



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Διπλωματική Εργασία

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ



Μαριάνθη Καλλιδώνη

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον κύριο Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ για την ανάθεση του θέματος, την καθοριστική καθοδήγηση και υποστήριξη σε όλα τα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Χρήστο Κατρακάζα για την εξαιρετική βοήθεια, τις πολύτιμες υποδείξεις και τον χρόνο που αφιέρωσε σε όλα τα στάδια ολοκλήρωσης της εργασίας, καθώς και για το πολύ καλό κλίμα συνεργασίας που διαμόρφωσε.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου, την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Μαριάνθη Καλλιδώνη

Επιρροή της πανδημίας στη συμπεριφορά μετακινήσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση με ανάλυση χρονοσειρών

Μαριάνθη Καλλιδώνη

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

Σύνοψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού 2019 στη συμπεριφορά μετακινήσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση με ανάλυση χρονοσειρών. Για τον σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν για εικοσιπέντε κράτη-μέλη στοιχεία κινητικότητας και περιοριστικών μέτρων από διαδικτυακές βάσεις δεδομένων. Για την ανάλυση των δεδομένων, αναπτύχθηκαν μοντέλα χρονοσειρών SARIMAX για όλες τις χώρες με ενδογενή μεταβλητή την οδήγηση ή το βάδισμα και με εξωγενή μεταβλητή ένα από τα περιοριστικά μέτρα. Από την εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων, προέκυψε σημαντικός αριθμός μοντέλων για την εκτίμηση της κινητικότητας σχεδόν σε κάθε χώρα της μελέτης. Το κλείσιμο των σχολείων αποτελεί τον πιο σημαντικό εξωγενή παράγοντα για την περιγραφή της οδήγησης και του βαδίσματος στην πανδημία, ενώ η υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιρροής. Επιπλέον, οι χώρες που επλήγησαν πρώτες από τη νόσο εμφανίζουν μεγαλύτερη συσχέτιση με τα μέτρα περιορισμού σε αντίθεση με τις χώρες που εφάρμοσαν ασθενή περιοριστικά μέτρα και δεν περιγράφονται από τα μοντέλα χρονοσειρών.

Λέξεις κλειδιά: συμπεριφορά μετακίνησης, οδήγηση, βάδισμα, περιοριστικά μέτρα, κορωνοϊός 2019, πανδημία, κλείσιμο σχολείων, υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια, Ευρωπαϊκή Ένωση, μοντέλα χρονοσειρών SARIMAX

Impact of pandemic to mobility behavior in the European Union using time-series analysis

Marianthi Kallidoni

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

Abstract

The aim of the present Diploma Thesis is to investigate the impact of pandemic on mobility behavior in the European Union using time-series analysis. Mobility and restrictive measures data were collected for twenty-five countries from online databases. For the data analysis, SARIMAX time-series models were developed for all countries, using driving and walking data as endogenous variables and countermeasures as exogenous variables. The aforementioned methodology resulted in a significant number of models in order to estimate mobility during pandemic almost in every country of the study. It was revealed that school closing is the most important exogenous factor for describing driving or walking, while the effect of “Stay at home” orders was not a significant factor for the evolution of people movements. In addition, countries which suffered the most due to the pandemic showed a strong correlation with the restrictive measures. Furthermore, no time-series models were found to describe the countries which implemented weak countermeasures.

Keywords: mobility behavior, driving, walking, restrictive measures, COVID-19, pandemic, school closing, “Stay at home” orders, international travel controls, European Union, SARIMAX time-series models

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει **στόχο τη διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού 2019 στη συμπεριφορά μετακινήσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση**. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν μοντέλα χρονοσειρών για την περιγραφή και την πρόβλεψη της κινητικότητας σε εικοσιπέντε κράτη-μέλη κατά το πρώτο έτος της πανδημίας.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν, αντλήθηκαν από τη διαδικτυακή αναφορά τάσεων κινητικότητας της εταιρείας Apple (www.covid19.apple.com/mobility) και αφορούν στα ημερήσια αιτήματα για **διαδρομές οδήγησης και βαδίσματος**. Τα στοιχεία αυτά εκφράζονται ως ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών βάσης της κυκλοφορίας (13 Ιανουαρίου 2020) και αναπαριστούν τις ενδογενείς μεταβλητές των μοντέλων. Ταυτόχρονα, αντλήθηκαν από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης δεδομένα για τα **περιοριστικά μέτρα κυκλοφορίας** και την αναστολή δραστηριοτήτων, τα οποία μετά την κατάλληλη επεξεργασία τους λήφθηκαν υπόψη στη στατιστική ανάλυση ως ποσοτικοποιημένες εξωγενείς μεταβλητές.

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο, αναπτύχθηκαν **μοντέλα χρονοσειρών SARIMAX** για την οδήγηση και το βάδισμα σε όλες τις χώρες σε αντιστοιχία με τα περιοριστικά μέτρα. Τα μοντέλα εξετάστηκαν σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις, ώστε να εντοπιστούν οι βέλτιστες παράμετροι για την περιγραφή της κινητικότητας σε κάθε χώρα. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα βέλτιστα μοντέλα της ανάλυσης χρονοσειρών με αναφορά στη χώρα μελέτης, την ενδογενή και την εξωγενή μεταβλητή.

Πίνακας 1: Επισκόπηση μοντέλων SARIMAX

A/A	Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE
1	Αυστρία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.12	14.77	18.05	325.72
2	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.20	25.67	29.47	868.78
3	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	5.43	7.95	10.48	109.79
4	Βέλγιο	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	2.06	5.91	7.76	60.20
5	Βέλγιο	(0,1,1)(1,1,1,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.16	6.37	10.13	102.52
6	Κροατία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.78	27.95	38.75	1501.57
7	Τσεχία	(2,1,1)(1,1,0,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0.95	9.71	12.40	153.81
8	Τσεχία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.08	17.31	20.13	405.37
9	Τσεχία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.61	10.22	12.64	159.67
10	Δανία	(3,1,0)(1,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.25	13.81	15.62	243.93
11	Δανία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	5.12	15.50	21.00	440.83
12	Εσθονία	(1,1,2)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	425.08	19.05	24.65	607.55
13	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5.41	6.55	11.28	127.30
14	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3.48	7.88	11.77	138.52
15	Γερμανία	(3,1,0)(2,1,0,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.12	18.82	23.60	557.09
16	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.19	11.27	15.87	251.97
17	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5.83	7.99	11.71	137.06
18	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.03	9.17	11.55	133.51
19	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.72	6.57	9.05	81.95
20	Ουγγαρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2.72	12.22	16.03	257.05

A/A	Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE
21	Ιρλανδία	(3,1,0)(0,1,2,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	2.68	13.44	19.24	369.99
22	Ιταλία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2.82	23.48	27.27	743.50
23	Ιταλία	(0,1,2)(1,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	14.89	12.24	15.11	228.24
24	Ιταλία	(3,1,1)(2,1,0,7)	2	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	3.21	9.10	12.11	146.64
25	Ιταλία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0.98	48.90	52.88	2796.43
26	Λετονία	(3,1,0)(1,1,2,7)	1	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1.41	25.03	29.17	851.02
27	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.00	4.59	6.85	46.98
28	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1.06	4.49	6.64	44.03
29	Πολωνία	(3,1,1)(0,1,1,7)	1	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.51	30.24	34.00	1155.89
30	Πολωνία	(3,1,0)(2,1,0,7)	4	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1.64	6.69	11.63	135.18
31	Πορτογαλία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3.97	15.21	18.66	348.76
32	Πορτογαλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1.02	26.73	29.57	874.60
33	Ρουμανία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.39	5.15	8.34	69.52
34	Ρουμανία	(2,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.99	6.59	8.84	78.17
35	Σλοβακία	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.61	7.32	11.07	122.63
36	Σλοβακία	(1,1,2)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	4.24	14.34	18.84	355.20
37	Σλοβενία	(0,13)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	12.72	18.15	23.26	541.03
38	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	3.41	9.64	11.60	134.49
39	Ισπανία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.42	10.12	13.71	188.09
40	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.23	11.08	14.62	213.61

Στη συνέχεια, ακολουθούν **τα πιο σημαντικά συμπεράσματα** που προέκυψαν από την εφαρμογή των στατιστικών μοντέλων.

- Το κλείσιμο των σχολείων αποτελεί **τον πιο σημαντικό εξωγενή παράγοντα** για την περιγραφή της κινητικότητας στην πανδημία. Αποτελεί το πρώτο μέτρο για την καταπολέμηση της εξάπλωσης της νόσου και σηματοδοτεί την αρχή μίας περιόδου υψηλής μεταδοτικότητας. Η παύση των εκπαιδευτικών διαδικασιών επηρεάζει σημαντικά την κινητικότητα όχι μόνο των μαθητών και φοιτητών, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις και ολόκληρης της οικογένειας.
- Η υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή **δεν είναι τόσο σημαντική μεταβλητή** για την πρόβλεψη της οδήγησης και του βάδισματος. Σε ελάχιστες χώρες η συμπεριφορά μετακίνησης εκτιμάται σύμφωνα με την εφαρμογή αυτού του μέτρου. Μετά τον πρώτο αιφνιδιασμό, οι πολίτες προσαρμόστηκαν στις νέες συνθήκες και δεν ανέβαλαν πλέον απαραίτητες εξωτερικές δραστηριότητες.
- Οι έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια επηρεάζουν **κυρίως τις χώρες με ασθενή άλλα μέτρα**. Όταν δεν εφαρμόζονται άλλες περιοριστικές πολιτικές (π.χ. ελεύθερες μετακινήσεις) ή εφαρμόζονται ορισμένες πολιτικές πολύ συστηματικά (π.χ. κλείσιμο σχολείων), οι έλεγχοι των εισροών από το εξωτερικό επηρεάζουν την αντίληψη της επικινδυνότητας των μετακινήσεων από τους πολίτες (Σλοβενία, Λετονία, Κροατία) και οδηγούν σε μείωση της κινητικότητας.
- Οι χώρες που επλήγησαν πρώτες από τη νόσο εμφανίζουν **μεγαλύτερη συσχέτιση** με τα μέτρα περιορισμού. Οι χώρες με τους υψηλότερους αριθμούς

κρουσμάτων και θανάτων επέβαλαν άμεσα αυστηρότερα μέτρα, τα οποία τηρήθηκαν λόγω αυξημένου φόβου έκθεσης στον ιό (Ισπανία, Ιταλία).

- **Δεν βρέθηκαν μοντέλα χρονοσειρών** για τις χώρες που επέβαλλαν ασθενή μέτρα περιορισμού. Η συσχέτιση των συστάσεων περιορισμού των μετακινήσεων (και όχι απαγόρευση) με την κινητικότητα ήταν πολύ χαμηλή και δεν ήταν σημαντικός εξωγενής παράγοντας επιρροής (Φιλανδία, Λιθουανία, Σουηδία).
- Στις περισσότερες χώρες, τα περισσότερα μοντέλα πρόβλεψης (21) αφορούν στις περιπτώσεις όπου η εξάσκηση των μοντέλων πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια του πρώτου κύματος, η επαλήθευση κατά της διάρκειας της θερινής άρσης των μέτρων και η **πρόβλεψη κατά τη διάρκεια των δεύτερου κύματος**.
- Αντίθετα, η κινητικότητα των χωρών που ουσιαστικά δεν επλήγησαν κατά το πρώτο «κύμα» **δεν μπορεί να προβλεφθεί** με την εμπειρία του πρώτου «κύματος». Στο πρώτο κύμα υπάρχει αιφνιδιασμός και απότομη μείωση της κινητικότητας παρά τους χαμηλούς αριθμούς κρουσμάτων και θανάτων. Στο δεύτερο, η συμπεριφορά μετακινήσεων είναι διαφορετική, καθώς η επικινδυνότητα υποτιμάται και πλέον οι πολίτες κυκλοφορούν αρκετά, τουλάχιστον για την εργασία (Βουλγαρία, Ελλάδα).
- Από τη σύγκριση των μοντέλων πρόβλεψης του **βαδίσματος** (18) και της **οδήγησης** (22) προκύπτει ότι τόσο η οδήγηση όσο και το βάδισμα επηρεάστηκαν ομοίως από τα μέτρα περιορισμού των μετακινήσεων.

1	Εισαγωγή	1
1.1	Γενική Ανασκόπηση	1
1.2	Στόχος.....	2
1.3	Μεθοδολογία.....	3
1.4	Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	4
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
2.1	Εισαγωγή.....	5
2.2	Συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες.....	5
2.2.1	Κινητικότητα σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού.....	5
2.2.2	Φόβος έκθεσης στον ιό	6
2.2.3	Μέσα Μαζικής Μεταφοράς	7
2.2.4	Βάδισμα και ποδήλατο	8
2.3	Σύνοψη.....	8
3	Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	11
3.1	Εισαγωγή.....	11
3.2	Μαθηματικά Μοντέλα.....	11
3.2.1	Μοντέλα ARIMA	11
3.2.2	Διαδικασία κατασκευής μοντέλων ARIMA.....	12
3.3	Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλων	13
4	Συλλογή και Επεξεργασία στοιχείων	14
4.1	Εισαγωγή.....	14
4.2	Συλλογή Στοιχείων	14
4.3	Επεξεργασία Στοιχείων	16
4.4	Περιγραφική Στατιστική	19
4.5	Συσχέτιση Μεταβλητών	20
5	Εφαρμογή Μεθοδολογίας - Αποτελέσματα	27
5.1	Εισαγωγή.....	27
5.2	Εφαρμογή Μεθοδολογίας	27
5.3	Αποτελέσματα.....	34
5.4	Σύνοψη και Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων	49
6	Συμπεράσματα	51
6.1	Σύνοψη Αποτελεσμάτων	51

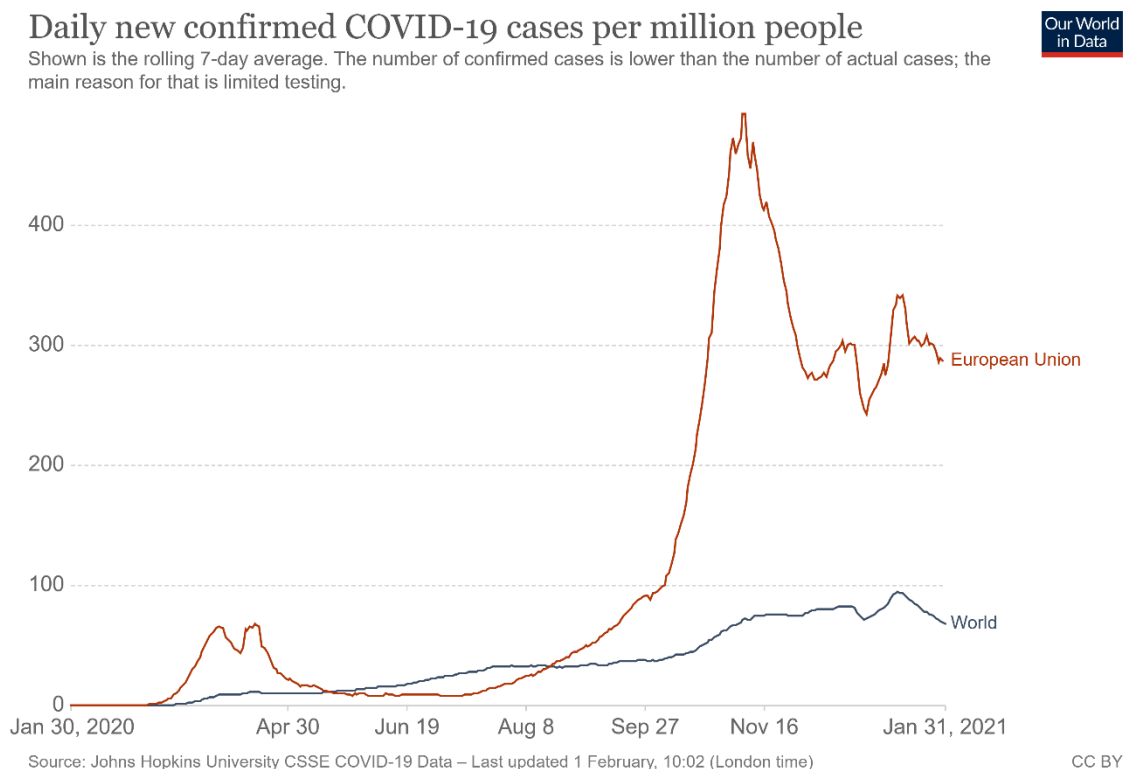
6.2	Σύνοψη Συμπερασμάτων.....	52
6.3	Προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων.....	53
6.4	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	54
	Βιβλιογραφία.....	55

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στη σύγχρονη εποχή, η **κινητικότητα προσώπων και αγαθών** είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την καθημερινότητα του ανθρώπου και το βιοτικό επίπεδο της κοινωνίας. Σε περιόδους έκτακτων συνθηκών, οι επιβαλλόμενοι περιορισμοί στοχεύουν πρωτίστως στην ελευθερία μετακινήσεων, πλήττοντας την οικονομική και κοινωνική ζωή, όπως στην περίπτωση της πανδημίας του κορωνοϊού 2019.

Η νόσος του κορωνοϊού 2019, επίσης γνωστή ως οξεία αναπνευστική νόσος 2019-nCoV, είναι μία μολυσματική ασθένεια που προκαλείται από τον κορωνοϊό SARS-CoV-2. Το πρώτο επιβεβαιωμένο κρούσμα εντοπίστηκε στην πόλη Wuhan στην Κίνα τον Δεκέμβριο του 2019. Η ταχεία διάδοσή του ιού στην υφήλιο είχε ως αποτέλεσμα να κηρυχτεί η **πανδημία του κορωνοϊού 2019** στις 11 Μαρτίου 2020 από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2021). Μέχρι τον Μάρτιο του 2021, τα επιβεβαιωμένα κρούσματα της νόσου υπερβαίνουν τα 116 εκατομμύρια, συμπεριλαμβανομένων 2,5 εκατομμύρια θανάτων (WHO, 2021). Σε πολλές χώρες διαπιστώθηκε έξαρση των επιβεβαιωμένων κρουσμάτων της νόσου με μοτίβο «κυμάτων». Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 1.1., στην Ευρωπαϊκή Ένωση το πρώτο «κύμα» παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2020, ενώ το δεύτερο «κύμα» ακολούθησε στα τέλη του καλοκαιριού.



Γράφημα 1.1: Νέα ημερήσια επιβεβαιωμένα κρούσματα κορωνοϊού 2019 ανά εκατομμύριο πληθυσμού (Our World in Data, 2021)

Παγκοσμίως, από την αρχή της πανδημίας **ο κατ' οίκον περιορισμός και η κοινωνική αποστασιοποίηση** θεωρήθηκαν τρόποι επιβράδυνσης της εξάπλωσης του κορωνοϊού. Η πλειονότητα των κυβερνήσεων επέλεξε τη λήψη έκτακτων προληπτικών μέτρων περιορισμού για την αντιμετώπιση της υγειονομικής κρίσης. Τα μέτρα περιορισμού αφορούν κυρίως το κλείσιμο των σχολείων και των πανεπιστημίων, το κλείσιμο των χώρων εργασίας, την απαγόρευση των δημόσιων εκδηλώσεων και των μαζικών συναθροίσεων, τον αυστηρό έλεγχο των μετακινήσεων στο εσωτερικό και το εξωτερικό της χώρας και την απαγόρευση κυκλοφορίας (Hale et al., 2020). Παράλληλα, προωθήθηκε η τηλεκπαίδευση, η τηλεργασία και η ει δυνατόν αντικατάσταση των καθημερινών δραστηριοτήτων με χρήση της τεχνολογίας. Μετά το πέρας του πρώτου «κύματος», πολλές χώρες υιοθέτησαν νέες στρατηγικές καταπολέμησης της μετάδοσης της νόσου επιλέγοντας είτε την αυστηροποίηση των μέτρων είτε την άρση τους.

Οι παραπάνω περιορισμοί, καθώς και ο φόβος έκθεσης στον ιό είχαν σημαντικό αντίκτυπο στη **συμπεριφορά μετακίνησης**. Η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και η συνολική κινητικότητα μειώθηκαν ριζικά. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, υπήρξε μείωση της οδήγησης έως 89% και μείωση της χρήσης της δημόσιας συγκοινωνίας έως 93% (Apple, 2021; Google LLC, 2021). Ταυτόχρονα, σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις παρατηρήθηκε αυξημένο ενδιαφέρον για το ποδήλατο, τα κοινόχρηστα ποδήλατα και το περπάτημα (Bucksy et Al., 2020; Molloy et Al.; DeHaas et Al, 2020). Ως εκ τούτου, οι νέες τάσεις κινητικότητας δημιούργησαν νέες συνθήκες στις μετακινήσεις.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ

Λαμβάνοντας υπόψη την προηγούμενη ενότητα, στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η διερεύνηση **της επιρροής της πανδημίας στη συμπεριφορά μετακινήσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση** με ανάλυση χρονοσειρών. Πιο συγκεκριμένα, οι νέες συνθήκες κινητικότητας θα μελετηθούν αξιοποιώντας δεδομένα οδήγησης και βαδίσματος για 25 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά τον πρώτο χρόνο εμφάνισης του νέου κορωνοϊού.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου κρίνεται αναγκαία η **επιλογή κατάλληλου μοντέλου χρονοσειρών** για την περιγραφή και την εκτίμηση των ιστορικών δεδομένων. Μέσω των μαθηματικών μοντέλων, είναι δυνατή η σύγκριση της κινητικότητας κατά τις περιόδους απαγόρευσης της κυκλοφορίας και κατά τη θερινή περίοδο, όπου πραγματοποιήθηκε συνολική ή μερική άρση του μέτρου, ανάλογα με τη χώρα.

Επιπλέον, επιμέρους στόχο αποτελεί η **συγκριτική αξιολόγηση της επιρροής των μέτρων κατά του κορωνοϊού 2019 στα διάφορα κράτη**, επιτρέποντας την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις διαφορετικές στρατηγικές που εφαρμόστηκαν στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

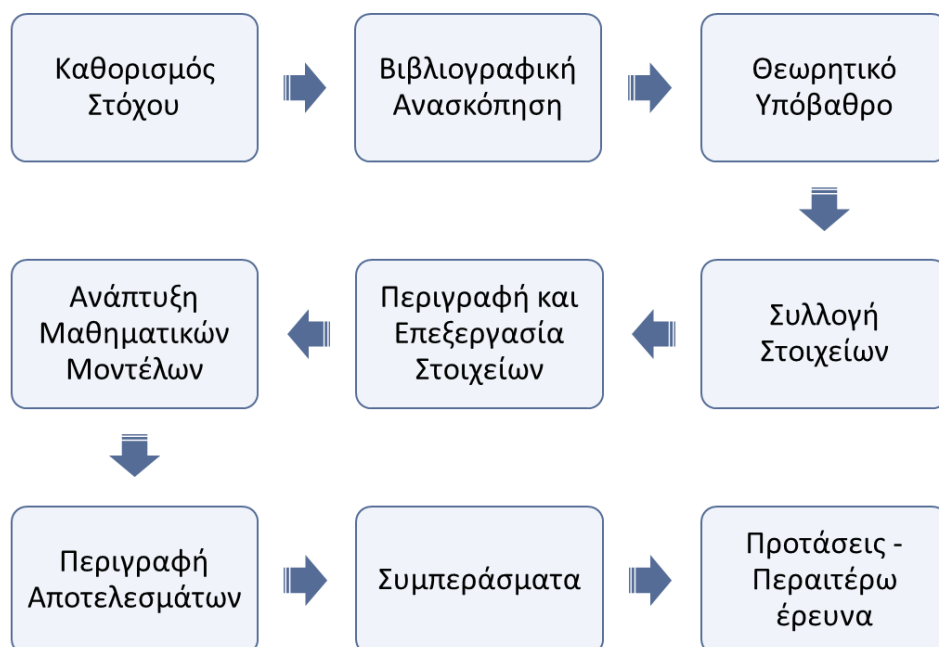
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται συνοπτικά η **μεθοδολογία** που ακολουθήθηκε κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας για την επίτευξη του στόχου.

Αρχικά, καθορίστηκαν το αντικείμενο και ο **στόχος της μελέτης**. Ακολούθησε η **βιβλιογραφική ανασκόπηση** σε διεθνή βιβλιογραφία. Αναζητήθηκαν δημοσιευμένες έρευνες με συναφές αντικείμενο και μεθοδολογία ανάλυσης, ώστε να προσδιοριστούν τα ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω έρευνα και να επιλεγθεί ο κατάλληλος τρόπος ανάλυσής τους.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η **συλλογή των στοιχείων** και η **επεξεργασία** τους. Αξιοποιώντας την πλατφόρμα της εταιρείας Apple (www.covid19.apple.com/mobility), αντλήθηκαν δεδομένα κινητικότητας για κάθε χώρα ως ποσοστιαίες μεταβολές για διάστημα ενός χρόνου σε σχέση με την τιμή βάσης (13 Ιανουαρίου 2020). Με την **ανάπτυξη κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων**, προκύπτουν χρήσιμα αποτελέσματα για την πρόβλεψη της κινητικότητας κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

Τα παραπάνω βήματα οδηγούν στην **εξαγωγή συμπερασμάτων**, καθώς και **προτάσεων** για περαιτέρω έρευνα. Στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Γράφημα 1.2), παρουσιάζονται τα διαδοχικά βήματα της μεθοδολογίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Γράφημα 1.2: Διάγραμμα ροής των σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας

1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παρακάτω, παρουσιάζεται η **δομή της Διπλωματικής Εργασίας** μέσω της σύνοψης των κεφαλαίων που την απαρτίζουν.

Το **κεφάλαιο 1**, το οποίο είναι το παρόν κεφάλαιο, αποτελεί μία εισαγωγή στις νέες συνθήκες μετακίνησης εξαιτίας της πανδημίας του κορωνοϊού 2019. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

Το **κεφάλαιο 2**, αποτελεί τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου παρατίθενται χρήσιμα ευρήματα από συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες.

Στο **κεφάλαιο 3**, γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο και τις μεθόδους που απαιτούνται για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων.

Στο **κεφάλαιο 4**, περιγράφεται η συλλογή των στοιχείων από υπάρχουσες διαδικτυακές βάσεις δεδομένων και η απαιτούμενη επεξεργασία πριν την ανάλυση τους.

Στο **κεφάλαιο 5**, αναλύεται η διαδικασία ανάπτυξης των μαθηματικών μοντέλων. Με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python, πραγματοποιήθηκε ανάλυση και πρόβλεψη χρονοσειρών και επιλέχθηκε το κατάλληλο μοντέλο για κάθε χώρα.

Στο **κεφάλαιο 6**, παρουσιάζονται όλα τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν κατά την αξιολόγηση των μαθηματικών μοντέλων. Αναφέρονται, επίσης, προτάσεις για περαιτέρω έρευνα όσον αφορά στην κινητικότητα σε συνθήκες πανδημίας.

Στο τέλος, παρατίθεται σε μορφή καταλόγου η **βιβλιογραφία** που αξιοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται **συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες**, σχετικές με το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα αναζητήθηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία δημοσιευμένες έρευνες, οι οποίες επικεντρώνονται στην επιρροή της πανδημίας του κορωνοϊού 2019 ή προηγούμενων πανδημιών στη συμπεριφορά μετακίνησης, την κινητικότητα και την οδική ασφάλεια. Παράλληλα, αναφέρονται οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν για την ανάλυσή τους.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τέλος, επισημαίνονται οι ελλείψεις που παρατηρήθηκαν κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι οποίες οδηγούν στη διερεύνηση του αντικειμένου της διπλωματικής εργασίας με την κατάλληλη μεθοδολογία.

2.2 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ

2.2.1 Κινητικότητα σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού

Η προτροπή, καθώς και η επιβολή μέτρων για κατ' οίκον περιορισμό επηρέασαν άμεσα τη συμπεριφορά μετακίνησης. Με βάση την έρευνα των de Haas et al. (2020), το 80% των ερωτηθέντων στην Ολλανδία μείωσε τις υπαίθριες δραστηριότητές του, δηλώνοντας ως κύρια αιτία πρώτα την έκκληση της κυβέρνησης για παραμονή στο σπίτι και έπειτα την απειλή της νόσου. Παράλληλα, τα δεδομένα της Google στην Ινδία κατέδειξαν δραματική **μείωση της κινητικότητας σε εξωτερικούς χώρους** κατά τη διάρκεια των επιβεβλημένων μέτρων περιορισμού σε σχέση με την προ-κορωνοϊού εποχή (Saha et al., 2020). Πιο συγκεκριμένα, σε σχέση με τον Ιανουάριο του 2020 η κινητικότητα στην Ινδία σε καταστήματα λιανικής και ψυχαγωγίας μειώθηκε έως 85%, σε αγορές τροφίμων και φαρμακεία έως 77%, σε πάρκα έως 90%, σε σταθμούς δημόσιων συγκοινωνιών έως 84% και σε χώρους εργασίας έως 82% , ενώ παρατηρήθηκε αύξηση μετακίνησης προς χώρους κατοικίας έως 35%.

Η έρευνα των Beria et al. (2021) επικεντρώθηκε στις εσωτερικές μετακινήσεις στην Ιταλία κατά τη διάρκεια του πρώτου «κύματος», οι οποίες μειώθηκαν έως και 80% την πρώτη εβδομάδα υποχρεωτικού περιορισμού. Η βόρεια Ιταλία, η οποία επλήγη πρώτη και σε μεγαλύτερο βαθμό, καταγράφει μείωση των μετακινήσεων από τις 24 Φεβρουαρίου, ενώ η υπόλοιπη χώρα περιορίζεται από τις 9 Μαρτίου, την ημέρα ανακοίνωσης των εθνικών περιορισμών. Αναφέρεται, επιπλέον, ότι τα ταξίδια το Σαββατοκύριακο διακόπηκαν μέχρι τον Μάιο. Στο ίδιο πλαίσιο, η έρευνα των Santamaria et al. (2020) επεσήμανε την **απότομη μείωση της κινητικότητας** κατά τις πρώτες τρεις εβδομάδες του Μαρτίου, πρώτα στην Ιταλία και έπειτα στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, γεγονός που μπορεί να εξηγηθεί έως και 90% λόγω των μέτρων περιορισμού.

Μία άλλη έρευνα στο Ηνωμένο Βασίλειο (Hadjidemetriou et al., 2020) μελέτησε τη σύνδεση της κινητικότητας με τα κυβερνητικά μέτρα και του θανάτους από κορωνοϊό

2019. Την πρώτη μέρα της γενικής απαγόρευσης κυκλοφορίας, η οδήγηση, το περπάτημα και η χρήση δημόσιας συγκοινωνίας μειώθηκαν κατά 60%, 60% και 80% σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά και 18 μέρες αργότερα καταγράφηκε σημαντική μείωση στον αριθμό των θανάτων. Οι **επιπτώσεις των προληπτικών μέτρων** στη συμπεριφορά μετακίνησης διερευνήθηκαν επίσης από τους Muley et al. (2021) στο κράτος του Κατάρ. Διαπιστώθηκε ότι μετά την εφαρμογή κάθε απόφασης (π.χ. κλείσιμο εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, πάρκων, όλων των εμπορικών καταστημάτων και των δημόσιων συγκοινωνιών) ο φόρτος κυκλοφορίας μειωνόταν μαζικά. Αν και επιβλήθηκαν περαιτέρω περιορισμοί, η προαναφερθείσα πτώση της κινητικότητας αναχαιτίστηκε, καθώς πλησίαζε ο Ιερός Μήνας του Ραμαζανιού. Ομοίως, η έρευνα των Parr et al. (2020) έδειξε ότι η κυκλοφορία μειώθηκε απότομα σε αντιστοιχία με την κήρυξη της πολιτείας της Φλόριντα σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης και το κλείσιμο των σχολείων και των εστιατορίων.

Η έρευνα των Pullano et al. (2020) αναφέρει μείωση κατά 75% των μετακινήσεων σε ώρες αιχμής στη Γαλλία, ως απόρροια της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης και της τηλεργασίας. Σύμφωνα με την έρευνα των Aloï et al. (2020) στην πόλη Santander στην Ισπανία, η πολιτική «Μένουμε σπίτι» οδήγησε στην πτώση της συνολικής κινητικότητας κατά 67% και **μείωση της οδήγησης** έως 85% σε σχέση με το 2018. Οι πολίτες πραγματοποιούσαν, επιπρόσθετα, συντομότερες διαδρομές, κυρίως για την αγορά βασικών προϊόντων. Στη Βουδαπέστη, η κινητικότητα μειώθηκε κατά 57% σε σχέση με το 2017 και παρατηρήθηκε λιγότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση, η οποία συνοδεύτηκε από την περιορισμένη χρήση εφαρμογών πλοήγησης (Bucksy, 2020).

Από την έρευνα των Saladié et al. (2020) στην επαρχία Tarragona στην Ισπανία, προέκυψε άμεση μείωση της κινητικότητας μετά την επιβολή των μέτρων, η οποία κατέγραψε πτώση έως 63%. Παρατηρήθηκαν, επιπλέον, **λιγότερα τροχαία ατυχήματα** έως 76% σε σύγκριση με την ίδια περίοδο τα έτη 2018-2019. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα ευρήματα της μελέτης των Katrakazas et al. (2020), όπου αποδείχθηκε ότι η μείωση της οδήγησης στην Ελλάδα και στο Βασίλειο της Σαουδικής Αραβίας κατά 74% και 75%, αντίστοιχα, οδήγησε σε σημαντική μείωση των τροχαίων ατυχημάτων, αλλά και αύξηση της μέσης ταχύτητας κατά 6-11% σε σύγκριση με το 2019.

2.2.2 Φόβος έκθεσης στον ιό

Παράγοντες, οι οποίοι καθόριζαν την επιλογή μέσου μεταφοράς στην προ-κορωνοϊού εποχή, όπως η εξοικονόμηση χρόνου, η άνεση και το κόστος, δεν αποτελούν προτεραιότητα κατά τη διάρκεια της πανδημίας (Abdullah et al., 2020). Η συμπεριφορά μετακίνησης μπορεί να επηρεαστεί από τον φόβο της έκθεσης και την **αποφυγή εστιών μετάδοσης**, όπως ανέλυσε ο Kim et al., (2017) κατά τη διάρκεια της επιδημίας MERS στη Νότια Κορέα το 2015. Πιο συγκεκριμένα, στη Σεούλ τα ταξίδια με μέσα μαζικής μεταφοράς μειώθηκαν κατά 12%, ενώ τα άτομα που επισκέπτονταν σημεία αυξημένου κινδύνου (π.χ. νοσοκομεία, μεγάλοι σιδηροδρομικοί σταθμοί, στάδια κλπ.) μειώθηκαν απότομα κατά 14%, κατά την έξαρση του ιού MERS. Η μείωση αυτή τονίζεται ότι δεν μπορεί να ερμηνευθεί από κάποιο άλλο λόγο πέρα από τον φόβο επικείμενης πανδημίας.

Σε αντίθεση με τα παραδείγματα της προηγούμενης ενότητας, η Ιαπωνία δεν επέβαλλε υποχρεωτικούς περιορισμούς, ούτε κυρώσεις, καθώς το Σύνταγμα δεν επιτρέπει την απαγόρευση κυκλοφορίας. Η χώρα κηρύχτηκε σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης, έκλεισαν τα σχολεία και συστήθηκε στους πολίτες να περιορίσουν τις δημόσιες δραστηριότητές τους. Η έρευνα των Hara et al. (2020) έδειξε ότι **η παρότρυνση για αυτοπεριορισμό** οδήγησε σε μείωση των ταξιδιών εντός και εκτός πόλης κατά 45% στο Τόκιο και κατά 27% στην Οσάκα. Ο αριθμός των ταξιδιών, μάλιστα, δεν επανήλθε αμέσως μετά την άρση της κατάστασης έκτακτης ανάγκης.

Σε μία άλλη δημοσίευση, των Truong και Truong (2021), εξετάστηκε η σχέση των ημερήσιων ταξιδιών με τις μολύνσεις και τους θανάτους από κορωνοϊό στις ΗΠΑ, χρησιμοποιώντας μοντέλα χρονοσειρών. Η ανάλυση προβλέψεων αποκάλυψε έναν κλειστό βρόγχο, στον οποίο η συμπεριφορά μετακίνησης αλλάζει δυναμικά σε σχέση με την **αντίληψη της επικινδυνότητας της νόσου**, προκαλώντας περαιτέρω εξάπλωση του ιού στην κοινότητα. Όταν ο κίνδυνος υποεκτιμάται, τα ημερήσια ταξίδια αυξάνονται, συμβάλλοντας στην αύξηση των μολύνσεων και των θανάτων.

2.2.3 Μέσα Μαζικής Μεταφοράς

Πολλές έρευνες, οι οποίες βασίζονται σε ερωτηματολόγια, παρουσιάζουν μια σημαντική μετάβαση από τη χρήση δημοσίων μέσων μεταφοράς σε **ιδιωτικά και ατομικά μέσα** (Abdullah et al., 2020; Tan and Ma, 2020; Shakibaei et al., 2021; Shamshiripour et al., 2020). Πιο συγκεκριμένα, το 96,5% των ερωτηθέντων στην Κωνσταντινούπολη (Shakibaei et al., 2021) και το 93% των ερωτηθέντων στο Σικάγο (Shamshiripour et al., 2020) συσχετίζουν τις δημόσιες συγκοινωνίες ως μέσο με υψηλό κίνδυνο έκθεσης στον ιό. Μία άλλη έρευνα βασισμένη σε ερωτηματολόγιο ανέφερε ότι η χρήση του αυτοκινήτου ως συνεπιβάτης μειώθηκε κατά 80% και η χρήση των δημόσιων συγκοινωνιών κατά 90% (de Haas et al., 2020).

Τα παραπάνω ευρήματα συνάδουν με τα αποτελέσματα των ερευνών των Aloï et al. (2020) και Bucksy (2020), οι οποίες μέσω ανάλυσης δεδομένων διαπίστωσαν **πτώση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς** κατά 90%. Στη Σουηδία, σημειώθηκε μείωση των επιβατών της δημόσιας συγκοινωνίας κατά 60% στη Στοκχόλμη και κατά 40% στη Västra Götaland (Jenelius and Cebecauer, 2020). Ταυτόχρονα, στην ίδια έρευνα παρατηρήθηκε μία μετάβαση από εισιτήρια μεγάλης διάρκειας σε μονά ή πιο ευέλικτα εισιτήρια.

Η έρευνα των Kim et al. (2017) επεσήμανε ότι κατά την επιδημία του MERS το 2015 οι τουρίστες επέλεγαν τα λεωφορεία **έναντι του υπόγειου σιδηρόδρομου**, επειδή τον συνέδεαν με αυξημένο κίνδυνο μετάδοσης της νόσου. Στο ίδιο πλαίσιο, κατά τη διάρκεια του πρώτου «κύματος» στην Κίνα, η επιλογή μέσου υπαγορευόταν από την πιθανότητα μόλυνσης. Οι ερωτηθέντες των Tan and Ma (2020) δήλωσαν ότι απέφευγαν τον υπόγειο σιδηρόδρομο και επέλεγαν τον επίγειο λόγω καλύτερου εξαερισμού.

2.2.4 Βάδισμα και ποδήλατο

Παρόμοια μείωση εντοπίστηκε και στην περίπτωση του βαδίσματος, αν και σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τη μεγάλη μείωση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Η έρευνα των Aloï et al. (2020) κατέδειξε σημαντική **μείωση των ροών των πεζών** κατά τις πρωινές ώρες αιχμής. Το βάδισμα επιλέγεται σε σύντομες κυρίως αποστάσεις για την αγορά τροφίμων και ειδών πρώτης ανάγκης. Από την έρευνα των Jenelius και Cebecauer (2020) προέκυψε ότι η κινητικότητα των πεζών στα προάστια των πόλεων στη Σουηδία παρέμεινε σταθερή, ενώ στο κέντρο των πόλεων μειώθηκε έως και 60%. Στην Ολλανδία, το περπάτημα παρουσίασε μείωση κατά 14%, τη μικρότερη μείωση σε σχέση με τη συνολική κινητικότητα, ενώ αυξήθηκε η μέση απόσταση διαδρομών βαδίσματος κατά 83% (de Haas et al., 2020). Εν γένει, το περπάτημα προτιμήθηκε για μικρές αποστάσεις ως ασφαλέστερος και υγιέστερος τρόπος μεταφοράς (Tan and Ma, 2020; Muley et al., 2020).

Όσον αφορά στην ποδηλασία, υπήρξε μικρή ή καθόλου μείωση σε σύγκριση με τους προηγούμενους τρόπους μεταφοράς (Aloï et al., 2020; Jenelius and Cebecauer, 2020). Στην Ελβετία, παρατηρήθηκε **αύξηση της χρήσης ποδηλάτων** τα απογεύματα του Σαββατοκύριακου, γεγονός που υπερβαίνει τη συνηθισμένη εποχιακή αύξηση (Molloy et al., 2020). Επιπλέον, η έρευνα του Bucksy (2020) απέδειξε ότι η χρήση κοινόχρηστων ποδηλάτων στη Βουδαπέστη διπλασιάστηκε τον Μάρτιο του 2020, τον πρώτο μήνα των περιορισμών, σε σύγκριση με το 2018.

2.3 ΣΥΝΟΨΗ

Λαμβάνοντας υπόψη την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια του 2020 η πανδημία επηρέασε σημαντικά και σε διαφορετικό βαθμό όλα τα είδη κινητικότητας, διαμορφώνοντας νέες συνθήκες. Η πλειοψηφία των δημοσιευμένων μελετών που διερευνούν αυτή την επίδραση στη συμπεριφορά μετακίνησης, πραγματοποιούν **περιγραφικές αναλύσεις πριν/μετά**, ώστε να επισημάνουν τη μείωση της οδήγησης και των ατυχημάτων, την αποφυγή της δημόσιας συγκοινωνίας και την επιλογή του βαδίσματος ή του ποδηλάτου. Το σύνολο των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται μέσω διαγραμμάτων ποσοστιαίων μεταβολών της κινητικότητας πριν και μετά την εμφάνιση του κορωνοϊού. Λίγες έρευνες μόνο μελετούν στατιστικά μοντέλα, ενώ καμία δεν συμπεριλαμβάνει την εποχικότητα.

Επιπλέον, παρατηρείται **έλλειψη αναλύσεων μεταξύ διαφορετικών χωρών** σχετικά με τον αντίκτυπο της τρέχουσας πανδημίας. Οι αναλύσεις δεδομένων πραγματοποιούνται για περιορισμένο χρονικό διάστημα και για μία πόλη ή χώρα. Ενώ πληθώρα ερωτηματολογίων αναδεικνύουν τις κοινές προτιμήσεις των χρηστών, δεν έχουν συγκριθεί τα δεδομένα κινητικότητας διαφορετικών χωρών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα επιχειρήσει να πραγματοποιήσει μια **διερευνητική μελέτη σε ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιώντας μοντέλα χρονοσειρών** για δεδομένα οδήγησης και βαδίσματος στη διάρκεια του πρώτου έτους της πανδημίας του κορωνοϊού 2019. Η ανάλυση των χρονοσειρών επιλέχθηκε ως η κατάλληλη μεθοδολογία, προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η ημερήσια επίδραση των διαφόρων

μέτρων και περιορισμών στη συμπεριφορά μετακίνησης κάθε χώρας και να συγκριθούν τα αποτελέσματα με τις υπόλοιπες χώρες της μελέτης.

Παρατίθεται παρακάτω ο Πίνακας 2.1 με **τα στοιχεία των προαναφερθέντων μελετών**, με σκοπό τη σύντομη παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των ελλείψεων των ερευνών της βιβλιογραφίας.

Πίνακας 2.1: Συνοπτικά στοιχεία ερευνών

Έρευνα	Χώρα μελέτης	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα	Ελλείψεις
Abdullah et al. (2020)	Παγκόσμιο μέσω εφαρμογών όπως Facebook, LinkedIn, Reddit κλπ	Ερωτηματολόγιο και πολυωνυμική λογιστική παλινδρόμηση	Προτιμήσεις χρηστών ως προς τα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια της πανδημίας	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας
Aloi (2020)	Santander, Ισπανία	Πίνακες προέλευσης-προορισμού, Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2018	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες πόλεις και χώρες
Beria (2021)	Ιταλία	Πίνακες προέλευσης-προορισμού, Ποσοστιαίες μεταβολές εσωτερικών ταξιδιών πριν και μετά	Ανάλυση κινητικότητας ανάλογα με την περιφέρεια και σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Bucksy (2020)	Βουδαπέστη, Ουγγαρία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2017 και το 2018	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες πόλεις και χώρες
DeHaas (2020)	Ολλανδία	Ερωτηματολόγιο και έλεγχος χ^2	Προτιμήσεις χρηστών ως προς τα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια της πανδημίας	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας. Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Hadjidemetriou (2020)	Ηνωμένο Βασίλειο	Λογιστικό μοντέλο	Σύνδεση της μείωσης της κινητικότητας με τη μείωση των θανάτων από κορωνοϊό 2019	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Hara(2020)	Ιαπωνία	Κινητά χωρικά στατιστικά	Μείωση κινητικότητας σε χώρα που δεν επέβαλλε μέτρα περιορισμού	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Jenelius (2020)	Στοκχόλμη, Västra Götaland και Skåne, Σουηδία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2019	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες που επέβαλαν απαγόρευση κυκλοφορίας
Katrakazas (2020)	Ελλάδα και Σαουδική Αραβία	Διερευνητική ανάλυση μεταξύ χωρών	Σύγκριση κινητικότητας και ατυχημάτων	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Kim (2017)	Σεούλ, Βόρεια Κορέα	Ποσοστιαίες μεταβολές χρήσης καρτών MMM πριν και μετά	Σύνδεση κινητικότητας με το επίπεδο σταθερότητας	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλα είδη κινητικότητας την ίδια περίοδο
Molloy (2020)	Ελβετία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2019	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Muley (2020)	-	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	Επιρροή της πανδημίας στη συμπεριφορά μετακίνησης	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας
Muley (2021)	Ντόχα, Κατάρ	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Ανάλυση κινητικότητας σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες

Έρευνα	Χώρα μελέτης	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα	Ελλείψεις
Pullano (2020)	Γαλλία	Γραμμική παλινδρόμηση πολλών μεταβλητών	Σύγκριση κινητικότητας Φεβρουαρίου 2020 με Απρίλιο 2020	Είναι μόνο για τον Απρίλιο του 2020. Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Parr (2020)	Φλόριντα, ΗΠΑ	Στατιστικός έλεγχος t	Ανάλυση κινητικότητας σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού	Είναι μόνο για τον Μάρτιο του 2020. Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες πόλεις ή χώρες
Saha (2020)	Ινδία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκρισης κινητικότητας στις πόλεις της Ινδίας.	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Saladie (2020)	Tarragona, Ισπανία	Έλεγχος χ^2	Σύγκριση κινητικότητας και ατυχημάτων	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες πόλεις ή χώρες
Santamaria (2020)	Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Κροατία, Δανία, Εσθονία, Φιλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Πορτογαλία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία και Νορβηγία	Πίνακες προέλευσης-προορισμού.	Σύγκριση ευρωπαϊκών χωρών	Είναι μόνο για το πρώτο «κύμα». Δεν επαληθεύεται με δεδομένα από όλη την Ευρώπη
Shakibaei (2021)	Κωνσταντινούπολη, Τουρκία	Ερωτηματολόγιο	Προτιμήσεις χρηστών κατά την πανδημία	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας
Shamshiripour (2020)	Σικάγο, ΗΠΑ	Ερωτηματολόγιο	Προτιμήσεις χρηστών κατά την πανδημία	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας
Tan (2020)	Κίνα	Ερωτηματολόγιο και λογιστική παλινδρόμηση	Παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή μέσου κατά την πανδημία	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες
Truong (2021)	ΗΠΑ	Μοντέλα ARIMA	Πρόβλεψη χρονοσειρών με 10 μοντέλα	Δεν έχει γίνει σύγκριση με άλλες χώρες

3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τα **μοντέλα χρονοσειρών**, τα οποία αναπτύσσονται με σκοπό την πρόβλεψη ή την προσομοίωση συμβάντων, επιλέχθηκαν για την εξαγωγή κατάλληλων και χρήσιμων αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, η προφανής εβδομαδιαία εποχικότητα των διαθέσιμων χρονοσειρών οδήγησης και βαδίσματος, καθώς και η άμεση επίδραση των εθνικών περιοριστικών μέτρων στην κινητικότητα, καθόρισαν τα μοντέλα SARIMAX ως την καταλληλότερη μεθοδολογία. Οι συχνότητες οδήγησης και βαδίσματος αντιπροσωπεύουν τις ενδογενείς μεταβλητές, ενώ τα περιοριστικά μέτρα κάθε χώρας (π.χ. το κλείσιμο των σχολείων, η κατ' οίκον παραμονή και οι περιορισμοί στα διεθνή ταξίδια) αποτελούν τις εξωγενείς μεταβλητές. Επιπλέον, εκτός από το θεωρητικό υπόβαθρο των μαθηματικών μοντέλων, γίνεται αναφορά και στα κριτήρια αξιολόγησης και αποδοχής τους.

3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

3.2.1 Μοντέλα ARIMA

Οι Box και Jenkins (1976) εισήγαγαν πρώτοι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία για ανάλυση χρονοσειρών, γνωστή ως μοντέλο **AutoRegressive Integrated Moving Average** (ARIMA), το οποίο αποτελεί ένωση του μοντέλου αυτοπαλινδρόμησης τάξης p , εν συντομία AR(p), και του μοντέλου κινούμενου μέσου όρου τάξης q , εν συντομία MA(q).

Λαμβάνοντας υπόψη την τάση και την εποχικότητα των χρονοσειρών, το μοντέλο ARIMA μπορεί να επεκταθεί στο μοντέλο **Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)**:

$$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)s \quad (1)$$

όπου p είναι η μη εποχική τάξη αυτοπαλινδρόμησης, d η μη εποχική τάξη διαφορών, q η μη εποχική τάξη κινούμενου μέσου όρου, P είναι η εποχική τάξη αυτοπαλινδρόμησης, D η εποχική τάξη διαφορών, Q η εποχική τάξη κινούμενου μέσου όρου και s η εποχική υστέρηση (Schumway and Stoffer, 2010).

Μία περαιτέρω επέκταση του προαναφερθέντος μοντέλου είναι το μοντέλο **Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with exogenous regressors (SARIMAX)**, το οποίο ενσωματώνει εξωγενείς χρονοσειρές, που επιδρούν στα παρατηρούμενα δεδομένα.

3.2.2 Διαδικασία κατασκευής μοντέλων ARIMA

Σύμφωνα με τους Box and Jenkins (1976), η ανάπτυξη ενός μοντέλου ARIMA απαιτεί μια **συγκεκριμένη διαδικασία**, η οποία περιλαμβάνει την αναγνώριση του μοντέλου, την εκτίμηση των παραμέτρων και τον τελικό έλεγχο των στατιστικών μοντέλων.

Όσον αφορά στην **αναγνώριση του μοντέλου**, απαιτείται πρώτα η αποσύνθεση των χρονοσειρών (time-series decomposition), ώστε να απομονωθούν μεμονωμένα χαρακτηριστικά των δεδομένων χρονοσειρών, όπως η τάση, η εποχικότητα και τα υπολείμματα. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η εποχικότητα εντοπίζεται για να χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο ως εποχιακή υστέρηση s . Χρησιμοποιείται, επίσης, ο έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (Dickey and Fuller, 1979), ο οποίος αφορά στη στασιμότητα των χρονοσειρών, δηλαδή το εάν οι διακυμάνσεις των τιμών των χρονοσειρών διαφοροποιούνται με τον χρόνο. Μια χρονική σειρά με εποχικότητα, δηλαδή εποχική διακύμανση, δεν είναι στάσιμη αλλά μπορεί να μετατραπεί μέσω της πρώτης διαφοροποίησης (first differencing), δηλαδή της διαφοράς μεταξύ δύο διαδοχικών παρατηρήσεων.

Η **εκτίμηση των παραμέτρων** του μοντέλου SARIMAX, όπως αναφέρονται στην εξίσωση (1), επιτυγχάνεται μέσω μιας αλγοριθμικής αναζήτησης σε περιβάλλον προγραμματισμού Python (Hyndman and Khandakar, 2008), η οποία βασίζεται στο κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC). Η μέθοδος AIC προσδιορίζει το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης των διαθέσιμων δεδομένων μέσω μιας συνάρτησης λογαριθμικής πιθανότητας (log-likelihood), λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα τον αριθμό των παραμέτρων εντός του μοντέλου (Akaike, 1974). Οι βέλτιστες παράμετροι εξαρτώνται από τη χαμηλότερη βαθμολογία AIC.

Πριν την εφαρμογή των βέλτιστων μοντέλων, τα διαθέσιμα δεδομένα πρέπει να διαχωριστούν σε ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο δεδομένων για την εξάσκηση του μοντέλου (train set) και σε ένα δοκιμαστικό σύνολο δεδομένων για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων (test set). Έπειτα, οι προβλέψεις των μοντέλων (forecast set) συγκρίνονται με τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα. Λόγω των διαφορετικών συνθηκών κινητικότητας και των διαφορετικών εθνικών στρατηγικών κατά της πανδημίας, δημιουργήθηκαν **τέσσερις περιπτώσεις για την εύρεση στατιστικά σημαντικών μοντέλων** για κάθε χώρα. Οι ημερομηνίες κάθε περίπτωσης για την εξάσκηση του μοντέλου, την επαλήθευση του και τις προβλέψεις του παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Στην Περίπτωση 1, το πρώτο «κύμα» της πανδημίας χωρίζεται σε δύο μήνες για το σύνολο εξάσκησης και σε δύο μήνες για το σύνολο επαλήθευσης, με σκοπό να προβλεφθεί η συμπεριφορά μετακίνησης από το καλοκαίρι του 2020 έως τις αρχές του 2021. Στην Περίπτωση 2, πραγματοποιείται εξάσκηση των μοντέλων κατά τη διάρκεια του πρώτου «κύματος» και επαλήθευση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με σκοπό να προβλεφθεί το δεύτερο «κύμα». Στην Περίπτωση 3, το σύνολο εξάσκησης αντιπροσωπεύει το πρώτο «κύμα» και τη θερινή άρση των μέτρων, το σύνολο επαλήθευσης αντιπροσωπεύει την αρχή του δεύτερου «κύματος» και οι προβλέψεις αντιπροσωπεύουν τα υπόλοιπα δεδομένα μέχρι τις αρχές του 2021. Τέλος, η Περίπτωση 4 εκτελέστηκε ως μία προσπάθεια να αποκτηθούν στατιστικά σημαντικά

μοντέλα ακόμη και για τις χώρες στις οποίες οι προηγούμενες περιπτώσεις δεν αντιστοιχούσαν. Ως αποτέλεσμα, τα διαθέσιμα δεδομένα χωρίστηκαν σε σύνολα δεδομένων εξάσκησης και επαλήθευσης, ενώ δεν πραγματοποιήθηκαν προβλέψεις.

Πίνακας 3.1: Επισκόπηση των συνόλων εξάσκησης, επαλήθευσης και προβλέψεων

	Σύνολο εξάσκησης	Σύνολο επαλήθευσης	Σύνολο προβλέψεων
Περίπτωση 1	Από 16/02/20 έως 15/04/20	Από 16/04/20 έως 14/06/20	Από 15/06/20 έως 05/01/21
Περίπτωση 2	Από 16/02/20 έως 15/06/20	Από 16/06/20 έως 01/09/20	Από 02/09/20 έως 05/01/21
Περίπτωση 3	Από 16/02/20 έως 15/09/20	Από 16/09/20 έως 20/11/20	Από 21/11/20 έως 05/01/21
Περίπτωση 4	Από 16/02/20 έως 30/11/20	Από 01/12/20 έως 05/01/21	-

3.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Για την επαλήθευση των χρονοσειρών, καθώς και για την αξιολόγηση των προβλέψεων χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα κριτήρια ελέγχου προβλέψεων, τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

- Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (MAPE), το οποίο είναι ο μέσος όρος των ποσοστών των σφαλμάτων:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|e_t|}{d_t} \quad (2)$$

- Μέσου απόλυτο σφάλμα (ME), το οποίο είναι ο μέσος όρος του απόλυτου σφάλματος:

$$ME = \frac{1}{n} \sum |e_t| \quad (3)$$

- Τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνισμένου σφάλματος (RMSE), η οποία είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου του τετραγωνισμένου σφάλματος:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum e_t^2} \quad (4)$$

- Μέσο τετραγωνισμένο σφάλμα (MSE), το οποίο είναι ο μέσος όρος του τετραγωνισμένου σφάλματος:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum e_t^2 \quad (5)$$

4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι η διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού 2019 στην οδηγική συμπεριφορά και το βάδισμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω ανάλυσης χρονοσειρών.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η **συλλογή και η επεξεργασία των στοιχείων** που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του στόχου της διπλωματικής εργασίας.

4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, για τη διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας στη συμπεριφορά μετακίνησης αξιοποιούνται δεδομένα από έξυπνα κινητά τηλέφωνα ή από έξυπνες κάρτες δημόσιας συγκοινωνίας ή απευθείας από εταιρείες κοινόχρηστων ποδηλάτων. Στην παρούσα έρευνα, επειδή ο στόχος αφορούσε πληθώρα ευρωπαϊκών χωρών, ήταν αναγκαίο να εντοπιστεί μία κοινή βάση δεδομένων για όλες τις χώρες της μελέτης. Επιλέχθηκε, για αυτό τον σκοπό, η **διαδικτυακή αναφορά τάσεων κινητικότητας της εταιρείας Apple** (www.covid19.apple.com/mobility), η οποία δημοσιεύει καθημερινά δεδομένα κινητικότητας.

Τα διαθέσιμα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τα αιτήματα οδηγιών, που αποστέλλονται από τους χρήστες έξυπνων συσκευών στους «Χάρτες Apple». Τα αιτήματα αυτά διαχωρίζονται σε διαδρομές οδήγησης, βαδίσματος και μέσων μαζικής μεταφοράς και αναρτώνται στην διαδικτυακή βάση δεδομένων. Η κυκλοφορία στις 13 Γενάρη 2020 έχει οριστεί ως τιμή βάσης και εκφράζεται με ποσοστό 100% και οι υπόλοιπες ημερήσιες τιμές της κυκλοφορίας εκφράζονται ως **ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών βάσης**. Για παράδειγμα, εάν ο ημερήσιος φόρτος είναι 70%, αυτό σημαίνει ότι προέκυψε μείωση 30% ως προς την 100% τιμή βάσης. Είναι σημαντικό να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι τα αιτήματα οδηγιών αποστέλλονται στην υπηρεσία «Χάρτες» με τυχαία, μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά, ώστε να μην καταγράφεται το ιστορικό των διαδρομών και των αναζητήσεων, ενώ δεν συλλέγονται πληροφορίες για τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των χρηστών (Apple, 2021).

Καθώς τα δεδομένα διαδρομών με δημόσιες συγκοινωνίες δεν ήταν διαθέσιμα για αρκετές χώρες, συλλέχθηκαν **δεδομένα οδήγησης και βαδίσματος** για εικοσιπέντε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα αντιστοιχούν σε χρονικό διάστημα από 15/02/2020 έως 05/01/2021 και σχετίζονται με τις χώρες: Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Κροατία, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία και Σουηδία.

Τα διαθέσιμα δεδομένα οδήγησης και βαδίσματος παρέχονται από τη διαδικτυακή αναφορά τάσεων κινητικότητας της Apple σε ένα **ενιαίο αρχείο** μορφής csv, το οποίο περιέχει τα στοιχεία όλων των χωρών παγκοσμίως. Μετά την αφαίρεση των υπόλοιπων

χωρών, διαμορφώνεται ένα αρχείο Microsoft Excel 327 σειρών και 51 στηλών με τις 25 χώρες της μελέτης, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Απόσπασμα αρχείου δεδομένων κινητικότητας

Date	AUT: Driving	AUT: Walking	BEL: Driving	BEL: Walking	BGR: Driving	BGR: Walking	HRV: Driving
2/15/2020	158.95	165.31	135.91	235.37	129.46	150.96	122.94
2/16/2020	120.22	113.75	110.60	135.03	123.85	126.15	122.61
2/17/2020	113.56	125.35	115.29	146.08	104.85	124.09	103.11
2/18/2020	113.49	127.47	120.26	156.85	107.76	124.06	103.34
2/19/2020	117.98	125.25	121.90	160.02	114.60	126.79	103.49
2/20/2020	117.11	132.26	123.29	163.25	120.04	120.35	109.22
2/21/2020	142.35	142.40	133.24	168.21	126.35	141.22	123.42
2/22/2020	156.99	166.41	123.59	189.77	132.23	150.27	124.00
2/23/2020	114.15	114.70	105.29	125.25	119.83	116.38	117.80
2/24/2020	111.17	125.95	116.44	145.88	101.60	112.70	101.27
2/25/2020	109.00	125.66	116.56	155.27	103.94	116.58	97.66
2/26/2020	108.98	115.47	118.01	147.40	106.47	129.00	95.32
2/27/2020	113.71	122.28	117.40	144.50	103.06	112.06	98.31
2/28/2020	138.10	129.96	125.62	159.23	121.15	117.39	106.94
2/29/2020	130.25	134.42	119.54	169.08	113.93	130.03	102.18
3/1/2020	106.13	98.99	103.95	113.57	101.15	100.06	97.28
3/2/2020	103.21	111.80	107.71	112.05	101.83	109.52	91.76
3/3/2020	104.24	110.27	108.25	129.90	111.62	109.41	95.22

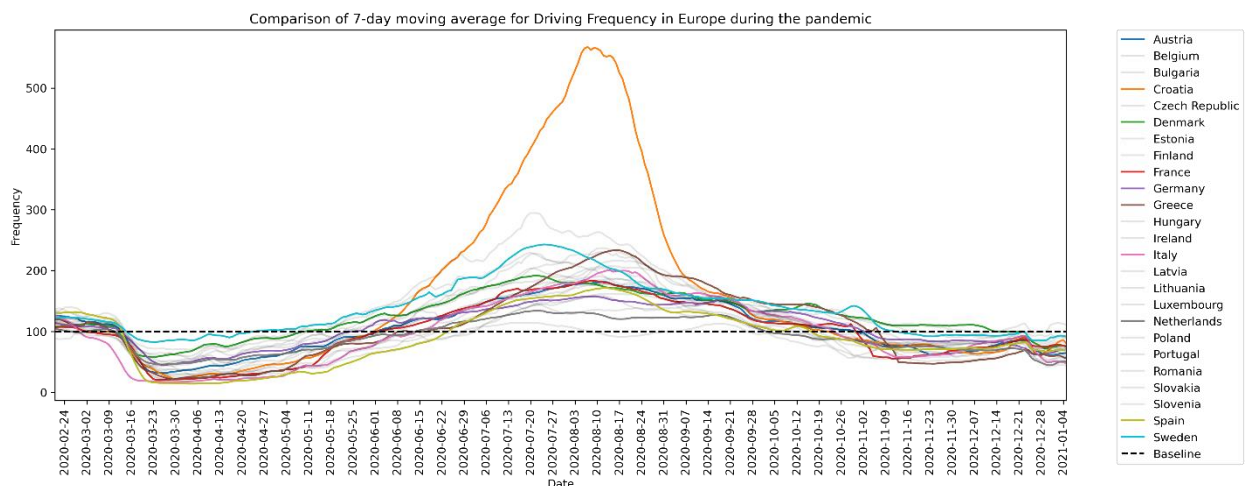
Όσον αφορά στα μέτρα περιορισμού, αξιοποιήθηκε η διαδικτυακή βάση δεδομένων καταγραφής των κυβερνητικών πολιτικών σχετικά με τον κορωνοϊό 2019 του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης (Oxford COVID-19 Response Tracker), όπου καταγράφονται οι πολιτικές που ακολουθούνται παγκοσμίως για την αντιμετώπιση της πανδημίας. Συλλέγονται συστηματικά πληροφορίες από 180 χώρες για διάφορες στρατηγικές σε σχέση με τους περιορισμούς της κυκλοφορίας, την οικονομία και την υγεία, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε 19 δείκτες. Οι **πολιτικές περιορισμού και υποχρεωτικής απομόνωσης** περιγράφονται από τους 8 ακόλουθους δείκτες:

- C1 (Κλείσιμο σχολείων και πανεπιστημίων),
- C2 (Κλείσιμο χώρων εργασίας),
- C3 (Αναστολή δημόσιων εκδηλώσεων),
- C4 (Αναστολή συναθροίσεων),
- C5 (Κλείσιμο δημόσιων μέσων μεταφοράς),
- C6 (Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή),
- C7 (Περιορισμοί στις εσωτερικές μετακινήσεις μεταξύ πόλεων και περιοχών) και
- C8 (Έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια).

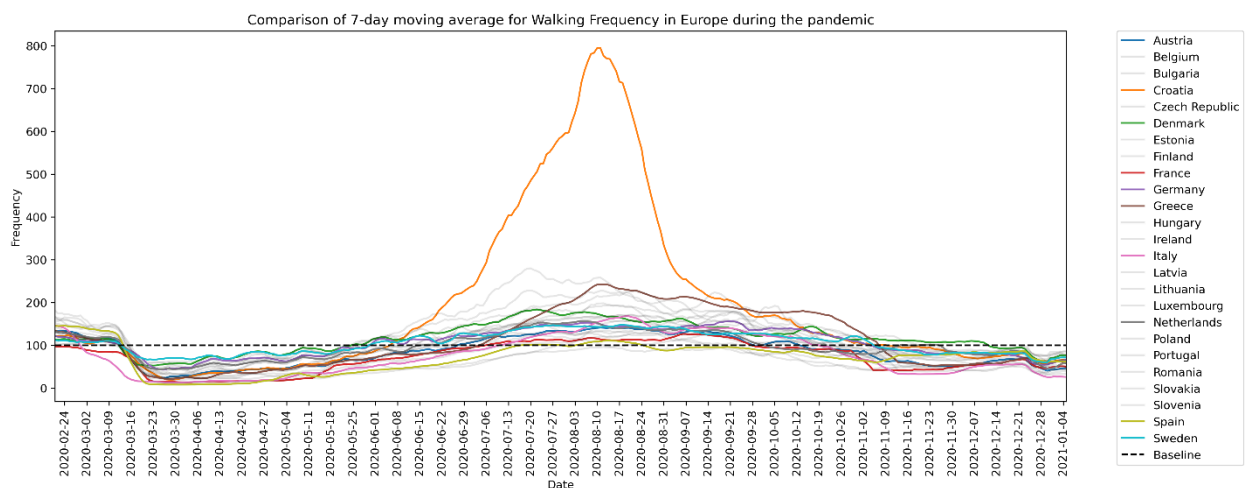
Οι παραπάνω δείκτες βαθμονομούνται σε κλίμακα από 0 έως 2, 3 ή 4 σε σχέση με την αυστηρότητα των εφαρμοζόμενων μέτρων. Συνοδεύονται, επιπρόσθετα, από έναν δυαδικό δείκτη, ο οποίος υποδηλώνει το γεωγραφικό εύρος (τοπικό ή γενικό) του κάθε μέτρου. Τα C1, C6 και C8 επιλέχθηκαν για την παρούσα ανάλυση ως αντιπροσωπευτικοί παράγοντες περιορισμών των κρατών της μελέτης.

4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Εισάγοντας το αρχείο Excel στο προγραμματιστικό περιβάλλον Python, πραγματοποιήθηκε **επεξεργασία** των δεδομένων με χρήση του εργαλείου *pandas* (Reback et al., 2020). Το Γράφημα 4.1 και το Γράφημα 4.2 απεικονίζουν τον κινούμενο μέσο όρο 7 ημερών της συχνότητας οδήγησης και βαδίσματος από 15/2/2020 έως 05/01/2021 για τις όλες τις χώρες της μελέτης. Με σκοπό την πιο εύκολη ανάγνωση των διαγραμμάτων, τονίστηκαν με χρώμα ορισμένες μονάχα χρονοσειρές. Ενδεικτικά ξεχωρίζουν η Αυστρία, η Γερμανία, η Γαλλία, η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ισπανία και η Ολλανδία ως χώρες που επλήγησαν σημαντικά από την πανδημία, ενώ επέβαλλαν αυστηρούς περιορισμούς, η Δανία και η Σουηδία, ως χώρες που δεν επέβαλλαν απαγορεύσεις κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της πανδημίας και τέλος παρουσιάζεται και η Κροατία, η οποία είχε τεράστια αύξηση κινητικότητας (έως 900%) τους θερινούς μήνες. Ως γραμμή αναφοράς τίθεται η συχνότητα οδήγησης ή βαδίσματος 100%, που αντιπροσωπεύει τον φόρτο κυκλοφορίας στις 13 Ιανουαρίου 2020.



Γράφημα 4.1: Διάγραμμα κινούμενου μέσου όρου 7 ημερών συχνότητας οδήγησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση



Γράφημα 4.2: Διάγραμμα κινούμενου μέσου όρου 7 ημερών συχνότητας βαδίσματος στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Οι δείκτες C1 (Κλείσιμο σχολείων και πανεπιστημίων), C6 (Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή) και C8 (Περιορισμοί στα διεθνή ταξίδια), οι οποίοι επιλέχθηκαν για την παρούσα ανάλυση, μετατράπηκαν μέσω της προγραμματιστικής γλώσσας Rpyhton σε **δυαδική ποσότητα**. Επιπλέον, οι επιπρόσθετοι δείκτες του γεωγραφικού εύρους των μέτρων δεν χρησιμοποιήθηκαν. Σε περίπτωση επιβολής κάποιου περιοριστικού μέτρου μόνο σε μία πόλη ή περιφέρεια, ο δείκτης σημειώνεται με 1 και θεωρείται ότι επιβλήθηκε ένα γενικό μέτρο. Με την κωδικοποίηση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2, τα δεδομένα των εθνικών στρατηγικών κατά της πανδημίας είναι πλέον σε κατάλληλη μορφή, ώστε να ενσωματωθούν ως εξωγενείς μεταβλητές στα μοντέλα SARIMAX.

Πίνακας 4.2: Δείκτες περιοριστικών μέτρων

Δείκτης	Περιγραφή	Κωδικοποίηση
C1	Κλείσιμο σχολείων και πανεπιστημίων	0: κανένα μέτρο 1: προαιρετικό/υποχρεωτικό κλείσιμο μερικών/όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης
C6	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	0: κανένα μέτρο 1: προαιρετική/υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή πλην ορισμένων εξαιρέσεων (π.χ. αγορά βασικών προϊόντων κλπ.)
C8	Έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια	0: κανένας έλεγχος 1: υποχρεωτική κατ' οίκον απομόνωση/απαγόρευση αφίξεων από ορισμένες/όλες τις περιοχές του εξωτερικού

Έπειτα από την κατάλληλη διαμόρφωση των δεδομένων κινητικότητας και των δεδομένων εθνικών στρατηγικών, τα στοιχεία αυτά συνενώθηκαν για κάθε χώρα και δημιουργήθηκαν **εικοσιπέντε ανεξάρτητα αρχεία csv**. Για παράδειγμα, στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζεται τμήμα του αρχείου της Ιταλίας, το οποίο περιλαμβάνει τις ημερομηνίες, τους φόρτους κυκλοφορίας οδήγησης και βαδίσματος και τις τρεις εξεταζόμενες πολιτικές περιορισμών.

Πίνακας 4.3: Απόσπασμα αρχείου δεδομένων κινητικότητας και περιορισμών της Ιταλίας

Ημερομηνία	Οδήγηση	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια
2/15/2020	145.29	194.34	0	0	1
2/16/2020	132.32	144.17	0	0	1
2/17/2020	110.43	123.94	0	0	1
2/18/2020	112.72	131.03	0	0	1
2/19/2020	118.28	132.99	0	0	1
2/20/2020	120.67	142.68	0	0	1
2/21/2020	135.58	158.11	0	0	1
2/22/2020	139.43	181.74	0	0	1
2/23/2020	114.78	129.3	1	1	1
2/24/2020	98.2	107.66	1	1	1

Στον Πίνακα 4.4 παρέχεται μία γενική **επισκόπηση του χρονοδιαγράμματος** των περιοριστικών μέτρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Πίνακας 4.4: Επισκόπηση ημερομηνιών επιβολής περιοριστικών μέτρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Χώρα	Εμφάνιση κορωνοϊού 2019	Κλείσιμο σχολείων	Άνοιγμα σχολείων	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Άρση υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής	Περιορισμοί στα διεθνή ταξίδια	Άρση περιορισμών στα διεθνή ταξίδια
Αυστρία	25-Φεβ-20	16-Μαρ-20	18-Μαΐ-20	16-Μαρ-20	01-Μαΐ-20	09-Μαρ-20	
		02-Νοε-20	07-Δεκ-20	17-Οκτ-20			
Βέλγιο	04-Φεβ-20	05-Μαρ-20	01-Ιουλ-20	18-Μαρ-20	08-Ιουν-20	20-Μαρ-20	
		29-Οκτ-20	16-Νοε-20	29-Ιουλ-20	26-Αυγ-20		
				19-Οκτ-20			
Βουλγαρία	08-Μαρ-20	13-Μαρ-20	06-Σεπ-20	18-Μαρ-20	01-Απρ-20	15-Μαρ-20	
		29-Οκτ-20		15-Απρ-20	08-Μαΐ-20		
Κροατία	25-Φεβ-20	13-Μαρ-20	07-Σεπ-20	23-Μαρ-20	11-Μαΐ-20	19-Μαρ-20	07-Σεπ-20
						16-Νοε-20	
Τσεχία	01-Μαρ-20	11-Μαρ-20	21-Ιουν-20	15-Μαρ-20	21-Απρ-20	15-Φεβ-20	
		05-Οκτ-20		22-Οκτ-20			
Δανία	27-Φεβ-20	13-Μαρ-20	01-Αυγ-20			03-Μαρ-20	
		09-Νοε-20	19-Νοε-20				
		09-Δεκ-20					
Εσθονία	27-Φεβ-20	16-Μαρ-20	15-Μαΐ-20	29-Μαρ-20	18-Μαΐ-20	17-Μαρ-20	
		14-Δεκ-20					
Φιλανδία	29-Ιαν-20	16-Μαρ-20	15-Μαΐ-20			15-Φεβ-20	
		03-Δεκ-20					
Γαλλία	24-Ιαν-20	02-Μαρ-20	22-Ιουν-20	17-Μαρ-20	11-Μαΐ-20	15-Φεβ-20	
		03-Σεπ-20	22-Σεπ-20	17-Οκτ-20			
		30-Οκτ-20					
Γερμανία	27-Ιαν-20	26-Φεβ-20	07-Ιουλ-20	21-Μαρ-20	06-Μαΐ-20	16-Μαρ-20	
		07-Αυγ-20	03-Σεπ-20	22-Οκτ-20	02-Νοε-20		
		16-Δεκ-20		16-Δεκ-20			
Ελλάδα	26-Φεβ-20	05-Μαρ-20	01-Ιουν-20	23-Μαρ-20	30-Μαΐ-20	14-Μαρ-20	
		02-Νοε-20		07-Νοε-20			
Ουγγαρία	04-Μαρ-20	11-Μαρ-20	19-Ιουν-20	27-Μαρ-20	18-Μαΐ-20	09-Μαρ-20	
		11-Αυγ-20	11-Σεπ-20				
		10-Νοε-20					
Ιρλανδία	29-Φεβ-20	13-Μαρ-20	21-Σεπ-20	28-Μαρ-20	18-Μαΐ-20	06-Απρ-20	
		21-Οκτ-20		08-Αυγ-20	18-Σεπ-20		
				21-Οκτ-20			
Ιταλία	31-Ιαν-20	23-Φεβ-20	14-Σεπ-20	23-Φεβ-20	04-Μαΐ-20	15-Φεβ-20	3-Ιουν-20
		23-Οκτ-20		23-Οκτ-20		9-Ιουν-20	
Λετονία	02-Μαρ-20	13-Μαρ-20	21-Σεπ-20			27-Φεβ-20	
		15-Οκτ-20					
Λιθουανία	28-Φεβ-20	13-Μαρ-20	30-Μαΐ-20	17-Δεκ-20		13-Μαρ-20	
		15-Σεπ-20					
Λουξεμβούργο	29-Φεβ-20	16-Μαρ-20	25-Μαΐ-20	17-Μαρ-20	20-Απρ-20	21-Αυγ-20	
		27-Δεκ-20		30-Οκτ-20	14-Δεκ-20		
Ολλανδία	27-Φεβ-20	16-Μαρ-20	15-Ιουν-20	23-Μαρ-20	12-Μαΐ-20	19-Μαρ-20	
		16-Δεκ-20					
Πολωνία	04-Μαρ-20	12-Μαρ-20	18-Σεπ-20	31-Μαρ-20	09-Απρ-20	15-Μαρ-20	
		19-Οκτ-20					
Πορτογαλία	02-Μαρ-20	09-Μαρ-20	25-Αυγ-20	19-Μαρ-20	04-Μαΐ-20	10-Μαρ-20	
		12-Οκτ-20	06-Νοε-20	25-Ιουν-20	25-Αυγ-20		
		16-Νοε-20		23-Οκτ-20			
Ρουμανία	26-Φεβ-20	11-Μαρ-20		25-Μαρ-20	15-Μαΐ-20	15-Φεβ-20	
				09-Νοε-20			
Σλοβακία	06-Μαρ-20	10-Μαρ-20	25-Αυγ-20	08-Απρ-20	14-Απρ-20	09-Μαρ-20	25-Σεπ-20
		12-Οκτ-20	07-Δεκ-20	22-Οκτ-20		05-Οκτ-20	
Σλοβενία	04-Μαρ-20	09-Μαρ-20	02-Ιουν-20			10-Μαρ-20	
		15-Οκτ-20					
Ισπανία	31-Ιαν-20	09-Μαρ-20	22-Οκτ-20	14-Μαρ-20	27-Μαΐ-20	10-Μαρ-20	
				15-Ιουλ-20	10-Αυγ-20		
				25-Οκτ-20			
Σουηδία	31-Ιαν-20	17-Μαρ-20	17-Αυγ-20			19-Μαρ-20	
		07-Δεκ-20					

4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

Χρησιμοποιώντας το ίδιο εργαλείο ανάλυσης της γλώσσας Python, πραγματοποιήθηκε **περιγραφική στατιστική** για τα ιστορικά δεδομένα οδήγησης και βαδίσματος. Στους Πίνακες 4.5 και 4.6 παρατίθενται ορισμένα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία, όπως η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, καθώς και το μέγεθος του δείγματος.

Πίνακας 4.5: Περιγραφική στατιστική για τα δεδομένα οδήγησης από 15/02/20 έως 05/01/21
(Μέγεθος δείγματος: 326)

Χώρα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Αυστρία	105.33	42.92	194.72	24.83
Βέλγιο	101.17	34.59	169.29	29.76
Βουλγαρία	106.38	51.00	224.46	25.56
Κροατία	156.95	144.30	670.50	20.51
Τσεχία	115.07	42.94	206.84	31.86
Δανία	123.61	36.35	203.67	50.61
Εσθονία	143.18	63.89	340.21	52.04
Φιλανδία	132.51	42.64	242.43	54.91
Γαλλία	99.66	47.70	196.95	15.33
Γερμανία	107.03	33.53	170.31	37.90
Ελλάδα	106.78	60.61	241.14	18.59
Ουγγαρία	107.63	38.88	196.46	35.85
Ιρλανδία	87.63	38.83	166.38	19.52
Ιταλία	97.50	54.73	222.86	12.66
Λετονία	118.79	55.53	267.09	18.93
Λιθουανία	115.31	47.30	236.39	27.11
Λουξεμβούργο	79.36	27.02	137.89	18.20
Ολλανδία	90.85	27.71	147.61	27.72
Πολωνία	106.64	44.64	205.90	19.78
Πορτογαλία	98.52	53.76	231.07	16.78
Ρουμανία	92.85	39.18	176.19	18.78
Σλοβακία	103.89	39.99	191.93	28.87
Σλοβενία	107.38	61.67	304.21	24.74
Ισπανία	90.15	46.16	175.04	10.93
Σουηδία	135.83	45.36	252.55	47.76

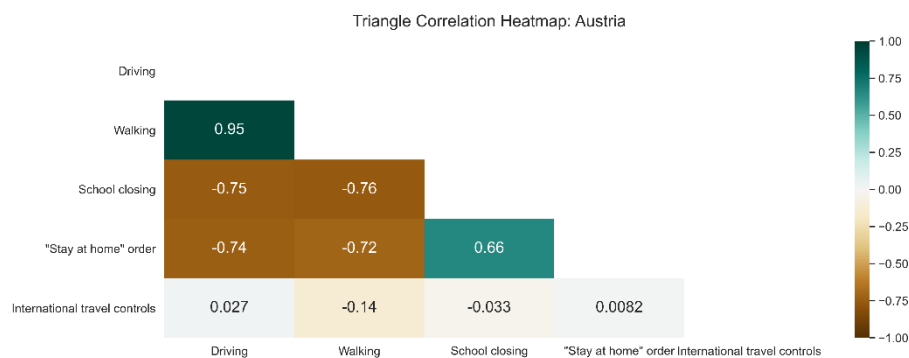
Πίνακας 4.6: Περιγραφική στατιστική για τα δεδομένα βαδίσματος από 15/02/20 έως 05/01/21
(Μέγεθος δείγματος: 326)

Χώρα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Αυστρία	86.81	36.98	166.41	18.54
Βέλγιο	105.75	36.86	235.37	34.50
Βουλγαρία	108.71	50.77	207.45	19.15
Κροατία	187.16	192.62	888.44	17.06
Τσεχία	77.97	37.42	195.40	16.13
Δανία	116.68	36.52	196.81	36.80
Εσθονία	137.86	63.84	316.12	36.01
Φιλανδία	107.01	30.87	177.78	37.00

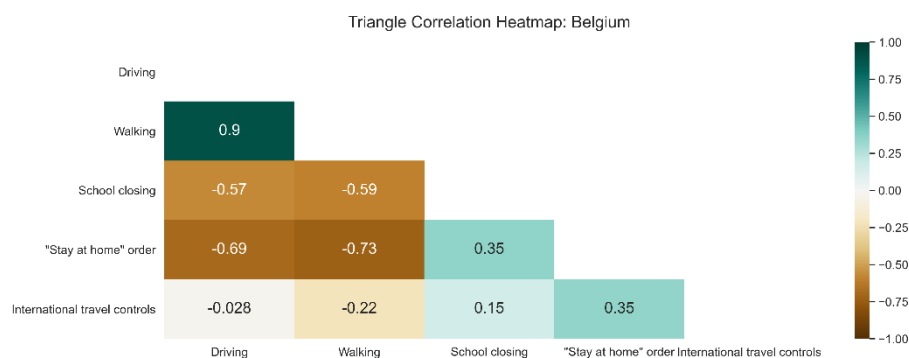
Γαλλία	72.86	36.19	137.30	10.44
Γερμανία	105.69	33.93	194.18	33.95
Ελλάδα	110.92	66.11	254.21	18.00
Ουγγαρία	76.36	36.54	213.12	18.20
Ιρλανδία	66.27	33.61	196.24	14.86
Ιταλία	76.28	48.27	194.34	10.97
Λετονία	101.37	51.94	220.25	19.19
Λιθουανία	122.37	61.99	275.76	30.03
Λουξεμβούργο	88.23	29.37	147.40	24.14
Ολλανδία	98.34	34.02	173.30	28.39
Πολωνία	96.56	46.93	186.57	15.90
Πορτογαλία	74.28	47.87	196.41	10.21
Ρουμανία	88.91	38.26	151.22	13.91
Σλοβακία	105.48	41.87	194.01	24.62
Σλοβενία	117.45	57.27	262.90	28.86
Ισπανία	71.69	37.09	192.60	5.82
Σουηδία	105.40	27.74	158.70	32.87

4.5 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

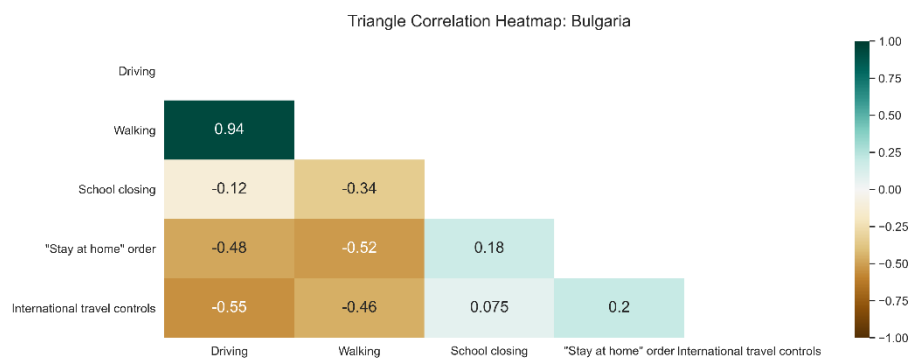
Χρησιμοποιώντας τα ανεξάρτητα αρχεία δεδομένων κάθε χώρας, εξετάστηκε η **συσχέτιση** των μεταβλητών (correlation). Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται η συσχέτιση των μεταβλητών κάθε χώρας σε μορφή τριγωνικών χαρτών θερμότητας, όπου το πιο θερμό χρώμα συμβολίζει την μεγαλύτερη τιμή του μεγέθους.



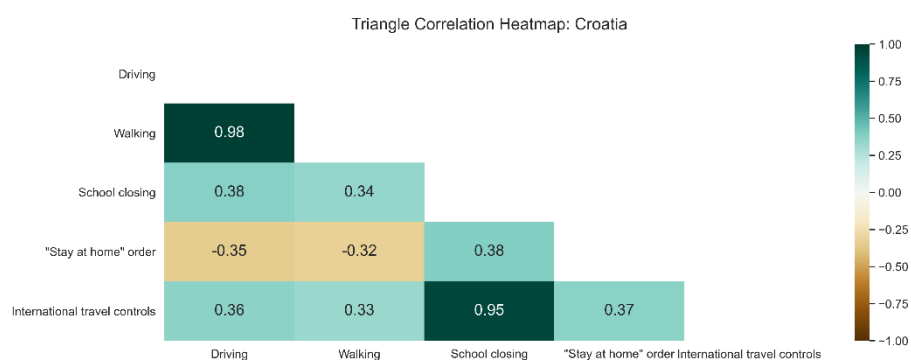
Γράφημα 4.3: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Αυστρίας



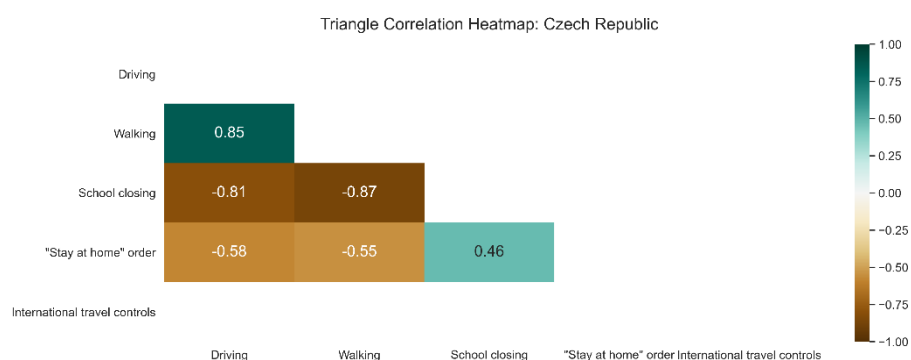
Γράφημα 4.4: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα του Βελγίου



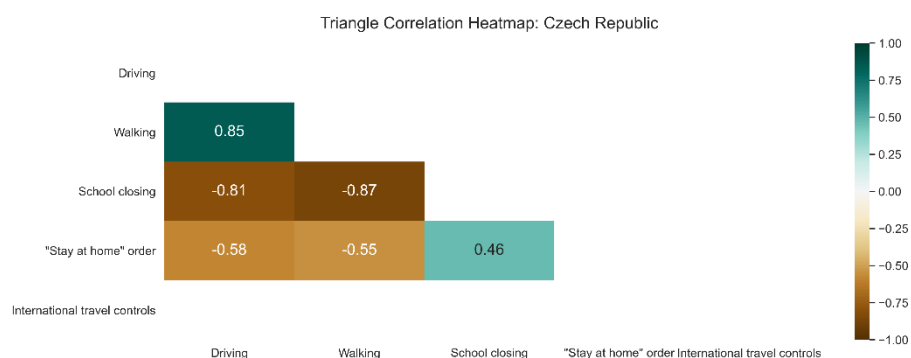
Γράφημα 4.5: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Βουλγαρίας



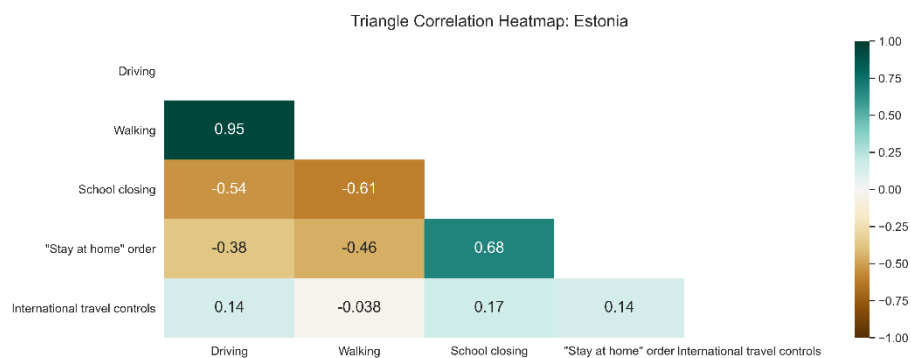
Γράφημα 4.6: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Κροατίας



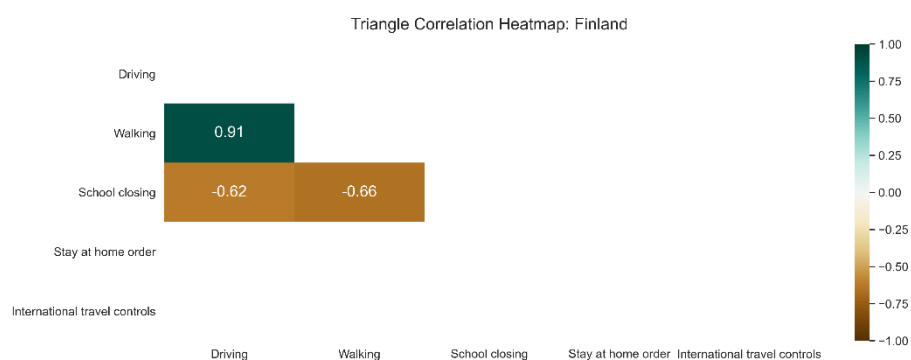
Γράφημα 4.7: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Τσεχίας



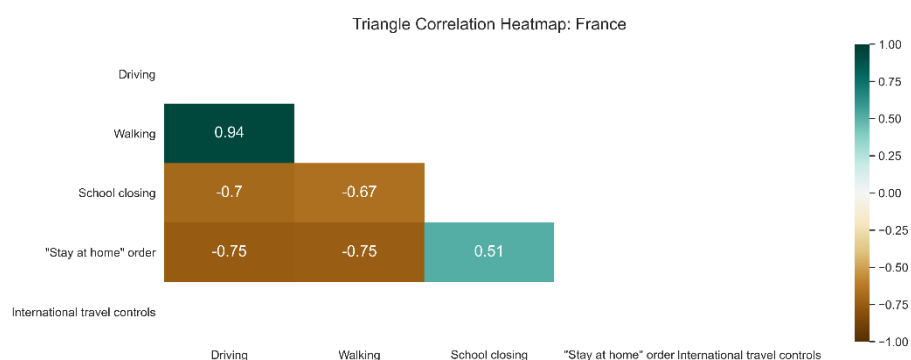
Γράφημα 4.8: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Δανίας



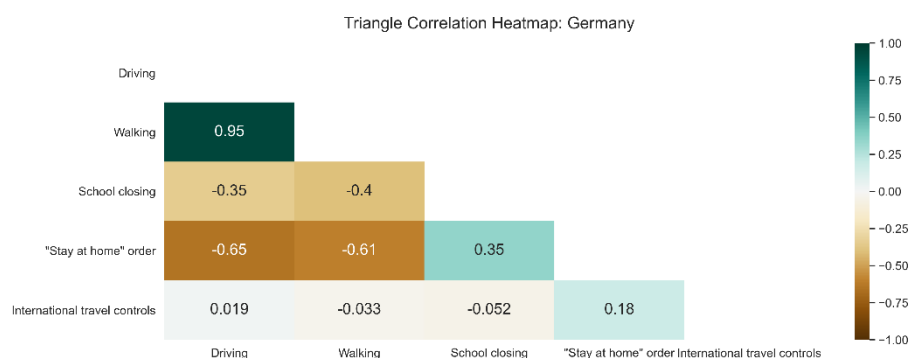
Γράφημα 4.9: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Εσθονίας



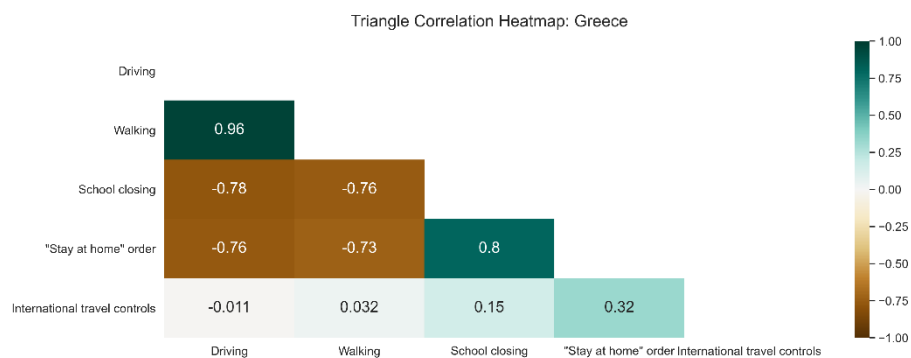
Γράφημα 4.10: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Φιλανδίας



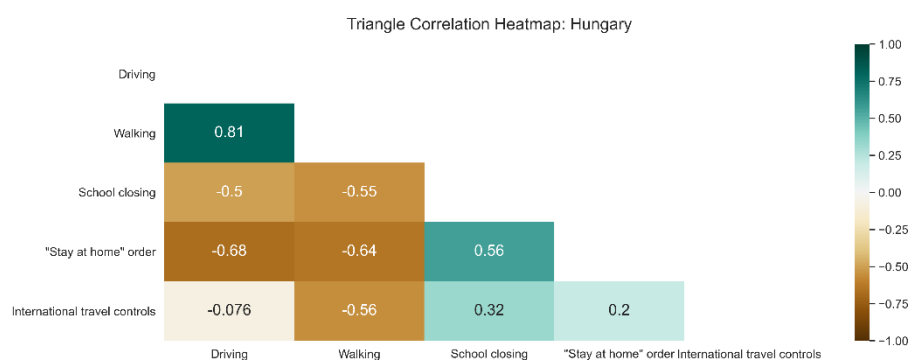
Γράφημα 4.11: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Γαλλίας



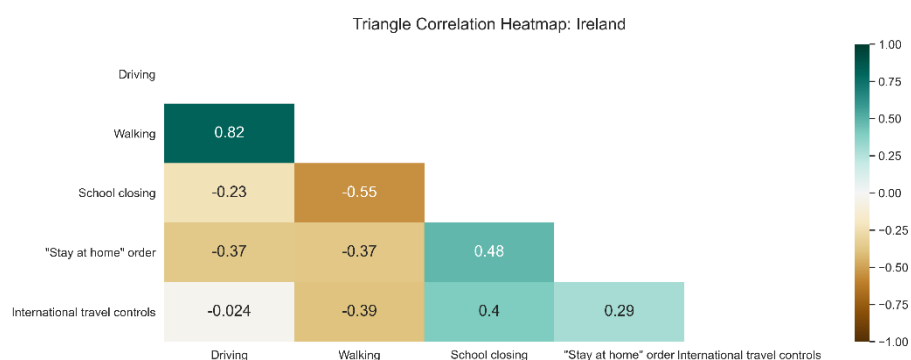
Γράφημα 4.12: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Γερμανίας



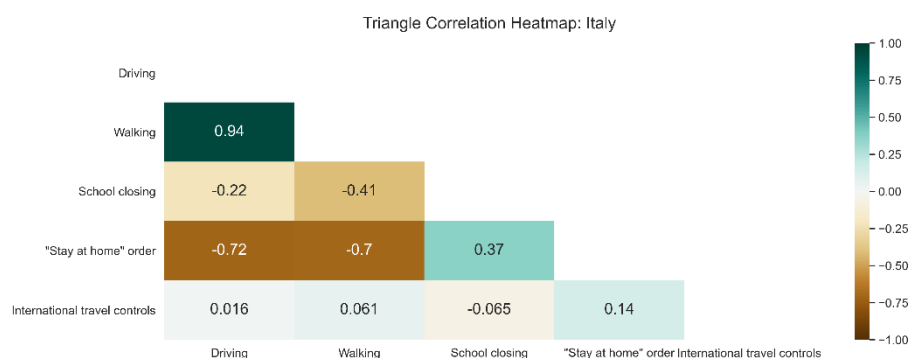
Γράφημα 4.13: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Ελλάδας



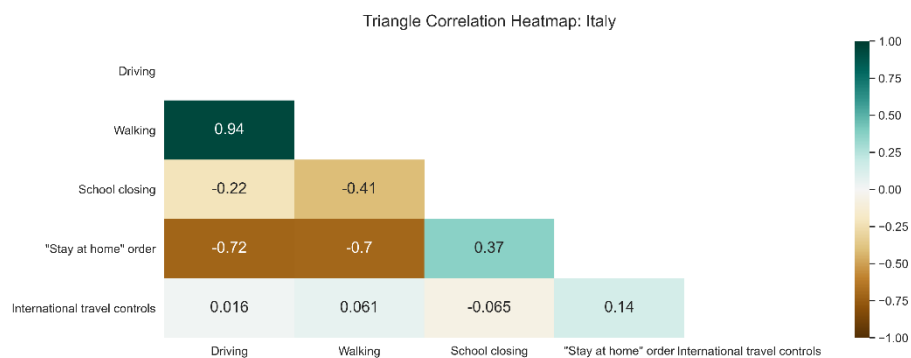
Γράφημα 4.14: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Ουγγαρίας



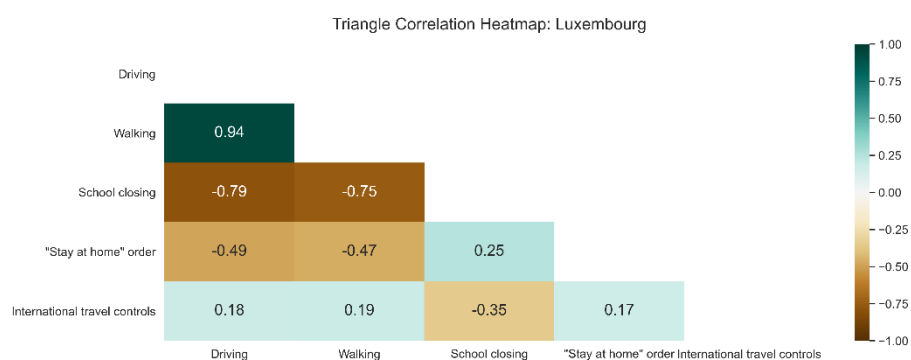
Γράφημα 4.15: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Ιρλανδίας



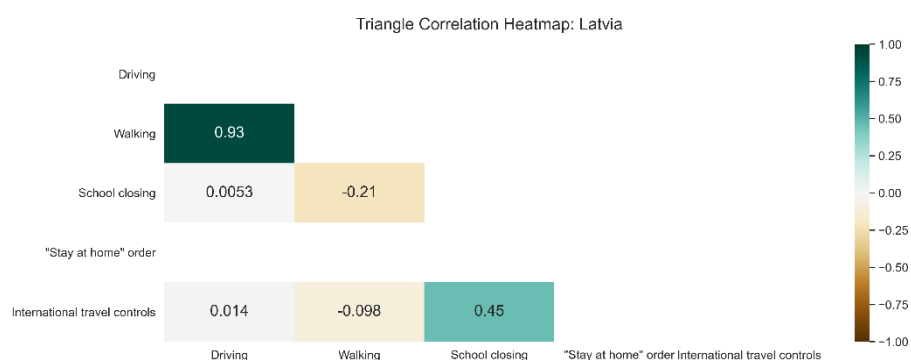
Γράφημα 4.16: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Ιταλίας



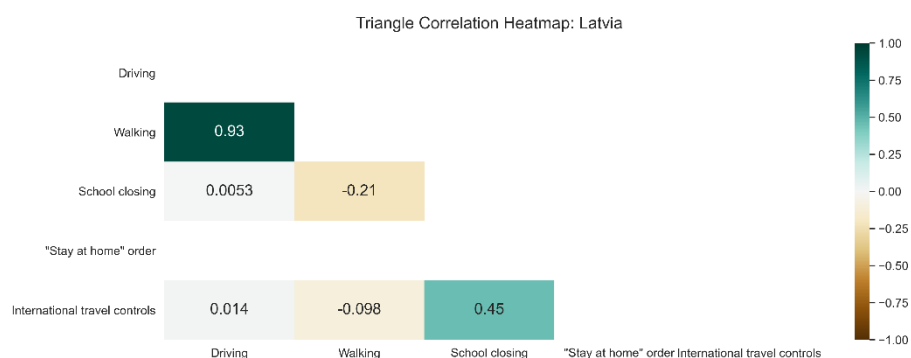
Γράφημα 4.17: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Λιθουανίας



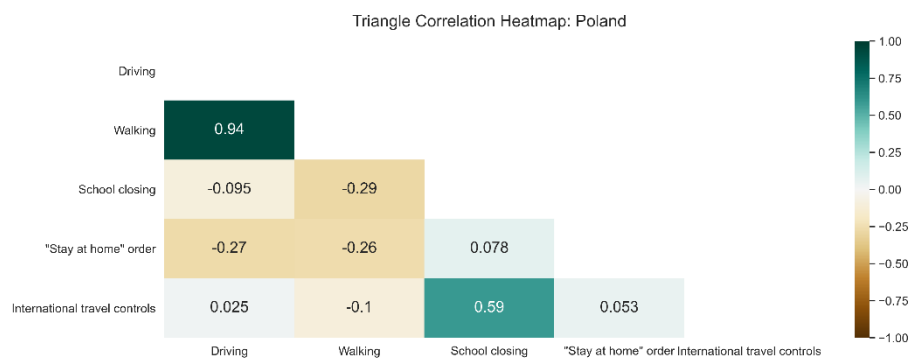
Γράφημα 4.18: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα του Λουξεμβούργου



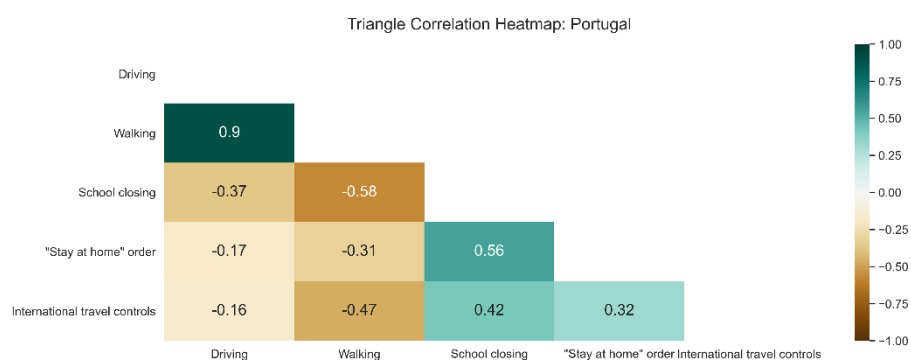
Γράφημα 4.19: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Λετονίας



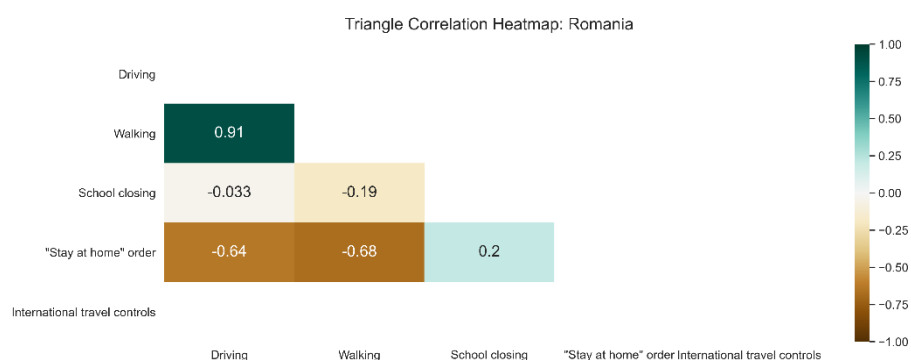
Γράφημα 4.20: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Ολλανδίας



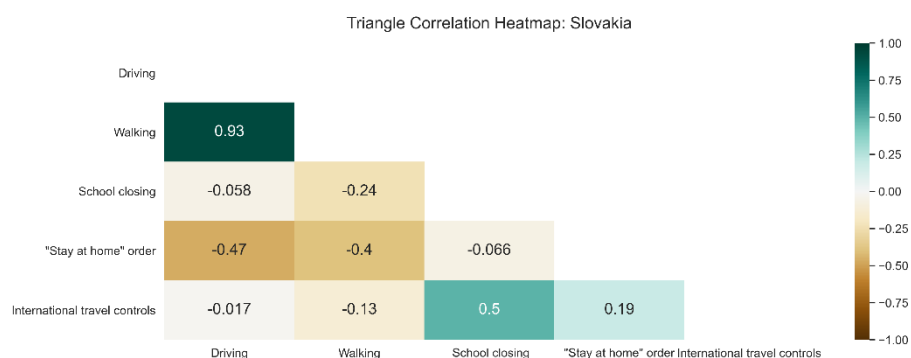
Γράφημα 4.21: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Πολωνίας



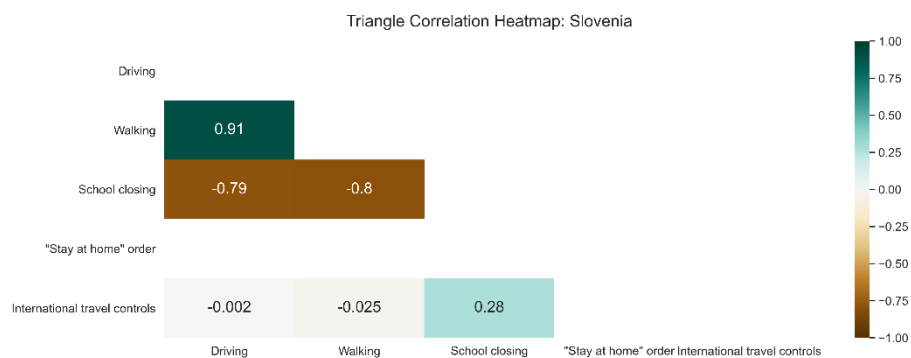
Γράφημα 4.22: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Πορτογαλίας



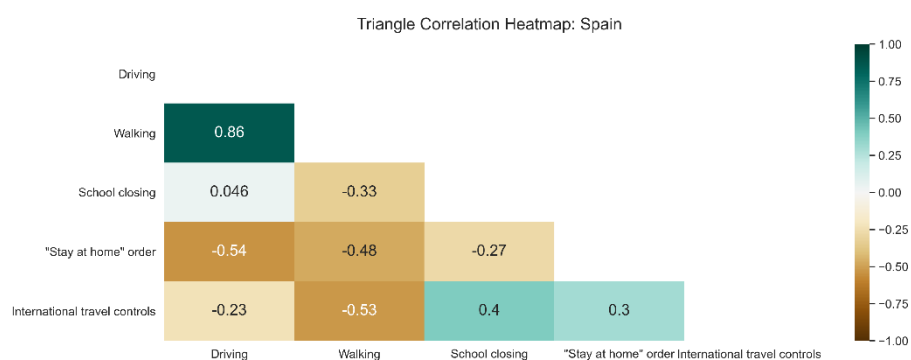
Γράφημα 4.23: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Ρουμανίας



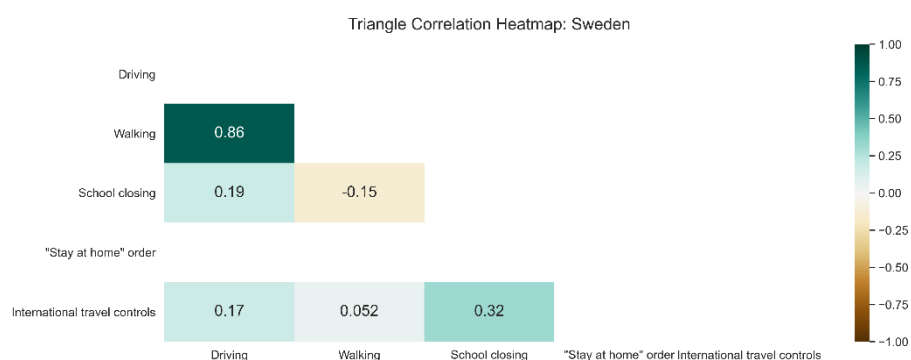
Γράφημα 4.24: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Σλοβακίας



Γράφημα 4.25: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Σλοβενίας



Γράφημα 4.26: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Ισπανίας



Γράφημα 4.27: Τριγωνικός χάρτης συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα της Σουηδίας

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι οι χώρες Δανία, Φιλανδία, Λετονία, Σλοβενία και Σουηδία δεν εφάρμοσαν μέτρα υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4.4. Γι' αυτό τον λόγο, δεν υπάρχει συσχέτιση του μέτρου αυτού ("Stay at home" orders) με τις υπόλοιπες μεταβλητές και εμφανίζεται λευκό χρώμα στα αντίστοιχα γραφήματα. Παρομοίως, οι χώρες Τσεχία, Φιλανδία, Γαλλία και Ρουμανία εφάρμοσαν αυστηρά μέτρα ελέγχου στα διεθνή ταξίδια ήδη πριν την αρχική ημερομηνία της μελέτης (15/02/20) χωρίς να υπάρξει άρση των μέτρων μέχρι την τελευταία ημερομηνία (05/01/21). Συνεπώς, δεν υπάρχει συσχέτιση (λευκό χρώμα) των ελέγχων (International travel controls) με τις υπόλοιπες μεταβλητές.

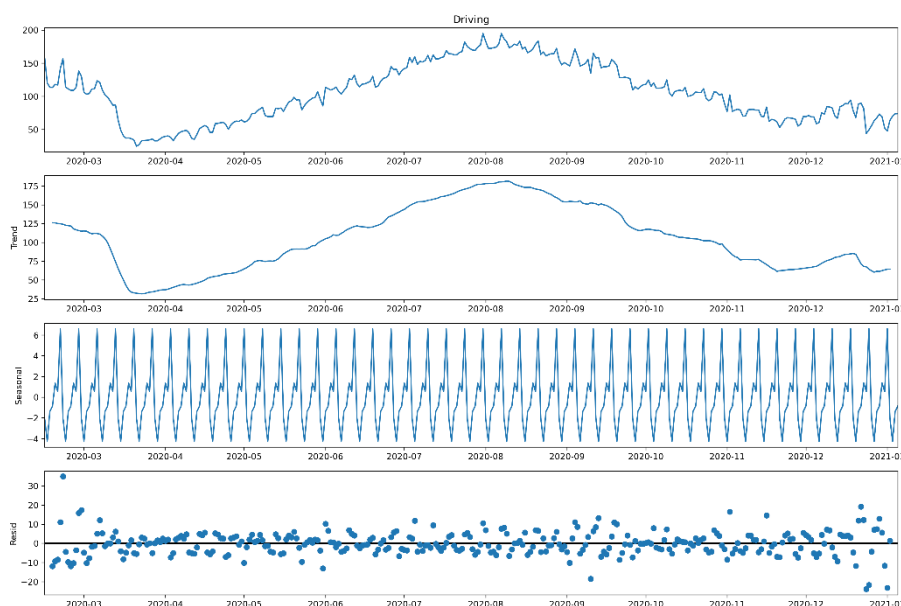
5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας, που εφαρμόστηκε και των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν στο πλαίσιο της μελέτης. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, θα αναπτυχθούν **μοντέλα χρονοσειρών SARIMAX** μέσω κατάλληλου κώδικα της προγραμματιστικής γλώσσας Python για την εκτίμηση της κινητικότητας εικοσιπέντε χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους της πανδημίας του κορωνοϊού 2019. Τα ιστορικά δεδομένα οδήγησης και βαδίσματος αναπαριστούν τις ενδογενείς μεταβλητές των μοντέλων, ενώ τα δυαδικά δεδομένα των πολιτικών περιορισμού της κυκλοφορίας αποτελούν τις εξωγενείς μεταβλητές. Τα τελικά στατιστικά σημαντικά μοντέλα που προκύπτουν για κάθε χώρα αξιολογούνται από τα προαναφερθέντα κριτήρια ελέγχου και αποδοχής.

5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Ακολουθώντας τη διαδικασία ανάπτυξης ενός μοντέλου SARIMAX, εξετάστηκε πρωταρχικά η **αποσύνθεση των διαθέσιμων χρονοσειρών** οδήγησης και βαδίσματος (time-series decomposition). Στο Γράφημα 5.1, παρουσιάζεται ως παράδειγμα η αποσύνθεση της χρονοσειράς της οδήγησης στην Αυστρία στο χρονικό διάστημα 15/02/20 έως 05/02/21. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η εξέλιξη της συχνότητας οδήγησης στο προαναφερθέν διάστημα, η τάση (trend), η εποχικότητα (seasonal) και τέλος τα υπολείμματα (residuals). Παρατηρώντας το γράφημα, είναι εμφανής η εβδομαδιαία εποχικότητα των δεδομένων, η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη στην κατασκευή των μοντέλων, δηλαδή στην εποχιακή υστέρηση ($s=7$). Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για την οδήγηση και το βάδισμα σε όλες τις χώρες, επιβεβαιώθηκε ότι τα όλα δεδομένα εμφανίζουν εβδομαδιαία διακύμανση.



Γράφημα 5.1: Διάγραμμα αποσύνθεσης χρονοσειράς της συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε **έλεγχος στασιμότητας** των χρονοσειρών με χρήση του ελέγχου Augmented Dickey-Fuller. Σε όλες τις ενδογενείς μεταβλητές (οδήγηση και βάδισμα) εμφανίστηκε ένδειξη, η οποία καταδεικνύει ότι δεν είναι στάσιμες, αλλά παρουσιάζουν εποχικές διακυμάνσεις, όπως αποδείχθηκε και παραπάνω με την αποσύνθεση των χρονοσειρών. Στον Πίνακα 5.1 ακολουθεί παράδειγμα του ελέγχου Augmented Dickey-Fuller της χρονοσειράς συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία:

Πίνακας 5.1: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία

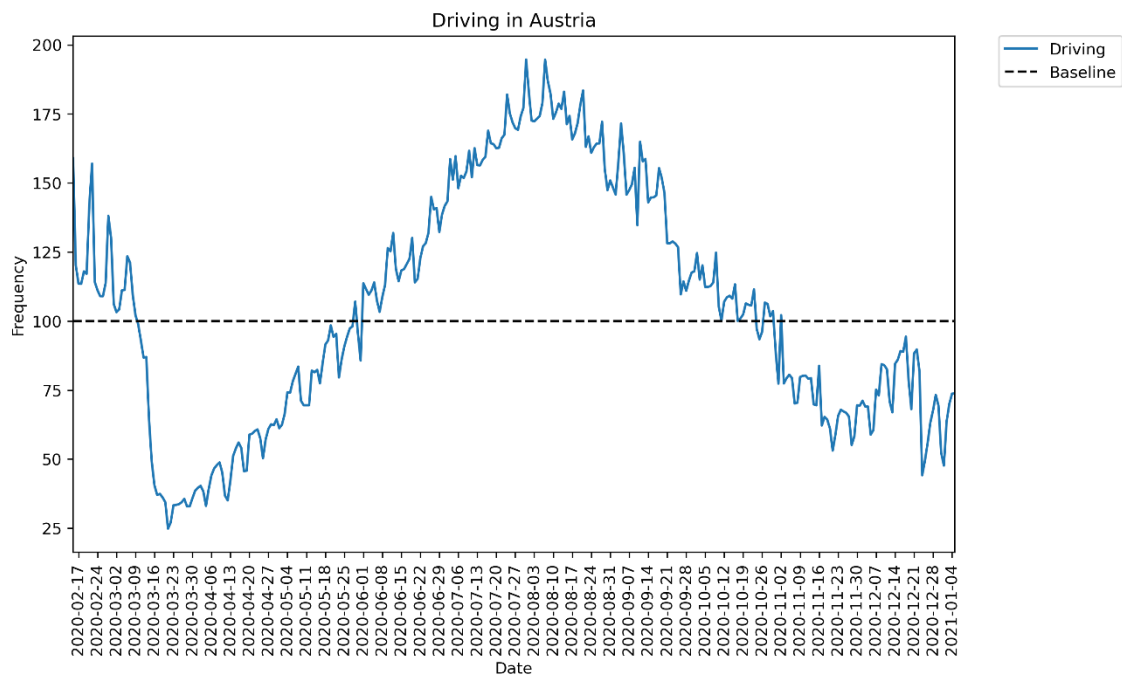
Augmented Dickey-Fuller Test:	
ADF test statistic	-1.476074
p-value	0.545312
# lags used	14.000000
# observations	311.000000
Critical value (1%)	-3.451553
Critical value (5%)	-2.870879
Critical value (10%)	-2.571746
Weak evidence against the null hypothesis	
Fail to reject the null hypothesis	
Data has a unit root and is non-stationary	

Γι' αυτό τον λόγο, όλες οι χρονοσειρές μετατράπηκαν σε στάσιμες μέσω της πρώτης διαφοροποίησης, της διαφοράς δηλαδή δύο διαδοχικών τιμών. Η νέα ένδειξη επιβεβαιώνει τη στασιμότητα των χρονοσειρών. Στον Πίνακα 5.2 ακολουθεί παράδειγμα του ελέγχου Augmented Dickey-Fuller της συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία έπειτα από την πρώτη διαφοροποίηση:

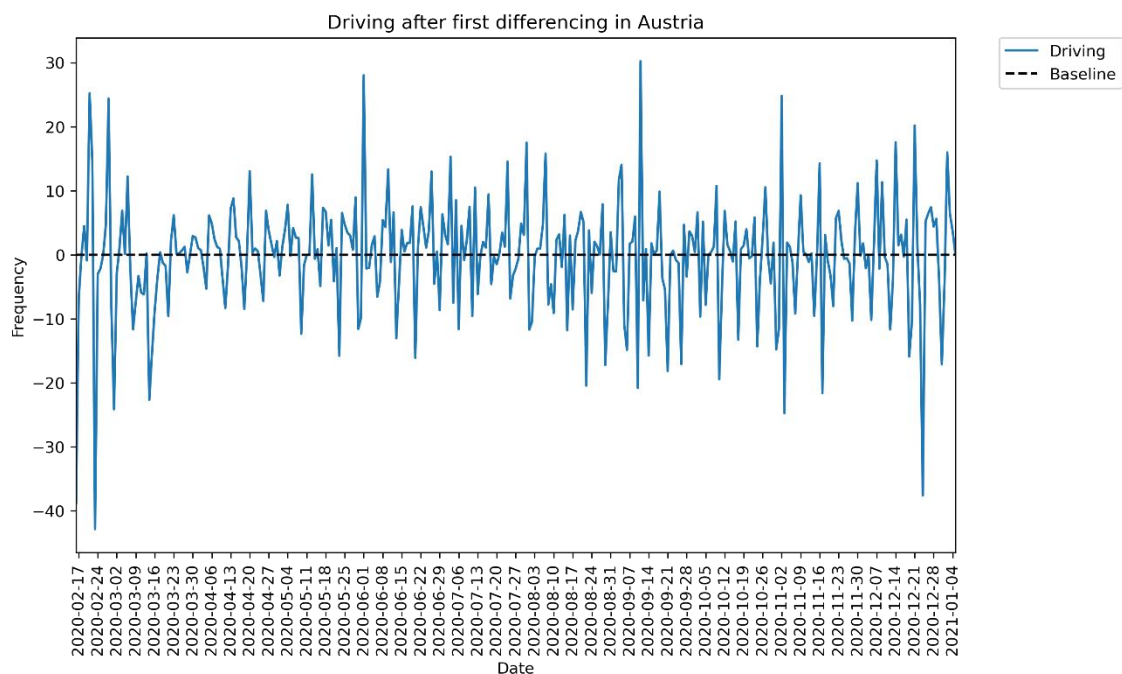
Πίνακας 5.2: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία έπειτα από την πρώτη διαφοροποίηση

Augmented Dickey-Fuller Test:	
ADF test statistic	-3.229218
p-value	0.018354
# lags used	17.000000
# observations	307.000000
Critical value (1%)	-3.451831
Critical value (5%)	-2.871001
Critical value (10%)	-2.571811
Strong evidence against the null hypothesis	
Reject the null hypothesis	
Data has no unit root and is stationary	

Στα Γραφήματα 5.2 και 5.3, παρουσιάζονται οι χρονοσειρές της συχνότητας οδήγησης (Driving) **πριν και μετά την πρώτη διαφοροποίηση**. Στον άξονα x σημειώνονται οι ημερομηνίες των διαθέσιμων δεδομένων (Date), ενώ στον άξονα y οι συχνότητες οδήγησης (Frequency) ως ποσοστιαία μεγέθη. Αναφέρεται επίσης η τιμή βάσης (Baseline), όπου στο πρώτο διάγραμμα είναι στο 100%, ενώ μετά την διαφορά των διαδοχικών τιμών μεταφέρεται στο 0%.



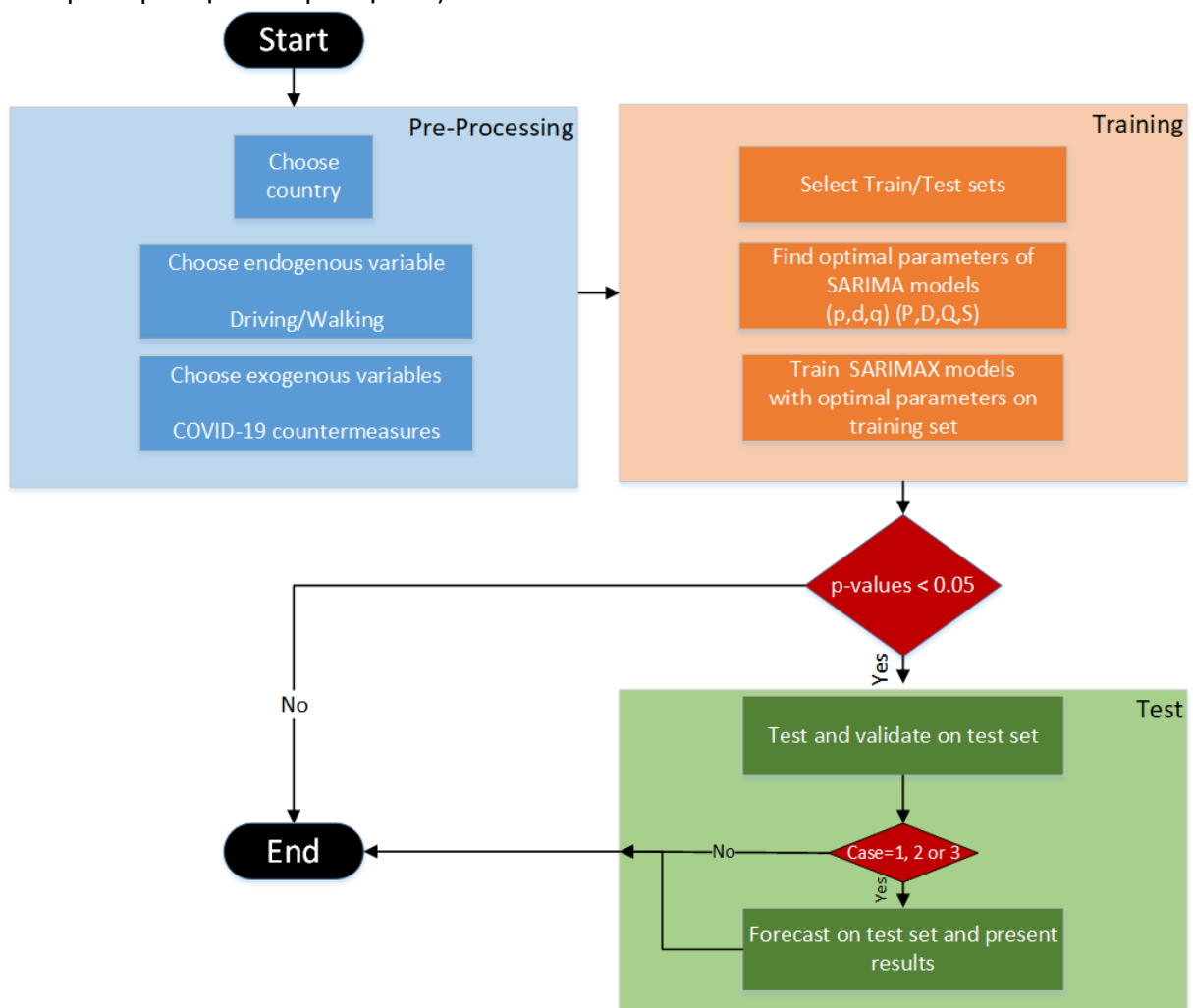
Γράφημα 5.2: Διάγραμμα συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία πριν την πρώτη διαφοροποίηση



Γράφημα 5.3: Διάγραμμα συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία μετά την πρώτη διαφοροποίηση

Ο **εντοπισμός των βέλτιστων μοντέλων** για κάθε χρονοσειρά αποτελεί το πιο σημαντικό βήμα και απαιτεί συγκεκριμένη διαδικασία, η οποία παρουσιάζεται με μορφή διαγράμματος ροής στο Γράφημα 5.4. Αρχικά, επιλέγεται μία χώρα (Αυστρία ή Βέλγιο ή Βουλγαρία κλπ.), μία ενδογενής μεταβλητή (οδήγηση ή βάδισμα), μία εξωγενής μεταβλητή (κλείσιμο σχολείων ή υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή ή έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια) και μία Περίπτωση (1, 2, 3 ή 4) συνόλων εξάσκησης, επαλήθευσης και προβλέψεων, όπως αναφέρονται στον Πίνακα 3.1. Έπειτα, τα σύνολα εξάσκησης και επαλήθευσης των ενδογενών μεταβλητών εισάγονται στο πακέτο εκτίμησης στατιστικών μοντέλων *statsmodels*, προκειμένου να ληφθούν οι βέλτιστες παράμετροι

(p, d, q) (P, D, Q και s). Στη συνέχεια, οι βέλτιστες αυτές παράμετροι χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του μοντέλου SARIMAX, ενώ ταυτόχρονα εισάγονται στο ίδιο λογισμικό πακέτο το σύνολο εξάσκησης των ενδογενών και των εξωγενών μεταβλητών. Μόνο εάν οι τιμές p του υποψήφιου μοντέλου SARIMAX είναι μικρότερες ή ίσες με 0.05, το μοντέλο προχωρά στην εκτίμηση του αντίστοιχου συνόλου επαλήθευσης κάθε περίπτωσης και συγκρίνεται με αυτό με τα κριτήρια ελέγχου των εξισώσεων (2), (3), (4) και (5). Επίσης, μόνο εφόσον ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη, πραγματοποιούνται περαιτέρω προβλέψεις, οι οποίες επικυρώνονται από το σύνολο προβλέψεων σύμφωνα με τα προαναφερθέντα κριτήρια. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις χώρες για όλες τις ενδογενείς και εξωγενείς μεταβλητές και για κάθε μία από τις τέσσερις περιπτώσεις. Όπως αναφέρθηκε στο θεωρητικό υπόβαθρο, στην Περίπτωση 4 δεν πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη, καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την επικύρωση τους.



Γράφημα 5.4: Διάγραμμα ροής για την εύρεση των βέλτιστων μοντέλων SARIMAX

Εκτελώντας αυτή την επαναλαμβανόμενη διαδικασία, αναπτύχθηκαν περισσότερα από 600 στατιστικά μοντέλα ανάλυσης χρονοσειρών, από τα οποία βρέθηκαν στατιστικά σημαντικά 87 μοντέλα. Συγκεκριμένα, 22 στην Περίπτωση 1, 25 στην Περίπτωση 2, 21 στην Περίπτωση 3 και 19 στην Περίπτωση 4. Ο Πίνακας 5.3 συνοψίζει όλα τα **στατιστικά σημαντικά μοντέλα** αναφέροντας πρώτα την ενδογενή και μετά την εξωγενή μεταβλητή.

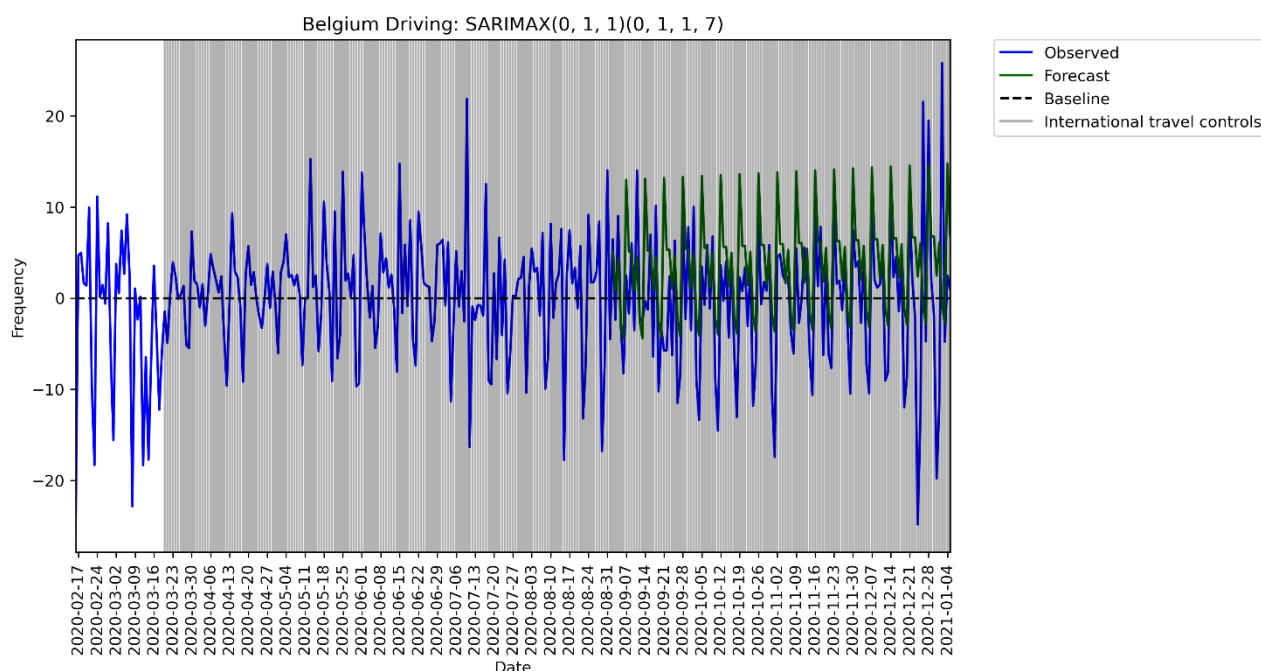
Πίνακας 5.3: Στατιστικά σημαντικά μοντέλα SARIMAX

Χώρα	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4
Αυστρία	-	Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια, Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων
Βέλγιο	Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια
Βουλγαρία	-	-	-	-
Κροατία	Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	-	-	-
Τσεχία	Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων	Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων
Δανία	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων
Εσθονία	-	-	Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	-
Φιλανδία	-	-	-	-
Γαλλία	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων
Γερμανία	Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	-	Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	-
Ελλάδα	-	-	-	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή
Ουγγαρία	Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων	-	-
Ιρλανδία	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	-	-	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή
Ιταλία	Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια, Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων,	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια, Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια, Βάδισμα - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων
Λετονία	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	-	-	-
Λιθουανία	-	-	-	-
Λουξεμβούργο	-	-	-	-
Ολλανδία	-	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Οδήγηση - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	-	-
Πολωνία	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια
Πορτογαλία	Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια
Ρουμανία	-	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	Βάδισμα - Κλείσιμο σχολείων	-
Σλοβακία	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή
Σλοβενία	-	Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	-	-
Ισπανία	Οδήγηση - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα - Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια	Οδήγηση - Κλείσιμο σχολείων, Βάδισμα -Έλεγχος στα διεθνή ταξίδια
Σουηδία	-	-	-	-

Ως παράδειγμα ενός στατιστικά σημαντικού μοντέλου ($p\text{-values} \leq 0.05$), παρατίθενται παρακάτω ο Πίνακας 5.4 με τα στοιχεία του μοντέλου SARIMAX της οδήγησης σε σχέση με τους ελέγχους στα διεθνή ταξίδια στο Βέλγιο και το Γράφημα 5.5 με την αναπαράσταση του ίδιου μοντέλου.

Πίνακας 5.4: Στοιχεία μοντέλου SARIMAX οδήγησης-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στο Βέλγιο

Dep. Variable:	Driving			No. Observations:	121	
Model:	SARIMAX(0, 1, 1)x(0, 1, 1, 7)			Log Likelihood	-354.437	
Date:	Thu, 04 Mar 2021			AIC	716.875	
Time:	15: 16: 44			BIC	727.784	
Sample:	2/16/2020-06/15/2020			HQIC	721.302	
Covariance Type:	opg					
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
Travel	6.1306	2.378	2.578	0.01	1.469	10.792
ma.L1	-0.9563	0.053	-17.949	0	-1.061	-0.852
ma.S.L7	-0.6013	0.08	-7.521	0	-0.758	-0.445
sigma2	29.2398	3.092	9.456	0	23.179	35.301
Ljung-Box(Q):	30.24			Jarque-Bera(JB):	10.81	
Prob(Q):	0.87			Prob(JB):	0.00	
Heteroskedasticity (H):	0.54			Skew:	-0.12	
Prob(H) (two-sided):	0.06			Kurtosis:	4.50	



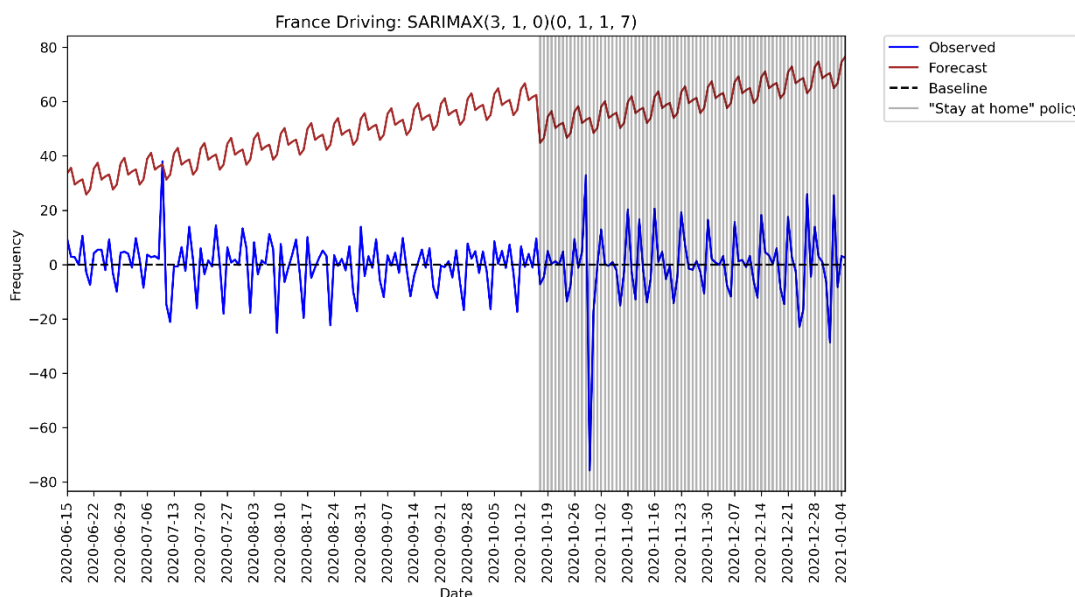
Γράφημα 5.5: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης- ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στο Βέλγιο

Μετά τον εντοπισμό των στατιστικά σημαντικών μοντέλων, χρειάζεται να αποκλειστούν όσα μοντέλα εμφανίζουν μεγάλα **σφάλματα**. Για τον σκοπό αυτό, στις περιπτώσεις 1, 2 και 3 πραγματοποιήθηκε σύγκριση των παρατηρούμενων τιμών (Observed) με τις προβλέψεις του κάθε μοντέλου (Forecast), σύμφωνα με τα κριτήρια των εξισώσεων (2), (3), (4) και (5). Στην περίπτωση 4, συγκρίθηκαν οι παρατηρούμενες τιμές και τα αποτελέσματα του συνόλου επαλήθευσης (Test), σύμφωνα με τα ίδια κριτήρια.

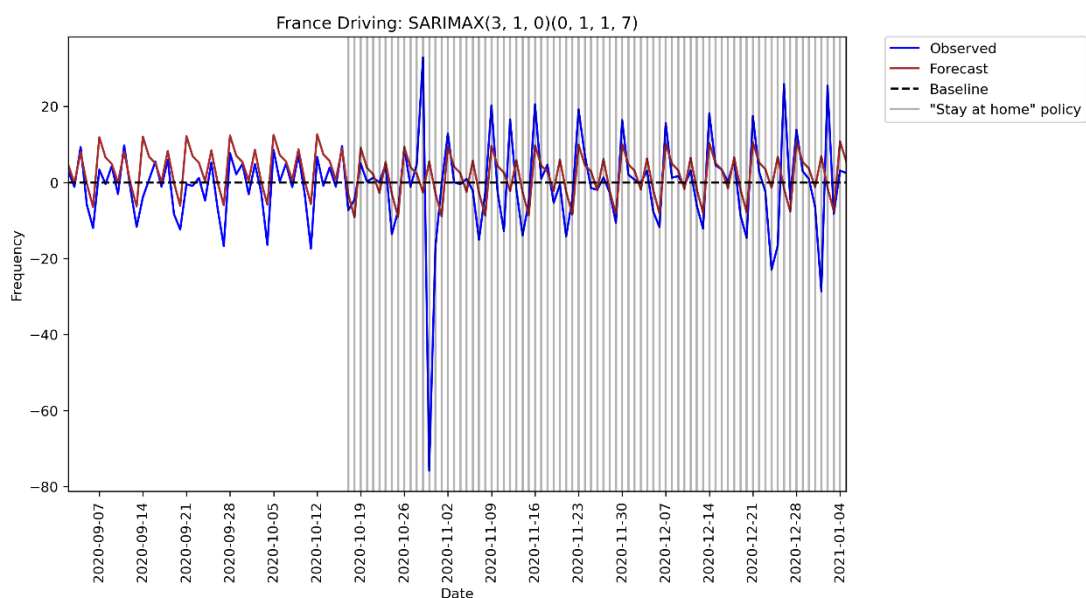
Ως **παράδειγμα μοντέλων με μεγάλα σφάλματα**, στον Πίνακα 5.5 παρατίθενται τα μοντέλα SARIMAX οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στην Γαλλία, όπου στατιστικά σημαντικά μοντέλα εμφανίζονται και στις τρεις περιπτώσεις 1, 2 και 3. Παρατηρώντας τα σφάλματα MAPE, MAE, RMSE και MSE, καθώς και τα Γραφήματα 5.6, 5.7 και 5.8, το μοντέλο SARIMAX της περίπτωσης 2 επιλέγεται ως βέλτιστο μοντέλο.

Πίνακας 5.5: Επισκόπηση μοντέλων οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονή στη Γαλλία

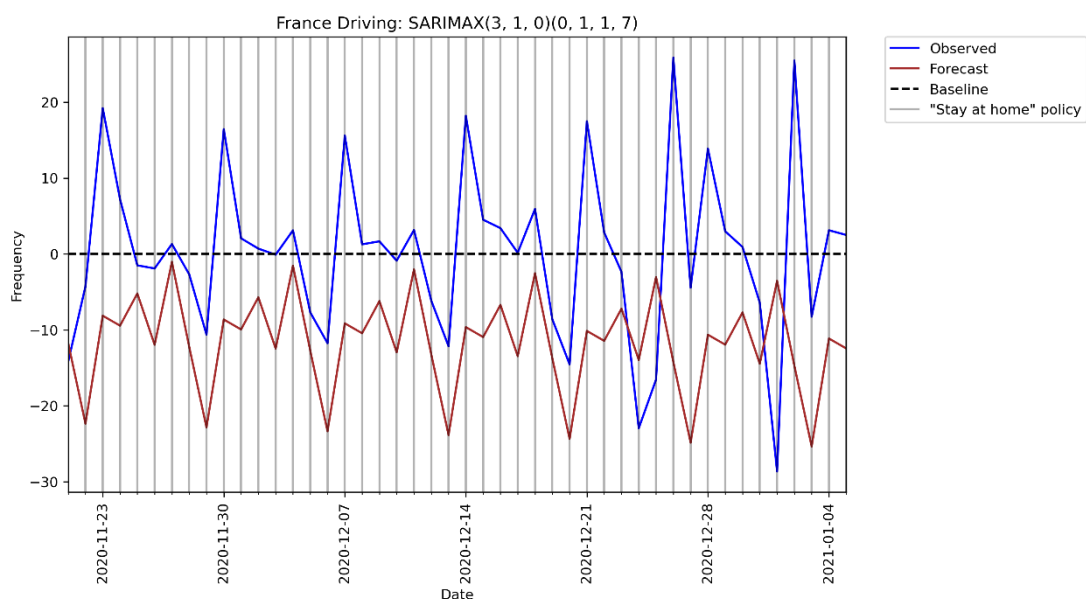
Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE	Γράφημα
Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	1	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	0.98	47.84	52.65	2772.35	5.6
Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5.41	6.55	11.28	127.30	5.7
Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.59	14.08	16.64	277.00	5.8



Γράφημα 5.6: Μοντέλο SARIMAX (Περίπτωση 1) οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στη Γαλλία



Γράφημα 5.7: Μοντέλο SARIMAX (Περίπτωση 2) οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στη Γαλλία



Γράφημα 5.8: Μοντέλο SARIMAX (Περίπτωση 3) οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στη Γαλλία

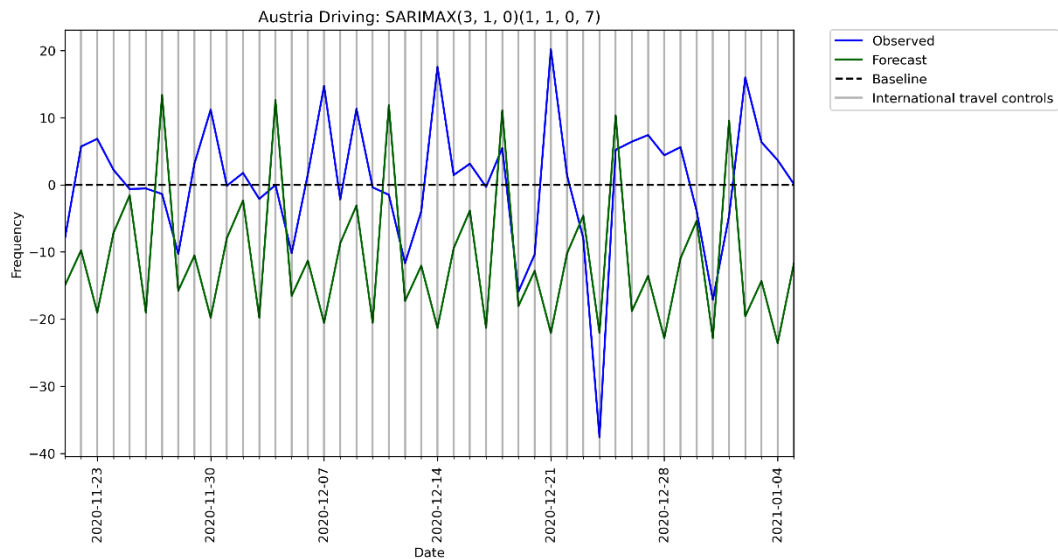
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εξετάζοντας όλα τα στατιστικά σημαντικά μοντέλα του Πίνακα 5.3, αποκλείστηκαν εκείνα με τα μη αποδεκτά σφάλματα. Τα **40 αποδεκτά μοντέλα SARIMAX** παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6, όπου αναγράφεται η χώρα κάθε μοντέλου, οι παράμετροι, η περίπτωση στην οποία εξασκήθηκε, επαληθεύτηκε και προβλέφθηκε, η ενδογενής μεταβλητή, η εξωγενής μεταβλητή, τα κριτήρια MAPE, MAE, RMSE, MSE και τέλος το Γράφημα στο οποίο αναπαρίστανται παρακάτω. Τα κριτήρια αφορούν την σύγκριση των παρατηρούμενων τιμών (Observed) με τις προβλέψεις (Forecast) για τις περιπτώσεις 1,2 και 3, ενώ στην περίπτωση 4 συγκρίθηκαν οι παρατηρούμενες τιμές και τα αποτελέσματα του συνόλου επαλήθευσης (Test).

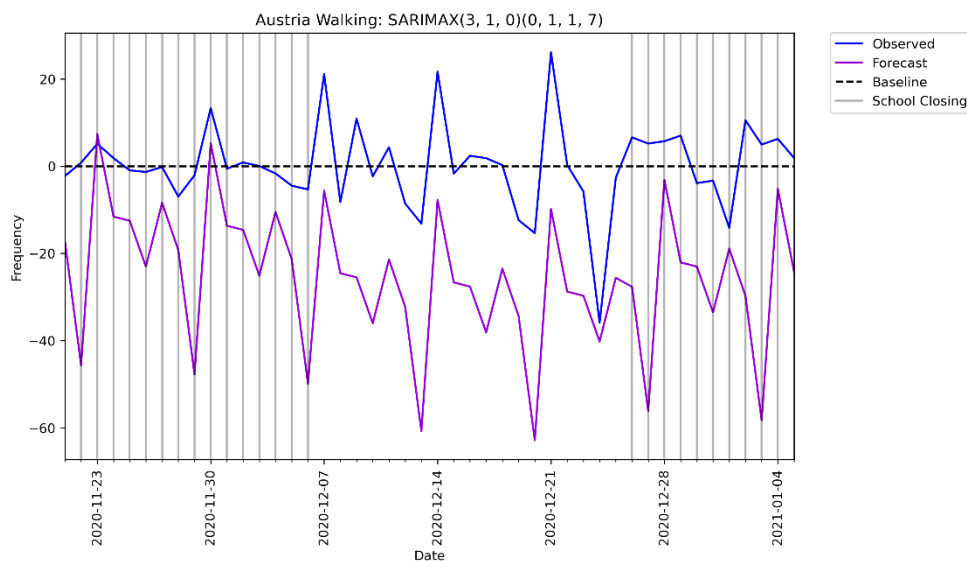
Πίνακας 5.6: Επισκόπηση αποδεκτών μοντέλων SARIMAX

A/A	Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE	Γράφημα
1	Αυστρία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.12	14.77	18.05	325.72	5.9
2	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.20	25.67	29.47	868.78	5.10
3	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	5.43	7.95	10.48	109.79	5.11
4	Βέλγιο	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	2.06	5.91	7.76	60.20	5.12
5	Βέλγιο	(0,1,1)(1,1,1,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.16	6.37	10.13	102.52	5.13
6	Κροατία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.78	27.95	38.75	1501.57	5.14
7	Τσεχία	(2,1,1)(1,1,0,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0.95	9.71	12.40	153.81	5.15
8	Τσεχία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.08	17.31	20.13	405.37	5.16
9	Τσεχία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.61	10.22	12.64	159.67	5.17
10	Δανία	(3,1,0)(1,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.25	13.81	15.62	243.93	5.18
11	Δανία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	5.12	15.50	21.00	440.83	5.19
12	Εσθονία	(1,1,2)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	425.08	19.05	24.65	607.55	5.20
13	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5.41	6.55	11.28	127.30	5.21
14	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3.48	7.88	11.77	138.52	5.22
15	Γερμανία	(3,1,0)(2,1,0,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.12	18.82	23.60	557.09	5.23
16	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.19	11.27	15.87	251.97	5.24
17	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5.83	7.99	11.71	137.06	5.25
18	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.03	9.17	11.55	133.51	5.26
19	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.72	6.57	9.05	81.95	5.27
20	Ουγγαρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2.72	12.22	16.03	257.05	5.28
21	Ιρλανδία	(3,1,0)(0,1,2,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	2.68	13.44	19.24	369.99	5.29
22	Ιταλία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2.82	23.48	27.27	743.50	5.30
23	Ιταλία	(0,1,2)(1,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	14.89	12.24	15.11	228.24	5.31
24	Ιταλία	(3,1,1)(2,1,0,7)	2	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	3.21	9.10	12.11	146.64	5.32
25	Ιταλία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0.98	48.90	52.88	2796.43	5.33
26	Λετονία	(3,1,0)(1,1,2,7)	1	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.41	25.03	29.17	851.02	5.34
27	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.00	4.59	6.85	46.98	5.35
28	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.06	4.49	6.64	44.03	5.36
29	Πολωνία	(3,1,1)(0,1,1,7)	1	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.51	30.24	34.00	1155.89	5.37
30	Πολωνία	(3,1,0)(2,1,0,7)	4	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.64	6.69	11.63	135.18	5.38
31	Πορτογαλία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3.97	15.21	18.66	348.76	5.39
32	Πορτογαλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.02	26.73	29.57	874.60	5.40
33	Ρουμανία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.39	5.15	8.34	69.52	5.41
34	Ρουμανία	(2,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.99	6.59	8.84	78.17	5.42
35	Σλοβακία	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.61	7.32	11.07	122.63	5.43
36	Σλοβακία	(1,1,2)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	4.24	14.34	18.84	355.20	5.44
37	Σλοβενία	(0,1,3)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	12.72	18.15	23.26	541.03	5.45
38	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	3.41	9.64	11.60	134.49	5.46
39	Ισπανία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.42	10.12	13.71	188.09	5.47
40	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.23	11.08	14.62	213.61	5.48

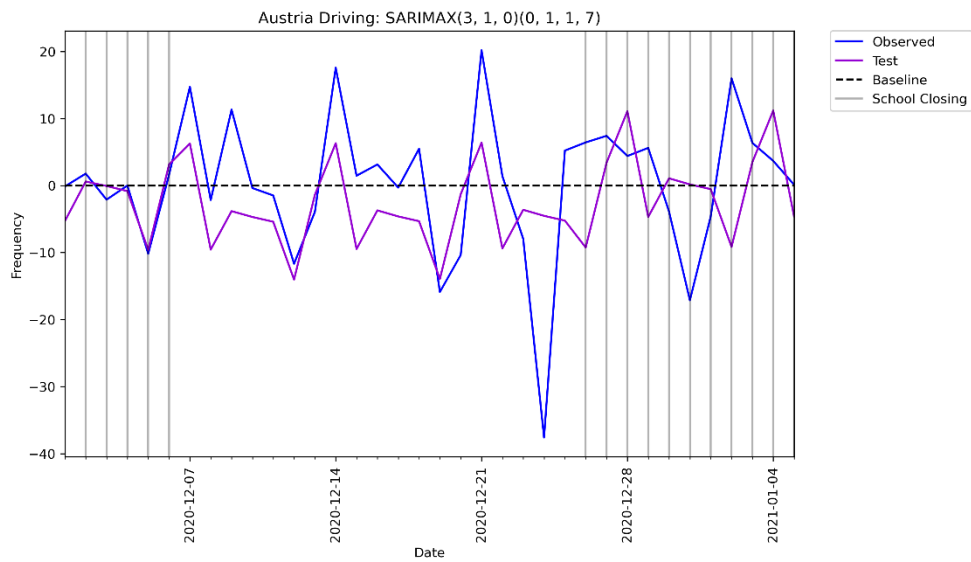
Στα ακόλουθα **γραφήματα** 5.9 έως 5.48, παρουσιάζονται οι παρατηρούμενες τιμές (Observed) μαζί με τις προβλέψεις (Forecast) στις περιπτώσεις 1, 2 και 3 ή μαζί με το σύνολο επαλήθευσης (Test) στην περίπτωση 4. Στον άξονα x σημειώνονται οι ημερομηνίες των διαθέσιμων δεδομένων (Date), ενώ στον άξονα y οι συχνότητες οδήγησης ή βαδίσματος (Frequency). Αναφέρονται, επίσης, η τιμή βάσης (Baseline) με μία μαύρη διακεκομμένη γραμμή στο 0% και οι ημερομηνίες επιβολής κάθε μέτρου (School closing / "Stay at home" policy / International travel controls) με γκρι συνεχείς κατακόρυφες γραμμές.



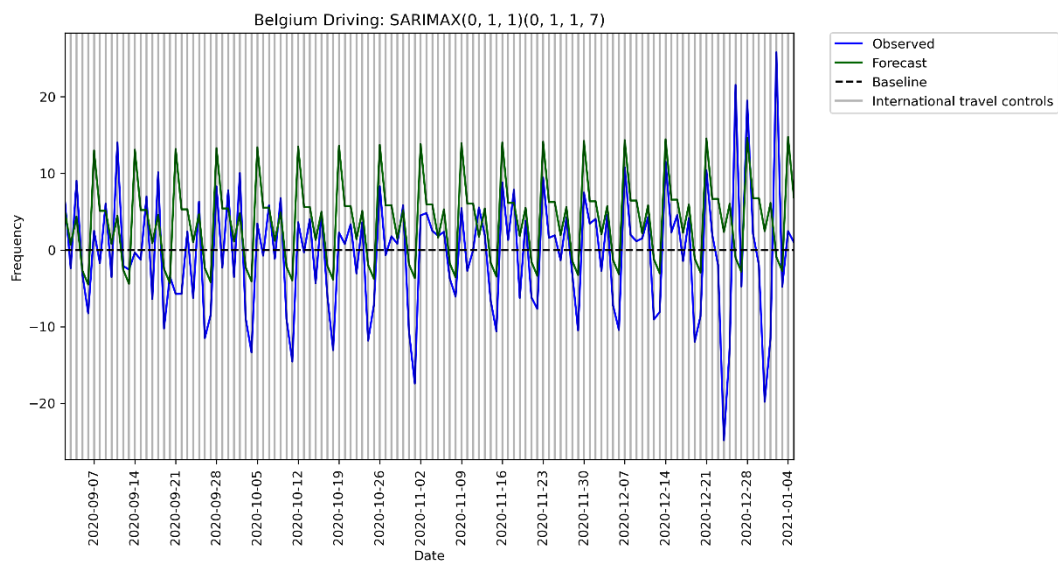
Γράφημα 5.9: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-ελέγχων σε διεθνή ταξίδια στην Αυστρία



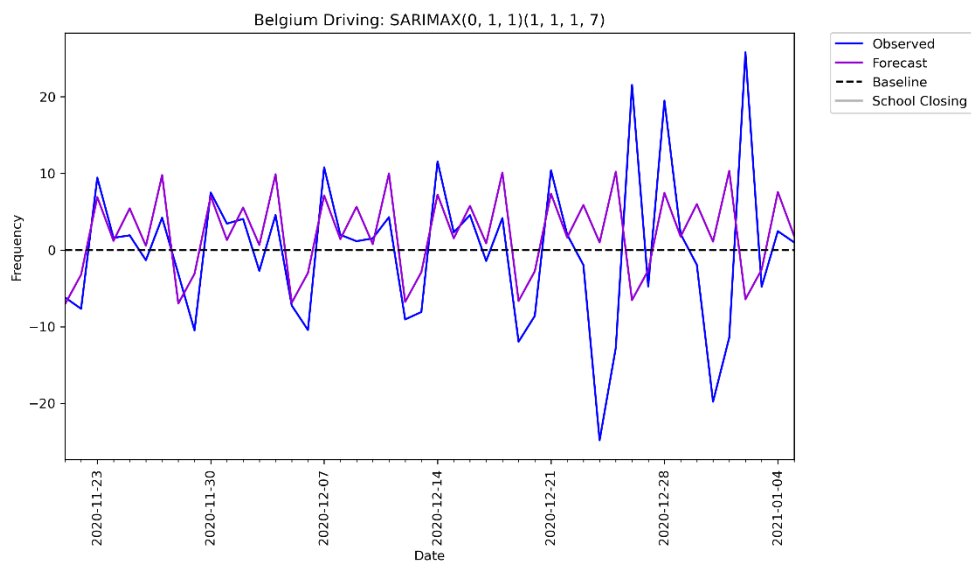
Γράφημα 5.10: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-κλεισίματος σχολείων στην Αυστρία



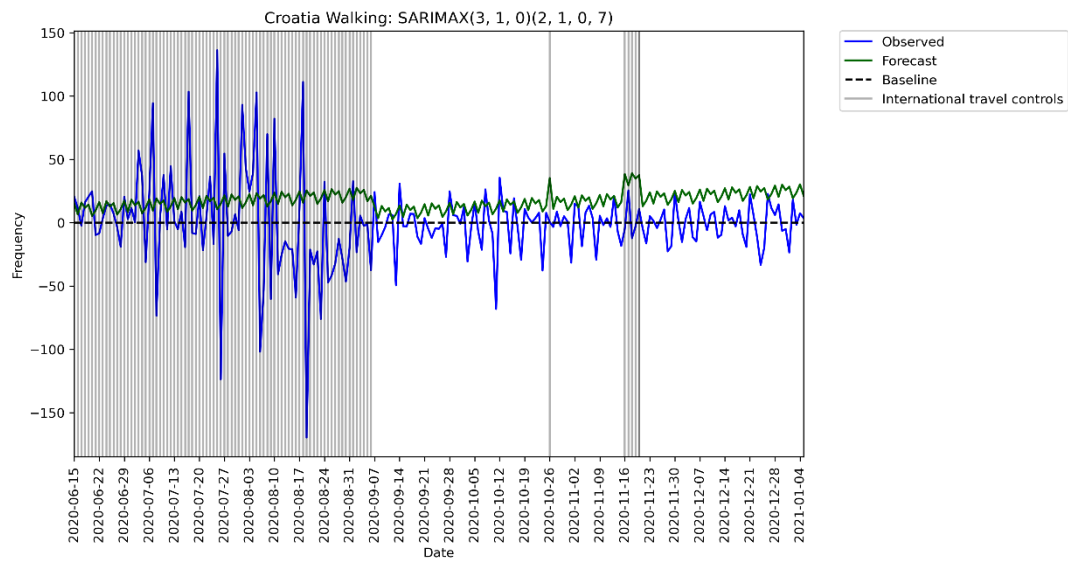
Γράφημα 5.11: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Αυστρία



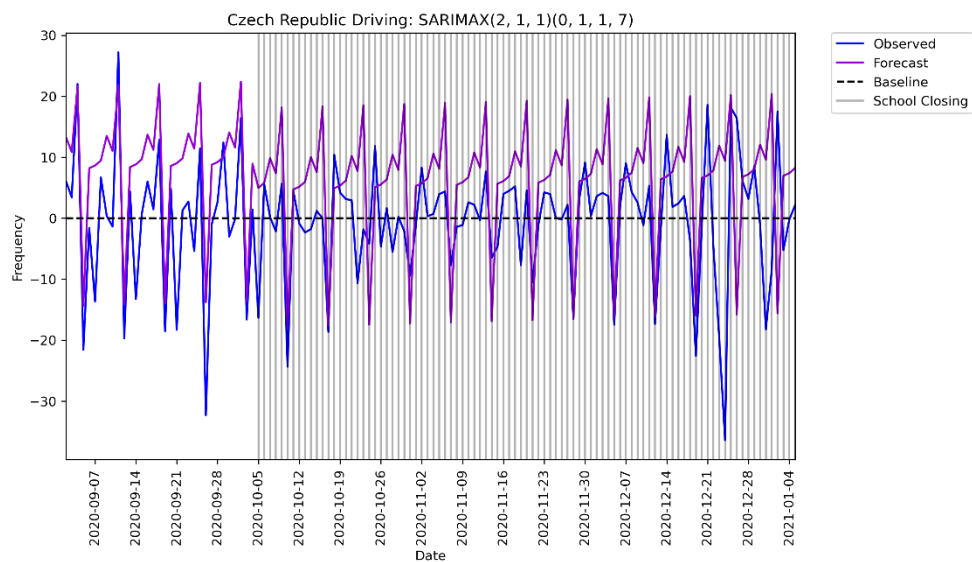
Γράφημα 5.12: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-ελέγχων σε διεθνή ταξίδια στο Βέλγιο



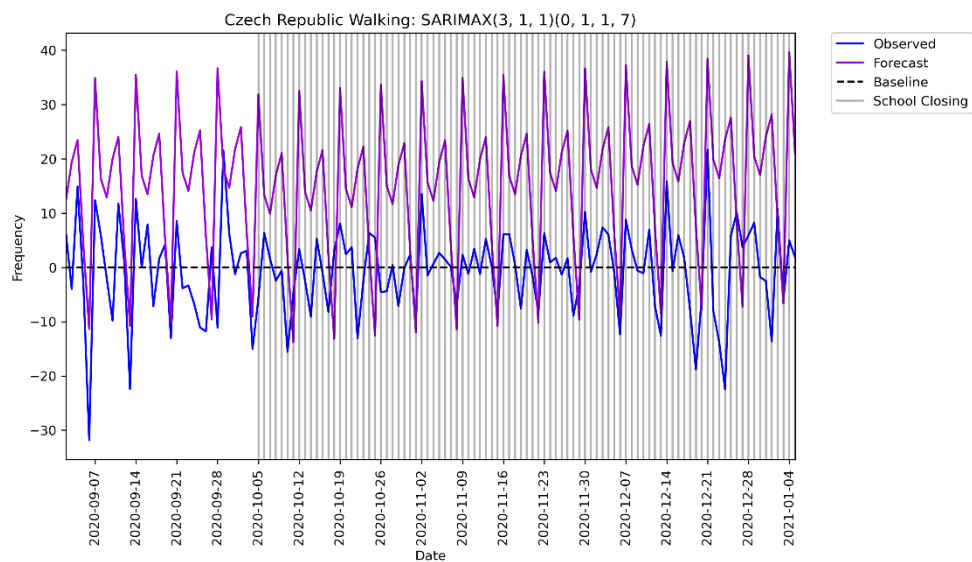
Γράφημα 5.13: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στο Βέλγιο



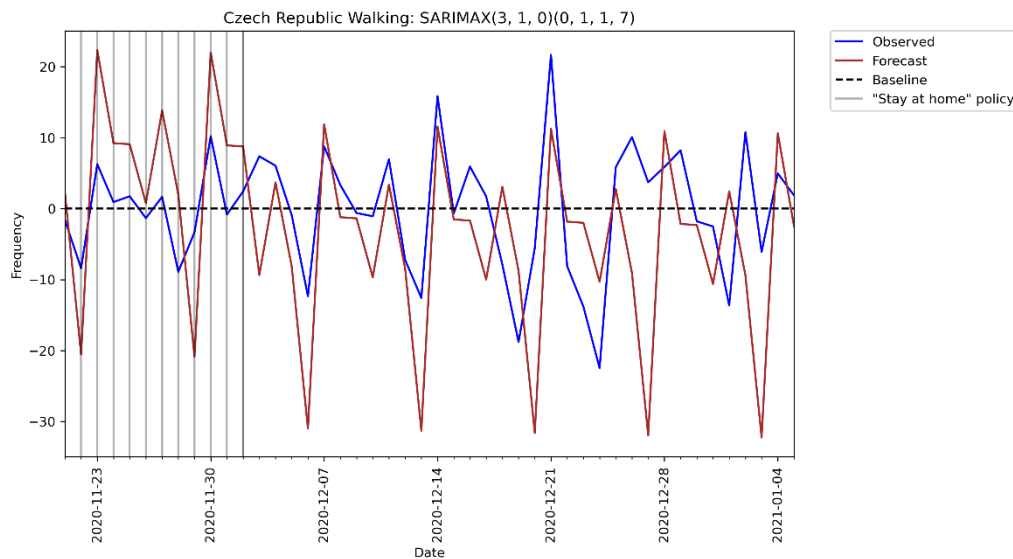
Γράφημα 5.14: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στην Κροατία



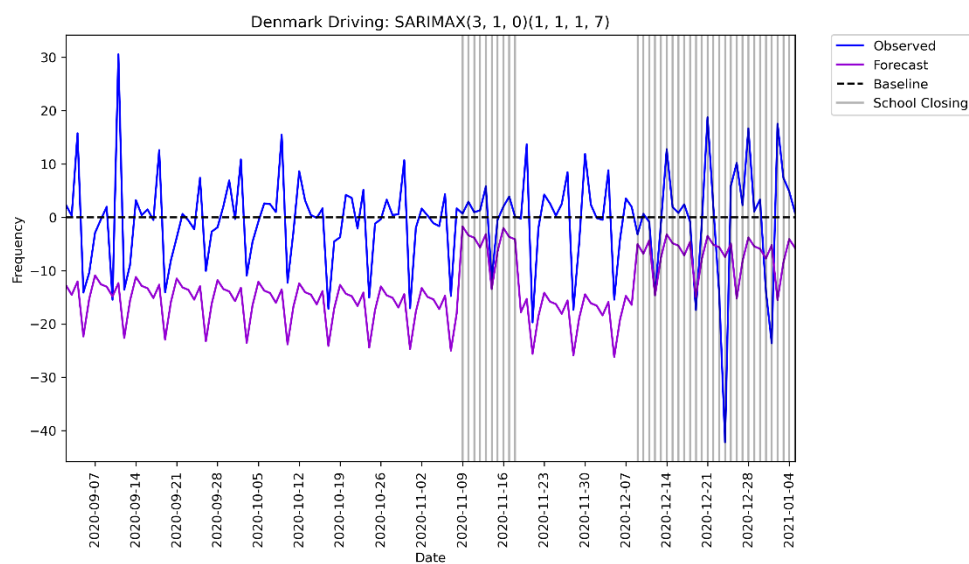
Γράφημα 5.15: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Τσεχία



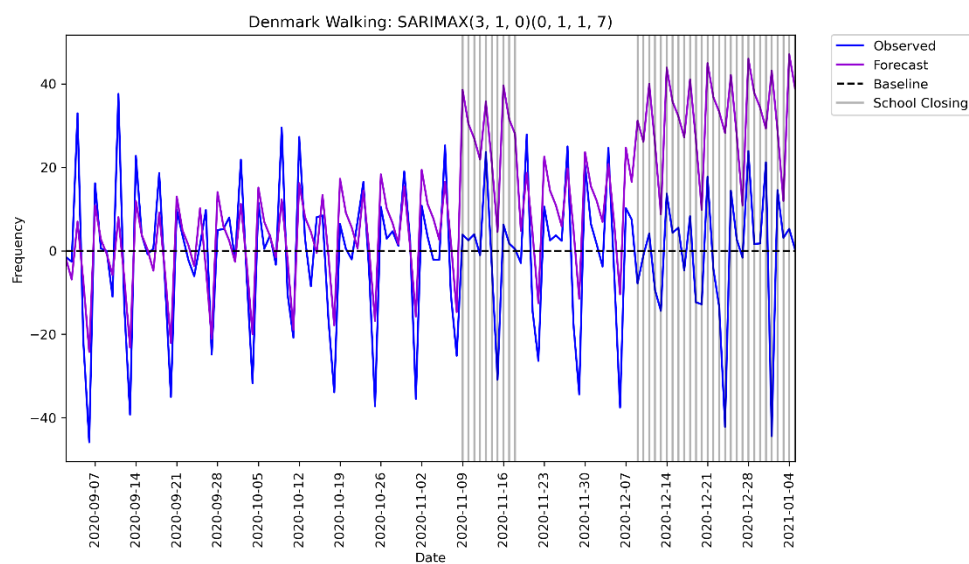
Γράφημα 5.16: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-κλεισίματος σχολείων στην Τσεχία



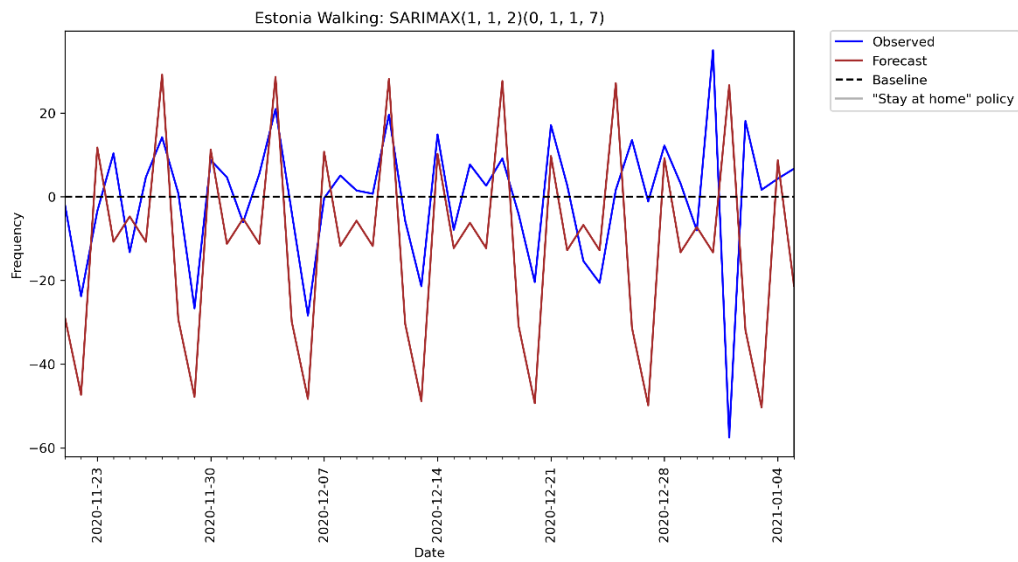
Γράφημα 5.17: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στην Τσεχία



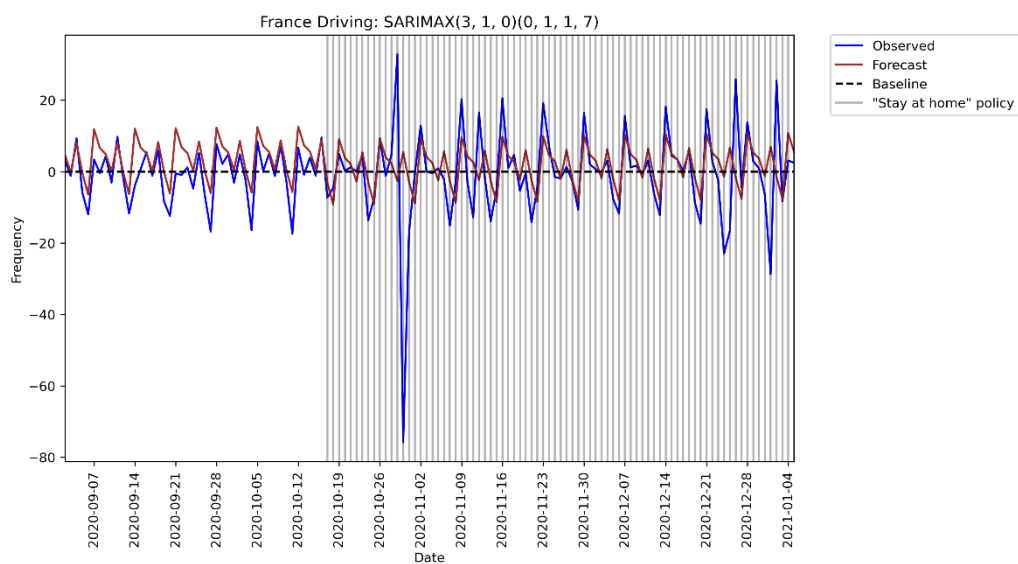
Γράφημα 5.18: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στη Δανία



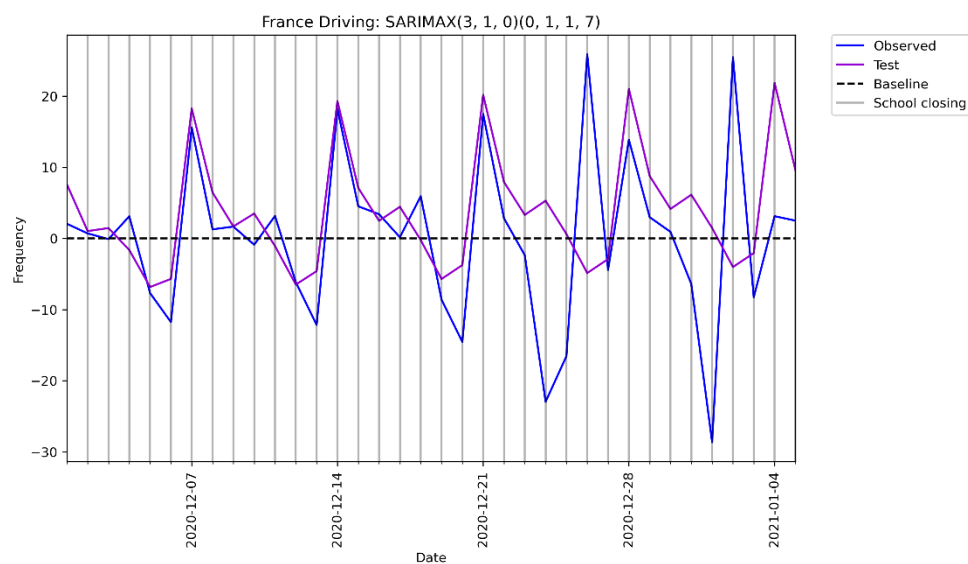
Γράφημα 5.19: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-κλεισίματος σχολείων στη Δανία



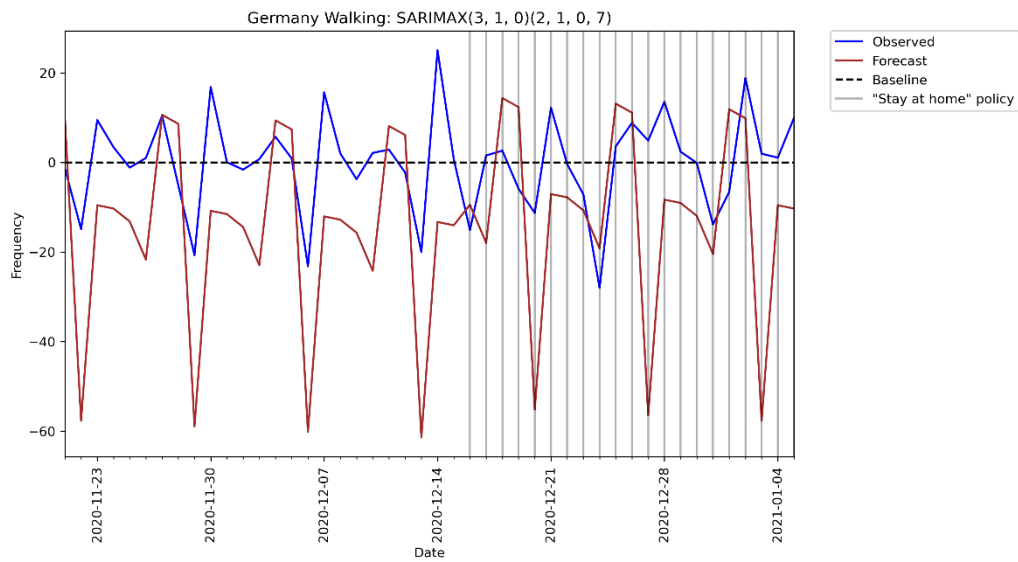
Γράφημα 5.20: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στην Εσθονία



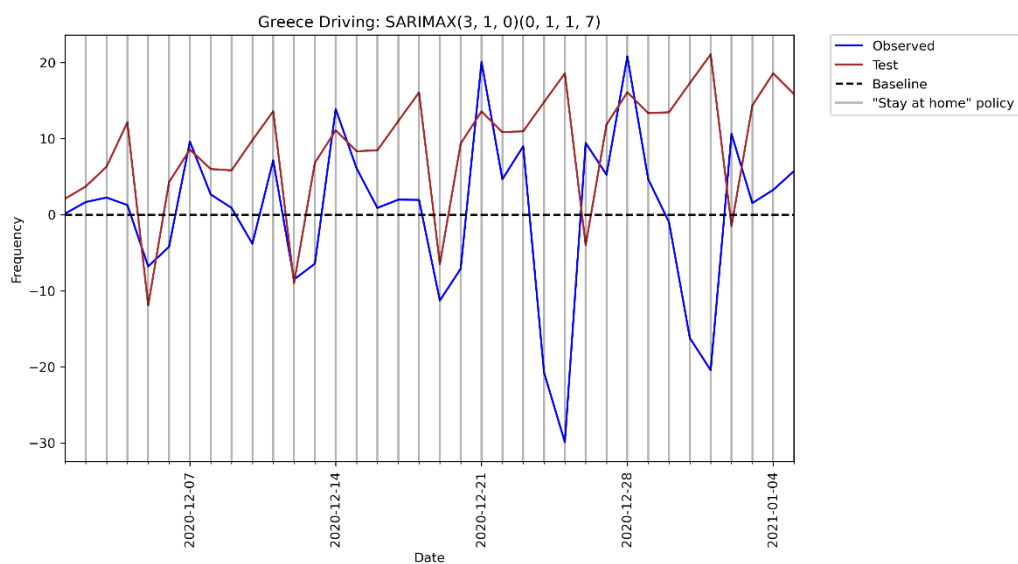
Γράφημα 5.21: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στη Γαλλία



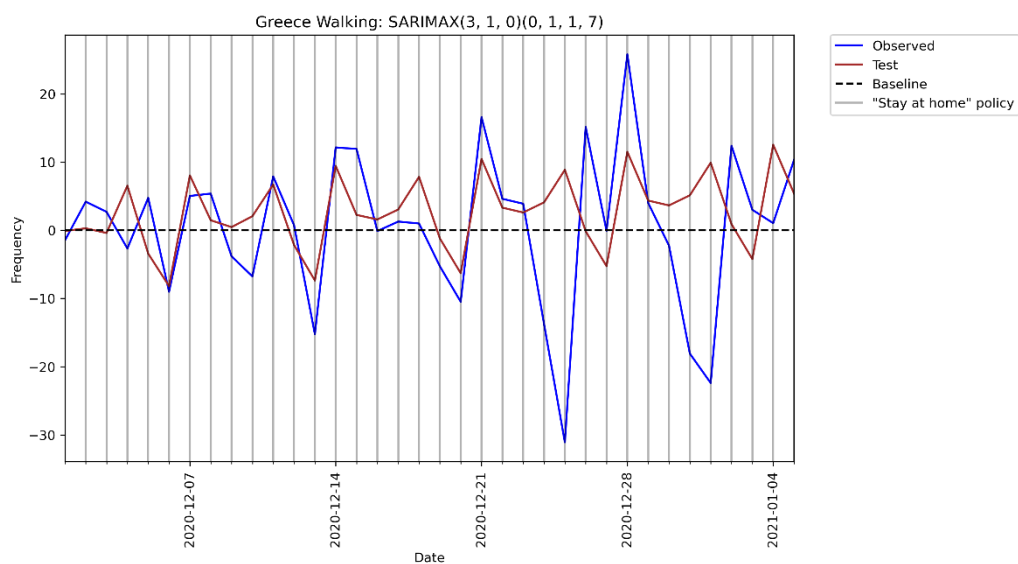
Γράφημα 5.22: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στη Γαλλία



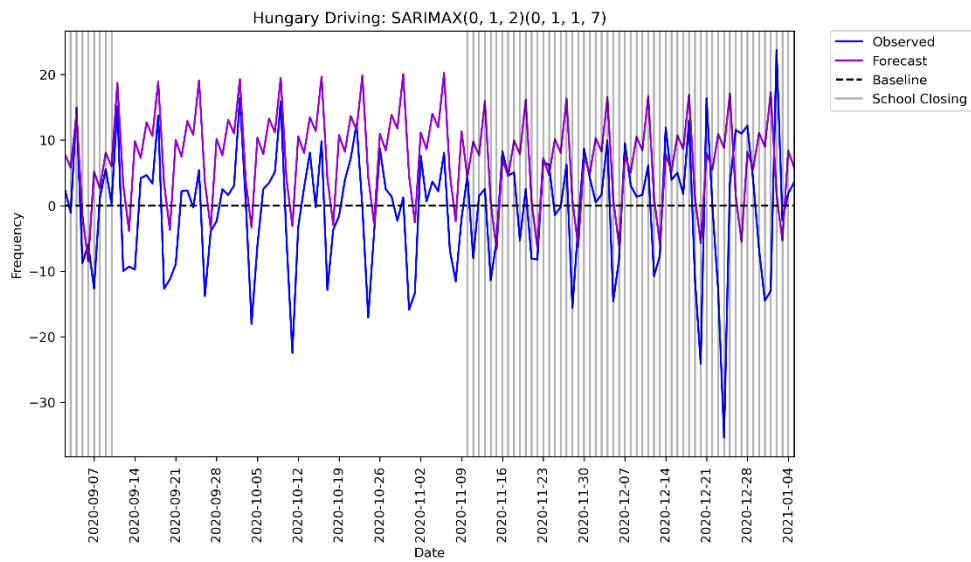
Γράφημα 5.23: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στη Γερμανία



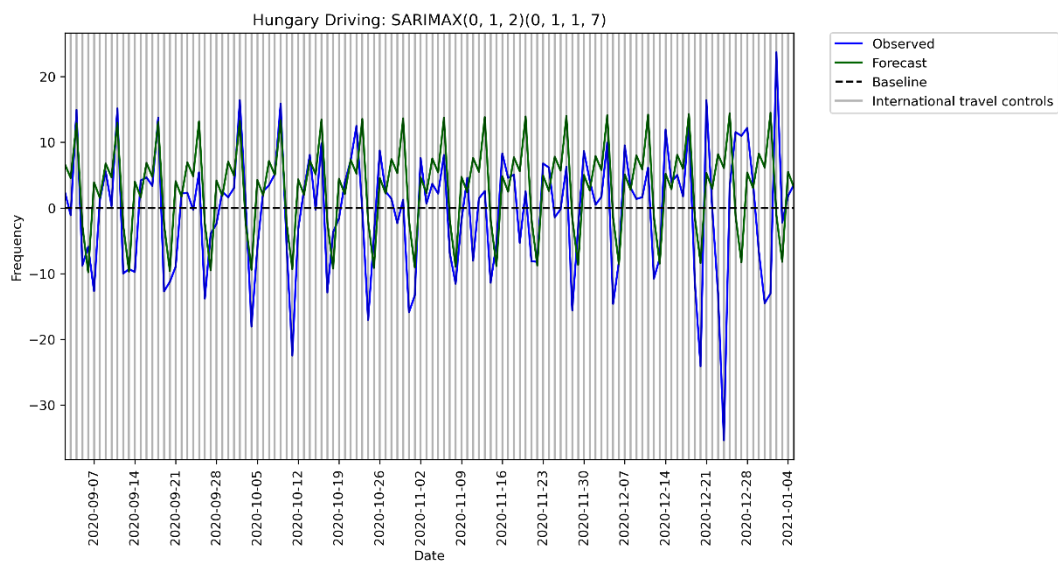
Γράφημα 5.24: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στην Ελλάδα



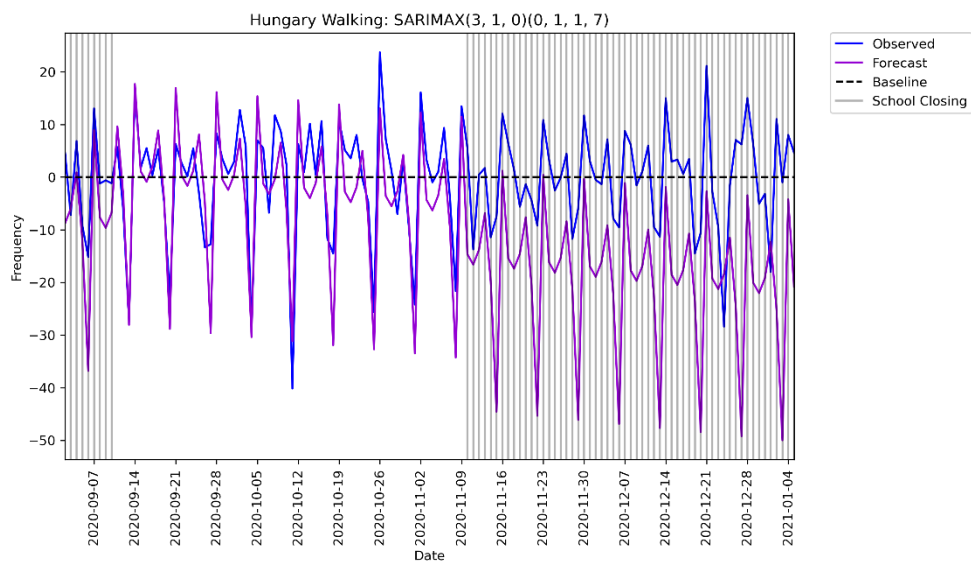
Γράφημα 5.25: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στην Ελλάδα



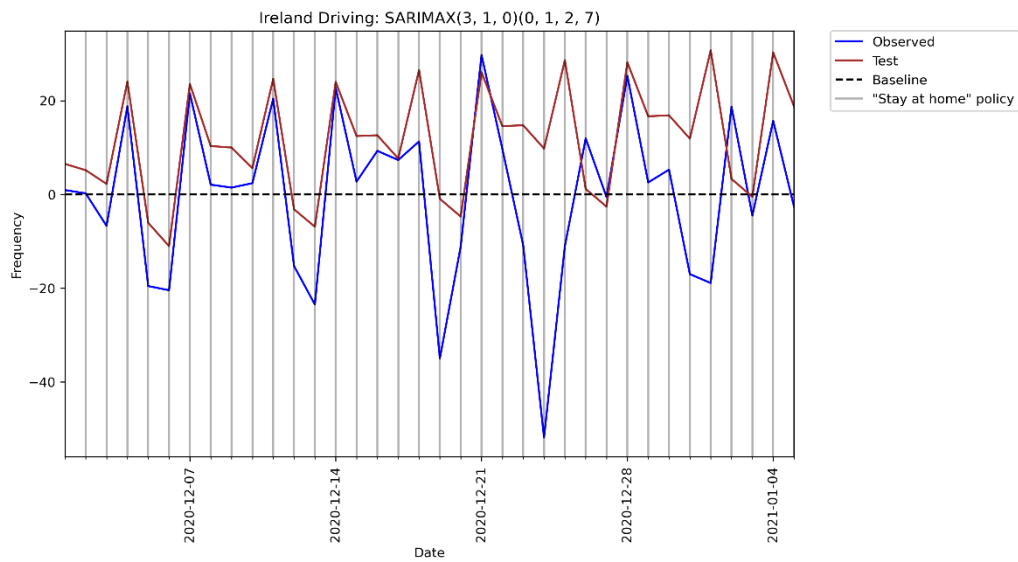
Γράφημα 5.26: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Ουγγαρία



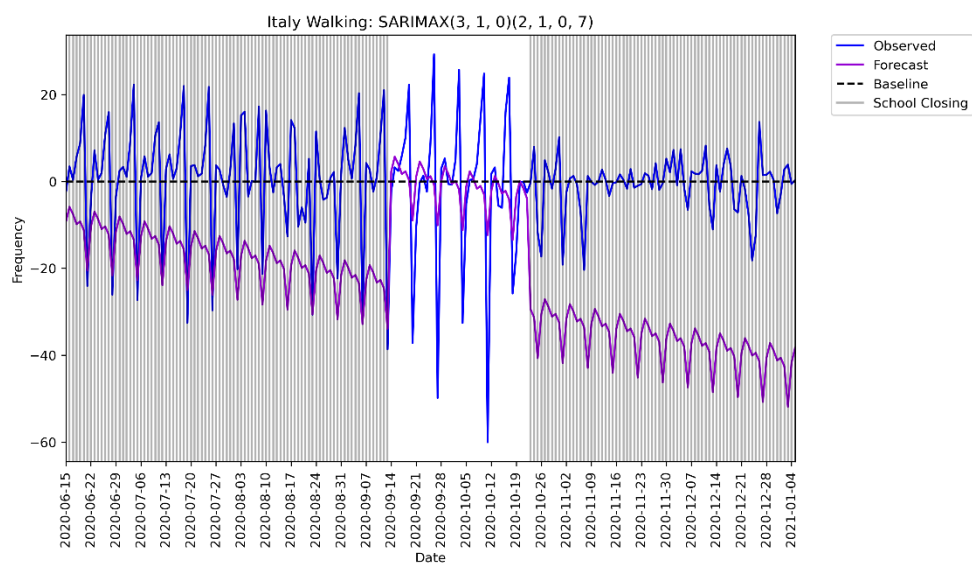
Γράφημα 5.27: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στην Ουγγαρία



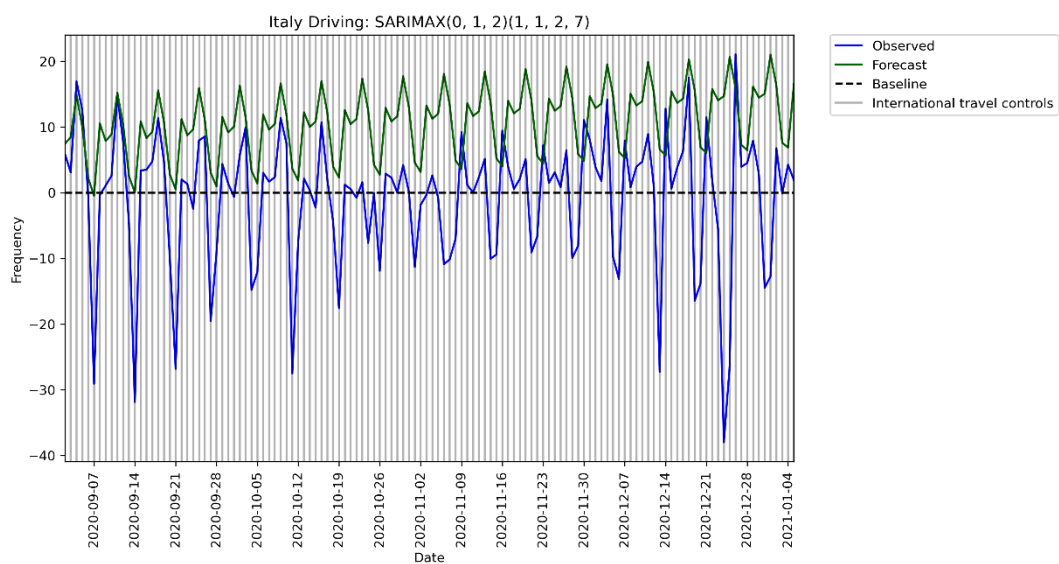
Γράφημα 5.28: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-κλεισίματος σχολείων στην Ουγγαρία



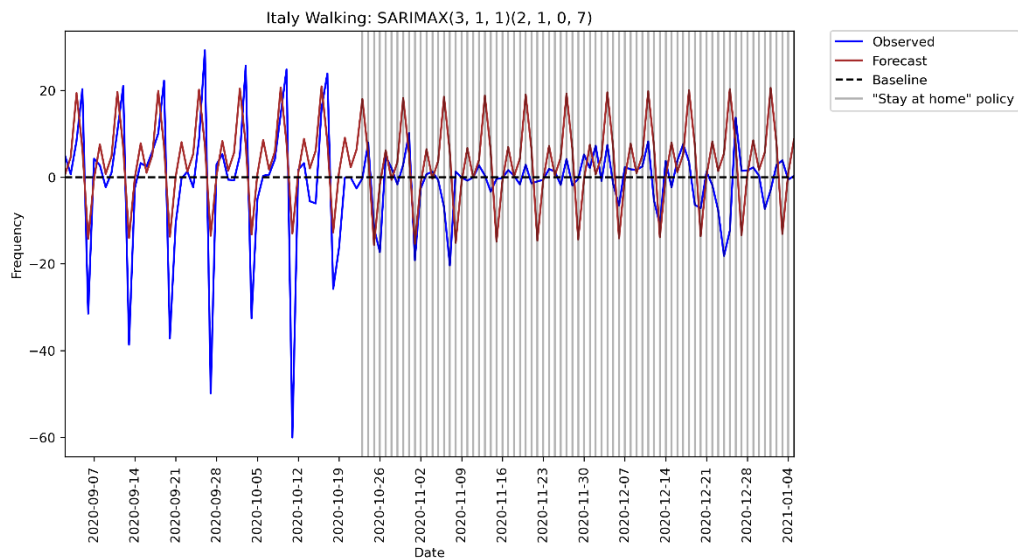
Γράφημα 5.29: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στην Ιρλανδία



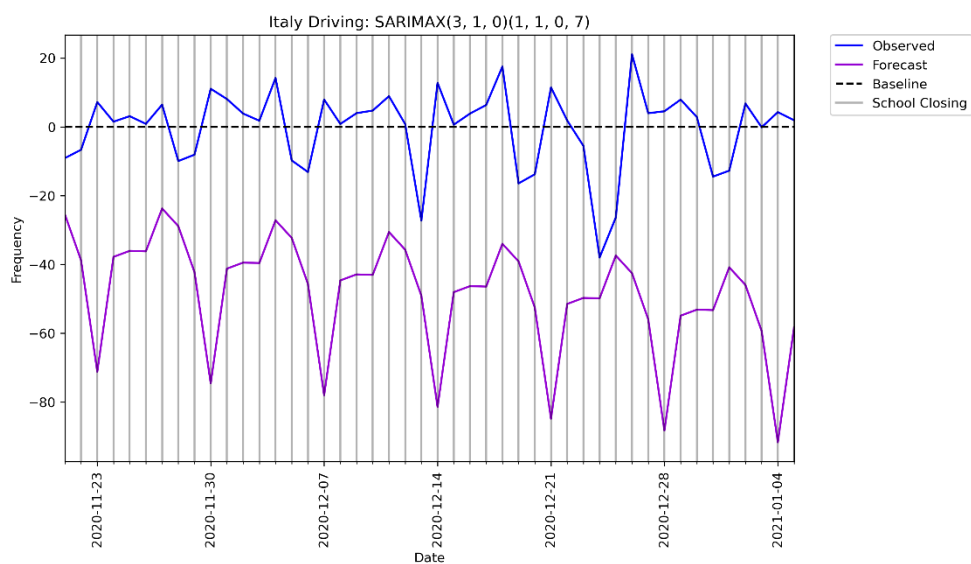
Γράφημα 5.30: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-κλεισίματος σχολείων στην Ιταλία



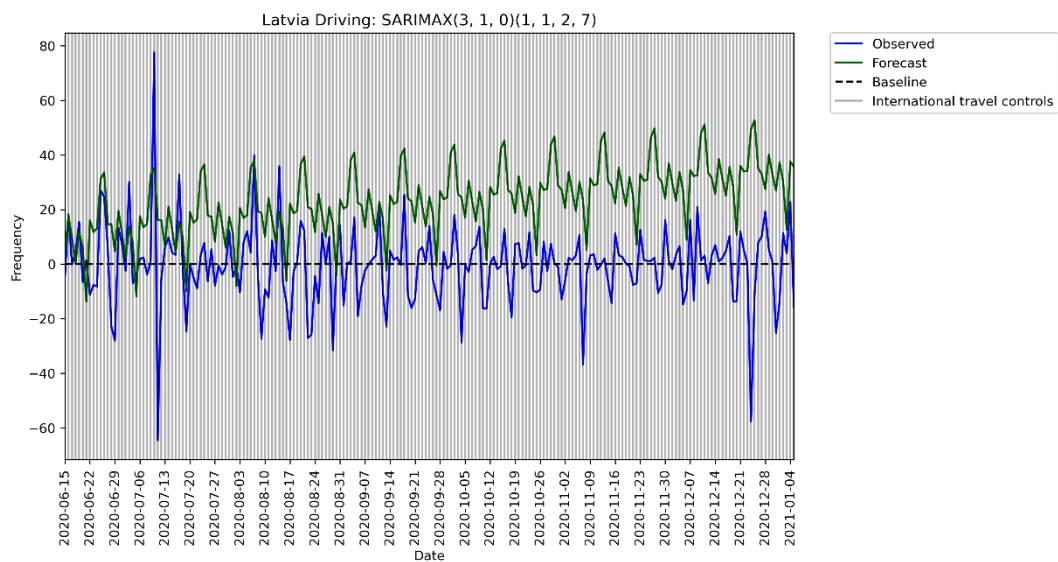
Γράφημα 5.31: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στην Ιταλία



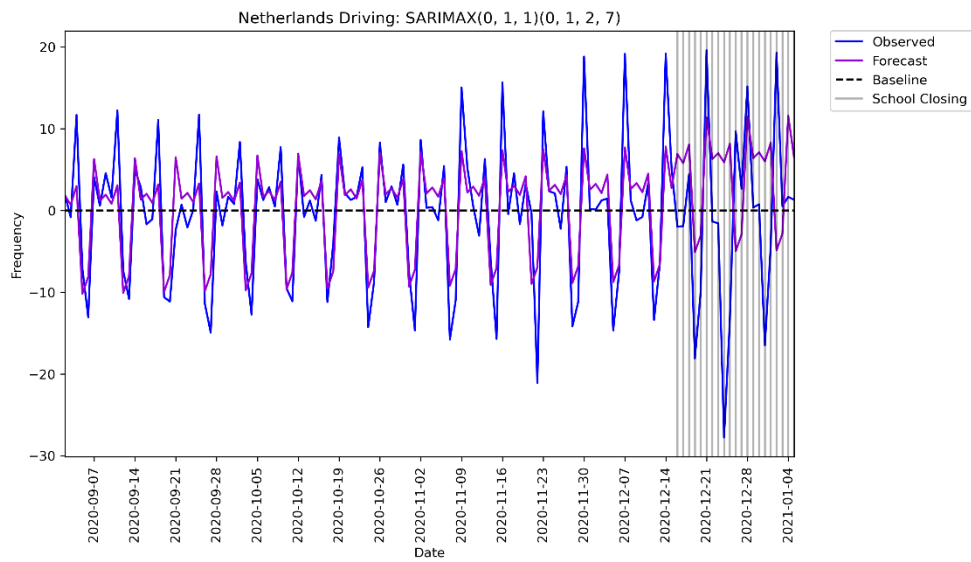
Γράφημα 5.32: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στην Ιταλία



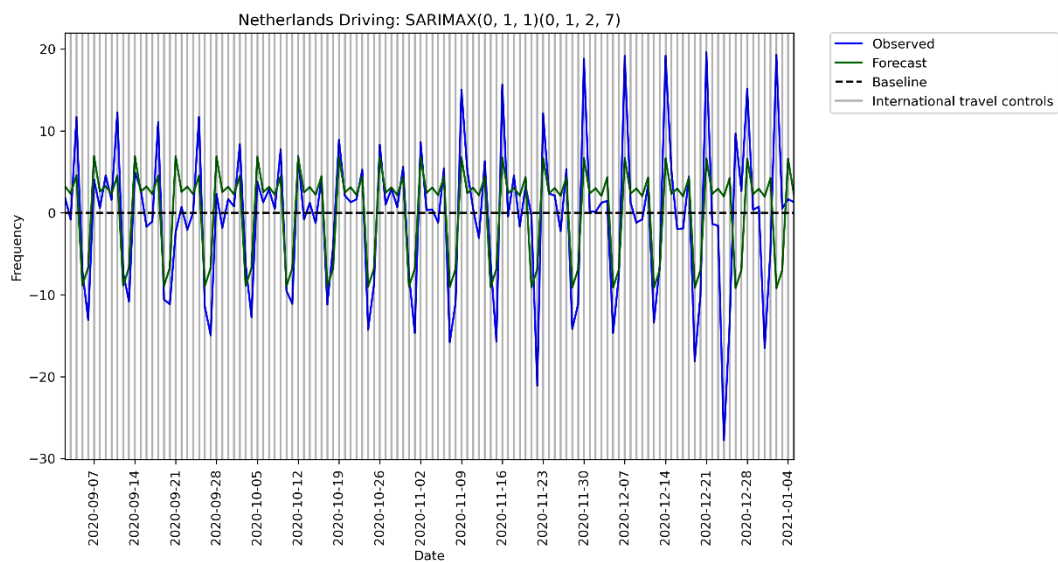
Γράφημα 5.33: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Ιταλία



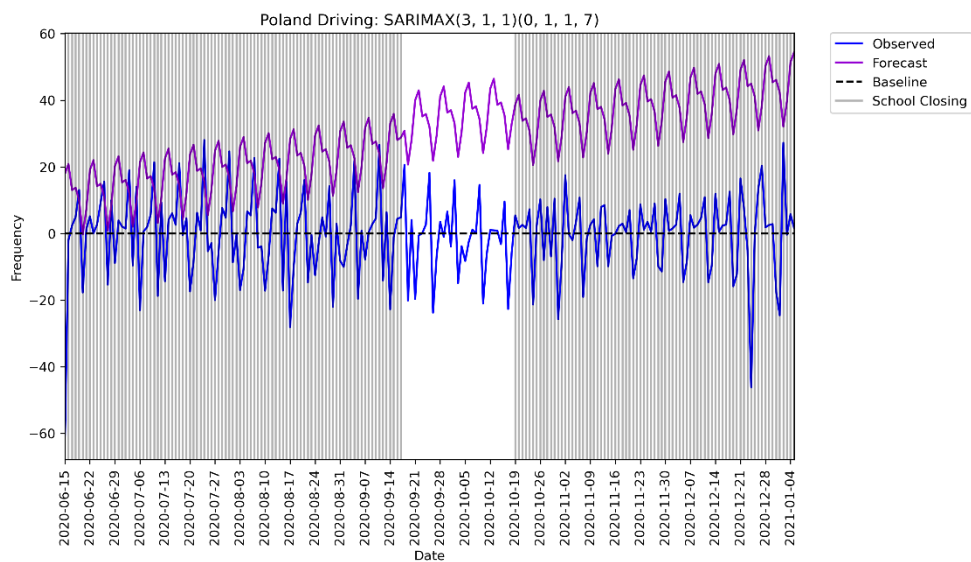
Γράφημα 5.34: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στη Λετονία



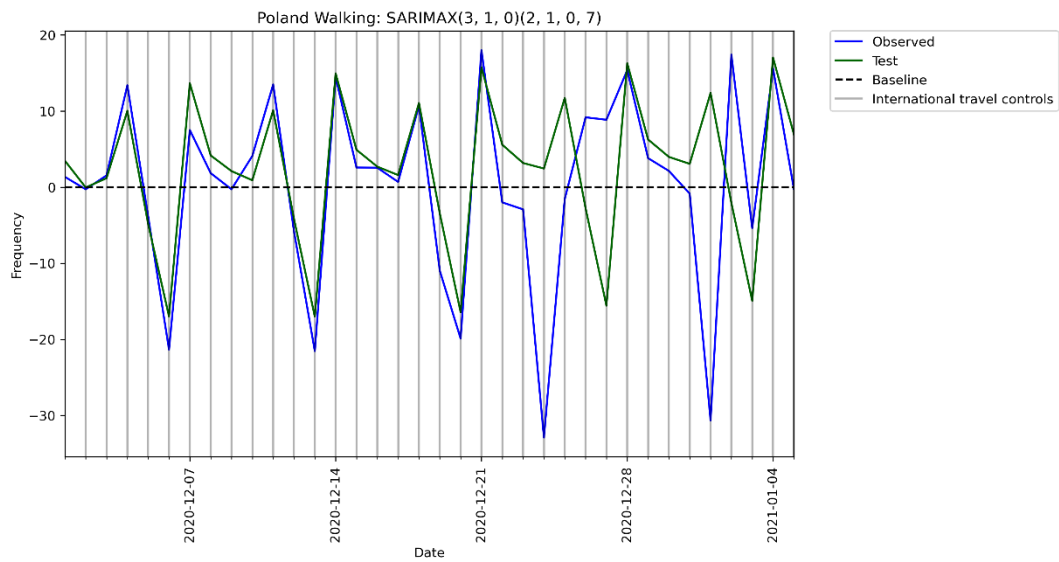
Γράφημα 5.35: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Ολλανδία



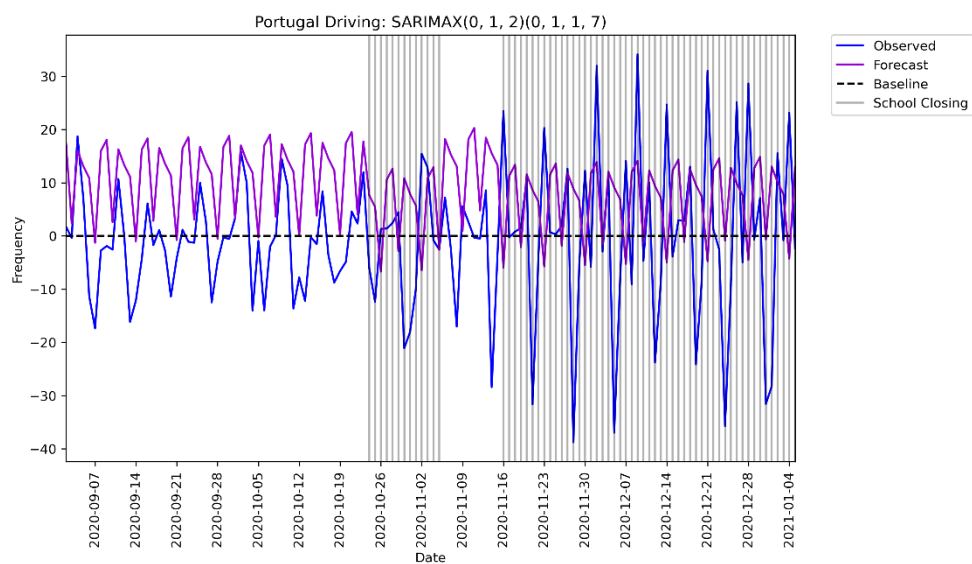
Γράφημα 5.36: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στην Ολλανδία



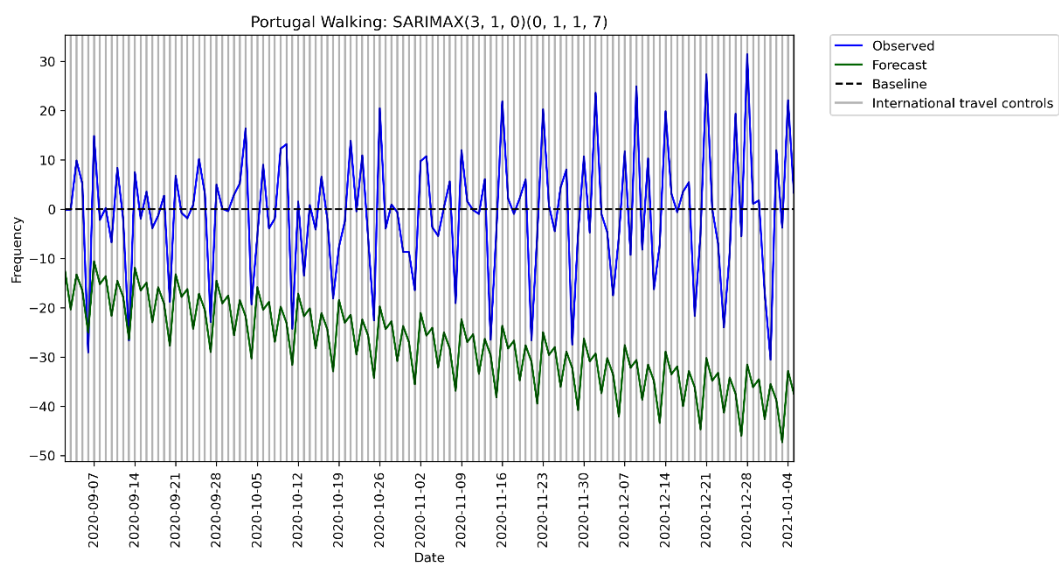
Γράφημα 5.37: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Πολωνία



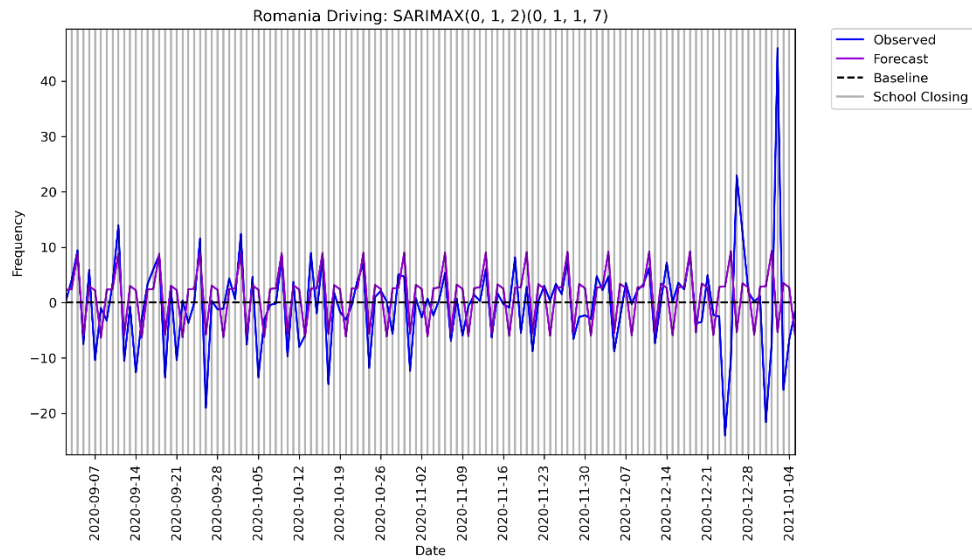
Γράφημα 5.38: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στην Πολωνία



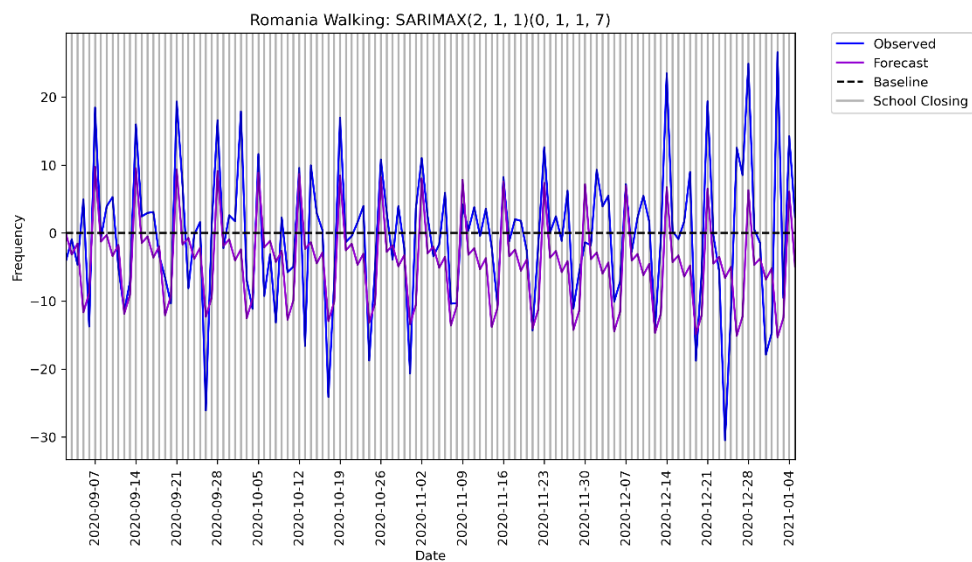
Γράφημα 5.39: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Πορτογαλία



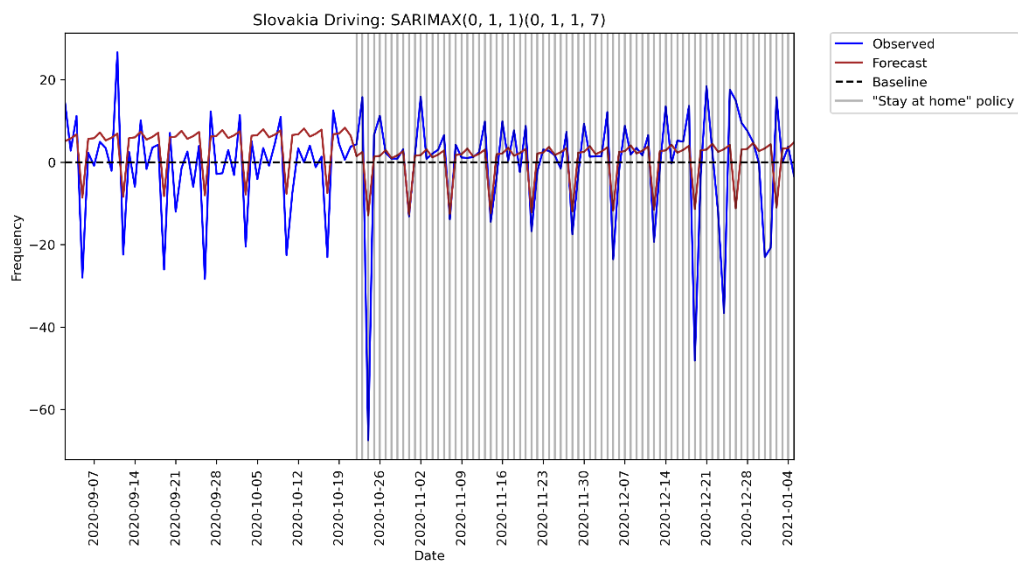
Γράφημα 5.40: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στην Πορτογαλία



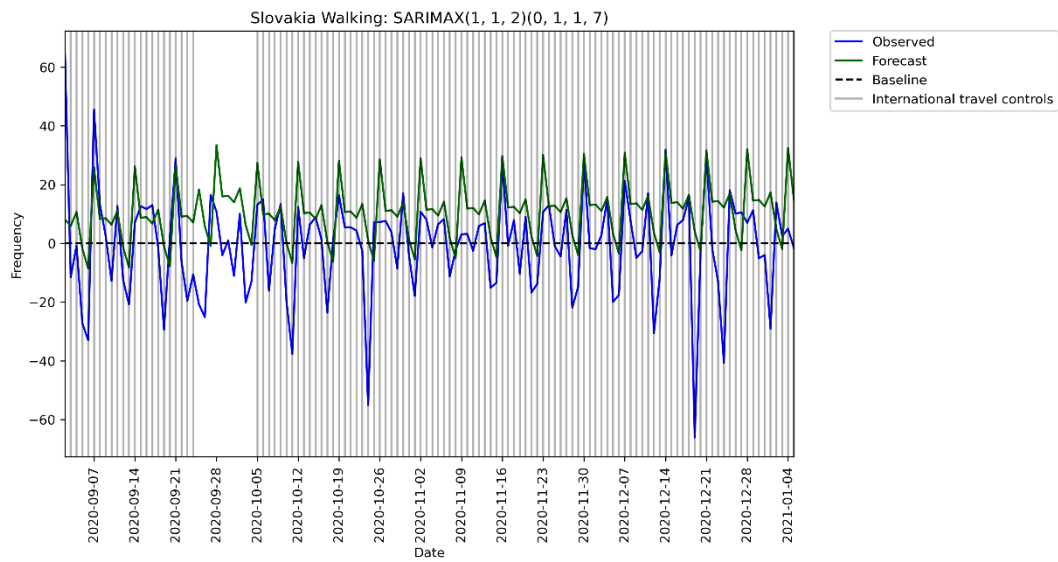
Γράφημα 5.41: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στη Ρουμανία



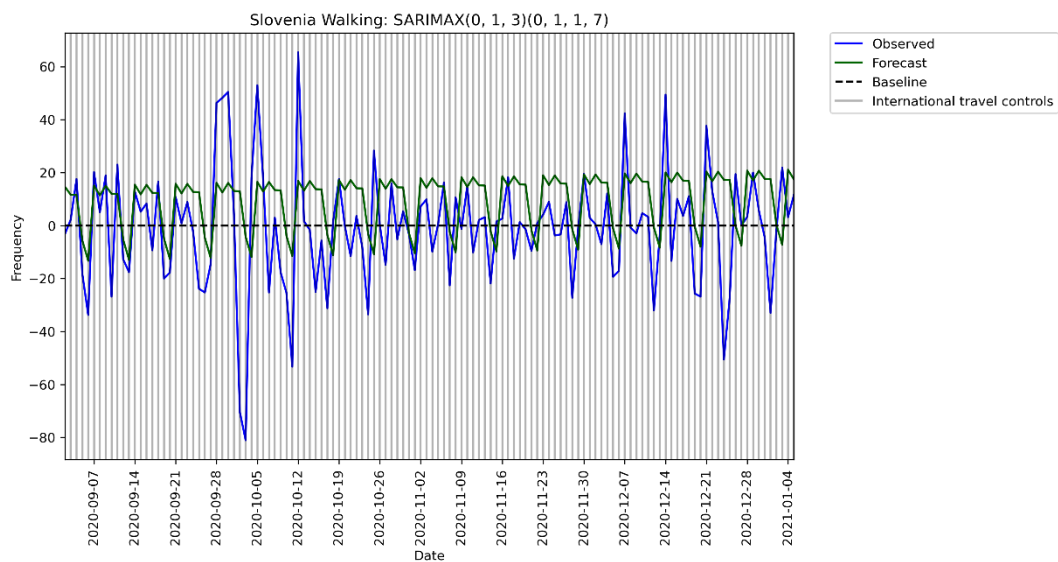
Γράφημα 5.42: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-κλεισίματος σχολείων στη Ρουμανία



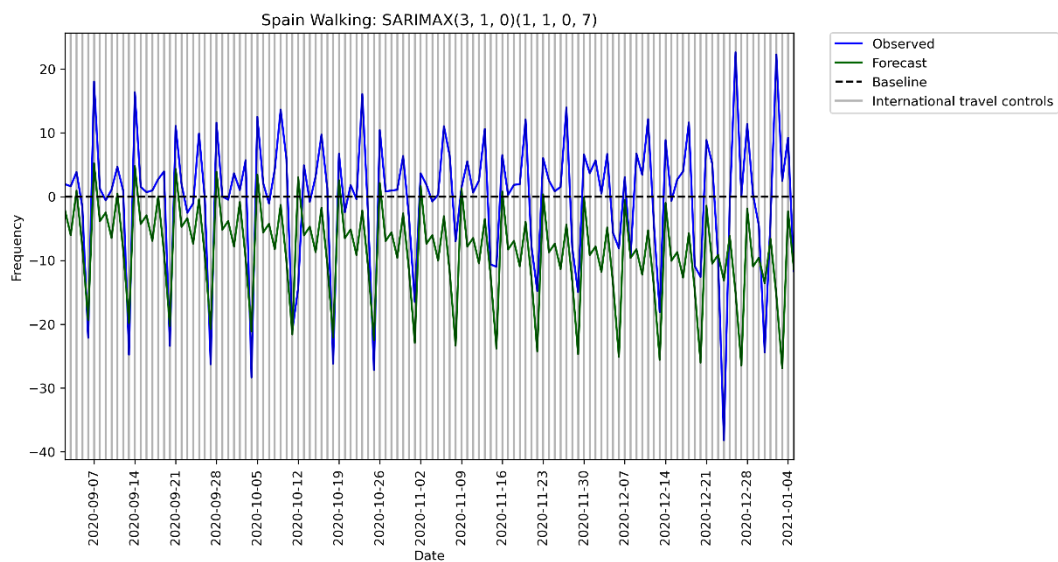
Γράφημα 5.43: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-υποχρεωτικής κατ' οίκον παραμονής στη Σλοβακία



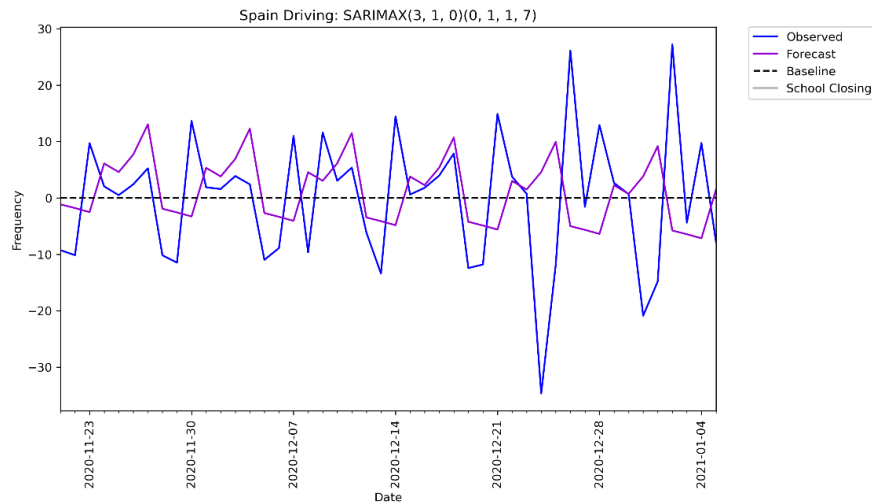
Γράφημα 5.44: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στη Σλοβακία



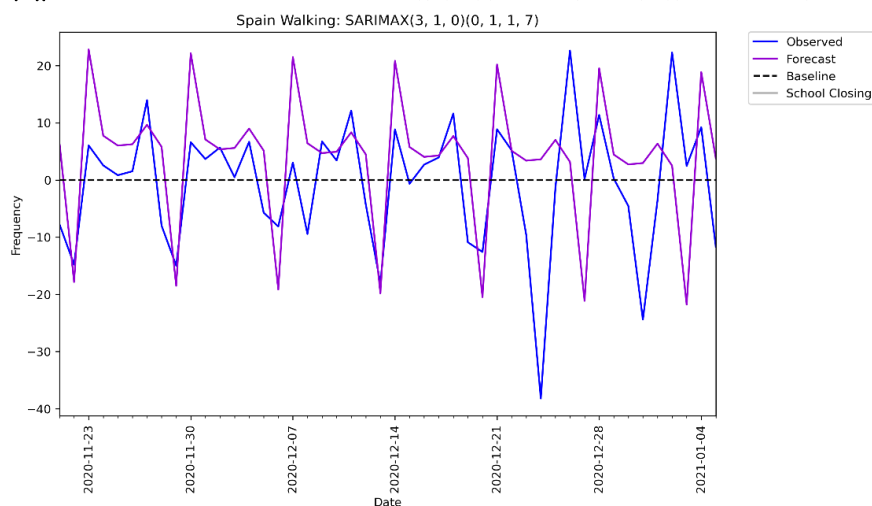
Γράφημα 5.45: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στη Σλοβενία



Γράφημα 5.46: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-ελέγχων στα διεθνή ταξίδια στην Ισπανία



Γράφημα 5.47: Μοντέλο SARIMAX οδήγησης-κλεισίματος σχολείων στην Ισπανία



Γράφημα 5.48: Μοντέλο SARIMAX βαδίσματος-κλεισίματος σχολείων στην Ισπανία

5.4 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ακολουθώντας τη διαδικασία ανεύρεσης βέλτιστων μοντέλων για την κινητικότητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε αντιστοιχία με τα περιοριστικά μέτρα, εντοπίστηκαν **40 στατιστικά σημαντικά μοντέλα με μικρά σφάλματα**. Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ των ενδογενών μεταβλητών. Συγκεκριμένα, 18 μοντέλα αφορούν το βάδισμα και 22 την οδήγηση.

Αναφορικά με τις εξωγενείς μεταβλητές, δεν έδωσαν όλα τα μέτρα τον ίδιο αριθμό μοντέλων. Το κλείσιμο των σχολείων συνδέεται με 20 μοντέλα, οι έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια με 12 και η υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή μόνο με 8. Ως εκ τούτου, συμπεραίνεται ότι η **υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή** δεν αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη των μετακινήσεων. Κατά τους πρώτους μήνες μετά την εμφάνιση του ιού στην Ευρώπη, υπάρχει εμφανής μείωση της κινητικότητας, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφική ανασκόπηση (Bucksy, 2020; Aloï et al., 2020), αλλά σταδιακά οι πολίτες προσαρμόστηκαν στις νέες συνθήκες και δεν ανέβαλαν πλέον απαραίτητες εξωτερικές δραστηριότητες.

Αντίθετα, το κλείσιμο των σχολείων και των λοιπών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων αντιστοιχεί στην πλειονότητα των μοντέλων και των χωρών. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι συνήθως εφαρμόζεται ως πρώτο μέτρο σε περιόδους έξαρσης της νόσου (Hale et al., 2020). Σηματοδοτεί με αυτό τον τρόπο την αρχή μίας περιόδου υψηλής μεταδοτικότητας και εγείρει τα αντανεκλαστικά των ατόμων. Επιπλέον, η παύση των εκπαιδευτικών διαδικασιών επηρεάζει σημαντικά την κινητικότητα του μαθητή και κατ' επέκταση της οικογένειας.

Οι έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια εφαρμόστηκαν σε όλες τις χώρες, αλλά φάνηκαν καθοριστικά κυρίως στις χώρες που δεν επέβαλαν περαιτέρω μέτρα. Για παράδειγμα, η Σλοβενία και η Λετονία ήταν δύο χώρες που δεν ακολούθησαν την πολιτική «Μένουμε σπίτι» και οι απαγορεύσεις σε ταξίδια του εξωτερικού καθόρισαν τη μείωση της κυκλοφορίας.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ορισμένες χώρες δεν παρουσίασαν **καθόλου αποτελέσματα**. Παρά την επιβολή περιοριστικών μέτρων κυκλοφορίας, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικά μοντέλα για τη Βουλγαρία και το Λουξεμβούργο. Η πιθανή εξήγηση για τη Βουλγαρία είναι ο χαμηλός αριθμός των κρουσμάτων μέχρι τις αρχές Οκτώβρη (Our World in Data, 2021). Όσο ο ιός δεν έπληττε την κοινότητα, δεν περιορίστηκαν σημαντικά οι μετακινήσεις παρά τις απαγορεύσεις κυκλοφορίας. Παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στην Ελλάδα, όπου η κινητικότητα και τα περιοριστικά μέτρα του πρώτου «κύματος» δεν ήταν ικανά να προβλέψουν την κινητικότητα του δεύτερου, με τον πολύ μεγαλύτερο αριθμό κρουσμάτων και θανάτων (Our World in Data, 2021). Στατιστικά σημαντικά μοντέλα βρέθηκαν μόνο όταν ως σύνολο εξάσκησης τέθηκε το 90% των δεδομένων (Περίπτωση 4), δηλαδή όταν ενσωματώθηκαν τα νέα μέτρα του φθινοπώρου λόγω της αυξημένης μεταδοτικότητας. Τα ευρήματα αυτά συνάδουν με την έρευνα των Truong και Truong (2021), η οποία απέδειξε ότι η συμπεριφορά μετακίνησης συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την αντίληψη της επικινδυνότητας της νόσου.

Όσον αφορά στο Λουξεμβούργο, ο μικρός πληθυσμός αποτελεί ίσως την αιτία μη εύρεσης μοντέλων κινητικότητας. Παράλληλα, η διαφορετική στρατηγική των ασθενών περιοριστικών μέτρων (π.χ. μη υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, σύσταση περιορισμού των δραστηριοτήτων κλπ.) στη Φιλανδία, τη Λιθουανία (μέχρι αρχές Δεκεμβρίου) και τη Σουηδία είχαν ως αποτέλεσμα **να μη βρεθούν στατιστικά σημαντικά μοντέλα** με τα διαθέσιμα δεδομένα.

Τα **περισσότερα μοντέλα** βρέθηκαν για την Αυστρία, την Τσεχία, την Ουγγαρία, την Ιταλία και την Ισπανία, πιθανά λόγω της αυστηρότητας των μέτρων και της αντίληψης των πολιτών για την επικινδυνότητα της νόσου. Η Ιταλία και η Ισπανία, ειδικότερα, επλήγησαν περισσότερο από την πανδημία, ειδικά στο πρώτο «κύμα», όπως δείχνουν οι αριθμοί επιβεβαιωμένων κρουσμάτων και θανάτων (Our World in Data, 2021), ενώ είχαν τη μεγαλύτερη μείωση κινητικότητας (Google LLC, 2021). Επιπλέον, η Ιταλία ήταν η πρώτη χώρα που επέβαλλε υποχρεωτικούς περιορισμούς στην Ευρώπη, τους αυστηρότερους σύμφωνα με το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης (Hale et al., 2020) και η πρώτη που εμφάνισε απότομη μείωση δραστηριοτήτων, όπως αναφέρεται στις έρευνες των Beria et al. (2021) και Santamaria et al. (2020).

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει **στόχο τη διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού 2019 στη συμπεριφορά μετακινήσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση**. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν μοντέλα χρονοσειρών για την περιγραφή και την πρόβλεψη της κινητικότητας σε εικοσιπέντε κράτη-μέλη κατά το πρώτο έτος της πανδημίας.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν, αντλήθηκαν από τη διαδικτυακή αναφορά τάσεων κινητικότητας της εταιρείας Apple (www.covid19.apple.com/mobility) και αφορούν στα ημερήσια αιτήματα για **διαδρομές οδήγησης και βαδίσματος**. Τα στοιχεία αυτά εκφράζονται ως ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών βάσης της κυκλοφορίας (13 Ιανουαρίου 2020) και αναπαριστούν τις ενδογενείς μεταβλητές των μοντέλων. Ταυτόχρονα, αντλήθηκαν από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης δεδομένα για τα **περιοριστικά μέτρα κυκλοφορίας** και την αναστολή δραστηριοτήτων, τα οποία μετά την κατάλληλη επεξεργασία τους λήφθηκαν υπόψη στη στατιστική ανάλυση ως ποσοτικοποιημένες εξωγενείς μεταβλητές.

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο, αναπτύχθηκαν **μοντέλα χρονοσειρών SARIMAX** για την οδήγηση και το βάδισμα σε όλες τις χώρες σε αντιστοιχία με τα περιοριστικά μέτρα. Τα μοντέλα εξετάστηκαν σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις, ώστε να εντοπιστούν οι βέλτιστες παράμετροι για την περιγραφή της κινητικότητας σε κάθε χώρα. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα βέλτιστα μοντέλα της ανάλυσης χρονοσειρών με αναφορά στη χώρα μελέτης, την ενδογενή και την εξωγενή μεταβλητή.

Πίνακας 6.1: Επισκόπηση αποδεκτών μοντέλων SARIMAX

A/A	Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE
1	Αυστρία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.12	14.77	18.05	325.72
2	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.20	25.67	29.47	868.78
3	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	5.43	7.95	10.48	109.79
4	Βέλγιο	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	2.06	5.91	7.76	60.20
5	Βέλγιο	(0,1,1)(1,1,1,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.16	6.37	10.13	102.52
6	Κροατία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.78	27.95	38.75	1501.57
7	Τσεχία	(2,1,1)(1,1,0,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0.95	9.71	12.40	153.81
8	Τσεχία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.08	17.31	20.13	405.37
9	Τσεχία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.61	10.22	12.64	159.67
10	Δανία	(3,1,0)(1,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.25	13.81	15.62	243.93
11	Δανία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	5.12	15.50	21.00	440.83
12	Εσθονία	(1,1,2)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	425.08	19.05	24.65	607.55
13	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5.41	6.55	11.28	127.30
14	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3.48	7.88	11.77	138.52
15	Γερμανία	(3,1,0)(2,1,0,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.12	18.82	23.60	557.09
16	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.19	11.27	15.87	251.97
17	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5.83	7.99	11.71	137.06
18	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.03	9.17	11.55	133.51

A/A	Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE
19	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.72	6.57	9.05	81.95
20	Ουγγαρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2.72	12.22	16.03	257.05
21	Ιρλανδία	(3,1,0)(0,1,2,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	2.68	13.44	19.24	369.99
22	Ιταλία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2.82	23.48	27.27	743.50
23	Ιταλία	(0,1,2)(1,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	14.89	12.24	15.11	228.24
24	Ιταλία	(3,1,1)(2,1,0,7)	2	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	3.21	9.10	12.11	146.64
25	Ιταλία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0.98	48.90	52.88	2796.43
26	Λετονία	(3,1,0)(1,1,2,7)	1	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.41	25.03	29.17	851.02
27	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.00	4.59	6.85	46.98
28	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.06	4.49	6.64	44.03
29	Πολωνία	(3,1,1)(0,1,1,7)	1	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.51	30.24	34.00	1155.89
30	Πολωνία	(3,1,0)(2,1,0,7)	4	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.64	6.69	11.63	135.18
31	Πορτογαλία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3.97	15.21	18.66	348.76
32	Πορτογαλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	1.02	26.73	29.57	874.60
33	Ρουμανία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1.39	5.15	8.34	69.52
34	Ρουμανία	(2,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.99	6.59	8.84	78.17
35	Σλοβακία	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1.61	7.32	11.07	122.63
36	Σλοβακία	(1,1,2)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	4.24	14.34	18.84	355.20
37	Σλοβενία	(0,1,3)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	12.72	18.15	23.26	541.03
38	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχος σε διεθνή ταξίδια	3.41	9.64	11.60	134.49
39	Ισπανία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2.42	10.12	13.71	188.09
40	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1.23	11.08	14.62	213.61

6.2 ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

Από το προηγούμενο κεφάλαιο εφαρμογής της μεθοδολογίας, προέκυψε μία **σειρά συμπερασμάτων** που δίνουν απάντηση στα αρχικά ερωτήματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

- Το κλείσιμο των σχολείων αποτελεί **τον πιο σημαντικό εξωγενή παράγοντα** για την περιγραφή της κινητικότητας στην πανδημία. Αποτελεί το πρώτο μέτρο για την καταπολέμηση της εξάπλωσης της νόσου και σηματοδοτεί την αρχή μίας περιόδου υψηλής μεταδοτικότητας. Η παύση των εκπαιδευτικών διαδικασιών επηρεάζει σημαντικά την κινητικότητα όχι μόνο των μαθητών και φοιτητών, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις και ολόκληρης της οικογένειας.
- Η υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή **δεν είναι τόσο σημαντική μεταβλητή** για την πρόβλεψη της οδήγησης και του βαδίσματος. Σε ελάχιστες χώρες η συμπεριφορά μετακίνησης εκτιμάται σύμφωνα με την εφαρμογή αυτού του μέτρου. Μετά τον πρώτο αιφνιδιασμό, οι πολίτες προσαρμόστηκαν στις νέες συνθήκες και δεν ανέβαλαν πλέον απαραίτητες εξωτερικές δραστηριότητες.
- Οι έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια επηρεάζουν **κυρίως τις χώρες με ασθενή άλλα μέτρα**. Όταν δεν εφαρμόζονται άλλες περιοριστικές πολιτικές (π.χ. ελεύθερες μετακινήσεις) ή εφαρμόζονται ορισμένες πολιτικές πολύ συστηματικά (π.χ. κλείσιμο σχολείων), οι έλεγχοι των εισροών από το εξωτερικό επηρεάζουν την αντίληψη της επικινδυνότητας των μετακινήσεων από τους πολίτες (Σλοβενία, Λετονία, Κροατία) και οδηγούν σε μείωση της κινητικότητας.

- Οι χώρες που επλήγησαν πρώτες από τη νόσο εμφανίζουν **μεγαλύτερη συσχέτιση** με τα μέτρα περιορισμού. Οι χώρες με τους υψηλότερους αριθμούς κρουσμάτων και θανάτων επέβαλαν άμεσα αυστηρότερα μέτρα, τα οποία τηρήθηκαν λόγω αυξημένου φόβου έκθεσης στον ιό (Ισπανία, Ιταλία).
- **Δεν βρέθηκαν μοντέλα χρονοσειρών** για τις χώρες που επέβαλλαν ασθενή μέτρα περιορισμού. Η συσχέτιση των συστάσεων περιορισμού των μετακινήσεων (και όχι απαγόρευση) με την κινητικότητα ήταν πολύ χαμηλή και δεν ήταν σημαντικός εξωγενής παράγοντας επιρροής (Φιλανδία, Λιθουανία, Σουηδία).
- Στις περισσότερες χώρες, τα περισσότερα μοντέλα πρόβλεψης (21) αφορούν στις περιπτώσεις όπου η εξάσκηση των μοντέλων πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια του πρώτου κύματος, η επαλήθευση κατά της διάρκειας της θερινής άρσης των μέτρων και η **πρόβλεψη κατά τη διάρκεια των δεύτερου κύματος**.
- Αντίθετα, η κινητικότητα των χωρών που ουσιαστικά δεν επλήγησαν κατά το πρώτο «κύμα» **δεν μπορεί να προβλεφθεί** με την εμπειρία του πρώτου «κύματος». Στο πρώτο κύμα υπάρχει αιφνιδιασμός και απότομη μείωση της κινητικότητας παρά τους χαμηλούς αριθμούς κρουσμάτων και θανάτων. Στο δεύτερο, η συμπεριφορά μετακινήσεων είναι διαφορετική, καθώς η επικινδυνότητα υποτιμάται και πλέον οι πολίτες κυκλοφορούν αρκετά, τουλάχιστον για την εργασία (Βουλγαρία, Ελλάδα).
- Από τη σύγκριση των μοντέλων πρόβλεψης του **βαδίσματος** (18) και της **οδήγησης** (22) προκύπτει ότι τόσο η οδήγηση όσο και το βάδισμα επηρεάστηκαν ομοίως από τα μέτρα περιορισμού των μετακινήσεων.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

- **Εκτίμηση του βαθμού τήρησης των περιοριστικών μέτρων** από τις αρμόδιες Αρχές με βάση την εξέλιξη της κινητικότητας όπως αυτή προβλέπεται από τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για κάθε χώρα.
- Επιλογή των πλέον κατάλληλων και **αποτελεσματικών μέτρων πρόληψης** σε σχέση με τον κορωνοϊό ή μελλοντικές πανδημίες με βάση τις προβλέψεις των στατιστικών μοντέλων που παρουσιάστηκαν.
- Αξιοποίηση των μοντέλων χρονοσειρών για την **πρόβλεψη της κινητικότητας οδηγών και πεζών** ανάλογα με την εξέλιξη της πανδημίας του κορωνοϊού και τη λήψη διαφόρων προληπτικών μέτρων.
- **Δημιουργία εφαρμογής σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα** η οποία θα δέχεται ως πληροφορίες τα εφαρμοζόμενα μέτρα πρόληψης και θα προβλέπει το ποσοστό κινητικότητας σε μικρότερες περιφέρειες ή δήμους, ώστε οι χρήστες να έχουν εικόνα της κίνησης και των πεζών και να αποφεύγεται ο συνωστισμός.

6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η επιρροή του κορωνοϊού στη συμπεριφορά μετακίνησης αποτελεί ένα νέο αντικείμενο μελέτης, όπως διαπιστώθηκε και από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση με σημαντικές ελλείψεις και προοπτικές περαιτέρω έρευνας. Κύρια καινοτομία της παρούσας έρευνας είναι η σύγκριση μεγάλου αριθμού χωρών με ανάλυση χρονοσειρών, η οποία μπορεί να αποτελέσει βάση για ακόμη περισσότερες συγκριτικές αναλύσεις. Για αυτό τον λόγο, παρουσιάζονται παρακάτω ορισμένες προτάσεις για **περαιτέρω έρευνα**, οι οποίες θα συμβάλλουν στην πληρέστερη κατανόηση και αντιμετώπιση των νέων συνθηκών στις μετακινήσεις παγκοσμίως.

- **Άμεση συσχέτιση** των δεδομένων κινητικότητας με τα στοιχεία κρουσμάτων και θανάτων εξαιτίας της νόσου.
- **Αξιοποίηση των δεικτών του γεωγραφικού εύρους** των περιοριστικών μέτρων από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης και ανάλυση της κινητικότητας ανά περιφέρεια και πόλη και ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης για μικρότερες γεωγραφικές μονάδες.
- Ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης και για άλλα **κράτη εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης**, καθώς και για κάθε ήπειρο ή και συνολικά για όλα τα κράτη.
- **Αξιοποίηση της κλίμακας αυστηρότητας** των περιοριστικών μέτρων από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης και αντίστοιχη λεπτομερέστερη ανάλυση για κάθε επίπεδο αυστηρότητας.
- Ανάλυση μοντέλων χρονοσειρών με **πολλαπλές μεταβλητές**, όπως παραδείγματος χάριν ο συνδυασμός περιοριστικών μέτρων, της διάρκειάς τους, καθώς και της γεωγραφικής διασποράς τόσο των μέτρων όσο και των κρουσμάτων και των θυμάτων.
- Εξέταση της κινητικότητας κατά την πανδημία μέσω **μηχανικής εκμάθησης**, δηλαδή της συνεχούς ανατροφοδότησης των προβλέψεων με δεδομένα που αλλάζουν συνεχώς στον χρόνο και στον χώρο.
- **Διεύρυνση του χρονικού πλαισίου** της μελέτης, ώστε να εξεταστεί η κινητικότητα και στα επόμενα «κύματα» της πανδημίας, καθώς και μετά το τέλος της.

1. Abdullah, M., Dias, C., Muley, D., Shahin, Md. (2020). Exploring the impacts of COVID-19 on travel behavior and mode preferences, *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8
2. Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification, *IEEE Trans. Automat. Contr.* 19
3. Aloï, A., Alonso, B., Benavente, J., Cordera, R., Echániz, E., González, F., Ladisa, C., Lezama-Romanelli, R., López-Parra, Á., Mazzei, V., Perrucci, L., Prieto-Quintana, D., Rodríguez, A., Sañudo, R. (2020). Effects of the COVID-19 Lockdown on Urban Mobility: Empirical Evidence from the City of Santander (Spain), *Sustainability* 12
4. Apple (2021). *Covid-19 - Mobility Trends Reports* <https://covid19.apple.com/mobility/>
5. Box, G. E., Jenkins, G.M. (1976). *Time series analysis: Forecasting and control* San Francisco. 1970, 1989.
6. Beria, P., Lunkar, V. (2021). Presence and mobility of the population during the first wave of COVID-19 outbreak and lockdown in Italy, *Sustainable Cities and Society* 65
7. Bucsky, P. (2020). Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8
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. Google LLC. (2021). *Google COVID-19 Community Mobility Reports* <https://www.google.com/covid19/mobility/>
11. Hadjidemetriou, G.M., Sasidharan, M., Kouyialis, G., Parlikad, A.K. (2020). The impact of government measures and human mobility trend on COVID-19 related deaths in the UK. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 6
12. Hale, T., Webster, S., Petherick, A., Phillips, T., Kira, B. (2020). Oxford COVID-19 Government Response Tracker. Blavatnik School of Government. <https://www.bsg.ox.ac.uk/covidtracker>
13. Hara, Y., Yamaguchi, H. (2021). Japanese travel behavior trends and change under COVID-19 state-of-emergency declaration: Nationwide observation by mobile phone location data, *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 9
14. 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
15. 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
16. 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
17. Kim, C., Cheon, S.H., Choi, K., Joh, C.H., Lee, H.J. (2017). Exposure to fear: Changes in travel behavior during MERS outbreak in Seoul. *KSCE J. Civ. Eng.* 21

18. Lavrenz, S. M., Vlahogianni, E. I., Gkritza, K., Ke, Y. (2018). Time series modelling in traffic safety research, *Accident Analysis and Prevention*
19. Molloy, J., Tchervenkov, C., Hintermann, B., Axhausen, K.W. (2020). Tracing the Sars-CoV-2 Impact: The first month in Switzerland. *Transport Findings*
20. Muley, D., Shahin, Md., Dias, C., Abdullah, M. (2020). Role of Transport during Outbreak of Infectious Diseases: Evidence from the Past, *Sustainability* 12
21. Muley, D., Ghanim, M.S., Mohammad, A., Kharbeche, M., (2021). QUANTIFYING THE IMPACT OF COVID-19 PREVENTIVE MEASURES ON TRAFFIC IN THE STATE OF QATAR, *Transport Policy* 103
22. Our world in Data, 2021, <https://ourworldindata.org>
23. Parr, S., Wolshon, B., Renne, J., Murray-Tuite, P., Kim, K. (2020). Traffic Impacts of the COVID-19 Pandemic: Statewide Analysis of Social Separation and Activity Restriction, *American Society of Civil Engineers*
24. Pullano, G., Valdano, E., Scarpa, N., Rubrichi, S., Colizza, V. (2020). Evaluating the effect of demographic factors, socioeconomic factors, and risk aversion on mobility during the COVID-19 epidemic in France under lockdown: a population-based study, *The Lancet Digital Health*
25. Reback, J., McKinney, W., jbrockmendel, den Bossche, J. V., Augspurger, T., Cloud, ... Winkel, M. (2020). pandas-dev/pandas: Pandas 1.1.3 (Version v1.1.3)
26. 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
27. Saladié, Ò., Bustamante, E., Gutiérrez, A. (2020). COVID-19 lockdown and reduction of traffic accidents in Tarragona province. Spain. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8
28. Santamaria, C., Sermi, F., Spyrtatos, Sp., Iacus, S. M., Annunziato, A., Tarchi, D, Vespe, M. (2020). Measuring the impact of COVID-19 confinement measures on human mobility using mobile positioning data. A European regional analysis, *Safety Science* 132
29. Shumway, R.H., Stoffer, D.S. (2010). *Time Series Analysis and Its Applications, 3rd ed. Springer.*
30. Shakibaei, S., de Jong, G. C., Alpkökin, P., Rashidi, T. H. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on travel behavior in Istanbul: A panel data analysis, *Sustainable Cities and Society* 65
31. 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
32. Tan, L., Ma, C. (2020). Choice behavior of commuters' rail transit mode during the COVID-19 pandemic based on logistic model, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*
33. Truong, D., Truong, M. D. (2021). Projecting daily travel behavior by distance during the pandemic and the spread of COVID-19 infections – Are we in a closed loop scenario?, *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 9
34. World Health Organization (2021). <https://www.who.int/>