



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

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

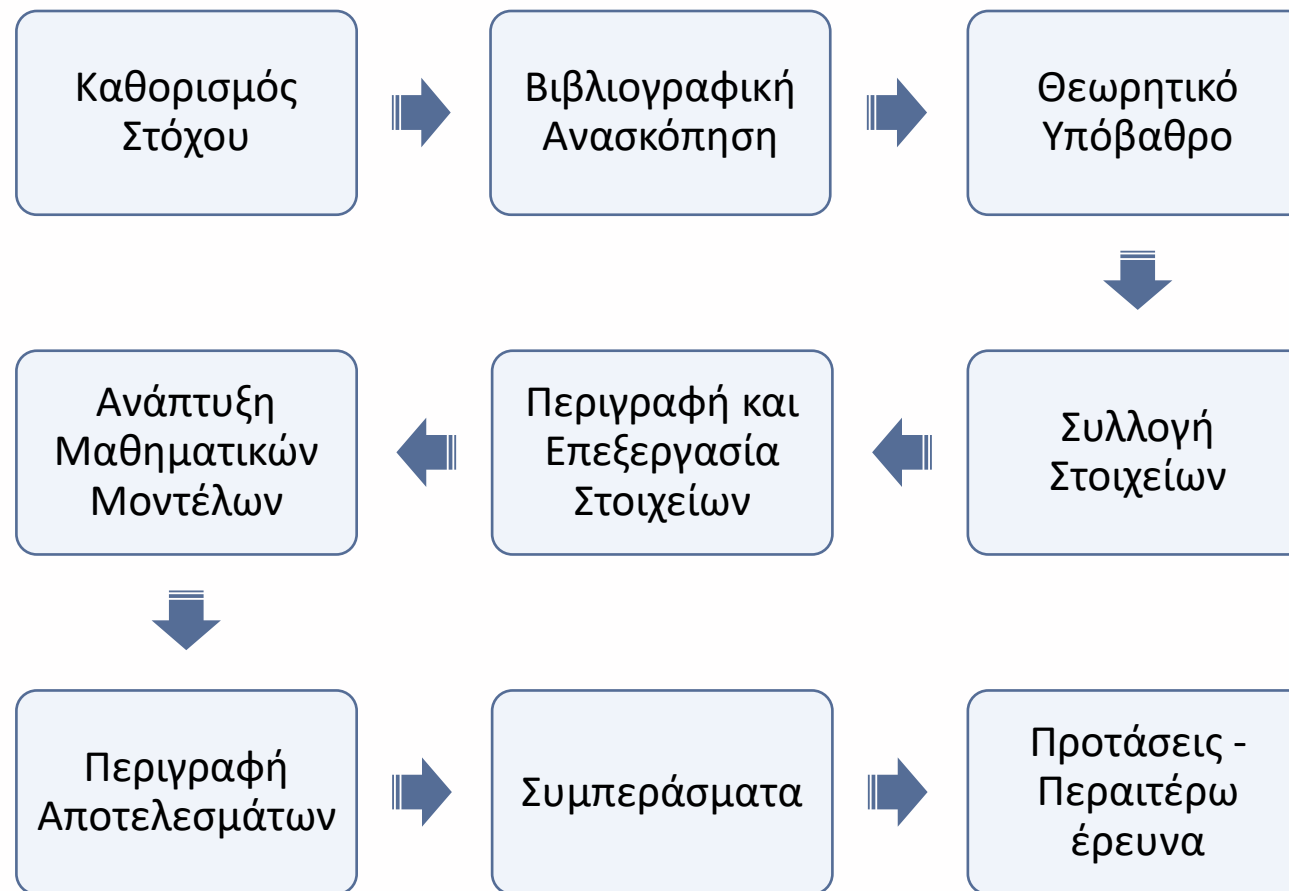
Μαριάνθη Καλλιδώνη

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





Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας

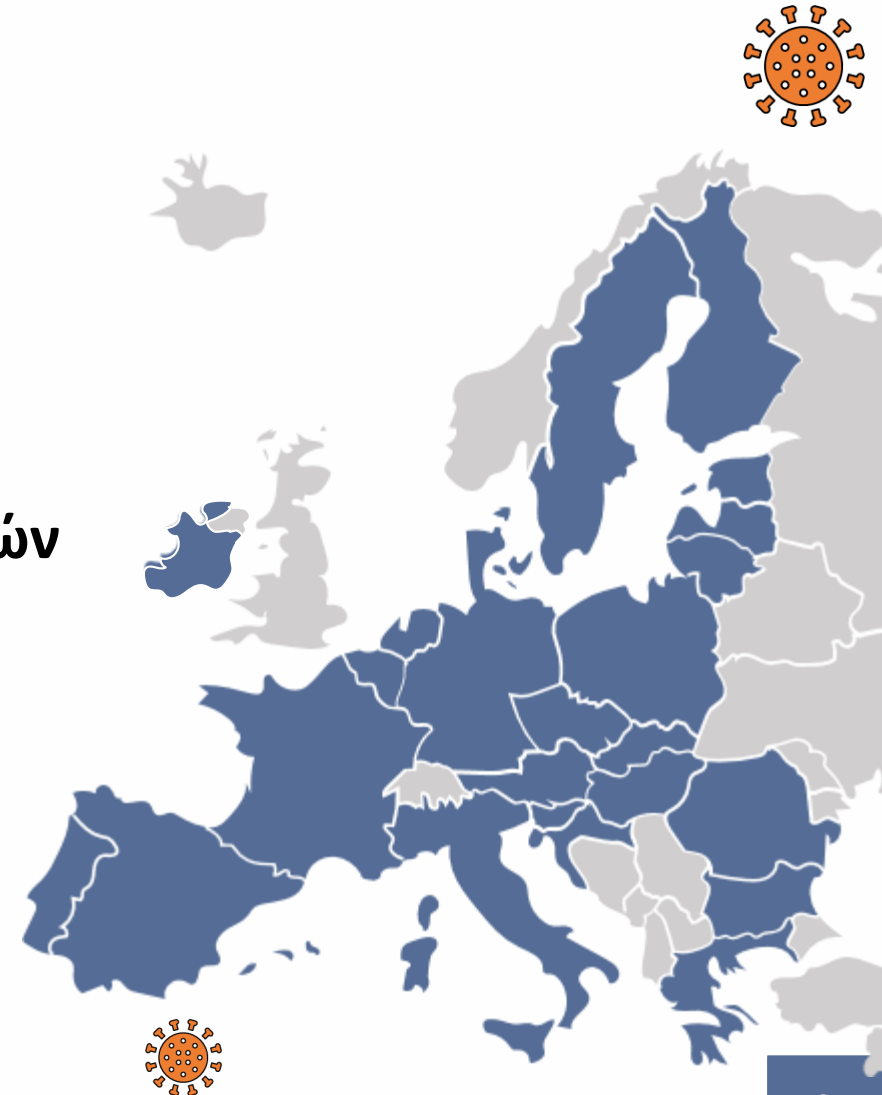




Αντικείμενο και Στόχος

Η διερεύνηση της **επιρροής της πανδημίας** στη συμπεριφορά μετακινήσεων στην **Ευρωπαϊκή Ένωση**.

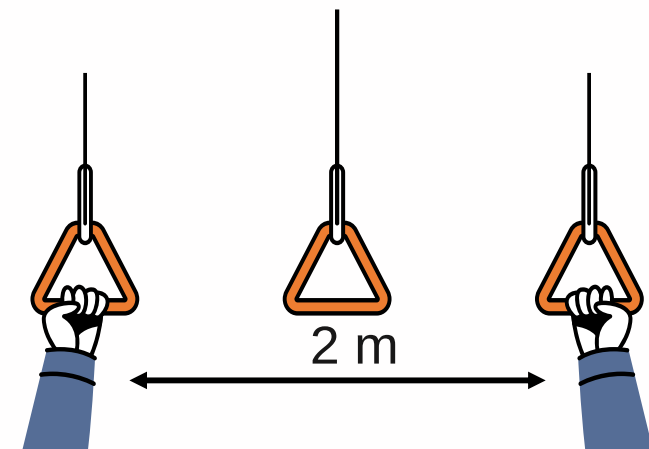
- Ποσοτικοποίηση της επιρροής με **ανάλυση χρονοσειρών**
- **Σύγκριση** των ευρωπαϊκών χωρών





Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (1/2)

- Απότομη μείωση της κινητικότητας λόγω των **περιοριστικών μέτρων**
- Ο **φόβος έκθεσης** στον ιό καθορίζει την επιλογή μέσου μετακίνησης
- Μείωση **οδήγησης** έως 85%
- Μείωση χρήσης των **M.M.M.** έως 90%
- Μείωση **τροχαίων ατυχημάτων**
- Αύξηση της απόστασης **βαδίσματος**
- Αύξηση χρήσης **ποδηλάτων**





Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (2/2)

Μειονεκτήματα προηγούμενων ερευνών:

- Περιγραφικές αναλύσεις **πριν και μετά** το πρώτο «κύμα»
- Διαγράμματα **ποσοστιάων μεταβολών**
- Λίγα **στατιστικά μοντέλα**, χωρίς εποχικότητα
- Έλλειψη **συγκρίσεων** μεταξύ διαφορετικών χωρών



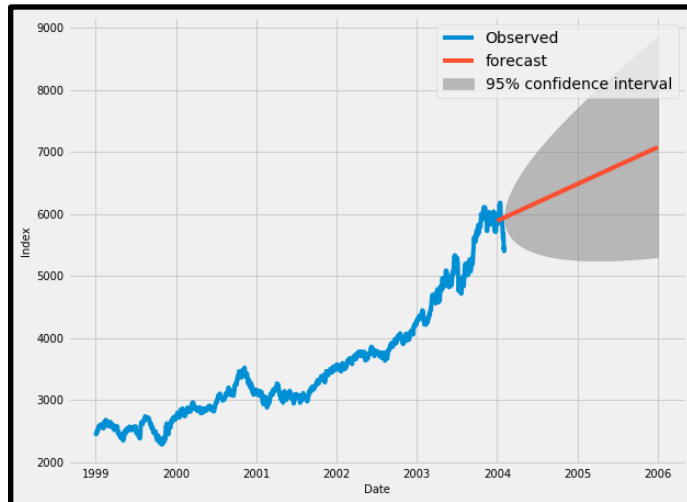


Μοντέλα χρονοσειρών:

AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA)
με εποχικότητα και εξωγενείς μεταβλητές



SARIMAX (p, d, q) (P, D, Q) s



Διαδικασία ανάπτυξης μοντέλου (Box & Jenkins, 1976):

- **Αναγνώριση** μοντέλου
- **Εκτίμηση** παραμέτρων
- Κριτήρια **ελέγχου**

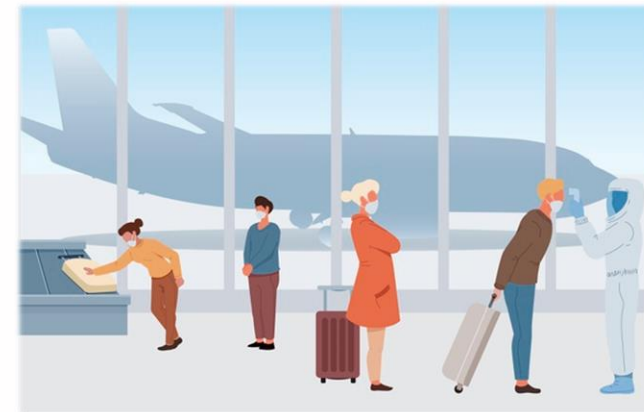
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|e_t|}{d_t}, ME = \frac{1}{n} \sum |e_t|, RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum e_t^2}, MSE = \frac{1}{n} \sum e_t^2$$



Συλλογή Στοιχείων

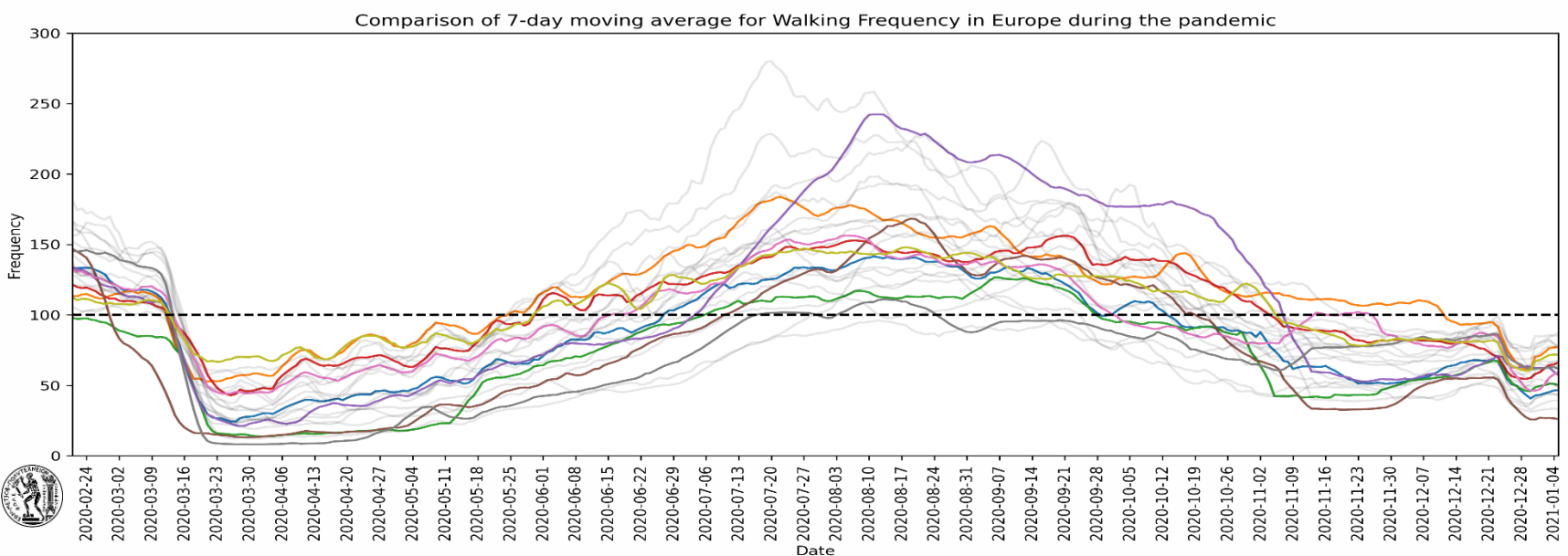
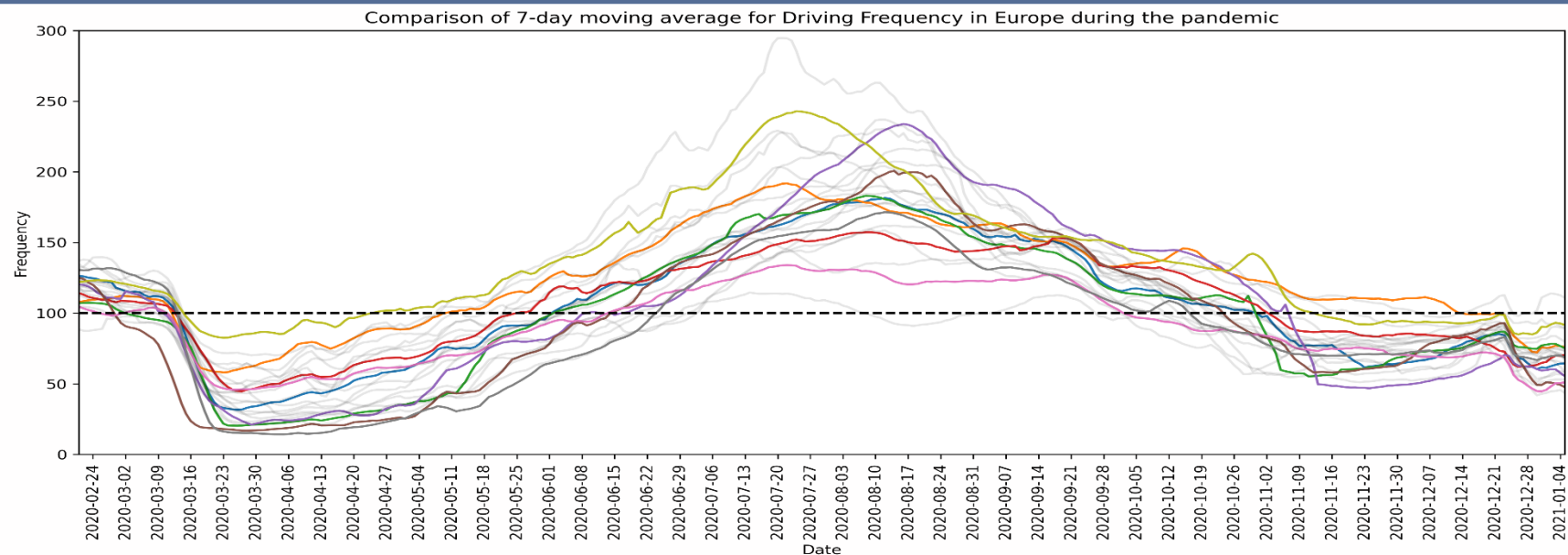
Συλλέχθηκαν από 15/02/20 έως 05/01/21 για 25 χώρες:

- Δεδομένα **οδήγησης και βαδίσματος** από την εταιρεία Apple (διαδικτυακή αναφορά τάσεων κινητικότητας)
- Δεδομένα **περιοριστικών μέτρων** από το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης (Oxford COVID-19 Government Response Tracker):
 - Κλείσιμο σχολείων και πανεπιστημίων
 - Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή
 - Έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια





Περιγραφή και Επεξεργασία Στοιχείων (1/2)



Ως 100%
τιμή βάσης
ορίζεται ο φόρτος
κυκλοφορίας στις
13/1/2020





Περιγραφή και Επεξεργασία Στοιχείων (2/2)

Δυαδικοί δείκτες περιοριστικών μέτρων

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

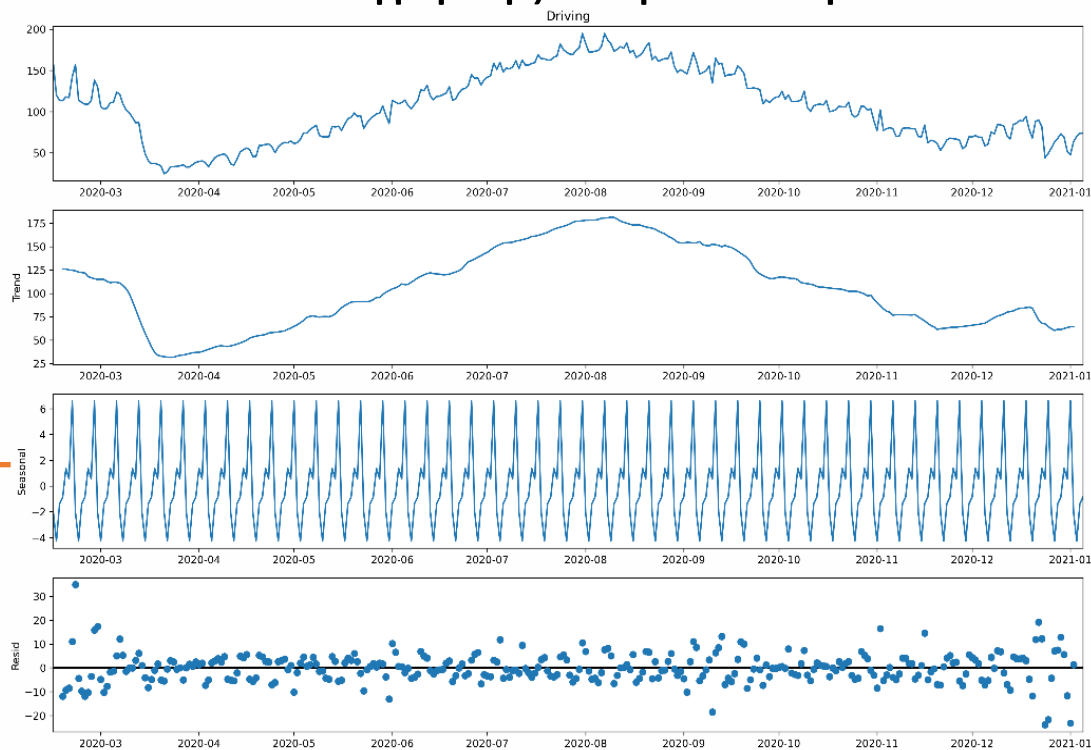
Απόσπασμα αρχείου δεδομένων Ιταλίας

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

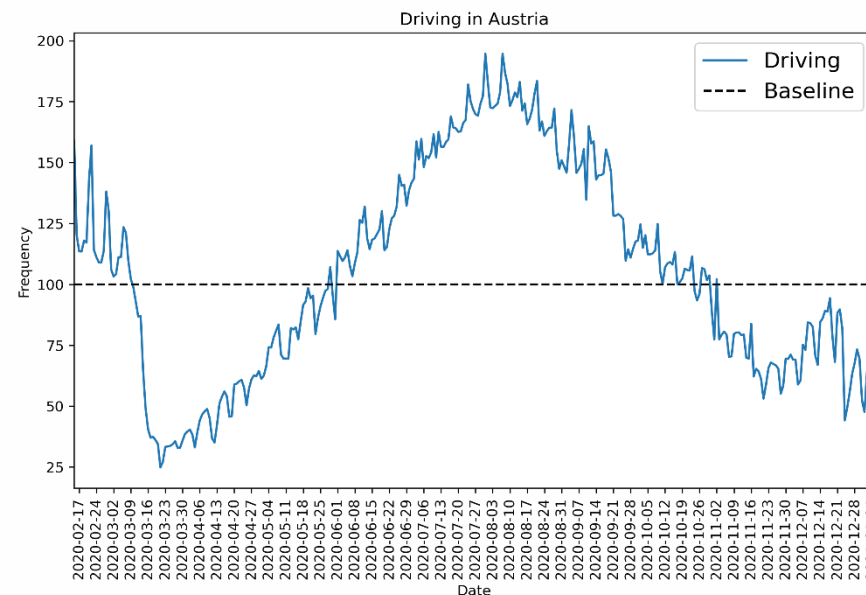


Αναγνώριση Μοντέλου (1/2)

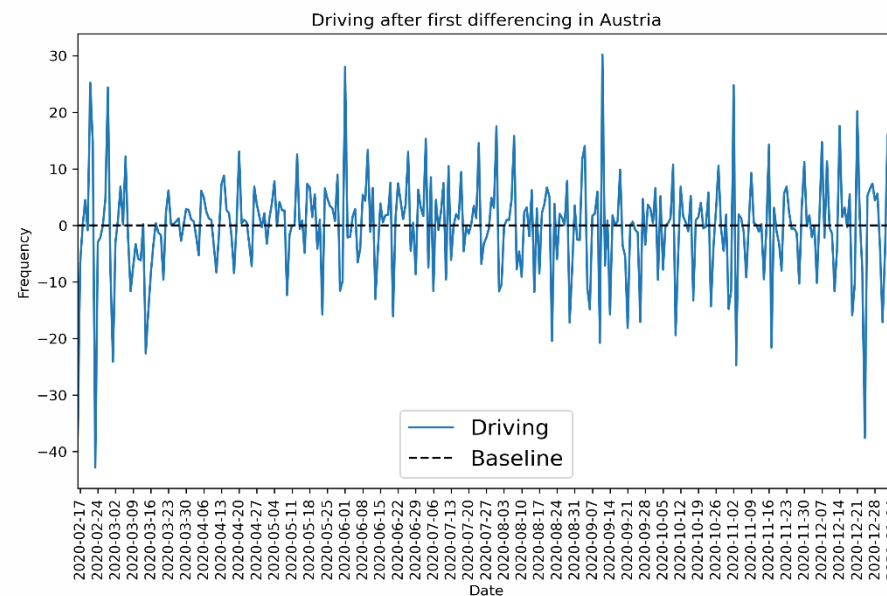
Αποσύνθεση χρονοσειράς συχνότητας οδήγησης στην Αυστρία



Εβδομαδιαία εποχικότητα



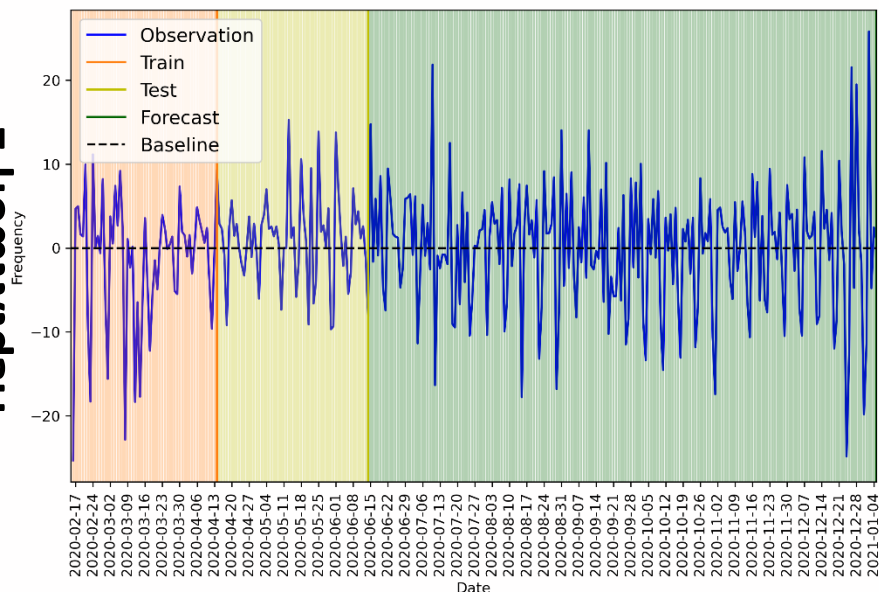
Μετατροπή
χρονοσειράς σε
στάσιμη
με πρώτη
διαφοροποίηση



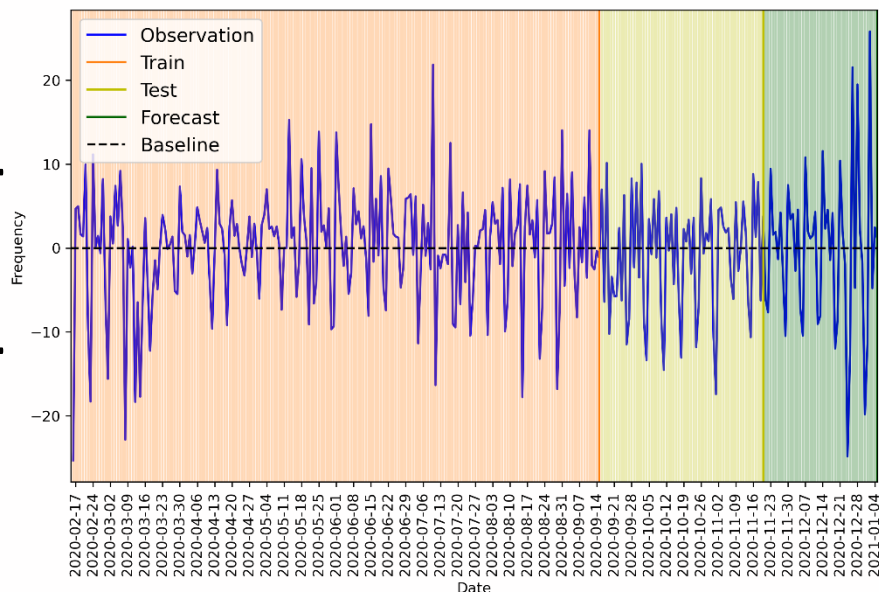


Αναγνώριση Μοντέλου (2/2)

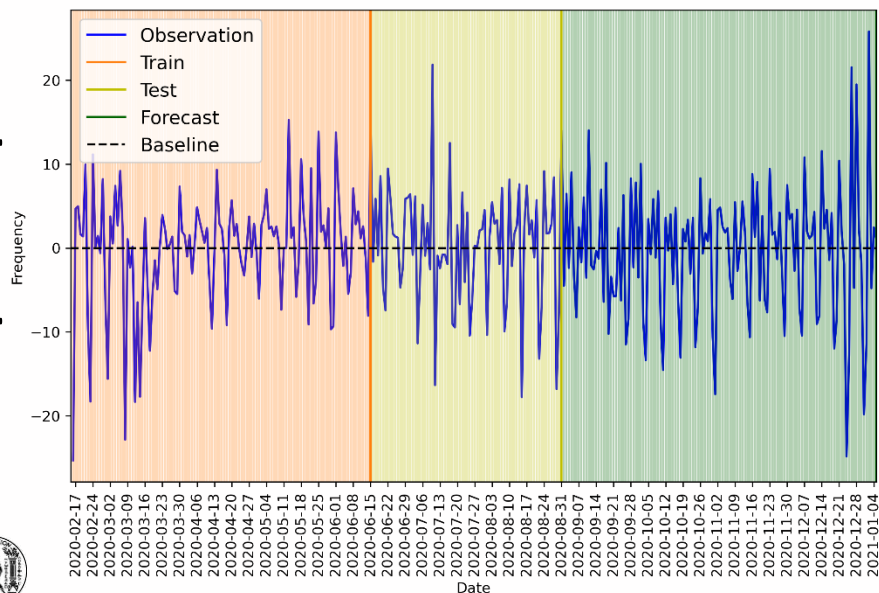
Περίπτωση 1



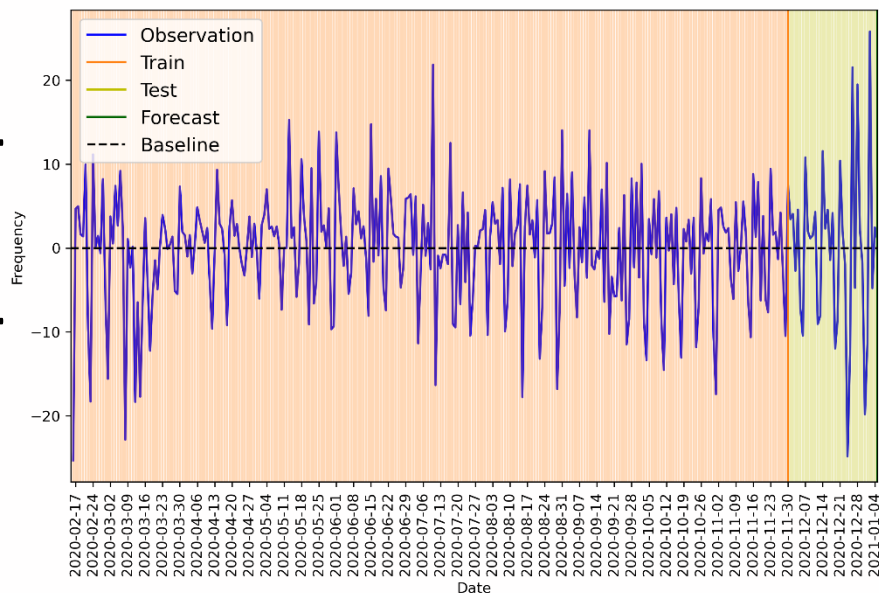
Περίπτωση 3



Περίπτωση 2



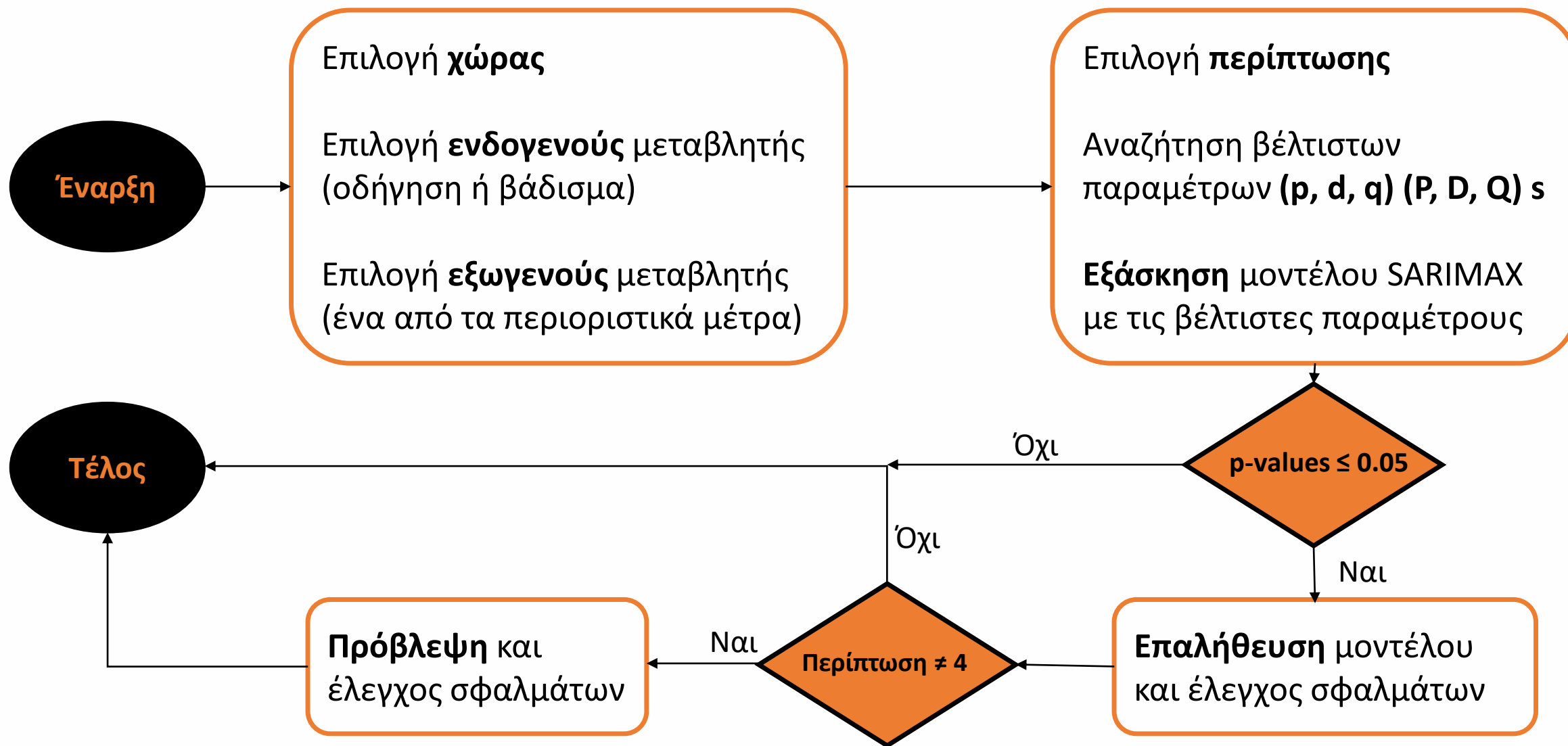
Περίπτωση 4



Περίπτωση (Case)	Εξάσκηση (Train)	Επαλήθευση (Test)	Προβλέψεις (Forecast)
1	Από 16/02/20 έως 15/04/20	Από 16/04/20 έως 14/06/20	Από 15/06/20 έως 05/01/21
2	Από 16/02/20 έως 15/06/20	Από 16/06/20 έως 01/09/20	Από 02/09/20 έως 05/01/21
3	Από 16/02/20 έως 15/09/20	Από 16/09/20 έως 20/11/20	Από 21/11/20 έως 05/01/21
4	Από 16/02/20 έως 30/11/20	Από 01/12/20 έως 05/01/21	-



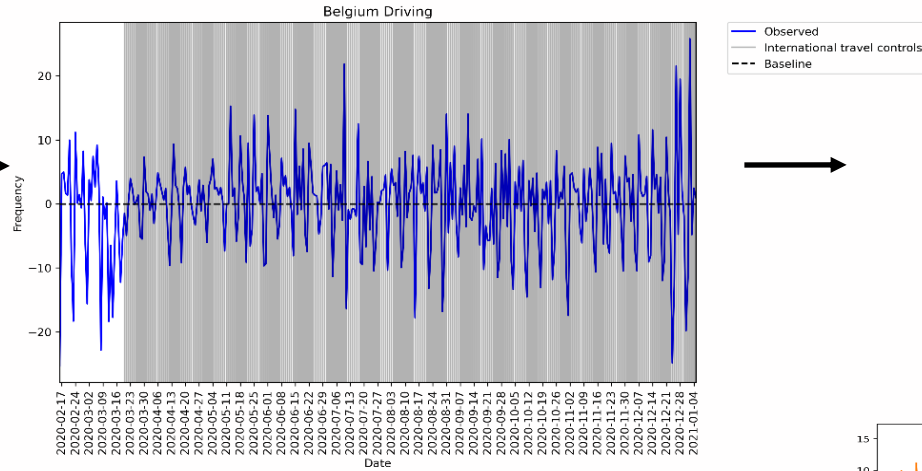
Εκτίμηση Παραμέτρων (1/2)



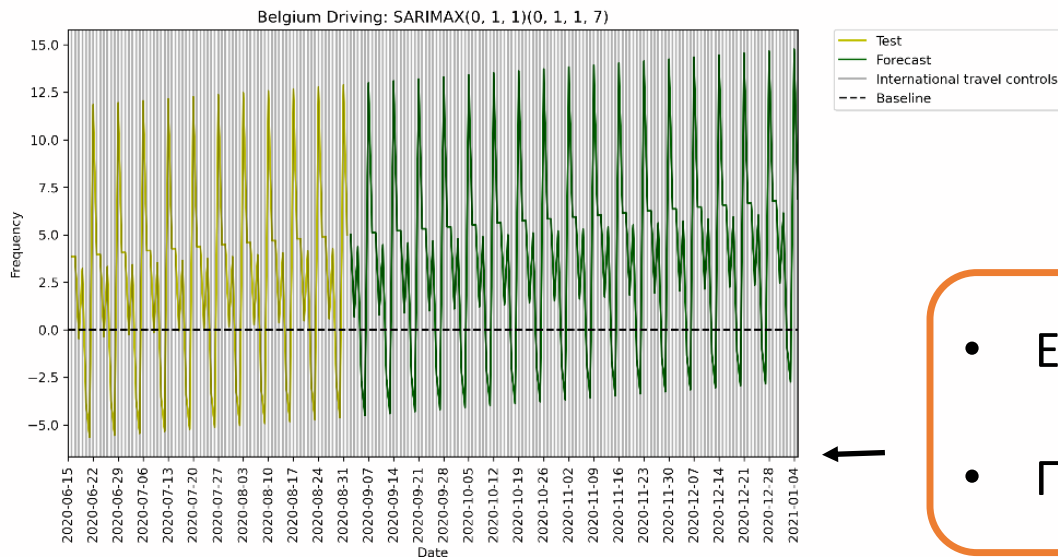


Εκτίμηση Παραμέτρων (2/2)

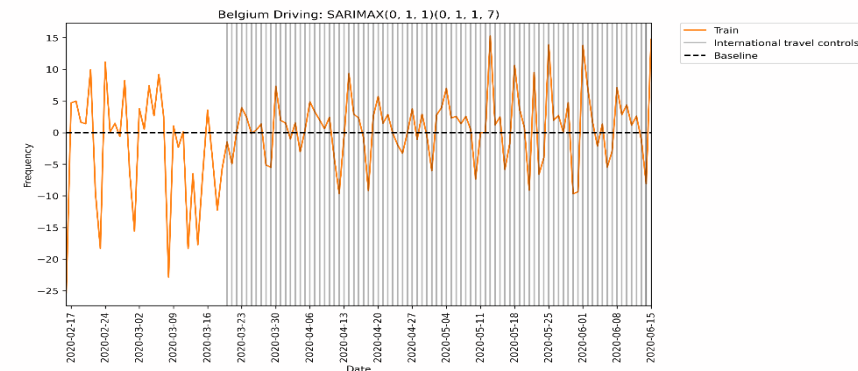
- Βέλγιο
- Οδήγηση
- Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια



- Περίπτωση 2
- SARIMAX (0,1,1) (0,1,1,7)
- Εξάσκηση μοντέλου



- Επαλήθευση
- Πρόβλεψη



Dep. Variable:	Driving			No. Observations:	121	
Model:	SARIMAX(0, 1, 1)x(0, 1, 1, 7)			Log Likelihood	-354.437	
Date:	Thu, 04 Mar 2021			AIC	716.875	
Time:	15:16:44			BIC	727.784	
Sample:	2/16/2020-06/15/2020			HQIC	721.302	
Covariance Type:	opg					
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
Travel	6.1306	2.378	2.578	0.01	1.469	10.792
ma.L1	-0.9563	0.053	-17.949	0	-1.061	-0.852
ma.S.L7	-0.6013	0.08	-7.521	0	-0.758	-0.445
sigma2	29.2398	3.092	9.456	0	23.179	35.301





Επισκόπηση βέλτιστων Μοντέλων Χρονοσειρών (1/2)

A/A	Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE
1	Αυστρία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1,12	14,77	18,05	325,72
2	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1,20	25,67	29,47	868,78
3	Αυστρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	5,43	7,95	10,48	109,79
4	Βέλγιο	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	2,06	5,91	7,76	60,20
5	Βέλγιο	(0,1,1)(1,1,1,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2,16	6,37	10,13	102,52
6	Κροατία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1,78	27,95	38,75	1501,57
7	Τσεχία	(2,1,1)(1,1,0,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0,95	9,71	12,40	153,81
8	Τσεχία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1,08	17,31	20,13	405,37
9	Τσεχία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1,61	10,22	12,64	159,67
10	Δανία	(3,1,0)(1,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1,25	13,81	15,62	243,93
11	Δανία	(3,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	5,12	15,50	21,00	440,83
12	Εσθονία	(1,1,2)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	425,08	19,05	24,65	607,55
13	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5,41	6,55	11,28	127,30
14	Γαλλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3,48	7,88	11,77	138,52
15	Γερμανία	(3,1,0)(2,1,0,7)	3	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1,12	18,82	23,60	557,09
16	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1,19	11,27	15,87	251,97
17	Ελλάδα	(3,1,0)(0,1,1,7)	4	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	5,83	7,99	11,71	137,06
18	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2,03	9,17	11,55	133,51
19	Ουγγαρία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1,72	6,57	9,05	81,95
20	Ουγγαρία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2,72	12,22	16,03	257,05





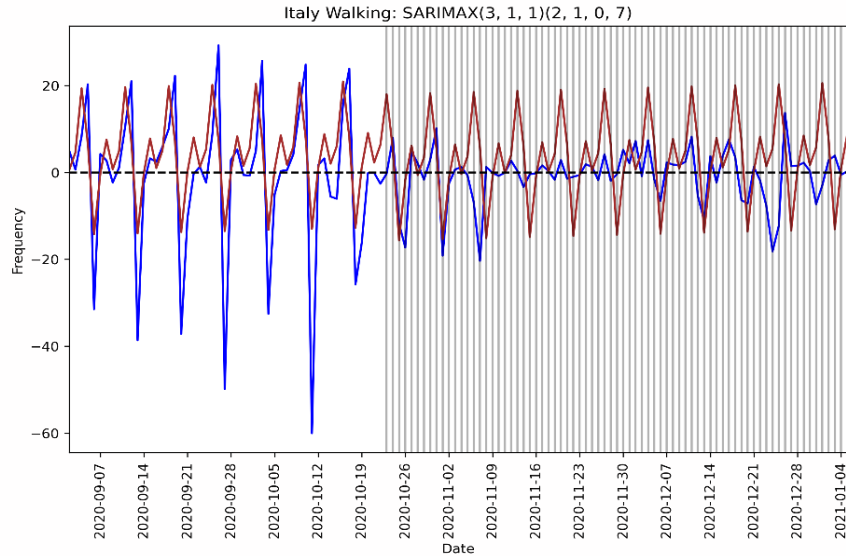
Επισκόπηση βέλτιστων Μοντέλων Χρονοσειρών (2/2)

A/A	Χώρα	SARIMAX	Περίπτωση	Ενδογενής μεταβλητή	Εξωγενής μεταβλητή	MAPE	MAE	RMSE	MSE
21	Ιρλανδία	(3,1,0)(0,1,2,7)	4	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	2,68	13,44	19,24	369,99
22	Ιταλία	(3,1,0)(2,1,0,7)	1	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	2,82	23,48	27,27	743,50
23	Ιταλία	(0,1,2)(1,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	14,89	12,24	15,11	228,24
24	Ιταλία	(3,1,1)(2,1,0,7)	2	Βάδισμα	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	3,21	9,10	12,11	146,64
25	Ιταλία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	0,98	48,90	52,88	2796,43
26	Λετονία	(3,1,0)(1,1,2,7)	1	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1,41	25,03	29,17	851,02
27	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1,00	4,59	6,85	46,98
28	Ολλανδία	(0,1,1)(0,1,2,7)	2	Οδήγηση	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1,06	4,49	6,64	44,03
29	Πολωνία	(3,1,1)(0,1,1,7)	1	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1,51	30,24	34,00	1155,89
30	Πολωνία	(3,1,0)(2,1,0,7)	4	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1,64	6,69	11,63	135,18
31	Πορτογαλία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	3,97	15,21	18,66	348,76
32	Πορτογαλία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	1,02	26,73	29,57	874,60
33	Ρουμανία	(0,1,2)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	1,39	5,15	8,34	69,52
34	Ρουμανία	(2,1,1)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1,99	6,59	8,84	78,17
35	Σλοβακία	(0,1,1)(0,1,1,7)	2	Οδήγηση	Υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή	1,61	7,32	11,07	122,63
36	Σλοβακία	(1,1,2)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	4,24	14,34	18,84	355,20
37	Σλοβενία	(0,13)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	12,72	18,15	23,26	541,03
38	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	2	Βάδισμα	Έλεγχοι σε διεθνή ταξίδια	3,41	9,64	11,60	134,49
39	Ισπανία	(3,1,0)(1,1,0,7)	3	Οδήγηση	Κλείσιμο σχολείων	2,42	10,12	13,71	188,09
40	Ισπανία	(3,1,0)(0,1,1,7)	3	Βάδισμα	Κλείσιμο σχολείων	1,23	11,08	14,62	213,61

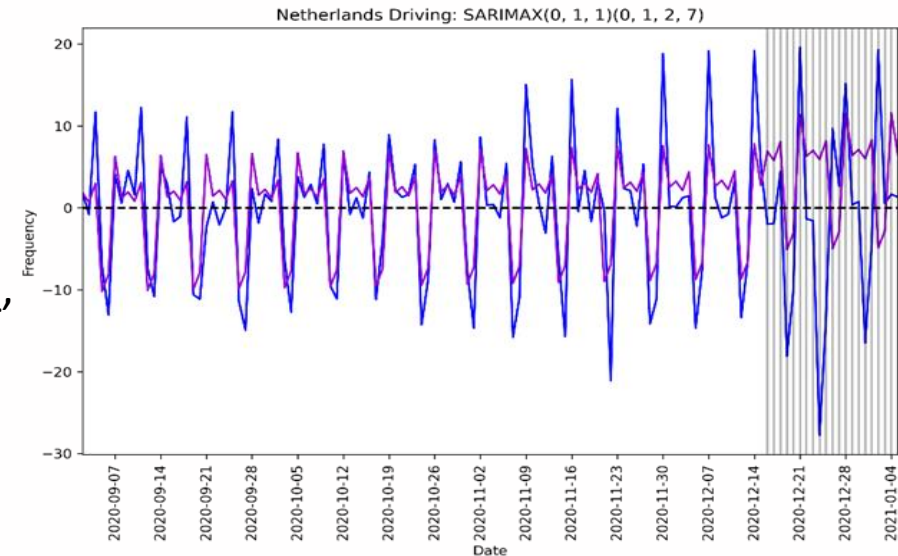




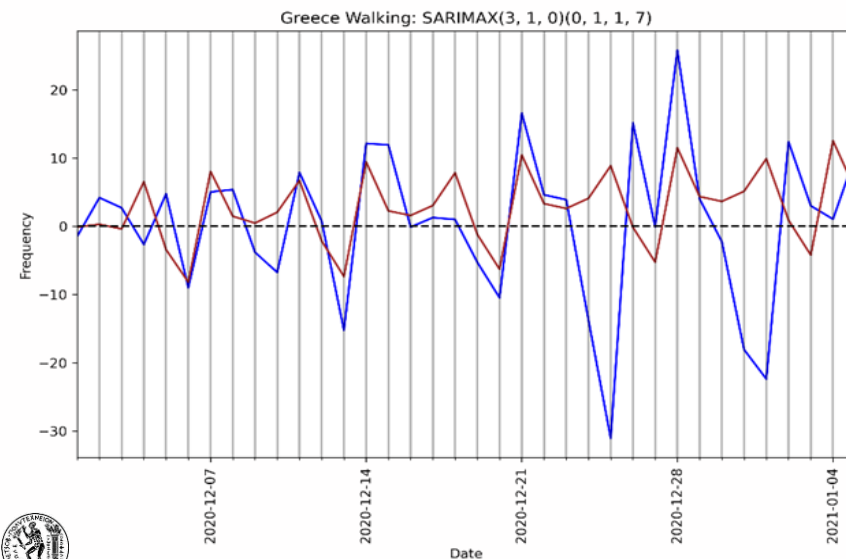
Περιγραφή Αποτελεσμάτων (1/2)



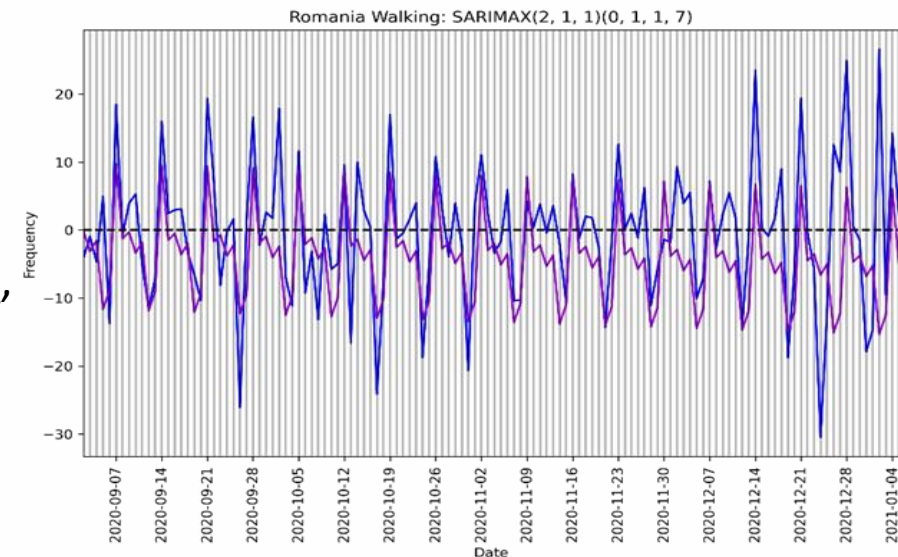
Ιταλία:
Οδήγηση &
υποχρεωτική κατ'
οίκον παραμονή



Ολλανδία:
Οδήγηση &
κλείσιμο σχολείων



Ελλάδα:
Βάδισμα &
υποχρεωτική κατ'
οίκον παραμονή

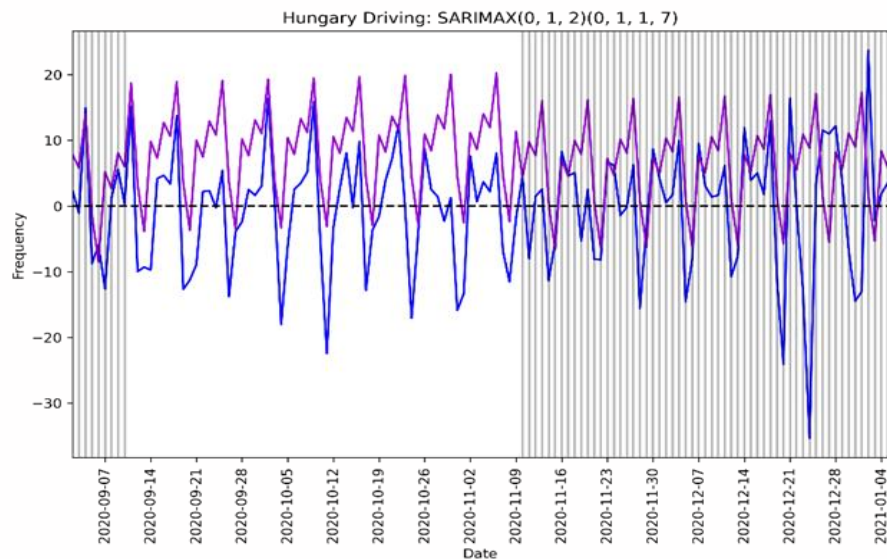


Ρουμανία:
Βάδισμα &
κλείσιμο σχολείων

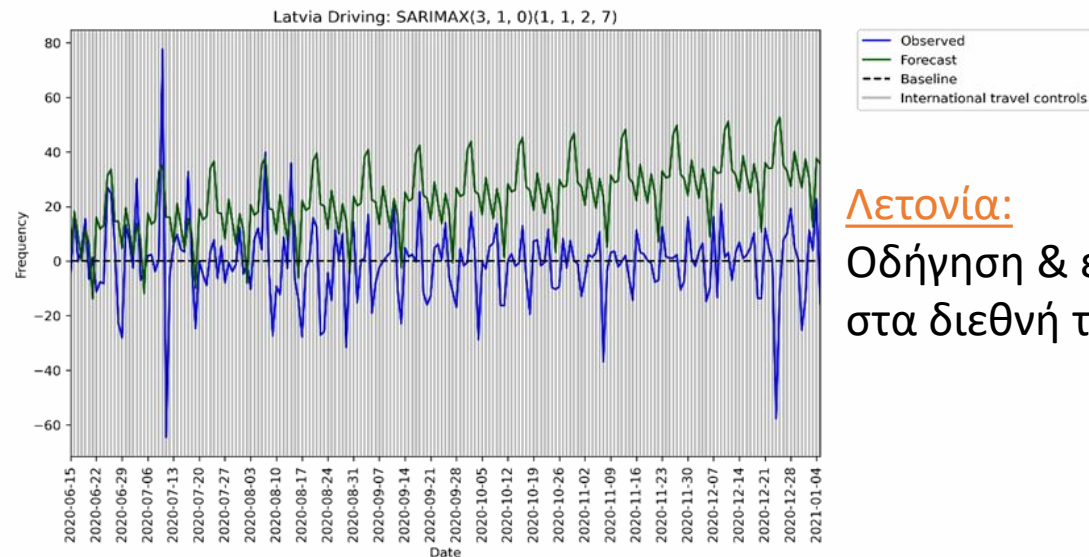




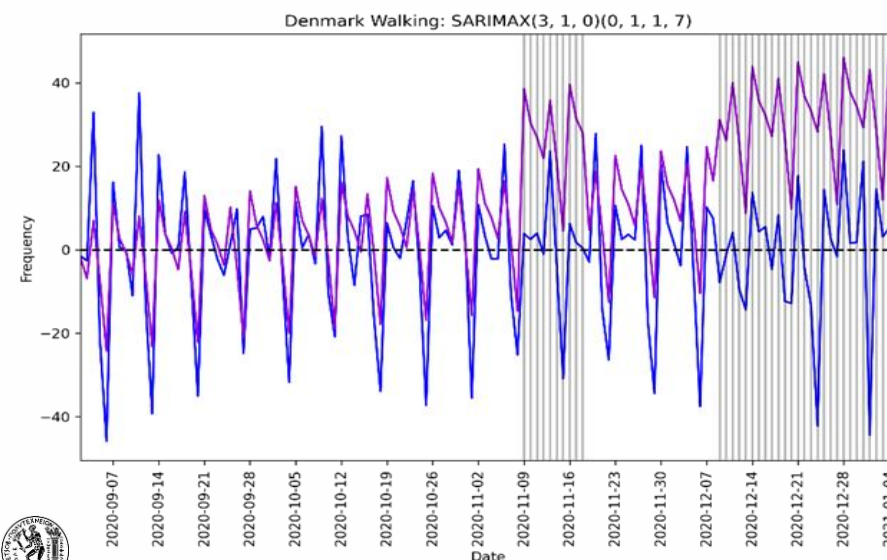
Περιγραφή Αποτελεσμάτων (2/2)



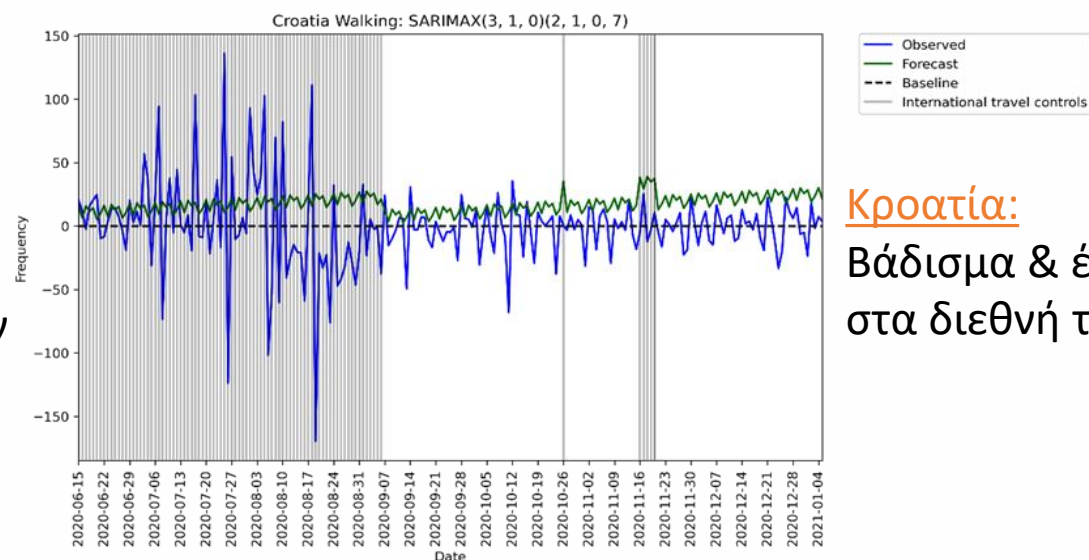
Ουγγαρία:
Οδήγηση &
κλείσιμο σχολείων



Λετονία:
Οδήγηση & έλεγχοι
στα διεθνή ταξίδια



Δανία:
Βάδισμα &
κλείσιμο σχολείων



Κροατία:
Βάδισμα & έλεγχοι
στα διεθνή ταξίδια



Συμπεράσματα

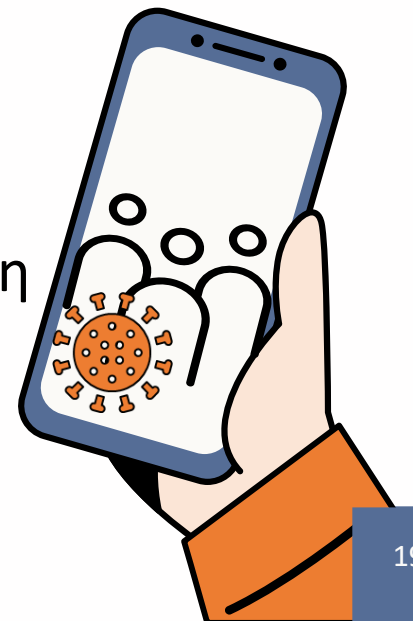
- Το κλείσιμο των σχολείων αποτελεί **τη πιο σημαντική εξωγενή μεταβλητή** → 20 μοντέλα
- Η υποχρεωτική κατ' οίκον παραμονή **δεν είναι σημαντική μεταβλητή** → Μόνο 8 μοντέλα
- Οι έλεγχοι στα διεθνή ταξίδια επηρεάζουν κυρίως τις χώρες **με ασθενή μέτρα** → Σλοβενία, Λετονία, Κροατία
- **Μεγαλύτερη συσχέτιση** με τα μέτρα περιορισμού οι χώρες που επλήγησαν πρώτες → Ιταλία, Ισπανία
- Οι χώρες με ασθενή μέτρα περιορισμού **δεν έδωσαν** μοντέλα χρονοσειρών → Φιλανδία, Σουηδία, Λιθουανία
- Εάν το πρώτο «κύμα» είναι ήπιο, η κινητικότητα του δεύτερου **δεν μπορεί να προβλεφθεί** με τα δεδομένα του πρώτου → Βουλγαρία, Ελλάδα





Προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

- **Εκτίμηση του βαθμού τήρησης των περιοριστικών μέτρων** από τις αρμόδιες αρχές με βάση τις προβλέψεις κινητικότητας των μοντέλων
- Επιλογή των **αποτελεσματικών μέτρων** για την μείωση της κινητικότητας σε σχέση με τον κορωνοϊό ή μελλοντικές πανδημίες
- **Πρόβλεψη της κινητικότητας οδηγών και πεζών** ανάλογα με τα προληπτικά μέτρα
- **Δημιουργία εφαρμογής σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα** για την πρόβλεψη του όγκου κυκλοφορίας και την αποφυγή συνωστισμού

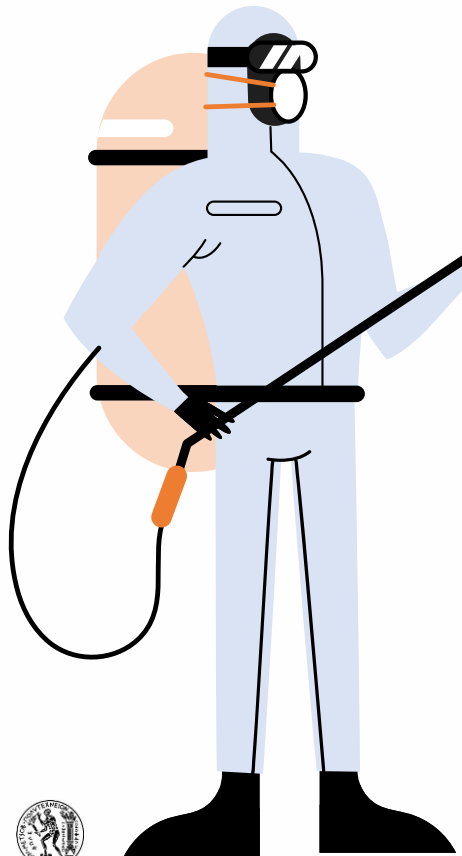




Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα



- Συσχέτιση κινητικότητας με τα **στοιχεία κρουσμάτων και θανάτων**
- Αξιοποίηση της **κλίμακας αυστηρότητας** των περιοριστικών μέτρων
- Αξιοποίηση δεικτών **γεωγραφικού εύρους** και ανάλυση ανά περιφέρεια
- Εξέταση κινητικότητας και στα **επόμενα «κύματα»** της πανδημίας
- Ανάλυση μοντέλων χρονοσειρών με **πολλαπλές μεταβλητές**
- Εξέταση της κινητικότητας κατά την πανδημία μέσω **μηχανικής εκμάθησης**



Ευχαριστώ για την προσοχή σας !





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

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

Μαριάνθη Καλλιδώνη

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

