



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Διπλωματική Εργασία

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΔΗΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ



Ασπασία Γονίδα

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2021

Ευχαριστίες

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.

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

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

Αθήνα, Ιούλιος 2021
Ασπασία Γονίδη

Εξέλιξη της επιρροής της πανδημίας στη συμπεριφορά οδηγών στην Ελλάδα με ανάλυση πολλαπλών χρονοσειρών

Ασπασία Γονίδη

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

Σύνοψη

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της εξέλιξης της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού 19 στη συμπεριφορά οδηγών στην Ελλάδα με ανάλυση πολλαπλών χρονοσειρών. Για τον σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν στοιχεία οδηγικής συμπεριφοράς και επιδημιολογικά δεδομένα. Για την ανάλυση των δεδομένων, αναπτύχθηκαν μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών Vector Autogression (VAR) και Structural Vector Autogression (SVAR) για την Ελλάδα, με ζεύγη μεταβλητών, που αφορούν στα χαρακτηριστικά οδήγησης και στην εξέλιξη της πανδημίας. Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, προέκυψαν τρία στατιστικά σημαντικά μοντέλα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς των οδηγών, από τα οποία προέκυψε ότι η αύξηση των κρουσμάτων προκαλεί αύξηση της επιθετικής συμπεριφοράς των οδηγών, πιθανώς εξαιτίας της ψυχολογικής πίεσης αλλά και των χαμηλότερων κυκλοφορικών φόρτων στο οδικό δίκτυο. Επιπλέον, εξαιτίας των σημαντικών διαφορών που είχαν τα δύο «κύματα» εξάπλωσης της πανδημίας στην Ελλάδα, οι προβλέψεις είναι αξιόπιστες έως τον Σεπτέμβριο του 2020.

Λέξεις κλειδιά: συμπεριφορά οδηγών, οδήγηση, επιδημιολογικά δεδομένα, περιοριστικά μέτρα, κορωνοϊός 19, πανδημία, μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών VAR και SVAR

Evolution of pandemic impact on driver behavior in Greece using multivariate time series analysis

Aspasia Gonidi

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

Abstract

The aim of the present Diploma Thesis is to investigate the evolution of pandemic impact on driver behavior in Greece using multivariate time series analysis. Driver behavior and pandemic's data were collected for Greece. For the data analysis, VAR and SVAR multivariate time-series models were developed, using pair of variables, with the first variable referring to driving characteristics and the second one to the pandemic evolution. The aforementioned methodology resulted in three models estimating driver behavior during the pandemic, from which it was demonstrated that the covid-19 cases' increase causes increase in harsh accelerations, probably due to psychological pressure but also due to the lower traffic volumes at the road network. Furthermore, due to the significant differences in the two covid-19 "waves" in Greece, models' predictions are valid up to September 2020.

Keywords: driver behavior, driving, pandemic's data, restrictive measures, COVID-19, pandemic, VAR and SVAR multivariate time-series models

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει στόχο τη **διερεύνηση της εξέλιξης της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού 19 στη συμπεριφορά οδηγών στην Ελλάδα**. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών για την περιγραφή και την πρόβλεψη των οδηγικών χαρακτηριστικών κατά το πρώτο έτος της πανδημίας.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν, αντλήθηκαν από την εφαρμογή της εταιρείας OSeven που είχαν καταγραφεί από **αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων** (smartphones). Δημιουργήθηκαν δύο ομάδες δεδομένων. Η πρώτη ομάδα δεδομένων αφορούσε στον τρόπο οδήγησης. Για κάθε διαδρομή μετρήθηκαν διάφορα κυκλοφοριακά μεγέθη, όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, το ποσοστό χρήσης κινητού τηλεφώνου και άλλα. Η δεύτερη ομάδα δεδομένων αποτελείται από δεδομένα που αφορούν την **ημερήσια εξέλιξη της πανδημίας**. Δηλαδή, είναι ο συνολικός αριθμός κρουσμάτων και απωλειών και ο δείκτης αυστηρότητας από το πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, που είναι ένας τρόπος ποσοτικοποίησης των επιβαλλόμενων περιορισμών.

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο, αναπτύχθηκαν **τρία μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών Vector Autogression (VAR) και Structural Vector Autogression (SVAR)** για να εξεταστεί η επιρροή των επιδημιολογικών δεδομένων στη συμπεριφορά των οδηγών στην Ελλάδα. Μετά τους απαραίτητους ελέγχους διαπιστώθηκε ότι τρία από αυτά είναι στατιστικά σημαντικά, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Επισκόπηση μοντέλων VAR και SVAR

A/A	Μεταβλητές	Μοντέλο	MAE	MSE	RMSE	R2	MAPE
1	Απότομες επιταχύνσεις ανά 100km	VAR(10), SVAR	9,373	116,412	10,789	-62,231	82,29%
	Συνολικά κρούσματα στην Ελλάδα	VAR(10), SVAR	37219,61	2,72E+09	52198,67	-0,295	43,51%
2	Απότομες επιταχύνσεις ανά 100km	VAR(10), SVAR	1,198	2,141	1,463	-0,163	10,46%
	Δείκτης αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης	VAR(10), SVAR	13,492	294,639	17,165	-0,861	17,78%
3	Μέσης ημερήσια ταχύτητα	VAR(10), SVAR	2,732	11,597	3,405	-2,661	6,34%
	Συνολικά κρούσματα στην Ελλάδα	VAR(10), SVAR	30203,21	1,9E+09	43532,78	0,099	32,83%

Τα **μοντέλα VAR** αναλύουν την αμφίδρομη σχέση των μεταβλητών τους. Στα παραπάνω μοντέλα δεν προέκυψε αμφίδρομη σχέση μεταξύ των μεταβλητών,

αλλά μόνο προς τη μία κατεύθυνση. Συγκεκριμένα, σχέση αιτιότητας προκύπτει από τον αριθμό των συνολικών κρουσμάτων προς τις απότομες επιταχύνσεις ανά 100km και τη μέση ημερήσια ταχύτητα. Επίσης, σχέση αιτιότητας συναντάται και από τις απότομες επιταχύνσεις ανά 100km προς τον δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης.

Από τα γραφήματα των **μοντέλων SVAR**, προκύπτει ότι οι χρονοσειρές που περιγράφουν τη οδηγική συμπεριφορά, επηρεάζονται από τα επιδημιολογικά δεδομένα ενώ το αντίστροφο δεν συμβαίνει.

Από την παρούσα Διπλωματική Εργασία, προέκυψε μία σειρά συμπερασμάτων που δίνουν απάντηση στα αρχικά ερωτήματα.

- **Όσο αυξάνονται τα κρούσματα αυξάνεται η επιθετική συμπεριφορά των οδηγών** πιθανώς λόγω των αυστηρότερων περιοριστικών μέτρων και της συνεπαγόμενης συνολικής ψυχολογικής πίεσης των οδηγών.
- **Οι απότομες επιταχύνσεις εμφανίζουν την καλύτερη συσχέτιση με τα επιδημιολογικά δεδομένα**, (σε σχέση με όλες τις άλλες μεταβλητές της συμπεριφοράς οδήγησης) έχοντας σχέση αιτιότητας και με τον συνολικό αριθμό κρουσμάτων αλλά και με τον δείκτη αυστηρότητας. Πιθανή εξήγηση είναι ότι η αύξηση των κρουσμάτων και η αυστηροποίηση των ληφθέντων περιοριστικών μέτρων προκαλεί ψυχολογική πίεση στους οδηγούς, με αποτέλεσμα την επιθετική συμπεριφορά και ειδικότερα, την αύξηση των απότομων επιταχύνσεων.
- Η σχέση αιτιότητας μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας κυκλοφορίας με τον συνολικό αριθμό κρουσμάτων εξηγείται έμμεσα από τη μείωση της κυκλοφορίας στους οδικούς άξονες. Καθώς **οι οδηγοί κινούνται σε οδικά τμήματα με χαμηλότερους κυκλοφοριακούς φόρτους, έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες**.
- **Η σχέση αιτιότητας που προκύπτει στον δείκτη αυστηρότητας** από τις απότομες επιταχύνσεις εξηγείται από το γεγονός της επιμέρους συσχέτισης που αναφέρθηκε παραπάνω ανάμεσα στα κρούσματα και την επιθετική συμπεριφορά.
- Από τα μοντέλα VAR και SVAR που εξετάζουν την αμφίδρομη αλληλεξάρτηση του δείκτη αυστηρότητας με την επιθετική οδήγηση (συσχετισμένη με τα κρούσματα) προκύπτουν μη ικανοποιητικές προβλέψεις, γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται **στην κατά περίπτωση χαμηλού βαθμού εφαρμογή των μέτρων**.
- Από την ανάπτυξη των μοντέλων SVAR προκύπτει ότι μία απότομη μείωση ή αύξηση της μίας εκ των δύο μεταβλητών επιφέρει διακυμάνσεις στη μεταβλητή της συμπεριφοράς των οδηγών μέχρι να συγκλίνει σταδιακά σε μία τιμή, όπως φαίνεται από τα γραφήματα IRFs. Αυτό ενδεχομένως συμβαίνει διότι **η εξέλιξη της πανδημίας επηρεάζει την ψυχολογία των πολιτών και κατ' επέκταση την καθημερινότητά τους**.

- Το γράφημα FEVD του μοντέλου SVAR καταδεικνύει ότι οι απότομες επιταχύνσεις δεν επηρεάζονται από την απότομη διακύμανση του δείκτη αυστηρότητας, γεγονός που ενδεχομένως εξηγείται από τη **χρονική καθυστέρηση της επιρροής** της αυστηροποίησης των μέτρων στην επιθετική συμπεριφορά των οδηγών.
- Τα αποτελέσματα των μοντέλων κατέδειξαν ότι **οι προβλέψεις είναι αξιόπιστες έως τον Σεπτέμβρη 2020**, διότι το δεύτερο κύμα της πανδημίας που ξεκίνησε τον Οκτώβριο είχε αρκετά διαφορετικά χαρακτηριστικά αναφορικά τόσο με τον αριθμό των κρουσμάτων όσο και με την συμμόρφωση στα μέτρα σε σχέση με το πρώτο κύμα.

Περιεχόμενα

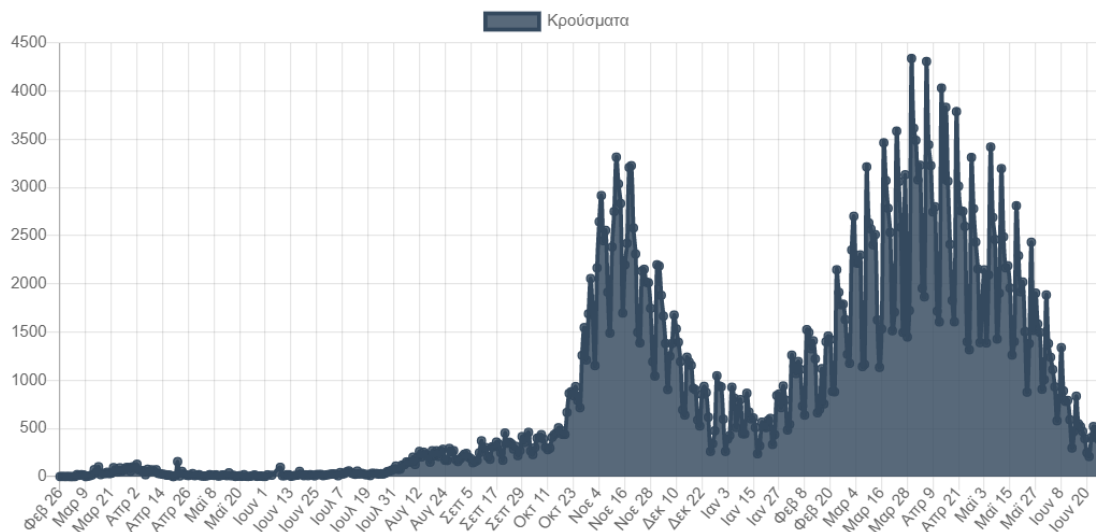
<u>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	1
<u>1.1 Γενική Ανασκόπηση</u>	1
<u>1.2 Στόχος</u>	2
<u>1.3 Μεθοδολογία</u>	2
<u>1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας</u>	3
<u>2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</u>	5
<u>2.1 Εισαγωγή</u>	5
<u>2.2 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες</u>	5
<u>2.2.1 Μείωση Κινητικότητας</u>	5
<u>2.2.2 Αλλαγή Προτίμησης Μέσου</u>	7
<u>2.2.3 Οδική Ασφάλεια</u>	9
<u>2.3 Σύνοψη</u>	9
<u>3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</u>	14
<u>3.1 Εισαγωγή</u>	14
<u>3.2 Μαθηματικά Μοντέλα</u>	14
<u>3.2.1 Μοντέλο VAR</u>	14
<u>3.2.2 Μοντέλο SVAR</u>	14
<u>3.2.3 Διαδικασία Ανάπτυξης Μοντέλων VAR και SVAR</u>	15
<u>3.3 Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου</u>	17
<u>4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</u>	18
<u>4.1 Εισαγωγή</u>	18
<u>4.2 Συλλογή Στοιχείων</u>	18
<u>4.2.1 OSeven</u>	18
<u>4.2.2 Επιδημιολογικά Δεδομένα</u>	21
<u>4.3 Επεξεργασία Δεδομένων</u>	22
<u>4.4 Περιγραφική Στατιστική</u>	22
<u>4.5 Συσχέτιση Μεταβλητών</u>	23
<u>5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</u>	25
<u>5.1 Εισαγωγή</u>	25
<u>5.2 Μοντέλα VAR</u>	25
<u>5.3 Μοντέλα SVAR</u>	46
<u>5.4 Σύνοψη και Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων</u>	53
<u>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	55
<u>6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων</u>	55
<u>6.2 Σύνοψη Συμπερασμάτων</u>	56
<u>6.3 Προτάσεις για Αξιοποίηση των Αποτελεσμάτων</u>	57
<u>6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα</u>	58

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Ανασκόπηση

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 αποσκοπούν κυρίως στην μείωση μετακινήσεων, επηρεάζοντας την οικονομία και την κοινωνική ζωή, όπως στην περίπτωση της πανδημίας του κορωνοϊού 19.

Η νόσος του κορωνοϊού 19 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 19. Η ανεξέλεγκτη εξάπλωση του ιού στην υφήλιο οδήγησε να κηρυχτεί ως **πανδημία του κορωνοϊού 19** στις 11 Μαρτίου 2020 από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (covid19.who.int). Μέχρι τον Ιούνιο του 2021, τα επιβεβαιωμένα κρούσματα της νόσου υπερβαίνουν τα 180 εκατομμύρια, συμπεριλαμβανομένων 4 εκατομμύρια θανάτων, παγκοσμίως (covid19.who.int). Το πρώτο κρούσμα στην Ελλάδα και ο πρώτος συσχετισμένος θάνατος καταγράφηκαν στις 26 Φεβρουαρίου και στις 19 Μαρτίου 2020, αντίστοιχα. Μέχρι τον Ιούνιο του 2021, τα επιβεβαιωμένα κρούσματα της νόσου υπερβαίνουν τις 420 χιλιάδες, συμπεριλαμβανομένων 12 χιλιάδες θανάτων (covid19.gov.gr).



Γράφημα 1.1: Νέα ημερήσια επιβεβαιωμένα κρούσματα κορωνοϊού 19 Ελλάδος

Η ελληνική κυβέρνηση έχει λάβει **μια σειρά από μέτρα για τον περιορισμό της εξάπλωσης της πανδημίας**, με κυριότερα την επιβολή lockdown σε ολόκληρη τη χώρα, δηλαδή την αυστηρή σύσταση παραμονής στην κατοικία και μετακίνησης μόνο για τα απαραίτητα, καθώς και την καθολική απαγόρευση της κυκλοφορίας για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα της ημέρας, την αναστολή λειτουργίας των χώρων εστίασης και των καταστημάτων λιανικής, το κλείσιμο των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων όλων των βαθμίδων, των χώρων εργασίας και των αθλητικών κέντρων και τη γενικότερη απαγόρευση της πλειοψηφίας των μετακινήσεων. Παράλληλα, προωθήθηκε η τηλεεκπαίδευση, η

τηλεργασία και η ει δυνατόν αντικατάσταση των καθημερινών δραστηριοτήτων με χρήση της τεχνολογίας.

Κατά το 2020, ανά περιόδους παρατηρήθηκε η **αυστηροποίηση ή η άρση κάποιων περιοριστικών μέτρων**, όπως και **σημαντικές διακυμάνσεις στα ημερήσια επιδημιολογικά δεδομένα**. Εν συντομία, στις 25 Φεβρουαρίου τέθηκαν τα πρώτα περιοριστικά μέτρα που αφορούσαν την αποφυγή συνωστισμού, ενώ στις 23 Μαρτίου επιβλήθηκε η παραμονή στο σπίτι με εξαίρεση μόνο τις απαραίτητες μετακινήσεις. Στις 4 Μάϊου ξεκίνησε η σταδιακή αποκλιμάκωση των περιορισμών. Από τον Αύγουστο η εξέλιξη του αριθμού κρουσμάτων, νοσηλευμένων, και θανόντων ήταν σε άνοδο, που συνδυάστηκε και με το άνοιγμα των συνόρων. Η συνεχής ανοδική πορεία της εξάπλωσης της πανδημίας είχε αποτέλεσμα το 2ο καθολικό lockdown για όλη τη χώρα που τέθηκε σε ισχύ από τις 7 Νοεμβρίου 2020 (covid19.gov.gr).

Από τα παραπάνω, φαίνεται πως οι μεγάλες αλλαγές στην καθημερινότητα επηρέασαν καθοριστικά την κυκλοφορία και καθίσταται αναγκαία η **διερεύνηση της επιρροής κατά τη διάρκεια της πανδημίας σε ό,τι αφορά την οδηγική συμπεριφορά**.

1.2 Στόχος

Λαμβάνοντας υπόψη την προηγούμενη ενότητα, στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **εξέλιξη της επιρροής της πανδημίας στη συμπεριφορά οδηγών στην Ελλάδα** με ανάλυση πολλαπλών χρονοσειρών. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται οι αλλαγές στην συμπεριφορά των οδηγών στην Ελλάδα, λόγω των επιδημιολογικών δεδομένων και της επιβολής των διαφόρων περιοριστικών μέτρων που επιβλήθηκαν.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου κρίνεται αναγκαία η **επιλογή κατάλληλου μοντέλου πολλαπλών χρονοσειρών** για την περιγραφή και την εκτίμηση των ιστορικών δεδομένων. Μέσω των μαθηματικών μοντέλων, είναι δυνατή η διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών κατά το έτος 2020, που συνέβησαν σημαντικές διακυμάνσεις των επιδημιολογικών δεδομένων και επιβλήθηκαν διαφορετικά περιοριστικά μέτρα ανά περίοδο.

Τέλος, σκοπός είναι τα εξαγόμενα από αυτή τη Διπλωματική Εργασία συμπεράσματα να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της κατάστασης της κυκλοφορίας στην Ελλάδα εν μέσω της πανδημίας και να φανούν **χρήσιμα στη λήψη των αποφάσεων που αφορούν στη διαχείριση της πανδημίας** ή παρόμοιων γεγονότων στο μέλλον.

1.3 Μεθοδολογία

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

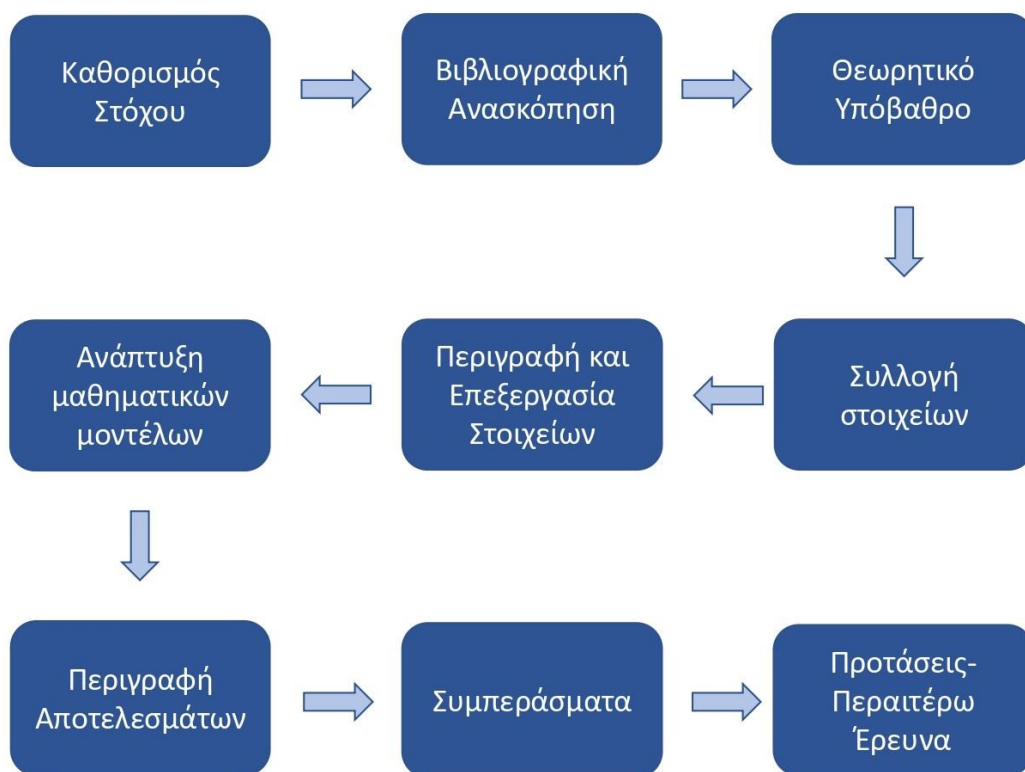
Αρχικά, καθορίστηκαν το αντικείμενο και ο **στόχος της μελέτης**. Ακολούθησε η **βιβλιογραφική ανασκόπηση** σε διεθνή βιβλιογραφία. Αναζητήθηκαν

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.

Αφού μελετήθηκαν τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, σειρά είχε η εύρεση του τρόπου **συλλογής στοιχείων**. Για την διαδικασία αυτή, εφαρμόστηκε ένα καινοτόμο σύστημα συλλογής δεδομένων, μέσα από την εξατομικευμένη καταγραφή της συμπεριφοράς του οδηγού σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων. Έτσι, συλλέχθηκαν ημερήσια δεδομένα για τη συμπεριφορά των οδηγών για όλο το 2020. Αξιοποιήθηκε η ειδική πλατφόρμα της εταιρείας OSeven με τη συγκεκριμένη εφαρμογή σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα για την αποτελεσματική **μετάβαση από τη συλλογή στοιχείων στη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων**.

Στη συνέχεια, **αναπτύχθηκαν τα κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα** που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση αποτελεσμάτων, τα οποία εν συνεχεία περιγράφονται και αναλύονται, για να **διεξαχθούν τελικά συμπεράσματα και να διατυπωθούν προτάσεις** για περαιτέρω έρευνα.

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 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

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

Το παρόν **κεφάλαιο 1**, αποτελεί την εισαγωγή της Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας, η δομή και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της.

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 διαδικασία συλλογής των στοιχείων από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης (OSeven) και στη συνέχεια, η απαιτούμενη διαδικασία επεξεργασίας τους πριν την ανάλυση τους.

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

Στο **κεφάλαιο 6**, παρουσιάζονται όλα τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν κατά την αξιολόγηση των μαθηματικών μοντέλων. Αναφέρονται, επίσης, προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

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

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν 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 19 ή προηγούμενων πανδημιών στην κινητικότητα, τον σκοπό και τον τρόπο μετακίνησης 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 Συναφείς Έρευνες και Μεθοδολογίες

Ο κορωνοϊός 2019 έχει επηρεάσει σε όλους τους τομείς την καθημερινότητα των ανθρώπων παγκοσμίως. Προφανώς οι αλλαγές αυτές έχουν επιστημονικό ενδιαφέρον σε πολλούς τομείς. Για παράδειγμα, ο φόβος έκθεσης στον ιό αλλά και η επιβολή περιοριστικών μέτρων επηρέασαν την ψυχολογία των πολιτών, που κατεύθυνε σε αλλαγές στην καθημερινότητα, όπως ο σκοπός της μετακίνησης, η επιλογή του μέσου, κλπ. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, στόχος είναι να μελετηθούν οι αλλαγές στη οδική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια των διαφόρων επιλυθέντων περιοριστικών μέτρων. **Για την πλήρη έρευνα της οδικής ασφάλειας, όμως, απαιτείται να ληφθούν υπόψη οι διακυμάνσεις της κινητικότητας, των ωρών αιχμής και της επιλογής μέσου.**

2.2.1 Μείωση Κινητικότητας

Η μείωση της κινητικότητας είναι ο στόχος των περιοριστικών μέτρων, καθώς είναι καθοριστική για τη μείωση της εξάπλωσης του κορωνοϊού 2019, όπως αποδεικνύεται από την έρευνα των Badr et al. (2020) στις Ηνωμένες Πολιτείες και έχει άμεση επίδραση στην μείωση των θυμάτων από κορωνοϊό στο Ηνωμένο Βασίλειο (Hadjidemetriou et al. 2020). Από τα λογιστικά μοντέλα παλινδρόμησης της έρευνας των Maiti et al. (2021) για τις Ηνωμένες Πολιτείες, προέκυψε υψηλή συσχέτιση μεταξύ τόσο της εγχώριας όσο και της διεθνούς κινητικότητας με τον αριθμό των κρουσμάτων και των θανάτων του κορωνοϊού 2019. Υψηλή συσχέτιση μεταξύ της κινητικότητας και της εξάπλωσης του ιού παρατηρήθηκε σε 52 χώρες από τους Nouvellet et al. (2021). Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο απότομη αύξηση της κινητικότητας συνδέεται με απότομη έξαρση των μολύνσεων και το αντίθετο. Ακόμη, οι Thakkar et al. (2020) παρατήρησαν πως μειώνεται ο δείκτης μεταδοτικότητας στην Washington από τις 18 Μάρτη, από όταν δηλαδή μειώθηκε και ο δείκτης της κινητικότητας.

Ταυτόχρονα, πολύ σημαντικό είναι **τα μέτρα περιορισμού να θεσπιστούν εγκαίρως** (Kraemer et al. 2020), ώστε να προληφθεί η ανεξέλεγκτη εξάπλωση. Σύμφωνα με τους Yuan et al. (2020), σε περίπτωση που τα μέτρα είχαν επιβληθεί 7 ημέρες νωρίτερα τότε η έξαρση θα ήταν μικρότερη κατά 50%-80%. Χαρακτηριστικά, στο Λουξεμβούργο από 374 κρούσματα/εκατομμύριο εκτιμάται πως θα ήταν 66 κρούσματα/εκατομμύριο.

Εξαιτίας των περιοριστικών μέτρων σε συνδυασμό με τον φόβο των ανθρώπων για την έκθεση στον ιό, παρατηρήθηκε μεγάλη **μείωση της κινητικότητας**. Στην Ολλανδία με βάση την έρευνα των de Haas et al. (2020) οι εξωτερικές δραστηριότητες μειώθηκαν περίπου κατά 80%. Αξιοσημείωτη είναι η **μείωση του αριθμού των ταξιδιών και της απόστασής τους** που μειώθηκαν κατά 55% και κατά 68%, αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Fatmi et al. (2021), μειώθηκαν κατά 50% οι εξωτερικές δραστηριότητες/μέρα/άτομο σε σύγκριση με την προ-κορωνοϊού εποχή. Επίσης, στην Ισπανία φαίνεται η σταδιακή μείωση της κινητικότητας τον Μάρτη του 2020, φτάνοντας κατά την τρίτη βδομάδα στο 78%. Επιπλέον, στο Σιάτλ παρατηρήθηκε μείωση στην κινητικότητα με ποσοστό 90% στις 28 Μάρτη σε σχέση με την προ-κορωνοϊού εποχή, ενώ αυξήθηκε η παραμονή στο σπίτι με ποσοστό 27% (Burstein et al. 2020). Για τη Θεσσαλονίκη παρατηρήθηκε, επίσης, μείωση της κινητικότητας κατά 50%, που αφορά κυρίως τα μέσα μαζικής μεταφοράς και την οδήγηση, καθώς το περπάτημα σημείωσε μικρή αύξηση (Politis et al. 2021).

Για τη Βουδαπέστη η μείωση της κινητικότητας είναι εξίσου έντονη, και διακρίνονται διαφορές μεταξύ των μέσων μεταφοράς, όπως και στη Θεσσαλονίκη. Η μείωση είναι πολύ έντονη στην οδήγηση και στα μέσα μαζικής μεταφοράς, αλλά αισθητά μικρότερη για τους πεζούς και τους ποδηλάτες ιδιαίτερα κατά το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαρτίου (Bucsky 2020). Οι Stavrinou et al. (2020), ακόμη, διαπίστωσαν έντονη μείωση τόσο στον αριθμό των ημερών που οδηγούν οι νέοι (37%), όσο και στα διανυόμενα μίλια (35%) κατά την περίοδο της εφαρμογής των περιοριστικών μέτρων. Οι ηλικιωμένοι, για τους οποίους ο ιός είναι και πιο επικίνδυνος, μείωσαν τόσο τις ημέρες όσο και τον αριθμό των μετακινήσεων (Roe et al. (2020). Από τις φωτογραφίες των Aloï et al. (2020), συγκρίνοντας το πριν και το μετά φαίνεται η μεγάλη διαφορά τόσο στην κίνηση οχημάτων όσο και πεζών στην Ισπανία. Ακόμη, εξαφανίζονται η πρωινή και η απογευματινή ώρα αιχμής που συνδέεται με την εργασία, ενώ εμφανίζεται αυξημένη σχετικά κινητικότητα στο διάστημα 11.00-13.00, που συνδέεται με την αγορά των απαραίτητων προϊόντων.

Σύμφωνα με τους Muley et al. (2020) σε κάθε περίπτωση που η ανθρωπότητα κλήθηκε να αντιμετωπίσει την εξάπλωση κάποιου ιού, μειωνόταν η κινητικότητα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την Ισπανία, η αλλαγή της κινητικότητας επιφέρει αλλαγές και στις **ώρες αιχμής**. Αυτό συμβαίνει επειδή αλλάζουν οι συνήθειες της καθημερινότητας, όπως η καθιέρωση της τηλεργασίας και της τηλεεκπαίδευσης. Βέβαια αυτό επηρεάζει κάποιες περιοχές περισσότερο από τις άλλες. Για παράδειγμα, στην πόλη Τορίνο της Ιταλίας, κατά την διάρκεια των περιοριστικών μέτρων η κινητικότητα μειώθηκε 10 φορές σε σχέση με πριν (Favale et al. 2020). Το κλείσιμο του πανεπιστημίου και η αρχή της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, κατά την πρώτη βδομάδα του Μαρτίου, συντέλεσε καθοριστικά στην αλλαγή των κυκλοφοριακών μοτίβων.

Όπως υποστηρίζεται από τον De Vos (2020), **η μείωση της κινητικότητας είναι κάτι προσωρινό**, και συγκεκριμένα για όσο διαρκούν τα μέτρα περιορισμού. Αυτό συμφωνεί με την έρευνα Gao et al. (2020) στις Ηνωμένες Πολιτείες όπου μελετήθηκε η διακύμανση της κινητικότητας. Μέχρι τις 6 Μάρτη η κινητικότητα αυξανόταν, καθώς ακόμη δεν είχε ξεκινήσει το πρώτο κύμα της πανδημίας. Με την επιβολή των μέτρων για κατ' οίκον περιορισμό, η μέση μέγιστη απόσταση στη Νέα Υόρκη μειώθηκε κατά ποσοστό 73%. Όμως από τις αρχές Μαΐου, με την άρση των μέτρων, η κινητικότητα αυξήθηκε, σταδιακά, με την επανεκκίνηση των διαφόρων δραστηριοτήτων. Αντίστοιχη, σταδιακή επαναφορά της κυκλοφορίας έγινε και στην Αυστραλία μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου κύματος εξάπλωσης του ιού, σύμφωνα με τους Beck et al. (2020). Ακόμη, στις Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ τον Απρίλη σημειώθηκαν τα μεγαλύτερα ποσοστά μείωσης της ημερήσιας κινητικότητας (45-55%) και των συναντήσεων (65-75%), από τις αρχές Μαΐου που ξεκίνησε η σταδιακή επανεκκίνηση των δραστηριοτήτων, παρατηρήθηκε πως η κινητικότητα πλησίασε τα συνηθισμένα επίπεδα (Klein et al. 2021).

Σύμφωνα με την έρευνα των Islind et al. (2020), η οποία αφορά 10 χώρες της Ευρώπης και τη Νέα Ζηλανδία, παρατηρήθηκε σε όλες τις χώρες απότομη μείωση της κινητικότητας, που ξεκίνησε το Μάρτη του 2020, ενώ η αύξηση κατά τον Ιούνιο του 2020 ήταν σταδιακή. Εξαιτίας όμως της εμφάνισης του δεύτερου κύματος εξάπλωσης του ιού, παρατηρήθηκε μία εκ νέου μείωση της κινητικότητας στο τέλος Ιουλίου του 2020. Οι Wang et al. (2021) παρατήρησαν αδράνεια κατά την περίοδο άρσης των μέτρων στην Νέα Υόρκη, καθώς οι μετακινήσεις ήταν τόσο μειωμένες όσο κατά την περίοδο των αυστηρών περιορισμών. Το αντίστοιχο φαινόμενο **απότομης μείωσης αλλά σταδιακής αύξησης** παρατηρήθηκε και σε πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά (Armstrong et al. 2021). Οι Linka et al. (2021), αφού παρατήρησαν το ίδιο σε δέκα χώρες, εξήγησαν πως αυτό συνέβη, επειδή η άρση των περιοριστικών μέτρων έγινε ενώ ακόμη δεν υπήρχε φαρμακευτική παρέμβαση για την εξάπλωση του ιού.

Συνοπτικά, παρατηρήθηκε **σημαντική μείωση της κινητικότητας** παγκοσμίως. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι διακυμάνσεις ανάλογα με την αυστηροποίηση ή την άρση των περιοριστικών μέτρων. Μέχρι στιγμής όμως, οι έρευνες περιορίζονται στην μελέτη του 1^{ου} κύματος. Το τελευταίο ενάμισι έτος, έχουν συμβεί σημαντικές αυξομειώσεις τόσο στο ρυθμό εξάπλωσης όσο και στα επιβαλλόμενα μέτρα, που θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να μελετηθούν οι διαφοροποιήσεις συγκρίνοντας τα διάφορα στάδια.

2.2.2 Αλλαγή Προτίμησης Μέσου

Παράγοντες που 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). Προτεραιότητα δείχνει να είναι η **αποφυγή εστιών μετάδοσης και συνωστισμού**. Έντονη μείωση στην συνολική κινητικότητα παρατηρήθηκε στη Metro Manila των Φιλιππίνων, περισσότερο έντονη όμως, στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς που σημειώθηκε ποσοστό 74,5% (Hasselwander et

al. 2021). Στη Σουηδία, στις τρεις πόλεις με τον περισσότερο πληθυσμό, (Stockholm, Skåne και Västra Götaland) παρατηρήθηκαν ποσοστά μείωσης της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς 60% για τις δύο πρώτες και 40% για την τελευταία (Jenelius et al. 2020). Στην Ινδία, με βάση το ερωτηματολόγιο των Pawar et al. (2020), το 41,65% απάντησαν πως σταμάτησαν τις μετακινήσεις, και το 51,31% συνέχισαν να χρησιμοποιούν το ίδιο μέσο. Ο σημαντικότερος λόγος αυτών των αλλαγών είναι η αίσθηση ασφάλειας. Στην Κρήτη, συγκεκριμένα στα Χανιά και στο Ρέθυμνο, παρατηρείται μείωση με ποσοστό 30% των μέσων μαζικής μεταφοράς και υποχώρηση της χρήσης ιδιωτικών οχημάτων κατά 10,7% κατά την περίοδο των περιοριστικών μέτρων (Tarasi et al. 2021). Στην Σικελία, κατά το Μάρτη του 2020 μειώθηκε η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς κατά 93%. Μετά την άρση των περιορισμών, ενώ η κίνηση σχεδόν επανήλθε και ενώ υπήρχαν μέτρα προστασίας, όπως η χρήση προστατευτικής μάσκας, τα μέσα μαζικής μεταφοράς αποφεύγονταν, καθώς υπήρχε έντονη ανησυχία για την έκθεση στον ιό, οπότε προτιμούνταν η χρήση ιδιωτικού οχήματος ή εναλλακτικές όπως το περπάτημα ή το ποδήλατο. (Campisi et al., 2020).

Βέβαια, κατά τη διάρκεια των περιορισμών μειώθηκε σημαντικά **η μέση απόσταση και άλλαξε ο σκοπός των μετακινήσεων**, που έτσι δικαιολογείται η αύξηση των πεζών και των ποδηλατιστών. Σύμφωνα με το ερωτηματολόγιο των Shamshiripour et al. (2020), προκύπτει πως οι ηλεκτρονικές αγορές για τις βασικές προμήθειες αυξήθηκαν κατά 550% σε σχέση με την προ-κορωνοϊού εποχή. Επίσης, αξιοσημείωτα είναι τα ποσοστά των συμμετεχόντων που πριν την επιβολή των περιοριστικών μέτρων δεν είχαν εμπειρία με την τηλεργασία (71%) και την ηλεκτρονική αγορά των βασικών προμηθειών (55%).

Οι Padmanabhan et al. (2021) παρατήρησαν μείωση στις **μετακινήσεις με ποδήλατα** στη Νέα Υόρκη, στη Βοστώνη και στο Σικάγο κατά την περίοδο αύξησης των κρουσμάτων. Μείωση στις ενοικιάσεις ποδηλάτων παρατηρείται και στο Σικάγο από τους Hu et al. (2021), με ποσοστό 32,5% για το διάστημα Μαρτίου-Ιουνίου σε σύγκριση με την αντίστοιχη περίοδο του 2019. Η διαφορά όμως σε σχέση με τα άλλα μέσα παρατηρείται στο ρυθμό επαναφοράς κατά τον Ιούλιο, που σημειώθηκε ποσοστό 284,0%, σε σχέση με την οδήγηση και το περπάτημα που σημείωσαν 137,5% και 131,6%, αντίστοιχα. Οι Khaddar et al. (2021) υποστηρίζουν πως το ποδήλατο και το περπάτημα συμβάλουν θετικά στην ψυχολογία των ανθρώπων, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά την περίοδο περιορισμών. Οι Joseph Molloy et al. (2020) υποστηρίζουν πως σημαντικός παράγοντας της αύξησης των ποδηλατιστών είναι η σημαντική μείωση των οχημάτων στους δρόμους, που καθιστά πιο φιλική και ασφαλής την κυκλοφορία τους. Εξαιτίας της μεγάλης αυτής στροφής προς το περπάτημα και το ποδήλατο που παρατηρήθηκε σε πάνω από 500 πόλεις στο διάστημα μεταξύ Μαρτίου και Αυγούστου, που ήταν η έξαρση του πρώτου κύματος του ιού, οι Combs et al. (2020) υποστηρίζουν πως πρέπει να γίνουν αλλαγές ώστε στην κυκλοφορία να ενταχθούν και αυτοί οι τρόποι μετακίνησης, για να είναι πιο ασφαλείς όλοι οι χρήστες.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, καθώς άλλαξε η καθημερινότητα, άλλαξαν **οι τρόποι και οι ανάγκες για μετακίνηση**. Αξίζει να ερευνηθεί κατά πόσο αυτές οι αλλαγές έχουν διατηρηθεί στην εξέλιξη της πανδημίας.

2.2.3 Οδική Ασφάλεια

Οι Vingilis et al. (2020) υποστηρίζουν πως παρά την μεγάλη μείωση της κινητικότητας, τα τροχαία ατυχήματα ανά 100 εκατομμύρια μίλια δεν μειώθηκαν, συγκρίνοντας το Μάρτη του 2020 (1,22), με τον ίδιο μήνα του προηγούμενου έτους (1,07). Εξαιτίας της μειωμένης κινητικότητας, **οι οδηγοί έχουν την ευκαιρία να αυξήσουν ταχύτητα** και γενικότερα να προβούν σε επικίνδυνες πράξεις.

Αντίθετα, παρά την μείωση της κινητικότητας που σημειώθηκε και στην Καλιφόρνια και ενώ αυξήθηκε η μέση και η μέγιστη ταχύτητα, **τα τροχαία ατυχήματα μειώθηκαν** (Shilling et al. 2020). Συγκεκριμένα, η πτώση της κινητικότητας ήταν πάνω από 55%, ενώ τα οδικά ατυχήματα μειώθηκαν περίπου στο μισό. Αντίστοιχα στην Τουρκία, που επίσης μειώθηκε σημαντικά η κινητικότητα, τα ατυχήματα με υλικές ζημιές, με τραυματισμένους και νεκρούς σημείωσαν τη μεγαλύτερη μείωση τον Απρίλη του 2020, με ποσοστά 60%, 43% και 64%, αντίστοιχα, σε σχέση με τον Απρίλη του 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 στη Σαουδική Αραβία 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. Στην εν λόγω έρευνα κρίνεται σημαντική η μείωση της κινητικότητας ιδιαίτερα κατά τις πιο επικίνδυνες ώρες, δηλαδή 00.00-05.00. Επίσης, ενώ **η οδηγική συμπεριφορά** κρίνεται πιο επιθετική κατά την περίοδο επιβολής των περιοριστικών μέτρων, καθώς αυξάνεται η μέση ταχύτητα και απότομες επιβραδύνσεις, τα ατυχήματα μειώνονται συγκρίνοντας προ και μετά κορωνοϊού 19 στην Ελλάδα (Katrakazas et al. 2020). Ταυτόχρονα, οι Deepti Muley, et al. (2021) στη Ντόχα παρατήρησαν πως η μείωση της κίνησης δεν συντέλεσε στην αύξηση της επιθετικότητας των οδηγών. Ακόμη, στην Αυστραλία ερευνήθηκε η μείωση της οδήγησης υπό την επήρεια αλκοόλ, που συνδέεται με τον περιορισμό της κυκλοφορίας και το κλείσιμο των χώρων κοινωνικής συναναστροφής (Watson-Brown et al. 2021).

Ενώ εύκολα μπορεί να υποπτευθεί πως η μείωση της κινητικότητας με τόσο μεγάλα ποσοστά όσο αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα παρεννοηθεί από τους οδηγούς και θα προκαλέσει μεγάλη αύξηση της επιθετικής συμπεριφοράς, κάτι τέτοιο, τουλάχιστον, στις περισσότερες χώρες δεν συμβαίνει. Αυτό εξηγείται αφού **η αύξηση της μέσης ταχύτητας** που παρατηρήθηκε είναι **πολύ μικρή** σε σχέση με τη μείωση της κινητικότητας.

2.3 Σύνοψη

Λαμβάνοντας υπόψη τη βιβλιογραφική ανασκόπηση αυτή, 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.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι δημοσιευμένες έρευνες μελετούν κατά κύριο λόγο **το πρώτο κύμα της πανδημίας**, δηλαδή περίπου μέχρι το καλοκαίρι του 2020. Ενάμισι χρόνο όμως μετά, περνώντας διάφορα στάδια μπορεί να γίνει μια πιο ολοκληρωμένη έρευνα. Στο διάστημα αυτό, ιδιαίτερα για την Ελλάδα, υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις στον αριθμό των ημερήσιων κρουσμάτων και αλλαγές των περιοριστικών μέτρων που θέτονται από την κυβέρνηση. Τόσο ο φόβος έκθεσης στον ιό όσο και οι περιορισμοί επηρεάζουν την κινητικότητα και κατά συνέπεια και την συμπεριφορά των οδηγών.

Επιγραμματικά, τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι:

- Η σημαντική μείωση της κινητικότητας, η οποία παρατηρείται σε διαφορετικό βαθμό ανάλογα το μέσο και την εξέλιξη της πανδημίας
- Η αλλαγή προτίμησης μέσου, που γίνεται αισθητή κυρίως κατά τις περιόδους που η κινητικότητα έχει ανοδική πορεία.
- Η μείωση της κυκλοφορίας ακολουθείται και από τη μείωση των ατυχημάτων.

Κατά συνέπεια, η παρούσα Διπλωματική Εργασία θα επιχειρήσει να καλύψει το κενό της υφιστάμενης βιβλιογραφίας και να πραγματοποιήσει μια **διερευνητική μελέτη χρησιμοποιώντας μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών** για δεδομένα οδήγησης κατά τη διάρκεια της πανδημίας του του κορωνοϊού 2019. Η ανάλυση των χρονοσειρών επιλέχθηκε ως η κατάλληλη μεθοδολογία, προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η ημερήσια επίδραση της εξάπλωσης του κορωνοϊού στη οδηγική συμπεριφορά.

Παρατίθεται παρακάτω ο πίνακας 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 (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	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2018	Αναφέρεται στο πρώτο κύμα (Μάρτιος-Μάιος 2020), δεν αναφέρεται σε αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά

		κινητικότητας πριν και μετά		
Έρευνα	Χώρα Μελέτης	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα	Ελλείψεις
Armstrong (2021)	Ηνωμένες Πολιτείες, Καναδάς	Μοντέλα χρονοσειρών	Μείωση και επαναφορά της κινητικότητας	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Badr (2020)	Ηνωμένες Πολιτείες	Πίνακες προέλευσης-προορισμού, ομαδοποίηση των μεταβλητών, υπολογισμός συσχέτισης	Υπολογισμός συσχέτισης της κινητικότητας με την εξάπλωση των ιού (συνυπολογίζοντας κρούσματα και θανάτους)	Δεν αναφέρεται στην οδηγική συμπεριφορά, αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Ιανουάριος-Απρίλιος 2020)
Beck (2020)	Αυστραλία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Ανάλυση κινητικότητας σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού	Αναφέρεται στο δεύτερο κύμα (Μάιος-Ιούλιος 2020), δεν αναφέρεται σε αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά
Bucsky (2020)	Βουδαπέστη, Ουγγαρία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2017 και το 2018	Σύγκριση μικρών χρονικών περιόδων (το 1ο με το 2ο 15μερο του Μάρτη 2020), δεν αναφέρεται σε αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά
Burstein (2020)	Washington	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας πριν και μετά την επιβολή των περιοριστικών μέτρων	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Campisi (2020)	Σικελία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Προτιμήσεις χρηστών ως προς τα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια της πανδημίας	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Combs (2021)	-	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Προτιμήσεις χρηστών ως προς τα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια της πανδημίας	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Μάρτιος-Αύγουστος 2020), δεν αναφέρεται σε αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά
DeHaas (2020)	Ολλανδία	Ερωτηματολόγιο και έλεγχος χ2	Προτιμήσεις χρηστών ως προς τα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια της πανδημίας	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας.
Fatmi (2021)	-	Ποσοστιαίες μεταβολές εξωτερικών δραστηριοτήτων πριν και μετά	Επιρροή των περιοριστικών μέτρων στις εξωτερικές δραστηριότητες	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Favale (2020)	Τορίνο, Ιταλία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση της κινητικότητας πριν και μετά το κλείσιμο του Πανεπιστημίου του Τορίνο	Αναφέρεται στο πρώτο κύμα της Ιταλίας (Φεβρουάριος-Απρίλιος 2020)
Gao (2020)	Ηνωμένες Πολιτείες	Μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση κινητικότητας κατά την επιβολή και την άρση των μέτρων	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Μάρτιος-Μάιος 2020)

Hadjidemetriou (2020)	Ηνωμένο Βασίλειο	Λογιστικό μοντέλο	Υπολογισμός συσχέτισης της κινητικότητας με τον αριθμό των θανάτων	Δεν αναφέρεται στην οδηγική συμπεριφορά, αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Μάρτιος-Μάιος 2020)
Έρευνα	Χώρα Μελέτης	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα	Ελλείψεις
Hasselwander (2021)	Metro Manila, Φιλιππίνες	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας πριν και μετά την εφαρμογή των περιοριστικών μέτρων	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Hu (2021)	Σικάγο	Λογιστικό μοντέλο	Επιρροή του Covid-19 στις ενικοιότητες ποδηλάτων	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Islind (2020)	-	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας πριν και μετά την εφαρμογή των περιοριστικών μέτρων, για διάφορες χώρες της Ευρώπης	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Jenelius (2020)	Σουηδία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2019	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Jonas De Vos (2020)	-	Υποθέσεις για την αλλαγή συμπεριφοράς	Προτιμήσεις χρηστών ως προς τα μέσα μεταφοράς κατά τη διάρκεια της πανδημίας	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας.
Katrakazas (2020)	Ελλάδα και Σαουδική Αραβία	Διερευνητική ανάλυση μεταξύ χωρών	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2019	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Ιανουάριος-Απρίλιος 2020)
Katrakazas (2021)	Ελλάδα	Νατουραλιστικά δεδομένα και προβλέψεις με τη χρήση χρονοσειρών	Σύγκριση δεδομένων οδικής συμπεριφοράς προ και μετά Covid-19	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Ιανουάριος-Απρίλιος 2020)
Khaddar (2021)	Kelowna, Καναδάς	LSOL model και έλεγχος χ^2	Επιρροή των διαφορετικών μετακινήσεων στην ψυχολογία	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Klein (2020)	Ηνωμένες Πολιτείες	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Ανάλυση κινητικότητας σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Kraemer (2020)	Κίνα	Συσχέτιση κρουσμάτων με τα περιοριστικά μέτρα	Μέτρα προστασίας για τον περιορισμό της εξάπλωσης του Covid-20	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Linka (2021)	-	Λογιστικό μοντέλο	Μείωση και επαναφορά της κινητικότητας	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Maiti (2021)	Ηνωμένες Πολιτείες	Λογιστικό μοντέλο	Επιρροή του Covid-19 στις μετακινήσεις	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Molloy (2021)	Ελβετία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2019	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Ιανουάριος-Μάιος 2020)
Muley (2020)	-	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Ανάλυση επιρροής διαφόρων πανδημιών στην κινητικότητα	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας, δεν αναφέρεται σε αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά

Muley (2021)	Ντόχα, Κατάρ	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Ανάλυση κινητικότητας σε αντιστοιχία με τα μέτρα περιορισμού	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Ιανουάριος-Μάιος 2020), δεν αναφέρεται σε αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά
Nouvellet (2021)	Ηνωμένο Βασίλειο	Λογιστικό μοντέλο	Συσχέτιση της κινητικότητας με την εξάπλωση του Covid-19	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Έρευνα	Χώρα Μελέτης	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα	Ελλείψεις
Oguzoglu (2020)	Τουρκία	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας και ατυχημάτων πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας πριν και μετά, και σύγκριση δεδομένων ατυχημάτων με το 2018	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Μάρτιος-Απρίλιος 2020)
Padmanabhan (2021)	Νέα Υόρκη, Βοστώνη και Σικάγο	Συσχέτιση και έλεγχος χ^2	Συσχέτιση του αριθμού των κρουσμάτων με τις μετακινήσεις με ποδήλατο	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Pawar (2020)	Ινδία	Ερωτηματολόγιο	Επιρροή του Covid-19 στις μετακινήσεις	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Politis (2021)	Θεσσαλονίκη, Ελλάδα	Ερωτηματολόγιο και παλινδρόμηση ελάχιστων τετραγώνων	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας με το 2019	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Roe (2020)	ΗΠΑ	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας 2019-2020 για του ηλικιωμένους	Αναφέρεται μόνο για συγκεκριμένη ηλικιακή κατηγορία
Shamshiripour (2020)	Σικάγο	Ερωτηματολόγιο	Επιρροή του Covid-19 στις μετακινήσεις	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Shilling (2020)	Καλιφόρνια	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας και ατυχημάτων πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας πριν και μετά, και σύγκριση δεδομένων ατυχημάτων με το 2019	Αναφέρεται σε μικρή χρονική περίοδο (Μάρτιος-Απρίλιος 2020)
Stavrinou (2020)	-	Ποσοστιαίες μεταβολές κινητικότητας πριν και μετά	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας πριν και μετά την επιβολή των περιοριστικών μέτρων	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Tarasi (2021)	Κρήτη, Ελλάδα	Ερωτηματολόγιο	Επιρροή του Covid-19 στις μετακινήσεις	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Thakkar (2020)	Washington	Συσχέτιση κρουσμάτων με τα περιοριστικά μέτρα	Μέτρα προστασίας για τον περιορισμό της εξάπλωσης του Covid-19	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Vingilis (2020)	-	Ποσοστιαίες μεταβολές ατυχημάτων πριν και μετά	Επιρροή του Covid-19 στην οδηγική συμπεριφορά	Δεν επαληθεύεται με δεδομένα κινητικότητας
Wang (2021)	Νέα Υόρκη	Λογιστικό μοντέλο	Σύγκριση δεδομένων κινητικότητας κατά την επανέναρξη των δραστηριοτήτων	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
Watson-Brown (2021)	Queensland, Αυστραλία	IBM Στατιστικά πακέτα και με γραμμική παλινδρόμηση	Επιρροή του Covid-19 στην οδηγική συμπεριφορά	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά

Yuan (2020)	Ευρωπαϊκές χώρες	Λογιστικό μοντέλο	Μέτρα προστασίας για τον περιορισμό της εξάπλωσης του Covid-19	Δεν αναφέρεται σε οδηγική συμπεριφορά
-------------	------------------	-------------------	--	---------------------------------------

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, στο οποίο βασίστηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία. Για την περιγραφή και την εκτίμηση της αλληλουχίας των δεδομένων αναπτύχθηκαν μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών, των οποίων τα χαρακτηριστικά θα αναλυθούν παρακάτω. Έπειτα, παρουσιάζονται τα κριτήρια αξιολόγησης και αποδοχής των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

3.2 Μαθηματικά Μοντέλα

3.2.1 Μοντέλο VAR

Το Vector Autogression (VAR) (Sims 1980) είναι **μοντέλο πολλαπλών χρονοσειρών**, δηλαδή χρησιμοποιείται όταν αλληλοεπιδρούν δύο ή περισσότερες χρονοσειρές. Στα συγκεκριμένα μοντέλα οι προβλέψεις προκύπτουν από συναρτήσεις με τις προηγούμενες τιμές της χρονοσειράς, ενώ δεν απαιτούνται πολύ ισχυρές συσχετίσεις για την πρόβλεψη τους. Η κύρια διαφορά με τα άλλα Autoregressive models, όπως AR, ARMA και ARIMA, είναι πως τα VAR είναι αμφίδρομα. Αντίθετα, στα άλλα μοντέλα η εξαρτημένη μεταβλητή, στην προκειμένη περίπτωση χρονοσειρά, επηρεάζει την ανεξάρτητη, όμως το αντίστροφο δεν συμβαίνει.

Τα VAR χρησιμοποιούνται για την **πρόβλεψη και την ανάλυση χρονοσειρών**. Τα VAR αποδεικνύεται πως είναι αποτελεσματικότερα για πρόβλεψη από τα υπόλοιπα μοντέλα, ιδιαίτερα μακροπρόθεσμα, για αυτό και έχουν επισκιάσει τα συνηθισμένα μοντέλα πρόβλεψης. Επίσης, εξετάζουν και εντοπίζουν τις διακυμάνσεις των χρονοσειρών που τα υπόλοιπα μοντέλα υστερούν σημαντικά.

Τα VAR συμβολίζονται VAR(p), όπου p είναι ο αριθμός των βημάτων προς τα πίσω, που γίνονται για την πρόβλεψη. Ένα μοντέλο VAR έχει την μορφή:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + u_t$$

Όπως φαίνεται παραπάνω, στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης βρίσκονται μόνο τιμές προηγούμενων βημάτων της μεταβλητής. Οι σχέσεις είναι όσες και ο αριθμός των χρονοσειρών που αλληλοεπιδρούν.

3.2.2 Μοντέλο SVAR

Τα VAR προβλέπουν τις ενδογενείς μεταβλητές αποκλειστικά από την ιστορία των ίδιων. Αυτό το κενό καλύπτουν Structural Vector Autoregressive Models (**SVAR**) (Amisano and Giannini 1997), όπου παρακάμπτουν τις ελλείψεις των VAR. Η μορφή τους είναι:

$$Ay_t = A_1^* y_{t-1} + \dots + A_p^* y_{t-p} + B\varepsilon_t,$$

Όπου ε_t είναι το σφάλμα.

Η ανάπτυξη ενός μοντέλου SVAR στηρίζεται **στα μητρώα A και B** (Jan Gottschalk, 2001). Η διάσταση των μητρώων αυτών είναι ίση με το τετράγωνο του αριθμού των εξισώσεων του μοντέλου VAR. Για την παρούσα Διπλωματική Εργασία, τα μοντέλα VAR αναπτύχθηκαν με δύο μεταβλητές, οπότε είχαν 2 εξισώσεις, άρα τα μητρώα A και B των μοντέλων SVAR θα έχουν διαστάσεις 2x2. Τα στοιχεία τους πρέπει να είναι κενά ή πραγματικοί αριθμοί. Στο μητρώο A ορίζονται τα διαγώνια στοιχεία ως μονάδα και ενώ στο B ως κενά, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία παίρνουν τη μορφή 0. Παίρνουν την παρακάτω μορφή:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ και } B = \begin{bmatrix} \cdot & 0 \\ 0 & \cdot \end{bmatrix}$$

Πολύ σημαντικό για τα SVAR μοντέλα είναι η **συνάρτηση προώθησης** (impulse response functions, IRF), η οποία εξετάζει την αντίδραση των χρονοσειρών σε απότομη διακύμανση κάποια από τις μεταβλητές του μοντέλου. Το **γράφημα IRFs** προβλέπει την πορεία της χρονοσειράς σε περίπτωση απότομης μεταβολής, η οποία δεν είναι πραγματική. Ο οριζόντιος άξονας για κάθε γράφημα είναι στη μονάδα χρόνου, στην οποία υπολογίζεται το μοντέλο. Ως εκ τούτου, το γράφημα IRFs δείχνει την επίδραση μιας απότομης διακύμανσης σε μια περίοδο. Ο κατακόρυφος άξονας βρίσκεται στη μονάδα των μεταβλητών του μοντέλου, που μετρούνται οι ποσοστιαίες διακυμάνσεις των μεταβλητών.

Επίσης χαρακτηριστικό των μοντέλων SVAR είναι το **σφάλμα διακύμανσης της πρόβλεψης** (forecast variance error decompositions, FEVD). Το **γράφημα FEVD** ποσοτικοποιεί την επιρροή κάθε απότομης διακύμανσης της μεταβλητής στις περιόδους. Δηλαδή, δείχνει πόσο επηρεάζεται η μεταβλητή με το πέρασμα του χρόνου από τη διακύμανση, που λαμβάνεται υπόψη για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου μοντέλου. Στο γράφημα αυτό, ο κάθετος άξονας είναι στη μονάδα του χρόνου και ο οριζόντιος είναι 0-100%, δείχνοντας το ποσοστό επιρροής.

3.2.3 Διαδικασία Ανάπτυξης Μοντέλων VAR και SVAR

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη μοντέλων VAR είναι το **Cointegration test** (Robert Engle και Clive Granger, 1987). Με τον έλεγχο αυτό, εξετάζεται αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ δύο μη στάσιμων χρονοσειρών. Ελέγχεται δηλαδή αν η απόκλιση μεταξύ τους μεταβάλλεται μακροπρόθεσμα ή έχουν κοινή τάση με την πάροδο του χρόνου. Το αποτέλεσμα του Cointegration test είναι ένα μητρώο 3x3, που οι στήλες του είναι η παράμετρος lag, ο στατιστικός έλεγχος, και η τιμή του p-value και οι γραμμές οι τρεις τύποι συσχέτισης, χωρίς συσχέτιση, γραμμική συσχέτιση και τετραγωνική τάση. Αν η τιμή του p-value είναι μικρότερη από 0,05, θεωρούμε πως η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών είναι στατιστικά σημαντική στον αντίστοιχο τύπο.

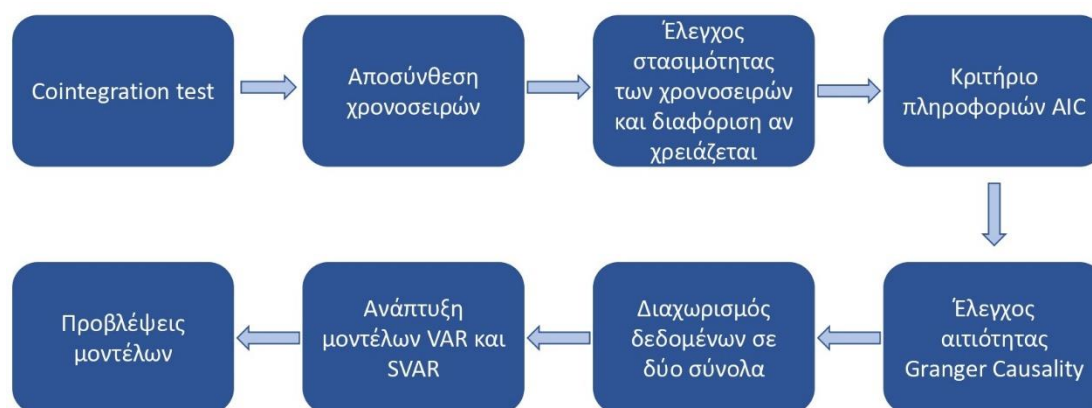
Στη συνέχεια, για την ανάπτυξη μοντέλων VAR χρειάζεται να γίνει η **αποσύνθεση των χρονοσειρών** (time-series decomposition), ώστε να απομονωθούν μεμονωμένα χαρακτηριστικά των δεδομένων των χρονοσειρών, όπως η τάση, η εποχικότητα και τα υπολείμματα. Χρησιμοποιείται, ο έλεγχος Augmented Dickey-Fuller (ADF), ο οποίος αφορά στη στασιμότητα των χρονοσειρών, δηλαδή το εάν οι διακυμάνσεις των τιμών των χρονοσειρών

διαφοροποιούνται με τον χρόνο. Μια χρονοσειρά με εποχικότητα, δηλαδή εποχική διακύμανση, δεν είναι στάσιμη αλλά μπορεί να μετατραπεί μέσω της μεθόδου διαφοροποίησης (first differencing), δηλαδή της διαφοράς μεταξύ δύο διαδοχικών παρατηρήσεων. Είναι πιθανό και μετά την πρώτη διαφοροποίηση, να μην έχουν γίνει στάσιμες όλες οι χρονοσειρές. Σε αυτήν την περίπτωση επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για δεύτερη φορά είτε για όσες φορές απαιτείται, ώστε όλες οι χρονοσειρές να είναι στάσιμες. Σε ένα μοντέλο VAR είναι απαραίτητο όλες οι χρονοσειρές που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του μοντέλου να είναι διαφοροποιημένες τις ίδιες φορές.

Η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου VAR, επιτυγχάνεται μέσω των στατιστικών υπολογιστικών πακέτων του προγραμματιστικού περιβάλλοντος R, που προκύπτουν **τα κριτήρια πληροφοριών Akaike (AIC)** (Akaike 1973), Schwarz (SC) (Schwarz 1978), το κριτήριο Hannan-Quinn (HQ) (Hannan and Quinn 1979), και το τελικό προβλεπόμενο σφάλμα (Final Prediction Error, FPE) (Akaike 1969). Τα AIC και FPE είναι καταλληλότερα για την μελέτη μικρών δειγμάτων και έχουν τη μικρότερη πιθανότητα υποεκτίμησης του lag. Η πιθανότητα υπερεκτίμησης σε όλα τα κριτήρια είναι αμελητέα (Venus Khim-Sen Liew, 2004).

Πολύ σημαντικός έλεγχος πριν την ανάπτυξη των VAR, είναι **ο έλεγχος αιτιότητας Granger Causality**, (Granger 1981 and Engle and Granger 1987). Με τον έλεγχο αυτόν εξετάζεται εάν η μια χρονοσειρά είναι χρήσιμη για την πρόβλεψη της άλλης. Σε περίπτωση που ο έλεγχος αυτός δεν ικανοποιείται, το συγκεκριμένο μοντέλο απορρίπτεται. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί, πως εξαιτίας της αμφίδρομης σχέσης μεταξύ των χρονοσειρών στα μοντέλα VAR, απαιτείται να εξεταστεί η αιτιότητα και προς τις δύο κατευθύνσεις, καθώς ο έλεγχος Granger Causality δεν εξετάζει την αμφίδρομη αιτιότητα.

Πριν την εφαρμογή των μοντέλων τα διαθέσιμα δεδομένα χωρίζονται σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για την εξάσκηση του μοντέλου (**train set**), ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των προβλέψεων (**test set**). Έπειτα, οι προβλέψεις των μοντέλων (**forecast set**) συγκρίνονται με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση. Στην προκειμένη περίπτωση, τα δεδομένα χωρίστηκαν από τον Ιανουάριο-Αύγουστο 2020, το πρώτο σύνολο, ενώ το δεύτερο αποτελείται από τα δεδομένα που αφορούν το υπόλοιπο έτος 2020, Σεπτέμβριος-Δεκέμβριο 2020.



Γράφημα 2.1: Διάγραμμα ροής των σταδίων για την ανάπτυξη μοντέλων

3.3 Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου

Αφού αναπτυχθούν τα μοντέλα, απαιτείται να αξιολογηθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων τους. Γι' αυτό το σκοπό, χρησιμοποιούνται τα εξής κριτήρια:

R²,

- Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE), δηλαδή ο μέσος όρος του απόλυτου σφάλματος:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |e_t|$$

- Μέσο τετραγωνικού σφάλμα (MSE), δηλαδή ο μέσος όρος του τετραγώνου του σφάλματος:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n e_t^2$$

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n e_t^2}$$

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

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{|e_t|}{dt}$$

- Συντελεστής προσδιορισμού R², δηλαδή μονάδα ελαττωμένη κατά τον λόγο του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων των προβλέψεων προς το άθροισμα των τετραγώνων της διαφοράς των παρατηρήσεων με το μέσο όρο τους:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}$$

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί **η συλλογή και η επεξεργασία των στοιχείων** που χρησιμοποιήθηκαν, έτσι ώστε να δοθεί μία πλήρης εικόνα της αξιοπιστίας και της ποιότητας τους. Αρχικά, παρουσιάζονται για τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω της εφαρμογής της εταιρείας OSeven (oseven.io | [A Mobile Telematics Platform](#)). Στη συνέχεια, παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες και διαγράμματα που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του δείγματος, ακολουθούμενοι από τον απαραίτητο σχολιασμό.

4.2 Συλλογή Στοιχείων

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, για τη διερεύνηση της επιρροής της πανδημίας στην κινητικότητα αξιοποιούνται δεδομένα κυρίως από έξυπνα κινητά τηλέφωνα και ερωτηματολόγια. Στην παρούσα διπλωματική εργασία όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την ανάλυση της οδηγικής συμπεριφοράς προέρχονται από τη χρήση λεπτομερών **δεδομένων φυσικής οδήγησης που έχουν συλλεχθεί από το κινητό τηλέφωνο του οδηγού**.

4.2.1 OSeven

Η **OSeven** είναι μια εταιρεία τηλεματικής η οποία έχει δημιουργήσει μια εφαρμογή κατάλληλη για έξυπνα κινητά τηλέφωνα με σκοπό να συλλέγει στοιχεία που αφορούν τον τρόπο οδήγησης και συμπεριφοράς των οδηγών. Μέσω της καινοτόμου εφαρμογής της, οι οδηγοί μπορούν να παρακολουθούν την οδηγική τους συμπεριφορά, να εντοπίζουν τα αδύνατα σημεία τους στην οδήγηση, να συγκρίνουν την απόδοσή τους με άλλους οδηγούς και να βελτιώνονται συνεχώς. Τελικός στόχος αυτής της εταιρείας είναι να ενημερώνει τους οδηγούς για τα αδύναμα σημεία στην οδήγηση τους ώστε να συνεισφέρει στην ανάπτυξη ενός ασφαλέστερου οδικού δικτύου.

Η **καταγραφή των δεδομένων** ξεκινάει αυτόματα όταν αναγνωρίζεται από τους αισθητήρες των κινητών τηλεφώνων μια κατάσταση οδήγησης και σταματάει αυτόματα όταν αναγνωρίζεται κατάσταση μη οδήγησης. Όμως η διακοπή της καταγραφής δεν ολοκληρώνεται αμέσως με την ακινητοποίηση του οχήματος, αλλά μετά το χρονικό διάστημα των πέντε λεπτών καθώς θεωρείται ότι ο οδηγός έκανε μια ολιγόλεπτη στάση και μετά συνεχίζει την διαδρομή του. Τα καταγεγραμμένα στοιχεία προέρχονται από τους διάφορους αισθητήρες των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphone) και αλγόριθμους συγχώνευσης (fusion algorithms) δεδομένων που παρέχονται από το Android (Google) και το iOS (Apple).

Η εφαρμογή κινητού τηλεφώνου που έχει αναπτυχθεί, **καταγράφει τη συμπεριφορά του χρήστη** χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες της συσκευής επιταχυνσιόμετρο (Accelerometer), γυροσκόπιο (Gyroscope), μαγνητόμετρο (Magnetometer), GPS (ταχύτητα, πορεία, γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος). Επιπλέον για να διαβαστούν τα δεδομένα που κατέγραψαν οι αισθητήρες και να αποθηκευτούν προσωρινά στη συσκευή χρησιμοποιείται μια

ποικιλία APIs (Application Programming Interface). Έπειτα αυτά τα στοιχεία στέλνονται μέσω σύνδεσης στο διαδίκτυο (είτε με Wi-Fi είτε με δίκτυο 3G / 4G) στην κεντρική βάση δεδομένων του OSeven backend office και ταυτόχρονα διαγράφονται από την μνήμη του κινητού τηλεφώνου ώστε να είναι έτοιμο να καταγράψει στην επόμενη διαδρομή. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο σύστημα χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές κρυπτογράφησης και ασφάλειας δεδομένων, σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και τις οδηγίες της ΕΕ για την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται υποστηρίζουν τον έλεγχο ταυτότητας του χρήστη και την κρυπτογράφηση για να αποτρέπεται η πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένα δεδομένα από τρίτους. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των δεδομένων:



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα ροής δεδομένων, Πηγή: oseven.io | A Mobile Telematics Platform

Αφού τα δεδομένα αποθηκευτούν στον εξυπηρετητή για να πραγματοποιηθεί η **κεντρική επεξεργασία και η μείωση της διάστασης των δεδομένων**, ώστε να μετατραπούν τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε σημαντικές πληροφορίες σχετικές με την οδική ασφάλεια. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις δύο μεγάλες μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων που περιλαμβάνουν δύο οικογένειες τεχνικών, **τεχνικές εξόρυξης μεγάλων δεδομένων και αλγόριθμους Machine Learning (ML)**. Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η εξής:

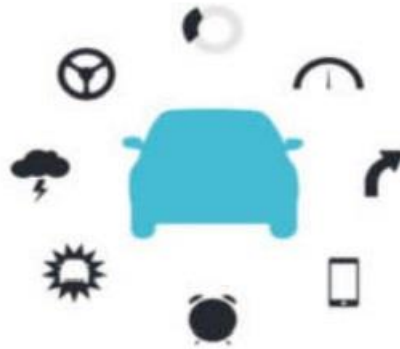
- Εξομάλυνση δεδομένων (όπου χρειάζεται)
- Εντοπισμός απότομων συμβάντων (απότομων επιταχύνσεων, φρεναρισμάτων και στροφών) και χρήσης κινητού τηλεφώνου (ομιλία, σύνταξη μηνυμάτων, πλοήγηση στο διαδίκτυο)
- Προσδιορισμός μέσου μεταφοράς(αυτοκίνητο, μοτοσικλέτα, μαζική μεταφορά)
- Προσδιορισμός τρόπου μετακίνησης (αυτοκίνητο Ι.Χ., μέσα μαζικής μεταφοράς, ποδήλατο, μοτοποδήλατο)
- Φιλτράρισμα δεδομένων και ανίχνευση τιμών που αποκλίνουν
- Οδήγηση εντός επικίνδυνων ωρών (απόσταση σε επικίνδυνες ώρες)
- Καθορισμός οδηγού ή επιβάτη
- Περιοχές υπερβολικής ταχύτητας

Έπειτα υπολογίζεται μια ποικιλία διαφορετικών μετά-δεδομένων τα οποία είναι χρήσιμα στον χρήστη ή στην αξιολόγηση της οδηγικής συμπεριφοράς, όπως για παράδειγμα:

Δείκτες έκθεσης κινδύνου:

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

- Περίοδος της ημέρας που πραγματοποιήθηκε η οδήγηση (ώρες αιχμής, επικίνδυνες ώρες)
 - Καιρικές Συνθήκες
 - Σκοπός του ταξιδιού
- συνδυασμένα με άλλες πηγές δεδομένων (όρια ταχυτήτων και λεπτομερείς χάρτες ατυχημάτων).



Εικόνα 4.2: Δείκτες κινδύνου οδήγησης, Πηγή: [oseven.io | A Mobile Telematics Platform](https://oseven.io)

Δείκτες οδηγικής συμπεριφοράς:

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

Αυτοί οι δείκτες μαζί με άλλα δεδομένα (π.χ. δεδομένα από χάρτες) αξιοποιούνται διαδοχικά για να εφαρμοστεί η στατιστική ανάλυση ατομικά σε κάθε οδηγό, σε όλους τους τύπους οδών (αστική οδός, αυτοκινητόδρομος κλπ.) και κάτω από **διάφορες συνθήκες** οδήγησης, επιτρέποντας τη δημιουργία μιας μεγάλης βάσης δεδομένων με οδηγικά χαρακτηριστικά.

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων είναι η **ανάπτυξη του μοντέλου οδηγικής συμπεριφοράς**. Η εταιρεία OSeven χρησιμοποιεί ένα εξελιγμένο μοντέλο βαθμολόγησης ώστε να αξιολογήσει τον χρήστη για κάθε ταξίδι και κατ' επέκταση να υπολογίσει τη συνολική του βαθμολογία. Αυτό επιτυγχάνεται από την ανάπτυξη ορισμένων δεικτών, οι οποίοι αξιολογούν τη συμπεριφορά του οδηγού το χρονικό διάστημα που οδηγεί καθώς και τα σφάλματα που κάνει. Στο τέλος αποθηκεύεται όλη η διαδικασία σε μια βάση ανά ταξίδι-διαδρομή για κάθε οδηγό με τελικό στόχο να κατασκευασθεί το τελικό σύστημα βαθμολόγησης του κάθε οδηγού.

Από την άλλη πλευρά κάθε χρήστης, που έχει κατεβάσει τη συγκεκριμένη εφαρμογή και δίνει την δυνατότητα στην OSeven να συλλέγει τα στοιχεία του από τις διαδρομές που πραγματοποιεί, μπορεί να **έχει πρόσβαση στην εφαρμογή έξυπνων κινητών τηλεφώνων και στη Διαδικτυακή Πύλη** και να πληροφορείται για τα αποτελέσματα που εξάγονται. Επομένως μπορεί να

ενημερώνεται ανά πάσα στιγμή όχι μόνο για την θέση του στον χάρτη ή για την βαθμολογία που του απονέμεται αλλά και σε ποια οδικά τμήματα εμφάνισε επιθετική συμπεριφορά ή έκανε σφάλματα ώστε να αποφευχθούν παρόμοιες ενέργειες στο μέλλον.



Εικόνα 4.3: Εφαρμογή στο κινητό τηλέφωνο και διαδικτυακή πλατφόρμα, Πηγή: oseven.io | [A Mobile Telematics Platform](#)

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματική Εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια στοιχεία που συλλέχθηκαν και οργανώθηκαν σε ένα **ενιαίο αρχείο** μορφής csv, από την εταιρεία OSeven σε ένα χρονικό διάστημα ενός χρόνου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο σε αστικό όσο και σε υπεραστικό περιβάλλον και αυτοκινητόδρομο και για κάθε διαδρομή καταγράφηκαν διάφορα χαρακτηριστικά της οδήγησης όπως η μέση ταχύτητα, μέση επιτάχυνση, η απόσταση διαδρομής, το χρονικό διάστημα διαδρομής και άλλα, από όπου προέκυψαν τα ημερήσια δεδομένα. Παρακάτω επισημαίνονται η ερμηνεία των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μοντέλων, από το παραπάνω αρχείο:

- Date: η ημερομηνία
- ha/100km: ο ημερήσιος αριθμός απότομων επιταχύνσεων ανά 100 km
- hb/100km: ο ημερήσιος αριθμός απότομων επιβραδύνσεων ανά 100 km
- avg driving speed: η μέση ημερήσια ταχύτητα των καταγεγραμμένων διαδρομών
- sum_speeding/driving duration: η ημερήσια διάρκεια διαδρομής

4.2.2 Επιδημιολογικά Δεδομένα

Όσον αφορά στα μέτρα περιορισμού, αξιοποιήθηκε η διαδικτυακή βάση καταγραφής **των επιδημιολογικών δεδομένων** (ΕΟΔΥ 2021) και **των κυβερνητικών πολιτικών σχετικά με τον κορωνοϊό 2019 του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης** (Oxford COVID-19 Response Tracker).

Στη **διαδικτυακή βάση του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης** 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 23 δείκτες, όπως το κλείσιμο σχολείων και πανεπιστημίων, περιορισμοί στις εσωτερικές

μετακινήσεις μεταξύ πόλεων και περιοχών, η πολιτική εμβολιασμού που ακολουθείται από κάθε χώρα.

Στην παρούσα εργασία, ο **δείκτης αυστηρότητας** που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των μοντέλων (**Stringency index**), καταγράφει την αυστηρότητα των πολιτικών που ακολουθήθηκε από κάθε χώρα που περιορίζουν κυρίως τη συμπεριφορά των ανθρώπων. Υπολογίζεται από τους δείκτες περιορισμών και κλεισίματος και έναν δείκτη που καταγράφει τις εκστρατείες ενημέρωσης των πολιτών. Ο δείκτης αυτός κυμαίνεται από 0-100, ανάλογα με τα μέτρα που έχουν επιβληθεί.

Οι **δείκτες περιορισμών και κλεισίματος** καταγράφουν μέτρα όπως το κλείσιμο σχολείων και πανεπιστημίων, κλείσιμο χώρων εργασίας, αναστολή δημόσιων εκδηλώσεων, αναστολή συναθροίσεων, κλείσιμο δημόσιων μέσων μεταφοράς, υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή, περιορισμοί στις εσωτερικές μετακινήσεις μεταξύ πόλεων και περιοχών, έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια).

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μοντέλων, όπως περιέχονται στη βάση δεδομένων:

- GRTotalCases: ο συνολικός αριθμός καταγεγραμμένων κρουσμάτων κορωνοϊού στην Ελλάδα
- GRTotalDeaths: ο συνολικός αριθμός καταγεγραμμένων απωλειών εξαιτίας του κορωνοϊού στην Ελλάδα
- StringencyIndex: ο δείκτης αυστηρότητας των περιορισμών όπως ορίστηκε από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης.

4.3 Επεξεργασία Δεδομένων

Εισάγοντας το αρχείο Excel στο προγραμματιστικό περιβάλλον, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων. Αρχικά απομονώθηκαν οι στήλες που θα χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μοντέλων. Στη συνέχεια, οι εναπομείναντες μεταβλητές μετατράπηκαν σε χρονοσειρές και έγινε η αποσύνθεση τους καθώς και ο έλεγχος τη στασιμότητας τους. Χρειάστηκε να γίνει διαφόριση 2 φορές, προκειμένου όλες οι χρονοσειρές να είναι στάσιμες, εφόσον απαιτείται να είναι όλες ίδιου αριθμού διαφοροποιημένες.

4.4 Περιγραφική Στατιστική

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία (δηλ. ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή) των ημερήσιων δεδομένων για την Ελλάδα.

Πίνακας 4.1: Περιγραφική στατιστική των δεδομένων

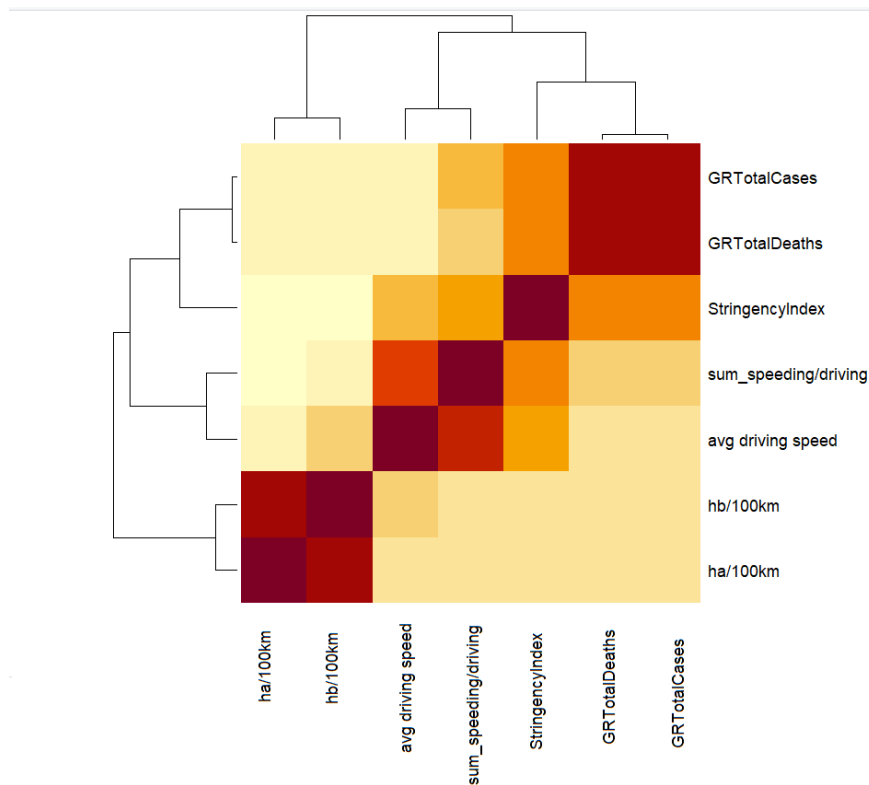
	ha/100 km	hb/100 km	avg driving speed	sum_speed ing/ driving duration	GR Total Cases	GR Total Deaths	Stringency Index
mean	11,89	16,50	42,91	0,06	21796	570	53,30
sd	1,86	3,23	2,11	0,01	38157	1071	27,31
median	11,95	15,96	42,53	0,06	3445	192	57,41
trimmed	11,94	16,35	42,76	0,06	12109	271	56,04
mad	1,70	3,26	2,06	0,01	5108	254	24,71
min	6,37	9,39	38,79	0,03	0	0	0,00
max	18,04	28,75	49,68	0,09	138850	4838	84,26
range	11,67	19,35	10,89	0,06	138850	4838	84,26
skew	-0,20	0,53	0,62	0,35	2	3	-0,84
kurtosis	0,19	0,09	-0,30	-0,15	3	6	-0,33
se	0,10	0,17	0,11	0,00	1995	56	1,43

4.5 Συσχέτιση Μεταβλητών

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα, εξετάστηκε η συσχέτιση των μεταβλητών (correlation), όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2. Επίσης, στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η συσχέτιση των μεταβλητών, όπου το πιο θερμό χρώμα συμβολίζει την μεγαλύτερη τιμή του μεγέθους.

Πίνακας 4.2: Συσχέτιση δεδομένων

	ha.100 km	hb.100km	avg.driv.s p.	sum_sp.d riv.d	GRTot Cases	GRTot Deaths	String.I ndex
ha.100km	1,000	0,763	-0,192	-0,215	-0,168	-0,170	-0,149
hb.100km	0,763	1,000	-0,005	-0,105	-0,179	-0,155	-0,122
avg.driv.speed	-0,192	-0,005	1,000	0,711	-0,113	-0,124	0,319
sum_sp.driv.d.	-0,215	-0,105	0,711	1,000	0,167	0,128	0,426
GRTotCases	-0,168	-0,179	-0,113	0,167	1,000	0,962	0,470
GRTotDeaths	-0,170	-0,155	-0,124	0,128	0,962	1,000	0,444
String.Index	-0,149	-0,122	0,319	0,426	0,470	0,444	1,000



Γράφημα 4.1: Διάγραμμα συσχέτισης μεγέθους με θερμότητα χρώματος για τα δεδομένα

Συνοψίζοντας, η διαδικασία της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων ξεκινά με την συλλογή των στοιχείων της οδηγικής συμπεριφοράς και των επιδημιολογικών δεδομένων (τα κρούσματα, τις απώλειες και τα επιβαλλόμενα μέτρα στην Ελλάδα), από την τηλεματική εταιρία OSeven. Συνεχίζει με την εύρεση των περιγραφικών στατιστικών στοιχείων των δεδομένων και τελειώνει με τη δημιουργία της τελικής βάσης δεδομένων προς επεξεργασία, πάνω στην οποία θα στηριχθεί η ανάλυση με χρονοσειρές και τα θα αναπτυχθούν τα τελικά μοντέλα.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Εισαγωγή

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 πολλαπλών χρονοσειρών VAR και SVAR** μέσω κατάλληλου κώδικα της προγραμματιστικής γλώσσας R για την εκτίμηση της επίδρασης της εξέλιξης της πανδημίας του κορωνοϊού 19 στην οδηγική συμπεριφορά στην Ελλάδα. Τα δεδομένα αποτελούνται από 2 κατηγορίες, εκείνα που αφορούν στην οδηγική συμπεριφορά και εκείνα που σχετίζονται με την εξέλιξη της πανδημίας. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως στα συγκεκριμένα μοντέλα δεν τίθεται θέμα ενδογενών μεταβλητών, καθώς εξετάζονται αμφίδρομες σχέσεις. Τα τελικά στατιστικά σημαντικά μοντέλα που προκύπτουν αξιολογούνται από τα προαναφερθέντα κριτήρια ελέγχου και αποδοχής.

5.2 Μοντέλα VAR

Ακολουθώντας τη διαδικασία ανάπτυξης ενός μοντέλου VAR, πρωταρχικά, έγινε το **Cointegration test**. Για αυτό τον έλεγχο πρέπει να προσδιοριστεί η παράμετρος **d**, ο **χειριστής διαφοράς** για τις μεταβλητές. Υπολογίστηκε για όλα τα δυνατά ζεύγη που προκύπτουν από τις 7 χρονοσειρές. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Προσδιορισμός του χειριστή διαφοράς d

	d
ha.100km-GRTotalCases	1
ha.100km-GRTotalDeaths	1
ha.100km-StringencyIndex	1
hb.100km-GRTotalCases	1
hb.100km-GRTotalDeaths	1
hb.100km-StringencyIndex	1
avg.driving.speed-GRTotalCases	0
avg.driving.speed-GRTotalDeaths	0
avg.driving.speed-StringencyIndex	1
sum_speeding.driving.duration- GRTotalCases	1
sum_speeding.driving.duration-GRTotalDeaths	1
sum_speeding.driving.duration-StringencyIndex	0

Εφόσον προσδιοριστεί η παράμετρος d, μπορεί να γίνει το Cointegration test για τα αντίστοιχα ζεύγη. Ο έλεγχος αυτός γίνεται σε μη στάσιμες χρονοσειρές και για αυτό προηγείται όλων των βημάτων, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3. Ελέγχεται αν η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών των χρονοσειρών ακολουθεί έναν από τους εξής τρεις τύπους:

- Τύπος 1: χωρίς τάση
- Τύπος 2: γραμμική τάση
- Τύπος 3: τετραγωνική τάση

Στους πίνακες 5.2-5.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Cointegration test για κάθε μοντέλο χωριστά.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-15,72	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,484	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,479	0,1

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-15,76	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,372	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,157	0,1

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας για την Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-15,90	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,0202	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,172	0,1

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ των απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-15,85	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	-1,32	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,529	0,1

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ των απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-15,86	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,554	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,672	0,1

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ των απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας για την Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-15,85	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,207	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,989	0,1

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	5,23	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,0562	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,898	0,1

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-5,25	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,0747	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,869	0,1

Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και του δείκτη αυστηρότητας για την Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-15,56	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,147	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,228	0,1

Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ του αθροίσματος της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-14,92	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,526	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,395	0,1

Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ του αθροίσματος της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-14,91	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	-0,0174	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value

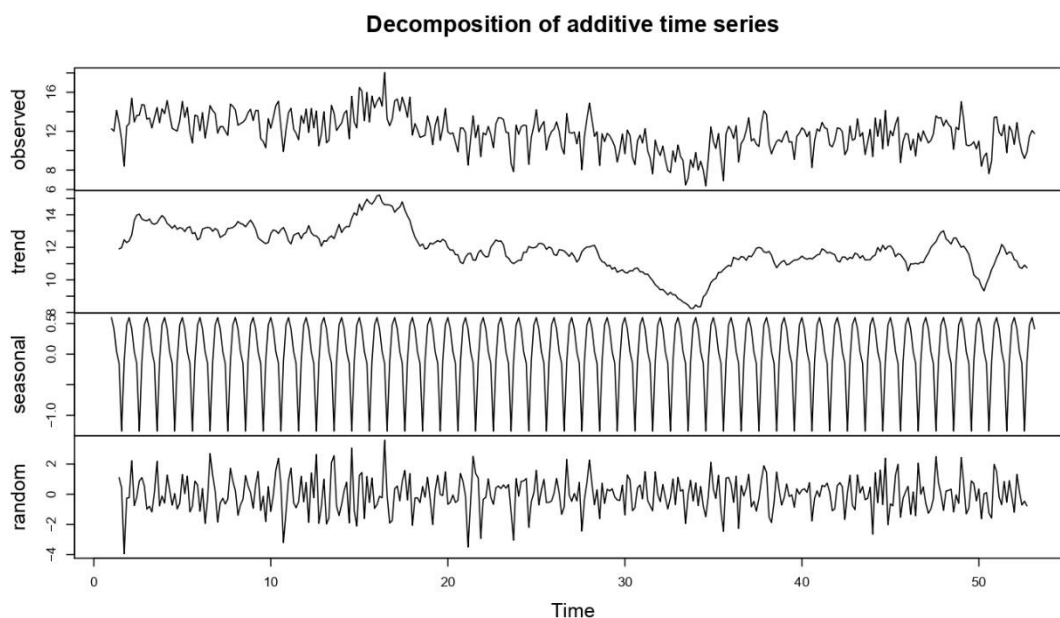
	5,00	0,255	0,1
--	------	-------	-----

Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα του Cointegration test μεταξύ του αθροίσματος της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης και του δείκτη αυστηρότητας για την Ελλάδα

Type 1: no trend	lag	EG	p.value
	5,00	-5,39	0,01
Type 2: linear trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,0649	0,1
Type 3: quadratic trend	lag	EG	p.value
	5,00	0,185	0,1

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι για όλους τους συνδυασμούς η αλληλεπίδραση είναι του 1^{ου} τύπου, δηλαδή χωρίς τάση.

Στη συνέχεια, εξετάστηκε η **αποσύνθεση των διαθέσιμων χρονοσειρών** (time-series decomposition). Στο Γράφημα 5.1, παρουσιάζεται ως παράδειγμα η αποσύνθεση της χρονοσειράς των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η εξέλιξη του αριθμού των ημερήσιων απότομων επιταχύνσεων ανά 100km για όλο το 2020, 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 (frequency=7). Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για όλες τις χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν, επιβεβαιώθηκε ότι όλα τα δεδομένα εμφανίζουν εβδομαδιαία διακύμανση.



Γράφημα 5.1: Διάγραμμα αποσύνθεσης χρονοσειράς των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km

Ακολουθεί ο έλεγχος στασιμότητας των χρονοσειρών με χρήση του **ελέγχου ADF**. Όπως επίσης έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, εάν οι χρονοσειρές δεν είναι στάσιμες τότε γίνεται διαφοροποίηση όσες φορές απαιτηθεί προκειμένου να γίνουν στάσιμες. Από το Cointegration test έχει προκύψει πως τα ζεύγη των

χρονοσειρών είναι τύπου 1. Τα αποτελέσματα του ADF παρουσιάζονται για όλες τις χρονοσειρές στην αρχική τους μορφή και μετά την πρώτη διαφοροποίηση στους πίνακες 5.14-5.20.

Πίνακας 5.14: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς απότομων επιταχύνσεων ανά 100km

Type 1: no drift no trend					
		Αρχικό ADF		ADF μετά από diff	
	lag	ADF	p.value	ADF	p.value
[1,]	0	-1,432	0,167	-28,0	0,01
[2,]	1	-0,975	0,331	-19,9	0,01
[3,]	2	-0,848	0,376	-17,4	0,01
[4,]	3	-0,697	0,430	-16,1	0,01
[5,]	4	-0,554	0,481	-15,8	0,01
[6,]	5	-0,375	0,536	-16,2	0,01

Πίνακας 5.15: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km

Type 1: no drift no trend					
		Αρχικό ADF		ADF μετά από diff	
	lag	ADF	p.value	ADF	p.value
[1,]	0	-1,239	0,236	-27,7	0,01
[2,]	1	-0,869	0,368	-22,9	0,01
[3,]	2	-0,762	0,406	-19,2	0,01
[4,]	3	-0,603	0,463	-15,4	0,01
[5,]	4	-0,550	0,482	-15,9	0,01
[6,]	5	-0,372	0,537	-15,8	0,01

Πίνακας 5.16: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς της μέσης ημερήσιας ταχύτητας

Type 1: no drift no trend					
		Αρχικό ADF		ADF μετά από diff	
	lag	ADF	p.value	ADF	p.value
[1,]	0	-0,585	0,470	-27,7	0,01
[2,]	1	-0,504	0,499	-20,6	0,01
[3,]	2	-0,359	0,541	-17,1	0,01
[4,]	3	-0,330	0,549	-14,9	0,01
[5,]	4	-0,370	0,537	-15,7	0,01
[6,]	5	-0,411	0,526	-19,6	0,01

Πίνακας 5.17: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης

Type 1: no drift no trend					
		Αρχικό ADF		ADF μετά από diff	
	lag	ADF	p.value	ADF	p.value
[1,]	0	-1,592	0,110	-28,1	0,01
[2,]	1	-1,046	0,305	-21,4	0,01
[3,]	2	-0,675	0,437	-17,4	0,01
[4,]	3	-0,517	0,494	-14,8	0,01
[5,]	4	-0,383	0,534	-14,9	0,01
[6,]	5	-0,200	0,586	-17,7	0,01

Πίνακας 5.18: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Type 1: no drift no trend					
		Αρχικό ADF		ADF μετά από diff	
	lag	ADF	p.value	ADF	p.value
[1,]	0	22,816	0,990	-2,190	0,029
[2,]	1	1,743	0,980	-2,375	0,019
[3,]	2	2,119	0,990	-1,850	0,065
[4,]	3	1,356	0,955	-1,282	0,221
[5,]	4	0,058	0,661	-0,883	0,363
[6,]	5	-1,2232	0,242	-0,438	0,518

Πίνακας 5.19: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

Type 1: no drift no trend					
		Αρχικό ADF		ADF μετά από diff	
	lag	ADF	p.value	ADF	p.value
[1,]	0	33,252	0,990	-1,764	0,078
[2,]	1	1,834	0,983	-0,666	0,441
[3,]	2	-0,772	0,403	-2,66	0,567
[4,]	3	-1,921	0,054	-0,170	0,595
[5,]	4	-2,234	0,025	0,077	0,666
[6,]	5	-3,150	0,010	-0,020	0,650

Πίνακας 5.20: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

Type 1: no drift no trend					
		Αρχικό ADF		ADF μετά από diff	
	lag	ADF	p.value	ADF	p.value
[1,]	0	0,872	0,895	-18,79	0,01
[2,]	1	0,850	0,888	-11,91	0,01
[3,]	2	0,668	0,836	-9,58	0,01
[4,]	3	0,593	0,814	-7,51	0,01
[5,]	4	0,403	0,760	-6,30	0,01
[6,]	5	0,258	0,718	-5,97	0,01

Σε όλες τις μεταβλητές εμφανίστηκε ένδειξη, η οποία καταδεικνύει ότι δεν είναι στάσιμες, αλλά παρουσιάζουν εποχικές διακυμάνσεις, όπως αποδείχθηκε και παραπάνω με την αποσύνθεση των χρονοσειρών, για αυτό και ξαναγίνεται ο έλεγχος ADF μετά την πρώτη διαφοροποίηση, τη διαφορά δηλαδή δύο διαδοχικών τιμών. Μετά την πρώτη διαφοροποίηση, συνεχίζουν να μην είναι στάσιμες οι χρονοσειρές των συνολικών κρουσμάτων και των συνολικών απωλειών, όπως φαίνεται από τους πίνακες 4.18 και 5.19.

Απαιτείται για την ανάπτυξη των μοντέλων οι χρονοσειρές να είναι ίδιου βαθμού διαφοροποιημένες, οπότε επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία με τη δεύτερη διαφοροποίηση για όλες τις χρονοσειρές και ελέγχονται εκ νέου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.21-5.27.

Πίνακας 5.21: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς απότομων επιταχύνσεων ανά 100km, μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση

Type 1: no drift no trend			
	lag	ADF	p.value
[1,]	0	-38,7	0,01
[2,]	1	-26,3	0,01
[3,]	2	-21,8	0,01
[4,]	3	-19,2	0,01
[5,]	4	-16,9	0,01
[6,]	5	-19,1	0,01

Πίνακας 5.22: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km, μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση

Type 1: no drift no trend			
	lag	ADF	p.value
[1,]	0	-36,1	0,01
[2,]	1	-28,3	0,01
[3,]	2	-25,2	0,01
[4,]	3	-19,5	0,01
[5,]	4	-17,3	0,01
[6,]	5	-19,9	0,01

Πίνακας 5.23: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς της μέσης ημερήσιας ταχύτητας, μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση

Type 1: no drift no trend			
	lag	ADF	p.value
[1,]	0	-37,8	0,01
[2,]	1	-27,3	0,01
[3,]	2	-22,7	0,01
[4,]	3	-17,9	0,01
[5,]	4	-15,0	0,01
[6,]	5	-23,3	0,01

Πίνακας 5.24: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης, μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση

Type 1: no drift no trend			
	lag	ADF	p.value
[1,]	0	-37,7	0,01
[2,]	1	-28,1	0,01
[3,]	2	-23,3	0,01
[4,]	3	-18,5	0,01
[5,]	4	-15,3	0,01
[6,]	5	-20,3	0,01

Πίνακας 5.25: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα, μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση

Type 1: no drift no trend			
	lag	ADF	p.value
[1,]	0	-17,8	0,01
[2,]	1	-16,1	0,01
[3,]	2	-16,7	0,01
[4,]	3	-16,6	0,01
[5,]	4	-18,9	0,01
[6,]	5	-13,5	0,01

Πίνακας 5.26: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα, μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση

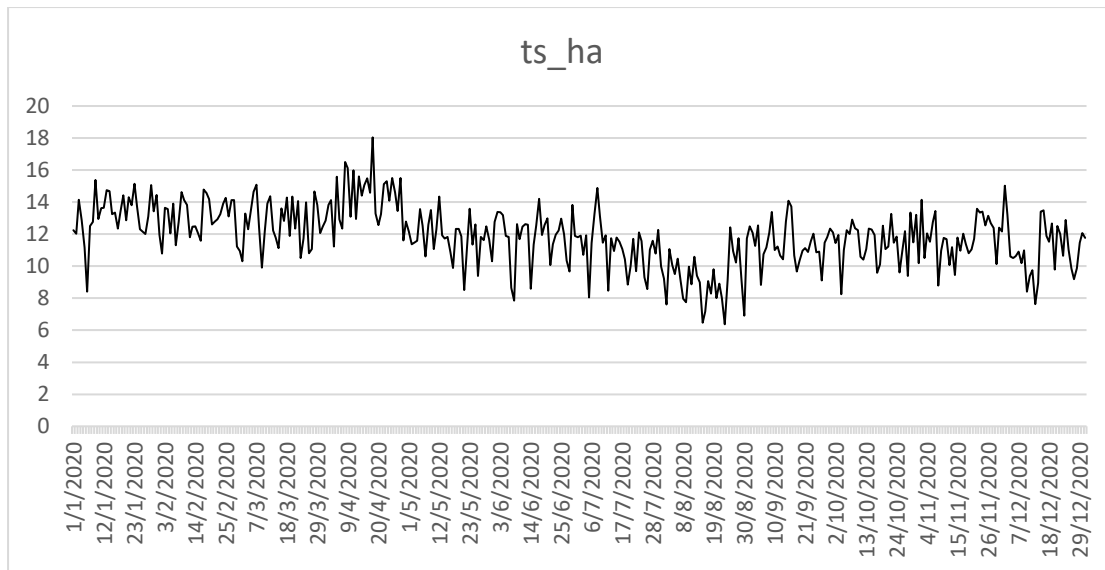
Type 1: no drift no trend			
	lag	ADF	p.value
[1,]	0	-31,55	0,01
[2,]	1	-19,99	0,01
[3,]	2	-14,31	0,01
[4,]	3	-12,95	0,01
[5,]	4	-10,30	0,01
[6,]	5	-9,18	0,01

Πίνακας 5.27: Έλεγχος ADF της χρονοσειράς του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση

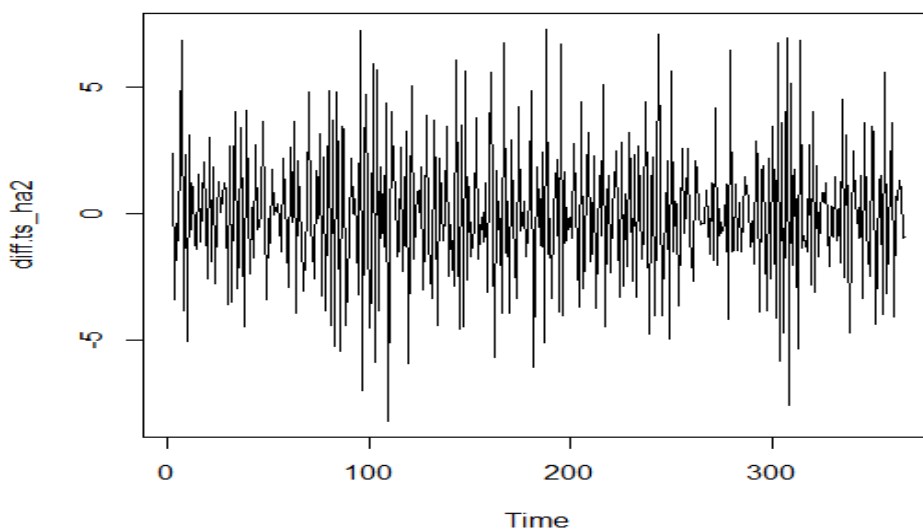
Type 1: no drift no trend			
	lag	ADF	p.value
[1,]	0	-35,3	0,01
[2,]	1	-23,2	0,01
[3,]	2	-20,0	0,01
[4,]	3	-17,2	0,01
[5,]	4	-14,0	0,01
[6,]	5	-12,5	0,01

Η νέα ένδειξη επιβεβαιώνει τη στασιμότητα όλων των χρονοσειρών, μετά και τη δεύτερη διαφοροποίηση.

Στα Γραφήματα 5.2 και 5.3, παρουσιάζονται οι χρονοσειρές των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km, πριν την πρώτη και μετά τη δεύτερη διαφοροποίηση. Στον άξονα x σημειώνονται ο αριθμός της ημέρας του 2020, ενώ στον άξονα y απότομες επιταχύνσεις ως ποσοστιαία μεγέθη.



Γράφημα 5.2: Διάγραμμα χρονοσειράς των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km, πριν τις διαφοροποιήσεις



Γράφημα 5.3: Διάγραμμα χρονοσειράς των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km, μετά και τη 2η διαφοροποίηση

Ο **εντοπισμός των βέλτιστων μοντέλων** για κάθε χρονοσειρά αποτελεί το πιο σημαντικό βήμα και απαιτεί συγκεκριμένη διαδικασία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα μοντέλα που μελετήθηκαν αποτελούνται από ένα ζεύγος χρονοσειρών. Η μία σχετίζεται με την οδηγική συμπεριφορά, ενώ η δεύτερη με τα επιδημιολογικά δεδομένα.

Πρωτίστως χρειάζεται να γίνει η **επιλογή του κατάλληλου αριθμού των βημάτων προς τα πίσω** στα ιστορικά δεδομένα ώστε να γίνει η κατάλληλη πρόβλεψη. Γίνεται με την εντολή `VARselect`, όπου για κάθε ζεύγος υπολογίζονται τα κριτήρια AIC, HQ, SC, FPE. Το καθένα από αυτά καθώς και ο λόγος που το κριτήριο πληροφοριών AIC επιλέχθηκε ως το καταλληλότερο, αναλύονται στο Κεφάλαιο 3. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.28.

Πίνακας 5.28: Αποτελέσματα VARselect

	AIC(n)	HQ(n)	SC(n)	FPE(n)
ha.100km-GRTotalCases	10	10	8	10
ha.100km-GRTotalDeaths	10	9	9	10
ha.100km-StringencyIndex	10	10	8	10
hb.100km-GRTotalCases	10	10	8	10
hb.100km-GRTotalDeaths	10	10	9	10
hb.100km-StringencyIndex	10	10	8	10
avg.driving.speed-GRTotalCases	10	9	8	10
avg.driving.speed-GRTotalDeaths	10	9	9	10
avg.driving.speed-StringencyIndex	10	9	8	10
sum_speeding.driving.duration- GRTotalCases	10	10	8	10
sum_speeding.driving.duration-GRTotalDeaths	10	9	8	10
sum_speeding.driving.duration-StringencyIndex	10	10	8	10

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως για όλα τα ζεύγη χρονοσειρών, με βάση το κριτήριο AIC, ο κατάλληλος αριθμός βημάτων προς τα πίσω που απαιτούνται για την πρόβλεψη είναι 10, οπότε τα μοντέλα που θα αναπτυχθούν θα είναι **VAR(10)**.

Στη συνέχεια γίνεται ο **έλεγχος αιτιότητας Granger Causality** για κάθε πιθανό μοντέλο, όπου χρησιμοποιείται ο αριθμός των βημάτων προς τα πίσω, που έχει υπολογιστεί από το προηγούμενο στάδιο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 3, είναι απαραίτητο ο έλεγχος να γίνει και για τις δύο κατευθύνσεις. Είναι πιθανό να επαληθευτεί ο έλεγχος και στις δύο, στη μια ή και σε καμία κατεύθυνση. Στην περίπτωση που επαληθευτεί σχέση αιτιότητας έστω για τη μια κατεύθυνση τότε το μοντέλο κρίθηκε στατιστικά σημαντικό. Επιλέγεται επίσης και το επίπεδο εμπιστοσύνης, που για τη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία είναι το 90%. Τα αποτελέσματα του Granger Causality test για όλα τα ζεύγη χρονοσειρών, παρουσιάζεται στους πίνακες 5.29-5.40.

Πίνακας 5.29: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

ha.100km-GRTotalCases				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,4302	0,9315
GRTotalCases-ha.100km				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,6977	0,07995

Πίνακας 5.30: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

ha.100km-GRTotalDeaths				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,7254	0,7005
GRTotalDeaths-ha.100km				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,3221	0,217

Πίνακας 5.31: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστήμιου της Οξφόρδης

ha.100km-StringencyIndex				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	2,1072	0,02347
StringencyIndex-ha.100km				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,0914	0,3679

Πίνακας 5.32: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ των απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

hb.100km-GRTotalCases				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,2453	0,2609
GRTotalCases-hb.100km				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,7688	0,6589

Πίνακας 5.33: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ των απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

hb.100km-GRTotalDeaths				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,7104	0,7147
GRTotalDeaths-hb.100km				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,5389	0,1241

Πίνακας 5.34: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ των απότομων επιβραδύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

hb.100km-StringencyIndex				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,1687	0,311
StringencyIndex-hb.100km				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,9272	0,5081

Πίνακας 5.35: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

avg.driving.speed-GRTotalCases				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,7388	0,6878
GRTotalCases-avg.driving.speed				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,8283	0,05478

Πίνακας 5.36: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

avg.driving.speed-GRTotalDeaths				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,5969	0,8164
GRTotalDeaths-avg.driving.speed				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,5953	0,8177

Πίνακας 5.37: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

avg.driving.speed-StringencyIndex				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,2363	0,2665
StringencyIndex-avg.driving.speed				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,841	0,5893

Πίνακας 5.38: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

sum_speeding.driving.duration- GRTotalCases				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,5719	0,8368
GRTotalCases-sum_speeding.driving.duration				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	1,3734	0,1911

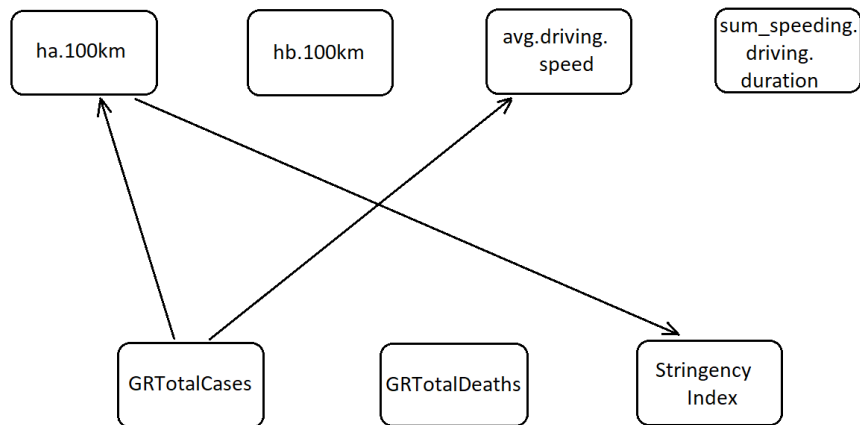
Πίνακας 5.39: Αποτελέσματα του Granger Causality test της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης και των συνολικών απωλειών στην Ελλάδα

sum_speeding.driving.duration-GRTotalDeaths				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,6785	0,7445
GRTotalDeaths-sum_speeding.driving.duration				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,4397	0,9264

Πίνακας 5.40: Αποτελέσματα του Granger Causality test μεταξύ της ταχύτητας προς τη διάρκεια οδήγησης και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

sum_speeding.driving.duration-StringencyIndex				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,6534	0,7673
StringencyIndex-sum_speeding.driving.duration				
	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	333			
2	343	-10	0,9909	0,4509

Από τα 12 μοντέλα το ένα είναι στατιστικά σημαντικό σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και άλλα δύο σε επίπεδο εμπιστοσύνης 90%. Αφού τελέστηκε ο παραπάνω έλεγχος σε όλα τα πιθανά ζεύγη, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που δείχνει τις σχέσεις αιτιότητας μεταξύ όλων των διαθέσιμων χρονοσειρών.



Γράφημα 5.3: Διάγραμμα σχέσεων αιτιότητας μεταξύ των χρονοσειρών

Όπως είναι φανερό, οι περισσότερες χρονοσειρές δεν αναπτύσσουν μεταξύ τους σχέσεις αιτιότητας, παρά ελαχίστων περιπτώσεων.

Όπως έχει αναφερθεί, στα μοντέλα VAR, οι προβλέψεις γίνονται με βάση τις προηγούμενες τιμές της ίδιας χρονοσειράς. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές των τριών στατιστικά σημαντικών μοντέλων, που από τους παραπάνω ελέγχους είναι 3 με AIC=10.

Πίνακας 5.41: Summary του VAR(10) μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Model 1: GRTotalCases-ha.100km								
VAR Estimation Results:								
Sample size:		234		Multiple R-Squared		0,9999		
Log Likelihood:		-1468,894		Adjusted R-squared:		0,9999		
VAR(y = train1, p = 10, type = "const")				p-value:		< 2,2e-16		
	Estimated coefficients for equation ha.100km.:				Estimated coefficients for equation GRTotalCases.:			
	coefficien t	std. error	t value	Pr(> t)	coefficien t	std. error	t value	Pr(> t)
ha.100km.l1	0,242	0,07 0	3,477	0,001	-0,703	1,200	-0,586	0,559
GRTotalCases.l1	-0,005	0,00 4	-1,368	0,173	1,246	0,068	18,212	< 2e-16
ha.100km.l2	-0,039	0,07 2	-0,540	0,590	0,231	1,233	0,188	0,851
GRTotalCases.l2	0,001	0,00 6	0,164	0,870	0,042	0,109	0,384	0,701
ha.100km.l3	0,056	0,06 9	0,801	0,424	-0,538	1,197	-0,450	0,653
GRTotalCases.l3	0,003	0,00 6	0,397	0,692	-0,174	0,109	-1,601	0,111
ha.100km.l4	0,006	0,06 8	0,088	0,930	-2,532	1,171	-2,162	0,032
GRTotalCases.l4	-0,005	0,00 6	-0,825	0,410	-0,081	0,109	-0,736	0,462
ha.100km.l5	0,059	0,06 6	0,890	0,374	-1,978	1,144	-1,729	0,085
GRTotalCases.l5	0,018	0,00 6	2,761	0,006	0,123	0,110	1,119	0,264
ha.100km.l6	0,073	0,06 7	1,094	0,275	0,281	1,149	0,245	0,807
GRTotalCases.l6	-0,010	0,00 6	-1,475	0,142	-0,145	0,112	-1,294	0,197
ha.100km.l7	0,250	0,06 7	3,751	0,000	-0,797	1,151	-0,693	0,489
GRTotalCases.l7	0,010	0,00 7	1,500	0,135	0,189	0,117	1,608	0,109
ha.100km.l8	0,027	0,06 9	0,386	0,700	1,110	1,187	0,935	0,351
GRTotalCases.l8	-0,120	0,00 7	-1,760	0,080	-0,162	0,118	-1,374	0,171
ha.100km.l9	0,004	0,06 9	0,059	0,953	-1,210	1,190	-1,016	0,311
GRTotalCases.l9	0,002	0,00 7	0,216	0,829	-0,173	0,127	-1,358	0,176
ha.100km.l10	0,015	0,06 7	0,219	0,827	0,741	1,160	0,639	0,524
GRTotalCases.l10	-0,001	0,00 5	-0,170	0,865	0,133	0,083	1,602	0,111
const	4,128	1,61 2	2,562	0,011	73,993	27,78 4	2,663	0,008

Πίνακας 5.42: Summary του VAR(10) μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

Model 2: ha.100km-StringencyIndex								
VAR Estimation Results:								
Sample size:	234		Multiple R-Squared			0,9927		
Log Likelihood:	-947,916		Adjusted R-squared:			0,992		
VAR(y = train2, p = 10, type = "const")			p-value:			< 2,2e-16		
	Estimated coefficients for equation ha.100km.:				Estimated coefficients for equation StringencyIndex.:			
	coefficient	std.error	t value	Pr(> t)	coefficient	std.error	t value	Pr(> t)
ha.100km.l1	0,247	0,069	3,587	4,16E-04	0,166	0,122	1,360	0,175
Stringencyln dex.l1	-0,034	0,037	-0,920	0,358	0,962	0,066	14,577	2,00E-16
ha.100km.l2	0,027	0,071	0,385	0,701	0,014	0,125	0,112	0,911
Stringencyln dex.l2	-0,003	0,051	-0,065	0,948	0,150	0,091	1,643	0,102
ha.100km.l3	0,089	0,070	1,271	0,205	-0,025	0,124	-0,199	0,842
Stringencyln dex.l3	-0,005	0,052	-0,091	0,927	-0,055	0,092	-0,603	0,547
ha.100km.l4	0,033	0,068	0,478	0,633	-0,046	0,120	-0,383	0,702
Stringencyln dex.l4	0,013	0,051	0,261	0,795	0,066	0,091	0,724	0,470
ha.100km.l5	0,081	0,066	1,226	0,221	-0,068	0,118	-0,581	0,562
Stringencyln dex.l5	-0,018	0,051	-0,346	0,730	-0,092	0,091	-1,017	0,310
ha.100km.l6	0,101	0,066	1,514	0,131	0,170	0,118	1,447	0,149
Stringencyln dex.l6	0,114	0,051	2,228	0,027	-0,032	0,091	-0,349	0,728
ha.100km.l7	0,266	0,067	3,956	0,000	0,182	0,119	1,528	0,128
Stringencyln dex.l7	0,003	0,052	0,052	0,958	-0,017	0,092	-0,187	0,852
ha.100km.l8	0,053	0,070	0,757	0,450	-0,123	0,124	-0,997	0,320
Stringencyln dex.l8	-0,027	0,052	-0,523	0,602	-0,024	0,092	-0,266	0,791
ha.100km.l9	-0,003	0,070	-0,049	0,961	-0,110	0,125	-0,878	0,381
Stringencyln dex.l9	-0,089	0,052	-1,735	0,084	0,295	0,091	3,237	0,001
ha.100km.l10	0,032	0,069	0,468	0,640	-0,120	0,122	-0,988	0,324
Stringencyln dex.l10	0,044	0,037	1,175	0,241	-0,262	0,066	-3,967	9,96E-05
const	0,980	0,815	1,203	0,230	0,146	1,442	0,101	0,919

Πίνακας 5.43: Summary του VAR(10) μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Model 3: avg.driving.speed-GRTotalCases								
VAR Estimation Results:								
Sample size:		234		Multiple R-Squared		0,9999		
Log Likelihood:		-1501,948		Adjusted R-squared:		0,9999		
VAR(y = train2, p = 10, type = "const")				p-value:		< 2,2e-16		
	Estimated coefficients for equation avg.driving.speed:				Estimated coefficients for equation GRTotalCases:			
	coefficie nt	std.erro r	t valu e	Pr(> t)	coefficie nt	std.erro r	t value	Pr(> t)
avg.driving.speed.l1	0,291	0,068	4,256	3,12E-05	-1,418	1,075	-1,318	0,189
GRTotalCases.l1	0,007	0,004	1,526	0,129	1,296	0,068	19,154	2,00E-16
avg.driving.speed.l2	0,115	0,070	1,650	0,100	2,099	1,097	1,913	0,057
GRTotalCases.l2	0,003	0,007	0,406	0,685	0,029	0,112	0,263	0,793
avg.driving.speed.l3	0,024	0,070	0,345	0,731	0,020	1,106	0,018	0,986
GRTotalCases.l3	-0,004	0,007	-0,623	0,534	-0,217	0,111	-1,955	0,052
avg.driving.speed.l4	0,025	0,064	0,398	0,691	-1,078	1,007	-1,070	0,286
GRTotalCases.l4	-0,013	0,007	-1,798	0,074	-0,066	0,113	-0,582	0,561
avg.driving.speed.l5	0,001	0,063	0,017	0,987	0,215	0,991	0,217	0,828
GRTotalCases.l5	0,001	0,007	0,158	0,874	0,120	0,113	1,061	0,290
avg.driving.speed.l6	0,132	0,063	2,099	0,037	0,129	0,990	0,130	0,897
GRTotalCases.l6	0,003	0,007	0,349	0,728	-0,141	0,114	-1,241	0,216
avg.driving.speed.l7	0,438	0,063	6,892	6,14E-11	0,917	0,998	0,919	0,359
GRTotalCases.l7	0,009	0,008	1,193	0,234	0,181	0,120	1,504	0,134
avg.driving.speed.l8	-0,096	0,070	-1,362	0,175	0,381	1,103	0,346	0,730
GRTotalCases.l8	-0,008	0,008	-1,045	0,297	-0,198	0,120	-1,657	0,099
avg.driving.speed.l9	-0,157	0,069	-2,262	0,025	-1,522	1,087	-1,400	0,163
GRTotalCases.l9	0,001	0,008	0,130	0,896	-0,198	0,126	-1,575	0,117
avg.driving.speed.l10	0,043	0,067	0,649	0,517	-0,250	1,050	-0,238	0,812
GRTotalCases.l10	0,002	0,005	0,363	0,717	0,194	0,081	2,396	0,017
const	7,887	3,567	2,211	2,81E-02	22,840	56	0,407	0,684

Μετά τον εντοπισμό των στατιστικά σημαντικών μοντέλων, χρειάζεται να επιβεβαιωθεί πως εκείνα που επιλέχθηκαν δεν εμφανίζουν μεγάλα σφάλματα.

Για τον σκοπό αυτό, η αρχική βάση δεδομένων χωρίζεται σε 2 σύνολα. Το πρώτο χρησιμοποιείται για την διαμόρφωση του μοντέλου, αφορά την χρονική περίοδο Ιανουάριος-Αύγουστο 2020, ενώ το δεύτερο για τον έλεγχο των σφαλμάτων, που αφορά την περίοδο Σεπτέμβριο-Δεκέμβριο 2020. Για τον υπολογισμό των σφαλμάτων συγκρίνονται οι παρατηρούμενες τιμές (Observed) με τις προβλέψεις του κάθε μοντέλου (Forecast).

Τα κριτήρια MAE, MSE, RMSE, R2 και MAPE αξιολογούν την καταλληλότητα και την εγκυρότητα των επιλεχθέντων μοντέλων. Καθώς τα μοντέλα VAR, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι αμφίδρομα, τα παραπάνω κριτήρια εφαρμόζονται και για τις δύο χρονοσειρές κάθε μοντέλου. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες 5.44-5.46.

Πίνακας 5.44: Πίνακας σφαλμάτων για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

	ha.100km	GRTotalCases
MAE	9,373	37219,610
MSE	116,412	2724701406
RMSE	10,789	52198,670
R2	-62,231	-0,295
MAPE	82,290%	43,510%

Πίνακας 5.45: Πίνακας σφαλμάτων για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

	ha.100km	StringencyIndex
MAE	1,198	13,492
MSE	2,141	294,639
RMSE	1,463	17,165
R2	-0,163	-0,861
MAPE	10,460%	17,783%

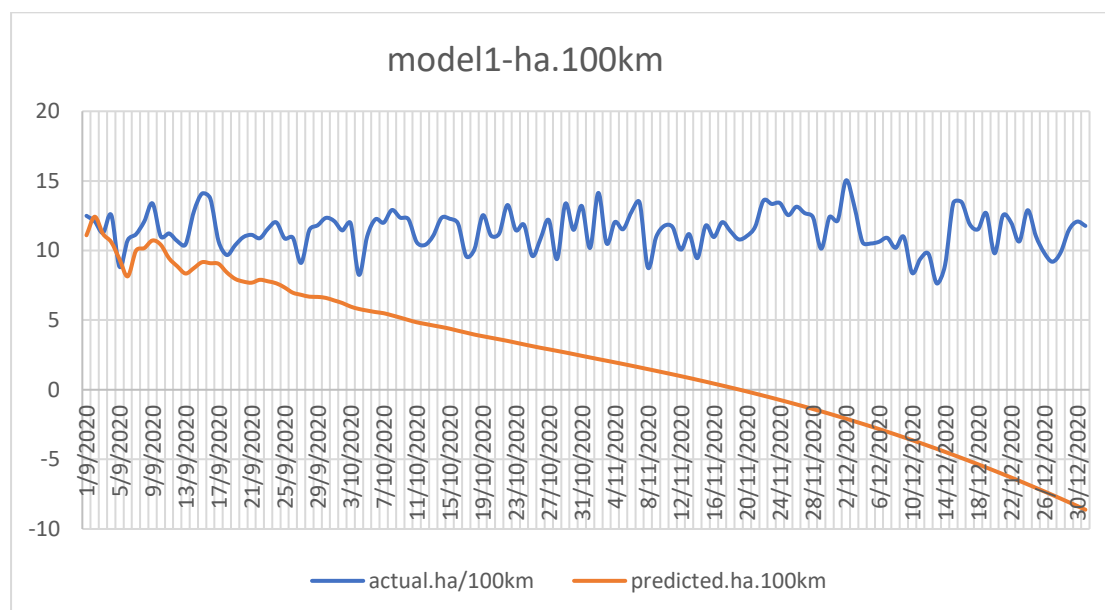
Πίνακας 5.46: Πίνακας σφαλμάτων για το μοντέλο της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

	avg.driving.speed	GRTotalCases
MAE	2,732	30203,210
MSE	11,597	1895103072
RMSE	3,405	43532,780
R2	-2,661	0,099
MAPE	6,343%	32,830%

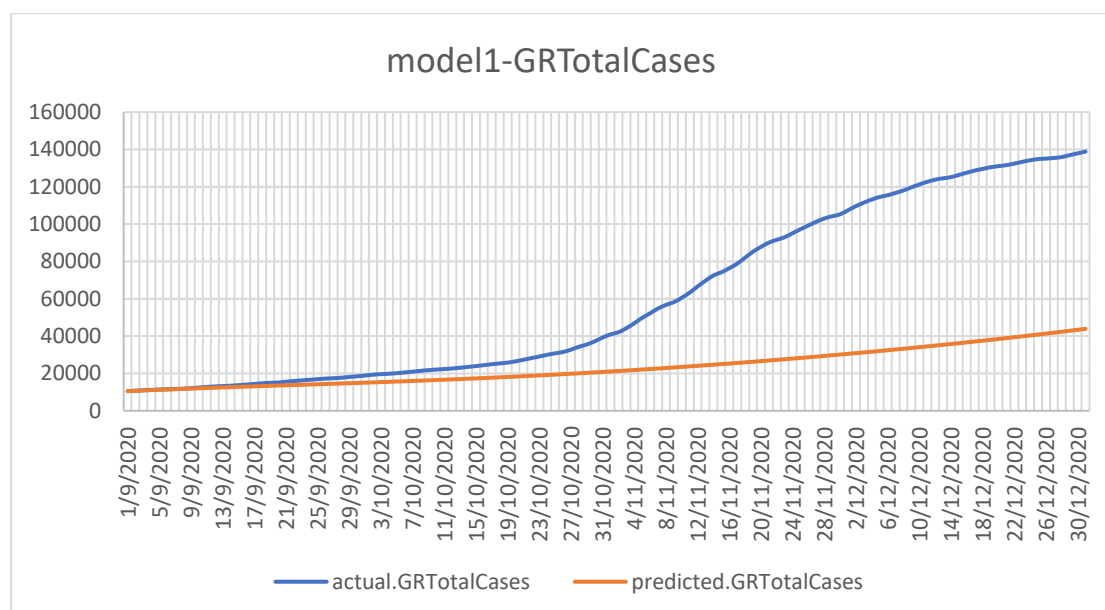
Με βάση τους παραπάνω πίνακες πολύ μικρά σφάλματα εμφανίζονται στην πρώτη μεταβλητή για του τρίτου μοντέλου. Όμως για τη δεύτερη είναι σημαντικά μεγαλύτερα. Για το δεύτερο μοντέλο όμως και για τις δύο μεταβλητές τα σφάλματα είναι ικανοποιητικά. Καθώς προτιμώνται όσο το δυνατόν μικρότερα σφάλματα και η τιμή του R2, να είναι κοντά στη μονάδα, καλύτερο μοντέλο από τα τρία κρίνεται το δεύτερο, δηλαδή το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης.

Στα ακόλουθα γραφήματα 5.4 έως 5.9, παρουσιάζονται οι προβλέψεις (Forecast) μαζί με το σύνολο επαλήθευσης (Test). Στον άξονα x σημειώνονται

οι ημερομηνίες των διαθέσιμων δεδομένων (Date), ενώ στον άξονα y η τιμή της αντίστοιχης χρονοσειράς. Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται οι προβλέψεις και με μπλε οι πραγματικές τιμές από το σύνολο επαλήθευσης.

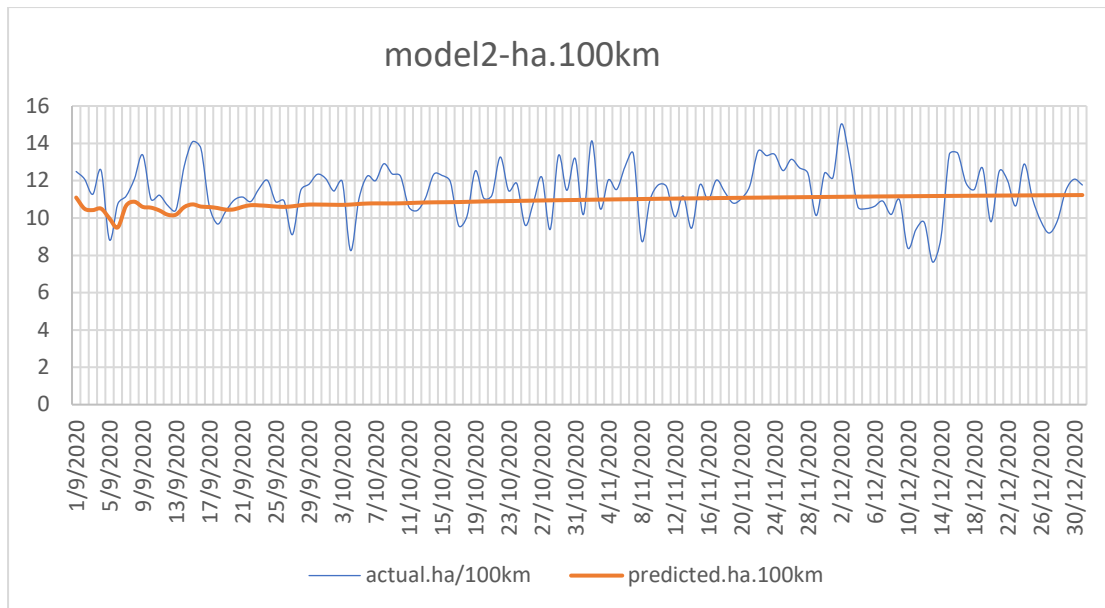


Γράφημα 5.4: Διάγραμμα για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα, σύγκριση της χρονοσειράς των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km

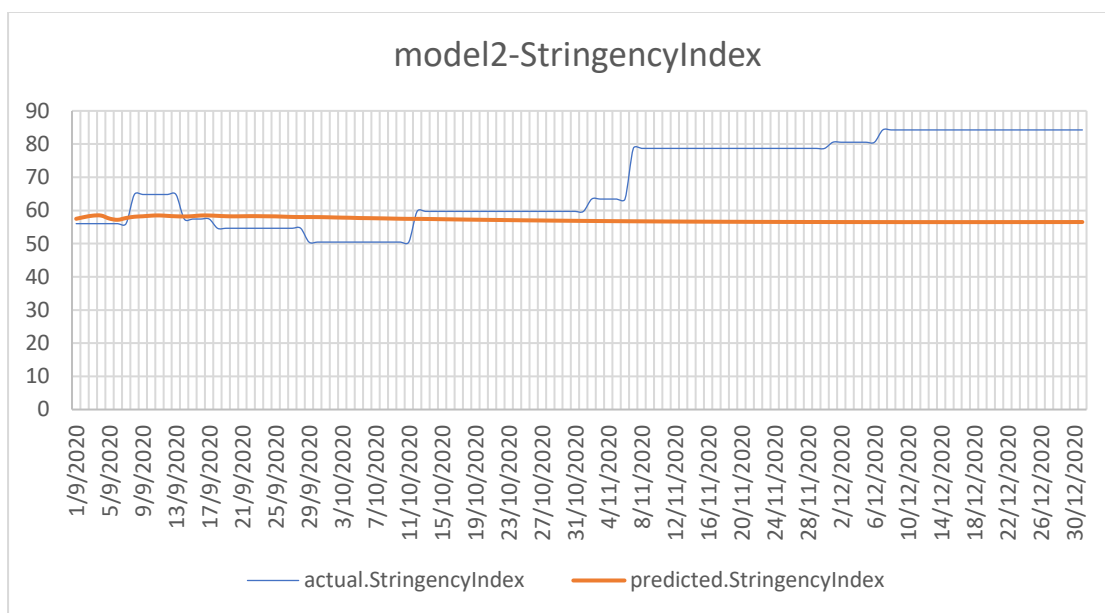


Γράφημα 5.5: Διάγραμμα για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα, σύγκριση της χρονοσειράς των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των προβλέψεων και των πραγματικών τιμών και για τις δύο μεταβλητές. Τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά μόνο για το πρώτο δεκαπενθήμερο του Σεπτεμβρίου.

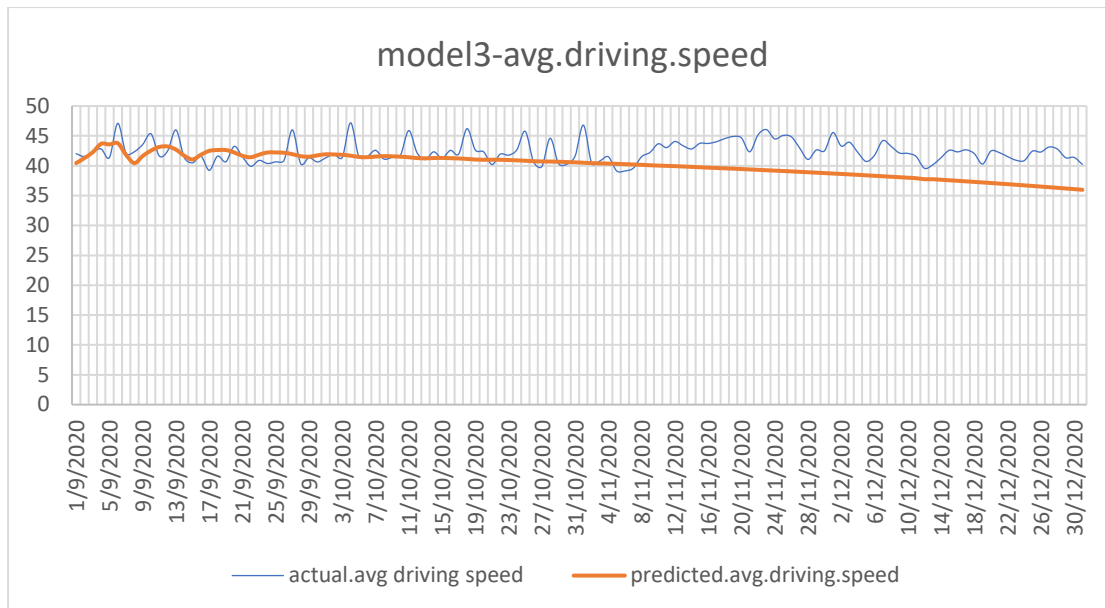


Γράφημα 5.6: Διάγραμμα για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, σύγκριση της χρονοσειράς των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km

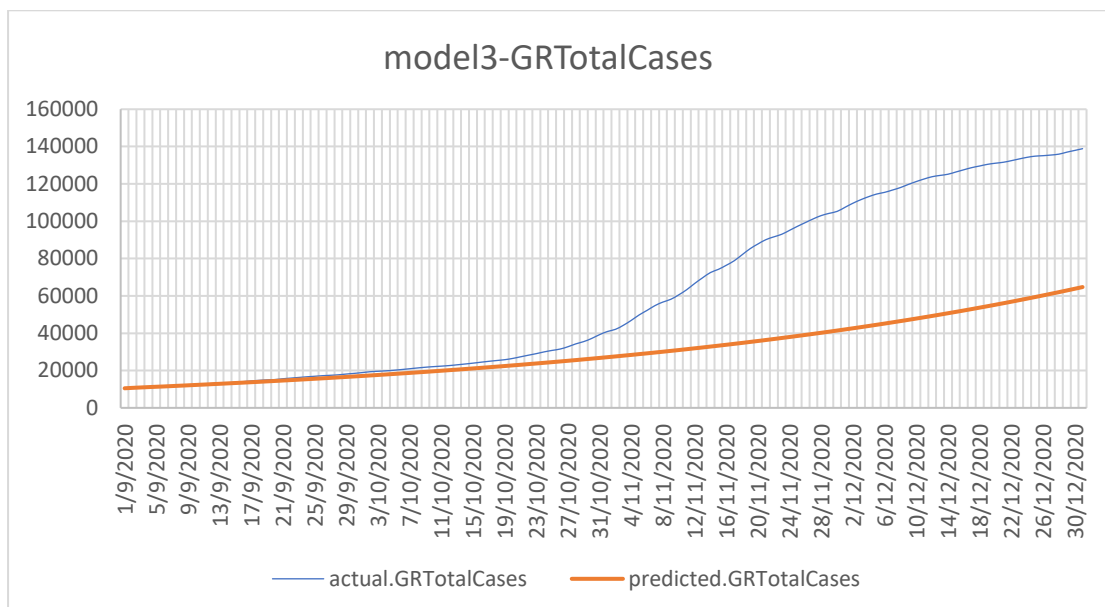


Γράφημα 5.7: Διάγραμμα για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, σύγκριση της χρονοσειράς του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

Στο δεύτερο μοντέλο, μεταξύ των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, οι προβλέψεις είναι συγκριτικά καλύτερες. Πάλι καλύτερες είναι οι προβλέψεις για το Σεπτέμβριο, καθώς τους επόμενους μήνες το μοντέλο δεν προβλέπει τις διακυμάνσεις.



Γράφημα 5.8: Διάγραμμα για το μοντέλο της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα, σύγκριση της χρονοσειράς της μέσης ημερήσιας ταχύτητας



Γράφημα 5.9: Διάγραμμα για το μοντέλο της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα, σύγκριση της χρονοσειράς των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Για το τελευταίο μοντέλο, παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ της ποιότητας των προβλέψεων για τις δύο μεταβλητές του. Σχετικά με το συνολικό αριθμό κρουσμάτων υπάρχει πολύ μεγάλη απόκλιση. Ταυτόχρονα, φαίνεται ότι και για τη μέση ημερήσια ταχύτητα οι αποκλίσεις αυξάνονται με το χρόνο, ενώ δεν προβλέπονται και οι διακυμάνσεις.

Όπως διαπιστώνεται από τα παραπάνω γραφήματα οι προβλέψεις δεν είναι ικανοποιητικές. Στις περιπτώσεις που οι χρονοσειρές αφορούν στα επιδημιολογικά δεδομένα, έχουμε πολύ μεγάλες αποκλίσεις και στις τάξεις μεγέθους. Αντίθετα, στις χρονοσειρές που αφορούν στην οδηγική συμπεριφορά δεν προβλέπονται επαρκώς οι διακυμάνσεις. Επίσης, αξιοσημείωτο είναι ότι

παρατηρούνται καλύτερες προβλέψεις κατά τον Σεπτέμβριο σε σχέση με το υπόλοιπο διάστημα των προβλέψεων.

Οι καλύτερες προβλέψεις είναι για τις απότομες επιταχύνσεις για το πρώτο μοντέλο και η μέση ημερήσια ταχύτητα για το τρίτο μοντέλο. Αρχικά αυτό είναι αναμενόμενο καθώς από το Granger Causality test, είχε προκύψει πως τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν δεν έχουν αμφίδρομη αιτιότητα όπως θεωρείται στα μοντέλα VAR. Έτσι εξηγούνται και οι σημαντικές αστοχίες στις προβλέψεις των συνολικών κρουσμάτων στο πρώτο και στο τρίτο μοντέλο.

5.3 Μοντέλα SVAR

Για τους συνδυασμούς που αναπτύχθηκαν τα μοντέλα VAR, αναπτύχθηκαν και τα μοντέλα SVAR. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, για κάθε **μοντέλο SVAR** δημιουργούνται **δύο μητρώα, το A και το B**. Τα μητρώα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε μοντέλο χωριστά.

Πίνακας 5.47: Πίνακες A και B του μοντέλου των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Estimated A matrix:			Estimated B matrix:		
	ha.100km	GRTotalCases		ha.100km	GRTotalCases
ha.100km	1	0	ha.100km	1,414	0
GRTotalCases	2,058	1	GRTotalCases	0	24,21

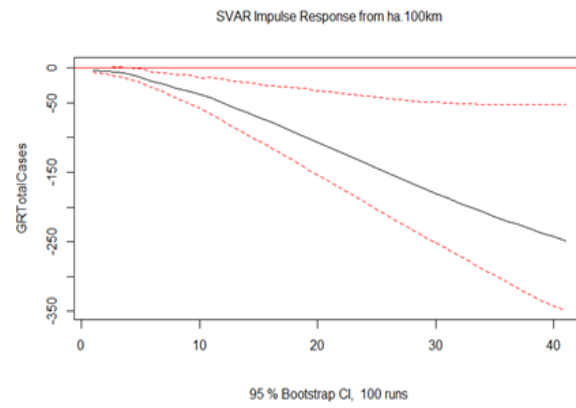
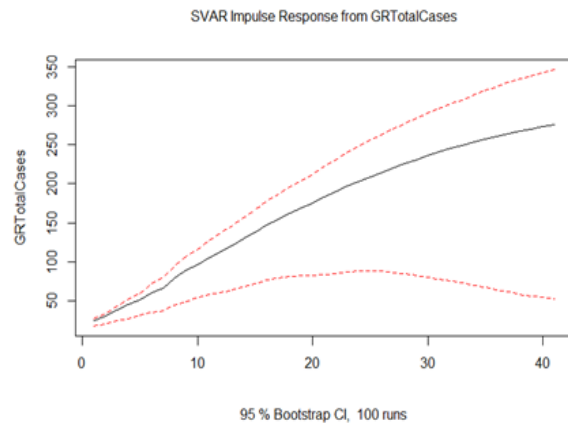
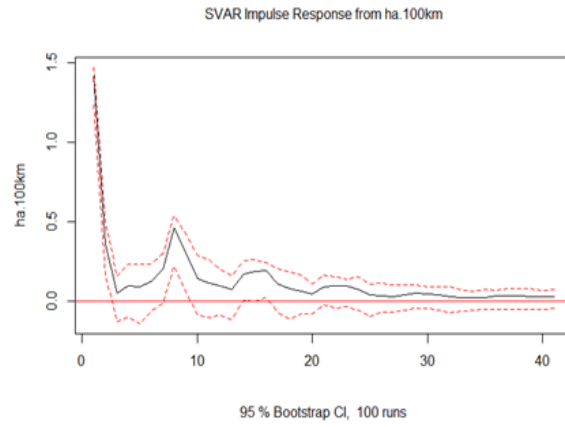
Πίνακας 5.48: Πίνακες A και B του μοντέλου των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

Estimated A matrix:			Estimated B matrix:		
	ha.100km	String.Index		ha.100km	String.Index
ha.100km	1	0	ha.100km	1,445	0
String.Index	0,04498	1	String.Index	0	2,557

Πίνακας 5.49: Πίνακες A και B του μοντέλου της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Estimated A matrix:			Estimated B matrix:		
	av.driv.sp	GRTotalCases		av.driv.sp	GRTotalCases
av.driv.sp.	1	0	av.driv.sp.	1,584	0
GRTotalCases	0,08365	1	GRTotalCases	0	24,89

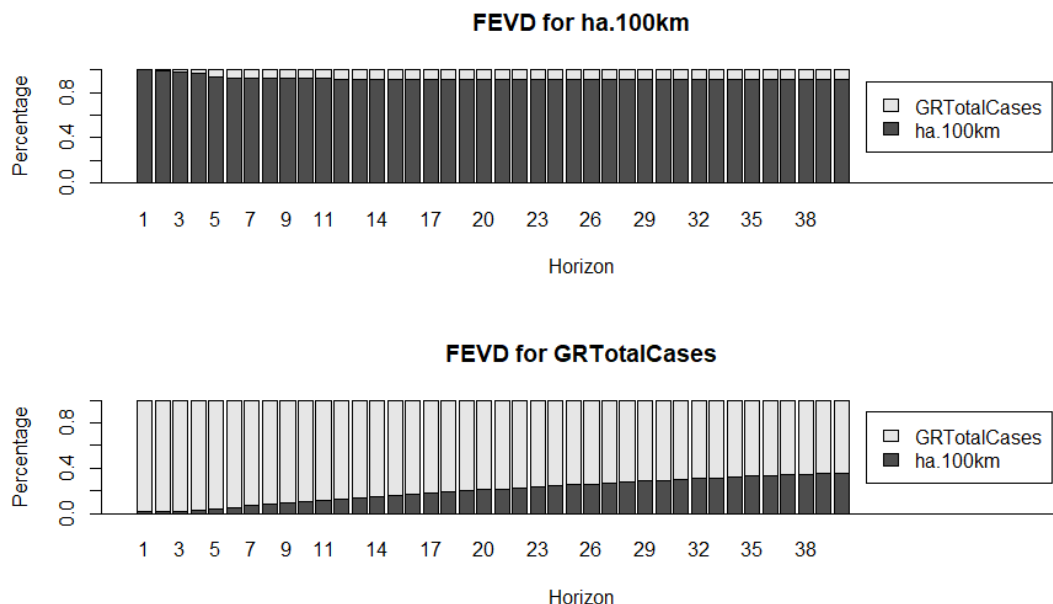
Στα ακόλουθα γραφήματα 5.10 έως 5.13, παρουσιάζονται τα γραφήματα IRFs και FEVD, τα οποία έχουν αναλυθεί στο Κεφάλαιο 3.



Γράφημα 5.10: Γραφήματα IRFs για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Με βάση το παραπάνω γραφήματα, όπου το πρώτο προβλέπει την επιρροή μιας απότομης διακύμανσης στις απότομες επιταχύνσεις στο μέλλον της ίδιας χρονοσειράς, και το δεύτερο για τον συνολικό αριθμό κρουσμάτων. Το τρίτο προβλέπει την επιρροή μιας απότομης διακύμανσης στις απότομες επιταχύνσεις στο μέλλον των συνολικών κρουσμάτων, ενώ το τέταρτο το αντίστροφο. Αρχικά, στο πρώτο παρατηρείται η μεγάλη διακύμανση στην πρώτη περίοδο και γρήγορα συγκλίνει κοντά στη βάση δηλαδή στο 0, και συγκεκριμένα κατά την περίοδο 4. Ύστερα παρατηρούνται τρεις μειούμενες αυξήσεις, που κορυφώνονται κατά τις περιόδους 8, 15 και 29, αντίστοιχα. Από εκεί και μετά η χρονοσειρά συγκλίνει στο 0. Για το δεύτερο, παρατηρείται ότι η χρονοσειρά δεν συγκλίνει στη βάση με το πέρασμα των περιόδων ενώ έχει μια αυξητική συνεχή τάση. Στο τρίτο, παρατηρείται μια συνεχής πτώση των κρουσμάτων που δεν φαίνεται να έχει άμεση σχέση με την απότομη διακύμανση των απότομων επιταχύνσεων. Τέλος, στο τέταρτο συναντάται μια αντίστοιχη πορεία με το πρώτο, καθώς υπάρχουν διακυμάνσεις, εντονότερες αυξομειώσεις σε σχέση με το πρώτο μέχρις ότου να συγκλίνει στο 0. Σε αυτή την περίπτωση η πρώτη έντονη διακύμανση δεν είναι στην περίοδο 0, καθώς απαιτείται χρόνος μέχρι η απότομη αύξηση των κρουσμάτων να επηρεάσει τις επιταχύνσεις.

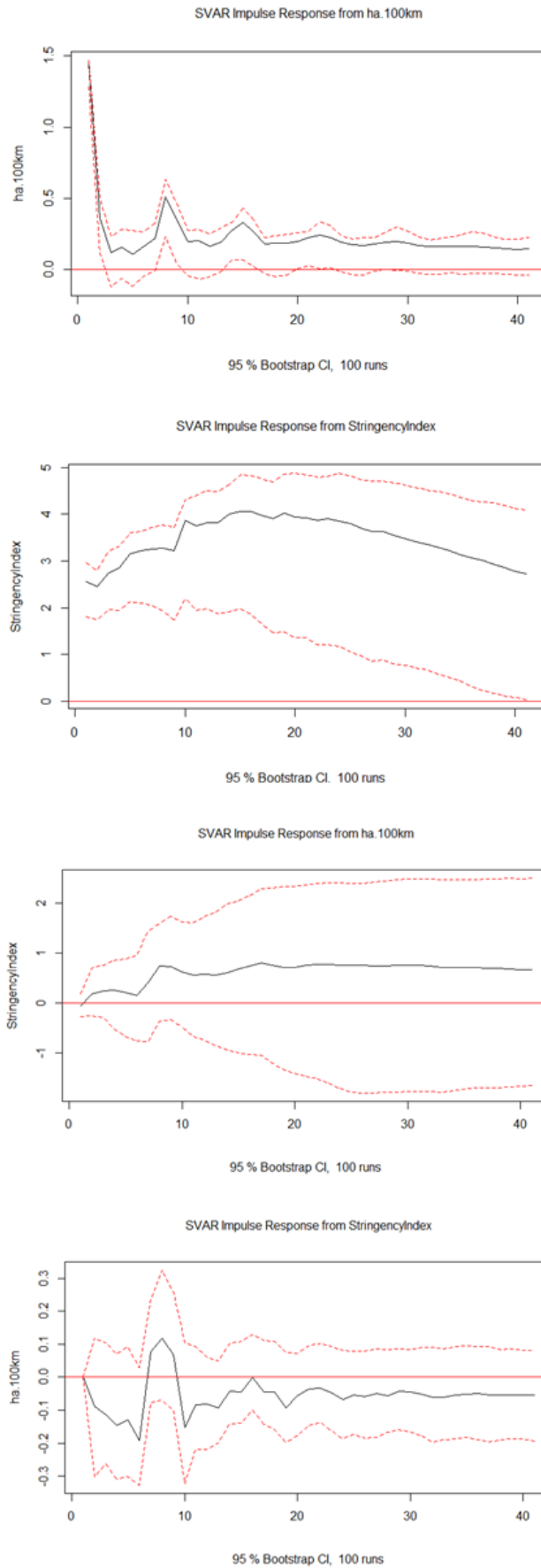
Είναι προφανές πως οι απότομες επιταχύνσεις ακολουθούν μια αναμενόμενη πορεία, ενώ ο αριθμός των κρουσμάτων δεν φαίνεται να έχει σχέση αιτιότητας με τη χρονοσειρά των επιταχύνσεων. Βέβαια, είναι κάτι το οποίο έχει αποδειχθεί και νωρίτερα μέσω των test που πραγματοποιήθηκαν σε προηγούμενα στάδια.



Γράφημα 5.11: Γράφημα FEVD για το μοντέλο SVAR των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Το πρώτο γράφημα, που αφορά στη διακύμανση για τη χρονοσειρά των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km, φαίνεται πως οι απότομες επιταχύνσεις επηρεάζονται με ποσοστό 100% στην αρχή και σταδιακά μειώνεται σε μικρό

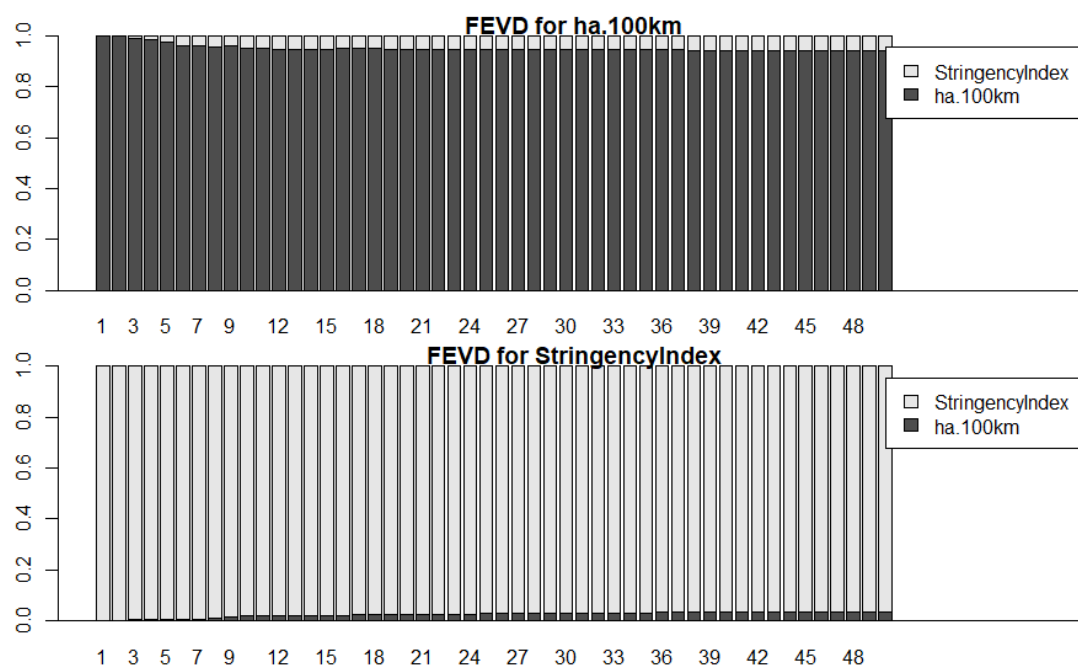
βαθμό, περίπου μέχρι το 90%. Το δεύτερο, που αφορά στη διακύμανση των συνολικών κρουσμάτων έχει μεγαλύτερη μεταβολή, καθώς ενώ ξεκινά από 100% για την επιρροή της χρονοσειράς των κρουσμάτων φτάνει έως το 60%.



Γράφημα 5.12: Γράφημα IRFs για το μοντέλο των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

Αντίστοιχα με το πρώτο μοντέλο (των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα), παρουσιάζονται τα γραφήματα IRFs. Οι προβλέψεις της χρονοσειράς των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km, δηλαδή στο πρώτο και στο τέταρτο διάγραμμα, αφού παρουσιάσουν διακυμάνσεις μέχρι περίπου την περίοδο 20, ύστερα συγκλίνουν στο 0, όπως προηγουμένως. Ο δείκτης αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, επίσης, στην αρχή παρουσιάζει διακυμάνσεις όμως στη συνέχεια δεν συγκλίνει στο 0, αλλά σταθεροποιείται σε άλλη τιμή.

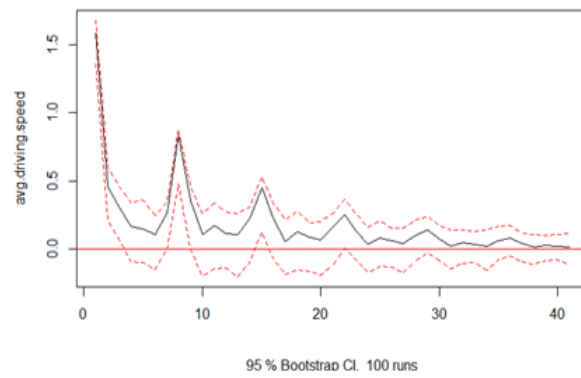
Συγκριτικά με το πρώτο μοντέλο, η χρονοσειρά των απότομων επιταχύνσεων έχει παρόμοια αντίδραση, όμως ο δείκτης αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, σχετίζεται πιο άμεσα με τη χρονοσειρά των απότομων επιταχύνσεων από ότι ο συνολικός αριθμός των κρουσμάτων. Βέβαια σημαντική διαφορά είναι ότι στο δεύτερο μοντέλο στατιστικά σημαντική αιτιότητα είχε η χρονοσειρά του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, ενώ στο πρώτο η χρονοσειρά των απότομων επιταχύνσεων.



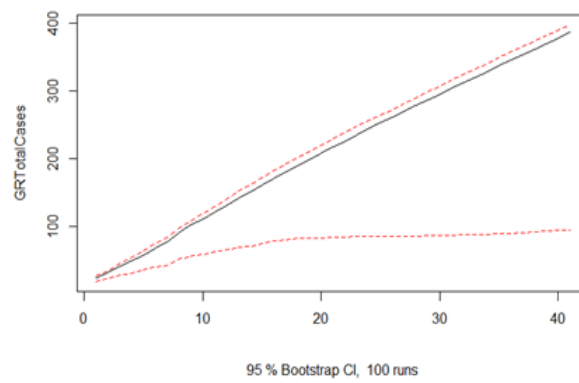
Γράφημα 5.13: Γράφημα FEVD για το μοντέλο SVAR των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης

Στο δεύτερο μοντέλο (των απότομων επιταχύνσεων ανά 100km και του δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης) φαίνεται πως και οι δύο μεταβλητές δεν επηρεάζονται από την απότομη διακύμανση της άλλης, καθώς τα αντίστοιχα μέγιστα ποσοστά είναι περίπου 10%.

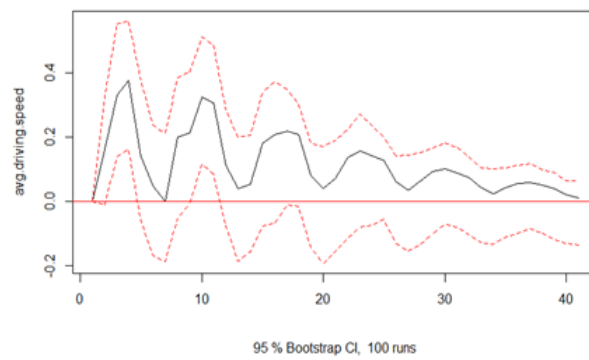
SVAR Impulse Response from avg.driving speed



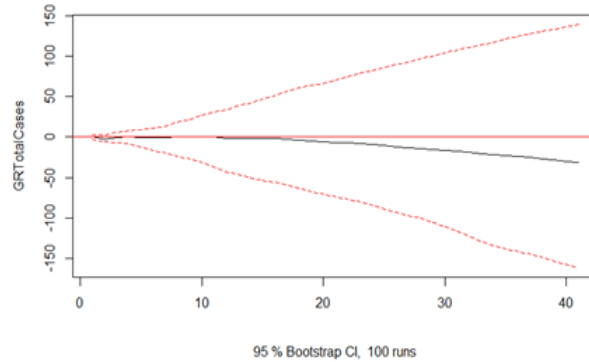
SVAR Impulse Response from GRTotalCases



SVAR Impulse Response from GRTotalCases

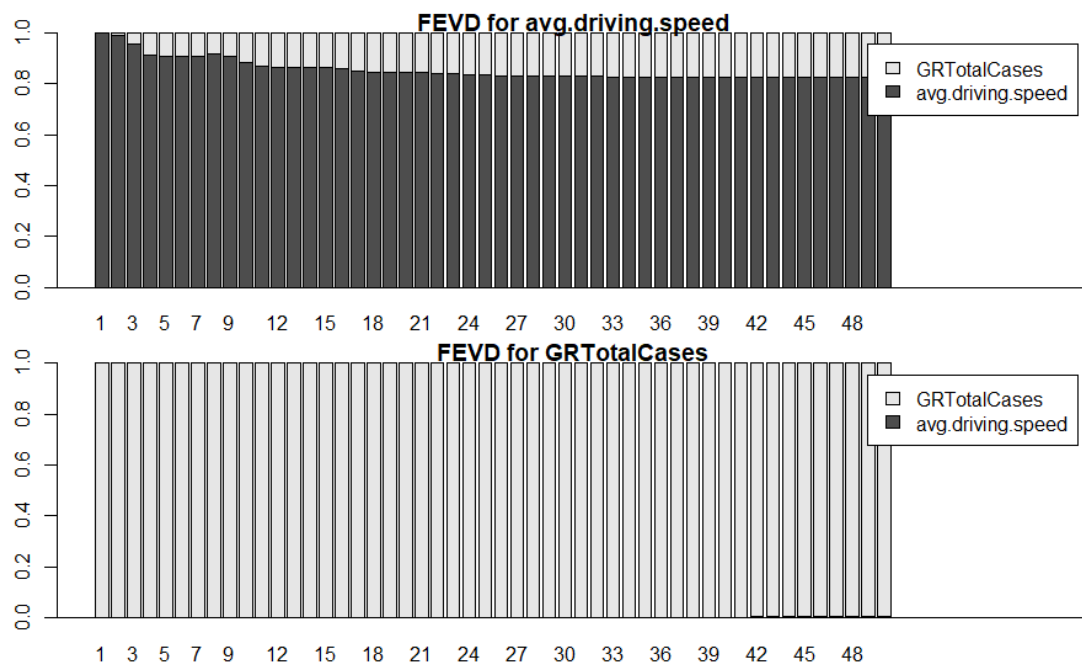


SVAR Impulse Response from avg.driving speed



Γράφημα 5.14: Γραφήματα IRFs για το μοντέλο της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Αντίστοιχα, με τα δύο προηγούμενα μοντέλα τα διαγράμματα IRFs παρουσιάζονται με τον ίδιο τρόπο. Παρατηρείται ομοιότητα στις αντιδράσεις των χρονοσειρών. Αναλυτικότερα, η χρονοσειρά την μέσης ημερήσιας ταχύτητας αφού παρουσιάσει διακυμάνσεις, περισσότερες από τις δύο προηγούμενες φορές, **ύστερα συγκλίνει στο 0**. Αντίθετα η χρονοσειρά των συνολικών κρουσμάτων δείχνει στις πρώτες περιόδους να μην επηρεάζεται όμως στη συνέχεια να αποκλίνει από το 0, σε διαφορετικό βαθμό σε κάθε περίπτωση.



Γράφημα 5.15: Γράφημα FEVD για το μοντέλο SVAR της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα

Τέλος, στο τρίτο μοντέλο (της μέσης ημερήσιας ταχύτητας και των συνολικών κρουσμάτων στην Ελλάδα) φαίνεται ότι ο αριθμός των συνολικών κρουσμάτων επηρεάζεται με ποσοστό 20% από την απότομη διακύμανση της μέσης ημερήσιας ταχύτητας, που είναι το μεγαλύτερο ποσοστό που συναντήθηκε στα γραφήματα FEVD και για τα τρία μοντέλα.

5.4 Σύνοψη και Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων

Με βάση τους ελέγχους που έγιναν, αναπτύχθηκαν **τρία στατιστικά σημαντικά** μοντέλα, τα δύο από αυτά είναι σε επίπεδο εμπιστοσύνης 90% και το ένα 95%. Σε κανένα, όμως, από αυτά δεν συναντάται αμφίδρομη σχέση αιτιότητας μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου.

Τα σφάλματα που υπολογίστηκαν για το πρώτο μοντέλο είναι αρκετά μεγάλα. Για τα άλλα δύο είναι σημαντικά μικρότερα και συνεπώς ικανοποιητικά. Αυτό εξηγείται καθώς **η εξέλιξη της πανδημίας αντιμετωπίστηκε με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα την περίοδο**. Αρχικά, στο πρώτο «κύμα», ο αριθμός των κρουσμάτων, ήταν πολύ μικρός σε σχέση με τα ημερήσια κρούσματα του

φθινοπώρου (CoVid19.gov.gr). Ενώ ταυτόχρονα, τα περιοριστικά μέτρα που επιβλήθηκαν κατά την άνοιξη του 2020, ήταν αντίστοιχα με εκείνα του φθινοπώρου.

Αξίζει να αναφερθεί ότι και από προηγούμενες έρευνες έχει διαπιστωθεί πως τα επιβαλλόμενα μέτρα επηρέασαν σημαντικά τη μείωση της κινητικότητας (de Haas 2020, Fatmi 2021, Burstein 2020 και Politis 2021) και τη μείωση των ατυχημάτων (Shilling 2020). **Στην οδηγική συμπεριφορά όμως δεν παρατηρήθηκαν αντίστοιχες σημαντικές μεταβολές**, καθώς η αύξηση της μέσης ταχύτητας δεν ήταν σημαντική.

Τέλος, από τα γραφήματα των μοντέλων SVAR, προκύπτει ότι **οι χρονοσειρές που περιγράφουν την οδηγική συμπεριφορά, επηρεάζονται από τα επιδημιολογικά δεδομένα ενώ το αντίστροφο δεν συμβαίνει**. Αυτό είναι λογικό, καθώς η εξέλιξη της πανδημίας εξαρτάται από τελείως διαφορετικούς παράγοντες, όπως ο συνωστισμός ή η εύρεση φαρμακευτικής αγωγής.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει στόχο τη **διερεύνηση της εξέλιξης της επιρροής της πανδημίας του κορωνοϊού 19 στη συμπεριφορά οδηγών στην Ελλάδα**. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών για την περιγραφή και την πρόβλεψη των οδηγικών χαρακτηριστικών κατά το πρώτο έτος της πανδημίας.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν, αντλήθηκαν από την εφαρμογή της εταιρείας OSeven που είχαν καταγραφεί από **αισθητήρες έξυπνων κινητών τηλεφώνων** (smartphones). Δημιουργήθηκαν δύο ομάδες δεδομένων. Η πρώτη ομάδα δεδομένων αφορούσε στον τρόπο οδήγησης. Για κάθε διαδρομή μετρήθηκαν διάφορα κυκλοφοριακά μεγέθη, όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, το ποσοστό χρήσης κινητού τηλεφώνου και άλλα. Η δεύτερη ομάδα δεδομένων αποτελείται από δεδομένα που αφορούν την **ημερήσια εξέλιξη της πανδημίας**. Δηλαδή, είναι ο συνολικός αριθμός κρουσμάτων και απωλειών και ο δείκτης αυστηρότητας από το πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, που είναι ένας τρόπος ποσοτικοποίησης των επιβαλλόμενων περιορισμών.

Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο, αναπτύχθηκαν **τρία μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών Vector Autogression (VAR) και Structural Vector Autogression (SVAR)** για να εξεταστεί η επιρροή των επιδημιολογικών δεδομένων στη συμπεριφορά των οδηγών στην Ελλάδα. Μετά τους απαραίτητους ελέγχους διαπιστώθηκε ότι τρία από αυτά είναι στατιστικά σημαντικά, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1: Στατιστικά σημαντικά μοντέλα

A/A	Μεταβλητές	Μοντέλο	MAE	MSE	RMSE	R2	MAPE
1	Απότομες επιταχύνσεις ανά 100km	VAR(10), SVAR	9,373	116,412	10,789	-62,231	82,29%
	Συνολικά κρούσματα στην Ελλάδα	VAR(10), SVAR	37219,61	2,72E+09	52198,67	-0,295	43,51%
2	Απότομες επιταχύνσεις ανά 100km	VAR(10), SVAR	1,198	2,141	1,463	-0,163	10,46%
	Δείκτης αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης	VAR(10), SVAR	13,492	294,639	17,165	-0,861	17,78%
3	Μέσης ημερήσια ταχύτητα	VAR(10), SVAR	2,732	11,597	3,405	-2,661	6,34%
	Συνολικά κρούσματα στην Ελλάδα	VAR(10), SVAR	30203,21	1,9E+09	43532,78	0,099	32,83%

Τα **μοντέλα VAR** αναλύουν την αμφίδρομη σχέση των μεταβλητών τους. Στα παραπάνω μοντέλα δεν προέκυψε αμφίδρομη σχέση μεταξύ των μεταβλητών, αλλά μόνο προς τη μία κατεύθυνση. Συγκεκριμένα, σχέση αιτιότητας προκύπτει από τον αριθμό των συνολικών κρουσμάτων προς τις απότομες επιταχύνσεις ανά 100km και τη μέση ημερήσια ταχύτητα. Επίσης, σχέση αιτιότητας συναντάται και από τις απότομες επιταχύνσεις ανά 100km προς τον δείκτη αυστηρότητας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης.

Από τα γραφήματα των παραπάνω **μοντέλων SVAR**, προκύπτει ότι οι χρονοσειρές που περιγράφουν τη οδηγική συμπεριφορά, επηρεάζονται από τα επιδημιολογικά δεδομένα ενώ το αντίστροφο δεν συμβαίνει.

6.2 Συμπεράσματα

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

- **Όσο αυξάνονται τα κρούσματα αυξάνεται η επιθετική συμπεριφορά των οδηγών** πιθανώς λόγω των αυστηρότερων περιοριστικών μέτρων και της συνεπαγόμενης συνολικής ψυχολογικής πίεσης των οδηγών.
- **Οι απότομες επιταχύνσεις εμφανίζουν την καλύτερη συσχέτιση με τα επιδημιολογικά δεδομένα**, (σε σχέση με όλες τις άλλες μεταβλητές της συμπεριφοράς οδήγησης) έχοντας σχέση αιτιότητας και με τον συνολικό αριθμό κρουσμάτων αλλά και με τον δείκτη αυστηρότητας. Πιθανή εξήγηση είναι ότι η αύξηση των κρουσμάτων και η αυστηροποίηση των ληφθέντων περιοριστικών μέτρων προκαλεί ψυχολογική πίεση στους οδηγούς, με αποτέλεσμα την επιθετική συμπεριφορά και ειδικότερα, την αύξηση των απότομων επιταχύνσεων.
- Η σχέση αιτιότητας μεταξύ της μέσης ημερήσιας ταχύτητας κυκλοφορίας με τον συνολικό αριθμό κρουσμάτων εξηγείται έμμεσα από τη μείωση της κυκλοφορίας στους οδικούς άξονες. Καθώς **οι οδηγοί κινούνται σε οδικά τμήματα με χαμηλότερους κυκλοφοριακούς φόρτους, έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες**.
- **Η σχέση αιτιότητας που προκύπτει στον δείκτη αυστηρότητας** από τις απότομες επιταχύνσεις εξηγείται από το γεγονός της επιμέρους συσχέτισης που αναφέρθηκε παραπάνω ανάμεσα στα κρούσματα και την επιθετική συμπεριφορά.
- Από τα μοντέλα VAR και SVAR που εξετάζουν την αμφίδρομη αλληλεξάρτηση του δείκτη αυστηρότητας με την επιθετική οδήγηση (συσχετισμένη με τα κρούσματα) προκύπτουν μη ικανοποιητικές προβλέψεις, γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται **στην κατά περίπτωση χαμηλού βαθμού εφαρμογή των μέτρων**.

- Από την ανάπτυξη των μοντέλων SVAR προκύπτει ότι μία απότομη μείωση ή αύξηση της μίας εκ των δύο μεταβλητών επιφέρει διακυμάνσεις στη μεταβλητή της συμπεριφοράς των οδηγών μέχρι να συγκλίνει σταδιακά σε μία τιμή, όπως φαίνεται από τα γραφήματα IRFs. Αυτό ενδεχομένως συμβαίνει διότι **η εξέλιξη της πανδημίας επηρεάζει την ψυχολογία των πολιτών και κατ' επέκταση την καθημερινότητα τους.**
- Το γράφημα FEVD του μοντέλου SVAR καταδεικνύει ότι οι απότομες επιταχύνσεις δεν επηρεάζονται από την απότομη διακύμανση του δείκτη αυστηρότητας, γεγονός που ενδεχομένως εξηγείται από τη **χρονική καθυστέρηση της επιρροής** της αυστηροποίησης των μέτρων στην επιθετική συμπεριφορά των οδηγών.
- Τα αποτελέσματα των μοντέλων κατέδειξαν ότι **οι προβλέψεις είναι αξιόπιστες έως τον Σεπτέμβριο 2020**, διότι το δεύτερο κύμα της πανδημίας που ξεκίνησε τον Οκτώβριο είχε αρκετά διαφορετικά χαρακτηριστικά αναφορικά τόσο με τον αριθμό των κρουσμάτων όσο και με την συμμόρφωση στα μέτρα σε σχέση με το πρώτο κύμα.

6.3 Προτάσεις για Αξιοποίηση των Αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της Εργασίας αυτής, επιχειρείται η παράθεση μιας σειράς προτάσεων, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση της επιρροής της πανδημίας στην οδηγική συμπεριφορά:

- 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.
- Αξιοποίηση των μοντέλων χρονοσειρών για την **πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδηγών ανάλογα με την εξέλιξη της πανδημίας του κορωνοϊού** και τη λήψη διαφόρων προληπτικών μέτρων.
- Αξιοποίηση των μοντέλων χρονοσειρών για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδηγών **σε περιστάσεις με ανάλογη μείωση της κινητικότητας.**
- Δημιουργία **εφαρμογής σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα** για την πρόβλεψη και ενημέρωση των χρηστών της για τη συμπεριφορά των οδηγών, με βάση τα επιδημιολογικά δεδομένα
- Εντοπισμός των κρισιμότερων μέτρων περιορισμών και των **κρισιμότερων παραγόντων οδηγικής συμπεριφοράς** που θα συμβάλλουν στον περιορισμό διάδοσης μελλοντικών επιδημιών

6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

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 μέθοδος ανάλυσης με μοντέλα πολλαπλών χρονοσειρών, η οποία μπορεί να αποτελέσει βάση για ακόμη περισσότερες **για περαιτέρω έρευνα**, οι οποίες θα συμβάλλουν στην πληρέστερη κατανόηση και αντιμετώπιση των νέων συνθηκών παγκοσμίως.

- Αξιοποίηση των δεικτών του γεωγραφικού εύρους των περιοριστικών μέτρων από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης και **ανάλυση της συμπεριφοράς των οδηγών ανά περιφέρεια και πόλη** και ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης για μικρότερες γεωγραφικές μονάδες.
- Διεύρυνση του **γεωγραφικού πλαισίου** μελέτης. π.χ. ευρωπαϊκή ή παγκόσμια έρευνα.
- Αξιοποίηση της κλίμακας αυστηρότητας των περιοριστικών μέτρων από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης και αντίστοιχη **λεπτομερέστερη ανάλυση για κάθε επίπεδο αυστηρότητας**.
- Εξέταση της συμπεριφοράς των οδηγών 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.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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. Armstrong II, D.A., Lebo, M.J., Lucas, J. (2021). Do COVID-19 Policies Affect Mobility Behaviour? Evidence from 75 Canadian and American Cities.
5. Badr, H.S., Du, H., Marshall, M., Dong, E., Squire, M.M., Gardner, L.M. (2020). Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: a mathematical modelling study.
6. Beck, M., Hensher, D. (2020). Insights into the impact of COVID-19 on household travel and activities in Australia – The early days of easing restrictions, *Transp. Policy* 99
7. Bucsky, P. (2020). Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest, *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 8
8. Burstein, R., Hu, H., Thakkar, N., Schroeder, A., Famulare, M., Klein, D. (2020). Understanding the Impact of COVID-19 Policy Change in the Greater Seattle Area using Mobility Data
9. Campisi, T., Basbas, S., Skoufas, A., Akgün, N., Ticali, D., Tesoriere, G. (2020). The Impact of COVID-19 Pandemic on the Resilience of Sustainable Mobility in Sicily, *Sustainability* 12
10. Combs, T., Pardo, C. (2021). Shifting streets COVID-19 mobility data: Findings from a global dataset and a research agenda for transport planning and policy, *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 9
11. 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
12. Fatmi, M., Thirkell, C., Hossain, S. (2021). COVID-19 and Travel: How Our Out-of-home Travel Activity, In-home Activity, and Long-Distance Travel Have Changed. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 10
13. Favale, T., Soro, F., Trevisan, M., Drago, I., Mellia, M. (2020). Campus traffic and e-Learning during COVID-19 pandemic. *Computer Networks* 176
14. Gao, S., Rao, J., Kang, Y., Liang, L., Kruse J. (2020). Mapping county-level mobility pattern changes in the United States in response to COVID-19.
15. 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
16. Hasselwander, M., Tamagusko, T., Bigotte, J.F., Ferreira, A., Mejia, A., Ferranti, E.J.S. (2021). Building back better: The COVID-19 pandemic and transport policy implications for a developing megacity. *Sustainable Cities and Society* 69

17. Hu, S., Xiong, C., Liu, Z., Zhang, L. (2021). Examining spatiotemporal changing patterns of bike-sharing usage during COVID-19 pandemic. *Journal of Transport Geography* 91
18. Islind, A.S., Oskarsdottir, M., Steingrimsdottir, H. (2020). Changes in mobility patterns in Europe during the COVID-19 pandemic: Novel insights using open source data.
19. 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
20. Jonas De Vos (2020). The effect of COVID-19 and subsequent social distancing on travel behavior. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 5
21. 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
22. Katrakazas, C., Michelaraki, E., Sekadakis, M., Ziakopoulos, A., Kontaxi, A., Yannis, G. (2021). Identifying the impact of the COVID-19 pandemic on driving behavior using naturalistic driving data and time series forecasting. *Journal of Safety Research*
23. Khaddar, S., Fatmi, M.R. (2021). COVID-19: Are you satisfied with traveling during the pandemic? *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 9
24. Klein, B., LaRock, T., McCabe, S., Torres, L., Friedland, L., Privitera, F., Lake, B., Kraemer, M. U. G., Brownstein, J.S., Lazer, D., Eliassi-Rad, T., Scarpino, A.V., Vespignani, A., Chinazzi, M. (2020). Reshaping a nation: Mobility, commuting, and contact patterns during the COVID-19 outbreak.
25. Kraemer, M.U.G., Yang, C., Gutierrez, B., Wu, C., Klein, B., Pigott, D.M., Plessis, L., Faria, N.R., Li, R., Hanage, W.P., Brownstein, J.S., Layan, M., Vespignani, A., Tian, H., Dye, C., Pybus, O.G., Scarpino, S.V. (2020). The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China.
26. Linka, K., Goriely, A., Kuhl, E. (2021). Global and local mobility as a barometer for COVID-19 dynamics. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*
27. Maiti, A., Zhang, Q., Sannigrahi, S., Pramanik, S., Chakraborti, S., Cerda, A., Pilla, F. (2021). Exploring spatiotemporal effects of the driving factors on COVID-19 incidences in the contiguous United States. *Sustainable Cities and Society* 68
28. Molloy, J., Schatzmann, T., Schoeman, B., Tchervakov, C., Hintermann, B., Axhausen, K.W. (2021). Observed impacts of the Covid-19 first wave on travel behaviour in Switzerland based on a large GPS panel. *Transport Policy* 104
29. Muley, D., Shahin, M., Dias, C., Abdullah, M. (2020). Role of Transport during Outbreak of Infectious Diseases: Evidence from the Past, *Sustainability* 12
30. 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
31. Nouvellet, P., Bhatia, S., Cori, A., Ainslie, K.E.C., Baguelin, M., Bhatt, S., Boonyasiri, A., Brazeau, N.F., Cattarino, L., Cooper, L.V., Coupland, H., Cucunuba, Z.M., Cuomo-Dannenburg, G., Dighe, A., Djaafara, B.A.,

- Dorigatti, I., Eales, O.D., et al. (2020). Reduction in mobility and COVID-19 transmission.
32. Oguzoglu, U. (2020). COVID-19 Lockdowns and Decline in Traffic Related Deaths and Injuries.
 33. Our world in Data, 2021, <https://ourworldindata.org>
 34. Padmanabhan, V., Penmetsa, P., Li, X., Dhondia, F., Dhondia, S., Parrish, A. (2021). COVID-19 effects on shared-biking in New York, Boston, and Chicago. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 9
 35. Pawar, D.S., Yadav, A.K., Akolekar, N., Velaga N.R. (2020). Impact of physical distancing due to novel coronavirus (SARS-CoV-2) on daily travel for work during transition to lockdown. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 7
 36. Politis, I., Georgiadis, G., Papadopoulos, E., Fyrogenis, I., Nikolaidou, A., Kopsacheilis, A., Sdoukopoulos, A., Verani, E. (2021). COVID-19 lockdown measures and travel behavior: The case of Thessaloniki, Greece. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 10
 37. Roe, C.M., Rosnick, C.B., Colletta, A., Babulal, G.M. (2020). Reaction to a Pandemic: Social Distancing and Driving Among Older Adults During COVID-19.
 38. 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
 39. Shilling, F., Waetjen, D. (2020). Impact of COVID19 Mitigation on California Traffic Crashes. *Special Report(Update)*
 40. Stavrinou, D., McManusa, B., Mruga, S., Heb, H., Greshama, B., Albrighta, M.G., Svancaraa, A.M., Whittingtona, C., Underhilla, A., Whitea, D.M. (2020). Adolescent driving behavior before and during restrictions related to COVID-19. *Accident Analysis and Prevention* 144
 41. Tarasi, D., Daras, T., Tournaki, S., Tsoutsos, T. (2021). Transportation in the Mediterranean during the COVID-19 pandemic era. *Global Transitions* 3
 42. Thakkar, N., Burstein, R., Hu, H., Selvaraj, P., Klein, D. (2020). Social distancing and mobility reductions have reduced COVID-19 transmission in King County, WA.
 43. Vingilis, E., Beirness, D., Boase, P., Byrned, P., Johnson, J., Jonah, B., Mann, R.E., Rapoport, M.J., Seeley, J., Wickens, C.M., Wiesenthal, D.L. (2020). Coronavirus disease 2019: What could be the effects on Road safety? *Accident Analysis and Prevention* 144
 44. Wang, D., He, B.Y., Gao, J., Chow, J.Y.J., Ozbay, K., Iyer, S. (2021). Impact of COVID-19 behavioral inertia on reopening strategies for New York City transit. *International Journal of Transportation Science and Technology* 10
 45. Watson-Brown, N., Truelove, V., Parker, E., Davey, J. (2021). Drink driving during the COVID-19 pandemic. *Transportation Research Part F.*
 46. Yuan, X., Hu, K., Xu, J., Zhang, X., Bao, W., Lynch, C.F., Zhang, L. (2020). State heterogeneity of human mobility and COVID-19 epidemics in the European Union.
 47. World Health Organization (2021). <https://www.who.int>