



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Κρίσιμοι παράγοντες επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας

Διπλωματική Εργασία

Αγγελική Μακρή

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2021

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την υποστήριξή του και για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια εκπόνησής της. Επιπλέον, οφείλω να τον ευχαριστήσω για την πολύτιμη καθοδήγηση αλλά και για τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω εξίσου θερμά την Βιργινία Πετράκη, Υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π. για την καθοριστική συμβολή της στην ολοκλήρωση της εργασίας, για την ηθική υποστήριξή της, για τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές της, την επιμονή και την υπομονή της δίνοντας απαντήσεις σε οποιοδήποτε ερώτημα προέκυπτε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική και οικονομική στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και τη βοήθειά τους να πετύχω τους στόχους μου. Επίσης, ευχαριστώ όλους τους φίλους μου για την υποστήριξή τους και τις πολύ όμορφες στιγμές των φοιτητικών μου χρόνων.

Αθήνα, Ιούλιος 2021

Αγγελική Μακρή

Σύνοψη

Κρίσιμοι παράγοντες επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας

Αγγελική Μακρή

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

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο προσδιορισμός των **κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας (Ιούνιος – Οκτώβριος 2020). Για το σκοπό αυτό καταγράφηκε ο χρόνος διαδρομής σε επιλεγμένα οδικά τμήματα μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google (GoogleMapsAPI). Ο κυκλοφοριακός φόρτος οχημάτων και πεζών και η σύνθεση της κυκλοφορίας, συλλέχθηκαν μέσω μετρήσεων πεδίου για την εξεταζόμενη περίοδο και η τελική βάση δεδομένων συμπληρώθηκε με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση οδικών τμημάτων. Για την ανάλυση αναπτύχθηκαν, πέντε μαθηματικά μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης που αποτυπώνουν τη συσχέτιση μεταξύ του χρόνου διαδρομής και των παραγόντων που τον επηρεάζουν στην οδό Πανεπιστημίου και σε κάθε κατηγορία υπό εξέταση οδικού άξονα. Από την εφαρμογή των μοντέλων προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας σχετίζονται σημαντικά με τον κυκλοφοριακό φόρτο των επιβατικών ΙΧ, των μοτοσυκλετών, των ταξί, των λεωφορείων και των φορτηγών, με τους ήπιους τρόπους μεταφοράς όπως η κίνηση πεζή και η ποδηλασία αλλά και με την οδική υποδομή όπως είναι ο αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων και λεωφορειολωρίδων. Τέλος, στην Πανεπιστημίου, η αύξηση της διατομής της οδού από τρεις σε τέσσερις κυκλοφοριακές λωρίδες που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας, οδήγησε σε αύξηση του χρόνου διαδρομής.

Λέξεις κλειδιά: χρόνος διαδρομής, οδικά τμήματα, κυκλοφορία, γεωμετρικά χαρακτηριστικά, γραμμική παλινδρόμηση, λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση

Abstract

Critical impact factors of travel time in Athens

Angeliki Makri

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

The aim of this Diploma Thesis is the identification of the critical factors affecting travel time in Athens, during the pilot implementation of the Athens Great Walk (June - October 2020). For this purpose, travel time data was recorded in specific road sections via GoogleMapsAPI. The traffic volume of vehicles and pedestrians along with the modal split were collected through field measurements for the period examined and the final database was completed with the geometric features of the road sections examined. Five statistical models of linear regression and lognormal regression were developed in order to capture the correlation between travel time and the factors affecting it on Panepistimiou street and in each category of road axes considered. The results revealed that the factors affecting travel time in the center of Athens are significantly related to the traffic of passenger cars, taxis, buses and trucks, with eco friendly modes of transport such as walking and cycling as well as road infrastructure which includes the number of traffic lanes and bus lanes. In conclusion, on Panepistimiou street, the cross sectional road increase from three to four lanes that took place in the second phase of the pilot implementation of the Great Walk of Athens, led to travel time increase.

Keywords: travel time, road sections, traffic, geometric characteristics, linear regression, lognormal regression

Περίληψη

Ο χρόνος διαδρομής αποτελεί ένα θεμελιώδες μέτρο στις μεταφορές. Τα δεδομένα χρόνου διαδρομής μπορούν να αξιοποιηθούν στον σχεδιασμό μεταφορών αλλά και στην αξιολόγηση αυτών. Ωστόσο, ο χρόνος διαδρομής επηρεάζεται από μια σειρά διαφορετικών παραγόντων με αποτέλεσμα η ακριβής πρόβλεψή του να είναι δύσκολη. Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο προσδιορισμός των **κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας (Ιούνιος- Οκτώβριος 2020). Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται να εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο ο κυκλοφοριακός φόρτος, η κυκλοφορία πεζών, η σύνθεση της κυκλοφορίας, τα οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθώς και η περίοδος αιχμής καθορίζουν το χρόνο διαδρομής των οχημάτων σε διαδρομές επί της οδού Πανεπιστημίου, λοιπών κεντρικών οδικών αξόνων, οδικών αξόνων εισόδου και εξόδου και περιφερειακών οδικών αξόνων στο κέντρο της Αθήνας.

Για το σκοπό αυτό καταγράφηκαν **κυκλοφοριακά δεδομένα** σε επιλεγμένα οδικά τμήματα της Αθήνας όπως ο χρόνος διαδρομής μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google (GoogleMapsAPI). Ο κυκλοφοριακός φόρτος οχημάτων και πεζών και η σύνθεση της κυκλοφορίας σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσυκλέτες, ποδήλατα και πατίνια, συλλέχθηκαν μέσω μετρήσεων πεδίου για την εξεταζόμενη περίοδο (15/06/2020-23/10/2020). Η τελική βάση δεδομένων συμπληρώθηκε με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση οδικών τμημάτων τα οποία συγκεντρώθηκαν μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google.

Καταρχήν, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων που οδήγησε σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Στη συνέχεια, μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μία σειρά δοκιμών, αναπτύχθηκαν, με τις μεθόδους της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης, **πέντε μαθηματικά μοντέλα** που αποτυπώνουν τη συσχέτιση μεταξύ του χρόνου διαδρομής και των παραγόντων που τον επηρεάζουν, για κάθε κατηγορία οδών όπως παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων

Πρόβλεψη των κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής															
	Πανεπιστημίου			Κεντρικοί Οδικοί Άξονες			Οδικοί Άξονες Εισόδου			Οδικοί Άξονες Εξόδου			Περιφερειακοί Οδικοί Άξονες		
Ανεξάρτητες μεταβλητές			Σχετική επιρροή ει*			Σχετική επιρροή ει*			Σχετική επιρροή ει*			Σχετική επιρροή ει*			Σχετική επιρροή ει*
	βι	t		βι	t		βι	t		βι	t		βι	t	
Κυκλοφοριακός φόρτος μοτοσυκλετών	0,001	5,857	2,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ	-2,782	-5,026	-1,97	-0,367	-5,131	-5,25	-0,480	-3,814	-3,50	-	-	-	-0,921	-11,221	-118,63
Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων	23,540	3,045	1,00	7,231	14,503	4,06	-	-	-	-	-	-	2,660	2,217	3,10
Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών	0,0004	5,768	1,00	0,00003	3,283	1,00	0,0001	2,859	1,00	-	-	-	-	-	-
Κυκλοφοριακές λωρίδες επί της Πανεπιστημίου	1,111	8,618	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων	-	-	-	-0,475	-36,398	-43,19	-0,163	-8,193	-9,08	-	-	-	-	-	-
Περίοδος αιχμής	-	-	-	-0,100	-10,037	1,00	0,115	5,918	1,00	-	-	-	0,096	7,926	1,00
Κυκλοφοριακός φόρτος φορτηγών	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	2,303	2,73	-0,0005	-4,260	-12,88
Λεωφορειολωρίδες	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,025	-30,469	1,00	-	-	-
Κυκλοφοριακός φόρτος ποδηλάτων	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,009	1,931	1,00	-	-	-
Ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσυκλετών	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,246	2,158	4,70	-	-	-
Ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,214	2,229	1,00
Ποσοστό κυκλοφορίας ταξί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,812	10,691	56,01
R ²	0,633			0,791			0,307			0,81			0,458		

Επισημαίνεται ότι η **σχετική επιρροή** των ανεξάρτητων μεταβλητών κάθε μοντέλου στην αντίστοιχη εξαρτημένη μεταβλητή προσδιορίστηκε μέσω του μεγέθους της ελαστικότητας. Η σχετική επιρροή χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση της επιρροής της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, δίνοντας με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

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

1. Οι **παράμετροι που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής** στο κέντρο της Αθήνας σχετίζονται σημαντικά με τον κυκλοφοριακό φόρτο των διαφορετικών μέσων και τρόπων μετακίνησης (επιβατικά ΙΧ, μοτοσυκλέτες, ταξί, λεωφορεία / φορτηγά, ποδήλατο, πεζή) αλλά και με τα χαρακτηριστικά της οδικής υποδομής (αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, λεωφορειολωρίδες).

2. Στην οδό Πανεπιστημίου, η αύξηση της διατομής της οδού από τρεις (Α Φάση) σε τέσσερις (Β Φάση) λωρίδες κυκλοφορίας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του **Μεγάλου Περιπάτου** της Αθήνας, οδήγησε σε αύξηση του χρόνου διαδρομής. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι η επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας προσέλκυσε επιπλέον οχήματα (και παράνομα σταθμευμένα), σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση μετακινήσεων το φθινόπωρο (Β Φάση) σε σχέση με το καλοκαίρι (Α Φάση), με αποτέλεσμα μεγαλύτερη συμφόρηση και υψηλότερους χρόνους διαδρομής.
3. **Το ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο διαδρομής** στα τέσσερα από τα πέντε στατιστικά μοντέλα. Οι παράμετροι ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων, κυκλοφοριακός φόρτος πεζών και περίοδος αιχμής συμμετέχουν στη διαμόρφωση του χρόνου διαδρομής σε τρία μοντέλα. Σε δύο ή λιγότερα μοντέλα, οι παράμετροι που καθορίζουν τον χρόνο διαδρομής είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος των μοτοσυκλετών, ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας επί της Πανεπιστημίου, ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας της οδού, ο κυκλοφοριακός φόρτος των φορτηγών και ποδηλάτων, οι λεωφορειολωρίδες, το ποσοστό κυκλοφορίας ταξί, μοτοσυκλετών και ποδηλάτων.
4. Οι κεντρικοί οδικοί άξονες και οι οδικοί άξονες εισόδου παρουσιάζουν **όμοια συμπεριφορά ως προς τους παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής**. Τα δύο αυτά στατιστικά μοντέλα έχουν τις ίδιες ανεξάρτητες μεταβλητές (ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ, κυκλοφοριακός φόρτος πεζών, αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, περίοδος αιχμής) με μόνη διαφορά ότι το μοντέλο των κεντρικών οδικών αξόνων έχει μία μεταβλητή επιπλέον (ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων).
5. Το **ποσοστό χρήσης των επιβατικών ΙΧ οχημάτων** οδηγεί σε μείωση του χρόνου διαδρομής σε όλες τις κατηγορίες οδικών αξόνων εκτός από τους οδικούς άξονες εξόδου, όπου δεν εμφανίζει κάποια επιρροή. Συγκεκριμένα, σε όσα μοντέλα συμμετέχει, επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής. Πιθανόν, αυτό να συμβαίνει διότι η συνολική ροή κυκλοφορίας είναι καλύτερη σε συνθήκες με λιγότερα βαρέα οχήματα (λεωφορεία, φορτηγά) και ταξί και μοτοσυκλέτες.
6. Όσον αφορά στους **ήπιους τρόπους μετακίνησης**, η κυκλοφορία πεζών προκύπτει στατιστικά σημαντική μόνο στην οδό Πανεπιστημίου, στους κεντρικούς οδικούς άξονες και στους οδικούς άξονες εισόδου, ενώ η επιρροή της σε όλους τους προαναφερόμενους άξονες οδηγεί σε αύξηση του χρόνου διαδρομής των οχημάτων, πιθανόν λόγω του ότι οι πεζοί μπορεί να διασχίζουν το δρόμο με κόκκινο σηματοδότη πεζών καθυστερώντας τη λοιπή κυκλοφορία. Τα ποδήλατα επηρεάζουν τους άξονες εξόδου και τους περιφερειακούς και η επιρροή τους οδηγεί σε αύξηση του χρόνου διαδρομής. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι ποδηλάτες να χρησιμοποιούν οδικό χώρο που αντιστοιχεί στα υπόλοιπα οχήματα και όντας ευάλωτοι χρήστες να προκαλούν καθυστερήσεις στη λοιπή κυκλοφορία.
7. Όσον αφορά στην οδό **Πανεπιστημίου**, ο **κυκλοφοριακός φόρτος των μοτοσυκλετών** αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα επιρροής του χρόνου διαδρομής. Συγκεκριμένα, εάν αυξηθεί η ωριαία κυκλοφορία των μοτοσυκλετών επί της

Πανεπιστημίου, παρατηρείται αύξηση του χρόνου διαδρομής, ενδεχομένως λόγω των συχνών προσπεράσεων και εναλλαγών στις κυκλοφοριακές λωρίδες.

8. Στους **κεντρικούς και στους οδικούς άξονες εισόδου**, το **ποσοστό χρήσης των επιβατικών ΙΧ** οχημάτων καθώς και ο αριθμός των **λωρίδων κυκλοφορίας** προκύπτει ότι επηρεάζουν σε σημαντικότερο βαθμό τον χρόνο διαδρομής των οχημάτων στους υπό εξέταση οδικούς άξονες. Πιο συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας, ο χρόνος διαδρομής μειώνεται. Επίσης, καθώς αυξάνεται το ποσοστό χρήσης επιβατικών ΙΧ, ο χρόνος διαδρομής μειώνεται, κάτι που θα μπορούσε να οφείλεται στην ταυτόχρονη μείωση της χρήσης των ταξί και των μοτοσυκλετών που ενδεχομένως να καθυστερούν την λοιπή κυκλοφορία με τις συνεχόμενες στάσεις επιβίβασης-αποβίβασης και τους συχνούς ελιγμούς αντίστοιχα.
9. Στους **οδικούς άξονες εξόδου**, η πιο κρίσιμη μεταβλητή είναι το **ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσυκλετών**. Ειδικότερα, όσο αυξάνεται το ποσοστό, προκαλείται αύξηση και στον χρόνο διαδρομής. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, από το γεγονός ότι οι μοτοσυκλέτες πραγματοποιώντας προσπεράσεις και ελιγμούς στις λωρίδες κυκλοφορίας, καθυστερούν την κυκλοφορία των λοιπών οχημάτων με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής.
10. Όσον αφορά στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες**, η καθοριστικότερη μεταβλητή είναι το **ποσοστό κυκλοφορίας των ΙΧ**. Συγκεκριμένα, αύξηση του ποσοστού κυκλοφορίας ΙΧ επιφέρει μείωση στον χρόνο διαδρομής. Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι όσο αυξάνεται το ποσοστό κυκλοφορίας των ΙΧ, μειώνεται το ποσοστό κυκλοφορίας άλλων μεγάλων μέσων που καταλαμβάνουν περισσότερο οδικό χώρο και προκαλούν καθυστερήσεις, αυξάνοντας το χρόνο διαδρομής. Επίσης, πολύ σημαντική είναι η επιρροή του ποσοστού κυκλοφορίας των ταξί. Η μεταβλητή αυτή έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει ότι αύξηση του ποσοστού κυκλοφορίας των ταξί προκαλεί αύξηση του χρόνου διαδρομής.
11. Αναφορικά με την **περίοδο αιχμής** παρατηρείται ότι στους **κεντρικούς οδικούς άξονες**, ο χρόνος διαδρομής είναι αυξημένος κατά την πρωινή αιχμή συγκριτικά με την απογευματινή ενώ στους **οδικούς άξονες εισόδου** και στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες** παρατηρείται το αντίθετο. Όσον αφορά στους κεντρικούς οδικούς άξονες, ενδεχομένως αυτό να εξηγείται από την πρωινή μετακίνηση των οδηγών προς την εργασία τους. Όσον αφορά στους οδικούς άξονες εισόδου και στους περιφερειακούς, ο αυξημένος χρόνος διαδρομής ενδεχομένως να οφείλεται στη μετακίνηση με σκοπό τα ψώνια και την αναψυχή αλλά και στην επιστροφή από την εργασία.
12. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους της **πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης**, που αποδείχθηκαν κατάλληλες για τέτοιου είδους ανάλυση. Η ανάλυση των στοιχείων με τις προαναφερόμενες μεθόδους οδήγησε στην ανάπτυξη αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων προσδιορισμού των κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενική ανασκόπηση.....	1
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.3 Μεθοδολογία.....	3
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	5
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	6
2.1 Πρακτικές Βιώσιμης Κινητικότητας.....	6
2.1.1 Νέα Υόρκη.....	7
2.1.2 Στοκχόλμη.....	7
2.1.3 Μπορντό.....	8
2.1.4 Μπράιτον.....	9
2.1.5 Ολλανδία.....	9
2.2 Χρόνος Διαδρομής.....	11
2.2.1 Παράγοντες Επιρροής Χρόνου Διαδρομής.....	11
2.2.2 Μέθοδοι Συλλογής Δεδομένων Χρόνου Διαδρομής.....	11
2.3 Σύνοψη διεθνούς ανασκόπησης για τις πρακτικές βιώσιμης κινητικότητας.....	13
2.4 Σύνοψη διεθνούς ανασκόπησης για το χρόνο διαδρομής.....	13
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	15
3.1 Εισαγωγή.....	15
3.2 Βασικές Έννοιες Στατιστικής.....	15
3.3 Μαθηματικά μοντέλα.....	16
3.3.1 Γραμμική Παλινδρόμηση.....	16
3.3.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση.....	17
3.3.3 Ανάλυση χρονοσειρών με μοντέλα ARIMA.....	18
3.4 Στατιστική αξιολόγηση και Κριτήρια αποδοχής μοντέλου.....	19
4. Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων.....	22
4.1 Εισαγωγή.....	22
4.2 Συλλογή Δεδομένων.....	22
4.2.1 Χρόνος Διαδρομής.....	22
4.2.2 Σύνθεση Κυκλοφορίας και Κυκλοφοριακοί Φόρτοι.....	23
4.2.3 Χαρακτηριστικά Οδικών Αξόνων.....	24
4.2.4 Σύνοψη στοιχείων μετρήσεων.....	25
4.3 Επεξεργασία Στοιχείων.....	25
4.3.1 Σύνθεση Κυκλοφορίας.....	25

4.3.2 Κυκλοφοριακός Φόρτος	28
4.3.3 Χρόνος Διαδρομής	31
4.4 Σύνοψη	33
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα	35
5.1 Εισαγωγή	35
5.2 Ανάπτυξη μοντέλων παλινδρόμησης με τη γλώσσα προγραμματισμού R	36
5.2.1 Δεδομένα εισόδου – Καθορισμός μεταβλητών	36
5.2.2 Συσχέτιση των μεταβλητών	37
5.2.3 Μοντέλα Γραμμικής και Λογαριθμοκανονικής Παλινδρόμησης	37
5.3 Εφαρμογή στατιστικών μοντέλων προσδιορισμού των παραγόντων που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής	38
5.3.1 Γενικό μοντέλο για όλες τις κατηγορίες οδών	40
5.3.1.1 Ανάπτυξη Μοντέλου	40
5.3.1.2 Ποιότητα μοντέλου	41
5.3.1.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	41
5.3.2 Μοντέλο 1 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στην Πανεπιστημίου	41
5.3.2.1 Ανάπτυξη Μοντέλου	41
5.3.2.2 Ποιότητα μοντέλου	43
5.3.2.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	43
5.3.2.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών	44
5.3.2.5 Ανάλυση ευαισθησίας	45
5.3.3 Μοντέλο 2 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες	46
5.3.3.1 Ανάπτυξη μοντέλου	46
5.3.3.2 Ποιότητα μοντέλου	48
5.3.3.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	48
5.3.3.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών	49
5.3.3.5 Ανάλυση ευαισθησίας	50
5.3.4 Μοντέλο 3 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εισόδου	51
5.3.4.1 Ανάπτυξη Μοντέλου	51
5.3.4.2 Ποιότητα μοντέλου	52
5.3.4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	52
5.3.4.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών	53
5.3.4.5 Ανάλυση ευαισθησίας	54

5.3.5 Μοντέλο 4 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εξόδου.....	55
5.3.5.1 Ανάπτυξη Μοντέλου	55
5.3.5.2 Ποιότητα μοντέλου	56
5.3.5.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	56
5.3.5.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών.....	57
5.3.5.5 Ανάλυση ευαισθησίας	57
5.3.6 Μοντέλο 5 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες.....	58
5.3.6.1 Ανάπτυξη μοντέλου.....	58
5.3.6.2 Ποιότητα μοντέλου	59
5.3.6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου	59
5.3.6.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών.....	60
5.3.6.5 Ανάλυση ευαισθησίας	61
6. Συμπεράσματα	63
6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων	63
6.2 Συνολικά Συμπεράσματα.....	64
6.3 Προτάσεις για τη βελτίωση της κυκλοφορίας και της κινητικότητας στην Αθήνα.....	67
6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	67
7. Βιβλιογραφία	69

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 2. 1: Πρακτικές βιώσιμης κινητικότητας	10
Πίνακας 3. 1: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t	20
Πίνακας 4. 1: Ανεξάρτητες μεταβλητές και χαρακτηριστικά τους	25
Πίνακας 5. 1: Μοντέλα ARIMA.....	35
Πίνακας 5. 2: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Γενικό Μοντέλο	40
Πίνακας 5. 3: Μεταβλητές στην εξίσωση – Γενικό Μοντέλο.....	40
Πίνακας 5. 4: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 1	42
Πίνακας 5. 5: Μεταβλητές στην Εξίσωση - Μοντέλο 1	43
Πίνακας 5. 6: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 1	45
Πίνακας 5. 7: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 2.....	47
Πίνακας 5. 8: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 2	47
Πίνακας 5. 9: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 2.....	49
Πίνακας 5. 10: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 3	51
Πίνακας 5. 11: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 3	52
Πίνακας 5. 12: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 3.....	53
Πίνακας 5. 13: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 4.....	55
Πίνακας 5. 14: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 4	55
Πίνακας 5. 15: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 4.....	57
Πίνακας 5. 16: Συσχέτιση ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 5	58
Πίνακας 5. 17: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 5	59
Πίνακας 5. 18: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών -Μοντέλο 5.....	60
Πίνακας 6. 1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων	64

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. 1: Διάγραμμα των διαδοχικών σταδίων της Διπλωματικής Εργασίας	4
Διάγραμμα 4. 1: Σύνθεση κυκλοφορίας στους κεντρικούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή	26
Διάγραμμα 4. 2: Σύνθεση κυκλοφορίας στους οδικούς άξονες εισόδου κατά την πρωινή αιχμή	26
Διάγραμμα 4. 3: Σύνθεση κυκλοφορίας στους οδικούς άξονες εξόδου κατά την πρωινή αιχμή	27
Διάγραμμα 4. 4: Σύνθεση κυκλοφορίας στους περιφερειακούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή	27
Διάγραμμα 4. 5: Κυκλοφοριακός φόρτος στους κεντρικούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή	28
Διάγραμμα 4. 6: Κυκλοφοριακός φόρτος στους οδικούς άξονες εισόδου κατά την πρωινή αιχμή	29
Διάγραμμα 4. 7: Κυκλοφοριακός φόρτος στους οδικούς άξονες εξόδου κατά την πρωινή αιχμή	29
Διάγραμμα 4. 8: Κυκλοφοριακός φόρτος στους περιφερειακούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή	30
Διάγραμμα 4. 9: Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών κατά την πρωινή αιχμή.....	30
Διάγραμμα 4. 10: Χρόνος διαδρομής στους κεντρικούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή	31
Διάγραμμα 4. 11: Χρόνος διαδρομής στους οδικούς άξονες εισόδου κατά την πρωινή αιχμή	32
Διάγραμμα 4. 12: Χρόνος διαδρομής στους οδικούς άξονες εξόδου κατά την πρωινή αιχμή	32
Διάγραμμα 4. 13: Χρόνος διαδρομής στους περιφερειακούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή	32
Διάγραμμα 4. 14: Χρόνος διαδρομής στην Πανεπιστημίου κατά την πρωινή αιχμή	33
Διάγραμμα 5. 1: Πατηρούμενος και προβλεπόμενος χρόνος διαδρομής στην Πανεπιστημίου και στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες (με το καλοκαίρι).....	36
Διάγραμμα 5. 2: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου πεζών και των κυκλοφοριακών λωρίδων επί της Πανεπιστημίου.....	46
Διάγραμμα 5. 3: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου πεζών και του αριθμού κυκλοφοριακών λωρίδων.....	50
Διάγραμμα 5. 4: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του ποσοστού κυκλοφορίας ΙΧ και του αριθμού κυκλοφοριακών λωρίδων.....	54
Διάγραμμα 5. 5: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου φορτηγών και την ύπαρξη ή μη ύπαρξη λεωφορειολωρίδων	57
Διάγραμμα 5. 6: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του ποσοστού κυκλοφορίας ταξί και της περιόδου αιχμής	61

1. Εισαγωγή

1.1 Γενική ανασκόπηση

Στη σύγχρονη εποχή, οι **οδικές μεταφορές** αποτελούν κοινωνικό αγαθό ζωτικής σημασίας για την καθημερινότητα του ανθρώπου, ενώ παράλληλα λειτουργούν και ως δείκτης εξέλιξης των κοινωνιών με τη συμβολή τους στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου. Ωστόσο, η χρήση των μέσων που εξυπηρετούν τις οδικές μεταφορές έγινε αλόγιστη, κυρίως, λόγω της προτίμησης των ανθρώπων στα επιβατικά οχήματα και δευτερευόντως στα ΜΜΜ. Συγκεκριμένα, στην αστική κινητικότητα οφείλεται το 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις μεταφορές και το 70% λοιπών ατμοσφαιρικών ρύπων (European Commission). Η κατάσταση αυτή οδηγεί στην ανάγκη για εύρεση μίας στρατηγικής για την συγκοινωνιακή εξυπηρέτηση των ελληνικών και μη πόλεων.

Μεταξύ των διαφόρων εννοιών που έχουν εμφανιστεί τις τελευταίες δεκαετίες σχετικά με τις πόλεις και τις μεταφορές, μία από τις πιο σημαντικές είναι η **Βιώσιμη Κινητικότητα** (Banister, 2008). Αυτή η ιδέα προβλέπει ένα σύστημα που ικανοποιεί τις σύγχρονες ανάγκες των χρηστών της οδού μέσω:

- προώθησης των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, πεζοπορίας και ποδηλασίας,
- εισαγωγής καινοτόμων τρόπων μεταφοράς (π.χ. μικροκινητικότητα και κοινόχρηστοι τρόποι μεταφοράς)
- περιορισμού της χρήσης και της ιδιοκτησίας αυτοκινήτων (Bakogiannis et al., 2019; Nikitas, 2018).

Η **βιώσιμη κινητικότητα** φαίνεται να δημιουργεί ένα νέο ήθος στις μεταφορές (Nikitas et al., 2019) που ενισχύει την κοινωνική δικαιοσύνη, την οικονομική αποδοτικότητα, την προστασία του περιβάλλοντος (Gudmundsson, 2004) και συμβάλλει θετικά στις κοινότητες και στα δομημένα περιβάλλοντά τους (Attard & Shiftan, 2015). Η καθιέρωση μιας κουλτούρας βιώσιμης κινητικότητας στις πόλεις είναι ένα δύσκολο έργο που απαιτεί την υιοθέτηση και την εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης και πολυτροπικής προσέγγισης της πολεοδομίας και των μεταφορών (Sdoukopoulos et al., 2019; Bakogiannis et al., 2016). Ένα κρίσιμο στοιχείο σε αυτήν την προσέγγιση είναι η λειτουργική ταξινόμηση της οδού (Huang et al., 2016), η οποία οργανώνει τους διάφορους τρόπους μεταφοράς και προσδιορίζει το ρόλο των διαδρομών (Dong et al., 2013, Stamatiadis et al., 2017). Τα συστήματα που προωθούν τη βιώσιμη κινητικότητα πρέπει να είναι πολυτροπικά και επομένως να περιορίζουν την υπάρχουσα κυριαρχία των αυτοκινήτων (Carroll and Yamamoto, 2015, McAndrews et al., 2017).

Οι πόλεις σε όλο τον κόσμο αντιμετωπίζουν πολλές **προκλήσεις** για την επίτευξη αειφόρου ανάπτυξης, ιδίως όσον αφορά τη βιώσιμη κινητικότητα. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα από τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζουν σήμερα οι πόλεις και, δυστυχώς, προβλέπεται να επιδεινωθεί στο μέλλον, ειδικά στις πόλεις του Παγκόσμιου Νότου. Αυτή η κατάσταση επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ζωής και την παραγωγικότητα των κατοίκων μιας περιοχής.

Η **κυκλοφοριακή συμφόρηση** είναι ενδημική επειδή η αστικοποίηση πολλαπλασιάζεται. Ταυτόχρονα, η ιδιοκτησία οχημάτων αυξάνεται με πρωτοφανή ποσοστά, ακόμη πιο γρήγορα από τον πληθυσμό και το εισόδημα (Dargay et al., 2007, Gwilliam, 2003). Αν και τα προβλήματα συμφόρησης δεν οφείλονται αποκλειστικά σε υψηλά επίπεδα αυτοκινητοβιομηχανίας, η διαχείριση της κινητικότητας ήταν ιδιαίτερα ανεπιτυχής λόγω της θεσμικής αδυναμίας, της απουσίας κατάλληλου σχεδιασμού, των Δημόσιων Μεταφορών χαμηλής ποιότητας και της έλλειψης τεχνικής ικανότητας και πόρων για την προετοιμασία και την εφαρμογή μέτρων που αποσκοπούν στη βελτίωση της αστικής κινητικότητας.

Όσον αφορά στο κέντρο της Αθήνας και στο ευρύτερο πολεοδομικό της συγκρότημα, η κυκλοφορία εμφανίζεται αρκετά επιβαρυνμένη και η ποιότητα εξυπηρέτησης των μετακινούμενων δεν είναι αντίστοιχη με αυτή άλλων μεγάλων ευρωπαϊκών πόλεων. Συχνά, παρατηρούνται υψηλοί χρόνοι διαδρομής, καθυστερήσεις στις μετακινήσεις και μία σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη την κυκλοφορία στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη προέκυψε ότι ο μέσος οδηγός ξόδεψε περίπου 36 ώρες το έτος 2017 σε κυκλοφοριακή συμφόρηση, το 5^ο υψηλότερο χάσιμο χρόνου σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη (TomTom, 2017).

Στο πλαίσιο της νέας πολιτικής βιώσιμης αστικής κινητικότητας του Δήμου Αθηναίων και αναβάθμισης του Δημόσιου Χώρου στην Αθήνα, έχει ξεκινήσει η εξέταση μίας σειράς ρυθμίσεων κυκλοφορίας και στάθμευσης στο κέντρο της Αθήνας με κεντρικό άξονα τη μείζονα πολεοδομική παρέμβαση του **Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας**. Τον Ιούνιο του 2020 αποφασίστηκε η δοκιμαστική εφαρμογή ενός υποσυνόλου των κυκλοφοριακών ρυθμίσεων του Μεγάλου Περιπάτου, έτσι ώστε, ακολουθώντας το παράδειγμα αρκετών πόλεων παγκοσμίως, να υποστηριχθούν εναλλακτικοί τρόποι μετακίνησης λόγω της πανδημίας και να δοκιμαστούν στην πράξη ορισμένες από τις κυκλοφοριακές ρυθμίσεις. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν σε δοκιμαστική βάση επιγραμματικά οι παρακάτω παρεμβάσεις:

- Αύξηση πλάτους πεζοδρομίων στην Πανεπιστημίου, στην Πλατεία Συντάγματος και στην Ερμού
- Οδοί προτεραιότητας πεζών και ποδηλάτων
- Λωρίδες αποκλειστικής κυκλοφορίας λεωφορείων και τρόλεϊ
- Ρυθμίσεις στάθμευσης μοτοσυκλετών, ταξί και ΑμεΑ

Η **αξιολόγηση της επιρροής** της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας στην κυκλοφορία οχημάτων και πεζών στο κέντρο της Αθήνας παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο προσδιορισμός των **κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα τα οποία συνδυάστηκαν με γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού.

Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται να εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο ο κυκλοφοριακός φόρτος, η κυκλοφορία πεζών η σύνθεση της κυκλοφορίας, τα οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως και η περίοδος αιχμής **αλληλεπιδρούν** μεταξύ τους και καθορίζουν το χρόνο διαδρομής των οχημάτων κατά μήκος της οδού Πανεπιστημίου, λοιπών κεντρικών οδικών αξόνων, οδικών αξόνων εισόδου και εξόδου και περιφερειακών οδικών αξόνων στο κέντρο της Αθήνας.

Για τον σκοπό αυτό καταγράφηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα σε επιλεγμένα οδικά τμήματα της Αθήνας όπως ο χρόνος διαδρομής μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google (GoogleMaps APIs). Ο κυκλοφοριακός φόρτος οχημάτων και πεζών και η σύνθεση της κυκλοφορίας σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσυκλέτες, ποδήλατα, πατίνια και πεζούς, συλλέχθηκαν μέσω μετρήσεων πεδίου για την εξεταζόμενη περίοδο (15/06/2020 – 23/10/2020). Η τελική βάση δεδομένων συμπληρώθηκε με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση οδικών τμημάτων τα οποία συγκεντρώθηκαν μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google. Στη συνέχεια, **αναπτύχθηκαν μαθηματικά στατιστικά μοντέλα**, τα οποία θα περιγράφουν και θα ποσοτικοποιούν επαρκώς την επιρροή των παραμέτρων που καθορίζουν το χρόνο διαδρομής.

Τα **συμπεράσματα** της εργασίας αναμένεται να αποφέρουν πολλαπλά και σημαντικά οφέλη στην κοινωνία, εφόσον θα είναι δυνατό να αξιοποιηθούν από τις αρμόδιες Αρχές και Φορείς για τον σχεδιασμό της μελλοντικής κινητικότητας τόσο στην Αθήνα όσο και στις άλλες μεγαλουπόλεις διεθνώς.

1.3 Μεθοδολογία

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

Αρχικά, **οριστικοποιήθηκε το θέμα** της παρούσας εργασίας καθώς και ο επιδιωκόμενος **στόχος**. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ευρεία βιβλιογραφική ανασκόπηση τόσο σε ελληνική όσο και σε διεθνή βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση ερευνών, επιστημονικών άρθρων καθώς και γενικών πληροφοριών σχετικά με το εξεταζόμενο αντικείμενο που θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες για την συγκεκριμένη έρευνα. Μέσω της διαδικασίας αυτής καταβλήθηκε προσπάθεια να αποκτηθεί μια σχετική εμπειρία στην επεξεργασία τέτοιων θεμάτων, καθώς επίσης και να αποφασιστεί η μέθοδος με βάση την οποία θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των στοιχείων και να επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος στόχος.

Αφού μελετήθηκαν τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, σειρά είχε η **εύρεση του τρόπου συλλογής στοιχείων**. Εφαρμόστηκε ένα συνδυαστικό σύστημα συλλογής δεδομένων μέσα από την υπηρεσία χαρτών που προσφέρει η Google, καθώς και από μετρήσεις πεδίου που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή του κέντρου της Αθήνας. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος ανά μέσο μεταφοράς, ο χρόνος διαδρομής, η κατανομή μετακινήσεων, η κυκλοφορία πεζών επί της οδού Πανεπιστημίου, λοιπών κεντρικών οδικών αξόνων στην Αθήνα, οδικών αξόνων εισόδου, εξόδου και περιφερειακών οδικών αξόνων αλλά και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά.

Στην συνέχεια, ακολούθησε η **επιλογή της μεθόδου στατιστικής επεξεργασίας** και η εισαγωγή της βάσης δεδομένων σε ηλεκτρονική βάση. Έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία της βάσης δεδομένων μέχρι να αποκτήσει την τελική μορφή της, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή της στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, τη γλώσσα προγραμματισμού R.

Επόμενο στάδιο αποτέλεσε η **ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων πολλαπλής γραμμικής και λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης**, που περιέγραφαν σε αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης την επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εκάστοτε εξαρτημένη.

Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν **πέντε μοντέλα σε επίπεδο οριοθετημένης περιοχής**, με εξαρτημένη μεταβλητή τον χρόνο διαδρομής που συλλέχθηκε μέσω εφαρμογής της υπηρεσίας χαρτών που προσφέρει η Google (Google Maps API). Με αυτόν τον τρόπο εξετάστηκε ο βαθμός συσχέτισης των συλληφθέντων χαρακτηριστικών της οδού και της κυκλοφορίας με τον χρόνο διαδρομής σε κεντρικούς, εισόδου, εξόδου και περιφερειακούς οδικούς άξονες της Αθήνας.

Έπειτα έγινε **αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων** και με βάση τα αποτελέσματα των μοντέλων εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για την επιρροή των εκάστοτε ανεξάρτητων μεταβλητή στην εξαρτημένη. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψαν πληροφορίες για το υπό εξέταση ζήτημα και διατυπώθηκαν αξιόλογες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν για της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.



Διάγραμμα 1. 1: Διάγραμμα των διαδοχικών σταδίων της Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στη συγκεκριμένη υποενότητα παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας μέσω της συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου του εκάστοτε κεφαλαίου της.

Το **πρώτο κεφάλαιο** είναι **εισαγωγικό** και αποτελεί τη βάση για να γίνει άμεσα αντιληπτό και κατανοητό το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας. Γίνεται σύντομη αναφορά στη σημερινή κατάσταση για την στρατηγική βιώσιμης αστικής κινητικότητας όπως και στο πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης στα αστικά κέντρα. Επιπλέον, γίνεται σαφής ο στόχος της παρούσας εργασίας, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί και περιγράφεται συνοπτικά η δομή της.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από εκτενή **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών με αντικείμενο τις πεζοδρομήσεις, τη δημιουργία ποδηλατοδρόμων, την ενίσχυση των δημόσιων μέσων μεταφοράς και τις επιπτώσεις που είχαν αυτές οι παρεμβάσεις στο χρόνο διαδρομής και στη σύνθεση της κυκλοφορίας. Ακόμη, παρουσιάζονται στοιχεία, που προέκυψαν από τη βιβλιογραφία, σχετικά με τον χρόνο διαδρομής, τους παράγοντες που τον επηρεάζουν και τις μεθόδους συλλογής του.

Το **τρίτο κεφάλαιο** αποτελεί το **θεωρητικό υπόβαθρο**, στο οποίο βασίζεται η ανάλυση των στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, επεξηγείται το κριτήριο επιλογής της στατιστικής ανάλυσης που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί με βάση τα χαρακτηριστικά της. Επίσης, περιγράφονται αναλυτικά όλες οι μαθηματικές και στατιστικές έννοιες, οι οποίες βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση και επεξήγηση των μοντέλων που θεωρήθηκαν καταλληλότερα.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναφέρεται η διαδικασία **συλλογής και επεξεργασίας** των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη των στόχων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, περιγράφεται η μέθοδος συλλογής των δεδομένων και στη συνέχεια, με τη βοήθεια του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης R-Studio και του Microsoft Excel, παρουσιάζονται συγκεντρωτικοί πίνακες και διαγράμματα, που βοηθούν στην καλύτερη περιγραφή των χαρακτηριστικών του δείγματος.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την **ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων** και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου κι εξόδου, με ιδιαίτερη έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων για την αποδοχή των μοντέλων και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα κυριότερα **συμπεράσματα**, τα οποία προέκυψαν από τα προηγούμενα κεφάλαια, και πιο συγκεκριμένα από την περιγραφική ανάλυση των στοιχείων και την εξαγωγή των τελικών μοντέλων. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου επισημαίνονται προτάσεις, τόσο σχετικά με την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας, όσο και σχετικά με την ενθάρρυνση διεξαγωγής περαιτέρων ερευνών που σχετίζονται με το θέμα.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρατίθενται οι **βιβλιογραφικές αναφορές**, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Ειδικότερα πρόκειται για έναν κατάλογο, ο οποίος περιλαμβάνει έρευνες σχετικές με το θέμα της παρούσας εργασίας.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η κοινωνία έχει έρθει αντιμέτωπη με μια συνεχόμενη **αύξηση του αστικού πληθυσμού**, με το 55% του παγκόσμιου πληθυσμού να ζει σε αστικές περιοχές, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί σε 68% έως το έτος 2050 (United Nations, 2018). Τα περισσότερα ταξίδια αρχίζουν και καταλήγουν σε αστικά κέντρα. Ωστόσο, σε πολλές πόλεις, η αυξανόμενη ζήτηση για αστική κινητικότητα έχει δημιουργήσει μία κατάσταση η οποία είναι μη βιώσιμη: υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακής συμφόρησης, υποβαθμισμένη ατμοσφαιρική ποιότητα, υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου, και υψηλή εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου.

Η **βιώσιμη κινητικότητα** ορίζεται ως η βιώσιμη μετακίνηση ανθρώπων και αγαθών στο αστικό και περιαστικό περιβάλλον. Η βιωσιμότητα έχει τρεις βασικές συνιστώσες: την περιβαλλοντική, την κοινωνική και την οικονομική. Αντιστοίχως μπορούν να αποδοθούν αντίστοιχες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις στην έννοια της βιώσιμης κινητικότητας.

Η **κυκλοφοριακή συμφόρηση** θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στις αστικές μεταφορές, η οποία επηρεάζει τον χρόνο διαδρομής, την εκπομπή ρύπων και κυκλοφοριακού θορύβου και την συνολική ποιότητα ζωής στις πόλεις. Οι προσπάθειες μείωσης της συμφόρησης, παρέχοντας μεγαλύτερη οδική χωρητικότητα, μπορούν να λειτουργήσουν ως “παράγοντες έλξης”, ενεργοποιώντας περισσότερες μηχανοκίνητες μεταφορές και ως εκ τούτου δημιουργώντας περαιτέρω συμφόρηση (Litman, 2014).

Αντίθετα, τα μέτρα που έχουν ως στόχο να προωθήσουν **φιλικούς προς το περιβάλλον** τρόπους μετακίνησης μπορεί να προκαλέσουν μείωση της χωρητικότητας του οδικού άξονα προκειμένου να παρέχεται χώρος για ποδηλατοδρόμους ή μεγαλύτερα πεζοδρόμια, οδηγώντας, τελικά, σε λιγότερη συμφόρηση μακροπρόθεσμα, μέσω της στροφής προς βιώσιμους τρόπους μεταφοράς όπως το περπάτημα και το ποδήλατο. Επομένως, μια πιθανή προσέγγιση για τη μείωση της συμφόρησης είναι η αλλαγή της κατανομής των τρόπων μεταφοράς: μείωση της μεταφοράς με μηχανοκίνητα οχήματα και ενίσχυση της πεζής μετακίνησης και της ποδηλασίας.

2.1 Πρακτικές Βιώσιμης Κινητικότητας

Πολλές πόλεις σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν εφαρμόσει **πολιτικές για την προώθηση της βιώσιμης αστικής κινητικότητας**. Στις αστικές περιοχές χωρίς αυτοκίνητα που δημιουργούνται σε αυτές τις πόλεις, πεζοί και ποδηλάτες απολαμβάνουν ένα καθαρότερο, πιο ήσυχο και ασφαλές περιβάλλον. Αυτές οι περιπτώσεις απεικονίζουν τις δυνατότητες για πιο αποτελεσματικές χρήσεις του **αστικού οδικού δικτύου**, ως «χώρο ανταλλαγής» παρά απλώς ως «χώρο κίνησης», αναγνωρίζοντας την κοινωνική σημασία των δρόμων. Παρακάτω, παρουσιάζονται περιπτώσεις **κυκλοφοριακών παρεμβάσεων** που εφαρμόστηκαν στη Νέα Υόρκη, στην Στοκχόλμη, στο Μπορντό, στο Μπράιτον και στην Ολλανδία όπως και οι επιπτώσεις που παρατηρήθηκαν στην κυκλοφορία, στο περιβάλλον και στην οδική ασφάλεια.

2.1.1 Νέα Υόρκη

Από το 2007 η Νέα Υόρκη έχει επενδύσει σε έναν αριθμό από **αποκλειστικές λωρίδες ποδηλάτου** για να διευκολύνει την ποδηλασία στην πόλη. Το έτος 2015 καταγράφηκαν 87,2 χιλιόμετρα προστατευόμενων ποδηλατοδρόμων ενώ έπειτα από ένα χρόνο εγκαταστάθηκαν επιπλέον 28,6 χιλιόμετρα. Πριν από την εφαρμογή του μέτρου, ο φόβος για μεγαλύτερη συμφόρηση ήταν φανερός στην κοινή γνώμη.

Ωστόσο, αντί να αυξάνεται η καθυστέρηση για τα επιβατικά αυτοκίνητα, οι αποκλειστικές λωρίδες ποδηλάτων στην λεωφόρο Columbus στο Μανχάταν, για παράδειγμα, βελτίωσαν τους **χρόνους διαδρομής**. Σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών, πριν εγκατασταθούν οι λωρίδες ποδηλάτων, ένα μέσο αυτοκίνητο χρειαζόταν περίπου 4,5 λεπτά για να κινηθεί από την 96η έως την 77η οδό, και 3 λεπτά αφού εγκαταστάθηκαν (35% μείωση στον χρόνο διαδρομής). Οι ταχύτητες στην κεντρική επιχειρηματική περιοχή, παρέμειναν σταθερές όπως και ο φόρτος των μηχανοκίνητων οχημάτων. Οι χρόνοι ταξιδιού στην 8η Λεωφ. βελτιώθηκαν κατά 14% κατά μέσο όρο (Υπουργείο Μεταφορών Νέας Υόρκης, 2014).

Ωστόσο η **καλύτερη ροή κυκλοφορίας** για τα μηχανοκίνητα οχήματα, έρχεται ως δευτερεύον όφελος ύστερα από τη **βελτίωση της οδικής ασφάλειας** όσον αφορά στα οδικά ατυχήματα μεταξύ ποδηλάτων και μηχανοκίνητων οχημάτων. Συγκεκριμένα, τα αυτοκίνητα που στρίβουν αριστερά έχουν περιοχές αναμονής με αποτέλεσμα να είναι λιγότερο πιθανό να συγκρουστούν με έναν ποδηλάτη που οδηγεί ευθεία, αλλά επίσης δεν εμποδίζουν πλέον την κίνηση καθώς περιμένουν. Συνεπώς, μειώνοντας τα ατυχήματα πεζών και ποδηλατών και διευκολύνοντας την **κυκλοφοριακή συμφόρηση**, οι αποκλειστικές λωρίδες ποδηλάτου φάνηκε πως ωφέλησαν όλους τους χρήστες της οδού.

2.1.2 Στοκχόλμη

Το κέντρο της Στοκχόλμης αντιμετώπιζε πρόβλημα μεγάλου αριθμού καθημερινών μετακινούμενων οχημάτων που συνέβαλλαν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, στον κυκλοφοριακό θόρυβο και στην **κυκλοφοριακή συμφόρηση**. Για να δοθεί λύση σε αυτό το πρόβλημα, η σουηδική κυβέρνηση εφάρμοσε μία πολιτική για τον περιορισμό της κυκλοφορίας, την «**Τιμολόγηση Συμφόρησης**». Πρόκειται για δυναμική τιμολόγηση, με το ύψος του αντιτίμου να εξαρτάται από τις φορές που το όχημα εισέρχεται ή εξέρχεται από την ζώνη και από την ώρα της ημέρας.

Ως αποτέλεσμα της τιμολόγησης των οδηγών για είσοδο στο κέντρο της Στοκχόλμης, παρατηρήθηκαν οι ακόλουθες αλλαγές στην κυκλοφορία:

- Οι συνολικές μετακινήσεις προς και από το κέντρο της πόλης μειώθηκαν κατά 10-15%.
- Οι ουρές αναμονής εντός και κοντά στο κέντρο της πόλης μειώθηκαν κατά 30%.
- Η μεγαλύτερη μείωση της κυκλοφορίας παρατηρήθηκε κατά την απογευματινή περίοδο αιχμής. Ωστόσο, η κίνηση μειώθηκε και το απόγευμα μετά τη λήξη της περιόδου χρέωσης.
- Μείωση κατά 14% στα οχηματοχιλιόμετρα που διανύθηκαν (VMT) στη ζώνη τιμολόγησης και μείωση κατά 1% εκτός της ζώνης.
- Αύξηση της αξιοπιστίας του χρόνου διαδρομής.

- Μείωση κυκλοφοριακού φόρτου στους περισσότερους δρόμους με συμφώρηση κατά 20-25%.
- Η χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς αυξήθηκε κατά 6-9%, αν και αυτή η αύξηση δεν μπορούσε να αποδοθεί εξ' ολοκλήρου σε χρεώσεις συμφώρησης. Φαίνεται ότι λιγότερο από το 50% των χρηστών αυτοκινήτων που εγκατέλειψαν τα ταξίδια κατά τη διάρκεια της χρέωσης μετατοπίστηκαν στις δημόσιες συγκοινωνίες. Ορισμένοι άλλαξαν την ώρα αναχώρησής τους για να αποφύγουν την καταβολή του τέλους.
- Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στην ποδηλασία, στο carpooling ή στην τηλεργασία.

Η Τιμολόγηση Συμφώρησης στη Στοκχόλμη συνίστατο όχι μόνο από χρεώσεις συμφώρησης αλλά και από επέκταση των **υπηρεσιών Δημόσιας Συγκοινωνίας**. Οι εκτεταμένες υπηρεσίες είχαν ως κίνητρο εν μέρει να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση για ΔΣ. Η μειωμένη κυκλοφοριακή συμφώρηση εντός και γύρω από το κέντρο της πόλης οδήγησε σε αυξημένες ταχύτητες και ακρίβεια για τις υπηρεσίες λεωφορείων.

2.1.3 Μπορντό

Η κατασκευή του τραμ (φάση 1) ξεκίνησε το 2000 και διήρκεσε μέχρι το 2005. Για περίπου 3 χρόνια, ολόκληρο το κέντρο της πόλης δεν ήταν προσβάσιμο για αυτοκίνητα και συμφορημένο στις υπόλοιπες διαδρομές. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου οι άνθρωποι άρχισαν να στρέφονται προς το **ποδήλατο** για τα καθημερινά τους ταξίδια και η πόλη του Μπορντό άρχισε να δανείζει ποδήλατα για μακροχρόνια χρήση. Το **πρόγραμμα δανεισμού** ήταν επιτυχές. Περίπου 4.000 ποδήλατα ήταν διαθέσιμα δωρεάν για τους πολίτες για περιόδους από μία εβδομάδα έως ένα έτος. Το 2010 ξεκίνησε το σύστημα κοινής χρήσης ποδηλάτων VCub, αντικαθιστώντας τον αρχικό στόλο των ποδηλάτων Mairie de Bordeaux (Belhocine 2015).

Το πρόγραμμα δανεισμού ποδηλάτων έδωσε επίσης στην πόλη την ιδέα να εφαρμόσει ένα **δημόσιο σύστημα κοινής χρήσης ποδηλάτων**. Από τις αρχές του 2010, το πρόγραμμα κοινής χρήσης ποδηλάτων VCUB μετρά 1.700 ποδήλατα σε 166 σταθμούς: 99 βρίσκονται στο Μπορντό (κάθε 300 έως 500 μέτρα) και 40 στην ευρύτερη περιοχή. Σύμφωνα με το Bordeaux Métropole, τα ποδήλατα χρησιμοποιούνται κατά μέσο όρο 6,7 φορές την ημέρα.

Επιπλέον, ολόκληρο το κέντρο πεζοδρομήθηκε, κάτι που έκανε τη χρήση ποδηλάτων ασφαλέστερη. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η **κατανομή των μέσων μεταφοράς** είναι υψηλότερη στο κέντρο της πόλης από ότι στην υπόλοιπη περιοχή. Προκειμένου να συμπληρωθούν αυτά τα μέτρα και να παρέχεται καλύτερη προσβασιμότητα στο κέντρο της πόλης, υπάρχουν τουλάχιστον 22 park and ride στο Μπορντό Μετρόπολ που επιτρέπουν στους χρήστες να αφήσουν το αυτοκίνητό τους σε ασφαλή χώρο στάθμευσης και να πάρουν **δημόσιες συγκοινωνίες**. Ο αντίκτυπος ήταν σημαντικός για το κέντρο της πόλης. Το ποδήλατο υιοθετήθηκε από πολλούς κατοίκους ως ο μόνος βιώσιμος τρόπος μεταφοράς ενώ από το 1998 έως το 2009, το Μπορντό είδε θετικές αλλαγές στη κατανομή των μεταφορών:

- Η χρήση αυτοκινήτου μειώθηκε από 64% σε 59% (σε 40% στο κέντρο της πόλης)
- Οι δημόσιες συγκοινωνίες αυξήθηκαν από 9% σε 10%
- Η ποδηλασία αυξήθηκε από 1-2% σε 4% (και 9% στο κέντρο της πόλης)
- Το περπάτημα αυξήθηκε από 22% σε 24%

2.1.4 Μπράιτον

Η οδός Lewes Road είναι μία από τις τρεις βασικές οδικές διαδρομές προς την πόλη ενώ συνδέει δύο πανεπιστήμια και το στάδιο AMEX με το κέντρο της πόλης. Η εν λόγω οδός στοχοποιήθηκε επειδή χαρακτηριζόταν από κυκλοφοριακή συμφόρηση, κακή ποιότητα αέρα, υψηλά ποσοστά οδικών ατυχημάτων, **υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο**, ενώ λειτουργούσε ως εμπόδιο μεταξύ των κατοικημένων περιοχών καθώς και της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης. Το συνολικό πακέτο μέτρων περιελάμβανε έξυπνες τοπικές παρεμβάσεις και βελτιώσεις της **οδικής υποδομής**. Οι βασικές αλλαγές στην υποδομή περιελάμβαναν:

- Μετατροπή τμήματος διπλού οδικού άξονα μήκους 4,5 χλμ σε ενιαίο οδικό άξονα για γενική κυκλοφορία, παράλληλα με ειδική λεωφορειολωρίδα και λωρίδα ποδηλάτων.
- Αλλαγές σε 14 στάσεις λεωφορείων στις οποίες συνυπήρχαν λωρίδες ποδηλάτων, ώστε αυτές να περνούν πίσω από τις στάσεις με σκοπό την εξάλειψη των ατυχημάτων.
- Επαναδιαμόρφωση των σηματοδοτούμενων κόμβων και πρόσθετες εγκαταστάσεις διάβασης πεζών και ποδηλάτων για τη μείωση των εμποδίων που δημιουργούνται από τον οδικό άξονα.

Οι στόχοι των εν λόγω **παρεμβάσεων** ήταν (1) να ενθαρρυνθεί η χρήση βιώσιμότερων μορφών ταξιδιού, (2) να μειωθεί η ταχύτητα και ο φόρτος της κυκλοφορίας, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του αέρα και μειώνοντας τις εκπομπές άνθρακα, (3) μείωση της σοβαρότητας και του αριθμού των οδικών ατυχημάτων και (4) παροχή πρόσθετων ευκαιριών ασφαλούς διέλευσης για τους πεζούς και τους ποδηλάτες.

Πραγματοποιήθηκαν έρευνες παρακολούθησης πριν από την κατασκευή κατά τον Οκτώβριο/ Νοέμβριο 2012 και επαναλήφθηκαν τον Οκτώβριο/ Νοέμβριο του 2013. Τα δεδομένα μετά την εφαρμογή των μέτρων συλλέχθηκαν εντός 4-6 εβδομάδων ενώ προγραμματίστηκε περαιτέρω παρακολούθηση για την αξιολόγηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στην **οδηγική συμπεριφορά**. Από αυτές τις έρευνες, προέκυψε ότι υπήρξε μια σημαντική στροφή προς την ποδηλασία και τις Δημόσιες Συγκοινωνίες. Οι έρευνες κατέγραψαν επίσης αλλαγές στους χρόνους διαδρομής κατά μήκος της διαδρομής.

Οι αυξήσεις στο **χρόνο διαδρομής** για τη γενική κυκλοφορία είναι όλες κάτω από 90 δευτερόλεπτα και είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις προβλέψεις του μοντέλου κυκλοφορίας που προέβλεπε αυξήσεις 3-5 λεπτών. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές στους χρόνους διαδρομής αντικατοπτρίζουν τόσο την ανακατανομή του χώρου επί της οδού όσο και τη μείωση των ορίων ταχύτητας στη διαδρομή. Η παρακολούθηση πραγματοποιήθηκε επίσης σε κατοικημένες περιοχές και σε δύο παράλληλες κύριες οδούς στις οποίες δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στην κυκλοφορία.

2.1.5 Ολλανδία

Το φυσικό μέγεθος των πόλεων επεκτείνεται λόγω της αύξησης του πληθυσμού. Από τη δεκαετία του 1960 μεγάλο μέρος αυτής της ανάπτυξης έγινε στα προάστια. Τα προάστια προσφέρουν περισσότερο χώρο για αυτοκίνητα και ταυτόχρονα οι μεγαλύτερες αποστάσεις που δημιουργούνται αυξάνουν τη ζήτηση για τη χρήση αυτοκινήτου.

Για να γίνει ομαλότερη η κυκλοφορία ποδηλάτων μεταξύ των προαστίων και της πόλης, η Ολλανδία έχει αρχίσει να κατασκευάζει **ποδηλατικούς αυτοκινητόδρομους**. Ένας ποδηλατικός αυτοκινητόδρομος είναι μια μεγάλη, χωρίς στάση, ασφαλτοστρωμένη διαδρομή εκτός δρόμου. Οι ποδηλατικοί αυτοκινητόδρομοι (snelfietsroutes) έχουν ως στόχο τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις ολλανδικές πόλεις, δеляάζοντας τους οδηγούς αυτοκινήτων που ζουν σε απόσταση 15 χιλιομέτρων από την εργασία να μετακινούνται με ποδήλατο (Fiets filevrij, 2016). Ειδικότερα, η εν λόγω οδική υποδομή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για ποδηλάτες που χρησιμοποιούν **ηλεκτρικά ποδήλατα** (το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών ποδηλάτων στην Ολλανδία αυξήθηκε από 3% το 2006, σε 19% το 2013 και 28% το 2015). (ANWB, 2014; Rai Vereniging, 2016).

Η μελέτη Goudappel Coffeng (Fietsberaad 2011) αναφέρει ότι οι ποδηλατικοί αυτοκινητόδρομοι επιτρέπουν τη μετάβαση από το αυτοκίνητο και τις δημόσιες συγκοινωνίες προς το ποδήλατο. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε μια μείωση της **κυκλοφοριακής συμφόρησης** σε επίπεδο χώρας, κατά 3,8 εκατομμύρια ώρες ετησίως κατά την κατασκευή 675 χιλιομέτρων επιπλέον ποδηλατοδρόμων. Ο χρόνος διαδρομής με το αυτοκίνητο μειώθηκε ακόμη περισσότερο, κατά 9,4 εκατομμύρια ώρες.

Στον ακόλουθο συγκεντρωτικό πίνακα εμφανίζονται συνοπτικά τα μέτρα βιώσιμης κινητικότητας που μελετήθηκαν στην εν λόγω Διπλωματική καθώς και οι επιδράσεις τους στην κυκλοφορία.

Πίνακας 2. 1: Πρακτικές βιώσιμης κινητικότητας

Χώρα/Πόλη	Κυκλοφοριακή Παρέμβαση	Επιπτώσεις
Νέα Υόρκη	Αποκλειστικές λωρίδες ποδηλάτου (87 χλμ. συνολικά)	- Βελτίωση χρόνων διαδρομής - Μείωση οδικών ατυχημάτων μεταξύ ποδηλάτων και μηχανοκίνητης κυκλοφορίας
Στοκχόλμη	Ζώνη Τιμολόγησης Συμφόρησης	- Μείωση κυκλοφοριακού φόρτου κατά 20-25% - Αύξηση χρήσης MMM κατά 6-9% - Μείωση οχημ-χλμ στη ζώνη τιμολόγησης κατά 14%, εκτός ζώνης κατά 1% - Μείωση ουράς αναμονής κατά 30%
Μπορντό	Πρόγραμμα δανεισμού ποδηλάτων, που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια της κατασκευής μίας νέας γραμμής τραμ, και πεζοδρόμηση του κέντρου	- Μείωση της χρήσης ΙΧ κατά 5% - Αύξηση χρήσης MMM κατά 1% - Αύξηση της ποδηλασίας κατά 2-3% - Αύξηση πεζών κατά 2%
Μπράιτον	1. Μείωση των λωρίδων αυτοκινήτων (2->1) 2. Διαμόρφωση ποδηλατοδρόμων μεγαλύτερου πλάτους	- Αύξηση χρήσης ποδηλάτου - Μικρή αύξηση του χρόνου διαδρομής (<90 δευτ.)
Ολλανδία	Διαμόρφωση ποδηλατικών αυτοκινητοδρόμων	- Μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε επίπεδο χώρας, κατά 3,8 εκατ. ώρες ετησίως - Μείωση χρόνου οδήγησης με ΙΧ κατά 9,4 εκατ. ώρες - Αύξηση μεριδίου αγοράς ηλεκτρικών ποδηλάτων από 3% το 2006, σε 28% το 2015

2.2 Χρόνος Διαδρομής

Ο χρόνος ταξιδιού (ή διαδρομής) ορίζεται γενικά ως «ο χρόνος που απαιτείται για να διασχίσουμε μια διαδρομή μεταξύ δύο σημείων ενδιαφέροντος».

2.2.1 Παράγοντες Επιρροής Χρόνου Διαδρομής

Ο χρόνος διαδρομής αποτελεί ένα **θεμελιώδες μέτρο** στις μεταφορές. Τα δεδομένα χρόνου διαδρομής μπορούν να αξιοποιηθούν στον σχεδιασμό μεταφορών αλλά και στην αξιολόγηση αυτών (Jain και Lyons, 2008). Ωστόσο, ο χρόνος διαδρομής επηρεάζεται από μια σειρά διαφορετικών παραγόντων με αποτέλεσμα η ακριβής πρόβλεψή του να είναι δύσκολη και να χρειάζεται πολλά **κυκλοφοριακά δεδομένα**. Η κατανόηση αυτών των εν λόγω κυκλοφοριακών δεδομένων που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων του.

Οι άνθρωποι, τα οχήματα και οι εγκαταστάσεις, όπως οι οδοί και οι σημάνσεις, είναι τα κύρια συστατικά που συνθέτουν την κυκλοφορία. Ποικίλοι παράγοντες που επηρεάζουν τα τρία αυτά συστατικά, συνήθως, επιδρούν στη διαμόρφωση του τελικού χρόνου διαδρομής. Για παράδειγμα, διαφορετικοί **οδηγοί** και **κυκλοφοριακές συνθήκες** θα μπορούσαν να προκαλέσουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στους χρόνους διαδρομής. Ακόμα και στο ίδιο χρονικό διάστημα, στο ίδιο σημείο διαφορετική σύνθεση της κυκλοφορίας μπορεί να συμβάλλει στη διαμόρφωση αρκετά διαφορετικών χρόνων διαδρομής (Li και McDonald, 2002).

Η **ταχύτητα ελεύθερης ροής** είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής. Ωστόσο, η ταχύτητα κατά μήκος ενός αρτηριακού δρόμου εξαρτάται όχι μόνο από τη γεωμετρία της οδού, αλλά και από τα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής και από τον συντονισμό της φωτεινής σηματοδότησης (Lum et al., 1998). Άλλοι κύριοι παράγοντες που σχετίζονται με την πρόβλεψη του χρόνου διαδρομής μπορεί να είναι οι περίοδοι διακοπών, τα ειδικά περιστατικά κατά μήκος της οδού (Karl et al., 1999), η καθυστέρηση της σήμανσης ή της σηματοδότησης (Wu, 2001), οι καιρικές συνθήκες (Chien and Kuchipudi, 2003), και το επίπεδο κυκλοφοριακής συμφόρησης (Richardson 2004; 1978).

2.2.2 Μέθοδοι Συλλογής Δεδομένων Χρόνου Διαδρομής

Τα **δεδομένα χρόνου διαδρομής** μπορούν να ληφθούν με διάφορες μεθόδους. Ορισμένες από τις μεθόδους περιλαμβάνουν άμεση μέτρηση του χρόνου διαδρομής με δοκιμαστικά οχήματα, μέθοδο αντιστοίχισης πινακίδας κυκλοφορίας και οχήματα ανιχνευτή ITS. Επιπλέον, διάφοροι αισθητήρες (πχ. ανιχνευτές βρόχου επαγωγής, ακουστικοί αισθητήρες) στο πλαίσιο της ανάπτυξης Έξυπνων Συστημάτων Μεταφοράς, συλλέγουν μεγάλο αριθμό δεδομένων κυκλοφορίας, ειδικά σε μητροπολιτικές περιοχές. Τέτοια δεδομένα μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του χρόνου διαδρομής για εκτεταμένες εφαρμογές όταν δεν είναι διαθέσιμες άμεσες μετρήσεις του χρόνου ταξιδιού.

Οι διάφορες **τεχνικές** που είναι διαθέσιμες για τη συλλογή δεδομένων χρόνου διαδρομής είναι οι εξής:

- Τεχνικές δοκιμαστικού οχήματος
- Τεχνικές αντιστοίχισης πινακίδας κυκλοφορίας
- Τεχνικές οχήματος ανίχνευσης ITS
- Αναδυόμενες και μη παραδοσιακές τεχνικές

Όσον αφορά στις **τεχνικές δοκιμαστικού οχήματος**, συλλέγονται δεδομένα χρόνου διαδρομής χρησιμοποιώντας δοκιμαστικά οχήματα σε συνδυασμό με διάφορα όργανα (χειροκίνητα (πρόχειρο και χρονόμετρο), ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης της απόστασης (DMI) ή GPS). Συγκεκριμένα, ένας παρατηρητής που βρίσκεται εντός του οχήματος καταγράφει τον αθροιστικό χρόνο διαδρομής σε προκαθορισμένα σημεία ελέγχου κατά μήκος μιας διαδρομής.

Αναφορικά με τις **τεχνικές αντιστοίχισης πινακίδας κυκλοφορίας**, ο χρόνος διαδρομής καταγράφεται μέσω της αντιστοίχισης πινακίδων οχήματος μεταξύ διαδοχικών σημείων ελέγχου με διαφορετικά επίπεδα οργάνων: μαγνητόφωνα, βιντεοκάμερες, φορητοί υπολογιστές ή αυτόματη αναγνώριση χαρακτήρων πινακίδας κυκλοφορίας.

Επιπλέον, η καταγραφή του χρόνου διαδρομής είναι δυνατή αξιοποιώντας τα **Έξυπνα Συστήματα Μεταφοράς (ITS)**. Για παράδειγμα συχνά παρατηρείται η χρήση οχημάτων, εξοπλισμένα με αναμεταδότες βάσει προσανατολισμού, αναμεταδότες αυτόματης αναγνώρισης οχήματος (AVI), επίγεια ραδιοπλοήγηση, κινητά τηλέφωνα ή δέκτες GPS. Ορισμένα οχήματα είναι εξοπλισμένα με συσκευή δυναμικής καθοδήγησης (DRG) και λειτουργούν ως ανιχνευτές κίνησης. Τέτοια οχήματα καλούνται **οχήματα ανίχνευσης** και είναι ικανά να προσδιορίσουν πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας και να τις διαβιβάσουν σε ένα κέντρο κυκλοφορίας. Ακολούθως παρουσιάζονται ορισμένα συστήματα συλλογής δεδομένων οχημάτων ανιχνευτών ITS:

- Αυτόματη τοποθεσία οχήματος βάσει προσανατολισμού (AVL)
- Αυτόματη αναγνώριση οχήματος (AVI)
- Επίγεια ραδιοπλοήγηση

Οι **αναδυόμενες ή μη παραδοσιακές τεχνικές** βασίζονται στη χρήση εξοπλισμού ανίχνευσης οχημάτων «σημείου», όπως ανιχνευτές βρόχου επαγωγής ή βιντεοκάμερες. Οι αλγόριθμοι εκτίμησης του χρόνου διαδρομής έχουν αναπτυχθεί με βάση μετρήσιμες παραμέτρους σημείων όπως φόρτο, πληρότητα λωρίδας κυκλοφορίας. Οι αλγόριθμοι αντιστοίχισης εικόνας χρησιμοποιούνται για την αντιστοίχιση εικόνων οχήματος που έχουν ληφθεί σε δύο συνεχόμενα σημεία παρατήρησης.

2.3 Σύνοψη διεθνούς ανασκόπησης για τις πρακτικές βιώσιμης κινητικότητας

Συνοψίζοντας, παρατηρείται ότι στις πόλεις που εφαρμόστηκαν **βιώσιμες κυκλοφοριακές παρεμβάσεις** σχετικά με πεζοδρομήσεις, αναδιαμορφώσεις δημοσίων χώρων και ανάπτυξη νέων ή βελτίωση των υπαρχουσών ποδηλατικών υποδομών, τα αποτελέσματα ήταν θετικά τόσο ως προς τον περιβάλλον, όσο και ως προς την ανακατανομή της κυκλοφορίας μέσω της ανάδειξης των βιώσιμων τρόπων μεταφοράς αλλά και την κυκλοφοριακή συμφόρηση στα αστικά κέντρα.

Αναφορικά με την **κυκλοφορία**, η κατασκευή αποκλειστικών λωρίδων ποδηλάτου στη Νέα Υόρκη και η δημιουργία ποδηλατικών αυτοκινητοδρόμων στην Ολλανδία οδήγησαν σε μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και σε βελτίωση των χρόνων διαδρομής. Στην Ολλανδία παρατηρήθηκε αύξηση του μεριδίου αγοράς ηλεκτρικών ποδηλάτων που σημαίνει πως πολλοί είναι αυτοί που στράφηκαν προς το ποδήλατο ως κύριο μέσο μεταφοράς τους. Επίσης, το πρόγραμμα δανεισμού ποδηλάτων που εφαρμόστηκε στην πόλη Μπορντό σε συνδυασμό με την πεζοδρόμηση του κέντρου επέφερε αλλαγές στην σύνθεση της κυκλοφορίας, μέσω της μείωσης της χρήσης των ΙΧ, αύξηση της χρήσης των ΜΜΜ, αύξηση της ποδηλασίας και αύξηση της πεζοπορίας.

Ταυτόχρονα, στο Μπράιτον η μετατροπή τμήματος διπλού οδικού άξονα σε ενιαίο οδικό άξονα για τη γενική κυκλοφορία και η διαμόρφωση ασφαλέστερων και μεγαλύτερου πλάτους ποδηλατοδρόμων είχε ως συνέπεια την αύξηση της χρήσης του ποδηλάτου, ενώ σημειώθηκε και μία μικρή αύξηση στο χρόνο διαδρομής για τη γενική κυκλοφορία. Τέλος, όσον αφορά στην τιμολόγηση συμφόρησης στη Στοκχόλμη, παρατηρήθηκε μείωση της μηχανοκίνητης κυκλοφορίας από και προς το κέντρο της πόλης, ιδιαίτερα κατά την περίοδο απογευματινής αιχμής, μείωση των επιπέδων συμφόρησης, αύξηση της χρήσης των ΜΜΜ καθώς και αύξηση της αξιοπιστίας του χρόνου διαδρομής.

2.4 Σύνοψη διεθνούς ανασκόπησης για το χρόνο διαδρομής

Ο **χρόνος διαδρομής** αξιοποιείται στον σχεδιασμό και στην αξιολόγηση των μεταφορών και επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες με αποτέλεσμα η ακριβής πρόβλεψή του να καθίσταται δύσκολη. Παράγοντες που σχετίζονται με τον οδηγό, το όχημα και τις οδηγικές εγκαταστάσεις είναι εκείνοι που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του τελικού χρόνου διαδρομής. Επίσης άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής είναι η ταχύτητα ελεύθερης ροής, οι περίοδοι διακοπών, τα ειδικά περιστατικά κατά μήκος της οδού, οι καθυστερήσεις λόγω σήμανσης ή σηματοδότησης, οι καιρικές συνθήκες και το επίπεδο κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Αναφορικά με τη **συλλογή των δεδομένων χρόνου διαδρομής**, αυτή μπορεί να γίνει με διάφορες τεχνικές, όπως οι τεχνικές δοκιμαστικού οχήματος, οι τεχνικές αντιστοίχισης πινακίδας κυκλοφορίας, οι τεχνικές οχήματος ανίχνευσης ITS και με αναδυόμενες ή μη παραδοσιακές τεχνικές. Στις τεχνικές δοκιμαστικού οχήματος τα δεδομένα χρόνου διαδρομής συλλέγονται αξιοποιώντας ένα δοκιμαστικό όχημα σε συνδυασμό με διάφορα όργανα. Στις τεχνικές αντιστοίχισης πινακίδων κυκλοφορίας η συλλογή του χρόνου διαδρομής γίνεται μέσω της αντιστοίχισης πινακίδων οχήματος μεταξύ διαδοχικών σημείων ελέγχου. Επιπλέον, η καταγραφή του χρόνου διαδρομής με αξιοποίηση των Έξυπνων Συστημάτων Αναφοράς είναι δυνατή με χρήση οχημάτων, εξοπλισμένα με αναμεταδότες

βάσει προσανατολισμού, αναμεταδότες αυτόματης αναγνώρισης οχήματος (AVI) και επίγεια ραδιοπλοήγηση. Τέλος, οι αναδυόμενες ή μη παραδοσιακές τεχνικές αξιοποιούνται με χρήση εξοπλισμού ανίχνευσης οχημάτων «σημείου», όπως ανιχνευτές βρόχου επαγωγής ή βιντεοκάμερες.

3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** στο οποίο βασίστηκε η ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, γίνεται αναφορά σε βασικές έννοιες στατιστικής, ώστε να γίνουν εύκολα κατανοητές. Έπειτα, αναφέρονται λεπτομερώς οι μέθοδοι ανάλυσης που αναπτύχθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων, δηλαδή η γραμμική και η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση όπως και η ανάλυση χρονοσειρών με ανάπτυξη μοντέλων ARIMA. Τέλος, παρουσιάζονται οι απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι και τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης ενός μοντέλου.

3.2 Βασικές Έννοιες Στατιστικής

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

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

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

- **Ποιοτικές μεταβλητές** (qualitative variables): Ορίζονται οι μεταβλητές των οποίων οι δυνατές τιμές είναι κατηγορίες διαφορετικές μεταξύ τους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αριθμοί ώστε να παρουσιαστεί μία τέτοια μεταβλητή, αλλά η χρήση αυτών είναι καθαρά συμβολική και δεν αποτελεί μονάδα μέτρησης. Τέτοιες για παράδειγμα είναι το επίπεδο μόρφωσης.
- **Ποσοτικές μεταβλητές** (quantitative variables): Ορίζονται οι μεταβλητές οι οποίες εκφράζονται με αριθμούς που όμως έχουν τη σημασία της μέτρησης, όπως για παράδειγμα η ηλικία ή το πλήθος των ατόμων μίας οικογένειας. Επιπλέον οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις διακριτές και τις συνεχείς.
 - Μία μεταβλητή θεωρείται **διακριτή** όταν η μικρότερη μη μηδενική διαφορά που μπορεί να έχουν δύο τιμές της, είναι σταθερή ποσότητα. Ένα τέτοιο παράδειγμα θεωρείται ο αριθμός των ατυχημάτων σε ένα χρονικό διάστημα.
 - Μία μεταβλητή ορίζεται **συνεχής** όταν δύο τιμές μπορούν να διαφέρουν κατά οποιαδήποτε μικρή ποσότητα, δηλαδή μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή σε ένα διάστημα τιμών. Για παράδειγμα, τέτοια μεταβλητή μπορεί να θεωρηθούν τα λεπτά, τα δευτερόλεπτα, η ταχύτητα.

Επίσης, δύο από τα πιο σημαντικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται στον κλάδο της στατιστικής και υπάρχουν σε όλες τις κατανομές είναι η **μέση τιμή** και η **διακύμανση**.

Μέση τιμή (E): Ορίζεται το άθροισμα των τιμών δια το πλήθος των τιμών. Σε περίπτωση ανάλυσης ενός δείγματος $x_1, x_2, \dots, x_n$ η μέση τιμή υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

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

Διακύμανση (Var): Ορίζεται ο "μέσος όρος των τετραγώνων διαφορών από τον μέσο όρο". Η διακύμανση είναι ίση με 0 εάν όλες οι τιμές της μεταβλητής είναι ίσες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των τιμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση. Όταν η διακύμανση είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή, αυτό ονομάζεται υπερδιασπορά και είναι μεγαλύτερη από 1. Εάν είναι μικρότερη από 1, είναι γνωστή ως υποδιασπολή. Στην περίπτωση που τα δεδομένα αποτελούν ένα δείγμα η διακύμανση συμβολίζεται με s^2 και ορίζεται ως:

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

Επιπρόσθετα, μία σημαντική έννοια, η οποία δείχνει πόσο καλά συσχετίζονται δύο μεταβλητές και μπορούν να συνυπάρχουν στο ίδιο μοντέλο είναι ο **συντελεστής συσχέτισης ρ**. Θεωρούνται δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές x, y . Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο αυτών μεταβλητών x και y με διασπορά σ_x^2 και σ_y^2 αντίστοιχα και συνδιασπορά $\sigma_{xy} = \text{Cov}[x,y]$ καθορίζεται με τον συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) ρ , ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$\rho = \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \right) \left(\frac{1}{\sigma_y} \right)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης ρ εκφράζει τον βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται. Δεν εξαρτάται από την μονάδα μέτρησης των x και y και παίρνει 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 . Η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης ρ γίνεται με την αντικατάσταση στην ανωτέρω εξίσωση την συνδιασποράς σ_{xy} και των διασπορών σ_x, σ_y , από όπου προκύπτει τελικά η έκφραση της **εκτιμήτριας r**:

$$r(x, y) = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{[(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)^{1/2}]}$$

3.3 Μαθηματικά μοντέλα

3.3.1 Γραμμική Παλινδρόμηση

Ο κλάδος της στατιστικής που εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της μίας από τις υπόλοιπες, ονομάζεται **ανάλυση παλινδρόμησης** (regression analysis). Η παλινδρόμηση στην οποία υπάρχει μία μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή ονομάζεται **απλή παλινδρόμηση**, ενώ αν υπάρχουν περισσότερες

από μία ανεξάρτητες μεταβλητές καλείται **πολλαπλή παλινδρόμηση**. 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 μία ανεξάρτητη μεταβλητή ή συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκάλεσε τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων.

Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου συνιστά μία στατιστική διαδικασία, η οποία συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Σημειώνεται 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 την κανονική κατανομή, μία από τις πλέον διαδεδομένες στατιστικές τεχνικές είναι η γραμμική παλινδρόμηση. Η απλούστερη μορφή γραμμικής παλινδρόμησης είναι η **απλή γραμμική παλινδρόμηση** (simple linear regression), η οποία δίνεται από την σχέση:

$$y_i = \alpha + \beta * x_i + \varepsilon_i$$

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία μεταβλητές x ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$), γίνεται αναφορά στην **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression). Η εξίσωση που περιγράφει την σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών είναι η εξής:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \dots + \beta_k * x_{ki} + \varepsilon_i$$

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 εάν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η **μηδενική συσχέτιση** των ανεξάρτητων μεταβλητών ($\rho(x_i, x_j) \rightarrow 0$, για κάθε $i \neq j$).

3.3.2 Λογαριθμοκανονική Παλινδρόμηση

Μέσω της **λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης** (log-normal 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 και 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 (Bauer, Harwood, 1998). Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$\log y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \dots + \beta_k * x_{ki} + \varepsilon_i$$

όπου y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης, $x_{1i}, \dots, x_{ki}$ οι εξαρτημένες μεταβλητές και ε_i το σφάλμα παλινδρόμησης.

3.3.3 Ανάλυση χρονοσειρών με μοντέλα ARIMA

Τα **μοντέλα ARIMA** (Αυτόματου Παλινδρομικού Κινούμενου Μέσου Όρου) είναι μαθηματικά μοντέλα αυτοσυσχέτισης (συσχέτιση μεταξύ τιμών) σε μία χρονοσειρά. Σε αντίθεση με τη χρήση χρονοσειρών σε παλινδρόμηση, τα μοντέλα ARIMA περιγράφουν τη συμπεριφορά μιας μεταβλητής ως προς τις προηγούμενες τιμές της. Αυτά τα μοντέλα είναι αρκετά απλά για ανάπτυξη και είναι χρήσιμα για την πρόβλεψη χρονοσειρών ακόμη και ελλείψει επεξηγηματικών μεταβλητών. Ένα μοντέλο ARIMA είναι μία γενίκευση ενός μοντέλου Autoregressive Moving Average (ARMA) και γενικά συμβολίζεται ως:

$$ARIMA(p, d, q)$$

όπου:

- **p** δηλώνει την αυτόματη παλινδρομική σειρά (δηλ. τον αριθμό χρονικών καθυστερήσεων)
- **d** υποδηλώνει τη διαφορά (δηλ. τον αριθμό των διαφοροποιημένων μετασχηματισμών που απαιτούνται από τις χρονοσειρές για να γίνει στάσιμη)
- **q** υποδηλώνει τη μη εποχιακή κίνηση του μέσου όρου (δηλ. την καθυστέρηση του στοιχείου σφάλματος, το οποίο είναι το τμήμα των χρονοσειρών που δεν εξηγούνται από την τάση ή την εποχικότητα)

Από την άλλη πλευρά, τα εποχιακά μοντέλα ARIMA χρησιμοποιούνται όταν οι χρονοσειρές παρουσιάζουν **εποχικότητα**. Αυτά τα μοντέλα είναι παρόμοια με τα μοντέλα ARIMA και συνήθως συμβολίζονται ως:

$$ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)m$$

όπου:

- **p** υποδηλώνει τη μη εποχιακή αυτόματη παλινδρομική σειρά
- **d** υποδηλώνει τη μη εποχιακή διαφορά
- **q** υποδηλώνει τη μη εποχιακή τάση μέσου κίνησης
- **P** υποδηλώνει την εποχιακή αυτόματη παλινδρομική σειρά
- **D** υποδηλώνει εποχική διαφοροποίηση
- **Q** υποδηλώνει εποχική μετακίνηση μέσου όρου
- **m** είναι ο αριθμός των περιόδων σε κάθε σεζόν

Οι χρονοσειρές εμφανίζουν κάποια κοινά βασικά χαρακτηριστικά: τη στασιμότητα ή μη στασιμότητα (stationary or non-stationary), την τάση (trend), την περιοδικότητα που διακρίνεται σε εποχικότητα (seasonality) ή κυκλική διακύμανση (cycle), τα κατάλοιπα (residuals), αλλά και την αυτοσυσχέτιση (auto-correlation).

Ως πρώτο βήμα για τη ταυτοποίηση του μοντέλου και την **ερμηνεία** των δεδομένων **χρονοσειρών**, απαιτείται η **αποσύνθεση** των χρονοσειρών της παρατηρούμενης

μεταβλητής για τον προσδιορισμό των θεμελιωδών τμημάτων της: τάση, εποχικότητα και τυχαιότητα. Η αποσύνθεση χρονοσειράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της ισχύος της τάσης και της εποχικότητας (Wang et al. 2006). Ο τρόπος με τον οποίο εκτελείται η αποσύνθεση εξαρτάται από το αν τα δεδομένα χρονοσειρών είναι πολλαπλασιαστικά ή προσθετά (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Είναι, επίσης, σημαντικό οι χρησιμοποιούμενες χρονοσειρές να είναι **στάσιμες**, καθώς είναι πιο εύκολο να προβλεφθεί τότε ο μέσος όρος και η διακύμανση είναι σταθερά με την πάροδο του χρόνου (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Προκειμένου να γίνει στάσιμη μια χρονοσειρά, μπορεί να εφαρμοστεί ένας μετασχηματισμός στα δεδομένα, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο διαφοροποίησης. Για να ελεγχθεί μια χρονοσειρά για στασιμότητα αξιοποιείται ο έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (Dickey & Fuller, 1979).

Για να προσδιοριστεί ένα αρχικό μοντέλο ARIMA, χρησιμοποιούνται οι γραφικές παραστάσεις των συναρτήσεων **αυτοσυσχέτισης (ACF)** και **μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF)**. Για να οριστούν οι παράμετροι p, d, q για το μοντέλο ARIMA, θα χρησιμοποιηθεί μια αυτόματη αναζήτηση των καλύτερων παραμέτρων σύμφωνα με το κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC) ή το κριτήριο Bayesian Information (BIC). Το καλύτερο μοντέλο θα επιλεγεί με βάση τα μικρότερα AIC και BIC. Η δοκιμή Ljung-Box (Ljung & Box, 1978) θα χρησιμοποιηθεί, επίσης, ως ένα δημοφιλές εργαλείο για τη δοκιμή της καταλληλότητας του μοντέλου.

3.4 Στατιστική αξιολόγηση και Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός μαθηματικού μοντέλου μετά τη διαμόρφωσή του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών β_i της εξίσωσης, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης.

- Όσον αφορά στους **συντελεστές της εξίσωσης**, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα **λογικής ερμηνείας των προσήμων τους**. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντιθέτως, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει κι αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά β_i μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).
- Η **στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου** αξιολογείται μέσω του ελέγχου **t-test** (κριτήριο t της κατανομής Student). Με τον δείκτη t προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών, καθορίζονται, δηλαδή, ποιες μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής t εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$t_{stat} = \frac{\beta_i}{s.e}$$

Όπου $s.e.$ το τυπικό σφάλμα (standard error).

Με βάση την παραπάνω σχέση, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται ο συντελεστής t_{stat} και συνεπώς αυξάνεται η **επάρκεια** (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t (κατά απόλυτη τιμή), τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον πίνακα που δίνεται στην συνέχεια παρουσιάζονται οι κρίσιμες τιμές του συντελεστή t (t^*) για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης.

Πίνακας 3. 1: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t

Βαθμοί Ελευθερίας	Επίπεδο Εμπιστοσύνης				
	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
80	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Ως βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom) τίθενται το πλήθος δείγματος μείον ένα. Έτσι, για μέγεθος δείγματος 81 (άρα βαθμοί ελευθερίας 80) και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι $t^*=1,7$ ενώ για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% είναι $t^*=1,3$. Αν, λοιπόν, $t = -3,2$ για κάποια ανεξάρτητη μεταβλητή X_i τότε παρατηρείται ότι η **απόλυτη τιμή** του t είναι μεγαλύτερη από την τιμή του $t^*(1,7)$ και επομένως είναι αποδεκτή η μεταβλητή ως στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων.

- Σημαντικός έλεγχος για την αξιολόγηση του μοντέλου είναι η **στατιστική σημαντικότητα** των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή η επιλογή των μεταβλητών που θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο έλεγχος στατιστικών υποθέσεων γίνεται μέσω του υπολογισμού της τιμής της πιθανότητας p (probability-value ή p -value). Η πιθανότητα p είναι το μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας α 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 α , τότε η μηδενική υπόθεση H_0 απορρίπτεται. Εάν το p είναι μικρότερο από 0,05 τότε, η μεταβλητή επηρεάζει τη μεταβλητή απόκρισης και πρέπει να συμπεριληφθεί στο τελικό μοντέλο, διαφορετικά δεν πρέπει. Στην R ο αριθμός των αστεριών προσδιορίζει τη σημαντικότητά της και βρίσκεται στο τέλος κάθε μεταβλητής.
- Η **ποιότητα του μοντέλου** καθορίζεται βάσει του συντελεστή προσαρμογής R^2 . Ο συντελεστής R^2 χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και ορίζεται από την σχέση:

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

Όπου:

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

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

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

- Για να πραγματοποιηθούν με επιτυχία οι μέθοδοι γραμμικής και λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης (Linear regression, Lognormal regression) οι **ανεξάρτητες μεταβλητές** του προβλήματος πρέπει να είναι μεταξύ τους **ασυσχέτιστες**. Στην περίπτωση που δεν είναι ασυσχέτιστες, στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, η διαδικασία οδηγείται σε αποτυχία με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου.
- Τελευταίο κριτήριο αποδοχής ενός μοντέλου είναι η **ελαστικότητα**. Πρόκειται για έναν δείκτη που αντικατοπτρίζει την ευαισθησία μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας 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 μοντέλα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$e_i = \left(\frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \right) * \left(\frac{X_i}{Y_i} \right) = \beta_i * \left(\frac{X_i}{Y_i} \right)$$

4. Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η διαδικασία **συλλογής και η επεξεργασία** των απαραίτητων **στοιχείων** για την εκπλήρωση του στόχου της Διπλωματικής. Το βήμα αυτό είναι σημαντικό, καθώς θα γίνει λεπτομερής ανάλυση της διαδικασίας, έτσι ώστε να δοθεί μία πλήρης εικόνα της αξιοπιστίας και της ποιότητας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Το εν λόγω κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο ενότητες. Η πρώτη ενότητα αναφέρεται στη **διαδικασία συλλογής** των στοιχείων που αξιοποιήθηκαν. Η δεύτερη ενότητα επικεντρώνεται στην **περιγραφική στατιστική ανάλυση** των στοιχείων αυτών και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά διαγράμματα και πίνακες που απεικονίζουν τη σχέση του χρόνου διαδρομής με οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά. Τέλος, παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα που προκύπτουν από την περιγραφική ανάλυση.

4.2 Συλλογή Δεδομένων

Για να επιτευχθεί ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας αξιοποιούνται δεδομένα που αφορούν σε οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά στο κέντρο της Αθήνας κατά την περίοδο της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου στην Αθήνα.

4.2.1 Χρόνος Διαδρομής

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα που συλλέχθηκαν από την εφαρμογή Google Maps API. Συγκεκριμένα, ορίστηκαν δώδεκα διαδρομές σε κεντρικούς, εισόδου, εξόδου και περιφερειακούς οδικούς άξονες στο κέντρο της Αθήνας για τις οποίες αρχικά συλλέχθηκαν οι **μέσες ταχύτητες** που καταγράφηκαν τις καθημερινές εργάσιμες ημέρες (Δ-Π) από τις 15 Ιουνίου 2020 έως και τις 23 Οκτωβρίου του 2020. Συνεπώς, έχοντας ως δεδομένη την απόσταση της κάθε διαδρομής που είχε οριστεί και την μέση ταχύτητα, προέκυψε το υπό μελέτη κυκλοφοριακό μέγεθος στην παρούσα Διπλωματική, ο χρόνος διαδρομής.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν διαθέσιμα ανά **πρωινή και απογευματινή αιχμή** ανά ημέρα. Ως πρωινή αιχμή ορίζεται το χρονικό διάστημα 08:00-10:00, ενώ ως απογευματινή αιχμή ορίζεται το χρονικό διάστημα 14:00-16:00. Στην κατηγορία των οδηγών συμπεριλαμβάνονται όλοι οι οδηγοί των οχημάτων χωρίς κάποια συγκεκριμένη διακριτοποίηση.

Οι χάρτες της Google είναι μία δημοφιλής διαδικτυακή υπηρεσία χαρτογράφησης που ξεκίνησε από την εταιρεία Google στις αρχές του 2005 για την παροχή μίας εξαιρετικά ανταποκρινόμενης οπτικής διεπαφής, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες AJAX. Λίγο αργότερα, η Google ξεκίνησε το **Google Maps API** για να επιτρέψει την επεξεργασία των διαδικτυακών χαρτών (Taylor 2005). Το Google Maps API παρέχει την δυνατότητα ενσωμάτωσης μίας τοποθεσίας από το Google Maps σε έναν εξωτερικό ιστότοπο όπως και τη δυνατότητα επικάλυψης συγκεκριμένων δεδομένων σε αυτή την τοποθεσία (Mercurio 2008).

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο χρόνος διαδρομής με χρήση του Google Maps API, γίνεται, αρχικά, η προετοιμασία των δεδομένων. Οι πληροφορίες τοποθεσίας με τη μορφή **γεωγραφικών συντεταγμένων** τροφοδοτούνται στο Google Maps για γεωκωδικοποίηση. Επομένως, τόσο τα επίπεδα προέλευσης όσο και τα επίπεδα προορισμού πρέπει να είναι σημεία σε μία προβολή γεωγραφικών συντεταγμένων. Τα δεδομένα εισάγονται σε ένα εργαλείο (πχ. Python, R) που αυτοματοποιεί την ακόλουθη διαδικασία. Σε κάθε επανάληψη, ο χρόνος διαδρομής εκτιμάται μεταξύ ενός σημείου προέλευσης και ενός σημείου προορισμού, καλώντας το Google Directions API. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν το πρόγραμμα φτάσει στον τελευταίο συνδυασμό προελεύσεων και προορισμών.

4.2.2 Σύνθεση Κυκλοφορίας και Κυκλοφοριακοί Φόρτοι

Η συλλογή δεδομένων σύνθεσης της κυκλοφορίας πραγματοποιήθηκε με τη συγκρότηση **ομάδας μετρήσεων** από συγκοινωνιολόγους μηχανικούς του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εν λόγω ομάδα συνέβαλε στην πραγματοποίηση έρευνας πεδίου μέσω παρατηρήσεων και καταγραφής των κυκλοφοριακών φόρτων. Ως τυπική ημέρα για τις μετρήσεις επιλέχθηκε η ημέρα Πέμπτη. Οι μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν σε σημεία, όπως ορίζονται παρακάτω, στο κέντρο της Αθήνας. Για κάθε σημείο πραγματοποιούνταν καταγραφή διέλευσης οχημάτων για 30 λεπτά για τις περιόδους 08:00-10:30 (πρωινή αιχμή) και 11:00-15:00 (απογευματινή αιχμή).

Συγκεκριμένα, καταγράφηκαν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι (διελεύσεις) των ακόλουθων **μέσων μεταφοράς**, για τις 14 πρώτες εβδομάδες λειτουργίας της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου:

- ΙΧ επιβατικά οχήματα
- Ταξί
- Φορτηγά
- Λεωφορεία
- Μοτοσυκλέτες
- Ποδήλατα
- Πατίνια

Η καταγραφή του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου **μέσων μεταφοράς** και **πεζών** καθώς και η σύνθεση της κυκλοφορίας πραγματοποιήθηκε σε επιλεγμένα σημεία σε κεντρικούς οδικούς άξονες της Αθήνας, στην εγγύς περιοχή επιρροής των κυκλοφοριακών παρεμβάσεων του Μεγάλου Περιπάτου αλλά και σε περιφερειακούς οδικούς άξονες. Τα προαναφερόμενα σημεία είναι:

- Πανεπιστημίου (Σίνα – Ρ. Φεραίου)

- Ακαδημίας (Σίνα – Ρ. Φεραίου)
- Σταδίου (Κολοκοτρώνη – Χρήστου Λαδά)
- Σόλωνος (Σίνα – Ασκληπιού)
- Βας. Σοφίας (Σέκερη – Ακαδημίας)
- Φιλελλήνων (Καρ. Σερβίας – Μητροπόλεως)
- Βας. Αμαλίας (Ξενοφώντος – Όθωνος)
- Λ. Αλεξάνδρας (Βουρνάζου – Κυρίλου Λουκάρεως)
- Λ. Βας. Κωνσταντίνου (Ριζάρη – Σπύρου Μερκούρη)

Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε **ομαδοποίηση των οδικών αξόνων** για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη σύνθεση της κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην οδό Πανεπιστημίου οι κυκλοφοριακές ρυθμίσεις αφορούν στο οδικό τμήμα από την Λ. Βας. Σοφίας έως την οδό Πλ. Ομόνοιας, όπου θα δημιουργηθεί νέος επιπλέον χώρος για πεζούς και ποδηλάτες. Στην πρώτη περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας (14/06/2020 - 31/07/2020) η Πανεπιστημίου λειτούργησε με πλάτος τριών λωρίδων κυκλοφορίας (9 μέτρα επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου) σε όλο το μήκος της οδού. Στη δεύτερη περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας (από 03/08/2020) αποδόθηκε στη μηχανοκίνητη κυκλοφορία μία επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας και επομένως η οδός λειτούργησε με τέσσερις λωρίδες κυκλοφορίας.

Πιο συγκεκριμένα οι οδικοί άξονες ομαδοποιήθηκαν όπως φαίνεται ακολούθως:

- Πανεπιστημίου
- Κεντρικοί οδικοί άξονες (περιλαμβάνει τις οδούς Ακαδημίας, Σόλωνος, Σταδίου)
- Περιφερειακοί οδικοί άξονες (περιλαμβάνει τις οδούς Αλεξάνδρας και Β. Κων/νου)
- Οδικοί άξονες εισόδου (περιλαμβάνει τις οδούς Βας. Σοφίας και Βας. Αμαλίας)
- Οδικοί άξονες εξόδου (περιλαμβάνει τις οδούς Βας. Σοφίας και Φιλελλήνων)

4.2.3 Χαρακτηριστικά Οδικών Αξόνων

Όσον αφορά στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των παραπάνω οδικών αξόνων στους οποίους βρίσκονται οι υπό εξέταση διαδρομές, αναζητήθηκε ο αριθμός των **λωρίδων κυκλοφορίας** και οι **λεωφορειολωρίδες** για κάθε έναν. Για το σκοπό αυτό, αξιοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και στη συνέχεια με τη βοήθεια του Google Street View βρέθηκε ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας και η ύπαρξη ή μη ύπαρξη λεωφορειολωρίδων. Για την επιβεβαίωση των λεωφορειολωρίδων που παρατηρήθηκαν μέσω του Google Street View χρησιμοποιήθηκε και ο ιστότοπος του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (ΟΑΣΑ).

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι για την διερεύνηση των κυκλοφοριακών συνθηκών στην οδό **Πανεπιστημίου** και στην εγγύς περιοχή λόγω των παρεμβάσεων του Μεγάλου Περιπάτου, έχει χρησιμοποιηθεί μία διακριτή μεταβλητή που αφορά μόνο στις λωρίδες κυκλοφορίας της Πανεπιστημίου και κωδικοποιείται με 0 στο διάστημα που η Πανεπιστημίου είχε τρεις λωρίδες κυκλοφορίας (14/06/2020 - 31/07/2020), ενώ με 1 στο διάστημα που η Πανεπιστημίου είχε τέσσερις λωρίδες κυκλοφορίας (από 03/08/2020).

Τέλος, κωδικοποιούνται και οι μεταβλητές που αφορούν στις λεωφορειολωρίδες και στην περίοδο αιχμής. Για μη ύπαρξη λεωφορειολωρίδας η μεταβλητή κωδικοποιείται με 0, ενώ

για ύπαρξη λεωφορειολωρίδας κωδικοποιείται με 1. Σχετικά με την περίοδο αιχμής, με 0 κωδικοποιείται η πρωινή αιχμή, ενώ με 1 κωδικοποιείται η απογευματινή αιχμή.

4.2.4 Σύνοψη στοιχείων μετρήσεων

Πίνακας 4. 1: Ανεξάρτητες μεταβλητές και χαρακτηριστικά τους

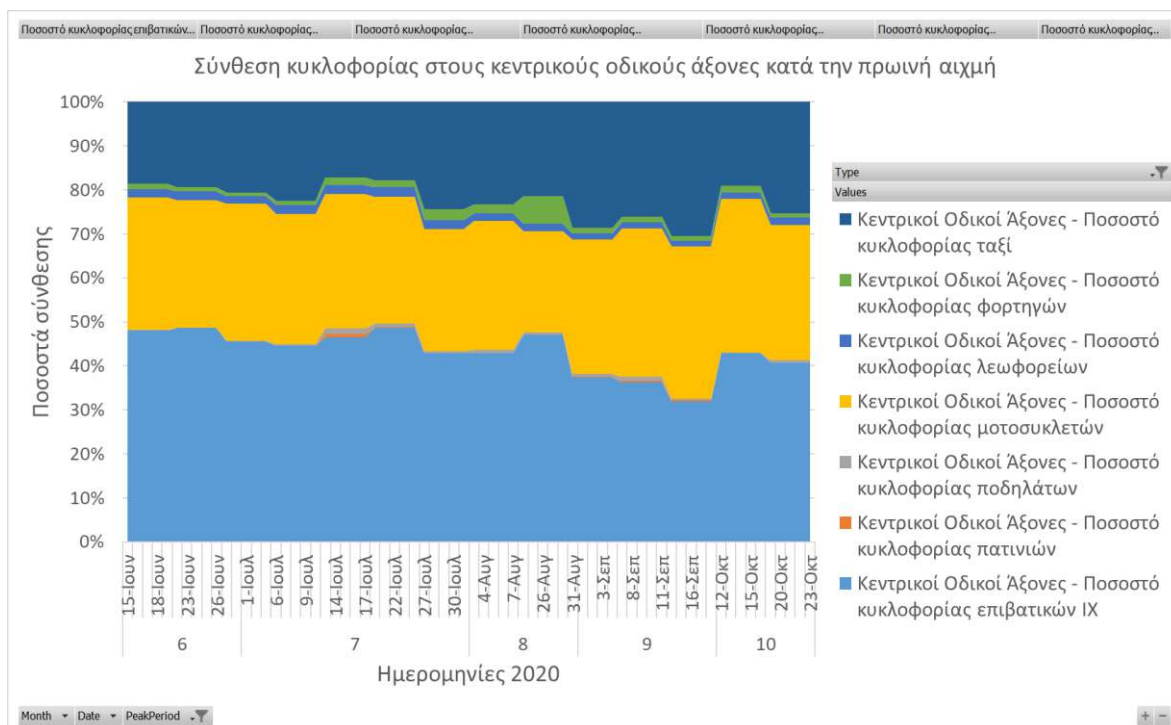
Κατηγορία	Μεταβλητή	Πηγή	Περιγραφή	Είδος μεταβλητής	Avg	Min	Max	Std
Μηχανοκίνητη κυκλοφορία	Volume_Moto	ΕΜΠ	Κυκλοφοριακός φόρτος μοτοσικλετών	Συνεχής μεταβλητή	698	6	1318	253,25
	Volume_Trucks	ΕΜΠ	Κυκλοφοριακός φόρτος φορτηγών	Συνεχής μεταβλητή	74	2	262	57,52
	ModalSplit_PassengerCar%	ΕΜΠ	Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ	Συνεχής μεταβλητή	0,48	0	0,91	0,11
	ModalSplit_Buses%	ΕΜΠ	Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων	Συνεχής μεταβλητή	0,01	0	0,05	0,01
	ModalSplit_Moto%	ΕΜΠ	Ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσικλετών	Συνεχής μεταβλητή	0,29	0	0,52	0,07
	ModalSplit_Taxi%	ΕΜΠ	Ποσοστό κυκλοφορίας ταξί	Συνεχής μεταβλητή	0,18	0	0,36	0,06
Ήπιοι τρόποι μεταφοράς	Volume_Pedestrians	ΕΜΠ	Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών	Συνεχής μεταβλητή	661	0	2780	608,42
	Volume_Bicycles	ΕΜΠ	Κυκλοφοριακός φόρτος ποδηλάτων	Συνεχής μεταβλητή	9	0	54	7,98
	ModalSplit_Bicycles%	ΕΜΠ	Ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων	Συνεχής μεταβλητή	0,003	0	0,02	0,005
Γεωμετρία	PanepistimiouTrafficLanes	ΕΜΠ	Κυκλοφοριακές λωρίδες επί της Πανεπιστημίου	Διακριτή μεταβλητή	0,49	0	1	0,5
	TrafficLanes	ΕΜΠ	Αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων	Συνεχής μεταβλητή	3,04	2	4	0,62
	BusLanes	ΕΜΠ	Λεωφορειολωρίδες	Διακριτή μεταβλητή	0,83	0	1	0,38
Χρόνος	PeakPeriod	ΕΜΠ	Περίοδος αιχμής	Διακριτή μεταβλητή	0,5	0	1	0,5

4.3 Επεξεργασία Στοιχείων

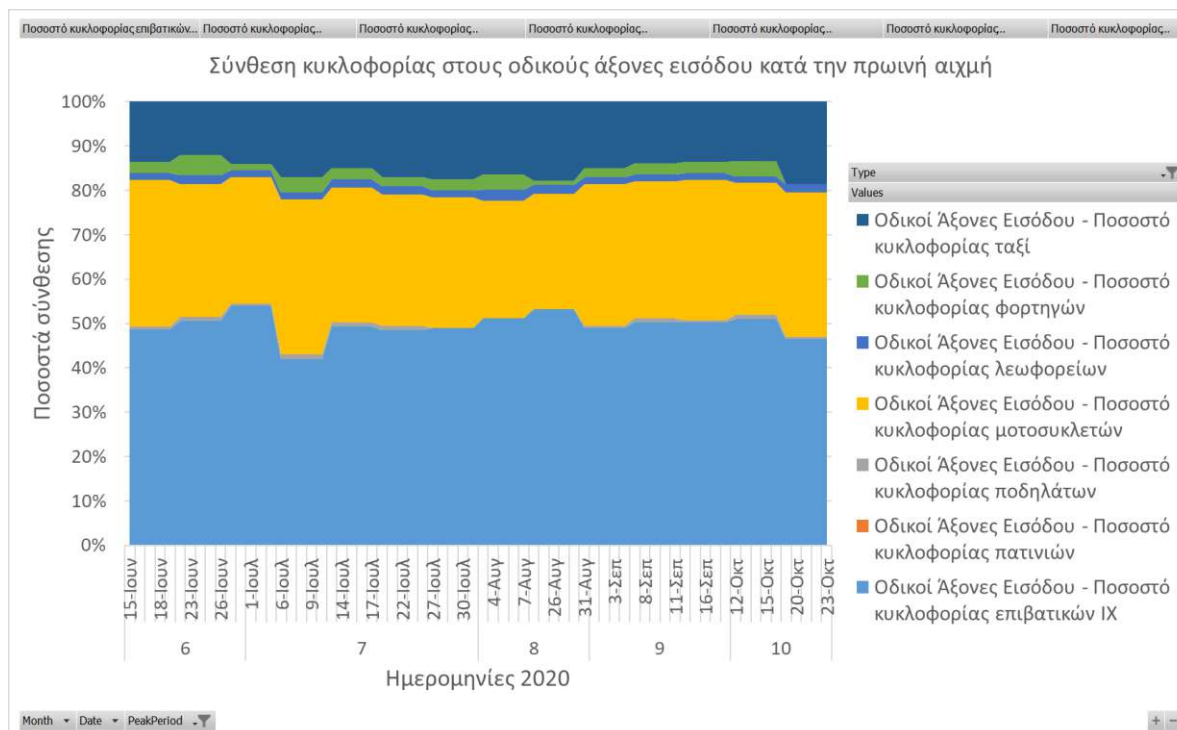
Με στόχο τη διερεύνηση του χρόνου διαδρομής, ανάλογα με τα κυκλοφοριακά μεγέθη και τα χαρακτηριστικά των υπό εξέταση οδικών αξόνων, παρουσιάζονται περιγραφικά διαγράμματα που αποτελούν μία προκαταρκτική ανάλυση που συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή ποιοτικότερων συμπερασμάτων. Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία επιτρέπουν μία πρώτη ανασκόπηση των δεδομένων και ως συνέπεια την αναγνώριση ορισμένων φαινομένων ή τάσεων, την εξοικείωση με τους αριθμούς και την τάξη μεγέθους τους.

4.3.1 Σύνθεση Κυκλοφορίας

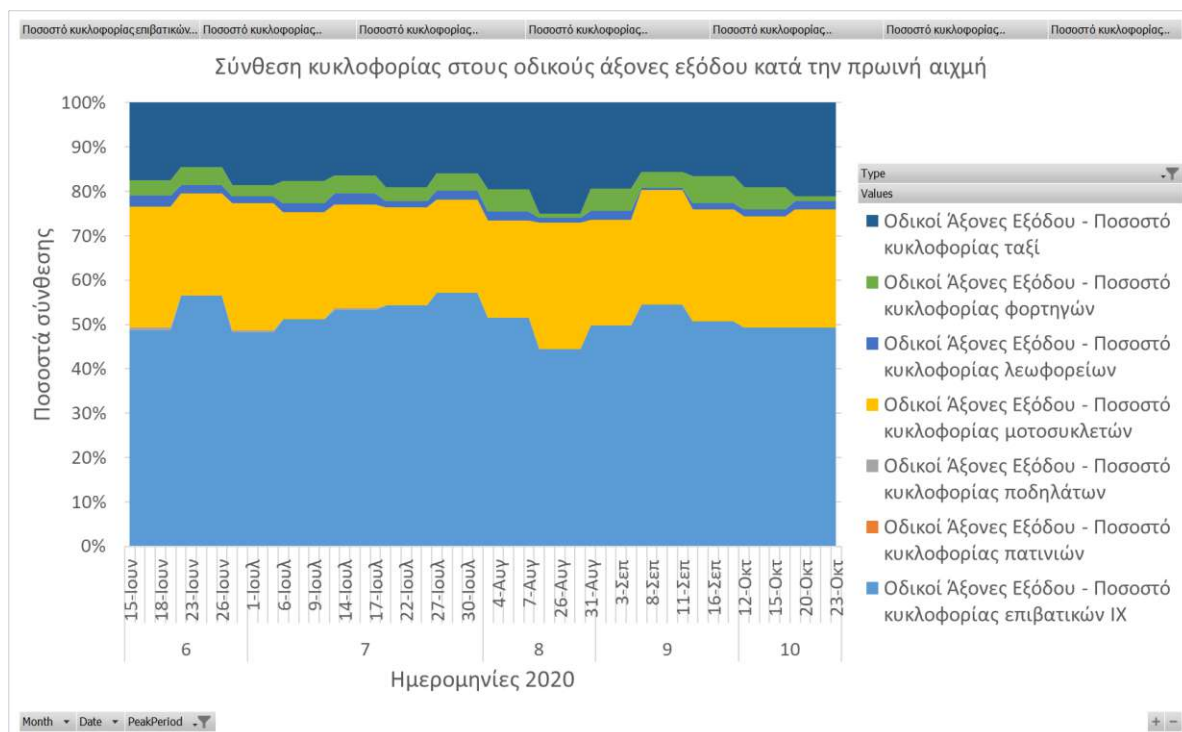
Παρακάτω παρουσιάζονται **διαγράμματα** σχετικά με τη **σύνθεση της κυκλοφορίας** σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσικλές, ποδήλατα και πατίνια στο κέντρο της Αθήνας κατά την πρωινή αιχμή, το χρονικό διάστημα υπό εξέταση (15 Ιουνίου - 23 Οκτωβρίου 2020).



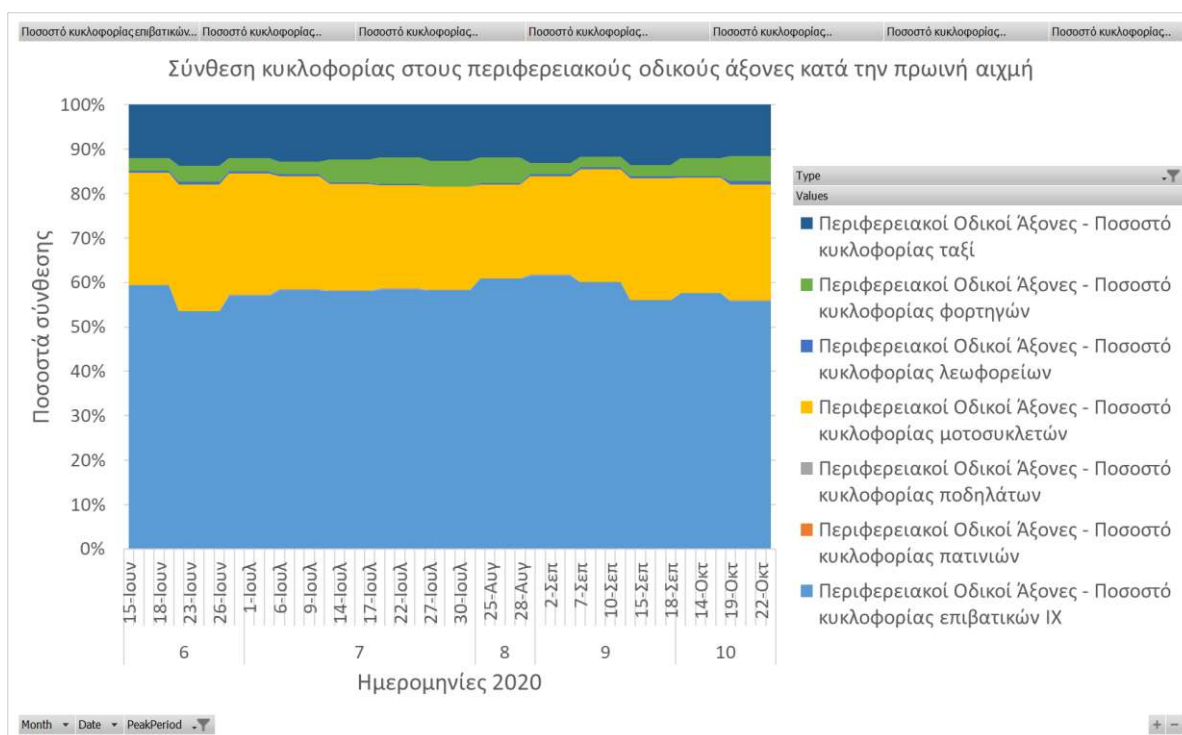
Διάγραμμα 4. 1: Σύνθεση κυκλοφορίας στους κεντρικούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 2: Σύνθεση κυκλοφορίας στους οδικούς άξονες εισόδου κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 3: Σύνθεση κυκλοφορίας στους οδικούς άξονες εξόδου κατά την πρωινή αιχμή



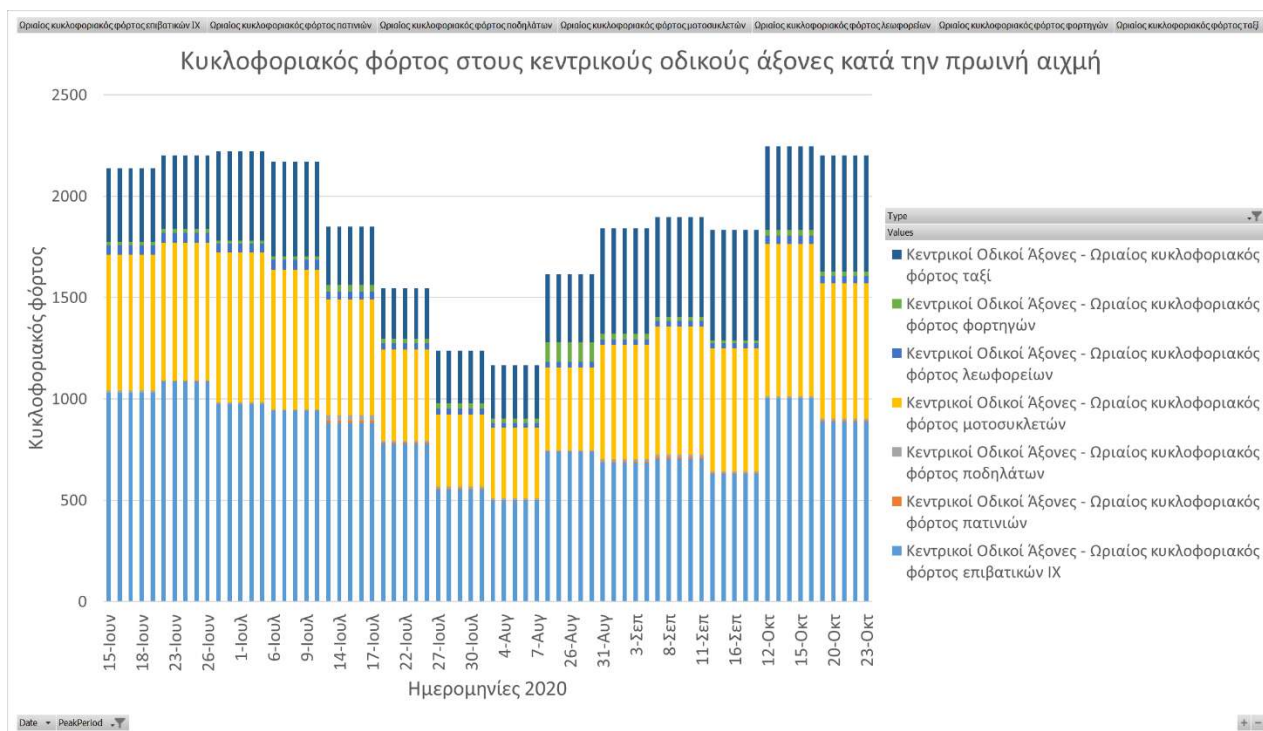
Διάγραμμα 4. 4: Σύνθεση κυκλοφορίας στους περιφερειακούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή

Εξετάζοντας τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

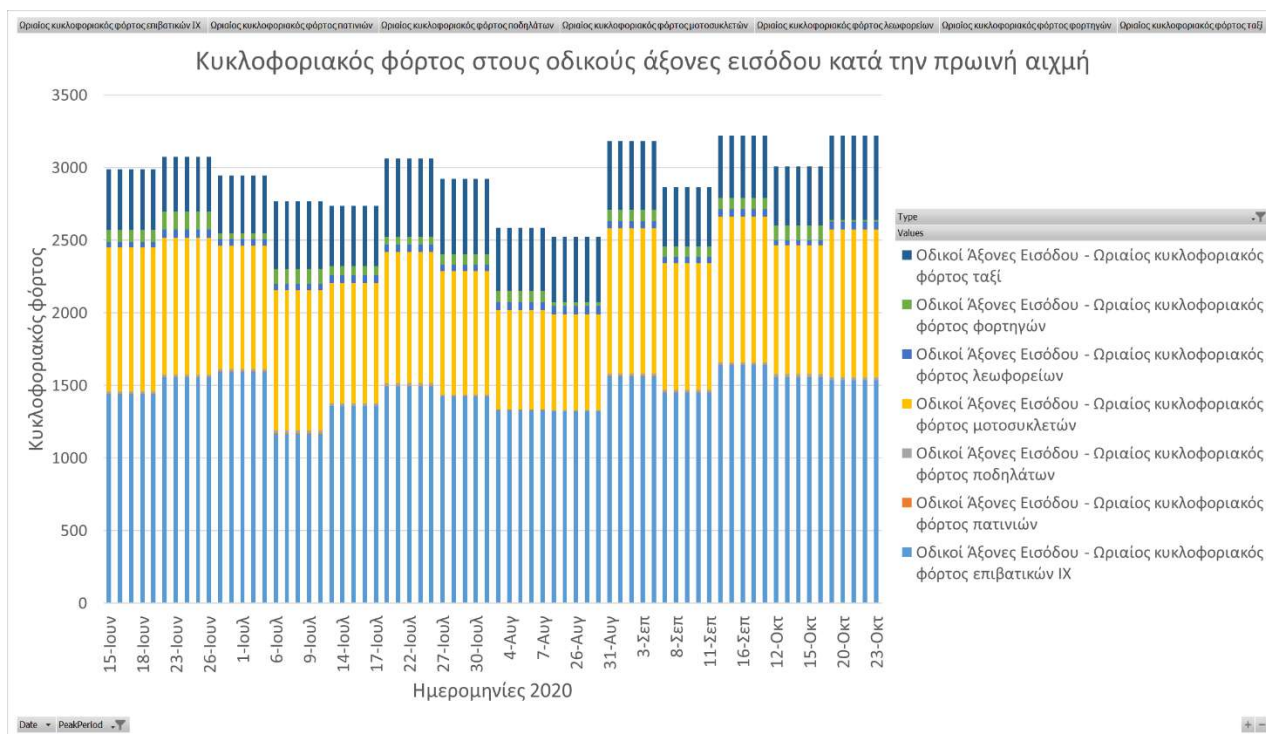
- Το **μεγαλύτερο ποσοστό της κυκλοφορίας**, σε όλες τις κατηγορίες οδικών αξόνων, κατά την πρωινή αιχμή, καταλαμβάνεται από επιβατικά ΙΧ, μοτοσυκλέτες και ταξί.
- Στους υπό εξέταση **κεντρικούς οδικούς άξονες** παρατηρείται μείωση της χρήσης των επιβατικών ΙΧ κατά τον μήνα Σεπτέμβριο, ενώ παρατηρείται ταυτόχρονη αύξηση στη χρήση μοτοσυκλετών και ταξί.
- Στους **οδικούς άξονες εισόδου** παρατηρείται απότομη μείωση στην χρήση των ΙΧ, στις αρχές Ιουλίου.
- Στους **οδικούς άξονες εξόδου** παρατηρείται μία συνεχόμενη αύξηση του ποσοστού χρήσης των ΙΧ στη διάρκεια του Ιουλίου, η οποία ακολουθείται από πτώση μέχρι τα τέλη Αυγούστου.
- Στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες**, δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στην σύνθεση κυκλοφορίας κατά το χρονικό διάστημα υπό εξέταση.
- Στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες**, η χρήση επιβατικών ΙΧ φαίνεται να είναι υψηλότερη συγκριτικά με τους υπόλοιπους υπό εξέταση τύπους οδικών αξόνων.

4.3.2 Κυκλοφοριακός Φόρτος

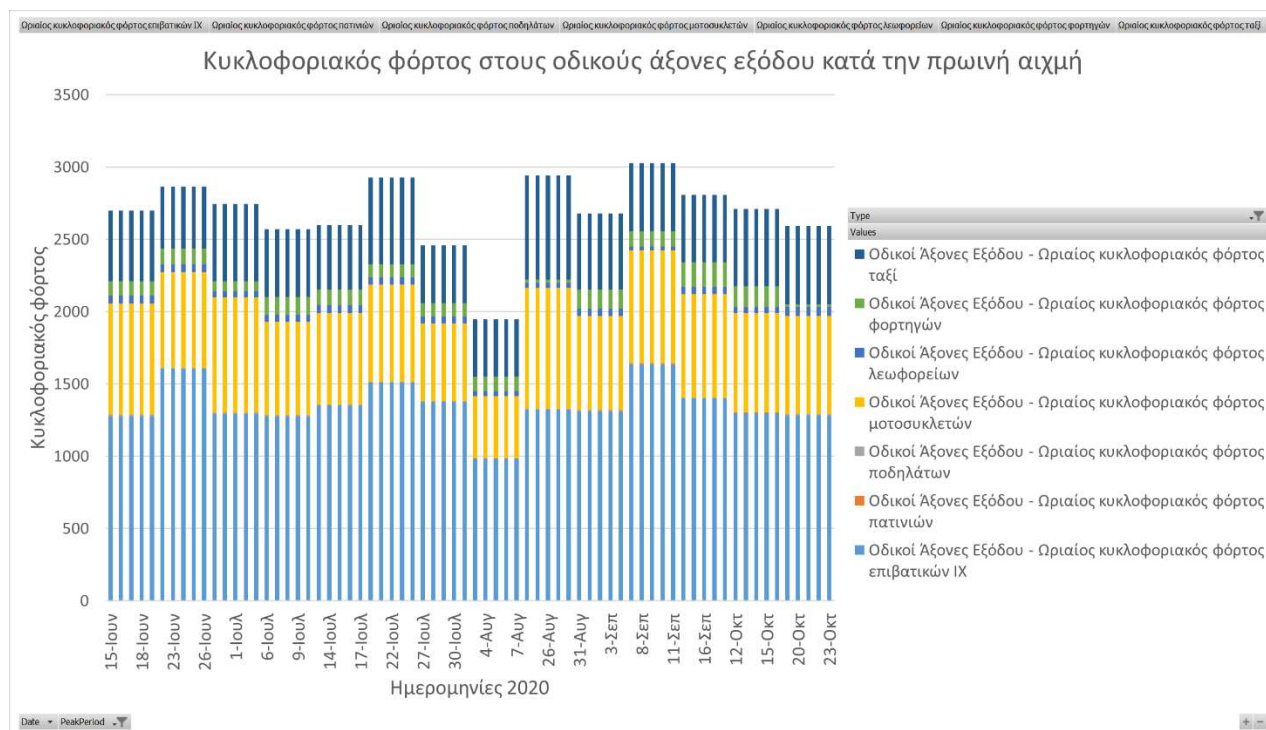
Παρακάτω παρουσιάζονται **διαγράμματα** σχετικά με τον **κυκλοφοριακό φόρτο οχημάτων** και **πεζών** στο κέντρο της Αθήνας, από 15 Ιουνίου έως 23 Οκτωβρίου 2020, κατά την πρωινή αιχμή.



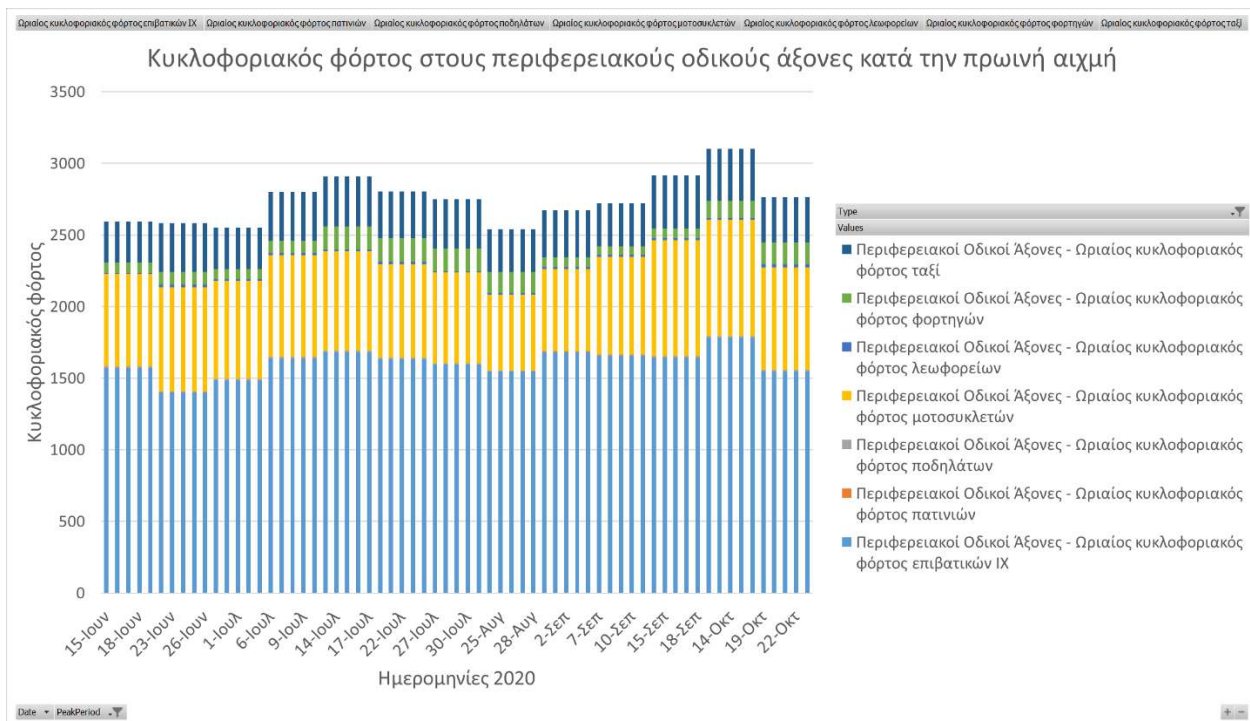
Διάγραμμα 4. 5: Κυκλοφοριακός φόρτος στους κεντρικούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή



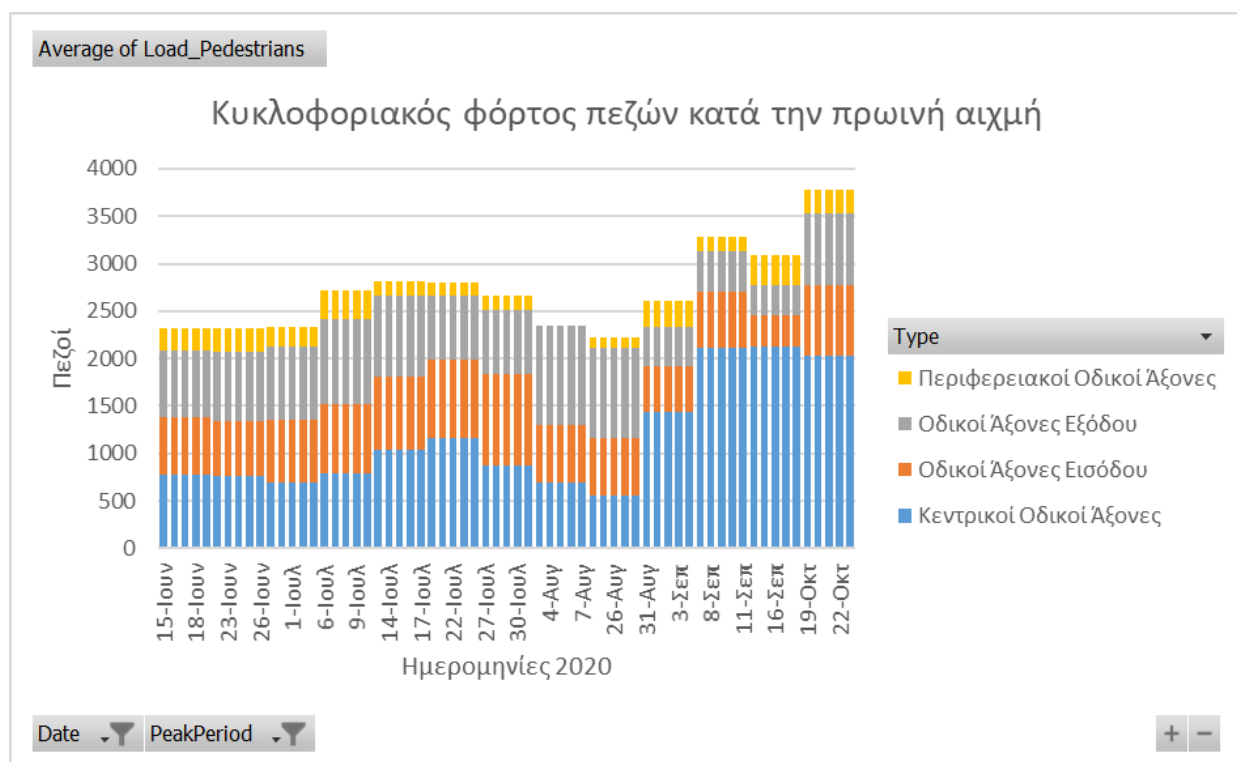
Διάγραμμα 4. 6: Κυκλοφοριακός φόρτος στους οδικούς άξονες εισόδου κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 7: Κυκλοφοριακός φόρτος στους οδικούς άξονες εξόδου κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 8: Κυκλοφοριακός φόρτος στους περιφερειακούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 9: Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών κατά την πρωινή αιχμή

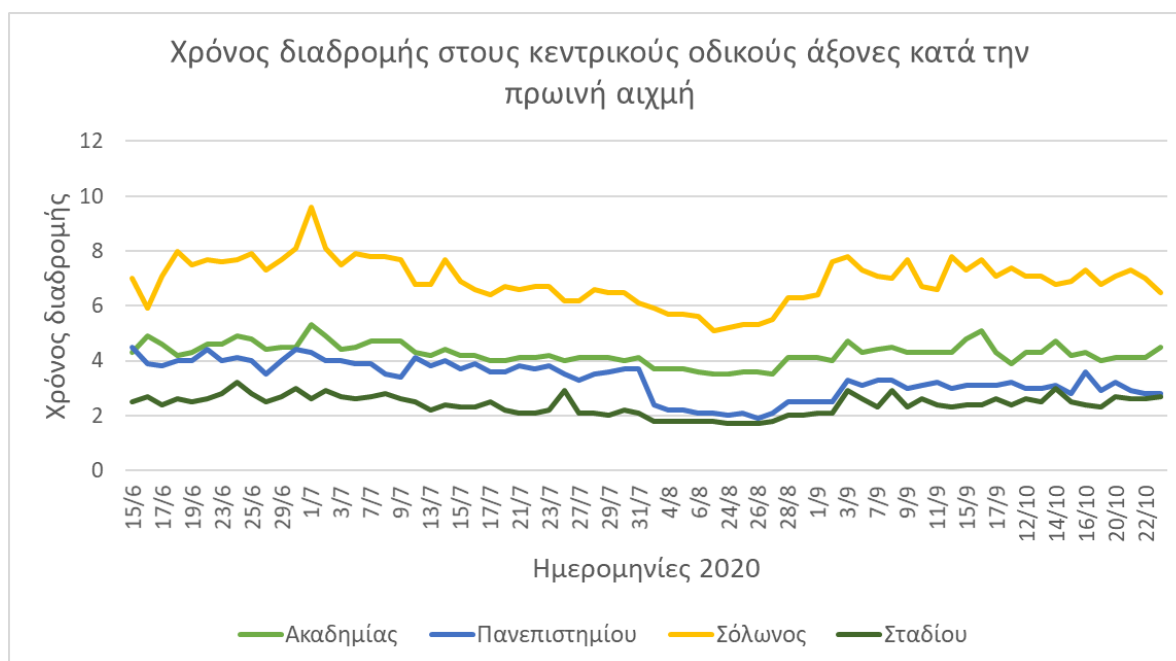
Εξετάζοντας τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος όλων των οχημάτων στους **κεντρικούς οδικούς άξονες** παρουσιάζει μία συνεχώς μειούμενη τάση μέχρι τα τέλη Ιουλίου, οπότε και αρχίζει να σταθεροποιείται και ακολούθως να αυξάνεται.

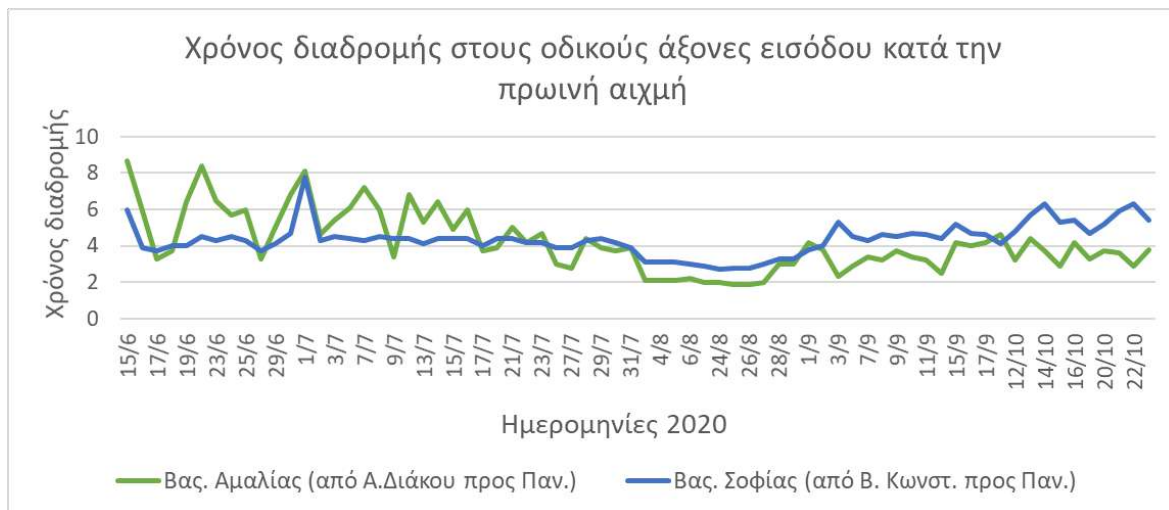
- Στους **οδικούς άξονες εισόδου** παρατηρείται αύξηση της γενικής κυκλοφορίας από τις αρχές Σεπτεμβρίου με τη σημαντικότερη αύξηση να παρατηρείται στα επιβατικά ΙΧ και στις μοτοσυκλέτες
- Παρατηρείται σημαντική πτώση του κυκλοφοριακού φόρτου όλων των οχημάτων στους **οδικούς άξονες εξόδου**, κατά τον μήνα Αύγουστο.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος των επιβατικών ΙΧ στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες** δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές καθ' όλη την υπό εξέταση χρονική περίοδο.
- Στους κεντρικούς οδικούς άξονες παρατηρούνται περισσότεροι **πεζοί** συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές, ενώ στους περιφερειακούς οδικούς άξονες παρατηρούνται οι λιγότεροι πεζοί. Ο κυκλοφοριακός φόρτος των πεζών στους οδικούς άξονες εισόδου και εξόδου είναι σχεδόν ο ίδιος. Η κυκλοφορία των πεζών αυξάνεται αισθητά κατά τον Σεπτέμβριο κυρίως στους κεντρικούς άξονες.

4.3.3 Χρόνος Διαδρομής

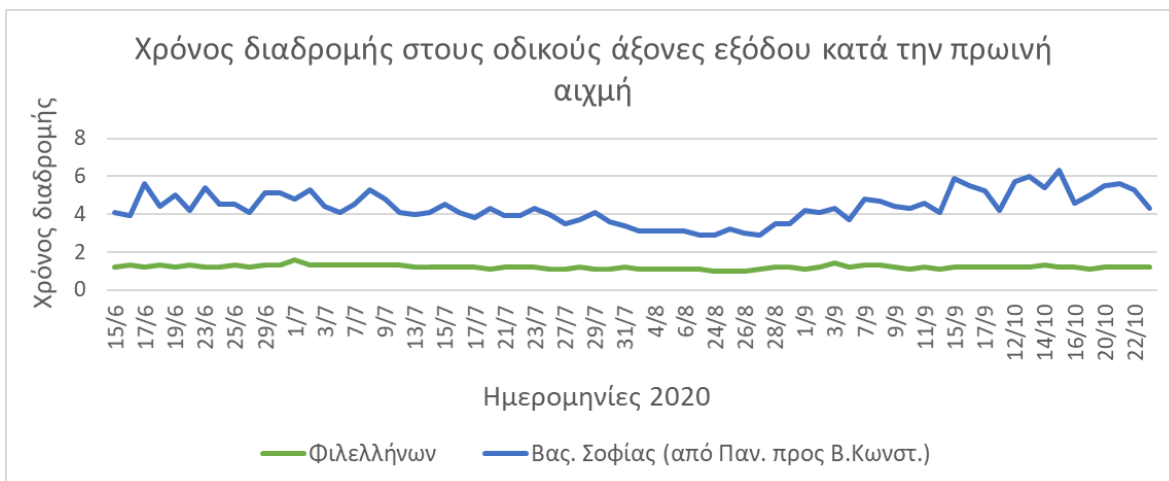
Παρακάτω, παρουσιάζονται **διαγράμματα** που αφορούν στο **χρόνο διαδρομής** στο κέντρο της Αθήνας, κατά την πρωινή αιχμή.



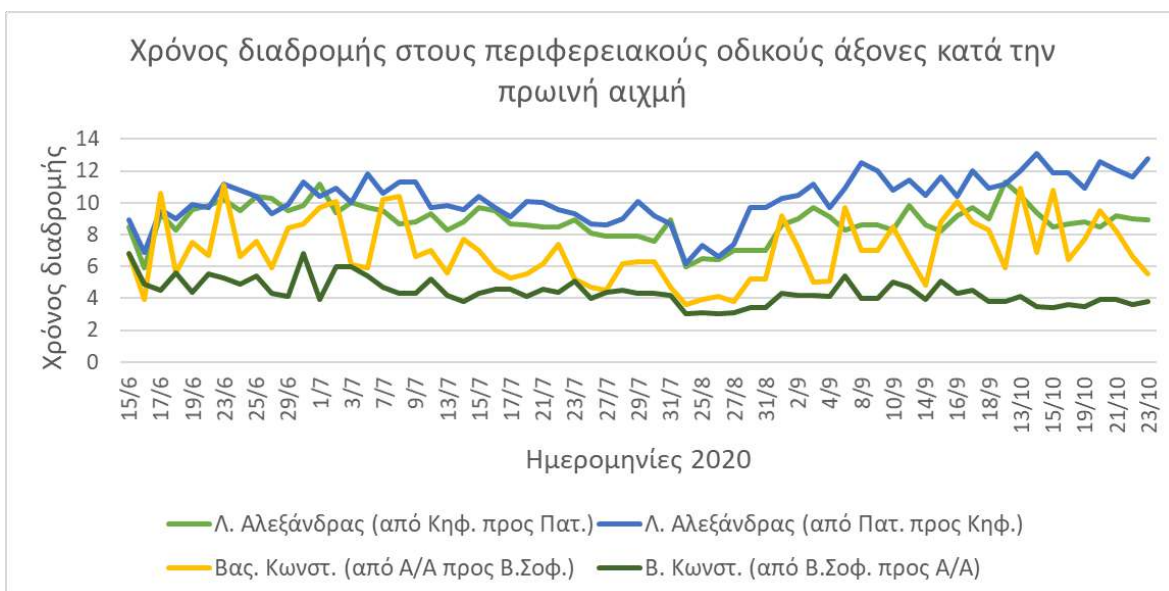
Διάγραμμα 4. 10: Χρόνος διαδρομής στους κεντρικούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 11: Χρόνος διαδρομής στους οδικούς άξονες εισόδου κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 12: Χρόνος διαδρομής στους οδικούς άξονες εξόδου κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 13: Χρόνος διαδρομής στους περιφερειακούς οδικούς άξονες κατά την πρωινή αιχμή



Διάγραμμα 4. 14: Χρόνος διαδρομής στην Πανεπιστημίου κατά την πρωινή αιχμή

Εξετάζοντας τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Σε όλους τους υπό εξέταση οδικούς άξονες, ο χρόνος διαδρομής παρουσιάζει σημαντική πτώση τον Αύγουστο, γεγονός που δικαιολογείται λόγω των καλοκαιρινών διακοπών.
- Η μέγιστη τιμή του χρόνου διαδρομής στην Πανεπιστημίου είναι 4,5 λεπτά και παρατηρείται την πρώτη εβδομάδα εφαρμογής των κυκλοφοριακών παρεμβάσεων στο πλαίσιο του Μεγάλου Περιπάτου.
- Αναφορικά με τους οδικούς άξονες εξόδου, ο χρόνος διαδρομής στη Φιλελλήνων παρουσιάζει μία σταθερότητα, ενώ στη Βασιλίσσης Σοφίας αυξομειώνεται συνεχώς αλλά σε μικρό εύρος τιμών.
- Στους περιφερειακούς, στη Βασ. Κωνσταντίνου στο ρεύμα προς Κηφισιά παρουσιάζεται σημαντική μεταβολή στο χρόνο διαδρομής, κάτι που δεν παρατηρείται στο αντίθετο ρεύμα.
- Στην Πανεπιστήμιου παρατηρείται βελτίωση του χρόνου διαδρομής κατά τον Σεπτέμβριο.
- Όσον αφορά στους άξονες εισόδου, ο χρόνος διαδρομής στη Βασ. Σοφίας δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή, σε αντίθεση με την Βασ. Αμαλίας που αυξομειώνεται συνεχώς.

4.4 Σύνοψη

Όσον αφορά στη **σύνθεση κυκλοφορίας**, το μεγαλύτερο ποσοστό της κυκλοφορίας, σε όλες τις κατηγορίες των υπό εξέταση οδικών αξόνων, καταλαμβάνεται από επιβατικά ΙΧ, μοτοσυκλέτες και ταξί. Ειδικά στους περιφερειακούς οδικούς άξονες, το ποσοστό κυκλοφορίας των επιβατικών ΙΧ είναι υψηλότερο συγκριτικά με τους άλλους τύπους οδικών αξόνων. Στους κεντρικούς οδικούς άξονες, στους οδικούς άξονες εισόδου και στους οδικούς

άξονες εξόδου υπάρχουν αισθητές διακυμάνσεις στη σύνθεση της κυκλοφορίας, ενώ στους περιφερειακούς οδικούς άξονες δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στη σύνθεση της κυκλοφορίας στο διάστημα που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική.

Αναφορικά με τους **κυκλοφοριακούς φόρτους**, ο κυκλοφοριακός φόρτος όλων των οχημάτων στους κεντρικούς οδικούς άξονες παρουσιάζει αρχικά μία μειούμενη τάση, στη συνέχεια σταθεροποίηση και ακολούθως αυξάνεται, ενώ στους οδικούς άξονες εξόδου μειώνεται σημαντικά κατά τον Αύγουστο. Στους άξονες εισόδου παρατηρείται αύξηση της κυκλοφορίας από τις αρχές Σεπτεμβρη. Στους περιφερειακούς οδικούς άξονες ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος των επιβατικών ΙΧ δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές καθ'όλη την υπό εξέταση χρονική περίοδο.

Στους κεντρικούς οδικούς άξονες παρατηρούνται περισσότεροι **πεζοί** σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες αξόνων. Αντίθετα, στους περιφερειακούς οδικούς άξονες παρατηρούνται οι λιγότεροι πεζοί. Στους οδικούς άξονες εισόδου και εξόδου ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος των πεζών κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα.

Σε όλους τους υπό εξέταση οδικούς άξονες, ο **χρόνος διαδρομής** μειώνεται σημαντικά τον Αύγουστο. Στην Πανεπιστημίου η μέγιστη τιμή του χρόνου διαδρομής είναι 4,5 λεπτά και επίσης παρατηρείται βελτίωση των χρόνων διαδρομής κατά τον Σεπτέμβρη. Όσον αφορά στους άξονες εισόδου, ο χρόνος διαδρομής στη Βας. Σοφίας δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή, σε αντίθεση με την Βας. Αμαλίας. Αναφορικά με τους οδικούς άξονες εξόδου, ο χρόνος διαδρομής στη Φιλελλήνων δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή. Στους περιφερειακούς, στη Βας. Κωνσταντίνου στο ρεύμα προς Κηφισιά παρουσιάζεται σημαντική μεταβολή στο χρόνο διαδρομής, κάτι που δεν παρατηρείται στο αντίθετο ρεύμα.

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα

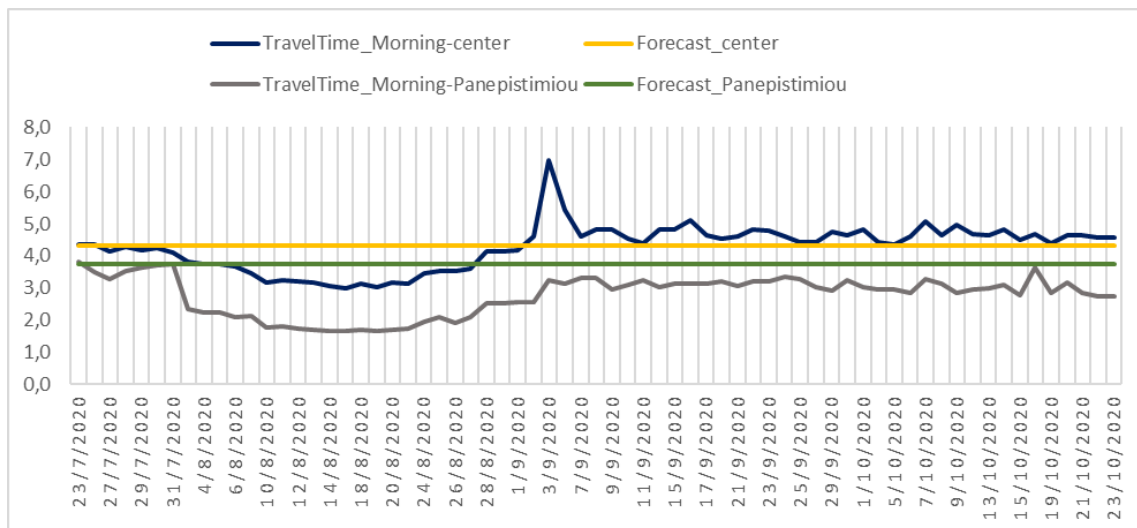
5.1 Εισαγωγή

Ύστερα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών και μεθοδολογιών, την παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των στοιχείων και την περιγραφή συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων, έγινε η **επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας** για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας, παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά, η μέθοδος ανάλυσης των στατιστικών στοιχείων της εργασίας ήταν η **ανάλυση χρονοσειρών** και η ανάπτυξη μοντέλου ARIMA. Φαινομενικά, οι χρονοσειρές που αναπτύχθηκαν καλύπτουν τις απαιτήσεις (π.χ. στασιμότητα, τυχαιότητα, λευκός θόρυβος) για την ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας κατά την περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου. Ωστόσο, όπως φαίνεται και από τα παρακάτω διαγράμματα η πρόβλεψη του χρόνου διαδρομής που προέκυψε δεν ήταν επαρκώς αντιπροσωπευτική λόγω μη αμελητέας απόκλισης από τις πραγματικές μετρήσεις. Ενδεχομένως, η αδυναμία ανάλυσης των εν λόγω χρονοσειρών και τελικώς ανάπτυξης μοντέλων πρόβλεψης να οφείλεται στον αρκετά μικρό αριθμό παρατηρήσεων που ήταν διαθέσιμος προς ανάλυση (15 μετρήσεις). Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά αποτελέσματα από την ανάπτυξη μοντέλων ARIMA.

Πίνακας 5. 1: Μοντέλα ARIMA

	Candidate Model	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	AIC	BIC
Με το καλοκαίρι							
Πανεπιστημίου	ma1	-0,79247	0,1208	-6,5601	5,379E-11	10,18	12,77
Κεντρικοί Οδικοί Άξονες	ma1	-0,64389	0,12696	-5,0716	3,946E-07	25,85	28,45



Διάγραμμα 5. 1: Πατηρούμενος και προβλεπόμενος χρόνος διαδρομής στην Πανεπιστημίου και στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες (με το καλοκαίρι)

Κατά συνέπεια, οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν τελικά, για την ανάλυση των δεδομένων, είναι η **γραμμική παλινδρόμηση** (linear regression) και η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** (log-normal regression). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παρουσίαση ζητημάτων αξιοπιστίας των δεδομένων και στις διαδικασίες αντιμετώπισής τους. Αναπόσπαστο μέρος των αποτελεσμάτων αποτελούν οι στατιστικοί έλεγχοι που απαιτούνται για την αποδοχή ή την απόρριψη των μοντέλων.

5.2 Ανάπτυξη μοντέλων παλινδρόμησης με τη γλώσσα προγραμματισμού R

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαδικασία ανάλυσης για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων που αφορούν στους **παράγοντες επιρροής του χρόνου διαδρομής**. Σκοπός της ανάλυσης με τις μεθόδους της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι να υπολογιστούν στατιστικά σημαντικά μοντέλα και να εντοπιστούν οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο τον χρόνο διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας.

5.2.1 Δεδομένα εισόδου – Καθορισμός μεταβλητών

Για τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν το **χρόνο διαδρομής** στους υπό εξέταση οδικούς άξονες, εξετάστηκαν όλες οι μεταβλητές που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4 και πιο συγκεκριμένα τα **κυκλοφοριακά μεγέθη** (χρόνος διαδρομής, κυκλοφοριακός φόρτος, σύνθεση κυκλοφορίας) και **χαρακτηριστικά των οδικών αξόνων**.

Τα τελικά μαθηματικά μοντέλα που προέκυψαν ήταν αποτελέσματα μίας σειράς **δοκιμών**, κατά τις οποίες αναπτύχθηκε ένας αριθμός μοντέλων που περιλάμβαναν συνδυασμούς όλων των **μεταβλητών** που καταγράφηκαν. Τα μοντέλα αυτά αξιολογήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων, 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

στην υπό εξέταση εξαρτημένη. Με αυτή τη διαδικασία διαδοχικών δοκιμών και απόρριψης μοντέλων προέκυψαν τα μοντέλα με τις καλύτερες επιδόσεις στατιστικής σημαντικότητας, όπως αυτά παρουσιάζονται ακολούθως.

5.2.2 Συσχέτιση των μεταβλητών

Με σκοπό την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων για τη διερεύνηση των κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας, διερευνήθηκε η συσχέτιση μεταξύ των υπό εξέταση μεταβλητών. Εκείνο που επιδιώκεται είναι η **μέγιστη δυνατή συσχέτιση** μεταξύ **εξαρτημένης και ανεξάρτητων** μεταβλητών και **μηδενική** ή μικρότερη δυνατή συσχέτιση μεταξύ των **ανεξάρτητων** μεταβλητών.

Οι απόλυτες τιμές των συντελεστών συσχέτισης κοντά στη μονάδα δείχνουν **ισχυρή** συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν φανερώνουν **ανύπαρκτη** συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Στην πράξη θεωρείται μικρή συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών όταν η απόλυτη τιμή του δείκτη συσχέτισης κατά Pearson r είναι μικρότερη ή ίση με 0,6 ($r \leq 0,6$).

Για τον έλεγχο αυτό, στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης R υπάρχουν αρκετές εντολές οι οποίες μπορούν να υπολογίσουν την γραμμική συσχέτιση μεταξύ δύο ανεξάρτητων μεταβλητών. Από αυτές χρησιμοποιήθηκε η εντολή **cor(x, y, method= ...)** όπου:

- **x, y**: οι δύο μεταβλητές για τις οποίες εξετάζεται η γραμμική συσχέτιση
- **method**: η μέθοδος ως προς την οποία εξετάζεται η γραμμική συσχέτιση, για παράδειγμα Pearson

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των μεταβλητών αξιοποιώντας την μέθοδο Pearson. Αξίζει να σημειωθεί πως στο παρόν στάδιο εξετάστηκε η συσχέτιση μεταξύ των **συνεχών** και μεταξύ των **διακριτών** μεταβλητών, ανεξαρτήτως αν χρησιμοποιούνται ή όχι στα τελικά μοντέλα. Επίσης, δεν έγινε εισαγωγή ταυτόχρονα όλων των ομαδοποιήσεων μίας μεταβλητής, ούτε όλων των μορφών της, διότι είναι προφανές ότι ένα μέγεθος και ο λογάριθμός του, παραδείγματος χάρη, είναι στοιχεία απόλυτα συσχετισμένα.

Όπως προαναφέρθηκε, για την ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου απαιτείται η μη ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών που θα συμπεριληφθούν σε αυτό. Συνεπώς, οι υψηλοί συντελεστές επισημάνθηκαν με βάση το **εμπειρικό όριο** του 0,6, στην συγκεκριμένη περίπτωση, και κατόπιν εξετάστηκε κατά πόσο τα δύο μεγέθη που τους δημιούργησαν θα ήταν δυνατό να συσχετίζονται στην πραγματικότητα. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εμφάνισαν υψηλή συσχέτιση (μεγαλύτερη από 0,6) δε λήφθηκαν υπόψιν στα τελικά μοντέλα.

Αφού βρέθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των μεταβλητών, πραγματοποιήθηκε η επιλογή των βασικών μεταβλητών οι οποίες δεν συσχετίζονται, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητες στα **μαθηματικά μοντέλα** που θα αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο.

5.2.3 Μοντέλα Γραμμικής και Λογαριθμοκανονικής Παλινδρόμησης

Η εύρεση των κατάλληλων μοντέλων προσδιορισμού των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας πραγματοποιήθηκε με τη γραμμική και τη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση. Η επιλογή των μεθόδων αυτών

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.

Οι εξισώσεις οι οποίες αποτυπώνουν τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές έχουν τη γενικότερη μορφή:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \dots + \beta_k * x_{ki} + \varepsilon_i \text{ (linear regression)}$$

$$\log y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \dots + \beta_k * x_{ki} + \varepsilon_i \text{ (lognormal regression)}$$

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_i** να μπορούν να εξηγηθούν λογικά
- Ο **δείκτης t** , ο οποίος καθορίζει τη στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών και άρα τη στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου, να παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 1,7 κατά απόλυτη τιμή
- Όσον αφορά στο **επίπεδο σημαντικότητας** (Sig-Significance), η πιθανότητα $Pr(>|t|)$ πρέπει να παίρνει τιμές μικρότερες από 0,05
- Ο **συντελεστής προσαρμογής R^2** (Adjusted R square) να είναι κατά το δυνατόν μεγαλύτερος (ιδανικά μεγαλύτερος του 0,4)

Εκτός από τους μαθηματικούς ελέγχους, απώτερος στόχος κάθε μοντέλου είναι η ικανότητά του να προβλέπει με σχετική ακρίβεια το φαινόμενο που περιγράφει.

5.3 Εφαρμογή στατιστικών μοντέλων προσδιορισμού των παραγόντων που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής

Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα βέλτιστα μαθηματικά μοντέλα που αφορούν στους παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας. Για κάθε μοντέλο παρουσιάζονται τα εξής στοιχεία:

- I. **Ανάπτυξη μοντέλου:** Παρουσιάζονται οι μεταβλητές οι οποίες απαρτίζουν το εκάστοτε μοντέλο
- II. **Πίνακας συσχέτισης ανεξάρτητων μεταβλητών**
- III. **Πίνακας μεταβλητών στην εξίσωση** (Coefficients): Περιλαμβάνει τις ανεξάρτητες μεταβλητές που ορίζονται για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή, απεικονίζοντας τις τιμές των συντελεστών β_i (Coefficients), τον έλεγχο t-test, τα τυπικά σφάλματα Standard Error, το επίπεδο σημαντικότητας Significance και ο συντελεστής προσαρμογής
- IV. **Μαθηματική σχέση** περιγραφής του μοντέλου
- V. **Ποιότητα στατιστικού μοντέλου:** Ελέγχεται αν τηρούνται οι απαραίτητοι έλεγχοι, ώστε το μοντέλο να θεωρείται αξιόπιστο
- VI. **Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου**
- VII. **Σχετική επιρροή** των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο

VIII. Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου

Αναφορικά με το μέγεθος της **σχετικής επιρροής**, εκφράζει ποσοτικά τον βαθμό επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στις αντίστοιχες εξαρτημένες μεταβλητές που περιέχονται στις μαθηματικές σχέσεις των παρακάτω μοντέλων. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού βασίστηκε στη θεωρία της ελαστικότητας και αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Συγκεκριμένα, 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.

Η **ελαστικότητα** είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, που σε αντίθεση με τους συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου, 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 ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί κατά 1% μεταβολή της ανεξάρτητης.

Η έννοια της επιρροής έχει νόημα μόνο για συνεχείς μεταβλητές κι όχι για διακριτές αλλά στην περίπτωση που οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι διακριτές υπολογίζεται η σχετική επιρροή τους ως μία θεωρητική έννοια, μόνο για να πραγματοποιηθεί θεωρητικά μια σύγκριση μεταξύ των μεταβλητών του στατιστικού μοντέλου σε ότι αφορά στην επιρροή τους στην εκάστοτε εξαρτημένη μεταβλητή.

Αρχικά, διερευνήθηκε η ανάπτυξη στατιστικού μοντέλου για το σύνολο των εξεταζόμενων κατηγοριών οδών, τα αποτελέσματα του οποίου περιελάμβαναν τη συνισταμένη επιρροή για κάθε κατηγορία οδού με αποτέλεσμα η ερμηνεία τους να μην οδηγεί σε σαφή και χρήσιμα συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να αναπτυχθούν στατιστικά μοντέλα για κάθε επιμέρους κατηγορία οδών, που οδήγησαν σε σαφή και χρήσιμα αποτελέσματα και συμπεράσματα για την κάθε κατηγορία οδών, όπως περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα υποκεφάλαια:

- Μοντέλο 1 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στην Πανεπιστημίου
- Μοντέλο 2 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες
- Μοντέλο 3 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εισόδου
- Μοντέλο 4 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εξόδου
- Μοντέλο 5 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες

5.3.1 Γενικό μοντέλο για όλες τις κατηγορίες οδών

5.3.1.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Έπειτα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής σε όλες τις κατηγορίες οδών, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον χρόνο διαδρομής και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- RoadType: Τύπος οδού
- PeakPeriod: Περίοδος αιχμής
- ModalSplit_Bicycles%: Ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων
- Volume_PassengerCar: Κυκλοφοριακός φόρτος επιβατικών ΙΧ
- Volume_Pedestrians: Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών

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

Πίνακας 5. 2: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Γενικό Μοντέλο

	PeakPeriod	RoadType	Volume_Passenger Car	ModalSplit_ Bicycles%	Volume_Pedestrians
PeakPeriod	1,000	0,000	-0,195	-0,075	0,000
RoadType	0,000	1,000	0,375	-0,012	-0,241
Volume_Passenger Car	-0,195	0,375	1,000	-0,195	-0,322
ModalSplit_Bicycles %	-0,075	-0,012	-0,195	1,000	0,290
Volume_Pedestrians	0,000	-0,241	-0,322	0,290	1,000

Πίνακας 5. 3: Μεταβλητές στην εξίσωση – Γενικό Μοντέλο

General Model					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	7,418	0,187	39,708	<2E-16	***
RoadTypering	4,063	0,203	20,037	<2E-16	***
RoadTypeexit	-1,179	0,178	-6,613	0,000	***
RoadTypeentrance	0,415	0,184	2,255	0,024	*
PeakPeriod	0,354	0,107	3,300	0,001	***
ModalSplit_Bicycles%	-51,480	11,720	-4,391	0,000	***
Volume_PassengerCar	-0,003	0,0002	-17,330	<2E-16	***
Volume_Pedestrians	-0,0002	0,0001	-2,086	0,037	*
Adjusted R-squared	0,455				

Μαθηματική σχέση:

$$\text{TravelTime} = 7,418 + 4,063 \cdot \text{RoadTypeering} - 1,179 \cdot \text{RoadTypeexit} + 0,415 \cdot \text{RoadTypeentrance} + 0,354 \cdot \text{PeakPeriod} - 51,480 \cdot \text{ModalSplit_Bicycles\%} - 0.003 \cdot \text{Volume_PassengerCar} - 0.0002 \cdot \text{Volume_Pedestrians}$$

5.3.1.2 Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε ικανοποιούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Ο συντελεστής προσαρμογής **R²** είναι αρκετά υψηλός, ίσος με 0,455
- Ο έλεγχος του **t** να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι μικρότερο από 0,05
- Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται λογικά

5.3.1.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Τα αποτελέσματα αυτού του γενικού μοντέλου περιελάμβαναν τη συνισταμένη επιρροή για κάθε κατηγορία οδού με αποτέλεσμα η ερμηνεία τους να μην οδηγεί σε σαφή και χρήσιμα συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να αναπτυχθούν στατιστικά μοντέλα για κάθε επιμέρους κατηγορία οδών, που οδήγησαν σε σαφή και χρήσιμα αποτελέσματα και συμπεράσματα για την κάθε κατηγορία οδών, όπως περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα υποκεφάλαια.

5.3.2 Μοντέλο 1 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στην Πανεπιστημίου

5.3.2.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Έπειτα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής στην Πανεπιστημίου, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον χρόνο διαδρομής και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- Volume_Moto: Κυκλοφοριακός φόρτος μοτοσυκλετών
- ModalSplit_PassengerCar%: Πόσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ
- ModalSplit_Buses%: Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων
- Volume_Pedestrians: Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών
- PanepistimiouTrafficLanes: Κυκλοφοριακές λωρίδες επί της Πανεπιστημίου

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

Πίνακας 5. 4: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 1

Correlations	PanepistimiouTraffic Lanes	ModalSplit_Passenger Car%	ModalSplit_Buses %	Volume_Moto	Volume_Pedestrians
PanepistimiouTrafficLanes	1,000	-0,346	-0,495	-0,239	0,196
ModalSplit_PassengerCar%	-0,346	1,000	0,343	-0,008	0,131
ModalSplit_Buses%	-0,495	0,343	1,000	-0,386	0,034
Volume_Moto	-0,239	-0,008	-0,386	1,000	-0,214
Volume_Pedestrians	0,196	0,131	0,034	-0,214	1,000

Πίνακας 5. 5: Μεταβλητές στην Εξίσωση - Μοντέλο 1

Model1					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
Intercept	1,8350	0,373	4,920	0,000	***
Volume_Moto	0,0014	0,000	5,857	0,000	***
ModalSplit_PassengerCar%	-2,7820	0,554	-5,026	0,000	***
ModalSplit_Buses%	23,5400	7,728	3,045	0,003	**
Volume_Pedestrians	0,0004	0,000	5,768	0,000	***
PanepistimiouTrafficLanes	1,1110	0,129	8,618	0,000	***
Adjusted R-squared	0,633				

Μαθηματική σχέση:

$$\text{TravelTime_Google} = 1,835 + 0,001 \cdot \text{Volume_Moto} - 2,782 \cdot \text{ModalSplit_PassengerCar\%} + 23,54 \cdot \text{ModalSplit_Buses\%} + 0,0004 \cdot \text{Volume_Pedestrians} + 1,111 \cdot \text{PanepistimiouTrafficLanes}$$

5.3.2.2 Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε ικανοποιούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Ο συντελεστής προσαρμογής R^2 είναι αρκετά υψηλός, ίσος με 0,633
- Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι μικρότερο από 0,05
- Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται λογικά

5.3.2.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

- Για αύξηση του **ποσοστού κυκλοφορίας των λεωφορείων** κατά 1%, αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής κατά 23,54 λεπτά. Αυτό ενδεχομένως να εξηγείται από το γεγονός ότι όσο περισσότερα λεωφορεία κυκλοφορούν στην οδό Πανεπιστημίου, τόσοι περισσότεροι οδικός χώρος καταλαμβάνεται, με αποτέλεσμα να δημιουργείται στην εν λόγω διαδρομή καθυστέρηση στη συνολική κυκλοφορία.
- Με την αύξηση του **κυκλοφοριακού φόρτου των μοτοσυκλετών**, παρατηρείται πως αυξάνεται και ο χρόνος διαδρομής. Ενδεχομένως, οι μοτοσυκλέτες πραγματοποιώντας προσπεράσεις και ελιγμούς στις λωρίδες κυκλοφορίας,

καθυστερούν την κυκλοφορία των λοιπών οχημάτων με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής.

- Καθώς αυξάνεται **το ποσοστό χρήσης των επιβατικών ΙΧ** στην Πανεπιστημίου, μειώνεται ο χρόνος διαδρομής επί της διαδρομής υπό εξέταση. Πιθανόν, αυτό να συμβαίνει διότι η συνολική ροή κυκλοφορίας είναι καλύτερη σε συνθήκες με λιγότερα βαρέα οχήματα (λεωφορεία, φορτηγά) και ταξί και μοτοσυκλέτες.
- Η μεταβλητή **«κυκλοφοριακός φόρτος πεζών»** επηρεάζει με θετικό πρόσημο το χρόνο διαδρομής των οχημάτων. Συγκεκριμένα, με αύξηση του ωριαίου φόρτου των πεζών κατά χίλιες μονάδες, παρατηρείται αύξηση του χρόνου διαδρομής κατά 0,4 λεπτά. Αυτό πιθανόν να εξηγείται από το γεγονός ότι οι πεζοί μπορεί να διασχίζουν την οδό από σημεία χωρίς πεζοδιάβαση ή με κόκκινο σηματοδότη πεζών ή ακόμα και να περπατούν κατά μήκος της οδού και όχι στα πεζοδρόμια.
- Όσον αφορά στη μεταβλητή **«κυκλοφοριακές λωρίδες επί της Πανεπιστημίου»**, φαίνεται πως όταν οι κυκλοφοριακές λωρίδες αυξήθηκαν από 3 σε 4 στο πλαίσιο των κυκλοφοριακών παρεμβάσεων του Μεγάλου Περιπάτου, ο χρόνος διαδρομής επί της Πανεπιστημίου αυξήθηκε. Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται στο ότι η επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας προσέλκυσε αρκετά επιπλέον οχήματα, σε συνδυασμό με αυξημένη ζήτηση μετακινήσεων το Φθινόπωρο (4 λωρίδες) σε σχέση με το Καλοκαίρι (3 λωρίδες), με αποτέλεσμα μεγαλύτερη συμφόρηση και υψηλότερους χρόνους διαδρομής.

5.3.2.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Στο σημείο αυτό κρίθηκε σημαντικός ο υπολογισμός του βαθμού επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών του παραπάνω μοντέλου στην εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή στον χρόνο διαδρομής.

Η σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών που συμπεριλήφθηκαν στο Μοντέλο 1 υπολογίστηκε σύμφωνα με τη σχέση (Κεφάλαιο 3):

$$ei = (\Delta Yi / \Delta Xi) * (Xi / Yi) = \beta i * (Xi / Yi)$$

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:

$$ei = \beta i * (Xi / Yi)$$

Όπου βi ο συντελεστής της εξεταζόμενης ανεξάρτητης μεταβλητής, Xi η τιμή της και Yi η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Για την εξαγωγή της τιμής της σχετικής επιρροής, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των ανωτέρω τιμών.

Στον παρακάτω πίνακα προκύπτει το είδος και το μέγεθος της επιρροής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στην εξαρτημένη. Στη στήλη ei^* δίνεται ο βαθμός επιρροής των

ανεξάρτητων μεταβλητών ως προς την επιρροή εκείνης της μεταβλητής που επηρεάζει λιγότερο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Πίνακας 5. 6: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 1

Model 1				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	β_i	t	Σχετική επιρροή	
			ei	ei*
Volume_Moto	0,0014	5,8570	0,003	2,121
ModalSplit_PassengerCar%	-2,7820	-5,0260	-0,003	-1,970
ModalSplit_Buses%	23,5400	3,0450	0,002	1,003
Volume_Pedestrians	0,0004	5,7680	0,002	1,000
PanepistimiouTrafficLanes	1,1110	8,6180	0,307	1,000

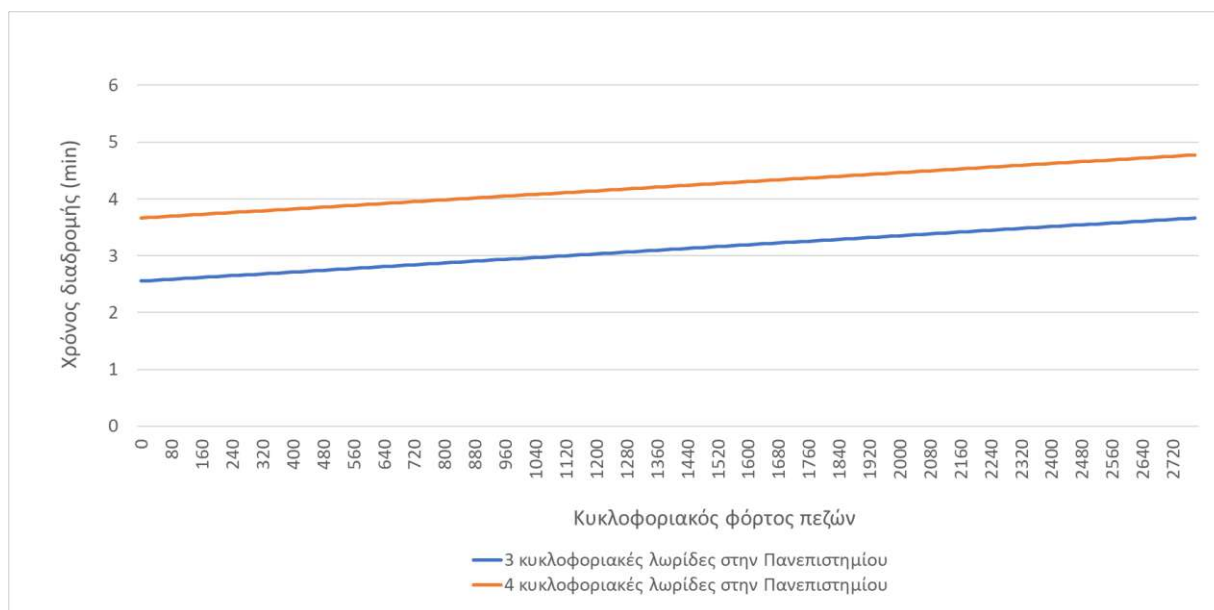
Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο, για το δείκτη συνολικής επίδοσης παρατηρείται ότι:

- Ο **κυκλοφοριακός φόρτος μοτοσυκλετών** έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στο μοντέλο. Αυτό δείχνει τη σημαντικότητα της επιρροής κυκλοφοριακού φόρτου μοτοσυκλετών στον χρόνο διαδρομής των οχημάτων στην Πανεπιστημίου.
- Η μεταβλητή που αφορά στον **κυκλοφοριακό φόρτο πεζών** εμφανίζει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο, επηρεάζοντας τον χρόνο διαδρομής περίπου κατά 2 φορές λιγότερο σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο μοτοσυκλετών.
- Η επιρροή της μεταβλητής «**ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ**» είναι κατά 2 φορές μεγαλύτερη από τη συνεχή μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή, ενώ η επιρροή της μεταβλητής «**ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων**» είναι μόνο 1,003 φορές μεγαλύτερη από τη μεταβλητή κυκλοφοριακός φόρτος πεζών.

5.3.2.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στον χρόνο διαδρομής, που προβλέπει το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης, αναπτύχθηκαν τα ακόλουθα **διαγράμματα ευαισθησίας**. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα περιγράφουν την ευαισθησία της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής δηλαδή, του χρόνου διαδρομής, όταν μεταβάλλεται μία εκ των ανεξάρτητων συνεχών ή διακριτών μεταβλητών και οι υπόλοιπες

παραμένουν σταθερές. Οι συνδυασμοί είναι πολλοί και άρα τα διαγράμματα που είναι δυνατόν να προκύψουν, συνεπώς παρατίθεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα.



Διάγραμμα 5. 2: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου πεζών και των κυκλοφοριακών λωρίδων επί της Πανεπιστημίου

Για το σχεδιασμό του διαγράμματος, οι παρακάτω μεταβλητές θεωρήθηκαν σταθερές και χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές τους:

- Κυκλοφοριακός φόρτος μοτοσυκλετών: 531
- Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ: 0,4
- Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων: 0,03

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει πως με την αύξηση του **κυκλοφοριακού φόρτου των πεζών** παρατηρείται αύξηση του χρόνου διαδρομής, το οποίο είναι σε συμφωνία με όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Ταυτόχρονα από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται πως με την αύξηση των **κυκλοφοριακών λωρίδων επί της Πανεπιστημίου** ο χρόνος διαδρομής αυξήθηκε για τους πιθανούς λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

5.3.3 Μοντέλο 2 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες

5.3.3.1 Ανάπτυξη μοντέλου

Έπειτα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή το λογάριθμο του χρόνου διαδρομής και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- TrafficLanes: Αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων

- PeakPeriod: Περίοδος αιχμής
- ModalSplit_PassengerCar%: Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ
- ModalSplit_Buses%: Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων
- Volume_Pedestrians: Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών

Εξετάστηκαν διάφορες συσχετίσεις των μεταβλητών μεταξύ τους και **προτιμήθηκε ο λογάριθμος** αφού διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα.

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

Πίνακας 5. 7: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 2

Correlations	PeakPeriod	TrafficLanes	ModalSplit_PassengerCar%	ModalSplit_Buses%	Volume_Pedestrians
PeakPeriod	1,000	0,000	-0,184	0,041	0,000
TrafficLanes	0,000	1,000	-0,267	0,489	0,319
ModalSplit_PassengerCar%	-0,184	-0,267	1,000	-0,130	-0,248
ModalSplit_Buses%	0,041	0,489	-0,130	1,000	-0,018
Volume_Pedestrians	0,000	0,319	-0,248	-0,018	1,000

Πίνακας 5. 8: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 2

Model2					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
Intercept	1,99600	0,048	42,743	<2E-16	***
TrafficLanes	-0,47450	0,013	-36,398	<2E-16	***
PeakPeriod	-0,10030	0,010	-10,037	<2E-16	***
ModalSplit_PassengerCar%	-0,36670	0,071	-5,131	0,000	***
ModalSplit_Buses%	7,23100	0,499	14,503	<2E-16	***
Volume_Pedestrians	0,00003	0,000	3,283	0,001	**
Adjusted R-squared	0,791				

Μαθηματική σχέση:

$$\log(\text{TravelTime_Google}) = 1,996 - 0,4745 \cdot \text{TrafficLanes} - 0,1003 \cdot \text{PeakPeriod} - 0,3667 \cdot \text{ModalSplit_PassengerCar\%} + 7,231 \cdot \text{ModalSplit_Buses\%} + 0,00003 \cdot \text{Volume_Pedestrians}$$

5.3.3.2 Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε ικανοποιούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Ο συντελεστής προσαρμογής **R²** είναι αρκετά υψηλός, ίσος με 0,791
- Ο έλεγχος του **t** να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι μικρότερο από 0,05
- Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται λογικά

5.3.3.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

- Για αύξηση του **ποσοστού κυκλοφορίας των λεωφορείων** κατά 1%, ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται κατά 7,2 λεπτά. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα λεωφορεία καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο επί του οδοστρώματος με συνέπεια την παρακώλυση της κυκλοφορίας που συμβάλλει στην αύξηση του χρόνου διαδρομής.
- Η αύξηση της μεταβλητής «**κυκλοφοριακός φόρτος πεζών**» προκαλεί αύξηση στο χρόνο διαδρομής της μηχανοκίνητης κυκλοφορίας. Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να εξηγείται από τη διέλευση των πεζών με κόκκινο σηματοδότη πεζών ή ακόμα και από τη συνήθεια ορισμένων πεζών να περπατούν κατά μήκος της οδού.
- Όσον αφορά στη μεταβλητή «**περίοδος αιχμής**» (0=πρωινή αιχμή, 1=απογευματινή αιχμή), προκύπτει ότι ο χρόνος διαδρομής στους κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση κατά την πρωινή αιχμή είναι μεγαλύτερος σε σχέση με την απογευματινή αιχμή. Αυτό ενδεχομένως να συμβαίνει λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας το πρωί για μετάβαση στην εργασία.
- Η μεταβλητή «**αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων**» έχει αρνητικό πρόσημο, πού σημαίνει ότι αύξηση των λωρίδων κατά 1 προκαλεί μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0,47 λεπτά. Αυτό ενδεχομένως να δικαιολογείται, διότι όσος περισσότερος οδικός χώρος διατίθεται, τόσο λιγότερες είναι οι καθυστερήσεις στην κυκλοφορία των οχημάτων.
- Για αύξηση του **ποσοστού κυκλοφορίας των επιβατικών ΙΧ** κατά 1%, προκαλείται μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 0,37 λεπτά. Θα μπορούσε να φανεί εύλογο ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό κυκλοφορίας των ΙΧ, μειώνεται το ποσοστό κυκλοφορίας

άλλων βαρέων οχημάτων (φορτηγά, λεωφορεία), ταξί και μοτοσυκλετών και η συνολική ροή της κυκλοφορίας είναι πιο ομαλή.

5.3.3.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Πίνακας 5. 9: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 2

Model 2				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	β_i	t	Σχετική επιρροή	
			e_i	e_i^*
TrafficLanes	-0,475	-36,398	-0,029	-43,19
PeakPeriod	-0,100	-10,037	-0,206	1,00
ModalSplit_PassengerCar%	-0,367	-5,131	-0,003	-5,25
ModalSplit_Buses%	7,231	14,503	0,003	4,06
Volume_Pedestrians	0,00003	3,283	0,001	1,00

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

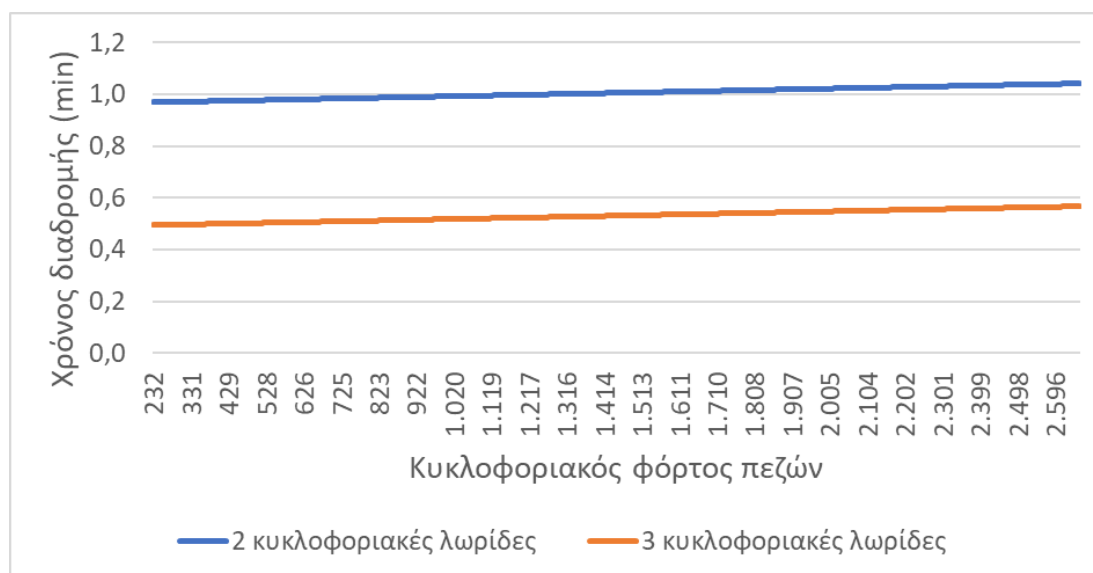
- Ο **αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων** παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 43,19 φορές μεγαλύτερη

επιρροή σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο πεζών, που τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο.

- Η μεταβλητή **ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ** έχει επιρροή 5,25 φορές μεγαλύτερη από τον κυκλοφοριακό φόρτο πεζών.
- Το **ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων** παρουσιάζει 4,06 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο.

5.3.3.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Το συγκεκριμένο διάγραμμα περιγράφει την **ευαισθησία** της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής (λογάριθμος του χρόνου διαδρομής) όταν μεταβάλλεται μία εκ των ανεξάρτητων μεταβλητών και οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές.



Διάγραμμα 5. 3: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου πεζών και του αριθμού κυκλοφοριακών λωρίδων

Για το σχεδιασμό του διαγράμματος, οι παρακάτω μεταβλητές θεωρήθηκαν σταθερές και χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές τους:

- Περίοδος αιχμής: 0,5
- Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων: 0,02
- Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ: 0,41

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό πως εφόσον υπάρχει αυξητική τάση στις καμπύλες, όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος των πεζών τόσο αυξάνεται και ο χρόνος διαδρομής. Επιπρόσθετα, με αύξηση των κυκλοφοριακών λωρίδων από 2 σε 3 παρατηρείται μείωση του λογαρίθμου του χρόνου διαδρομής.

5.3.4 Μοντέλο 3 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εισόδου

5.3.4.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Έπειτα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εισόδου, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή το λογάριθμο του χρόνου διαδρομής και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- ModalSplit_PassengerCar%: Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ
- PeakPeriod: Περίοδος αιχμής
- TrafficLanes: Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας
- Volume_Pedestrians: Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών

Εξετάστηκαν διάφορες συσχετίσεις των μεταβλητών μεταξύ τους και **προτιμήθηκε ο λογάριθμος** αφού διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα.

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

Πίνακας 5. 10: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 3

Correlations	PeakPeriod	TrafficLanes	ModalSplit_PassengerCar%	Volume_Pedestrians
PeakPeriod	1,000	0,000	-0,488	0,000
TrafficLanes	0,000	1,000	0,232	0,495
ModalSplit_PassengerCar%	-0,488	0,232	1,000	0,105
Volume_Pedestrians	0,000	0,495	0,105	1,000

Πίνακας 5. 11: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 3

Model3					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
Intercept	1,2430	0,077	17,463	<2E-16	***
ModalSplit_PassengerCar%	-0,4804	0,126	-3,814	0,000	***
PeakPeriod	0,1151	0,019	5,918	0,000	***
TrafficLanes	-0,1633	0,020	-8,193	0,000	***
Volume_Pedestrians	0,0001	0,000	2,859	0,005	**
Adjusted R-squared	0,307				

Μαθηματική σχέση:

$$\log(\text{TravelTime_Google}) = 1,243 - 0,4804 \cdot \text{ModalSplit_PassengerCar\%} + 0,1151 \cdot \text{PeakPeriod} - 0,1633 \cdot \text{TrafficLanes} + 0,0001 \cdot \text{Volume_Pedestrians}$$

5.3.4.2 Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε ικανοποιούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Ο συντελεστής προσαρμογής R^2 είναι υψηλός, ίσος με 0,307
- Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι μικρότερο από 0,05
- Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται λογικά

5.3.4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

- Καθώς μειώνεται ο **αριθμός των κυκλοφοριακών λωρίδων** στους οδικούς άξονες εισόδου υπό εξέταση, αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής. Συγκεκριμένα, αν οι κυκλοφοριακές λωρίδες μειωθούν κατά μία, ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται κατά 0,16 λεπτά. Πιθανόν κάτι τέτοιο συμβαίνει, διότι όσο μειώνεται η διατομή της οδού, αυξάνεται η πιθανότητα κυκλοφοριακών καθυστερήσεων.
- Αναφορικά με την **περίοδο αιχμής**, μεταβαίνοντας από την πρωινή στην απογευματινή αιχμή παρατηρείται αύξηση του χρόνου διαδρομής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το απόγευμα οι οδηγοί μετακινούνται προς το κέντρο της Αθήνας για λόγους αναψυχής (π.χ ψώνια), πραγματοποιώντας συχνές στάσεις για στάση και στάθμευση.
- Η αύξηση του **κυκλοφοριακού φόρτου πεζών** επιφέρει αύξηση του χρόνου διαδρομής. Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να εξηγείται από τη διέλευση των πεζών

με κόκκινο σηματοδότη πεζών ή ακόμα και από τη συνήθεια ορισμένων πεζών να περπατούν κατά μήκος της οδού.

- Η αύξηση του **ποσοστού κυκλοφορίας των επιβατικών ΙΧ** κατά 1% προκαλεί μείωση στο χρόνο διαδρομής κατά 0,5 λεπτά. Θα μπορούσε να φανεί εύλογο ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό κυκλοφορίας των ΙΧ, μειώνεται το ποσοστό κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων, ταξί και μοτοσυκλετών.

5.3.4.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Πίνακας 5. 12: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 3

Model 3				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	β_i	t	Σχετική επιρροή	
			ei	ei*
ModalSplit_PassengerCar.	-0,480	-3,814	-0,005	-3,50
PeakPeriod	0,115	5,918	0,303	1,00
TrafficLanes	-0,163	-8,193	-0,013	-9,08
Load_Pedestrians	0,0001	2,859	0,001	1,00

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

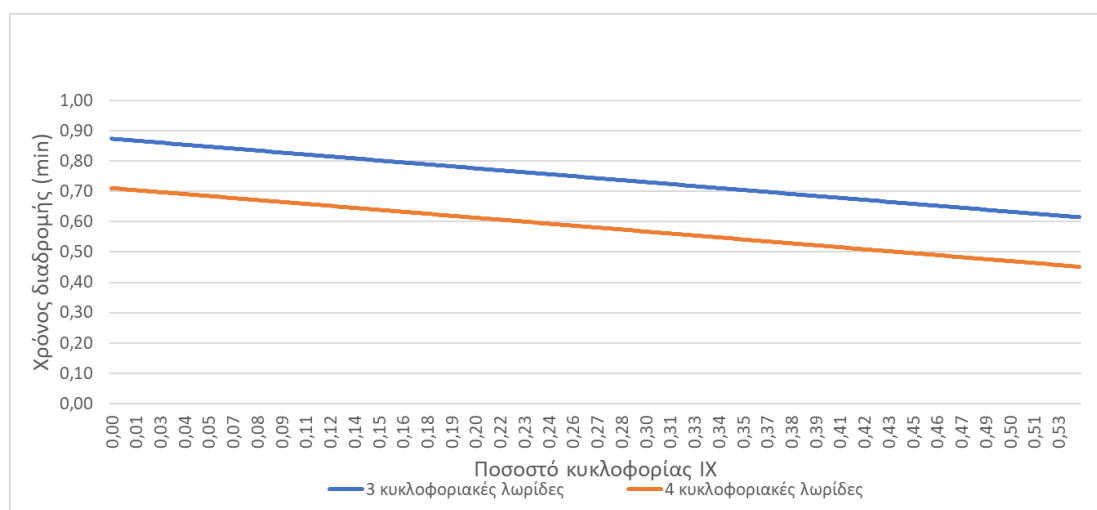
- Ο **αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας** παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 9,08 φορές μεγαλύτερη

επιρροή (κατά απόλυτη τιμή), σε σχέση με τον **κυκλοφοριακό φόρτο πεζών** (συνεχής μεταβλητή) η οποία έχει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο.

- Η μεταβλητή **ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ** είναι 3,5 φορές μεγαλύτερη, κατά απόλυτη τιμή, από τη μεταβλητή που αφορά στον κυκλοφοριακό φόρτο των πεζών.

5.3.4.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Το συγκεκριμένο διάγραμμα περιγράφει την **ευαισθησία** της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής (λογάριθμος του χρόνου διαδρομής) όταν μεταβάλλεται μία εκ των ανεξάρτητων μεταβλητών και οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές.



Διάγραμμα 5. 4: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του ποσοστού κυκλοφορίας ΙΧ και του αριθμού κυκλοφοριακών λωρίδων

Για το σχεδιασμό του διαγράμματος, οι παρακάτω μεταβλητές θεωρήθηκαν σταθερές και χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές τους:

- Περίοδος αιχμής: 0,5
- Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών: 623

Από το παραπάνω **διάγραμμα ευαισθησίας**, προκύπτουν κάποια συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται πως η αύξηση στο ποσοστό κυκλοφορίας των επιβατικών ΙΧ οδηγεί σε μείωση του χρόνου διαδρομής κάτι που δηλώνεται από τη μειωτική τάση της συγκεκριμένης καμπύλης. Επίσης, για αύξηση του αριθμού των λωρίδων κυκλοφορίας παρατηρείται μία παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης προς τα κάτω, δηλαδή μειώνεται ο λογάριθμος του χρόνου διαδρομής για τις ίδιες τιμές του ποσοστού κυκλοφορίας των ΙΧ.

5.3.5 Μοντέλο 4 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εξόδου

5.3.5.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Έπειτα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής στους Οδικούς Άξονες Εξόδου, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τον χρόνο διαδρομής και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- Volume_Trucks: Κυκλοφοριακός φόρτος φορτηγών
- BusLanes: Λεωφορειολωρίδες
- Volume_Bicycles: Κυκλοφοριακός φόρτος ποδηλάτων
- ModalSplit_Moto%: Ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσυκλετών

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

Πίνακας 5. 13: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 4

Correlations	BusLanes	Volume_Trucks	ModalSplit_Moto%	Volume_Bicycles
BusLanes	1,000	-0,442	-0,297	-0,245
Volume_Trucks	-0,442	1,000	-0,013	0,017
ModalSplit_Moto%	-0,297	-0,013	1,000	0,287
Volume_Bicycles	-0,245	0,017	0,287	1,000

Πίνακας 5. 14: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 4

Model4					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
Intercept	3,687	0,171	21,533	<2E-16	***
Volume_Trucks	0,002	0,001	2,303	0,022	*
BusLanes	-3,025	0,099	-30,469	<2E-16	***
Volume_Bicycles	0,009	0,004	1,931	0,055	*
ModalSplit_Moto%	1,246	0,577	2,158	0,032	*
Adjusted R-squared	0,810				

Μαθηματική σχέση:

$$\text{TravelTime_Google} = 3,687 + 0,002 * \text{Volume_Trucks} - 3,025 * \text{BusLanes} + 0,009 * \text{Volume_Bicycles} + 1,246 * \text{ModalSplit_Moto\%}$$

5.3.5.2 Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε ικανοποιούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Ο συντελεστής προσαρμογής R^2 είναι αρκετά υψηλός, ίσος με 0,810
- Ο έλεγχος του t να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι μικρότερο από 0,06
- Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται λογικά

5.3.5.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

- Με την προσθήκη **λεωφορειολωρίδων** ο χρόνος διαδρομής μειώνεται. Με άλλα λόγια, για κάθε επιπλέον λεωφορειολωρίδα παρατηρείται μείωση του χρόνου διαδρομής κατά 3,03 λεπτά. Πιθανώς, η σχέση των δύο μεγεθών να εξηγείται από το γεγονός ότι τα λεωφορεία δε χρησιμοποιούν τον υπόλοιπο οδικό χώρο εφόσον κινούνται στην λεωφορειολωρίδα κι έτσι διευκολύνουν την κίνηση των υπόλοιπων οχημάτων.
- Αν αυξηθεί κατά 1000 μονάδες ο **κυκλοφοριακός φόρτος των φορτηγών**, ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται κατά 2 λεπτά. Ενδεχομένως, τα φορτηγά, ως βαρέα οχήματα, να δημιουργούν πρόβλημα στην κυκλοφορία με άμεση συνέπεια την αύξηση του χρόνου διαδρομής.
- Καθώς αυξάνεται ο **κυκλοφοριακός φόρτος των ποδηλάτων**, ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός οι ποδηλάτες να χρησιμοποιούν οδικό χώρο που αντιστοιχεί στα υπόλοιπα οχήματα και όντας ευάλωτοι χρήστες να προκαλούν καθυστερήσεις στην υπόλοιπη κυκλοφορία οδηγώντας, τελικά, σε αύξηση του χρόνου διαδρομής.
- Για αύξηση 1% του **ποσοστού κυκλοφορίας μοτοσυκλετών**, αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής κατά 1,25 λεπτά. Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται στους ελιγμούς και στις προσπεράσεις που πραγματοποιούν οι μοτοσυκλέτες, επηρεάζοντας την ομαλή ροή της συνολικής κυκλοφορίας.

5.3.5.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Πίνακας 5. 15: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών - Μοντέλο 4

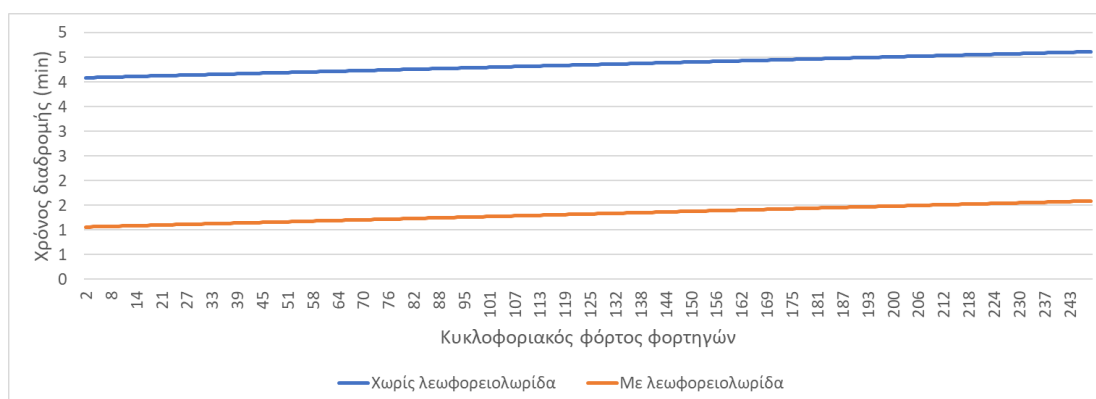
Model 4				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	β_i	t	Σχετική επιρροή	
			e_i	e_i^*
Volume_Trucks	0,002	2,303	0,001	2,73
BusLanes	-3,025	-30,469	-1,562	1,00
Volume_Bicycles	0,009	1,931	0,000	1,00
ModalSplit_Moto%	1,2463	2,158	0,001	4,70

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

- Το **ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσυκλετών** παρατηρείται ότι έχει μεγαλύτερη επιρροή συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Ειδικότερα, παρουσιάζει 4,7 φορές μεγαλύτερη επιρροή σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο των ποδηλάτων που έχει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο.
- Η επιρροή της μεταβλητής **κυκλοφοριακός φόρτος φορτηγών** είναι 2,73 φορές μεγαλύτερη από την επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου των ποδηλάτων.

5.3.5.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Το συγκεκριμένο διάγραμμα περιγράφει την ευαισθησία της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής (χρόνος διαδρομής) όταν μεταβάλλεται μία εκ των ανεξάρτητων μεταβλητών και οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές.



Διάγραμμα 5. 5: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου φορτηγών και την ύπαρξη ή μη ύπαρξη λεωφορειολωρίδων

Για το σχεδιασμό του διαγράμματος, οι παρακάτω μεταβλητές θεωρήθηκαν σταθερές και χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές τους:

- Κυκλοφοριακός φόρτος ποδηλάτων: 8
- Ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσυκλετών: 0,26

Από το παραπάνω **διάγραμμα ευαισθησίας**, προκύπτουν κάποια συμπεράσματα, σε συμφωνία με όσα έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο. Οι δύο παράλληλες καμπύλες εμφανίζουν αυξητική τάση, δηλαδή όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος των φορτηγών τόσο αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής. Επιπρόσθετα, φαίνεται πως η ύπαρξη λεωφορειολωρίδας προκαλεί μείωση του χρόνου διαδρομής.

5.3.6 Μοντέλο 5 - Προσδιορισμός των παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες

5.3.6.1 Ανάπτυξη μοντέλου

Έπειτα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για να εκφραστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή το λογάριθμο του χρόνου διαδρομής και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- ModalSplit_Buses%: Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων
- PeakPeriod: Περίοδος αιχμής
- ModalSplit_Bicycles%: Ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων
- Volume_Trucks: Κυκλοφοριακός φόρτος φορτηγών
- ModalSplit_Taxi%: Ποσοστό κυκλοφορίας ταξί
- ModalSplit_PassengerCar%: Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ

Εξετάστηκαν διάφορες συσχετίσεις των μεταβλητών μεταξύ τους και **προτιμήθηκε ο λογάριθμος** αφού διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα.

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

Πίνακας 5. 16: Συσχέτιση ανεξάρτητων μεταβλητών – Μοντέλο 5

Correlations	PeakPeriod	ModalSplit_PassengerCar%	ModalSplit_Taxi%	Volume_Trucks	ModalSplit_Buses%	ModalSplit_Bicycles%
PeakPeriod	1,000	-0,200	0,251	0,119	0,159	-0,156
ModalSplit_PassengerCar%	-0,200	1,000	-0,255	-0,286	-0,301	0,021
ModalSplit_Taxi%	0,251	-0,255	1,000	0,214	0,570	0,006
Volume_Trucks	0,119	-0,286	0,214	1,000	0,016	0,010
ModalSplit_Buses%	0,159	-0,301	0,570	0,016	1,000	-0,037
ModalSplit_Bicycles%	-0,156	0,021	0,006	0,010	-0,037	1,000

Πίνακας 5. 17: Μεταβλητές στην εξίσωση - Μοντέλο 5

Model5					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
Intercept	1,1029	0,058	19,261	<2E-16	***
ModalSplit_Buses%	2,6604	1,200	2,217	0,027	*
PeakPeriod	0,0962	0,012	7,926	0,000	***
ModalSplit_Bicycles%	4,2144	1,890	2,229	0,026	*
Volume_Trucks	-0,0005	0,000	-4,260	0,000	***
ModalSplit_Taxi%	1,8116	0,169	10,691	<2E-16	***
ModalSplit_PassengerCar%	-0,9210	0,082	-11,221	<2E-16	***
Adjusted R-squared	0,458				

Μαθηματική σχέση:

$$\log(\text{TravelTime_Google}) = 1,1029 + 2,6604 \cdot \text{ModalSplit_Buses\%} + 0,0962 \cdot \text{PeakPeriod} + 4,2144 \cdot \text{ModalSplit_Bicycles\%} - 0,0005 \cdot \text{Volume_Trucks} + 1,8116 \cdot \text{ModalSplit_Taxi\%} - 0,9210 \cdot \text{ModalSplit_PassengerCar\%}$$

5.3.6.2 Ποιότητα μοντέλου

Στο μοντέλο που προέκυψε ικανοποιούνται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι:

- Ο συντελεστής προσαρμογής **R²** είναι αρκετά υψηλός, ίσος με 0,458
- Ο έλεγχος του **t** να είναι μεγαλύτερος από 1,7 για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επαληθεύεται
- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι μικρότερο από 0,05
- Οι μεταβλητές που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα **πρόσημά** τους εξηγούνται λογικά

5.3.6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τους συντελεστές του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου προκύπτει μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις:

- Όταν αυξάνεται το **ποσοστό κυκλοφορίας των λεωφορείων** παρατηρείται αύξηση του χρόνου διαδρομής. Πιο συγκεκριμένα, αν το ποσοστό κυκλοφορίας των λεωφορείων αυξηθεί κατά 1%, ο χρόνος διαδρομής θα αυξηθεί κατά 2,66 λεπτά. Κάτι τέτοιο μπορεί να εξηγηθεί λογικά από το ότι τα λεωφορεία καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο στην οδό ως μεγάλα οχήματα και προκαλούν καθυστερήσεις στην κυκλοφορία, αυξάνοντας το χρόνο διαδρομής των οχημάτων.

- Η **περίοδος αιχμής** έχει θετικό πρόσημο, άρα κατά τη μετάβαση από την πρωινή στην απογευματινή αιχμή ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται. Αυτό μπορεί να δικαιολογείται από το γεγονός ότι η απογευματινή περίοδος αιχμής συμπίπτει με την επιστροφή από την εργασία. Ταυτόχρονα, ενδεχομένως το απόγευμα να γίνεται χρήση των περιφερειακών οδικών αξόνων για λόγους αναψυχής.
- Αν αυξηθεί το **ποσοστό της κυκλοφορίας των ποδηλάτων** κατά 1%, ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται κατά 4,21 λεπτά. Οι ποδηλάτες, ως ευάλωτοι χρήστες και πολλές φορές χρησιμοποιώντας την οδό, μπορούν να συμβάλλουν σε καθυστερήσεις και άρα σε αύξηση του χρόνου διαδρομής.
- Καθώς αυξάνεται το **ποσοστό κυκλοφορίας των ταξί**, αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι τα ταξί πραγματοποιούν συχνές στάσεις, οδηγώντας σε συμφόρηση και σε αυξημένους χρόνους διαδρομής.
- Αύξηση του **ποσοστού κυκλοφορίας των επιβατικών ΙΧ** επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής. Όπως έχει εξηγηθεί και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι η συνολική ροή της κυκλοφορίας είναι καλύτερη σε συνθήκες με λιγότερα βαρέα οχήματα (λεωφορεία, φορτηγά), ταξί και μοτοσυκλέτες.

5.3.6.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Πίνακας 5. 18: Σχετική επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών -Μοντέλο 5

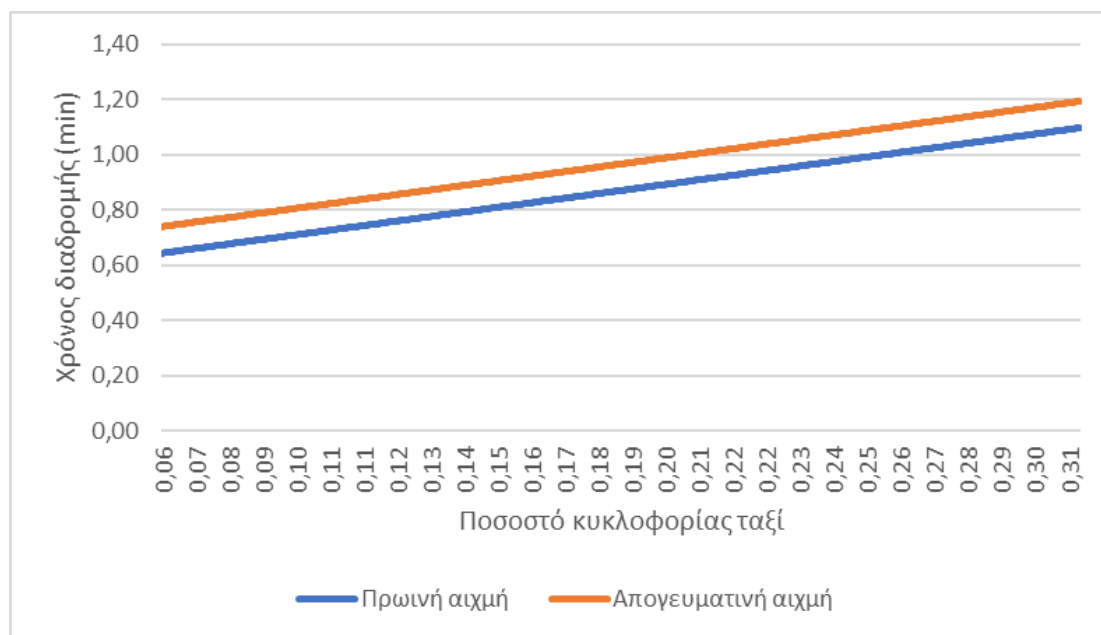
Model 5				
Ανεξάρτητες μεταβλητές	βi	t	Σχετική επιρροή	
			ei	ei*
ModalSplit_Buses%	2,660	2,217	0,000	3,10
PeakPeriod	0,096	7,926	0,247	1,00
ModalSplit_Bicycles%	4,214	2,229	0,000	1,00
Volume_Trucks	0,000	-4,260	-0,001	-12,88
ModalSplit_Taxi%	1,812	10,691	0,006	56,01
ModalSplit_PassengerCar%	-0,921	-11,221	-0,012	-118,63

Εξετάζοντας τις παραπάνω σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών στο μοντέλο, παρατηρείται ότι:

- Το **ποσοστό κυκλοφορίας των επιβατικών ΙΧ** έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει 118,63 φορές μεγαλύτερη επιρροή σε σχέση με το ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων που έχει τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο.
- Η μεταβλητή **ποσοστό κυκλοφορίας ταξί** έχει 56,01 φορές μεγαλύτερη επιρροή σε σχέση με το ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων.
- Ο **κυκλοφοριακός φόρτος των φορτηγών** έχει 12,88 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη συνεχή μεταβλητή με τιμή επιρροής 1.
- Το **ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων** έχει κατά 3,1 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη συνεχή μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή στο μοντέλο.

5.3.6.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Το συγκεκριμένο διάγραμμα περιγράφει την ευαισθησία της εξεταζόμενης εξαρτημένης μεταβλητής (λογάριθμος του χρόνου διαδρομής) όταν μεταβάλλεται μία εκ των ανεξάρτητων μεταβλητών και οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές.



Διάγραμμα 5. 6: Μεταβολή του χρόνου διαδρομής συναρτήσει του ποσοστού κυκλοφορίας ταξί και της περιόδου αιχμής

Για το σχεδιασμό του διαγράμματος, οι παρακάτω μεταβλητές θεωρήθηκαν σταθερές και χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές τους:

- Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων: 0,01
- Ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων: 0,001
- Κυκλοφοριακός φόρτος φορτηγών: 115
- Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ: 0,58

Στο παραπάνω **διάγραμμα ευαισθησίας** παρουσιάζεται αυξητική τάση, δηλαδή όσο αυξάνεται το ποσοστό κυκλοφορίας των ταξί, τόσο αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής. Επίσης,

για μετάβαση από την πρωινή στην απογευματινή αιχμή ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται, καθώς η καμπύλη της απογευματινής αιχμής, η οποία είναι παράλληλη σε αυτή της πρωινής αιχμής, είναι μετατοπισμένη προς τα άνω.

6. Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο προσδιορισμός των **κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας (Ιούνιος- Οκτώβριος 2020). Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται να εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο ο κυκλοφοριακός φόρτος, η κυκλοφορία πεζών, η σύνθεση της κυκλοφορίας, τα οδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθώς και η περίοδος αιχμής καθορίζουν το χρόνο διαδρομής των οχημάτων σε διαδρομές επί της οδού Πανεπιστημίου, λοιπών κεντρικών οδικών αξόνων, οδικών αξόνων εισόδου και εξόδου και περιφερειακών οδικών αξόνων στο κέντρο της Αθήνας.

Για το σκοπό αυτό καταγράφηκαν **κυκλοφοριακά δεδομένα** σε επιλεγμένα οδικά τμήματα της Αθήνας όπως ο χρόνος διαδρομής μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google (GoogleMapsAPI). Ο κυκλοφοριακός φόρτος οχημάτων και πεζών και η σύνθεση της κυκλοφορίας σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσυκλέτες, ποδήλατα και πατίνια, συλλέχθηκαν μέσω μετρήσεων πεδίου για την εξεταζόμενη περίοδο (15/06/2020-23/10/2020). Η τελική βάση δεδομένων συμπληρώθηκε με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση οδικών τμημάτων τα οποία συγκεντρώθηκαν μέσω της υπηρεσίας χαρτών της Google.

Καταρχήν, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων που οδήγησε σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Στη συνέχεια, μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μία σειρά δοκιμών, αναπτύχθηκαν, με τις μεθόδους της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης, **πέντε μαθηματικά μοντέλα** που αποτυπώνουν τη συσχέτιση μεταξύ του χρόνου διαδρομής και των παραγόντων που τον επηρεάζουν, για κάθε κατηγορία οδών όπως παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Επισημαίνεται ότι η **σχετική επιρροή** των ανεξάρτητων μεταβλητών κάθε μοντέλου στην αντίστοιχη εξαρτημένη μεταβλητή προσδιορίστηκε μέσω του μεγέθους της ελαστικότητας. Η σχετική επιρροή χρησιμοποιήθηκε για την ποσοτικοποίηση της επιρροής της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, δίνοντας με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ των επιρροών των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

Πίνακας 6. 1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων

Πρόβλεψη των κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής															
	Πανεπιστημίου			Κεντρικοί Οδικοί Άξονες			Οδικοί Άξονες Εισόδου			Οδικοί Άξονες Εξόδου			Περιφερειακοί Οδικοί Άξονες		
Ανεξάρτητες μεταβλητές			Σχετική επιρροή ei*			Σχετική επιρροή ei*			Σχετική επιρροή ei*			Σχετική επιρροή ei*			Σχετική επιρροή ei*
	βi	t		βi	t		βi	t		βi	t		βi	t	
Κυκλοφοριακός φόρτος μοτοσυκλετών	0,001	5,857	2,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ	-2,782	-5,026	-1,97	-0,367	-5,131	-5,25	-0,480	-3,814	-3,50	-	-	-	-0,921	-11,221	-118,63
Ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων	23,540	3,045	1,00	7,231	14,503	4,06	-	-	-	-	-	-	2,660	2,217	3,10
Κυκλοφοριακός φόρτος πεζών	0,0004	5,768	1,00	0,00003	3,283	1,00	0,0001	2,859	1,00	-	-	-	-	-	-
Κυκλοφοριακές λωρίδες επί της Πανεπιστημίου	1,111	8,618	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων	-	-	-	-0,475	-36,398	-43,19	-0,163	-8,193	-9,08	-	-	-	-	-	-
Περίοδος αιχμής	-	-	-	-0,100	-10,037	1,00	0,115	5,918	1,00	-	-	-	0,096	7,926	1,00
Κυκλοφοριακός φόρτος φορτηγών	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	2,303	2,73	-0,0005	-4,260	-12,88
Λεωφορειολωρίδες	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,025	-30,469	1,00	-	-	-
Κυκλοφοριακός φόρτος ποδηλάτων	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,009	1,931	1,00	-	-	-
Ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσυκλετών	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,246	2,158	4,70	-	-	-
Ποσοστό κυκλοφορίας ποδηλάτων	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,214	2,229	1,00
Ποσοστό κυκλοφορίας ταξί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,812	10,691	56,01
R ²	0,633			0,791			0,307			0,81			0,458		

6.2 Συνολικά Συμπεράσματα

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

1. Οι **παράμετροι που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής** στο κέντρο της Αθήνας σχετίζονται σημαντικά με τον κυκλοφοριακό φόρτο των διαφορετικών μέσων και τρόπων μετακίνησης (επιβατικά ΙΧ, μοτοσυκλέτες, ταξί, λεωφορεία / φορτηγά, ποδήλατο, πεζή) αλλά και με τα χαρακτηριστικά της οδικής υποδομής (αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, λεωφορειολωρίδες).

2. Στην οδό Πανεπιστημίου, η αύξηση της διατομής της οδού από τρεις (Α Φάση) σε τέσσερις (Β Φάση) λωρίδες κυκλοφορίας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του **Μεγάλου Περιπάτου** της Αθήνας, οδήγησε σε αύξηση του χρόνου διαδρομής. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι η επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας προσέλκυσε επιπλέον οχήματα (και παράνομα σταθμευμένα), σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση μετακινήσεων το φθινόπωρο (Β Φάση) σε σχέση με το καλοκαίρι (Α Φάση), με αποτέλεσμα μεγαλύτερη συμφόρηση και υψηλότερους χρόνους διαδρομής.
3. **Το ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο διαδρομής** στα τέσσερα από τα πέντε στατιστικά μοντέλα. Οι παράμετροι ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων, κυκλοφοριακός φόρτος πεζών και περίοδος αιχμής συμμετέχουν στη διαμόρφωση του χρόνου διαδρομής σε τρία μοντέλα. Σε δύο ή λιγότερα μοντέλα, οι παράμετροι που καθορίζουν τον χρόνο διαδρομής είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος των μοτοσυκλετών, ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας επί της Πανεπιστημίου, ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας της οδού, ο κυκλοφοριακός φόρτος των φορτηγών και ποδηλάτων, οι λεωφορειολωρίδες, το ποσοστό κυκλοφορίας ταξί, μοτοσυκλετών και ποδηλάτων.
4. Οι κεντρικοί οδικοί άξονες και οι οδικοί άξονες εισόδου παρουσιάζουν **όμοια συμπεριφορά ως προς τους παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής**. Τα δύο αυτά στατιστικά μοντέλα έχουν τις ίδιες ανεξάρτητες μεταβλητές (ποσοστό κυκλοφορίας επιβατικών ΙΧ, κυκλοφοριακός φόρτος πεζών, αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, περίοδος αιχμής) με μόνη διαφορά ότι το μοντέλο των κεντρικών οδικών αξόνων έχει μία μεταβλητή επιπλέον (ποσοστό κυκλοφορίας λεωφορείων).
5. **Το ποσοστό χρήσης των επιβατικών ΙΧ οχημάτων οδηγεί σε μείωση** του χρόνου διαδρομής σε όλες τις κατηγορίες οδικών αξόνων εκτός από τους οδικούς άξονες εξόδου, όπου δεν εμφανίζει κάποια επιρροή. Συγκεκριμένα, σε όσα μοντέλα συμμετέχει, επιφέρει μείωση του χρόνου διαδρομής. Πιθανόν, αυτό να συμβαίνει διότι η συνολική ροή κυκλοφορίας είναι καλύτερη σε συνθήκες με λιγότερα βαρέα οχήματα (λεωφορεία, φορτηγά) και ταξί και μοτοσυκλέτες.
6. Όσον αφορά στους **ήπιους τρόπους μετακίνησης**, η κυκλοφορία πεζών προκύπτει στατιστικά σημαντική μόνο στην οδό Πανεπιστημίου, στους κεντρικούς οδικούς άξονες και στους οδικούς άξονες εισόδου, ενώ η επιρροή της σε όλους τους προαναφερόμενους άξονες οδηγεί σε αύξηση του χρόνου διαδρομής των οχημάτων, πιθανόν λόγω του ότι οι πεζοί μπορεί να διασχίζουν το δρόμο με κόκκινο σηματοδότη πεζών καθυστερώντας τη λοιπή κυκλοφορία. Τα ποδήλατα επηρεάζουν τους άξονες εξόδου και τους περιφερειακούς και η επιρροή τους οδηγεί σε αύξηση του χρόνου διαδρομής. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι ποδηλάτες να χρησιμοποιούν οδικό χώρο που αντιστοιχεί στα υπόλοιπα οχήματα και όντας ευάλωτοι χρήστες να προκαλούν καθυστερήσεις στη λοιπή κυκλοφορία.
7. Όσον αφορά στην οδό **Πανεπιστημίου**, ο **κυκλοφοριακός φόρτος των μοτοσυκλετών** αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα επιρροής του χρόνου διαδρομής. Συγκεκριμένα, εάν αυξηθεί η ωριαία κυκλοφορία των μοτοσυκλετών επί της

Πανεπιστημίου, παρατηρείται αύξηση του χρόνου διαδρομής, ενδεχομένως λόγω των συχνών προσπεράσεων και εναλλαγών στις κυκλοφοριακές λωρίδες.

8. Στους **κεντρικούς και στους οδικούς άξονες εισόδου**, το **ποσοστό χρήσης των επιβατικών ΙΧ** οχημάτων καθώς και ο αριθμός των **λωρίδων κυκλοφορίας** προκύπτει ότι επηρεάζουν σε σημαντικότερο βαθμό τον χρόνο διαδρομής των οχημάτων στους υπό εξέταση οδικούς άξονες. Πιο συγκεκριμένα, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας, ο χρόνος διαδρομής μειώνεται. Επίσης, καθώς αυξάνεται το ποσοστό χρήσης επιβατικών ΙΧ, ο χρόνος διαδρομής μειώνεται, κάτι που θα μπορούσε να οφείλεται στην ταυτόχρονη μείωση της χρήσης των ταξί και των μοτοσυκλετών που ενδεχομένως να καθυστερούν την λοιπή κυκλοφορία με τις συνεχόμενες στάσεις επιβίβασης-αποβίβασης και τους συχνούς ελιγμούς αντίστοιχα.
9. Στους **οδικούς άξονες εξόδου**, η πιο κρίσιμη μεταβλητή είναι το **ποσοστό κυκλοφορίας μοτοσυκλετών**. Ειδικότερα, όσο αυξάνεται το ποσοστό, προκαλείται αύξηση και στον χρόνο διαδρομής. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, από το γεγονός ότι οι μοτοσυκλέτες πραγματοποιώντας προσπεράσεις και ελιγμούς στις λωρίδες κυκλοφορίας, καθυστερούν την κυκλοφορία των λοιπών οχημάτων με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής.
10. Όσον αφορά στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες**, η καθοριστικότερη μεταβλητή είναι το **ποσοστό κυκλοφορίας των ΙΧ**. Συγκεκριμένα, αύξηση του ποσοστού κυκλοφορίας ΙΧ επιφέρει μείωση στον χρόνο διαδρομής. Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι όσο αυξάνεται το ποσοστό κυκλοφορίας των ΙΧ, μειώνεται το ποσοστό κυκλοφορίας άλλων μεγάλων μέσων που καταλαμβάνουν περισσότερο οδικό χώρο και προκαλούν καθυστερήσεις, αυξάνοντας το χρόνο διαδρομής. Επίσης, πολύ σημαντική είναι η επιρροή του ποσοστού κυκλοφορίας των ταξί. Η μεταβλητή αυτή έχει θετικό πρόσημο που σημαίνει ότι αύξηση του ποσοστού κυκλοφορίας των ταξί προκαλεί αύξηση του χρόνου διαδρομής.
11. Αναφορικά με την **περίοδο αιχμής** παρατηρείται ότι, στους **κεντρικούς οδικούς άξονες**, ο χρόνος διαδρομής είναι αυξημένος κατά την πρωινή αιχμή συγκριτικά με την απογευματινή ενώ στους **οδικούς άξονες εισόδου** και στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες** παρατηρείται το αντίθετο. Όσον αφορά στους κεντρικούς οδικούς άξονες, ενδεχομένως αυτό να εξηγείται από την πρωινή μετακίνηση των οδηγών προς την εργασία τους. Όσον αφορά στους οδικούς άξονες εισόδου και στους περιφερειακούς, ο αυξημένος χρόνος διαδρομής ενδεχομένως να οφείλεται στη μετακίνηση με σκοπό τα ψώνια και την αναψυχή αλλά και στην επιστροφή από την εργασία.
12. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους της **πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης**, που αποδείχθηκαν κατάλληλες για τέτοιου είδους ανάλυση. Η ανάλυση των στοιχείων με τις προαναφερόμενες μεθόδους οδήγησε στην ανάπτυξη αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων προσδιορισμού των κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής στο κέντρο της Αθήνας.

6.3 Προτάσεις για τη βελτίωση της κυκλοφορίας και της κινητικότητας στην Αθήνα

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση μίας σειράς προτάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας και της κινητικότητας στην Αθήνα.

1. Δημιουργώντας, επεκτείνοντας και αναβαθμίζοντας τους **πεζόδρομους** αλλά και διαμορφώνοντας ελεύθερους **χώρους πρασίνου** ενθαρρύνεται ο πολίτης να περπατάει για να φτάσει στον προορισμό του. Φυσικό επακόλουθο είναι η μειωμένη κυκλοφορία οχημάτων στις οδούς.
2. Απαραίτητη είναι, επίσης, η έμφαση στον ποδηλατικό τρόπο ζωής. Σκόπιμο είναι να εξασφαλιστεί αρκετός χώρος για **κατασκευή ποδηλατοδρόμων** αλλά και να αναβαθμιστούν οι ήδη υπάρχοντες. Αυτό θα οδηγήσει σε χρήση τους από ολοένα και περισσότερους ανθρώπους, οι οποίοι θα αντικαταστήσουν τη χρήση των ΙΧ και των μοτοσυκλετών με την εισαγωγή του ποδηλάτου στη ζωή τους.
3. Οι **εκπαιδευτικοί φορείς** μπορούν να καλλιεργήσουν στα παιδιά την αντίληψη, από νεαρή ηλικία, για τη σημαντικότητα της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς για την προστασία του περιβάλλοντος και να τα εξοικειώνουν με τα οφέλη που έχουν στην ψυχική και σωματική τους υγεία το περπάτημα και η χρήση του ποδηλάτου. Έτσι, θα υπάρξει προτίμηση των νέων πολιτών σε πιο φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους μεταφοράς.
4. Ο αρμόδιος οργανισμός διαχείρισης των **Μέσων Μαζικής Μεταφοράς** απαιτείται να φροντίζει ώστε να παρέχει υψηλού επιπέδου υπηρεσίες στο χρήστη, εξασφαλίζοντας άνεση, καθαριότητα και ικανοποιητική συχνότητα δρομολογίων. Με αυτόν τον τρόπο, τα ΜΜΜ θα αποτελούν κυρίαρχη επιλογή του πολίτη για τη μετακίνησή του.
5. Απαιτείται ένα σχέδιο δράσης, μέσω **εκστρατειών ενημέρωσης** σε όλα τα μέσα ενημέρωσης και το διαδίκτυο, ώστε να επιτευχθεί η αλλαγή της νοοτροπίας των πολιτών και να αναδειχθούν τα οφέλη της χρήσης φιλικών προς το περιβάλλον τρόπων μεταφοράς. Επίσης, μέσω των εκστρατειών ενημέρωσης θα μπορούσαν να αναδειχθούν τα οφέλη που έχουν στην υγεία το περπάτημα και η χρήση του ποδηλάτου.

6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

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

1. Η έρευνα θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει και **δεδομένα** μετά τον Οκτώβρη του 2020. Έχοντας, δηλαδή, **μεγαλύτερο δείγμα** σε βάθος χρόνου θα μπορούσε να διερευνηθεί καλύτερα η επίδραση των παραγόντων που επηρεάζουν το χρόνο διαδρομής.
2. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε ο προσδιορισμός των κρίσιμων παραγόντων επιρροής του χρόνου διαδρομής σε **διαφορετικές συνθήκες οδήγησης**. Πιο συγκεκριμένα, σε συνθήκες ημέρας/νύχτας, τις καθημερινές και τα Σαββατοκύριακα ή με διαφορετικές καιρικές συνθήκες.

3. Η μεθοδολογία της ανάλυσης παλινδρόμησης θα ήταν καλό να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση της κυκλοφορίας στους βασικότερους **οδικούς άξονες** (κεντρικούς, εισόδου, εξόδου, περιφερειακούς) **μεμονωμένα** και όχι ανά κατηγορία, διότι ενδεχομένως ο κάθε άξονας να έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και να παρουσιάζει ξεχωριστά αποτελέσματα.
4. Όσον αφορά στη μεθοδολογία ανάλυσης ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η **εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων στατιστικής ανάλυσης**, όπως η ανάλυση με χρονοσειρές και η ανάλυση παραγόντων.

7. Βιβλιογραφία

1. TomTom, www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/ , 2017.01.13
2. Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, Vol. 15, (2), Pp. 73-80
3. E. Bakogiannis, M. Siti, S. Tsigdinos, A. Vassi, A. Nikitas. Monitoring the first dockless bike sharing system in Greece: Understanding user perceptions, usage patterns and adoption barriers. *Research in Transportation Business & Management*, 33 (2019), p. 100432
4. A. Nikitas. Understanding bike-sharing acceptability and expected usage patterns in the context of a small city novel to the concept: A story of 'Greek Drama'. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 56 (2018), pp. 306-321
5. A. Nikitas, J.Y. Wang, C. Knamiller. Exploring parental perceptions about school travel and walking school buses: A thematic analysis approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124 (2019), pp. 468-487
6. H. Gudmundsson. Sustainable transport and performance indicators. R.E. Hester, R.M. Hamson (Eds.), *Transport and the Environment-Issues in Environmental Science and Technology*, 20, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK (2004), pp. 35-63
7. M. Attard, Y. Shiftan (Eds.), *Sustainable urban transport*, Emerald Group Publishing (2015)
8. A. Sdoukopoulos, M. Pitsiava-Latinopoulou, S. Basbas, P. Papaioannou. Measuring progress towards transport sustainability through indicators: Analysis and metrics of the main indicator initiatives. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67 (2019), pp. 316-333
9. E. Bakogiannis, M. Siti, C. Kyriakidis. Infrastructure-Transportation and Networks: Thoughts on the City of Tomorrow. *European Journal of Interdisciplinary Studies*, 5 (1) (2016), pp. 73-79
10. L. Huang, X. Zhu, X. Ye, W. Guo, J. Wang. Characterizing street hierarchies through network analysis and large-scale taxi traffic flow: a case study of Wuhan, China. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43 (2) (2016), pp. 276-296
11. J.-X. Dong, T. Cheng, X. Jingjing, W. Jianping. Quantitative assessment of urban road network hierarchy planning. *Town Planning Review*, 84 (4) (2013), pp. 467-493
12. N. Stamatiadis, A. Kirk, J. Jasper, S. Wright. Functional Classification System to Aid Contextual Design. *Transp. Res. Rec.*, 2638 (2017), pp. 18-25
13. M. Carroll, E. Yamamoto. Level of Service Concepts in Multimodal Environments. A. Pande, B. Wolshon (Eds.), *Traffic Engineering Handbook: Institute of Transportation Engineers*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2015), pp. 149-176
14. C. McAndrews, K. Pollack, D. Berrigan, A. Dannenberg, E. Christopher. Understanding and Improving Arterial Roads to Support Public Health and Transportation Goals. *Am. J. Public Health*, 107 (8) (2017), pp. 1278-1282
15. J. Dargay, D. Gately, M. Sommer. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960–2030. *Energy J.*, 28 (2007), pp. 143-170, 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol28-No4-7

16. K. Gwilliam. Urban transport in developing countries. *Transp. Rev.*, 23 (2003), pp. 197-216, 10.1080/01441640309893
17. United Nations. (2018). Revision of World Urbanization Prospects.
18. Litman, T. (2014): Smart Congestion Relief. Comprehensive Evaluation of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Strategies. Victoria Transport Policy Institute, 23 March 2016. : www.vtpi.org/cong_relief.pdf
19. New York City Department of Transportation 2016. Bicyclists. Networks and Statistics. <http://www.nyc.gov/html/dot/html/bicyclists/bikestats.shtml>
20. Brighton and Hove City Council (2016). Lewes Road: Interim Post-Construction Monitoring Report. Brighton.
21. Brighton and Hove City Council (2013). Lewes Road Scheme: Post-construction Monitoring Report. Brighton.
22. Brighton and Hove City Council (2012). Lewes Road Improvements: Second Stage Public Consultation, Consultation Report published spring 2012. Brighton.
23. Department for Transport (2011). Local Sustainable Transport Fund - Application Form: Lewes Road Corridor project, submitted by Brighton and Hove City Council. Brighton.
24. Fiets filevrij (2016): <http://www.fietsberaad.nl/index.cfm?lang=en>
25. ANWB 2014, Rai Vereniging (2016): Kwart meer e-bikes verkocht in 2015. Press release, 4 April 2016. <https://www.raivereniging.nl/artikel/persberichten/2016-q2/0404-kwart-meer-e-bikes-verkocht-in-2015.html>.
26. Fietsberaad (2011): Fietssnelwegen lonen. 11. March 2011. <http://www.fietsberaad.nl/index.cfm?lang=en>
27. Belhocine, Aurelien (2015). Bicycle policies of Bordeaux Metropole, Master Thesis SciencesPo Bordeaux
28. Börjesson, Maria, J. Eliasson, M. B. Hugosson, K. Brundell-Freij (2012). The Stockholm congestion charges – 5 years on. Effects, acceptability and lessons learnt.
29. Centre for Transport Studies (2014). The Stockholm congestion charges: an overview <http://www.transportportal.se/swopec/CTS2014-7.pdf>.
30. EPASS24 (2016). Congestion Taxes. <https://www.epass24.com/road-tolls/congestion-taxes>
31. Kottenhoff, Karl and K. Brundell-Freij (2009). The role of public transport for feasibility and acceptability of congestion charging - The case of Stockholm. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009, vol. 43, issue 3, pages 297-305.
32. Li, Y. and McDonald, M. (2002) Link Travel Time Estimation Using Single GPS Equipped Probe Vehicle. *Proceedings of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, Singapore, 932-937, September 2002.
33. Lum, K.M., Fan, H. S.L., Lam, S.H. and Olszewski, P. (1998) Speed-Flow Modeling of Arterial Roads in Singapore, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 124, no. 6, 213-222.
34. Karl, C.A., Charles, S. and Trayford, R. (1999) Delivery of Real-Time and Predictive Travel Time Information: Experiences from a Melbourne Trial. *Proceedings of 6th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Toronto, Canada.
35. Wu, C.-F. (2001) The Study of Vehicle Travel Time Estimation using GPS, Department of Transportation Technology & Management, (Master Thesis), National Chiao Tung University, Taipei.
36. Chien, S.I-J. and Kuchipudi, C. M. (2003) Dynamic travel time prediction with real-time and historic data, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, No. 6, 608-616.

37. Kisgyorgy, L. and Rilett, L.R. (2002) Travel Time Prediction by Advanced Neural Network., *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, Vol. 46, No. 1, 15-32.
38. Van Grol, H.J.M., Danech-pajouh, M., Manfredi, S. and Whittaker, J. (1999) DACCORD: on-line travel time prediction, *World Conference on Transport Research Society (WCTRS)*, Vol. 2, 455-467.
39. Jain, J. and Lyons, G., 2008. The gift of travel time. *Journal of transport geography*, 16(2), pp.81-89.
40. Y Zhirui. Speed estimation using single loop detector outputs. Some studies, Ph.D thesis, Department of CIVIL Engineering, Texas A and M University, 2007.
41. C Ulberg. Vehicle occupancy forecasting, Technical Report. Washington State Department of Transportation Technical, Graduate School of Public Affairs University of Washington Seattle, Washington 98105, 1994.
42. Berzina, L., Faghri, A., Shourijeh, M. and Li, M., 2013. Evaluation of travel time data collection techniques: A statistical analysis. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2(6), pp.149-158.