'OK', 'Paste', 'Reset', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Εικόνα 4.8: Επιλογή μεταβλητών και είδος συσχέτισης.

Τέλος πραγματοποιήθηκε η κύρια στατιστική ανάλυση, με στόχο την ανάπτυξη των τελικών μοντέλων. Εξετάστηκαν δύο αναλύσεις, η γραμμική και η λογαριθμοκανονικά παλινδρόμηση. Και για τις δύο ακολουθήθηκαν τα ίδια εξής βήματα: Analyze -> Regression -> Linear, με την μόνη διαφορά ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή την δεύτερη φορά ήταν εκφρασμένη σε λογάριθμο.

The screenshot shows the SPSS 'Analyze' menu with 'Regression' selected. The 'Linear...' option is highlighted. The background data table is as follows:

	Noiaξοντααριθμός	useri	υπηρρησ	ationδιαρκει	max_durationδιαρκει	std_durationδιαρκει
1	1	p_104		229	4149	714
2	2	p_11		179	5417	740
3	3	p_12		227	13333	1401
4	4	p_12				1221
5	5	p_14				881
6	6	p_14				1121
7	7	p_14				971
8	8	p_15				1181
9	9	p_15				434
10	10	p_15				1036
11	11	p_17				2101
12	12	p_17				727
13	13	p_18				1225
14	14	p_18				757
15	15	p_18				1549
16	16	p_19				958
17	17	p_19				1602
18	18	p_19		179	4047	607
19	19	p_20		214	11997	1713
20	20	p_21		208	13305	1490
21	21	p_22	1108,646	196	4186	592
22	22	p_228	923,904	196	3187	495
23	23	p_23	1471,289	218	12956	1524
24	24	p_238	1411,269	226	12956	1739
25	25	p_239	1686,316	219	10463	1547
26	26	p_242	1168,256	191	10784	1633
27	27	p_244	1795,286	362	11481	2300
28	28	p_245	1022,100	251	1108	704

The 'Linear...' option is selected in the 'Regression' submenu. The 'Data View' tab is active at the bottom.

Εικόνα 4.9.: Επιλογή γραμμικής παλινδρόμησης

Αφού επιλέχθηκε ο τρόπος ανάλυσης προσδιορίστηκαν η εξαρτημένη μεταβλητή (dependent) και οι ανεξάρτητες μεταβλητές ( independent(s) ) και επιλέχθηκε ο έλεγχος που θέλουμε να γίνει.

The image shows a screenshot of the SPSS software interface. In the background, a data table is visible with columns for 'Noαυζοντασαριθμός', 'useridταυτηταχρηστη', 'av\_durationδιαρκειαδιαδρομης', 'min\_durationδιαρκειααδιαδρομης', 'max\_durationδιαρκειαιαδιαδρομης', 'std\_durationδιαρκειαδιαδρομης', and 'av\_'. The data rows show values for these variables, such as 1060,190, 229, 4149, and 714,287 for the first few rows.

In the foreground, the 'Linear Regression' dialog box is open. The 'Dependent' variable is 'log\_av\_V'. The 'Independent(s)' variables are 'av\_hbαπότομηεπιβράδυνση' and 'av\_totaldistαποσταση\_χλμ'. The 'Method' is set to 'Enter'. The 'Selection Variable' and 'Case Labels' fields are empty. The 'WLS Weight' field is also empty. The 'OK' button is highlighted.

Εικόνα 4.10.: Επιλογή μεταβλητών

Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθεί διεξοδικά η ανάπτυξη και η εφαρμογή της Ανάλυσης Παραγόντων και των μαθηματικών προτύπων, τα αποτελέσματα από τη στατιστική επεξεργασία με τη γραμμική παλινδρόμηση, καθώς και τα συμπεράσματα που εξάγονται σχετικά με τη συσχέτιση χαρακτηριστικών οδήγησης του οδηγού και την μέση ταχύτητα του.

## **5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ**

### **5.1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνεται η αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της μεθοδολογίας, καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Όπως προαναφέρθηκε ύστερα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών, την παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των στοιχείων και την περιγραφή συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων, πραγματοποιήθηκε η επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας για την παρούσα Εργασία.

Η μέθοδος που επιλέχτηκε για την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων της εργασίας, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3 με τίτλο “Θεωρητικό υπόβαθρο” είναι η **γραμμική παλινδρόμηση** (linear regression).

Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται **αναλυτικά τα βήματα** που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης κατάλληλων μοντέλων. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στην παρουσίαση ζητημάτων αξιοπιστίας των δεδομένων και στις διαδικασίες αντιμετώπισης τους. Αναπόσπαστο μέρος των αποτελεσμάτων αποτελούν οι στατιστικοί έλεγχοι που απαιτούνται για την αποδοχή ή την απόρριψη των μαθηματικών μοντέλων.

### **5.2. Ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης μέσης ταχύτητας οδηγού**

Στο υποκεφάλαιο αυτό, περιγράφεται η διαδικασία ανάλυσης για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων που αφορούν **στην ταχύτητα που αναπτύσσει κάθε οδηγός**. Σκοπός της ανάλυσης με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης είναι να υπολογισθούν στατιστικά σημαντικά μοντέλα και να εντοπιστούν οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο την ταχύτητα του οδηγού στο δρόμο.

#### **5.2.1. Δεδομένα εισόδου - Καθορισμός Μεταβλητών**

Στα **στατιστικά μοντέλα προσδιορισμού της ταχύτητας** του οδηγού με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, που καταγράφει διάφορα στοιχεία για τη συμπεριφορά και τον τρόπο οδήγησης του κάθε οδηγού, εξετάστηκαν όλες οι μεταβλητές που αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 4.2.2.

Η βάση δεδομένων που εισαγόταν στο λογιστικό πρόγραμμα αποτελούταν από γραμμές, που ήταν οι οδηγοί και επεξεργάστηκε σύμφωνα με τη

διαδικασία που παρουσιάστηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπου καθορίστηκε το όνομα και ο τύπος των μεταβλητών.

Σημειώνεται ότι τα τελικά μοντέλα που προέκυψαν ήταν αποτέλεσμα μιας σειράς δοκιμών, κατά τις οποίες αναπτύχθηκε μεγάλος αριθμός μαθηματικών μοντέλων που περιελάμβαναν συνδυασμούς όλων των μεταβλητών που καταγράφηκαν. Τα μοντέλα αυτά αξιολογήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων (Wald, πιθανοφάνεια, κλπ.), όπως αυτοί έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά και με βάση τη λογική εξήγηση των αποτελεσμάτων. Στις δοκιμές αυτές απορρίφθηκαν οι μεταβλητές που αποδείχθηκαν ότι δεν έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή. Με αυτή τη διαδικασία διαδοχικών δοκιμών και απόρριψης μοντέλων προέκυψαν τα μαθηματικά μοντέλα με τις καλύτερες επιδόσεις στατιστικής σημαντικότητας, όπως αυτά παρουσιάζονται στα επόμενα υποκεφάλαια.

### 5.2.2. Συσχέτιση μεταβλητών

Διερευνήθηκε, επίσης, η **συσχέτιση** των μεταβλητών για να επιλεγεί το καλύτερο μοντέλο. Πρακτικά εκείνο που επιδιώκεται είναι η μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Η διερεύνηση αυτή έγινε με την εισαγωγή του πίνακα των επιλεχθέντων μεταβλητών στο ειδικό στατιστικό λογισμικό SPSS 21, και τις εντολές: Analyze => Correlate => Bivariate => Επιλογή μεταβλητών στο Variables => OK (Εικόνες 4.3 και 4.4)

Οι μεταβλητές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας εισάγονται στο πεδίο Variables. Απόλυτες τιμές των συντελεστών συσχέτισης κοντά στη μονάδα δείχνουν ισχυρή συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν φανερώνουν ανύπαρκτη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών.

Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα της συσχέτισης μεταβλητών, εισάχθηκε σε φύλλο υπολογισμού Excel με τη μορφή πίνακα, όπου επεξεργάστηκε για να είναι πιο γρήγορα κατανοητό. Όπως προαναφέρθηκε, για την ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου, απαιτείται η μη ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών που θα συμπεριληφθούν σε αυτό. Συνεπώς οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εμφάνισαν υψηλή συσχέτιση (μεγαλύτερη από 0.6) δεν ελήφθησαν υπόψη στα τελικά μοντέλα του δείκτη συνολικής επίδοσης, όπως αυτός προέκυψε από την διαδικασία της αξιολόγησης σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

Αφού βρέθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των μεταβλητών, πραγματοποιήθηκε η **επιλογή των βασικών μεταβλητών** οι οποίες **δεν** συσχετίζονται με σκοπό να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητες μεταβλητές στο

μοντέλο το οποίο θα αναλυθεί στο παρόν Κεφάλαιο. Η επιλογή αυτή έγινε με την **παραδοχή** ότι οι συγκεκριμένες μεταβλητές που αναφέρονται παρακάτω είναι σημαντικές σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και δεν είναι δυνατό να παραλειφθούν καθώς συνήθως προσδιορίζουν την ταχύτητα κάθε οδηγού.

### 5.2.3. Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης

Η επιλογή της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης, βασίστηκε αφενός στο γεγονός ότι η μεταβλητή που εξετάζεται (εξαρτημένη) είναι συνεχής και αφετέρου στο ότι η κατανομή που ακολουθεί μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει την κανονική. Από τη στιγμή που η εξαρτημένη μεταβλητή μας εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές, η μέθοδος που χρησιμοποιείται ονομάζεται πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (**multiple linear regression**). Η διαδικασία της γραμμικής παλινδρόμησης, στο SPSS εφαρμόζεται μέσω της ακολουθίας των εντολών: analyze → regression → linear.

Τη μετάβαση στην επιλογή linear διαδέχεται ο **καθορισμός των εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών**. Η μεταβλητή που ενδιαφέρει (εξαρτημένη μεταβλητή) εισάγεται στο πλαίσιο Dependent. Οι επεξηγηματικές μεταβλητές, βάσει των οποίων θα εξηγηθεί η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής, εισάγονται στο πλαίσιο Independent(s). Στο πλαίσιο Method μπορεί να επιλεγεί μια μέθοδος για τη βέλτιστη επιλογή επεξηγηματικών μεταβλητών. Αυτή συνήθως αφήνεται «Enter», που σημαίνει ότι στο μοντέλο εισέρχονται όσες μεταβλητές βρίσκονται στο πλαίσιο Independent(s) με τη σειρά που γράφονται εκεί.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελικά μοντέλα που προέκυψαν ήταν αποτέλεσμα μιας σειράς δοκιμών, κατά τις οποίες αναπτύχθηκαν αρκετά μαθηματικά μοντέλα που περιελάμβαναν συνδυασμούς όλων των μεταβλητών που καταγράφηκαν ανωτέρω. Τα μοντέλα αυτά αξιολογήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων, όπως αυτοί έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (Θεωρητικό Υπόβαθρο), αλλά και με βάση τη λογική εξήγηση των αποτελεσμάτων. Προτεραιότητα δίδεται βεβαίως στην περιγραφή της διαδικασίας αξιολόγησης των δεδομένων εξόδου της ανάλυσης και κατ' επέκταση του μοντέλου.

Αναφέρεται ότι κάθε φορά που εξεταζόταν κάποιο στατιστικό πρότυπο, χρησιμοποιούνταν, αρχικά, όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές και στη συνέχεια απορρίπτονταν όσες είχαν  $t$  μικρότερο από 1.69. Επισημαίνεται ότι τα τελικά αποτελέσματα επιλέχθηκαν έπειτα από πολλές δοκιμές. Το πιο συχνό πρόβλημα που προέκυψε ήταν η χαμηλή σημαντικότητα ( $t < 1.69$ ).

Τα τελικά μοντέλα, που πληρούν όλους τους στατιστικούς ελέγχους παρουσιάζονται στα υποκεφάλαια που ακολουθούν.

Η εξίσωση η οποία αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές έχει τη γενικότερη μορφή:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon_i$$

Σύμφωνα με το Θεωρητικό Υπόβαθρο του κεφαλαίου 3, σε κάθε μοντέλο θα πρέπει να ελεγχθούν οι παρακάτω παράγοντες:

- ✓ Οι τιμές και τα πρόσημα των **συντελεστών παλινδρόμησης β<sub>ι</sub>** να μπορούν να εξηγηθούν λογικά.
- ✓ Ο **σταθερός όρος** της εξίσωσης (Constant) που εκφράζει το σύνολο των παραμέτρων που δε λήφθηκαν υπόψη, να είναι κατά το δυνατό μικρότερος.
- ✓ Το **επίπεδο σημαντικότητας** (Sig-Significance) να είναι μικρότερο από 5%.
- ✓ Ο **συντελεστής συσχέτισης** (Adjusted R square) να είναι κατά το δυνατόν μεγαλύτερος (ιδανικά μεγαλύτερος του 0.4) και ταυτόχρονα όχι πολύ υψηλός (μικρότερη του 0.85) καθώς πολύ υψηλό R<sup>2</sup> υποδηλώνει πως συσχετίζονται όμοια στοιχεία οπότε και δεν προκύπτουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Εκτός από τους μαθηματικούς ελέγχους, ο απώτερος σκοπός κάθε μοντέλου είναι η ικανότητα του να **προβλέπει** με σχετική ακρίβεια το φαινόμενο το οποίο περιγράφει.

Για να ικανοποιηθούν, λοιπόν, οι στόχοι τις παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αναπτύχθηκαν τα παρακάτω στατιστικά μοντέλα που περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα υποκεφάλαια:

- ✓ Μοντέλο 1 - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού
- ✓ Μοντέλο 2.1. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών.
- ✓ Μοντέλο 2.2. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών.
- ✓ Μοντέλο 3.1. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών.
- ✓ Μοντέλο 3.2. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών.
- ✓ Μοντέλο 3.3. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών.



### 5.3. Μοντέλο 1 - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού

#### 5.3.1. Ανάπτυξη Μοντέλου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστεί η μέση ταχύτητα ( $\log\_av\_V$ ) ενός οδηγού προέκυψε ότι είναι εκείνο με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- ο συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα ( $av\_totaldist$ )
- ο μέσος αριθμός απότομων επιταχύνσεων ( $av\_ha$ )
- τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης ( $std\_avdecel$ )
- το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό ( $\%\_time\_rural$ )

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

		μέση απόσταση	απότομη επιτάχυνση	τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης	ποσοστό του χρόνου σε επαρχιακή οδό	λογάριθμος μέσης ταχυτητας
μέση απόσταση	Pearson Correlation	1	,297	,117	-,388	,557
απότομη επιτάχυνση	Pearson Correlation	,297	1	,252	-,463	,482
τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης	Pearson Correlation	,117	,252	1	-,205	,411
ποσοστό χρόνου σε επαρχιακή οδό	Pearson Correlation	-,388	-,463	-,205	1	-,609
λογάριθμος μέσης ταχυτητας	Pearson Correlation	,557	,482	,411	-,609	1
μέση ταχυτητα	Pearson Correlation	,531	,452	,417	-,579	,992

Πίνακας 5.1. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 1

#### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,766 <sup>a</sup>	,587	,569	,048071281623574

Πίνακας 5.2. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 1

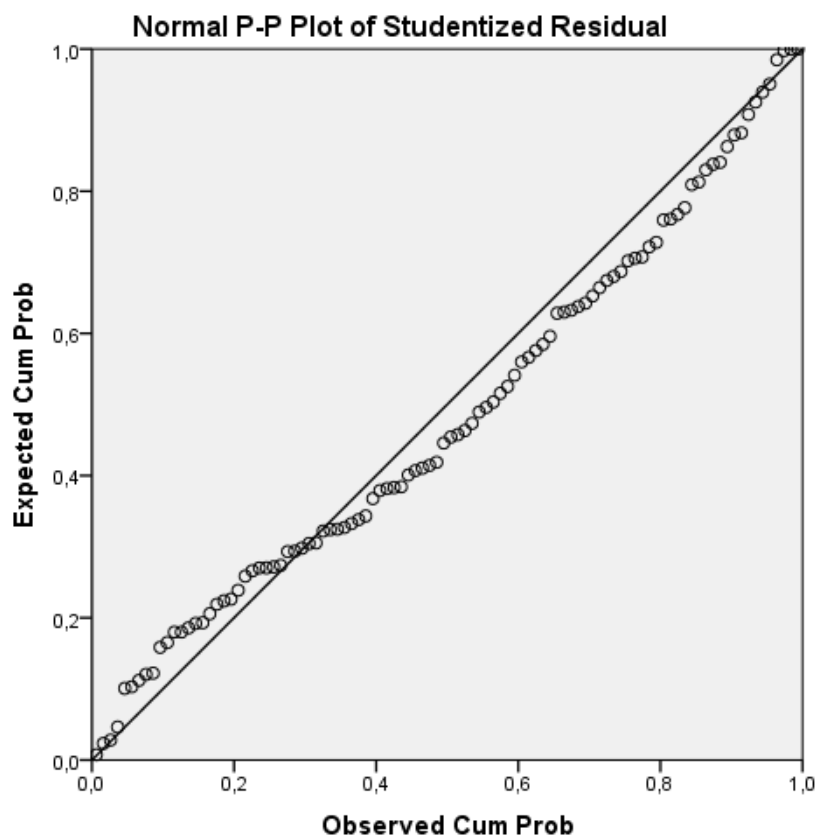
#### ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,311	4	,078	33,696	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,220	95	,002		
	Total	,531	99			

Πίνακας 5.3. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 1

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,554	,040		38,873	,000
	μέση αποσταση	,004	,001	,345	4,772	,000
	απότομη επιτάχυνση	,012	,006	,150	1,965	,052
	τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	,255	,067	,261	3,803	,000
	ποσοστό χρόνου οδήγησης σε επαρχιακή οδό	-,183	,041	-,352	-4,502	,000

Πίνακας 5.4. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 1



Διάγραμμα 5.1.: Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το γενικό μοντέλο

Μαθηματική σχέση:

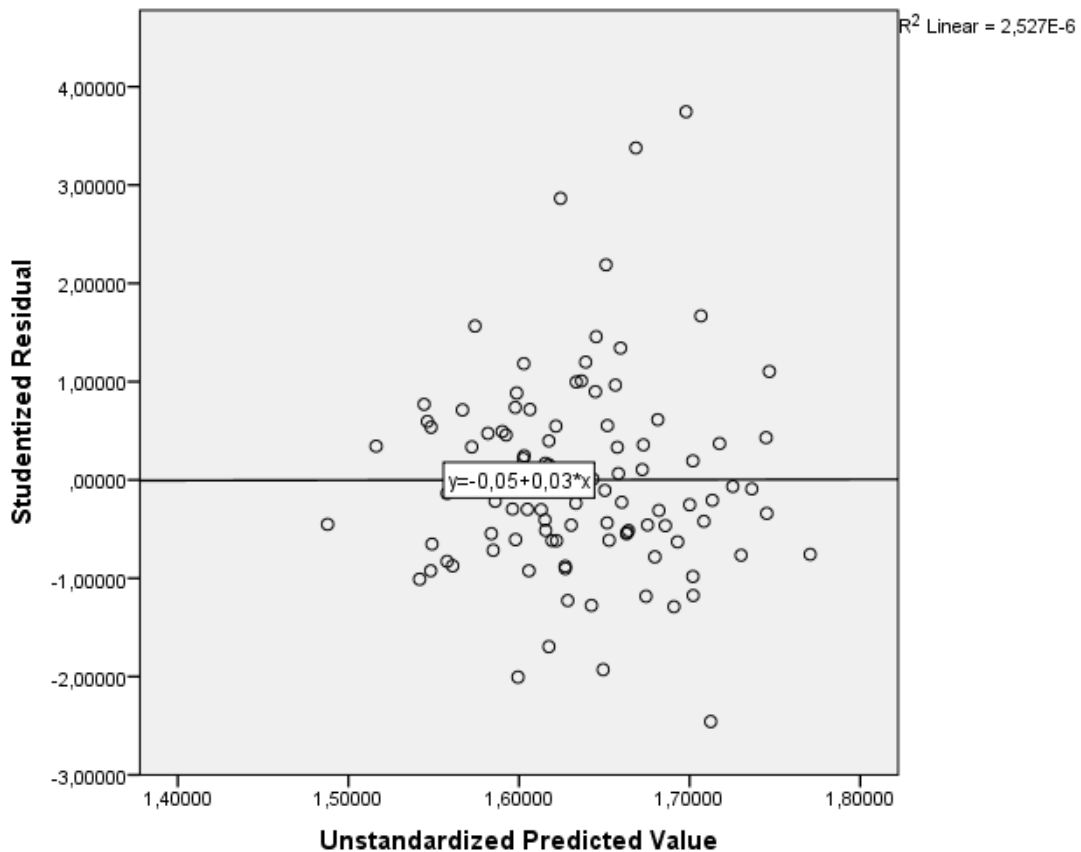
$$\log\_av\_V = 1,554 + 0,004 av\_totaldist + 0,012 av\_ha + 0,255 std\_avdecel - 0,183 \%\_time\_rural$$

### 5.3.2. Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι.

- Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  είναι καλός, ίσος με 0,57.
- Ο έλεγχος του  $t$  να είναι μεγαλύτερος 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται.
- Οι σταθεροί όροι ( $\beta_i$ ) είναι μικροί
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά

Ένας ακόμη έλεγχος είναι εκείνος που φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, όπου ο άξονας  $X$  αντιπροσωπεύει το μέγεθος  $zresid$  (Standard residual), δηλαδή τυπικά σφάλματα και ο άξονας  $Y$  το μέγεθος  $zpred$  (Standard Predicted Value), δηλαδή τις προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου.



Διάγραμμα 5.2. : Συσχέτιση και διασπορά σφαλμάτων στο γενικό μοντέλο.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών των σφαλμάτων. Επιπρόσθετα, φαίνεται η σταθερή διασπορά των σφαλμάτων γύρω από το μηδέν και η κατά προσέγγιση μηδενική τιμή του μέσου όρου. Αναφέρεται ότι η διασπορά του σφάλματος εξαρτάται από τον συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$ . Όσο μεγαλύτερο είναι το  $R^2$  τόσο μικρότερη

είναι η διασπορά του σφάλματος, δηλαδή τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη που βασίζεται στην ευθεία παλινδρόμησης.

Αυτό υποδηλώνει ότι τηρούνται οι έλεγχοι του σφάλματος, ώστε να μην επηρεάζει τα αποτελέσματα του μοντέλου.

### 5.3.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μία σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

- Για κάθε χιλιόμετρο που αυξάνεται η απόσταση που διανύει ένας οδηγός, ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας αυξάνεται κατά 0,004 m/s. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα διανύει ο οδηγός, τόσο πιο υψηλές ταχύτητες αναπτύσσει. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι μεγαλύτερες αποστάσεις σημαίνουν περισσότερη οδήγηση στο υπεραστικό οδικό δίκτυο όπου οι ταχύτητες κυκλοφορίας που αναπτύσσονται είναι υψηλότερες.
- Για μία επιπλέον απότομη επιτάχυνση, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,012m/s. Πιθανόν αυτό να συμβαίνει γιατί για να επιταχύνει ο οδηγός πατάει το γκάζι περισσότερο με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ταχύτητα.
- Για αύξηση μιας μονάδας της τυπικής απόκλισης της μέσης επιβράδυνσης, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,255 m/s, πιθανόν γιατί η αύξηση αυτή της τυπικής απόκλισης της μέσης επιβράδυνσης οφείλεται στην αυξομείωση της ταχύτητας και άρα όσο υψηλότερες ταχύτητες αναπτύσσονται τόσο μεγαλώνει και η τυπική απόκλιση της μέσης επιβράδυνσης.
- Για 1% αύξηση του χρόνου που διανύει ο οδηγός σε αστική οδό, μειώνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά -0,183 m/s. Ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι στις αστικές οδούς πιο συχνά συναντάται συμφόρηση και πιο συχνά μειώνεται η χωρητικότητά τους λόγω παράνομης στάθμευσης.

### 5.3.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών στο γενικό μοντέλο

Στο σημείο αυτό κρίθηκε σημαντικός ο υπολογισμός του βαθμού επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών του παραπάνω μοντέλου στην εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή αυτή του δείκτη συνολικής επίδοσης. Ο βαθμός επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών εκφράζεται ποσοτικά μέσω του μεγέθους της

σχετικής επιρροής. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού βασίστηκε στη θεωρία της ελαστικότητας και αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  στην μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών ( $X_i$ ). Η ελαστικότητα είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, που σε αντίθεση με τους συντελεστές των μεταβλητών των μοντέλων, δεν εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης των μεταβλητών. Σε συνδυασμό με το πρόσημο των συντελεστών, είναι πιθανό να προσδιοριστεί αν η αύξηση κάποιας ανεξάρτητης μεταβλητής επιφέρει αύξηση ή μείωση στην εξαρτημένη. Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η επιρροή των μεταβλητών ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η κατά 1% μεταβολή της ανεξάρτητης.

Η σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου, που αναπτύχθηκε, υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση:

$$e_i = \frac{\Delta Y_i}{Y_i} \frac{X_i}{\Delta X_i} = \beta_i \frac{X_i}{Y_i}$$

Ο προσδιορισμός της σχετικής επιρροής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής, αποδείχθηκε η πιο απλή και κατάλληλη τεχνική, ικανή να αναδείξει την επιρροή της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, αλλά και να καταστήσει εφικτή τη σύγκριση μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

Ο υπολογισμός της σχετικής επιρροής για κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές ακολούθησε την παρακάτω διαδικασία. Στη στήλη της σχετικής επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής εφαρμόστηκε η σχέση:

$$e_i = \beta_i \frac{X_i}{Y_i}$$

όπου  $\beta_i$  ο συντελεστής της εξεταζόμενης ανεξάρτητης μεταβλητής,  $X_i$  η τιμή της και  $Y_i$  η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Για την εξαγωγή της τιμής της σχετικής επιρροής, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των ανωτέρω τιμών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η έννοια της επιρροής έχει νόημα μόνο για συνεχείς μεταβλητές και όχι για διακριτές μεταβλητές, αλλά στη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία υπολογίστηκε η σχετική επιρροή και για τις διακριτές μεταβλητές ως μια θεωρητική έννοια, μόνο για να πραγματοποιηθεί θεωρητικά μια σύγκριση μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου σε ότι αφορά στην επιρροή τους στην εξαρτημένη μεταβλητή.

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μέση ταχύτητα οδήγησης			
	β <sub>i</sub>	t	Σχετική επιρροή	
			e <sub>i</sub>	e <sub>i</sub> *
μέση απόσταση	,004	4,772	,182	5,222
απότομη επιτάχυνση	,012	1,965	,035	1,000
τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	,255	3,803	,194	5,579
ποσοστό χρόνου οδήγησης σε επαρχιακή οδό	-,183	-4,502	-,174	-0,200

Πίνακας 5.5.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο γενικό μοντέλο

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Στη στήλη e<sub>i</sub>\* δίνεται ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

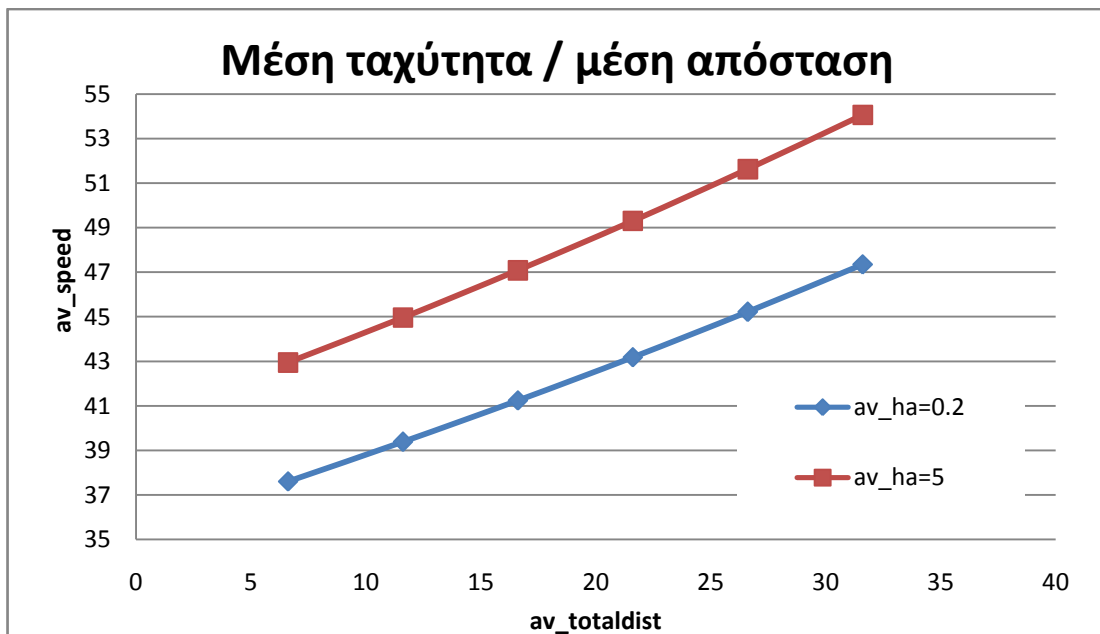
Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών **στο μοντέλο, για τον δείκτη συνολικής επίδοσης** παρατηρούνται τα εξής:

- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης» είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση και με τις τέσσερις ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της τυπικής απόκλισης της επιβραδυνσης στον δείκτη συνολικής επίδοσης. Η τιμή της επιρροής είναι 0,194.
- ✓ Η μεταβλητή «απότομη επιτάχυνση» εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 5,5 φορές λιγότερο.
- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «μέση απόσταση» είναι πολύ κοντά με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή. Η τιμή της επιρροής είναι 0,182, δηλαδή πολύ λίγο μικρότερη από την επιρροή της μεταβλητής με την μεγαλύτερη επιρροή που είναι 0,194
- ✓ Η επιρροή των μεταβλητών «ποσοστό χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό» και «μέση απόσταση» είναι 5 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή της μεταβλητής «απότομη επιτάχυνση».

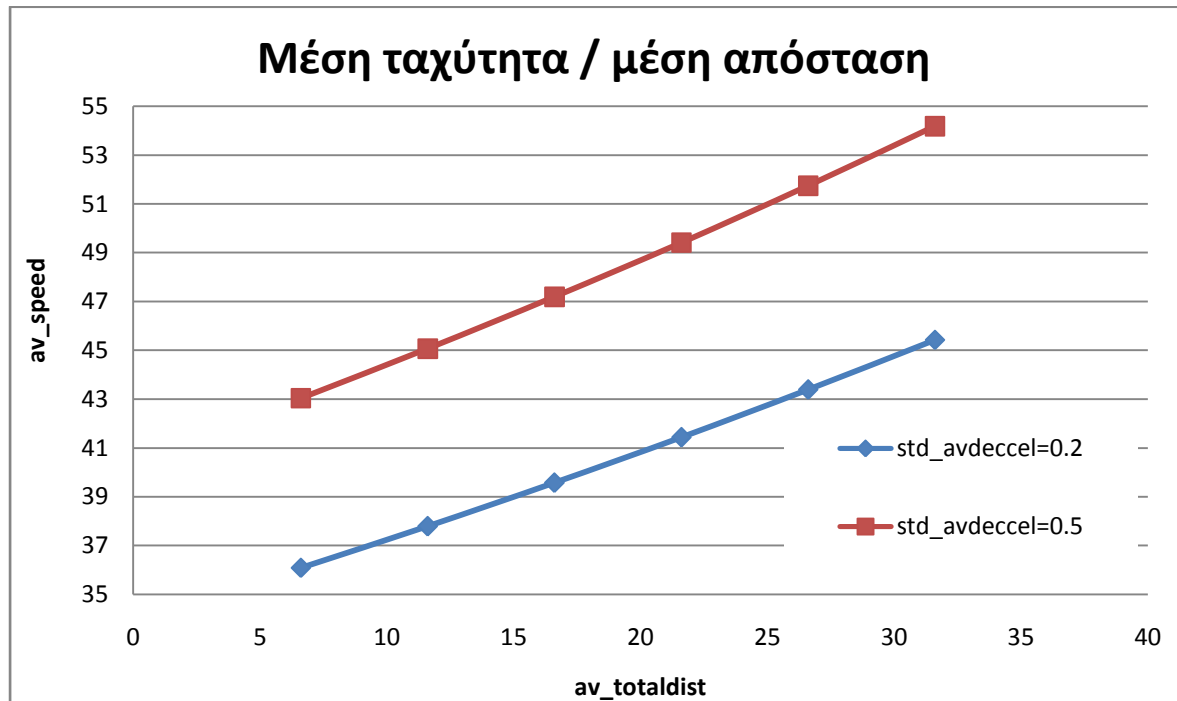
### 5.3.5. Ανάλυση ευαισθησίας

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή, που προβλέπει το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης, αναπτύχθηκαν τα διαγράμματα ευαισθησίας. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα περιγράφουν την ευαισθησία της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής (μέση ταχύτητα) όταν μεταβάλλεται μια εκ των ανεξάρτητων συνεχών μεταβλητών και οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές. Στην συνέχεια θα απεικονιστούν τα διαγράμματα μόνο για το μοντέλο που προβλέπει την ταχύτητα, ανεξάρτητα από τον τύπο της οδού και από τον αν είναι εντός ή εκτός των κρίσιμων ωρών. Για τα υπόλοιπα μοντέλα ισχύουν περίπου τα ίδια και για αυτό δεν περιέχονται στην Διπλωματική Εργασία.

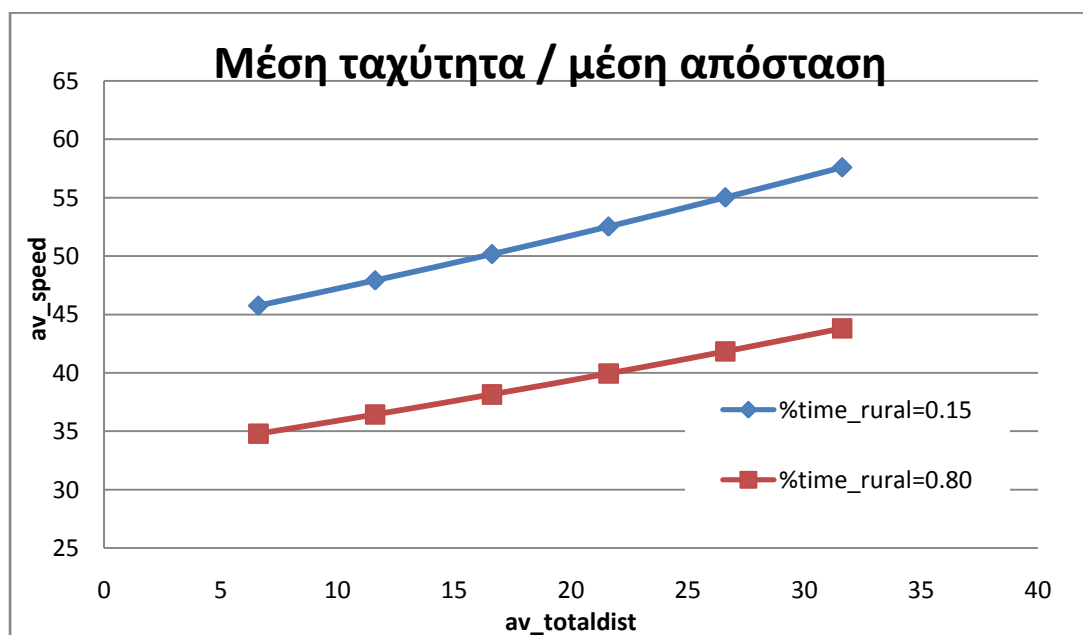
- ❖ Διάγραμμα 5.3.: Μέση ταχύτητα προς μέση απόσταση για:
  - ✓  $av\_ha=0.2$  και  $av\_ha=5$
  - ✓  $std\_avdecel=0.34$
  - ✓  $\%time\_rural=0.52$



- ❖ Διάγραμμα 5.4.: Μέση ταχύτητα προς μέση απόσταση για:
  - ✓  $av\_ha=1.71$
  - ✓  $std\_avdecel=0.2$  και  $std\_avdecel=0,5$
  - ✓  $\%time\_rural=0.52$



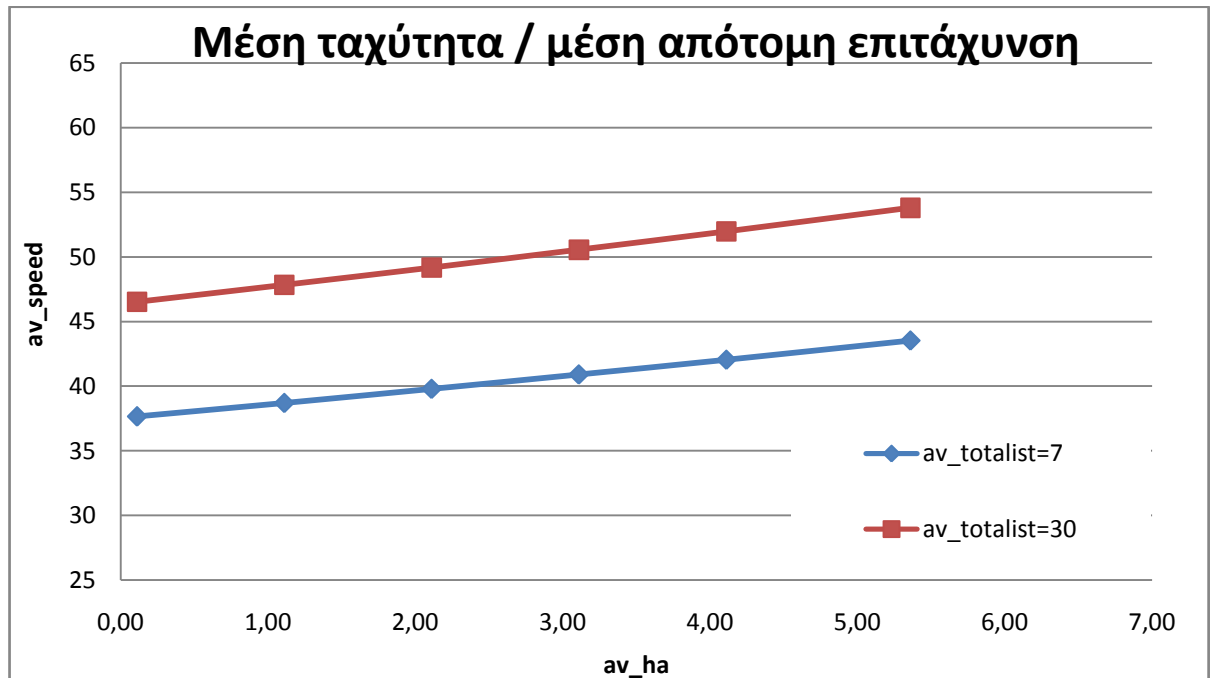
- ❖ Διάγραμμα 5.5.: Μέση ταχύτητα προς μέση απόσταση για:
  - ✓  $av\_ha=1,71$
  - ✓  $std\_avdecel=0.34$
  - ✓  $\%time\_rural=0.15$  και  $\%time\_rural=0,80$





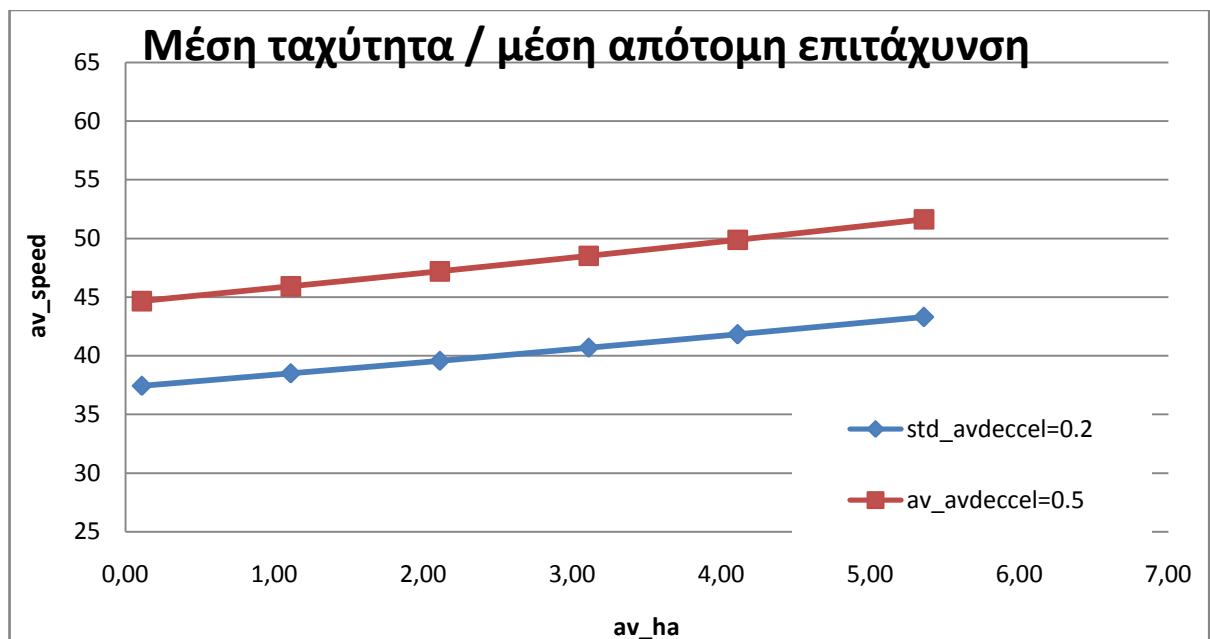
## ❖ Διάγραμμα 5.6.: Μέση ταχύτητα προς μέση απότομη επιτάχυνση:

- ✓  $av\_totalist=7$  και  $av\_totalist=30$
- ✓  $std\_avdecel=0.34$
- ✓  $\%time\_rural=0.52$

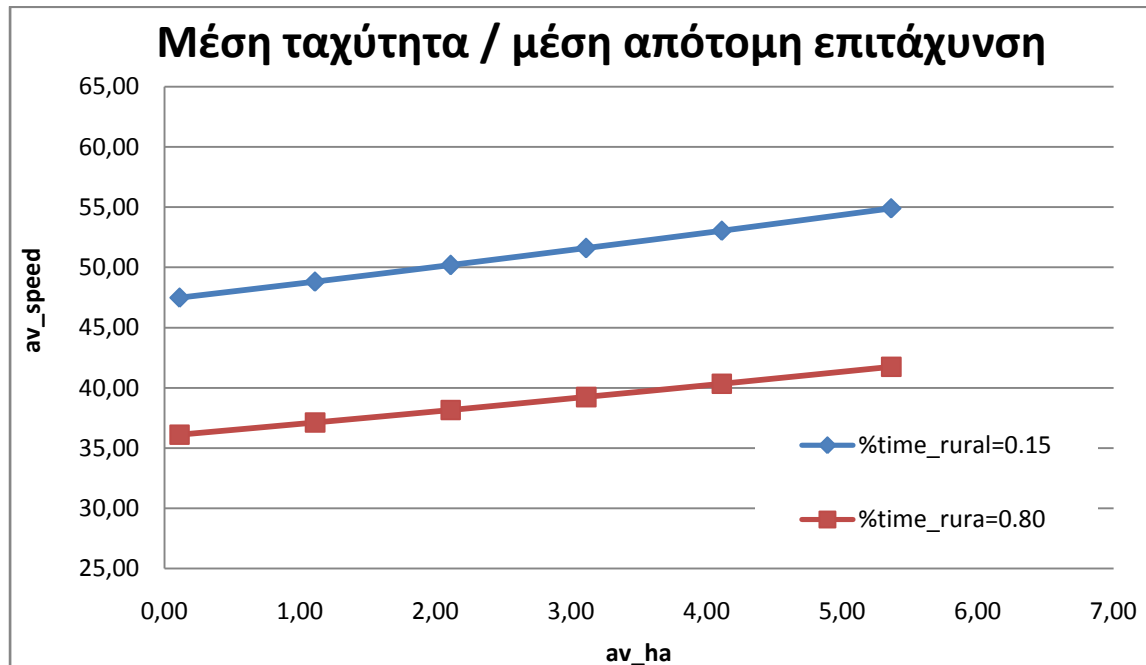


## ❖ Διάγραμμα 5.7.: Μέση ταχύτητα προς μέση απότομη επιτάχυνση για:

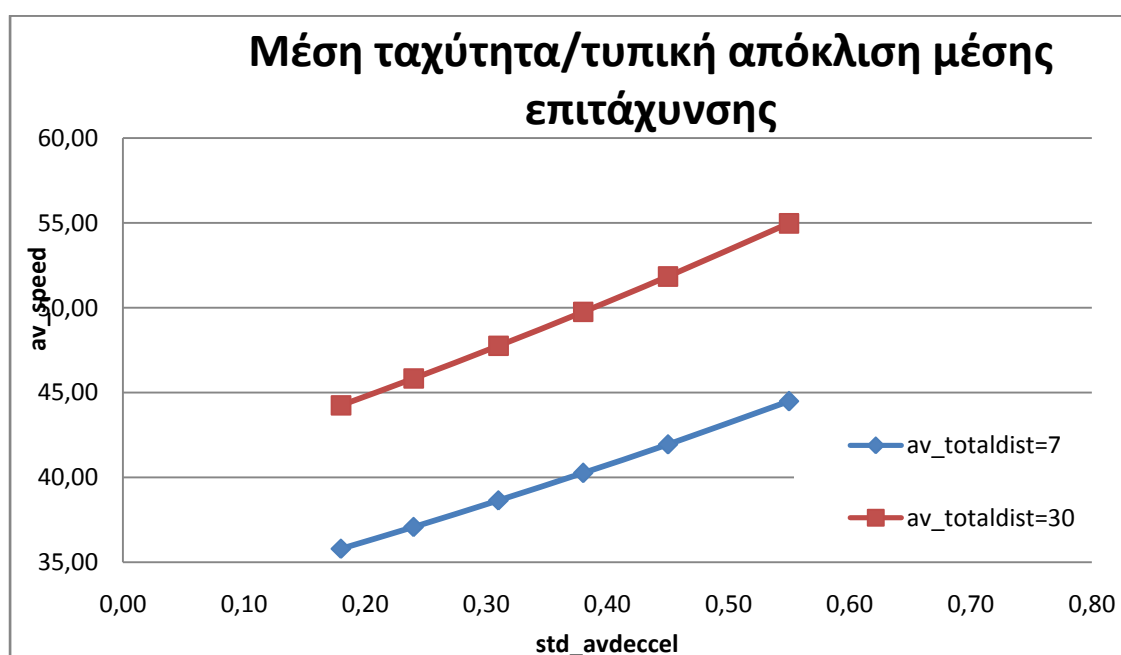
- ✓  $av\_totalist=15,43$
- ✓  $std\_avdecel=0.2$  και  $std\_avdecel=0,5$
- ✓  $\%time\_rural=0.52$



- ❖ Διάγραμμα 5.8.: Μέση ταχύτητα προς μέση απότομη επιτάχυνση για:
  - ✓  $av\_totadist=15,43$
  - ✓  $std\_avdecel=0,34$
  - ✓  $\%time\_rural=0,15$  και  $\%time\_rural=0,80$

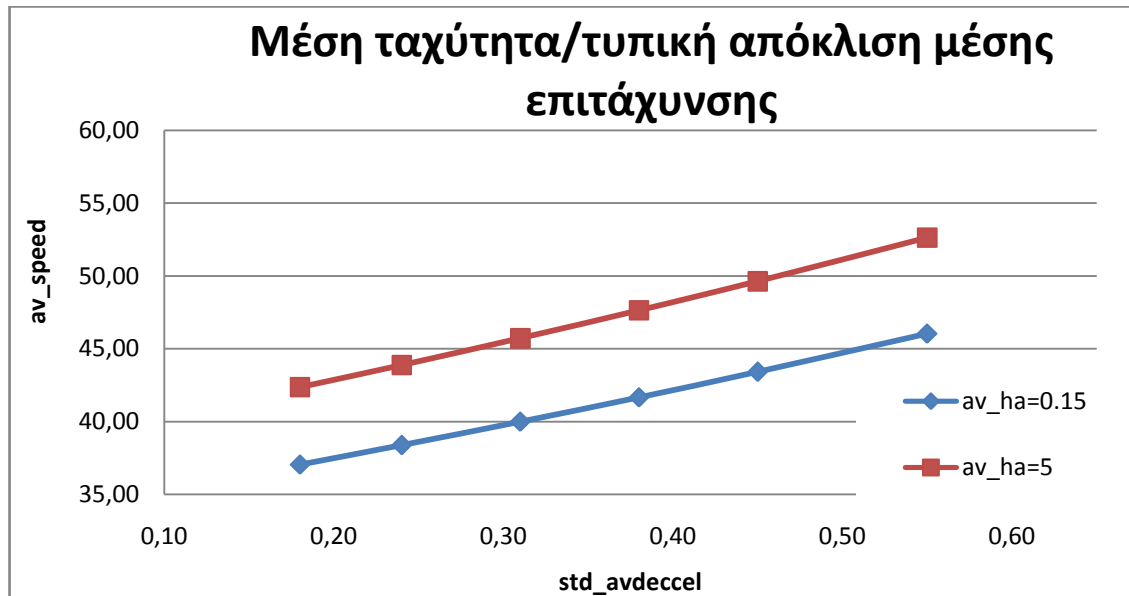


- ❖ Διάγραμμα 5.9.: Μέση ταχύτητα προς μέση τυπική απόκλιση επιτάχυνσης για:
  - ✓  $av\_totadist=7$  και  $av\_totadist=30$
  - ✓  $av\_ha=1,71$
  - ✓  $\%time\_rural=0,52$



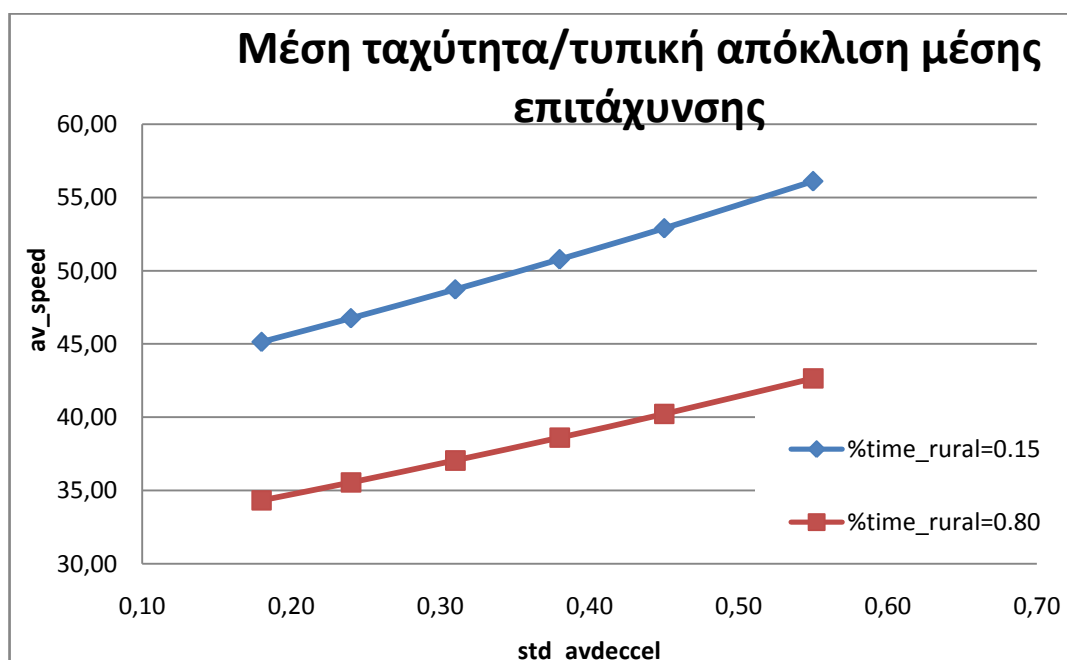
❖ Διάγραμμα 5.10.: Μέση ταχύτητα προς μέση τυπική απόκλιση επιτάχυνσης για:

- ✓  $av\_totadist=15,43$
- ✓  $av\_ha=0,15$   $av\_ha=5$
- ✓  $\%time\_rural=0.52$



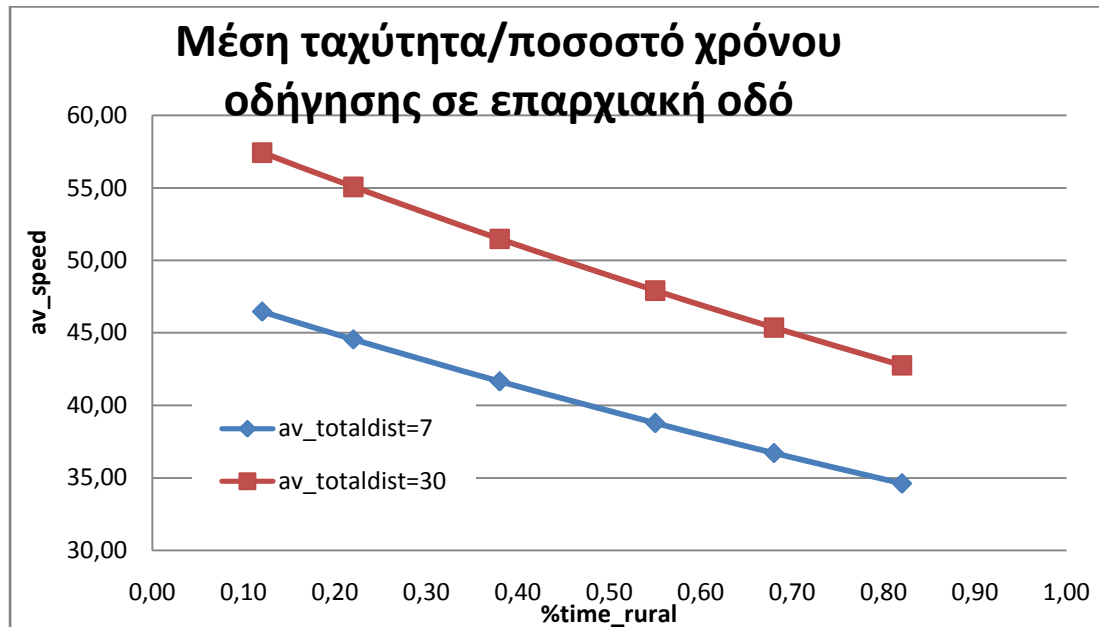
❖ Διάγραμμα 5.11.: Μέση ταχύτητα προς μέση τυπική απόκλιση επιτάχυνσης για:

- ✓  $av\_totadist=15,43$
- ✓  $av\_ha=1,71$
- ✓  $\%time\_rural=0.15$  και  $\%time\_rural=0,80$



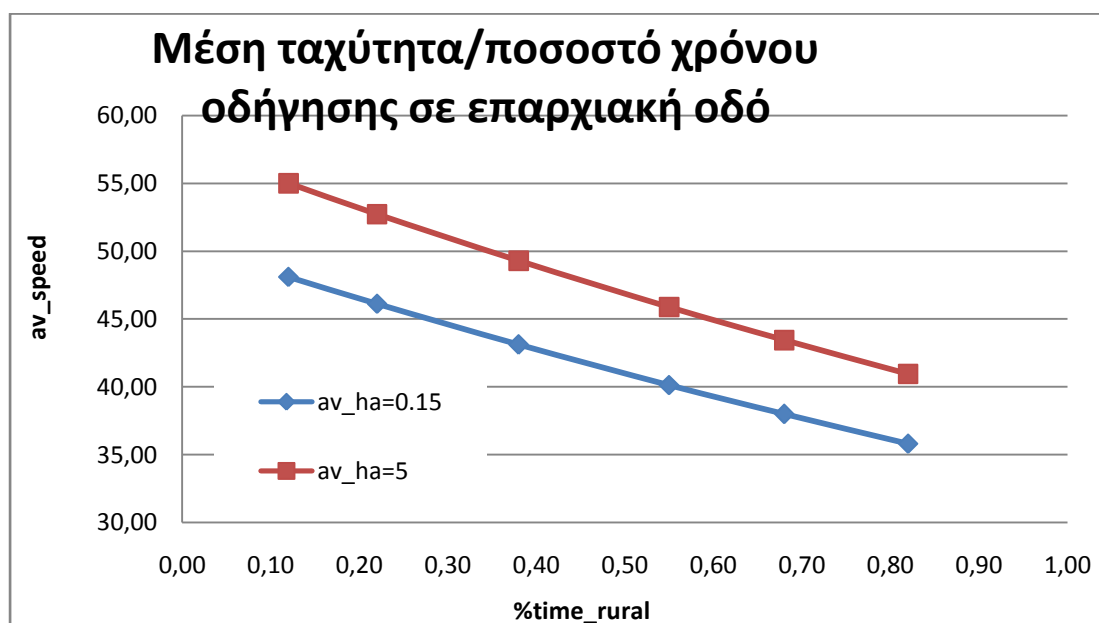
❖ Διάγραμμα 5.12.: Μέση ταχύτητα προς το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό για:

- ✓  $av\_totaldist=7$  και  $av\_totaldist=30$
- ✓  $av\_ha=1,71$
- ✓  $std\_avdecel=0.34$



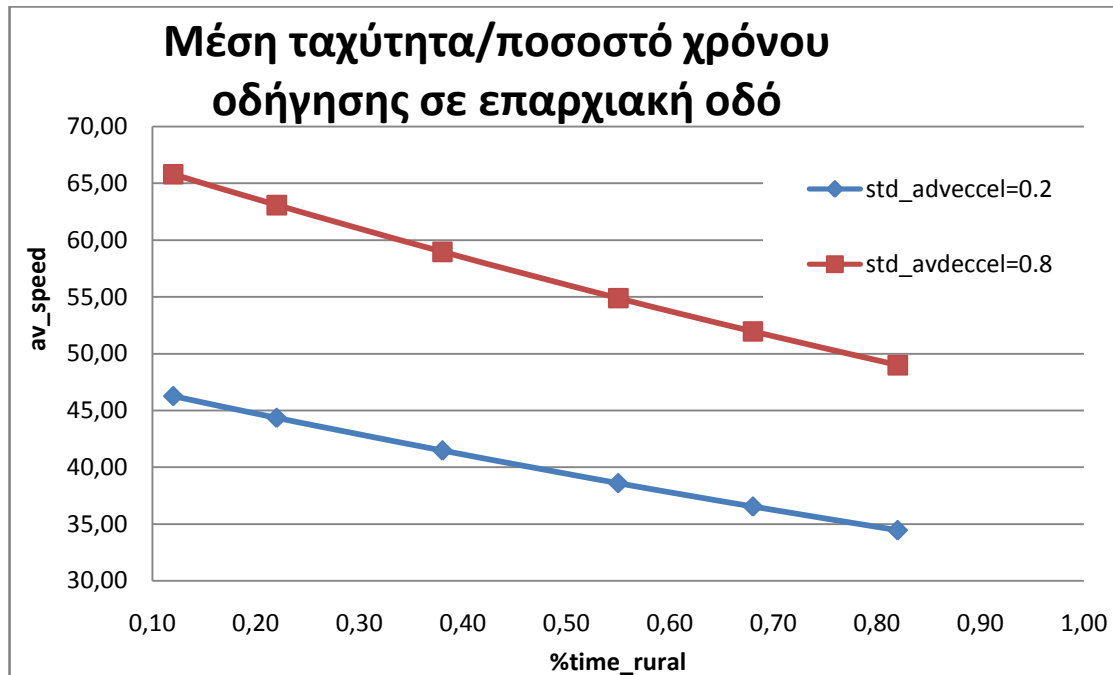
❖ Διάγραμμα 5.13: Μέση ταχύτητα προς το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό για:

- ✓  $av\_totaldist=15,43$
- ✓  $av\_ha=0,15$  και  $av\_ha=5$
- ✓  $std\_avdecel=0.2$  και  $std\_avdecel=0,5$



❖ Διάγραμμα 5.14.: Μέση ταχύτητα προς το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό για:

- ✓  $av\_totadist=15,43$
- ✓  $av\_ha=1,71$
- ✓  $std\_avdecel=0.2$  και  $std\_avdecel=0,8$



#### Συνολικός σχολιασμός Διαγραμμάτων

Σε όλα τα διαγράμματα, όποια μεταβλητή και να μεταβληθεί, προκύπτουν δύο καμπύλες σχεδόν παράλληλες. Για τα διαγράμματα "Μέσης ταχύτητας προς μέσης απόστασης", "Μέσης ταχύτητας προς μέσης τυπικής απόκλισης επιτάχυνσης" και "Μέσης ταχύτητας προς μέσης τυπικής απόκλισης επιτάχυνσης" οι δύο σχεδόν παράλληλες καμπύλες έχουν αυξητική τάση. Η διαφορά των καμπυλών αυξάνεται, όσο αυξάνεται η τιμή της εκάστοτε ανεξάρτητης μεταβλητής. Αντίθετα, για τα διαγράμματα της "Μέσης ταχύτητας προς το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό" οι δύο σχεδόν παράλληλες καμπύλες έχουν πτωτική τάση. Η διαφορά των καμπυλών μειώνεται, όσο αυξάνεται η τιμή της εκάστοτε ανεξάρτητης μεταβλητής.

## 5.4. Μοντέλο 2.1. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών.

### 5.4.1. Ανάπτυξη Μοντέλου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστεί η μέση ταχύτητα του οδηγού εκτός των κρίσιμων ωρών (log\_av\_V) προέκυψε ότι είναι αυτό με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα (av\_totaldist)
- ο μέσος αριθμός απότομων επιταχύνσεων (av\_ha)
- τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης (std\_avdecel)
- το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό (%\_time\_rural)

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

		Correlations				
		μέση απόσταση	απότομη επιτάχυνση	τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης	ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε επαρχιακή οδό	λογάριθμος μέσης ταχυτητας
μέση απόσταση	Pearson Correlation	1	,589	-,144	-,578	,588
απότομη επιτάχυνση	Pearson Correlation	,589	1	,020	-,481	,564
τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης	Pearson Correlation	-,144	,020	1	-,027	,109
ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	Pearson Correlation	-,578	-,481	-,027	1	-,695
λογάριθμος μέσης ταχυτητας	Pearson Correlation	,588	,564	,109	-,695	1

Πίνακας 5.6. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 2.1.

### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,763 <sup>a</sup>	,582	,564	,061080962096864

Πίνακας 5.7. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 2.1.

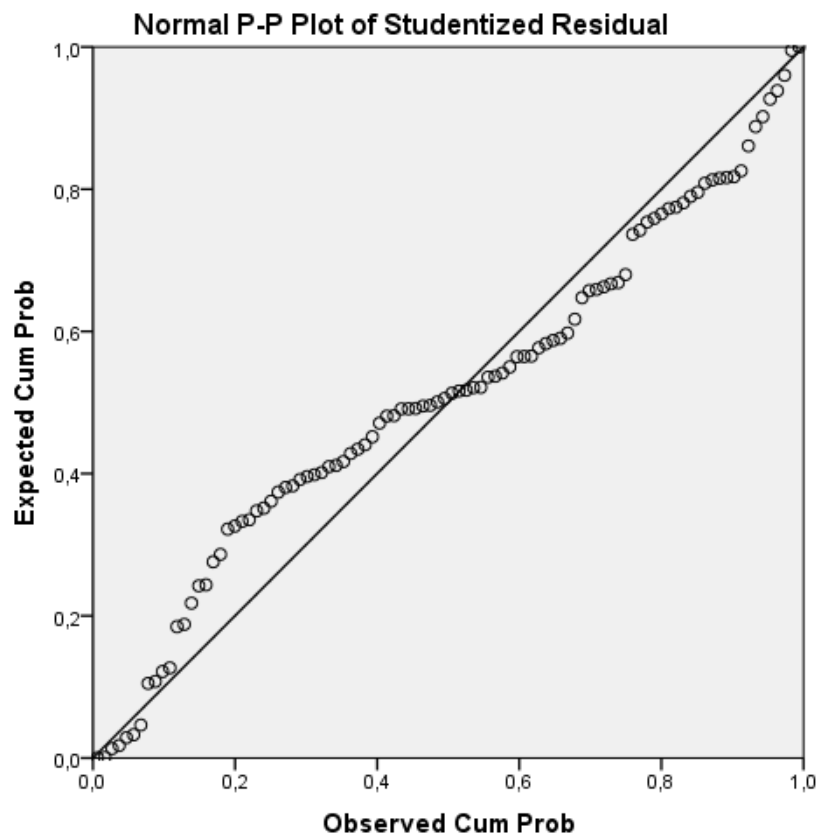
### ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,483	4	,121	32,348	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,347	93	,004		
	Total	,830	97			

Πίνακας 5.8. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 2.1.

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,726	,035		49,829	,000
	μέση αποσταση	,001	,000	,208	2,228	,028
	απότομη επιτάχυνση	,014	,006	,214	2,505	,014
	τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	,070	,039	,122	1,769	,080
	ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	-,239	,043	-,468	-5,533	,000

Πίνακας 5.9. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 2.1.



Διάγραμμα 5.15 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο εκτός κρίσιμων ωρών

Μαθηματική σχέση:

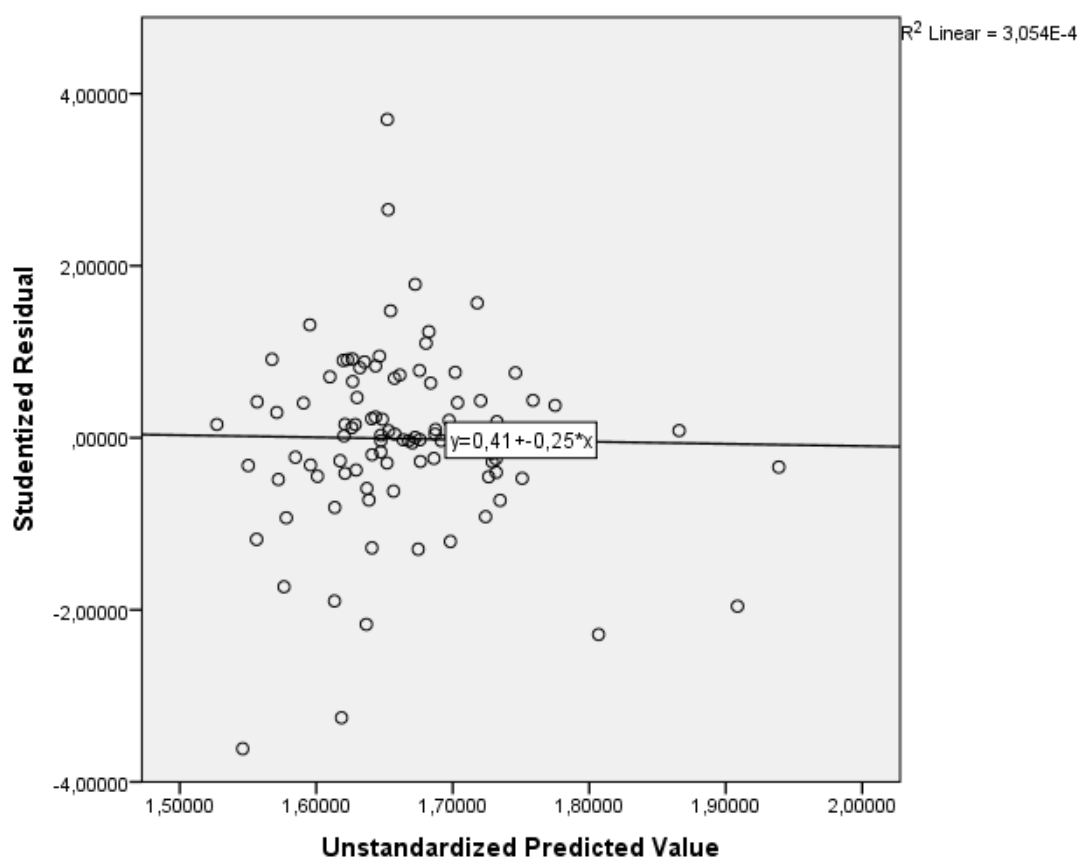
$$\log\_av\_V = 1,726 + 0,001 av\_totaldist + 0,014 av\_ha + 0,07 std\_avdecel - 0,239 \%\_time\_rural$$

### 5.4.2. Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι.

- Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  είναι καλός, ίσος με 0,56.
- Ο έλεγχος του  $t$  να είναι μεγαλύτερος 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται.
- Οι σταθεροί όροι ( $\beta_i$ ) είναι μικροί.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Ένας ακόμη έλεγχος είναι εκείνος που φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, όπου ο άξονας  $X$  αντιπροσωπεύει το μέγεθος  $zresid$  (Standard residual), δηλαδή τυπικά σφάλματα και ο άξονας  $\Psi$  το μέγεθος  $zpred$  (Standard Predicted Value), δηλαδή τις προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου.



Διάγραμμα 5.16 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο εκτός των κρίσιμων ωρών

### 5.4.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μία σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.



- Για κάθε χιλιόμετρο που αυξάνεται η απόσταση που διανύει ένας οδηγός, ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας αυξάνεται κατά 0,001 m/s.
- Για μία επιπλέον απότομη επιτάχυνση, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,014m/s.
- Για αύξηση μιας μονάδας της τυπικής απόκλισης της μέσης επιβραδυνσης, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,07 m/s.
- Για 1% αύξηση του χρόνου που διανύει ο οδηγός σε αστική οδό, μειώνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά -0,239 m/s.

Οι λόγοι για τους οποίους ενδεχομένως ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας συσχετίζεται με αυτές τις μεταβλητές, είναι οι ίδιοι με αυτούς του γενικού μοντέλου. Τα δύο μοντέλα έχουν ακριβώς τις ίδιες μεταβλητές.

#### 5.4.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μέση ταχύτητα οδήγησης			
	β <sub>i</sub>	t	Σχετική	
			e <sub>i</sub>	e <sub>i</sub> *
μέση αποσταση	,001	2,228	,167	5,044
απότομη επιτάχυνση	,014	2,505	,062	1,860
τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	,070	1,769	,033	1,000
ποσοστό χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	-,239	-5,533	-,090	-2,707

Πίνακας 5.10.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο εκτός των κρίσιμων ωρών

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Στη στήλη e<sub>i</sub>\* δίνεται ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών **στο μοντέλο, για τον δείκτη συνολικής επίδοσης** παρατηρούνται τα εξής:

- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «μέση απόσταση» είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση και με τις τέσσερις ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της συνολικής απόστασης στον δείκτη συνολικής επίδοσης. Η τιμή της επιρροής είναι 0,167.
- ✓ Η μεταβλητή «τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης» εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 5 φορές λιγότερο.
- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό» είναι 2,7 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή της μεταβλητής «τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης».
- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «απότομη επιτάχυνση» είναι 1,85 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή της μεταβλητής «τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης».

### **5.5. Μοντέλο 2.2. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εντός κρίσιμων ωρών.**

#### 5.5.1. Ανάπτυξη Μοντέλου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστεί η μέση ταχύτητα του οδηγού εντός των κρίσιμων ωρών ( $\log_{av\_V}$ ) προέκυψε ότι είναι αυτό με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα ( $av\_totaldist$ )
- ο μέσος αριθμός απότομων επιταχύνσεων ( $av\_ha$ )
- τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης ( $std\_avdecel$ )
- το ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό ( $\%\_time\_rural$ )

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

**Correlations**

		μέση αποσταση	απότομη επιτάχυνση	ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε επαρχιακή οδό	τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	λογάριθμος μέσης ταχυτητας	av_avgspreedμέσηταχυτητα
μέση αποσταση	Pearson Correlation	1	,292	-,375	,143	,572	,544
απότομη επιτάχυνση	Pearson Correlation	,292	1	-,449	,232	,469	,440
ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	Pearson Correlation	-,375	-,449	1	-,210	-,607	-,576
τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	Pearson Correlation	,143	,232	-,210	1	,410	,418
λογάριθμος μέσης ταχυτητας	Pearson Correlation	,572	,469	-,607	,410	1	,992
av_avgspreedμέσηταχυτητα	Pearson Correlation	,544	,440	-,576	,418	,992	1

Πίνακας 5.11. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 2.2.

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,769 <sup>a</sup>	,592	,575	,048982202534675

Πίνακας 5.12. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 2.2.

**ANOVA<sup>a</sup>**

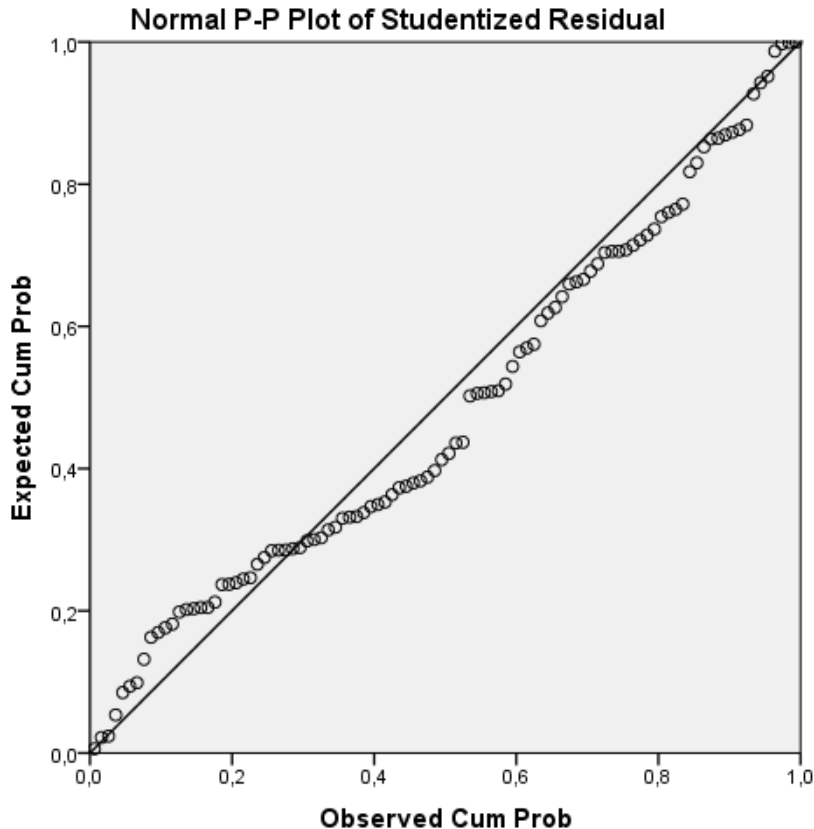
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,330	4	,083	34,433	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,228	95	,002		
	Total	,558	99			

Πίνακας 5.13. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 2.2.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,548	,040		38,632	,000
	μέση αποσταση	,005	,001	,361	5,035	,000
	απότομη επιτάχυνση	,012	,006	,148	1,969	,052
	ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	-,186	,041	-,353	-4,586	,000
	τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	,253	,069	,250	3,672	,000

Πίνακας 5.14. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 2.2.



Διάγραμμα 5.17 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο εντός των κρίσιμων ωρών

Μαθηματική σχέση:

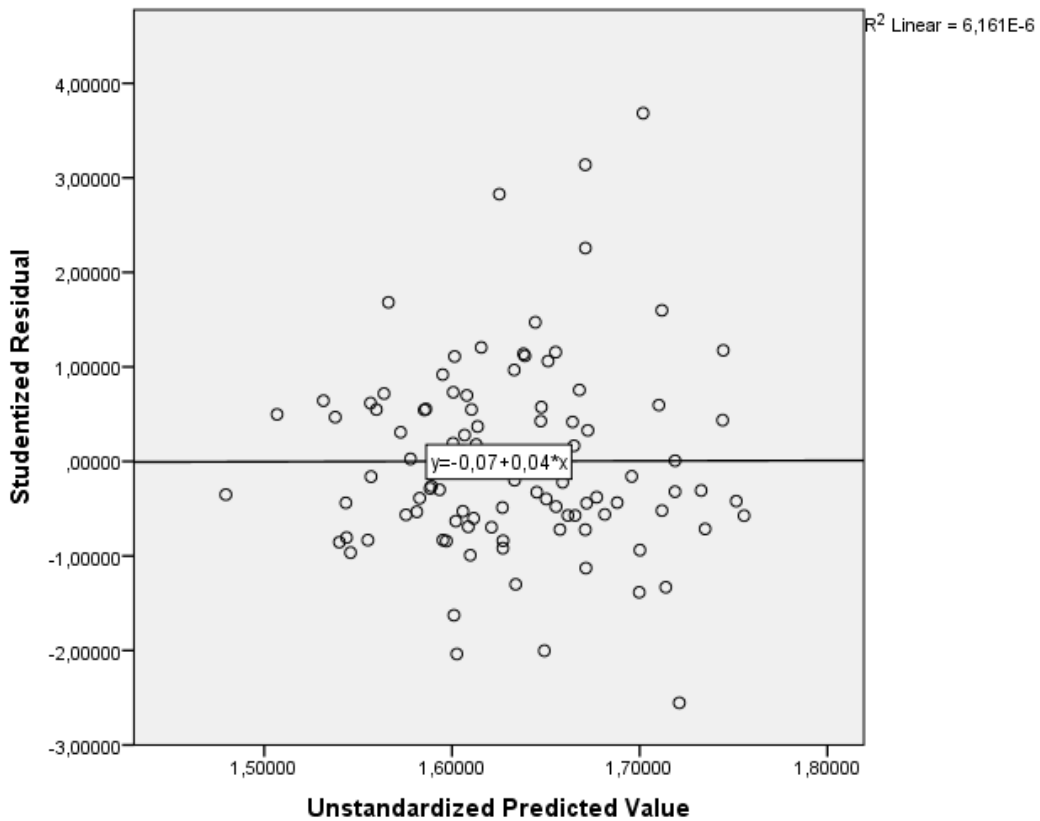
$$\log\_av\_V = 1,548 + 0,005 av\_totaldist + 0,012 av\_ha + 0,253 std\_avdecel - 0,186 \%\_time\_rural$$

5.5.2. Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι.

- Ο συντελεστής συσχέτισης R2 είναι καλός, ίσος με 0,58.
- Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται.
- Οι σταθεροί όροι (βi) είναι μικροί.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Ένας ακόμη έλεγχος είναι εκείνος που φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, όπου ο άξονας X αντιπροσωπεύει το μέγεθος zresid (Standard residual), δηλαδή τυπικά σφάλματα και ο άξονας Ψ το μέγεθος zpred (Standard Predicted Value), δηλαδή τις προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου.



Διάγραμμα 5.18. : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο εντός των κρίσιμων ωρών

### 5.5.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

- Για κάθε χιλιόμετρο που αυξάνεται η απόσταση που διανύει ένας οδηγός, ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας αυξάνεται κατά 0,005 m/s.
- Για μία επιπλέον απότομη επιτάχυνση, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,012m/s.
- Για αύξηση μιας μονάδας της τυπικής απόκλισης της μέσης επιβράδυνσης, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,253 m/s.
- Για 1% αύξηση του χρόνου που διανύει ο οδηγός σε αστική οδό, μειώνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά -0,186 m/s.

Οι λόγοι για τους οποίους ενδεχομένως ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας συσχετίζεται με αυτές τις μεταβλητές, είναι οι ίδιοι με αυτούς του γενικού μοντέλου. Τα δύο μοντέλα έχουν ακριβώς τις ίδιες μεταβλητές.

## 5.5.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μέση ταχύτητα οδήγησης			
	β <sub>i</sub>	t	Σχετική	
			e <sub>i</sub>	e <sub>i</sub> *
μέση αποσταση	,005	5,035	,197	6,527
απότομη επιτάχυνση	,012	1,969	,030	1,000
τυπική απόκλιση μέσης επιβραδυνσης	-,186	-4,586	,194	6,412
ποσοστό χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	,253	3,672	-,182	-6,006

Πίνακας 5.15.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο εκτός των κρίσιμων ωρών

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Στη στήλη e<sub>i</sub>\* δίνεται ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών **στο μοντέλο, για τον δείκτη συνολικής επίδοσης** παρατηρούνται τα εξής:

- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «av\_totaldist» είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση και με τις τέσσερις ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της συνολικής απόστασης στον δείκτη συνολικής επίδοσης. Η τιμή της επιρροής είναι 0,197.
- ✓ Η μεταβλητή «av\_ha» εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 6,5 φορές λιγότερο.
- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «std\_avdecel» είναι πολύ κοντά με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή. Συγκεκριμένα, έχει 6,4 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή και η τιμή της επιρροής είναι 0,194.
- ✓ Μεγάλη επιρροή έχει επίσης και η μεταβλητή «time\_rural», με τιμή 0,182 και επιρροή 6 φορές μεγαλύτερη από την μεταβλητή «av\_ha».

### 5.6Α. Μοντέλο 3 - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού, ανάλογα τον τύπο της οδού

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, επειδή η τιμή της μέσης ταχύτητας για κάθε τύπο οδού δεν υπήρχε στη βάση δεδομένων, για να δημιουργηθούν τα μοντέλα για κάθε τύπο οδού έπρεπε να γίνει κάποια παραδοχή, η οποία θα έδινε αξιόπιστα, με μεγάλη ακρίβεια αποτελέσματα, λύνοντας όμως το πρόβλημα της έλλειψης των δεδομένων. Θεωρήθηκε λοιπόν, πως αν ένας οδηγός είχε διανύσει απόσταση σε ένα τύπο οδού, μεγαλύτερη από το 80% της συνολικής, τότε η μέση ταχύτητα του ταξιδιού ήταν και η μέση ταχύτητα σε αυτόν τον τύπο οδού.

Από τις 18.853 μετακινήσεις βρέθηκε ότι την προϋπόθεση τηρούσαν αρκετά λιγότερες, αλλά επαρκή σε αριθμό για να προκύψουν αξιόπιστα μοντέλα. Συνολικά οι μετακινήσεις που τηρούσαν την προϋπόθεση για κάθε τύπο οδού χωριστά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Ποσοστό ταξιδιού σε κάθε τύπο οδού	Τύπος Οδού		
	Urban	Rular	Highway
80%	5578	1778	285

Πίνακας 5.16. Αριθμός μετακινήσεων ανά τύπο οδού.

*Σημείωση: Υπάρχουν μετακινήσεις οι οποίες δεν ικανοποιούν για κανένα τύπο οδού την προϋπόθεση και αν μια μετακίνηση ικανοποιεί την συνθήκη της παραδοχής σε ένα τύπο οδού, αποκλείεται να την τηρεί και για κάποια άλλη.*

### 5.6. Μοντέλο 3.1. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού σε αστική οδό

#### 5.6.1. Ανάπτυξη Μοντέλου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστεί η μέση ταχύτητα ( $\log_{av\_V}$ ) ενός οδηγού προέκυψε ότι είναι εκείνο με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα ( $av\_totaldist$ )
- τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης ( $std\_avaccel$ )
- μέση επιβράδυνση ( $av\_avdecel$ )

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

		μέση αποσταση	μέση επιβραδυνση	τυοική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	λογάριθμος μέσης ταχυτητας
μέση αποσταση	Pearson Correlation	1	-,037	-,238	,394
μέση επιβραδυνση	Pearson Correlation	-,037	1	-,145	-,448
τυοική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	Pearson Correlation	-,238	-,145	1	,177
λογάριθμος μέσης ταχυτητας	Pearson Correlation	,394	-,448	,177	1

Πίνακας 5.17. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 3.1.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,623 <sup>a</sup>	,389	,369	,044834190759737

Πίνακας 5.18. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 3.1.

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,116	3	,039	19,291	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,183	91	,002		
	Total	,299	94			

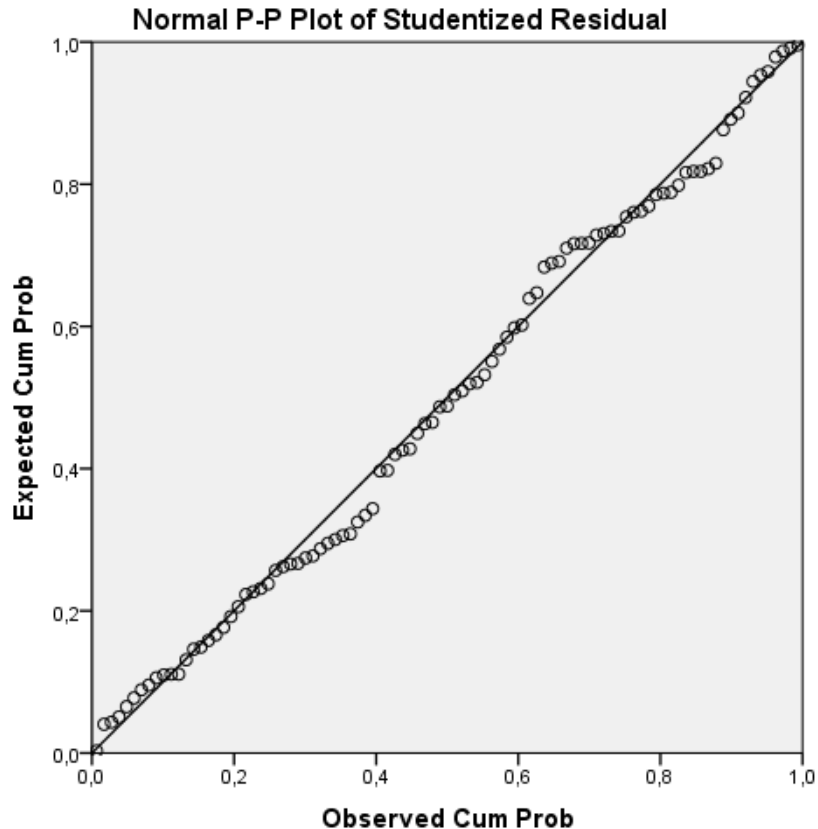
Πίνακας 5.19. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 3.1.

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,214	,038		32,176	,000
	μέση αποσταση	,019	,004	,432	5,109	,000
	μέση επιβραδυνση	-,098	,020	-,400	-4,816	,000
	τυοική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	,131	,050	,221	2,589	,011

Πίνακας 5.20. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 3.1.





Διάγραμμα 5.19. : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο σε αστική οδό

Μαθηματική σχέση:

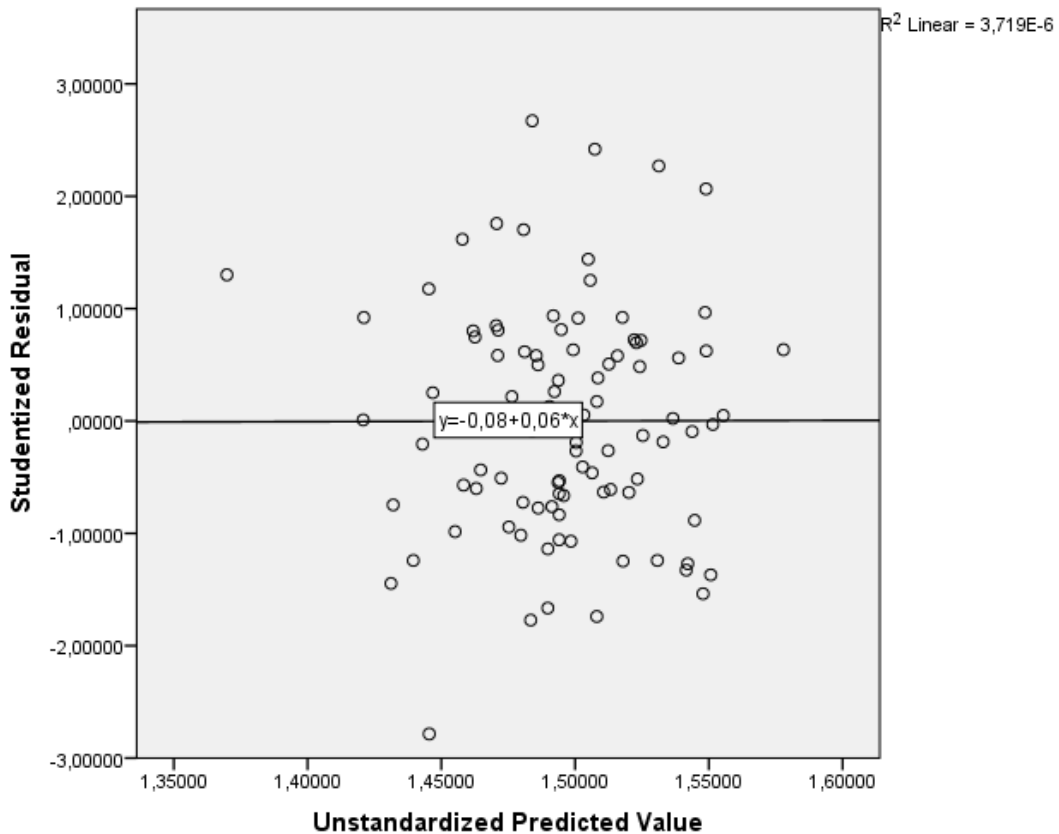
$$\log_{av\_V} = 1,214 + 0,019 \text{ av\_totaldist} - 0,098 \text{ av\_avdecel} + 0,131 \text{ std\_avaccel}$$

5.6.2. Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι.

- Ο συντελεστής συσχέτισης R2 είναι καλός, ίσος με 0,37.
- Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται.
- Οι σταθεροί όροι (βi) είναι μικροί.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Ένας ακόμη έλεγχος είναι εκείνος που φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, όπου ο άξονας X αντιπροσωπεύει το μέγεθος zresid (Standard residual), δηλαδή τυπικά σφάλματα και ο άξονας Ψ το μέγεθος zpred (Standard Predicted Value), δηλαδή τις προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου.



Διάγραμμα 5.20 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο για τις αστικές οδούς

### 5.6.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μία σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

- Για κάθε χιλιόμετρο που αυξάνεται η απόσταση που διανύει ένας οδηγός, ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας αυξάνεται κατά 0,019 m/s. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα διανύει ο οδηγός, τόσο πιο υψηλές ταχύτητες αναπτύσσει. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι μεγαλύτερες αποστάσεις σημαίνουν περισσότερη οδήγηση στο υπεραστικό οδικό δίκτυο όπου οι ταχύτητες κυκλοφορίας που αναπτύσσονται είναι υψηλότερες.
- Για αύξηση μιας μονάδας της τυπικής απόκλισης της μέσης επιτάχυνσης, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,131 m/s, πιθανόν γιατί η αύξηση αυτή της τυπικής απόκλισης της μέσης επιτάχυνσης οφείλεται στην αυξομείωση της ταχύτητας και άρα όσο υψηλότερες ταχύτητες αναπτύσσονται τόσο μεγαλώνει και η τυπική απόκλιση της μέσης επιτάχυνσης.

- Για  $1 \text{ m/s}^2$  αύξηση της μέσης επιβράδυνσης, μειώνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά  $0,98 \text{ m/s}$ . Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται στο ότι ένα όχημα επιβραδύνει όταν μπροστά του υπάρχουν εμπόδια, δηλαδή ή φωτεινός σηματοδότης με ένδειξη κόκκινο ή οχήματα που σχηματίζουν ουρές και του μειώνουν την ταχύτητα.

#### 5.6.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μέση ταχύτητα οδήγησης			
	$\beta_i$	t	Σχετική επιρροή	
			$e_i$	$e_i^*$
μέση απόσταση	,019	5,109	,201	3,415
μέση επιβραδυνση	-,098	-4,816	,293	4,991
τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	,131	2,589	,059	1,000

Πίνακας 5.21.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για τις αστικές οδούς

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Στη στήλη  $e_i^*$  δίνεται ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών **στο μοντέλο, για τον δείκτη συνολικής επίδοσης** παρατηρείται τα εξής:

- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «μέση επιβράδυνσης» είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση και με τις τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της συνολικής απόστασης στον δείκτη συνολικής επίδοσης. Η τιμή της επιρροής είναι  $0,293$ .
- ✓ Η μεταβλητή «τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης» εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 5 φορές λιγότερο.
- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «μέση απόσταση» είναι πολύ κοντά με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή. Συγκεκριμένα έχει τιμή  $0,201$  και είναι  $3,4$  φορές μεγαλύτερη από την μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή.

### 5.7. Μοντέλο 3.2. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού σε υπεραστική οδό

#### 5.7.1. Ανάπτυξη Μοντέλου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστεί η μέση ταχύτητα ( $\log_{av\_V}$ ) ενός οδηγού προέκυψε ότι είναι αυτό με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα ( $av\_totaldist$ )
- τυπική απόκλιση απότομης στροφής ( $std\_hc$ )
- τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης ( $std\_avaccel$ )

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

Correlations					
		μέση απόσταση	τυπική απόκλιση απότομης στροφής	τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	λογάριθμος μέσης ταχύτητας
μέση απόσταση	Pearson Correlation	1	,623	-,199	,459
τυπική απόκλιση απότομης στροφής	Pearson Correlation	,623	1	-,224	,021
τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	Pearson Correlation	-,199	-,224	1	,205
λογάριθμος μέσης ταχύτητας	Pearson Correlation	,459	,021	,205	1

Πίνακας 5.22. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 3.2.

#### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,627 <sup>a</sup>	,393	,372	,060851507332984

Πίνακας 5.23. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 3.2.

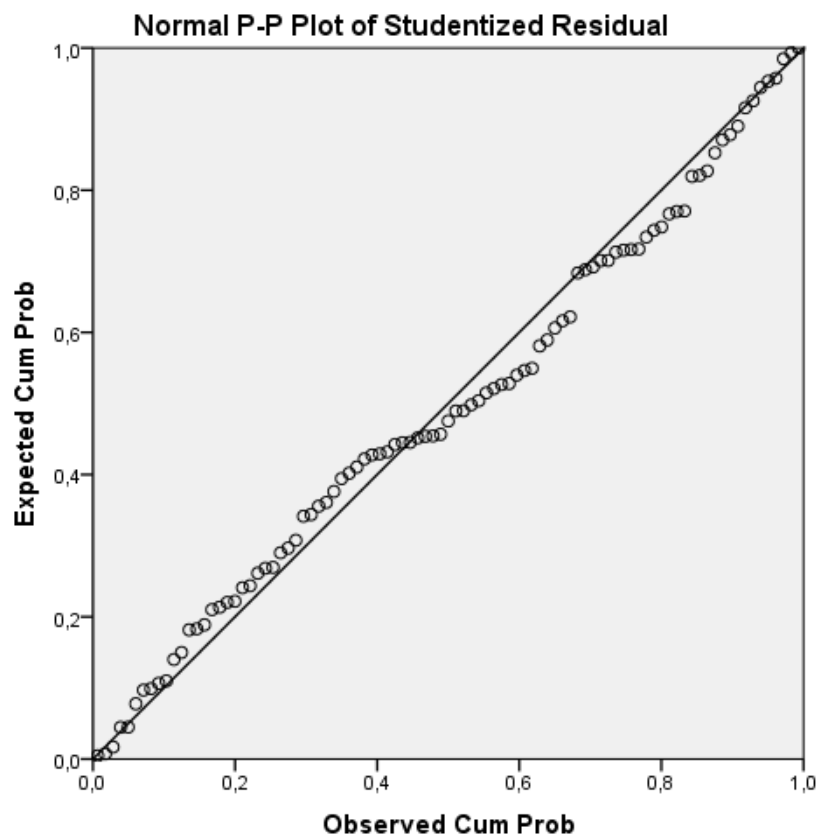
#### ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,213	3	,071	19,169	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,330	89	,004		
	Total	,542	92			

Πίνακας 5.24. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 3.2.

Model		Coefficients <sup>a</sup>				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,592	,016		99,944	,000
	τυπική απόκλιση απότομης στροφής	-,010	,003	-,388	-3,648	,000
	τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	,097	,031	,267	3,146	,002
	μέση αποσταση	,005	,001	,754	7,119	,000

Πίνακας 5.25. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 3.2.



Διάγραμμα 5.21 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο σε υπεραστική οδό

Μαθηματική σχέση:

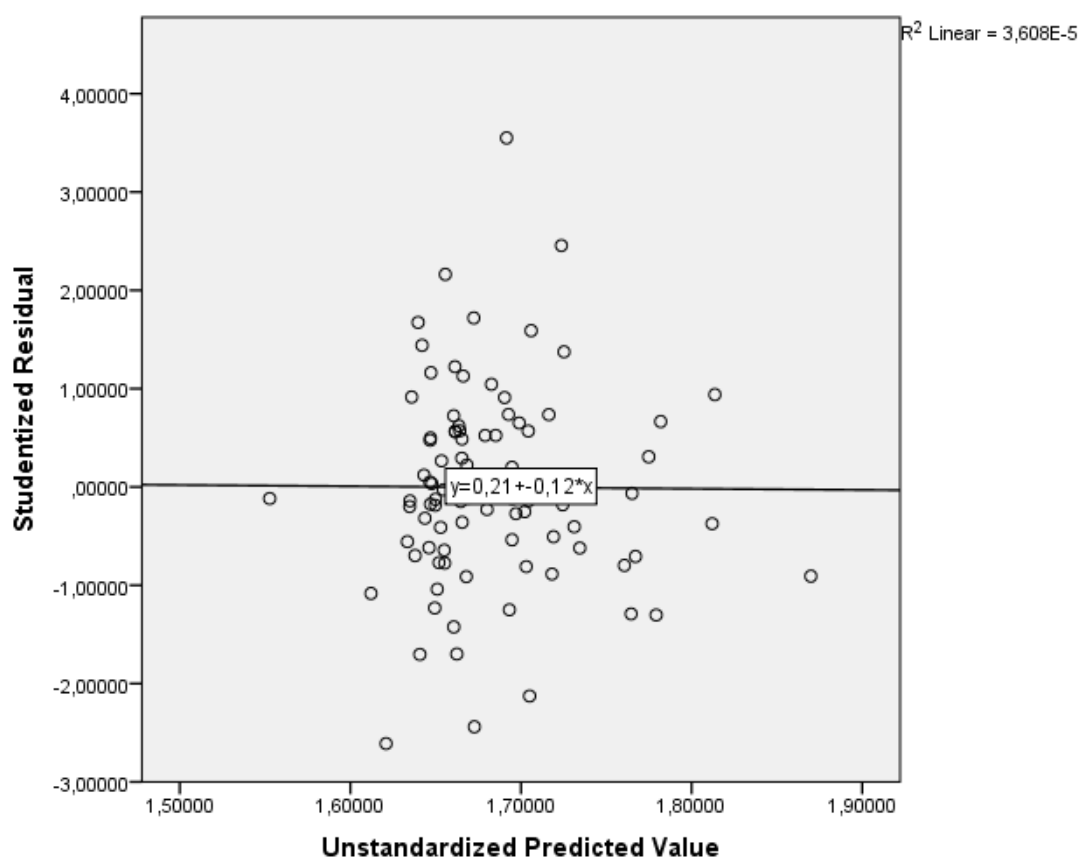
$$\log\_av\_V = 1,592 + 0,005 av\_totaldist - 0,01 std\_hc + 0.097 std\_avaccel$$

### 5.7.2. Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι.

- Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  είναι καλός, ίσος με 0,37.
- Ο έλεγχος του  $t$  να είναι μεγαλύτερος 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται.
- Οι σταθεροί όροι ( $\beta_i$ ) είναι μικροί.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Ένας ακόμη έλεγχος είναι εκείνος που φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, όπου ο άξονας  $X$  αντιπροσωπεύει το μέγεθος  $zresid$  (Standard residual), δηλαδή τυπικά σφάλματα και ο άξονας  $\Psi$  το μέγεθος  $zpred$  (Standard Predicted Value), δηλαδή τις προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου.



Διάγραμμα 5.22 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο για την υπεραστική οδό

### 5.7.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μία σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

- Για κάθε χιλιόμετρο που αυξάνεται η απόσταση που διανύει ένας οδηγός, ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας αυξάνεται κατά 0,005 m/s. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα διανύει ο οδηγός, τόσο πιο υψηλές ταχύτητες αναπτύσσει. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι μεγαλύτερες αποστάσεις σημαίνουν περισσότερη οδήγηση στο υπεραστικό οδικό δίκτυο όπου οι ταχύτητες κυκλοφορίας που αναπτύσσονται είναι υψηλότερες.
- Για μία επιπλέον απότομη στροφή, μειώνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,01m/s. Πιθανόν αυτό να συμβαίνει γιατί όταν το όχημα στρίβει αυτόματα ο οδηγός μειώνει ταχύτητα για να μπορέσει να πραγματοποιήσει την στροφή. (Όταν ο οδηγός 'μπαίνει' σε στροφή, 'κατεβάζει' ταχύτητα.
- Για αύξηση μιας μονάδας της τυπικής απόκλισης της μέσης επιτάχυνσης, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,097 m/s, πιθανόν γιατί η αύξηση αυτή της τυπικής απόκλισης της μέσης επιτάχυνσης οφείλεται στην αυξομείωση της ταχύτητας και άρα όσο υψηλότερες ταχύτητες αναπτύσσονται τόσο μεγαλώνει και η τυπική απόκλιση της μέσης επιτάχυνσης.

#### 5.7.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μέση ταχύτητα οδήγησης			
	β <sub>i</sub>	t	Σχετική επιρροή	
			e <sub>i</sub>	e <sub>i</sub> *
τυπική απόκλιση απότομης στροφής	-,010	-3,648	-,078	-1,06271
τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	,097	3,146	,073	1
μέση αποσταση	,005	7,119	,225	3,069366

Πίνακας 5.26.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για τις υπεραστικές οδούς

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Στη στήλη e<sub>i</sub>\* δίνεται ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο, για τον δείκτη συνολικής επίδοσης παρατηρείται:

- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «μέσης απόστασης» είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση και με τις τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της συνολικής απόστασης στον δείκτη συνολικής επίδοσης. Η τιμή της επιρροής είναι 0,225.
- ✓ Η μεταβλητή «τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης» εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 3 φορές λιγότερο.
- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «τυπική απόκλιση απότομης στροφής» έχει τιμή -0,078, τιμή πολύ κοντά στην μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή που έχει τιμή ίση με 0,073 . Η επιρροή τους λοιπόν στο μοντέλο είναι σχεδόν η ίδια.

### 5.8. Μοντέλο 3.3. - Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού σε αυτοκινητόδρομο

#### 5.8.1. Ανάπτυξη Μοντέλου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστεί η μέση ταχύτητα ( $\log\_av\_V$ ) ενός οδηγού προέκυψε ότι είναι αυτό με ανεξάρτητες μεταβλητές:

- συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα ( $av\_totaldist$ )
- ο μέσος αριθμός απότομων επιταχύνσεων ( $av\_ha$ )
- η χρήση του κινητού τηλεφώνου όσο οδηγεί ( $av\_mobileUsage$ )
- τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης ( $std\_avaccel$ )

Οι συσχετίσεις των μεταβλητών και τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια.

		Correlations				
		μέση απόσταση	απότομη επιτάχυνση	τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	μέσος χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου	λογάριθμος μέσης ταχυτητας
μέση αποσταση	Pearson Correlation	1	,465	-,514	-,217	,362
απότομη επιτάχυνση	Pearson Correlation	,465	1	-,263	-,153	,359
τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	Pearson Correlation	-,514	-,263	1	,178	,045
μέσος χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου	Pearson Correlation	-,217	-,153	,178	1	-,449
λογάριθμος μέσης ταχυτητας	Pearson Correlation	,362	,359	,045	-,449	1

Πίνακας 5.27. Συσχετίσεις μεταβλητών - Μοντέλο 3.3.



**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,637 <sup>a</sup>	,406	,354	,052342437165130

Πίνακας 5.28. Περίληψη μοντέλου (Model Summary) - Μοντέλο 3.3.

**ANOVA<sup>a</sup>**

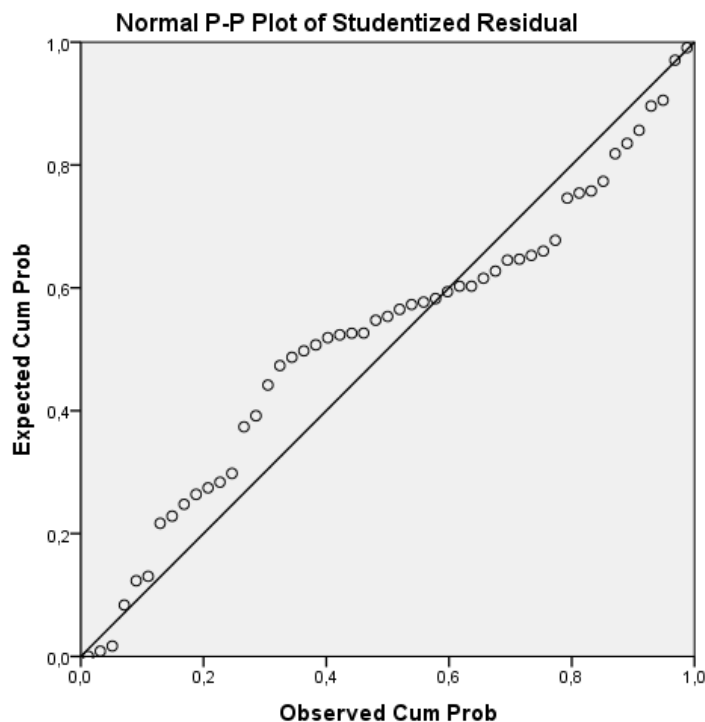
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,086	4	,022	7,851	,000 <sup>b</sup>
	Residual	,126	46	,003		
	Total	,212	50			

Πίνακας 5.29. Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) - Μοντέλο 3.3.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,915	,027		71,427	,000
	μέση αποσταση	2,99*10 <sup>(-4)</sup>	1,23*10 <sup>(-4)</sup>	,353	2,430	,019
	μέσος χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου	-,336	,098	-,401	-3,430	,001
	τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	,238	,088	,358	2,694	,010
	απότομη επιτάχυνση	,005	,003	,227	1,764	,084

Πίνακας 5.30. Μεταβλητές στην Εξίσωση (Variables in the Equation) - Μοντέλο 3.3.



Διάγραμμα 5.23 : Αθροιστική πιθανότητα σφάλματος για το μοντέλο σε αυτοκινητόδρομο

Μαθηματική σχέση:

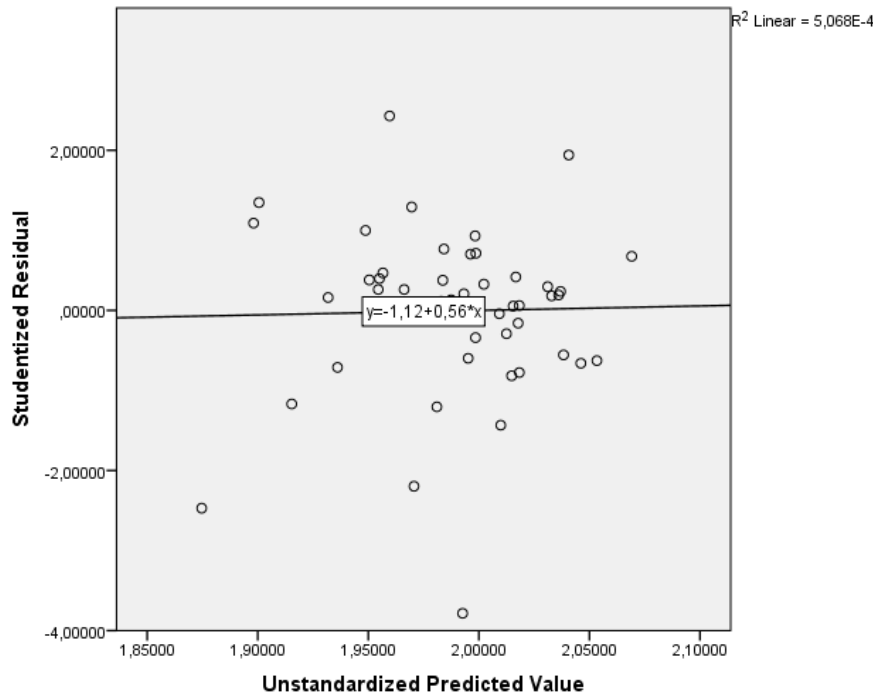
$$\log_{av\_V} = 1,915 + 2,99 \cdot 10^{-4} av\_totaldist + 0.005 av\_ha + 0.238 std\_avaccel - 0.336 av\_modileUsage$$

5.8.2. Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε τηρούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι.

- Ο συντελεστής συσχέτισης R<sup>2</sup> είναι καλός, ίσος με 0,35.
- Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται.
- Οι σταθεροί όροι (β<sub>i</sub>) είναι μικροί.
- Οι μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Ένας ακόμη έλεγχος είναι εκείνος που φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, όπου ο άξονας X αντιπροσωπεύει το μέγεθος zresid (Standard residual), δηλαδή τυπικά σφάλματα και ο άξονας Ψ το μέγεθος zpred (Standard Predicted Value), δηλαδή τις προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου.



Διάγραμμα 5.24 : Συσχέτιση και διασπορά των σφαλμάτων στο μοντέλο για αυτοκινητόδρομο

### 5.8.3. Σχολιασμός ποιότητας μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μία σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

- Για κάθε χιλιόμετρο που αυξάνεται η απόσταση που διανύει ένας οδηγός, ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας αυξάνεται κατά  $2,99 \cdot 10^{-4}$  m/s. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα διανύει ο οδηγός, τόσο πιο υψηλές ταχύτητες αναπτύσσει. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι μεγαλύτερες αποστάσεις σημαίνουν περισσότερη οδήγηση στο υπεραστικό οδικό δίκτυο όπου οι ταχύτητες κυκλοφορίας που αναπτύσσονται είναι υψηλότερες.
- Για μία επιπλέον απότομη επιτάχυνση, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,005m/s. Πιθανόν αυτό να συμβαίνει γιατί για να επιταχύνει ο οδηγός πατάει το γκάζι περισσότερο με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ταχύτητα.
- Για αύξηση μιας μονάδας της τυπικής απόκλισης της μέσης επιτάχυνσης, αυξάνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,238 m/s, πιθανόν γιατί η αύξηση αυτή της τυπικής απόκλισης της μέσης επιτάχυνσης οφείλεται στην αυξομείωση της ταχύτητας και άρα όσο υψηλότερες ταχύτητες αναπτύσσονται τόσο μεγαλώνει και η τυπική απόκλιση της μέσης επιτάχυνσης.

- Για 1 μονάδα αύξηση του χρόνου που ο οδηγός χρησιμοποιεί το κινητό του τηλέφωνο, μειώνεται ο λογάριθμος της μέσης ταχύτητας κατά 0,336 m/s. Ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου αποσπά την προσοχή του οδηγού και είναι αλλού συγκεντρωμένος με αποτέλεσμα να μειώνει και την ταχύτητά του.

#### 5.8.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μέση ταχύτητα οδήγησης			
	β <sub>i</sub>	t	Σχετική επιρροή	
			e <sub>i</sub>	e <sub>i</sub> *
μέση απόσταση	2,99*10 <sup>(-4)</sup>	2,430	,071	-9,55415
μέσος χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου	-,336	-3,430	-,007	1
τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης	,238	2,694	,025	-3,32433
απότομη επιτάχυνση	,005	1,764	,054	-7,25311

Πίνακας 5.31.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για αυτοκινητόδρομους

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Στη στήλη e<sub>i</sub>\* δίνεται ο βαθμός της σχετικής επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών **στο μοντέλο, για τον δείκτη συνολικής επίδοσης** παρατηρούνται τα εξής:

- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «μέση απόσταση» είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση και με τις τέσσερις ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της συνολικής απόστασης στον δείκτη συνολικής επίδοσης. Η τιμή της επιρροής είναι 0,071.
- ✓ Η μεταβλητή «μέσος χρόνος κινητού τηλεφώνου» εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, σε σχέση με την μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή, επηρεάζει το μοντέλο 9,5 φορές λιγότερο.
- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «μέση απότομη επιτάχυνση» έχει αρκετά μεγαλύτερη επιρροή από την επιρροή της μεταβλητής με την μικρότερη επιρροή. Επηρεάζει το μοντέλο 7,25 φορές περισσότερο.

- ✓ Η επιρροή της μεταβλητής «τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης» επηρεάζει το μοντέλο 3,3 φορές περισσότερο από την μεταβλητή με την μικρότερη επιρροή.

## 5.9. Συγκριτική ανάλυση μοντέλων

### 5.9.1. Ποιότητα μοντέλων

Η **σύγκριση** των μοντέλων οδήγησε στις παρακάτω βασικές παρατηρήσεις:

- ▶ Όλα τα μοντέλα περιλαμβάνουν ως ανεξάρτητες μεταβλητές την συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα που διανύει ο οδηγός καθώς επίσης και τον σταθερό όρο.
- ▶ Όλα τα αποτελέσματα των μοντέλων μπορούν να **εξηγηθούν λογικά**, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.
- ▶ Τα τελικά μοντέλα που παρουσιάζονται παραπάνω είναι τα **βέλτιστα** ως αποτέλεσμα πολλαπλών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν και συνεπώς **προβλέπουν** όσο το δυνατόν καλύτερα την εκάστοτε εξαρτημένη μεταβλητή.
- ▶ Όλοι οι **στατιστικοί έλεγχοι** ( $\text{Sig} < 0.05$ ,  $0.35 < R^2$ ) .
- ▶ Έγιναν **αποδεκτά** μοντέλα με επίπεδο σημαντικότητας κάτω από 0.01 ως αξιόπιστα.
- ▶ Ο συντελεστής διακύμανσης **δεν ξεπερνάει** το 0.9 κάτι το οποίο θα δήλωνε ότι το εκάστοτε μοντέλο δεν είναι αξιόπιστο καθώς συγκρίνονται όμοια στοιχεία.
- ▶ Στο γενικό μοντέλο και στα μοντέλα για εκτός και εντός κρίσιμων ωρών έχουν εισαχθεί οι **ίδιες ακριβώς μεταβλητές**.
- ▶ Σε όλα τα μοντέλα υπάρχει **μία παράμετρος για την επιτάχυνση** και την απόσταση. Αυτό είναι πολύ θετικό καθώς επηρεάζουν πολύ την μέση ταχύτητα.

### 5.9.2. Σχετική επιρροή μεταβλητών μοντέλων

Σύγκριση μοντέλων 1, 2.1, 2.2: Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού, Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού εντός και εκτός κρίσιμων ωρών.

Μεταβλητές	Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στα μοντέλα.		
	Μοντέλο 1: Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού	Μοντέλο 2.1. : Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εκτός κρίσιμων ωρών	Μοντέλο 2.2.: Πρόβλεψη μέσης ταχύτητας οδηγού αν οδηγεί εντός κρίσιμων ωρών
av_totaldist	1,090	1,000	1,182
av_ha	1,152	2,036	1,000
std_avdecel	5,872	1,000	5,858
time_rural	1,942	1,000	2,027

Πίνακας 5.32.: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο για αυτοκινητόδρομους

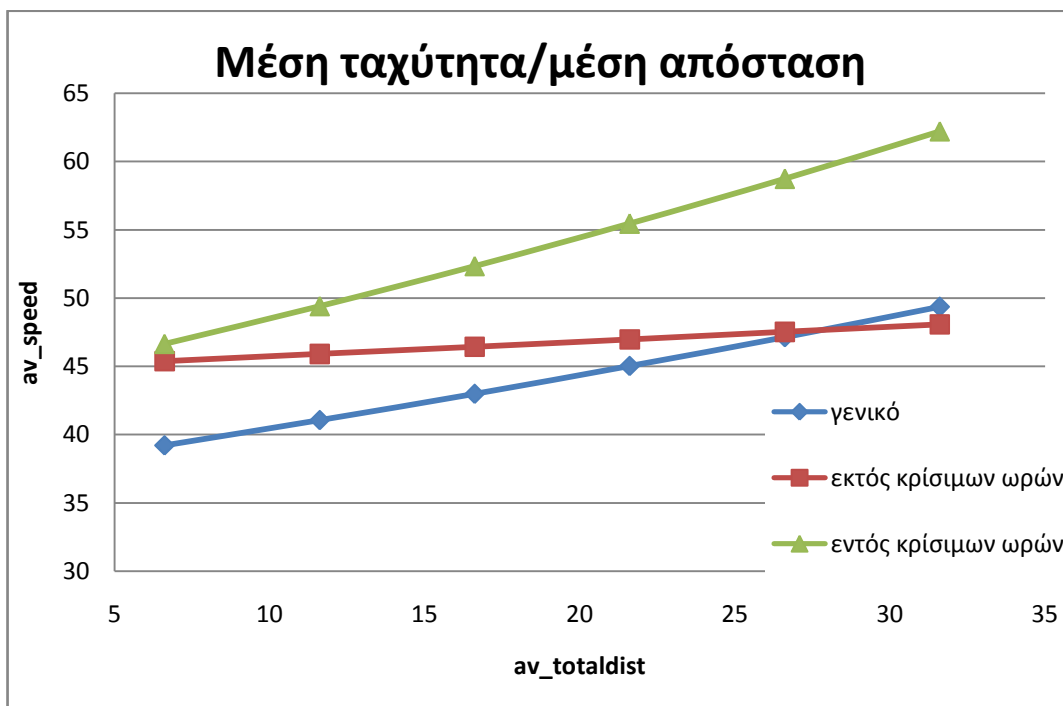
- ✓ Η μεταβλητή 'τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης' επηρεάζει την μέση ταχύτητα 5,85 φορές περισσότερο για το γενικό μοντέλο πρόβλεψης και το μοντέλο εντός των κρίσιμων ωρών από ότι το μοντέλο εκτός κρίσιμων ωρών. Αυτό ενδεχομένως να οφείλετε στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια εκτός των κρίσιμων ωρών λόγω της μεγαλύτερης κυκλοφορίας οχημάτων, οι οδηγοί επιβραδύνουν πιο συχνά διότι συναντούν εμπόδια στην πορεία τους, αλλά πιο ομαλά αφού δεν μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες και είναι αναμενόμενο ότι θα χρειαστεί να επιβραδύνουν.
- ✓ Η μεταβλητή 'ποσοστό του χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό' επηρεάζει την μέση ταχύτητα 2 φορές παραπάνω για το γενικό μοντέλο πρόβλεψης και το μοντέλο εντός των κρίσιμων ωρών από ότι το μοντέλο εκτός κρίσιμων ωρών. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι στις υπεραστικές οδούς κατά τις κρίσιμες ώρες δεν υπάρχει μεγάλος φόρτος και οι ταχύτητες που αναπτύσσονται είναι μεγαλύτερες.
- ✓ Αντίθετα, από την άλλη πλευρά ο 'μέσος αριθμός απότομων επιταχύνσεων' επηρεάζει την μέση ταχύτητα 2 φορές παραπάνω για το μοντέλο που προβλέπει την μέση ταχύτητα εκτός των κρίσιμων ωρών από τα άλλα δύο μοντέλα. Αυτό ίσως σχετίζεται με την αυξημένη κυκλοφορία κατά τις ώρες αυτές. Οι οδηγοί στο διάστημα εκτός των κρίσιμων ωρών, όταν μπροστά τους ανοίγεται χώρος πιθανόν επιταχύνουν πιο απότομα για να προλάβουν να προχωρήσουν περισσότερο, αφού μπορεί να πηγαίνουν σε κάποια δουλειά στην οποία δεν πρέπει να αργήσουν. Από την άλλη πλευρά το βράδυ συνήθως οι μετακινήσεις δεν σχετίζονται με υποχρεώσεις που είναι αυστηρά τα χρονικά περιθώρια και οι οδηγοί είναι πιο χαλαροί.

- ✓ Τέλος, ο μέσος όρος της συνολικής απόστασης που διανύει ο οδηγός επηρεάζει τον λογάριθμο της μέσης ταχύτητας για όλα τα μοντέλα σχεδόν το ίδιο. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η απόσταση που διανύει ο οδηγός σχετίζεται περισσότερο με τον τύπο της οδού και όχι με την ώρα. Σίγουρα η απόσταση επηρεάζει την ταχύτητα πολύ αλλά ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας.

### 5.9.3. Ανάλυση ευαισθησίας για συνδυασμό μοντέλων

Μετά την απεικόνιση και το σχολιασμό των διαγραμμάτων για το γενικό μοντέλο, έγιναν προσπάθειες να αποτυπωθεί σε ένα διάγραμμα το πόσο επηρεάζει η αύξηση της μέσης απόστασης του οδηγού την μέση ταχύτητά του για τα τρία μοντέλα που έχουν κοινές μεταβλητές, δηλαδή για το γενικό μοντέλο, για το μοντέλο που προσδιορίζει την ταχύτητα εντός των κρίσιμων ωρών και το μοντέλο που προσδιορίζει την ταχύτητα εκτός των κρίσιμων ωρών. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών εκτός της μέσης απόστασης κρατήθηκαν σταθερές και υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα κάθε μοντέλου για την κάθε μέση απόσταση. Έτσι προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.

- ❖ Διάγραμμα 5.25.: Μέση ταχύτητα προς μέση απόσταση για:
  - ✓  $av\_ha=1,71$
  - ✓  $std\_avdecel=0.34$
  - ✓  $\%time\_rural=0.52$



Παρατηρείται ότι και τα τρία μοντέλα ακολουθούν μια αυξητική πορεία σε σχέση με τη συνολική διανυόμενη απόσταση. Δηλαδή **όσο μεγαλύτερη μέση απόσταση διανύει ένας οδηγός, τόσο μεγαλύτερη είναι και η μέση ταχύτητά του**. Ακόμα διαπιστώνεται ότι το μοντέλο που προσδιορίζει την ταχύτητα εντός των κρίσιμων ωρών έχει τον μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης, και ακολουθεί το γενικό μοντέλο. Το μοντέλο που προσδιορίζει την ταχύτητα εκτός των κρίσιμων ωρών έχει αρκετά μικρότερο ρυθμό αύξησης της μέσης ταχύτητας.

Διατηρώντας όλες τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών, εκτός της μέσης απόστασης, σταθερές, υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα για κάθε μοντέλο. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι **το μοντέλο εντός των κρίσιμων ωρών δίνει πάντα μεγαλύτερες τιμές μέσης ταχύτητας σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα**. Το γενικό μοντέλο από την άλλη, είναι εκείνο που για μικρές αποστάσεις δίνει τις μικρότερες ταχύτητες, αλλά όσο μεγαλώνει η μέση απόσταση του οδηγού, λόγω του μεγαλύτερου ρυθμού αύξησης που έχει, από το μοντέλο που προσδιορίζει την μέση ταχύτητα εκτός των κρίσιμων ωρών, το μοντέλο που δίνει μικρότερες ταχύτητες για μεγάλες αποστάσεις είναι το μοντέλο που προσδιορίζει την ταχύτητα εκτός των κρίσιμων ωρών. Το σημείο που το γενικό μοντέλο δίνει της ίδιες μέσες ταχύτητες με το μοντέλο εκτός των κρίσιμων ωρών είναι για μέση απόσταση περίπου 27χλμ.

Τα αποτελέσματα που προηγήθηκαν αποτελούν ένα γνώμονα για την εξήγηση των συμπερασμάτων που ακολουθούν στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.



## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων**

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάπτυξη προτύπων ταχύτητας του οδηγού με βάση λεπτομερή δεδομένα οδήγησης από αισθητήρες κινητών τηλεφώνων .

Δεδομένου ότι η δυνατότητα αξιοποίησης των στοιχείων αυτών είναι σχετικά πρόσφατη, πρόκειται για ένα θέμα το οποίο δεν έχει μελετηθεί ιδιαίτερα ούτε διεθνώς ούτε στην Ελλάδα, ωστόσο, όπως προκύπτει και από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, τα τελευταία χρόνια χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας, παρατηρείται μία αυξανόμενη ενασχόληση του επιστημονικού κόσμου γύρω από το συγκεκριμένο ζήτημα.

Τα δεδομένα που **συλλέγονται** από τους αισθητήρες των κινητών τηλεφώνων μεταφέρονται μέσω WiFi ή 3G και **αποθηκεύονται** σε ειδικές μεγάλες βάσεις.

Τα δεδομένα **που αναλύθηκαν** αφορούσαν σε 18.853 μετακινήσεις, από 100 οδηγούς οι οποίοι οδήγησαν από τον Ιούλιο ως και τον Δεκέμβριο του 2016, οποιαδήποτε ώρα της ημέρας, η οποία όμως καταγραφόταν και σε οποιοδήποτε τύπο οδού, όπου και αυτός καταγράφονταν με την βοήθεια του GPS.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μία σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν πέντε μαθηματικά μοντέλα με τη μέθοδο της **γραμμικής παλινδρόμησης**, όπως αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Επισημαίνεται ότι η σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών κάθε μοντέλου στην αντίστοιχη εξαρτημένη μεταβλητή (μέση ταχύτητα) προσδιορίστηκε μέσω του μεγέθους της ελαστικότητας. Η σχετική επιρροή χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση της επιρροής της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Πρόβλεψη του λογαριθμού της μέσης ταχύτητας που χρησιμοποιεί ο κάθε οδηγός εάν οδηγεί :																		
	(γενικό μοντέλο)			εκτός κρίσιμων ωρών			εντός κρίσιμων ωρών			σε αστική οδό			σε επαρχιακή οδό			σε αυτοκινητόδρομο			
	βι	t	Σχετική επιποσά ει ei*	βι	t	Σχετική επιποσά ει ei*	βι	t	Σχετική επιποσά ει ei*	βι	t	Σχετική επιποσά ει ei*	βι	t	Σχετική επιποσά ει ei*	βι	t	Σχετική επιποσά ει ei*	
																			βι
σταθερά	1,554	38,87		1,726	49,83		1,548	38,63		1,21	32,18		1,593	99,94		1,915	71,43		
μέση απόσταση	,004	4,772	,182	5,222	,182	5,044	,167	5,035	,197	6,527	,201	3,415	,005	7,119	,225	3,069	2,99*10 <sup>(-4)</sup>	,071	-9,55
απόσταση επιτάχυνση	,012	1,965	,035	1,000	,014	2,505	,062	1,969	,030	1,000						,005	1,764	,054	-7,25
τυπική απόκλιση μέσης επιβράδυνσης	,255	3,803	,194	5,579	,070	1,769	,033	1,000	,194	6,412									
ποσοστό χρόνου οδήγησης σε υπεραστική οδό	-,183	-4,502	-,174	-4,994	-2,39	-5,533	-0,90	-2,707	-,182	-6,006									
μέση επιβράδυνση																			
τυπική απόκλιση μέσης επιτάχυνσης																			
απότομη στροφή																			
μέσος χρόνος χρήσης κινητού τηλεφώνου																			
<b>Συντελεστής Συσχέτισης</b>																			
				0,569		0,564		0,575		0,369		0,372		0,354					

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων

## **6.2 Συνολικά Συμπεράσματα**

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων, όπως αυτά συνοψίζονται παρακάτω:

- ✚ Οι οδηγοί που έχουν την τάση να **επιταχύνουν** πολύ, απότομα και συχνά, είναι και εκείνοι που τελικά αναπτύσσουν **μεγαλύτερες ταχύτητες**. Το ίδιο ισχύει και για την επιβράδυνση αλλά σε μικρότερο βαθμό.
- ✚ Διαπιστώθηκε ότι οι οδηγοί που διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις, άρα και **οδηγούν περισσότερο, αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες**. Συνεπώς οι οδηγοί αυτοί είναι περισσότερο επικίνδυνοι παρά την εμπειρία τους, αφού η εμπειρία αυτή τους ωθεί ενδεχομένως σε μεγαλύτερες ταχύτητες και δεν αξιοποιείται πάντα για πιο συνετή οδήγηση.
- ✚ Εξετάζοντας τους **απότομους ελιγμούς** του οδηγού, το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση με τις απότομες εναλλαγές ταχύτητας και, φυσικά, με την υπέρβαση του ορίου ταχύτητας. Δηλαδή, όσο περισσότερους απότομους ελιγμούς κάνει ο οδηγός τόσο περισσότερες εναλλαγές και υπερβάσεις στην ταχύτητά του εμφανίζει.
- ✚ Οι **απότομοι ελιγμοί για στροφή** όταν οι οδηγοί κινούνται σε αυτοκινητόδρομο είναι ελάχιστοι και πολύ λιγότεροι από εκείνους σε κάθε άλλο τύπο οδού. Σε αστική οδό παρατηρούνται οι περισσότεροι ελιγμοί στροφής. Στην υπεραστική οδό η συμπεριφορά των οδηγών τείνει να είναι όμοια με εκείνη των αστικών οδών, αλλά κάπως βελτιωμένη στην πλειοψηφία των οδηγών. Σε αυτό ενδεχομένως να επηρεάζει και το γεγονός ότι οι αυτοκινητόδρομοι είναι σχεδιασμένοι με μεγαλύτερες ακτίνες καμπύλης για υψηλότερες ταχύτητες.
- ✚ Η ώρα οδήγησης φαίνεται να επηρεάζει μόνο την ταχύτητα του οχήματος και όχι τη συνολική κυκλοφοριακή συμπεριφορά του οδηγού. Κατά τη διάρκεια **των επικίνδυνων ωρών**, παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας του οχήματος, κάτι το οποίο συμβαίνει –πιθανότατα– λόγω χαμηλότερου κυκλοφοριακού φόρτου στις οδούς. Παρόλα αυτά, δεν προκύπτει ότι στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ο οδηγός είναι πιο απρόσεκτος ή πιο επικίνδυνος καθώς στα υπόλοιπα μαθηματικά μοντέλα, το επίπεδο σημαντικότητας της μεταβλητής των επικίνδυνων ωρών ήταν ιδιαίτερα χαμηλό.

- ✚ Οι οδηγοί που έχουν την τάση να **επιταχύνουν περισσότερες φορές απότομα είναι και εκείνοι που επιβραδύνουν πιο συχνά απότομα**. Ενδεχομένως αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι οδηγοί που επιταχύνουν περισσότερο, για να σταματήσουν σύντομα και να μην δημιουργηθεί ατύχημα πρέπει να επέμβουν δραστικά και απότομα.
- ✚ Οι οδηγοί όταν κινούνται σε **αστική οδό τείνουν να οδηγούν πιο απότομα και να έχουν μεγαλύτερες μέσες επιταχύνσεις**, ενώ οι οδηγοί όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο έχουν πολύ χαμηλότερες επιταχύνσεις, ενδεχομένως διότι στους αυτοκινητόδρομους οι οδηγοί διατηρούν σταθερή ταχύτητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Στην υπεραστική οδό η συμπεριφορά τους τείνει να είναι λίγο καλύτερη (χαμηλότερες επιταχύνσεις) από εκείνη των αστικών οδών.
- ✚ Η **επιτάχυνση φάνηκε να επηρεάζει περισσότερο την ταχύτητα από την επιβράδυνση**, καθώς κάθε μοντέλο έχει έναν όρο επιτάχυνσης, ενώ όρο επιβράδυνσης δεν έχουν όλα τα μοντέλα. Προέκυψε επίσης για όλα τα μοντέλα, ότι το επίπεδο σημαντικότητας των μεταβλητών επιτάχυνσης ήταν μεγαλύτερο από εκείνο της επιβράδυνσης.
- ✚ Η **τυπική απόκλιση που παρουσιάζει η επιτάχυνση και η επιβράδυνση** κάθε οδηγού προέκυψε πως επηρεάζει σημαντικά τη μέση ταχύτητα. Πιθανόν να συμβαίνει αυτό γιατί εάν ένας οδηγός έχει μεγάλες διαφορές στις επιταχύνσεις και στις επιβραδύνσεις του ανά μετακίνηση, ενδέχεται να οδηγεί κάθε φορά υπό διαφορετικές συνθήκες και να τροποποιείται η ταχύτητά του από αυτές.
- ✚ Η **χιλιομετρική απόσταση** που έχει να διανύσει ένας οδηγός φάνηκε πως είναι καθοριστική για τη μέση ταχύτητα που θα αναπτύξει ο οδηγός, καθώς εμπεριέχεται σε όλα τα μοντέλα και στα περισσότερα, είναι η μεταβλητή με την μεγαλύτερη επιρροή.
- ✚ Μεγαλύτερες **διαφορές στη διάρκεια κίνησης από τη διάρκεια διαδρομής** εμφανίζονται σε αστικές και υπεραστικές οδούς, ενώ στους αυτοκινητόδρομους οι διαφορές είναι πολύ μικρές για όλους τους οδηγούς. Αυτό πιθανόν συμβαίνει γιατί στους αυτοκινητόδρομους δεν υπάρχουν οι καθυστερήσεις από τους φωτεινούς σηματοδότες.
- ✚ Η **χρήση του κινητού τηλεφώνου** για τη μέση ταχύτητα που θα αναπτύξει ο κάθε οδηγός, προέκυψε ότι επηρεάζει τη μέση ταχύτητα του οδηγού αλλά όχι τόσο όσο άλλες μεταβλητές.

- ✚ Οι οδηγοί **χρησιμοποιούν περισσότερο το κινητό τους τηλέφωνο** ενώ οδηγούν σε αστική οδό, ενώ αρκετά λιγότερο όταν κινούνται σε αυτοκινητόδρομο. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι στις αστικές οδούς ο οδηγός κινείται με πιο μικρή ταχύτητα και πραγματοποιεί περισσότερες στάσεις.
- ✚ Οι **μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές** κάθε μεταβλητής δεν έδειξαν να επηρεάζουν την μέση ταχύτητα. Οι τιμές αυτές σε κανένα μοντέλο δεν είχαν κάποιο σημαντικό επίπεδο σημαντικότητας και υψηλή συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή.
- ✚ Οι μεταβλητές, μέσος όρος παραγώγου της επιτάχυνσης (avjerk), παράγωγος επιτάχυνσης-ρυθμός μεταβολής επιτάχυνσης (avjerkp), μειούμενος ρυθμός παραγώγου επιτάχυνσης (avjerkn), **δεν φαίνεται να έχουν ουσιαστική επιρροή** στη ταχύτητα του οδηγού. Σε όλα τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν, οι συγκεκριμένες μεταβλητές εμφάνιζαν ένα ιδιαίτερα χαμηλό επίπεδο σημαντικότητας, καταδεικνύοντας μη σημαντική επιρροή στην μέση ταχύτητα του οδηγού που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.
- ✚ Από την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας αυτής προκύπτει ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα μπορούν να αποθηκευτούν ηλεκτρονικά σε ειδικά πληροφορικά συστήματα και περιέχουν ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες οι οποίες, μετά από κατάλληλη επεξεργασία και ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, μπορούν να χρησιμεύσουν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη **μέση ταχύτητα του οδηγού**, αλλά και για τη γενικότερη κυκλοφοριακή συμπεριφορά τους.

### **6.3 Προτάσεις για τη βελτίωση της συμπεριφοράς των οδηγών**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση μιας σειράς προτάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλλουν στη βελτίωση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς των οδηγών.

- Η χρήση των υπηρεσιών αυτόματης ενημέρωσης της συμπεριφοράς του οδηγού μέσω των έξυπνων κινητών τηλεφώνων όπως στην παρούσα Διπλωματική Εργασία θα επιτρέψει ενδεχομένως συνεχώς **περισσότεροι οδηγοί να ενημερώνονται και να βελτιώνουν τη συμπεριφορά τους.**

- Θα πρέπει να **ελέγχεται ηλεκτρονικά** η ταχύτητα των οχημάτων (ιδίως στους δρόμους ταχείας κυκλοφορίας) μέσω κάθε είδους ειδικών συσκευών, ώστε να γνωρίζουν οι αρμόδιοι φορείς ποιος υπερβαίνει τα νομοθετημένα όρια και να προβαίνουν στις απαραίτητες ενέργειες. Τα αποτελέσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμα για τον καθορισμό των προτεραιοτήτων των ελέγχων αυτών (χρονικές περίοδοι, θέσεις και συχνότητα ελέγχων, κλπ.)
- Απαιτείται ένα ολοκληρωμένο σχέδιο δράσης, μέσω **εκστρατειών ενημέρωσης** σε όλα τα μέσα ενημέρωσης και το διαδίκτυο, ώστε να επιτευχθεί η αλλαγή της νοοτροπίας των οδηγών και να αναδειχθούν οι κίνδυνοι που εγκυμονούν από την επικίνδυνη οδήγηση, αξιοποιώντας με έμφαση τα αποτελέσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.
- Πρέπει να υπάρξει μια συντονισμένη αντιμετώπιση του προβλήματος των οδικών ατυχημάτων από την Πολιτεία αλλά και από τους εκπαιδευτικούς φορείς, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το υπόβαθρο για τη δημιουργία υπεύθυνων και υποδειγματικών οδηγών από μικρή ηλικία. Είναι, λοιπόν, απαραίτητη η **ανάπτυξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων** αλλά και η ένταξη μαθημάτων οδικής ασφάλειας στα πλαίσια των σχολικών δραστηριοτήτων, αξιοποιώντας με έμφαση τα αποτελέσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

#### **6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα**

##### 6.4.1. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα με πρόσθετες μεταβλητές

Για την περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση κάποιων επιπλέον ανεξάρτητων μεταβλητών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αυτές που κρίνονται πιο σημαντικές:

- Θα ήταν ακόμα πιο χρήσιμα τα αποτελέσματα μίας ανάλογης έρευνας, αλλά έχοντας **μέσες ταχύτητες σε κάθε τύπο οδού** για αξιοποίηση όλων των δεδομένων και όχι μέρος αυτών, μειώνοντας σημαντικά το δείγμα.

- Θα ήταν χρήσιμο **να ήταν διαθέσιμα και στοιχεία με τα χαρακτηριστικά** του οδηγού, όπως το φύλο, τα χρόνια οδήγησης, η ηλικία κτλ., ώστε να μπορούν να ομαδοποιηθούν οι συμμετέχοντες και να εξαχθούν αποτελέσματα με βάση και με αυτά τα δημογραφικά χαρακτηριστικά.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε μία ανάλυση η οποία θα στηριζόταν σε **ακόμα περισσότερα δεδομένα**, όπως τα χαρακτηριστικά του οχήματος (κινητήριος δύναμη, ίπποι, ηλικία κτλ) ή τα χαρακτηριστικά της οδού και η κατάσταση του οδοστρώματος στο οποίο κινείται το όχημα.
- Επιπλέον, παράγοντες που επίσης επηρεάζουν την (μέση) ταχύτητα και πρέπει να εξεταστούν είναι **οι εκάστοτε κυκλοφοριακές συνθήκες** όπως καιρικές συνθήκες και ο κυκλοφοριακός φόρτος και η ταχύτητα και πυκνότητα κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της οδήγησης.
- Επίσης, θα μπορούσε να διερευνηθεί η επιρροή που έχουν στην συμπεριφορά του οδηγού οι **παράγοντες απόσπασης της προσοχής** του όπως παρουσία ή μη συνοδηγού και άλλων ατόμων (ειδικότερα παιδιών) εντός ή και εκτός του οχήματος.
- Επειδή η κυκλοφοριακή συμπεριφορά του κάθε οδηγού μεταβάλλεται ανάλογα και με την **ψυχολογική κατάσταση** του καθενός, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η εν λόγω έρευνα αφού πρώτα έχουν εξεταστεί οι συμμετέχοντες από ειδικούς ψυχολόγους.
- Η παρούσα ανάλυση πρέπει να διευρυνθεί, εντάσσοντας συνεχώς όλο και **περισσότερους και διαφορετικούς οδηγούς**, ώστε οι αναλύσεις και τα αποτελέσματα να καλύπτουν μεγαλύτερο φάσμα οδηγών και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

#### 6.4.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα με άλλες μεθόδους Ανάλυσης

Προκειμένου να επεξεργαστούν στατιστικά τα συλλεχθέντα στοιχεία και να αναπτυχθούν τα τελικά μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης και συγκεκριμένα αυτή της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Για περαιτέρω στατιστική ανάλυση και ανάπτυξη επιπλέον μοντέλων, θα φαινόταν χρήσιμη η **εξέταση και άλλων μεθόδων στατιστικής ανάλυσης**. Για παράδειγμα με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης ή με ανάλυση παραγόντων (Factor Analysis), ή διωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης.

#### 6.4.3. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα με μηχανήματα μεγαλύτερης ακρίβειας.

Κρίνεται σκόπιμο σε επόμενες έρευνες να γίνει **χρήση πιο σύγχρονων τεχνολογιών καταγραφής της συμπεριφοράς του οδηγού επί του οχήματος**, όπως ακριβέστερων μηχανημάτων GPS, ραντάρ μέτρησης της πλευρικής θέσης οχήματος, της ταχύτητας αντίδρασης και της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα, καθώς και καμερών εντός και εκτός του οχήματος. Επιπλέον, η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων με σύγχρονες μεθόδους, όπως η πολύπλοκη τοπογραφική διαδικασία της διόρθωσης συντεταγμένων των GPS, θα καταστήσει δυνατή τη συλλογή ακριβέστερων στοιχείων και παραμέτρων οδικής ασφάλειας με αντικειμενικό τρόπο.

Όμως πρέπει να τονιστεί ότι σε όλα παίζει σημαντικό ρόλο και το κόστος. Τα δεδομένα στην παρούσα Διπλωματική Εργασία συλλέχτηκαν από το κινητό, έναν τρόπο ιδιαίτερα οικονομικό και εύκολο να χρησιμοποιηθεί. Συνεπώς αυτό που θα μπορούσε να βελτιωθεί είναι η ακρίβεια του GPS που έχει το κινητό, να γίνονται τυχόν διορθώσεις σε σφάλματα, ακόμα και να χρησιμοποιηθεί η κάμερα που ήδη έχει το κινητό για να καταγράψει την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα.



## **7. Βιβλιογραφία**

1. Athanasios Theofilatos, George Yannis. "A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety." *Department of Transportation Planning and Engineering*, 2014
2. Cameron, M.H. , Elvik, R.. "Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Does it apply on urban roads?" *Institute of Transport Economics (Norway)*, 2008
3. Thomas A. Dingus, Feng Guoa, Suzie Leea, Jonathan F. Antina, Miguel Pereza, Mindy Buchanan-Kinga and Jonathan Hankeya. " Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data" *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016
4. Farmer, Charles M., Bevan B. Kirley, and Anne T. McCartt. "Effects of invehicle monitoring on the driving behavior of teenagers." *Journal of Safety Research*, p:39-45, 2010.
5. International Traffic Safety Data and Analysis Group (IRTAD), <https://www.itf-oecd.org/IRTAD>, Ημερομηνία πρόσβασης: 10/4/2017
6. Letty Aarts , Ingrid van Schagen. "Driving speed and the risk of road crashes." *Institute for Road Safety Research SWOV*, 2006.
7. Ohta, Tohru, and Shouji Nakajima. "Development of a driving data recorder." *JSAE Review*, p:255-258, 1994.
8. Prato, Carlo Giacomo, et al. "Modeling the behavior of novice young drivers during the first year after licensure." *Accident Analysis & Prevention*, p:480-486, 2010.
9. Rune Elvik. "The Power Model of the relationship between speed and road safety." *Institute of Transport Economics*, 2009.
10. Toledo, Tomer, Oren Musicant, and Tsippy Lotan. "In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, p: 320-331, 2008.
11. Tselentis D.I., Yannis G., Vlahogianni E.I.. "Innovative motor insurance schemes: A review of current practices and emerging challenges." *Accident Analysis & Prevention*, p:139-148, 2017

12. Vaiana, Rosolino, et al. "Driving behavior and traffic safety: an accelerationbased safety evaluation procedure for smartphones." *Modern Applied Science*, p:88, 2014
13. Wang, Chao , Quddus, Mohammed A , Ison, Stephen G. "Factors Affecting Road Safety: A Review and Future Research Direction." *Transportation Research Board*, 2012
14. World Health Organization, "Global Status Report on Road Safety", 2013  
[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2013/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/)  
Ημερομηνία πρόσβασης: 25/3/2017
15. World Health Organization, "Road traffic injuries", Μάιος 2016  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>,  
Ημερομηνία πρόσβασης: 25/3/2017
16. [www.aodos.gr](http://www.aodos.gr)  
[http://www.aodos.gr/symboules\\_symboules/arthro/yperboliki\\_taxytita-15424038/](http://www.aodos.gr/symboules_symboules/arthro/yperboliki_taxytita-15424038/), Ημερομηνία πρόσβασης: 25/3/2017
17. Yannis G., Tselentis D., Papadimitriou E., Mavromatis S.. "Star rating driver traffic and safety behavior through OBD and smartphone data collection." *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Intelligent Transport Systems, Technical University of Brest, Brest, Belarus*, 2016.
18. Zaldivar, Jorge, et al. "Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones." *Local Computer Networks (LCN)*, 2011.
19. Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΑΤ), 2000-2016  
<http://www.statistics.gr/documents/20181/eef47aa7-2e18-463a-89cc-7133bf79f41b>, Ημερομηνία πρόσβασης: 25/3/2017
20. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι., "Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική με Εφαρμογές", Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2010 *Emerging Technologies* 16.3 (2008): 320-331.
21. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., "Οδική Ασφάλεια", Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1994
22. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ.Χ., "Κυκλοφοριακή Τεχνική", Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009