



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Ανάλυση Χρονοσειρών Κυκλοφορίας Οχημάτων και Πεζών στην Αθήνα

Διπλωματική Εργασία

Νικόλαος Δ. Οικονόμου

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

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Ευχαριστίες

Με την παρούσα Διπλωματική Εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γ. Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την υποστήριξη του καθώς και για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια της. Επιπλέον, οφείλω να τον ευχαριστήσω για την πολύτιμη καθοδήγηση αλλά και για τις άριστες επιστημονικές γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσε τα τελευταία χρόνια του ακαδημαϊκού μου βίου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω εγκάρδια την Βιργινία Πετράκη, Υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π. για την καθοριστική συμβολή της στην ολοκλήρωση της εργασίας, τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές της, την υπομονή και επιμονή της καθώς και για την ακούραστη και διαρκή παρουσία της καθόλη τη διάρκεια του εγχειρήματος αυτού.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Χρήστο Κατρακάζα για την βοήθεια του στην επίλυση επιμέρους ζητημάτων στην ανάλυση χρονοσειρών.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που με στήριξαν και με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου και γενικά της ζωής μου, που φυσικά δεν είναι άλλοι από την οικογένεια μου.

Σύνοψη

Ανάλυση Χρονοσειρών Κυκλοφορίας Οχημάτων και Πεζών στην Αθήνα Νικόλαος Δ. Οικονόμου

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

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **ανάλυση χρονοσειρών κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών στην Αθήνα**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας (Ιούνιος - Οκτώβριος 2020). Επιπλέον στόχο αποτελεί η αξιολόγηση της επίδρασης στην κυκλοφορία της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας. Για τους εν λόγω στόχους, αξιοποιούνται δύο βάσεις δεδομένων: εκείνη που αφορά στη σύνθεση της κυκλοφορίας στο κέντρο της Αθήνας που καταγράφηκε μέσω μετρήσεων του ΕΜΠ και εκείνη που αφορά στην εξέλιξη της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας από τη σχετική διαδικτυακή εφαρμογή της Apple. Μέσω της ανάλυσης χρονοσειρών των κυκλοφοριακών δεδομένων υπό εξέταση, αναπτύχθηκαν στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης κυκλοφορίας (ARIMA), τα οποία αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικά μόνο για την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας. Από τα μοντέλα ARIMA που αναπτύχθηκαν, προέκυψε ότι από το καλοκαίρι και μετά η προβλεπόμενη κυκλοφορία οδηγών και πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας είναι πιο χαμηλή σε σχέση με την παρατηρούμενη, κάτι που ενδεχομένως να οφείλεται στις θερινές διακοπές και στις υψηλές θερμοκρασίες τους καλοκαιρινούς μήνες στους οποίους βασίστηκε η πρόβλεψη. Σχετικά με τη σύνθεση της κυκλοφορίας στους υπό εξέταση κεντρικούς οδικούς άξονες της Αθήνας, προέκυψε μείωση της χρήσης των επιβατικών ΙΧ με ταυτόχρονη αύξηση των ταξί κάτι που ενδεχομένως να οφείλεται στην προσαρμογή των οδηγών στις νέες κυκλοφοριακές συνθήκες της Πανεπιστημίου που επέφερε η δοκιμαστική λειτουργία του Μεγάλου Περιπάτου.

Abstract

Time Series Analysis of Vehicle and Pedestrian Traffic in Athens

Nikolaos D. Oikonomou

Supervisor: George Yannis, Professor N.T.U.A.

The objective of this Diploma Thesis is **the time series analysis of drivers and pedestrians traffic in Athens**, during the trial operation period of the Athens Great Walk (June - October 2020). A sub-objective is to evaluate the impact on traffic of the Athens Great Walk pilot operation. For that purpose, time series data on modal split in Athens central area were collected through field counts conducted by NTUA, as well as time series traffic data in Athens Great Area extracted by the respective Apple online application. Through time series analysis of the mobility data collected, forecasting models (ARIMA) were developed, which proved to be statistically significant only for drivers and pedestrians mobility in Athens Great Area. The ARIMA models developed, revealed that from summer onwards the forecasted mobility evolution of drivers and pedestrians in Athens Great Area is lower than the observed one, which may be due to summer holidays and high temperatures during summer months in which the prediction was based. Considering the modal split on the examined roads in the center of Athens, it is observed a reduction in the use of passenger vehicles with a simultaneous increase in the use of taxis, which may be due to the adaptation of drivers to the new traffic conditions of the Panepistimiou street brought about by the Athens Great Walk pilot operation.

Περίληψη

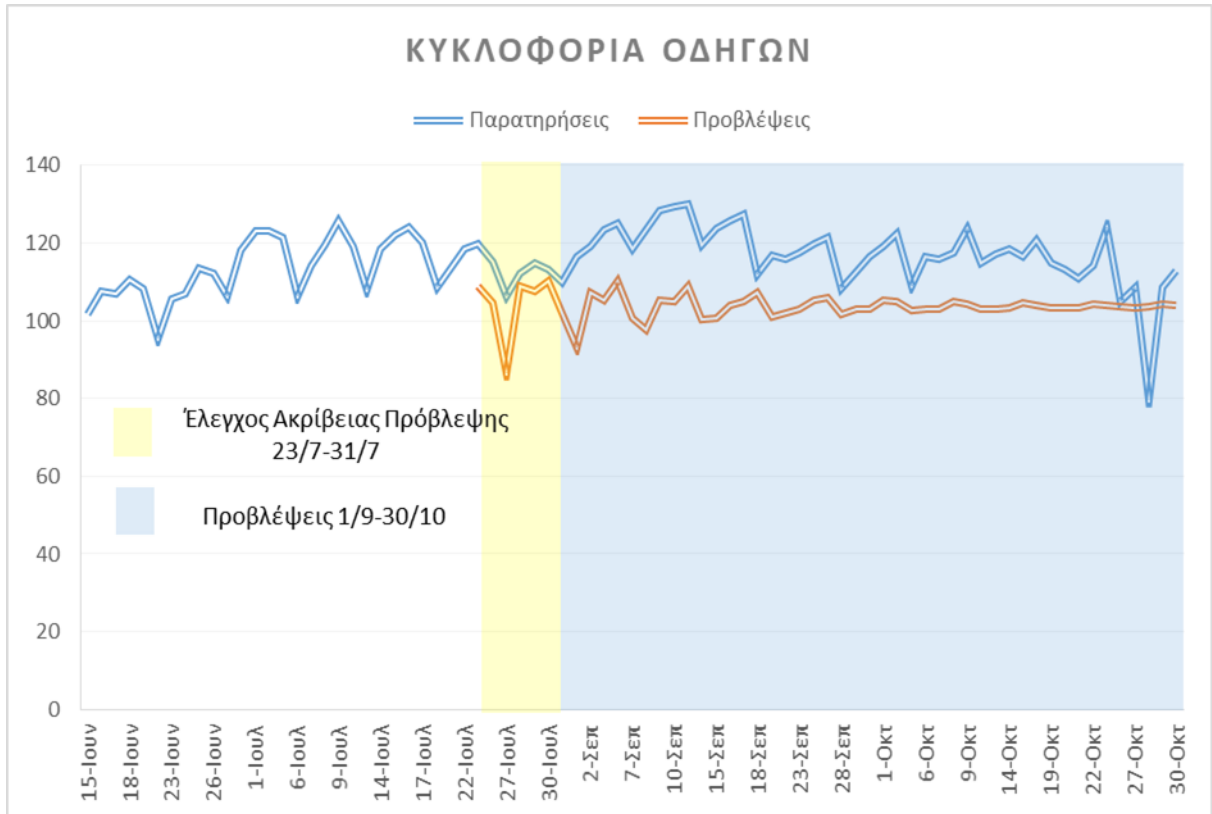
Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **ανάλυση χρονοσειρών κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών στην Αθήνα**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας (Ιούνιος - Οκτώβριος 2020). Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει δύο επιμέρους στόχους. Καταρχάς, επιδιώκεται να αξιολογηθεί η επίδραση στην κυκλοφορία της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας. Δεύτερο επιμέρους στόχο αποτελεί η αξιολόγηση της εξέλιξη της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας την ίδια περίοδο, η οποία συμπίπτει με το διάστημα ανάμεσα στις δύο περιόδους περιορισμών της κυκλοφορίας κατά την πανδημία.

Για τον σκοπό αυτό, αξιοποιούνται **δύο βάσεις δεδομένων που αποτελούνται από κυκλοφοριακά δεδομένα** που καταγράφηκαν στην Αθήνα την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Η πρώτη βάση δεδομένων αφορά στη σύνθεση της κυκλοφορίας σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, μοτοσυκλέτες και στον φόρτο πεζών σε επιλεγμένους οδικούς άξονες στο κέντρο της Αθήνας που συλλέχθηκαν μέσω μετρήσεων του ΕΜΠ. Η δεύτερη βάση δεδομένων που αξιοποιήθηκε, αφορά στην εξέλιξη της κυκλοφορίας πεζών και οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας από τη σχετική εφαρμογή της Apple.

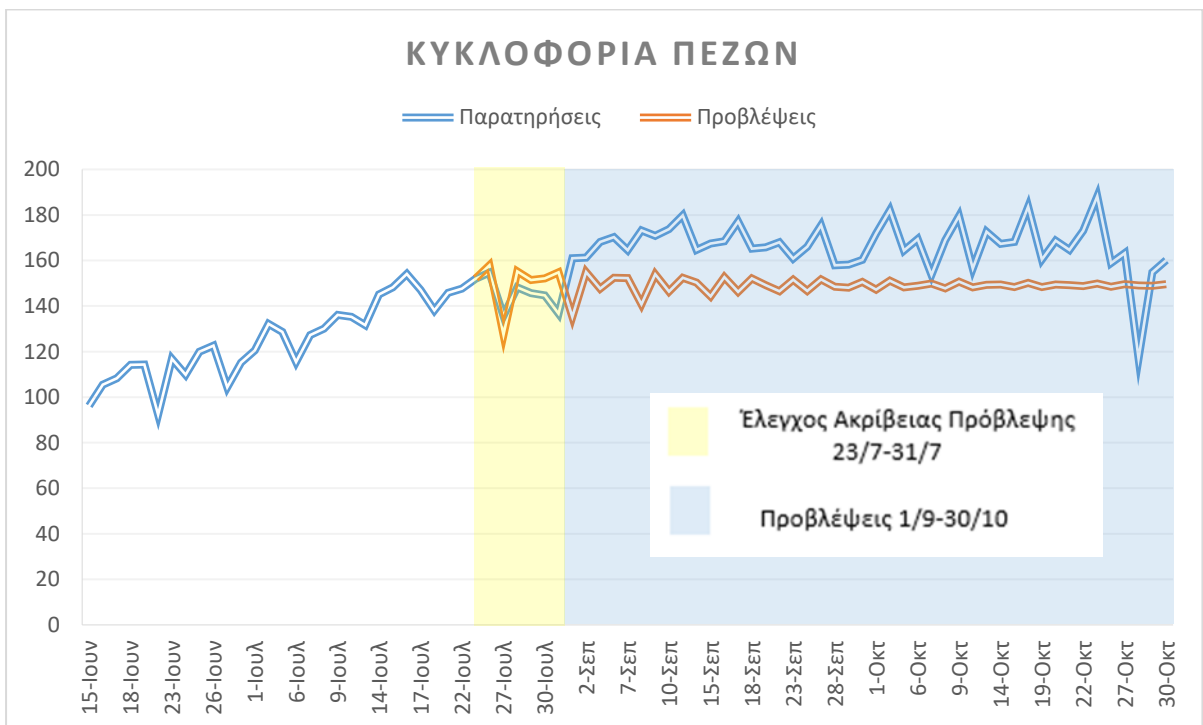
Καταρχήν, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση που οδήγησε σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα και για τους δύο επιμέρους στόχους (Μεγάλος Περίπατος και Λεκανοπέδιο Αθήνας). Στη συνέχεια, μέσω της ανάλυσης χρονοσειρών αναπτύχθηκαν **στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης κυκλοφορίας (ARIMA)**, με χρήση γλώσσας προγραμματισμού R, τα οποία αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικά μόνο για την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας. Στον πίνακα και στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα μοντέλα ARIMA που αναπτύχθηκαν και οι παρατηρούμενες και προβλεπόμενες τιμές μεταβολής της κυκλοφορία πεζών και οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (χωρίς να έχουν χρησιμοποιηθεί τα δεδομένα του Αυγούστου ως μη αντιπροσωπευτικά).

	Candidate Model	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	AIC	BIC
Χωρίς το Καλοκαίρι							
Οδηγοί	ar1	-0,51998	0,10594	-4,9084	9,18E-07	507,243	521,383
	ar2	-0,29171	0,12149	-2,4011	0,016346		
	ar3	-0,50213	0,11926	-4,2102	2,55E-05		
	ar4	-0,28951	0,12829	-2,2567	0,024029		
	ar5	0,3684	0,1261	2,9214	0,003485		
Πεζοί	ar1	-0,49322	0,10698	-4,6104	4,02E-06	582,2	596,34
	ar2	-0,24927	0,11747	-2,122	0,033838		
	ar3	-0,33855	0,12479	-2,7128	0,006671		
	ar4	-0,31234	0,13254	-2,3565	0,018447		
	ar5	0,34823	0,12796	2,7214	0,006501		

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποδεκτών μοντέλων ARIMA



Διάγραμμα 1: Παρατηρούμενες και Προβλεπόμενες μεταβολές Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών χωρίς το Καλοκαίρι



Διάγραμμα 2: Παρατηρούμενες και Προβλεπόμενες μεταβολές Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών χωρίς το Καλοκαίρι

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία σειρά συμπερασμάτων που συνδέεται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα ερωτήματά της. Τα γενικά συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

Ανάλυση σύνθεσης της κυκλοφορίας κατά τη δοκιμαστική εφαρμογή του Μεγάλου Περιπάτου

- Η **ανάλυση της χρήσης επιβατικών ΙΧ**, έδειξε ότι σε όλους τους υπό εξέταση οδικούς άξονες (Πανεπιστημίου, κεντρικοί οδικοί άξονες, οδικοί άξονες εισόδου και εξόδου), εκτός από τους περιφερειακούς οδικούς άξονες, σημειώθηκε μείωση του ποσοστού χρήσης ΙΧ τη δεύτερη περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου (4 λωρίδες κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου μετά το τέλος Ιουλίου 2020) σε σχέση με την πρώτη περίοδο (3 κυκλοφοριακές λωρίδες). Σημαντικότερη μείωση στο ποσοστό χρήσης των ΙΧ παρατηρήθηκε στην Πανεπιστημίου (-7%), που ήταν και ο οδικός άξονας που επηρεάστηκε άμεσα από την αλλαγή κυκλοφοριακών λωρίδων. Ενδεχομένως κάτι τέτοιο παρατηρείται επειδή οι οδηγοί επιβατικών ΙΧ προσαρμόστηκαν στις νέες κυκλοφοριακές συνθήκες της Πανεπιστημίου, με αποτέλεσμα το ποσοστό συμμετοχής τους στην κυκλοφορία να μειώθηκε.
- Όσον αφορά στα **ταξί** παρατηρήθηκε αύξηση της χρήσης τους στους περισσότερους υπό εξέταση οδικούς άξονες εκτός από τους οδικούς άξονες εισόδου και τους περιφερειακούς, στους οποίους δεν σημειώθηκε κάποια αξιόλογη μεταβολή με την αύξηση της διατομής της οδού στην Πανεπιστημίου. Υψηλότερη ποσοστιαία αύξηση (+9%) στη χρήση ταξί, σημειώθηκε στην οδό Πανεπιστημίου που εφαρμόστηκε η κυκλοφοριακή επέμβαση. Ενδεχομένως, κάτι τέτοιο να αιτιολογείται από την αντίστοιχη μείωση της χρήσης ΙΧ κυρίως στην Πανεπιστημίου και στους κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση.
- Όσον αφορά στις **μοτοσυκλέτες** σημειώθηκαν μικρές μεταβολές ύστερα από τη δημιουργία της επιπλέον κυκλοφοριακής λωρίδας στην Πανεπιστημίου τόσο στην ίδια την οδό όσο και στους υπόλοιπους οδικούς άξονες υπό εξέταση ενώ στους οδικούς άξονες εισόδου δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή. Συμπερασματικά, η αύξηση της διατομής της οδού στην Πανεπιστημίου, φαίνεται να μην επηρέασε σημαντικά την κυκλοφορία των μοτοσυκλετών.
- Τέλος, για τον φόρτο των **πεζών** παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στην Πανεπιστημίου αλλά και στους εγγύς κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση, με ποσοστό αύξησης κατά μέσο όρο 54% και 27%, αντίστοιχα. Ενδεχομένως, αυτή η αύξηση να οφείλεται στις καλύτερες καιρικές συνθήκες, που επικρατούν τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο συγκριτικά με τον Ιούνιο και Ιούλιο. Ωστόσο, κυρίως στους οδικούς άξονες εισόδου και εξόδου σημειώθηκε μείωση των πεζών, ενδεχομένως λόγω της αύξησης του αριθμού των ΙΧ από την επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου.
- Επισημαίνεται ότι, σχεδόν **καμία χρονοσειρά** με δεδομένα της σύνθεσης της κυκλοφορίας, δεν καλύπτει τις απαιτήσεις (π.χ. στασιμότητα, τυχαιότητα, λευκός θόρυβος) για την ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης της κυκλοφορίας **λόγω της επιρροής του Μεγάλου Περιπάτου**. Η μόνη χρονοσειρά που φαινομενικά ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις είναι η χρονοσειρά της μεταβλητής που αντιπροσωπεύει την χρήση ταξί στους κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση, κάτι που ίσως να αποτελεί τυχαίο γεγονός. 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 (μετρήσεις 14 εβδομάδων). Επομένως, τα μοντέλα

ARIMA δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για προβλέψεις όταν η χρονοσειρά προς ανάλυση αποτελείται από μικρό αριθμό στοιχείων (<15).

Πρόβλεψη κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας

- Η **κυκλοφορία των οδηγών** στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο συγκριτικά με την περίοδο πριν την άρση περιορισμών κυκλοφορίας, με εξαίρεση τον μήνα Αύγουστο λόγω καλοκαιρινών διακοπών που εμφανίζεται να είναι μειωμένη αισθητά. Η **κυκλοφορία των πεζών** στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας εμφανίζει ανοδική τάση μέχρι και τα τέλη Ιουλίου, όπου και εκεί ξεκινάει η αναμενόμενη μείωση της κυκλοφορίας τους λόγω των διακοπών του Αυγούστου. Στις αρχές Σεπτεμβρίου παρατηρείται πλέον σταθεροποίηση στον αριθμό των πεζών που είναι λίγο υψηλότερος από τις τιμές του Ιουνίου και του Ιουλίου, ενδεχομένως λόγω των καλύτερων καιρικών συνθηκών (λιγότερη ζέστη).
- Αναπτύχθηκαν κατάλληλα μοντέλα πρόβλεψης που **τηρούν όλες τις προϋποθέσεις των μοντέλων ARIMA**, (στασιμότητα, τυχαιότητα, στατιστικοί έλεγχοι) για την κυκλοφορία τόσο των πεζών όσο και των οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας στο διάστημα χωρίς περιορισμούς, ανάμεσα στις δύο περιόδους περιορισμών της κυκλοφορίας κατά την πανδημία, δηλαδή από 15 Ιουνίου έως και 30 Οκτωβρίου μη συμπεριλαμβάνοντας τον μήνα Αύγουστο (χωρίς το καλοκαίρι).
- Από το καλοκαίρι και μετά εμφανίζεται η προβλεπόμενη **κυκλοφορία πεζών** να είναι πιο χαμηλή σε σχέση με την παρατηρούμενη. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι το καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος) παρατηρείται χαμηλότερη κυκλοφορία πεζών λόγω καλοκαιρινών διακοπών και υψηλής θερμοκρασίας ενώ οδεύοντας προς το φθινόπωρο, βελτιώνονται οι καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καλύτερες συνθήκες για περπάτημα.
- Από το καλοκαίρι και μετά εμφανίζεται η προβλεπόμενη **κυκλοφορία οδηγών** στο Λεκανοπέδιο να είναι πιο χαμηλή σε σχέση με την παρατηρούμενη. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην αραιότερη κυκλοφορία των οχημάτων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που οι περισσότεροι άνθρωποι παραθερίζουν ενώ από τον Σεπτέμβρη και μετά επιστρέφουν σταδιακά στην καθημερινότητα.
- Οι διάφοροι τύποι σφαλμάτων (MSE, RMSE, MAE, MAPE) στο δείγμα ελέγχου που ορίστηκε για την αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης, παρουσίασαν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές, γεγονός που αποτέλεσε ισχυρή ένδειξη για **ικανοποιητική ακρίβεια προσαρμογής** των επιλεγμένων μοντέλων στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας μη λαμβάνοντας υπόψη το καλοκαίρι. Οι αντίστοιχοι έλεγχοι για τα μοντέλα πρόβλεψης ARIMA που έλαβαν υπόψη και τον Αύγουστο, έδωσαν ελαφρώς χειρότερα αποτελέσματα κυρίως για τους οδηγούς.
- Οι **βραχυπρόθεσμες προβλέψεις**, δηλαδή οι προβλέψεις που έγιναν έως και τα τέλη Σεπτεμβρίου ήταν κατά κανόνα ακριβείς. Όσο μεγάλωνε ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης, τόσο απέκλιναν τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τη διαφορά τόσο των οδηγών όσο και των πεζών. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχει ληφθεί υπόψη η εποχικότητα στα μοντέλα πρόβλεψης που τελικώς επιλέχθηκαν ως καταλληλότερα.

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.....	4
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	6
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Διεθνής Ανασκόπηση Κυκλοφοριακών Παρεμβάσεων	6
2.2.1 Γερμανία: Αναβάθμιση εγκαταστάσεων ποδηλασίας.....	6
2.2.2 Οξφόρδη: Ο κυκλικός κόμβος Plain	7
2.2.3 Στρασβούργο: Αναδιαμόρφωση του οδικού χώρου στο Pont Kuss	7
2.2.4 Λουμπλιάνα: Πεζόδρομοι στο κέντρο της πόλης	8
2.2.5 Γάνδη: Αφαίρεση οδογέφυρας B401	9
2.2.6 Βουδαπέστη: Πλήρης ανάπτυξη μιας φιλικής προς το ποδήλατο πόλης.....	9
2.2.7 Στοκχόλμη: Τιμολόγηση συμφόρησης.....	10
2.3 Σύνοψη Διεθνούς Ανασκόπησης	11
2.4 Ανάλυση Χρονοσειρών και Αστική Κινητικότητα	12
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	14
3.1 Εισαγωγή.....	14
3.2 Βασικές Έννοιες Στατιστικής	14
3.3 Ανάλυση Χρονοσειρών.....	15
3.3.1 Εποχική αποσύνθεση και στασιμότητα	17
3.3.2 Συναρτήσεις Αυτοσυσχέτισης και Μερικής Αυτοσυσχέτισης.....	18
3.3.3 Αναγνώριση Μοντέλου.....	19
3.3.4 Αξιολόγηση Προβλέψεων	20
3.4 Διάγραμμα Ροής Ανάπτυξης Μοντέλου ARIMA	21
4. Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων	22
4.1 Εισαγωγή.....	22
4.2 Συλλογή Κυκλοφοριακών Δεδομένων.....	22
4.2.1 Στοιχεία εφαρμογής από τις Ομάδες Μετρήσεων και Ερευνών του Ε.Μ.Π.	22
4.2.2 Στοιχεία κυκλοφορίας από την Apple.....	23
4.3 Επεξεργασία Στοιχείων	24

4.3.1 Μεταβολή Κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο.....	24
4.3.2 Σύνθεση Κυκλοφορίας στο Κέντρο της Αθήνας	25
4.4 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα.....	32
4.4.1 Κυκλοφορία στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας	32
4.4.2 Σύνθεση Κυκλοφορίας στο κέντρο της Αθήνας.....	32
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα	34
5.1. Εισαγωγή.....	34
5.2 Ανάλυση Χρονοσειρών-Κώδικας στο R-Studio	34
5.3 Ανάλυση Χρονοσειρών.....	37
5.4 Ανάλυση Χρονοσειρών για την Σύνθεση Κυκλοφορίας στην Αθήνα.....	38
5.4.1 Στασιμότητα	38
5.4.2 Συναρτήσεις Αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης.....	39
5.4.3 Μοντέλο ARIMA	42
5.5 Ανάλυση Χρονοσειρών για την Μεταβολή Κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο	43
5.5.1 Αποσύνθεση Χρονοσειράς.....	43
5.5.2 Στασιμότητα	45
5.5.3 Αυτοσυσχέτιση και μερική αυτοσυσχέτιση	47
5.5.4 Μοντέλο ARIMA	50
5.6 Υπολείμματα	51
5.7 Προβλέψεις Κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο	52
6. Συμπεράσματα	60
6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	60
6.2 Συμπεράσματα	62
6.2.1. Ανάλυση σύνθεσης της κυκλοφορίας κατά τη δοκιμαστική εφαρμογή του Μεγάλου Περιπάτου	62
6.2.2 Πρόβλεψη κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας	63
6.3. Προτάσεις για τη βελτίωση της κυκλοφορίας και της κινητικότητας στην Αθήνα	64
6.4. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	65
7. Βιβλιογραφία	66

Πίνακας Διαγραμμάτων

- Διάγραμμα 4.1:** Χρονοσειρά μεταβολής της κυκλοφορίας των οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών από 15/6/2020 έως 30/10/2020
- Διάγραμμα 4.2:** Χρονοσειρά μεταβολής της κυκλοφορίας των πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών από 15/6/2020 έως 30/10/2020
- Διάγραμμα 4.3:** Πεζοί κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κέντρικούς, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.
- Διάγραμμα 4.4:** ΙΧ κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κέντρικούς, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.
- Διάγραμμα 4.5:** Ταξί κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κέντρικούς, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.
- Διάγραμμα 4.6:** Μοτοσυκλέτες κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κέντρικούς, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.
- Διάγραμμα 4.7:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου στην Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.8:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου στην Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.9:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.10:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.11:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εισόδου την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.12:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εισόδου την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.13:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εξόδου την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.14:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εξόδου την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.15:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 4.16:** Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)
- Διάγραμμα 5.1:** ACF Επιβατικών ΙΧ
- Διάγραμμα 5.2:** PACF Επιβατικών ΙΧ
- Διάγραμμα 5.3:** ACF Ταξί
- Διάγραμμα 5.4:** PACF Ταξί
- Διάγραμμα 5.5:** ACF Μοτοσυκλετών
- Διάγραμμα 5.6:** PACF Μοτοσυκλετών
- Διάγραμμα 5.7:** ACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.8:** PACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.9:** ACF Επιβατικών ΙΧ
- Διάγραμμα 5.10:** PACF Επιβατικών ΙΧ
- Διάγραμμα 5.11:** ACF Ταξί
- Διάγραμμα 5.12:** PACF Ταξί
- Διάγραμμα 5.13:** ACF Μοτοσυκλετών

- Διάγραμμα 5.14:** PACF Μοτοσυκλετών
- Διάγραμμα 5.15:** ACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.16:** PACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.17:** Αποσύνθεση Οδηγών στο Λεκανοπέδιο με το καλοκαίρι
- Διάγραμμα 5.18:** Αποσύνθεση Πεζών στο Λεκανοπέδιο με το καλοκαίρι
- Διάγραμμα 5.19:** Αποσύνθεση Οδηγών στο Λεκανοπέδιο χωρίς το καλοκαίρι
- Διάγραμμα 5.20:** Αποσύνθεση Πεζών στο Λεκανοπέδιο χωρίς το καλοκαίρι
- Διάγραμμα 5.21:** ACF Οδηγών
- Διάγραμμα 5.22:** PACF Οδηγών
- Διάγραμμα 5.23:** ACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.24:** PACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.25:** ACF Οδηγών
- Διάγραμμα 5.26:** PACF Οδηγών
- Διάγραμμα 5.27:** ACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.28:** PACF Πεζών
- Διάγραμμα 5.29:** Υπολειπόμενα Κυκλοφορίας Οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (χωρίς το καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 5.30:** Υπολειπόμενα κυκλοφορίας Πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (χωρίς το καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 5.31:** Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (με το Καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 5.32:** Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέψεων κυκλοφορίας Οδηγών
- Διάγραμμα 5.33:** Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (με το Καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 5.34:** Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέψεων κυκλοφορίας Πεζών
- Διάγραμμα 5.35:** Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (χωρίς το Καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 5.36:** Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέψεων κυκλοφορίας Οδηγών (χωρίς το Καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 5.37:** Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (χωρίς το Καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 5.38:** Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέψεων κυκλοφορίας Πεζών (χωρίς το Καλοκαίρι)
- Διάγραμμα 6.1:** Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών χωρίς το Καλοκαίρι
- Διάγραμμα 6.2:** Παρατηρούμενες και Προβλεπόμενες μεταβολές Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών χωρίς το Καλοκαίρι

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1: Στάδια Μεθοδολογίας Διπλωματικής Εργασίας

Εικόνα 3.1: Διάγραμμα ροής ανάπτυξης μοντέλου ARIMA

Εικόνα 5.1: Εισαγωγή του αρχείου Excel της βάσης δεδομένων (σε μορφή csv) στο R-Studio.

Εικόνα 5.2: Α' Τμήμα Κώδικα με την μεθοδολογία των Χρονοσειρών.

Εικόνα 5.3: Β' Τμήμα Κώδικα με την μεθοδολογία των Χρονοσειρών

Εικόνα 5.4: Προβλέψεις Κυκλοφορίας Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών μη λαμβάνοντας το καλοκαίρι υπόψη

Εικόνα 5.5: Προβλέψεις Κυκλοφορίας Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών μη λαμβάνοντας το καλοκαίρι υπόψη

Πίνακας Πινάκων

- Πίνακας 4.1:** Συγκριτικός Πίνακας κατά την Πρωινή Αιχμή (8:00-10:30) για την κυκλοφορία με την ύπαρξη τριών και τεσσάρων κυκλοφοριακών λωρίδων στην Πανεπιστημίου
- Πίνακας 5.1:** Εντολές στην R και Επεξήγηση αυτών που χρησιμοποιήθηκαν
- Πίνακας 5.2:** Μοντέλα ανά Περιοχή Μελέτης και Μεταβλητή
- Πίνακας 5.3:** Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (x)
- Πίνακας 5.4:** Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 1η διαφορά (Dx)
- Πίνακας 5.5:** Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 2η διαφορά (DDx)
- Πίνακας 5.6:** Έλεγχος Box-Ljung για την 1η, 2η διαφορά αντίστοιχα
- Πίνακας 5.7:** Μοντέλο ARIMA για την κυκλοφορία στην Πανεπιστημίου
- Πίνακας 5.8:** Μετρήσεις απόδοσης για το μοντέλο εκτίμησης ARIMA στην Πανεπιστημίου
- Πίνακας 5.9:** Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (x)
- Πίνακας 5.10:** Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 1η διαφορά (Dx)
- Πίνακας 5.11:** Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 2η διαφορά (DDx)
- Πίνακας 5.12:** Έλεγχος Box-Ljung για την 1η, 2η διαφορά αντίστοιχα
- Πίνακας 5.13:** Μοντέλο ARIMA για την κυκλοφορία στο Λεκανοπέδιο Αθηνών
- Πίνακας 5.14:** Μετρήσεις απόδοσης για τα μοντέλα πρόβλεψης ARIMA της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας
- Πίνακας 5.15:** Μοντέλα Πρόβλεψης ARIMA για την κυκλοφορία στο Λεκανοπέδιο
- Πίνακας 5.16:** Έλεγχοι Σφαλμάτων για την μελλοντική πρόβλεψη με το καλοκαίρι
- Πίνακας 5.17:** Έλεγχοι Σφαλμάτων για την μελλοντική πρόβλεψη χωρίς το καλοκαίρι
- Πίνακας 6.1:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποδεκτών μοντέλων ARIMA

1. Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Στη σημερινή παγκοσμιοποιημένη εποχή οι **οδικές μεταφορές** αποτελούν κοινωνικό και αναπόσπαστο αγαθό, ζωτικής σημασίας για τις δραστηριότητες του ανθρώπου, ενώ παράλληλα λειτουργούν και ως δείκτης εξέλιξης και προόδου των κοινωνιών. Η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη της σύγχρονης εποχής λοιπόν καθιστά αδιαμφισβήτητη τη συμβολή τους στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου. Ως εκ τούτου η χρήση των μέσων που εξυπηρετούν τις οδικές μεταφορές έγινε υπέρμετρη πρωτίστως με την προτίμηση των ανθρώπων στα επιβατικά οχήματα και δευτερευόντως στα ΜΜΜ.

Η κατάσταση αυτή οδηγεί στην ανάγκη για εύρεση μίας βιώσιμης στρατηγικής για την συγκοινωνιακή εξυπηρέτηση των ελληνικών και μη πόλεων. Η συγκεκριμένη στρατηγική λοιπόν καλείται **στρατηγική αστικής κινητικότητας** και θέτει ως στόχο, πέραν από τη συγκοινωνιακή εξυπηρέτηση, την αναβάθμιση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής στις πόλεις με γρηγορότερες, ασφαλέστερες και πιο αξιόπιστες διαδρομές.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι τίθενται ως βασική κατεύθυνση πολιτικής οι αναπλάσεις για **ήπιες μορφές μετακίνησης** καθώς και η **διαχείριση της κυκλοφορίας**. Στο πλαίσιο αυτό δίνεται προτεραιότητα στα ΜΜΜ και στη δημιουργία απαραίτητων υποδομών. Τα επίγεια μέσα επωφελούνται από τη δημιουργία αποκλειστικών διαδρομών κίνησης λεωφορείων (νέες λεωφορειολωρίδες) καθώς εκείνα με τη σειρά τους τροφοδοτούν τα μέσα σταθερής τροχιάς. Ταυτόχρονα συμβάλλει και ο περιορισμός της διαμπερούς κυκλοφορίας με τη μείωση της χωρητικότητας βασικών οδικών αξόνων συνεπικουρικά με τον καθορισμό περιοχών αποκλεισμού κυκλοφορίας ΙΧ και την μικτή κυκλοφορία με χαμηλές ταχύτητες. Για να επιτευχθεί άρτια αυτό, αναγκαία είναι η κατασκευή υποδομών για ήπιες μορφές μετακίνησης, όπως ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω:

- Πρόβλεψη του δομικού διαχωρισμού της οδού (πλάτη πεζοδρομίων, οδοστρώματος, νησίδων)
- Ανάπτυξη δικτύων πεζόδρομων και ποδηλατόδρομων
- Συντήρηση και επιτήρηση σωστής λειτουργίας πεζόδρομων και ποδηλατόδρομων και συστηματική αναβάθμιση των πεζοδρομίων και ασφαλής διαχωρισμός τους από την κυκλοφορία των οχημάτων
- Ανάπτυξη διαδρομών πεζών
- Ανάπτυξη θέσεων στάθμευσης ποδηλάτων
- Ανάπτυξη προστατευμένων διαδρομών για ΑμΕΑ
- Δημιουργία οδών μικτής κυκλοφορίας πεζών -οχημάτων (woonerf)
- Εφαρμογή σειράς τεχνικών μέτρων χαμηλού κόστους μείωσης της ταχύτητας σε επιλεγμένες περιοχές κατοικίας (σαμαράκια κ.λ.π.)

Τόσο στο κέντρο της Αθήνας όσο και στο ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα της, η κυκλοφορία εμφανίζεται επιβαρυσμένη και η ποιότητα εξυπηρέτησης των μετακινουμένων υπολείπεται της αντίστοιχης ποιότητας αρκετών άλλων ευρωπαϊκών μεγαλουπόλεων. Πολύ συχνά παρατηρούνται σημαντικές καθυστερήσεις στις μετακινήσεις, υψηλοί χρόνοι διαδρομής, καθώς και μια μη αμελητέα περιβαλλοντική επιβάρυνση (ατμοσφαιρική ρύπανση και θόρυβος). 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**, ώστε ακολουθώντας το παράδειγμα αρκετών πόλεων παγκοσμίως να υποστηριχθούν εναλλακτικοί τρόποι μετακίνησης λόγω της πανδημίας, 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 ποδηλατών
- 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 τόσο στο κέντρο της Αθήνας όσο και στο Λεκανοπέδιο παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη ότι η περίοδος αυτή συμπίπτει με το διάστημα ανάμεσα στις δύο περιόδους περιορισμών της κυκλοφορίας κατά την πανδημία.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **ανάλυση χρονοσειρών κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών στην Αθήνα**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας (Ιούνιος - Οκτώβριος 2020). Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει δύο επιμέρους στόχους. Καταρχάς, επιδιώκεται να αξιολογηθεί η επίδραση στην κυκλοφορία της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας. Δεύτερο επιμέρους στόχο αποτελεί η αξιολόγηση της εξέλιξη της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας την ίδια περίοδο, η οποία συμπίπτει με το διάστημα χωρίς περιορισμούς, ανάμεσα στις δύο περιόδους περιορισμών της κυκλοφορίας κατά την πανδημία.

Για τον σκοπό αυτό αξιοποιούνται **δύο βάσεις δεδομένων με κυκλοφοριακά δεδομένα** στην Αθήνα για την εξεταζόμενη περίοδο. Η πρώτη βάση δεδομένων αφορά στη σύνθεση της κυκλοφορίας σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, μοτοσυκλέτες και πεζούς σε επιλεγμένους άξονες στο κέντρο της Αθήνας από μετρήσεις του ΕΜΠ και η δεύτερη βάση δεδομένων αφορά στην εξέλιξη της κυκλοφορίας πεζών και οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας από την σχετική εφαρμογή της Apple.

Η ανάλυση των στοιχείων οδήγησε σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα και για τους δύο επιμέρους στόχους (Μεγάλος Περίπατος και Λεκανοπέδιο Αθήνας), ενώ τα στατιστικά μοντέλα χρονοσειρών που αναπτύχθηκαν ήταν στατιστικά σημαντικά μόνο για την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας.

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 την επίτευξη του τελικού της στόχου ακολουθήθηκε συγκεκριμένη διαδικασία, τα στάδια της οποίας παρουσιάζονται εκτενώς παρακάτω.

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 τη 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 **έκθεση του τρόπου συλλογής στοιχείων**. Εφαρμόστηκε ένα συνδυαστικό σύστημα συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων μέσα από την υπηρεσία χαρτών που προσφέρει η Apple για το Λεκανοπέδιο της Αθήνας, καθώς και από μετρήσεις πεδίου που έλαβαν χώρα στο κέντρο της Αθήνας. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν η μεταβολή της κυκλοφορίας των οδηγών και των πεζών στο Λεκανοπέδιο και η κατανομή μετακινήσεων σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, μοτοσυκλέτες όπως και ο ωριαίος φόρτος πεζών επί της Πανεπιστημίου, λοιπών κεντρικών οδικών αξόνων στην Αθήνα, οδικών αξόνων εισόδου, εξόδου και περιφερειακών οδικών αξόνων.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η **επιλογή της μεθόδου στατιστικής επεξεργασίας** των στοιχείων και η εισαγωγή της βάσης δεδομένων σε ηλεκτρονική βάση (Microsoft Excel). Έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των βάσεων δεδομένων μέχρι να αποκτήσουν την τελική μορφή τους, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, τη γλώσσα προγραμματισμού (R).

Επόμενο στάδιο αποτέλεσε η **ανάλυση χρονοσειρών** (Time Series Analysis) και τελικώς η ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης ARIMA που περιέγραφαν σε αποδεκτό επίπεδο εμπιστοσύνης την εξέλιξη της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας.

Μετά την **αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων**, εξήχθησαν συμπεράσματα για την επιρροή της δεύτερης δοκιμαστικής περιόδου λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου (3 κυκλοφοριακές λωρίδες) συγκριτικά με την πρώτη περίοδο (4 κυκλοφοριακές λωρίδες) στην κυκλοφορία όσον αφορά στην οδό Πανεπιστημίου αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της. Στην συνέχεια, αξιολογήθηκε η εξέλιξη της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Έτσι, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το υπό εξέταση αντικείμενο καθώς και διατυπώθηκαν αξιόλογες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

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



Εικόνα 1.1: Στάδια Μεθοδολογίας Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

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

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί μια **εισαγωγή**, καθώς είναι η βάση για να γίνει άμεσα αντιληπτό και κατανοητό το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας. Γίνεται μια αναφορά στη σημερινή κατάσταση για την στρατηγική αστικής κινητικότητας καθώς ο Μεγάλος Περίπατος αποτελεί ένα σχέδιο που ακολουθεί τις κατευθυντήριες γραμμές της. Επίσης, γίνεται σαφής ο στόχος της παρούσας εργασίας και επισημαίνεται η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί μέσα από ένα διάγραμμα ροής καθώς και η δομή της.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μια εκτενή **βιβλιογραφική ανασκόπηση** ερευνών με αντικείμενο τις πεζοδρομήσεις, τη δημιουργία ποδηλατόδρομων αλλά και την ενίσχυση των δημόσιων μέσων μεταφοράς. Ακόμα αναλύονται οι σχετικές επιπτώσεις που είχαν τα παραπάνω έργα στη σύνθεση της κυκλοφορίας. Η τελευταία υποενότητα αυτού το κεφαλαίου αναφέρεται στη σύνοψη των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα.

Το **τρίτο κεφάλαιο**, που αποτελεί το **θεωρητικό υπόβαθρο**, βασίζεται στην 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 των μοντέλων που θεωρήθηκαν καταλληλότερα

για την πρόβλεψη της κυκλοφορίας. Το τελευταίο μέρος αυτού του κεφαλαίου περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή των βημάτων που ακολουθούνται, για την ανάλυση των χρονοσειρών και τελικώς της ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναφέρεται η διαδικασία **συλλογής και επεξεργασίας** των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη των στόχων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, περιγράφεται η μέθοδος συλλογής των δεδομένων και στη συνέχεια, με την βοήθεια του λογισμικού στατιστικής ανάλυσης R και του Microsoft Excel, δημιουργούνται συγκεντρωτικοί πίνακες, οι οποίοι βοηθούν στην καλύτερη περιγραφή των χαρακτηριστικών του δείγματος. Τέλος, πραγματοποιείται επεξεργασία των δεδομένων ώστε να πάρουν την τελική τους μορφή για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα της R.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύεται λεπτομερώς η **διαδικασία** ανάλυσης χρονοσειρών που πραγματοποιήθηκε για την δημιουργία των κατάλληλων **μοντέλων πρόβλεψης ARIMA** και την αντίστοιχη εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, με ιδιαίτερη έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων ώστε να είναι αποδεχτά. Στο δεύτερο μέρος αυτού του κεφαλαίου πραγματοποιείται παρουσίαση των μοντέλων που αφορούν στην πρόβλεψη της κυκλοφορίας στην Αθήνα.

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 πρόβλεψης. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου επισημαίνονται προτάσεις, οι οποίες μπορούν να αξιοποιήσουν τα αποτελέσματα από αυτήν την έρευνα, και την διεξαγωγή περαιτέρω ερευνών που συσχετίζονται με αυτό 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 και μελέτες σχετικές με το θέμα της παρούσας εργασίας.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η **κυκλοφοριακή συμφόρηση** - θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στις αστικές μεταφορές, που επηρεάζουν τους χρόνους ταξιδιού, την εκπομπή ρύπων και θορύβου και τη γενική ποιότητα ζωής στις πόλεις. Ωστόσο, αυτή η ερμηνεία δεν δείχνει ολόκληρη την εικόνα καθώς η συμφόρηση μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ένδειξη επιτυχούς οικονομικής ανάπτυξης όπως αναφέρει η έκθεση του OECD / ECMT (Nouvier, Jacques, 2007).

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών με αντικείμενο τις **πεζοδρομήσεις**, τη δημιουργία **ποδηλατόδρομων** αλλά και την **ενίσχυση των δημόσιων μέσων μεταφοράς** σύμφωνα με την έκθεση (Thorsten Koska, 2016). Ακόμα, αναλύονται οι σχετικές επιπτώσεις που είχαν τα παραπάνω έργα στην κυκλοφορία και στην ευρύτερη αστική κινητικότητα. Τέλος, παρουσιάζονται εργασίες που αξιοποιούν μοντέλα χρονοσειρών για την πρόβλεψη και αξιολόγηση των κυκλοφοριακών μεταβλητών.

2.2 Διεθνής Ανασκόπηση Κυκλοφοριακών Παρεμβάσεων

2.2.1 Γερμανία: Αναβάθμιση εγκαταστάσεων ποδηλασίας

Ο στόχος ενός γερμανικού ερευνητικού έργου ήταν να ποσοτικοποιηθεί ο **αντίκτυπος** των **αναβαθμισμένων εγκαταστάσεων ποδηλασίας** σε αστικές περιοχές στο διαχωρισμό των τρόπων μεταφοράς, στον αριθμό των διαδρομών και στο περιβάλλον. Ο αντίκτυπος της «Αναβάθμισης των εγκαταστάσεων ποδηλασίας σύμφωνα με τις οδηγίες τεχνικού σχεδιασμού» διερευνήθηκε σε τρεις γερμανικές πόλεις: Coburg, Gütersloh και Mönchengladbach. Ο κύριος στόχος αυτού του μέτρου ήταν να αναβαθμίσει τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις ποδηλασίας σύμφωνα με τις οδηγίες τεχνικού σχεδιασμού. Τα χαρακτηριστικά και οι προϋποθέσεις που σχετίζονται με την ποδηλασία διέφεραν σημαντικά στις τρεις πόλεις.

Ένας κύριος αντίκτυπος της αναβάθμισης των εγκαταστάσεων ποδηλασίας σε αστικές περιοχές για να είναι συνεπείς με τις τεχνικές οδηγίες ήταν η **αύξηση της ταχύτητας διαδρομών** για τους ποδηλάτες και, κατά συνέπεια, οι μικρότεροι χρόνοι διαδρομής των αστικών ποδηλατικών ταξιδιών, γεγονός που μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αλλαγή της κατανομής των μέσων από τις μηχανοκίνητες μεταφορές σε ποδηλασία. Ο αντίκτυπος του μέτρου προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα μακροσκοπικής μοντελοποίησης VISUM (PTV AG) για τις τρεις πιλοτικές πόλεις. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν μια σαφή αλλαγή στα μεταφορικά μέσα από τη μηχανοκίνητη μεταφορά σε ποδηλασία καθώς και τη μείωση των συνολικών διαδρομών με μηχανοκίνητα μέσα. Τα αποτελέσματα ήταν πιο έντονα στην περίπτωση της τοπικής κυκλοφορίας παρά σε ταξίδια που ξεκινούσαν και τερματίζονταν εκτός της πόλης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ξεκάθαρα ότι μια «αναβάθμιση εγκαταστάσεων ποδηλασίας σε αστικές περιοχές σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες σχεδιασμού» μπορεί να οδηγήσει σε **μετατόπιση του διαχωρισμού των τρόπων μηχανοκίνητης μεταφοράς** σε ποδηλασία σε αστικές περιοχές και ως εκ τούτου σε μείωση των ημερήσιων ταξιδιών με μηχανοκίνητα μέσα μεταφοράς και άρα σε μείωση

της συμφόρησης. Το μέτρο οδήγησε σε μείωση κατά 4% του αριθμού των συνολικών ταξιδιών με μηχανοκίνητα μέσα μεταφοράς στο αστικό οδικό δίκτυο. Η μείωση της τοπικής κυκλοφορίας ήταν 8%, η οποία ήταν υψηλότερη από την κυκλοφορία προέλευσης και τερματισμού (συνολικά 3%).

Ο θετικός αντίκτυπος στη μετατόπιση των τρόπων μεταφοράς και τη μείωση των ημερήσιων ταξιδιών με μηχανοκίνητα μέσα μεταφοράς μπορεί να αυξηθεί με την εφαρμογή **πρόσθετων μέτρων στήριξης**. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν μέτρα όπως:

- Διόρθωση υφιστάμενων ατελειών στο αστικό ποδηλατικό δίκτυο με την δημιουργία ή βελτίωση των ποδηλατόδρομων.
- Παρέχοντας εναλλαγές μεταξύ ποδηλασίας και μέσων μαζικής μεταφοράς
- Παροχή συστήματος κοινής χρήσης ποδηλάτων
- Διεξαγωγή εκστρατειών ευαισθητοποίησης σχετικά με την ποδηλασία και το περπάτημα.

2.2.2 Οξφόρδη: Ο κυκλικός κόμβος Plain

Στην Οξφόρδη, περίπου 75.000 ταξίδια με ποδήλατο πραγματοποιούνται κάθε μέρα με ένα σταθερά υψηλό ποσοστό διαδρομών στο κέντρο της πόλης. Μία από τις κύριες διαδρομές από και προς το κέντρο της πόλης είναι ο **κυκλικός κόμβος Plain**, ένας πολυσύχναστος κυκλικός κόμβος 5 βραχιόνων με υψηλές ροές λεωφορείων και ένα ιστορικό οδικών ατυχημάτων ποδηλατών.

Με σκοπό τη **βελτίωση της ελκυστικότητας και της ασφάλειας** του κυκλικού κόμβου Plain για ποδηλάτες και πεζούς, μειώθηκε το πλάτος του κυκλοφοριακού οδοστρώματος όπως και οι ακτίνες εισόδου στον κυκλικό κόμβο, ελαττώνοντας έτσι τις ταχύτητες του μηχανοκίνητου οχήματος. Επίσης, η εν λόγω κυκλοφοριακή παρέμβαση παρείχε μεγαλύτερη προτεραιότητα ποδηλατών και πεζών στη διασταύρωση, ιδίως με την εγκατάσταση μιας λωρίδας για ποδηλάτες που ταξιδεύουν ανατολικά και μια διευρυμένη περιοχή πεζών. Το συγκεκριμένο έργο εφαρμόστηκε κυρίως για να προσφέρει βελτιώσεις σχετικά με την ποδηλασία και τους πεζούς σε αντίθεση με τις βελτιώσεις της ροής της κυκλοφορίας. Η σύγκριση μεταξύ του 2014 (πριν την κυκλοφοριακή παρέμβαση) και του 2015 (μετά την κυκλοφοριακή παρέμβαση) δείχνει μείωση των αριθμών μηχανοκίνητων οχημάτων (κυρίως επιβατικών ΙΧ) και αύξηση των ποδηλατών.

2.2.3 Στρασβούργο: Αναδιαμόρφωση του οδικού χώρου στο Pont Kuss

Τα ιστορικά κέντρα της πόλης με σημαντικά τουριστικά αξιοθέατα προσελκύουν **μεγάλο αριθμό πεζών**. Συχνά ο δρόμος που διατίθεται στους πεζούς είναι ανεπαρκής και δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της αυξανόμενης ζήτησης. Το 2012, η πόλη του Στρασβούργου, ανακοίνωσε ένα δεκαετές σχέδιο (2011-2020) που ονομάζεται Plan Piéton, στόχος του οποίου είναι να βελτιώσει την κατάσταση των πεζών (Communauté Urbaine de Strasbourg 2012 in: Kretz et al 2013), καθώς και να μεταφέρει μια ολοκληρωμένη, πολυτροπική προσέγγιση σχεδιασμού, όπου όλοι οι τρόποι μεταφοράς - πεζοί, ποδηλάτες, μηχανοκίνητα οχήματα και δημόσιες συγκοινωνίες - εξετάζονται στο ίδιο επίπεδο λεπτομέρειας.

Ένα μέρος της στρατηγικής ήταν η **ανακατανομή δημόσιου χώρου** στο Pont Kuss, η γέφυρα πάνω από τον ποταμό που συνδέει τον κεντρικό σταθμό με την παλιά πόλη. Η γέφυρα είναι σήμερα ένα από τα πεζοδρόμια της πόλης, λόγω του γειτονικού σταθμού του τραμ και των καφέ που βρίσκονται κοντά στη γέφυρα. Οι αριθμοί κυκλοφορίας δείχνουν πολύ υψηλή ζήτηση πεζών όλη την ημέρα και ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής, ωστόσο υπάρχει μέτριος όγκος κυκλοφορίας οχημάτων. Μετρήσεις δείχνουν ότι 1.850 πεζοί μοιράστηκαν δύο πεζοδρόμια (το καθένα με πλάτος 2 μ.) ενώ μόνο 250 οχήματα την ώρα χρησιμοποιούσαν τις δύο λωρίδες κυκλοφορίας.

Το μέτρο συνίστατο στον **επανασχεδιασμό της διατομής** του δρόμου για τη μείωση αυτής της ανισοροπίας στην κατανομή της ζήτησης και της προσφοράς ταξιδιού: μια λωρίδα λοιπόν αφαιρέθηκε από τα αυτοκίνητα και δόθηκε στους πεζούς. Αυτό το μέτρο συμπληρώθηκε τροποποιώντας τα προγράμματα σήματος κυκλοφορίας υπέρ των πεζών. Πριν από την υλοποίηση του έργου, πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη, πολυμορφική μικροσκοπική προσομοίωση, προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις της ανακατανομής του χώρου στη ροή της κυκλοφορίας.

Αυτό το σχέδιο εξέτασε όλους τους τρόπους μεταφοράς σε ένα πολυτροπικό μοντέλο μεταφοράς, και ως εκ τούτου εξέτασε **το σύνολο του συστήματος μεταφοράς** μαζί. Η ανακατανομή του δημόσιου χώρου είχε ως αποτέλεσμα την ασφαλή υποδομή για τους πεζούς, αλλά και για την κυκλοφορία των οχημάτων. Οι πεζοί που έρχονται από και προς το σταθμό του τραμ δεν περπατούν πλέον στις οδικές διαδρομές ενώ αποφεύγουν ή προσπερνούν άλλους πεζούς, μειώνοντας έτσι τον πιθανό κίνδυνο για ατυχήματα ή διαταραχές της ροής της κυκλοφορίας, όπως συνέβαινε πριν από την εφαρμογή του.

Το μερίδιο της πεζής κίνησης είναι ακόμη υψηλό στο κέντρο της πόλης και στην πραγματικότητα ο επανασχεδιασμός της γέφυρας την έκανε ακόμη πιο ελκυστική για τουρίστες και ντόπιους και τώρα μπορεί να αντέξει υψηλότερους όγκους κυκλοφορίας πεζών.

Παρά τον φόβο που εκφράστηκε πριν από την εφαρμογή του μέτρου ότι η μείωση της χωρητικότητας των οδών θα προκαλούσε την κατάρρευση της ροής της κυκλοφορίας των οχημάτων, έχει αποδειχθεί ότι **τα μέτρα** υπέρ των πεζών όχι μόνο **βελτίωσαν** την κατάσταση για τους πεζούς, αλλά και μείωσαν τους χρόνους αναμονής και ταξιδιού για μέσα μαζικής μεταφοράς. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι ο χρόνος αναμονής των πεζών σε διασταυρώσεις μειώθηκε σημαντικά. Οι χρόνοι ταξιδιού για ορισμένες γραμμές λεωφορείων μειώθηκαν σημαντικά (κατά 40%) σε ορισμένα τμήματα. Ταυτόχρονα, η μειωμένη χωρητικότητα για την κυκλοφορία αυτοκινήτων δεν οδήγησε σε σημαντικά χαμηλότερες ταχύτητες.

2.2.4 Λουμπλιάνα: Πεζοδρόμοι στο κέντρο της πόλης

Το 2007, το κέντρο της πόλης ήταν κλειστό για όλα τα μηχανοκίνητα οχήματα και αυτή η καθορισμένη οικολογική ζώνη διευρύνθηκε σταδιακά. Οι **πεζοδρομημένες ζώνες** στο κέντρο της Λιουμπλιάνα επεκτάθηκαν προκειμένου να ενθαρρυνθεί η μη μηχανοκίνητη κινητικότητα, να αποφευχθεί η συμφόρηση στο κέντρο της πόλης και να μετατραπεί η πόλη «που κάποτε ήταν γεμάτη με αυτοκίνητα» σε «έναν ευχάριστο δημόσιο χώρο και ένα ελκυστικό περιβάλλον για μια ποικιλία κοινωνικών, πολιτιστικών και αθλητικών εκδηλώσεων» (Πόλη της Λιουμπλιάνα 2016 & 2013, EUROCITIES 2014a).

Η διοίκηση της Λιουμπλιάνα είχε προβλέψει πως λόγω του ότι δίδεται μεγαλύτερη **προτεραιότητα στους πεζούς** και στην τροποποίηση του καθεστώτος κυκλοφορίας υπέρ των φιλικών προς το περιβάλλον τρόπων μεταφοράς, θα μπορούσε να αυξηθεί η μειωμένη κυκλοφορία των πεζών (27% το 1994, 19% το 2003 και 25% το 2013) και ένα αυξανόμενο μερίδιο λειτουργίας της κυκλοφορίας αυτοκινήτων (42% το 1994, 58% το 2003) θα μπορούσε να μειωθεί (51% το 2013) σε όλη την πόλη. Τελικώς, το περπάτημα αυξήθηκε από 33% το 2003 σε 53% το 2013, η χρήση αυτοκινήτου μειώθηκε από 47% σε 19%.

Η Λιουμπλιάνα κατάφερε να μεταμορφωθεί από μια πόλη που προηγουμένως κυριαρχούσε σε αυτοκίνητο σε μια πόλη με έμφαση στους πεζούς, τους ποδηλάτες και τις δημόσιες συγκοινωνίες. Τέλος, μεγάλες ποσότητες δημόσιων ανοιχτών χώρων ανακαινίστηκαν, δημιουργώντας ποιοτικά οφέλη για τους πολίτες που ζούσαν στη Λιουμπλιάνα.

2.2.5 Γάνδη: Αφαίρεση οδογέφυρας B401

Η Γάνδη έχει πάνω από 250.000 κατοίκους, εκ των οποίων οι 72.500 είναι μαθητές, καθιστώντας την τη μεγαλύτερη φοιτητική κοινότητα στη Φλάνδρα του Βελγίου. Ο αστικός αυτοκινητόδρομος B401, οδηγεί από τη διέλευση δύο μεγάλων αυτοκινητοδρόμων (E40 και E17) κατευθείαν στο κέντρο της πόλης της Γάνδης. Η **κατεδάφιση της οδογέφυρας B401** βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της αξιολόγησης του σχεδιασμού και της προβολής. Ωστόσο, οι επιπτώσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν αναδιανομή της κυκλοφορίας των οχημάτων από αυτήν την κύρια τοποθεσία στον περιφερειακό (R40), ευκαιρίες για βελτιωμένο αστικό σχεδιασμό, συμπεριλαμβανομένων πεζόδρομων και λωρίδων ποδηλάτων, καθώς και τις εξωτερικές επιπτώσεις της δημόσιας υγείας, της ποιότητας του περιβάλλοντος όπως και οικονομική αξία των γύρω ακινήτων.

Η **απομάκρυνση** του υπερυψωμένου **αυτοκινητόδρομου B401** θα εξαλείψει μια σημαντική πηγή κυκλοφορίας οχημάτων απευθείας στο κέντρο της πόλης με την αναδρομολόγηση οχημάτων σε περιφερειακό δρόμο για πιο ομοιόμορφη κατανομή της κυκλοφορίας. Αυτό θα μειώνει τη συμφόρηση και θα βελτιώνει την ποιότητα του αέρα, καθώς επίσης θα παρείχε ασφαλέστερες συνθήκες για ποδηλασία και περπάτημα. Η απομάκρυνση του αυτοκινητόδρομου θα ελευθερώσει επίσης χρήσιμα εδάφη για νέες χρήσεις, όπως δημόσιο πάρκο, υποδομή ποδηλάτων και δημόσιων συγκοινωνιών με σύνδεση με το κέντρο της πόλης.

2.2.6 Βουδαπέστη: Πλήρης ανάπτυξη μιας φιλικής προς το ποδήλατο πόλης

Η **ποδηλασία** είναι όλο και πιο δημοφιλής στη Βουδαπέστη και το μήκος των λωρίδων ποδηλασίας αυξάνεται επίσης σταθερά. Στην πρώτη στρατηγική ανάπτυξης μεταφορών με βάση το Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας της Βουδαπέστης που ονομάζεται BMT Balázs Mór Plan , η πόλη έθεσε στόχο την αύξηση στο 10% της ποδηλασίας έως το 2030. Το τρέχον ποσοστό κατανομής κυκλοφορίας στην ποδηλασία είναι 2,3%. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, ξεκίνησε το δημόσιο σύστημα κοινής χρήσης ποδηλάτων MOL Bubi και εφαρμόστηκε μια σειρά έργων για να κάνουν τις συνθήκες ποδηλασίας πιο ευνοϊκές.

Το σύστημα Bubi άνοιξε τον Σεπτέμβριο του 2014 με 1.100 ποδήλατα και 76 σταθμούς σύνδεσης και το 2015 επεκτάθηκε κατά 22 σταθμούς. Σε μια προσπάθεια να υποστηρίξει το σύστημα κοινής χρήσης ποδηλάτων και την ποδηλασία γενικά, η Budapesti Közlekedési Központ **επανασχεδιάζει το οδικό δίκτυο** στο κέντρο της πόλης για να είναι πιο φιλικό προς το ποδήλατο. Έχουν ήδη εφαρμοστεί αρκετά μέτρα ποδηλασίας, όπως: επέκταση δικτύου λωρίδας ποδηλάτου, κιβώτια ποδηλάτων σε σήματα και διασταυρώσεις, σχήματα ήπιας κυκλοφορίας και λωρίδες ποδηλάτου αντίθεσης σε μονόδρομους (64 δρόμοι μονής κατεύθυνσης έχουν ανοίξει για ποδηλάτες και από τις δύο κατευθύνσεις). Το 2014, το μήκος του συνολικού δικτύου ποδηλάτων ήταν 288 χλμ. που διπλασιάστηκε ουσιαστικά τα τελευταία 17 χρόνια. Επιπλέον, έχουν εγκατασταθεί σταθμοί ποδηλάτων σε κεντρικούς σταθμούς και δημόσια κτίρια για τη βελτίωση της στάθμευσης και τη μείωση των κλοπών ποδηλάτων.

Σύμφωνα με τα **αποτελέσματα** ενός τοπικού **ερωτηματολογίου** εμπειρογνομώνων, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η ροή κυκλοφορίας ποδηλάτων έχει βελτιωθεί σε επίπεδο δικτύου, σε διασταυρώσεις και σε τμήματα οδών. Όσον αφορά στην επίδραση στην κυκλοφορία μηχανοκίνητων οχημάτων, οι απόψεις είναι μικτές. Η κυκλοφορία έχει μειωθεί στους κύριους οδικούς άξονες, ενώ σε τοπικούς οδικούς άξονες και διασταυρώσεις, το αποτέλεσμα επηρεάζεται ανάλογα με την τοποθεσία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η κίνηση έχει μειωθεί μετά την εφαρμογή της νέας ποδηλατικής υποδομής.

2.2.7 Στοκχόλμη: Τιμολόγηση συμφόρησης

Η Στοκχόλμη, με σχεδόν 1 εκατομμύριο πολίτες, είναι η πολυπληθέστερη πόλη της Σουηδίας και η μητροπολιτική της περιοχή έχει πληθυσμό άνω των 2,2 εκατομμυρίων. Το κέντρο της Στοκχόλμης αντιμετωπίζει το πρόβλημα ενός μεγάλου αριθμού καθημερινών μετακινούμενων οχημάτων που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, τον θόρυβο και την **κυκλοφοριακή συμφόρηση**.

Για να λύσει αυτό το πρόβλημα, η σουηδική κυβέρνηση εφάρμοσε έναν «**φόρο συμφόρησης**» μετά από μια μακρά συζήτηση και δημοψήφισμα στο Δήμο της Στοκχόλμης. Ο φόρος συμφόρησης απαιτεί από τους οδηγούς των περισσότερων οχημάτων που εισέρχονται στο κέντρο της πόλης να καταβάλουν τέλος μεταξύ ορισμένων ωρών. Το μέτρο περιλαμβάνει υποδομή ITS (π.χ. αυτόματες κάμερες αναγνώρισης πινακίδας κυκλοφορίας). Όλα τα φορολογικά έσοδα επιστρέφονται στην περιοχή της Στοκχόλμης για επενδύσεις σε δημόσιες συγκοινωνίες και βελτιώσεις οδών.

Οι ακόλουθες αλλαγές στην κυκλοφορία παρατηρήθηκαν ως αποτέλεσμα της χρέωσης οδηγών για είσοδο στο κέντρο της Στοκχόλμης:

- Η συνολική κίνηση προς και από το κέντρο της πόλης μειώθηκε κατά 10-15% (με μειώσεις που κυμαίνονται από 9 έως 26% σε διάφορους τομείς).
- Οι χειρότερες ουρές μέσα και κοντά στο κέντρο της πόλης μειώθηκαν κατά 30% και περισσότερο.
- Η μεγαλύτερη πτώση ήταν κατά την περίοδο αιχμής το απόγευμα. Η κίνηση μειώθηκε επίσης το απόγευμα μετά τη λήξη της περιόδου χρέωσης.

- Υπήρξε μείωση 14% στα μίλια οχημάτων που διανύθηκαν (VMT) στη ζώνη φόρτισης και μείωση κατά 1% στο VMT εκτός της ζώνης.
- Υπήρξε αύξηση της αξιοπιστίας του χρόνου ταξιδιού και ο όγκος της κυκλοφορίας στους περισσότερους δρόμους με συμφόρηση μειώθηκε 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 συμφόρησης. 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 και στο carpooling

Το **πρόγραμμα χρέωσης συμφόρησης** στη Στοκχόλμη συνίστατο όχι μόνο από χρεώσεις συμφόρησης αλλά και από επέκταση των υπηρεσιών δημόσιας συγκοινωνίας. Οι εκτεταμένες υπηρεσίες είχαν ως κίνητρο εν μέρει να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση για τις δημόσιες συγκοινωνίες, και εν μέρει από μια πολιτική βούληση να δείξουν «καρότα» και όχι μόνο «ραβδιά». Με βάση τους οδηγούς που μεταβαίνουν από αυτοκίνητο σε δημόσιες συγκοινωνίες φαίνεται ότι ο αριθμός των επιβατών στο σύστημα διαμετακόμισης αυξήθηκε κατά περίπου 4-5%. Το πλήθος στο σύστημα δημόσιων μεταφορών, μετρούμενο από τον αριθμό των μόνιμων επιβατών, αυξήθηκε κάπως στο μετρό, αλλά μειώθηκε στα τρένα προαστιακών, πιθανότατα χάρη στην αυξημένη χωρητικότητα των δημόσιων μεταφορών. Η μειωμένη οδική συμφόρηση μέσα και γύρω από το κέντρο της πόλης οδήγησε σε αυξημένες ταχύτητες και ακρίβεια για τις υπηρεσίες λεωφορείων. Στη Στοκχόλμη, οι χρεώσεις διατέθηκαν σε κάποιο βαθμό ως «περιβαλλοντικές» χρεώσεις και η περιβαλλοντική ανησυχία των ψηφοφόρων ήταν ένας σημαντικός παράγοντας που εξηγεί την αποδοχή των χρεώσεων.

2.3 Σύνοψη Διεθνούς Ανασκόπησης

Συνοψίζοντας, μπορεί να παρατηρηθεί ότι στις πόλεις που εφαρμόστηκαν **μέτρα** σχετικά με πεζοδρομήσεις, αναδιαμορφώσεις χώρων και δημιουργία νέων ή βελτίωση των υπάρχουσών ποδηλατικών υποδομών, τα αποτελέσματα ήταν θετικά τόσο ως προς το περιβάλλον, όσο και ως προς την ανακατανομή της κυκλοφορίας.

Αναφορικά με την **κυκλοφορία**, η αναβάθμιση των ποδηλατικών εγκαταστάσεων στην Γερμανία και το σύστημα κοινής χρήσης ποδηλάτων στην Βουδαπέστη, σε συνδυασμό με κάποια έργα τροποποίησης των συνθηκών ποδηλασίας, οδήγησε σε βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας των ποδηλάτων και ως εκ τούτου σε μείωση της χρήσης μηχανοκίνητων μέσων. Επίσης, η αναδιαμόρφωση του κυκλικού κόμβου Plain στην Οξφόρδη ως προς το πλάτος του οδοστρώματος και τις ακτίνες εισόδου επέφερε αύξηση της χρήσης των ποδηλάτων και μείωση της κυκλοφορίας των μηχανοκίνητων μέσων. Συμπληρωματικά, η αφαίρεση της οδογέφυρας στην Γάνδη φαίνεται πως θα έχει ως αποτέλεσμα την διοχέτευση σημαντικού ποσοστού των μηχανοκίνητων οχημάτων σε περιφερειακό δρόμο κι επίσης θα ελευθερωθεί χώρος για δημιουργία ποδηλατικών και σχετικών με τις δημόσιες συγκοινωνίες υποδομών.

Ταυτόχρονα, στο Στρασβούργο, η αφαίρεση μίας λωρίδας από την κυκλοφορία των οχημάτων στο Pont Kuss και η διάθεση αυτής στους πεζούς βελτίωσε την κατάσταση για τους πεζούς και μείωσε το χρόνο αναμονής και ταξιδιού για τα μέσα μαζικής μεταφοράς χωρίς ο μειωμένος χώρος για την κυκλοφορία των οχημάτων να οδηγήσει

σε σημαντικά χαμηλότερες ταχύτητες. Η επέκταση των πεζοδρομήσεων στο κέντρο της Λιουμπλιάνα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κίνησης των πεζών και τη μείωση της χρήσης του αυτοκινήτου. Τέλος, όσον αφορά στην τιμολόγηση συμφόρησης στη Στοκχόλμη, επέφερε μείωση της μηχανοκίνητης κυκλοφορίας από και προς το κέντρο της πόλης, ιδιαίτερα κατά την περίοδο αιχμής, και αύξηση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς.

2.4 Ανάλυση Χρονοσειρών και Αστική Κινητικότητα

Τα μοντέλα Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) θεωρούνται ως τα πιο δημοφιλή μοντέλα χρονοσειρών και χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα των μεταφορών (Washington et al., 2020). Η χρήση τους επεκτείνεται σε πολλούς τομείς μεταφορών όπως για παράδειγμα στην μοντελοποίηση της κυκλοφοριακής ροής (Dong et al., 2009; Li et al., 2017), στον χρόνο ταξιδιού (Billings & Yangt, 2006), στον κυκλοφοριακό φόρτο (Gavirangaswamy, 2013), στην οικονομία των μεταφορών (Miller, 2019), στην ζήτηση αεροπορικών μεταφορών (Tang & Deng, 2016) κ.α. Συμπερασματικά, τα μοντέλα ARIMA αποτελούν μία ικανοποιητική προσέγγιση που μπορεί να ληφθεί υπόψη για την μοντελοποίηση της αστικής κυκλοφορίας.

Ωστόσο, τα μοντέλα ARIMA περιορίζονται από την υπόθεσή τους ότι οι αναλύσεις της σειράς είναι στάσιμες ή ο ελάχιστος αριθμός διαφορών που απαιτούνται για την επίτευξη μιας σταθερής σειράς συνδιακύμανσης είναι μηδέν. Κατά συνέπεια, θεωρείται ότι έχουν **βραχυπρόθεσμη μνήμη**. Επίσης, οι δομές ARIMA με αρκετές παρατηρήσεις θεωρούνται τακτικά ως μη στάσιμες και στη συνέχεια φιλτράρονται και εξαλείφονται στα κύρια στάδια ανάλυσής τους (Karlaftis & Vlahogianni, 2009).

Παρόμοιες **τεχνικές χρονοσειρών** έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της ταχύτητας οδήγησης (Pan et al., 2012; Shang et al., 2005; Tselentis et al., 2015; Tsirigotis et al., 2012). Οι Pan et al. (2012) χρησιμοποίησαν το μοντέλο ARIMA και το Ιστορικό Μέσο Μοντέλο (HAM) για να προβλέψει την ταχύτητα κυκλοφορίας, αλλά μόνο για ώρες αιχμής. Η ίδια αδυναμία μπορεί να βρεθεί στους Shang et al. (2005) που χρησιμοποίησαν μη γραμμικές τεχνικές μοντελοποίησης χρονοσειρών για την πρόβλεψη της ταχύτητας κυκλοφορίας σε αυτοκινητόδρομους, αλλά μόνο για ώρες αιχμής. Οι Tselentis et al. (2015) συνέκριναν μοντέλα συνδυασμού Bayesian με μοντέλα χρονοσειρών για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις ταχύτητας κίνησης και οι Tsirigotis et al. (2012) αξιολόγησαν τον αντίκτυπο του καιρού και του συνδυασμού κυκλοφορίας στην ταχύτητα της κυκλοφορίας με διάφορα μοντέλα ARIMA ή/και με εξωγενείς μεταβλητές. Παρ' όλα αυτά, χρησιμοποίησαν έναν μικρό αριθμό παρατηρήσεων.

Άλλες ευρέως χρησιμοποιούμενες **προσεγγίσεις χρονοσειρών** περιλαμβάνουν την εκθετική τεχνική εξομάλυνσης του Holt-Winters (Ghosh et al., 2005; Grubb & Mason, 2001; Wang et al., 2017; Yu et al., 2016), την Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedastic (GARCH) (Adrangi et al., 2001; Chenyi Chen et al., 2011; Karlaftis & Vlahogianni, 2009; Tran et al., 2015), του «τυχαίου περιπάτου» (Random Walk) (Ghosh et al., 2005) και μη γραμμικά μοντέλα χρονοσειρών (Nair et al., 2001; Shang et al., 2005; Yannis et al., 2011).

Αναλύοντας τα **πλεονεκτήματα** του μοντέλου **ARIMA**, αναγνωρίστηκε ως μία από τις πιο ακριβείς μεθόδους όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία για την πρόβλεψη της ροής της κυκλοφορίας, σε σύγκριση με άλλες διαθέσιμες τεχνικές και για τις δύο μη παραμετρικές τεχνικές (δηλαδή μη παραμετρική παλινδρόμηση και νευρωνικό δίκτυο) και για τις παραμετρικές τεχνικές επίσης (δηλ. γραμμική και μη γραμμική

παλινδρόμηση, ιστορικός μέσος αλγόριθμος, τεχνικές εξομάλυνσης και αυτόματες γραμμικές διαδικασίες) (Mai et al., 2012; Kumar & Vanajakshi, 2015). Σε ένα πιο στατιστικό πλαίσιο, τα μοντέλα ARIMA θεωρούνται ως η βέλτιστη πρόβλεψη, καθώς καμία άλλη τεχνική πρόβλεψης δεν έχει μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE). Παρ'όλα αυτά, αυτή η σύγκριση μπορεί να εφαρμοστεί μόνο εάν αυτά τα μοντέλα είναι γραμμικοί συνδυασμοί των προηγούμενων τιμών στη χρονική σειρά, με σταθερούς συντελεστές (Han & Song, 2003).

Σε περιπτώσεις εμφανούς εποχικότητας, τα μοντέλα ARIMA μπορούν να επεκταθούν σε **εποχικά μοντέλα ARIMA (SARIMA)**. Τα μοντέλα SARIMA θεωρούνται ως απλή επέκταση του μη εποχιακού ARIMA (Hipel & McLeod, 1994). Όσον αφορά τα μοντέλα SARIMA, σχετικές μελέτες βρέθηκαν να αποδίδουν καλύτερα από τα μοντέλα «τυχαίου περιπάτου» (Clark et al. στον Williams, 2003; Ghosh et al., 2005; Williams, 2003), υποστήριξη παλινδρόμησης φορέα (SVR) (Lippi et al. , 2013), ιστορικός μέσος όρος (Chung & Rosalio, 2001; Williams, 2003) καθώς και κανονικός ARIMA (Lippi et al., 2013; Clark et al. στον Williams, 2003). Μια άλλη μελέτη ανέφερε ότι τα εποχικά μοντέλα ARIMA προέβλεπαν με μεγαλύτερη ακρίβεια, σε σύγκριση με τα μοντέλα με τις καλύτερες επιδόσεις k-NN (αλγόριθμος k-πλησιέστερων γειτόνων) (Smith et al., 2002 στους Kumar & Vanajakshi, 2015).

Από την άλλη πλευρά, το αναφερόμενο κύριο **μειονέκτημα** που σχετίζεται με τα μοντέλα SARIMA για την πρόβλεψη ροής, είναι η ανάγκη μεγάλων δειγμάτων που απαιτούνται για την πρόβλεψη (Kumar & Vanajakshi, 2015). Ωστόσο, μελέτες έχουν επίσης αναπτύξει μοντέλα πρόβλεψης χρησιμοποιώντας μικρό αριθμό παρατηρήσεων (Alekseen & Seixas, 2009; Önder & Kuzu, 2014).

Συνοψίζοντας, οι **προδιαγραφές** ARIMA και SARIMA βρέθηκαν ως μια δημοφιλής και αξιόπιστη προσέγγιση όσον αφορά την πρόβλεψη χρονολογικών σειρών και, ως εκ τούτου, πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής των πεζών και των οδηγιών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών.

3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** στο οποίο βασίστηκε η ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, γίνεται μία αναφορά σε βασικές έννοιες της στατιστικής ώστε να γίνουν πιο εύκολα κατανοητές. Έπειτα, αναφέρεται λεπτομερώς η μέθοδος που αναπτύχθηκε για την ανάλυση των υπό εξέταση χρονοσειρών και τελικώς η ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων ARIMA. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται και σχολιάζονται οι στατιστικοί έλεγχοι και τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης ενός μοντέλου ARIMA. Τέλος, παρατίθεται σχηματικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του κατάλληλου μοντέλου πρόβλεψης.

3.2 Βασικές Έννοιες Στατιστικής

Ο πρώτος ορισμός είναι ο **πληθυσμός** και είναι το σύνολο των παρατηρήσεων του χαρακτηριστικού που ενδιαφέρει τη στατιστική έρευνα. Πρόκειται για ένα σύνολο στοιχείων που είναι τελείως καθορισμένα. Επίσης ένας πληθυσμός μπορεί να είναι πραγματικός ή θεωρητικός.

Η επόμενη και εξίσου σημαντική έννοια είναι το **"δείγμα"** και αναφέρεται σε ένα υποσύνολο του πληθυσμού. Οι περισσότερες στατιστικές έρευνες στηρίζονται σε δείγματα αφού οι ιδιότητες του πληθυσμού είναι συνήθως αδύνατον να καταγραφούν. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τη μελέτη του δείγματος θα ισχύουν με ικανοποιητική ακρίβεια για ολόκληρο το πληθυσμό μόνο αν 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 μια 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 μιας οικογένειας. Επιπλέον οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις διακριτές και τις συνεχείς.
 - Μια 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.
 - Μια 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**.

Ως μέση τιμή (E) ορίζεται το άθροισμα των τιμών δια το πλήθος των τιμών. Διακύμανση ορίζεται ο «μέσος όρος των τετραγώνων διαφορών από το μέσο όρο». Η διακύμανση (Var) 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 από αυτή είναι γνωστή ως υποδιαστολή.

$$\bar{x} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_v}{v} = \frac{\sum_{i=1}^v t_i}{v} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v t_i$$

Εξ. 3.1

$$s^2 = \frac{1}{v} \left\{ \sum_{i=1}^v t_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^v t_i \right)^2}{v} \right\}$$

Εξ.3.2

Επιπρόσθετα άλλη μια σημαντική έννοια, η οποία δείχνει το πόσο καλά συσχετίζονται δύο μεταβλητές και μπορούν να συνυπάρχουν στο ίδιο μοντέλο είναι ο **συντελεστής συσχέτισης ρ**. Έστω x, y δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές. Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο μεταβλητών x και y, οι οποίες έχουν διασπορά σ_x^2 και σ_y^2 αντίστοιχα, και συνδιασπορά $\sigma_{xy} = \text{cov}[x,y]$ καθορίζεται με το συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) ρ, ο οποίος ορίζεται ως εξής: $\rho = (\sigma_{xy}/\sigma_x)(1/\sigma_y)$. Η εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης ρ γίνεται με την αντικατάσταση στην παραπάνω εξίσωση της συνδιασποράς σ_{xy} και των διασπορών σ_x , σ_y , από όπου προκύπτει τελικά η έκφραση της εκτιμήτριας r:

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

Εξ. 3.3

Ο συντελεστής συσχέτισης ρ εκφράζει το 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.

3.3 Ανάλυση Χρονοσειρών

Με τον όρο χρονολογική σειρά ή **χρονοσειρά** ορίζουμε μια σειρά δεδομένων με κύριο χαρακτηριστικό τη διατεταγμένη χρονική διάταξη των παρατηρήσεων της σειράς (Συριόπουλος, 2010). Οι αναλύσεις χρονοσειρών βασίζονται στην υπόθεση ότι μια δεδομένη χρονοσειρά είναι το άθροισμα τριών συνιστωσών, ή χαρακτηριστικών, που συναντώνται συχνά σε τέτοια δεδομένα. Η μαθηματική αναπαράσταση της προσέγγισης της αποσύνθεσης της χρονοσειράς γράφεται ως: $Y_t = f(T_t, S_t, E_t)$, όπου Y_t είναι η (πραγματική) τιμή χρονοσειράς τη χρονική στιγμή t, T_t είναι το στοιχείο τάσης

τη χρονική στιγμή t , S_t το εποχικό στοιχείο τη χρονική στιγμή t και E_t είναι το ακανόνιστο (ή τυχαίο) στοιχείο τη χρονική στιγμή t (Whashington et al., 2020).

Όπως αναφέρθηκε στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, τα **μοντέλα ARIMA** θεωρήθηκαν τα πιο κατάλληλα για τη μοντελοποίηση της μεταβολής της κυκλοφορίας των πεζών και των οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών. Συνεπώς, αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται στην οικογένεια των μοντέλων Αυτόματου Παλινδρομικού Κινούμενου Μέσου Όρου (ARIMA) που είναι μαθηματικά μοντέλα αυτοσυσχέτισης (συσχέτιση μεταξύ τιμών), σε μια 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. Τα μοντέλα ARIMA χρησιμοποιούνται ευρέως σε σχεδόν όλους τους τομείς μεταφοράς με αξιοσημείωτη επιτυχία (Whashington et al., 2020). Ένα μοντέλο ARIMA είναι μια γενίκευση ενός μοντέλου Autoregressive Moving Average (ARMA) και γενικά συμβολίζεται ως:

$$ARIMA(p,d,q) \quad \text{Εξ. 3.4}$$

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)

Στη συνέχεια, το μοντέλο μπορεί να γραφτεί πιο επίσημα ως εξής (Wang et al., 2020):

$$\Phi_p(B)(1-B)^d y_t = \theta_q(B) \epsilon_t \quad \text{Εξ. 3.5}$$

όπου:

- $\Phi \in \mathbb{R}^p$ είναι ένας φορέας συντελεστών για τους όρους AR
- $\theta \in \mathbb{R}^q$ είναι ένας φορέας συντελεστών για τους όρους MA
- y_t είναι η μεταβλητή αποτελέσματος που μετράται στο χρόνο t
- B είναι ένας φορέας που χρησιμοποιείται ισοδύναμα για να υποδείξει τον τελεστή καθυστέρησης
- ϵ_t είναι το τυχαίο σφάλμα (white noise, residual) σχετίζεται με τη μέτρηση t με $\epsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$

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:

$$ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)m \quad \text{Εξ. 3.6}$$

όπου:

- **p** υποδηλώνει τη μη εποχιακή αυτόματη παλινδρομική σειρά

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

Το εποχικό μοντέλο ARIMA μπορεί να γενικευτεί ως:

$$\Phi_p(B^S)\Phi_p(B)(1-B)^d(1-B^S)y_t = \theta_q(B^S)\theta_q(B)\epsilon_t$$

Εξ. 3.7

όπου:

- p δηλώνει τη μη εποχιακή αυτόματη παλινδρομική σειρά
- το S είναι η περίοδος κατά την οποία εμφανίζεται η εποχιακή τάση
- το B είναι ένα διάνυσμα που χρησιμοποιείται ισοδύναμα για να δείξει τον τελεστή καθυστέρησης
- το Φ είναι ένα διάνυσμα συντελεστών για τους όρους AR
- d είναι η εποχική διαφοροποίηση
- y_t είναι η μεταβλητή αποτελέσματος που μετράται στο χρόνο t

Οι χρονοσειρές εμφανίζουν κάποια κοινά βασικά χαρακτηριστικά: την 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)

3.3.1 Εποχική αποσύνθεση και στασιμότητα

Ως πρώτο βήμα για την ταυτοποίηση του μοντέλου και την **ερμηνεία** των δεδομένων **χρονοσειρών**, απαιτείται η αποσύνθεση των χρονοσειρών της παρατηρούμενης μεταβλητής για τον προσδιορισμό των θεμελιωδών (και μη παρατηρούμενων) τμημάτων της: τάση (trend), εποχικότητα (seasonality) και τυχαιότητα (random). 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 (multiplicative) ή πρόσθετα (additive) (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Η αποσύνθεση μπορεί να γραφτεί ως:

$$y_t = T_t + S_t + R_t \quad \text{Εξ. 3.8}$$

όπου:

- y_t είναι η (πραγματική) τιμή χρονοσειράς τη χρονική στιγμή t
- T_t είναι το στοιχείο τάσης τη χρονική στιγμή t
- S_t είναι το εποχικό στοιχείο τη χρονική στιγμή t
- R_t είναι ένα τυχαίο στοιχείο τη χρονική στιγμή t

Είναι επίσης σημαντικό οι χρησιμοποιούμενες χρονοσειρές να είναι **στάσιμες**, καθώς είναι πιο εύκολο να προβλεφθεί τότε ο μέσος όρος και η διακύμανση είναι σταθερές 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. Η μέθοδος αυτή αφαιρεί τις αλλαγές στο επίπεδο μιας χρονοσειράς, εξαλείφοντας την τάση και την εποχικότητα και συνεπώς σταθεροποιώντας το μέσο όρο των χρονοσειρών. Για να ελεγχτεί μια χρονοσειρά για στασιμότητα θα χρησιμοποιηθεί ο έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (Dickey & Fuller, 1979). Η δοκιμή Augmented Dickey-Fuller (ADF) ελέγχει εάν το $\varphi = 0$ σε μοντέλα της μορφής:

$$\Delta y_t = a + \beta t + \varphi y_{t-1} + \delta_1 \Delta y_{t-1} + \delta_2 \Delta y_{t-2} + \dots \varepsilon_t$$

Εξ. 3.9

Όπου:

- y_t είναι τα παρατηρούμενα δεδομένα χρονοσειρών
- a είναι μια σταθερά
- β είναι ο συντελεστής της χρονικής τάσης
- ε_t είναι μηδενικός όρος σφάλματος.

Χρησιμοποιώντας τη δοκιμή ADF, στη περίπτωση που $\varphi < 0$, οι χρονοσειρές είναι στάσιμες.

3.3.2 Συναρτήσεις Αυτοσυσχέτισης και Μερικής Αυτοσυσχέτισης

Για να προσδιοριστεί ένα αρχικό μοντέλο ARIMA, θα χρησιμοποιηθούν οι γραφικές παραστάσεις των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης [Autocorrelation (**ACF**)] και μερικής αυτοσυσχέτισης [Partial Autocorrelation (**PACF**)]. Η συσχέτιση μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y μπορεί να οριστεί ως (Dettling, 2018):

$$\text{Corr}(X, Y) = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}}$$

Εξ. 3.10

Όπου:

- $\text{Corr}(X, Y)$ είναι η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών
- $\text{Cov}(X, Y)$ είναι η συνδιακύμανση των δύο μεταβλητών
- $\text{Var}(X), \text{Var}(Y)$ είναι οι μεμονωμένες διακυμάνσεις τους.

Για στάσιμες χρονοσειρές, η αυτοσυσχέτιση, δηλαδή η συσχέτιση μιας συγκεκριμένης μεταβλητής με την προηγούμενη από αυτή, μπορεί να οριστεί ως συνάρτηση της χρονικής υστέρησης lag k (Dettling, 2018):

$$\rho(k) = \text{Corr}(X_{t+k}, X_t)$$

Εξ. 3.11

Όπου:

- X_t είναι η μέτρηση στο χρόνο t και X_{t+k} είναι η μέτρηση στη lag k .

Μπορεί να γίνει κατανοητό ότι η συνάρτηση ACF ορίζει τη συσχέτιση μιας παρατήρησης X_{t+k} με προηγούμενες μετρήσεις X_t της ίδιας μεταβλητής. Ομοίως, η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης τη χρονική υστέρηση lag k μπορεί να οριστεί ως:

$$\pi(k) = \text{Corr}(X_{t+k}, X_t | X_{t+1} = x_{t+1}, \dots, X_{t+k-1} = x_{t+k-1})$$

Εξ. 3.12

που υποδηλώνει τη σχέση μεταξύ X_{t+k} και X_t , δεδομένου ότι η γραμμική εξάρτηση μεταξύ X_{t+1} και X_{t+k-1} έχει αφαιρεθεί.

Φτιάχνοντας τα διαγράμματα τόσο της αυτοσυσχέτισης ACF όσο και της μερικής αυτοσυσχέτισης PACF είναι ευκολότερο να εντοπιστεί η συσχέτιση μεταξύ πιο πρόσφατων παρατηρήσεων της μεταβλητής και ταυτόχρονα η ύπαρξη είτε πραγματικών καθυστερημένων αυτοσυσχετίσεων είτε αυτοσυσχετίσεων που προκαλούνται από άλλες μετρήσεις.

Συμπερασματικά, ο υπολογισμός των **συντελεστών αυτοσυσχέτισης**, για διάφορες χρονικές υστερήσεις (lags) μιας χρονοσειράς, βοηθά στη αποτίμηση μιας χρονοσειράς ως προς την τυχαιότητα και την στασιμότητα. Τυχαία χρονοσειρά θεωρείται η χρονοσειρά στην οποία κάθε παρατήρηση είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε άλλη παρατήρηση. Σε μία τυχαία χρονοσειρά το 95% των συντελεστών αυτοσυσχέτισης βρίσκονται στο διάστημα που ορίζεται από τις τιμές $\pm 1.96/\sqrt{n}$ όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων. Εάν οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης βρίσκονται εκτός των παραπάνω ορίων τότε υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στις παρατηρήσεις και άρα η χρονοσειρά δεν είναι τυχαία. Όσον αφορά τη στασιμότητα, για μία μη στάσιμη χρονοσειρά, οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι διάφοροι του μηδενός για αρκετές επαναλήψεις από τις πρώτες χρονικές υστερήσεις και αργά, προσεγγίζουν το μηδέν.

3.3.3 Αναγνώριση Μοντέλου

Για να οριστούν οι παράμετροι \mathbf{p} , \mathbf{d} , \mathbf{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 διαγνωστικό εργαλείο για τη δοκιμή της καταλληλότητας του μοντέλου. Η δοκιμή Ljung-Box ορίζεται ως:

H_0 : Το μοντέλο δεν είναι κατάλληλο

H_1 : Το μοντέλο είναι κατάλληλο

Δεδομένου του στατιστικού ελέγχου:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{n-k}$$

Εξ. 3.13

Όπου:

- n είναι το μήκος των χρονοσειρών
- r_k είναι η εκτιμώμενη αυτοσυσχέτιση των χρονικών σειρών στη χρονική υστέρηση k (lag k)
- m είναι ο αριθμός των καθυστερήσεων που δοκιμάζονται.

Το τεστ απορρίπτει την μηδενική υπόθεση εάν:

$$Q > \chi_{1-\alpha, h}^2$$

Εξ. 3.14

Όπου:

- $\chi^2_{1-\alpha, h}$ είναι η τιμή του πίνακα κατανομής χ^2 με h βαθμούς ελευθερίας και επίπεδο σημασίας α . Οι βαθμοί ελευθεριών πρέπει να είναι ίσοι με $m - p - q$, όπου m είναι ο αριθμός των υπολειπόμενων αυτοσυσχέτισης που πρέπει να ελεγχθούν και p, q είναι οι παράμετροι ARIMA

3.3.4 Αξιολόγηση Προβλέψεων

Μετά την ανάπτυξη των μοντέλων ARIMA στα δείγματα ελέγχου και επικύρωσης που έχουν οριστεί, οι **προβλέψεις** θα αξιολογηθούν χρησιμοποιώντας δημοφιλείς **μετρήσεις αξιολόγησης** πρόβλεψης όπως:

- Mean Error (ME), το οποίο δίνει τη μέση τιμή του σφάλματος πρόβλεψης

$$ME = \frac{1}{N} \sum e_t \quad \text{Εξ. 3.15}$$

- Mean Absolute Error (MAE), που δίνει τη μέση τιμή του απόλυτου σφάλματος πρόβλεψης

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |e_t| \quad \text{Εξ. 3.16}$$

- Mean Percentage Error (MPE), που δίνει τη μέση τιμή του σφάλματος πρόβλεψης σε ποσοστό

$$MPE = \frac{1}{N} \sum \frac{e_t}{\text{observed}_t} \cdot 100 \quad \text{Εξ. 3.17}$$

- Mean Absolute Percentage Error (MAPE), που απεικονίζει το μέσο σφάλμα σε ποσοστιαίους όρους

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|e_t|}{\text{observed}_t} \quad \text{Εξ. 3.18}$$

- Root Mean Squared Error (RMSE), που είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum e_t^2} \quad \text{Εξ. 3.19}$$

Όπου N είναι ο αριθμός των προβλεπόμενων σημείων και e_t είναι το σφάλμα.

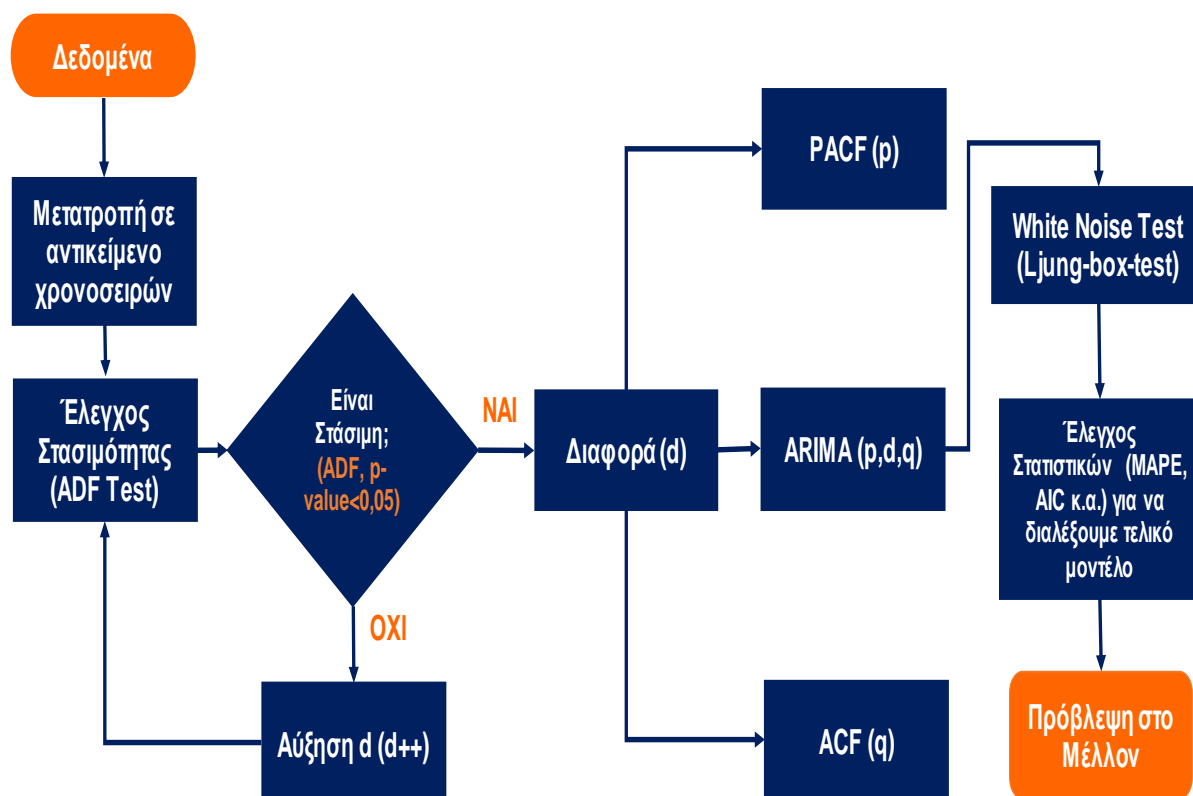
Τέλος, θα ελεγχθεί η στατιστική σημαντικότητα των μη εποχικών και εποχικών στοιχείων των μοντέλων ARIMA.

Ο δείκτης AIC, δείχνει την εκτίμηση του σφάλματος και αποτελεί έναν ακόμη έλεγχο που πρέπει να πραγματοποιηθεί. Το σφάλμα πρόβλεψης στο δείγμα είναι το αναμενόμενο σφάλμα στην πρόβλεψη της απόκρισης από το δείγμα σε ένα εκπαιδευμένο δείγμα (train sample). Επίσης, το AIC βασίζεται στη θεωρία της πληροφορίας. Όταν ένα στατιστικό μοντέλο χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της διαδικασίας που δημιούργησε τα δεδομένα, η αναπαράσταση σχεδόν ποτέ δεν θα είναι ακριβής και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χαθούν ορισμένες πληροφορίες χρησιμοποιώντας το μοντέλο που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία. Όταν ο ρόλος του AIC είναι να εκτιμά τη σχετική ποσότητα πληροφοριών που χάθηκαν κατά τον σχηματισμό του μοντέλου πρόβλεψης. Επομένως, για να είναι αποδεκτό το μοντέλο πρέπει η αριθμητική τιμή του AIC να είναι μικρή γιατί συνεπάγεται στο ότι ο αριθμός

των πληροφοριών που χάθηκαν είναι μικρός, το οποίο κιάλας είναι και ο επιθυμητός στόχος.

3.4 Διάγραμμα Ροής Ανάπτυξης Μοντέλου ARIMA

Ακολουθως παρουσιάζονται σε **διάγραμμα ροής** οι απαραίτητοι υπολογισμοί και έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν για την ανάλυση της χρονοσειράς και τελικώς την ανάπτυξη και επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου ARIMA.



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα ροής ανάπτυξης μοντέλου ARIMA

4. Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων

4.1 Εισαγωγή

Με την ολοκλήρωση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας που αποσκοπούσε στην απόκτηση βασικών γνώσεων πάνω στο θέμα της βιώσιμης αστικής κινητικότητας και τον προσδιορισμό των κατάλληλων μεθόδων στατιστικής ανάλυσης, ο επόμενος στόχος είναι η **συλλογή και η επεξεργασία** των απαραίτητων **στοιχείων** για την εκπλήρωση των στόχων της Διπλωματικής. Αυτό το βήμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς θα γίνει λεπτομερής ανάλυση της διαδικασίας έτσι ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα της αξιοπιστίας και της ποιότητας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Ειδικότερα, το παρόν κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο ενότητες. Η πρώτη ενότητα, αναφέρεται στην **διαδικασία συλλογής** των στοιχείων που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής. Η δεύτερη ενότητα επικεντρώνεται στην **περιγραφική στατιστική ανάλυση** των εν λόγω στοιχείων και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά διαγράμματα και πίνακες, που απεικονίζουν τις χρονοσειρές των συλλεγόμενων κυκλοφοριακών δεδομένων, με την βοήθεια του προγράμματος λογιστικών φύλλων Microsoft Excel. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα που προκύπτουν από την περιγραφική ανάλυση. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η διαδικασία που θα αναλυθεί παρακάτω είναι ουσιαστική για την επίτευξη των στόχων της Διπλωματικής Εργασίας.

4.2 Συλλογή Κυκλοφοριακών Δεδομένων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιούνται δεδομένα για την σύνθεση της κυκλοφορίας στο κέντρο της Αθήνας αλλά και δεδομένα σχετικά με την μεταβολή της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας την περίοδο της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου στην Αθήνα (15/6/2020-30/10/2020).

4.2.1 Στοιχεία εφαρμογής από τις Ομάδες Μετρήσεων και Ερευνών του Ε.Μ.Π.

Η **συλλογή δεδομένων** κατανομής 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).

Για την αξιολόγηση των κυκλοφοριακών φόρτων και της σύνθεσης της κυκλοφορίας, **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
- Μοτοσυκλέτες

- Φορτηγά
- Λεωφορεία
- Ποδήλατα
- Πατίνια

Συγκεκριμένα, εξετάζεται ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος των πεζών και η σύνθεση της κυκλοφορίας στα εν λόγω μέσα μεταφοράς σε επιλεγμένα σημεία σε κεντρικούς οδικούς άξονες της Αθήνας, στην εγγύς περιοχή επιρροής των κυκλοφοριακών επεμβάσεων 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)
- Αθηνάς (Αγίας Ειρήνης- Βορέου)
- Ερμού (Πλατεία Αβυσσηνίας- Νορμανού)
- Μητροπόλεως (μπροστά από την Μητρόπολη)
- Ευριπίδου (κατάντη Αθηνάς) και
- Σοφοκλέους (ανάντη Αθηνάς)

Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε **ομαδοποίηση των οδικών αξόνων** για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη σύνθεση της κυκλοφορίας και τελικώς της αξιολόγησης της δεύτερης περιόδου δοκιμαστικής λειτουργίας συγκριτικά με την πρώτη περίοδο. 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 3 λωρίδων κυκλοφορίας (9 μέτρα επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου) σε όλο το μήκος της οδού. Στη δεύτερη περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας (από 03/08/2020) αποδόθηκε στην μηχανοκίνητη κυκλοφορία μία επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας και επομένως η οδός λειτούργησε με 4 λωρίδες κυκλοφορίας.

Πιο συγκεκριμένα οι οδικοί άξονες ομαδοποιήθηκαν όπως φαίνεται ακολούθως:

- Πανεπιστημίου
- Κεντρικοί οδικοί άξονες (περιλαμβάνει τις οδούς Σταδίου, Σόλωνος, Ερμού, Αθηνάς, Ευρυπίδου, Σοφοκλέους, Μητροπόλεως και Ακαδημίας)
- 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)

4.2.2 Στοιχεία κυκλοφορίας από την Apple

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματική Εργασία, χρησιμοποιήθηκαν επίσης, κυκλοφοριακά στοιχεία που συλλέχθηκαν από την διαδικτυακή εφαρμογή της Apple. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δεδομένα για την καθημερινή μεταβολή της κυκλοφορίας

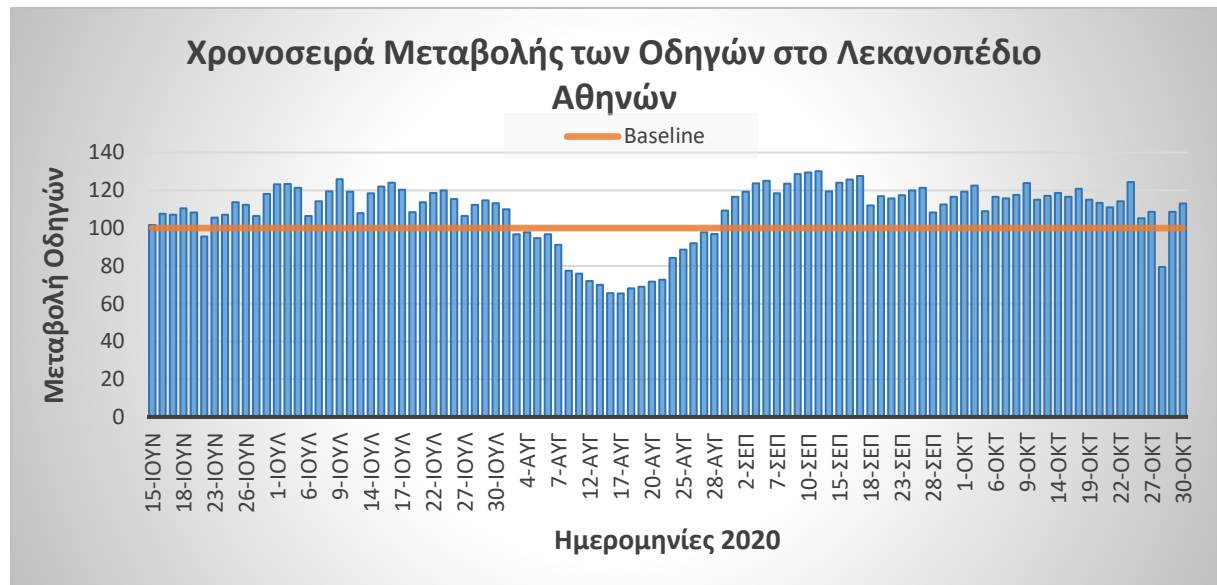
των οδηγών και των πεζών την αντίστοιχη περίοδο για την οποία μετρήθηκαν οι διελεύσεις ανά μέσο μεταφορά στο κέντρο της Αθήνας δηλαδή, από τις 15 Ιουνίου 2020 έως και τις 30 Οκτωβρίου του 2020. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν διαθέσιμα ανά ημέρα ωστόσο, στην παρούσα Διπλωματική εργασία δεν λαμβάνονται υπόψη τα Σαββατοκύριακα. Σαν ημέρα ορίζεται από τα μεσάνυχτα έως τα επόμενα μεσάνυχτα, ώρα Ειρηνικού. Στην κατηγορία των οδηγών συμπεριλαμβάνονται όλοι οι οδηγοί οχημάτων χωρίς κάποια συγκεκριμένη διακριτοποίηση. Αξίζει να σημειωθεί πως σαν σημείο αναφοράς έχει θεωρηθεί η εβδομάδα (8/6/2020-12/6/2020) ακριβώς πριν την άρση περιορισμών κυκλοφορίας με την χαρακτηριστική τιμή 100 ώστε να γίνουν αντιληπτές οι μεταβολές της κυκλοφορίας των πεζών και των οδηγών.

4.3 Επεξεργασία Στοιχείων

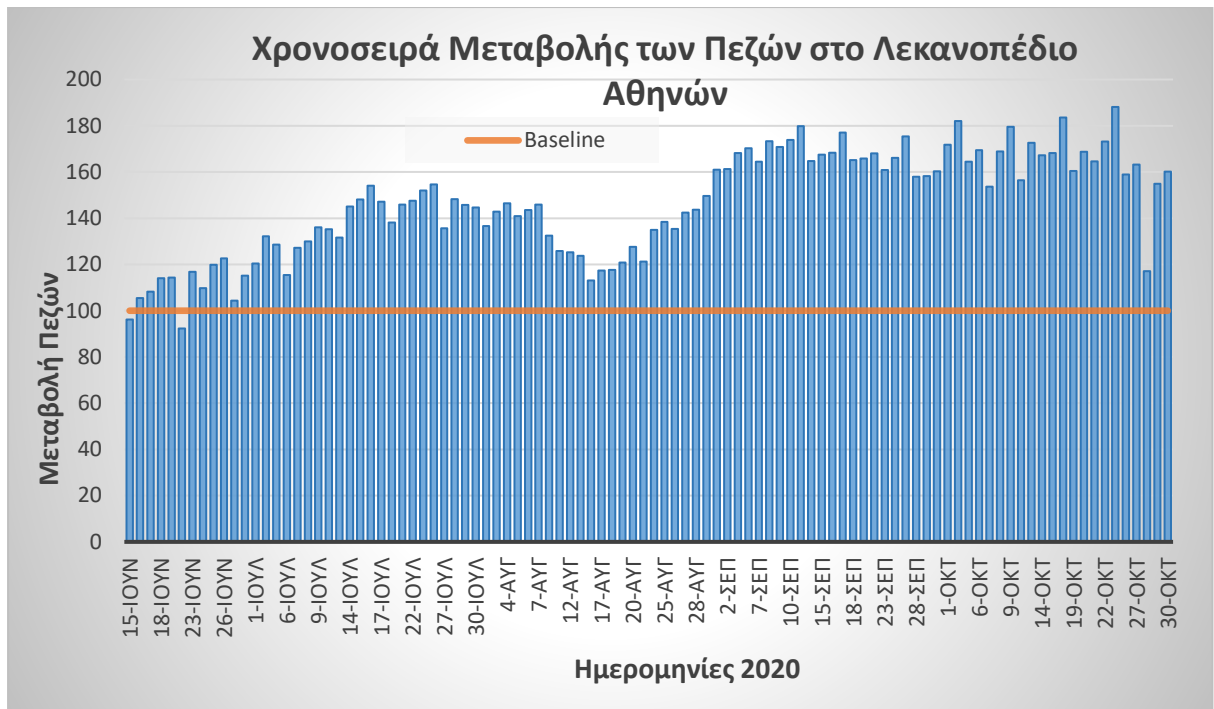
Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμένα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν στη φάση της **προκαταρκτικής ανάλυσης** με σκοπό τη καλύτερη κατανόηση των δεδομένων. Δημιουργήθηκαν εμποπτικά περί τα 150 διαγράμματα στο πρόγραμμα Microsoft Excel. Στην συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικώς τα σημαντικότερα διαγράμματα από τα οποία μπορούν να εξαχθούν κάποια άμεσα συμπεράσματα.

4.3.1 Μεταβολή Κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο

Παρακάτω παρουσιάζονται **διαγράμματα** σχετικά με τις χρονοσειρές μεταβολής της **κυκλοφορίας** των οδηγών και των πεζών στο Λεκανοπέδιο από 15 Ιουνίου έως 30 Οκτωβρίου 2020. Ως περίοδος αναφοράς (baseline) έχει οριστεί η περίοδος πριν την άρση περιορισμών κυκλοφορίας (8/6/2020-12/6/2020).



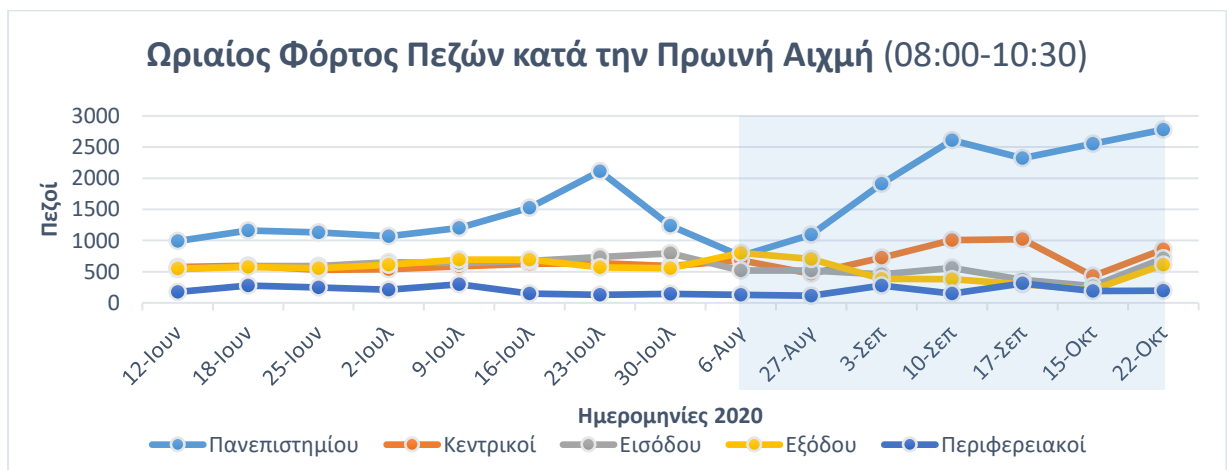
Διάγραμμα 4. 1: Χρονοσειρά μεταβολής της κυκλοφορίας των οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών από 15/6/2020 έως 30/10/2020



Διάγραμμα 4. 2: Χρονοσειρά μεταβολής της κυκλοφορίας των πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών από 15/6/2020 έως 30/10/2020

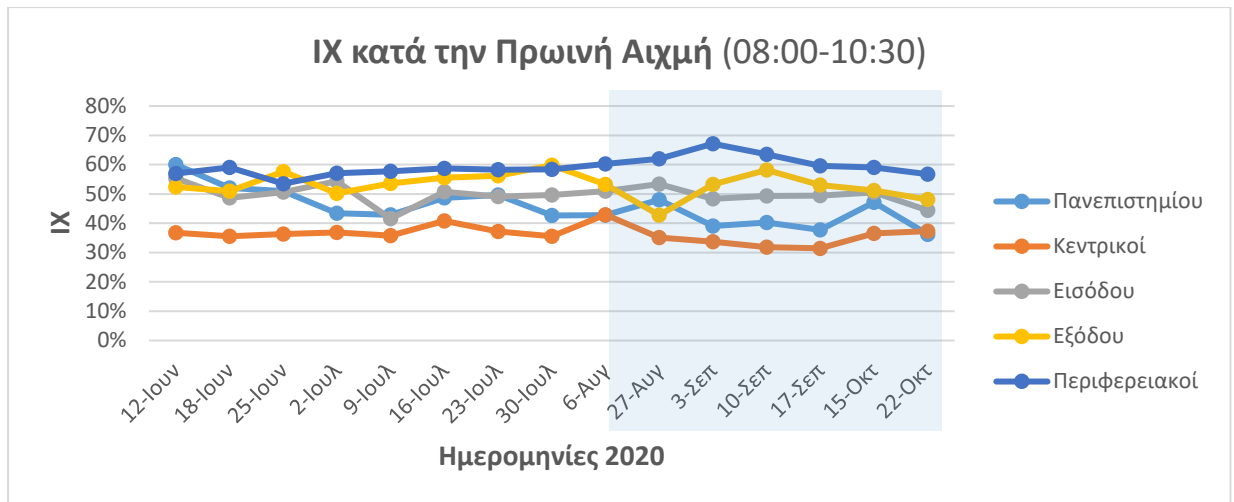
4.3.2 Σύνθεση Κυκλοφορίας στο Κέντρο της Αθήνας

Παρακάτω παρουσιάζονται **διαγράμματα** σχετικά με τις χρονοσειρές των διελεύσεων πεζών και της **σύνθεσης της κυκλοφορίας** σε ΙΧ, ταξί και μοτοσυκλέτες στο κέντρο της Αθήνας κατά την πρωινή αιχμή, ενώ παράλληλα σημειώνεται με γαλάζιο πλαίσιο η χρονική περίοδος κατά την οποία πραγματοποιήθηκε διαπλάτυνση της διατομής της Πανεπιστημίου από 3 κυκλοφοριακές λωρίδες σε 4 λωρίδες κυκλοφορίας (ημερομηνία εφαρμογής διαπλάτυνσης διατομής οδού: 3/8/2020). Δεδομένου ότι οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε Πέμπτη η δεύτερη φάση του Μεγάλου Περιπάτου (4 λωρίδες στην Πανεπιστημίου) ορίζεται από τις 6/8/2020 στα ακόλουθα διαγράμματα.

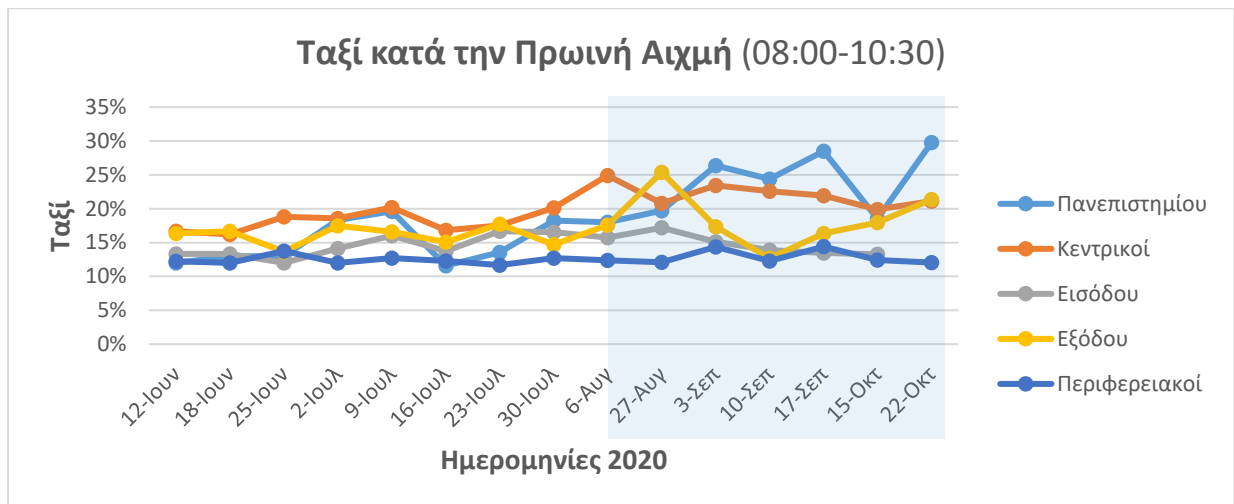


Διάγραμμα 4. 3: Πεζοί κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κεντρικούς, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.

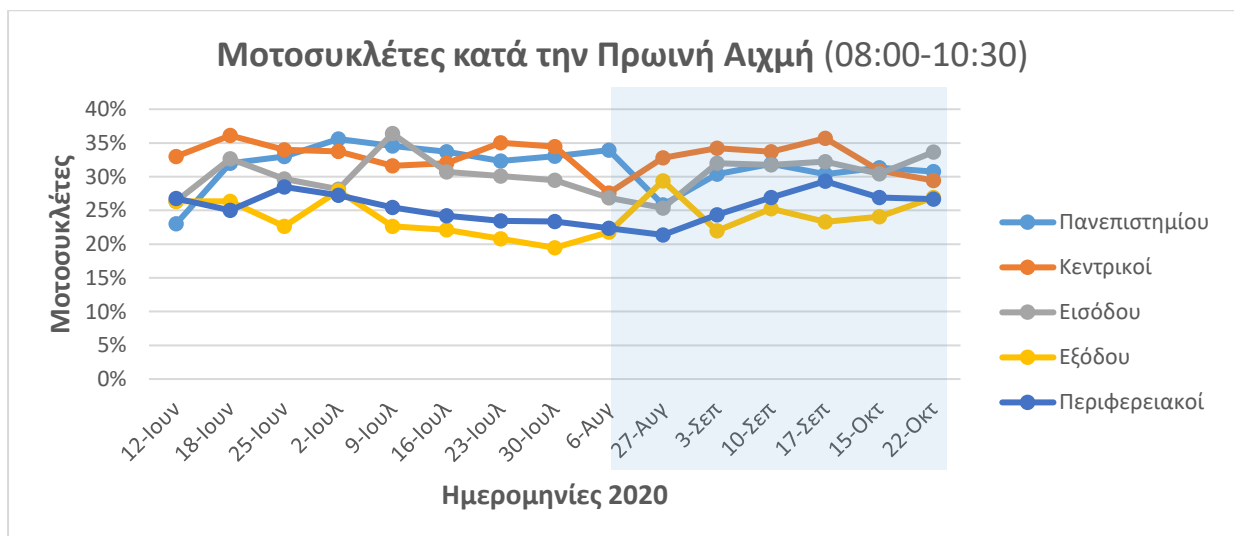
4. Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων



Διάγραμμα 4. 4: ΙΧ κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κέντρικους, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.

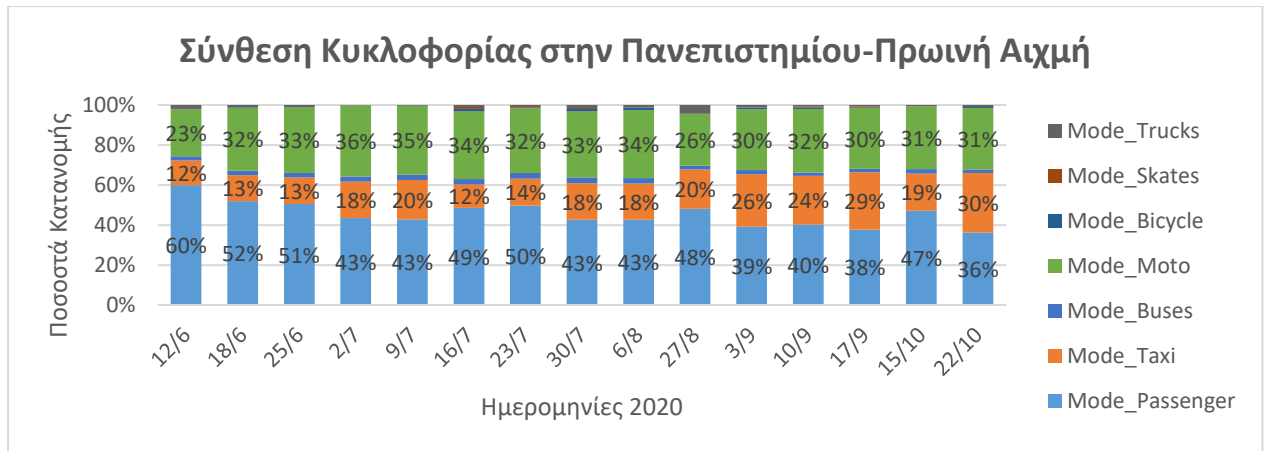


Διάγραμμα 4. 5: Ταξί κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κέντρικους, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.

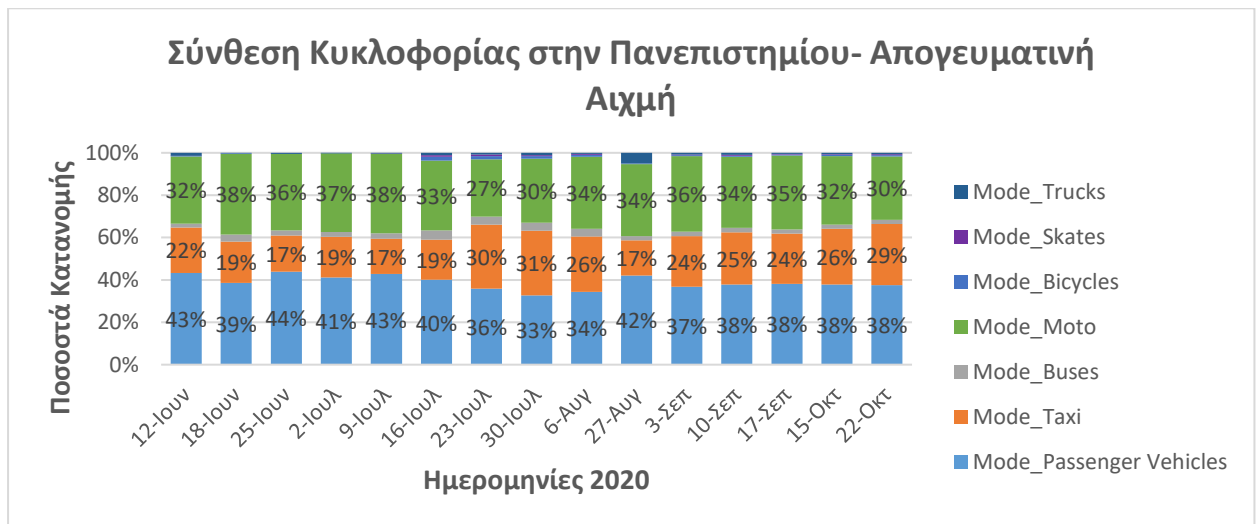


Διάγραμμα 4. 6: Μοτοσυκλέτες κατά την Πρωινή Αιχμή στην Πανεπιστημίου και στους οδικούς άξονες Κέντρικους, Εισόδου, Εξόδου και Περιφερειακούς.

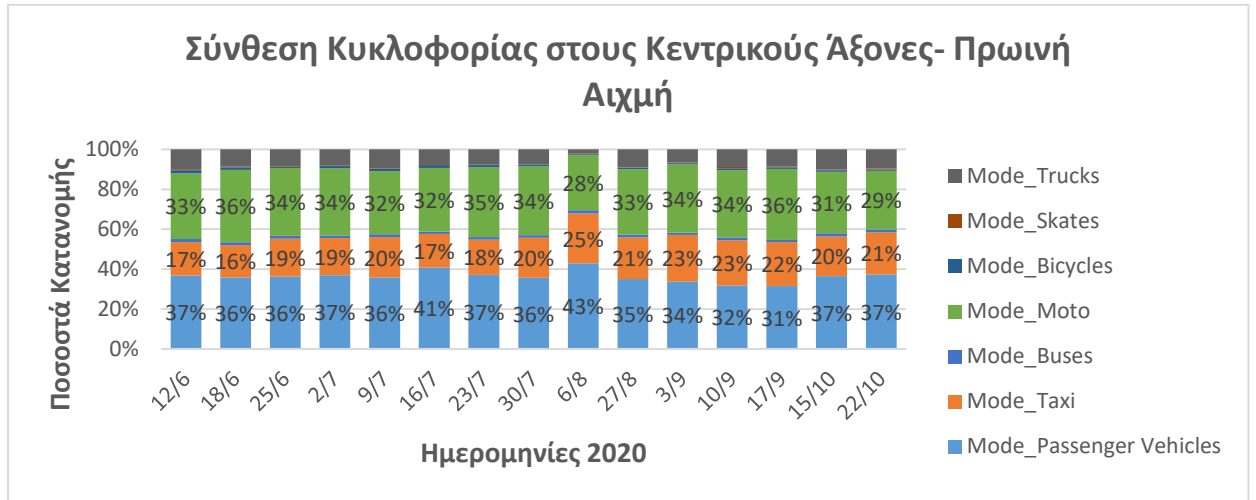
Ειδικότερα, παρακάτω παρουσιάζονται **διαγράμματα** σχετικά με τις χρονοσειρές της **σύνθεσης της κυκλοφορίας** στο κέντρο της Αθήνας σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, μοτοσυκλέτες, φορτηγά, λεωφορεία, ποδήλατα και πατίνια και στις δύο αιχμές (πρωινή και απογευματινή).



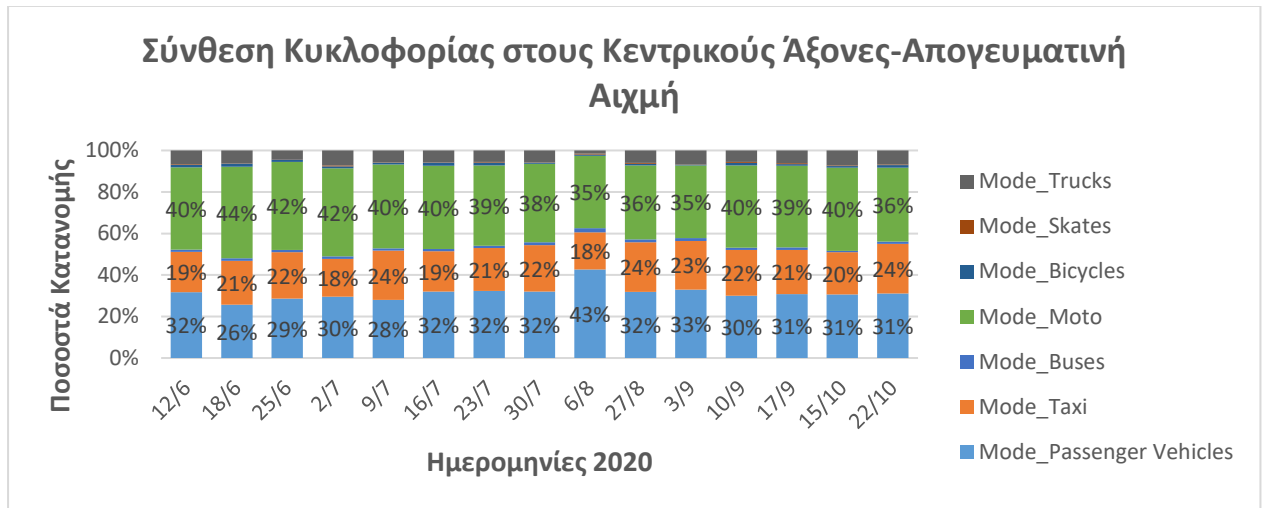
Διάγραμμα 4. 7: Σύνθεση Κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου στην Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



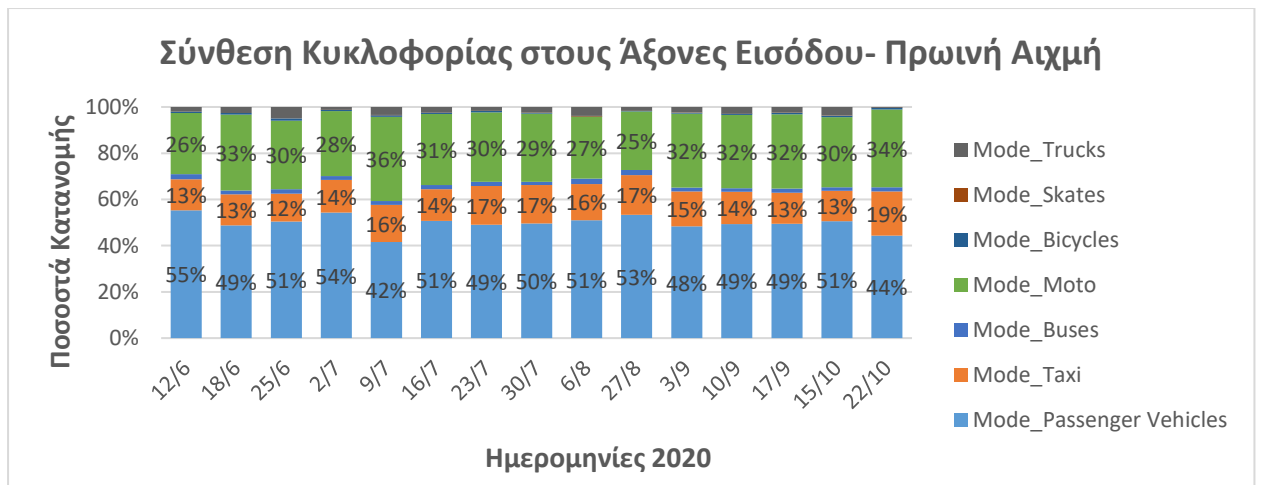
Διάγραμμα 4. 8: Σύνθεση Κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου στην Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



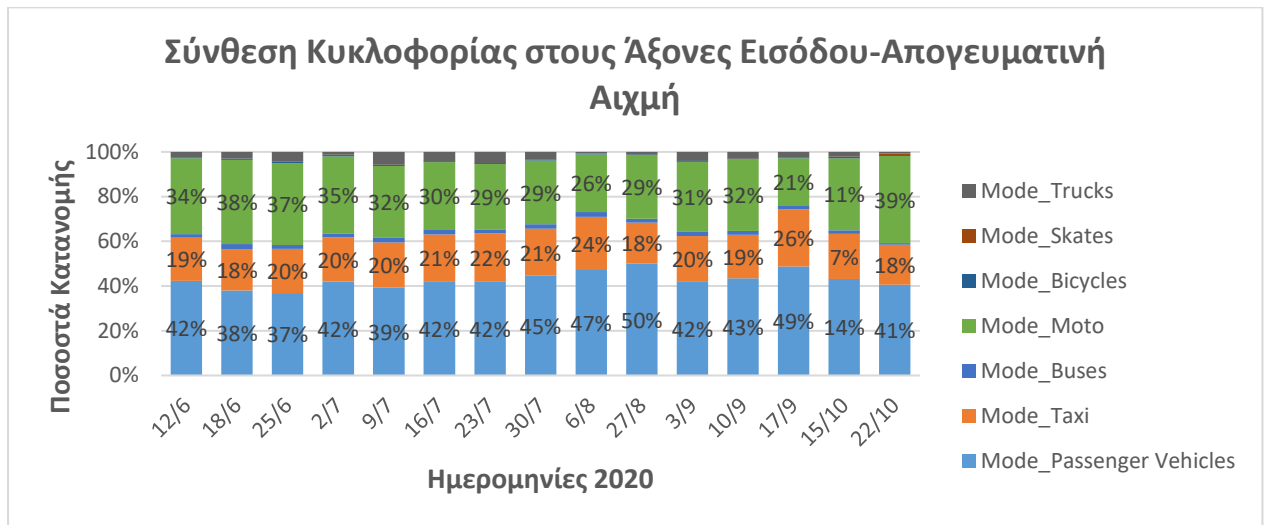
Διάγραμμα 4. 9: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



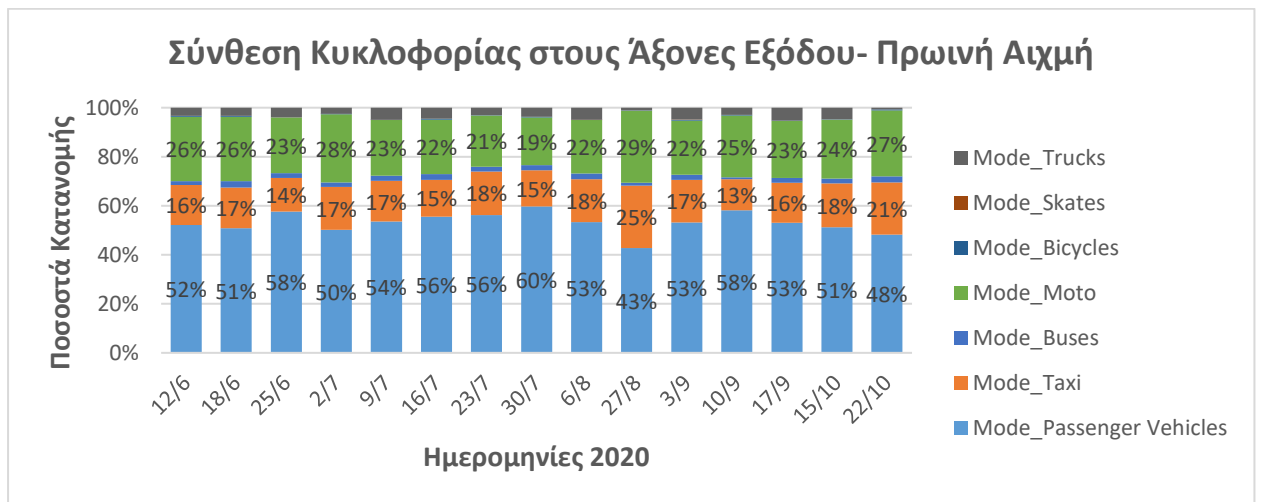
Διάγραμμα 4. 10: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Κεντρικούς Οδικούς Άξονες την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



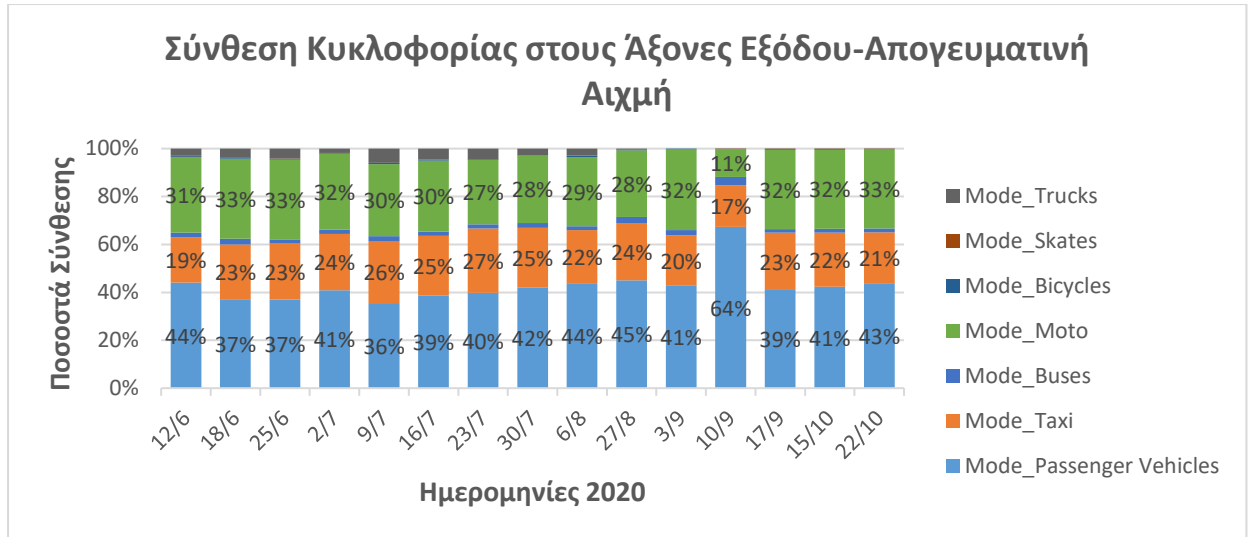
Διάγραμμα 4. 11: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εισόδου την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



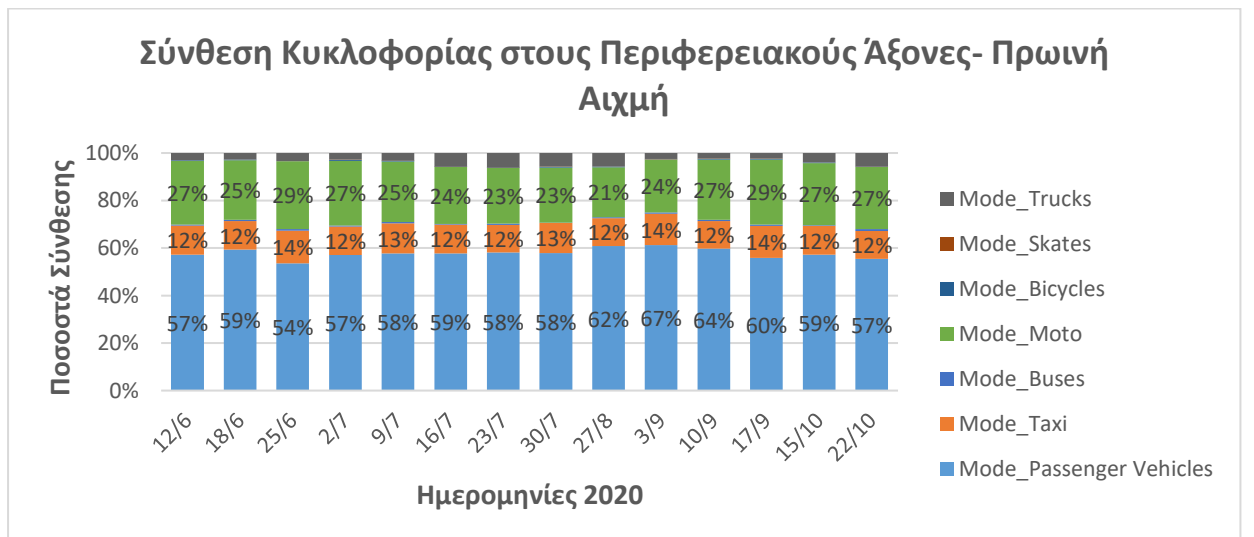
Διάγραμμα 4. 12: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εισόδου την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



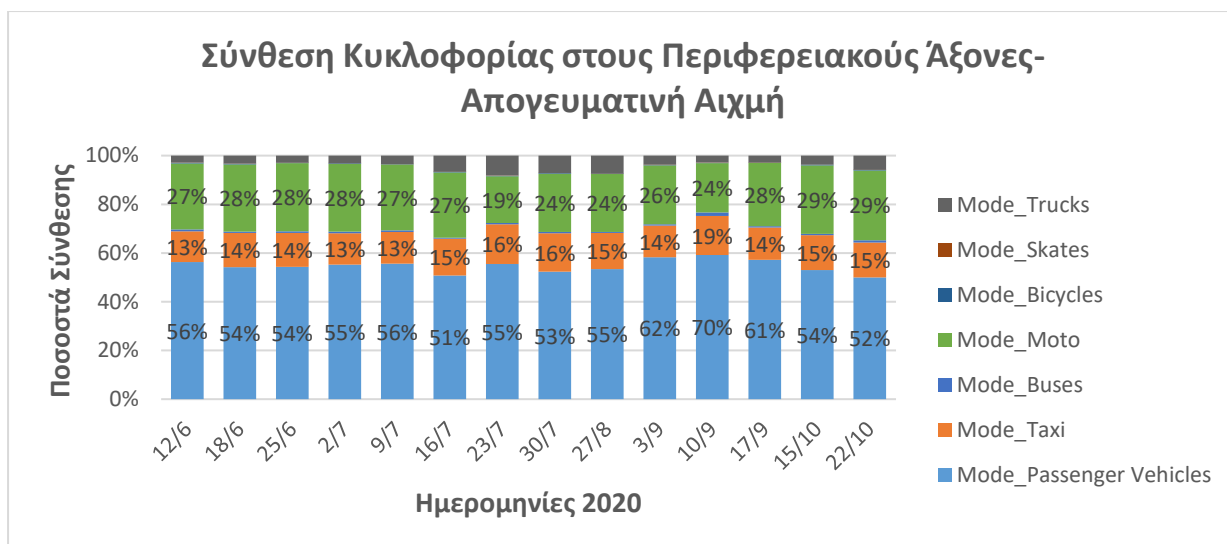
Διάγραμμα 4. 13: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εξόδου την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



Διάγραμμα 4. 14: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Οδικούς Άξονες Εξόδου την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



Διάγραμμα 4. 15: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες την Πρωινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)



Διάγραμμα 4. 16: Σύνθεση Κυκλοφορίας στους Περιφερειακούς Οδικούς Άξονες την Απογευματινή Αιχμή (12/6/2020-22/10/2020)

Για την καλύτερη εποπτεία και σύγκριση της χρήσης ΙΧ, ταξί, μοτοσυκλετών και του ωριαίου φόρτου πεζών στους οδικούς άξονες υπό μελέτη στο κέντρο της Αθήνας δημιουργήθηκε ένας **συγκεντρωτικός πίνακας** όπως φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 4.1: Συγκριτικός Πίνακας κατά την Πρωινή Αιχμή (8:00-10:30) για την κυκλοφορία με την ύπαρξη τριών και τεσσάρων κυκλοφοριακών λωρίδων στην Πανεπιστημίου

Οδικοί Άξονες	Πρωινή Αιχμή								
	3 Λωρίδες Κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου			4 Λωρίδες Κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου			Διαφορά %		
	15/6-30/7			6/8-22/10					
ΙΧ									
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
Πανεπιστημίου	43%	60%	49%	36%	48%	42%	-7,00%	-12,00%	-6,88%
Κεντρικούς	36%	41%	37%	31%	43%	36%	-5,00%	2,00%	-1,00%
Εισόδου	42%	55%	50%	44%	53%	49%	2,00%	-2,00%	-1,00%
Εξόδου	50%	60%	55%	43%	58%	51%	-7,00%	-2,00%	-4,00%
Περιφερειακούς	54%	59%	58%	57%	67%	62%	3,00%	8,00%	4,00%
TAXI									
Πανεπιστημίου	12%	20%	15%	18%	30%	24%	6,00%	10,00%	9,00%
Κεντρικούς	16%	20%	18%	20%	25%	22%	4,00%	5,00%	4,00%
Εισόδου	12%	17%	15%	13%	19%	15%	1,00%	2,00%	0,00%
Εξόδου	14%	18%	16%	13%	25%	18%	-1,00%	7,00%	2,00%
Περιφερειακούς	12%	14%	13%	12%	14%	13%	0,00%	0,00%	0,00%
ΜΟΤΟ									
Πανεπιστημίου	23%	36%	32%	26%	34%	31%	3,00%	-2,00%	-1,00%
Κεντρικούς	32%	36%	34%	28%	36%	32%	-4,00%	0,00%	-2,00%
Εισόδου	26%	36%	30%	25%	34%	30%	-1,00%	-2,00%	0,00%
Εξόδου	19%	28%	24%	22%	29%	25%	3,00%	1,00%	1,00%
Περιφερειακούς	23%	29%	25%	21%	29%	26%	-2,00%	0,00%	1,00%
ΠΕΖΟΙ									
Πανεπιστημίου	992	2112	1304	752	2780	2003	-24,19%	31,63%	53,60%
Κεντρικούς	528	638	585	430	1021	741	-18,56%	60,03%	26,67%
Εισόδου	540	795	652	269	713	486	-50,19%	-10,31%	-25,46%
Εξόδου	551	693	601	212	801	485	-61,52%	15,58%	-19,30%
Περιφερειακούς	131	299	204	115	311	194	-12,21%	4,01%	-4,90%

4.4 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Εξετάζοντας τα ανωτέρω διαγράμματα, προκύπτουν οι εξής **παρατηρήσεις** και **συμπεράσματα**:

4.4.1 Κυκλοφορία στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας

- Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.1, η **κυκλοφορία των οδηγών στο Λεκανοπέδιο** Αθηνών βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο συγκριτικά με την εβδομάδα πριν την άρση περιορισμών κυκλοφορίας, με εξαίρεση τον μήνα Αύγουστο λόγω καλοκαιρινών διακοπών που εμφανίζεται να είναι μειωμένη αισθητά. Αυτή η μείωση κορυφώνεται περί τον Δεκαπενταύγουστο, όπου και μετά από εκεί ξεκινάει η πιο έντονη κυκλοφορία οδηγών. Από αρχές Σεπτεμβρίου και έπειτα φαίνεται περίπου μία σταθερή χρήση των οχημάτων που είναι πιο έντονη σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Τέλος, από τον μήνα Ιούνιο και μετά παρατηρήθηκε αύξηση της κυκλοφορίας οχημάτων, γεγονός που μπορεί να οφείλεται και στην αποφυγή της χρήσης ΜΜΜ λόγω κορωνοϊού.
- Όσον αφορά στην **κυκλοφορία πεζών στο Λεκανοπέδιο** σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.2, οι πεζοί έχουν μία ανοδική τάση μέχρι και τέλη Ιουλίου, όπου και εκεί ξεκινάει η αναμενόμενη μείωση της κυκλοφορίας τους λόγω παραθερισμού. Στις αρχές Σεπτεμβρίου έχουμε πλέον σταθεροποίηση στον αριθμό των πεζών που είναι λίγο μεγαλύτερος από τις αρχές του Ιουνίου. Αναπόφευκτη είναι αυτή η παρατήρηση, καθώς τον Σεπτεμβριο έχουν τελειώσει οι καλοκαιρινές διακοπές και οι εργαζόμενοι (στο σύνολο τους) οδεύουν προς τις εργασίες τους και τα παιδιά στα σχολεία και στις δραστηριότητές τους.

4.4.2 Σύνθεση Κυκλοφορίας στο κέντρο της Αθήνας

Από τα Διαγράμματα 4.7- 4.16 προκύπτουν τα εξής:

- Συγκρίνοντας την **κατανομή της κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου** κατά την πρωινή και απογευματινή αιχμή είναι εμφανής η μείωση του ποσοστού χρήσης των ΙΧ στην απογευματινή αιχμή ενώ αντίθετα παρατηρείται αύξηση των ταξί. Φαίνεται δηλαδή η μετακίνηση του ποσοστού χρήσης των ΙΧ στα ταξί όσο περνάει η ημέρα και καταλήγει στο απόγευμα.
- Στους **κεντρικούς άξονες** εντοπίζεται μεγαλύτερη χρήση ΙΧ κατά την πρωινή αιχμή σε σχέση με την απογευματινή. Οι μοτοσυκλέτες όμως παρουσιάζουν αύξηση το απόγευμα σε σχέση με το πρωί. Η κατανομή στα ταξί και κατά τις δύο αιχμές είναι περίπου ίδια.
- Αισθητή κι αυξανόμενη χρήση των ΙΧ παρατηρείται κατά την πρωινή αιχμή στους οδικούς άξονες εισόδου, ενώ οι μοτοσυκλέτες εμφανίζουν σχετικώς ίδια χρήση. Ακόμα, εντοπίζεται μεγαλύτερη προτίμηση στα ταξί την απογευματινή αιχμή.
- Οι διαφορές στους άξονες εξόδου το πρωί και το απόγευμα είναι μεγάλες με την προτίμηση των οδηγών ΙΧ την πρωινή αιχμή. Από την άλλη, προτιμούν περισσότερο τις μοτοσυκλέτες το απόγευμα καθώς και τα ταξί.

- Στους **περιφερειακούς οδικούς άξονες** διακρίνεται η ίδια συμπεριφορά των οδηγών τόσο κατά την πρωινή όσο και κατά την απογευματινή αιχμή. Δεν παρατηρείται κάποια σημαντική διαφοροποίηση στην προτίμηση των οδηγών και άρα στην σύνθεση της κυκλοφορίας.

Από τον πίνακα 4.1 προκύπτουν τα εξής:

- **Η ανάλυση της χρήσης επιβατικών ΙΧ**, έδειξε ότι σε όλους τους υπό εξέταση οδικούς άξονες (Πανεπιστημίου, κεντρικοί οδικοί άξονες, οδικοί άξονες εισόδου και εξόδου), εκτός από τους περιφερειακούς οδικούς άξονες, σημειώθηκε μείωση του ποσοστού χρήσης ΙΧ τη δεύτερη περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου (4 λωρίδες κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου μετά το τέλος Ιουλίου 2020) σε σχέση με την πρώτη περίοδο (3 κυκλοφοριακές λωρίδες). Σημαντικότερη μείωση στο ποσοστό χρήσης των ΙΧ παρατηρήθηκε στην Πανεπιστημίου (-7%), που ήταν και ο οδικός άξονας που επηρεάστηκε άμεσα από την αλλαγή κυκλοφοριακών λωρίδων. Ενδεχομένως κάτι τέτοιο παρατηρείται επειδή οι οδηγοί επιβατικών ΙΧ προσαρμόστηκαν στις νέες κυκλοφοριακές συνθήκες της Πανεπιστημίου, με αποτέλεσμα το ποσοστό συμμετοχής τους στην κυκλοφορία να μειώθηκε.
- Όσον αφορά στα **ταξί** παρατηρήθηκε αύξηση της χρήσης τους στους περισσότερους υπό εξέταση οδικούς άξονες εκτός από τους οδικούς άξονες εισόδου και τους περιφερειακούς, στους οποίους δεν σημειώθηκε κάποια αξιολογη μεταβολή με την αύξηση της διατομής της οδού στην Πανεπιστημίου. Υψηλότερη ποσοστιαία αύξηση (+9%) στη χρήση ταξί, σημειώθηκε στην οδό Πανεπιστημίου που εφαρμόστηκε η κυκλοφοριακή επέμβαση. Ενδεχομένως, κάτι τέτοιο να αιτιολογείται από την αντίστοιχη μείωση της χρήσης ΙΧ κυρίως στην Πανεπιστημίου και στους κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση.
- Όσον αφορά στις **μοτοσυκλέτες** σημειώθηκαν μικρές μεταβολές ύστερα από τη δημιουργία της επιπλέον κυκλοφοριακής λωρίδας στην Πανεπιστημίου τόσο στην ίδια την οδό όσο και στους υπόλοιπους οδικούς άξονες υπό εξέταση ενώ στους οδικούς άξονες εισόδου δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή. Συμπερασματικά, η αύξηση της διατομής της οδού στην Πανεπιστημίου, φαίνεται να μην επηρέασε σημαντικά την κυκλοφορία των μοτοσυκλετών.
- Τέλος, για τον φόρτο των **πεζών** παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στην Πανεπιστημίου αλλά και στους εγγύς κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση, με ποσοστό αύξησης κατά μέσο όρο 54% και 27%, αντίστοιχα. Ενδεχομένως, αυτή η αύξηση να οφείλεται στις καλύτερες καιρικές συνθήκες, που επικρατούν τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο συγκριτικά με τον Ιούνιο και Ιούλιο. Ωστόσο, κυρίως στους οδικούς άξονες εισόδου και εξόδου σημειώθηκε μείωση των πεζών, ενδεχομένως λόγω της αύξησης του αριθμού των ΙΧ από την επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου.

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**.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την **εφαρμογή της μεθοδολογίας**, παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης κατάλληλων μοντέλων, καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Η μέθοδος που επιλέχτηκε για την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων της εργασίας, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3 με τίτλο «Θεωρητικό Υπόβαθρο», είναι η ανάλυση χρονοσειρών και η ανάπτυξη μοντέλου ARIMA. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη παρουσίαση ζητημάτων αξιοπιστίας των δεδομένων και στις διαδικασίες αντιμετώπισης τους. Αναπόσπαστο μέρος των αποτελεσμάτων αποτελούν οι στατιστικοί έλεγχοι που απαιτούνται για την αποδοχή ή την απόρριψη των μοντέλων πρόβλεψης.

5.2 Ανάλυση Χρονοσειρών-Κώδικας στο R-Studio

Για την ανάλυση των χρονοσειρών και την ανάπτυξη μοντέλων ARIMA για την εκπλήρωση του σκοπού της εν λόγω Διπλωματικής Εργασίας χρησιμοποιήθηκε το **πρόγραμμα R-Studio**.

Σε πρώτη φάση δημιουργείται το script μέσω της εντολής File → New File → R Script, στο οποίο και θα δοθούν οι εντολές για την επεξεργασία των στοιχείων και την ανάπτυξη του μοντέλου ARIMA. Ξεκινώντας εισάγεται μέσω της εντολής “ read.csv” το αρχείο “DataBase_Attica_Without_Summer.csv» που περιέχει τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν, αφού όμως πρώτα εγκατασταθούν στη βιβλιοθήκη τα εξής πακέτα: xlsx, fpp, forecast, fpp2, Ecdat, lmtest και astsa.

```
library(xlsx)
library(fpp)
library(forecast)
library(fpp2)
library(Ecdat)
library(lmtest)
library(astsa)

# Insert Database and edit
db<- read.csv("DataBase_Attica_without_Summer.csv", header= TRUE, sep=";")
```

Εικόνα 5. 1: Εισαγωγή του αρχείου Excel της βάσης δεδομένων (σε μορφή csv) στο R-Studio.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται συνολικά **ο κώδικας** που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, ύστερα από την εισαγωγή της βάσης δεδομένων.

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα

```
14 #decompose #αποσύνθεση χρονοσειράς
15 x = ts(db$Drivers, start=c(2020,06),frequency =7)
16 decom <- decompose(x, "multiplicative")
17 plot(decom)
18
19 #έλεγχος αν είναι στάσιμη
20 print(x)
21 plot(x)
22
23 #βρίσκω τη διαφορά για να γίνει στάσιμη
24 dx = diff(x)
25 plot(dx)
26
27 # εάν p<0,05 είναι στάσιμη
28 adf.test(x)
29 adf.test(dx)
30
31
32 #independence variables - white noise
33 Box.test(dx, lag = 10, type = "Ljung", fitdf = 0)
34
35 #auto-correlation
36 a = acf(dx)
37 plot(a,cex.lab=1,cex.axis=1.2, cex.main=17)
38 plot(a,main="ACF", cex.main =17, cex.lab=1,cex.axis=1.2)
39
40 #partial auto-correlation difference
41 b = pacf(dx)
42 plot(b,main="PACF ", cex.main =17, cex.lab=1.3,cex.axis=1.2)
43
44
45 #train data beginning in 15/6/2020-22/7/2020 with 3 lanes (80% training)
46
47 xtrain=db[1:28,]
48 xtrain=ts(db$Drivers, start=c(2020,06),frequency = 7)
49
50
51 #vrisko (P,D,Q) - ARIMA
52 fitarima = auto.arima(xtrain, stepwise = FALSE, approximation=FALSE, trace=TRUE, seasonal = TRUE, d=1)
```

Εικόνα 5. 2: Α' Τμήμα Κώδικα με την μεθοδολογία των Χρονοσειρών.

```
55 #Statistic tests
56 coeftest(fitarima)
57 #training set errors
58 print(summary(fitarima))
59
60 AIC(fitarima)
61 BIC(fitarima)
62
63 checkresiduals(fitarima)
64
65 # Forecast (h=51)
66 frc = forecast(fitarima, h= 51)
67
68 #predicted values
69 frc
70 autoplot(frc)
71
72 #test data beginning in 23/7/2020 - 31/7/2020 with 3 lanes (20% training)
73 #errors for train sample
74 Y1=ts(db$ARIMA.PREDICTIONS.DRIVERS[c(29:35)])_
75 plot(Y1)
76
77
78 Y2=ts(db$Drivers[c(29:35)])
79 plot(Y2)
80
81 accuracy(Y1, Y2)
82
83 #errors for future forecast sample 1/9-30/10
84 Y3=ts(db$ARIMA.PREDICTIONS.DRIVERS[c(36:79)])
85 plot(Y3)
86 Y4=ts(db$Drivers[c(36:79)])
87 plot(Y4)
88 accuracy(Y3, Y4)
```

Εικόνα 5. 3: Β' Τμήμα Κώδικα με την μεθοδολογία των Χρονοσειρών

Παρακάτω παρουσιάζονται σε ένα πίνακα οι **βασικότερες εντολές** που χρησιμοποιήθηκαν στην R ώστε να επιτευχθεί η ανάλυση χρονοσειράς με μία αντίστοιχη συνοπτική επεξήγηση των εντολών.

Εντολή	Επεξήγηση
read.csv()	Διαβάζει ένα αρχείο μορφής csv
ts()	Δημιουργεί μια χρονοσειρά
decompose()	Αποσυνθέτει την χρονοσειρά σε εποχιακά και τυχαία στοιχεία, καθώς και στην τάση χρησιμοποιώντας κινούμενους μέσους όρους.
diff()	Επιστρέφει κατάλληλα καθυστερημένες και επαναλαμβανόμενες διαφορές.
adf.test()	Ελέγχει τη στασιμότητα μέσω του ελέγχου Augmented Dickey-Fuller
Box.test()	Εξετάζει τη μηδενική υπόθεση ανεξαρτησίας σε μία δεδομένη χρονική σειρά
acf()	Υπολογίζει τις εκτιμήσεις της συνάρτησης αυτοδιακύμανσης ή αυτοσυσχέτισης
pacf()	Υπολογίζει τις εκτιμήσεις της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης
auto.arima()	Αναζητεί και βρίσκει το καλύτερο μοντέλο ARIMA ή SARIMA
coefest()	Είναι μία γενική συνάρτηση για την εκτέλεση δοκιμών z και άλλων εκτιμώμενων συντελεστών
summary()	Είναι μια γενική συνάρτηση που χρησιμοποιείται για την παραγωγή περιλήψεων αποτελεσμάτων των αποτελεσμάτων διαφόρων λειτουργιών προσαρμογής μοντέλου
AIC()	Υπολογίζει το «Κριτήριο πληροφοριών» της Akaike για ένα ή περισσότερα προσαρμοσμένα αντικείμενα μοντέλου για τα οποία μπορεί να ληφθεί μια τιμή πιθανότητας καταγραφής
BIC()	Υπολογίζει το κριτήριο πληροφοριών Bayesian για ένα ή περισσότερα προσαρμοσμένα αντικείμενα μοντέλου για τα οποία μπορεί να ληφθεί τιμή πιθανότητας καταγραφής
checkresiduals()	Παράγει ένα χρονικό διάγραμμα των υπολειμμάτων, του αντίστοιχου ACF και ενός ιστογράμματος
forecast()	Είναι μια γενική συνάρτηση για πρόβλεψη από μοντέλα χρονοσειρών ή χρονοσειρές
autoplot()	Οπτικοποιεί διάφορα αντικείμενα δεδομένων και προσπαθεί να δώσει καλύτερα προεπιλεγμένα γραφικά και προσαρμοσμένες επιλογές για κάθε τύπο δεδομένων
accuracy()	Δείχνει το εύρος των συνοπτικών μέτρων ακρίβειας της πρόβλεψης

Πίνακας 5. 1: Εντολές στην R και Επεξήγηση αυτών που χρησιμοποιήθηκαν

Η σημαντικότερη **εντολή** για την ανάπτυξη του μοντέλου ARIMA είναι η **auto.arima()**. Η εντολή `auto.arima()` παρέχει τη δυνατότητα εύρεσης του καλύτερου μοντέλου AR (p), MA (q), ARMA (p,q), ARIMA (p,d,q) ή SARIMA. Χρησιμοποιώντας την παραμετροποίηση `stepwise=FALSE`, η R «τρέχει» την προσομοίωση σε πιο αργό ρυθμό, με στόχο την καλύτερη δυνατή προσέγγιση, ενώ ορίζοντας την παράμετρο `trace=TRUE` ο χρήστης μπορεί να δει αναλυτικά καθένα από τα πιθανά μοντέλα που εξετάζονται ως προς την καταλληλότητα. Βάζοντας την τιμή `TRUE` στην παράμετρο `seasonal` επιτρέπεται στην εντολή `auto.arima` να αναζητήσει μοντέλα SARIMA ενώ η παράμετρος `approximation` αν παίρνει την τιμή `TRUE` σε περίπτωση που η χρονοσειρά υπό εξέταση είναι αρκετά μεγάλη για την αποφυγή υπερβολικών χρόνων υπολογισμού. Στην παράμετρο `d` δίνεται ως τιμή ο αριθμός των διαφορών που χρειάστηκαν να εφαρμοστούν ώστε να μετατραπεί η χρονοσειρά σε στάσιμη. Η επιλογή του καλύτερου μοντέλου γίνεται είτε με βάση το AIC (Akaike criterion) είτε με βάση το BIC (Bayesian criterion).

5.3 Ανάλυση Χρονοσειρών

Αρχικά, αναλύθηκαν 24 **χρονοσειρές** εκ των οποίων οι 20 αφορούν στη σύνθεση της κυκλοφορίας στους οδικούς άξονες της Αθήνας κατά το χρονικό διάστημα από 18/6/2020 έως και τις 22/10/2020 και οι υπόλοιπες 4 αφορούν στην μεταβολή της κυκλοφορίας των οδηγών και των πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας από 15/6/2020 έως και 30/10/2020. Αναλυτικά φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Αρ. Μοντέλου	Περιοχή/Οδικοί Άξονες	Μεταβλητή
1	Πανεπιστημίου	ΙΧ (%)
2	Πανεπιστημίου	Ταξί(%)
3	Πανεπιστημίου	Μοτοσυκλέτες(%)
4	Πανεπιστημίου	Φόρτος Πεζών
5	Κεντρικοί	ΙΧ (%)
6	Κεντρικοί	Ταξί(%)
7	Κεντρικοί	Μοτοσυκλέτες(%)
8	Κεντρικοί	Φόρτος Πεζών
9	Εισόδου	ΙΧ (%)
10	Εισόδου	Ταξί(%)
11	Εισόδου	Μοτοσυκλέτες(%)
12	Εισόδου	Φόρτος Πεζών
13	Εξόδου	ΙΧ (%)
14	Εξόδου	Ταξί(%)
15	Εξόδου	Μοτοσυκλέτες(%)
16	Εξόδου	Φόρτος Πεζών
17	Περιφερειακοί	ΙΧ (%)
18	Περιφερειακοί	Ταξί(%)
19	Περιφερειακοί	Μοτοσυκλέτες(%)
20	Περιφερειακοί	Φόρτος Πεζών
21	Λεκανοπέδιο Αττικής	Μεταβολή Οδηγών
22	Λεκανοπέδιο Αττικής	Μεταβολή Πεζών
23	Λεκανοπέδιο Αττικής*	Μεταβολή Οδηγών
24	Λεκανοπέδιο Αττικής*	Μεταβολή Πεζών

* Χωρίς το καλοκαίρι

Πίνακας 5. 2: Μοντέλα ανά Περιοχή Μελέτης και Μεταβλητή

5.4 Ανάλυση Χρονοσειρών για την Σύνθεση Κυκλοφορίας στην Αθήνα

Ακολούθως, παρατίθενται συνοπτικά τα **αποτελέσματα** που προέκυψαν από την ανάλυση των 20 **χρονοσειρών** σύνθεσης της κυκλοφορίας στο κέντρο της Αθήνας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σχεδόν καμία χρονοσειρά με δεδομένα της σύνθεσης της κυκλοφορίας, δεν κάλυπτε τις απαιτήσεις στασιμότητας και τυχαιότητας για την ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης ARIMA της κυκλοφορίας. Η μόνη χρονοσειρά που φαινομενικά ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις είναι η χρονοσειρά της μεταβλητής που αντιπροσωπεύει την χρήση ταξί στους κεντρικούς οδικούς άξονες, κάτι που ίσως να αποτελεί τυχαίο γεγονός. 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 (14 εβδομαδιαίες μετρήσεις).

5.4.1 Στασιμότητα

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία προσπάθειας μετασχηματισμού των χρονοσειρών υπό εξέταση σε στάσιμες με τελικό σκοπό την περαιτέρω ανάλυσή τους και τελικώς την ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων ARIMA. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται οι **έλεγχοι Augmented Dickey-Fuller και Box-Ljung**.

Μεταβλητή	Πανεπιστημίου			Κεντρικοί			Εισόδου			Εξόδου			Περιφερειακοί		
	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value
Επιβατικά	-3,4643	2	0,06885	-1,7434	2	0,6701	-2,1865	2	0,5013	-2,7849	2	0,2734	-0,9649	2	0,9258
Ταξί	-2,08	2	0,5419	-1,8884	2	0,6149	-1,8521	2	0,6287	-2,2445	2	0,4793	-1,3882	2	0,8054
Μοτοσικλές	-1,5564	2	0,7414	-2,7207	2	0,2978	-1,3123	2	0,8343	-2,1552	2	0,5133	-2,0179	2	0,5656
Πεζοί	-1,5563	2	0,7414	-2,5268	2	0,3717	-1,7405	2	0,6712	-1,8274	2	0,6381	-1,2895	2	0,8431

Πίνακας 5. 3: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (x)

Μεταβλητή	Πανεπιστημίου			Κεντρικοί			Εισόδου			Εξόδου			Περιφερειακοί		
	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value
Diff(Επιβατικά)	-5,7195	2	0,01	-1,0648	2	0,9111	-3,206	2	0,113	-2,2126	2	0,4914	-1,8391	2	0,6337
Diff(Ταξί)	-2,7719	2	0,2783	-2,6134	2	0,3387	0,66031	2	0,99	-1,6455	2	0,7074	0,24329	2	0,99
Diff(Μοτοσικλές)	-2,4226	2	0,4114	-1,9547	2	0,5896	-2,7175	2	0,299	-1,955	2	0,5895	-1,9468	2	0,5927
Diff(Πεζοί)	-2,8521	2	0,2478	-5,2767	2	0,01	-1,6422	2	0,7087	-0,46949	2	0,9763	-1,3212	2	0,831

Πίνακας 5. 4: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 1η διαφορά (Dx)

Μεταβλητή	Πανεπιστημίου			Κεντρικοί			Εισόδου			Εξόδου			Περιφερειακοί		
	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value
DDiff(Επιβατικά)	-	-	-	-2,179	2	0,5042	-3,7534	2	0,03905	-1,942	2	0,5945	-3,0254	2	0,1817
DDiff(Ταξί)	-3,6227	2	0,04838	-3,7068	2	0,04237	-	-	-	-1,4427	2	0,7847	-1,1997	2	0,8773
DDiff(Μοτοσικλές)	-2,6871	2	0,3106	-2,1831	2	0,5026	-2,425	2	0,4105	-2,0828	2	0,5409	-1,8262	2	0,6386
DDiff(Πεζοί)	-2,8619	2	0,2441	-	-	-	-2,7817	2	0,2746	-0,9379	2	0,9297	-1,1429	2	0,8989

Πίνακας 5. 5: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 2η διαφορά (DDx)

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα του ελέγχου Box-Ljung Test (έλεγχος λευκού θορύβου) για τις υπό εξέταση μεταβλητές ο οποίος εφαρμόστηκε στην πρώτη και στην δεύτερη διαφορά αντίστοιχα των μεταβλητών.

Μεταβλητή	Πανεπιστημίου			Κεντρικοί			Εισόδου			Εξόδου			Περιφερειακοί		
	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value
Επιβατικά	16,2	10	0,09406	18,321	10	0,04979	17,164	10	0,07082	14,832	10	0,1383	11,469	10	0,3221
Ταξί	11,446	10	0,3238	23,671	10	0,008523	12,734	10	0,239	18,079	10	0,05364	30,545	10	0,0006972
Μοτοσυκλές	10,158	10	0,4267	9,3882	10	0,4957	14,99	10	0,1324	22,866	10	0,01125	14,169	10	0,1654
Πεζοί	10,017	10	0,439	6,5386	10	0,7682	5,9513	10	0,8193	10,72	10	0,3798	24,896	10	0,005546

Πίνακας 5. 6: Έλεγχος Box-Ljung για την 1η, 2η διαφορά αντίστοιχα

Όπως παρατηρείται από τους παραπάνω πίνακες και δεδομένου ότι μία χρονοσειρά θεωρείται στάσιμη όταν ικανοποιείται ο έλεγχος ADF ($p\text{-value} < 0,05$) και ο έλεγχος λευκού θορύβου Box-Ljung ($p\text{-value} < 0,05$) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% :

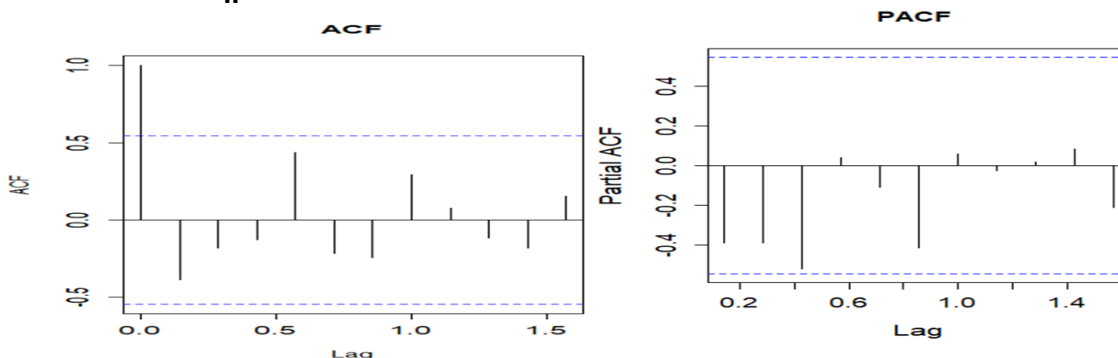
- Τα επιβατικά ΙΧ στην Πανεπιστημίου καθώς και οι πεζοί στους κεντρικούς οδικούς άξονες χρειάστηκαν **μία διαφορά για να γίνουν στάσιμες** χρονοσειρές. Ωστόσο καμία μεταβλητή από τις δύο δεν ικανοποιεί τον έλεγχο του λευκού θορύβου εφόσον οι τιμές στο p-value είναι μεγαλύτερες από 0,05.
- Στάσιμες χρονοσειρές με την εφαρμογή **δύο διαφορών** γίνονται οι εξής τρεις μεταβλητές: τα ταξί στην Πανεπιστημίου και στους κεντρικούς οδικούς άξονες αλλά και τα επιβατικά ΙΧ στους άξονες εισόδου. Μόνο όμως τα ταξί στους κεντρικούς άξονες πληρούν και τον έλεγχο λευκού θορύβου.
- Οι μεταβλητές που **δεν γινόντουσαν στάσιμες** όσες διαφορές ή log και αν εφαρμόστηκαν είναι οι εξής: στην Πανεπιστημίου είναι οι μοτοσυκλές και οι πεζοί, στους κεντρικούς άξονες είναι τα επιβατικά ΙΧ και οι μοτοσυκλές, στους οδικούς άξονες εισόδου είναι τα ταξί, οι μοτοσυκλές και οι πεζοί ενώ τόσο στους άξονες εξόδου όσο και στους περιφερειακούς είναι όλες οι μεταβλητές (επιβατικά ΙΧ, ταξί, μοτοσυκλές, πεζοί)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι από όλες τις χρονοσειρές δεδομένων που εξετάστηκαν, μόνο η χρονοσειρά της χρήσης ταξί στους κεντρικούς οδικούς άξονες είναι στάσιμη και τυχαία.

5.4.2 Συναρτήσεις Αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (**ACF**) και μερικής αυτοσυσχέτισης (**PACF**) ενδεικτικά των 8 από τις 20 χρονοσειρές που αναλύθηκαν, για τους οδικούς άξονες της Πανεπιστημίου και τους Κεντρικούς.

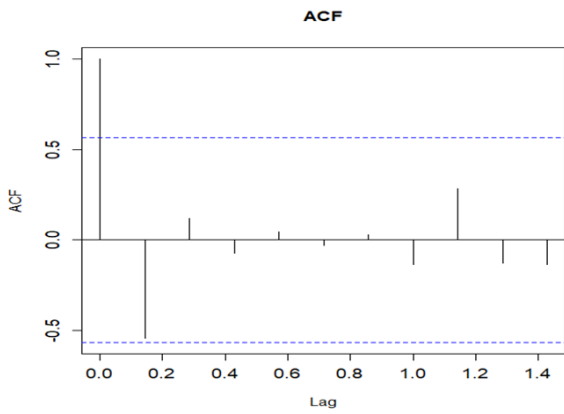
Πανεπιστημίου



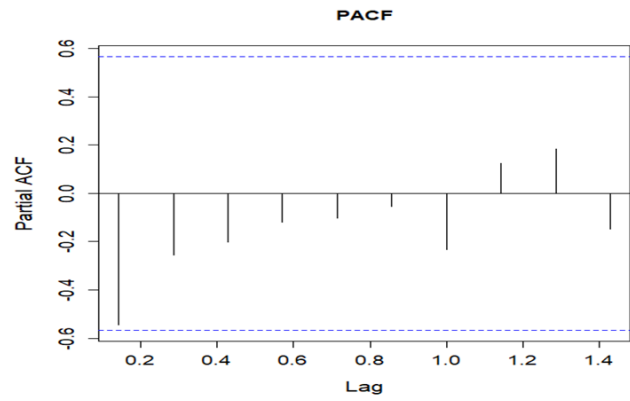
Διάγραμμα 5.1: ACF Επιβατικών ΙΧ

Διάγραμμα 5.2: PACF Επιβατικών ΙΧ

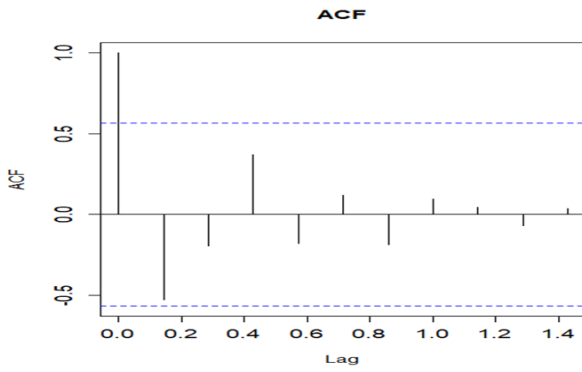
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα



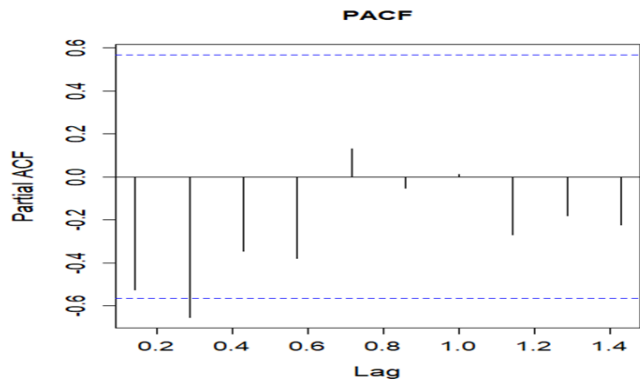
Διάγραμμα 5.3: ACF Ταξί



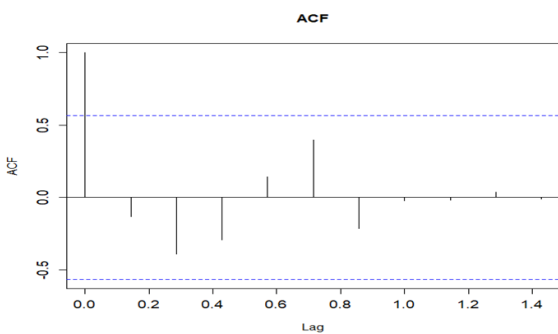
Διάγραμμα 5.4: PACF Ταξί



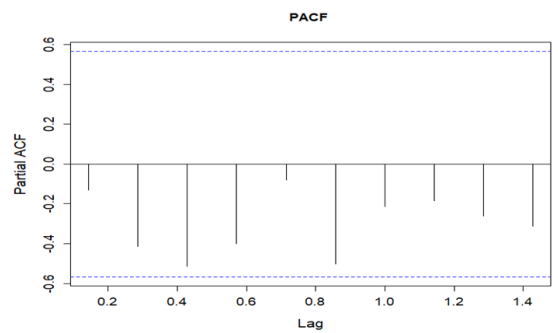
Διάγραμμα 5.5: ACF Μοτοσυκλετών



Διάγραμμα 5.6: PACF Μοτοσυκλετών



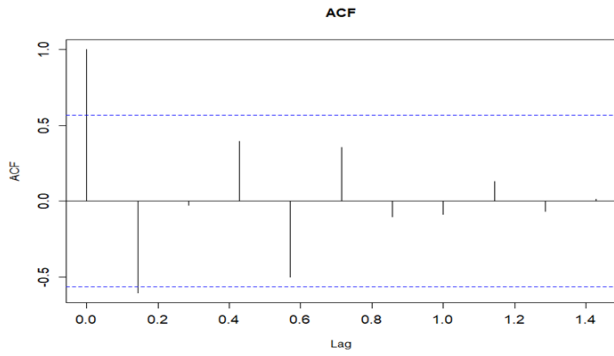
Διάγραμμα 5.7: ACF Πεζών



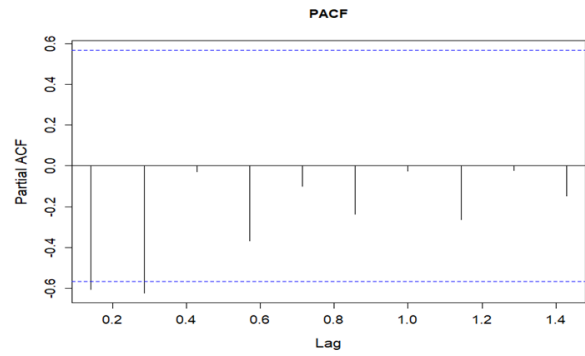
Διάγραμμα 5.8: PACF Πεζών

Κεντρικοί Οδική Άξονες

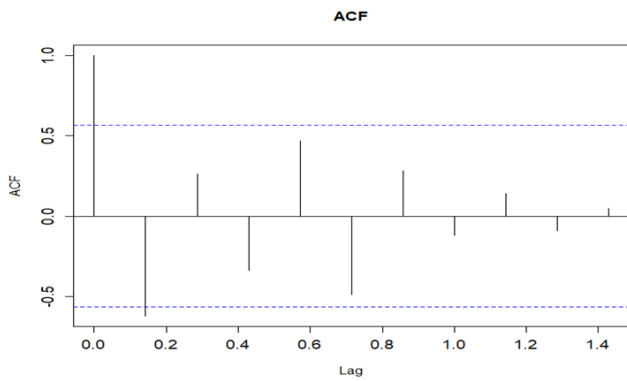
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα



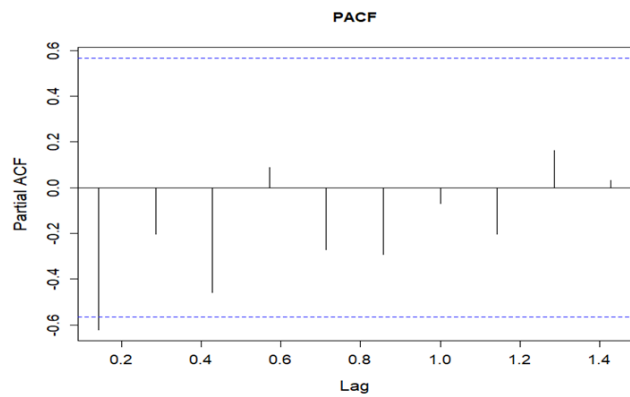
Διάγραμμα 5.9: ACF Επιβατικών ΙΧ



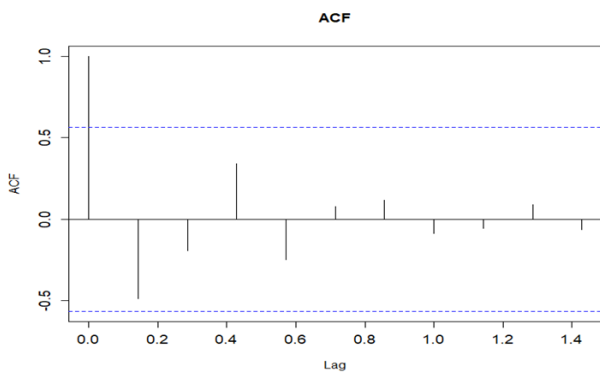
Διάγραμμα 5.10: PACF Επιβατικών ΙΧ



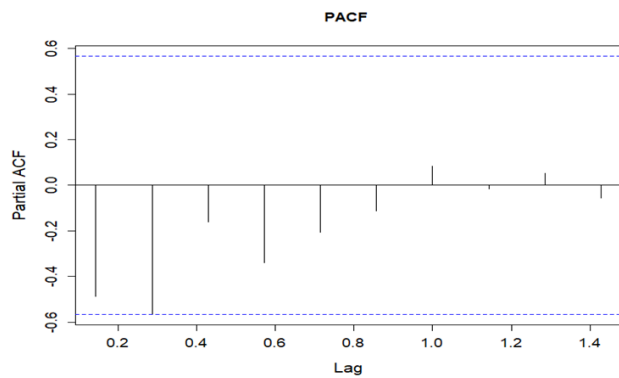
Διάγραμμα 5.11: ACF Ταξί



Διάγραμμα 5.12: PACF Ταξί

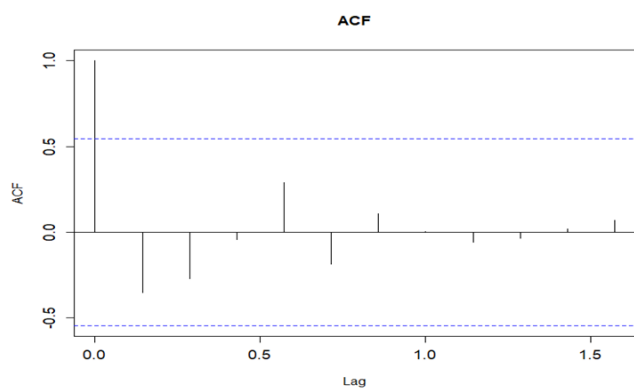


Διάγραμμα 5.13: ACF Μοτοσυκλετών

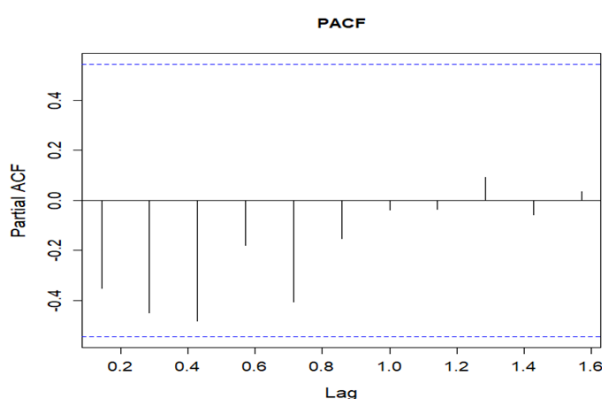


Διάγραμμα 5. 14: PACF Μοτοσυκλετών

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα



Διάγραμμα 5.15: ACF Πεζών



Διάγραμμα 5.16: PACF Πεζών

Το γεγονός ότι η συνάρτηση ACF και PACF πέφτει σχετικά γρήγορα στο μηδέν αποτελεί ισχυρή ένδειξη στασιμότητας. Επίσης, στα διαγράμματα των συναρτήσεων ACF και PACF οι υποδεικνυόμενες οριζόντιες, διακεκομμένες μπλε γραμμές δείχνουν τα επίπεδα στα οποία η αυτοσυσχέτιση (μερική ή όχι) είναι σημαντική.

Διαπιστώνεται ότι με βάση τα παραπάνω διαγράμματα ACF μόνο ο πρώτος όρος πέφτει εκτός των ορίων ενώ οι υπόλοιποι όροι να βρίσκονται εντός ορίων με 5% επίπεδο σημαντικότητας. Αντίστοιχα, για τα διαγράμματα PACF διεξάγεται το συμπέρασμα ότι μόνο ο πρώτος ή/και ο δεύτερος όρος βρίσκεται εκτός των μπλε γραμμών, ενώ οι υπόλοιποι όροι εντοπίζονται εντός αυτών με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

5.4.3 Μοντέλο ARIMA

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά τα **μοντέλα ARIMA** που προέκυψαν στην Πανεπιστημίου.

	Candidate Model	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	AIC	BIC
Επιβατικά	ma1	-0,6423	0,19434	-3,3047	0,0009508	-36,657	-35,527
Ταξί	ar1	-0,817	0,18816	-4,3418	0,00001413	-26,721	-25,752
Μοτοσυκλέτες	ar1	-0,8181	0,20974	-3,9005	9,60E-02	-42,018	-40,563
	ar2	-0,599	0,19925	-3,0064	0.002644		
Πεζοί	-	-	-	-	-	190,329	190,814

Πίνακας 5. 7: Μοντέλο ARIMA για την κυκλοφορία στην Πανεπιστημίου

Εντοπίζεται $Pr(>|z|)$ μικρότερο από 0,05 σε όλα τα μοντέλα της Πανεπιστημίου εκτός από τους πεζούς, επομένως τα μοντέλα είναι αποδεκτά.

Μεταβλητή	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
Επιβατικά	-0,0207	0,04783	0,04222	-5,5463	10,0145	-0,2624
Ταξί	0,000501	0,05949	0,04352	-3,4615	23,9587	-0,3164
Μοτοσυκλέτες	-0,0025	0,028828	0,02254	-1,0704	7,37706	-0,2429
Πεζοί	16,2134	573,081	392,43	3,06281	27,5423	-0,1315

Πίνακας 5. 8: Μετρήσεις απόδοσης για το μοντέλο εκτίμησης ARIMA στην Πανεπιστημίου

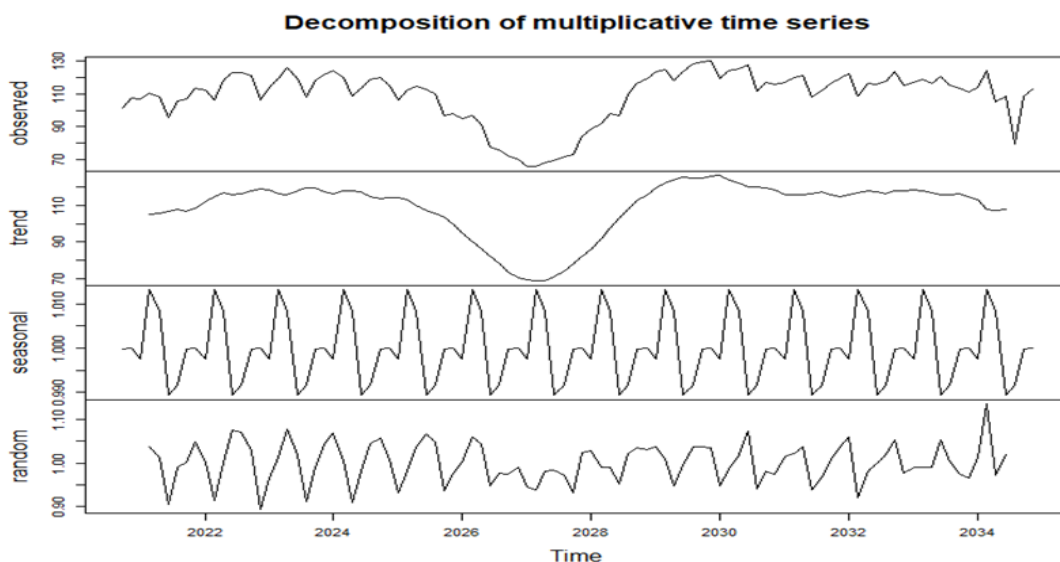
Ωστόσο δεν αναπτύχθηκαν μοντέλα πρόβλεψης ARIMA εφόσον δεν πληρούνταν η στασιμότητα και ο έλεγχος λευκού θορύβου, καθώς ενδεχομένως να αποτελούσε τυχαίο γεγονός λόγω του μικρού αριθμού παρατηρήσεων.

5.5 Ανάλυση Χρονοσειρών για την Μεταβολή Κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο

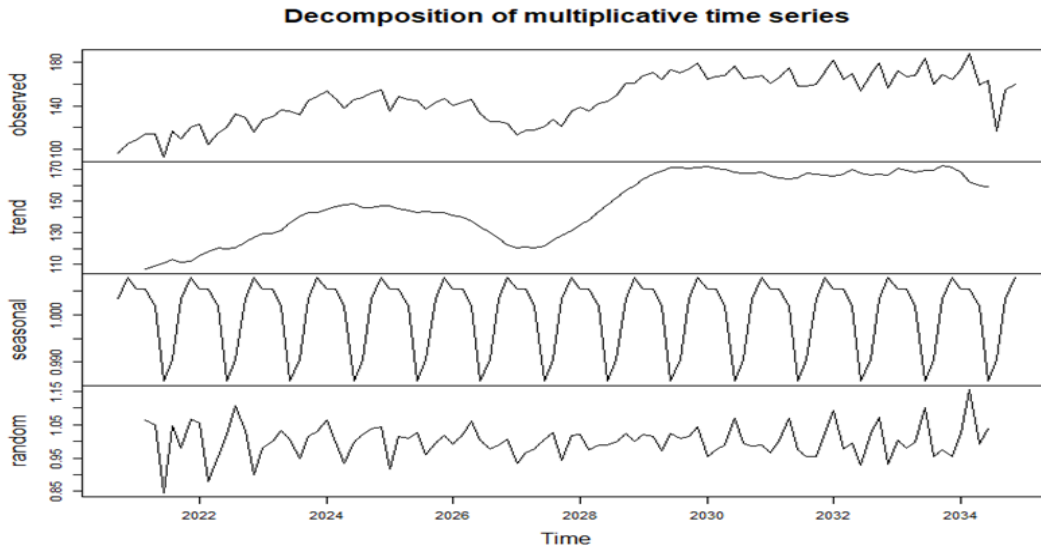
Ακολούθως, παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση τεσσάρων χρονοσειρών που αφορούν στις μεταβολές της κυκλοφορίας οδηγών και πεζών που παρατηρήθηκαν στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (στοιχεία διαδικτυακής εφαρμογής Apple) το χρονικό διάστημα από 15 Ιουνίου έως 30 Οκτωβρίου 2020, λαμβάνοντας υπόψη (ή όχι) τον μήνα Αύγουστο.

5.5.1 Αποσύνθεση Χρονοσειράς

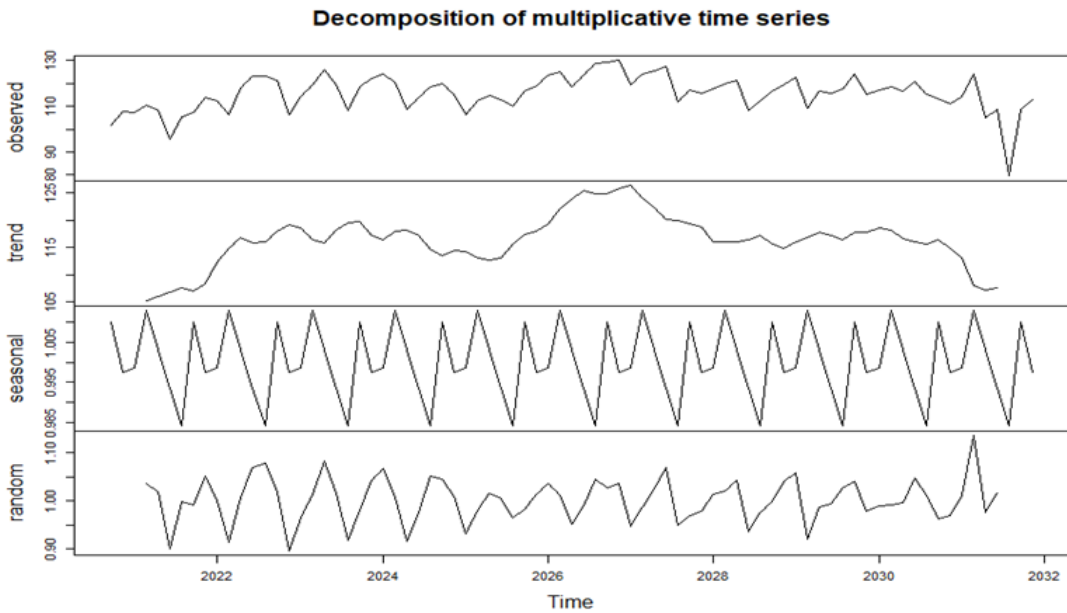
Τα τρία χαρακτηριστικά (**τάση, εποχικότητα και τυχειότητα**) για τις χρονοσειρές των εξεταζόμενων μεταβλητών παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα για το Λεκανοπέδιο της Αθήνας για την μεταβολή της κυκλοφορίας τόσο των οδηγών όσο και των πεζών.



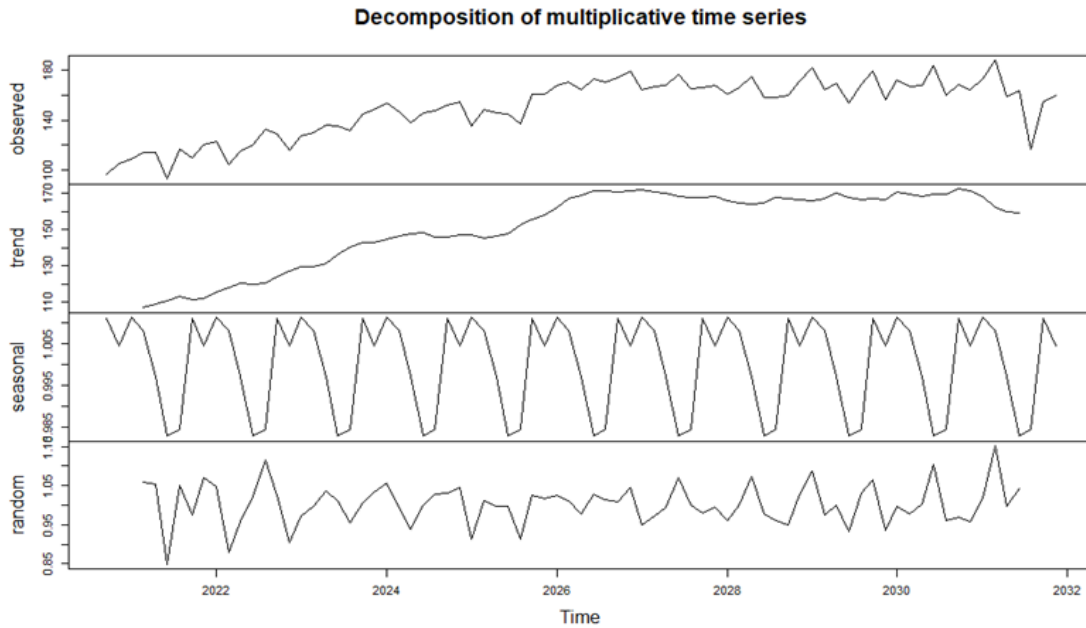
Διάγραμμα 5. 17: Αποσύνθεση Οδηγών στο Λεκανοπέδιο με το καλοκαίρι



Διάγραμμα 5. 18: Αποσύνθεση Πεζών στο Λεκανοπέδιο με το καλοκαίρι



Διάγραμμα 5. 19: Αποσύνθεση Οδηγών στο Λεκανοπέδιο χωρίς το καλοκαίρι



Διάγραμμα 5. 20: Αποσύνθεση Πεζών στο Λεκανοπέδιο χωρίς το καλοκαίρι

- Παρατηρώντας τις τάσεις στα διαγράμματα, λαμβάνοντας υπόψη το καλοκαίρι (δηλαδή τον μήνα Αύγουστο), είναι εμφανής η πτωτική τάση τόσο για την κυκλοφορία των οδηγών του Λεκανοπεδίου όσο και των πεζών κατά τον μήνα Αύγουστο. Η κυκλοφορία των οδηγών τόσο πριν όσο και μετά από αυτόν τον μήνα έχει σταθερή υψηλή τάση, ενώ των πεζών πριν το καλοκαίρι έχει αυξητική τάση και μετά από αυτό σταθερά υψηλή.
- Στα διαγράμματα που δεν λαμβάνεται υπόψη ο μήνας Αύγουστος εντοπίζεται διαφορετική τάση τόσο στην κυκλοφορία των πεζών όσο και στην κυκλοφορία των οδηγών. Αρχικά, στους πεζούς παρουσιάζεται σταθερή αυξητική τάση ενώ αργότερα στις αρχές του Σεπτεμβρίου διακρίνεται σταθερότητα. Η κυκλοφορία των οδηγών χαρακτηρίζεται γενικά από σταθερή τάση, έχοντας βέβαια και την μεγιστοποίηση της κατά τις αρχές Σεπτεμβρίου.
- Όταν αναφέρονται οι οδηγοί εννοείται η μεταβολή της κυκλοφορίας των οδηγών κάθε τύπου οχήματος και αντίστοιχα για τους πεζούς εννοείται η μεταβολή της κυκλοφορίας των πεζών σε σχέση με μία ορισμένη περίοδο αναφοράς (εβδομάδα πριν την άρση περιορισμών κυκλοφορίας).

5.5.2 Στασιμότητα

Όπως περιγράφηκε στην μεθοδολογία προηγουμένως, επόμενο βήμα αποτελεί ο **έλεγχος για στασιμότητα** της εξεταζόμενης χρονοσειράς. Για αυτό τον σκοπό πραγματοποιείται ο έλεγχος ADF (Augmented Dickey-Fuller) για την πρώτη διαφορά ($Y_t - Y_{t-1}$) αλλά και για την δεύτερη διαφορά για κάποιες μεταβλητές υπό εξέταση. Η πρώτη διαφορά χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις αρχικές χρονοσειρές εφόσον δεν ήταν στάσιμες. Ένας τέτοιος μετασχηματισμός βοήθησε επίσης στη σταθεροποίηση του μέσου όρου της χρονοσειράς αφαιρώντας τις αλλαγές στο πέρασμα του χρόνου, και επομένως εξαλείφοντας ή μειώνοντας την τάση και την εποχικότητα.

	Λεκανοπέδιο Αθηνών					
	Χωρίς το Καλοκαίρι			Με το Καλοκαίρι		
Μεταβλητή	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value
Οδηγοί	-0,6841	4	0,9678	-1,3888	4	0,8298
Πεζοί	0,36947	4	0,99	-1,0109	4	0,9326

Πίνακας 5. 9: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (x)

	Λεκανοπέδιο Αθηνών					
	Χωρίς το Καλοκαίρι			Με το Καλοκαίρι		
Μεταβλητή	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value
Diff(Οδηγοί)	-4,9718	4	0,01	-2,7286	4	0,2749
Diff(Πεζοί)	-5,168	4	0,01	-4,0408	4	0,01017

Πίνακας 5. 10: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 1η διαφορά (Dx)

	Λεκανοπέδιο Αθηνών					
	Χωρίς το Καλοκαίρι			Με το Καλοκαίρι		
Μεταβλητή	Test statistics	Lag order	p-value	Test statistics	Lag order	p-value
DDiff(Οδηγοί)	-	-	-	-10,471	4	0,01
DDiff(Πεζοί)	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 5. 11: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για την 2η διαφορά (DDx)

	Λεκανοπέδιο Αθηνών					
	Χωρίς το Καλοκαίρι			Με το Καλοκαίρι		
Μεταβλητή	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value
Οδηγοί	41,121	10	1,07E-05	66,328	10	2,26E-10
Πεζοί	56,809	10	1,45E-08	70,013	10	4,41E-11

Πίνακας 5. 12: Έλεγχος Box-Ljung για την 1η, 2η διαφορά αντίστοιχα

Όπως παρατηρείται από τους παραπάνω πίνακες και δεδομένου ότι μία χρονοσειρά θεωρείται στάσιμη όταν ικανοποιείται ο έλεγχος ADF ($p\text{-value} < 0,05$) και ο έλεγχος λευκού θορύβου Box-Ljung ($p\text{-value} < 0,05$) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% :

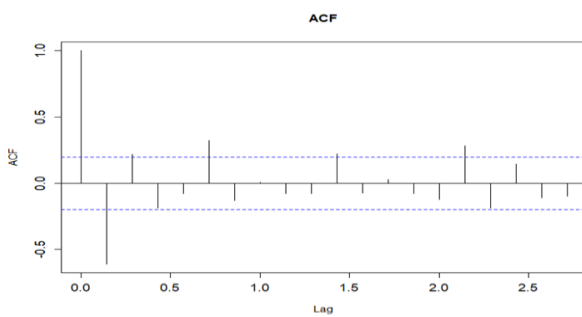
- Η κυκλοφορία πεζών λαμβάνοντας υπόψη το καλοκαίρι καθώς και των οδηγών και των πεζών μη περιλαμβάνοντας το καλοκαίρι χρειάστηκε μία διαφορά για να γίνουν στάσιμες χρονοσειρές.
- Αντίθετα η κυκλοφορία των οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών θεωρώντας χρονικά και τον Αύγουστο (=καλοκαίρι) απαίτησε να γίνουν δύο διαφορές ώστε να μπορέσουν να μετατραπούν σε στάσιμες χρονοσειρές.
- Ο έλεγχος του λευκού θορύβου επιτυγχάνεται και στις δύο μεταβλητές και για τις δύο χρονικές περιόδους (λαμβάνοντας ή όχι το καλοκαίρι), αφού οι τιμές στα p-value είναι αισθητά μικρότερες από 0,05 που έχει οριστεί ως ανώτατο όριο.

5.5.3 Αυτοσυσχέτιση και μερική αυτοσυσχέτιση

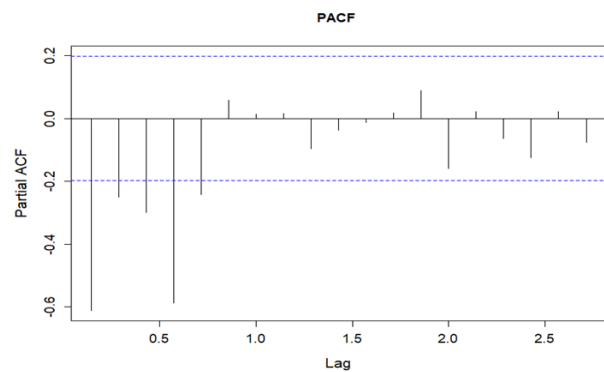
Ο υπολογισμός των **συντελεστών αυτοσυσχέτισης**, για διάφορες χρονικές υστερήσεις (lags) μιας χρονοσειράς, βοηθά στη αποτίμηση μιας χρονοσειράς ως προς την τυχαιότητα και την στασιμότητα. Περαιτέρω, σε βαθύτερη ανάλυση, μέσω των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης επιλέγονται οι διάφοροι παράμετροι μοντέλων.

Παρακάτω παρουσιάζονται λοιπόν τα διαγράμματα της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (ACF) και μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF) των μεταβλητών υπό εξέταση. Το γεγονός ότι η συνάρτηση ACF πέφτει σχετικά γρήγορα στο μηδέν αποτελεί ισχυρή ένδειξη στασιμότητας. Στο ACF οι υποδεικνυόμενες οριζόντιες, διακεκομμένες μπλε γραμμές δείχνουν τα επίπεδα στα οποία η αυτοσυσχέτιση είναι σημαντική.

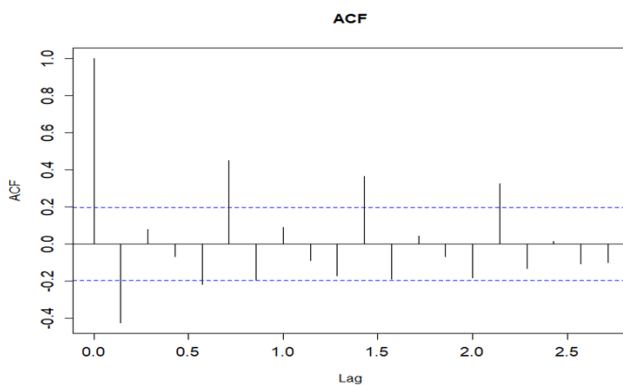
Λεκανοπέδιο με το Καλοκαίρι



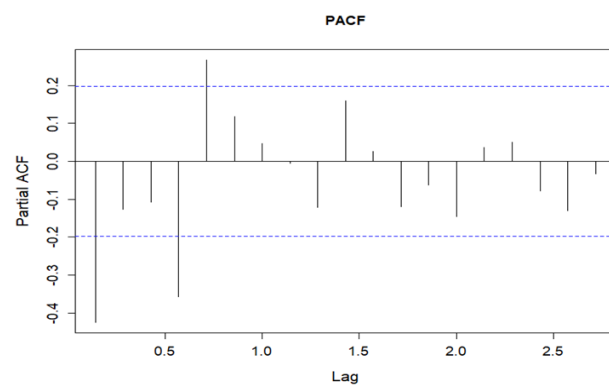
Διάγραμμα 5.21: ACF Οδηγών



Διάγραμμα 5.22: PACF Οδηγών

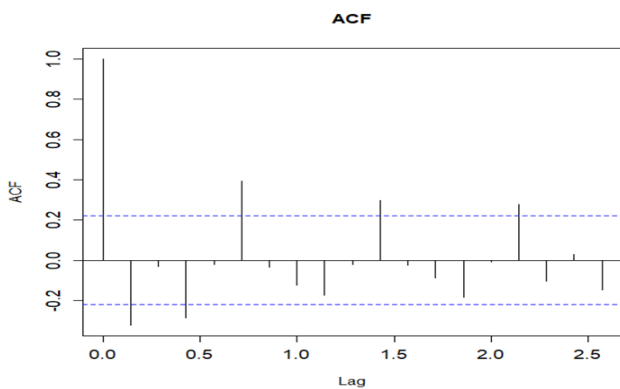


Διάγραμμα 5.23: ACF Πεζών

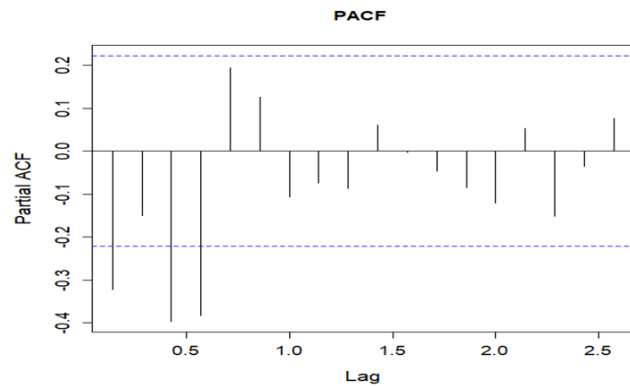


Διάγραμμα 5.24: PACF Πεζών

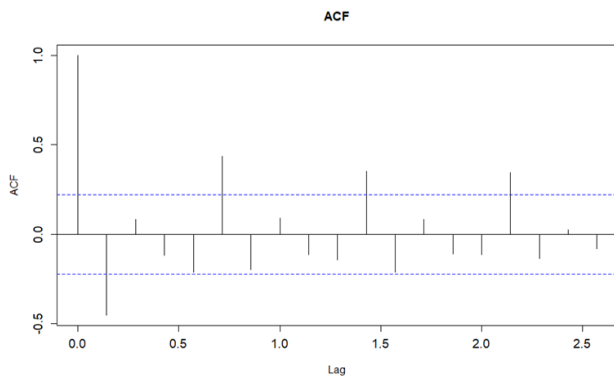
Λεκανοπέδιο Χωρίς το Καλοκαίρι



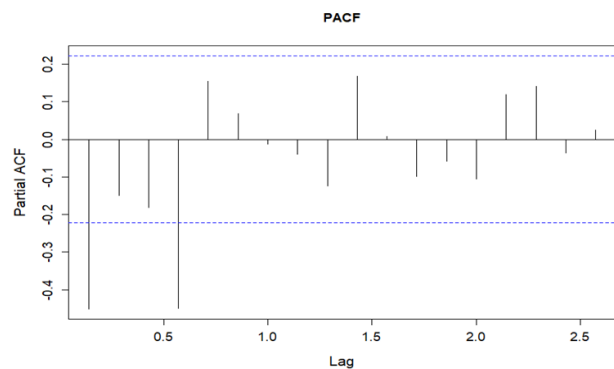
Διάγραμμα 5.25: ACF Οδηγών



Διάγραμμα 5.26: PACF Οδηγών



Διάγραμμα 5.27: ACF Πεζών



Διάγραμμα 5.28: PACF Πεζών

Στο ACF και στο PACF οι υποδεικνυόμενες οριζόντιες, διακεκομμένες μπλε γραμμές δείχνουν τα επίπεδα στα οποία η αυτοσυσχέτιση (μερική ή όχι) είναι σημαντική.

Εάν τα δεδομένα προέρχονται από στάσιμη διαδικασία, το γράφημα της ACF πρέπει να φθίνει εκθετικά στο μηδέν. Στα διαγράμματα των ACF φαίνεται ότι η ACF ακολουθεί φθίνουσα εκθετική πορεία και ως εκ τούτου η χρονοσειρά έχει φαίνεται να είναι στάσιμη. Το ίδιο ισχύει και τα διαγράμματα της συνάρτησης PACF. Άλλωστε η στασιμότητα επιβεβαιώνεται και από τον έλεγχο Augmented Dickey-Fuller που φαίνεται στους πίνακες 5.10-5.11.

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης ACF καθορίζει την τιμή του q (MA), δηλαδή του κινούμενου μέσου του μοντέλου, ενώ η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης PACF καθορίζει την τιμή του p (AR), δηλαδή την αυτοπαλινδρόμηση του μοντέλου. Διαπιστώνεται ότι με βάση τα παραπάνω διαγράμματα ACF αρκετοί όροι πέφτουν εκτός ορίων και έτσι αφήνουν ακόμα πιο λίγους όρους εντός των ορίων με 5% επίπεδο σημαντικότητας. Αντίστοιχα για τα διαγράμματα PACF διεξάγεται το ίδιο συμπέρασμα με τα διαγράμματα ACF.

Τυχαία χρονοσειρά θεωρείται η χρονοσειρά στην οποία κάθε παρατήρηση είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε άλλη παρατήρηση. Σε μία τυχαία χρονοσειρά το 95% των συντελεστών αυτοσυσχέτισης βρίσκονται στο διάστημα που ορίζεται από τις τιμές

$\pm 1.96/\sqrt{n}$ όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων. Εάν οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης βρίσκονται εκτός των παραπάνω ορίων τότε υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στις παρατηρήσεις και άρα η χρονοσειρά δεν είναι τυχαία. Όσον αφορά τη στασιμότητα, για μία μη στάσιμη χρονοσειρά, οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι διάφοροι του μηδενός για αρκετές επαναλήψεις από τις πρώτες χρονικές υστερήσεις και αργά, προσεγγίζουν το μηδέν.

Στην παρούσα ανάλυση διαπιστώνεται όντως ότι η πλειοψηφία των συντελεστών αυτοσυσχέτισης βρίσκεται εντός των ορίων που συνθέτουν οι μπλέ διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζεται αυτοσυσχέτιση. Αυτό δε συνεπάγεται βέβαια και την μη ύπαρξη στοιχείων που τέμνουν την μπλε διακεκομμένη. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, οι χρονοσειρές υπό εξέταση φαίνεται να χαρακτηρίζονται από τυχαιότητα.

5.5.4 Μοντέλο ARIMA

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα **τελικά υποψήφια μοντέλα** πρόβλεψης ARIMA για το Λεκανοπέδιο Αθηνών, συνοδευόμενα από τους αντίστοιχους στατιστικούς ελέγχους. Επίσης, ελέγχεται η ακρίβεια του μοντέλου πρόβλεψης μέσω των σφαλμάτων MSE, RMSE, MAE όπως ορίστηκαν στο κεφάλαιο 3.

	Candidate Model	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	AIC	BIC
Χωρίς το Καλοκαίρι							
Οδηγοί	ar1	-0,51998	0,10594	-4,9084	9,18E-07	507,243	521,383
	ar2	-0,29171	0,12149	-2,4011	0,016346		
	ar3	-0,50213	0,11926	-4,2102	2,55E-05		
	ar4	-0,28951	0,12829	-2,2567	0,024029		
	ar5	0,3684	0,1261	2,9214	0,003485		
Πεζοί	ar1	-0,49322	0,10698	-4,6104	4,02E-06	582,2	596,34
	ar2	-0,24927	0,11747	-2,122	0,033838		
	ar3	-0,33855	0,12479	-2,7128	0,006671		
	ar4	-0,31234	0,13254	-2,3565	0,018447		
	ar5	0,34823	0,12796	2,7214	0,006501		
Με το Καλοκαίρι							
Οδηγοί	ar1	-1,2768	0,09787	-13,046	2.2e-16	647,8	663,309
	ar2	-1,1475	0,135	-8,5002	2.2e-16		
	ar3	-1,2013	0,12596	-9,5377	2.2e-16		
	ar4	-1,0976	0,12846	-8,5438	2.2e-16		
	ar5	-0,3233	0,11375	-2,8424	0.004477		
Πεζοί	ar1	-0,38654	0,090314	-4,2799	0.0000186	721,824	737,394
	ar2	-0,16205	0,098747	-1,641	0,10079		
	ar3	-0,17873	0,105808	-1,6892	0,09118		
	ar4	-0,17699	0,109543	-1,6157	0,10616		
	ar5	0,478456	0,106715	4,4835	0.0000073		

Πίνακας 5. 13: Μοντέλο ARIMA για την κυκλοφορία στο Λεκανοπέδιο Αθηνών

	Με το Καλοκαίρι						Χωρίς το Καλοκαίρι					
Για το train δείγμα (15/6/2020-22/7/2020)												
Μεταβλητή	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1
Οδηγοί	-0,112	5,9879	4,24	-0,02	4,159	0,0006	0,0098	5,63982	3,9626	-0,22	3,5808	-0,06
Πεζοί	0,689	8,5648	6,545	0,324	4,628	-0,055	1,30537	9,15041	6,7681	0,743	4,6552	-0,05
Για το τεστ (Y1-Y2) (23/7/2020 - 31/7/2020)												
Οδηγοί	14,13	14,847	14,13	12,6	12,6	0,0892	8,96386	10,3955	8,9639	7,998	7,9976	-0,06
Πεζοί	-0,402	7,9718	6,407	-0,3	4,539	-0,093	-4,8121	8,8552	7,1648	-3,34	5,0705	0,103

Πίνακας 5. 14: Μετρήσεις απόδοσης για τα μοντέλα πρόβλεψης ARIMA της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας

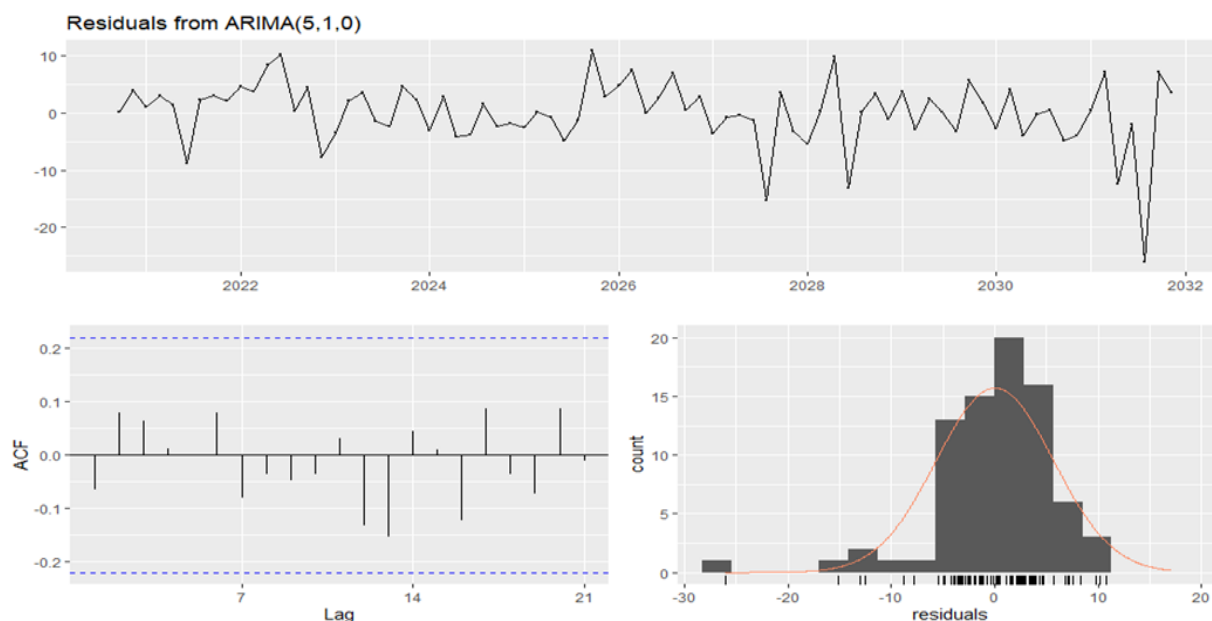
Σύμφωνα με τον πίνακα 5.13 όλα τα μοντέλα πρόβλεψης φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικά με εξαίρεση τα μοντέλα πρόβλεψης ar2, ar3, ar4 της κυκλοφορίας των πεζών για το οποίο έχουν ληφθεί υπόψη τα δεδομένα που καταγράφηκαν κατά τον μήνα Αύγουστο ($\Pr(>|z|) < 0,05$). Σύμφωνα με τον πίνακα 5.14 και λαμβάνοντας υπόψη τον έλεγχο MAPE για τον δείγμα ελέγχου (23/7-31/7), η μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης παρατηρείται κυρίως στην κυκλοφορία οδηγών χωρίς την περίοδο του καλοκαιριού. Λαμβάνοντας υπόψη και τα διαγράμματα των συναρτήσεων συχότητας και αυτοσυχότητας που προέκυψαν από τις αναλύσεις των εν λόγω χρονοσειρών, τα καλύτερα μοντέλα πρόβλεψης προέκυψαν μέσω του πακέτου πρόβλεψης στην γλώσσα προγραμματισμού R, όπως περιγράφεται στον ακόλουθο πίνακα.

Μεταβλητή	ARIMA μοντέλο
Χωρίς το Καλοκαίρι	
Diff(οδηγοί)	(5,1,0)
Diff(πεζοί)	(5,1,0)

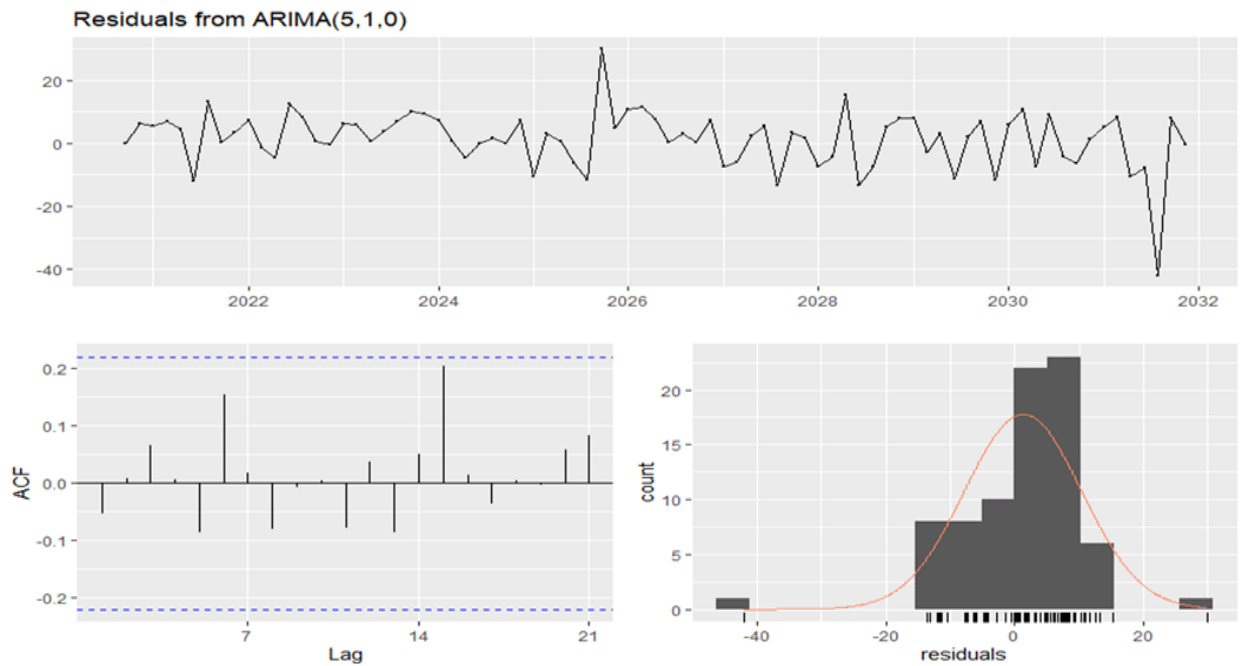
Πίνακας 5. 15: Μοντέλα Πρόβλεψης ARIMA για την κυκλοφορία στο Λεκανοπέδιο

5.6 Υπολείμματα

Προκειμένου να επικυρωθούν τα επιλεγόμενα μοντέλα ARIMA, ελέγχθηκαν επίσης τα υπολείμματά τους, όπως απεικονίζεται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.29: Υπολειπόμενα Κυκλοφορίας Οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (χωρίς το καλοκαίρι)



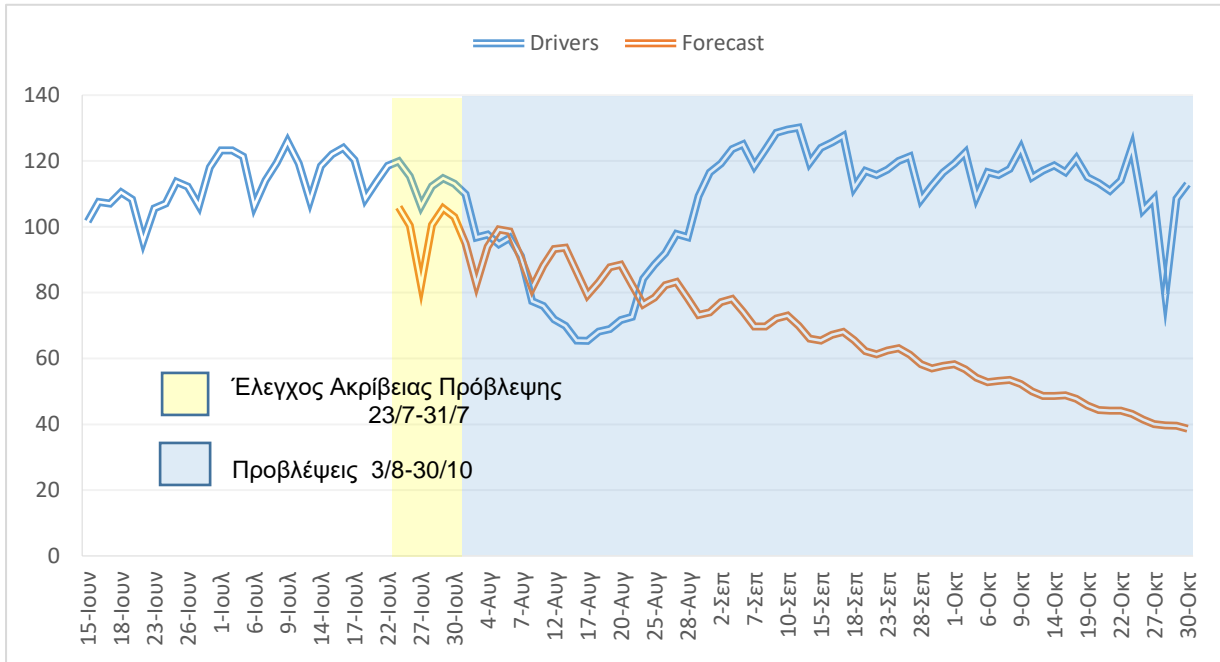
Διάγραμμα 5.30: Υπολειπόμενα κυκλοφορίας Πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (χωρίς το καλοκαίρι)

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα τα υπολείμματα φαίνεται να είναι διασκορπισμένα τυχαία και δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι οι όροι σφάλματος συσχετίζονται μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, τα υπολείμματα ή τα σφάλματα μπορούν να θεωρηθούν ως ανεξάρτητα και ταυτόσημα κατανομημένες ακολουθίες με σταθερή διακύμανση και μηδενικό μέσο όρο. Επομένως, τα αναπτυγμένα μοντέλα ARIMA φαίνεται να είναι καλά προσαρμοσμένα και επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη.

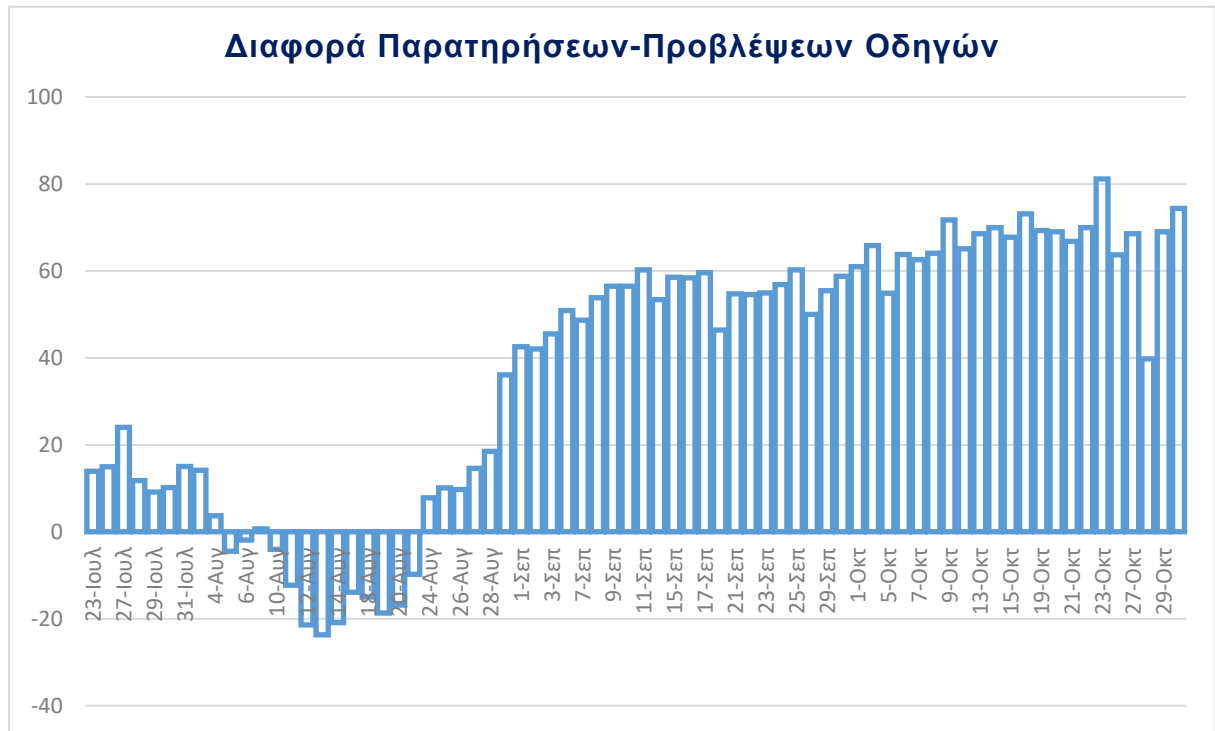
5.7 Προβλέψεις Κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο

Παρακάτω παρουσιάζονται οι προβλέψεις που πραγματοποιήθηκαν για την κυκλοφορία στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας λαμβάνοντας υπόψη και μη τον μήνα Αύγουστο. Επίσης, προκειμένου να προκύψει μία συνολική εικόνα της διαφοράς μεταξύ των προβλεπόμενων και των παρατηρούμενων τιμών, υπολογίσθηκαν τα σφάλματα MAPE, RMSE, ACF1 καθώς και το ελάχιστο, μέγιστο και ο μέσος όρος των δύο μεταβλητών (κυκλοφορία οδηγών και πεζών) όπως παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Οι προβλέψεις πραγματοποιήθηκαν από 3/8/2020 (θεωρώντας και τον Αύγουστο δηλαδή, ενώ για την ανάλυση χωρίς τον Αύγουστο από 1/9/2020) (γαλάζιο πλαίσιο) έως και 30/10/2020 ενώ ως χρονικό διάστημα για τον έλεγχο της ακρίβειας του μοντέλου πρόβλεψης επιλέχθηκε το διάστημα 23/7/2020 έως και 31/7/2020 (κίτρινο πλαίσιο).

Λεκανοπέδιο με το Καλοκαίρι

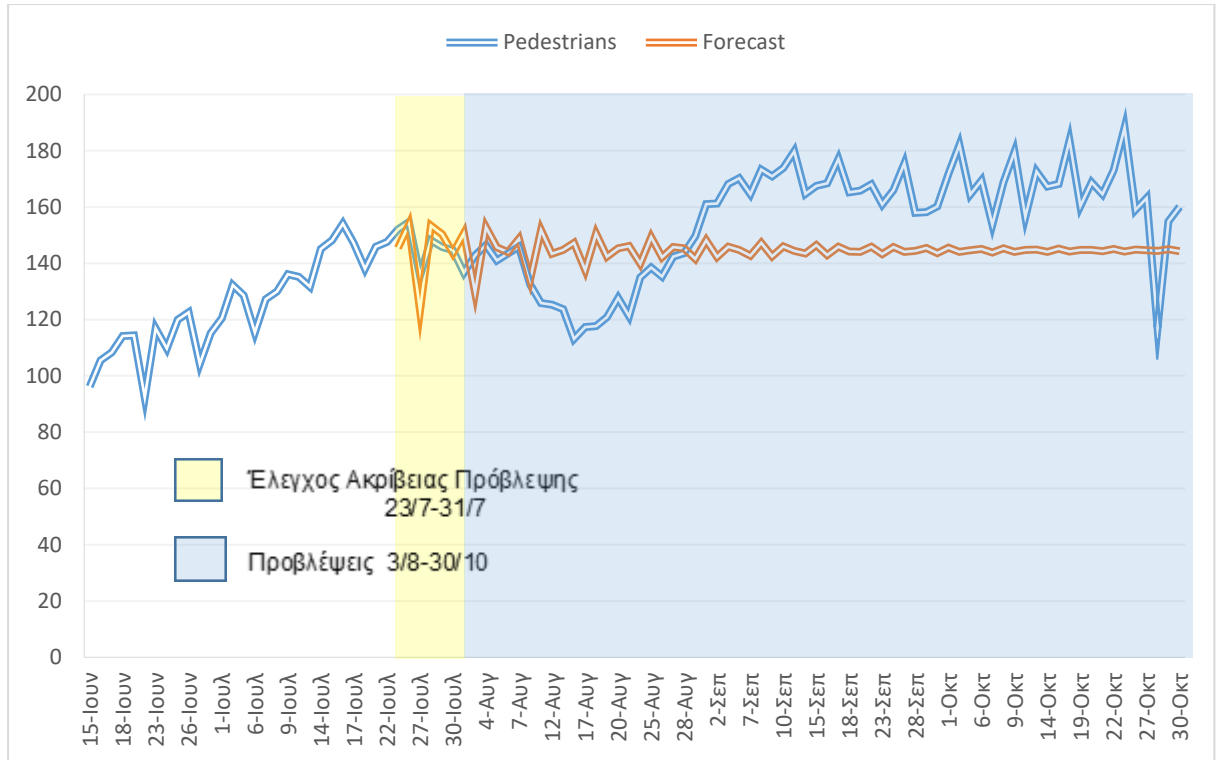


Διάγραμμα 5.31: Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (με το Καλοκαίρι)

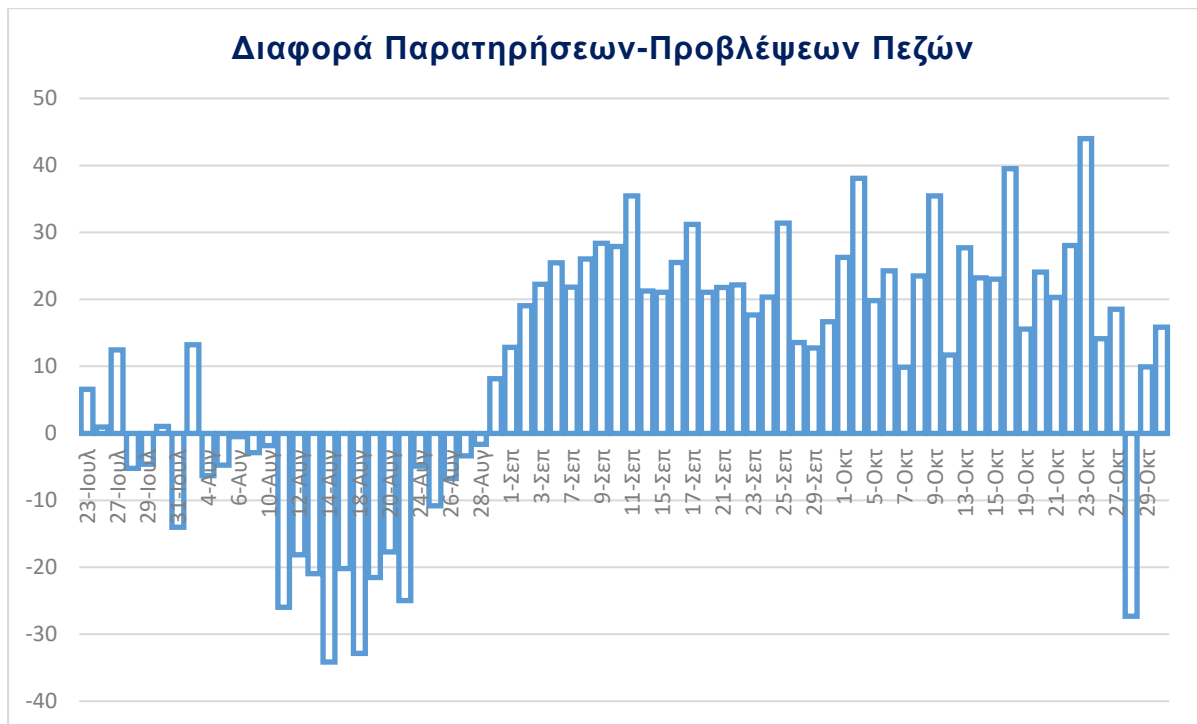


Διάγραμμα 5.32: Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέψεων κυκλοφορίας Οδηγών

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα



Διάγραμμα 5.33: Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (με το Καλοκαίρι)



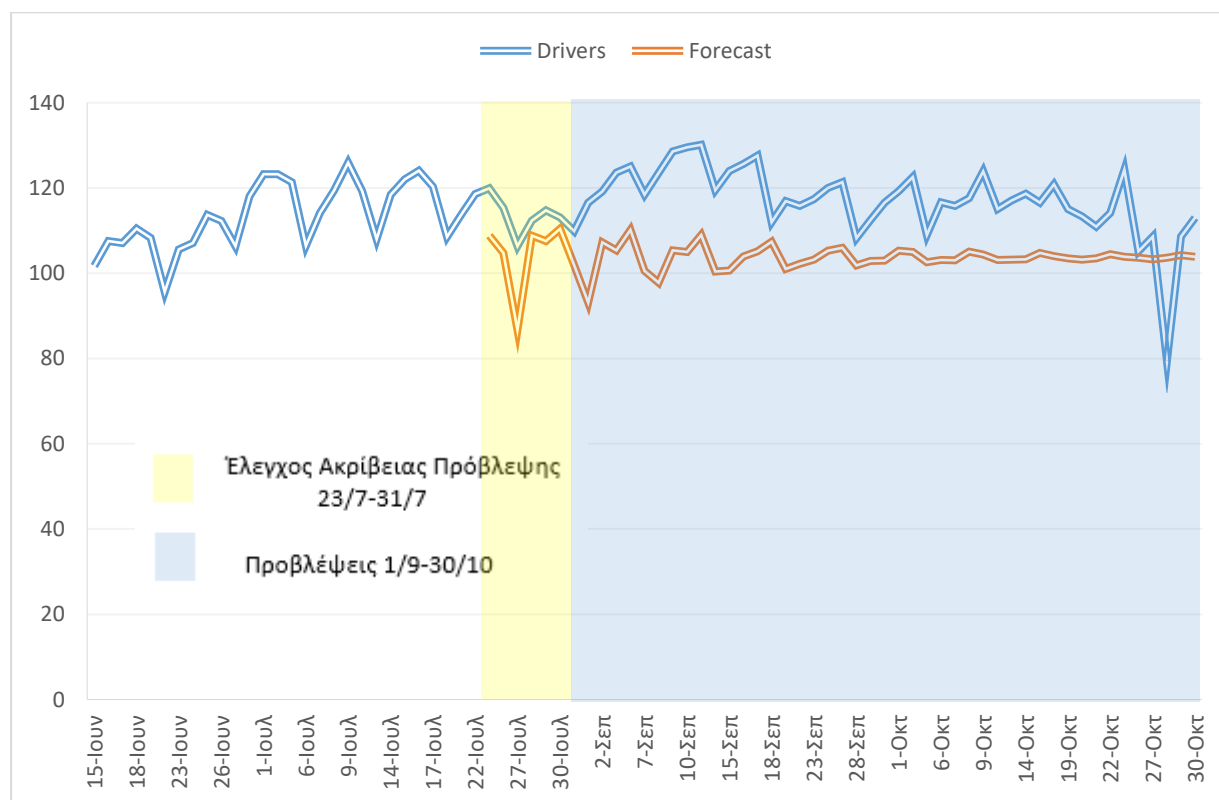
Διάγραμμα 5.34: Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέσεων κυκλοφορίας Πεζών

Σφάλμα για μελλοντική πρόβλεψη (3/8/2020-30/10/2020)						
Μεταβλητές	MAPE	RMSE	ACF1	MIN DIFF (13/8 & 14/8)	MAX DIFF (23/10 & 23/10)	AVERAGE
Οδηγοί	40,10	50,70	0,95	-23,70	81,12	37,36
Πεζοί	12,78	22,22	0,77	-34,15	43,99	9,99

Πίνακας 5. 16: Έλεγχοι Σφαλμάτων για την μελλοντική πρόβλεψη με το καλοκαίρι

Το **σφάλμα MAPE** για την πρόβλεψη της μεταβολής των οδηγών είναι αισθητά μεγαλύτερο από εκείνο της μεταβολής των πεζών με διαφορά 27,32%. Ούτως ή άλλως το εν λόγω συμπέρασμα προκύπτει και από το Διάγραμμα 5.31, αφού στην περίπτωση της κυκλοφορίας των οδηγών η διαφορά των παρατηρούμενων με τις προβλεπόμενες τιμές είναι αισθητή.

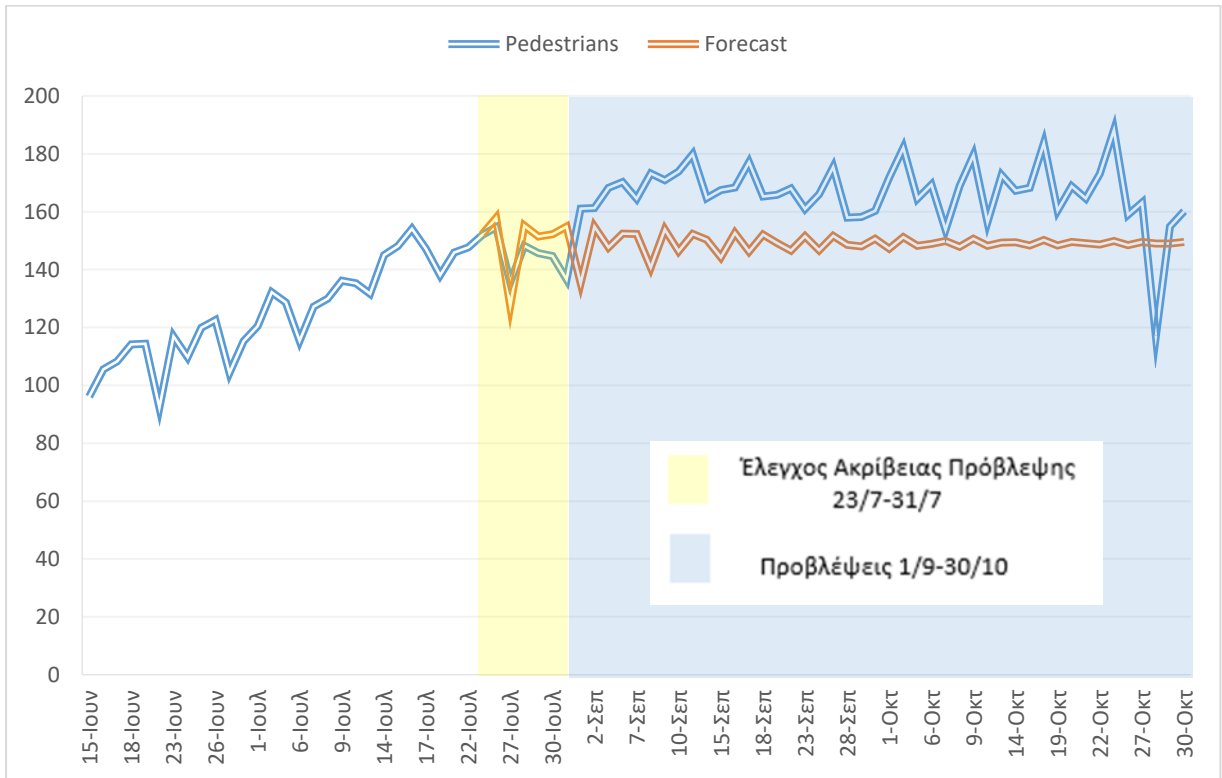
Λεκανοπέδιο χωρίς το Καλοκαίρι



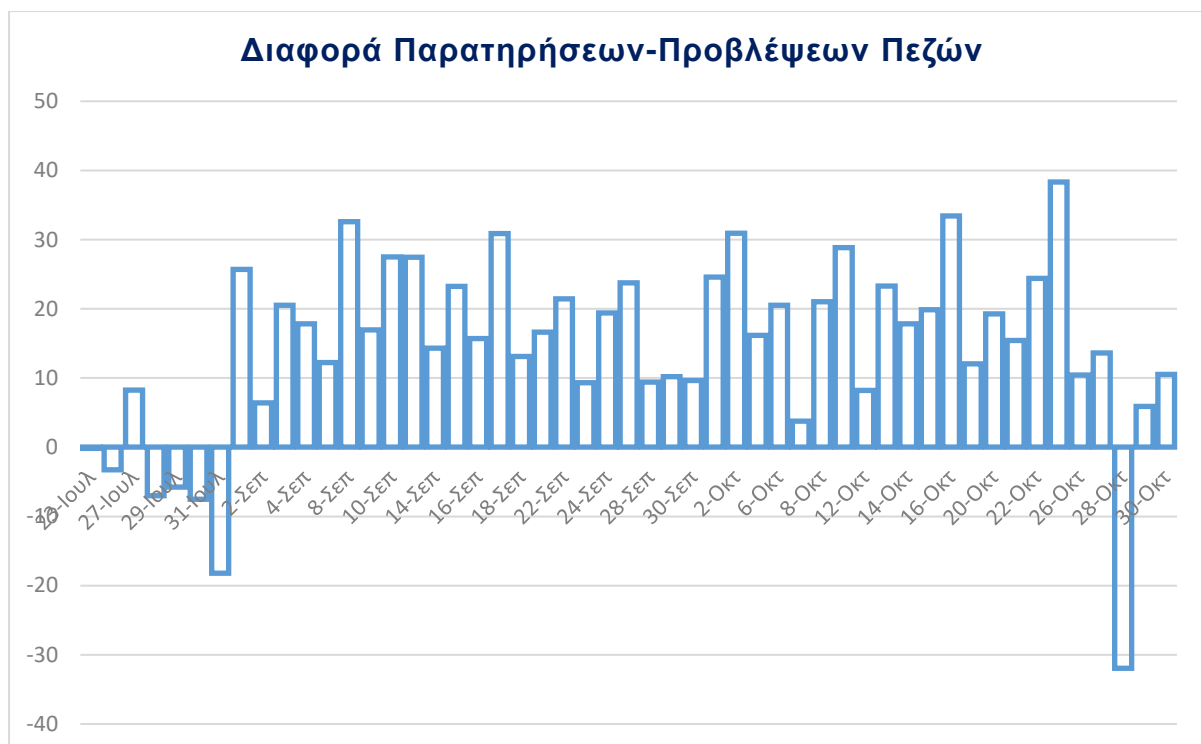
Διάγραμμα 5.35: Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (χωρίς το Καλοκαίρι)



Διάγραμμα 5.36: Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέψεων κυκλοφορίας Οδηγών (χωρίς το Καλοκαίρι)



Διάγραμμα 5.37: Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών (χωρίς το Καλοκαίρι)



Διάγραμμα 5.38: Διαφορά Παρατηρήσεων-Προβλέψεων κυκλοφορίας Πεζών (χωρίς το Καλοκαίρι)

Σφάλμα για μελλοντική πρόβλεψη (1/9/2020-30/10/2020)						
Μεταβλητές	MAPE	RMSE	ACF1	MIN DIFF (28/10 & 28/10)	MAX DIFF (8/9 & 23/10)	AVERAGE
Οδηγοί	12,45	15,86	0,40	-24,20	25,78	12,94
Πεζοί	27,87	32,95	0,32	-31,94	38,34	14,45

Πίνακας 5. 17: Έλεγχοι Σφαλμάτων για την μελλοντική πρόβλεψη χωρίς το καλοκαίρι

Στην περίπτωση που δεν λήφθηκε στις μετρήσεις ο Αύγουστος διαπιστώνονται ακόμα μικρότερα σφάλματα στην πρόβλεψη τόσο της μεταβολής των οδηγών όσο και σε εκείνη των πεζών με αποτέλεσμα οι προβλέψεις να βρίσκονται πιο κοντά με τις παρατηρήσεις. Συγκεκριμένα, από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η πρόβλεψη της κυκλοφορίας των οδηγών αποκλίνει σε μικρότερο βαθμό από τις παρατηρούμενες τιμές σε σχέση με την κυκλοφορία των πεζών. Ακολούθως παρουσιάζονται οι τιμές πρόβλεψης της κυκλοφορίας των πεζών (Εικόνα 5.5) και οδηγών (Εικόνα 5.4) στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα ARIMA που αναπτύχθηκαν. Στην δεύτερη στήλη (Point Forecast) φαίνονται οι προβλέψεις της κυκλοφορίας πεζών και οδηγών αντίστοιχα που πραγματοποιήθηκαν από 23 Ιουλίου έως και 30 Οκτωβρίου του 2020. Στις επόμενες στήλες παρουσιάζονται οι προβλέψεις σε διαστήματα εμπιστοσύνης 80% και 95%.

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα

```

> frc
Point Forecast      Lo 80      Hi 80      Lo 95      Hi 95
2032.000    108.80111  101.28222  116.31999  97.30196  120.3002
2032.143    104.76498  96.42470  113.10526  92.00962  117.5203
2032.286     86.68232  77.65709  95.70755  72.87942  100.4852
2032.429    108.83043  99.76071  117.90016  94.95948  122.7014
2032.571    107.49386  98.19375  116.79397  93.27057  121.7171
2032.714    110.41320  99.24657  121.57984  93.33532  127.4911
2032.857    101.91210  90.18393  113.64027  83.97541  119.8488
2033.000     93.07836  80.74088  105.41584  74.20981  111.9469
2033.143    107.23196  94.84435  119.61957  88.28674  126.1772
2033.286    105.38037  92.63676  118.12397  85.89071  124.8700
2033.429    110.18666  96.51365  123.85968  89.27559  131.0977
2033.571    100.54636  86.37549  114.71723  78.87389  122.2188
2033.714     97.73490  83.08287  112.38692  75.32656  120.1432
2033.857    105.34581  90.61176  120.07986  82.81202  127.8796
2034.000    104.97551  89.84903  120.10199  81.84156  128.1095
2034.143    108.92115  93.23210  124.61020  84.92682  132.9155
2034.286    100.41835  84.25923  116.57748  75.70511  125.1316
2034.429    100.63542  84.10245  117.16840  75.35042  125.9204
2034.571    103.93275  87.27160  120.59389  78.45173  129.4138
2034.714    105.14566  88.11272  122.17861  79.09603  131.1953
2034.857    107.35930  89.92164  124.79696  80.69070  134.0279
2035.000    101.00351  83.13026  118.87675  73.66873  128.3383
2035.143    102.17897  84.00297  120.35496  74.38118  129.9768
2035.286    103.17386  84.82445  121.52327  75.11086  131.2369
2035.429    105.31103  86.63083  123.99123  76.74213  133.8799
2035.571    105.97484  86.96093  124.98875  76.89558  135.0541
2035.714    101.82491  82.41947  121.23035  72.14685  131.5030
2035.857    102.86102  83.19373  122.52831  72.78249  132.9396
2036.000    102.94732  83.07354  122.82110  72.55300  133.3416
2036.143    105.27914  85.11407  125.44422  74.43932  136.1190
2036.286    104.96719  84.50282  125.43157  73.66963  136.2648
2036.429    102.57706  81.76698  123.38715  70.75078  134.4033
2036.571    103.09672  82.04600  124.14744  70.90243  135.2910
2036.714    103.03709  81.76230  124.31188  70.50010  135.5741
2036.857    105.06601  83.53008  126.60194  72.12965  138.0024
2037.000    104.34451  82.52932  126.15970  70.98106  137.7080
2037.143    103.12680  81.00659  125.24700  69.29686  136.9567
2037.286    103.16038  80.81003  125.51074  68.97847  137.3423
2037.429    103.25107  80.67181  125.83033  68.71907  137.7831
2037.571    104.76189  81.94211  127.58166  69.86206  139.6617
2037.714    104.01972  80.93600  127.10344  68.71622  139.3232
2037.857    103.46104  80.10486  126.81723  67.74084  139.1812
2038.000    103.19554  79.61503  126.77604  67.13227  139.2588
2038.143    103.46524  79.65895  127.27154  67.05666  139.8738
2038.286    104.45443  80.42119  128.48767  67.69876  141.2101
2038.429    103.88304  79.59993  128.16615  66.74523  141.0209
2038.571    103.62722  79.09607  128.15837  66.11007  141.1444
2038.714    103.25433  78.50356  128.00510  65.40129  141.1074
2038.857    103.62274  78.65300  128.59249  65.43481  141.8107
2039.000    104.19824  79.01082  129.38566  65.67741  142.7191
2039.143    103.84233  78.41851  129.26614  64.95995  142.7247

```

Εικόνα 5. 4: Προβλέψεις Κυκλοφορίας Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών μη λαμβάνοντας το καλοκαίρι υπόψη

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα

```
> frc
```

	Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
2032.000	152.2011	140.0020	164.4002	133.54415	170.8581	
2032.143	157.8722	144.1960	171.5484	136.95626	178.7882	
2032.286	127.4045	112.4259	142.3832	104.49668	150.3124	
2032.429	155.2186	139.8331	170.6042	131.68848	178.7488	
2032.571	151.4798	135.7969	167.1627	127.49491	175.4647	
2032.714	152.1769	133.5379	170.8159	123.67099	180.6828	
2032.857	154.8398	135.3982	174.2813	125.10652	184.5730	
2033.000	135.3213	114.6707	155.9718	103.73898	166.9036	
2033.143	154.9019	133.8182	175.9856	122.65712	187.1467	
2033.286	147.6884	126.1489	169.2279	114.74664	180.6302	
2033.429	152.3844	129.2688	175.5000	117.03216	187.7367	
2033.571	152.2610	128.5515	175.9706	116.00042	188.5217	
2033.714	140.6808	115.9278	165.4338	102.82434	178.5372	
2033.857	153.9049	128.7206	179.0892	115.38885	192.4210	
2034.000	146.3321	120.6030	172.0612	106.98288	185.6814	
2034.143	152.3651	125.6173	179.1129	111.45792	193.2723	
2034.286	150.3742	123.1016	177.6467	108.66440	192.0840	
2034.429	144.2531	116.0979	172.4083	101.19351	187.3127	
2034.571	152.6963	124.1148	181.2778	108.98470	196.4079	
2034.714	146.2103	117.0507	175.3699	101.61456	190.8061	
2034.857	152.0997	122.1940	182.0055	106.36280	197.8366	
2035.000	149.1718	118.7665	179.5771	102.67087	195.6728	
2035.143	146.5750	115.4228	177.7272	98.93186	194.2182	
2035.286	151.5578	119.9832	183.1323	103.26869	199.8469	
2035.429	146.6406	114.4916	178.7896	97.47293	195.8083	
2035.571	151.6683	118.9205	184.4161	101.58486	201.7518	
2035.714	148.5188	115.2842	181.7534	97.69090	199.3468	
2035.857	148.0231	114.1482	181.8980	96.21593	199.8303	
2036.000	150.6215	116.3275	184.9156	98.17329	203.0697	
2036.143	147.2471	112.4025	182.0917	93.95681	200.5374	
2036.286	151.1661	115.8078	186.5243	97.09021	205.2419	
2036.429	148.2527	112.4193	184.0861	93.45022	203.0551	
2036.571	148.8709	112.4778	185.2640	93.21249	204.5294	
2036.714	149.9243	113.1157	186.7328	93.63039	206.2181	
2036.857	147.8378	110.5110	185.1646	90.75143	204.9242	
2037.000	150.6697	112.8811	188.4582	92.87708	208.4623	
2037.143	148.2288	109.9791	186.4785	89.73092	206.7267	
2037.286	149.3195	110.5700	188.0690	90.05720	208.5817	
2037.429	149.4497	110.2899	188.6095	89.55993	209.3395	
2037.571	148.3289	108.6847	187.9731	87.69833	208.9595	
2037.714	150.2285	110.1560	190.3011	88.94281	211.5142	
2037.857	148.3362	107.8189	188.8536	86.37026	210.3022	
2038.000	149.5146	108.5418	190.4874	86.85209	212.1771	
2038.143	149.1574	107.7813	190.5335	85.87814	212.4367	
2038.286	148.6969	106.8680	190.5257	84.72520	212.6685	
2038.429	149.8667	107.6324	192.1009	85.27495	214.4584	
2038.571	148.4984	105.8371	191.1597	83.25364	213.7432	
2038.714	149.5595	106.4759	192.6431	83.66877	215.4502	
2038.857	149.0006	105.5225	192.4787	82.50662	215.4947	
2039.000	148.9493	105.0464	192.8521	81.80560	216.0929	
2039.143	149.5894	105.2981	193.8806	81.85175	217.3270	

Εικόνα 5. 5: Προβλέψεις Κυκλοφορίας Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών μη λαμβάνοντας το καλοκαίρι υπόψη

6. Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

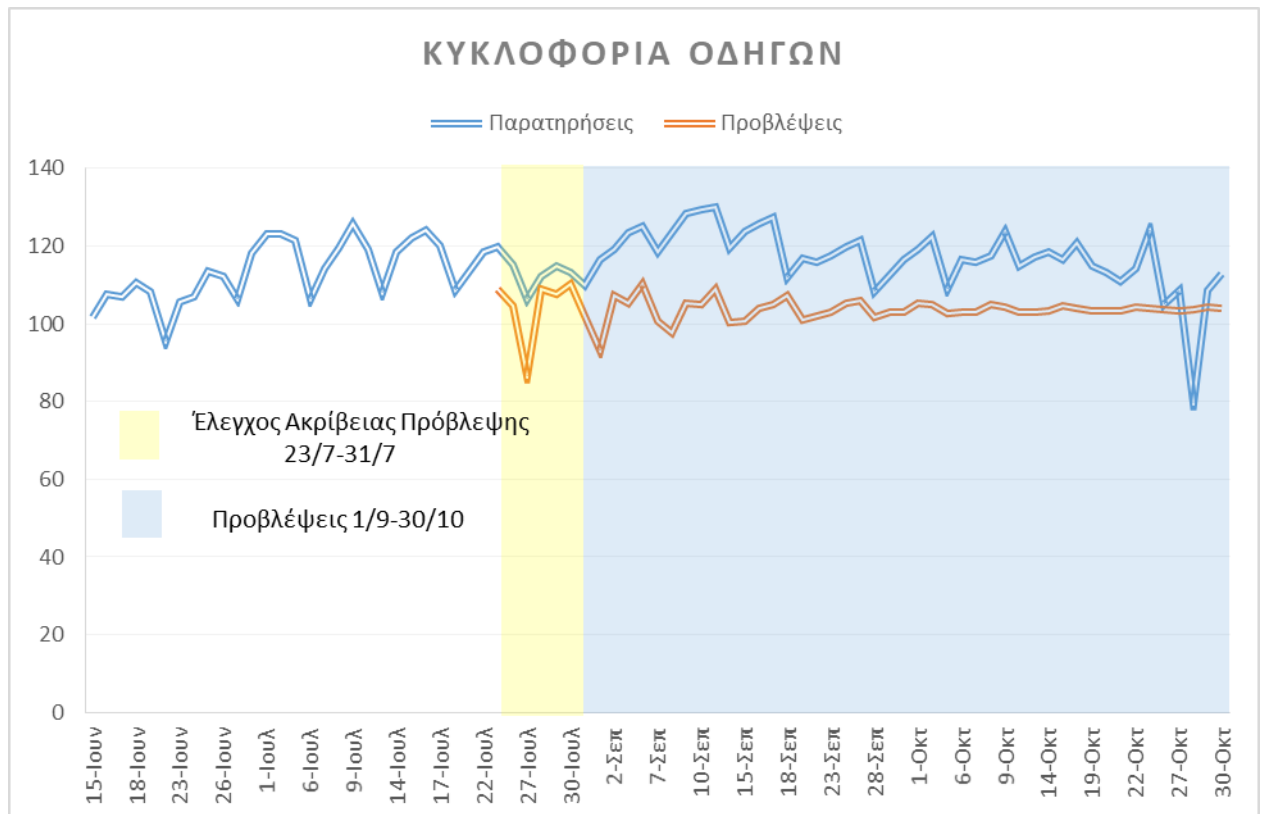
Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **ανάλυση χρονοσειρών κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών στην Αθήνα**, κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας (Ιούνιος - Οκτώβριος 2020). Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει δύο επιμέρους στόχους. Καταρχάς, επιδιώκεται να αξιολογηθεί η επίδραση στην κυκλοφορία της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας. Δεύτερο επιμέρους στόχο αποτελεί η αξιολόγηση της εξέλιξη της κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας την ίδια περίοδο, η οποία συμπίπτει με το διάστημα ανάμεσα στις δύο περιόδους περιορισμών της κυκλοφορίας κατά την πανδημία.

Για τον σκοπό αυτό, αξιοποιούνται **δύο βάσεις δεδομένων που αποτελούνται από κυκλοφοριακά δεδομένα** που καταγράφηκαν στην Αθήνα την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Η πρώτη βάση δεδομένων αφορά στη σύνθεση της κυκλοφορίας σε επιβατικά ΙΧ, ταξί, μοτοσυκλέτες και στον φόρτο πεζών σε επιλεγμένους οδικούς άξονες στο κέντρο της Αθήνας που συλλέχθηκαν μέσω μετρήσεων του ΕΜΠ. Η δεύτερη βάση δεδομένων που αξιοποιήθηκε, αφορά στην εξέλιξη της κυκλοφορίας πεζών και οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας από τη σχετική εφαρμογή της Apple.

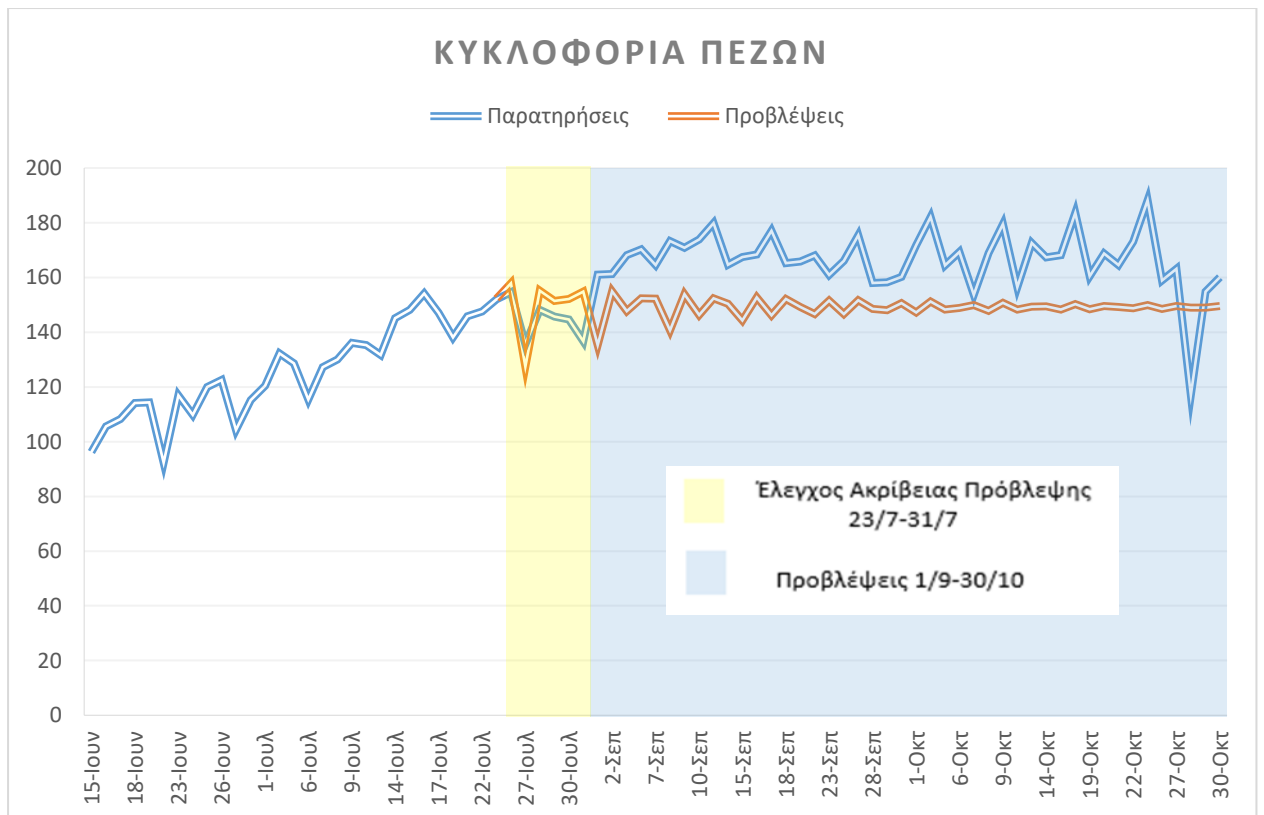
Καταρχήν, πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική ανάλυση που οδήγησε σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα και για τους δύο επιμέρους στόχους (Μεγάλος Περίπατος και Λεκανοπέδιο Αθήνας). Στη συνέχεια, μέσω της ανάλυσης χρονοσειρών αναπτύχθηκαν **στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης κυκλοφορίας (ARIMA)**, με χρήση γλώσσας προγραμματισμού R, τα οποία αποδείχθηκαν στατιστικά σημαντικά μόνο για την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας. Στον πίνακα και στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα μοντέλα ARIMA που αναπτύχθηκαν και οι παρατηρούμενες και προβλεπόμενες τιμές μεταβολής της κυκλοφορία πεζών και οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (χωρίς να έχουν χρησιμοποιηθεί τα δεδομένα του Αυγούστου ως μη αντιπροσωπευτικά).

	Candidate Model	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	AIC	BIC
Χωρίς το Καλοκαίρι							
Οδηγοί	ar1	-0,51998	0,10594	-4,9084	9,18E-07	507,243	521,383
	ar2	-0,29171	0,12149	-2,4011	0,016346		
	ar3	-0,50213	0,11926	-4,2102	2,55E-05		
	ar4	-0,28951	0,12829	-2,2567	0,024029		
	ar5	0,3684	0,1261	2,9214	0,003485		
Πεζοί	ar1	-0,49322	0,10698	-4,6104	4,02E-06	582,2	596,34
	ar2	-0,24927	0,11747	-2,122	0,033838		
	ar3	-0,33855	0,12479	-2,7128	0,006671		
	ar4	-0,31234	0,13254	-2,3565	0,018447		
	ar5	0,34823	0,12796	2,7214	0,006501		

Πίνακας 6.2: Συγκεντρωτικός πίνακας αποδεκτών μοντέλων ARIMA



Διάγραμμα 6. 3: Παρατηρούμενη και Προβλεπόμενη κυκλοφορία Οδηγών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών χωρίς το Καλοκαίρι



Διάγραμμα 6. 4: Παρατηρούμενες και Προβλεπόμενες μεταβολές Πεζών στο Λεκανοπέδιο Αθηνών χωρίς το Καλοκαίρι

6.2 Συμπεράσματα

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μία σειρά συμπερασμάτων που συνδέεται άμεσα με τους αρχικούς στόχους και τα ερωτήματά της. Τα γενικά συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

6.2.1. Ανάλυση σύνθεσης της κυκλοφορίας κατά τη δοκιμαστική εφαρμογή του Μεγάλου Περιπάτου

- Η **ανάλυση της χρήσης επιβατικών ΙΧ**, έδειξε ότι σε όλους τους υπό εξέταση οδικούς άξονες (Πανεπιστημίου, κεντρικοί οδικοί άξονες, οδικοί άξονες εισόδου και εξόδου), εκτός από τους περιφερειακούς οδικούς άξονες, σημειώθηκε μείωση του ποσοστού χρήσης ΙΧ τη δεύτερη περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου (4 λωρίδες κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου μετά το τέλος Ιουλίου 2020) σε σχέση με την πρώτη περίοδο (3 κυκλοφοριακές λωρίδες). Σημαντικότερη μείωση στο ποσοστό χρήσης των ΙΧ παρατηρήθηκε στην Πανεπιστημίου (-7%), που ήταν και ο οδικός άξονας που επηρεάστηκε άμεσα από την αλλαγή κυκλοφοριακών λωρίδων. Ενδεχομένως κάτι τέτοιο παρατηρείται επειδή οι οδηγοί επιβατικών ΙΧ προσαρμόστηκαν στις νέες κυκλοφοριακές συνθήκες της Πανεπιστημίου, με αποτέλεσμα το ποσοστό συμμετοχής τους στην κυκλοφορία να μειώθηκε.
- Όσον αφορά στα **ταξί** παρατηρήθηκε αύξηση της χρήσης τους στους περισσότερους υπό εξέταση οδικούς άξονες εκτός από τους οδικούς άξονες εισόδου και τους περιφερειακούς, στους οποίους δεν σημειώθηκε κάποια αξιόλογη μεταβολή με την αύξηση της διατομής της οδού στην Πανεπιστημίου. Υψηλότερη ποσοστιαία αύξηση (+9%) στη χρήση ταξί, σημειώθηκε στην οδό Πανεπιστημίου που εφαρμόστηκε η κυκλοφοριακή επέμβαση. Ενδεχομένως, κάτι τέτοιο να αιτιολογείται από την αντίστοιχη μείωση της χρήσης ΙΧ κυρίως στην Πανεπιστημίου και στους κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση.
- Όσον αφορά στις **μοτοσυκλές** σημειώθηκαν μικρές μεταβολές ύστερα από τη δημιουργία της επιπλέον κυκλοφοριακής λωρίδας στην Πανεπιστημίου τόσο στην ίδια την οδό όσο και στους υπόλοιπους οδικούς άξονες υπό εξέταση ενώ στους οδικούς άξονες εισόδου δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή. Συμπερασματικά, η αύξηση της διατομής της οδού στην Πανεπιστημίου, φαίνεται να μην επηρέασε σημαντικά την κυκλοφορία των μοτοσυκλετών.
- Τέλος, για τον φόρτο των **πεζών** παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στην Πανεπιστημίου αλλά και στους εγγύς κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση, με ποσοστό αύξησης κατά μέσο όρο 54% και 27%, αντίστοιχα. Ενδεχομένως, αυτή η αύξηση να οφείλεται στις καλύτερες καιρικές συνθήκες, που επικρατούν τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο συγκριτικά με τον Ιούνιο και Ιούλιο. Ωστόσο, κυρίως στους οδικούς άξονες εισόδου και εξόδου σημειώθηκε μείωση των πεζών, ενδεχομένως λόγω της αύξησης του αριθμού των ΙΧ από την επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας στην Πανεπιστημίου.

- Επισημαίνεται ότι, σχεδόν **καμία χρονοσειρά** με δεδομένα της σύνθεσης της κυκλοφορίας, δεν καλύπτει τις απαιτήσεις (π.χ. στασιμότητα, τυχαιότητα, λευκός θόρυβος) για την ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης της κυκλοφορίας **λόγω της επιρροής του Μεγάλου Περιπάτου**. Η μόνη χρονοσειρά που φαινομενικά ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις είναι η χρονοσειρά της μεταβλητής που αντιπροσωπεύει την χρήση ταξί στους κεντρικούς οδικούς άξονες υπό εξέταση, κάτι που ίσως να αποτελεί τυχαίο γεγονός. 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 (μετρήσεις 14 εβδομάδων). Επομένως, τα μοντέλα ARIMA δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για προβλέψεις όταν η χρονοσειρά προς ανάλυση αποτελείται από μικρό αριθμό στοιχείων (<15).

6.2.2 Πρόβλεψη κυκλοφορίας στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας

- Η **κυκλοφορία των οδηγών** στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο συγκριτικά με την περίοδο πριν την άρση περιορισμών κυκλοφορίας, με εξαίρεση τον μήνα Αύγουστο λόγω καλοκαιρινών διακοπών που εμφανίζεται να είναι μειωμένη αισθητά. Η **κυκλοφορία των πεζών** στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας εμφανίζει ανοδική τάση μέχρι και τα τέλη Ιουλίου, όπου και εκεί ξεκινάει η αναμενόμενη μείωση της κυκλοφορίας τους λόγω των διακοπών του Αυγούστου. Στις αρχές Σεπτεμβρίου παρατηρείται πλέον σταθεροποίηση στον αριθμό των πεζών που είναι λίγο υψηλότερος από τις τιμές του Ιουνίου και του Ιουλίου, ενδεχομένως λόγω των καλύτερων καιρικών συνθηκών (λιγότερη ζέστη).
- Αναπτύχθηκαν κατάλληλα μοντέλα πρόβλεψης που **τηρούν όλες τις προϋποθέσεις των μοντέλων ARIMA**, (στασιμότητα, τυχαιότητα, στατιστικοί έλεγχοι) για την κυκλοφορία τόσο των πεζών όσο και των οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας στο διάστημα χωρίς περιορισμούς, ανάμεσα στις δύο περιόδους περιορισμών της κυκλοφορίας κατά την πανδημία, δηλαδή από 15 Ιουνίου έως και 30 Οκτωβρίου μη συμπεριλαμβάνοντας τον μήνα Αύγουστο (χωρίς το καλοκαίρι).
- Από το καλοκαίρι και μετά εμφανίζεται η προβλεπόμενη **κυκλοφορία πεζών** να είναι πιο χαμηλή σε σχέση με την παρατηρούμενη. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι το καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος) παρατηρείται χαμηλότερη κυκλοφορία πεζών λόγω καλοκαιρινών διακοπών και υψηλής θερμοκρασίας ενώ οδεύοντας προς το φθινόπωρο, βελτιώνονται οι καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καλύτερες συνθήκες για περπάτημα.
- Από το καλοκαίρι και μετά εμφανίζεται η προβλεπόμενη **κυκλοφορία οδηγών** στο Λεκανοπέδιο να είναι πιο χαμηλή σε σχέση με την παρατηρούμενη. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην αραιότερη κυκλοφορία των οχημάτων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που οι περισσότεροι άνθρωποι παραθερίζουν ενώ από τον Σεπτέμβρη και μετά επιστρέφουν σταδιακά στην καθημερινότητα.
- Οι διάφοροι τύποι σφαλμάτων (MSE, RMSE, MAE, MAPE) στο δείγμα ελέγχου που ορίστηκε για την αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης, παρουσίασαν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές, γεγονός που αποτέλεσε ισχυρή ένδειξη για **ικανοποιητική ακρίβεια προσαρμογής** των επιλεγμένων μοντέλων στο

Λεκανοπέδιο της Αθήνας μη λαμβάνοντας υπόψη το καλοκαίρι. Οι αντίστοιχοι έλεγχοι για τα μοντέλα πρόβλεψης ARIMA που έλαβαν υπόψη και τον Αύγουστο, έδωσαν ελαφρώς χειρότερα αποτελέσματα κυρίως για τους οδηγούς.

- Οι **βραχυπρόθεσμες προβλέψεις**, δηλαδή οι προβλέψεις που έγιναν έως και τα τέλη Σεπτεμβρίου ήταν κατά κανόνα ακριβείς. Όσο μεγάλωνε ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης, τόσο απέκλιναν τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τη διαφορά τόσο των οδηγών όσο και των πεζών. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχει ληφθεί υπόψη η εποχικότητα στα μοντέλα πρόβλεψης που τελικώς επιλέχθηκαν ως καταλληλότερα.
- Τα μοντέλα Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) αποδείχτηκαν **κατάλληλα μοντέλα χρονοσειρών** για την πρόβλεψη της κυκλοφορίας πεζών και οδηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας.

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

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που εξάχθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασία, επιχειρείται η **παράθεση** μίας σειράς **προτάσεων**, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας και της κινητικότητας στην Αθήνα κατά τη πανδημία και μετά από αυτή.

- Δημιουργώντας, επεκτείνοντας και αναβαθμίζοντας τους **πεζόδρομους** αλλά και διαμορφώνοντας ελεύθερους χώρους πρασίνου ενθαρρύνεται ο πολίτης να περπατάει για να φτάσει στον προορισμό του διατηρώντας φυσικά τις απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ τους. Φυσικό επόμενο είναι η εξάλειψη σκηνών συνωστισμού και έτσι η διατήρηση χαμηλού ιικού φορτίου στην κοινωνία.
- Απαραίτητη είναι επίσης η έμφαση στον ποδηλατικό τρόπο ζωής. Αρχικώς σκόπιμο είναι να εξασφαλιστεί αρκετός χώρος για **κατασκευή ποδηλατόδρομων**. Επακόλουθο αυτής της ενέργειας θα είναι η χρήση τους από ολοένα και περισσότερους ανθρώπους πληρώνοντας όλα τα αναγκαία μέτρα για τη μη διάδοση του κορωνοϊού, αφού θα υπάρχει πληθώρα ποδηλατικών διαδρομών.
- Ο αρμόδιος οργανισμός διαχείρισης των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς πρέπει να φροντίζει ώστε να παρέχει υψηλές υπηρεσίες στον χρήστη, διασφαλίζοντας άνεση, **καθαριότητα** και πιο **συχνά δρομολόγια**. Πρέπει δηλαδή να γίνει σαφές πως τα ΜΜΜ μπορούν να αποτελέσουν ένα ασφαλές, με όλες τις έννοιες, μέσο χωρίς να εκτίθενται οι χρήστες τους σε υψηλά ποσοστά κορωνοϊού.
- **Οι εκπαιδευτικοί φορείς** μπορούν να καλλιεργήσουν στα παιδιά την **αντίληψη**, από νεαρή ηλικία, για την σημαντικότητα της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς για την προστασία του περιβάλλοντος και πρωτίστως να

μαθαίνουν για τα οφέλη που έχει στην ψυχική και σωματική τους υγεία το περπάτημα αλλά και η χρήση του ποδηλάτου. Κατά αυτόν τον τρόπο θα έχει επιτευχθεί η προτίμηση των νέων πολιτών για περπάτημα και μετά την πανδημία.

- Ακόμα, απαιτείται ενημέρωση μέσω συνεχούς **εκστρατείας από τα ΜΜΕ** για τον σωστό και αποτελεσματικό τρόπο χρήσης των ΜΜΜ, διατηρώντας όλες τις απαιτούμενες αποστάσεις.

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:

- Η μελέτη θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει και τα **δεδομένα** κατά την περίοδο του **κορωνοϊού** μετά τον Οκτώβρη. Έχοντας δηλαδή μεγαλύτερο χρονικό δείγμα, θα μπορούσε να κατανοηθεί περισσότερο η επίδραση της πανδημίας στη σύνθεση της κυκλοφορίας και τα συμπεράσματα να ήταν πιο αξιόπιστα.
- Η μεθοδολογία της ανάλυσης χρονοσειρών θα ήταν χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση της κυκλοφορίας στους βασικότερους **οδικούς άξονες** (κεντρικούς, εισόδου, εξόδου, περιφερειακούς) **μεμονωμένα** και όχι κατηγοριοποιώντας τους και βγάζοντας τους μέσους όρους τους, διότι ενδεχομένως ο κάθε άξονας να εμφανίζει ξεχωριστά αποτελέσματα.
- Η χρήση μοντέλων ARIMA και επομένως η δημιουργία αξιόπιστων προβλέψεων, τηρώντας τους απαιτούμενους περιορισμούς, θα φανεί χρήσιμη και σε άλλες μελλοντικές **έρευνες και μελέτες** που θα περιλαμβάνουν **περισσότερα στοιχεία**. Χρήσιμη θα ήταν δηλαδή η διάθεση της κυκλοφοριακής σύνθεσης στο Λεκανοπέδιο ή οι ταχύτητες διαδρομών ή οι χρόνοι διαδρομής ή πυκνότητα κυκλοφορίας ή ο χρονικός και χωρικός διαχωρισμός.

7. Βιβλιογραφία

1. Wang, W., Baumann, M., & Jiang, X. (Eds.). (2020). Green, Smart and Connected Transportation Systems: Proceedings of the 9th International Conference on Green Intelligent Transportation Systems and Safety (Vol. 617). Springer Nature.
 2. Wang, X., Smith, K. A., & Hyndman, R. J. (2006). Characteristic-based clustering for time series data. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 13(3), 335–364.
 3. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. OTexts.
 4. Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
 5. Dettling, M. (2018). *Applied Time Series Analysis - Lecture notes SS 2018*.
 6. Hyndman, R. J., & Khandakar, Y. (2007). Automatic time series forecasting : the forecast package for R Automatic time series forecasting : the forecast package for R. June.
 7. Smith, T. G. et al. (2017). *ARIMA estimators for Python*. <http://www.alkaline-ml.com/pmdarima>.
 8. Ma, T., Antoniou, C., & Toledo, T. (2020). Hybrid machine learning algorithm and statistical time series model for network-wide traffic forecast. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111(January), 352–372. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.12.022>
 9. Ma, T., Zhou, Z., & Antoniou, C. (2018). *Dynamic factor model for network traffic state forecast*. 118, 281–317. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.10.018>
 10. Ljung, G. M., & Box, G. E. P. (1978). On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, 65(2), 297–303. <https://doi.org/10.1093/biomet/65.2.297>
 11. Adrangi, B., Chatrath, A., & Raffiee, K. (2001). The demand for US air transport services: A chaos and nonlinearity investigation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(5), 337–353. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(00\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(00)00017-X)
 12. Alekseev, K. P. G., & Seixas, J. M. (2009). A multivariate neural forecasting modeling for air transport - Preprocessed by decomposition: A Brazilian application. *Journal of Air Transport Management*, 15(5), 212–216. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2008.08.008>
 13. Billings, D., & Yangt, J. (2006). Application of the ARIMA Models to Urban Roadway Travel Time. 2529–2534.
 14. Chen, Chenyi, Hu, J., Meng, Q., & Zhang, Y. (2011). Short-time traffic flow prediction with ARIMA-GARCH model. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, 100084(Iv), 607–612. <https://doi.org/10.1109/IVS.2011.5940418>
 15. Chung, E., & Rosalion, N. (2001). Short Term Traffic Flow Prediction. *Proceedings of the 24th Australian Transportation Research Forum*, Hobart, Tasmania
 16. Dong, H., Jia, L., Sun, X., Li, C., & Qin, Y. (2009). Road Traffic Flow Prediction with a Time-Oriented ARIMA Model. 1, 1649–1652. <https://doi.org/10.1109/NCM.2009.224>
- Energie gGmbH) (2016). *The Role of Walking and Cycling in Reducing Congestion: A Portfolio of Measures*

17. Gavirangaswamy, V. B. (2013). Assessment of ARIMA-based Prediction Techniques for Road-Traffic Volume. 246–251.
18. Ghosh, B., Basu, B., & O'Mahony, M. (2005). Time-series modelling for forecasting vehicular traffic flow in Dublin. 85th Annual Meeting of the ..., 12(00353), 1–22. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2015.2434597>
19. Han, C., & Song, S. (2003). A review of some main models for traffic flow forecasting. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 1, 216–219. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1251951>
20. Hipel, K., & McLeod, A. (1994). Chapter 12 seasonal autoregressive integrated moving average models. *Developments in Water Science*, 45.
21. Karlaftis, M. G., & Vlahogianni, E. I. (2009). Memory properties and fractional integration in transportation time-series. 17, 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.03.001>
22. Kumar, S. V., & Vanajakshi, L. (2015). Short-term traffic flow prediction using seasonal ARIMA model with limited input data. *European Transport Research Review*, 7(3), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12544-015-0170-8>
23. Li, K., Zhai, C., & Xu, J. (2017). Short-term Traffic Flow Using a Methodology Based on ARIMA _and RBF-ANN. *IEEE*.
24. Lippi, M., Bertini, M., & Frasconi, P. (2013). Short-term traffic flow forecasting: An experimental comparison of time-series analysis and supervised learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(2), 871–882. <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2247040>
25. Miller, J. W. (2019). ARIMA Time Series Models for Full Truckload Transportation Prices. i, 121–134. <https://doi.org/10.3390/forecast1010009>
26. Nair, A. S., Liu, J. C., Rilett, L., & Gupta, S. (2001). Non-linear analysis of traffic flow. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 68, 681–685. <https://doi.org/10.1109/itsc.2001.948742>
27. OECD / ECMT (2007). *Managing Urban Traffic Congestion*. Paris.: http://www.oecd-ilibrary.org/transport/managing-urban-trafficcongestion_9789282101506-en.
28. Pan, B., Demiryurek, U., & Shahabi, C. (2012). Utilizing real-world transportation data for accurate traffic prediction. *Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining, ICDM*, 595–604. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2012.52>
29. Shang, P., Li, X., & Kamae, S. (2005). Chaotic analysis of traffic time series. *Chaos, Solitons and Fractals*, 25(1), 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2004.09.104>
30. Simon Washington, Matthew Karlaftis, Fred Mannering, Panagiotis Anastasopoulos (2020). *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*, Third Edition.
31. Tang, X., & Deng, G. (2016). *Prediction of Civil Aviation Passenger Transportation Based on ARIMA Model*. 824–834. <https://doi.org/10.4236/ojs.2016.65068>
32. Thorsten Koska, Frederic Rudolph (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt,
33. Tran, Q. T., Ma, Z., Li, H., Hao, L., & Trinh, Q. K. (2015). A Multiplicative Seasonal ARIMA/GARCH Model in EVN Traffic Prediction. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 08(04), 43–49. <https://doi.org/10.4236/ijcns.2015.84005>
34. Tselentis, D. I., Vlahogianni, E. I., & Karlaftis, M. G. (2015). Improving short-term traffic forecasts: To combine models or not to combine? *IET Intelligent Transport Systems*, 9(2), 193–201. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2013.0191>

35. Tsirigotis, L., Vlahogianni, E. I., & Karlaftis, M. G. (2012). Does Information on Weather Affect the Performance of Short-Term Traffic Forecasting Models? *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13177-011-0037-x>
36. Williams, B. (2003). Modeling and Forecasting Vehicular Traffic Flow as a Seasonal ARIMA Process: Theoretical Basis and Empirical Results Article. *Journal of Transportation Engineering*, 129(6). [https://doi.org/10.1061/ASCE10733-947X\(2003\)129:6\(664\) CE](https://doi.org/10.1061/ASCE10733-947X(2003)129:6(664) CE)
37. Yannis, G., Antoniou, C., & Papadimitriou, E. (2011). Autoregressive nonlinear time-series modeling of traffic fatalities in Europe. *European Transport Research Review*, 3(3), 113–127. <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0055-4>