



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Ανάλυση της επιρροής της τιμής της βενζίνης στις κυκλοφοριακές συνθήκες της Αθήνας.

Στέλιος Πειθής

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

Αθήνα, Νοέμβριος 2022

Βασικά Στάδια Διπλωματικής Εργασίας



Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Διερεύνηση της **επιρροής της τιμής της βενζίνης** και σχετικών παραγόντων στις κυκλοφοριακές συνθήκες:

- Της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας.
- Εκτός του Δακτυλίου Αθηνών.
- Εντός του Δακτυλίου Αθηνών.



Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (1/2)

- Η αύξηση της τιμής των καυσίμων κίνησης οδηγεί σε **ήπιες μειώσεις των κυκλοφοριακών φόρτων** με έντονες αποκλίσεις ανάμεσα σε αστικές και υπεραστικές οδούς.
- Σε περιόδους υψηλής τιμολόγησης της βενζίνης οι **μέσες ταχύτητες αυξάνονται** ως αποτέλεσμα μείωσης της πυκνότητας κυκλοφορίας.
- Η μέγιστη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου συνήθως προκύπτει ύστερα από **μεγάλο χρονικό διάστημα**. Ενδεικτικά η μακροπρόθεσμη ελαστικότητα είναι διπλή της βραχυπρόθεσμης σχεδόν σε όλες τις έρευνες.
- Οι οδηγοί χρειάζονται **χρόνο για να αντιληφθούν** τις μεταβολές κόστους ανεφοδιασμού και να μεταβάλουν τη συχνότητα ή το μέσο μετακίνησης.
- Η μείωση στον κυκλοφοριακό φόρτο συνήθως οφείλεται σε **ελάττωση των περιττών μετακινήσεων** εκτός των ωρών αιχμής.

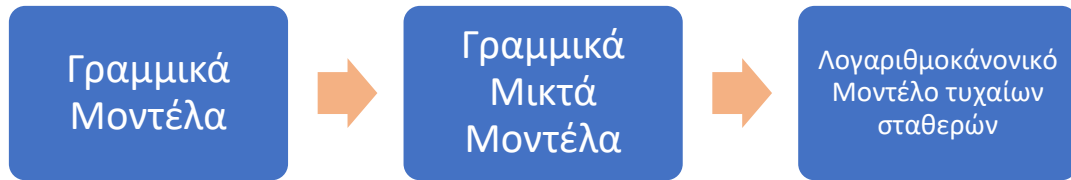


Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (2/2)

- Οι μετακινήσεις που αφορούν **βιοποριστικές ανάγκες** είναι σχετικά ανελαστικές απέναντι στο κόστος της βενζίνης.
- Οι οδηγοί προτιμούν να **μοιραστούν** το επαυξημένο κόστος ανεφοδιασμού χρησιμοποιώντας λωρίδες για οχήματα υψηλής πλήρωσης (HOV Lanes), στις οποίες παρατηρείται αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου παρά να επιβιβαστούν σε συγκοινωνίες.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος συνδέεται άρρηκτα με **οικονομικούς δείκτες** όπως αυτοί του χρηματιστηρίου, τα ποσοστά ανεργίας και τον πληθωρισμό.
- Τα κυκλοφοριακά μεγέθη επηρεάζονται από **πολλούς παράγοντες** οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ των ερευνών άρα και τα αποτελέσματα ποικίλουν.



Θεωρητικό υπόβαθρο



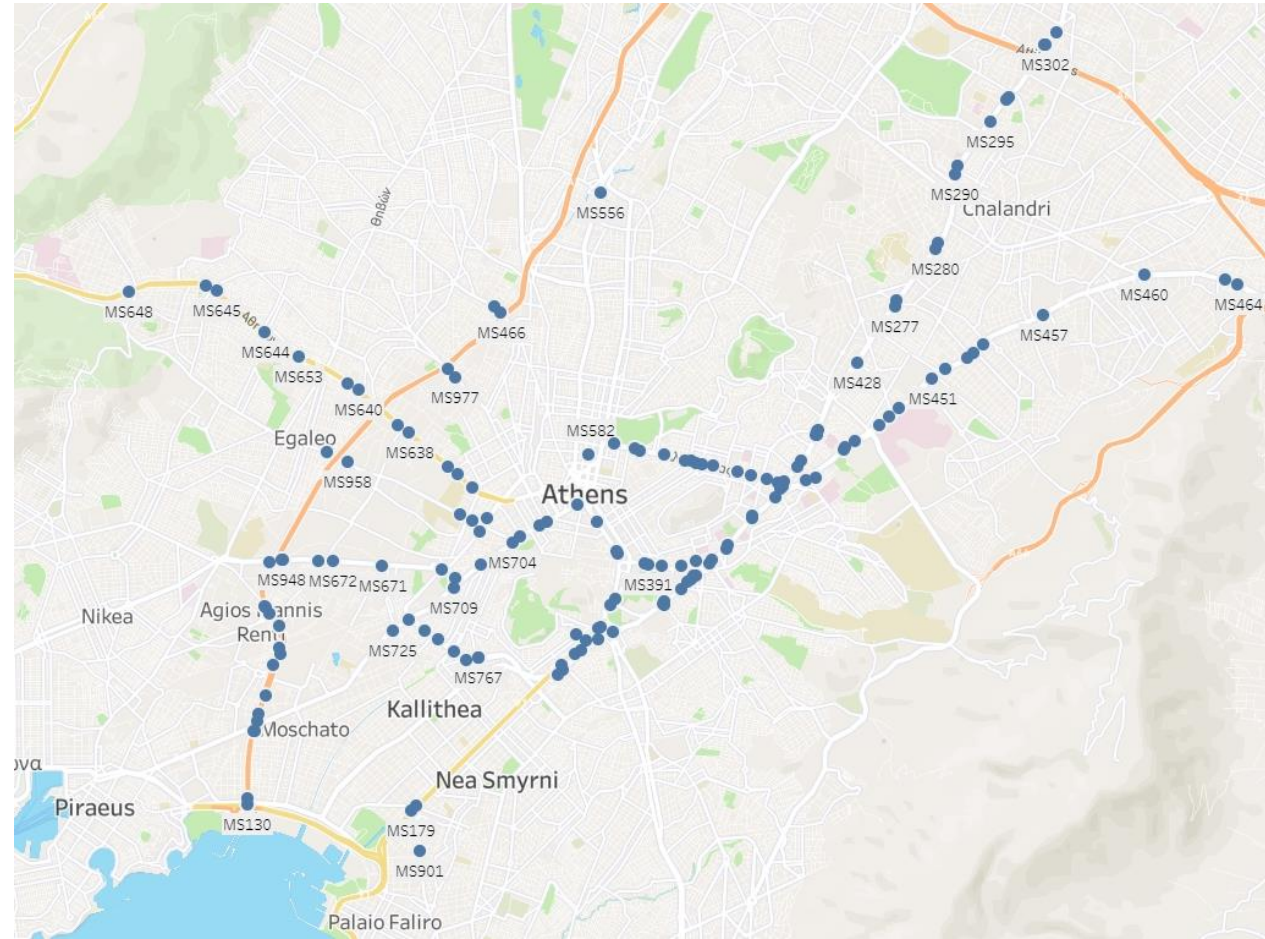
$$\log(y_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + u_j + \varepsilon_{ij}$$

- β_0 = σταθερός όρος
- $\beta_1, \dots, \beta_n$ = συντελεστές παλινδρόμησης κοινός για όλες τις ομάδες
- ε_i = σφάλμα παλινδρόμησης (υπόλοιπο)
- u_j = Υπόλοιπο επιπέδου 2 (ομάδας)
- $\varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$
- $u \sim N(0, \sigma_u^2)$



Συλλογή Και Επεξεργασία Στοιχείων

- Λήψη μετρήσεων από επαγωγικούς βρόγχους μέτρησης ωριαίων κυκλοφοριακών φόρτων από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας.
- **Αφαίρεση** προβληματικών μετρήσεων του δείγματος.
- Καθορισμός περιόδου για μελέτη : Νοέμβριος 2021-Ιούλιος 2022.
- **Επιλογή** 158 μετρητών εκ των οποίων οι 90 βρίσκονται **εκτός** του Δακτυλίου και οι υπόλοιποι **εντός**.

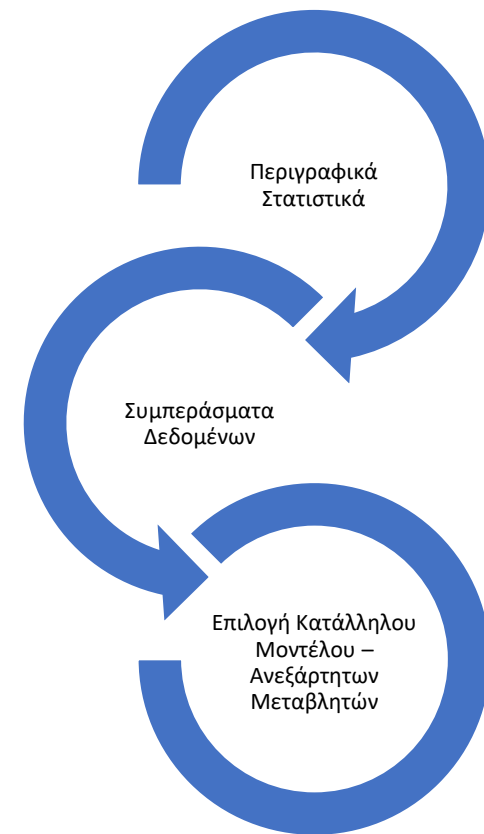


Συλλογή Και Επεξεργασία Στοιχείων

- Λήψη ιστορικού **μέσων ημερήσιων τιμών βενζίνης** από το Παρατητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων για την Αττική.
- Κλιματικά δεδομένα για τη περίοδο έρευνας:
 - ύψος βροχόπτωσης (mm)
 - θερμοκρασία ημέρας (°C)
- Σύνθεση δεδομένων και υπολογισμός επιπλέον ανεξάρτητων μεταβλητών.

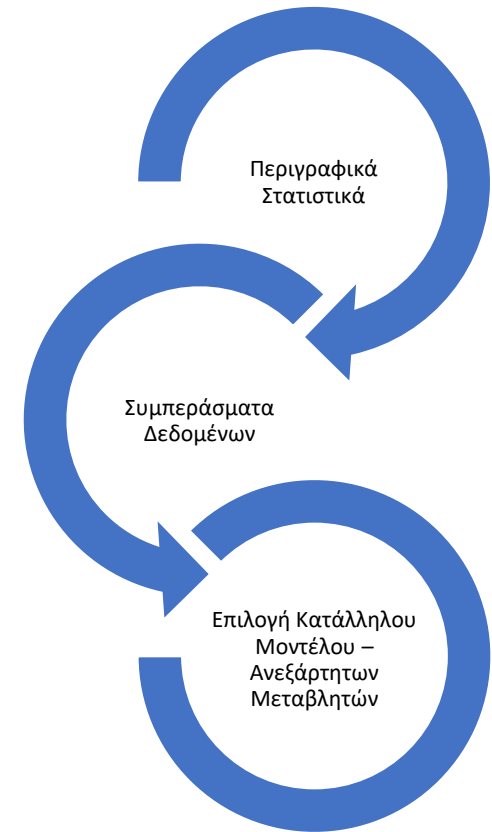
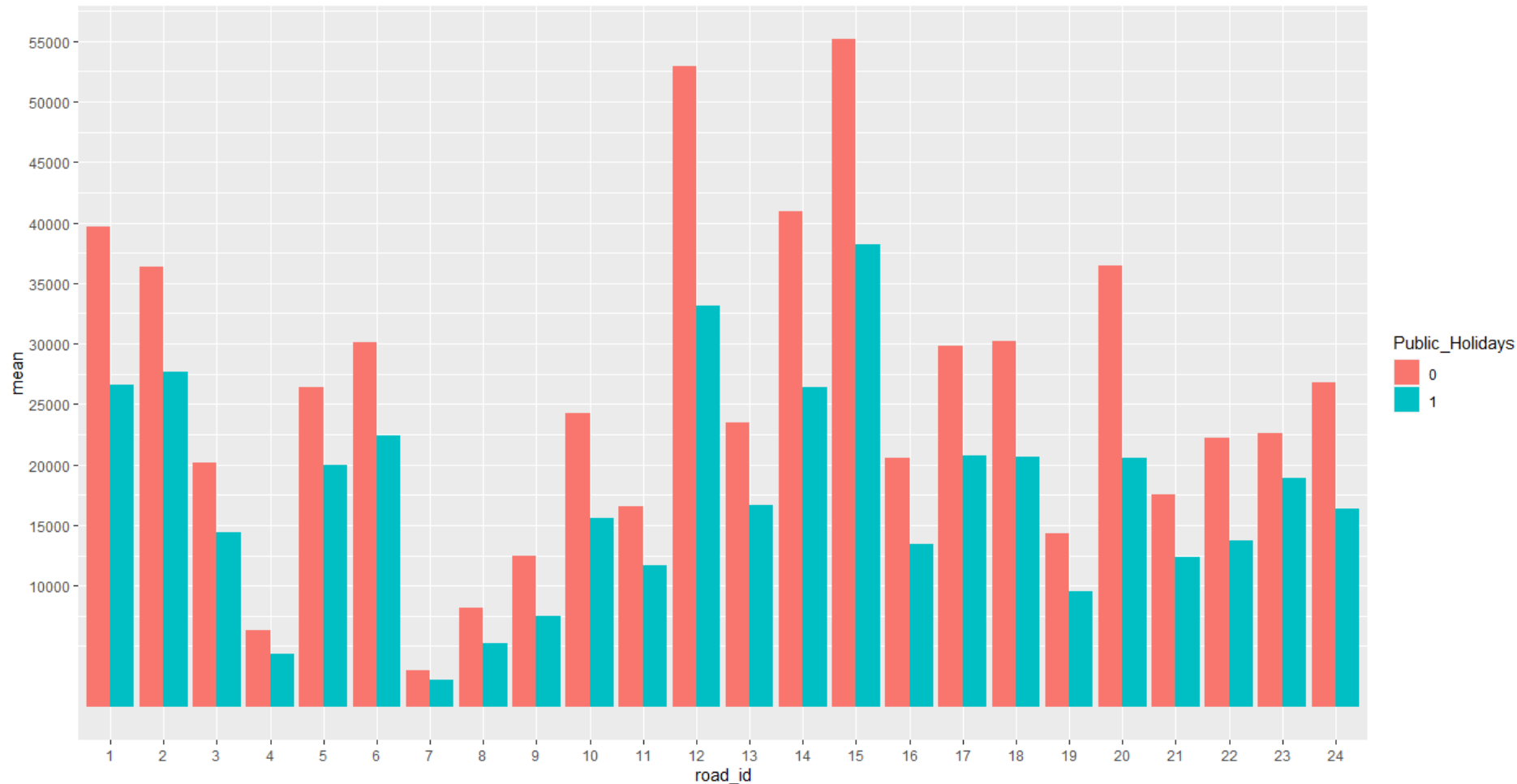
id	deviceid	Date	Traffic	Log_Traffic	Weekend	Gasoline	Diesel	Ukraine_War	Gasoline_1weekbf
Αριθμός μετρητή	Κωδικός Μετρητή από Κ.Δ.Κ	Ημερομηνία Μέτρησης	Κυκλοφοριακός Φόρτος	Λογάριθμος Κυκλοφοριακού Φόρτου	Μεταβλητή Dummy Σάββατο - Κυριακή	Τιμή αμόλυβδης βενζίνης	Τιμή Πετρελαίου	Μεταβλητή Dummy πόλεμος Ουκρανίας	Μέσος Όρος Τιμής Βενζίνης για επτά μερες πριν
Gasoline_1monthbf	Public_Holidays	FuelPass	Rain	Covid	Temperature	Schools_Vacation	Daktylios	GasDiff_Today_1weekbf	Road_Id
Μέσος όρος τιμής βενζίνης για ένα μήνα πριν	Μεταβλητή Dummy αργίες	Μεταβλητή Dummy FuelPass	Ημερήσιο ύψος βροχής	Ενεργά κρούσματα Κορονοϊού	Μέση τιμή ημερήσιας θερμοκρασίας	Μεταβλητή Dummy σχολικές διακοπές	Μεταβλητή Dummy τοποθεσία μετρητή	Διαφορά ημερήσιας τιμής βενζίνης με μέσο όρο επτά προηγούμενων ημερών	Αριθμός Οδού

Περιγραφικά Στατιστικά



- Απόκλιση μέσων όρων κυκλοφοριακών φόρτων ανάμεσα στις 24 διαφορετικές οδούς.
- Διαφορά μέσων όρων κυκλοφοριακού φόρτου ανάμεσα σε εργάσιμες και Σάββατα-Κυριακές.

Περιγραφικά Στατιστικά

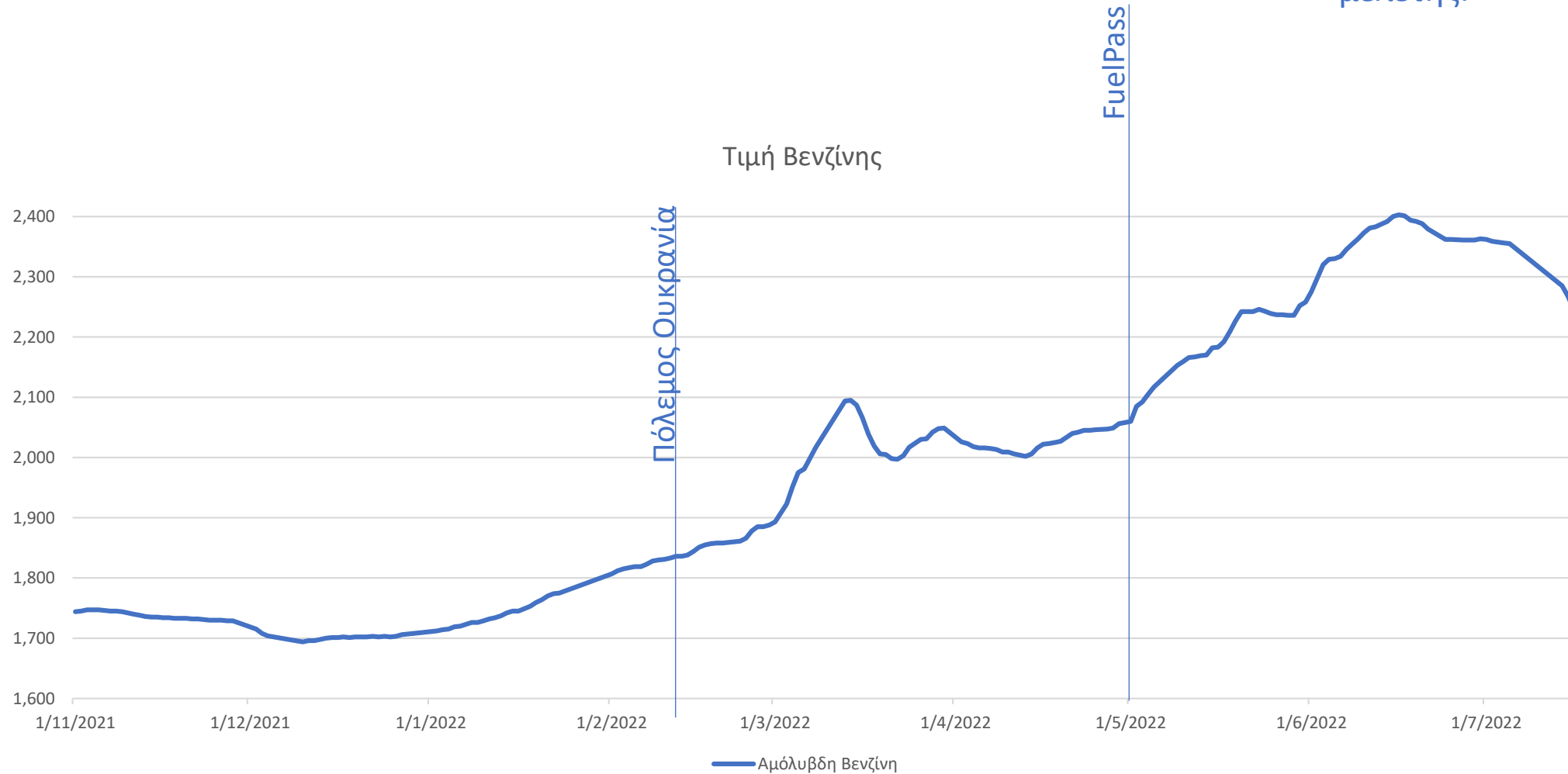


- Απόκλιση μέσων όρων κυκλοφοριακών φόρτων ανάμεσα στις 24 διαφορετικές οδούς.
- Διαφορά μέσων όρων κυκλοφοριακού φόρτου ανάμεσα σε εργάσιμες και αργίες.

Περιγραφικά στατιστικά



Αύξηση 40% στην τιμή της βενζίνης για την περίοδο μελέτης.

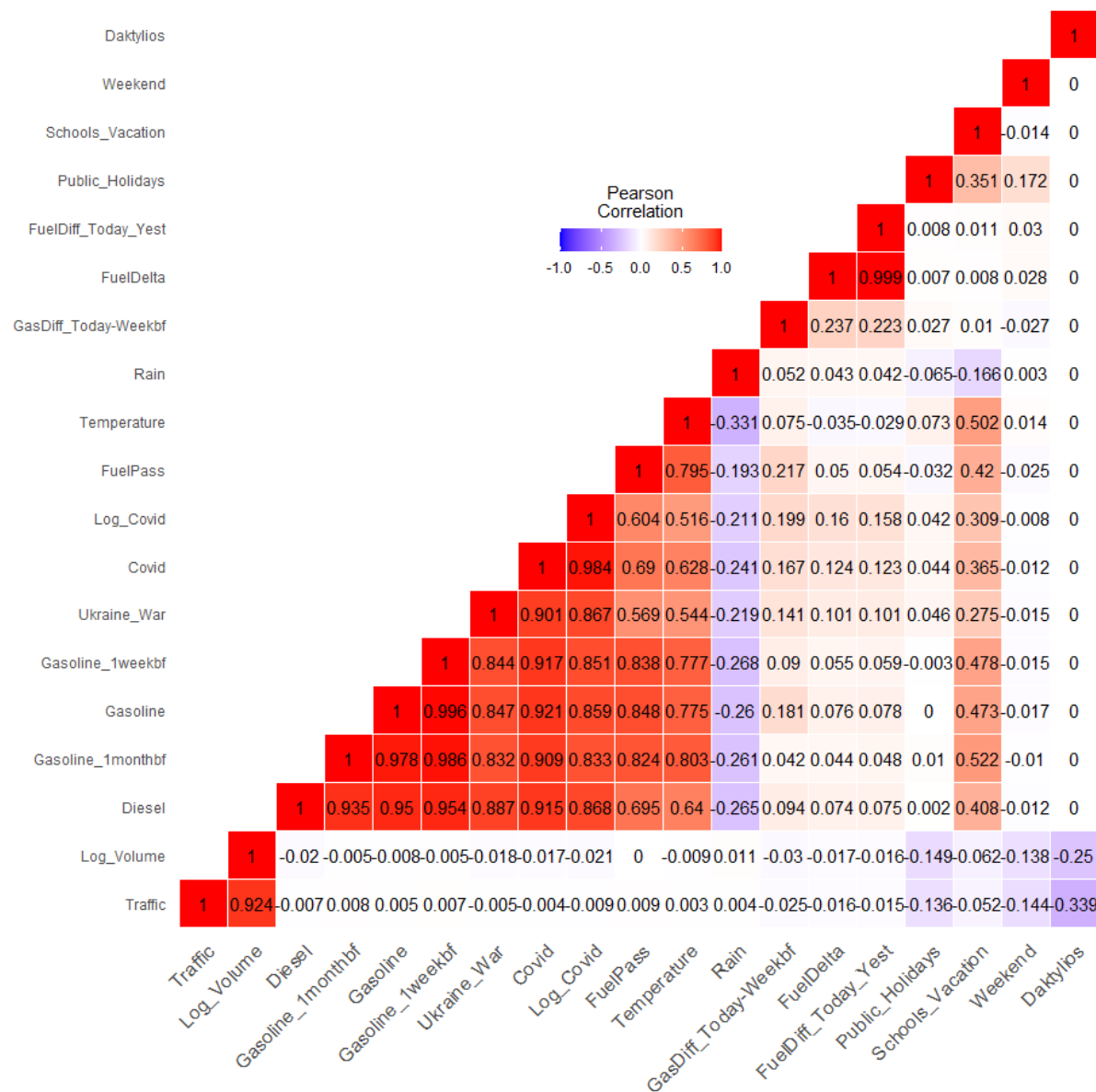


Στατιστική Επεξεργασία Στοιχείων

- Επιμερισμός της βάσης δεδομένων, μεγάλη βάση με **όλους τους μετρητές** και βάσεις δεδομένων για μετρητές **εκτός** και **εντός** Δακτυλίου.
- Εισαγωγή βάσεων δεδομένων στο προγραμματιστικό περιβάλλον R-studio.
- Έλεγχος **συσχέτισης** των μεταβλητών.
- Καθορισμός **εξαρτημένων** και **ανεξάρτητων** μεταβλητών μαθηματικού προτύπου.
- **Στατιστικοί** έλεγχοι μοντέλων.

```
## Create a heatmap of the correlation matrix
cormat <- cor(melted_cormat)
reorder_cormat <- reorder_cormat(cormat)
upper_tri <- get_upper_tri(cormat)
melted_cormat <- melt(upper_tri, na.rm = TRUE)
## Create a ggheatmap
ggheatmap <- ggplot(melted_cormat, aes(var1, var2)) +
  geom_tile(color = "white") +
  scale_fill_gradient2(low = "blue", high = "red",
    midpoint = 0, limit = c(0.6, 0.7),
    name = "Pearson's Correlation") +
  theme_minimal() + # minimal theme
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, size = 10),
    axis.text.y = element_text(size = 10)) +
  coord_fixed()
print(ggheatmap)
```

Στατιστική Επεξεργασία Στοιχείων



✓ Χαμηλοί συντελεστές συσχέτισης r για τις ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων

✓ Αποφυγή πολυσυγγραμικότητας στα στατιστικά μοντέλα.

```

# Create the correlation matrix
cormat <- cor(hc[,hc$order])
# Reorder the correlation matrix
reorder_cormat <- reorder_cormat(cormat)
# Get the upper triangle of the correlation matrix
upper_tri <- get_upper_tri(cormat)
# Melt the correlation matrix
melted_cormat <- melt(upper_tri, na.rm = TRUE)
# Create a ggheatmap
ggheatmap <- ggplot(melted_cormat, aes(var2, var1, label = value)) +
  geom_tile(color = "white") +
  scale_fill_gradient2(low = "blue", high = "red",
    midpoint = 0, limit = c(0.6, 0.7),
    name = "Pearson\\nCorrelation") +
  theme_minimal() + # minimal theme
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, size = 10),
    axis.text.y = element_text(size = 10))
# Print the heatmap
print(ggheatmap)

```


Ανάπτυξη Μαθηματικών Μοντέλων

Εφαρμογή στατιστικού μοντέλου στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας							Εφαρμογή για βάση δεδομένων με μετρητές εκτός Δακτυλίου						Εφαρμογή για βάση δεδομένων με μετρητές εντός Δακτυλίου							
Fixed Effects					Σχετική Επιρροή		Fixed Effects				Σχετική Επιρροή		Fixed Effects				Σχετική Επιρροή			
	Estimate	Std.Error	t-value	p-value	e _i	e _i *	Estimate	Std.Error	t-value	p-value	e _i	e _i *	Estimate	Std.Error	t-value	p-value	e _i	e _i *		
Intercept	4.442	0.01692	262.62	0.000			-0.077	0.0011	-69.00	0.000			-0.1626	3.651	-0.037	0.00125			-29.32	0.000
Σαββατοκύριακο	-0.059	0.00084	-71.00	0.000	-0.1276	3.376	-0.077	0.0011	-69.00	0.000	-0.1626	3.651	-0.037	0.00125	-29.32	0.000	-0.0807	2.803		
Αργίες	-0.132	0.00202	-65.31	0.000	-0.2623	6.940	-0.137	0.0027	-50.43	0.000	-0.2697	6.055	-0.127	0.00302	-42.05	0.000	-0.2534	8.799		
Σχολικές Διακοπές	-0.017	0.00105	-15.88	0.000	-0.0378	1.000	-0.020	0.0014	-14.04	0.000	-0.0445	1.000	-0.013	0.00157	-8.07	0.000	-0.0288	1.000		
Θερμοκρασία	0.001	0.00006	10.59	0.000	0.0003	-4.852	0.001	0.0001	9.69	0.000	0.0004	-5.947	0.0004	0.00009	4.97	0.000	0.0002	-3.697		
Διαφορά τιμής βενζίνης	-0.333	0.01777	-18.73	0.000	-0.0001	1.000	-0.354	0.0238	-14.89	0.000	-0.0001	1.000	-0.306	0.02653	-11.53	0.000	-0.0001	1.000		
Random Effects							Random Effects						Random Effects							
Groups	Variance	Std.Dev	R ²	0.91			Variance	Std.Dev	R ²	0.92			Variance	Std.Dev	R ²	0.86				
id	0.04499	0.21211					0.054251	0.23292					0.02637	0.1624						
Residual	0.004613	0.06792					0.004654	0.06822					0.00436	0.06603						

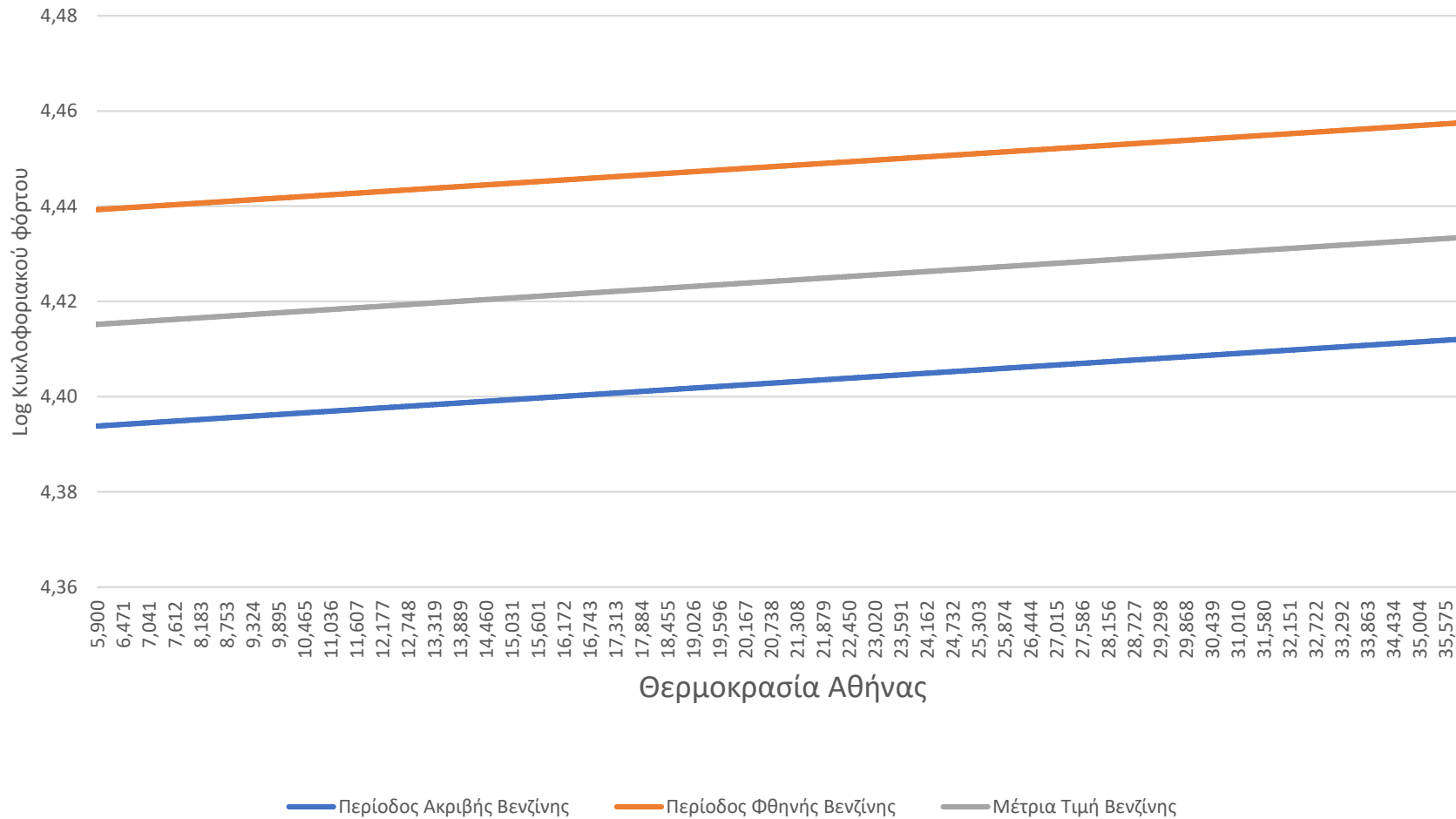
- ✓ Στατιστικός έλεγχος t-test δεκτός για όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές αφού $> 1,7$
- ✓ Λογική ερμηνεία συντελεστών και πρόσημων.
- ✓ Υψηλοί συντελεστές προσδιορισμού R².

Ανάπτυξη Μαθηματικών Μοντέλων

Εφαρμογή στατιστικού μοντέλου στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας							Εφαρμογή για βάση δεδομένων με μετρητές εκτός Δακτυλίου						Εφαρμογή για βάση δεδομένων με μετρητές εντός Δακτυλίου					
Fixed Effects					Σχετική Επιρροή		Fixed Effects				Σχετική Επιρροή		Fixed Effects				Σχετική Επιρροή	
	Estimate	Std.Error	t-value	p-value	e _i	e _i *	Estimate	Std.Error	t-value	p-value	e _i	e _i *	Estimate	Std.Error	t-value	p-value	e _i	e _i *
Intercept	4.442	0.01692	262.62	0.000			-0.077	0.0011	-69.00	0.000			-0.1626	3.651	-0.037	0.00125		
Σαββατοκύριακο	-0.059	0.00084	-71.00	0.000	-0.1276	3.376	-0.077	0.0011	-69.00	0.000	-0.1626	3.651	-0.037	0.00125	-29.32	0.000	-0.0807	2.803
Αργίες	-0.132	0.00202	-65.31	0.000	-0.2623	6.940	-0.137	0.0027	-50.43	0.000	-0.2697	6.055	-0.127	0.00302	-42.05	0.000	-0.2534	8.799
Σχολικές Διακοπές	-0.017	0.00105	-15.88	0.000	-0.0378	1.000	-0.020	0.0014	-14.04	0.000	-0.0445	1.000	-0.013	0.00157	-8.07	0.000	-0.0288	1.000
Θερμοκρασία	0.001	0.00006	10.59	0.000	0.0003	-4.852	0.001	0.0001	9.69	0.000	0.0004	-5.947	0.0004	0.00009	4.97	0.000	0.0002	-3.697
Διαφορά τιμής βενζίνης	-0.333	0.01777	-18.73	0.000	-0.0001	1.000	-0.354	0.0238	-14.89	0.000	-0.0001	1.000	-0.306	0.02653	-11.53	0.000	-0.0001	1.000
Random Effects							Random Effects						Random Effects					
Groups	Variance	Std.Dev	R ²	0.91			Variance	Std.Dev	R ²	0.92			Variance	Std.Dev	R ²	0.86		
id	0.04499	0.21211					0.054251	0.23292					0.02637	0.1624				
Residual	0.004613	0.06792					0.004654	0.06822					0.00436	0.06603				

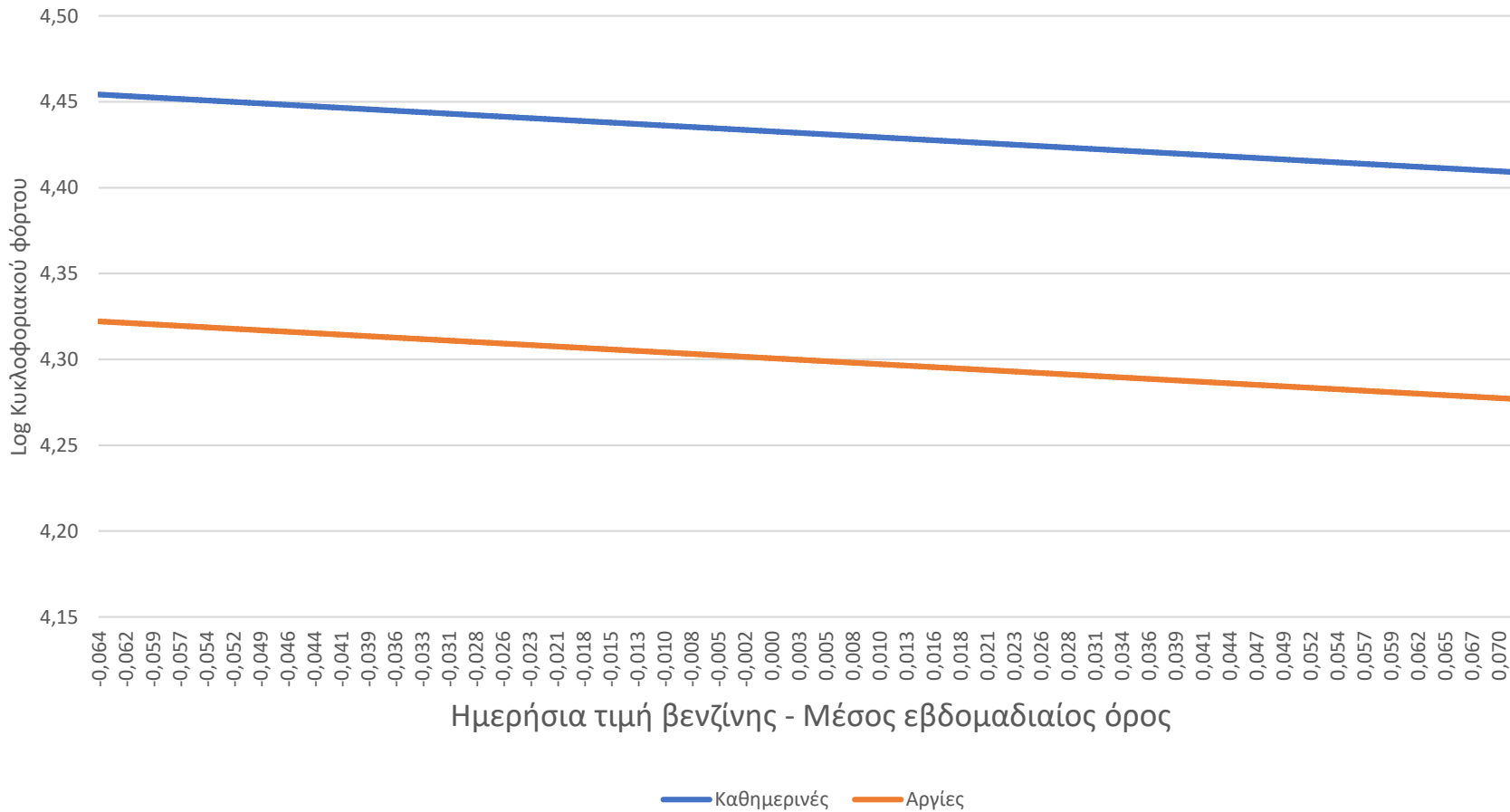
- Οι επιρροές είναι σύμφωνες σε όλες τις εφαρμογές του στατιστικού μοντέλου.
- Η τιμή της βενζίνης έχει **αρνητική** επιρροή στον κυκλοφοριακό φόρτο.
- Η **θερμοκρασία** παρουσιάζει ως και σχεδόν **6 φορές μεγαλύτερη σχετική επιρροή** από αυτή της διαφοράς στη τιμή της **βενζίνης**.
- Το μέγεθος της επιρροής της εκάστοτε ανεξάρτητης μεταβλητής διαφέρει για μετρητές **εκτός** και **εντός του Δακτυλίου**.

Ανάλυση Ευαισθησίας-Ευρύτερη Περιοχή Αθήνας



- Τρία διαφορετικά επίπεδα τιμολόγησης βενζίνης.
- Με την **άνοδο** της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι αυξημένος για την **περίοδο φθηνής βενζίνης**.

Ανάλυση Ευαισθησίας-Ευρύτερη Περιοχή Αθήνας



- **Κυκλοφοριακός φόρτος** για τις εργάσιμες ημέρες και τις αργίες.
- Όσο ακριβότερη είναι η **τιμή της βενζίνης** σε σχέση με την προηγούμενη εβδομάδα ο κυκλοφοριακός φόρτος μειώνεται.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι **υψηλότερος** για τις εργάσιμες ενώ όσο η τιμή της βενζίνης αυξάνει, μειώνεται.

Συμπεράσματα

- **Αρνητική επιρροή της αύξησης της τιμής της βενζίνης** στον ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο.
- **Εκτός Δακτυλίου Αθηνών** η τιμή της βενζίνης έχει ελαφρώς μεγαλύτερη επιρροή στον κυκλοφοριακό φόρτο συγκριτικά με εντός.
- Οι οδηγοί αντιλαμβάνονται και μειώνουν τις μετακινήσεις με ιδιωτικά οχήματα ύστερα από μια χρονική περίοδο και **όχι άμεσα**.
- **Αίθριος καιρός** αυξάνει τον κυκλοφοριακό φόρτο ενώ εκτός δακτυλίου η επιρροή της ανόδου της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με εντός.
- **Οι αργίες** αποτελούν τον πρωταρχικό παράγοντα μείωσης του κυκλοφοριακού φόρτου.
- Ίδια επιρροή **σχολικών διακοπών** εκτός και εντός του Δακτυλίου.
- Το κέντρο της πόλης είναι πιο **ανελαστικό** σε εξωγενείς παράγοντες καθώς αποτελεί πόλο έλξης μετακινήσεων.

Προτάσεις

- **Αναβάθμιση** των υποδομών και υπηρεσιών συγκοινωνίας προκειμένου οι οδηγοί σε περιόδους ακρίβειας να επιλέγουν εύκολα πιο **οικονομικό μέσο μεταφοράς**, με αυτό το τρόπο η μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου θα είναι μεγαλύτερη **αποφορτίζοντας** εν τέλει και τις οδούς.
- **Επιδότηση** με οικονομικά κριτήρια για αναβάθμιση του **στόλου ιδιωτικών οχημάτων** της Αθήνας, οι χαμηλές κατανάλωσης καυσίμου που προσφέρουν οι νέοι κινητήρες και τα υβριδικά σύνολα ισοσκελίζουν το αυξημένο κόστος των καυσίμων μετακίνησης.
- **Μέτρα στήριξης** όπως η επιδότηση για **ανεφοδιασμό** καυσίμων τα οποία συνεισφέρουν άμεσα στην αντιμετώπιση της ακρίβειας της βενζίνης ενώ δίνουν χρόνο στους οδηγούς να επιλέξουν διαφορετικό μέσο για τις διαδρομές τους.

Προτάσεις Για Περαιτέρω Έρευνα

- Χρήση εφαρμογών **τηλεματικής** για τη μέτρηση της κατανάλωσης και της μέσης ταχύτητας των οδηγών με στόχο την ανάλυση της οδικής συμπεριφοράς για τις περιόδους με αυξημένη τιμή της βενζίνης.
- Διεξαγωγή της ίδιας έρευνας με στοιχεία από **αυτοκινητοδρόμους** προκειμένου να αναλυθεί η επιρροή της τιμής της βενζίνης σε μετακινήσεις μεγάλων αποστάσεων όπου το κόστος μετακίνησης είναι υψηλότερο.
- Συναφή έρευνα με δεδομένα **αστικών συγκοινωνιών** ώστε να διερευνηθεί εάν η άνοδος των τιμών στα καύσιμα αύξησε σημαντικά τα ποσοστά χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς.
- Προσθήκη **οικονομικού δείκτη** όπως ο πληθωρισμός στις ανεξάρτητες μεταβλητές.
- Δοκιμή διαφορετικής στατιστικής μεθόδου όπως ανάλυση με **χρονοσειρές**.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Ανάλυση της επιρροής της τιμής της βενζίνης στις κυκλοφοριακές συνθήκες της Αθήνας.

Στέλιος Πειθής

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

Αθήνα, Νοέμβριος 2022