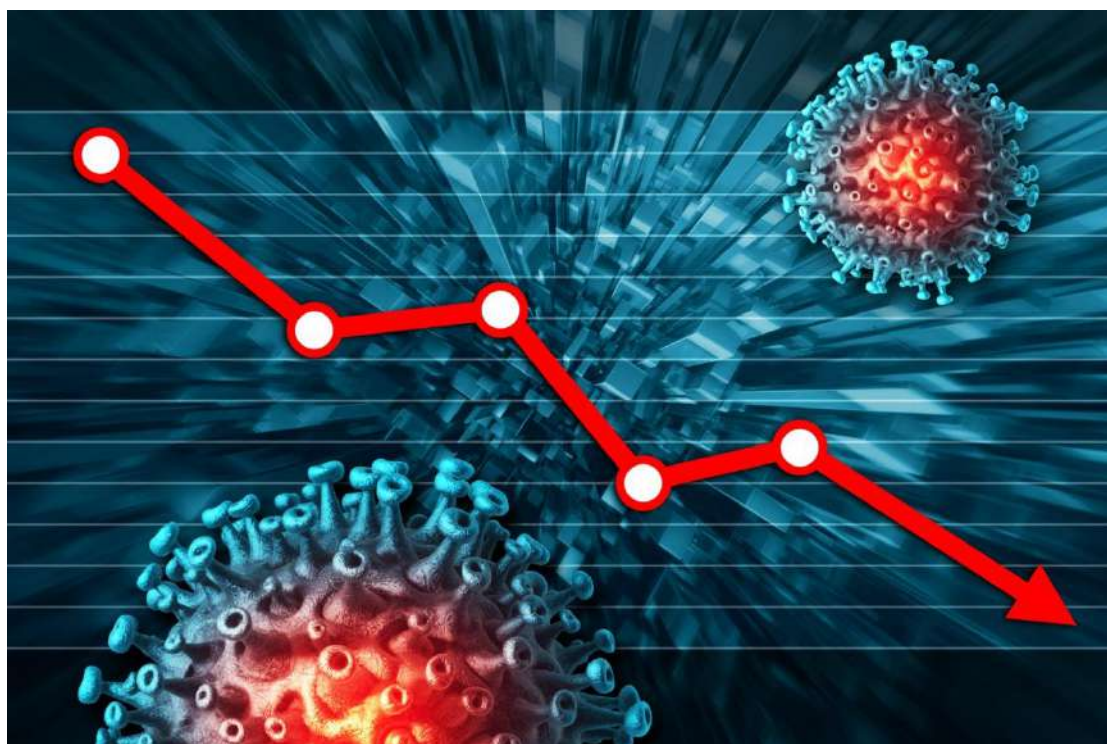




Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ**



Ελένη Μπλατσούκα

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία σηματοδοτεί το πέρας των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον κύριο Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής αυτής εργασίας, καθώς και για την καθοριστική καθοδήγησή του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το Δρ. Χρήστο Κατρακάζα για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε και για το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Ελένη Μπλατσούκα

Διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας στην κινητικότητα στην Ελλάδα, με ανάλυση χρονοσειρών

Ελένη Μπλατσούκα

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

Σύνοψη

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού στην κινητικότητα στην Ελλάδα, με ανάλυση χρονοσειρών. Για το σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν στοιχεία κινητικότητας και περιοριστικών μέτρων από διαδικτυακές βάσεις δεδομένων. Για την ανάλυση των δεδομένων, αναπτύχθηκαν μοντέλα χρονοσειρών ARIMA για την Ελλάδα και την Αθήνα με εξαρτημένη μεταβλητή την οδήγηση ή το περπάτημα και με εξωγενή παράγοντα ένα από τα περιοριστικά μέτρα. Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, προέκυψε σημαντικός αριθμός μοντέλων για την εκτίμηση της κινητικότητας. Το κλείσιμο των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και το lockdown (αυστηρή σύσταση παραμονής στην κατοικία και μετακίνησης μόνο για τα απαραίτητα) αποτελούν τους πιο σημαντικούς εξωγενείς παράγοντες για την περιγραφή της οδήγησης και του περπατήματος στην πανδημία, ενώ δεν αποτελούν σημαντικούς παράγοντες η απαγόρευση της κυκλοφορίας συγκεκριμένες ώρες της ημέρας και η υποχρεωτική χρήση μάσκας σε όλους του δημόσιους χώρους. Επιπλέον, τα εποχικά μοντέλα φαίνεται να παράγουν καλύτερες προβλέψεις σε σχέση με τα μη εποχικά.

Λέξεις κλειδιά: κινητικότητα, οδήγηση, περπάτημα, περιοριστικά μέτρα, κλείσιμο εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, lockdown, μοντέλα χρονοσειρών ARIMA.

Investigation of the impact of the COVID-19 pandemic on mobility in Greece using time series analysis

Eleni Blatsouka

Supervisor: George Yiannis, Professor NTUA

Abstract

The aim of the present diploma thesis is to investigate the impact of the pandemic on mobility in Greece, using time series analysis. On that purpose, data on mobility and restrictive measures were collected from online databases. For data analysis, ARIMA time series models were developed for Greece and Athens with dependent variable driving or walking and with exogenous factor one of the restrictive measures. The application of the methodology resulted in a significant number of models, appropriate to estimate mobility trends. It can be concluded that closing of educational institutions and lockdown (recommendation for staying at home and moving only if necessary) are the most important exogenous factors for describing mobility, while the curfew and the mandatory use of mask in all public areas are not significant factors. In addition, seasonal models appear to produce better forecasts than the non-seasonal ones.

Keywords: mobility, driving, walking, restrictive measures, closing of educational institutions, lockdown, ARIMA timeseries models

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει **στόχο τη διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας στην κινητικότητα στην Ελλάδα, με ανάλυση χρονοσειρών**. Για το σκοπό αυτόν, αναπτύχθηκαν μοντέλα χρονοσειρών για την περιγραφή και πρόβλεψη της κινητικότητας στην Ελλάδα και στην Αθήνα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, αποκτήθηκαν από τις αναφορές δεδομένων κινητικότητας της Apple, αντιπροσωπεύουν **στοιχεία κινητικότητας** και εκφράζονται ως ημερήσιες ποσοστιαίες μεταβολές από τις τιμές βάσης (Ιανουάριος 2020) και αποτελούν τις εξαρτημένες μεταβλητές της ανάλυσης. Ταυτόχρονα, από τον Ελληνικό Οργανισμό Δημόσιας Υγείας, το Ελληνικό Υπουργείο Υγείας και τα κυβερνητικά δελτία Τύπου ανακτήθηκαν στοιχεία για τα **ληφθέντα μέτρα περιορισμού της κυκλοφορίας**, τα οποία στη συνέχεια αποτέλεσαν τους εξωγενείς παράγοντες της ανάλυσης.

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο, αναπτύχθηκαν **στατιστικά μοντέλα χρονοσειρών** για την οδήγηση και το περπάτημα στην Ελλάδα και στην Αθήνα, σε αντιστοιχία με τα περιοριστικά μέτρα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Στατιστικά μοντέλα χρονοσειρών

A/A	Εξαρτημένη Μεταβλητή	Εξωγενής Παράγοντας	Μοντέλο
1	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (3,1,2)
2	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (2,1,2)
3	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (0,1,1)(1,0,1)
4	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (2,1,2)
5	Περπάτημα στην Ελλάδα	Lockdown	ARIMA (2,1,3)
6	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (3,1,2)
7	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (5,1,0)
8	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή λιανική	ARIMA (1,0,0)(0,1,1)
9	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή λιανική	ARIMA (5,1,0)
10	Περπάτημα στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (1,0,0)(0,1,1)
11	Περπάτημα στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (5,1,0)
12	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (5,1,0)
13	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (5,1,0)
14	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,0)(1,1,2)
15	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,1)(0,1,1)
16	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (5,1,0)
17	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (0,1,2)(1,0,1)
18	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (3,1,2)
19	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (0,1,2)(1,0,1)
20	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (2,1,3)
21	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (1,1,1)(1,0,1)
22	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (2,1,3)
23	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (1,0,2)(2,0,0)

24	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (3,0,1)
25	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (1,0,2)(2,0,0)
26	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (5,0,0)
27	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (3,0,1)
28	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,2)(2,0,0)
29	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,2)
30	Οδήγηση στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (0,1,2)(2,0,0)
31	Οδήγηση στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (5,1,0)

Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση φαίνονται παρακάτω

- ❖ Το κλείσιμο των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων αποτελεί **τον πιο σημαντικό εξωγενή παράγοντα** για την περιγραφή της κινητικότητας. Αποτελεί το πρώτο χρονικά ληφθέν μέτρο και διαταράσσει τη συνηθισμένη ροή του προγράμματος των οικογενειών, άρα και της κινητικότητας. Τα κλειστά εκπαιδευτικά ιδρύματα μειώνουν αφενός την κινητικότητα των μαθητών (σε τοπικό κυρίως επίπεδο) και των καθηγητών (σε τοπικό, αλλά πολύ συχνά και σε διαδημοτικό επίπεδο) και αφετέρου και των γονέων, καθώς γίνεται απαραίτητη η παραμονή τους στο σπίτι για τη φύλαξη των παιδιών. Με τα κλειστά εκπαιδευτικά ιδρύματα ως εξωγενή παράγοντα, αναπτύσσονται 15 από τα 31 στατιστικά σημαντικά μοντέλα και για τις 4 εξεταζόμενες κατηγορίες κινητικότητας: Περπάτημα και Οδήγηση στην Ελλάδα και στην Αθήνα.
- ❖ Το lockdown (αυστηρή σύσταση παραμονής στην κατοικία και μετακίνησης μόνο για τα απαραίτητα), αποτελεί **σημαντικό παράγοντα** της περιγραφής και πρόβλεψης της κινητικότητας. Παράγει 5 από τα 31 στατιστικά σημαντικά μοντέλα. Ιδιαίτερα κατά την πρώτη φάση της πανδημίας, το πρωτόγνωρο της κατάστασης συνετέλεσε στην σε πολύ υψηλό βαθμό πειθάρχηση των πολιτών στο μέτρο, γεγονός που αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα στην τεράστια πτώση της κινητικότητας. Αποτελεί το πιο σκληρό επιβληθέν μέτρο, αλλά η διάρκεια εφαρμογής του είναι μικρότερη της διάρκειας εφαρμογής των κλειστών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, στο οποίο πιθανώς οφείλεται η ανάπτυξη λιγότερων αριθμητικά στατιστικά σημαντικών μοντέλων.
- ❖ **Δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικά μοντέλα** για τα περιοριστικά μέτρα που επιβλήθηκαν πρώτη φορά κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης της πανδημίας. Δηλαδή, τα μέτρα της απαγόρευσης της κυκλοφορίας συγκεκριμένες ώρες της ημέρας και της υποχρεωτικής χρήσης μάσκας σε όλους τους δημόσιους χώρους δεν είναι στατιστικά σημαντικά για την πρόβλεψη της κινητικότητας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην μεταγενέστερη, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέτρα, εφαρμογή τους, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνονται υπ' όψιν από τα μοντέλα στην πρόβλεψη. Τα μέτρα αυτά επιβλήθηκαν πρώτη φορά στις 24 Οκτωβρίου 2020, συνεπώς, τα μοντέλα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/20-19/11/20 τα περιλαμβάνουν ελάχιστα, ενώ εκείνα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/20-16/10/20 δεν τα περιλαμβάνουν καθόλου.
- ❖ Τα μοντέλα με εποχικότητα παράγουν **προβλέψεις κοντινότερες στην πραγματικότητα** σε σχέση με τα μοντέλα χωρίς εποχικότητα. Αυτό πιθανώς εξηγείται από το ότι τα δεδομένα κινητικότητας παρουσιάζουν εκ φύσεως μια εβδομαδιαία εποχικότητα. Η κυκλοφορία τις καθημερινές διαφέρει από την κυκλοφορία τα σαββατοκύριακα, με αποτέλεσμα την ύπαρξη εβδομαδιαίας περιοδικότητας η οποία στην περίπτωση των μοντέλων χωρίς εποχικότητα δε λαμβάνεται υπ' όψιν.

- ❖ Όσο μεγαλύτερο το σύνολο εκπαίδευσης του μοντέλου (train set), τόσο **καλύτερες οι προβλέψεις** του (test set). Το μεγαλύτερο διάστημα εκπαίδευσης περιλαμβάνει περισσότερα στοιχεία για την κινητικότητα και για τα περιοριστικά μέτρα, με αποτέλεσμα τα μοντέλα να παράγουν καλύτερες και πιο αξιόπιστες προβλέψεις.
- ❖ **Η μείωση της κινητικότητας** στην Ελλάδα και στην Αθήνα είναι μικρότερη κατά τη διάρκεια της δεύτερης φοράς επιβολής του lockdown και των περιοριστικών μέτρων (2^ο κύμα πανδημίας), σε σχέση με την πρώτη φορά, στην αρχή της πανδημίας (1^ο κύμα πανδημίας). Κατά το δεύτερο κύμα της πανδημίας ο ιός δεν είναι πλέον κάτι νέο και άγνωστο. Οι πολίτες έχουν σταδιακά συνηθίσει τις νέες συνθήκες και έχουν προσαρμοστεί σε αυτές. Αυτό, σε συνδυασμό με την κόπωση που επήλθε από τα απανωτά και μεγάλης διάρκειας περιοριστικά μέτρα, είχε ως αποτέλεσμα την άμβλυνση του αρχικού φόβου και τη χαλάρωση της πειθάρχησης των πολιτών στα μέτρα, με συνέπεια τον μη περιορισμό της κινητικότητας στον προσδοκώμενο βαθμό.
- ❖ Η **κλειστή εστίαση** αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην περιγραφή και πρόβλεψη της κινητικότητας για την Αθήνα, αλλά όχι για την Ελλάδα. 5 από τα 18 μοντέλα που αναπτύχθηκαν για την Αθήνα αφορούν στην κλειστή εστίαση, ενώ για την Ελλάδα δεν αναπτύχθηκε κανένα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η κυκλοφορία με σκοπό την εστίαση στην Αθήνα, εξαιτίας του αστικού τρόπου ζωής, κατέχει μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κυκλοφορίας σε σχέση με την επαρχία. Επίσης, είναι πιθανόν ο βαθμός πειθάρχησης των πολιτών της Αθήνας στα μέτρα να ήταν μεγαλύτερος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	3
1.1 Γενική Ανασκόπηση	3
1.2 Στόχος	3
1.3 Μεθοδολογία διπλωματικής εργασίας	4
1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας	4
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	6
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες.....	6
2.2.1 Επίδραση του COVID-19 στο σκοπό και τον τρόπο μετακίνησης.....	6
2.2.2 Επίδραση του COVID-19 στην οδηγική συμπεριφορά και την οδική ασφάλεια	7
2.2.3 Επίδραση του COVID-19 στην κινητικότητα	8
2.2.4 Επίδραση του COVID-19 στην κινητικότητα και στην οδική ασφάλεια	9
2.2.5 Επίδραση του COVID-19 στην κινητικότητα και τον τρόπο μετακίνησης..	9
2.3 Σύνοψη.....	9
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	14
3.1 Εισαγωγή.....	14
3.2 Ανάλυση με χρονοσειρές	14
3.2.1 Αποσύνθεση και στασιμότητα χρονοσειράς	15
3.2.2 Αυτοσυσχέτιση και Μερική αυτοσυσχέτιση	16
3.2.3 Επιλογή των παραμέτρων του μοντέλου	16
3.2.4 Αξιολόγηση των προβλέψεων	17
4. Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων.....	18
4.1. Εισαγωγή.....	18
4.2. Συλλογή δεδομένων	18
4.3. Επεξεργασία δεδομένων	18
4.3.1. Περιγραφική στατιστική	18
4.3.2. Κρούσματα, Θάνατοι και περιοριστικά μέτρα	19
4.3.3. Συσχέτιση των μέτρων με τα στοιχεία κινητικότητας – Κατάρτιση Βασικού Πίνακα.....	20
5. Εφαρμογή Μεθοδολογίας- Αποτελέσματα.....	24
5.1. Εισαγωγή.....	24
5.2. Μόρφωση χρονοσειρών – αποσύνθεση – στασιμότητα	24

5.3. Πρόβλεψη – Αξιολόγηση.....	24
5.4 Αποτελέσματα – μοντέλα πρόβλεψης	25
5.4.1 Γραφική απεικόνιση των στατιστικά σημαντικών μοντέλων χρονοσειρών	27
5.4.2 Γραφική Σύγκριση των διαφορετικών συνόλων εκπαίδευσης των μοντέλων (train sets).....	44
5.4.3 Γραφική σύγκριση των εξωγενών παραγόντων.....	46
6. Συμπεράσματα	51
6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	51
6.2 Σύνοψη Συμπερασμάτων	52
6.3 Προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.....	53
6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	53
Βιβλιογραφία	55

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Από τις αρχές του 2020 η πανδημία του COVID-19 έχει εξαπλωθεί παγκοσμίως, προσβάλλοντας εκατομμύρια ανθρώπους και επηρεάζοντας κάθε πτυχή της καθημερινότητας. Μέχρι το τέλος Δεκεμβρίου 2020 καταγράφηκαν πάνω από 75 εκατομμύρια κρούσματα διεθνώς, με συνολικούς θανάτους να ξεπερνούν το 1,5 εκατομμύριο (Google 2021). Δεδομένης της ραγδαίας εξάπλωσης και της υψηλής μεταδοτικότητας του ιού, οι κυβερνήσεις σε όλον τον κόσμο έχουν υιοθετήσει μια ποικιλία μέτρων για την αναχαίτισή του, συμπεριλαμβανομένων περιορισμών στην κινητικότητα, την κυκλοφορία και την κοινωνική αλληλεπίδραση, της απαγόρευσης των μαζικών συγκεντρώσεων, καθώς και της αναστολής λειτουργίας θρησκευτικών χώρων και χώρων εργασίας και ψυχαγωγίας.

Το πρώτο κρούσμα στην Ελλάδα και ο πρώτος συσχετισμένος θάνατος καταγράφηκαν στις 26 Φεβρουαρίου και στις 19 Μαρτίου 2020 αντίστοιχα (Google 2021). Έκτοτε η ελληνική κυβέρνηση έχει λάβει μια **σειρά από μέτρα για τον περιορισμό της εξάπλωσης της πανδημίας**, με κυριότερα την επιβολή lockdown σε ολόκληρη τη χώρα, δηλαδή την αυστηρή σύσταση παραμονής στην κατοικία και μετακίνησης μόνο για τα απαραίτητα¹, καθώς και την καθολική απαγόρευση της κυκλοφορίας, από τις αρχές Νοεμβρίου 2020, για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα της ημέρας, την αναστολή λειτουργίας των χώρων εστίασης και των καταστημάτων λιανικής, το κλείσιμο των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων όλων των βαθμίδων, των χώρων εργασίας και των αθλητικών κέντρων και τη γενικότερη απαγόρευση της πλειοψηφίας των μετακινήσεων.

Από τα παραπάνω, γίνεται συνεπώς αντιληπτό ότι οι μεγάλες αλλαγές στην καθημερινότητα θα έχουν επιφέρει **αλλαγές και στις μεταφορές** και καθίσταται **αναγκαία η διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας σε ό,τι αφορά την κινητικότητα**.

1.2 Στόχος

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι **η διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας στην κυκλοφορία στην Ελλάδα, με ανάλυση χρονοσειρών**.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται πώς **άλλαξε η κινητικότητα στην Ελλάδα και στην Αθήνα**, λόγω του lockdown και των υπόλοιπων περιοριστικών μέτρων που επιβλήθηκαν.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου υιοθετήθηκε η **ανάλυση χρονοσειρών δεδομένων** που θα οδηγήσει στην εξαγωγή έγκυρων και χρήσιμων αποτελεσμάτων.

Τέλος, σκοπός είναι τα εξαγόμενα από αυτήν τη διπλωματική συμπεράσματα να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της κατάστασης της κυκλοφορίας στην Ελλάδα και στην Αθήνα εν μέσω της πανδημίας και να φανούν **χρήσιμα στη λήψη των αποφάσεων που αφορούν στη διαχείριση της πανδημίας**.

¹ ορισμός του όρου lockdown για όλο το κείμενο

1.3 Μεθοδολογία διπλωματικής εργασίας

Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά η **μεθοδολογία** που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της διπλωματικής εργασίας.

Αρχικό βήμα αποτελεί ο προσδιορισμός του **στόχου της διπλωματικής εργασίας**. Μετά την οριστικοποίηση του επιδιωκόμενου στόχου, πραγματοποιείται **βιβλιογραφική ανασκόπηση** τόσο σε ελληνική όσο και σε διεθνή βιβλιογραφία, με σκοπό την εύρεση παρεμφερών ερευνών και μεθοδολογιών ανάλυσης, τον εντοπισμό ζητημάτων που χρήζουν περαιτέρω έρευνας, καθώς και την αναζήτηση πιθανών τρόπων προσέγγισης και ανάλυσής τους.

Μετά την ολοκλήρωση της αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών, ακολουθεί η **συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων** και διαμορφώνεται η τελική, ηλεκτρονική βάση δεδομένων. Κατόπιν, αναπτύσσονται τα κατάλληλα **μαθηματικά, στατιστικά μοντέλα** που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση αποτελεσμάτων, τα οποία εν συνεχεία περιγράφονται και αναλύονται, για να διεξαχθούν τελικά **συμπεράσματα** και να διατυπωθούν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τα βήματα της παραπάνω μεθοδολογίας παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Γράφημα 1.2).



Γράφημα 1.2: Βήματα μεθοδολογίας διπλωματικής εργασίας

1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η **σύνοψη των κεφαλαίων** που απαρτίζουν τη Διπλωματική Εργασία.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το **κεφάλαιο 1** και περιλαμβάνει μια γενική ανασκόπηση όπου παρουσιάζεται το πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, δηλώνεται ο στόχος της

διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζεται η δομή και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκπόνησή της.

Το **κεφάλαιο 2** αποτελεί τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής αναζήτησης, δηλαδή συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες ,με βάση τις οποίες οριστικοποιείται το θέμα μελέτης και επιλέγονται οι προς εξέταση παράγοντες.

Στο **κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο υπάγεται η επιλεγείσα μέθοδος ανάλυσης και περιγράφονται οι διάφοροι τύποι μαθηματικών μοντέλων και η ανάλυση με χρονοσειρές.

Στο **κεφάλαιο 4** γίνεται παρουσίαση των πηγών συλλογής των στοιχείων και περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας τους, για τον σχηματισμό του τελικού βασικού πίνακα προς ανάλυση.

Στο **κεφάλαιο 5** περιλαμβάνεται η αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε, τα βήματα που ακολουθήθηκαν και παρουσιάζονται τα παραγόμενα αποτελέσματα.

Στο **κεφάλαιο 6**, έπειτα από τη σύνοψη των αποτελεσμάτων, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία των εξαγόμενων μοντέλων. Στο στάδιο αυτό γίνονται και προτάσεις για επακόλουθη έρευνα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, παρουσιάζονται **έρευνες της διεθνούς βιβλιογραφίας, το αντικείμενο και η μεθοδολογία των οποίων παρουσιάζουν συνάφεια** με αυτά της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται επιστημονικές εργασίες που ασχολούνται με την επίδραση της πανδημίας και των μέτρων που λήφθηκαν για την αντιμετώπισή της στην κινητικότητα, τον σκοπό και τον τρόπο μετακίνησης, την οδική ασφάλεια και την οδηγική συμπεριφορά.

Παρακάτω περιγράφονται **συνοπτικά** οι σχετικές έρευνες, οι μέθοδοι ανάλυσης που ακολουθήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τέλος, με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και πιθανές ελλείψεις που παρατηρούνται, επιλέγεται ο ακριβής στόχος της διπλωματικής εργασίας και η καταλληλότερη μέθοδος ανάλυσης.

2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες

2.2.1 Επίδραση του COVID-19 στο σκοπό και τον τρόπο μετακίνησης

Σε έρευνα των Saha et al (2020) του UGB της Ινδίας αναλύεται ο αντίκτυπος του lockdown λόγω COVID-19 στην **κινητικότητα και το σκοπό της μετακίνησης** σε διαφορετικές περιοχές της Ινδίας. Χρησιμοποιώντας δεδομένα κινητικότητας της χρονικής περιόδου από 15 Φεβρουαρίου 2020 έως 30 Απριλίου 2020, που συλλέχθηκαν από την εφαρμογή της Google “COVID-19 Community Mobility Reports” και μέσω τεχνικών μορφοποίησης, μεθόδου time-series trends plotting και IDW τεχνικές χαρτογράφησης, η μελέτη υπολόγισε τις τάσεις κινητικότητας κατά την περίοδο πριν και κατά τη διάρκεια του lockdown σε διάφορες κατηγορίες χώρων. Πιο συγκεκριμένα προέκυψε ότι σε όλη την Ινδία η κινητικότητα στο λιανικό εμπόριο και την αναψυχή, στα παντοπωλεία και τα φαρμακεία, στα πάρκα, στους transit stations και στους χώρους εργασίας μειώθηκε κατά -73.4%, -51.2%, -46.3%, -66% και -56.7% αντίστοιχα, ενώ οι κατ’οίκον επισκέψεις αυξήθηκαν κατά 23.8%. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης και τα αποτελέσματα για την ημέρα έναρξης του lockdown (στις 25 Μαρτίου), όπου φαίνεται μια απότομη μείωση της κινητικότητας στους προαναφερθέντες χώρους της τάξης του -70.51%, -64.26%, -46.17%, -65.6%, -60.03% αντίστοιχα, ενώ οι επισκέψεις σε κατοικίες αυξήθηκαν κατά 26.32%.

Η έρευνα των Jenelius και Cebecaeur (2020) μελετά τις επιπτώσεις της εξάπλωσης του COVID-19 στους **τρόπους μετακίνησης** των πολιτών και κυρίως στις δημόσιες συγκοινωνίες στις τρεις μεγαλύτερες πόλεις της Σουηδίας (Στοκχόλμη, Vastra Gotaland, Skane) κατά την άνοιξη του 2020. Χρησιμοποιώντας αναλυτικά δεδομένα πώλησης και επικύρωσης εισιτηρίων και καταμέτρησης επιβατών εξετάζει σε ποιο βαθμό μειώθηκε ο αριθμός των επιβατών ή ο αριθμός των μετακινήσεων ανά επιβάτη κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Ο ημερήσιος αριθμός επιβατών στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (Μ.Μ.Μ.) βασίστηκε σε δεδομένα επικύρωσης εισιτηρίων του ψηφιακού συστήματος εισιτηρίων SLAccess και σε μετρήσεις αισθητήρων αυτόματης καταμέτρησης επιβατών (APC) στις πόρτες των οχημάτων. Οι ροές ποδηλάτων πεζών και μηχανοκίνητης κυκλοφορίας βρέθηκε με βάση σταθερούς αισθητήρες. Τα συλλεχθέντα δεδομένα καλύπτουν τη χρονική περίοδο από 01/01/2020 έως 31/05/2020 και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα στοιχεία του 2019. Εν τέλει, βλέπουμε μείωση της χρήσης των Μ.Μ.Μ. κατά περίπου 60% μεταξύ Μαρτίου και Μαΐου 2020 στη Στοκχόλμη και κατά περίπου 40% στη Vastra Gotaland, οι ροές πεζών και ποδηλάτων δεν δείχνουν σαφή άνοδο ή πτώση, αλλά φαίνεται μία γενική εκροή από τις δημόσιες

συγκοινωνίες σε αυτούς τους τρόπους μετακίνησης και όσον αφορά τους τύπους εισιτηρίων τα εισιτήρια διάρκειας 30 ημερών αντικαταστάθηκαν από μεμονωμένων διαδρομών, ενώ τα εισιτήρια διάρκειας ενός έτους αυξήθηκαν από τα μέσα Απριλίου.

Τον αντίκτυπο της πανδημίας στις **μετακινήσεις και την κινητικότητα** στην Ολλανδία μελετά η έρευνα των de Haas et al (2020). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από δείγμα 2500 ερωτηθέντων από την Ολλανδική Ομάδα Κινητικότητας (MPN) μεταξύ 27 Μαρτίου και 4 Απριλίου 2020. Χρησιμοποιήθηκαν συγκριτικές αναλύσεις για τη σύγκριση της κατάστασης κατά τη διάρκεια του κορωνοϊού με αυτήν του φθινοπώρου του 2019 και συμπληρώθηκαν από μια δοκιμή χ^2 . Τελικά, το 85% των ερωτηθέντων μείωσε τα ψώνια εκτός σπιτιού, το 90% των ερωτηθέντων μείωσε τις επισκέψεις σε άλλους, το ποσοστό των ατόμων που εργάζονται από το σπίτι αυξήθηκε από 6% σε 39%, οι μετακινήσεις και οι διανυόμενες αποστάσεις μειώθηκαν κατά 55% και 68% αντίστοιχα. Οι μετακινήσεις με Μ.Μ.Μ. μειώθηκαν άνω του 90% , ενώ αυξήθηκε η πεζοπορία, η ποδηλασίας και η χρήση ΙΧ. Επιπλέον παρατηρήθηκε αύξηση της μέσης απόστασης των διαδρομών με ποδήλατο κατά 30% και των διαδρομών με τα πόδια κατά 83%.

Στην έρευνα των Shamshiripour et al (2020) φαίνεται η αλλαγή στην **κινητικότητα και την ταξιδιωτική συμπεριφορά** κατά τη διάρκεια του κορωνοϊού στο Σικάγο. Μέσω ενός ερωτηματολογίου που διανεμήθηκε από τις 25 Απριλίου έως τις 2 Ιουνίου 2020 από τη διαδικτυακή πλατφόρμα Qualtrics και της χρήσης του Google Map API για τη συλλογή των οικιστικών τοποθεσιών των ερωτηθέντων, συλλέχθηκαν 915 δείγματα προς ανάλυση. Χρησιμοποιώντας τις μεθόδους δηλωμένης προτίμησης (SP) και αποκαλυφθείσας προτίμησης (RP) βρέθηκε αύξηση της εργασίας από το σπίτι, αύξηση του online shopping για είδη παντοπωλείου από 20% σε 33% τους μήνες της πανδημίας, αύξηση των online παραγγελιών έτοιμου φαγητού από 42% σε 55%, αύξηση της χρήσης αυτοκινήτου και ποδηλάτου και μείωση της χρήσης Μ.Μ.Μ.

Οι Abdullah et al (2020) εξέτασαν τις αλλαγές λόγω του κορωνοϊού στον **τρόπο και το σκοπό της μετακίνησης**, μέσω διαδικτυακού ερωτηματολογίου που διανεμήθηκε παγκοσμίως μέσω πλατφορμών κοινωνικής δικτύωσης και email. Το ερωτηματολόγιο ήταν διαθέσιμο από 9 Μαΐου έως 31 Μαΐου 2020 και μέσω της τεχνικής δειγματοληψίας snowball συλλέχθηκαν 1203 δείγματα. Στα συλλεχθέντα δεδομένα πραγματοποίησαν περιγραφική ανάλυση, ποσοτικές συγκριτικές αναλύσεις, μη παραμετρικές δοκιμές (όπως McNemar-Bowker, Wilcoxon signed-rank) και λογιστική παλινδρόμηση και συμπέραναν ότι η μετακίνηση για εργασία ως πρωταρχικός σκοπός μετακίνησης μειώθηκε από 58% σε 30% κατά τη διάρκεια της πανδημίας, όπως και τα ψώνια ως πρωταρχικός σκοπός μετακίνησης μειώθηκαν από το 4% στο 44% του δείγματος. Η διάνυση μεγάλων αποστάσεων μειώθηκε, ενώ μικρών αυξήθηκε, η χρήση των Μ.Μ.Μ. έπεσε από 36% σε 13% κατά τη διάρκεια του COVID-19, ενώ το περπάτημα κατά 7% και η οδήγηση αυξήθηκαν κατά 7% και από 32% σε 39% αντίστοιχα.

2.2.2 Επίδραση του COVID-19 στην οδηγική συμπεριφορά και την οδική ασφάλεια

Έρευνα για την επίδραση του COVID-19 στην **οδηγική συμπεριφορά και την οδική ασφάλεια** έκαναν οι Katrakazas et al (2020). Σκοπός της έρευνας να ποσοτικοποιήσει την επίδραση του COVID-19 στην οδηγική συμπεριφορά και την οδική ασφάλεια και να αναγνωρίσει αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά που προκλήθηκαν από τα ληφθέντα περιοριστικά μέτρα. Οι χώρες που επιλέχθηκαν για την έρευνα είναι η Ελλάδα και η Σαουδική Αραβία και τα χρησιμοποιηθέντα δεδομένα καλύπτουν τη χρονική περίοδο 29/12/2019 έως 03/05/2020, (δηλαδή πριν και κατά τη διάρκεια του lockdown). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω μιας ειδικά διαμορφωμένης εφαρμογής της OSeven και αξιολογήθηκαν

μέσω φιλτραρίσματος, επεξεργασίας σήματος, αλγορίθμους machine learning και safety/eco scoring models, αλλά και από την mobility data reports εφαρμογή της Apple. Τελικά, τα αποτελέσματα έδειξαν μια αύξηση των ταχυτήτων κατά 6%-11%, συχνότερες εκδηλώσεις απότομης επιτάχυνσης και φρεναρίσματος (αύξηση έως 12%), καθώς και αύξηση της χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά 42% τον Μάρτιο και Απρίλιο του 2020, ενώ ο αριθμός των ατυχημάτων στην Ελλάδα μειώθηκε κατά 41% τον πρώτο μήνα των περιοριστικών μέτρων.

Οι Qureshi et al (2020) πραγματοποίησαν έρευνα για την επίδραση του lockdown στα **τροχαία ατυχήματα**. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από το Statewide Traffic Accident Records System και αναλύθηκαν 2292 τροχαία ατυχήματα στο Μιζούρι από 1 Ιανουαρίου 2020 έως 15 Μαΐου 2020. Η 23^η Μαρτίου 2020 μετρήθηκε ως η πρώτη μέρα της απαγόρευσης κυκλοφορίας και η 3^η Μαΐου 2020 ως η πρώτη μέρα του νέου ανοίγματος. Ο εντοπισμός των διαφορών μεταξύ των ατυχημάτων πριν και κατά τη διάρκεια του lockdown, αλλά και κατά τη διάρκεια και μετά τη λήξη του lockdown πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου two-sample t-test χρησιμοποιώντας το λογισμικό SAS Studio. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν διακεκομμένες χρονοσειρές (ITS) για τη διερεύνηση των επιπτώσεων του lockdown στα τροχαία ατυχήματα. Υπολογίστηκε η τιμή Durbin-Watson και χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση μοντελοποίησης ARIMA για ITS με PROC AUTOREG στο λογισμικό SAS Studio. Τελικά, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των ατυχημάτων με μικρούς ή καθόλου τραυματισμούς κατά τη διάρκεια του lockdown, ενώ ο αριθμός των ατυχημάτων με σοβαρούς ή θανατηφόρους τραυματισμούς παρέμεινε ίδιος. Μετά τη λήξη του περιορισμού κυκλοφορίας παρατηρήθηκε και πάλι άνοδος των ατυχημάτων με μικρούς ή καθόλου τραυματισμούς.

2.2.3 Επίδραση του COVID-19 στην κινητικότητα

Στη μελέτη των Klein et al (2020) εκτιμάται η επίδραση του κορωνοϊού στην **κινητικότητα** σε μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. Χρησιμοποιήθηκαν συγκεντρωτικά, ανώνυμα δεδομένα κινητικότητας 17 εκατομμυρίων κινητών συσκευών, σε εθνικό επίπεδο, από 01/01/2020 έως 25/03/2020, τα οποία παρέχονται από την Cuebiq, μια πλατφόρμα πληροφοριών και μέτρησης τοποθεσίας. Η ανάλυση έγινε σε τρία επίπεδα. Πρώτον, σε μεσοσκοπικό επίπεδο, ποσοτικοποιήθηκαν οι αλλαγές στην κινητικότητα μέσω ενός κατασκευασμένου δικτύου απογραφών στο οποίο φαίνεται ο όγκος μετακίνησης σε μια δεδομένη ημέρα εντός ορισμένων πόλεων, όπως ορίζονται από τις Στατιστικές Περιοχές Συνδυασμένων Γραφείων Απογραφής των ΗΠΑ (CSA). Δεύτερον, σε μικροσκοπικό επίπεδο, υπολογίστηκε η τυπική απόσταση που κινείται κάθε χρήστης σε μια δεδομένη ημέρα υπολογίζοντας την ακτίνα περιστροφής του και έπειτα αναλύθηκε η κατανομή των ακτινών για όλους τους χρήστες σε καθημερινή βάση πριν και μετά την επιβολή των περιοριστικών μέτρων. Τρίτον, σε μακροσκοπικό επίπεδο, υπολογίζεται ο όγκος των χρηστών που επισκέφτηκαν δύο CSA μια δεδομένη ημέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σε μεσοσκοπικό επίπεδο μείωση κατά περίπου 50% στις συνολικές μετακινήσεις ως τις 23/03/2020 σε καθένα από τα 16 CSA που συμπεριλήφθηκαν στις αναλύσεις, σε μικροσκοπικό επίπεδο μείωση της μέσης ακτίνας περιστροφής των χρηστών κατά 40-60% έως τις 24/03/2020 και τέλος, σε μακροσκοπικό επίπεδο, απότομη μείωση στην κινητικότητα μεταξύ των CSA, η οποία κατά τη διάρκεια της εβδομάδας της 16^{ης} Μαρτίου 2020 άγγιξε το 60%.

Η μελέτη των Borkowski et al (2020) διερευνά την επίδραση του COVID-19 στην καθημερινή **κινητικότητα** βασισμένη στις αλλαγές στους χρόνους των μετακινήσεων, στην Πολωνία. Χρησιμοποιήθηκε μια έρευνα CATI με αντιπροσωπευτικό μέγεθος δείγματος 1069 ερωτηθέντων. Η έρευνα διεξήχθη μεταξύ 24^{ης} Μαρτίου και 6^{ης} Απριλίου. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του GLM (γενικό γραμμικό μοντέλο), στο οποίο συμπεριλήφθηκαν όλες οι ποιοτικές και ποσοτικές μεταβλητές που απεικονίζουν το συλλεχθέν

δείγμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν γενική μείωση του χρόνου μετακίνησης κατά 66% ανεξαρτήτως ηλικιακής ομάδας και φύλου, ενώ η κύρια απασχόληση των ατόμων φαίνεται να αποτελεί βασικό παράγοντα μείωσης του χρόνου μετακίνησης. Οι ερωτηθέντες που δεν άλλαξαν την εργασιακή τους καθημερινότητα, όπως οι χειρονάκτες εργάτες, μείωσαν το χρόνο μετακινήσεών τους κατά 55,63%, πολύ λιγότερο από τους υπαλλήλους γραφείου, ενώ στους μαθητές η μείωση στους χρόνους ταξιδιού έφτασε μέχρι και 80%.

2.2.4 Επίδραση του COVID-19 στην κινητικότητα και στην οδική ασφάλεια

Την επίδραση του lockdown λόγω του COVID-19 στη συνολική **κινητικότητα και τα τροχαία ατυχήματα** εξέτασαν σε έρευνά τους οι Saladie et al (2020). Ειδικότερα, αναλύθηκαν δεδομένα που αποκτήθηκαν από την DGPEIS of the *Generalitat de Catalunya* και καλύπτουν τη χρονική περίοδο από 3 Φεβρουαρίου έως 26 Απριλίου 2020, δηλαδή ακριβώς πριν και κατά τη διάρκεια του lockdown και συγκρίθηκαν μεταξύ τους, αλλά και με αυτά της αντίστοιχης περιόδου για τις χρονιές 2018-2019. Μέσω της δοκιμής χ^2 και της Kernel Density Estimation Function προέκυψε ότι η συνολική κινητικότητα στην περιοχή Tarragona της Ισπανίας κατά τη διάρκεια του lockdown μειώθηκε κατά 62.9% και τα ατυχήματα ανά ημέρα κατά 74.3%, ενώ επίσης μειώθηκε ο αριθμός τους κατά 76% σε σχέση με την αντίστοιχη περίοδο του 2018-2019.

2.2.5 Επίδραση του COVID-19 στην κινητικότητα και τον τρόπο μετακίνησης

Ο Bucksy (2020) στη μελέτη του ασχολείται με τις αλλαγές στην **κινητικότητα και στους τρόπους των μετακινήσεων** στη Βουδαπέστη κατά τη διάρκεια του Μαρτίου του 2020. Οι περιορισμοί των μετακινήσεων που αποφασίστηκαν μετά τις 16 Μαρτίου στην Ουγγαρία αποτελούν ευκαιρία για σύγκριση των δύο μισών του μήνα. Οι ημερήσιοι όγκοι μετακινήσεων συλλέχθηκαν για τις οδικές μετακινήσεις από δεδομένα της Budapest Roads Ltd, για τις δημόσιες συγκοινωνίες βάσει των μετρήσεων του Budapest Center for Transport Ltd και για τα ποδήλατα από δεδομένα 5 αυτόματων σταθμών μέτρησης. Παλαιότερα δεδομένα κίνησης χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για τη μοντελοποίηση του αντικτύπου της αναδιάρθρωσης των μεταφορών κατά τη διάρκεια της πανδημίας και έτσι οι ημερήσιες μετρήσεις συγκρίθηκαν με τα δεδομένα του προηγούμενου έτους. Η έρευνα έδειξε μείωση της κινητικότητας κατά 57% το δεύτερο μισό του Μαρτίου, μείωση κατά 90% στις δημόσιες συγκοινωνίες και κατά 50% περίπου στην κυκλοφορία πεζών. Η χρήση των ΙΧ αυξήθηκε από 43% σε 65% όπως και η ποδηλασία από 2% σε 4% κατά το δεύτερο μισό του Μαρτίου.

2.3 Σύνοψη

Η **επιγραμματική παρουσίαση** των προαναφερθέντων ερευνών φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1: Σύνοψη ερευνών

Έρευνα	Εξεταζ. περιοχή	Χρονικό πλαίσιο	Πηγή δεδομένων	Μέθοδοι Ανάλυσης	Αποτελέσματα
Saha et al (2020)	Ινδία	15/02/2020 έως 30/04/20	Google COVID-19 Community Mobility Report	1) Τεχνικές μορφοποίησης 2) Time-series trends plotting method 3) Τεχνική χαρτογράφησης IDW	1) Μείωση της κινητικότητας στους χώρους λιανικού εμπορίου και αναψυχής, στα παντοπωλεία, τα φαρμακεία, τα πάρκα, τους σταθμούς διέλευσης και τους χώρους εργασίας 2) Αύξηση των επισκέψεων σε κατοικίες
De Saladie et al(2020)	Περιοχή Tarragona, Ισπανία	03/02/2020 έως 26/04/20	DGPEIS της Generalitat de Catalunya	1) Kernel Density Estimation Function 2) Δοκιμή χ^2	1) Μείωση της συνολικής κινητικότητας 2) Μείωση του αριθμού των ατυχημάτων ανά ημέρα
Katrakaz as et al (2020)	Ελλάδα, Σαουδική Αραβία	29/12/2019 έως 03/05/2020	Oseven, Apple Mobility Trends Report	1) Επεξεργασία σήματος 2) Αλγόριθμοι machine learning 3) Safety/eco scoring models	1) Αύξηση των ταχυτήτων 2) Συχνότερες εκδηλώσεις απότομων επιταχύνσεων και φρεναρίσματος 3) Αύξηση της χρήσης κινητού τηλεφώνου 4) Μείωση του αριθμού των ατυχημάτων στην Ελλάδα
Qureshi et al (2020)	Μιζούρι	01/01/2020 έως 15/5/2020	Statewide Traffic Accident Accident Records System	1) Two-sample t-test, 2) Διακεκομμένες χρονοσειρές (ITS) 3) Συνάρτηση μοντελοποίησης ARIMA για ITS	1) Μείωση των ατυχημάτων με μικρούς ή καθόλου τραυματισμούς κατά τη διάρκεια του lockdown 2) Σταθερός ο αριθμός των ατυχημάτων με σοβαρούς ή θανατηφόρους τραυματισμούς 3) Άνοδος των ατυχημάτων με μικρούς ή καθόλου τραυματισμούς μετά τη λήξη του lockdown
Klein et al (2020)	ΗΠΑ	01/01/2020 έως 25/03/2020	Δεδομένα κινητικότητας από κινητές συσκευές μέσω της πλατφόρμας Cuebiq	1) Ποσοτικοποίηση της κινητικότητας κατασκευασμένου δικτύου απογραφών, 2) Υπολογισμός της ακτίνας περιστροφής των χρηστών	1) Σε μεσοσκοπικό επίπεδο μείωση κατά περίπου 50% στις συνολικές μετακινήσεις ως τις 23/03/2020 σε καθένα από τα 16 CSA 2) Σε μικροσκοπικό επίπεδο μείωση της μέσης ακτίνας περιστροφής των χρηστών κατά 40-60% έως τις 24/03/2020 3) Σε μακροσκοπικό επίπεδο, απότομη μείωση στην κινητικότητα μεταξύ των CSA
Jenelius et Cebecaeur (2020)	Στοκχόλμη, Vastra Gotaland, Skane	01/01/2020 έως 31/05/2020	Δεδομένα επικύρωσης εισιτηρίων του ψηφιακού συστήματος εισιτηρίων SLAccess	Συγκριτική ανάλυση με τις αντίστοιχες μετρήσεις του προηγούμενου έτους.	1) Μείωση της χρήσης των M.M.M. κατά περίπου 60% μεταξύ Μαρτίου και Μαΐου 2020 στη Στοκχόλμη και κατά περίπου 40% στη Vastra Gotaland 2) Ασαφείς ενδείξεις για τις ροές πεζών και ποδηλάτων 3) Αντικατάσταση των εισιτηρίων διάρκειας 30 ημερών από μεμονωμένων διαδρομών, αύξηση των εισιτηρίων διάρκειας 1 έτους
Bucksy (2020)	Ουγγαρία	Μάρτιος 2020	Δεδομένα Budapest Roads, Budapest Center for Transport	1) Συγκριτική ανάλυση των δύο μισών του Μαρτίου 2) Μοντελοποίηση	1) Μείωση της ζήτησης των M.M.M. κατά 80% 2) Αύξηση χρήσης των ΙΧ από 43% σε 65%

Έρευνα	Εξεταζ. περιοχή	Χρονικό πλαίσιο	Πηγή δεδομένων	Μέθοδοι ανάλυσης	Αποτελέσματα
De Haas et al (2020)	Ολλανδία	27/03/2020 έως 04/04/2020	Δείγμα 2500 ερωτηθέντων μέσω της Ολλανδικής Ομάδας Κινητικότητας (MPN)	1)Συγκριτική ανάλυση της κατάστασης πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας 2)Δοκιμή χ^2	1)Το 85% των ερωτηθέντων μείωσε τα ψώνια εκτός σπιτιού 2)Το 90% των ερωτηθέντων μείωσε τις επισκέψεις σε άλλους 3)Το ποσοστό των ατόμων που εργάζονται από το σπίτι αυξήθηκε από 6% σε 39% 4)Μείωση του συνολικού αριθμού μετακινήσεων και των διανυόμενων αποστάσεων κατά 55% και 68% αντίστοιχα 5)Μείωση των μετακινήσεων με Μ.Μ.Μ. άνω του 90% και αύξηση της πεζοπορίας, της ποδηλασίας και της χρήσης ΙΧ 6)Αύξηση της μέσης απόστασης των διαδρομών με ποδήλατο κατά 30% και των διαδρομών με τα πόδια κατά 83%
Shamshiripour et al(2020)	Σικάγο	25/04/2020 έως 2/6/2020	Διαδικτυακό ερωτηματολόγιο	Μέθοδοι δηλωμένης προτίμησης (SP)και αποκαλυφθείσας προτίμησης(RP)	1)Αύξηση της εργασίας από το σπίτι 2)Αύξηση του online shopping για είδη παντοπωλείου από 20% σε 33% τους μήνες της πανδημίας 3)Αύξηση των online παραγγελιών έτοιμου φαγητού από 42% σε 55% 4)Αύξηση της χρήσης αυτοκινήτου και ποδηλάτου 5)Μείωση της χρήσης Μ.Μ.Μ.
Abdullah et al (2020)	Χώρες από όλον τον κόσμο	09/05/2020 έως 31/05/2020	Διαδικτυακό ερωτηματολόγιο τεχνική δειγματοληψίας snowball για την συλλογή των απαντήσεων	1)Περιγραφική ανάλυση, 2)Ποσοτικές συγκριτικές αναλύσεις, 3)Μη παραμετρικές δοκιμές (όπως McNemar- Bowker, Wilcoxon signed-rank) 4)Λογιστική παλινδρόμηση	1)Η μετακίνηση για εργασία ως πρωταρχικός σκοπός μετακίνησης μειώθηκε από 58% σε 30% κατά τη διάρκεια της πανδημίας 2)Τα ψώνια ως πρωταρχικός σκοπός μετακίνησης μειώθηκαν από το 4% στο 44% του δείγματος 3)Η διάνυση μεγάλων αποστάσεων μειώθηκε, ενώ μικρών αυξήθηκε 4)Μείωση των ερωτηθέντων που χρησιμοποιούν τα Μ.Μ.Μ. από 36% σε 13% κατά τη διάρκεια του COVID-19 5)Αύξηση του περπατήματος κατά 7% 6)Αύξηση των ΙΧ από 32% σε 39%.
Borkowski et al (2020)	Πολωνία	24/03/2020 έως 06/04/2020	Έρευνα CATI με 1069 ερωτηθέντες	Χρήση του GLM (γενικό γραμμικό μοντέλο)	1)Γενική μείωση του χρόνου μετακίνησης κατά 66% ανεξαρτήτως ηλικιακής ομάδας και φύλου 2) Μείωση του χρόνου μετακινήσεων των χειρονακτών εργατών κατά 55.63% 3) Μείωση στους χρόνους ταξιδιού των μαθητών κατά 80%.

Από την παραπάνω ανασκόπηση φαίνεται ότι η πανδημία έχει απασχολήσει έντονα την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Πολλές έρευνες και μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση του COVID-19 και των περιοριστικών μέτρων που λήφθηκαν για την αντιμετώπισή του στην κινητικότητα, την οδηγική συμπεριφορά, την οδική ασφάλεια, τον σκοπό και τον τρόπο της μετακίνησης. Συχνή μέθοδο ανάλυσης αποτελεί η **συγκριτική ανάλυση**, δηλαδή η σύγκριση της κατάστασης πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας, ενώ δεν υπάρχουν αρκετές έρευνες που να στηρίζονται στην ανάλυση με χρονοσειρές.

Οι **εξεταζόμενες χώρες και περιοχές**, όπως φαίνεται από την ανασκόπηση, ποικίλουν, αλλά το εξεταζόμενο χρονικό πλαίσιο είναι γενικά κοινό: όλες οι έρευνες εξετάζουν το χρονικό διάστημα από την έναρξη της πανδημίας μέχρι το Μάιο του 2020 το αργότερο, ενώ δεν εστιάζουν στο δεύτερο κύμα της πανδημίας, δηλαδή από τα τέλη καλοκαιριού 2020 και έπειτα.

Με βάση τα παραπάνω παρατηρείται ότι δεν υπάρχει επαρκής έρευνα τόσο όσον αφορά στην Ελλάδα, όσο και στο δεύτερο κύμα της πανδημίας. Σκοπός λοιπόν της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνήσει την **επιρροή στην κινητικότητα του COVID-19 στην Ελλάδα, με ανάλυση χρονοσειρών, κατά τη μεταγενέστερη φάση της πανδημίας**, δηλαδή από το καλοκαίρι του 2020 μέχρι και τα τέλη Δεκεμβρίου 2020.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** στο οποίο στηρίχθηκε αυτή Διπλωματική Εργασία. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η ανάλυση και πρόβλεψη με χρήση **χρονοσειρών**, οι τύποι των μοντέλων, ο τρόπος αξιολόγησης των παραγόμενων προβλέψεων και τα κριτήρια αποδοχής τους.

3.2 Ανάλυση με χρονοσειρές

Τα μοντέλα **Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)** θεωρούνται τα πιο δημοφιλή μοντέλα χρονοσειρών και χρησιμοποιούνται εκτενώς στον τομέα της έρευνας μεταφορών. Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγονται το σαφώς προσδιορισμένο θεωρητικό τους υπόβαθρο και οι απλοί υπολογισμοί τους (Karlaftis & Vlahogianni, 2009). Τα μοντέλα ARIMA, στην πρόβλεψη με χρονοσειρές, στοχεύουν στην περιγραφή της αυτοσυσχέτισης στα δεδομένα. Ένα μοντέλο ARIMA προκύπτει από τον συνδυασμό ενός μοντέλου αυτοπαλινδρόμησης AR(p) και ενός μοντέλου κινητού μέσου MA(q) και μπορεί να συμβολιστεί ως εξής:

$ARIMA(p, d, q)$

όπου p - η τάξη του αυτοπαλινδρομούμενου μοντέλου (δηλ. ο αριθμός των υστερήσεων που συμπεριλαμβάνουμε)

d - η τάξη της διαφορίσης για την επίτευξη της στασιμότητας

q - η τάξη του μοντέλου κινητού μέσου (δηλ. η καθυστέρηση της συνιστώσας του σφάλματος, το οποίο είναι το μέρος των χρονοσειρών που δεν εξηγείται από την τάση ή την εποχικότητα)

Πιο αναλυτικά το μοντέλο μπορεί να γραφτεί (Wang et al., 2020):

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

όπου $\Phi \in \mathbb{R}^p$ είναι ένα διάνυσμα συντελεστών για τους όρους του μοντέλου AR,

$\theta \in \mathbb{R}^q$ είναι ένα διάνυσμα συντελεστών για τους όρους του μοντέλου MA,

y_t είναι η παραγόμενη μεταβλητή που μετριέται στο χρόνο t ,

B είναι ο τελεστής υστέρησης,

ϵ_t είναι το τυχαίο σφάλμα, για το οποίο ισχύει η συνθήκη $\epsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$

Σε περίπτωση που τα προς ανάλυση δεδομένα παρουσιάζουν **εποχικότητα**, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα ARIMA με εποχικότητα (**Seasonal ARIMA models**). Αυτά σχηματίζονται συμπεριλαμβάνοντας επιπλέον εποχικούς όρους στο υπάρχον μοντέλο ARIMA και αποτυπώνονται ως εξής:

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

Όπου p, P - η τάξη του αυτοπαλινδρομούμενου μοντέλου για το μη εποχικό και το εποχικό μέρος αντίστοιχα

d, D - η τάξη της διαφορίσης για την επίτευξη της στασιμότητας για το μη εποχικό και το εποχικό μέρος αντίστοιχα

q, Q - η τάξη του μοντέλου κινητού μέσου για το μη εποχικό και το εποχικό μέρος αντίστοιχα

m - ο αριθμός των περιόδων σε κάθε σεζόν

Το εποχικό μοντέλο ARIMA μπορεί να γενικευθεί ως:

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

Όπου p είναι η μη εποχική τάξη του αυτοπαλινδρομούμενου μοντέλου

S είναι η εποχικότητα

B είναι ο τελεστής υστέρησης,

Φ είναι ένα διάνυσμα συντελεστών για τους όρους AR,

d είναι η τάξη της διαφορίσης για το μη εποχικό μέρος

y_t είναι η παραγόμενη μεταβλητή που μετριέται στο χρόνο t

3.2.1 Αποσύνθεση και στασιμότητα χρονοσειράς

Πρώτο βήμα στην ανάλυση με χρονοσειρές αποτελεί η **αποσύνθεση** της χρονοσειράς, δηλαδή η ανάλυσή της στα βασικά συνθετικά της στοιχεία: τάση, εποχικότητα, σφάλματα και έπειτα ο προσδιορισμός της επιρροής που έχει το καθένα από αυτά στη διαμόρφωση των τιμών της μεταβλητής. Η αποσύνθεση μπορεί να περιγραφεί από τον τύπο:

$$y_t = T_t + S_t + R_t$$

Όπου y_t είναι η παραγόμενη μεταβλητή που μετριέται στο χρόνο t ,

T_t είναι η εξομαλυσμένη συνιστώσα της τάσης,

S_t είναι η εποχική συνιστώσα,

R_t είναι η συνιστώσα του σφάλματος

Επίσης βασικό είναι η εξεταζόμενη χρονοσειρά να είναι **στάσιμη** (Hyndman & Athanassopoulos, 2018). Ως στάσιμη ορίζεται μια χρονοσειρά όταν η μέση τιμή, η διακύμανση και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισής της είναι σταθερές στην πάροδο του χρόνου.

Η στασιμότητα επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου της διαφορίσης και ελέγχεται μέσω του Augmented Dickey-Fuller test (Dickey & Fuller, 1979), το οποίο ελέγχει αν $\phi=0$ σε μοντέλα της μορφής:

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

Όπου y_t είναι τα παρατηρηθέντα δεδομένα της χρονοσειράς,

a είναι μια σταθερά,

β είναι ο συντελεστής της χρονικής τάσης,

ϵ_t είναι ένας μηδενικός όρος σφάλματος

Αν $\phi=0$, η σειρά δεν είναι στάσιμη. Αλλιώς, αν $\phi<0$, η σειρά είναι στάσιμη.

3.2.2 Αυτοσυσχέτιση και Μερική αυτοσυσχέτιση

Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της χρονοσειράς και του μοντέλου ARIMA μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διαγράμματα συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (ACF) και μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF). Ο **συντελεστής αυτοσυσχέτισης** είναι ένας στατιστικός δείκτης ο οποίος χρησιμοποιείται στην ανάλυση χρονοσειρών για τον καθορισμό της τυχαιότητας ή μη της χρονοσειράς. Ορίζεται ως το πηλίκο της συνδιακύμανσης προς τη διακύμανση της χρονοσειράς και σε στάσιμη χρονοσειρά μπορεί να περιγραφεί από τον τύπο:

$$\frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_{t-k} - \bar{Y})^2}$$

Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης για υστέρηση k μας δείχνει κατά πόσο η τιμή της χρονοσειράς σε μία περίοδο εξαρτάται από την τιμή της παρατήρησης k περιόδων πίσω και παίρνει τιμές από +1 έως -1. Για $r_k \sim 0$ παρατηρήσεις Y_t, Y_{t-k} είναι ασυσχέτιστες.

3.2.3 Επιλογή των παραμέτρων του μοντέλου

Τα στατιστικά υπολογιστικά πακέτα της προγραμματιστικού περιβάλλοντος R **προσαρμόζουν αυτόματα** ένα μοντέλο ARIMA σε κάθε χρονοσειρά (Hyndman & Khandakar, 2007; Smith, 2017), και έτσι οι παράμετροι p, d, q και P, D, Q του μοντέλου ορίζονται αυτόματα με βάση το κριτήριο πληροφορίας του Akaike (AIC) και το κριτήριο Μπεϋζιανής πληροφορίας (BIC) και επιλέγεται το μοντέλο με τις μικρότερες τιμές των δύο συντελεστών.

Για τον **έλεγχο της καταλληλότητας** του μοντέλου χρησιμοποιείται το Ljung-Box test (Ljung & Box, 1978). Το Ljung-Box test είναι ένας στατιστικός έλεγχος για το κατά πόσο οι αυτοσυσχετίσεις μιας χρονοσειράς είναι διάφορες του μηδενός. Ελέγχει τη συνολική τυχαιότητα, με βάση το σύνολο των υστερήσεων και ορίζεται ως:

- H_0 : Το μοντέλο δεν παρουσιάζει έλλειψη προσαρμογής
- H_1 : Το μοντέλο παρουσιάζει έλλειψη προσαρμογής

δεδομένου του στατιστικού ελέγχου:

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

όπου n είναι το μήκος της χρονοσειράς,

$\hat{r}_k$ είναι η εκτιμώμενη αυτοσυσχέτιση της χρονοσειράς για υστέρηση k

m είναι ο αριθμός των υστερήσεων.

Ο δείκτης Q εξετάζει συνολικά τους συντελεστές αυτοσυσχέτισης και ελέγχει εάν το σύνολο είναι σημαντικά διάφορο του μηδενός.

Το τεστ απορρίπτει τη μηδενική υπόθεση αν:

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

όπου $\chi_{1-\alpha, h}^2$ είναι η τιμή του πίνακα διανομής με h βαθμούς ελευθερίας και επίπεδο σημαντικότητας α .

Οι βαθμοί ελευθερίας πρέπει να ισούνται με $m - p - q$, όπου m είναι ο αριθμός των υπολειπόμενων αυτοσυσχετίσεων που απαιτείται να ελεγχθούν και τα p, q είναι οι παράμετροι της αυτοπαλινδρόμησης και του κινητού μέσου αντίστοιχα (Davidson, James, 2000).

3.2.4 Αξιολόγηση των προβλέψεων

Μετά την ανάπτυξη των μοντέλων ARIMA σειρά έχει ο διαγνωστικός έλεγχος καταλληλότητάς τους, για την επιλογή τελικά αυτών που πληρούν τα **κριτήρια αξιολόγησης των προβλέψεων**. Αρχικά, είναι απαραίτητο όλοι οι συντελεστές του μοντέλου να είναι στατιστικά σημαντικοί και έπειτα οι προβλέψεις αξιολογούνται με βάση τα παρακάτω **στατιστικά μέτρα** (Ευθύμιος Ι. Νικολάου, 2007):

- Μέσο Σφάλμα (ME), που δίνει τη μέση τιμή του προβλεπτικού σφάλματος:

$$ME = \frac{1}{N} \sum e_t$$

- Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE), που δίνει τη μέση τιμή του απόλυτου προβλεπτικού σφάλματος:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |e_t|$$

- Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα (MPE), που δίνει τη μέση τιμή του προβλεπτικού σφάλματος σε ποσοστό:

$$MPE = \frac{1}{N} \sum \frac{e_t}{observed_t} \cdot 100$$

- Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|e_t|}{observed_t}$$

- Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum e_t^2}$$

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία **συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων**, έτσι ώστε να δοθεί μία πλήρης εικόνα για την ποιότητα και αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Αρχικά παρουσιάζονται πληροφορίες για τα συλλεχθέντα δεδομένα αι την πλατφόρμα της Apple από την οποία εξήχθησαν. Στη συνέχεια, παρατίθενται πίνακες περιγραφικής στατιστικής, καθώς και πίνακες με τα συνολικά κρούσματα και θανάτους και τα ληφθέντα μέτρα σε Ελλάδα και Αθήνα. Και τέλος, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά διαγράμματα των παραπάνω στοιχείων.

4.2. Συλλογή δεδομένων

Για τη συλλογή των προς ανάλυση δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι αναφορές **δεδομένων κινητικότητας της Apple** (Apple 2021). Η Apple, όπως και άλλες εταιρείες δεδομένων, δημοσιεύουν συγκεντρωτικές στατιστικές πληροφορίες για ποικίλες δραστηριότητες καθ'όλη την περίοδο της πανδημίας, οι οποίες ανανεώνονται διαρκώς, δίνοντας μια σαφή εικόνα για την πορεία της κινητικότητας κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Τα δεδομένα που συλλέγονται από την Apple δείχνουν τις **τάσεις κινητικότητας** σε διάφορες χώρες, πόλεις ή περιφέρειες. Το αρχείο δεδομένων δημιουργήθηκε μετρώντας τον αριθμό των αιτημάτων που υποβλήθηκαν στην Apple για οδηγίες και παρουσιάζει έναν σχετικό όγκο αιτημάτων για οδηγίες ανά χώρα, πόλη ή περιφέρεια, σε σύγκριση με τις τιμές βάσης (baseline volume) που ορίστηκε στις 13 Ιανουαρίου 2020. Τα δεδομένα δηλαδή εκφράζονται ως **ημερήσιες ποσοστιαίες μεταβολές** από τις τιμές βάσης. Συγκεκριμένα συγκεντρώθηκαν δεδομένα οδήγησης και περπατήματος για την Ελλάδα και την Αθήνα που αντιστοιχούν σε χρονικό διάστημα από 13/01/2020 έως 24/12/2020.

4.3. Επεξεργασία δεδομένων

4.3.1. Περιγραφική στατιστική

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα **περιγραφικά στατιστικά στοιχεία** (δηλ. ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή) των δεδομένων ανά μήνα για την Ελλάδα και την Αθήνα (Πίνακας 4.1, Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.1. Περιγραφική στατιστική, Ελλάδα

Μήνας	Οδήγηση				Περπάτημα			
	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή
ΙΑΝ	102.97	6.42	113.18	95.5	107.44	12.19	134.75	93.13
ΦΕΒ	112.41	8.82	123.65	95.67	122.70	16.31	157.11	93.43
ΜΑΡ	58.15	37.11	139.75	18.59	58.61	39.65	133.12	19.06
ΑΠΡ	29.28	5.18	38.28	18.99	33.98	7.7	44.45	18
ΜΑΙΟΣ	69.46	15.49	86.8	30.23	60.16	10.38	82.38	40.67
ΙΟΥΝ	103.65	10.26	129.88	84.98	83.25	8.42	100.69	67.53
ΙΟΥΛ	170.35	25.44	210.1	124.1	156.87	33.81	205.58	98.21

ΑΥΓ	216.54	15.79	241.14	185.34	225.08	15.94	254.21	192.68
ΣΕΠΤ	167.39	16.79	194.19	140.33	194.21	15.90	221.94	166.32
ΟΚΤ	133.90	13.90	152.38	100.1	165.45	19.92	198.67	115.28
ΝΟΕΜΒ	59.57	25.71	148.5	39.56	65.77	20.67	115.65	43.88
ΔΕΚ	60.36	10.27	86.83	45.14	62.16	8.72	80.9	45.38

Πίνακας 4.2. Περιγραφική στατιστική, Αθήνα

Μήνας	Οδήγηση				Περπάτημα			
	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή
ΙΑΝ	101.12	5.41	111.72	93.77	108.06	13.6	138.84	91.93
ΦΕΒΡ	108.56	10.29	128.98	84.83	124.17	17.17	160.65	95.84
ΜΑΡ	53.74	33.38	105.13	16.72	57.46	39.49	135.99	17.74
ΑΠΡ	28.88	6.02	39.38	17.25	34.55	8.81	46.55	16.61
ΜΑΙΟΣ	69.54	15.17	88.89	29.01	59.36	9.26	80.48	41.35
ΙΟΥΝ	93.52	9.72	109.13	64.42	76.8	10.64	92.48	51.28
ΙΟΥΛ	102.87	9.55	116.4	84.33	99.79	12.39	116.67	67
ΑΥΓ	74.98	12.28	101.02	53.89	96.85	9.46	112.92	77.46
ΣΕΠΤ	108.36	7.12	120.27	96.54	124.84	7.15	135.73	103.14
ΟΚΤ	103.61	8	114.88	73.41	126.24	11.43	147.95	88.32
ΝΟΕΜΒ	61.22	29.01	173.07	37.94	64.01	20.71	115.1	40.35
ΔΕΚ	65	13.21	99.51	45.82	62.81	10.37	84.27	43.76

4.3.2. Κρούσματα, Θάνατοι και περιοριστικά μέτρα

Τα στοιχεία των **κρουσμάτων και των θανάτων**, καθώς και τα στοιχεία των εφαρμοσθέντων **μέτρων** για τον περιορισμό του ιού ανακτήθηκαν από τον Ελληνικό Οργανισμό Δημόσιας Υγείας (ΕΟΔΥ 2021), από ανακοινώσεις του Ελληνικού Υπουργείου Υγείας (gov.greece2021) και κυβερνητικών δελτίων Τύπου, καθώς και από ιστοσελίδες που παρακολουθούν την εξέλιξη της πανδημίας (Google 2021). Οι παρακάτω πίνακες συγκεντρώνουν τις απαραίτητες πληροφορίες.

Πίνακας 4.3. Συνολικά κρούσματα και θάνατοι ανά μήνα στην Ελλάδα

Ημερομηνία	Ελλάδα	
	Συνολικά Κρούσματα	Συνολικοί Θάνατοι
26-2-2020	1	0
31-3-2020	1314	49
30-4-2020	2591	140
31-5-2020	2917	175
30-6-2020	3409	192
31-7-2020	4477	206
31-8-2020	10317	266
30-9-2020	18475	391
31-10-2020	39251	626
30-11-2020	105271	2406
24-12-2020	134235	4457

Πίνακας 4.4. Μέτρα περιορισμού της πανδημίας σε Ελλάδα και Αθήνα

Μέτρα	Ημερομηνία	
Εμφάνιση του COVID-19	26-2-2020	-
Αρχή του lockdown	23-3-2020	07-11-2020
Τέλος του lockdown	5-5-2020	-
Κλείσιμο δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης	11-3-2020	07-11-2020
Άνοιγμα δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης	18-5-2020	-
Κλείσιμο πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης	11-3-2020	07-11-2020
Άνοιγμα πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης	1-6-2020	-
Κλείσιμο λιανικής	18-3-2020	7-11-2020
Άνοιγμα λιανικής	11-5-2020	-
Κλείσιμο εστίασης	13-3-2020	3-11-2020
Άνοιγμα εστίασης	25-5-2020	-
Απαγόρευση κυκλοφορίας	3-11-2020	-
Υποχρεωτική χρήση μάσκας σε όλους τους δημόσιους χώρους	24-10-2020	-

4.3.3. Συσχέτιση των μέτρων με τα στοιχεία κινητικότητας – Κατάρτιση Βασικού Πίνακα

Όλα τα παραπάνω δεδομένα προσαρμόζονται σε έναν ενιαίο πίνακα excel, καταρτίζοντας έτσι τον **Βασικό Πίνακα**, δηλαδή την τελική βάση δεδομένων. Ο Βασικός Πίνακας αποτελείται από 1388 παρατηρήσεις όγκων κινητικότητας, 694 για την οδήγηση και 694 για το περπάτημα. Εκτός από τις στήλες των δεδομένων συγκροτείται από 10 ακόμη στήλες, κάθε μία από τις οποίες αντιπροσωπεύει από ένα μέτρο ή τον αριθμό των κρουσμάτων/θανάτων. Τα ληφθέντα μέτρα που χρησιμοποιήθηκαν είναι: το lockdown, το κλείσιμο των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας, η κλειστή λιανική, η κλειστή εστίαση, η απαγόρευση κυκλοφορίας και η υποχρεωτική χρήση μάσκας. Στη συνέχεια, ο Βασικός Πίνακας εισάγεται στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R, προς περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

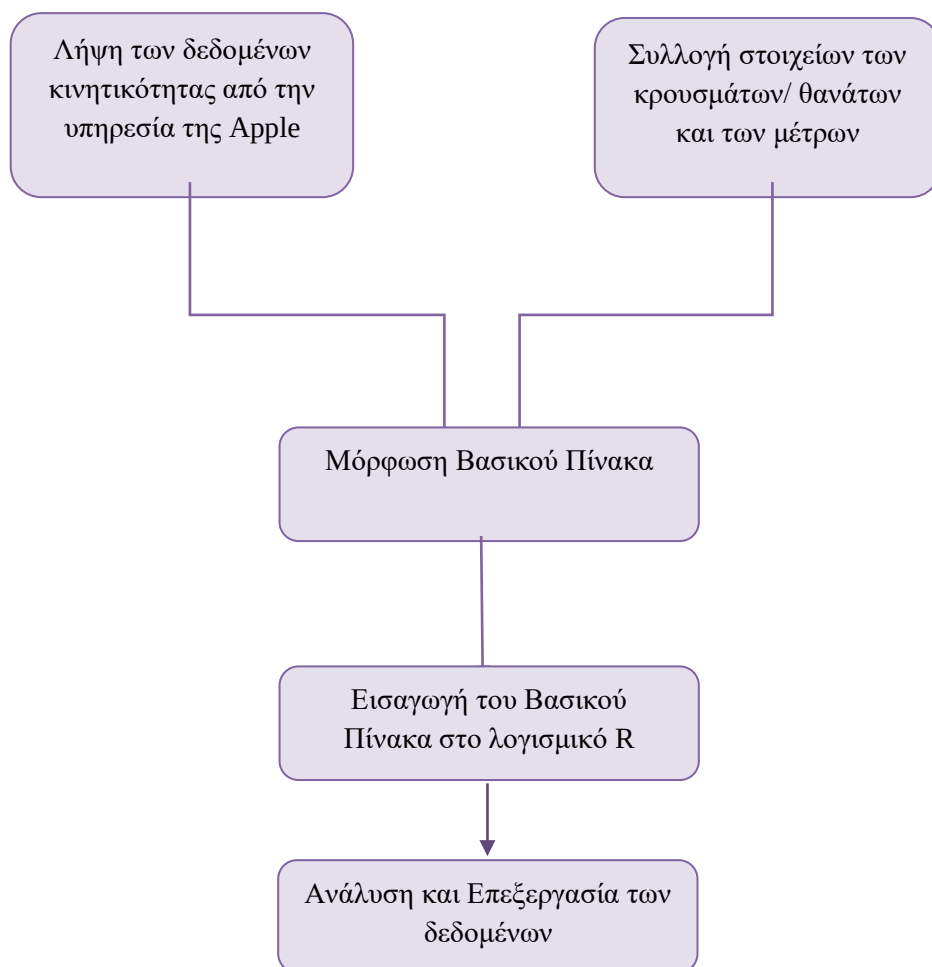
Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται ένα απόσπασμα του Βασικού Πίνακα, όπως διαβάζεται από το λογισμικό της R, για την καλύτερη κατανόηση της μορφής του:

Πίνακας 4.5. Μορφή του Βασικού Πίνακα

	DATE	REGION	DRIVING	WALKING	X.WAVE	LOCKDOWN	X.CLOSED.HIGHSCHOOLS	CLOSED.PRIMARY.SCHOOLS	CLOSED.RETAIL	CLOSED.RECREATION
1			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	2020-01-13	Greece	100.00	100.00	0	0	0	0	0	0
3	2020-01-14	Greece	100.63	100.50	0	0	0	0	0	0
4	2020-01-15	Greece	100.57	101.91	0	0	0	0	0	0
5	2020-01-16	Greece	100.60	108.84	0	0	0	0	0	0
6	2020-01-17	Greece	110.76	119.88	0	0	0	0	0	0
7	2020-01-18	Greece	113.18	127.75	0	0	0	0	0	0
8	2020-01-19	Greece	106.76	96.49	0	0	0	0	0	0
9	2020-01-20	Greece	96.02	95.30	0	0	0	0	0	0
10	2020-01-21	Greece	95.50	97.66	0	0	0	0	0	0
11	2020-01-22	Greece	98.73	101.94	0	0	0	0	0	0
12	2020-01-23	Greece	97.72	102.57	0	0	0	0	0	0
13	2020-01-24	Greece	108.81	121.64	0	0	0	0	0	0

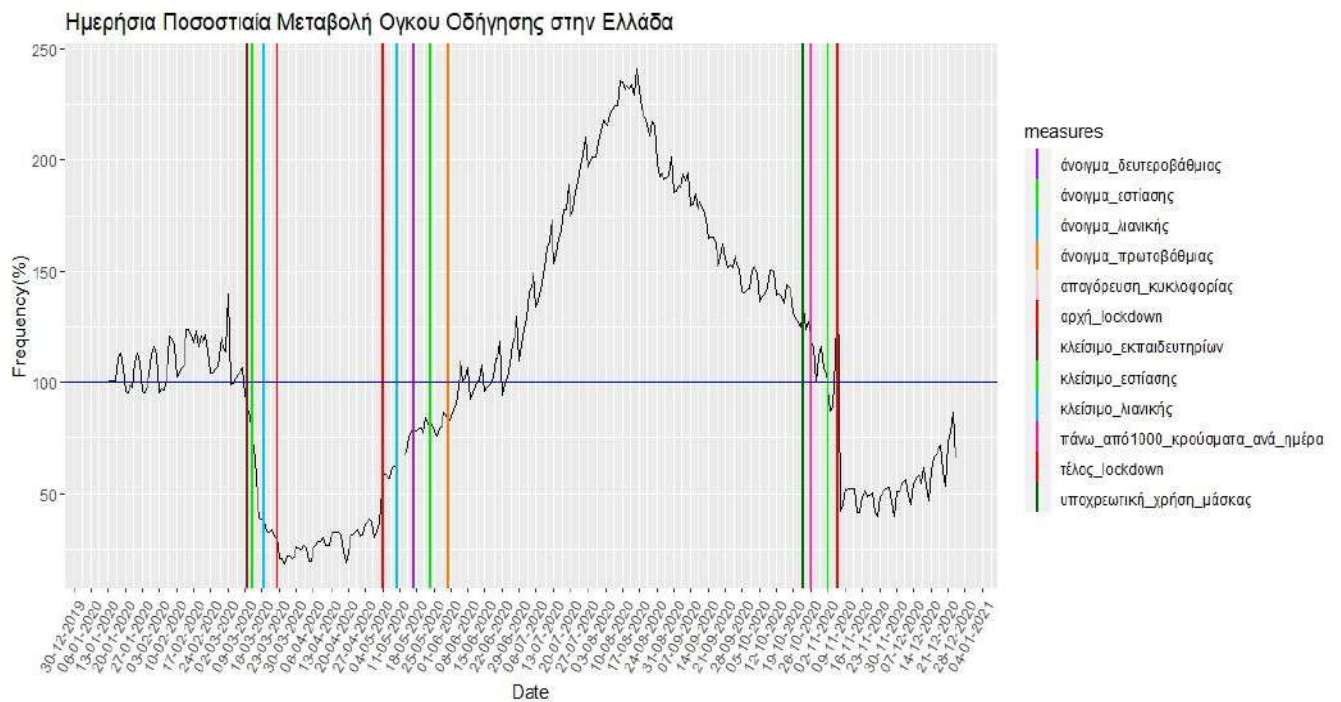
Για να μπορούν οι πληροφορίες σχετικά με τα ληφθέντα μέτρα να αναγνωριστούν από το λογισμικό, απαιτείται η μετατροπή τους σε **δυαδικό σύστημα**, με την τιμή 0 να αντιπροσωπεύει την έλλειψη μέτρου και την τιμή 1 την ύπαρξη μέτρου. Στην περίπτωση της λιανικής έχει χρησιμοποιηθεί και η επιπλέον τιμή 2 που εκφράζει το “άνοιγμα” της λιανικής με τη μέθοδο click-away, δηλ. την παραλαβή από το κατάστημα συγκεκριμένων προϊόντων, σε αυστηρά προσδιορισμένο χρονικό πλαίσιο κατόπιν συγκεκριμένης, προσωπικής ηλεκτρονικής παραγγελίας.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να απεικονιστεί στο επόμενο γράφημα ροής:

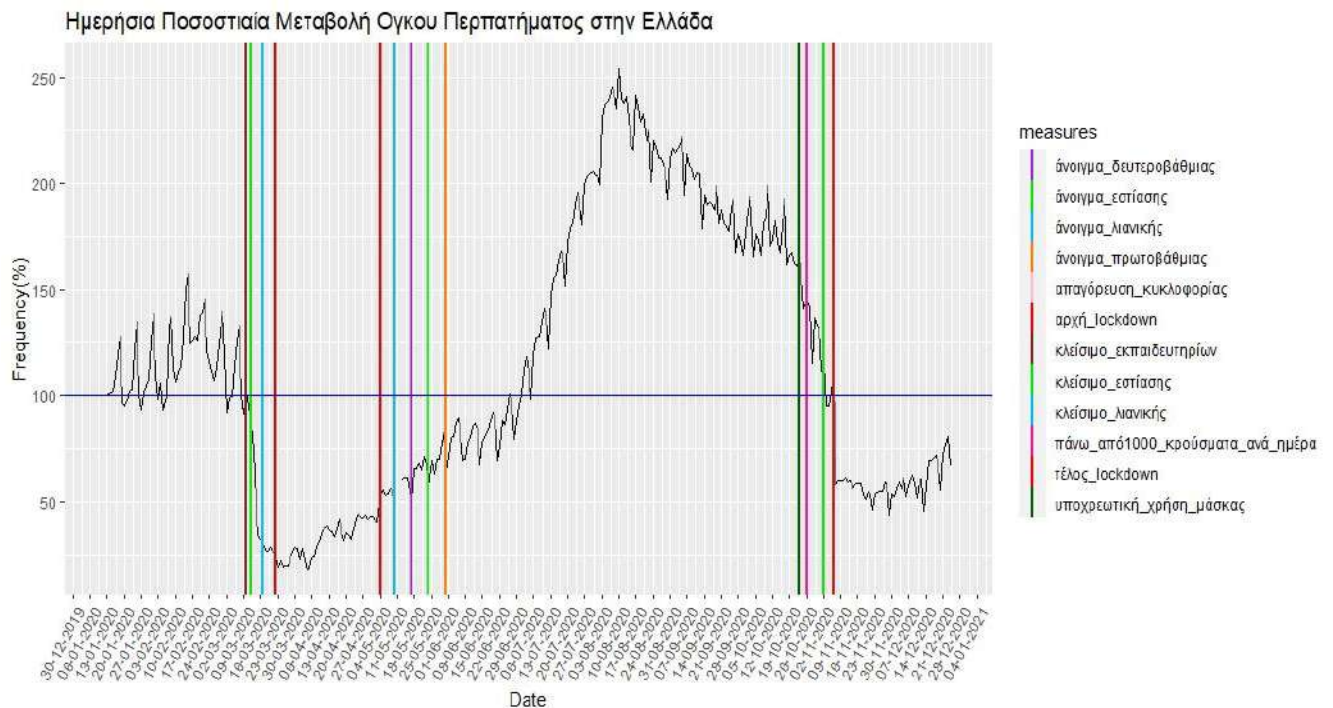


Γράφημα 4.1. Βήματα Συλλογής και Επεξεργασίας δεδομένων

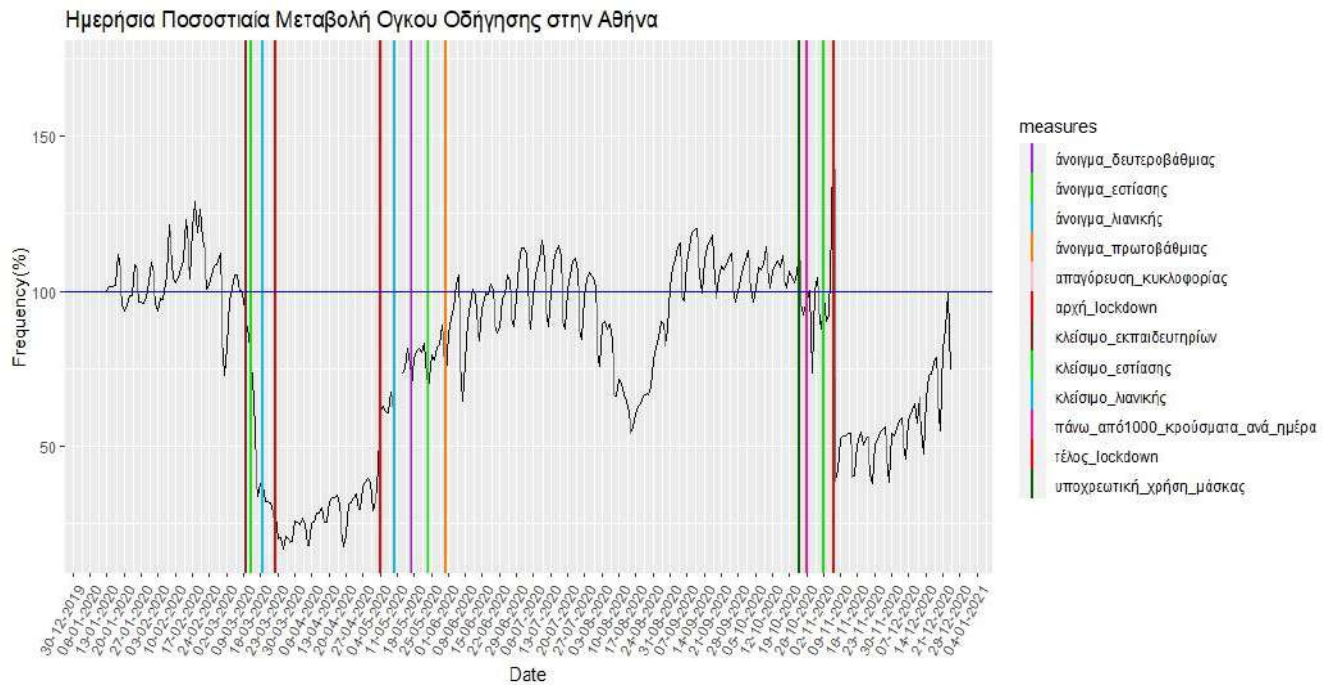
Τέλος, για μια πιο **συγκεντρωτική εικόνα** των όγκων κινητικότητας, σε Ελλάδα και Αθήνα, σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα περιοριστικά μέτρα, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα, με βάση τα στοιχεία του Βασικού Πίνακα και το προγραμματιστικό περιβάλλον της R.



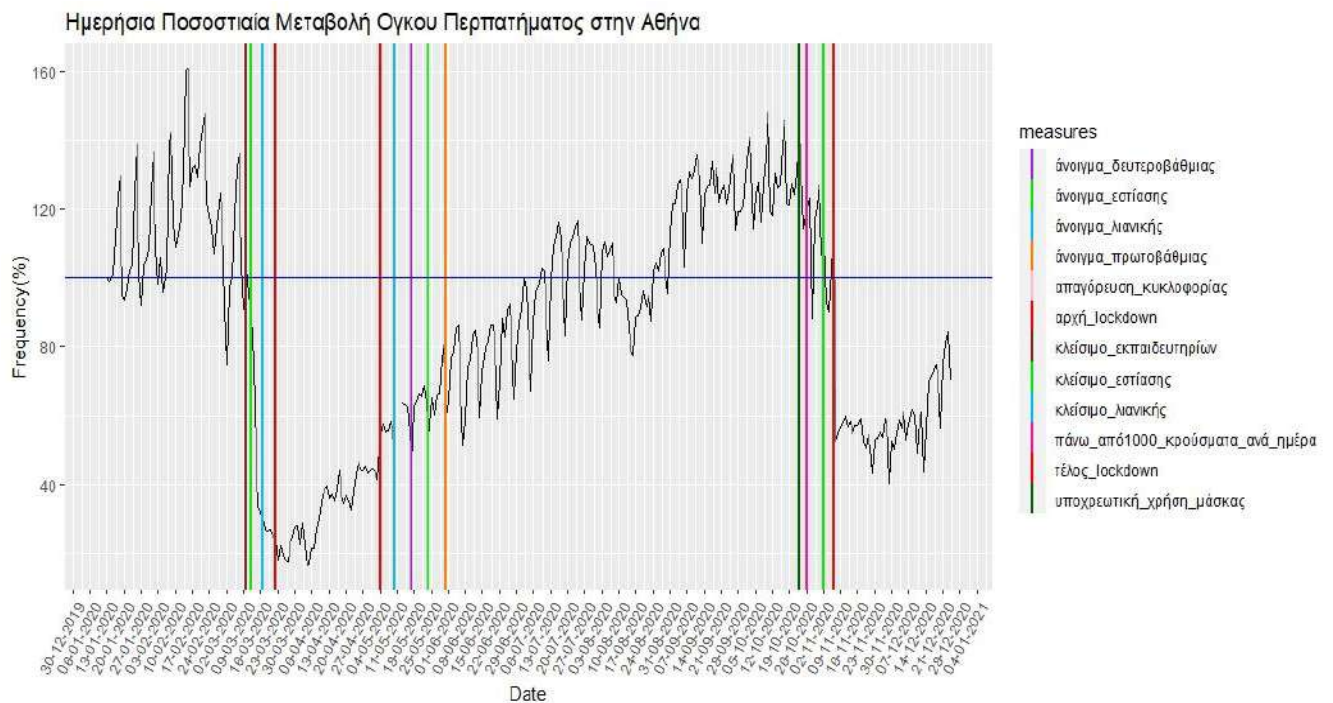
Γράφημα 4.2. Ημερήσια ποσοστιαία μεταβολή οδήγησης, Ελλάδα



Γράφημα 4.3. Ημερήσια ποσοστιαία μεταβολή περπατήματος, Ελλάδα



Γράφημα 4.4. Ημερήσια ποσοστιαία μεταβολή οδήγησης, Αθήνα



Γράφημα 4.5. Ημερήσια ποσοστιαία μεταβολή περπατήματος, Αθήνα

Συνοψίζοντας, η διαδικασία της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων ξεκινά με την **συλλογή των στοιχείων κινητικότητας**, από την υπηρεσία της Apple και των πληροφοριών όσον αφορά τα κρούσματα, τους θανάτους και τα **ληφθέντα μέτρα**, σε Ελλάδα και Αθήνα, από ελληνικές και διεθνείς αναφορές. Συνεχίζει με την εύρεση των περιγραφικών στατιστικών στοιχείων των δεδομένων και τελειώνει με τη δημιουργία της **τελικής βάσης δεδομένων** προς επεξεργασία, πάνω στην οποία θα στηριχθεί η ανάλυση με χρονοσειρές και τα θα αναπτυχθούν τα τελικά μοντέλα.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Εισαγωγή

Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών και μεθοδολογιών, την παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου στο οποίο βασίστηκε η ανάλυση των δεδομένων 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, είναι η ανάλυση και πρόβλεψη με **χρονοσειρές**, η οποία πραγματοποιήθηκε μέσω κατάλληλου κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον της **RStudio** (RStudio).

Ειδικότερα, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζονται η διαδικασία ανάπτυξης των στατιστικών μοντέλων και οι έλεγχοι που απαιτούνται για την αποδοχή ή την απόρριψη τους.

Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθοδολογιών, η περιγραφή τους, και η ερμηνεία τους.

5.2. Μόρφωση χρονοσειρών – αποσύνθεση – στασιμότητα

Πρώτο βήμα στην ανάλυση με χρονοσειρές είναι η μετατροπή των δεδομένων σε **μορφή χρονοσειρών**. Οι δύο στήλες του Βασικού Πίνακα που παρουσιάζουν τα στοιχεία κινητικότητας για την οδήγηση και το περπάτημα στην Ελλάδα και στην Αθήνα (Driving, Walking), μετατρέπονται σε 4 ξεχωριστές χρονοσειρές: μια με στοιχεία οδήγησης για την Ελλάδα, μια με στοιχεία περπατήματος για την Ελλάδα, μια με στοιχεία οδήγησης για την Αθήνα και μια με στοιχεία περπατήματος για την Αθήνα και αποτελούν τις 4 προς διερεύνηση εξαρτημένες μεταβλητές.

Δεύτερο βήμα η **αποσύνθεση των χρονοσειρών** στα συστατικά τους στοιχεία (Decomposition). Οι χρονοσειρές αναλύθηκαν στα συνθετικά τους στοιχεία και παρατηρήθηκε ύπαρξη εβδομαδιαίας εποχικότητας στα δεδομένα.

Τρίτο βήμα ο **έλεγχος στασιμότητας** των χρονοσειρών. Εκτελέστηκε το Augmented Dickey-Fuller test και προσδιορίστηκε το p-value. Με βάση τον έλεγχο:

p-value < 0,05: στασιμότητα

p-value > 0,05: μη στασιμότητα

προέκυψε η στασιμότητα των χρονοσειρών.

5.3. Πρόβλεψη – Αξιολόγηση

Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας στην κινητικότητα, στην Ελλάδα και στην Αθήνα. Άρα, σκοπός είναι η **ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης** που να προβλέπουν τις τάσεις

κινητικότητα (στοιχεία κινητικότητας), για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα δεδομένα των όγκων κινητικότητας, δηλαδή οι στήλες 3 και 4 του Βασικού Πίνακα, αποτελούν τις προς διερεύνηση εξαρτημένες μεταβλητές, ενώ οι υπόλοιπες στήλες με τα χαρακτηριστικά της πανδημίας (ληφθέντα μέτρα, κρούσματα/θάνατοι) αποτελούν τους εξωγενείς παράγοντες, δηλαδή τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Συνεπώς, εξετάζεται η επιρροή καθενός από τους εξωγενείς παράγοντες ξεχωριστά στις τάσεις κινητικότητας.

Για να αναπτυχθούν τα μοντέλα πρόβλεψης, απαραίτητος είναι ο διαχωρισμός της κάθε χρονοσειράς σε δύο σύνολα. Το πρώτο σύνολο χρησιμοποιείται για την **εκμάθηση** του μοντέλου (train set), ενώ το δεύτερο χρησιμοποιείται στην **εκτίμηση** του λάθους πρόβλεψης (test set). Στην ανάλυση με χρονοσειρές συνηθίζεται να χρησιμοποιείται το 80% των δεδομένων της χρονοσειράς ως train set και το 20% ως test set.

Στην παρούσα εργασία **έγιναν δοκιμές** με train set 80%, που αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020 και σε 278 παρατηρήσεις και test set 20%, που αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα από 17-10-2020 έως 24-12-2020 και σε 69 παρατηρήσεις και με train set 90%, που αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020 και σε 312 παρατηρήσεις και test set 10%, που αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα από 20-11-2020 έως 24-12-2020 και σε 35 παρατηρήσεις.

Στη συνέχεια, γίνεται η επιλογή των **κατάλληλων μοντέλων ARIMA**. Με χρήση των υπολογιστικών πακέτων της R επιλέγονται αυτόματα οι παράμετροι του καταλληλότερου μοντέλου ARIMA και παράγονται οι προβλέψεις.

Σε αυτό το βήμα εμπεριέχεται η ύπαρξη ή μη **εποχικότητας** και η επιλογή του **εξωγενούς παράγοντα** (της ανεξάρτητης μεταβλητής), με βάση τον οποίο γίνεται η πρόβλεψη. Τελικά, στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν 112 δοκιμές, δηλαδή αναπτύχθηκαν 112 μοντέλα:

- 28 χωρίς εποχικότητα και 90% των δεδομένων ως train set
- 28 με εποχικότητα και 90% των δεδομένων ως train set
- 28 χωρίς εποχικότητα και 80% των δεδομένων ως train set
- 28 με εποχικότητα και 80% των δεδομένων ως train set

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, για την **αξιολόγηση** των μοντέλων ελέγχεται αρχικά η στατιστική σημαντικότητα όλων των όρων του κάθε μοντέλου. Αν ο συντελεστής του όρου είναι μικρότερος από 0.05, ο όρος είναι στατιστικά σημαντικός. Έπειτα, υπολογίζονται όλα τα απαραίτητα στατιστικά μέτρα για τον διαγνωστικό έλεγχο καταλληλότητας των μοντέλων.

5.4 Αποτελέσματα – μοντέλα πρόβλεψης

Από τις παραπάνω διαδικασίες προέκυψαν **31 στατιστικά σημαντικά μοντέλα πρόβλεψης**, τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.1: Ελληνική αντιστοιχία των όρων του πίνακα 5.2

Athens walking	περπάτημα στην Αθήνα
Athens driving	οδήγηση στην Αθήνα
Greece walking	περπάτημα στην Ελλάδα
Greece driving	οδήγηση στην Ελλάδα
Closed highschoools	Κλειστά δευτεροβάθμια εκπαιδευτικά ιδρύματα
Closed primary schools	Κλειστά πρωτοβάθμια εκπαιδευτικά ιδρύματα

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Closed recreation	Κλειστή εστίαση
Closed retail	Κλειστή λιανική
lockdown	lockdown

Πίνακας 5.2: Στατιστικά σημαντικά μοντέλα πρόβλεψης χρονοσειρών

Εξαρτημένη Μεταβλητή	Εξωγενής παράγοντας	Σύνολο Εκπαίδευσης (train set)		Σύνολο πρόβλεψης (test set)		Μοντέλο
		Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος	
athens walking	closed recreation	13/1/2020	16/10/2020	17/10/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,0)(1,1,2)
athens driving	closed highschoools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,2)(2,0,0)
athens driving	closed primary schools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,2)(2,0,0)
athens driving	closed recreation	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,2)(2,0,0)
athens driving	lockdown	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(0,1,2)(2,0,0)
athens walking	closed recreation	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,1)(0,1,1)
athens walking	closed retail	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,0)(0,1,1)
athens walking	lockdown	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,0)(0,1,1)
greece driving	closed highschoools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(0,1,2)(1,0,1)
greece driving	closed primary schools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(0,1,2)(1,0,1)
greece driving	closed retail	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,1,1)(1,0,1)
greece walking	closed retail	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(0,1,1)(1,0,1)
greece walking	lockdown	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(2,1,3)
greece walking	closed highschoools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(3,1,2)
athens walking	closed highschoools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(5,1,0)
greece walking	closed primary schools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(3,1,2)
athens walking	closed primary schools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(5,1,0)
athens driving	closed primary schools	13/1/2020	16/10/2020	17/10/2020	24/12/2020	ARIMA(5,0,0)
greece walking	closed highschoools	13/1/2020	16/10/2020	17/10/2020	24/12/2020	ARIMA(2,1,2)
greece walking	closed primary schools	13/1/2020	16/10/2020	17/10/2020	24/12/2020	ARIMA(2,1,2)
athens driving	closed highschoools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(3,0,1)
athens driving	closed primary schools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(3,0,1)
athens driving	closed recreation	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(1,0,2)
athens driving	lockdown	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(5,1,0)
athens walking	closed recreation	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(5,1,0)
athens walking	closed retail	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(5,1,0)
athens_walking	lockdown	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(5,1,0)
greece driving	closed highschoools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(3,1,2)
greece driving	closed primary schools	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(2,1,3)
greece driving	closed retail	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(2,1,3)
greece walking	closed retail	13/1/2020	19/11/2020	20/11/2020	24/12/2020	ARIMA(2,1,2)

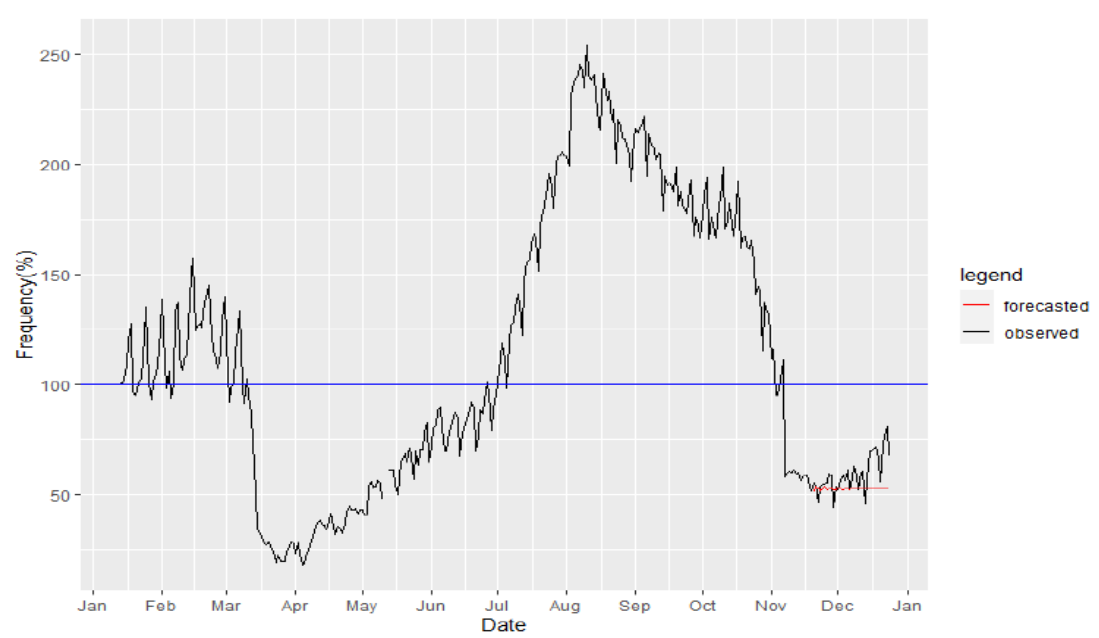
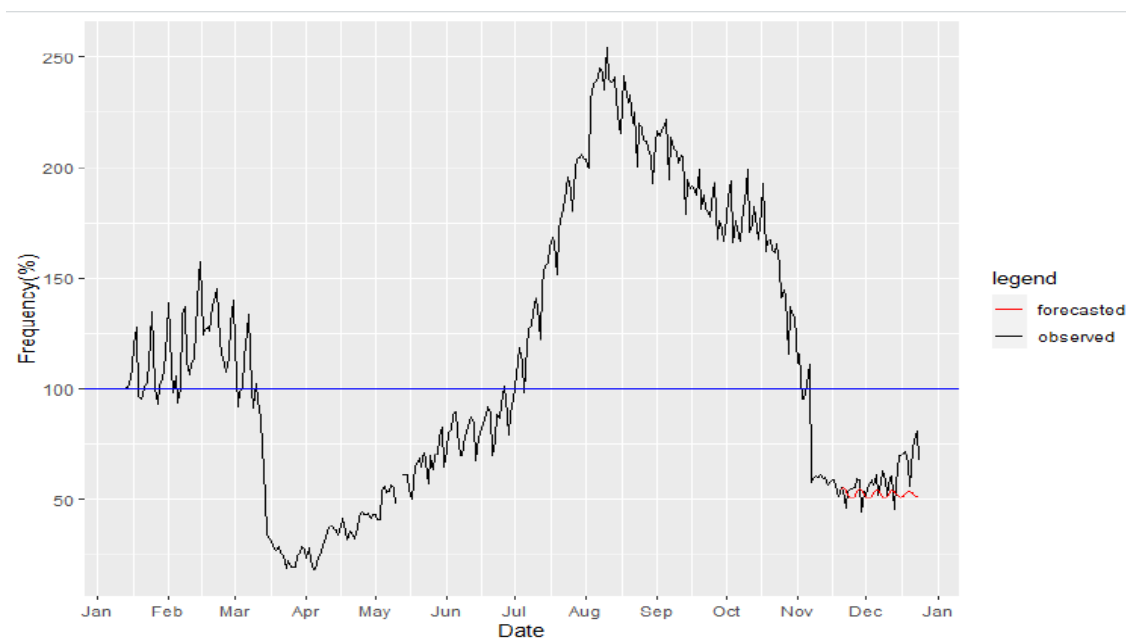
Πίνακας 5.3: Στατιστικά μέτρα αξιολόγησης των μοντέλων

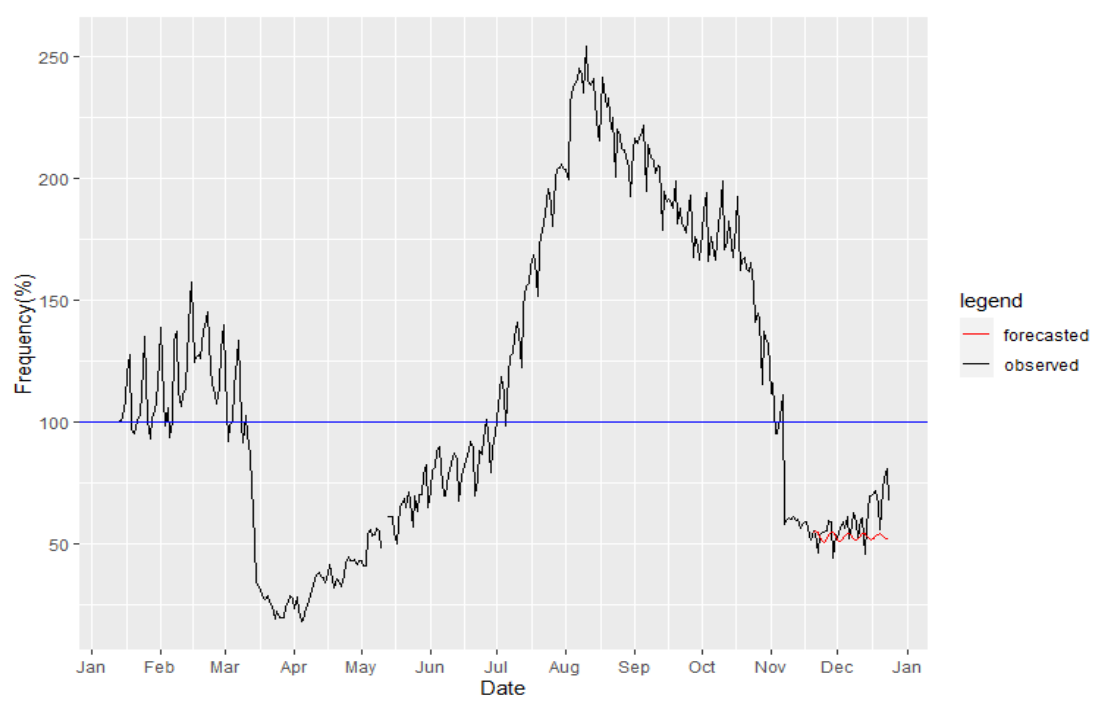
Εξαρτημένη μεταβλητή	Εξωγενής παράγοντας	AIC	BIC	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	ACF1	Theil's U
athens walking	closed recreation	1794.38	1815.99	-45.35	51.90	45.51	-77.78	77.90	0.84	6.21
athens driving	closed highschoools	2228.35	2258.30	9.17	15.29	10.84	12.22	15.79	0.64	1.17
athens driving	closed primary schools	2214.49	2244.43	9.79	15.81	11.47	13.38	16.84	0.61	1.22
athens driving	closed recreation	2282.66	2312.60	18.67	22.52	20.44	30.02	33.35	0.27	1.97
athens driving	lockdown	2222.70	2245.13	21.23	27.00	22.43	32.02	34.28	0.72	2.22
athens walking	closed recreation	2138.35	2156.95	10.88	15.30	11.71	16.24	17.85	0.56	1.52
athens walking	closed retail	2120.69	2135.57	15.08	26.50	17.72	21.19	26.65	0.89	2.58
athens walking	lockdown	2127.33	2142.21	7.18	12.45	9.20	9.78	14.08	0.60	1.20
greece driving	closed highschoools	2154.34	2176.78	21.04	26.09	21.50	34.16	35.14	0.83	2.98
greece driving	closed primary schools	2142.88	2165.32	20.01	24.94	20.48	32.43	33.40	0.82	2.85
greece driving	closed retail	2149.40	2171.83	32.18	44.58	32.68	50.96	52.02	0.91	5.00
greece walking	closed retail	2131.99	2150.69	44.87	54.29	44.87	71.43	71.43	0.91	6.50
greece walking	lockdown	2310.37	2336.55	6.99	11.02	8.35	10.01	12.99	0.60	1.27
greece walking	closed highschoools	2279.80	2305.98	6.99	11.40	8.68	9.90	13.60	0.61	1.32
athens walking	closed highschoools	2254.01	2280.18	5.02	11.49	8.56	5.76	13.54	0.65	1.12
greece walking	closed primary schools	2285.95	2312.13	6.62	11.14	8.40	9.26	13.16	0.61	1.29
athens walking	closed primary schools	2261.02	2287.20	5.00	11.48	8.56	5.72	13.54	0.65	1.12
athens driving	closed primary schools	1831.09	1860.11	-24.22	31.74	27.22	-47.75	49.82	0.56	3.15
greece walking	closed highschoools	2024.34	2046.09	-79.41	85.90	79.69	-128.21	128.35	0.90	11.83
greece walking	closed primary schools	2027.95	2049.70	-82.11	89.15	82.44	-133.04	133.21	0.91	12.31
athens driving	closed highschoools	2281.45	2307.65	10.68	17.65	13.06	13.62	19.54	0.73	1.42
athens driving	closed primary schools	2276.42	2302.62	9.36	16.63	12.10	11.42	18.16	0.72	1.34
athens driving	closed recreation	2352.56	2375.02	0.67	11.40	8.21	-2.82	13.77	0.61	1.01
athens driving	lockdown	2262.14	2288.32	10.15	16.78	12.24	12.99	18.16	0.71	1.34
athens walking	closed recreation	2283.24	2309.42	5.11	11.51	8.56	5.91	13.51	0.65	1.12
athens walking	closed retail	2272.75	2298.92	15.93	27.89	18.69	22.17	28.21	0.90	2.73
athens_walking	lockdown	2289.68	2315.86	5.29	11.55	8.56	6.23	13.47	0.65	1.13
greece driving	closed highschoools	2186.90	2213.08	9.39	14.03	10.44	14.01	16.58	1.72	1.56
greece driving	closed primary schools	2178.68	2204.86	10.00	14.07	10.74	15.36	17.16	0.69	1.56
greece driving	closed retail	2182.92	2209.10	23.37	36.39	24.40	35.57	38.10	0.91	4.07
greece walking	closed retail	2293.07	2315.51	14.14	21.43	15.23	20.97	23.37	0.87	2.48

Για την καλύτερη κατανόηση και την ευκολότερη εξέταση των μοντέλων σχηματίστηκαν διαγράμματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

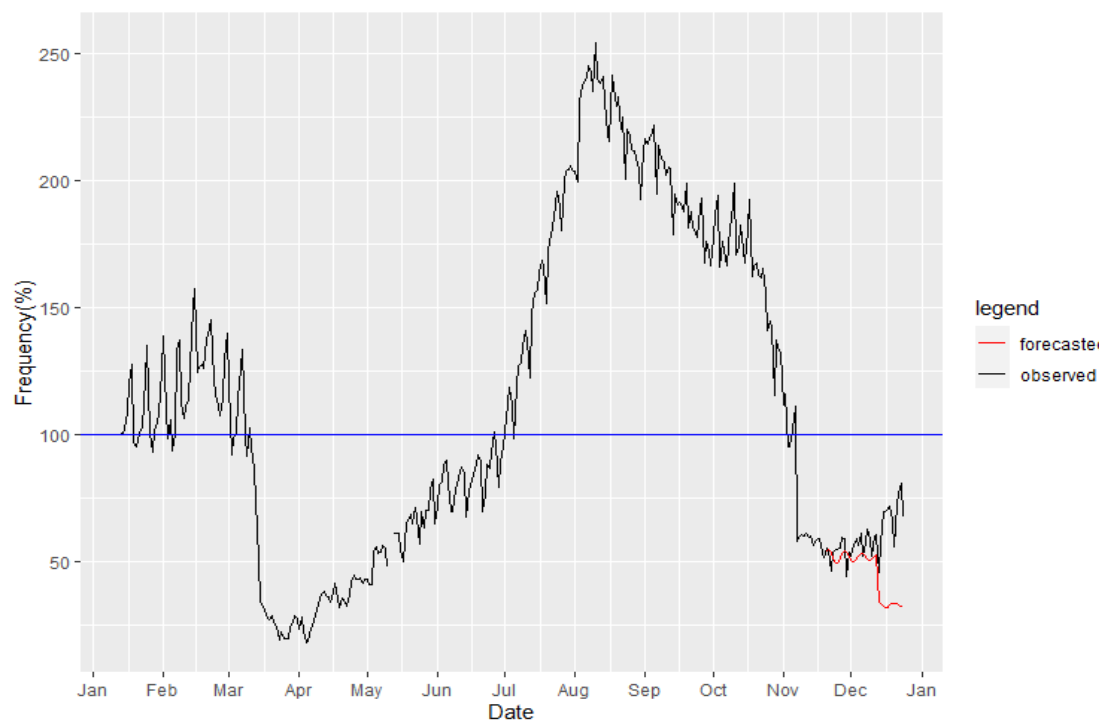
5.4.1 Γραφική απεικόνιση των στατιστικά σημαντικών μοντέλων χρονοσειρών

Η πρώτη κατηγορία διαγραμμάτων είναι μια **απλή απεικόνιση** όλων των στατιστικά σημαντικών μοντέλων. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στις παρατηρηθείσες τιμές και η κόκκινη στις προβλέψεις του μοντέλου:

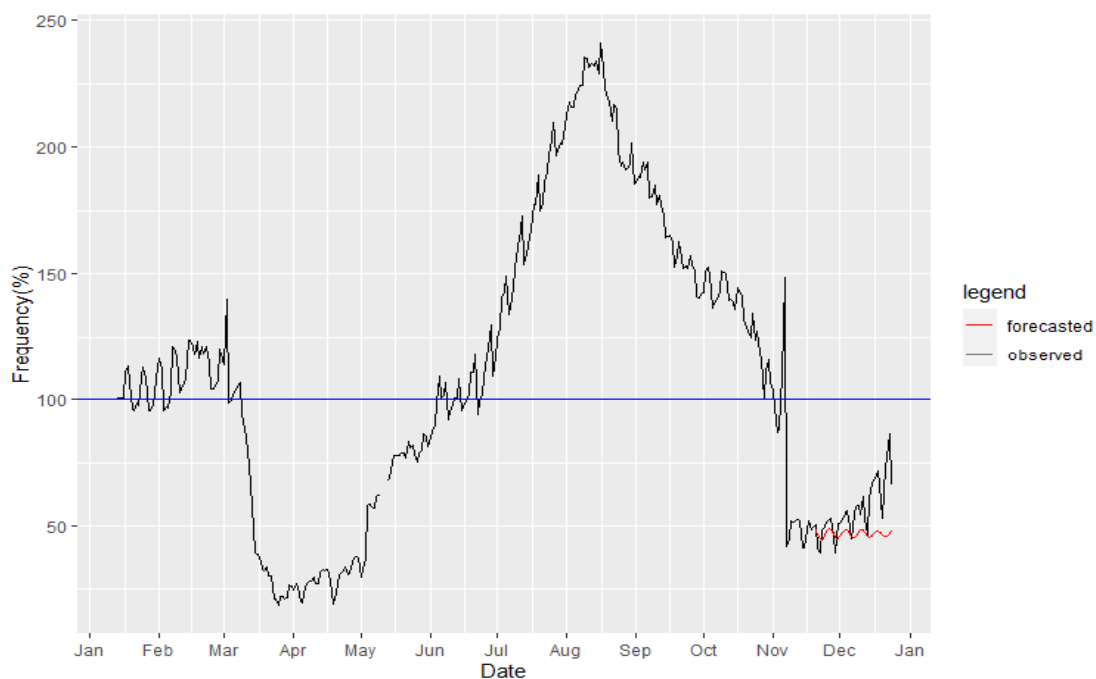
5.4.1.1 Μοντέλα χωρίς εποχικότητα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/2020-19/11/2020 (90% train set)**Γράφημα 5.1: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα το lockdown****Γράφημα 5.2: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή δευτεροβάθμια εκπαίδευση**



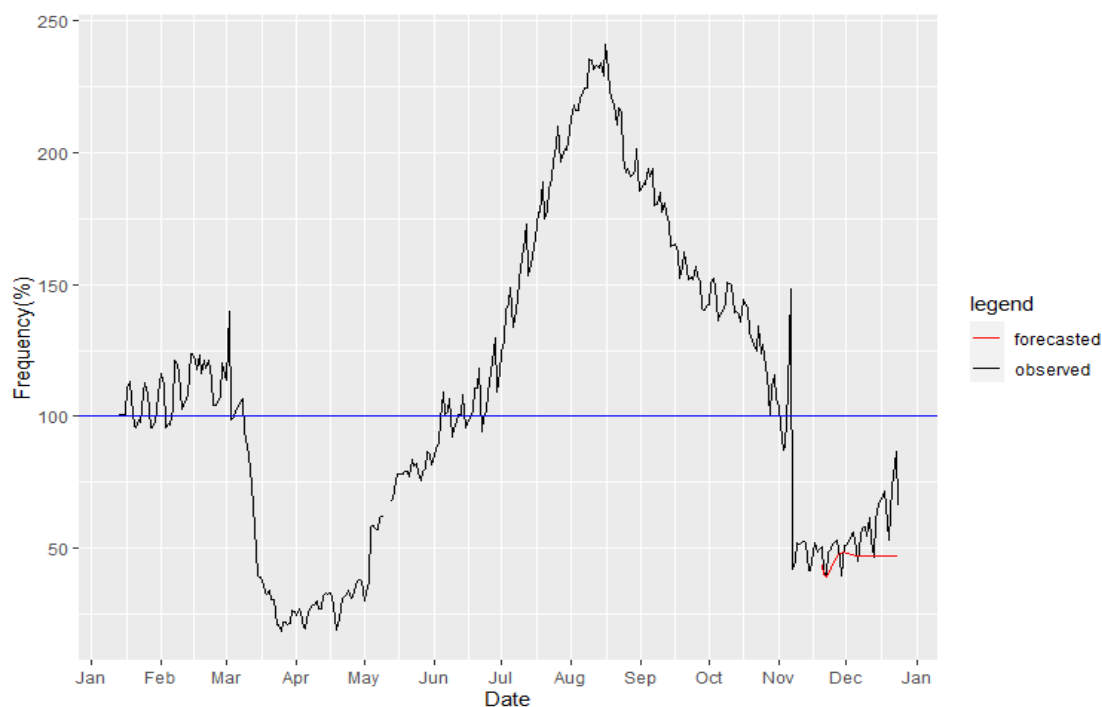
Γράφημα 5.3: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση



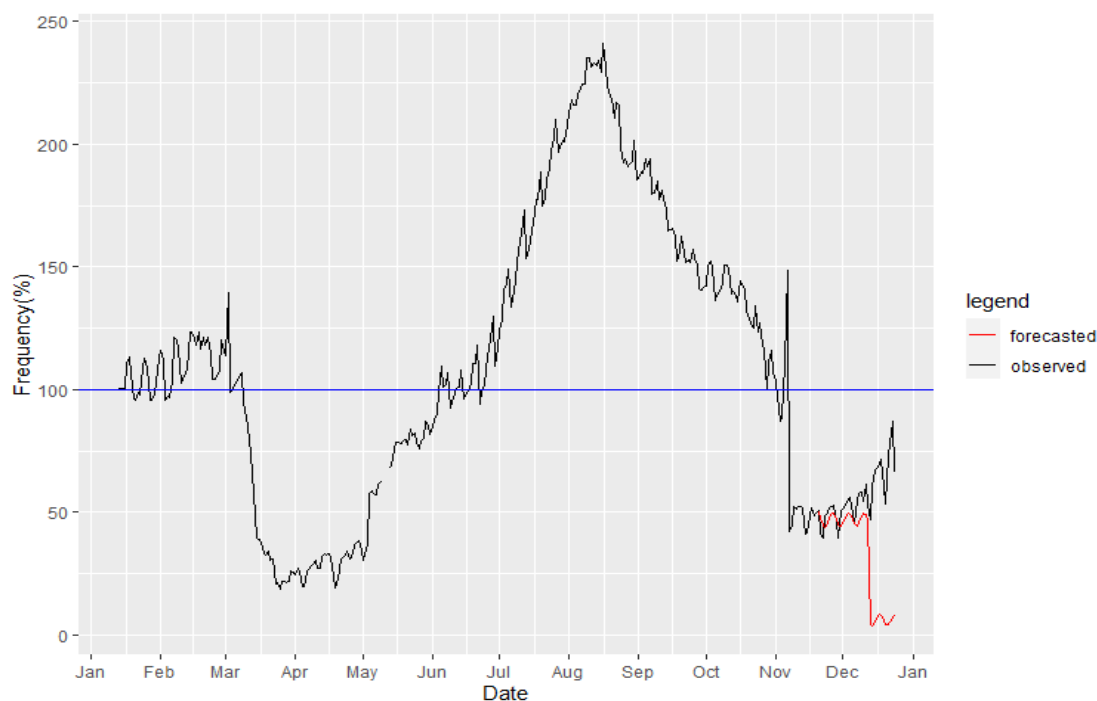
Γράφημα 5.4: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα την κλειστή λυκειακή



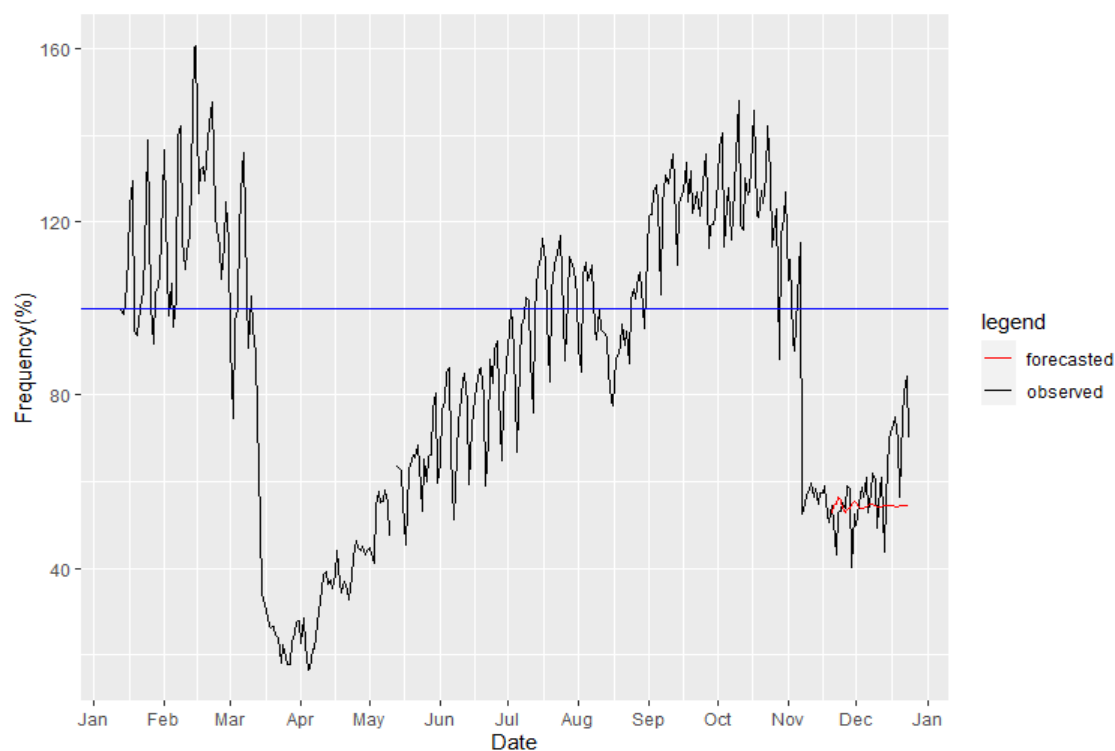
Γράφημα 5.5: Οδήγηση στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή δευτεροβάθμια εκπαίδευση



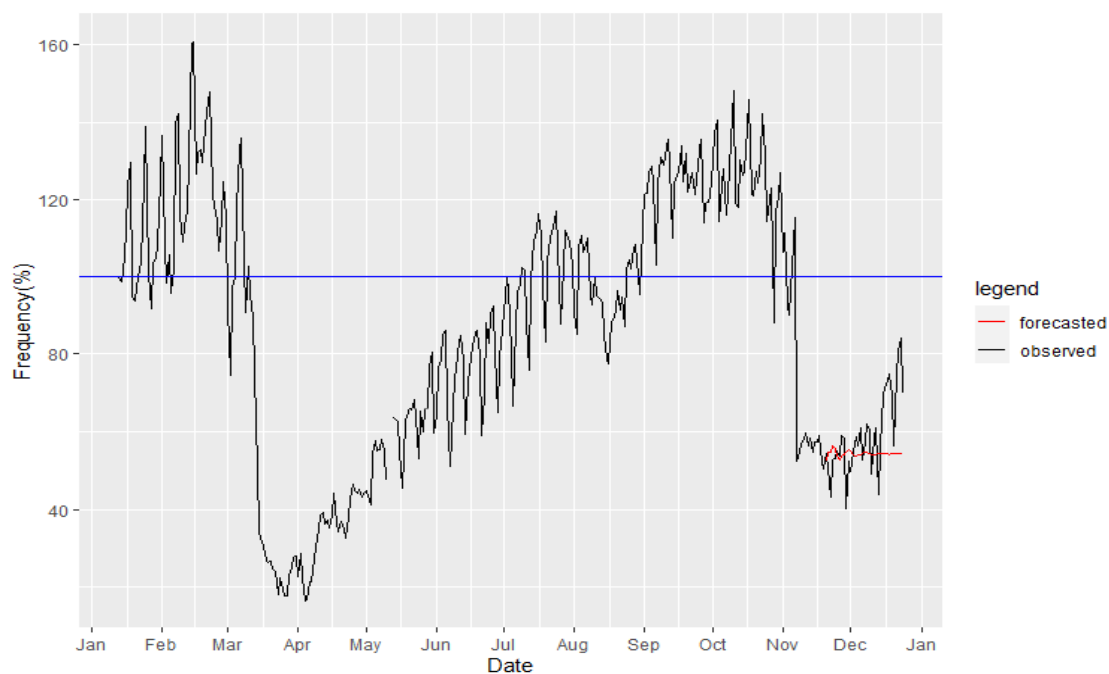
Γράφημα 5.6: Οδήγηση στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση



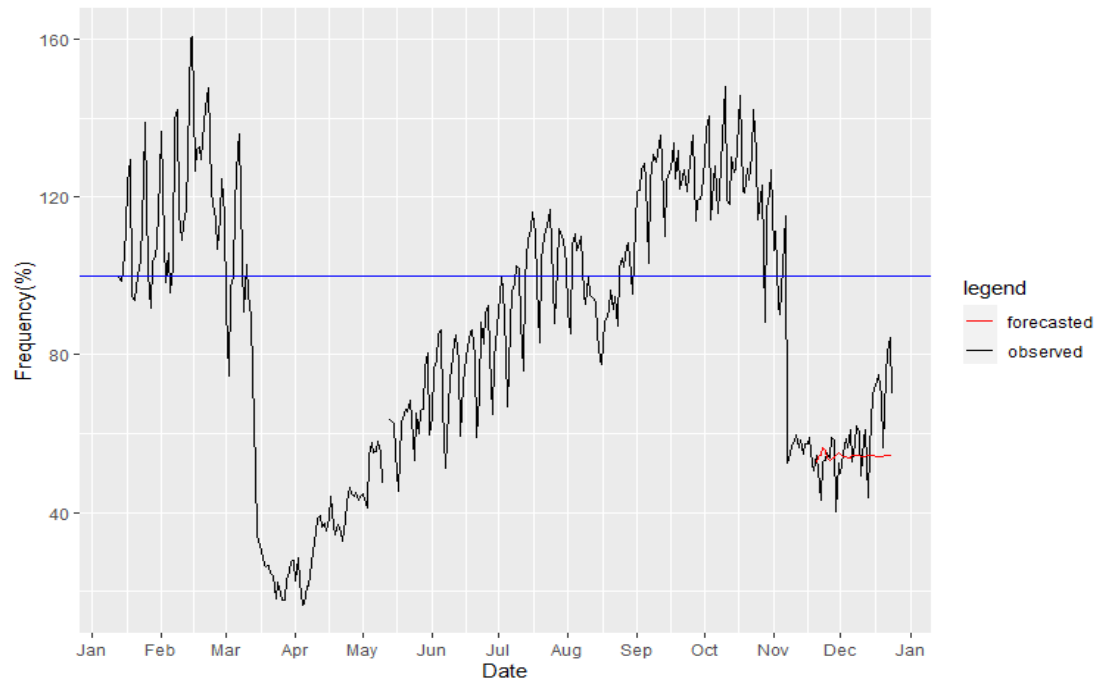
Γράφημα 5.7: Οδήγηση στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα την κλειστή λιανική



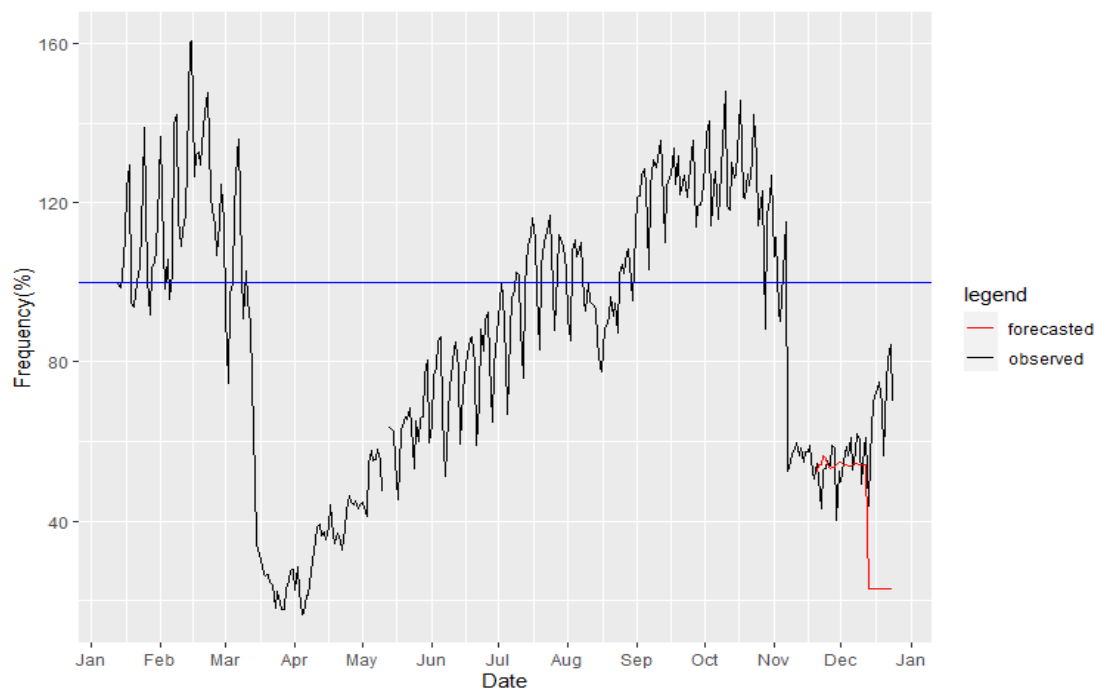
Γράφημα 5.8: Περπατήματα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή δευτεροβάθμια εκπαίδευση



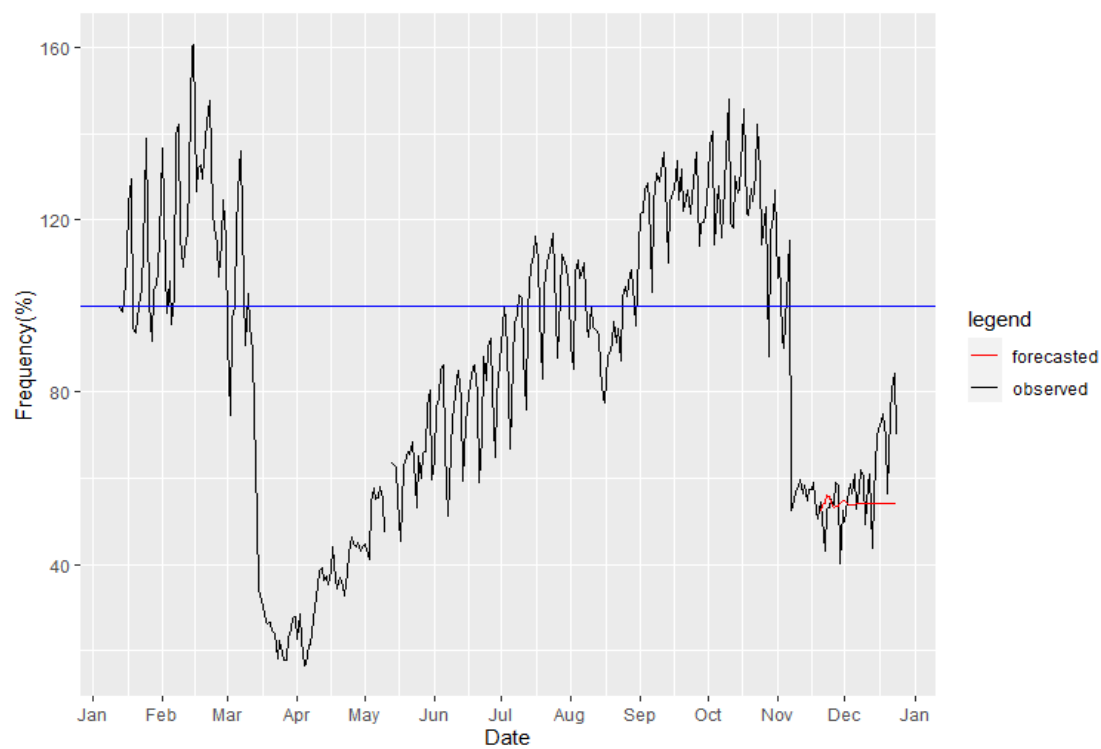
Γράφημα 5.9: Περπατήμα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση



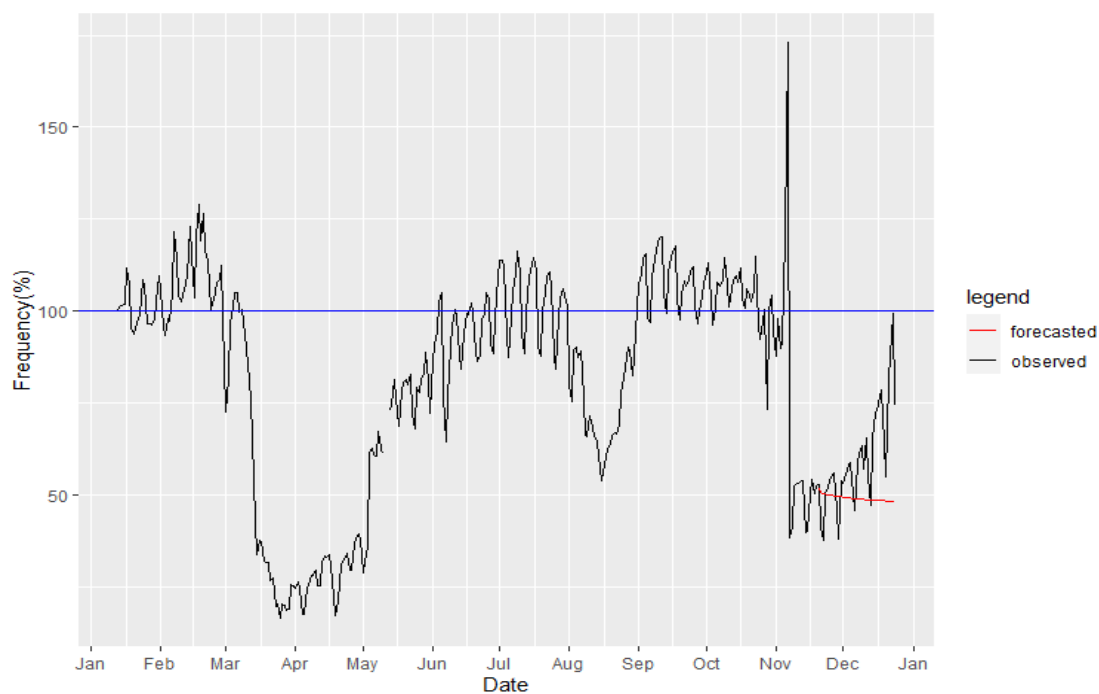
Γράφημα 5.10: Περμάτημα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα την κλειστή εστίαση



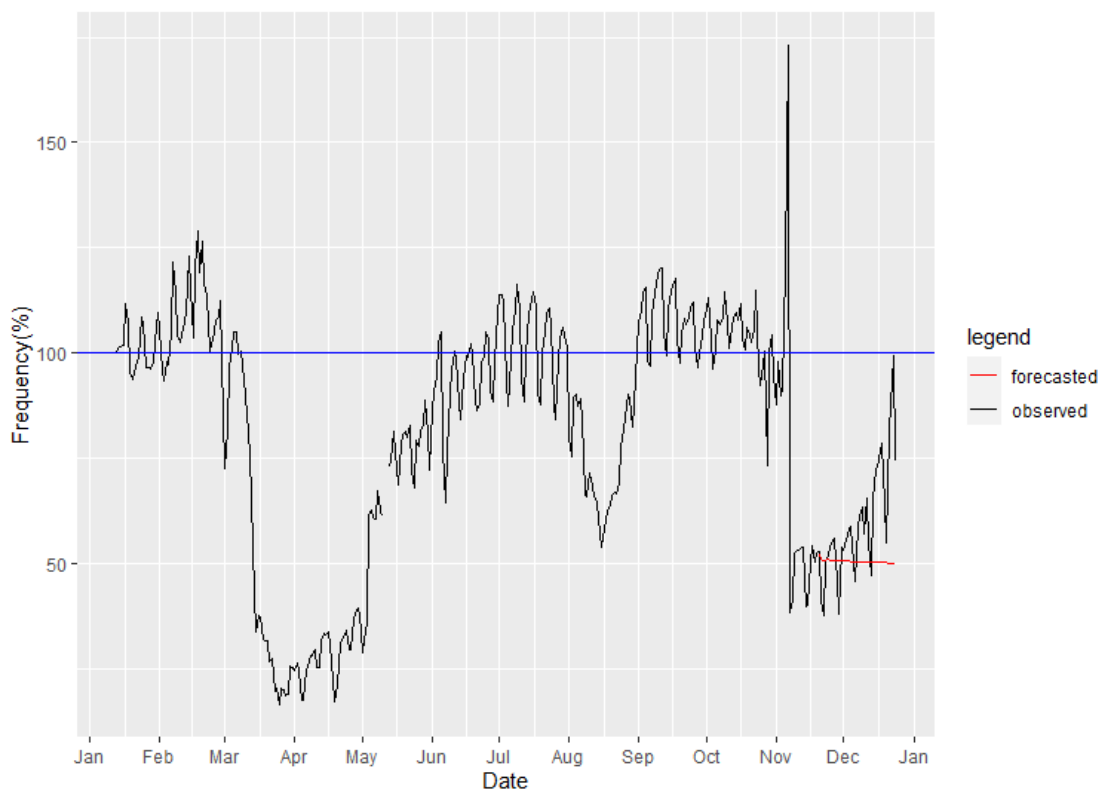
Γράφημα 5.11: Περματήμα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα την κλειστή λιανική



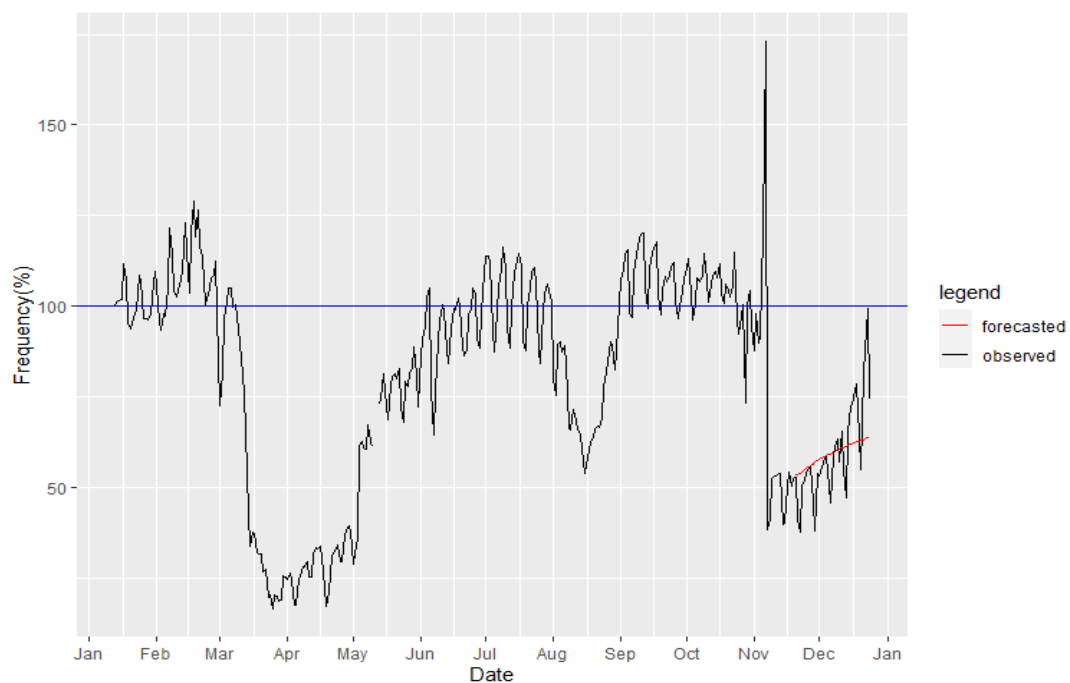
Γράφημα 5.12: Περπάτημα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα το lockdown



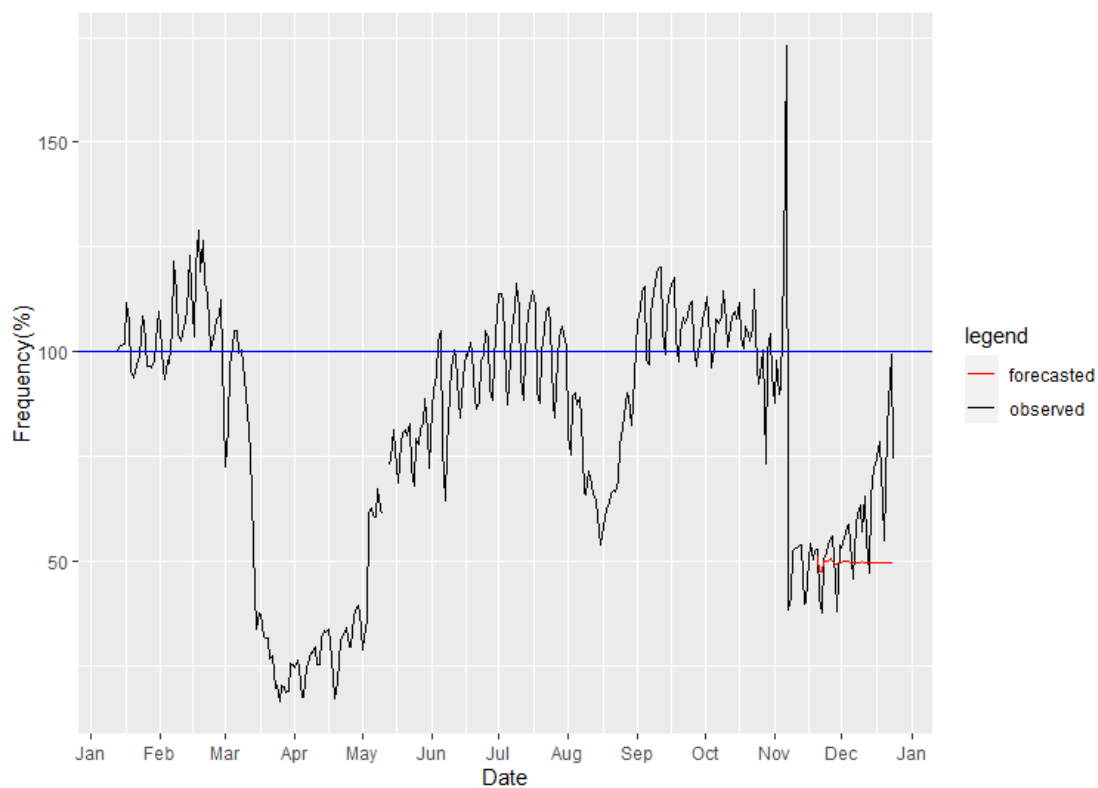
Γράφημα 5.13: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή δευτεροβάθμια εκπαίδευση



Γράφημα 5.14: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση

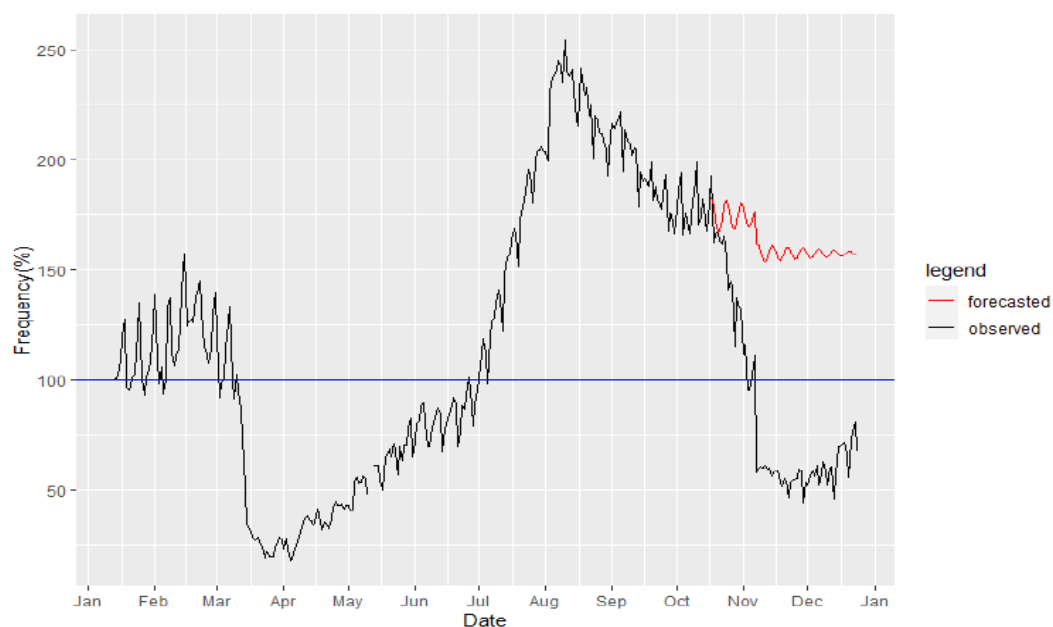


Γράφημα 5.15: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα την κλειστή εστίαση

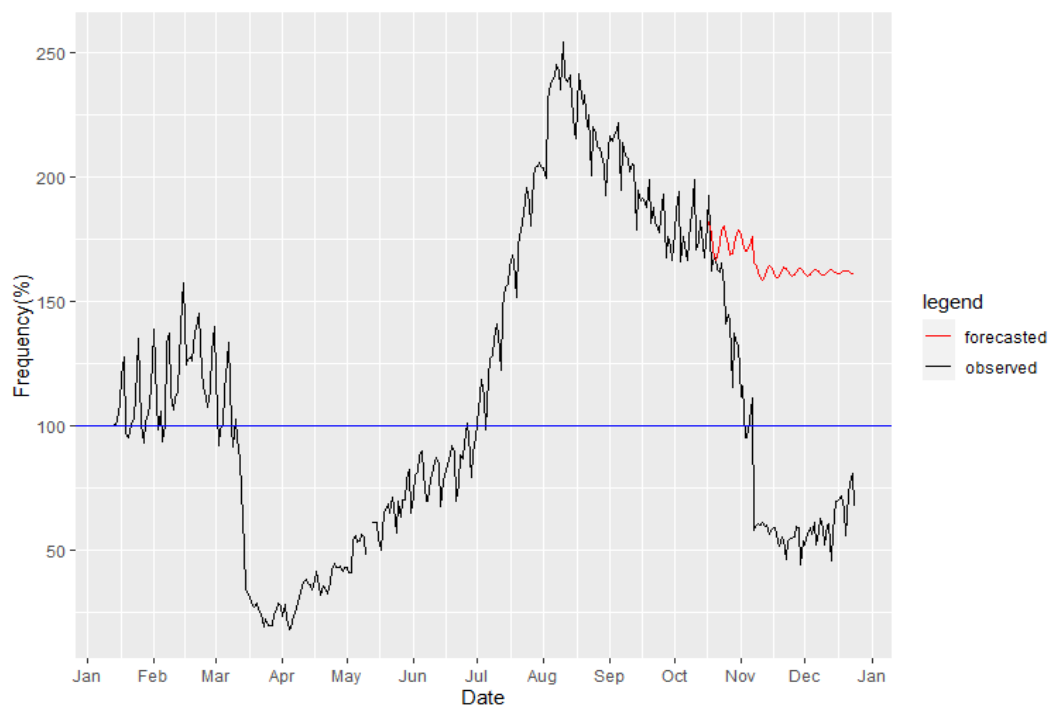


Γράφημα 5.16: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα το lockdown

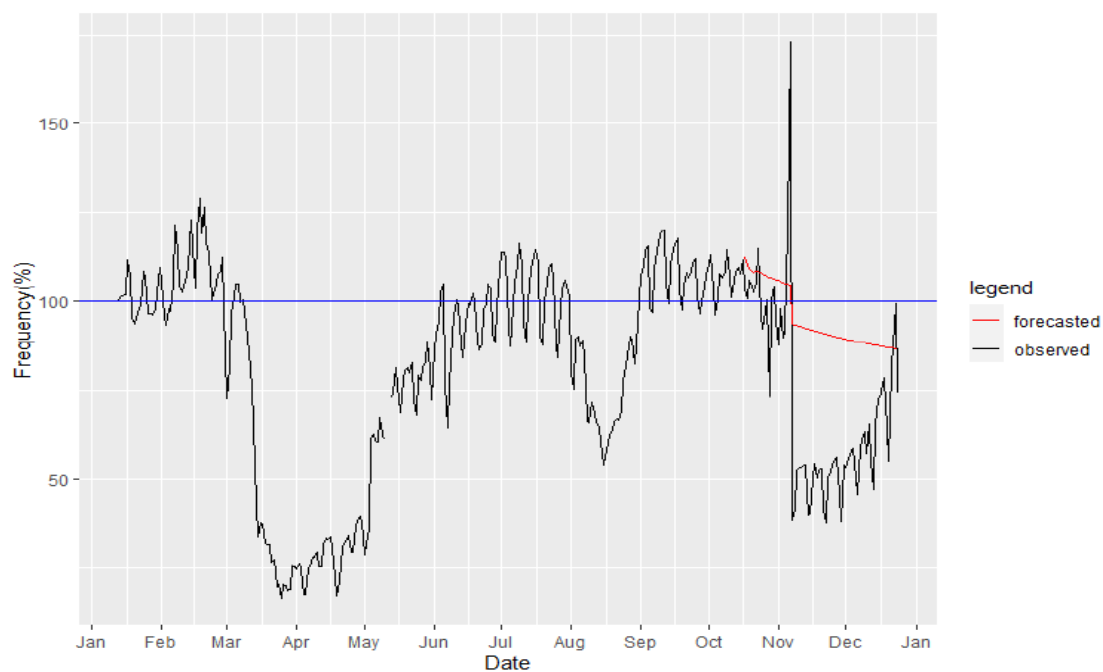
5.4.1.2 Μοντέλα χωρίς εποχικότητα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/2020-16/10/2020 (80% train set):



Γράφημα 5.17: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή_δευτεροβάθμια

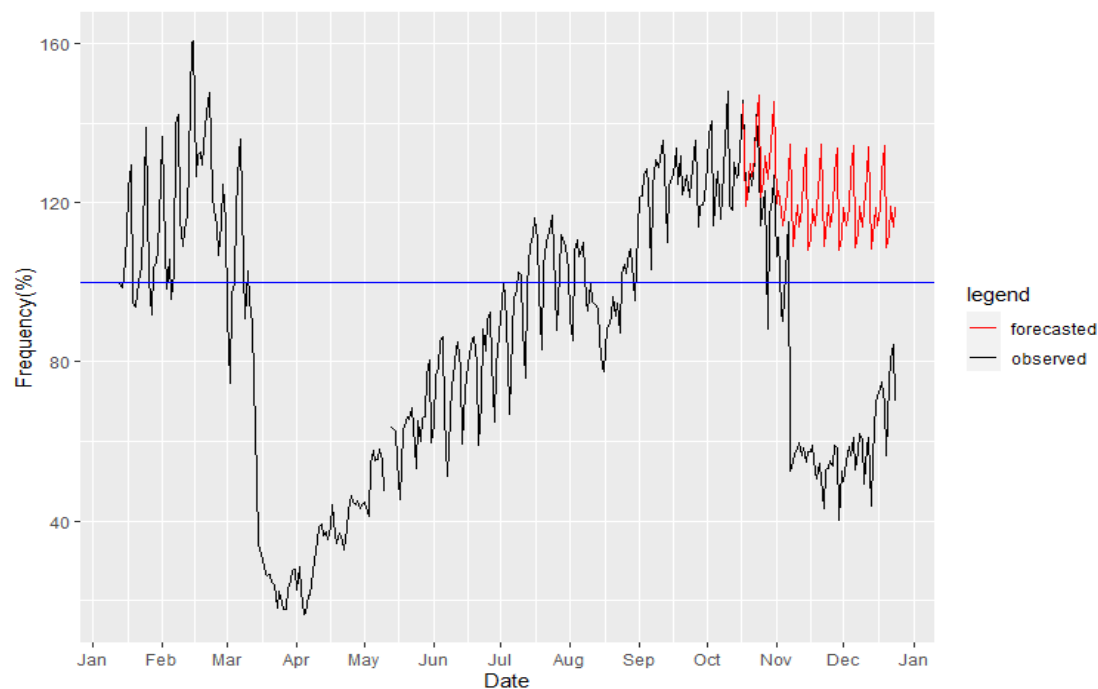


Γράφημα 5.18: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση

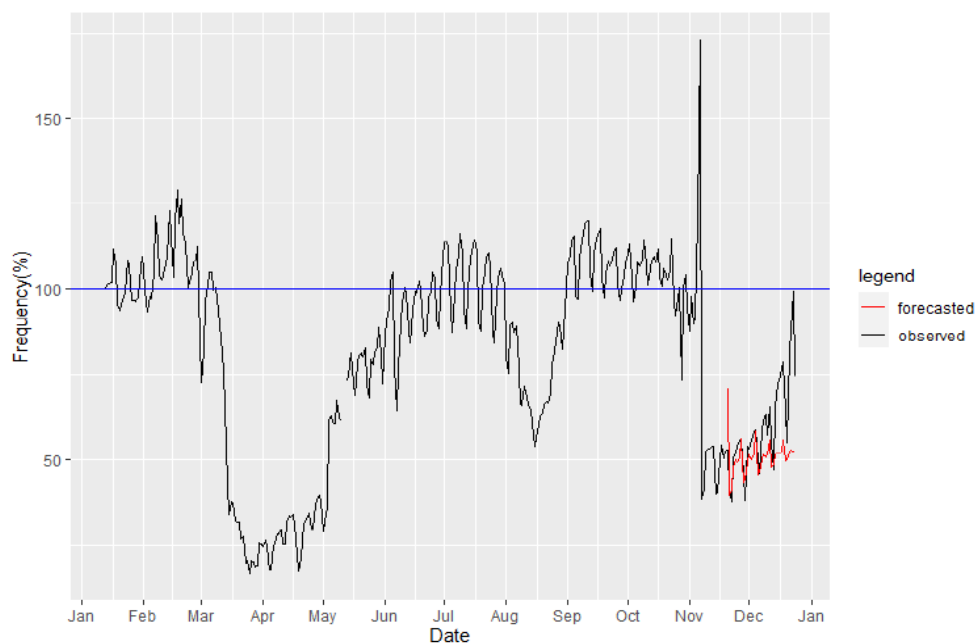


Γράφημα 5.19: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση

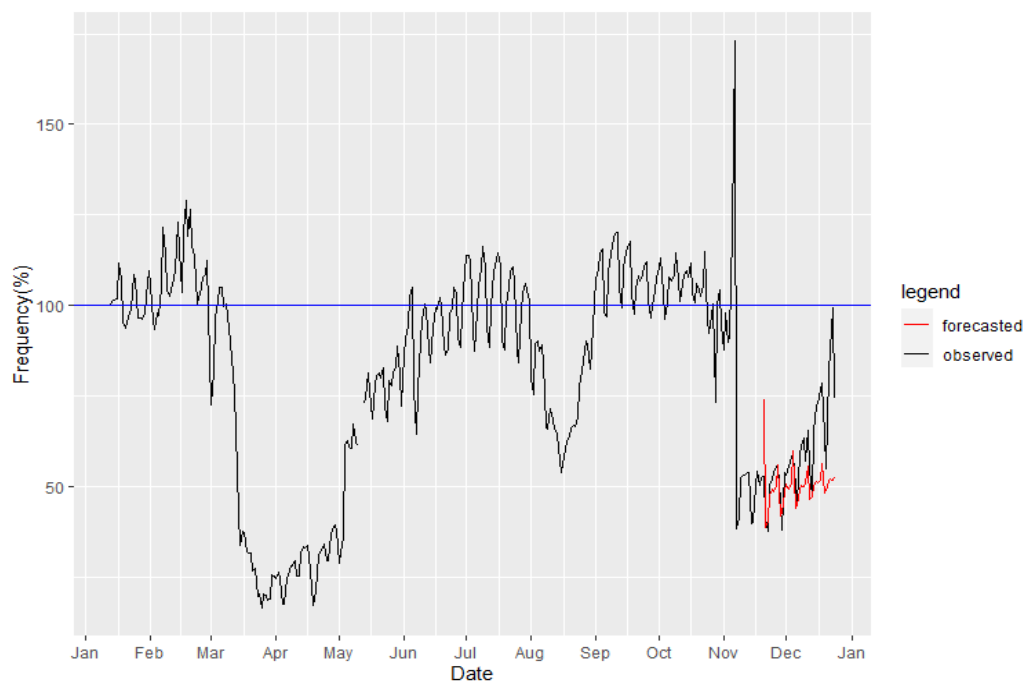
5.4.1.3 Μοντέλα με εποχικότητα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/2020-16/10/2020



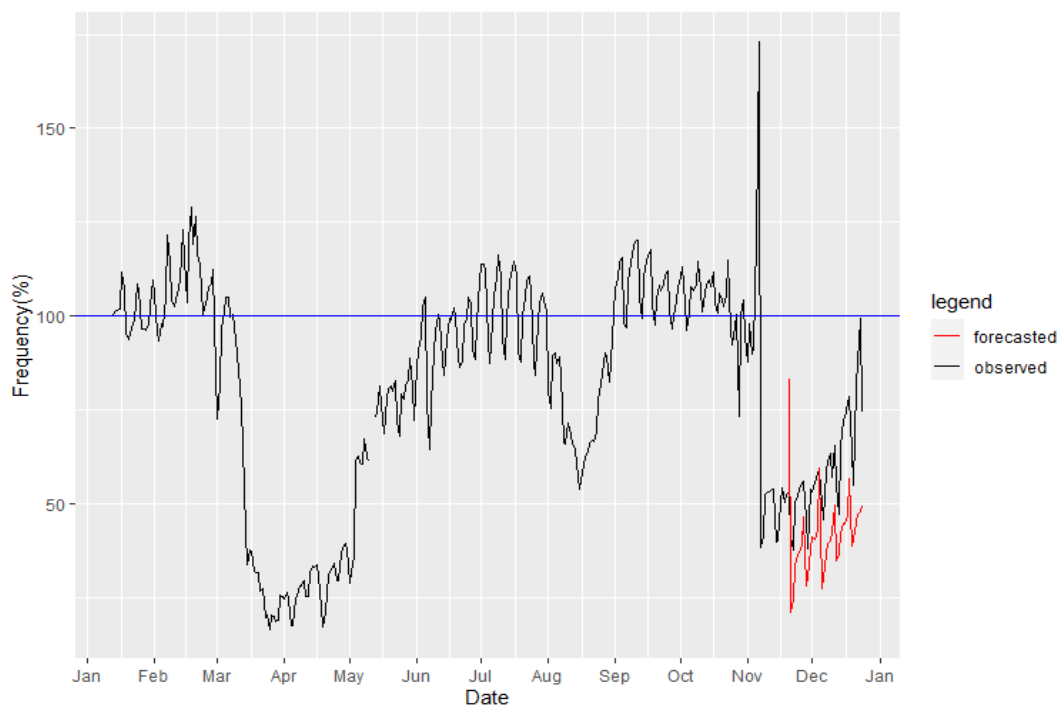
Γράφημα 5.20: Περπάτημα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα την κλειστή εστίαση

5.4.1.4 Μοντέλα με εποχικότητα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/2020-19/11/2020

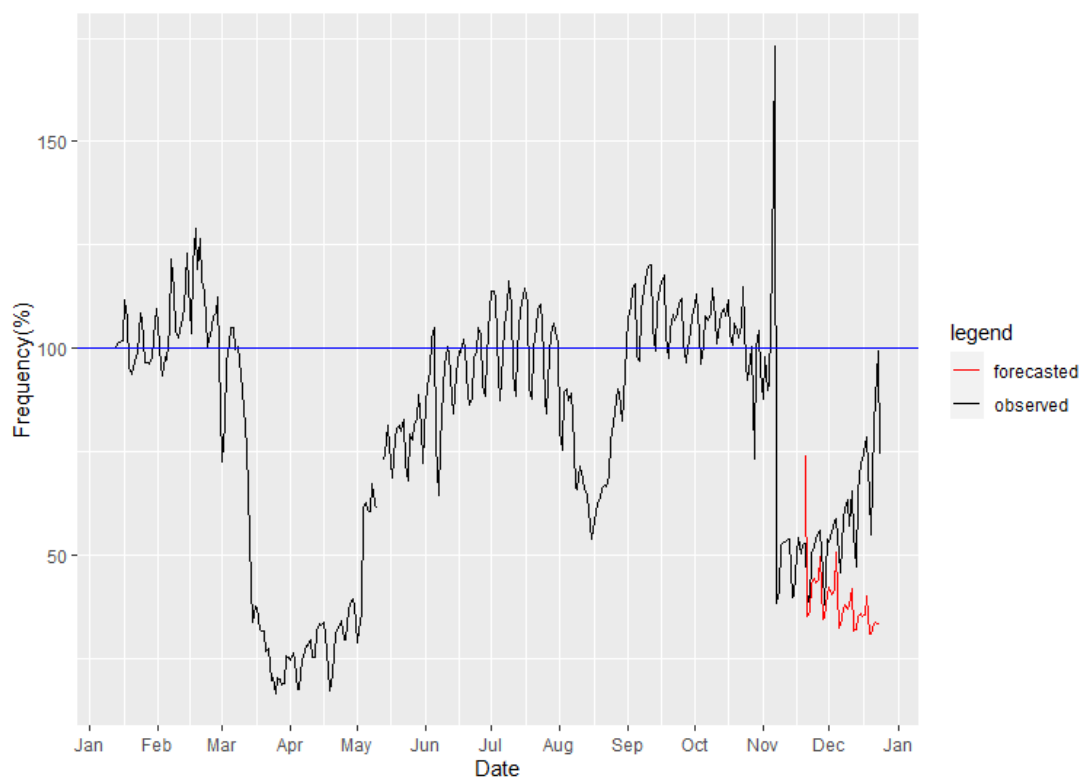
Γράφημα 5.21: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή δευτεροβάθμια εκπαίδευση



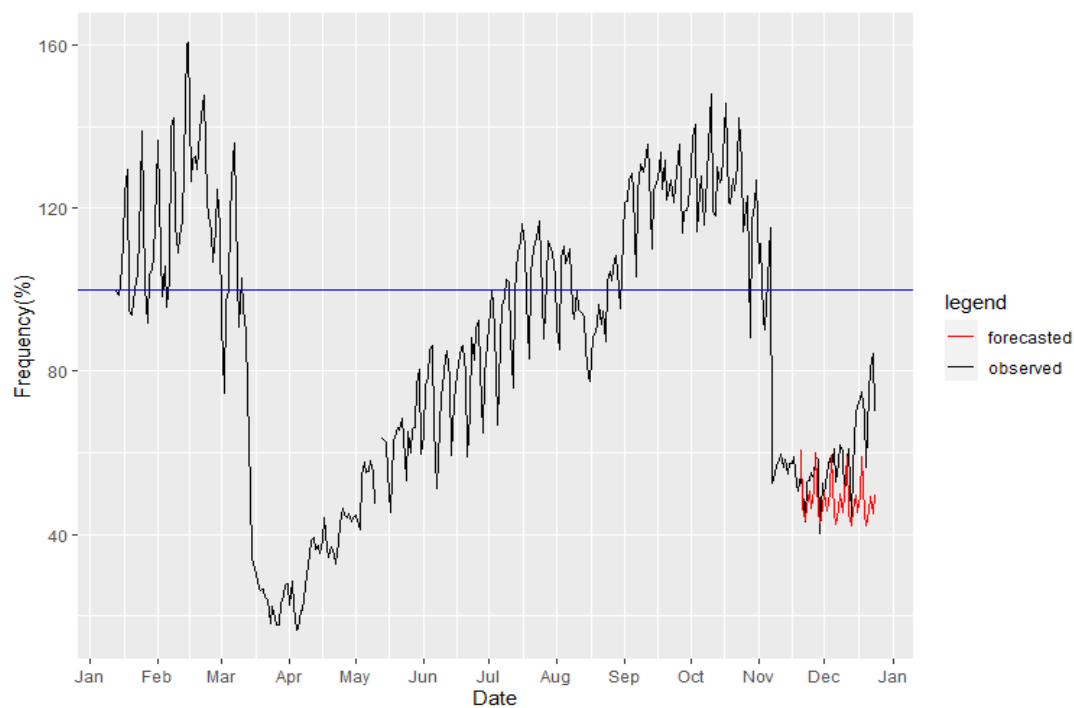
Γράφημα 5.22: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια



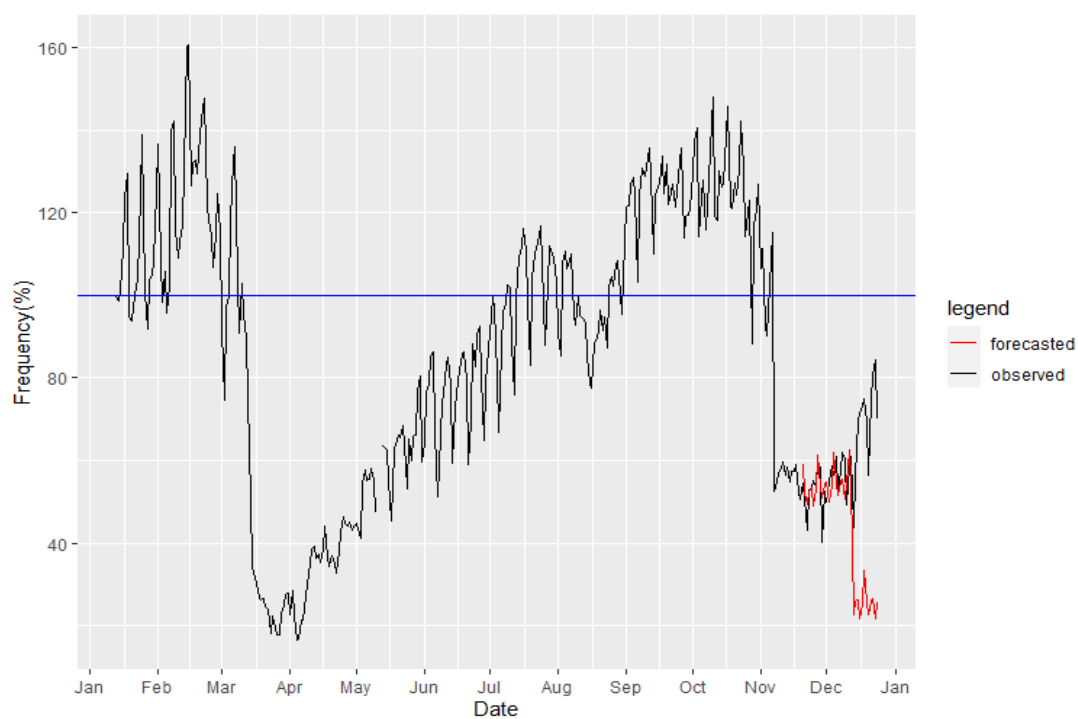
Γράφημα 5.23: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή εστίαση



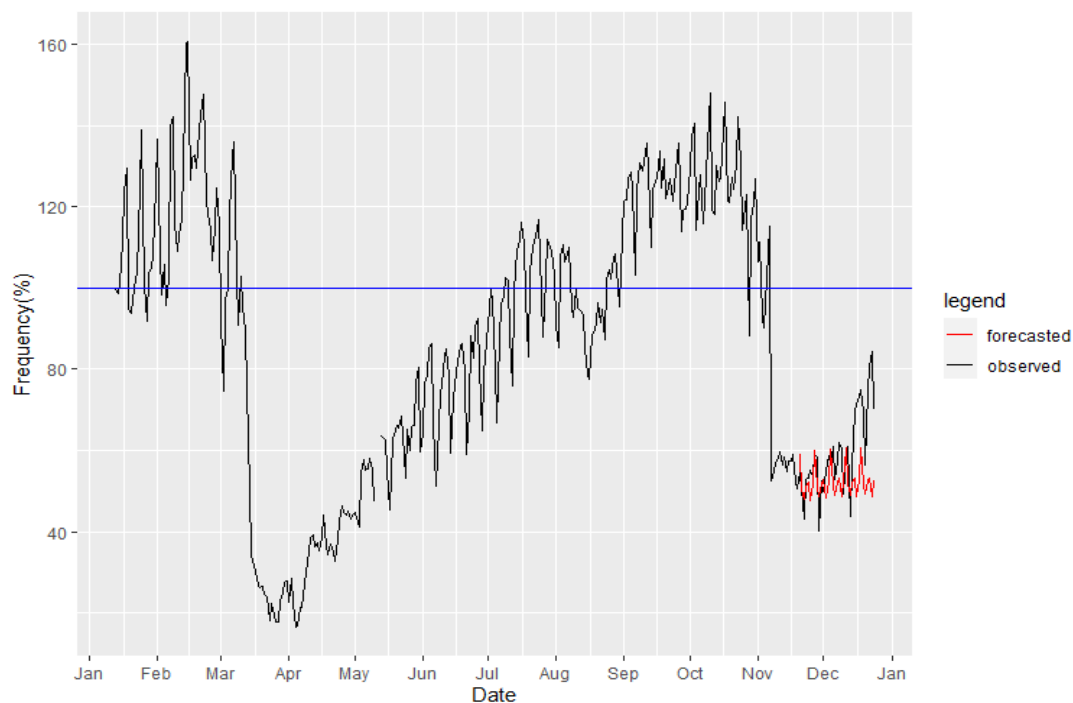
Γράφημα 5.24: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα το lockdown



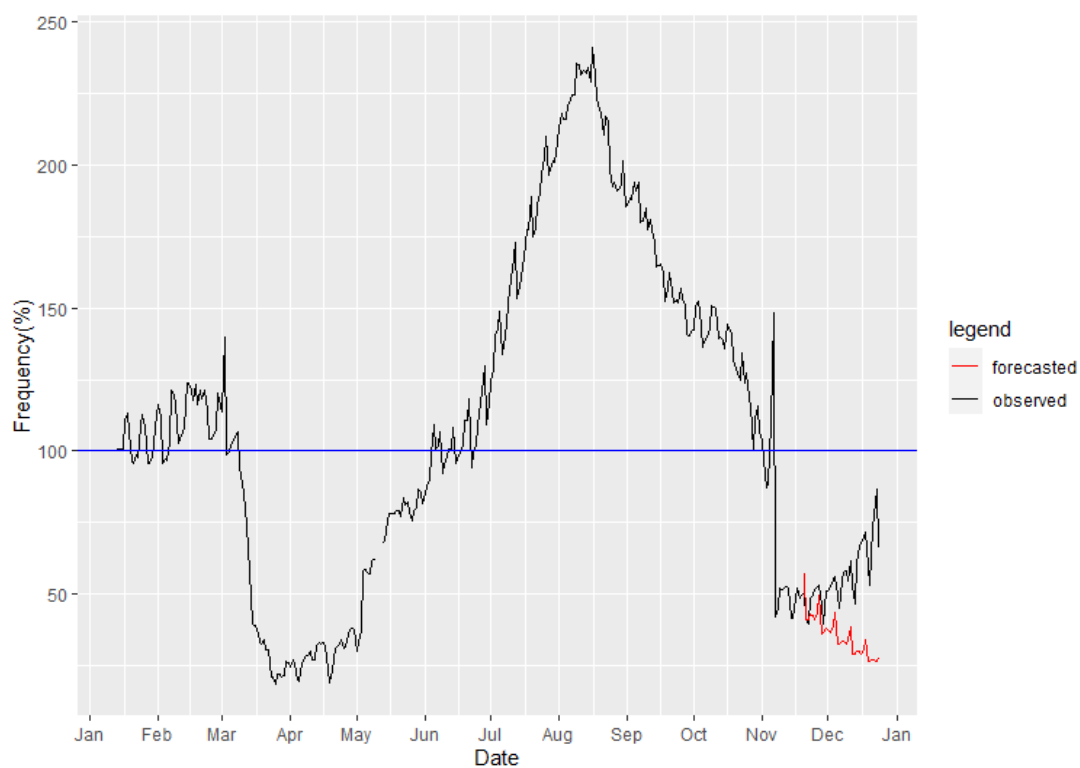
Γράφημα 5.25: Περπάτημα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή εστίαση



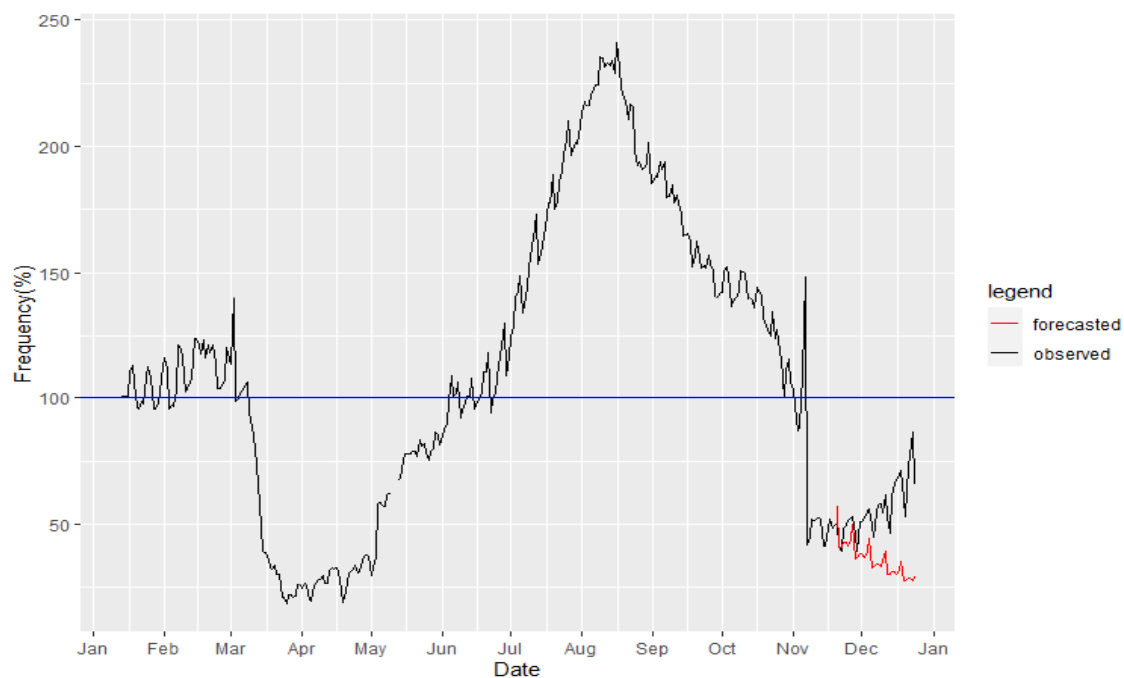
Γράφημα 5.26: Περπάτημα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή λιανική



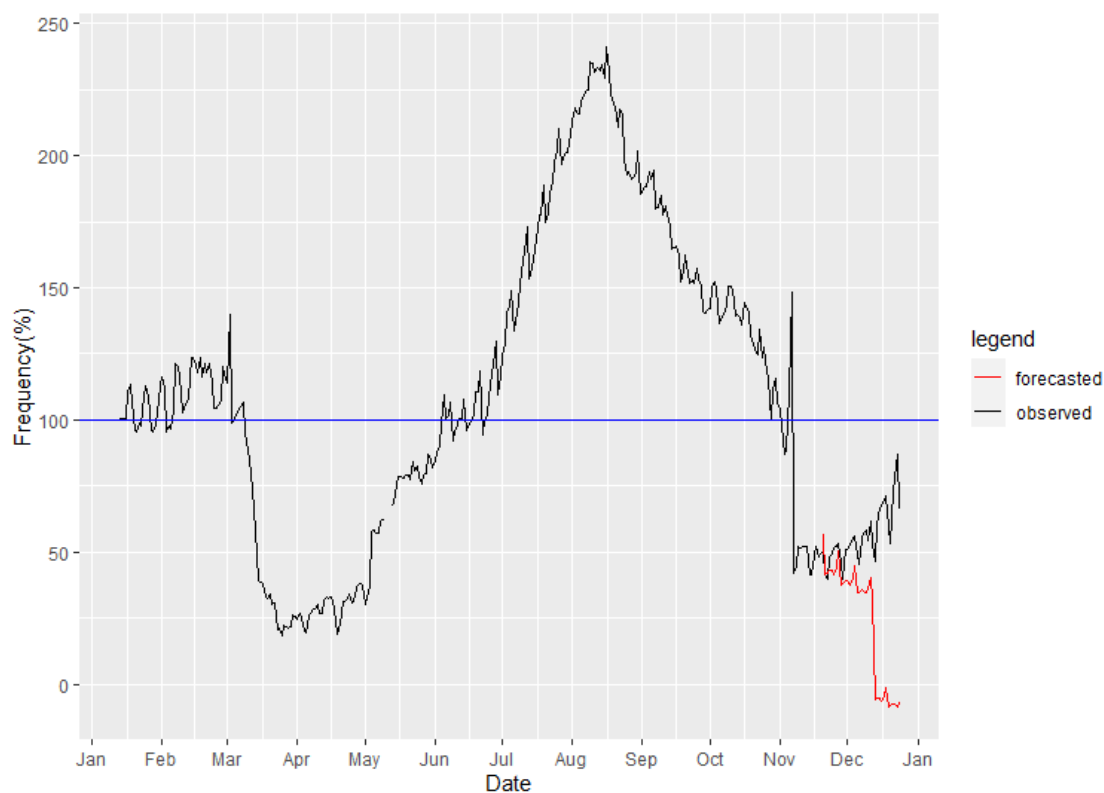
Γράφημα 5.27: Περπάτημα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα το lockdown



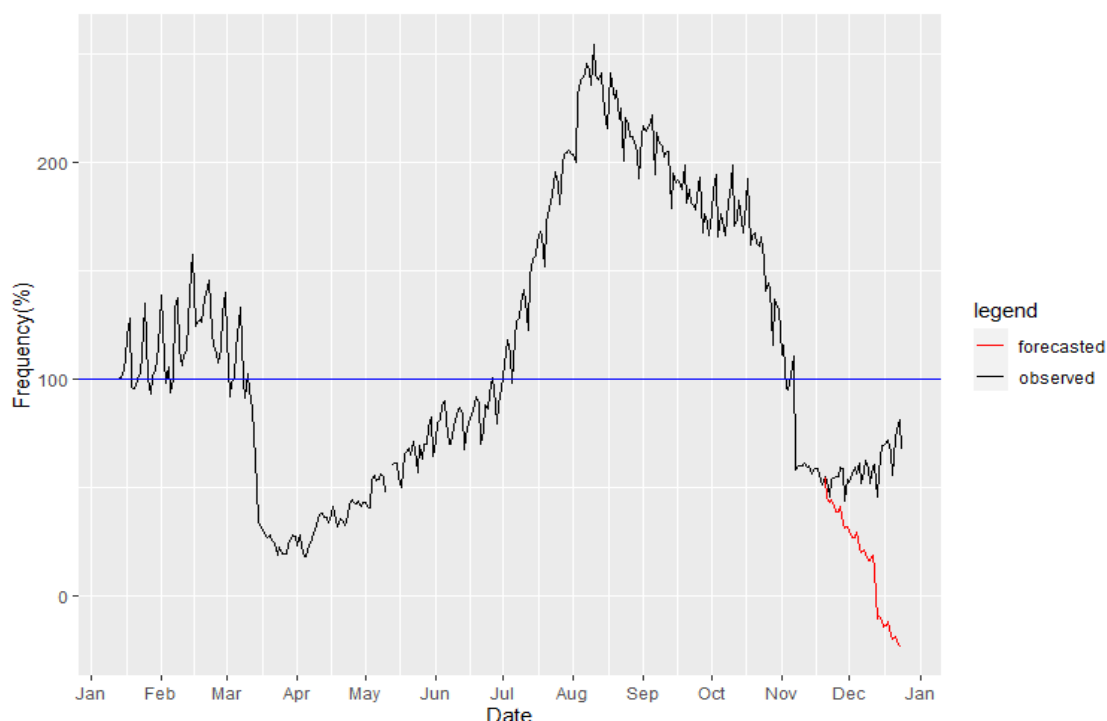
Γράφημα 5.28: Οδήγηση στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή δευτεροβάθμια εκπαίδευση



Γράφημα 5.29: Οδήγηση στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση



Γράφημα 5.30: Οδήγηση στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή λυκεική



Γράφημα 5.31: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή λιανική

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται στις αρχές Μαρτίου κατακόρυφη πτώση της κινητικότητας και για το περπάτημα και για την οδήγηση και στην Αθήνα και στην Ελλάδα. Μέχρι τα μέσα Μαρτίου η κινητικότητα έχει πέσει στο -80% περίπου από το baseline και για τις 4 κατηγορίες κινητικότητας και παραμένει σε αυτό το ποσοστό μέχρι τις αρχές Απριλίου, όσον αφορά τα στοιχεία περπατήματος, και μέχρι τις αρχές Μαΐου όσον αφορά τα στοιχεία οδήγησης. Από εκεί και έπειτα, όσον αφορά την κινητικότητα στην Ελλάδα, υπάρχει σταδιακή αύξηση μέχρι την κορύφωση στα μέσα Αυγούστου όπου το περπάτημα αγγίζει περίπου το +150% και η οδήγηση περίπου το +140% από το baseline.

Όσον αφορά στην κινητικότητα στην Αθήνα, επίσης αυξάνονται σταδιακά, αλλά δεν ξεπερνούν κατά μέσο όρο το baseline, ενώ τον Αύγουστο παρουσιάζουν εκ νέου πτώση, γεγονός όμως που μάλλον οφείλεται στην αποκέντρωση λόγω διακοπών παρά στην εξάπλωση της πανδημίας. Αυτή η **πορεία της κινητικότητας** μπορεί να εξηγηθεί με την επιβολή των μέτρων περιορισμού της πανδημίας. Με το κλείσιμο της εστίασης και των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων στις 13 Μαρτίου και την έναρξη του lockdown στις 23 Μαρτίου η κινητικότητα μειώνεται, ενώ από τις 4 Μαΐου και μετά που ξεκινά η αποκλιμάκωση των μέτρων, η κινητικότητα ακολουθεί ανοδική πορεία.

Το διάστημα του Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου η κινητικότητα **σε Ελλάδα και Αθήνα** φαίνεται παρόμοια με την κινητικότητα υπό κανονικές συνθήκες πριν την αρχή της πανδημίας (Ιανουάριος-Φεβρουάριος 2020), ενώ από τις 7-11-2020 με την επανεπιβολή των μέτρων και την έναρξη του δεύτερου lockdown παρατηρείται εκ νέου πτώση στο -60% περίπου από το baseline και για τις 4 κατηγορίες κινητικότητας.

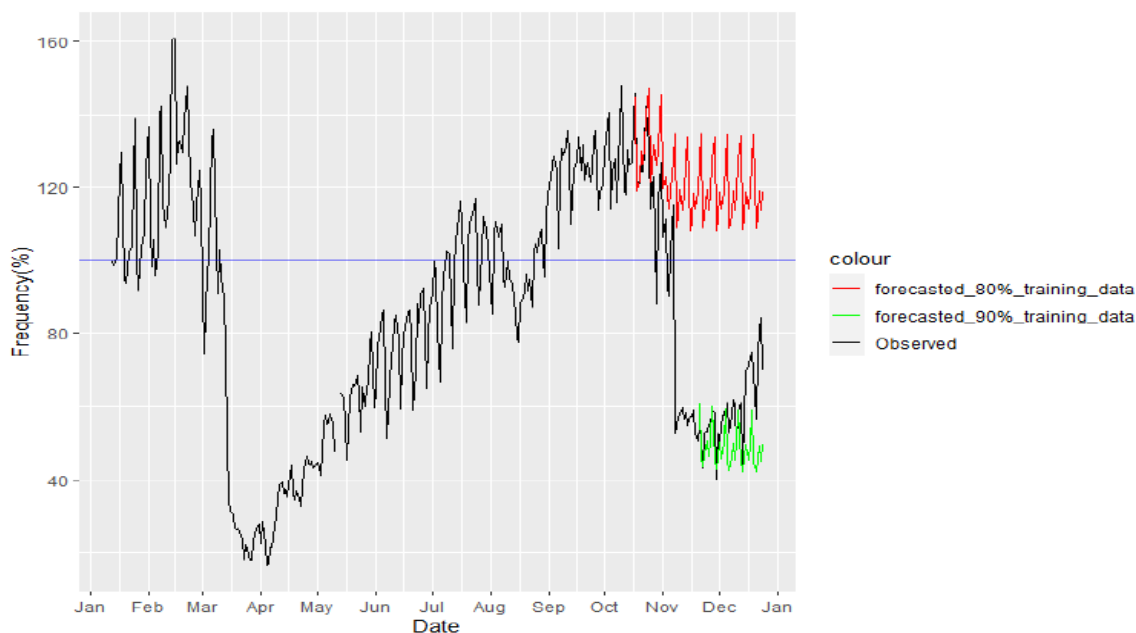
Από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται αντιληπτό, ότι λαμβάνοντας υπ'όψιν την **εποχικότητα** των δεδομένων, οι παραγόμενες **προβλέψεις πλησιάζουν περισσότερο τις παρατηρηθείσες τιμές**, απ'ότι εάν η εποχικότητα δεν ληφθεί υπ'όψιν. Τα μοντέλα με εποχικότητα αποτυπώνουν καλύτερα τις διακυμάνσεις που παρατηρούνται, σε σύγκριση με τα μοντέλα χωρίς εποχικότητα, πιθανώς διότι τα δεδομένα κινητικότητας εκ φύσεως παρουσιάζουν εβδομαδιαία εποχικότητα (η κινητικότητα τις καθημερινές διαφέρει από την κινητικότητα τα σαββατοκύριακα).

5.4.2 Γραφική Σύγκριση των διαφορετικών συνόλων εκπαίδευσης των μοντέλων (train sets)

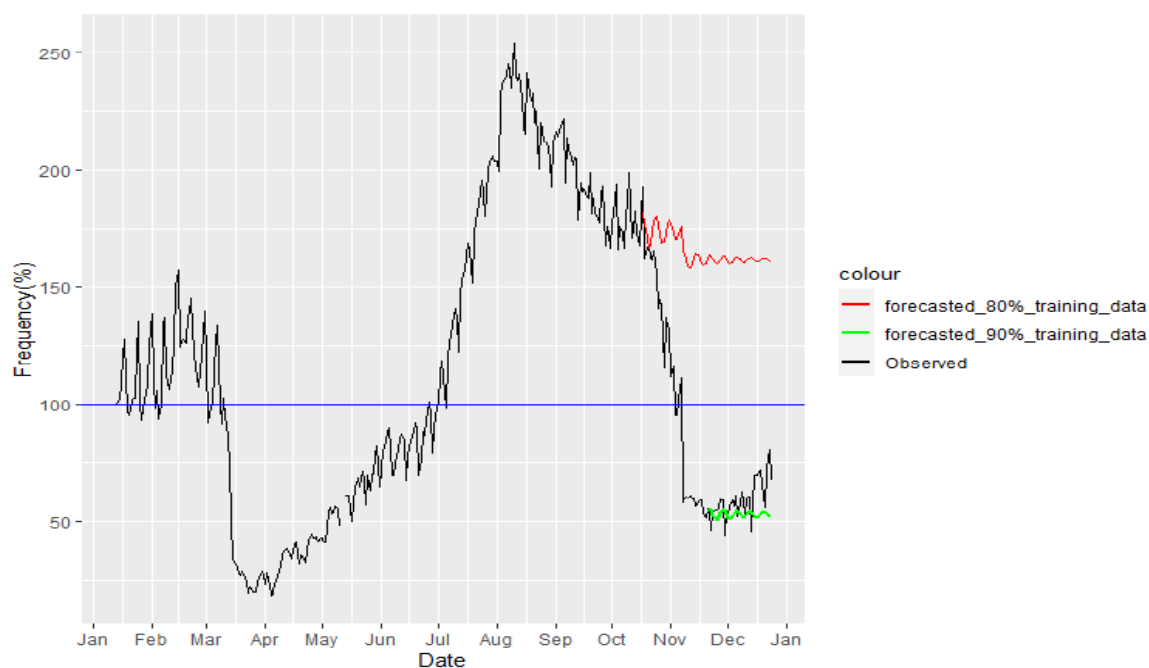
Στη δεύτερη κατηγορία διαγραμμάτων γίνεται **σύγκριση** μεταξύ των προβλέψεων με μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020 (80% train set) και με μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020 (90%train set). Γενικά, από τις 56 δοκιμές που έγιναν με train set το 80% των δεδομένων, μόνο τέσσερα αξιολογήθηκαν ως στατιστικά σημαντικές. Έτσι δημιουργήθηκαν τα τέσσερα παρακάτω διαγράμματα που απεικονίζουν για τις ίδιες εξαρτημένες και ανεξάρτητες μεταβλητές τις προβλέψεις με μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020 και με μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020 στο ίδιο διάγραμμα, για να μπορεί να γίνει η σύγκριση.

Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί πάλι στις παρατηρηθείσες τιμές, η κόκκινη στην πρόβλεψη που προκύπτει χρησιμοποιώντας ως train set το 80% των δεδομένων και η πράσινη στην πρόβλεψη που προκύπτει χρησιμοποιώντας ως train set το 90% των δεδομένων:

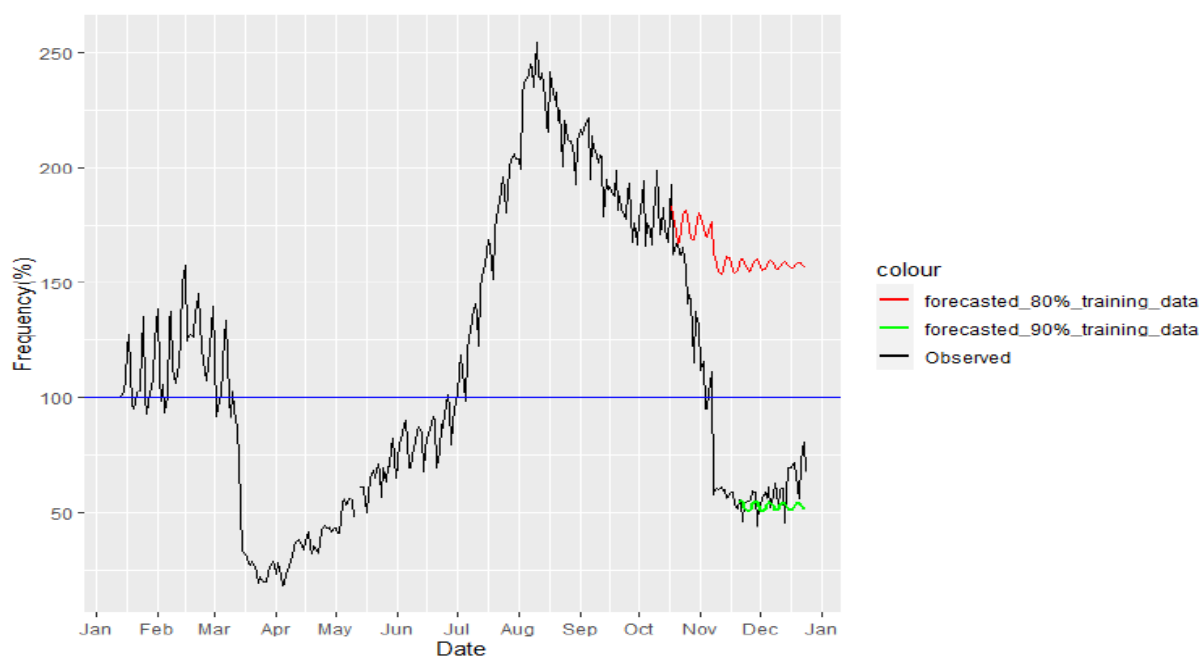
5.4.2.1 Μοντέλα με εποχικότητα:



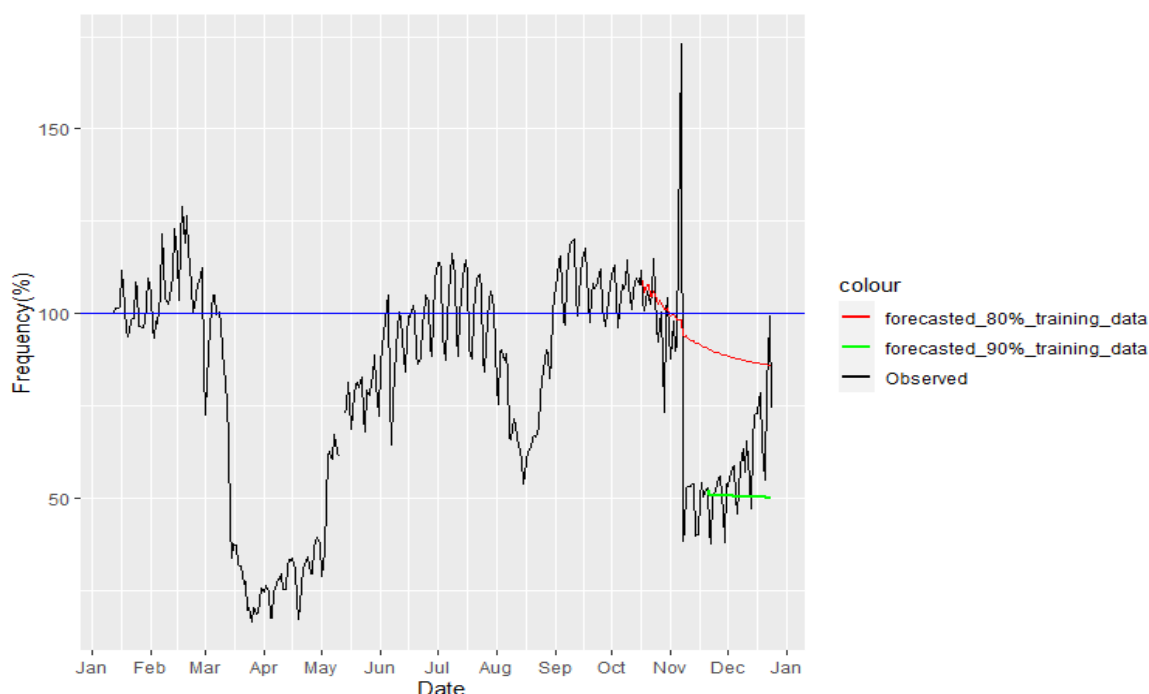
Γράφημα 5.32: Περπάτημα στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή εστίαση

5.4.2.2 Μοντέλα χωρίς εποχικότητα:

Γράφημα 5.33: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση



Γράφημα 5.34: Περπάτημα στην Ελλάδα με εξωγενή παράγοντα κλειστή δευτεροβάθμια εκπαίδευση



Γράφημα 5.35: Οδήγηση στην Αθήνα με εξωγενή παράγοντα κλειστή πρωτοβάθμια εκπαίδευση

Είναι σαφές ότι με **μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020** οι προβλέψεις είναι πολύ πιο κοντά στις παρατηρηθείσες τιμές απ'ότι με μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020. Οι παραγόμενες τιμές και στις δύο περιπτώσεις θα έπρεπε να βρίσκονται πολύ κάτω από το baseline (τιμές βάσης τον Ιανουαρίου 2020), ενώ φαίνεται για τα μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020 να βρίσκονται σταθερά από πάνω. Τα μοντέλα που έχουν 'εκπαιδευτεί' (train) στο χρονικό διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020 (train set) παράγουν προβλέψεις για το διάστημα από 17-10-2020 έως 24-12-2020 (test set). Τα μοντέλα που έχουν 'εκπαιδευτεί' για το χρονικό διάστημα 13-1-2020 έως 19-11-2020 (train set) παράγουν προβλέψεις για το διάστημα 20-11-2020 έως 24-12-2020 (test set).

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, τα μέτρα περιορισμού της πανδημίας επανεφαρμόστηκαν από τις 7-11-2020 και έπειτα, από τη διακοπή τους στα τέλη Μαΐου και έτσι φαίνεται ότι τα μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020 δεν λαμβάνουν υπ'οψιν την επανεμφάνιση των μέτρων. Συνεπώς, είναι λογικό, οι προβλέψεις αυτών να είναι κοντινές στις παρατηρηθείσες τιμές του Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου και όχι σε αυτές του Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου που θα έπρεπε, ενώ οι προβλέψεις με μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020 είναι κοντινές στις παρατηρηθείσες τιμές του διαστήματος που προβλέπουν (Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου).

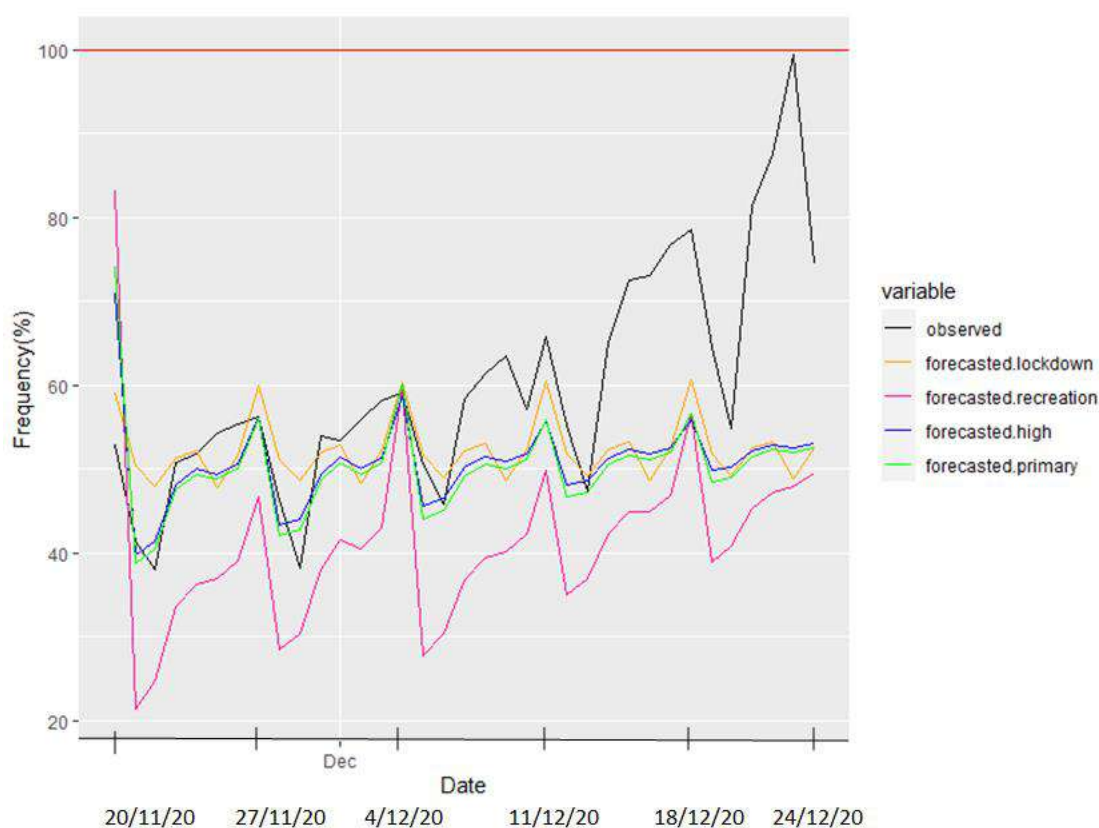
5.4.3 Γραφική σύγκριση των εξωγενών παραγόντων

Στην τρίτη κατηγορία διαγραμμάτων γίνεται **σύγκριση** της επιρροής των διάφορων **εξωγενών παραγόντων** στην πρόβλεψη, δηλαδή εξετάζεται πώς διαφοροποιούνται οι προβλεπόμενες τιμές ανάλογα με τον εξωγενή παράγοντα που επιλέγεται. Εάν για τον ίδιο εξωγενή παράγοντα παρατηρήθηκαν στατιστικά μοντέλα και με εποχικότητα και χωρίς, επιλέχθηκαν να απεικονιστούν στο διάγραμμα αυτά με εποχικότητα, εφόσον, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτά εμφάνισαν τις καλύτερες προβλέψεις. Αντίστοιχα, εάν για τον ίδιο εξωγενή παράγοντα παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικά μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 16-10-2020 και μοντέλα που έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020, επιλέχθηκαν να απεικονιστούν,

για τον ίδιο λόγο, τα δεύτερα. Για να είναι ευδιάκριτα τα αποτελέσματα, απεικονίζεται μόνο το χρονικό διάστημα της πρόβλεψης, δηλαδή από 20-11-2020 έως 24-12-2020 και οι αντιστοιχίσεις των χρωμάτων με τους εξωγενείς παράγοντες φαίνονται στο υπόμνημα του κάθε διαγράμματος:

Πίνακας 5.4: Πίνακας αντιστοιχίας των υπομνημάτων των διαγραμμάτων

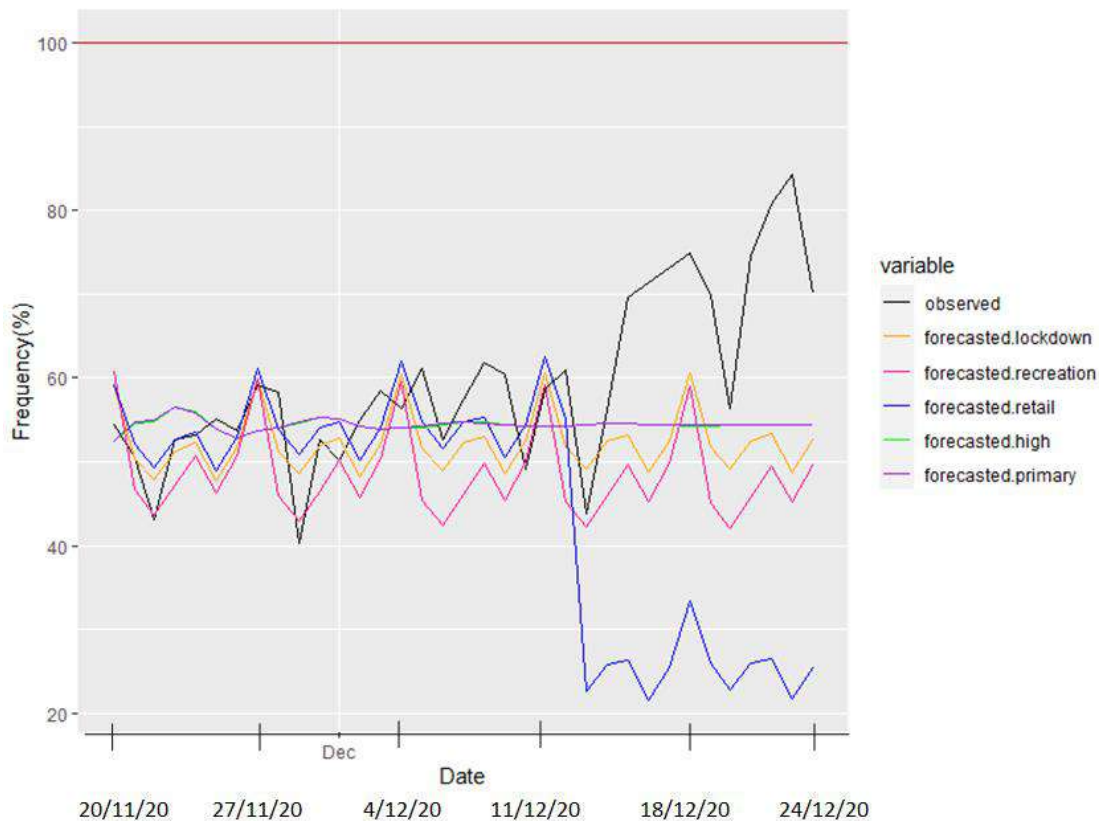
Observed	Παρατηρηθείσες τιμές
Forecasted lockdown	Πρόβλεψη με εξωγενή παράγοντα το lockdown
Forecasted retail	Πρόβλεψη με εξωγενή παράγοντα την κλειστή λιανική
Forecasted recreation	Πρόβλεψη με εξωγενή παράγοντα την κλειστή εστίαση
Forecasted primary	Πρόβλεψη με εξωγενή παράγοντα τα κλειστά πρωτοβάθμια εκπαιδευτικά ιδρύματα
Forecasted high	Πρόβλεψη με εξωγενή παράγοντα τα κλειστά δευτεροβάθμια εκπαιδευτικά ιδρύματα



Γράφημα 5.36: Πρόβλεψη οδήγησης στην Αθήνα με βάση διάφορους εξωγενείς παράγοντες

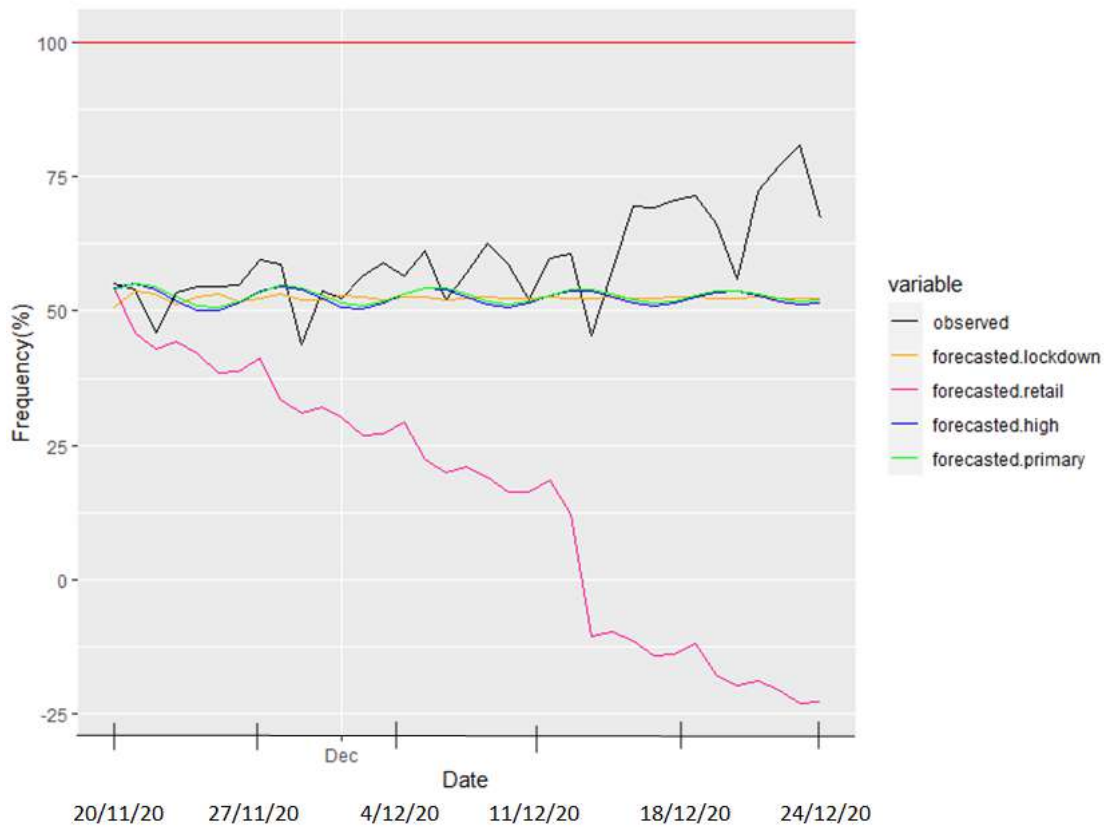
Στο παραπάνω διάγραμμα όλα τα απεικονιζόμενα μοντέλα είναι με εποχικότητα και έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020. Παρατηρείται ότι πιο κοντινές στην πραγματικότητα προβλέψεις, όσον αφορά τις ακριβείς τιμές, εμφανίζονται με εξωγενή

παράγοντα το lockdown και οι λιγότερο κοντινές με εξωγενή παράγοντα την κλειστή εστίαση, οι οποίες προβλέπουν μεγαλύτερη πτώση της οδήγησης στην Αθήνα κατά 18% περίπου μέσο όρο.



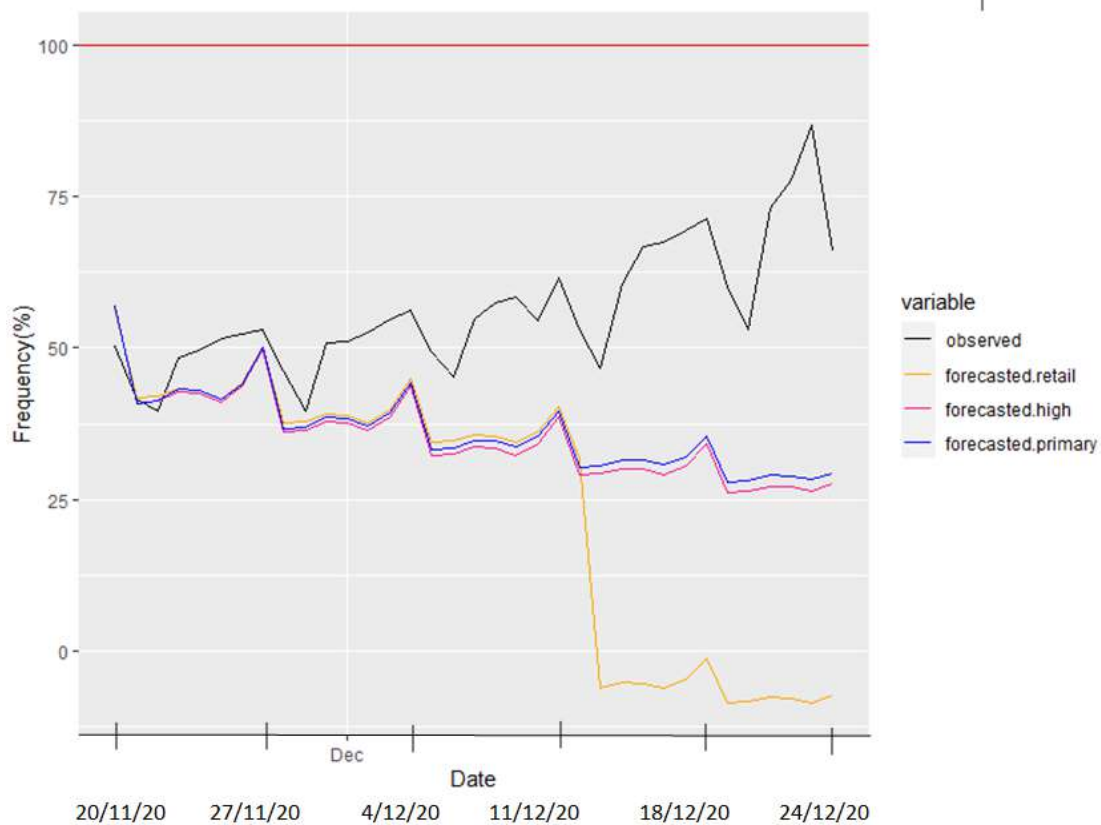
Γράφημα 5.37: Πρόβλεψη περπατήματος στην Αθήνα με βάση διάφορους εξωγενείς παράγοντες

Στο παραπάνω διάγραμμα όλα τα μοντέλα έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020, αλλά αυτά με εξωγενή παράγοντα το lockdown, την κλειστή εστίαση και την κλειστή λιανική έχουν εποχικότητα, ενώ αυτά με εξωγενή παράγοντα τα κλειστά εκπαιδευτικά ιδρύματα δεν έχουν. Αρχικά, φαίνεται ότι τα μη εποχικά μοντέλα δεν εμφανίζουν τις διακυμάνσεις που εμφανίζουν οι πραγματικές τιμές, παρ'όλα αυτά φαίνεται να αποτυπώνουν το μέσο όρο των πραγματικών τιμών. Επιπλέον, όλες οι υπόλοιπες προβλέψεις πλησιάζουν αρκετά τις παρατηρηθείσες τιμές, αλλά στην πρόβλεψη με εξωγενή παράγοντα την **κλειστή λιανική παρατηρείται μια απότομη πτώση** στις 12-12-2020 και σταθερά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με την πραγματικότητα μέχρι τις 24-12-2020.



Γράφημα 5.38: Πρόβλεψη περπατήματος στην Ελλάδα με βάση διάφορους εξωγενείς παράγοντες

Στο παραπάνω διάγραμμα όλα τα απεικονιζόμενα μοντέλα είναι μη εποχικά, εκτός από εκείνο με εξωγενή παράγοντα την κλειστή λιανική που είναι εποχικό. Οι προβλέψεις των **μη εποχικών μοντέλων πλησιάζουν περισσότερο τις παρατηρηθείσες τιμές, αλλά δεν αποτυπώνουν τις παρατηρηθείσες διακυμάνσεις**, ενώ το εποχικό μοντέλο παρουσιάζει μια σταδιακή πτώση του περπατήματος, από την αρχή του τεστ σερ (20-11-2020) μέχρι και το τέλος (24-12-2020), που δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα. Στις 24-12-2020 η πρόβλεψη του μοντέλου με εξωγενή παράγοντα την κλειστή λιανική φαίνεται να αποκλίνει από την πραγματικότητα κατά περίπου 92%.



Γράφημα 5.39: Πρόβλεψη οδήγησης στην Ελλάδα με βάση διάφορους εξωγενείς παράγοντες

Στο παραπάνω διάγραμμα όλα τα απεικονιζόμενα μοντέλα είναι εποχικά και έχουν εκπαιδευτεί στο διάστημα από 13-1-2020 έως 19-11-2020. Τα μοντέλα με εξωγενείς παράγοντες τα **κλειστά εκπαιδευτικά ιδρύματα** πλησιάζουν περισσότερο τις παραγματικές τιμές, ενώ το μοντέλο με εξωγενή παράγοντα την κλειστή λιανική παρουσιάζει μια απότομη πτώση της οδήγησης στις 12-12-2020 που δεν συνάδει με τις παρατηρηθείσες τιμές.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η **διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας στην κινητικότητα στην Ελλάδα, με ανάλυση χρονοσειρών**. Για το σκοπό αυτόν, αναπτύχθηκαν μοντέλα χρονοσειρών για την περιγραφή και πρόβλεψη της κινητικότητας στην Ελλάδα και την Αθήνα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, αποκτήθηκαν από τις αναφορές **δεδομένων κινητικότητας** της Apple, που εκφράζονται ως ημερήσιες ποσοστιαίες μεταβολές από τις τιμές βάσης (Ιανουάριος 2020) και αποτελούν τις εξαρτημένες μεταβλητές της ανάλυσης. Ταυτόχρονα, από τον Ελληνικό Οργανισμό Δημόσιας Υγείας, το Ελληνικό Υπουργείο Υγείας και τα Κυβερνητικά Δελτία Τύπου ανακτήθηκαν στοιχεία για τα ληφθέντα **μέτρα περιορισμού της κυκλοφορίας**, τα οποία στη συνέχεια αποτέλεσαν τους εξωγενείς παράγοντες της ανάλυσης.

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο, αναπτύχθηκαν στατιστικά **μοντέλα χρονοσειρών** για την **οδήγηση και το περπάτημα** στην Ελλάδα και στην Αθήνα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1: Στατιστικά σημαντικά μοντέλα

A/A	Εξαρτημένη Μεταβλητή	Εξωγενής Παράγοντας	Μοντέλο
1	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (3,1,2)
2	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (2,1,2)
3	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (0,1,1)(1,0,1)
4	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (2,1,2)
5	Περπάτημα στην Ελλάδα	Lockdown	ARIMA (2,1,3)
6	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (3,1,2)
7	Περπάτημα στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (5,1,0)
8	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή λιανική	ARIMA (1,0,0)(0,1,1)
9	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή λιανική	ARIMA (5,1,0)
10	Περπάτημα στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (1,0,0)(0,1,1)
11	Περπάτημα στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (5,1,0)
12	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (5,1,0)
13	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (5,1,0)
14	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,0)(1,1,2)
15	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,1)(0,1,1)
16	Περπάτημα στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (5,1,0)
17	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (0,1,2)(1,0,1)
18	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (3,1,2)
19	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (0,1,2)(1,0,1)
20	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (2,1,3)
21	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (1,1,1)(1,0,1)
22	Οδήγηση στην Ελλάδα	Κλειστή λιανική	ARIMA (2,1,3)
23	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (1,0,2)(2,0,0)
24	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή δευτεροβάθμια	ARIMA (3,0,1)
25	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (1,0,2)(2,0,0)
26	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (5,0,0)
27	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή πρωτοβάθμια	ARIMA (3,0,1)
28	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,2)(2,0,0)
29	Οδήγηση στην Αθήνα	Κλειστή εστίαση	ARIMA (1,0,2)
30	Οδήγηση στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (0,1,2)(2,0,0)
31	Οδήγηση στην Αθήνα	Lockdown	ARIMA (5,1,0)

6.2 Σύνοψη Συμπερασμάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου, που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, μπορούν να διατυπωθούν τα παρακάτω **συμπεράσματα** της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- ❖ Το κλείσιμο των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων αποτελεί **τον πιο σημαντικό εξωγενή παράγοντα** για την περιγραφή της κινητικότητας. Αποτελεί το πρώτο χρονικά ληφθέν μέτρο και διαταράσσει τη συνηθισμένη ροή του προγράμματος των οικογενειών, άρα και της κινητικότητας. Τα κλειστά εκπαιδευτικά ιδρύματα μειώνουν αφενός την κινητικότητα των μαθητών (σε τοπικό κυρίως επίπεδο) και των εκπαιδευτικών (σε τοπικό, αλλά πολύ συχνά και σε διαδημοτικό επίπεδο) και, αφετέρου και των γονέων, καθώς γίνεται απαραίτητη η παραμονή τους στο σπίτι για τη φύλαξη των παιδιών. Με τα κλειστά εκπαιδευτικά ιδρύματα ως εξωγενή παράγοντα, αναπτύχθηκαν 15 από τα 31 στατιστικά σημαντικά μοντέλα και για τις 4 εξεταζόμενες κατηγορίες κινητικότητας: Περάτση και Οδήγηση στην Ελλάδα και στην Αθήνα.
- ❖ Το lockdown (αυστηρή σύσταση παραμονής στην κατοικία και μετακίνησης μόνο για τα απαραίτητα), αποτελεί **σημαντικό παράγοντα** της περιγραφής και πρόβλεψης της κινητικότητας. Παράγει 5 από τα 31 στατιστικά σημαντικά μοντέλα. Ιδιαίτερα κατά την πρώτη φάση της πανδημίας, το πρωτόγνωρο της κατάστασης συνετέλεσε στην απόλυτη πειθάρχηση των πολιτών στο μέτρο, γεγονός που αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα στην τεράστια πτώση της κινητικότητας. Αποτελεί το πιο σκληρό επιβληθέν μέτρο, αλλά η διάρκεια εφαρμογής του είναι μικρότερη της διάρκειας εφαρμογής των κλειστών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, στην οποία πιθανώς οφείλεται η ανάπτυξη λιγότερων αριθμητικά στατιστικά σημαντικών μοντέλων.
- ❖ **Δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικά μοντέλα** για τα περιοριστικά μέτρα που επιβλήθηκαν πρώτη φορά κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης της πανδημίας. Δηλαδή, τα μέτρα της απαγόρευσης της κυκλοφορίας συγκεκριμένες ώρες της ημέρας και της υποχρεωτικής χρήσης μάσκας σε όλους τους δημόσιους χώρους δεν είναι στατιστικά σημαντικά για την πρόβλεψη της κινητικότητας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην μεταγενέστερη, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέτρα, εφαρμογή τους, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνονται υπ' όψιν από τα μοντέλα στην πρόβλεψη. Τα μέτρα αυτά επιβλήθηκαν πρώτη φορά στις 24 Οκτωβρίου 2020, συνεπώς, τα μοντέλα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/20-19/11/20 τα περιλαμβάνουν ελάχιστα, ενώ εκείνα με διάστημα εκπαίδευσης 13/1/20-16/10/20 δεν τα περιλαμβάνουν καθόλου.
- ❖ Τα μοντέλα με εποχικότητα παράγουν **προβλέψεις κοντινότερες στην πραγματικότητα** σε σχέση με τα μοντέλα χωρίς εποχικότητα. Αυτό πιθανώς εξηγείται από το ότι τα δεδομένα κινητικότητας παρουσιάζουν εκ φύσεως μια εβδομαδιαία εποχικότητα. Η κυκλοφορία τις καθημερινές διαφέρει από την κυκλοφορία τα σαββατοκύριακα, με αποτέλεσμα την ύπαρξη εβδομαδιαίας περιοδικότητας η οποία στην περίπτωση των μοντέλων χωρίς εποχικότητα δε λαμβάνεται υπ' όψιν.
- ❖ Όσο μεγαλύτερο το σύνολο εκπαίδευσης του μοντέλου (train set), τόσο **καλύτερες οι προβλέψεις** του (test set). Το μεγαλύτερο διάστημα εκπαίδευσης περιλαμβάνει

περισσότερα στοιχεία για την κινητικότητα και για τα περιοριστικά μέτρα, με αποτέλεσμα τα μοντέλα να παράγουν καλύτερες και πιο αξιόπιστες προβλέψεις.

- ❖ **Η μείωση της κινητικότητας** στην Ελλάδα και στην Αθήνα είναι μικρότερη κατά τη διάρκεια της δεύτερης φοράς επιβολής του lockdown και των περιοριστικών μέτρων (2^ο κύμα πανδημίας), σε σχέση με την πρώτη φορά, στην αρχή της πανδημίας (1^ο κύμα πανδημίας). Κατά το δεύτερο κύμα της πανδημίας, ο ιός δεν είναι πλέον κάτι νέο και άγνωστο. Οι πολίτες έχουν σταδιακά συνηθίσει τις νέες συνθήκες και έχουν προσαρμοστεί σε αυτές. Αυτό, σε συνδυασμό με την κόπωση που επήλθε από τα συνεχόμενα και μεγάλης διάρκειας περιοριστικά μέτρα, είχε ως αποτέλεσμα την άμβλυνση του αρχικού φόβου και τη χαλάρωση της πειθάρχησης των πολιτών στα μέτρα, με συνέπεια τον μη περιορισμό της κινητικότητας στον προσδοκώμενο βαθμό.
- ❖ Η **κλειστή εστίαση** αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην περιγραφή και πρόβλεψη της κινητικότητας για την Αθήνα, αλλά όχι για την Ελλάδα. 5 από τα 18 μοντέλα που αναπτύχθηκαν για την Αθήνα αφορούν στην κλειστή εστίαση, ενώ για την Ελλάδα δεν αναπτύχθηκε κανένα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η κυκλοφορία με σκοπό την εστίαση στην Αθήνα, εξαιτίας του αστικού τρόπου ζωής, κατέχει μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κυκλοφορίας σε σχέση με την επαρχία. Επίσης, είναι πιθανόν ο βαθμός πειθάρχησης των πολιτών της Αθήνας στα μέτρα να ήταν μεγαλύτερος.

6.3 Προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

- ❖ Αξιοποίηση από δημόσιους φορείς για την αξιολόγηση του βαθμού **τήρησης των περιοριστικών μέτρων**, όπως αυτός προσδιορίζεται από την εξέλιξη της κινητικότητας που προβλέπουν τα μοντέλα χρονοσειρών.
- ❖ Αξιοποίηση των μοντέλων από οργανισμούς συγκοινωνιών για την **πρόβλεψη της κινητικότητας** με βάση τα διάφορα ληφθέντα μέτρα αντιμετώπισης της πανδημίας COVID-19 ή άλλων πανδημιών.
- ❖ Ανάπτυξη εφαρμογής σε **έξυπνα κινητά τηλέφωνα**, η οποία θα δέχεται ως δεδομένα εισόδου παλαιότερα στοιχεία κινητικότητας και θα προβλέπει την εξέλιξή τους.
- ❖ Αξιοποίηση από **δημόσιους φορείς** (κυβερνήσεις, τοπικές διοικήσεις) για την πρόβλεψη της κινητικότητας, για να αποφεύγεται π.χ. ο συνωστισμός.

6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η εξάπλωση του κορωνοϊού έχει πυροδοτήσει σειρά ερευνών παγκοσμίως όπως διαπιστώθηκε από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Βασική προσθήκη της παρούσας εργασίας αποτελεί η εξέταση του **δεύτερου κύματος** της πανδημίας. Παρ'όλα αυτά, εντοπίζονται επιμέρους ζητήματα, που χρειάζονται περαιτέρω έρευνα, η οποία θα συμβάλλει στην μεγαλύτερη εμβάθυνση, κατανόηση και αντιμετώπιση του θέματος.

- ❖ Δημιουργία μοντέλων χρονοσειρών με **πολλαπλούς εξωγενείς παράγοντες**.
- ❖ Διερεύνηση των τάσεων κινητικότητας σε μια **ποικιλία χώρων και δραστηριοτήτων**. Π.χ. κινητικότητα στα πάρκα, στα φαρμακεία, για ψώνια, για εργασία κλπ.

- ❖ Συσχέτιση της εξέλιξης της κινητικότητας με τον **αριθμό των κρουσμάτων και των θανάτων** λόγω του ιού.
- ❖ Διεύρυνση του **χρονικού πλαισίου μελέτης**, ώστε να εξεταστούν όλες ενδεχομένως οι φάσεις της πανδημίας.
- ❖ Διεύρυνση του **γεωγραφικού πλαισίου μελέτης**. π.χ. πανευρωπαϊκή ή παγκόσμια έρευνα, αλλά και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdullah, M., Dias, C., Muley, D. and Shahin, M., (2020). Exploring the impacts of COVID-19 on travel behavior and mode preferences. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, p.100255.
2. Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification, *IEEE Trans. Automat. Contr.* 19
3. Apple 2021. Covid-19 Mobility Trends Reports <https://covid19.apple.com/mobility/>
4. Borkowski, P., Jążdżewska-Gutta, M. and Szmelter-Jarosz, A., (2021). Lockdowned: Everyday mobility changes in response to COVID-19. *Journal of Transport Geography*, 90, p.102906.
5. Box, G. E., Jenkins, G.M. (1976). *Time series analysis: Forecasting and control* San Francisco. 1970, 1989.
6. Bucsky, P. (2020). Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8
7. Davidson, J., (2000). *Econometric theory*. Malden, MA: Blackwell Publishers.
8. de Haas, M., Faber, R., Hamersma, M. (2020). How COVID-19 and the Dutch ‘intelligent lockdown’ change activities, work and travel behaviour: Evidence from longitudinal data in the Netherlands. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 6
9. 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
10. Ευθύμιος Ι. Νικολάου, 2007. Artemis.library.tuc.gr. (2021)
<http://artemis.library.tuc.gr/>
11. ΕΟΔΥ 2021. Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας. (2021). Νέος κορωνοϊός Covid-19 - Οδηγίες - Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας.
<https://eody.gov.gr/neos-koronaivos-covid-19/>.
12. Google COVID-19 Community Mobility Reports
<https://www.google.com/covid19/mobility/>
13. Google 2021. News.google.com. (2021).
<https://news.google.com/covid19/>
14. gov.greece 2021. Υπουργείο Υγείας. (2021). Υπουργείο Υγείας.
<https://www.moh.gov.gr/>
15. Hyndman, R. and Athanasopoulos, G., (2015). *Forecasting principles and practice*. USA: O texts.

16. Hyndman, R.J., Khandakar, Y. (2007) Automatic time series forecasting : the forecast package for R Automatic time series forecasting : the forecast package for R, *Journal of Statistical Software* 27
17. Jenelius, E., Cebecauer, M., (2020). Impacts of COVID-19 on public transport ridership in Sweden: Analysis of ticket validations, sales and passenger counts. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8
18. Katrakazas, C., Michelaraki, E., Sekadakis, M., Yannis, G. (2020). A descriptive analysis of the effect of the COVID-19 pandemic on driving behavior and road safety. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 7
19. Qureshi, A., Huang, W., Khan, S., Lobanova, I., Siddiq, F., Gomez, C. and Suri, M., (2020). Mandated societal lockdown and road traffic accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 146, p.105747.
20. RStudio.RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
21. Saladié, Ò., Bustamante, E., Gutiérrez, A. (2020). COVID-19 lockdown and reduction of traffic accidents in Tarragona province. Spain. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8
22. Saha, J., Barman, B., Chouhan, P. (2020) Lockdown for COVID-19 and its impact on community mobility in India: An analysis of the COVID-19 Community Mobility Reports, *Children and Youth Services Review* 116
23. Shamshiripour, A., Rahimi, E., Shabanpour, R., Mohammadian, A.K. (2020). How is COVID-19 reshaping activity-travel behavior? evidence from a comprehensive survey in chicago. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 7