



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Διερεύνηση του Προβλήματος Συνωστισμού Λεωφορείων με Εφαρμογή Οικονομετρικών Μεθόδων



Χιονή Ευαγγελία

Επιβλέπων Καθηγητής: Κεπαπτσόγλου Κωνσταντίνος

ΑΘΗΝΑ 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΩΣΤΙΣΜΟΥ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΧΙΟΝΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΚΕΠΑΠΤΣΟΓΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΜΑΡΤΙΟΣ 2019

ΧΙΟΝΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Χιονή Ευαγγελία, 2019

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους τους ανθρώπους που μοιράστηκαν μαζί μου αυτή τη διαδικασία, με παρακολούθησαν και συνέβαλαν ο καθένας με τον δικό του τρόπο.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κεπαπτσόγλου για όλη την βοήθεια που μου παρείχε σε κάθε στάδιο και όλη την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όχι μόνο κατά την περίοδο της διπλωματικής αλλά και στα μαθήματα που συνεργαστήκαμε. Ακόμα ένα μεγαλύτερο ευχαριστώ για την βοήθειά του στην επιλογή θέματος και το ενδιαφέρον που έδειξε στο να συγκεράσει όλους μου τους στόχους και ενδιαφέροντα σε ένα θέμα.

Συνεχίζοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Ηλιοπούλου Χριστίνα και τη μεταδιδάκτορα Μηλιώτη Χριστίνα για την αδιάκοπη παρουσία τους και την ευχάριστη συνεργασία μας. Υπήρξαν πάντα ανοιχτές στην επικοινωνία, πρόθυμες και ακούραστες σε κάθε απορία. Μαζί με τον επιβλέποντα καθηγητή μου ενίσχυσαν το ενδιαφέρον μου για το θέμα και με ενέπνευσαν να ασχοληθώ και πέραν του σταδίου της διπλωματικής.

Από τους ανθρώπους μου δεν θα μπορούσε να λείπει ο πατέρας μου Χιονής Νικόλαος και η μητέρα μου Αθανασίου Ιωάννα που αδιάκοπα με στήριξαν, με καθησύχασαν και με εφοδίασαν με επιμονή σε κάθε δυσκολία. Προσωπικά θέλω ακόμα να ευχαριστήσω τον αγαπημένο μου παππού και γιαγιάδες για όλες τις ευχές που μου έδωσαν και τον ενδιαφέρον που έδειξαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους αγαπημένους μου φίλους Μαριλένα, Αλεξία, Φώτη, Κωνσταντίνα, Δημήτρη, Πηνελόπη, Ιωάννα, Φλώρα, Δέσποινα και Χάρη για όλη τη στήριξή τους και την καλή τους διάθεση. Η παρουσία τους ήταν καθοριστικής σημασίας δίνοντάς μου ώθηση. Η υπομονή τους και η αγάπη τους για όσες φορές έλειπα λόγω φόρτου της εργασίας ήταν πράγματι πηγή έμπνευσης και κίνητρο για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για τις σύγχρονες κοινωνίες τα Συγκοινωνιακά Συστήματα αποτελούν τη βάση αλλά και το μέσο εξέλιξής τους. Πολύ περισσότερο σε αστικά περιβάλλοντα η εποπτεία και η εύρυθμη λειτουργία τους αποφέρουν τεράστιο κέρδος για τους χιλιάδες καθημερινούς χρήστες. Για την Αθήνα, το δίκτυο των λεωφορείων λειτουργεί παράλληλα με αυτό των μέσω σταθερής τροχιάς, υπό την ευθύνη του Ο.Α.Σ.Α Α.Ε. που από το 2017 δημιούργησε μία βάση δεδομένων για τις λεωφορειακές μετακινήσεις αναβαθμίζοντας τον τρόπο λειτουργίας τους. Η συμβολή του είναι μεγάλης σημασίας ως πάροχος δεδομένων αυτόματου εντοπισμού, που επιτρέπουν την μελέτη λειτουργίας, τον εντοπισμό προβλημάτων και τη διαμόρφωση στρατηγικών για τη λύση τους.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη μελέτη φαινομένων Συνωστισμού Λεωφορείων λόγω απόκλισης από τον χρονικό τους προγραμματισμό. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οικονομετρικά μοντέλα και συγκεκριμένα η Παλινδρόμηση, εντοπίζοντας και ερμηνεύοντας τη σχέση αιτίου – αιτιατού. Τα μοντέλα αυτά συνδέουν το φαινόμενο με πλήθος παραγόντων που θεωρείται ότι το περιγράφει εφαρμόζοντας την κατάλληλη μαθηματική σχέση. Η Δυναμική Λογιστική Παλινδρόμηση και η Χωρικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση περιγράφουν το φαινόμενο του λεωφορειακού συνωστισμού, δίνοντας νέες πτυχές στην μέχρι τώρα βιβλιογραφία. Η παθογένεια αυτή σχετίζεται τόσο με χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος της στάσης όσο και με χρονικές μεταβλητές αναδεικνύοντας τόσο χωρικές όσο και χρονικές εξαρτήσεις του φαινομένου.

Με την ανάδειξη των σχέσεων αυτών για ορισμένες λεωφορειακές γραμμές της Αθήνας, δίνεται η βάση για την επέκταση της έρευνας σε επίπεδο δικτύου. Ακόμα, προτείνονται νέες κατευθύνσεις για τον συνδυασμό πρότερων και σύγχρονων ερευνών.

ABSTRACT

Transportation Systems have always been a great support for society's establishment and further development. In greater scale urban environments are being built around transportation nodes attracting thousands of daily users. Therefore, Transportation Systems monitoring and supervision should remain the top priority for transit agencies.

Bus Service in Athens, Greece functions in combination to Railway transportation creating a dense network. O.A.S.A. A.E. is responsible for bus lines' operation building a database with all the necessary information of daily bus trips, since 2017. This new initiative has upgraded Athens' bus network providing users with real time information and agencies with the chance to detect schedule irregularities and propose treatment methods.

This specific dissertation is focused on the investigation of Bus Bunching, underlining its causes and how they variate over space and time. Bunching issues are the result of headway irregularities that result in almost simultaneous arrivals between successive vehicles. In order to detect where and when this occurs Econometric methods, namely Regression Analysis, are used. Bus Bunching Modelling associates the phenomenon with its explanatory factors through suitable mathematical relations. In this study Logistic Regression as well as the Geographically Weighted Regression are used to explore the issue contributing to current literature. Bus Bunching is linked with several attributes including bus stop environment and different time zones illustrating space and time correlation.

Indeed, by applying the proposed models on a small network of four bus lines attention is directed towards exploring the phenomenon at the network level, versus single bus lines. Results demonstrate that Bus Bunching is linked to several attributes, including factors describing the bus stop environment and different time periods, illustrating spatial and temporal correlation. Finally, new perspectives are proposed for combining existing with novel analysis methods.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1.	Η λειτουργία των λεωφορείων	10
1.2.	Συνωστισμός λεωφορείων (Bus Bunching)	10
1.3.	Αντικείμενο και δομή της εργασίας.....	12
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	13
2.1.	Σχεδιασμός και αιτίες.....	13
2.2.	Προβολή στο μέλλον	17
2.3.	Χωρική συσχέτιση ως παράμετρος του μοντέλου	18
2.4.	Συμπέρασμα.....	20
3.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ	22
3.1.	Χρήσιμες έννοιες.....	22
3.2.	Ο ΟΑΣΑ ως πάροχος στοιχείων και η φύση τους.....	23
3.3.	Επεξεργασία των δεδομένων.....	25
3.4.	Λεωφορειακές γραμμές.....	28
3.4.1.	608 Νεκροταφείο Ζωγράφου – Ακαδημία – Γαλάτσι	29
3.4.2.	224 Ελ. Βενιζέλου – Καισαριανή	31
3.4.3.	040 ΣΥΝΤΑΓΜΑ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ	33
3.4.4.	550 Κηφισιά – Π. Φάληρο.....	35
3.5.	Ανεξάρτητες Μεταβλητές	38
4.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	42
4.1.	Λογιστική παλινδρόμηση	42
4.2.	Μοντέλο Λογιστικής Παλινδρόμησης Συνωστισμού Λεωφορείων με χρήση της Python.....	44
4.2.1.	Αποτελέσματα λογιστικού μοντέλου	46
4.2.2.	Αξιολόγηση	49
5.	Δημιουργία Γραμμικού Μοντέλου	53
5.1.	Γενικευμένο μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης	53
5.2.	Η επιλογή Μοντέλου μέσα από τη Χωρική Ανάλυση	54
5.2.1.	Χωρική Αυτοσυσχέτιση – Δείκτης Moran's I.....	54

5.3.	Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση.....	57
5.3.1.	Περιγραφή Μοντέλου	57
5.3.2.	Μοντέλο Γεωγραφικά Σταθμισμένο μέσα από το περιβάλλον της GWR4 .	60
5.3.3.	Αποτελέσματα GWR	62
5.3.4.	Χαρτογράφηση αποτελεσμάτων στο ArcMap	68
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	79
6.1.	Σύνοψη της μελέτης	79
6.2.	Προτάσεις για περεταίρω έρευνα	81
7.	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1:	Αρχείο AVL.....	24
Εικόνα 3.2:	Ποσοστό γεγονότων συνωστισμού για τις 4 γραμμές.....	27
Εικόνα 3.3:	Αναλογία δεδομένων συνωστισμού	27
Εικόνα 3.4:	Τροχιές Λεωφορείων	28
Εικόνα 3.5:	Γεγονότα Συνωστισμού της γραμμής 608	31
Εικόνα 4.1:	Κατασκευή εξίσωσης Παλινδρόμησης.....	44
Εικόνα 4.2:	Στατιστικά μοντέλου παλινδρόμησης – Περιβάλλον Spyder	46
Εικόνα 4.3:	Παράγοντες μοντέλου Παλινδρόμησης 1/2.....	48
Εικόνα 4.4:	Παράγοντες μοντέλου Παλινδρόμησης 2/2.....	49
Εικόνα 5.1:	Χωρικά Πρότυπα	55
Εικόνα 5.2:	Δείκτης Moran's I εξαρτημένης μεταβλητής aggr9_17	56
Εικόνα 5.3:	Βάρος συναρτήσεως εύρους ζώνης.....	59
Εικόνα 5.4:	Ορισμός Μοντέλου στην GWR4.....	61
Εικόνα 5.5:	Αναφορά της GWR4 1/6	63
Εικόνα 5.6:	Αποτελέσματα επίλυσης Καθολικού Μοντέλου 2/6.....	63
Εικόνα 5.7:	Σταθμισμένο Μοντέλο 3/6	64
Εικόνα 5.8:	Πίνακας ανάλυσης Διακύμανσης και Έλεγχος χωρικής μεταβλητότητας 4/6	66
Εικόνα 5.9:	Επιλογή μεταβλητών μέσω επαναληπτικής διαδικασίας 5/6	67
Εικόνα 5.10:	Αποτέλεσμα επιλογής μοντέλου 6/6.....	68
Εικόνα 5.11:	Καθολικές Ανεξάρτητες μεταβλητές.....	68
Εικόνα 5.12:	Τοπικές Ανεξάρτητες μεταβλητές 1/2	69
Εικόνα 5.13:	Τοπικές Ανεξάρτητες μεταβλητές 2/2	70
Εικόνα 5.14:	Απόσπασμα αποτελεσμάτων GWR4	71
Εικόνα 5.15:	Δείκτης Moran's I των κανονικοποιημένων υπολοίπων.....	73

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1. Στάσεις 608 Διαδρομή 0	29
Πίνακας 3.2. Στάσεις 608 Διαδρομή 1	30
Πίνακας 3.3. Στάσεις 224 Διαδρομή 1	32
Πίνακας 3.4. Στάσεις 224 Διαδρομή 0	32
Πίνακας 3.5. Στάσεις 040 Διαδρομή 0	34
Πίνακας 3.6. Στάσεις 040 Διαδρομή 1	34
Πίνακας 3.7. Στάσεις 550 Διαδρομή 1	36
Πίνακας 3.8. Στάσεις 550 Διαδρομή 0	36
Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα δείκτη Moran's I ανεξάρτητων μεταβλητών.....	56
Πίνακας 5.2. Στατιστικά αποτελέσματα των συντελεστών.....	65
Πίνακας 5.3. Εύρος τεταρτημορίων ως προς τυπική απόκλιση	66

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 5.1. Τοπικός Δείκτης R2.....	71
Χάρτης 5.2. Συντελεστής και σημαντικότητα αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας	74
Χάρτης 5.3. Συντελεστής και σημαντικότητα σύνδεσης Πανεπιστημίου	75
Χάρτης 5.4. Συντελεστής και σημαντικότητα αριθμού σηματοδοτούμενων κόμβων	76
Χάρτης 5.5. Συντελεστές και σημαντικότητα επικαλυπτόμενων δρομολογίων.....	77
Χάρτης 5.6. Συντελεστής και σημαντικότητα σταθερού όρου	78

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταφορές ανέκαθεν αποτελούσαν πυλώνα της οικονομίας και της εξέλιξης της κοινωνίας αφού συνδέουν προϊόντα και καταναλωτές. Πρόκειται, λοιπόν, για εμπορική πράξη η οποία μάλιστα, συνδέεται άμεσα με τον χρόνο, καθώς η μείωσή του συνεπάγεται την μείωση του κόστους της διαδικασίας. Στην ίδια αρχή υπόκεινται και οι μεταφορές επιβατών είτε αυτές αφορούν ιδιωτική μετακίνηση (αυτοκίνητο, ποδήλατο, πεζοί) είτε μαζικές μετακινήσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται από ένα σύνολο μέσων και δικτύων που περιγράφει το δυνατόν καλύτερα τις ανάγκες του επιβατικού κοινού. Το δίκτυο αυτό περιπλέκεται όσο αυξάνεται η κλίμακα της μελέτης με αποκορύφωμα το αστικό περιβάλλον όπου συνδυάζεται η αυξημένη ζήτηση, το πλήθος γραμμών ίδιου μέσου (λεωφορείο, μετρό) αλλά και η σύνδεση διαφορετικών μέσων μεταξύ τους (λεωφορείο – μετρό, μετρό – τραμ). Τα τρία αυτά χαρακτηριστικά περιγράφουν τις αστικές συγκοινωνίες και τις προκλήσεις στο σχεδιασμό τους.

Ιδιαίτερο ρόλο έχουν οι λεωφορειακές γραμμές και αυτό διότι η λειτουργία τους γίνεται σε αλληλεπίδραση με το ευρύτερο αστικό περιβάλλον και τις ευμετάβλητες συνθήκες του. Σε αντίθεση, τα μέσα σταθερής τροχιάς λειτουργούν σε ένα κλειστό και ελεγχόμενο σύστημα από την υποδομή ως και την διαδικασία επιβίβασης / αποβίβασης. Έτσι, τα φαινόμενα δυσλειτουργίας βαραίνουν συχνότερα τα λεωφορεία και μάλιστα, οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες που είναι δύσκολο να προβλεφθούν ή μοντελοποιηθούν. Μερικοί από τους συνηθέστερους είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση αλλά και η διαμόρφωση της ζήτησης για κάθε δρομολόγιο επιφέροντας μεγάλες αλλαγές στον προγραμματισμένο χρόνο διαδρομής και επιμέρους στην άφιξη και αναχώρηση του οχήματος από την στάση. Σε αυτό το κλίμα, το δρομολόγιο αποκλίνει από το προβλεπόμενο με αποτέλεσμα καθυστερημένες ή πρόωρες αφίξεις σε επόμενες στάσεις. Δημιουργείται τότε μια αλυσιδωτή αντίδραση που επηρεάζει τόσο το επιβατικό κοινό όσο και τα διαδοχικά δρομολόγια της γραμμής, ακόμα και έτερες γραμμές του δικτύου.

Η ευαισθησία των δικτύων αυτών σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσουν οι διαταραχές στην λειτουργία τους στην κοινωνία απαιτεί στοχευμένες μελέτες και παρεμβάσεις που θα αποτρέψουν μελλοντικά το πρόβλημα, είτε θα επαναφέρουν την ορθή λειτουργία σε πραγματικό χρόνο. Οι μελέτες αυτές αφορούν προβλέψεις και στρατηγικές ελέγχου των λεωφορείων αντίστοιχα και αναπτύσσονται σε ένα μεγάλο εύρος βιβλιογραφίας. Βασίζονται, ωστόσο, σε προηγούμενες οι οποίες εντοπίζουν την γένεση του προβλήματος και αναδεικνύουν παράγοντες και αίτια αυτών προς αποκατάστασή τους.

1.1. Η λειτουργία των λεωφορείων

Τα λεωφορεία συστήθηκαν στο κοινό μερικές εκατοντάδες χρόνια πριν με σκοπό την μαζική μεταφορά επιβατών. Η ίδια η ονομασία τους καταδεικνύει το σύνολο στο οποίο απευθύνεται και αυτό απαρτίζεται από όλες τις κοινωνικές τάξεις. Πρωτοεμφανιζόμενα στην Γαλλία, έπειτα στην Αγγλία και την Ευρώπη, μηχανοκίνητα λεωφορεία βρίσκονταν σε λειτουργία στο τέλος του 19^{ου} αιώνα. Από τις αρχές μάλιστα του επόμενου λειτούργησαν ως αστικά μέσα. Στην Ελλάδα έκανε την παρθενική του εμφάνιση το 1896 με δυναμική 14 θέσεων (συν μία) και αποτέλεσε φαινόμενο για την εποχή.

Σήμερα, τα λεωφορεία με όλες τους τις μορφές και χρήσεις ταξιδεύουν τον κόσμο και έχουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία και συγκοινωνίες. Μόνο στην Ευρώπη κάθε χρόνο οι λεωφορειακές συγκοινωνίες αποφέρουν 15 δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ αποδεικνύονται το οικονομικότερο μέσο για μικρές και μεσαίες αποστάσεις. Η ευελιξία στη χρήση, έδωσε την δυνατότητα εξυπηρέτησης διαφορετικών αναγκών και πλέον εκτελούν δρομολόγια μεγάλων και μικρών αποστάσεων (υπεραστικά – αστικά), αναψυχής και τουριστικού χαρακτήρα, εξυπηρέτηση ίδιας χρήσης (σχολικά, γραμμές αεροδρομίων – πανεπιστημίων κ.ά.). Στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Αττική, η δημόσια συγκοινωνία και τα λεωφορεία λειτουργούν από τον Ο.Α.Σ.Α Α.Ε. με δυναμική στόλου 950 οχημάτων σε χρήση.

Τα λεωφορεία έρχονται να καλύψουν το κενό σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κοντινό αεροδρόμιο και το ανάγλυφο είναι τέτοιο που να μην ευνοεί την ανάπτυξη ολοκληρωμένου σιδηροδρομικού δικτύου (Ελλάδα). Συγχρόνως, αποτελούν ιδανικό μέσο για όσους αποφεύγουν το αεροπλάνο και επιθυμούν να ταξιδέψουν σε υπεραστικές περιοχές. Εξίσου σημαντική είναι η εξυπηρέτηση εκείνων που δεν οδηγούν ή δεν διαθέτουν μέσο.

Η άνεση, η ευελιξία, η ασφάλεια και ο οικολογικός τους χαρακτήρας σε συνδυασμό με την μικρή οικονομική επιβάρυνση κάνουν τα λεωφορεία το πιο δημοφιλές μέσο χερσαίας μεταφοράς. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι εκπομπές ρύπων ενός λεωφορείου αντιστοιχούν σε περίπου αυτές 30 οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (Mass Transit April 2006). Η εξέλιξη της τεχνολογίας βέβαια ολοένα και ενισχύει το χαρακτηριστικό με ηλεκτρικά ή υβριδικά λεωφορεία. Ωστόσο, η πλήρης αντικατάσταση των συμβατικών θα πάρει χρόνο λόγω του κόστους αγοράς και συντήρησης οχημάτων νέου τύπου.

1.2. Συνωστισμός λεωφορείων (Bus Bunching)

Ένα δίκτυο λεωφορειακών γραμμών εντάσσεται στο ευρύτερο συγκοινωνιακό δίκτυο της περιοχής και αποτελεί ένα χωρικό δίκτυο με κόμβους και συνδέσεις. Στους πρώτους

ανήκουν οι στάσεις, εξυπηρετώντας συνήθως περισσότερες της μίας γραμμής και στις δεύτερες οι ακολουθούμενες διαδρομές, επίσης συχνά κοινές μεταξύ γραμμών. Από τις στάσεις χρειάζεται να διακριθούν τέρματα και αφετηρίες, σταθμοί που μπορούν να φιλοξενήσουν οχήματα για ώρα περισσότερη του απαιτούμενου χρόνου εξυπηρέτησης χωρίς την παρακώλυση κάποιου δρομολογίου. Έτσι λοιπόν, τα δρομολόγια ξεκινούν από κάποια αφετηρία διαδοχικά, σύμφωνα με την προγραμματισμένη έναρξη και τρέχουν την ίδια κάθε φορά σύνδεση περνώντας ανά διαστήματα από τους καθορισμένους κόμβους. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων οχημάτων ίδιας γραμμής ονομάζεται χρονική ακολουθία (headway) και αναφέρεται σε λεπτά της ώρας.

Πολύ συχνά παράγοντες όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η αυξημένη επιβατική ζήτηση επιφέρουν καθυστερήσεις τόσο στον χρόνο διαδρομής μεταξύ διαδοχικών στάσεων όσο και στον χρόνο παραμονής του οχήματος σε αυτές. Άμεση συνέπεια είναι η ανάγκη εξυπηρέτησης περισσότερων των αναμενόμενων χρηστών και άρα πρόσθετη καθυστέρηση σε στάση. Σε συνθήκες τέτοιες η κατανομή των επιβατών στα οχήματα γίνεται ανισομερής με αποτέλεσμα υπερπλήρη και κενά οχήματα. Τα μεν πρώτα διαρκώς υφίστανται καθυστερήσεις ενώ τα δεύτερα αναχωρούν νωρίτερα του υπολογισμένου χρόνου από τις στάσεις. Απόρροια αυτού του διμερούς προβλήματος είναι τελικά η ελαχιστοποίηση του χρόνου ακολουθίας διαδοχικών λεωφορείων ή ακόμα και η ταυτόχρονη άφιξη οχημάτων, καταλήγοντας σε γεγονότα συνωστισμού. Σε επόμενο στάδιο η συστάδα αυτή των οχημάτων μπορεί να διατρέχει την διαδρομή σε αυτή τη μορφή, κάνοντας το σύστημα μη λειτουργικό, είτε να χωρίσει σε κάποια επόμενη στάση επιτρέποντας στα οχήματα να συνεχίσουν ως μονάδες το δρομολόγιο.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου αυτού είναι πολύπλευρες και σημειώνονται εξίσου σε μικρή και μεγάλη κλίμακα. Εστιάζοντας στο πρόβλημα, η απόκλιση των λεωφορείων από το πρόγραμμα οδηγεί στην ανακατανομή του κοινού στα δρομολόγια. Ιδιαίτερα σε ώρες αιχμής ή σε κεντρικούς κόμβους μικρές αλλαγές είναι ικανές να αλλάξουν τελείως την επικρατούσα κατάσταση. Λεωφορεία κατακλύζονται με χρήστες πέραν του επιτρεπτού ορίου, επικρατεί δυσφορία και ενέχεται κίνδυνος ατυχήματος. Δεν είναι λίγες οι φορές που επόμενες στάσεις δεν εξυπηρετούνται καθόλου από το πάσχον δρομολόγιο με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος αναμονής των επιβατών αυτών και ως εκ τούτου ο φόρτος για το ακόλουθο όχημα. Η δυσλειτουργία αυτή λοιπόν επιφέρει μεγάλες καθυστερήσεις, έχει συνέχεια στο χρόνο, λειτουργεί προσθετικά και επηρεάζει ακόμα και δρομολόγια που δεν έτυχαν κάποιου προβλήματος. Ωστόσο, και τα λεωφορεία με χρήστες λιγότερους των αναμενόμενων επιβαρούνουν την κατάσταση αφού η ικανότητα εξυπηρέτησης σε μικρότερο χρόνο οδηγεί σε ταχύτερες αφίξεις και αναχωρήσεις μη μεταφέροντας το κοινό που αναλογεί στην καθορισμένη ώρα. Εξίσου σημαντική όμως είναι και η πρόωρη άφιξη επιβατών σε ενδεχόμενο προορισμό ο οποίος είναι απολυμένος χρόνος και συνυπολογίζεται στον τελικό χρόνο διαδρομής που διήνυσαν. Επίσης, συνωστισμένα οχήματα σε στάσεις με περισσότερες των μία γραμμών ενδέχεται να καταλαμβάνουν χώρο που αναλογεί σε όχημα εταιρίας γραμμής συνεισφέροντας στην αύξηση του χρόνου εξυπηρέτησης και άρα στη γένεση καθυστερήσεων σε άλλες

γραμμές. Ακόμα, η κίνηση λεωφορείων ελάχιστου χρονικού διαχωρισμού μπορεί να δημιουργήσει κυκλοφοριακές δυσκολίες καταλαμβάνοντας λεωφορειακές ή μεικτές λωρίδες.

Σε ευρύτερο πλαίσιο, ο συνωστισμός λεωφορείων αποτελεί παθογένεια του δικτύου το οποίο χάνει την λειτουργικότητα και την αξιοπιστία του. Στην πρώτη περίπτωση οι επενδύσιμοι πόροι δεν αξιοποιούνται αλλά κατασπαταλούνται σε μη αποδοτικά έργα. Στην περίπτωση αυτή ο διαθέσιμος εξοπλισμός υπολειτουργεί και δεν γίνεται απόσβεση των επενδύσεων. Ο κακός χειρισμός δε αυξάνει το κόστος συντήρησης. Στην δεύτερη οι συγκοινωνίες παύουν να προσελκύουν το κοινό το οποίο στρέφεται στην ατομική μετακίνηση μία εναλλακτική που αφορά μερίδες μόνο των χρηστών. Κάτι τέτοιο αλλάζει ολοκληρωτικά την εικόνα της σύγχρονης πόλης με έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα, αυξημένους ρύπους και μηδενική κοινωνική μέριμνα.

1.3. Αντικείμενο και δομή της εργασίας

Σε μία περίοδο που οι αστικές συγκοινωνίες στηρίζουν την κοινωνική δομή η βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης είναι πρωταρχικής σημασίας. Για το σκοπό αυτό απαραίτητη είναι η μελέτη των προβλημάτων και η μαθηματική τους ερμηνεία, βάζοντας έτσι τα θεμέλια για τη λύση τους. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται σε ορισμένες από τις μεγαλύτερες λεωφορειακές γραμμές της Αθήνας και ιδιαίτερα στα γεγονότα συνωστισμού λεωφορείων με απώτερο στόχο την ανάδειξη των παραγόντων που συνεισφέρουν στην ένταση ή τον περιορισμό του φαινομένου. Η δημιουργία του μαθηματικού μοντέλου του κάνει εύκολα κατανοητή την επίδραση των μεταβλητών σε αυτό αλλά και της μεταξύ τους συσχέτισης.

Για την καλύτερη κατανόηση των εργασιών και προβληματισμών που προέκυψαν η εργασία οργανώνεται σε έξι κεφάλαια. Στο πρώτο γίνεται μία εισαγωγή στις μεταφορές και τη σημασία τους αλλά και ειδικά στο φαινόμενο που εξετάζεται και τις επιπτώσεις του. Στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολούθως, αναφέρονται σχετικές μελέτες και βιβλιογραφία που έδωσαν σημαντικές κατευθύνσεις και προοπτικές στο θέμα. Εν συνεχεία, στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται διεξοδικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και η ποιοτική διαδικασία μέχρι την ανάπτυξη του μοντέλου. Έτσι, στο τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο ερμηνεύεται το μοντέλο και τα αποτελέσματά του. Τέλος, συνοψίζονται συμπεράσματα και προτείνονται περαιτέρω κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα στο θέμα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Μετά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συγκοινωνιακού δικτύου κύριο ρόλο έχει ο έλεγχος της λειτουργίας και αξιοπιστίας του. Για τον σκοπό αυτό μελετώνται δύο διαστάσεις που αφορούν το παρόν και το μέλλον με σκοπό τον έγκαιρο εντοπισμό και τη λύση οποιωνδήποτε αποκλίσεων. Στην πρώτη κατηγορία μελετών ανήκουν αυτές οι οποίες εξετάζουν την επικρατούσα κατάσταση και αναδεικνύουν πιθανά προβλήματα και αιτίες συχνά προτείνοντας λύσεις – στρατηγικές. Στην περίπτωση της μελέτης πρόβλεψης, γίνεται προβολή, της κατάστασης των δεδομένων, στο μέλλον προβλέποντας τη γένεση παθογενειών. Κάθε μία από τις παραπάνω κάνουν χρήση μαθηματικών μοντέλων, συχνά κοινών, που προσαρμόζονται κάθε φορά καλύτερα στα δεδομένα. Ωστόσο, συχνά οι σχέσεις μεταξύ αιτίου και αιτιατού αποδεικνύονται πολυπλοκότερες των απλών γραμμικών με αποτέλεσμα την ανάγκη εφαρμογής σύνθετων μοντέλων. Την αδυναμία ερμηνείας συγκοινωνιακών και κοινωνικών φαινομένων καλύπτει συχνά η χρήση μοντέλων με χωρική πληροφορία, δίνοντας την δυνατότητα σύνδεσης του υπό μελέτη φαινομένου με το περιβάλλον του.

2.1. Σχεδιασμός και αιτίες

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται μελέτες με σκοπό την ανάδειξη και ερμηνεία ενός φαινομένου. Αυτό συνήθως έχει το ρόλο της εξαρτημένης μεταβλητής με τις παραμέτρους που επιλέγονται κάθε φορά να το περιγράφουν. Μέσα από την ανάδειξη των αιτιών ενός αποτελέσματος είναι δυνατή η κατανόηση του με σκοπό την διατήρηση ή την παύση του. Ιδιαίτερα σε θέματα συγκοινωνιακού σχεδιασμού οι μελέτες αυτές είναι κρίσιμης σημασίας για την βελτιστοποίηση συστημάτων. Σε θέματα κυκλοφοριακών ή συγκοινωνιακών παθογενειών η μελέτη των αιτιών ακολουθείται από προτάσεις μέτρα για τον περιορισμό των αποκλίσεων.

Σε πρότερο κεφάλαιο αναφέρθηκαν οι ενδεχόμενες μεταβολές του χρόνου ακολουθίας οι οποίες είναι άμεσα συνυφασμένες με το Συνωστισμό Λεωφορείων. Αυτός ορίζεται ως η ταυτόχρονη άφιξη λεωφορείων σε εξυπηρετούμενη στάση. Με την έννοια του «ταυτόχρονου» της άφιξης ορίζεται ένα χρονικό κατώφλι, συνήθως λίγων λεπτών της ώρας, κάτω από το οποίο θεωρείται πως τα λεωφορεία αποκλίνουν από το πρόγραμμά τους και παρεμβαίνουν στο πρόγραμμα των διαδοχικών τους. Σε πολλές μελέτες, ο πραγματικός χρόνος ακολουθίας χρησιμοποιείται για να αναδείξει και να μετρήσει το φαινόμενο αυτό ορίζοντας κάθε φορά ορισμένα κατώφλια – χρονοδιαστήματα εντός των οποίων συμβαίνουν τέτοια περιστατικά. Σε σχετική μελέτη, οι Feng και Figliozzi (2011) εξέτασαν τις αιτίες του συνωστισμού λεωφορείων σε επίπεδο στάσης για διάφορα χρονικά κατώφλια. Συγκεντρώνοντας δεδομένα αυτόματου εντοπισμού οχήματος (AVL) και επιβατικής κίνησης (APC) για διάστημα έξι μηνών μίας μόνο γραμμής στο Portland

(ΗΠΑ), υπολόγισαν τον αριθμό γεγονότων συνωστισμού ανά ώρα για κάθε μέρα παρατηρήσεων. Επικεντρώθηκαν στην ανεξάρτητη μεταβλητή – γεγονός συνωστισμού – που όρισαν ως χρονικό διαχωρισμό μικρότερο ή ίσο των 3 λεπτών και δημιούργησαν έναν αλγόριθμο που αναδεικνύει την χωρική και χρονική κατανομή του Συνωστισμού Λεωφορείων. Ανέδειξαν έπειτα, ως κύριο παράγοντα την καθυστερημένη αναχώρηση από στάση, προπορευόμενου οχήματος, σε συνδυασμό με την πρώιμη αναχώρηση ακόλουθου οχήματος της ίδιας γραμμής. Επίσης, παρατηρήθηκε η ένταση του φαινομένου σε ώρες πρωινής αιχμής αλλά και ορισμένες στάσεις που συγκεντρώνουν τέτοια φαινόμενα σε συνδυασμό με τον μικρό προγραμματισμένο χρονικό διαχωρισμό. Συμπεράσματα της έρευνας συνοψίζουν την επικινδυνότητα κυκλοφορικά επιβαρυμένων οδικών τμημάτων και διαστημάτων της ώρας για τη γένεση φαινομένων συνωστισμού. Ακόμα εξάγεται ότι με τη δημιουργία συστάδας λεωφορείων αυτή παραμένει μέχρι την έξοδο από το επιβαρυμένο αυτό τμήμα. Προτείνεται, τέλος, μία στρατηγική ελέγχου που αφορά στην τροποποίηση του προγράμματος των δρομολογίων σε συγκεκριμένα σημεία ελέγχου.

Αναλύοντας περαιτέρω την παρατήρηση αυτή, οι Moreira-Matias et al. (2012) εντόπισαν στάσεις με αυξημένο αριθμό συνωστισμού θεωρώντας τις ως μελανά σημεία με συστηματική απόκλιση του πραγματικού από τον προγραμματισμένο χρόνο ακολουθίας. Στην μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αυτόματου εντοπισμού AVL καθώς και ο κατάλληλος αλγόριθμος με σκοπό την εύρεση μοτίβου στην απόκλιση χρονικού διαχωρισμού διαδοχικών λεωφορείων. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τον αριθμό δρομολογίων και αριθμό στάσεων ανά διαδρομή και ο συνολικός χρόνος διαδρομής. Τα δεδομένα περιέγραφαν δύο γραμμές του Porto (Πορτογαλία) και αφορούσαν τις εργάσιμες ημέρες από ένα διάστημα δέκα μηνών. Μέσα από χρονοσειρές δεδομένων κατέληξαν στη συσχέτιση μεταξύ των αποκλίσεων χρόνου ακολουθίας στις στάσεις αλλά και στο ότι φαινόμενα συνωστισμού στην αρχή της διαδρομής επιβαρύνουν και ενισχύουν το φαινόμενο σε επόμενες στάσεις.

Ενισχύοντας την βιβλιογραφία ως προς τα εργαλεία για τη μοντελοποίηση φαινομένων Συνωστισμού Λεωφορείων οι Rashidi et al. (2017) συγκρίνουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής Μοντέλων Δέντρων Αποφάσεων (DT και GEP) και Λογιστικής Παλινδρόμησης (LoR). Με τα μοντέλα αυτά στοχεύουν στην εύρεση πολύπλοκων μη γραμμικών σχέσεων που δεν επιλύονται από τα συνήθη μοντέλα και εξισώσεις. Χρησιμοποιώντας σύνολο τριμηνιαίων δεδομένων AVL, με καταγραφές δρομολογίων μίας γραμμής, στο Auckland (Νέα Ζηλανδία), ορίστηκε το κατώφλι των 2 λεπτών της ώρας για την παρατήρηση φαινομένου συνωστισμού. Ως εξαρτημένες μεταβλητές ορίστηκαν τόσο συνεχείς όσο και ποιοτικές παράμετροι όπως: ο χρόνος εξυπηρέτησης στάσης, η καθυστέρηση σε κόμβο, η απόσταση διαδοχικών στάσεων και ο αριθμός αριστερών στροφών. Ακόμα μελετήθηκαν η εγγύτητα των στάσεων μεταξύ τους αλλά και ως προς κόμβο, η μέρα της εβδομάδας και η ώρα στη διάρκεια της ημέρας. Από την εφαρμογή προκύπτει ως καθοριστικός παράγοντας για τη δημιουργία Συνωστισμού Λεωφορείων η απόκλιση από το χρονικό προγραμματισμό. Άλλοι παράμετροι βαρύνουσας σημασίας αναδείχθηκαν οι: ημέρα εβδομάδας, η μεταξύ εγγύτητα των

στάσεων και ο αριθμός των κόμβων μεταξύ διαδοχικών στάσεων. Από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν τα μοντέλα Δέντρων Αποφάσεων ανέδειξαν ακριβέστερα το φαινόμενο λεωφορειακού συνωστισμού.

Εστιάζοντας στους παράγοντες που οδηγούν σε συνωστισμό οι Fonzone et al. (2015), ανέδειξαν ως κυριότερο αίτιο την κατανομή των επιβατών σε κάθε όχημα και τις διακυμάνσεις που αυτή μπορεί να έχει αλλάζοντας σημαντικά τον χρονικό προγραμματισμό των δρομολογίων. Βασισμένοι σε πρότερη βιβλιογραφία δημιούργησαν ένα συνεχές λογιστικό μοντέλο άφιξης επιβατών σε στάση με την προϋπόθεση ότι οι χρόνοι άφιξης λεωφορείων είναι γνωστοί για το κοινό αλλά μη ακριβείς. Στη συνέχεια, εισάγουν την τάση αυτή των αφίξεων επιβατών σε ένα συνεχές μοντέλο που περιγράφει την κίνηση διαφορετικών γραμμών λεωφορείων στην ίδια τροχιά (κοινές στάσεις και διαδρομή). Έτσι, επισημαίνουν την δυναμική του επιβατικού κοινού και της κατανομής του στα οχήματα των γραμμών. Ακόμα, τονίζουν την σχέση μεταξύ άφιξης επιβατών στην στάση και χρόνου εξυπηρέτησης αυτής, υποστηρίζοντας πως ως και συνθήκες πολύ χαμηλού φόρτου οδηγούν σε ταυτόχρονες αφίξεις λεωφορείων, όπως επίσης και ότι με μηδενικές καθυστερήσεις άλλων παραγόντων η κατανομή των επιβατών είναι αρκετή να προκαλέσει τις αρρυθμίες αυτές. Παρόμοια μελέτη εκπονήθηκε και από τους Arriagada et al. (2018), αναδεικνύοντας νέους ως προς την βιβλιογραφία παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο του λεωφορειακού συνωστισμού. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν δεδομένα AVL και APC από δύο ανεξάρτητα συστήματα, στον Καναδά και την Χιλή εστιάζοντας σε τέσσερις και τρεις γραμμές αντίστοιχα. Ο χρονικός ορίζοντας των δεδομένων αφορούσε αποσπασματικά τετραήμερα του Σεπτεμβρίου 2014 και Απριλίου 2013 ενώ για την ανάδειξη των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης. Ως εξαρτημένη μεταβλητή τέθηκαν ένας συνεχής και ένας διακριτός δείκτης μέτρησης φαινομένων συνωστισμού, τα αποτελέσματα των οποίων τέθηκαν αργότερα σε σύγκριση. Από την εφαρμογή των μοντέλων ανεδείχθησαν, εκτός των παραγόντων που συστήνει η βιβλιογραφία, νέες παράμετροι όπως: ο ανομοιογενής στόλος λεωφορείων, η χρήση διώροφων λεωφορείων και η ύπαρξη λεωφορειολωρίδων με παράλληλα σταθμευμένα αυτοκίνητα. Βρέθηκαν ακόμα παράγοντες που λειτούργησαν αποτρεπτικά: ο συγχρονισμός φαναριών, η ομοιογένεια στην δραστηριότητα των διαδοχικών λεωφορείων και η ύπαρξη αποκλειστικών λωρίδων κυκλοφορίας.

Εν γένει, όπως παρουσιάζεται και στην μελέτη των Verbich et al. (2016), φαινόμενα συνωστισμού λεωφορείων σε στάση αυξάνουν τον χρόνο παραμονής τους σε αυτές και κατ' επέκταση τον συνολικό χρόνο διαδρομής τους. Τα συμπεράσματα αυτά προήλθαν από έρευνα βασισμένη σε τριμηνιαία δεδομένα AVL και APC για το Portland (ΗΠΑ), μελετώντας μία γραμμή της οποίας τις στάσεις εξυπηρετούν ακόμα επτά γραμμές. Δημιουργώντας ένα μοντέλο για το χρόνο εξυπηρέτησης στάσης και ένα ακόμα για τον συνολικό χρόνο διαδρομής μελέτησαν τις καθυστερήσεις εξαιτίας των γεγονότων συνωστισμού τόσο μεταξύ λεωφορείων ίδιας γραμμής όσο και διαφορετικής. Παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στα δύο μοντέλα ορίστηκαν: η πρωινή και απογευματινή αιχμή, ο αριθμός των επιβιβαζόμενων και αποβιβαζόμενων επιβατών ανά

στάση, η ύπαρξη σηματοδοτούμενων κόμβων στη διαδρομή μεταξύ δύο διαδοχικών στάσεων, η πραγματοποίηση στάσεως προγραμματισμένων και μη καθώς επίσης και η παρουσία υπόστεγου σε στάση. Αυτά τα φαινόμενα, βρέθηκε τελικά πως δεν επιβαρύνουν μόνο δρομολόγια ίδιας γραμμής αλλά εξίσου και έτερων γραμμών με κοινές στάσεις. Οι καθυστερήσεις που επιφέρουν είναι της τάξης των δέκα δευτερολέπτων για το χρόνο εξυπηρέτησης στάσης και περί των σαράντα δευτερολέπτων για το συνολικό χρόνο διαδρομής. Στρέφεται έτσι η προσοχή και στο χρονικό διαχωρισμό λεωφορείων διαφορετικών γραμμών με την πρόταση για αύξηση του διαστήματος άφιξης διαδοχικών λεωφορείων σε στάση, στο επίπεδο του σχεδιασμού.

Οι Diab et al. (2016) μελέτησαν την αλληλεπίδραση των γραμμών στις κοινές τους στάσεις και πως αυτή επιδρά στη γένεση Συνωστισμού Λεωφορείων και την αύξηση των καθυστερήσεων. Αναγνώρισαν την ευεργετική σημασία στην επικάλυψη δρομολογίων με την αποσυμφόρηση των στάσεων και ταυτόχρονα επεσήμαναν τις καθυστερήσεις που αυτές επιφέρουν σε βεβαρυμμένες συνθήκες δικτύου. Για τους σκοπούς της μελέτης, χρησιμοποίησαν τριμηνιαία δεδομένα AVL και APC σε επίπεδο στάσης, από το σύστημα γραμμών του Portland (ΗΠΑ) και σχημάτισαν δύο στατιστικά μοντέλα. Το πρώτο αφορά τις καθυστερήσεις στο χρονικό διαχωρισμό λόγω λειτουργίας επικαλυπτόμενων δρομολογίων, ενώ το δεύτερο τη γένεση Συνωστισμού Λεωφορείων. Εισάγοντας ως ανεξάρτητες μεταβλητές την διαδοχή λεωφορείων κοινής ή διαφορετικής γραμμής, ανέδειξαν τη χωρική και χρονική κατανομή των τομών διαφορετικών δρομολογίων. Άλλες μεταβλητές του μοντέλου χρονικού διαχωρισμού ήταν: η πρωινή και απογευματινή αιχμή, η θέση της στάσης ως προς κόμβο και η διαδρομή της γραμμής. Αντίστοιχα, για το μοντέλο συνωστισμού επιλέχθηκαν: οι καθυστερήσεις στην έναρξη δρομολογίου, η απόκλιση από τον χρονικό προγραμματισμό και η επιβατική δραστηριότητα. Έτσι, ήταν σε θέση να εξάγουν συμπεράσματα για την αλληλεπίδραση του δικτύου στη μελετώμενη γραμμή. Συγκεκριμένα, εστίασαν στις επιπτώσεις που είχε η εξυπηρέτηση στάσεων από περισσότερες της μίας γραμμές, στην απόκλιση του πραγματικού από τον προγραμματισμένο χρόνο ακολουθίας και τις πιθανότητες γένεσης συστάδων λεωφορείων. Παρατήρησαν, λοιπόν, την αύξηση των καθυστερήσεων και την ένταση της απόκλισης χρονικού διαχωρισμού. Εξίσου σημαντική επισήμανση ήταν και η άμεση σύνδεση της καθυστερημένης έναρξης δρομολογίου με την μετέπειτα δημιουργία συμπλεγμάτων λεωφορείων. Στα συμπεράσματα της έρευνας προστέθηκε και ο ελάχιστος χρονικός διαχωρισμός της τάξης των είκοσι λεπτών με σκοπό να αποφευχθούν οι άνω καθυστερήσεις.

Κοινή γραμμή έχουν και οι Schmöcker et al. (2016), υποστηρίζοντας ότι επικαλυπτόμενες γραμμές επιδεινώνουν την λειτουργία του δικτύου λόγω της κατανομής του επιβατικού φόρτου με εξαίρεση την περίπτωση όπου επιτρέπεται η προσπέραση μεταξύ λεωφορείων και η ταυτόχρονη εξυπηρέτησης στάσης. Αναπτύσσονται λοιπόν δύο μοντέλα αφίξεων λεωφορείων, ένα με συνθήκες μη επιτρεπτής προσπέρασης και ένα αντίθετης περίπτωσης. Ο βασικός άξονας είναι η κατανομή επιβατικού φόρτου και η ύπαρξη επικαλυπτόμενων δρομολογίων. Στην τελευταία περίπτωση ο φόρτος βαραίνει

το προπορευόμενο όχημα λόγω της συντομότερης άφιξης, γεγονός όμως που αυξάνει την καθυστέρηση στο χρόνο εξυπηρέτησης στάσης. Αντίθετα, στο μοντέλο όπου συμβαίνουν προσπεράσεις λεωφορείων και παράλληλη εξυπηρέτηση στάσης ο φόρτος καταμερίζεται ισόποσα. Με την εφαρμογή των δύο μοντέλων εξάγονται τα συμπεράσματα για βελτίωση των αποκλίσεων του λεωφορειακού συστήματος με την ύπαρξη επικαλυπτόμενων δρομολογίων. Αυτή η βελτίωση μεγιστοποιείται σε περιβάλλοντα όπου υφίσταται ταυτόχρονη εξυπηρέτηση στάσης από δύο λεωφορεία και οι μεταξύ τους προσπεράσεις είναι εφικτές. Μέσα από το διαχωρισμό των δύο αυτών μοντέλων στόχευσαν στην ανάδειξη της σημασίας της κατανομής των επιβατών στα διαδοχικά λεωφορεία και την ύπαρξη της γραμμής μέσα σε ένα ευρύτερο δίκτυο λεωφορειακών γραμμών.

Εξίσου σημαντική είναι και η δουλειά των Wu et al. (2017) όπου προτείνεται ένα μοντέλο το οποίο λαμβάνει υπόψη την κατανομή των επιβατών στα λεωφορεία σε συνθήκες επιτρεπόμενης προσπέρασης. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στο χρόνο αναχώρησης από στάση, το χρόνο εξυπηρέτησής της και τον χρόνο ταξιδιού μέχρι την επόμενη στάση, ενώ η επιβατική συμπεριφορά ως προς την επιβίβαση παρομοιάζεται με ένα κλασσικό μοντέλο διακριτών επιλογών. Στη συνέχεια το μοντέλο προσομοιώνεται μέσα από τη μέθοδο Monte – Carlo για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν τις στρατηγικές ελέγχου ως τρόπους περιορισμού των γεγονότων Συνωστισμού των Λεωφορείων, με κυριότερη αυτή της παραμονής σε στάση (bus holding). Επίσης, η δυνατότητα προσπέρασης (bus overtaking) ως εναλλακτική στρατηγική μειώνει εξίσου τα φαινόμενα συνωστισμού και τον συνολικό χρόνο διαδρομής. Μέσα από τις προσομοιώσεις τονίζεται η σημασία υιοθέτησης στρατηγικών ελέγχου για τον περιορισμό φαινομένων συνωστισμού και την βελτίωση των λεωφορειακών συστημάτων. Μάλιστα η επίδραση αυτή είναι μεγαλύτερη όταν η διακύμανση του χρόνου διαδρομής είναι μεγάλη και ο προγραμματισμένος χρονικός διαχωρισμός μικρός. Αυτό ενδείκνυται για υψηλής συχνότητας συστήματα π.χ. αστικά περιβάλλοντα. Εξίσου σημαντική θεωρείται και η κατανομή των επιβατών που μπορεί να περιορίσει τα φαινόμενα αυτά. Προτείνεται μάλιστα η πληροφόρηση του κοινού για τον φόρτο εντός των λεωφορείων με σκοπό την έγκαιρη απόφαση επιβίβασης.

2.2. Προβολή στο μέλλον

Εκτός από την παραμετροποίηση του φαινομένου συνωστισμού είναι δυνατή και η πρόβλεψή του εφαρμόζοντας πολλές φορές κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα και κάνοντας εκτιμήσεις για το μέλλον. Για περιπτώσεις εξαγωγής ενός συμπεράσματος σχετικά με το μέλλον ενδείκνυνται τα οικονομετρικά μοντέλα και μάλιστα η Γραμμική Παλινδρόμηση, συσχετίζοντας ένα φαινόμενο με τις παραμέτρους που το διαμορφώνουν.

Χαρακτηριστική μελέτη είναι εκείνη των Matthias και Nair (2017), στην οποία γίνονται προβλέψεις του χρόνου ακολουθίας οι οποίες έπειτα συνδυάζονται με τις υφιστάμενες στρατηγικές ελέγχου. Η μελέτη αφορά μία από τις πιο βεβαρημένες γραμμές του Δουβλίνου για την οποία παρέχονται δεδομένα AVL ενός μήνα, ενώ για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιείται η Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση. Το τελικό μοντέλο πρόβλεψης συγκρίνεται με άλλα προτεινόμενα από τη βιβλιογραφία μοντέλα όπως τα Νευρωνικά Δίκτυα και τα Αυτοπαλίνδρομα Μοντέλα, η στρατηγική ελέγχου που επιλέγεται είναι η αύξηση χρόνου εξυπηρέτησης στάσης ή η παραμονή σε στάση. Στη συνέχεια της έρευνας, για τους σκοπούς της πρόβλεψης, ο χρονικός διαχωρισμός θεωρείται συνεχής μεταβλητή δημιουργώντας χρονοσειρές δεδομένων. Αντίθετα, για την πρόταση στρατηγικών ελέγχου μελετάται σε επίπεδο στάσης. Τα αποτελέσματα εφαρμόζονται σε μία τεχνητή γραμμή με συμπέρασμα την συνέχεια της συστάδας λεωφορείων από τη στιγμή της συνάντησής τους σε στάση. Ακόμα εξάγονται δευτερεύουσες παρατηρήσεις όπως το γεγονός ότι μικροί χρονικοί διαχωρισμοί ακολουθούνται από μεγαλύτερους και αντίστροφα.

Παρόμοιο μαθηματικό υπόβαθρο αξιοποίησαν και οι Yu et al. (2016), προβλέποντας τις αποκλίσεις του χρονικού διαχωρισμού σε επίπεδο στάσης. Η έρευνα αναφέρεται σε δύο γραμμές του Πεκίνου και χρησιμοποιεί δεδομένα τετραμήνου και καταγραφές ηλεκτρονικών εισιτηρίων. Χρησιμοποιείται ακόμα, το ιστορικό των γραμμών σχετικά με το χρόνο διαδρομής και το χρονικό διαχωρισμό των δρομολογίων. Η πρόβλεψη της γένεσης Συνωστισμού Λεωφορείων ανά στάση, επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αλγορίθμου που συνδυάζει την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (LS) με αυτή των Μηχανών Διανυσμάτων Υποστήριξης (SVM) σε μία μεικτή Παλινδρόμηση. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει μεγάλη αξιοπιστία και σύντομο χρόνο, γι' αυτό ενδείκνυται και για δίκτυα. Ωστόσο, είναι πολύ ευαίσθητη στο θόρυβο και την ύπαρξη ακραίων παρατηρήσεων. Εν συνεχεία, πειραματικά μελετάται πόσο έγκαιρα μπορεί να υπάρξει ένδειξη - ειδοποίηση για τον σχηματισμό συστάδων λεωφορείων. Τελικά, η μέθοδος εντοπίζει έγκαιρα περίπου το 95% των γεγονότων συνωστισμού ενώ ο χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος σε σύγκριση με άλλους παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων.

2.3. Χωρική συσχέτιση ως παράμετρος του μοντέλου

Τα γραμμικά μοντέλα ενέχουν την υπόθεση ανεξαρτησίας ως προς την περιοχή μελέτης. Ωστόσο, η υπόθεση αυτή αμφισβητείται έντονα όταν πρόκειται για κοινωνικά φαινόμενα και στοιχεία. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει άμεση σύνδεση με τον τόπο, ενώ ακόμα οι παρατηρήσεις συσχετίζονται. Οι παραπάνω πηγές αφορούσαν δημιουργία καθολικών μοντέλων μη λαμβάνοντας υπόψη τοπικές διαφοροποιήσεις και βάρη. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει το μοντέλο γεωγραφικών βαρών (Geographically Weighted Regression – GWR) το οποίο σε σχέση με το καθολικό μοντέλο (Linear Regression – LR) προσθέτει βάρη στις ανεξάρτητες μεταβλητές ανάλογα με τη γεωγραφική θέση των παρατηρήσεων.

Μελέτες όπως αυτή των Saefuddin et al. (2012), με εφαρμογή τον προσδιορισμό φτωχών περιοχών της Ινδίας, συγκρίνουν την προσαρμογή των δύο μοντέλων στο ίδιο σετ δεδομένων. χρησιμοποιώντας δημογραφικά στοιχεία της περιοχής ανέπτυξαν ένα κλασικό καθολικό μοντέλο Λογιστικής Παλινδρόμησης και ένα Γεωγραφικά Σταθμισμένο Λογιστικό Μοντέλο. Η εξαρτημένη μεταβλητή παρέμεινε η ίδια με τιμή ένα για φτωχές περιοχές και μηδέν για κάθε άλλη. Από την εφαρμογή στο ίδιο σετ δεδομένων έγινε δυνατή η σύγκρισή τους. Αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω των δεικτών Moran's I και Geary's c οι οποίοι εξετάζουν τις κατανομές των καταλοίπων των δύο μοντέλων για την ύπαρξη χωρικής αυτοσυσχέτισης. Το καθολικό μοντέλο με τους δείκτες αυτούς ανέδειξε την χωρική εξάρτηση των παραμέτρων του και τα εναπομείναντα σφάλματα από την καθολική ερμηνεία του φαινομένου. Ακόμα, εισήχθησαν έννοιες ποιότητας εφαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα με τους δείκτες AICc (Akaike Information Criterion) και R-square. Έτσι, ξεκαθάρισε η καλύτερη ερμηνεία των φτωχών περιοχών από το Χωρικά Σταθμισμένο Μοντέλο δίνοντας πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Σε επίπεδο συγκοινωνιακής μελέτης αντίστοιχα συγκρίνεται η απόδοση του καθολικού μοντέλου Παλινδρόμησης μέσω των ελαχίστων τετραγώνων – MET – με το σταθμισμένο μοντέλο GWR στην έρευνα των Cardozo et al. (2012). Η μελέτη αφορά την πρόβλεψη στην επιβατική κίνηση του μετρό της Μαδρίτης. Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν αυτά του συνόλου του δικτύου μετρό ενώ οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν περιέγραφαν: χαρακτηριστικά των στάσεων μετρό, το υπέργειο οδικό δίκτυο, δημογραφικά δεδομένα και δεδομένα του λεωφορειακού δικτύου. Τα δύο μοντέλα εφαρμόστηκαν με χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ARCGIS και έπειτα συγκρίθηκαν ως προς την κατανομή των υπολοίπων τους και την ποιότητα εφαρμογής στα δεδομένα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν καλύτερη εφαρμογή του GWR στα δεδομένα με μικρότερα κατάλοιπα συγκριτικά με το καθολικό μοντέλο LR. Ακόμα αποδείχθηκε η μεταξύ ανεξαρτησία των καταλοίπων αυτών σε σχέση με το μεροληπτικό καθολικό μοντέλο.

Σταθμισμένα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν και στην περίπτωση των Pirdavani et al. (2014) οι οποίοι μελέτησαν τα τροχαία ατυχήματα στο Flanders (Βέλγιο), σε επίπεδο πρόβλεψης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν σε στατιστικά τροχαίων και καταγραφές τριετούς περιόδου, της περιοχής. Απώτερος σκοπός της μελέτης υπήρξε η απόδειξη χωρικών εξαρτήσεων μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και η σύγκριση της απόδοσης του καθολικού ως προς το σταθμισμένο μοντέλο στο σύνολο δεδομένων. Στην έρευνα χρησιμοποιήθηκαν εκτός των δεδομένων ατυχημάτων και δεδομένα του οδικού δικτύου όπως επίσης και δημογραφικά στοιχεία. Η απόδειξη χωρικών προτύπων έγινε με τον υπολογισμό του δείκτη αυτοσυσχέτισης Moran's I για την εξαρτημένη και ανεξάρτητες μεταβλητές. Με την εφαρμογή των δύο μοντέλων έγινε η σύγκρισή τους μέσω των δεικτών προσαρμογής AICc. Στο καθολικό μοντέλο παρατηρήθηκαν απρόσμενα αποτελέσματα ως προς το πρόσημο των συντελεστών των μεταβλητών ενώ η προσαρμογή στο σετ δεδομένων ήταν περιορισμένη.

Στα ίδια ποιοτικά συμπεράσματα κατέληξαν και οι Blainey και Mulley (2013) όταν χρησιμοποίησαν GWR μοντέλο για να μελετήσουν και να προβλέψουν τη μεταβλητότητα στη ζήτηση σιδηροδρομικών μετακινήσεων στο New South Wales (Αυστραλία). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τον πληθυσμό και την επιβατική κίνηση των συρμών, τη συχνότητα και το πρόγραμμα των τραινών, τη σύνδεση με λεωφορειακό δίκτυο και τη εγγύτητα της στάσης από το κέντρο της πόλης. Το νέο μοντέλο GWR βαθμονομήθηκε από πρότερα καθολικά μοντέλα διαδρομών του μητροπολιτικού δικτύου του Sydney. Από τα αποτελέσματα της μεθόδου έγινε ξεκάθαρη η βελτίωση στην προσαρμογή του μοντέλου μέσω του δείκτη R2. Ακόμα, παρουσιάστηκαν επιπλέον έλεγχοι για την χωρική μεταβλητότητα της εξαρτημένης και ανεξάρτητων παραμέτρων, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη για GWR. Τα αποτελέσματα μαζί με τα στατιστικά τους μεγέθη οπτικοποιήθηκαν σε χάρτες διευκολύνοντας την ερμηνεία τους. Συμπερασματικά η απόδοση του GWR υπερβαίνει τις δυνατότητες της πολλαπλής Παλινδρόμησης, ενώ και ο σταθερός όρος δίνει σημαντικά στοιχεία για την τοπική διαμόρφωση του φαινομένου και τις ελλείψεις στην ερμηνεία του.

Τέλος, χρήσιμο μαθηματικό εγχειρίδιο αποδεικνύεται και το άρθρο των Charlton et al. (2005) ως συνέχεια της διημερίδας “Geographically Weighted Regression” του Πανεπιστημίου του Leeds. Σε αυτό, αποσαφηνίζονται έννοιες και προϋποθέσεις του GWR ως στατιστικό εργαλείο και συστήνεται ένα λογισμικό μέσα από παραδείγματα μελετών, που επιτρέπει την εφαρμογή των μοντέλων αυτών. Επισημαίνονται βασικές διαφορές ως προς τα καθολικά μοντέλα Παλινδρόμησης και αναπτύσσονται οι μαθηματικές σχέσεις που συνδέουν την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται ακόμα, στον σχεδιασμό του πίνακα βαρών, τον νέο όρο συγκριτικά με τα καθολικά μοντέλα που καταδεικνύει την χωρική μεταβολή των ανεξάρτητων παραμέτρων. Συνεχίζει με την εφαρμογή ενός GWR μοντέλου στην ομώνυμη εφαρμογή και τον καθορισμό των στατιστικών παραμέτρων του. Η εξοικείωση με το πρόγραμμα γίνεται μέσα από ερμηνεία των αποτελεσμάτων αρχικά όπως αυτά εξάγονται από την εφαρμογή κι έπειτα με την χαρτογράφησή τους σε σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών. Συνοψίζοντας αναφέρονται οι μαθηματικές σχέσεις που εξυπηρετεί η εφαρμογή και επισημαίνεται ο έλεγχος των δεδομένων για την επιλογή της σωστής σχέσης που θα διαμορφώσει το χωρικά σταθμισμένο μοντέλο.

2.4. Συμπέρασμα

Από την παραπάνω βιβλιογραφία γίνεται ξεκάθαρη η βαρύτητα των φαινομένων Συνωστισμού Λεωφορείων για το επίπεδο εξυπηρέτησης των λεωφορειακών γραμμών και γενικότερα για την εύρυθμη λειτουργία του συγκοινωνιακού δικτύου. Η γένεση συνωστισμού συνδέεται άρρηκτα με το χρονικό διαχωρισμό των λεωφορείων και μάλιστα όχι μονό αυτών κοινής γραμμής αλλά και άλλων γραμμών του συστήματος. Οι καθυστερήσεις αποδεικνύεται πως μεταφέρονται και προστίθενται κατά την εξέλιξη του

δρομολογίου ενώ η καθυστέρηση στην έναρξή του είναι από τους συχνότερους παράγοντες που οδηγούν στο φαινόμενο του συνωστισμού. Εξίσου μεγάλη επίδραση έχει και ο επιβατικός φόρτος και η μεταβολή του. Άλλοι παράγοντες που εξηγούν την αρρυθμία αυτή αφορούν την ίδια τη στάση και χαρακτηριστικά του εγγύτερου περιβάλλοντός της. Μεταβλητές με χρονική υπόσταση χρησιμοποιούνται για να μελετηθεί ο λεωφορειακός συνωστισμός και η εξέλιξή του στο χρόνο ενώ και η χωρική υπόσταση ερευνάται σε επίπεδο στάσης. Το είδος δεδομένων αφορά τον εντοπισμό των λεωφορείων μέσω συστημάτων GPS αλλά και την καταγραφή της ζήτησης συνήθως μέσω ηλεκτρονικών εισιτηρίων. Η ανάδειξη των αιτιών γίνεται με την ανάπτυξη μοντέλων που κατά πλειοψηφία υπολογίζουν τις αποκλίσεις από τον προγραμματισμένο χρόνο ή τον πραγματικό χρονικό διαχωρισμό ως προς τον προγραμματισμένο. Μετά την ανάδειξη των αιτιών σειρά έχει η πρόταση για αντιμετώπιση της παθογένειας η οποία στηρίζεται συνήθως στις ανεξάρτητες μεταβλητές που το περιέγραψαν.

Εκτός όμως από την εύρεση των σχέσεων εξαρτημένης – ανεξάρτητης μεταβλητής σε ιστορικά δεδομένα, σημαντικό ρόλο έχει και η εκ των προτέρων ρύθμιση του προβλήματος. Η πρόβλεψη γένεσης συνωστισμού βασίζεται στη χρήση χρονοσειρών για την προέκτασή τους στο μέλλον. Άλλο σημαντικό εργαλείο που εξυπηρετεί το σκοπό αυτό είναι τα οικονομετρικά μοντέλα με πιο διαδεδομένο την ανάπτυξη μοντέλων Παλινδρόμησης. Ο τύπος των δεδομένων παραμένει ίδιος με την διαφορά την ανάγκη για μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων για την προέκταση των τάσεων στο μέλλον.

Όπως ήδη αποδείχθηκε στις μελέτες που επισημαίνονται τα κοινωνικά και συγκοινωνιακά φαινόμενα ρυθμίζονται από πολύπλοκες σχέσεις που περιγράφονται εσφαλμένα από τα κλασσικά μοντέλα Οικονομετρίας. Για την ανάδειξη αυτών των σχέσεων προτείνεται αρχικά η μελέτη χωρικής αυτοσυσχέτισης της εξαρτημένης αλλά και των ανεξαρτήτων παραμέτρων. Τα χωρικά πρότυπα που παρατηρούνται σημαίνουν την ανάγκη σύνδεσης του φαινομένου με το περιβάλλον του και την μελέτη των μεταβολών του ως προς αυτό. Αυτήν ακριβώς την ιδιότητα ερευνά το Χωρικά Σταθμισμένο Μοντέλο Παλινδρόμησης, μία ειδική κατηγορία Οικονομετρικών Μοντέλων. Κάθε υποπεριοχή της περιοχής μελέτης περιγράφεται ανάλογα τα χαρακτηριστικά της. Έτσι, διαμορφώνεται η ποικιλία στην έκφραση του φαινομένου στην μελετώμενη περιοχή.

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται χρήσιμες έννοιες που αναφέρονται συστηματικά στην μελέτη καθώς επίσης και το σύνολο των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου. Η φύση και το χρονικό πλαίσιο αναλύονται επαρκώς ενώ ορίζονται και οι ανεξάρτητες μεταβλητές που επιλέχθηκαν τόσο σε πρότερα στάδια όσο και στην τελική διαμόρφωση του μοντέλου.

3.1. Χρήσιμες έννοιες

Λεωφορειακή γραμμή

Πρόκειται για μία γραμμική χωρική οντότητα που περιγράφεται από έναν κωδικό αριθμό και συνδέει δύο σημεία (αφετηρία – τέρμα). Αποτελείται από δύο επιμέρους γραμμές (διαδρομές) με κοινό κωδικό αριθμό και διαφορετικό όνομα. Εξυπηρετείται από πλήθος οχημάτων, τον στόλο λεωφορείων της γραμμής.

Διαδρομή

Περιγράφει την σύνδεση δύο σημείων με συγκεκριμένη αφετηρία, τέρμα και κατεύθυνση. Η διαδρομή στα λεωφορεία δηλώνεται με τον κωδικό αριθμό της γραμμής που ανήκει και την λεκτική περιγραφή του αρχικού και τελικού της σημείου. Εξυπηρετείται από πολλαπλά δρομολόγια μέσα στη μέρα.

Δρομολόγιο

Το δρομολόγιο της γραμμής χαρακτηρίζει ένα μόνο ταξίδι μίας διαδρομής με συγκεκριμένη ώρα έναρξης δρομολογίου. Περιγράφεται από την διαδρομή και ένα κωδικό αριθμό που δηλώνει την μοναδικότητά του. Οχήματα της ίδιας γραμμής εκτελούν μέσα στη μέρα περισσότερα του ενός δρομολόγια.

Συνωστισμός λεωφορείων (οχημάτων)

Η απόκλιση των λεωφορείων από το πρόγραμμα τους σε συνδυασμό με εξωγενείς καθυστερήσεις οδηγεί συχνά στην άφιξη λεωφορείου σε στάση κατά την εξυπηρέτησή της από προηγούμενο όχημα της γραμμής. Μάλιστα, η άφιξη των δύο οχημάτων μπορεί να είναι ακόμα και ταυτόχρονη χάνοντας την λειτουργικότητά τους. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη δημιουργία συστάδων (συνωστισμένων) λεωφορείων γνωστό στην ξένη βιβλιογραφία ως bus bunching. Στην παρούσα εργασία αποτελεί την εξαρτημένη δυαδική μεταβλητή με τιμές 0 για μη ύπαρξη συνωστισμού και 1 για την παρατήρηση του φαινομένου.

Χρονικός διαχωρισμός (χρονική ακολουθία)

Το μέγεθος αυτό αφορά στον χρόνο μεταξύ της αναχώρησης λεωφορείου από μία στάση έως την άφιξη του επόμενου λεωφορείου της ίδιας γραμμής στη στάση αυτή. Κατά τον σχεδιασμό το διάστημα αυτό καθορίζεται και αφορά κάποια λεπτά της ώρας

(προγραμματισμένος χρονικός διαχωρισμός). Ωστόσο, λόγω εξωγενών παραμέτρων το διάστημα αυτό μεταβάλλεται (πραγματικός χρονικός διαχωρισμός). Είναι ένας καλός δείκτης για τον εντοπισμό φαινομένων συνωστισμού αφού συχνά ελαχιστοποιείται ή μηδενίζεται με αποτέλεσμα την ταυτόχρονη άφιξη οχημάτων. Στην ξένη βιβλιογραφία συναντάται ως headway και εντάσσεται σε χρονικά κατώφλια ανάλογα τις ανάγκες της μελέτης.

Χρονικά κατώφλια

Τα χρονικά κατώφλια είναι διαστήματα που ορίζονται ανάλογα τα χαρακτηριστικά της γραμμής (συχνότητα δρομολογίου) και τις ίδιες ανάγκες. Η κατάταξη του χρονικού διαχωρισμού σε αυτά μπορεί να αναδείξει φαινόμενα συνωστισμού και να τα διαχωρίσει από λοιπές αρρυθμίες του προγράμματος.

Χρόνος εξυπηρέτησης στάσης

Το διάστημα αυτό ξεκινά με την στιγμή που ανοίγουν οι πόρτες του λεωφορείου κατά την άφιξή του σε στάση και λήγει με την αναχώρησή του από αυτή. Είναι ένα μέγεθος που δεν μπορεί να εκτιμηθεί στο πρόγραμμα μίας διαδρομής και διαφέρει κυρίως λόγω μεταβολής του επιβατικού φόρτου.

Επιβατικός φόρτος

Το σύνολο των χρηστών που επιβιβάζονται και αποβιβάζονται σε μία στάση περιγράφεται από τον επιβατικό φόρτο. Αυτός αναφέρεται σε επίπεδο στάσης και ποικίλλει τόσο μεταξύ των στάσεων όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, της εβδομάδας κ.ο.κ. Είναι ένα δυναμικό μέγεθος με ποικίλες παραμέτρους.

Συνολικός χρόνος διαδρομής (running time)

Αναφέρεται στην χρονική διάρκεια ανάμεσα στην στιγμή της εκκίνησης του οχήματος έως την στιγμή που αυτό φτάνει στον προορισμό του. Ο χρόνος διαδρομής μπορεί να καταγράφεται σε ώρες, λεπτά ακόμα και δευτερόλεπτα.

3.2. Ο ΟΑΣΑ ως πάροχος στοιχείων και η φύση τους

Από το 1993 που ιδρύεται ο Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών μέχρι και σήμερα το Συγκοινωνιακό Έργο όλων των μέσων μεταφοράς τελείται υπό την ευθύνη του. Κατά τον ίδιο τρόπο και οι λεωφορειακές συνδέσεις σχεδιάζονται, συντονίζονται και ελέγχονται από τις Οδικές Συγκοινωνίες Α.Ε. (Ο.ΣΥ. Α.Ε.), εταιρεία που συστάθηκε το 2011 από την συγχώνευση θυγατρικών του Ο.Α.Σ.Α. Α.Ε. (Ε.ΘΕ.Λ. Α.Ε. και Η.Λ.Π.Α.Π. Α.Ε.) και ανήκει σε αυτόν. Μάλιστα, από τον Απρίλιο του 2016 εφαρμόζεται το σύστημα τηλεματικής. Το νέο αυτό σύστημα επιτυγχάνει την άμεση και έγκαιρη ενημέρωση των επιβατών για τα δρομολόγια των γραμμών τόσο μέσω των «έξυπνων» πινακίδων με σχετικά μηνύματα όσο και μέσω αντίστοιχου λογισμικού για «έξυπνες» συσκευές.

Ο επιβάτης είναι σε θέση να γνωρίζει τον χρόνο αναμονής του σε στάση αλλά και να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο την εξέλιξη των δρομολογίων που τον αφορούν. Ακόμα, ενημερώνεται για την πλησιέστερη στάση και την βέλτιστη διαδρομή που μπορεί να επιλέξει. Πρόσθετες πληροφορίες για επόμενες στάσεις παρέχονται εντός των οχημάτων από κατάλληλο εξοπλισμό. Δίνεται λοιπόν η δυνατότητα για αυτόματο εντοπισμό οχημάτων, γνωστό στην παγκόσμια κοινότητα ως automatic vehicle location (AVL), μέσα από το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) με δέκτες εγκατεστημένους σε κάθε όχημα. Αυτοί δίνουν με ακρίβεια καλύτερη των 10 μέτρων την γεωγραφική θέση του οχήματος σε πραγματικό χρόνο. Εξίσου σημαντικό όμως είναι και το αντίστοιχο λογισμικό για την καταγραφή και τη μετάδοση της πληροφορίας αυτής σε βάσεις δεδομένων για την καλύτερη εποπτεία του Συγκοινωνιακού Έργου αλλά και σε διαδραστικούς χάρτες για το κοινό.

Στοιχεία αυτόματου εντοπισμού χρησιμοποιήθηκαν και για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, από τον αρμόδιο φορέα. Τα στοιχεία αυτά αφορούν ηλεκτρονικά αρχεία – συλλογές με το στίγμα του οχήματος για κάθε άφιξη σε προγραμματισμένη στάση. Για κάθε λεωφορειακή γραμμή τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν το διάστημα μεταξύ Σεπτεμβρίου και Δεκεμβρίου για το έτος 2017. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε καταγραφή δίνονται:

- Η ημερομηνία και ώρα με μορφή: HH – MM – ΕΕ ΩΩ:ΛΛ
- Ο κωδικός αριθμός οχήματος: μοναδικός, 5ψήφιος αριθμός
- Η πινακίδα οχήματος: 3 γράμματα και 4 ψηφία, μοναδικά ανά όχημα
- Ο κωδικός αριθμός στάσης: μοναδικός αριθμός για κάθε στάση
- Η γεωγραφική θέση του οχήματος: γεωγραφικό πλάτος φ και μήκος λ
- Ο κωδικός αριθμός δρομολογίου: 4ψήφιος αριθμός
- Το συμβάν: Άφιξη σε Στάση/ Τέρμα /Αφετηρία, Αναχώρηση από Αφετηρία /Τέρμα
- Η στάση: όνομα στάσης όπως δίνεται στο πρόγραμμα της γραμμής
- Η κατεύθυνση: όνομα διαδρομής
- Ο κωδικός αριθμός γραμμής: χαρακτηριστικός 3ψήφιος αριθμός

Περαιτέρω πληροφορίες αφορούν ποιοτικά χαρακτηριστικά των οχημάτων τα οποία δεν χρησιμεύουν για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας.

20543	ΥΜΙ 1143	7	10787	424021986	23	7705950	38	337910	9	2004	Άφιξη σε Στάση	ΕΘΝ.ΑΝΤΙΣΤΑΣΕ	ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟ	608
20503	ΥΜΙ 1103	7	60985	424022293	23	7311830	37	9853590	10	2003	Άφιξη σε Στάση	ΠΛ.ΚΑΝΙΓΓΟΣ	ΓΑΛΑΤΣΙ - ΑΚΑΔΗ	608
20585	ΥΜΙ 1185	7	60118	424022392	23	7284450	37	9858390	2	2004	Άφιξη σε Στάση	ΠΛ.ΛΑΥΡΙΟΥ	ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟ	608
20503	ΥΜΙ 1103	7	60008	424022513	23	7325210	37	9834880	10	2003	Άφιξη σε Στάση	ΖΩΟΔ.ΠΗΓΗΣ	ΓΑΛΑΤΣΙ - ΑΚΑΔΗ	608
20585	ΥΜΙ 1185	7	61350	424022604	23	7289410	37	9881210	2	2004	Άφιξη σε Στάση	ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ	ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟ	608
20503	ΥΜΙ 1103	7	60075	424022769	23	7345630	37	9810820	10	2003	Άφιξη σε Στάση	ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ	ΓΑΛΑΤΣΙ - ΑΚΑΔΗ	608
20585	ΥΜΙ 1185	7	60112	424022856	23	7309610	37	9903510	2	2004	Άφιξη σε Στάση	ΜΟΥΣΕΙΟ	ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟ	608
20585	ΥΜΙ 1185	7	60475	424023158	23	7317750	37	9935100	2	2004	Άφιξη σε Στάση	ΟΤΕ ΠΕΔΙΟΥ ΑΡΕ	ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟ	608
20503	ΥΜΙ 1103	7	60588	424023335	23	7413180	37	9754460	10	2003	Άφιξη σε Στάση	ΚΗΠΟΣ	ΓΑΛΑΤΣΙ - ΑΚΑΔΗ	608
20585	ΥΜΙ 1185	7	60476	424023387	23	7325160	37	9969640	2	2004	Άφιξη σε Στάση	ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ	ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟ	608

Εικόνα 3.1: Αρχείο AVL

3.3. Επεξεργασία των δεδομένων

Τα παραπάνω στοιχεία είναι ακατέργαστα και δίνονται σε αρχεία όπως συλλέγονται από τον Ο.Α.Σ.Α Α.Ε. Σε αυτό το στάδιο δεν είναι σε μορφή τέτοια ώστε να μπορεί εύκολα χωρίς επεξεργασία να εξαχθεί συμπέρασμα για γεγονότα συνωστισμού. Αυτό θα γίνει μετά από σταδιακή αξιολόγηση των δεδομένων με τη βοήθεια προγραμματιστικής γλώσσας *python* σε κατάλληλο περιβάλλον.

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα είναι η καταγραφή λανθασμένων στιγμάτων σε τυχαίες χρονικές στιγμές. Έτσι, δημιουργούνται πεδία με ταυτόσημες τιμές με τα προηγούμενά τους (διπλοεγγραφές). Άλλο παρόμοιο πρόβλημα εμφανίζεται με την καταγραφή ίδιων κωδικών οχήματος και δρομολογίου με διαφορετικές συντεταγμένες στην ίδια στάση. Στην περίπτωση αυτή πιθανώς το λεωφορείο έδωσε στίγμα δύο φορές κατά την άφιξη σε στάση πριν και αφού σταματήσει σε σημείο. Αντίστοιχα, κατά την παραμονή σε στάση περισσότερα του ενός στίγματα πρέπει να αφαιρεθούν και να επιλεγεί αυτό με την πρώτη σε χρόνο καταγραφή. Τέτοια γεγονότα συναντώνται κυρίως κατά την άφιξη σε Τέρμα ή Αφετηρία όπου ο χρόνος παραμονής είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο εξυπηρέτησής της.

Για λόγους συνέχειας και καλύτερης εμποπτείας του φαινομένου χρειάστηκε ακόμα να αφαιρεθούν πεδία που περιγράφουν ημιτελή δρομολόγια για διάφορους λόγους (πορείες και κυκλοφοριακές μεταρρυθμίσεις, τεχνικά προβλήματα κ.ά.). Το ίδιο ισχύει και για δρομολόγια που αποκλίνουν από την προγραμματισμένη διαδρομή αφού υστερούν του συνόλου των στοιχείων που αξιοποιούνται. Κενά πεδία μάλιστα συναντώνται και σε φυσιολογικά δρομολόγια όπου πιθανώς κάποιου τεχνικού προβλήματος είτε παραλείφθηκε κάποια από τις απαραίτητες τιμές, είτε η καταγραφή ήταν αδύνατο να διαβαστεί σωστά σε λογισμικό. Λοιπές πληροφορίες με ποιοτικά χαρακτηριστικά κρίθηκε πως δεν συνδράμουν την μελέτη ούτε επηρεάζουν το αποτέλεσμα και αφαιρέθηκαν.

Σε επόμενο στάδιο, ο σκοπός της εργασίας καθόρισε τον πρόσθετο περιορισμό του όγκου των δεδομένων. Εφόσον ο συνωστισμός λεωφορείων παρατηρείται κατά την άφιξη σε στάση, η προσοχή στρέφεται αμέσως στην διαδοχή των οχημάτων σε κάθε στάση ξεχωριστά και όχι πλέον στην ορθότητα του δρομολογίου συνολικά. Με κατάλληλη ταξινόμηση ανά ημερομηνία, ώρα και στάση δίνεται για κάθε στάση η χρονική στιγμή άφιξης λεωφορείων ίδιας διαδρομής για όλη τη διάρκεια της ημέρας, για την χρονική περίοδο της μελέτης. Βρίσκοντας χρονική διαφορά των διαδοχικών αφίξεων προκύπτει ο πραγματικός χρονικός διαχωρισμός των οχημάτων ανά στάση για κάθε γραμμή.

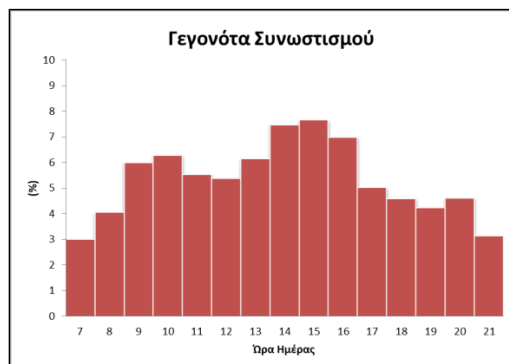
Σε αυτό το σημείο μελετήθηκε προσεκτικά το παράγωγο αυτό μέγεθος και έγινε μία πρώτη ποιοτική ερμηνεία ώστε να αποφασιστεί αν έχει ή οριστεί σωστά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα πρώτα και τελευταία δρομολόγια τα οποία δεν ακολουθούνται από άλλα εντός του ίδιου εικοσιτετραώρου. Στην περίπτωση αυτή η διαφορά προκύπτει με άλλα προηγούμενης ή επόμενης ημέρας αντίστοιχα εμφανίζοντας πολύ μεγάλες τιμές

συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Οι καταγραφές αυτές εξαιρούνται των δεδομένων. Από τις εναπομείναντες τιμές σημαίνονται ειδικά αυτές που καταγράφηκαν σε μέρες απεργιών και άλλων ημερών που τροποποιούν τον χρονικό προγραμματισμό των λεωφορείων, δίνονται από τον αρμόδιο φορέα και περιγράφονται σε επόμενο εδάφιο του κεφαλαίου. Κατά τις συνθήκες αυτές υπάρχουν επιπλέον καθυστερήσεις που επηρεάζουν τις αφίξεις των οχημάτων με κίνδυνο των συνωστισμό τους. Μετά από την διαλογή αυτή επιπλέον πεδία με αδικαιολόγητα μεγάλο χρονικό διαχωρισμό αποκλείστηκαν από τους πίνακες.

Μετά από συνεχόμενα στάδια λοιπόν, σχηματίζεται το ιστορικό κάθε γραμμής για την περίοδο που εξετάζεται. Με μικρές μεταξύ τους διαφοροποιήσεις, οι γραμμές έχουν το πρώτο τους δρομολόγιο γύρω στις 6 π.μ. και το τελευταίο γύρω στις 11 μ.μ. Εξαιρέση φυσικά αποτελούν οι 24ωρες γραμμές, οι νυχτερινές και οι γραμμές express. Βέβαια, στα πολύ πρωινά δρομολόγια η επιβατική κίνηση όπως και η κυκλοφοριακή είναι αισθητά χαμηλή και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων. Συγχρόνως, λόγω της έλλειψης ζήτησης ο σχεδιασμός των γραμμών προϋποθέτει λιγότερα δρομολόγια και συνεπώς μεγαλύτερο χρονικό διαχωρισμό αυτών. Σε συνθήκες έλλειψης καθυστερήσεων και μεγάλων τιμών χρονικής ακολουθίας η απόκλιση από το πρόγραμμα είναι σπάνια και τα φαινόμενα συνωστισμένων οχημάτων εκλείπουν. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε να συμπεριληφθούν στο μοντέλο δρομολόγια εντός μίας περιόδου της ημέρας που το φαινόμενο βρίσκεται σε έξαρση. Συνήθως αυτή είναι κατά την πρωινή και απογευματινή αιχμή όταν τόσο η ζήτηση για ιδιωτική όσο και για μαζική μεταφορά αυξάνονται απότομα.

Η επιλογή του χρονικού αυτού διαστήματος δεν είναι ξεκάθαρη και ποικίλει στη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν τις περιόδους αιχμής είναι για παράδειγμα: οι χρήσεις γης, το διαθέσιμο συγκοινωνιακό δίκτυο, οι όμορες περιοχές, τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού (ηλικία, απασχόληση, μέσο εισόδημα κ.ά.). Για τον λόγο αυτό αποφασίζεται να επιλεγούν ως διαστήματα αιχμής εκείνα τα οποία έχουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση φαινομένων συνωστισμού λεωφορείων. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως από το σύνολο των λεωφορειακών γραμμών της Αττικής για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα τα αντίστοιχα δεδομένα, επιλέχθηκαν εκείνες οι οποίες ήδη έφεραν το μεγαλύτερο ποσοστό συνωστισμού. Αυτό διότι η μικρή περιεκτικότητα των δεδομένων στο χαρακτηριστικό που μελετάται οδηγεί σε στατιστικά μη σημαντικά αποτελέσματα. Έτσι, λοιπόν από τις 4 γραμμές που επιλέγονται, δημιουργείται ένα μητρώο για το οποίο βρίσκεται η αναλογία φαινομένων συνωστισμού ανά ώρα της ημέρας.

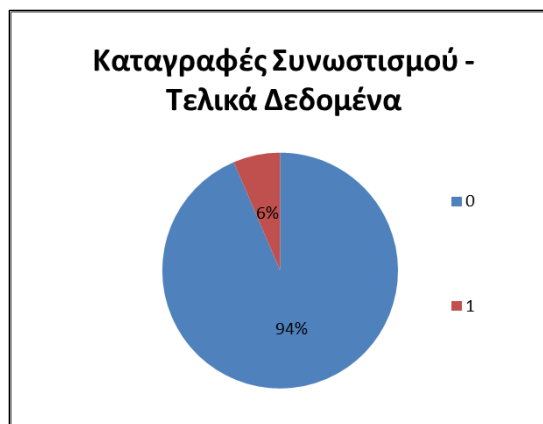
Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την παραπάνω θέση περί μείωσης του φαινομένου κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες. Μάλιστα, το ποσοστό αυτό φαίνεται να διπλασιάζεται μεταξύ 7 και 9 π.μ. και αντίστοιχα να υποδιπλασιάζεται από τις 4 ως τις 9 μ.μ.



Εικόνα 3.2: Ποσοστό γεγονότων συνωστισμού για τις 4 γραμμές

Τελικά, το διάστημα που επιλέγεται είναι ένα ενιαίο, εφόσον οι ενδιάμεσες ώρες είχαν εξίσου υψηλή συγκέντρωση γεγονότων συνωστισμού. Το διάστημα αυτό είναι 09:00 – 16:59.

Με αυτή τη διαλογή των δεδομένων η οποία είναι και η καθοριστική για την σύνθεση του μοντέλου, αυξάνεται συνολικά η αναλογία των καταγραφών για γεγονότα συνωστισμού με την τιμή 1. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως η αύξηση αυτή είναι της τάξης του 1%. Έχει μικρή συμβολή στην αύξηση στατιστικής σημαντικότητας, ωστόσο περιορίζει τον όγκο των δεδομένων κάνοντας ευκολότερη την διαχείρισή τους σε κατάλληλα λογισμικά.



Εικόνα 3.3: Αναλογία δεδομένων συνωστισμού

3.4. Λεωφορειακές γραμμές

Για τους σκοπούς της εργασίας αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν γραμμές με ορισμένα χαρακτηριστικά. Πρώτο από αυτά είναι η κυκλοφορία τους καθ' όλη την διάρκεια της μέρας για λόγους ζήτησης αλλά και της εβδομάδας ώστε να εκτιμηθεί εξίσου το σαββατοκύριακο ως παράγοντας που επηρεάζει τον συνωστισμό. Επόμενος στόχος είναι η εξυπηρέτηση του κέντρου της Αθήνας όπου και η ζήτηση, οι κυκλοφοριακές συνθήκες και άλλοι εξωγενείς παράγοντες επιφέρουν καθυστερήσεις. Συγχρόνως, η σύνδεση με πανεπιστήμια είναι επιθυμητή εφόσον πολλές γραμμές εξυπηρετούν τον σκοπό αυτό γεγονός που τις κάνει δημοφιλείς στο επιβατικό κοινό. Σε επόμενο στάδιο, επιλέγονται από τις διαθέσιμες, γραμμές με μεγάλα δρομολόγια τόσο για την μελέτη του φαινομένου στο χώρο όσο και για την αύξηση τω πιθανοτήτων για το σχηματισμό συνωστισμού.

Επιλέγονται, λοιπόν, τέσσερις γραμμές λεωφορείων που συγκεντρώνουν τα παραπάνω γνωρίσματα συλλέγοντας για κάθε μία από αυτές δεδομένα της περιόδου: Σεπτέμβριος ως Δεκέμβριος του 2017. Η μορφή και η επεξεργασία των στοιχείων αυτών αναλύθηκε σε πρότερα κεφάλαια. Οι γραμμές αναφέρονται με τον κωδικό αριθμό τους και είναι οι 608, 224, 040 και 550. Σε σχετικό χάρτη σημαίνονται οι περιοχές που εξυπηρετούν και δίνεται μία ευρύτερη άποψη της περιοχής μελέτης που ορίζουν αυτές.



Εικόνα 3.4. Τροχιές Λεωφορείων

3.4.1. 608 Νεκροταφείο Ζωγράφου – Ακαδημία – Γαλάτσι

Το 608 τελεί το δρομολόγιό του με την παρούσα μορφή από το 2000, ενώ πριν εξυπηρετούσε τη σύνδεση Ακαδημία – Γαλάτσι. Πλέον, ξεκινά από το άλσος Γαλατσίου και καταλήγει στην Πανεπιστημιούπολη του Ζωγράφου περνώντας μέσα από κεντρικούς δρόμους και κάνοντας στάσεις σε ορισμένα από τα πιο δημοφιλή σημεία της πόλης. Είναι η γραμμή με τη μεγαλύτερη επιβατική κίνηση με περίπου 50.000 καθημερινούς χρήστες, σύμφωνα με τον κ. Δ. Αποστολίδη, γενικό διευθυντή του Ο.Α.Σ.Α. Α.Ε. (2016).

Είναι το δρομολόγιο με τη μεγαλύτερη συχνότητα (χρονικός διαχωρισμός 5-6 λεπτά τις ώρες αιχμής) καθώς το χρησιμοποιούν πολλοί φοιτητές. Αυτός ήταν και ο λόγος για τον οποίο τα Σάββατα πήρε παράταση η λήξη των δρομολογίων του ως περίπου τις 2 π.μ. με τέρμα την Ακαδημία.

Εκτός από τους φοιτητές που αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό του εξυπηρετούμενου κοινού, σημαντικό ρόλο παίζει και ο λειτουργικός ρόλος του ίδιου του δρομολογίου. Συνδέει κεντρικές αρτηρίες, σημεία ενδιαφέροντος και τοπικά κέντρα, αυξάνοντας τους πιθανούς χρήστες και κάνοντας την γραμμή όχι μόνο ελκυστική αλλά και πολύ πρακτική. Μερικά χαρακτηριστικά σημεία είναι: η Λ. Βεΐκου στο Γαλάτσι, η πλατεία Αμερικής στην Κυψέλη, η Πατησίων, το Πολυτεχνείο, η πλατεία Κάνιγγος, διάφορα μουσεία (Βυζαντινό), ο Εθνικός Κήπος, το Χίλτον, η Λ. Παπάγου στο Ζωγράφου, η Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, θέατρα κ.ά.

Η γραμμή του 608 εξυπηρετεί δύο διαδρομές τις:

- 608 ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ – ΑΚΑΔΗΜΙΑ – ΓΑΛΑΤΣΙ, με αφετηρία τη στάση «ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ» και τέρμα την «ΓΑΛΑΤΣΙ», εξυπηρετώντας συνολικά 43 στάσεις. Στη διαδρομή αυτή πραγματοποιούνται τις καθημερινές 126 δρομολόγια, από τις 05:00 ως τις 23:00, με μέγιστη συχνότητα τα 6 λεπτά. Τα Σάββατα εκτελούνται 73 δρομολόγια, από τις 05:00 ως τις 23:40, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά και τέλος την Κυριακή 58 δρομολόγια, από τις 05:10 ως τις 23:05, με μέγιστη συχνότητα τα 15 λεπτά.

608: ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ - ΑΚΑΔΗΜΙΑ – ΓΑΛΑΤΣΙ	ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 10 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 9 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 8 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 7 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 6 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΤΣΙΤΟΥΡΑ, ΚΟΤΟΠΟΥΛΗ, 2 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΙΚΑ, ΑΛΕΞ, ΚΑΦΕΝΕΙΟ, ΙΛΙΣΙΑ, ΝΟΣΟΚ.ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ, ΡΗΓΙΛΛΗΣ, ΣΥΝΤΑΓΜΑ, ΑΚΑΔΗΜΙΑ, ΡΕΞ, ΠΛ.ΛΑΥΡΙΟΥ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΜΟΥΣΕΙΟ, ΟΤΕ ΠΕΔΙΟΥ ΑΡΕΩΣ, ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ, ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ, ΚΑΛΛΙΦΡΟΝΑ, ΛΥΣΙΑΤΡΕΙΟ, ΙΚΑ ΠΑΤΗΣΙΩΝ, ΚΟΛΙΑΤΣΟΥ, ΑΓ.ΛΟΥΚΑΣ, ΚΩΣΤΗ ΠΑΛΑΜΑ, ΧΑΤΖΗΔΑΚΗ, ΒΟΡΕΙΟΣ ΠΟΛΟΣ, ΛΙΝΑΡΑ, ΣΥΚΙΑ, ΠΑΛΑΙΟ ΤΕΡΜΑ, ΑΘ.ΔΙΑΚΟΥ, ΗΡΟΔΟΤΟΥ, ΦΑΡΩΝ, ΑΘΛΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ, ΑΛΣΟΣ, ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΕΙΟΥ, ΕΘΝ.ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ, ΓΑΛΑΤΣΙ
---	---

Πίνακας 3.1. Στάσεις 608 Διαδρομή 0

- 608 ΓΑΛΑΤΣΙ – ΑΚΑΔΗΜΙΑ – ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ, με αφετηρία τη στάση «ΓΑΛΑΤΣΙ» και τέρμα την «ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ», εξυπηρετώντας συνολικά 42 στάσεις. Στη διαδρομή αυτή πραγματοποιούνται τις καθημερινές 123 δρομολόγια, από τις 05:00 ως τις 23:05, με μέγιστη συχνότητα τα 6 λεπτά. Τα Σάββατα εκτελούνται 79 δρομολόγια, από τις 05:00 ως τις 23:00, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά και τέλος την Κυριακή 70 δρομολόγια, από τις 05:00 ως τις 23:05, με μέγιστη συχνότητα τα 15 λεπτά.

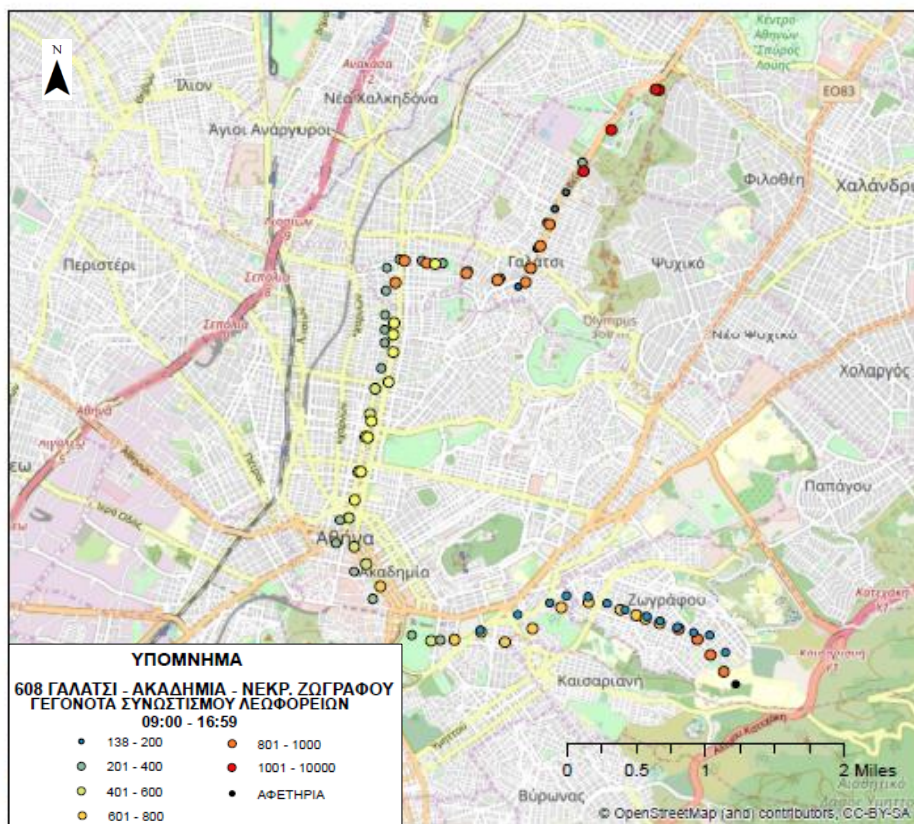
608: ΓΑΛΑΤΣΙ - ΑΚΑΔΗΜΙΑ - ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ	ΓΑΛΑΤΣΙ, ΑΓ.ΕΙΡΗΝΗ, ΧΡΙΣΤΙΑΝΟΥΠΟΛΕΩΣ, ΠΥΘΙΑΣ, ΕΣΠΕΡΙΔΩΝ, ΜΑΥΡΟΓΕΝΟΥΣ, ΠΑΛ.ΤΕΡΜΑ, ΣΥΚΙΑ, ΛΙΝΑΡΑ, ΒΟΡΕΙΟΣ ΠΟΛΟΣ, ΧΑΤΖΗΔΑΚΗ, ΚΩΣΤΗ ΠΑΛΑΜΑ, ΚΛΩΝΑΡΙΔΟΥ, ΑΓ.ΛΟΥΚΑΣ, ΠΛΑΤΕΙΑ ΚΟΛΙΑΤΣΟΥ, ΚΑΛΟΥΤΑ/ΑΝΝΑ-ΜΑΡΙΑ, ΛΥΣΣΙΑΤΡΕΙΟ, ΚΑΛΛΙΦΡΟΝΑ, ΠΛ.ΑΜΕΡΙΚΗΣ, ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ, ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ, ΟΤΕ ΠΕΔΙΟΥ ΑΡΕΩΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΠΛ.ΚΑΝΙΓΓΟΣ, ΖΩΟΔ.ΠΗΓΗΣ, ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ, ΚΗΠΟΣ, ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΜΟΥΣΕΙΟ-ΡΗΓΙΛΛΗΣ, ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ, ΧΙΛΤΟΝ, ΑΓ.ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΕΥΔΑΠ, ΙΚΑ, ΑΝΟΙΞΗ, ΚΟΤΟΠΟΥΛΗ, ΤΣΙΤΟΥΡΑ, 6 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 7 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 8 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 9 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 10 ^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ
---	--

Πίνακας 3.2. Στάσεις 608 Διαδρομή 1

Κάθε διαδρομή έχει συνολικό χρόνο διαδρομής περίπου 57 λεπτά. Παρακάτω φαίνονται οι στάσεις των δύο διαδρομών.

Με βάση τα παραπάνω και την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων γίνεται οπτικοποίηση του φαινομένου του Συνωστισμού για τη γραμμή 608. Για τις δύο διαδρομές σημαίνονται οι στάσεις και χαρακτηρίζονται με διαβάθμιση χρώματος δηλώνοντας τον αριθμό των γεγονότων Συνωστισμού για την περίοδο συλλογής των δεδομένων αλλά και εντός του 24ώρου όπως ορίστηκε στο στάδιο της επεξεργασίας. Τα όρια των κλάσεων τροποποιούνται ανάλογα των στοιχείων κάθε γραμμής.

Για την γραμμή 608 ο ελάχιστος αριθμός φαινομένων Συνωστισμού είναι 138 και ανήκει στη διαδρομή ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ – ΑΚΑΔΗΜΙΑ – ΓΑΛΑΤΣΙ και συγκεκριμένα τη στάση ΧΡΙΣΤΙΑΝΟΥΠΟΛΕΩΣ. Αντίθετα, ο μέγιστος αριθμός Γεγονότων Συνωστισμού είναι 1050, βρίσκεται επίσης στη διαδρομή ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ – ΑΚΑΔΗΜΙΑ – ΓΑΛΑΤΣΙ, στη στάση ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΟΥ. Η διαδρομή αυτή συγκεντρώνει το 56,4% των φαινομένων ενός συνόλου 45548 φαινομένων συνωστισμού της γραμμής του 608, ενώ η ΓΑΛΑΤΣΙ – ΑΚΑΔΗΜΙΑ – ΝΕΚΡ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ συγκεντρώνει το υπόλοιπο 43,5%.



Εικόνα 3.5. Γεγονότα Συνωστισμού της γραμμής 608

3.4.2. 224 Ελ. Βενιζέλου – Καισαριανή

Το 224 συνδέει την περιοχή του Πολυγώνου με την Καισαριανή διασχίζοντας το κέντρο της Αθήνας. Τόσο η αφετηρία όσο και το τέρμα αποτελούν συνοικίες με πυκνό πληθυσμό και λιγοστές λεωφορειακές γραμμές για αυτό και η συγκεκριμένη γραμμή αποκτά έντονο ενδιαφέρον. Στην επιλογή αυτή προστίθεται βέβαια και το γεγονός πως ανήκει στις γραμμές με τα περισσότερα γεγονότα συνωστισμού.

Η γραμμή λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια της εβδομάδας με μέγιστη συχνότητα τα δέκα λεπτά σε ώρες αιχμής. Η διαδρομή της γραμμής περιλαμβάνει σημαντικές τοποθεσίες όπως τα Δικαστήρια στην Ευελπίδων, τη ΓΥΣ, το Οικονομικό Πανεπιστήμιο (ΑΣΟΕ), μουσεία, το Πολυτεχνείο, τη Νομική Σχολή και την Ακαδημία, την Πλατεία Συντάγματος, νοσοκομεία, υψηλής κατηγορίας ξενοδοχεία κ.ά. Ακόμα, συνδέεται με γραμμές σταθερής τροχιάς (μετρό και ηλεκτρικό) κι εξυπηρετεί μεγάλο όγκο επιβατών από απομακρυσμένες συνοικίες του κέντρου να μεταβούν σε μεγάλους κόμβους.

Η γραμμή του 224 πραγματοποιεί δύο διαδρομές με συνολικό χρόνο διαδρομής περί τα 45 λεπτά:

- 224 ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ – ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ, με σημείο έναρξης τη στάση «ΤΕΡΜΑ ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ» και τέρμα την «ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ». Στη διαδρομή ανήκουν συνολικά 33 στάσεις. Δρομολόγια πραγματοποιούνται τις καθημερινές από τις 05:00 ως τις 23:40 και φτάνουν τα 80 σε αριθμό, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά. Τα Σάββατα εκτελούνται 58 δρομολόγια, από τις 05:00 ως τις 23:40, με μέγιστη συχνότητα τα 15 λεπτά και τέλος την Κυριακή 43 δρομολόγια, από τις 05:20 ως τις 23:40, με μέγιστη συχνότητα τα 20 λεπτά.

224: ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ - ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ	ΤΕΡΜΑ ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 5 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 4 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 3 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 2 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 1 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, ΠΑΛΑΙΟ ΤΕΡΜΑ, ΚΡΥΣΤΑΛ, ΔΙΚΑΣΤΗΡΙΑ, 2 ^η ΔΙΚΑΣΤΗΡΙΩΝ, Γ.Υ.Σ, ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ, ΟΤΕ ΠΕΔΙΟΥ ΑΡΕΩΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΠΛ.ΚΑΝΙΓΓΟΣ, ΖΩΟΔ.ΠΗΓΗΣ, ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ, ΣΥΝΤΑΓΜΑ, ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΜΟΥΣΕΙΟ-ΡΗΓΙΛΛΗΣ, ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ, ΚΑΡΑΒΕΛ, ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΔΗΜΑΡΧΕΙΟ, ΦΑΡΜΑΚΕΙΟ, ΠΑΝΑΓΙΤΣΑ, 8 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, 9 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, 10 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, 11 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, ΠΑΛ.ΤΕΡΜΑ, ΠΑΙΔΙΚΗ ΧΑΡΑ, ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ
--	--

Πίνακας 3.3. Στάσεις 224 Διαδρομή 1

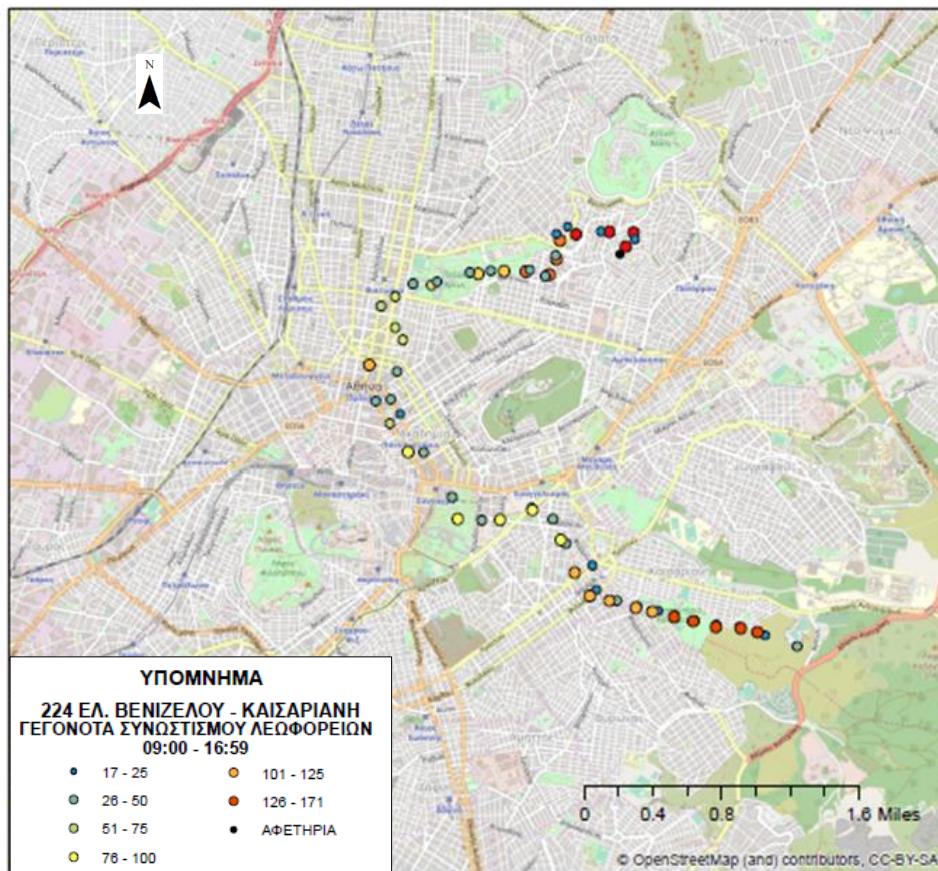
- 224 ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ – ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, με αφετηρία τη στάση «ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ» και τέρμα την «ΤΕΡΜΑ ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ», εξυπηρετώντας συνολικά 34 στάσεις. Στη διαδρομή αυτή πραγματοποιούνται τις καθημερινές 78 δρομολόγια, από τις 05:30 ως τις 00:15, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά. Τα Σάββατα πραγματοποιούνται 57 δρομολόγια, από τις 05:30 ως τις 00:15, με μέγιστη συχνότητα τα 15 λεπτά, ενώ την Κυριακή μόλις 48 δρομολόγια, από τις 05:55 ως τις 00:15, με μέγιστη συχνότητα τα 20 λεπτά.

224: ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ - ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, ΠΑΙΔΙΚΗ ΧΑΡΑ, ΠΑΛ.ΤΕΡΜΑ, 11 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, 10 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, 9 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, 8 ^η ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ, ΠΑΝΑΓΙΤΣΑ, ΦΑΡΜΑΚΕΙΟ, ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ, ΝΟΣΟΚ.ΣΥΓΓΡΟΥ, ΧΙΛΤΟΝ, ΝΟΣΟΚ.ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ, ΡΗΓΙΛΛΗΣ, ΚΑΝΑΡΗ, ΝΟΜΙΚΗ, ΖΩΟΔΟΧΟΣ ΠΗΓΗ, ΜΠΟΤΑΣΗ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΑΓ.ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΠΕΔΙΟΝ ΑΡΕΩΣ, ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΣ, Γ.Υ.Σ, ΔΙΚΑΣΤΗΡΙΑ, ΜΠΑΛΑ, ΚΡΥΣΤΑΛ, ΠΑΛΑΙΟ ΤΕΡΜΑ, 1 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 2 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 3 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 4 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, 5 ^η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, ΤΕΡΜΑ ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ
--	---

Πίνακας 3.4. Στάσεις 224 Διαδρομή 0

Ακολουθεί ο χάρτης με τα γεγονότα συνωστισμού της γραμμής 224 για το μελετώμενο διάστημα. Οι στάσεις σημαίνονται σύμφωνα με το υπόμνημα ενώ μέσω χρώματος φαίνεται η συχνότητα φαινομένων συνωστισμού.

Στην περίπτωση του 224 ο ελάχιστος αριθμός γεγονότων συνωστισμού είναι 17 και αφορά τη διαδρομή Ελ. Βενιζέλου – Καισαριανή και συγκεκριμένα τη στάση 4^η ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ. Αντίθετα, ο μέγιστος αριθμός γεγονότων συνωστισμού είναι 166 συμβάντα, βρίσκεται επίσης στη διαδρομή Ελ. Βενιζέλου – Καισαριανή και καταγράφεται στη στάση ΠΑΙΔΙΚΗ ΧΑΡΑ. Η διαδρομή αυτή περιλαμβάνει το 56,6% των φαινομένων συνωστισμού, ενός συνόλου 4150 φαινομένων που αφορούν τη γραμμή του 224, συγκριτικά με τη διαδρομή Καισαριανή – Ελ. Βενιζέλου που συγκεντρώνει το υπόλοιπο 43,3%.



Εικόνα 3.6. Γεγονότα Συνωστισμού της γραμμής 224

3.4.3. 040 ΣΥΝΤΑΓΜΑ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Η γραμμή 040 είναι μία από τις παλαιότερες λεωφορειακές γραμμές με αρχικό σκοπό την εξυπηρέτηση του εργατικού δυναμικού του Πειραιά. Αργότερα όμως αναδείχθηκε απαραίτητο για κάθε κατηγορίας χρήστη αφού η διαδρομή της στο σύνολο ενώνει δύο πολυσύχναστα κέντρα. Το χαρακτηριστικό αυτό και η μεγάλη διαδρομή του οδήγησαν στην μελέτη των δρομολογίων του. Ειδοποιός διαφορά σε σχέση με τις άλλες γραμμές είναι η εικοσιτετράωρη παρουσία του με νυχτερινά δρομολόγια καθημερινές και Σαββατοκύριακα.

Το 040 εξυπηρετεί καθημερινά μεγάλο όγκο επιβατών περνώντας από καίρια σημεία της πόλης. Μερικά μόνο από αυτά είναι: η Πλατεία Συντάγματος, οι Στήλες Ολυμπίου Διός και ο Εθνικός Κήπος, η Συγγρού Φιξ, η Πάντειος, η αγορά της Καλλιθέας και η Πλατεία Δαβάκη, το Σεφ στο Νέο Φάληρο, η Εστία Ναυτικών Δοκίμων, το Δημοτικό Θέατρο Πειραιά, το εμπορικό κέντρο του, κ.ά.

Η γραμμή του 040 εκτελεί δύο διαδρομές με συνολικό χρόνο έκαστη περί τα 37 λεπτά:

- 040 ΣΥΝΤΑΓΜΑ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ, τα δρομολόγια ξεκινάνε από την αφετηρία «ΣΥΝΤΑΓΜΑ» και τερματίζουν στην στάση «ΠΕΙΡΑΙΑΣ», εξυπηρετώντας 36 στάσεις. Στη διαδρομή αυτή πραγματοποιούνται τις καθημερινές 102 δρομολόγια καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά. Τα Σάββατα εκτελούνται 77 δρομολόγια, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά και τέλος την Κυριακή 60 δρομολόγια, με μέγιστη συχνότητα τα 20 λεπτά.

040: ΣΥΝΤΑΓΜΑ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ	ΣΥΝΤΑΓΜΑ, ΜΑΚΡΥΓΙΑΝΝΗ, ΣΤ.ΣΥΓΓΡΟΥ-ΦΙΞ, ΟΛΥΜΠΙΑΚΗ, ΓΕΦΥΡΑ, ΠΑΝΤΕΙΟΣ, ΑΓ.ΣΩΣΤΗΣ, 1 ^η ΧΑΡΟΚΟΠΟΥ, 2 ^η ΧΑΡΟΚΟΠΟΥ, ΧΑΡΟΚΟΠΟΥ, ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, ΠΛ.ΔΑΒΑΚΗ, ΣΚΡΑ, Κ.Ε.Α.Τ. ΠΡ.ΟΙΚΟΣ ΤΥΦΛΩΝ, ΑΓ.ΕΛΕΟΥΣΑ, ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ, ΙΖΟΛΑ, ΤΖΙΤΖΙΦΙΕΣ, ΜΑΡΚΟΜΙΧΕΛΑΚΕΙΟ, ΓΥΜΝΑΣΙΟ, ΣΚΑΙ, ΝΕΟ ΦΑΛΗΡΟ, ΗΣΑΠ Ν.ΦΑΛΗΡΟΥ, ΔΕΚΑΕΠΤΑ, ΕΣΤΙΑ, ΝΑΥΤΙΚΩΝ, ΚΑΛΑΜΑΚΙ, ΔΗΜΟΤΙΚΟ, ΠΛ.ΚΟΡΑΗ, ΤΕΡΨΙΘΕΑ, ΒΡΥΩΝΗ, ΓΟΥΒΑ, ΣΚΑΛΑΚΙΑ, ΛΟΥΤΡΑ, ΧΑΤΖΗΚΥΡΙΑΚΕΙΟ, ΖΩΟΔΟΧΟΣ ΠΗΓΗ, ΠΕΙΡΑΙΑΣ
---------------------------------	---

Πίνακας 3.5. Στάσεις 040 Διαδρομή 0

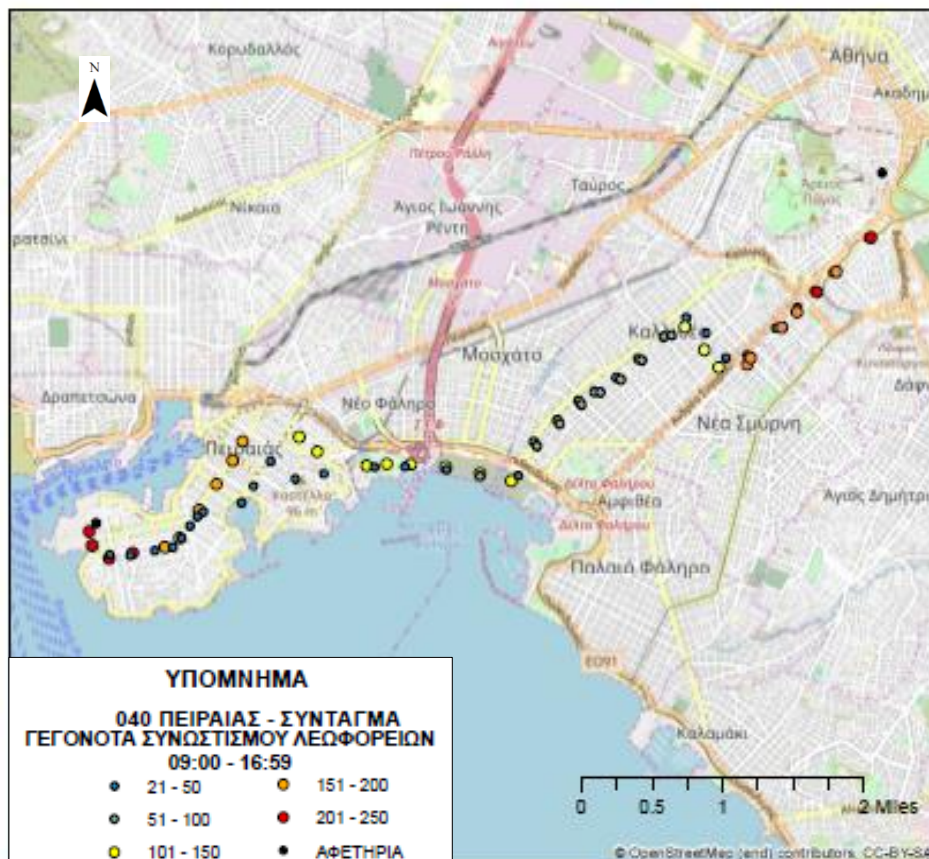
- 040 ΠΕΙΡΑΙΑΣ – ΣΥΝΤΑΓΜΑ, με αφετηρία τη στάση «ΠΕΙΡΑΙΑΣ» και τέρμα την στάση «ΣΥΝΤΑΓΜΑ», εξυπηρετώντας 37 στάσεις. Στη διαδρομή πραγματοποιούνται καθημερινά 102 δρομολόγια, με μέγιστη συχνότητα τα 9 λεπτά. Τα Σάββατα εκτελούνται 87 δρομολόγια, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά και τέλος την Κυριακή 60 δρομολόγια, με μέγιστη συχνότητα τα 20 λεπτά.

040: ΠΕΙΡΑΙΑΣ – ΣΥΝΤΑΓΜΑ	ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΚΛΕΙΣΟΒΗΣ, ΣΚΑΛΑΚΙΑ, ΓΟΥΒΑ, ΣΧΟΛΕΙΑ, ΒΡΥΩΝΗ, ΦΙΛΕΛΛΗΝΩΝ, ΣΚΟΥΖΕ, ΠΛ.ΤΕΡΨΙΘΕΑΣ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ, ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΤΡΙΑ, ΤΖΑΒΕΛΛΑ, 17 ^η ΣΤΑΣΗ, ΗΣΑΠ Ν.ΦΑΛΗΡΟΥ, ΑΚΤΑΙΟΝ, ΓΥΜΝΑΣΙΟ, ΜΑΡΚΟΜΙΧΕΛΑΚΕΙΟ, ΠΕΙΣΙΣΤΡΑΤΟΥ, ΙΖΟΛΑ, ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ, ΑΓΙΑ ΕΛΕΟΥΣΑ, Κ.Ε.Α.Τ. ΠΡ.ΟΙΚΟΣ ΤΥΦΛΩΝ, ΣΚΡΑ, ΠΛ.ΔΑΒΑΚΗ, ΑΓ.ΠΑΝΤΕΣ, ΑΓ.ΠΑΝΤΩΝ, 2 ^η ΑΓ.ΠΑΝΤΩΝ, 1 ^η ΧΑΡΟΚΟΠΟΥ, ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, ΑΓ.ΣΩΣΤΗΣ, ΠΑΝΤΕΙΟΣ, ΓΕΦΥΡΑ, ΟΛΥΜΠΙΑΚΗ, ΣΤ.ΣΥΓΓΡΟΥ-ΦΙΞ, ΜΑΚΡΥΓΙΑΝΝΗ, ΣΥΝΤΑΓΜΑ
---------------------------------	--

Πίνακας 3.6. Στάσεις 040 Διαδρομή 1

Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης των δύο διαδρομών αποδίδοντας τα φαινόμενα Συνωστισμού Λεωφορείων για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Για το 040 ο ελάχιστος αριθμός Γεγονότων Συνωστισμού είναι 15 και αφορά τη στάση ΚΛΕΙΣΟΒΗΣ της

διαδρομής ΣΥΝΤΑΓΜΑ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ. Αντίθετα, ο μέγιστος αριθμός φαινομένων Συνωστισμού είναι 228 συμβάντα στη στάση ΖΩΟΔΟΧΟΣ ΠΗΓΗ της διαδρομής ΠΕΙΡΑΙΑΣ – ΣΥΝΤΑΓΜΑ. Αυτή περιλαμβάνει το 43% των φαινομένων συνωστισμού, ενός συνόλου 6355 φαινομένων που βρέθηκαν στη γραμμή του 040, συγκριτικά με τη διαδρομή ΣΥΝΤΑΓΜΑ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ που συγκεντρώνει το υπόλοιπο 56,9%.



Εικόνα 3.7. Γεγονότα Συνωστισμού της γραμμής 040

3.4.4. 550 Κηφισιά – Π. Φάληρο

Η γραμμή 550 είναι από τις μεγαλύτερες της Αθήνας με πάνω από 50 στάσεις ανά διαδρομή. Συνδέει το προάστιο της Κηφισιάς με την παραλία και συγκεκριμένα το Παλαιό Φάληρο. Τόσο το ένα άκρο της διαδρομής όσο και το άλλο αποτελούν πολυσύχναστα κέντρα και η σύνδεσή τους ήταν αναγκαία γεγονός που επαληθεύεται καθημερινά από τον αριθμό των χρηστών. Η σύνδεση αυτή μάλιστα γίνεται μέσω του κέντρου της Αθήνας δίνοντας την ευκαιρία για πρόσβαση στο κέντρο. Παρ’ όλα τα θετικά η γραμμή αυτή εμφανίζει συχνά καθυστερήσεις ενώ γίνονται και αρκετές τροποποιήσεις δρομολογίων.

Η διαδρομή προσφέρεται για να γνωρίσει κανείς την πόλη περνώντας από: αρχαία μνημεία, το Εθνικό Μουσείο Σύγχρονης Τέχνης (ΕΜΣΤ), στη Συγγρού, την Αρδήττου, το Παναθηναϊκό στάδιο- Καλλιμάρμαρο, το Μέγαρο Μουσικής, τη συνοικία του Ψυχικού, κ.ά.

Η γραμμή του 550 εξυπηρετεί δύο διαδρομές με συνολικό χρόνο διαδρομής περί τα 57 λεπτά:

- 550 ΚΗΦΙΣΙΑ – Π. ΦΑΛΗΡΟ, με αφετηρία τη στάση «ΠΛΑΤΕΙΑ ΠΛΑΤΑΝΟΥ» και τέρμα την «Π. ΦΑΛΗΡΟ», εξυπηρετώντας συνολικά 55 στάσεις. Στη διαδρομή αυτή πραγματοποιούνται τις καθημερινές 72 δρομολόγια, από τις 05:15 ως τις 23:15, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά. Τα Σάββατα εκτελούνται 53 δρομολόγια, από τις 05:15 ως τις 23:45, με μέγιστη συχνότητα τα 15 λεπτά και τέλος την Κυριακή 39 δρομολόγια, από τις 05:15 ως τις 23:15, με μέγιστη συχνότητα τα 20 λεπτά.

550: ΚΗΦΙΣΙΑ – Π. ΦΑΛΗΡΟ	ΠΛΑΤΕΙΑ ΠΛΑΤΑΝΟΥ, ΖΗΡΙΝΕΙΟ, ΚΑΤ, ΣΧΟΛΕΙΑ, ΑΓΓΕΙΟΠΛΑΣΤΙΚΗ, ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕΛΙΣΣΙΩΝ, ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ, ΚΑΝΑΤΑΔΙΚΑ, ΗΒΗ, ΟΤΕ, ΒΛΑΣΤΟΥ, ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ, ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ, ΠΑΡΑΔΕΙΣΟΣ, ΕΚΘΕΣΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ, ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΣΤΑΔΙΟ, ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ, ΥΓΕΙΑ, ΠΕΡΙΠΤΕΡΟ, ΣΕΡΡΩΝ, ΚΟΛΛΕΓΙΟ, ΑΡΣΑΚΕΙΟ, 1 ^η ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ, ΦΑΡΟΣ, ΣΚΑΛΑΚΙΑ, ΝΤΑΛΙΑ, ΚΑΤΕΧΑΚΗ, ΓΗΡΟΚΟΜΕΙΟ, ΕΡΥΘΡΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ, ΖΕΡΒΑ, ΑΜΠΕΛΟΚΗΠΟΙ, ΠΛ.ΑΜΠΕΛΟΚΗΠΩΝ, ΙΠΠΟΚΡΑΤΕΙΟ, ΠΛ.ΜΑΒΙΛΗ, ΙΛΙΣΙΑ, ΠΙΝΑΚΟΘΗΚΗ, ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ, ΕΡΕΥΝΩΝ, ΣΤΑΔΙΟ, ΑΓΙΑ ΦΩΤΕΙΝΗ, ΧΑΤΖΗΧΡΗΣΤΟΥ, ΣΤ.ΣΥΓΓΡΟΥ-ΦΙΞ, ΟΛΥΜΠΙΑΚΗ, ΓΕΦΥΡΑ, ΠΑΝΤΕΙΟΣ, ΑΓ.ΣΩΣΤΗΣ, ΕΦΕΣΟΥ, ΚΥΑΝΟΥΣ ΣΤΑΥΡΟΣ, ΣΤΡΟΦΗ Ν.ΣΜΥΡΝΗΣ, ΣΚΡΑ, ΧΡΥΣΑΚΗ, ΙΝΤΕΡΑΜΕΡΙΚΑΝ, ΩΝΑΣΕΙΟ, ΦΟΡΟΣ, ΑΠΟΒΙΒΑΣΗ, Π. ΦΑΛΗΡΟ
---------------------------------	---

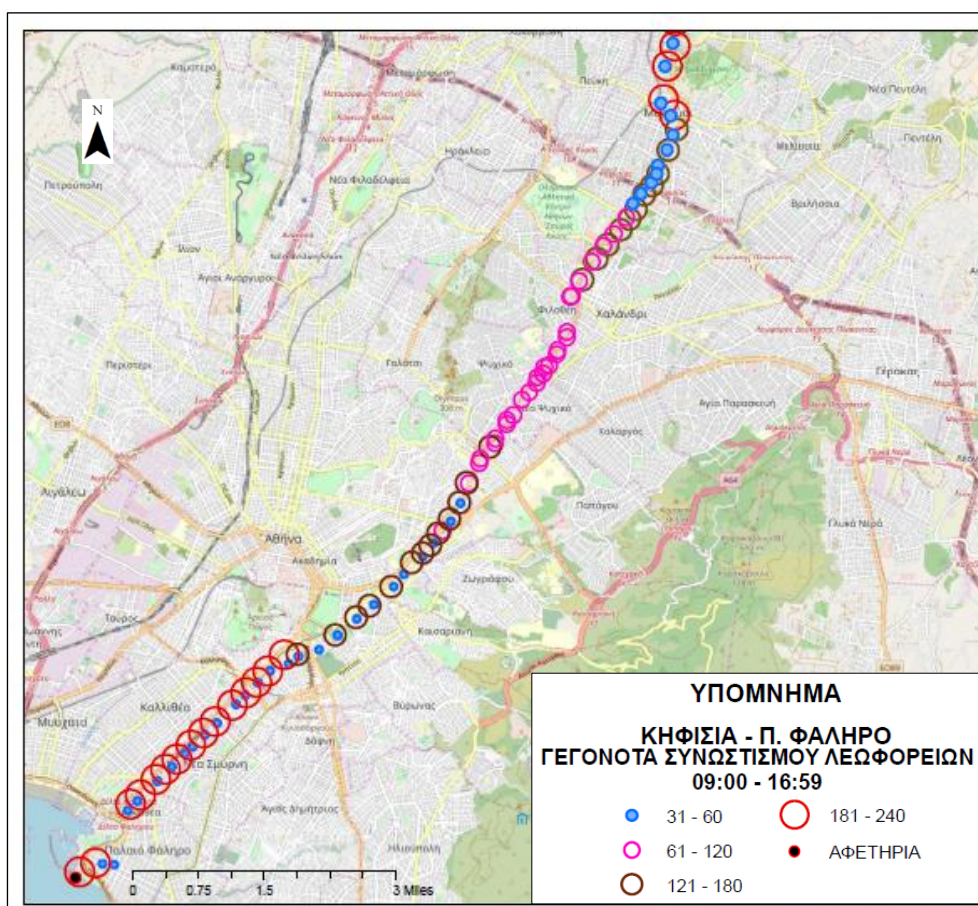
Πίνακας 3.7. Στάσεις 550 Διαδρομή 1

- 550 Π. ΦΑΛΗΡΟ - ΚΗΦΙΣΙΑ, με αφετηρία τη στάση «Π. ΦΑΛΗΡΟ» και τέρμα την «ΠΛΑΤΕΙΑ ΠΛΑΤΑΝΟΥ», εξυπηρετώντας συνολικά 55 στάσεις. Στη διαδρομή πραγματοποιούνται τις καθημερινές 76 δρομολόγια, από τις 05:15 ως τις 23:15, με μέγιστη συχνότητα τα 10 λεπτά. Τα Σάββατα εκτελούνται 53 δρομολόγια, από τις 05:15 ως τις 23:15, με μέγιστη συχνότητα τα 15 λεπτά και τέλος την Κυριακή 39 δρομολόγια, από τις 05:15 ως τις 23:15, με μέγιστη συχνότητα τα 25 λεπτά.

550: Π. ΦΑΛΗΡΟ - ΚΗΦΙΣΙΑ	Π. ΦΑΛΗΡΟ, ΦΟΡΟΣ, ΓΕΦΥΡΑ, ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ, ΩΝΑΣΕΙΟ, ΧΡΥΣΑΚΗ, ΣΚΡΑ, ΣΤΡΟΦΗ Ν.ΣΜΥΡΝΗΣ, ΚΥΑΝΟΥΣ ΣΤΑΥΡΟΣ, ΕΦΕΣΟΥ, ΑΓ.ΣΩΣΤΗΣ, ΠΑΝΤΕΙΟΣ, ΓΕΦΥΡΑ, ΟΛΥΜΠΙΑΚΗ, ΣΤ.ΣΥΓΓΡΟΥ-ΦΙΞ, ΑΓ.ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ, ΑΓ.ΦΩΤΕΙΝΗΣ, ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟ, ΣΤΑΔΙΟ, ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΟΘΗΚΗ, ΙΛΙΣΙΑ, ΝΟΣΟΚ.ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ, ΙΠΠΟΚΡΑΤΕΙΟ, ΑΘΗΝΑΙΟΝ, ΑΜΠΕΛΟΚΗΠΟΙ, ΖΕΡΒΑ, ΕΡΥΘΡΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ, ΓΗΡΟΚΟΜΕΙΟ, ΚΑΤΕΧΑΚΗ, ΣΚΑΛΑΚΙΑ, ΦΑΡΟΣ, ΠΑΡΙΤΣΗ, ΑΓ.ΒΑΡΒΑΡΑ, ΑΡΣΑΚΕΙΟ, ΑΒΑΝΑ, ΚΟΛΛΕΓΙΟ, ΣΕΡΡΩΝ, ΣΙΔΕΡΑ, ΥΓΕΙΑ, ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ, ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΣΤΑΔΙΟ, ΑΓΟΡΑ, ΠΑΡΑΔΕΙΣΟΣ, ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ, ΧΕΙΜΑΡΑΣ, ΟΤΕ, ΗΒΗ, ΚΑΝΑΤΑΔΙΚΑ, ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ, ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕΛΙΣΣΙΩΝ, ΑΓΓΕΙΟΠΛΑΣΤΙΚΗ, ΣΧΟΛΕΙΑ, ΚΑΤ, ΖΗΡΙΝΕΙΟ, ΠΛΑΤΕΙΑ ΠΛΑΤΑΝΟΥ
---------------------------------	--

Πίνακας 3.8. Στάσεις 550 Διαδρομή 0

Ακολουθεί χάρτης με τα Γεγονότα Συνωστισμού της γραμμής του 550 για τον μελετώμενο χρόνο. Οι στάσεις σημαίνονται έτσι ώστε να αποδίδεται η συχνότητα φαινομένων Συνωστισμού σύμφωνα με το υπόμνημα. Στην περίπτωση του 550 ο ελάχιστος αριθμός Γεγονότων Συνωστισμού είναι μόλις 4 παρατηρήσεις και ο αριθμός αυτός αφορά τη διαδρομή Π. ΦΑΛΗΡΟ – ΚΗΦΙΣΙΑ και συγκεκριμένα τη στάση ΩΝΑΣΕΙΟ. Αντίθετα, ο μέγιστος αριθμός Γεγονότων Συνωστισμού είναι 231 συμβάντα, βρίσκεται στην αντίρροπη διαδρομή ΚΗΦΙΣΙΑ – Π. ΦΑΛΗΡΟ και καταγράφεται επίσης στη στάση ΩΝΑΣΕΙΟ. Η διαδρομή αυτή περιλαμβάνει το 62,8% ενός συνόλου 10806 φαινομένων που αφορούν τη γραμμή του 550, συγκριτικά με τη διαδρομή Π. ΦΑΛΗΡΟ - ΚΗΦΙΣΙΑ που συγκεντρώνει το υπόλοιπο 37,1%.



Εικόνα 3.8. Γεγονότα Συνωστισμού της γραμμής 550

3.5. Ανεξάρτητες Μεταβλητές

Για να περιγραφεί το φαινόμενο του Συνωστισμού Λεωφορείων απαιτείται μία συλλογή παραγόντων που το περιγράφουν με τον πληρέστερο τρόπο. Οι παράγοντες αυτοί ονομάζονται περιγραφικές ή ανεξάρτητες μεταβλητές και ποικίλουν σε αριθμό και είδος. Στην συγκεκριμένη εργασία επιλέγονται παράγοντες που χαρακτηρίζουν την γραμμή αλλά και όσοι περιγράφουν τη στάση. Αργότερα με την εφαρμογή μαθηματικών εξισώσεων γίνεται μία διαλογή των μεταβλητών αυτών βάσει σημαντικότητας με σκοπό την εύρεση του «ορθότερου» μοντέλου. Παρακάτω συγκεντρώνονται οι περιγραφικές μεταβλητές που μελετήθηκαν στα πλαίσια προσδιορισμού του Συνωστισμού Λεωφορείων.

- Ημέρες απεργιών: παρουσιάζονται στα μητρώα ως «strike» και πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για ημέρα απεργίας των ΜΜΜ και 0 για τυπική ημέρα. Είναι γνωστό πως σε μέρες απεργιών των μέσων μεταφοράς υπάρχει έντονη κυκλοφοριακή επιβάρυνση και μεγάλες καθυστερήσεις. Οι αρρυθμίες αυτές γίνεται η υπόθεση ότι επηρεάζουν αντίστοιχα και τον χρονικό προγραμματισμό των λεωφορείων και πιθανώς οδηγούν στη δημιουργία συνωστισμού. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει το χρονικό πλαίσιο κάθε δρομολογίου (αφού η τιμή της μεταβάλλεται με την ημερομηνία).
- Σχολικές εορτές: παρουσιάζονται στα μητρώα ως «bday_sxo» και πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για ημέρα σχολικής αργίας και 0 για τυπική ημέρα. Γίνεται η υπόθεση πως σε μέρες σχολικών αργιών αλλάζει η δυναμική του επιβατικού φόρτου καθώς οι φοιτητές, από τις μεγαλύτερες κατηγορίες επιβατικού κοινού, είτε απουσιάζουν είτε επιλέγουν άλλες από τις γραμμές που χρησιμοποιούν καθημερινά για την πρόσβαση στα εκπαιδευτικά τους ιδρύματα. Η τάση αυτή ενδεχομένως επηρεάζει το χρονικό προγραμματισμό των λεωφορείων και ιδίως εκείνων που εξυπηρετούν εκπαιδευτικά ιδρύματα και πιθανώς οδηγούν στη δημιουργία συνωστισμού. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει το χρονικό πλαίσιο κάθε δρομολογίου (αφού η τιμή της μεταβάλλεται με την ημερομηνία).
- Εθνικές εορτές: παρουσιάζονται στα μητρώα ως «bday_eth» και πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για ημέρα εθνικής επετείου και 0 για τυπική ημέρα. Σε εθνικές επετείους μεταβάλλεται όχι μόνο το πρόγραμμα των συγκοινωνιών αλλά και των υπηρεσιών και καταστημάτων. Οι ανάγκες για μετακίνηση αλλάζουν εξ' ολοκλήρου και μάλιστα συχνά διακόπτεται και η πρόσβαση ορισμένες περιοχές (βλ. Πλατεία Συντάγματος). Οι μεταβολές που εφαρμόζονται είναι σε κλίμακα ικανή να επηρεάσει ακόμα και το πρόγραμμα γραμμών που εκτελούν κανονικά τα δρομολογία τους χωρίς περαιτέρω οδηγίες. Οι εξωτερικές συνθήκες ωστόσο ίσως συνεισφέρουν στο συνωστισμό λεωφορείων. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει το χρονικό πλαίσιο κάθε δρομολογίου (αφού η τιμή της μεταβάλλεται με την ημερομηνία).

- Ώρες αιχμής: παρουσιάζονται στα μητρώα ως «peakHH₁_HH_n» και αφορά ζώνες αιχμής από τις HH₁:00 έως τις HH_{n-1}:59. Πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για άφιξη σε στάση εντός του χρονικού διαστήματος που ορίζει η μεταβλητή και 0 για διαφορετική περίπτωση. Οι ώρες αιχμής διαφέρουν από πόλη σε πόλη και περιοχή σε περιοχή ανάλογα τις ανάγκες για μετακίνηση, τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού τοπικά κ.ά. Σε αυτές τις ζώνες του 24ώρου επικρατούν έντονες κυκλοφοριακές συνθήκες, συνωστισμός επιβατών και μεγάλες καθυστερήσεις. Οι αρρυθμίες αυτές γίνεται η υπόθεση ότι επηρεάζουν αντίστοιχα και τον χρονικό προγραμματισμό των λεωφορείων και πιθανώς οδηγούν στη δημιουργία συνωστισμού. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει το χρονικό πλαίσιο κάθε δρομολογίου (αφού η τιμή της μεταβάλλεται με την ημερομηνία και το χρόνο).
- Στάση μπροστά από φανάρι: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «sign_stop» και πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για στάση λεωφορείου σε απόσταση 30 μέτρων ή μικρότερη και 0 για κάθε άλλη περίπτωση. Κατά την στάση και εκκίνηση του λεωφορείου απαιτείται πρόσθετος χρόνος ο οποίος προσμετράται στο χρόνο εξυπηρέτησης στάσης. Με την ύπαρξη φωτεινού σηματοδότη σε απόσταση εντός των ορίων που αναφέρεται παραπάνω ο χρόνος αυτός αυξάνεται για κάθε κόκκινη ένδειξη. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.
- Αριθμός σηματοδοτούμενων κόμβων: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «intersection» και αφορά τον αριθμό των σηματοδοτούμενων κόμβων από την προηγούμενη στάση και είναι μία συνεχής μεταβλητή. Σε ένα γενικό κανόνα τα λεωφορεία λαμβάνουν προτεραιότητα στην κυκλοφορία επομένως οι κόμβοι χωρίς σηματοδότη θεωρείται πως δεν επιφέρουν καθοριστικά μεγάλες καθυστερήσεις. Αντίθετα, στους σηματοδοτούμενους κόμβους υπακούουν τόσο τα Ι.Χ. όσο και τα μέσα μεταφοράς συμβαδίζοντας με όποιες καθυστερήσεις αυτοί επιφέρουν. Κρίνεται απαραίτητο να διερευνηθεί κατά πόσο αυτού του είδους η καθυστέρηση συνεισφέρει στα φαινόμενα συνωστισμού. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τη στάση.
- Απόσταση από στάση: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «distance», αφορά την απόσταση από την προηγούμενη στάση και είναι μία συνεχής μεταβλητή. Με την αύξηση της απόστασης από προηγούμενη στάση το λεωφορείο δέχεται μεγαλύτερη έκθεση σε εξωγενείς παράγοντες και συνθήκες. Αυτό πιθανώς στην εξέλιξη του δρομολογίου να ενταθεί τόσο ώστε να δημιουργηθεί συστάδα λεωφορείων ή αντίθετα να αυξησει τον χρονικό διαχωρισμό διαδοχικών δρομολογίων. Η σχέση αυτή θα αποσαφηνιστεί από το μοντέλο. Η μεταβλητή αυτή χαρακτηρίζει τη στάση.
- Περιοχή μικρού δακτυλίου: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «small_ring» και πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για στάση λεωφορείου εντός του δακτυλίου και 0 για κάθε άλλη περίπτωση. Εντός της περιοχής του δακτυλίου εφαρμόζονται κυκλοφοριακές ρυθμίσεις τέτοιες ώστε να περιορίζεται ο αριθμός των οχημάτων αποσυμφωνώντας το κέντρο και διοχετεύοντας την κίνηση

περιφερειακά. Αναμένεται λοιπόν μία θετική εικόνα σε στάσεις εντός δακτυλίου και πιο επιβαρυμένη αμέσως έξω από αυτόν. Η σχέση της μεταβλητής με το φαινόμενο που μελετάται βρίσκεται μέσα από τα μαθηματικά μοντέλα. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.

- Ύπαρξη λεωφορειολωρίδας: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «bus_lane» και πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για στάσεις με λεωφορειολωρίδα στη διατομή της στάσης και 0 για κάθε άλλη περίπτωση. η ύπαρξη λεωφορειολωρίδας ευνοεί την κίνηση των γραμμών ωστόσο συχνά αυτές παραβιάζονται από Ι.Χ. Η τελική εκτίμηση για τη χρήση της προκύπτει από τα στατιστικά μοντέλα που ακολουθούν. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.
- Η εγγύτητα των στάσεων: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «closeness», ορίζει μία ακτίνα 180 μέτρων εντός της οποίας θεωρείται πως η εξυπηρέτηση της στάσης αλληλεπιδρά με την προηγούμενη και επόμενη. Πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για στάση εντός της ακτίνας που ορίστηκε και 0 για κάθε άλλη περίπτωση. η μελέτη αλληλεπίδρασης των στάσεων μπορεί να δώσει σημαντική ερμηνεία στη γένεση φαινομένων συνωστισμού. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.
- Η εγγύτητα της στάσης σε σηματοδοτούμενο κόμβο: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «mid_block», «far_side» ή «near_side» και είναι δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 για την ικανποίηση μίας εκ των παρακάτω συνθηκών και 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Οι τρεις αυτές κατηγορίες αφορούν απόσταση μεγαλύτερη ή ίση των 60 μέτρων από κόμβο, στάση μετά από κόμβο σε απόσταση μικρότερη των 60 μέτρων ή στάση πριν από κόμβο σε απόσταση μικρότερη ή ίση των 60 μέτρων, αντίστοιχα. Οι μεταβλητές αυτές σχετίζονται με τις καθυστερήσεις που επιφέρει ο σηματοδοτούμενος κόμβος και πως αυτές μεταβάλλονται με τη θέση της στάσης ως προς αυτόν. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.
- Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «num_lanes» και είναι συνεχής μεταβλητή περιγράφοντας πόσες λωρίδες κυκλοφορίας υπάρχουν στη διατομή της στάσης. Η ύπαρξη περισσότερων λωρίδων ευνοεί την κυκλοφορία των οχημάτων αλλά και την πραγματοποίηση ελιγμών για την αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας. Η σχέση με τα φαινόμενα του συνωστισμού ελέγχεται με τα στατιστικά μοντέλα. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.
- Δυνατότητα μετεπιβίβασης: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «transit» και είναι δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 σε περίπτωση ύπαρξης στάσης μέσου σταθερής τροχιάς σε απόσταση ενός οικοδομικού τετραγώνου και 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. η δυνατότητα μετεπιβίβασης είναι από τους σημαντικότερους λόγους για τη χρήση συγκεκριμένων γραμμών. Η σύνδεσή τους με μέσα σταθερής τροχιάς αυξάνει τον καθημερινό αριθμό χρηστών και επομένως και τις όποιες καθυστερήσεις. Το μέγεθος της συνεισφοράς του παράγοντα αυτού στο Συνωστισμό Λεωφορείων φαίνεται από την εφαρμογή μοντέλων. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.

- Αριθμός γραμμών στάσης: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «routes» και είναι συνεχής μεταβλητή περιγράφοντας πόσες γραμμές συνολικά εξυπηρετούνται από την ίδια στάση. Η αλληλοεπικάλυψη των δρομολογίων από διαφορετικές γραμμές έχει διπτά αποτελέσματα καθώς από τη μία πλευρά μειώνονται οι χρήστες σε κάθε αφού μοιράζονται στις γραμμές με επικάλυψη, ωστόσο από την άλλη, υπάρχουν καθυστερήσεις κατά την ταυτόχρονη άφιξη δρομολογίων διαφορετικών γραμμών. Η σχέση με τα φαινόμενα του συνωστισμού ελέγχεται με τα στατιστικά μοντέλα. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τα χαρακτηριστικά της στάσης.
- Γραμμές λεωφορείων: παρουσιάζονται στα μητρώα με τον αριθμό της γραμμής και την ένδειξη 0 ή 1 ανάλογα τη διαδρομή που σημαίνουν (βλ. 550_0 και 550_1). Είναι δυαδικές μεταβλητές με την τιμή 1 σε περίπτωση που η παρατήρηση ανήκει στη διαδρομή αυτή και 0 σε αντίθετη περίπτωση. Οι μεταβλητές αυτές συνεισφέρουν σε διαδρομές με περισσότερες παρατηρήσεις συνωστισμού και αντίστροφα δίνουν πληροφορίες για το ποιες διαδρομές είναι πιο επιβαρυμένες. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει το δρομολόγιο.
- Σύνδεση με Πανεπιστήμιο: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «univ» και πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με την τιμή 1 σε περίπτωση που η στάση εξυπηρετεί κάποιο εκπαιδευτικό ίδρυμα και 0 σε αντίθετη περίπτωση. Οι στάσεις αυτές έλκουν συγκεκριμένο επιβατικό κοινό (φοιτητές – εργαζόμενους) και μπορούν να δικαιολογήσουν σημαντικές καθυστερήσεις. Η μεταβλητή αυτή περιγράφει τη στάση.
- Συχνότητα: παρουσιάζεται στα μητρώα ως «freq» και αφορά την προγραμματισμένη συχνότητα των δρομολογίων. Η συχνότητα αυτή μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και από καθημερινή σε σαββατοκύριακα και έχει άμεση σχέση με τη δημιουργία συνωστισμένων λεωφορείων αφού ορίζει τον αρχικό χρονικό διαχωρισμό χωρίς εξωγενείς καθυστερήσεις. Χρειάζεται λοιπόν να ελεγχθεί πώς διαμορφώνονται οι συνθήκες του συνωστισμού με την μεταβολή της συχνότητας δρομολογίων. Είναι μία μεταβλητή που περιγράφει το δρομολόγιο.
- Μεταβλητές στάσεων: παρουσιάζονται στα μητρώα με το όνομα της στάσης και είναι δυαδικές μεταβλητές με τιμή 1 αν η παρατήρηση αφορά τη στάση αυτή και 0 διαφορετικά. Επιλέγεται στα τελικά μητρώα να εισαχθούν στάσεις με μεγάλο αριθμό φαινομένων συνωστισμού.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Με τον εντοπισμό ενός προβλήματος αμέσως προκύπτουν πιθανοί παράγοντες που σχετίζονται με αυτό και το περιγράφουν. Έχοντας ολοκληρώσει αυτό το στάδιο σε πρότερο κεφάλαιο, αυτό που υπολείπεται είναι η ανάπτυξη των λογικών σχέσεων που συνδέει τις ποσότητες αυτές μεταξύ τους. Σε άλλα λόγια η δημιουργία μαθηματικών εξισώσεων που δίνουν την ποσοτική σχέση των δεδομένων, ή αλλιώς η ανάπτυξη ενός μοντέλου. Τον ρόλο αυτό, έχει η τεχνική της Παλινδρόμησης, μία αξιόπιστη μέθοδος για την ταυτοποίηση των παραγόντων που περιγράφουν το αντικείμενο της μελέτης.

Ωστόσο, η δημιουργία μοντέλων είναι μία αρκετά σύνθετη διαδικασία η οποία μπορεί να επαναλαμβάνεται επ' αόριστον. Η δημιουργία ενός περιγραφικού μοντέλου δεν είναι παρά μία από τις πολλές εκδοχές του, βελτιωμένη ως προς κάποια άλλη και συγχρόνως χειρότερη μίας καλύτερης. Τελικά, δεν υπάρχει βέλτιστο μοντέλο αλλά αρκετά καλό. Αρκεί να σκεφτεί κανείς πως περιγράφοντας ένα φαινόμενο με n πιθανούς παράγοντες που συνεισφέρουν σε αυτό υπάρχουν συνολικά $n^2 - 1$ μοντέλα για να το ερμηνεύσουν.

Η Ανάλυση της Παλινδρόμησης (Regression Analysis) είναι ένα στατιστικό εργαλείο μοντελοποίησης που ερευνά τη συσχέτιση του μελετώμενου παράγοντα (εξαρτημένη μεταβλητή) και των πιθανών περιγραφικών παραγόντων (ανεξάρτητες μεταβλητές) που επιλέγονται. Συγχρόνως αποδίδει την σημαντικότητα της σχέσης ανεξάρτητης – εξαρτημένης, την συνολική ισχύ των μεταβλητών στην περιγραφή του μελετώμενου παράγοντα αλλά και την μεταξύ τους συσχέτιση. Υπάρχουν πολλά είδη Ανάλυσης Παλινδρόμησης καθένα από τα οποία ενδείκνυται για την εφαρμογή σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων (αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών, φύση εξαρτημένης μεταβλητής και είδος γραμμής παλινδρόμησης). Πιο γνωστές των μεθόδων είναι η Γραμμική Παλινδρόμηση και η Λογιστική Παλινδρόμηση με την ειδοποιό διαφορά τους ως προς το είδος της εξαρτημένης μεταβλητής. Η υπολογιστική διαδικασία της Παλινδρόμησης είναι πολύπλοκη και στην πράξη είναι εφικτή με την χρήση κατάλληλων προγραμμάτων (python, R, SPSS, κ.ά.)

4.1. Λογιστική παλινδρόμηση

Τα μοντέλα Λογιστικής Παλινδρόμησης συσχετίζουν την εξαρτημένη διακριτή μεταβλητή με τις ανεξάρτητες συνεχείς ή διακριτές μεταβλητές. Στην περίπτωση αυτή η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνήθως ποιοτική και θα χρειαστεί να μεταφραστεί είτε σε περισσότερες των δύο κατηγοριών είτε σε δυαδική μεταβλητή. Η Λογιστική Παλινδρόμηση ή Logistic Regression (LoR) είναι ουσιαστικά μια γενίκευση της Γραμμικής Παλινδρόμησης (LR) και είναι αρκετά διαδεδομένη εφόσον ξεπερνά ορισμένους περιορισμούς που θέτει η τελευταία και η Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων (OLS). Μερικοί από τους σημαντικότερους είναι η αναγκαιότητα ύπαρξης γραμμικής σχέσης μεταξύ εξαρτημένης

και ανεξάρτητης μεταβλητής όπως και η κανονική κατανομή της εξαρτημένης. Η λογιστική εξίσωση που περιγράφει μία τέτοιου είδους σχέση είναι:

$$g(p) = \log\left(\frac{P(y)}{1-P(y)}\right) \quad (4.1)$$

όπου, p η πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος.

Πολλές φορές, μοντέλα αυτής της κατηγορίας περιγράφουν δύο μόνο εναλλακτικές, γεγονότα. Αυτή η ιδιαιτερότητα οδηγεί στην εφαρμογή μίας πιο ειδικής LoR, γνωστή ως Δυαδική Λογιστική Παλινδρόμηση ή Binary Logistic Regression. Τότε, οι εξαρτημένες μεταβλητές τους καλούνται διακριτές ή ποιοτικές. Αντίθετα οι ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται μπορούν να είναι συνεχείς ή διακριτές ή ακόμα και συνδυασμός αυτών, ο οποίος και προτείνεται. Η εξαρτημένη μεταβλητή παίρνει την τιμή 1 για την ύπαρξη ή «επιτυχία» του χαρακτηριστικού (εδώ: δέσμη λεωφορείων) και την τιμή 0 για «απουσία» του χαρακτηριστικού αυτού από τις παρατηρήσεις. Η μέση τιμή των δυαδικών παρατηρήσεων θα είναι το ποσοστό των παρατηρήσεων που έλαβαν την τιμή 1. Με άλλα λόγια η πιθανότητα P , να εμφανιστεί στις παρατηρήσεις η τιμή 1 ή γεγονός συνωστισμού. Αντίστοιχα, η διακύμανση θα είναι $P * (1 - P)$.

Η ανάπτυξη της σχέσης (4.1) :

Η LoR με τη βοήθεια των αλγορίθμων και των συναρτήσεων πιθανοτήτων γραμμικοποιεί τις μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ των ανεξάρτητων παραγόντων X και της πιθανότητας εμφάνισης του εξαρτημένου Y . Έτσι, ορίζεται ως $P(y)$ η πιθανότητα εμφάνισης συνωστισμού λεωφορείων ($y=1$), ως το πηλίκο των παρατηρήσεων με τιμή 1 προς το σύνολο των παρατηρήσεων.

$$P(y) = \frac{y1}{y1+y0} \quad (4.2)$$

Φυσικά το $P(y)$ θα ανήκει στο διάστημα $[0,1]$. Με σκοπό λοιπόν να αφαιρεθεί το πάνω όριο ορίζεται ένα νέο μέγεθος ως πηλίκο των παρατηρήσεων επιτυχίας του συμβάντος ($y=1$) προς τις παρατηρήσεις απουσίας του συμβάντος ($y=0$).

$$O(y) = \frac{y1}{y0} \quad (4.3)$$

Σύμφωνα με την (4.2) η (4.3) θα μπορούσε να γραφτεί και ως :

$$O(y) = \frac{P(y)}{1-P(y)} \quad (4.4)$$

Στο σημείο αυτό η μετατροπή της αρχικής πιθανότητας έχει ξεπεράσει το πάνω όριο ωστόσο δεν μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές. Διατηρεί έτσι το κατώτατο όριό της. Εφαρμόζοντας τον φυσικό λογάριθμο στην (4.4) αίρεται και ο τελευταίος περιορισμός. Για μία θετική τιμή μικρότερη της μονάδας το αποτέλεσμα είναι αρνητικός αριθμός.

Για $O(y)$ ίσο με 1 το αποτέλεσμα είναι 0 ενώ για τιμή μεγαλύτερη της μονάδας το αποτέλεσμα είναι θετικός αριθμός. Δημιουργείται έτσι μία συνεχής συνάρτηση με πεδίο τιμών $\pm\infty$, μάλιστα συμμετρική ως προς το 0.

P	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
1-P	.9	.8	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1
Odds	.111	.250	.429	.667	1	1.500	2.333	4	9
Ln odds	-2.198	-1.386	-.846	-.405	0	.405	.847	1.386	2.197

Εικόνα 4.1. Κατασκευή εξίσωσης Παλινδρόμησης

Η μορφοποίηση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα η μεταβολή μίας μονάδας σε κάποια από τις ανεξάρτητες μεταβλητές X να επιφέρει μικρές αλλαγές στο αποτέλεσμα Y , σχηματίζοντας τελικά καμπύλη τύπου s .

Η γραμμικοποιημένη πλέον εξίσωση που συνδέει τις μεταβλητές θα είναι:

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_n * X_n \quad (4.5)$$

Η διαφορά ως προς λοιπές εξισώσεις παλινδρόμησης είναι στην απουσία του παράγοντα ε του σφάλματος (θόρυβος). Σε αυτή την περίπτωση και εφόσον γίνεται λόγος για ένα μοντέλο πιθανότητας ο παράγοντας αυτός υπάρχει ήδη μέσα στην ίδια την εξίσωση και την πιθανότητα να συμβεί ή όχι το γεγονός.

Τέλος, γράφοντας την (4.5) σαν εξίσωση πιθανότητας, αυτή θα ήταν:

$$\frac{P_i}{1-P_i} = e^{b_0} * e^{b_1 X_1} * e^{b_2 X_2} * \dots * e^{b_n X_n} \quad (4.6)$$

Σε κάθε μία από τις εξισώσεις (4.5) και (4.6) απώτερος σκοπός είναι ο προσδιορισμός των b_i παραμέτρων p – διάστασης. Οι παράμετροι αυτοί ονομάζονται και μερικοί συντελεστές ή αποτελέσματα της παλινδρόμησης και αξιολογείται τόσο το μέγεθός τους όσο και το πρόσημό τους, για την ερμηνεία της εξαρτημένης μεταβλητής Y . Αποτελούν μία μέτρηση της σχέσης της ανεξάρτητης μεταβλητής X_i και της εξαρτημένης Y , όταν οι υπόλοιπες μεταβλητές X_{i-1} σταθεροποιούνται.

4.2. Μοντέλο Λογιστικής Παλινδρόμησης Συνωστισμού Λεωφορείων με χρήση της Python

Για τον προσδιορισμό των ζητούμενων εξισώσεων χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον SPYDER και ο κώδικας της Python. Μέσα από έτοιμες βιβλιοθήκες πραγματοποιήθηκε η υπολογιστική διεργασία η οποία βασίστηκε στο κατάλληλα διαμορφωμένο σετ δεδομένων.

Το μητρώο αυτό εξασφαλίζει απαραίτητες συνθήκες της μεθόδου, με σημαντικότερη το ίδιο το μέγεθός του. Λόγω του μοντέλου πιθανοτήτων που χρησιμοποιείται, για την εξαγωγή στατιστικά ασφαλούς συμπεράσματος το δείγμα των παρατηρήσεων πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερο συγκριτικά με τις απαιτήσεις της Απλής Γραμμικής Παλινδρόμησης. Ακόμα ένας λόγος που υποδεικνύει μεγαλύτερο δείγμα παρατηρήσεων είναι ότι οι ονομαστικές ή δυαδικές εξαρτημένες μεταβλητές έχουν πολύ μικρότερη διακύμανση από τις αριθμητικές. Επίσης, οι ποιοτικές ανεξάρτητες μεταβλητές που εισάγονται στο μοντέλο πρέπει να επιλεγούν προσεκτικά λόγω της ευαισθησίας του. Συχνά επιλέγονται μεταβλητές που κατηγοριοποιούν κάποιο χαρακτηριστικό. Στην περίπτωση αυτή ορίζεται μία «βάση» που επιτρέπει την εισαγωγή των υπόλοιπων κατηγοριών. Στην μελέτη αυτό εφαρμόσθηκε για την μεταβλητή της θέσης της στάσης ως προς σηματοδοτούμενο κόμβο αλλά και σε άλλες κατηγορίες μεταβλητών (διαδρομή κ.ά.).

Αυτό αφορά ένα καθολικό μητρώο με:

- Το σύνολο των παρατηρήσεων (1145733 πεδία) που σημαίνουν την άφιξη λεωφορείου σε στάση σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή (γραμμές του μητρώου).
- Την εξαρτημένη μεταβλητή Y ως τα γεγονότα Συνωστισμού που λαμβάνουν τιμή 1 για την επίτευξη του συμβάντος και 0 για την απουσία του (στήλη του μητρώου).
- Τις ανεξάρτητες μεταβλητές X_i , χαρακτηριστικά στάσης, διαδρομής, χρονικής περιόδου (στήλες μητρώου).

Πριν την εφαρμογή της Παλινδρόμησης χρειάζεται να εξασφαλισθούν κάποιες συνθήκες που εξασφαλίζουν την ορθότητα της διαδικασίας.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως η επιλογή του τελικού μοντέλου προκύπτει μετά από πολλές δοκιμές και επαναλήψεις. Είναι γνωστό πως με την αύξηση των ανεξάρτητων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση παλινδρόμησης βελτιώνεται η προσαρμογή της εξίσωσης στα δεδομένα ωστόσο αυτές πρέπει να συνδυάζονται λογικά και να πληρούν κριτήρια στατιστικής σημαντικότητας.

Από το ευρύτερο σύνολο δεδομένων που αναφέρεται σε σχετικό κεφάλαιο, στο τελικό μοντέλο συμμετείχαν 56 ανεξάρτητες μεταβλητές. Για λόγους οικονομίας θα αναφερθούν στο σημείο αυτό σαν ομάδες μεταβλητών ως εξής:

- Μεταβλητές που αφορούν σε χαρακτηριστικά στάσης: ύπαρξη φωτεινού σηματοδότη σε στάση, περιοχή δακτυλίου, ύπαρξη λεωφορειολωρίδας, εγγύτητα σε κόμβο, σύνδεση με μέσο σταθερής τροχιάς, αριθμός λωρίδων στη διατομή της οδού, αριθμός γραμμών που εξυπηρετεί η στάση.
- Μεταβλητές που περιγράφουν την έννοια του χρόνου: απεργίες MMM, σχολικές αργίες, εθνικές εορτές, ώρες αιχμής (πρωινή, μεσημεριανή, απογευματινή), συχνότητα δρομολογίου.

- Μεταβλητές που αφορούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της γραμμής: διαδρομές των γραμμών με μεγαλύτερη συχνότητα Συνωστισμού, στάσεις των γραμμών με αυξημένο αριθμό γεγονότων Συνωστισμού.

4.2.1. Αποτελέσματα λογιστικού μοντέλου

Από την εφαρμογή της διαδικασίας στο λογισμικό προκύπτει η αναφορά με όλα τα στατιστικά μεγέθη και τους ζητούμενους παράγοντες b_i . Καθένα από τα παρακάτω μεγέθη είναι μονοσήμαντα ορισμένο και αναφέρεται σε ένα καθολικό μοντέλο που καλύπτει το σύνολο των παρατηρήσεων.

Η αναφορά του Μοντέλου Λογιστικής Παλινδρόμησης στην Python έχει δύο μέρη. Το πρώτο μέρος περιγράφει το μητρώο δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε καθώς επίσης και τα στατιστικά μεγέθη που αφορούν την απόδοση του και την προσαρμογή στα δεδομένα. Το πρώτο μέρος της αναφοράς φαίνεται παρακάτω:

```

Optimization terminated successfully.
Current function value: 0.214925
Iterations 9

Results: Logit
=====
Model:          Logit          No. Iterations:  9.0000
Dependent Variable: bb3          Pseudo R-squared: 0.100
Date:           2019-01-09 22:15 AIC:           492607.8193
No. Observations: 1145733       BIC:           493289.0579
Df Model:       56              Log-Likelihood: -2.4625e+05
Df Residuals:   1145676         LL-Null:       -2.7369e+05
Converged:      1.0000         Scale:         1.0000
=====
    
```

Εικόνα 4.2. Στατιστικά μοντέλου παλινδρόμησης – Περιβάλλον Spyder

Αναφέρονται κατά σειρά:

- Το είδος του μοντέλου.
- Η εξαρτημένη μεταβλητή (δυναμική).
- Η ημερομηνία και ώρα περάτωσης.
- Ο αριθμός παρατηρήσεων.
- Ο αριθμός των εξαρτημένων μεταβλητών (δεν υπολογίζεται ο σταθερός όρος).
- Οι βαθμοί ελευθερίας ως διαφορά του συνόλου των μεταβλητών από τον αριθμό των παρατηρήσεων.
- Η σύγκλιση της τιμής κάθε λύσης. Με τις επαναλήψεις κατά τη μαθηματική επίλυση οι αντίστοιχες τιμές της διαμορφώνουν μία ακολουθία. Η σύγκλιση της ακολουθίας αυτής σημαίνει και το τέλος της επίλυσης.

- Ο αριθμός επαναλήψεων της μαθηματικής επίλυσης.
- Ο συντελεστής Mc. Fadden's ως ένδειξη της ποιότητας της πρόβλεψης της εξαρτημένης μεταβλητής και της ερμηνείας των δεδομένων από το μοντέλο.
- Το κριτήριο Akaike ρυθμίζει την πιθανότητα καταγραφής βάσει του αριθμού των παρατηρήσεων και της πολυπλοκότητας του μοντέλου.
- Το κριτήριο Bayesian ενώ μοιάζει με το AIC, έχει μεγαλύτερες ποινές για μοντέλα με περισσότερες παραμέτρους.
- Η καταγραφή της πιθανής συνάρτησης.

Με την εφαρμογή των στατιστικών μοντέλων προκύπτει συχνά το ερώτημα «Πόσο καλά προσαρμόζεται το μοντέλο στο συγκεκριμένο σετ δεδομένων;» και αν «Υπάρχει στο μοντέλο περισσότερη πολυπλοκότητα στις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών;». Για να απαντηθούν τα ρωτήματα αυτά υπολογίζονται δείκτες ερμηνεύοντας την προσαρμογή τους αλλά και την πιθανότητα σωστής πρόβλεψης μέσω των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Η LoR χρησιμοποιεί την συνάρτηση μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood function), εκτιμώντας τις τιμές των παραμέτρων που μεγιστοποιούν την πιθανότητα εμφάνισης, στο δείγμα των δεδομένων. Έτσι, υπολογίζεται η σχέση:

$$R^2_{McF} = 1 - \frac{\ln(Lm)}{\ln(L0)} \quad (4.7)$$

Όπου:

το Lm είναι η μέγιστη πιθανότητα για το τελικό μοντέλο,

το L0 η μέγιστη πιθανότητα του μοντέλου χωρίς τις ανεξάρτητες μεταβλητές του αλλά μόνο με τον σταθερό όρο. Παίζει το ρόλο του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών (residuals sum of squares) στην LR, γι' αυτό και αντιστοιχεί στη μερική μείωση της μεταβλητότητας του σφάλματος.

Οι μεγάλες τιμές του μεγέθους R^2 , χαρακτηριστικό μέγεθος της LR, δεν πρέπει να συγκρίνονται με τον δείκτη Pseudo – R^2 κυρίως διότι υπολογίζονται από διαφορετικές εξισώσεις με τον πρώτο να περιέχει την κλασσική μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και τον δεύτερο τη συνάρτηση μέγιστης πιθανοφάνειας. Έτσι, ενώ μαθηματικά υφίστανται απόλυτες πιθανότητες ίσες με 0 ή 1, εν τούτοις στην πραγματικότητα δεν βρίσκονται τόσο ισχυροί παράγοντες που να προβλέπουν απόλυτα ένα γεγονός. Αυτός είναι και ο λόγος για τις χαμηλές τιμές του Pseudo – R^2 .

Εκτός όμως από το πρώτο μέρος της αναφοράς της Παλινδρόμησης, υπάρχει και ένα δεύτερο που εστιάζει στις μεταβλητές και τη συνεισφορά τους. Η συνέχεια της αναφοράς στις παρακάτω εικόνες:

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
const	-2.1951	0.0418	-52.5432	0.0000	-2.2770	-2.1133
strike	0.5528	0.0204	27.0617	0.0000	0.5127	0.5928
bday_sxo	-0.1162	0.0235	-4.9382	0.0000	-0.1623	-0.0701
bday_eth	-1.9822	0.0791	-25.0664	0.0000	-2.1372	-1.8272
peak9_10	0.1580	0.0116	13.6241	0.0000	0.1353	0.1807
peak13_14	0.1696	0.0114	14.8508	0.0000	0.1472	0.1920
peak15_16	0.3272	0.0113	28.9482	0.0000	0.3050	0.3493
sign_stop	0.1048	0.0164	6.3910	0.0000	0.0727	0.1370
intersection	0.0980	0.0049	20.1338	0.0000	0.0885	0.1075
distance	-0.0003	0.0000	-6.7061	0.0000	-0.0004	-0.0002
small_ring	0.1588	0.0145	10.9390	0.0000	0.1303	0.1872
bus_lane	-0.0553	0.0132	-4.1945	0.0000	-0.0811	-0.0294
closeness	0.2396	0.0157	15.2410	0.0000	0.2088	0.2704
mid_block	0.3062	0.0125	24.5428	0.0000	0.2818	0.3307
far_side	0.0485	0.0157	3.0951	0.0020	0.0178	0.0792
num_lanes	-0.0897	0.0062	-14.5471	0.0000	-0.1018	-0.0776
transit	0.0458	0.0166	2.7526	0.0059	0.0132	0.0784
routes	-0.0102	0.0016	-6.5060	0.0000	-0.0133	-0.0071
freq	-0.1686	0.0021	-80.2846	0.0000	-0.1727	-0.1644
550_0	1.3789	0.0306	44.9992	0.0000	1.3189	1.4390
550_1	0.7409	0.0328	22.6161	0.0000	0.6767	0.8051
224_1	0.4703	0.0343	13.7191	0.0000	0.4031	0.5375
040_0	0.4380	0.0333	13.1642	0.0000	0.3728	0.5033
040_1	0.6459	0.0336	19.2524	0.0000	0.5802	0.7117
608_0	1.2212	0.0293	41.6094	0.0000	1.1637	1.2787
608_1	1.0270	0.0297	34.5728	0.0000	0.9688	1.0852

Εικόνα 4.3. Παράγοντες μοντέλου Παλινδρόμησης 1/2

Παρατηρούνται τα εξής μεγέθη:

- Coef. Ο συντελεστής b_i κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής X_i .
- Std.Err. Το τυπικό σφάλμα εκτίμησης των συντελεστών.
- z. Η στατιστική σημασία του συντελεστή.
- $P > |z|$ ή αλλιώς P-value. Η επαλήθευση ότι η μηδενική υπόθεση ότι ο συντελεστής = 0 είναι αληθής. Τιμή μικρότερη από 0.05 σημαίνει σημαντική σχέση μεταξύ του όρου και της απόκρισης.
- [95.0% Conf. Interval]. Οι μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές του 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης.

Παρακάτω συνεχίζει η αναφορά με τις υπόλοιπες μεταβλητές που αφορούν τις επιμέρους στάσεις των τεσσάρων γραμμών του μοντέλου.

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
10η ΖΩΓΡΑΦΟΥ	0.7592	0.0375	20.2640	0.0000	0.6858	0.8327
9η ΖΩΓΡΑΦΟΥ	0.7238	0.0378	19.1470	0.0000	0.6497	0.7979
7η ΖΩΓΡΑΦΟΥ	0.5968	0.0383	15.5924	0.0000	0.5218	0.6718
8η ΖΩΓΡΑΦΟΥ	0.6203	0.0380	16.3253	0.0000	0.5458	0.6948
ΑΛΣΟΣ	1.2894	0.0438	29.4156	0.0000	1.2035	1.3753
ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΟΥ	0.7965	0.0399	19.9724	0.0000	0.7184	0.8747
ΑΘΛΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	1.0251	0.0418	24.5081	0.0000	0.9431	1.1071
ΕΘΝ.ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ	0.5115	0.0392	13.0660	0.0000	0.4348	0.5883
ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	1.9950	0.0502	39.7025	0.0000	1.8965	2.0935
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ	-0.2216	0.0473	-4.6805	0.0000	-0.3143	-0.1288
ΠΑΙΔΙΚΗ ΧΑΡΑ	0.5606	0.0845	6.6319	0.0000	0.3949	0.7262
4η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	1.1774	0.0930	12.6548	0.0000	0.9950	1.3597
3η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	1.0266	0.0928	11.0600	0.0000	0.8447	1.2086
2η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	0.9544	0.0962	9.9236	0.0000	0.7659	1.1429
1η ΕΛ.ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	1.0213	0.0976	10.4650	0.0000	0.8300	1.2126
ΑΠΟΒΙΒΑΣΗ	0.4132	0.0764	5.4057	0.0000	0.2634	0.5631
ΩΝΑΣΕΙΟ	0.7582	0.0714	10.6146	0.0000	0.6182	0.8982
ΦΟΡΟΣ	1.0560	0.0865	12.2066	0.0000	0.8865	1.2256
ΣΤΡΟΦΗ Ν.ΣΜΥΡΝΗΣ	0.7224	0.0736	9.8087	0.0000	0.5780	0.8667
ΖΗΡΝΕΙΟ	1.3157	0.0791	16.6301	0.0000	1.1607	1.4708
ΣΧΟΛΕΙΑ	1.1822	0.0792	14.9306	0.0000	1.0270	1.3373
ΚΑΤ	0.9577	0.0803	11.9219	0.0000	0.8003	1.1152
ΑΓΓΕΙΟΠΛΑΣΤΙΚΗ	1.1257	0.0798	14.1031	0.0000	0.9692	1.2821
ΧΑΤΖΗΚΥΡΙΑΚΕΙΟ	0.6186	0.0731	8.4614	0.0000	0.4753	0.7619
ΖΩΟΔΟΧΟΣ ΠΗΓΗ	0.4615	0.0735	6.2800	0.0000	0.3175	0.6056
ΛΟΥΤΡΑ	0.8327	0.0739	11.2712	0.0000	0.6879	0.9775
ΣΚΑΛΑΚΙΑ	0.7348	0.0758	9.6978	0.0000	0.5863	0.8833
ΜΑΚΡΥΓΙΑΝΝΗ	1.0634	0.0757	14.0417	0.0000	0.9150	1.2118
ΟΛΥΜΠΙΑΚΗ	0.5981	0.0740	8.0840	0.0000	0.4531	0.7431
ΣΤ.ΣΥΓΓΡΟΥ-ΦΙΞ	0.4341	0.0716	6.0629	0.0000	0.2938	0.5744
ΓΕΦΥΡΑ	0.3716	0.0778	4.7760	0.0000	0.2191	0.5241

Εικόνα 4.4. Παράγοντες μοντέλου Παλινδρόμησης 2/2

4.2.2. Αξιολόγηση

Με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων στους άνωθεν πίνακες γίνεται εύκολη η ερμηνεία του φαινομένου Συνωστισμού Λεωφορείων στο επίπεδο της στάσης. Αρχικά, με μία πρώτη ανάγνωση εντοπίζονται τα χαρακτηριστικά εκείνα που η ύπαρξή τους ή η έντασή τους συνεισφέρουν στην δημιουργία φαινομένων συνωστισμού. Αυτά, φέρουν θετικό πρόσημο μέσω του συντελεστή b_i . Αντίθετα, συντελεστές με αρνητικό πρόσημο σημαίνουν τον περιορισμό του φαινομένου κατά την έντασή τους. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι:

- Ημέρες απεργιών MMM (strike) εντείνουν την δημιουργία φαινομένων Συνωστισμού και συμμετέχουν στο μοντέλο με συντελεστή 0.5528. Το τυπικό σφάλμα στην εκτίμησή του είναι 0.0204 και είναι επίσης σημαντικός παράγοντας αφού το $P>|z|$ είναι αποδεκτά μικρό. Η μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή στο δεδομένο διάστημα εμπιστοσύνης είναι 0.5127 και 0.5928.
- Οι σχολικές αργίες (bday_sxo) καθώς και οι μέρες εθνικών επετείων (bday_eth) φαίνεται πως περιορίζουν τα φαινόμενα Συνωστισμού Λεωφορείων. Κρίνονται εξίσου ως σημαντικοί παράγοντες του μοντέλου παρ' όλα αυτά οι σχολικές αργίες

εμφανίζονται με συντελεστή μόλις -0.1162 σε αντίθεση με τις εθνικές επετείους με συντελεστή -1.9822. Τα τυπικά τους σφάλματα είναι 0.0235 και 0.0791, ενώ οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές τους βρίσκονται -0.1623 ως -0.0701 και -2.1372 ως -1.8272, αντίστοιχα.

- Οι χρονικές ζώνες που αναφέρονται σε πρωινή (peak9_10), μεσημεριανή (peak13_14) και απογευματινή αιχμή (peak15_16) λειτουργούν επιβαρυντικά στην δημιουργία Συνωστισμού με κάθε μία από αυτές να αποδεικνύεται σημαντική βάσει του $P>|z|$. Μεγαλύτερο συντελεστή έχει η απογευματινή αιχμή με τιμή 0.3272 και τυπικό σφάλμα 0.0113. Ακολουθεί η μεσημεριανή με 0.1696 και τυπικό σφάλμα 0.0114 και τέλος η πρωινή αιχμή με συντελεστή 0.1580 και σφάλμα 0.0116. Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές τους θα είναι 0.3050 ως 0.3493 για την απογευματινή ζώνη, 0.1472 ως 0.1920 για τη μεσημεριανή ζώνη και 0.1353 ως 0.1807 για την πρωινή.
- Η εγγύτητα σε φανάρι (sign_stop) είναι επίσης από τα χαρακτηριστικά εκείνα που συντελούν στη γένεση Συνωστισμού και εμφανίζεται με συντελεστή 0.1048. Είναι στατιστικά σημαντική μεταβλητή με τυπικό σφάλμα 0.0164 και ελάχιστη και μέγιστη τιμή 0.0727 ως 0.1370.
- Ο αριθμός των σηματοδοτούμενων κόμβων μεταξύ διαδοχικών στάσεων (intersection) συνεισφέρει με συντελεστή 0.098 συμβάλλοντας θετικά στα φαινόμενα Συνωστισμού. Το τυπικό του σφάλμα υπολογίζεται 0.00490 και ανήκει στους σημαντικούς παράγοντες για την ερμηνεία του φαινομένου. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του είναι 0.0885 ως 0.1075.
- Η μεγαλύτερη απόσταση από προηγούμενη στάση (distance) λειτουργεί αποτρεπτικά για τον σχηματισμό συστάδων λεωφορείων. Παρά το γεγονός ότι αποδεικνύεται στατιστικά σημαντικός συντελεστής εμφανίζεται στο μοντέλο με τιμή μόλις -0.0003 και μηδενικό τυπικό σφάλμα. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του είναι -0.0004 ως -0.0002.
- Οι στάσεις εντός της περιοχής του μικρού δακτυλίου (small_ring) φαίνεται ότι συγκεντρώνουν γεγονότα Συνωστισμού Λεωφορείων και παρουσιάζονται με συντελεστή 0.1588. Το τυπικό σφάλμα είναι 0.0145 ενώ κρίνεται επίσης σημαντικός παράγοντας με πολύ χαμηλό $P>|z|$. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του κυμαίνεται από 0.1303 ως 0.1872, στο διάστημα εμπιστοσύνης.
- Η ύπαρξη λεωφορειολωρίδας (bus_lane) λειτουργεί ανασταλτικά για το Συνωστισμό με συντελεστή -0.0553 και τυπικό σφάλμα 0.0132. Είναι σημαντικός παράγοντας και στο δεδομένο διάστημα εμπιστοσύνης οι τιμές που σημειώνονται είναι από -0.0811 ως -0.0294.
- Η εγγύτητα των στάσεων (closeness) οδηγεί στην δημιουργία Συνωστισμού και ο συντελεστής υπολογίζεται 0.2396. Το τυπικό σφάλμα αυτού του στατιστικά σημαντικού παράγοντα είναι 0.0157, ενώ η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του σημειώνεται 0.2088 ως 0.2704.
- Η εγγύτητα της στάσης ως προς σηματοδοτούμενο κόμβο εισάγεται στο μοντέλο με τη χρήση τριών μεταβλητών: στάση πριν από κόμβο (near_side), στάση στο «μέσο» τετραγώνου (mid_block) καθώς και στάση αμέσως μετά από κόμβο

- (far_side). Οι δύο τελευταίοι παράγοντες αν και σημαντικοί στη δημιουργία Συνωστισμού Λεωφορείων εμφανίζονται με συντελεστές 0.3062 και 0.0485 αντίστοιχα. Τα τυπικά τους σφάλματα είναι 0.0125 για τη στάση στο μέσο τετραγώνου και 0.0157 για τη στάση μετά από σηματοδοτούμενο κόμβο. Οι ελάχιστες τιμές τους κατ' αντιστοιχία είναι 0.2818 ως 0.3307 και 0.0178 ως 0.0792.
- Ο αριθμός των λωρίδων στην διατομή της οδού στο ύψος τη στάσης (num_lanes) συνεισφέρει στην αποφυγή της δημιουργίας Συνωστισμού. Συμμετέχει με συντελεστή -0.0897 και τυπικό σφάλμα μόλις 0.0062. Είναι σημαντικός παράγοντας και εμφανίζεται με ελάχιστη και μέγιστη τιμή -0.1018 ως -0.0776.
 - Η ύπαρξη μέσου σταθερής τροχιάς σε δεδομένη ακτίνα (transit) εντείνει το σχηματισμό συστάδων λεωφορείων. Ο συντελεστής του παράγοντα αυτού είναι 0.0458 και το τυπικό του σφάλμα 0.0166. η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι 0.0132 ως 0.0784.
 - Ο αριθμός των γραμμών που εξυπηρετεί η στάση (routes) αποτρέπει το Συνωστισμό οχημάτων και παρουσιάζεται με συντελεστή -0.0102 και τυπικό σφάλμα 0.0016. Ανήκει στους στατιστικά σημαντικούς συντελεστές με ελάχιστη και μέγιστη τιμή -0.0133 ως -0.0071.
 - Οι μεγαλύτερες τιμές συχνότητας του δρομολογίου (freq) επίσης λειτουργούν ανασταλτικά για τη δημιουργία Συνωστισμού. Ο συντελεστής της είναι -0.1686 και το τυπικό του σφάλμα 0.0021. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του υπολογίζεται -0.1727 ως -0.1644.
 - Οι δύο διαδρομές της γραμμής 550, Κηφισιά – Π. Φάληρο (550_0) και Π. Φάληρο – Κηφισιά (550_1) ως στατιστικά σημαντικοί παράγοντες φαίνεται πως συγκεντρώνουν φαινόμενα Συνωστισμού Λεωφορείων με συντελεστές 1.3789 και 0.7409 αντίστοιχα. Τα τυπικά τους σφάλματα είναι 0.0306 και 0.0328, ενώ οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές τους είναι 1.3189 ως 1.4390 για την πρώτη διαδρομή και 0.6767 ως 0.8051 για την δεύτερη.
 - Η γραμμή του 224 εφόσον συγκέντρωνε τα λιγότερα γεγονότα συνωστισμού αποφασίστηκε να αποτελεί την βάση για τις κατηγορίες της μεταβλητής αυτής. Από τις δύο κατευθύνσεις, λοιπόν, Καισαριανή – Ελ. Βενιζέλου (224_0) και Ελ. Βενιζέλου – Καισαριανή (224_1), η πρώτη αποτελεί την βάση στη μεταβλητή για την διαδρομή των γραμμών. Επομένως, η Ελ. Βενιζέλου – Καισαριανή εισάγεται στο μοντέλο και αποδεικνύεται σημαντικός παράγοντας αφού συγκεντρώνει γεγονότα Συνωστισμού. Ο συντελεστής της είναι 0.4703 και το τυπικό της σφάλμα 0.0343. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή της είναι 0.4031 ως 0.5375.
 - Οι δύο διαδρομές της γραμμής 040, Πειραιάς - Σύνταγμα (040_0) και Σύνταγμα – Πειραιάς (040_1) ως στατιστικά σημαντικοί παράγοντες φαίνεται πως συγκεντρώνουν φαινόμενα Συνωστισμού Λεωφορείων με συντελεστές 0.4380 και 0.6459 αντίστοιχα. Τα τυπικά τους σφάλματα είναι 0.0333 και 0.0336, ενώ οι

ελάχιστες και μέγιστες τιμές τους είναι 0.3728 ως 0.5033 για την πρώτη διαδρομή και 0.5802 ως 0.7117 για την δεύτερη.

- Οι δύο διαδρομές της γραμμής 608, Νεκρ. Ζωγράφου – Ακαδημία - Γαλάτσι (608_0) και Γαλάτσι – Ακαδημία – Νεκρ. Ζωγράφου (608_1) ως στατιστικά σημαντικοί παράγοντες φαίνεται πως συγκεντρώνουν αρκετά φαινόμενα Συνωστισμού συγκριτικά με άλλες διαδρομές. Έχουν συντελεστές 1.2212 και 1.0270 αντίστοιχα. Τα τυπικά τους σφάλματα είναι 0.0293 και 0.0297, ενώ οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές τους είναι 1.1637 ως 1.2787 για την πρώτη διαδρομή και 0.9688 ως 1.0852 για την δεύτερη.
- Από τις στάσεις των 8 διαδρομών εισήχθησαν στο μοντέλο όσες εμφάνιζαν συχνότερα γεγονότα Συνωστισμού. Στο σύνολό τους υποστηρίζουν τα φαινόμενα αυτά και συμμετέχουν με θετικούς συντελεστές συχνά λίγο πάνω από τη μονάδα. Εξαιρέση αποτελεί η στάση Πολυτεχνείο της διαδρομής 224_0, η οποία και περιορίζει τα φαινόμενα αυτά. Ο συντελεστής της είναι -0.2216 και το τυπικό της σφάλμα 0.0473. Η ελάχιστη και μέγιστη τιμή της είναι -0.3143 ως -0.1288.

Παρά την ιδιαιτερότητα του Pseudo – R^2 που δικαιολογεί το μέγεθός του, και του μικρού σταθερού όρου, υπήρχε ακόμα η ανάγκη επιβεβαίωσης του μοντέλου. Σύμφωνα μάλιστα με σχετική βιβλιογραφία, το ίδιο μοντέλο μπορεί να έχει πολύ διαφορετικά στατιστικά αποτελέσματα όταν αναφέρεται στη προσαρμογή του στις παρατηρήσεις μεμονωμένα από όταν γίνεται προσπάθεια να εφαρμοσθεί σε σύνολα των παρατηρήσεων αυτών. Η πρόταση αυτή ήταν αρκετή για την περαιτέρω μελέτη και την επέκταση σε άλλα μοντέλα παλινδρόμησης.

5. Δημιουργία Γραμμικού Μοντέλου

Στην παραπάνω ενότητα περιγράφεται το φαινόμενο του Συνωστισμού Λεωφορείων με ένα μη γραμμικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα θεωρήθηκε πως μπορούσαν να βελτιωθούν και να δώσουν μία πιο ξεκάθαρη και σαφή εικόνα για την εξαρτημένη μεταβλητή γι' αυτό και αποφασίστηκε η δημιουργία ενός ακόμα μοντέλου, η εξαρτημένη μεταβλητή του οποίου θα είναι αριθμητική και όχι δυαδική, θα περιγράψει δηλαδή το άθροισμα των γεγονότων Συνωστισμού ανά στάση, στοιχείο που στο Δυαδικό Λογιστικό Μοντέλο δεν αντιπροσωπεύεται. Για το σκοπό αυτό επιλέγεται η Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression, LR), η συνηθέστερη μέθοδος στην οικονομετρία που εφαρμόζεται όχι μόνο για να εξηγήσει ένα φαινόμενο αλλά εξίσου συχνά και για να το προβλέψει. Μάλιστα αναφέρεται ως πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση με την παρουσία περισσότερων της μίας περιγραφικής παραμέτρου. Σ' αυτή χρησιμοποιούνται δεδομένα με σκοπό την εύρεση της σχέσης μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής με την υπόθεση ότι τα δύο αυτά συνδέονται με τρόπο γραμμικό.

5.1. Γενικευμένο μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης

Στην LR η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής ενώ οι ανεξάρτητες μπορούν να είναι συνεχείς ή διακριτές. Εφαρμόζεται η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων (MET) που δεν είναι άλλο παρά η ελαχιστοποίηση του τετραγώνου του αθροίσματος της απόκλισης των παρατηρήσεων από την γραμμή παλινδρόμησης που προσαρμόζεται κατά τον βέλτιστο τρόπο στις παρατηρήσεις. Δημιουργείται έτσι, μία εξίσωση – μοντέλο, καθολικό που εκφράζει την επικρατούσα κατάσταση για όλο το δείγμα παρατηρήσεων. Η χαρακτηριστική εξίσωση της LR είναι της μορφής:

$$Y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n + \varepsilon \quad (5.1)$$

Όπου,

b_i οι συντελεστές, των ανεξάρτητων παραμέτρων x_i , υπολογίζουν τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής Y όταν η x_i μεταβληθεί κατά μια μονάδα και οι υπόλοιπες παραμείνουν σταθερές,

ε ο όρος του σφάλματος συχνά αναφερόμενος και ως θόρυβος.

Παρά την εξοικείωση με το είδος της σχέσης μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής η (4.8) συμπεριλαμβάνει ακόμα δύο όρους – δείκτες που φανερώνουν την ενδεχόμενη αδυναμία στην περιγραφή της Y από τις x_i . Ο σταθερός όρος b_0 όπως και το σφάλμα ε ικανοποιούν το ρόλο αυτό, την ένδειξη δηλαδή ότι πέρα των παραγόντων που συμπεριλαμβάνονται υπάρχουν και άλλοι που δεν έχουν υπολογισθεί. Πρακτικά λοιπόν

οι δύο αυτοί όροι υπάρχουν πάντα στα μοντέλα LR ως μία πρώτη εκτίμηση της περιγραφής του ζητούμενου μεγέθους.

Ακόμα, σε επίπεδο Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού χρησιμοποιούνται συχνά μοντέλα αυτής της μορφής δίνοντας μέχρι και την ευκαιρία να ελεγχθεί η επιρροή των μελετώμενων παραγόντων τοπικά αλλά και η χωρική σταθερότητά τους. Ιδιαίτερα σε ευρείες περιοχές μελέτης αποδεικνύεται πως η επιρροή και η σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών μεταβάλλεται με αποτέλεσμα το αρχικό καθολικό μοντέλο, παραβλέποντας το χαρακτηριστικό αυτό, να οδηγεί σε γενικευμένα και αλλοιωμένα συμπεράσματα. Γι' αυτό η αναζήτηση χωρικής οργάνωσης στις παρατηρήσεις είναι αναγκαία με σκοπό να αποφασιστεί αν και σε ποιο βαθμό ένα Καθολικό μοντέλο (Generalized Linear Model, GLM) αναδεικνύει με ορθό τρόπο την εξάρτηση των μεταβλητών.

5.2. Η επιλογή Μοντέλου μέσα από τη Χωρική Ανάλυση

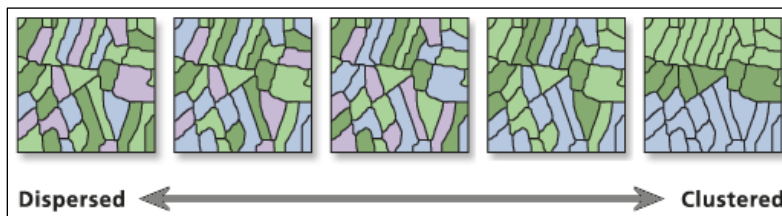
Η χωρική ανάλυση εφαρμόζει διάφορες μεθόδους και τεχνικές ανάλυσης χωρικών φαινομένων έτσι ώστε να εντοπίσει τα ειδικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, να τα ταξινομήσει ώστε μελετηθούν σε κάθε διάσταση ξεχωριστά, αλλά και να εντοπίσει διασυνδέσεις μεταξύ τους, μέσα και έξω από κάθε περιφέρεια. Στην παρούσα εργασία η περιοχή μελέτης που αποτελείται από ένα ευρύ σύνολο υποπεριοχών της Αττικής, έχει πλήθος τοπικών χαρακτηριστικών (δημογραφικά, πολεοδομικά κ.ά.) τα οποία μπορούν ακόμα να εκφράζονται και μέσα από τη λειτουργία των Αστικών Συγκοινωνιών. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η αναζήτηση χωρικών σχέσεων.

5.2.1. Χωρική Αυτοσυσχέτιση – Δείκτης Moran's I

Οι χωρικές σχέσεις μεταξύ των τιμών μιας ενιαίας μεταβλητής που προέρχεται από τη γεωγραφική ρύθμιση των περιοχών στις οποίες εμφανίζονται αυτές οι τιμές, αναφέρονται και ως Χωρική Αυτοσυσχέτιση, η οποία μετρά την ομοιότητα των δεδομένων μέσα σε μια περιοχή, το επίπεδο αλληλεξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών, τη φύση και τη δύναμη της αλληλεξάρτησής τους. Έτσι, η χωρική αυτοσυσχέτιση αξιολογεί εάν οι τιμές είναι αλληλένδετες ή εάν υπάρχει ένα χωρικό σχέδιο στη σχέση αυτή και εντοπίζει τις οντότητες εκείνες που παίζουν σημαντικό ρόλο για την ευρύτερη περιοχή τους.

Η Χωρική Αυτοσυσχέτιση μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Όταν είναι θετική, όλες οι παρόμοιες τιμές εμφανίζονται συγκεντρωμένες μαζί ενώ όταν είναι αρνητική οι ανόμοιες τιμές είναι αυτές που εμφανίζονται σε κοντινή απόσταση. Μια θετική χωρική αυτοσυσχέτιση αναφέρεται σε ένα χωρικό πρότυπο όπου τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των παρόμοιων τιμών τείνουν να ομαδοποιηθούν σε ένα χάρτη. Αντίθετα, μια αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση δείχνει ένα χωρικό πρότυπο στο οποίο οι γεωγραφικές οντότητες των παρόμοιων τιμών διασκορπίζονται σε ολόκληρο το χάρτη. Τέλος, όταν η χωρική αυτοσυσχέτιση δεν έχει στατιστική σημαντικότητα τότε το χωρικό πρότυπο κατανομής χαρακτηρίζεται ως τυχαίο (Chou, 1997).

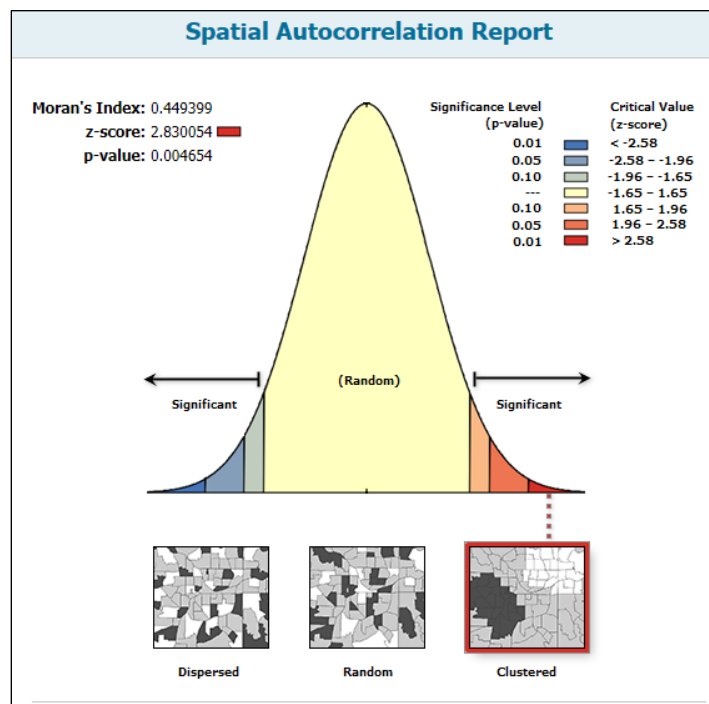
Ο πιο διαδεδομένος δείκτης Χωρικής Αυτοσυσχέτισης είναι ο γενικός δείκτης Moran's I και ορίζεται ως το μέτρο συσχέτισης μεταξύ των γειτονικών παρατηρήσεων σε ένα σχέδιο (Boots and Getis 1988), που αναγνωρίζει χωρικά πρότυπα και τάσεις. Για να υπολογιστεί πρέπει να συσχετιστούν οι τιμές της μεταβλητής για τα ζευγάρια όλων των παρατηρήσεων που θεωρούνται γείτονες. Οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης είναι από -1 έως 1, όπου το -1 αντιστοιχεί σε πλήρως διασκορπισμένο πρότυπο (αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση), το 1 αντιστοιχεί σε πλήρως ομαδοποιημένο πρότυπο και το 0 αντιστοιχεί σε πρότυπο τυχαίας κατανομής.



Εικόνα 5.1. Χωρικά Πρότυπα

Στο σημείο αυτό υπολογίζεται ο δείκτης Moran's I για το άθροισμα των γεγονότων Συνωστισμού στο χρονικό διάστημα 09:00 – 17:00 (εξαρτημένη μεταβλητή). Έπειτα, ακολουθεί η ίδια διαδικασία για τις περιγραφικές μεταβλητές με σκοπό να εξετασθεί ποιες από αυτές αρκεί να περιγραφούν σε ένα καθολικό μοντέλο και ποιες ποικίλουν στην επιρροή και σημαντικότητά τους στο χώρο. Σύμφωνα με τα παραπάνω, μεταβλητές με μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές τιμές του δείκτη αυτοσυσχέτισης υποδεικνύουν τυχαίο πρότυπο επομένως αντιπροσωπεύονται από ένα γενικευμένο μοντέλο. Αντίθετα, η ύπαρξη χωρικού προτύπου χρίζει εφαρμογής εξειδικευμένου μοντέλου που αναλύεται παρακάτω.

Ο δείκτης Moran's I υπολογίζεται σε λογισμικό ArcGIS και η αναφορά φαίνεται στην εικόνα 4.6. Πρόκειται για έντονα ομαδοποιημένο πρότυπο. Σύμφωνα με τα στατιστικά μεγέθη υπάρχει λιγότερο από 1% πιθανότητα το πρότυπο αυτό να αποδίδεται σε τυχαίους παράγοντες.



Εικόνα 5.2. Δείκτης Moran's I εξαρτημένης μεταβλητής aggr9_17

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα του δείκτη Χωρικής Αυτοσυσχέτισης, για τις ανεξάρτητες μεταβλητές.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	MORAN'S I	Z - SCORE	P - VALUE	ΠΡΟΤΥΠΟ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ
bus_lane	0.277070	1.747576	0.080537	ΕΛΑΦΡΩΣ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	90%
closeness	0.175754	1.129600	0.258645	ΤΥΧΑΙΟ	-
intersection	0.233659	1.481458	0.138484	ΤΥΧΑΙΟ	-
left_turns	0.024945	0.179096	0.857862	ΤΥΧΑΙΟ	-
mid_block	0.013328	0.102952	0.918001	ΤΥΧΑΙΟ	-
num_lanes	0.771447	4.824472	0.000001	ΕΝΤΟΝΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	99%
routes	0.712555	4.466293	0.000000	ΕΝΤΟΝΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	99%
small_ring	1.584937	9.920459	0.000000	ΕΝΤΟΝΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	99%
transit	2.481912	15.711767	0.000000	ΕΝΤΟΝΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	99%
uni	0.140794	0.924070	0.355450	ΤΥΧΑΙΟ	-

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα δείκτη Moran's I ανεξάρτητων μεταβλητών

Ο δείκτης Moran's I είναι ένας επαγωγικός δείκτης και στηρίζεται στην αποδοχή ή απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης. Η μηδενική αυτή υπόθεση περιγράφεται από έλλειψη χωρικού προτύπου δηλαδή μηδενική χωρική αυτοσυσχέτιση ή διαφορετικά οι τιμές της μεταβλητής κατανέμονται τυχαία στο χώρο. Η υπόθεση ωστόσο μπορεί να απορριφθεί σε περίπτωση που το στατιστικό μέγεθος p – value υπολογισθεί σημαντικό. Αυτό αφορά εκτιμήσεις που αντιστοιχούν στην περιοχή κάτω από την καμπύλη κανονικής κατανομής. Μάλιστα, ο συνδυασμός στατιστικά σημαντικού p και θετικού z – value σημαίνουν ομαδοποιημένο χωρικό πρότυπο, ενώ αντίθετα σημαντικό p και αρνητικό z – value υποδεικνύουν διασκορπισμένο πρότυπο. Το πρόσημο ακόμα του Moran's I Index (εδώ Moran's I) φανερώνει το είδος του προτύπου ωστόσο χρειάζονται τα δύο παραπάνω μεγέθη για να επιβεβαιώσουν τη σημαντικότητά του.

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.1 οι ανεξάρτητες μεταβλητές ενέχουν χωρική εξάρτηση και επομένως ένα γενικευμένο μοντέλο θα περιέγραφε εσφαλμένα τη σχέση μεταξύ του αριθμού των γεγονότων Συνωστισμού και των περιγραφικών του χαρακτηριστικών. Ωστόσο, η ύπαρξη και μεταβλητών που δεν εμφανίζουν χωρική αυτοσυσχέτιση δηλώνει την ανάγκη ορισμού καθολικών παραμέτρων. Ιδανικά λοιπόν χρειάζεται μία μέθοδος που σταθμίζει τις παραμέτρους ανάλογα με την χωρική τους πληροφορία (θέση) προσδίδοντας διαφορετικά βάρη στις παραμέτρους που εμφανίζουν χωρική αυτοσυσχέτιση. Η συνθήκη αυτή ικανοποιείται από ένα Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης γνωστό ως Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση.

5.3. Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση

Στον τομέα του Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού η χωρική μεταβλητότητα είναι από τους κυριότερους παράγοντες για θέματα οδικής ασφάλειας, γένεσης μετακινήσεων και επιβατικής κίνησης εξετάζοντας εκτός από τα χωρικά πρότυπα δημογραφικών χαρακτηριστικών, ιδιοτήτων του συστήματος ή της υποδομής. Παρ' ότι τα γενικευμένα μοντέλα αδυνατούν να αποδώσουν αυτή τη συσχέτιση δίνοντας καθολικές παραμέτρους που ισχύουν για το σύνολο της περιοχής μελέτης, υπάρχουν άλλα τα οποία μέσα από αυτές τις καθολικές παραμέτρους υπολογίζουν την χωρική μεταβλητότητα (Auto-logistic, Conditional Auto-regression, χωρικό αυτοπαλινδρόμο μοντέλο – SAR , μοντέλα χωρικού σφάλματος – SEM, κ.ά.).

5.3.1. Περιγραφή Μοντέλου

Μια διαφορετική προσέγγιση προσφέρει το Μοντέλο Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (Geographically Weighted Regression, GWR) δημιουργώντας στην πραγματικότητα ένα σύνολο μοντέλων – εξισώσεων που στηρίζονται στη βαθμονόμηση πολλών μοντέλων Παλινδρόμησης σε υποπεριοχές της περιοχής μελέτης.

Έτσι, σε ένα GWR μοντέλο οι συντελεστές της γενικής εξίσωσης (5.1) διαφέρουν ανάλογα τις συντεταγμένες της παρατήρησης. Τελικά, η γενικευμένη εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής:

$$Y_i = b_0(u_i, v_i) + b_1(u_i, v_i) * x_1 + b_2(u_i, v_i) * x_2 + \dots + b_n(u_i, v_i) * x_n + \varepsilon_i \quad (5.2)$$

Όπου,

(u_i, v_i) οι συντεταγμένες των παρατηρήσεων,

$b_i(u_i, v_i)$ οι συντελεστές των ανεξάρτητων παραμέτρων x_i συναρτήσει της γεωγραφικής θέσης.

Στην πραγματικότητα οι συντελεστές των ανεξάρτητων παραμέτρων προκύπτουν από ένα πίνακα βαρών υπολογισμένων με βάση την εγγύτητα σε κάποιο σημείο i . Εφαρμόζοντας τον πρώτο νόμο Γεωγραφίας ή τον νόμο του Tobler: Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things (Tobler, 1970, p. 236), οι παρατηρήσεις με μικρότερη απόσταση από το σημείο i σημαίνονται με μεγαλύτερα βάρη και αυτές που είναι πιο απομακρυσμένες με μικρότερα. Αυτός είναι δε και ο λόγος που αυτού του είδους τα μοντέλα υπερτερούν εκείνων με αυτοπαλίνδρομο χαρακτήρα αφού υπολογίζουν τη χωρική σχέση βάση εγγύτητας και όχι βάση των όρων του σφάλματος όπως τα τελευταία.

Σε επόμενο στάδιο πρέπει να εξετασθεί το είδος της συνάρτησης βαρών που επιλέγεται όπως και το μέγεθος του δείγματος (πλήθος παρατηρήσεων), παράγοντες πιο σημαντικοί από την σωστή επιλογή των περιγραφικών μεταβλητών. Ως προς το τελευταίο, προτείνεται σύνολο μεγαλύτερο των 160 παρατηρήσεων για την εξαγωγή ασφαλούς συμπεράσματος. Όσον αφορά την συνάρτηση βαρών, αυτή αναφέρεται ως Kernel και εμφανίζεται με διάφορους τύπους, πιο γνωστοί των οποίων είναι η συνάρτηση Gauss και η διτετράγωνη (bisquare) συνάρτηση. Οι μαθηματικές αυτές σχέσεις υπολογίζουν το βάρος της παρατήρησης σε μία δεδομένη θέση j ως προς το μοντέλο εκείνο που περιγράφει την θέση i , συναρτήσει της απόστασης d_{ij} αλλά και ενός ρυθμιζόμενου εύρους ζώνης h (bandwidth). Έτσι, σχηματίζονται οι εξισώσεις:

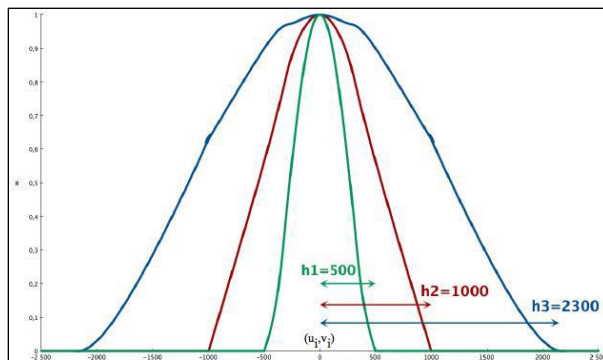
$$\text{Συνάρτηση Gauss: } W_{ij} = \exp [- (d_{ij} / h) ^ 2] \quad (5.3)$$

και

$$\text{Διτετράγωνη συνάρτηση: } W_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \frac{d^2}{h^2} \right)^2 & \text{αν } d < h \\ 0 & \text{αν } d > h \end{cases} \quad (5.4)$$

Από τις (5.3) και (5.4) προκύπτει και η κυριότερη διαφορά των δύο συναρτήσεων. Στη μεν πρώτη (5.3) κάθε παρατήρηση αντιστοιχίζεται με ένα βάρος και συμμετέχει στο δείγμα ενώ στη δεύτερη παρατηρήσεις σε απόσταση μεγαλύτερη του εύρους ζώνης h , αποκλείονται από το δείγμα. Επίσης, ενώ η διτετραγωνική συνάρτηση παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, 1]$, η γκαουσιανή συνάρτηση δίνει φθίνουσες τιμές με την αύξηση της απόστασης χωρίς όμως ποτέ να αγγίζει το 0. Ο όρος αυτός, της απόστασης βέβαια, εκφράζεται ως Ευκλείδεια απόσταση όταν δίνονται καρτεσιανές συντεταγμένες και ως απόσταση Μέγιστου Κύκλου (Ορθοδρομία) όταν χρησιμοποιούνται σφαιρικές συντεταγμένες (φ, λ).

Παρά την βαρύτητα της συνάρτησης Kernel και τη διαδικασία ορισμού των βαρών, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην επιλογή του h παρά στο σχήμα αυτών και το μέγεθός τους δηλαδή την τιμή τους. Την έννοια του h δίνει το εύρος ζώνης ή bandwidth το οποίο και καθορίζει τον πίνακα βαρών. Αυτό ορίζεται ως μία απόσταση πέραν της οποίας οι παρατηρήσεις σημαίνονται με μηδενικό βάρος και η τιμή του είναι μέγιστης σημασίας για τα αποτελέσματα του μοντέλου. Αναφέρεται στις ίδιες μονάδες μέτρησης που περιγράφουν τη θέση των παρατηρήσεων (στην περίπτωση αυτή μέτρα) ενώ είναι και το μέγεθος που συνδέει ένα γεωγραφικά σταθμισμένο με ένα καθολικό μοντέλο.



Εικόνα 5.3. Βάρη συναρτήσεων εύρους ζώνης

Σε ένα καθολικό μοντέλο τα βάρη είναι κοινά για όλες τις παρατηρήσεις και ίσα με τη μονάδα. Αντίστοιχα, ορίζοντας ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης που πλησιάζει το άπειρο τόσο η (5.3) όσο και η (5.4) δίνουν αποτέλεσμα ίσο με τη μονάδα, ενώ χρησιμοποιούνται και όλες οι παρατηρήσεις του δείγματος. Άρα λοιπόν ένα σταθμισμένο μοντέλο με πολύ μεγάλο h προσεγγίζει το καθολικό μοντέλο. Σε αυτή την περίπτωση η διακύμανση είναι χαμηλή αλλά το μοντέλο είναι προκατειλημμένο. Αντίθετα, ένα πολύ μικρό h είτε δίνει μία υποεκτίμηση των παραγόντων, με ελάχιστα βάρη στην περίπτωση της (5.3), είτε ακόμα, αποκλείει ένα μεγάλο μέρος των παρατηρήσεων στην περίπτωση της (5.4). Τότε, το μοντέλο μπορεί να μην είναι προκατειλημμένο αλλά η διακύμανση θα είναι μεγάλη. Η επιλογή του βέλτιστου εύρους ζώνης γίνεται με τον έλεγχο δεικτών – κριτηρίων και

μάλιστα στα περισσότερα λογισμικά υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης επιλογής βέλτιστου εύρους ζώνης (επαναληπτική διαδικασία).

Τέλος, χρειάζεται να προσδιοριστεί το είδος των Kernel το οποίο μπορεί να είναι σταθερό (fixed kernel) ή μεταβλητό (adaptive kernel). Σε δείγματα με ομοιόμορφη κατανομή των παρατηρήσεων στο χώρο προτείνεται το σταθερό kernel όπου το εύρος του h καθορίζεται από την απόσταση από το σημείο ενδιαφέροντος και είναι κοινό για κάθε σημείο. Η ακτίνα του δε πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο με σκοπό να μην απορρίπτονται παρατηρήσεις από το δείγμα. Σε περιπτώσεις ανομοιόμορφης κατανομής παρατηρήσεων, συνίσταται η χρήση μεταβλητών kernel αφού το εύρος h προσαρμόζεται ανάλογα τον αριθμό των γειτόνων του σημείου ενδιαφέροντος. Κρατώντας λοιπόν, σταθερό τον αριθμό των γειτόνων προκύπτει μεγαλύτερο εύρος h σε περιοχές με αραιή πυκνότητα παρατηρήσεων και αντίστοιχα μικρό εύρος για πυκνότερες ζώνες.

5.3.2. Μοντέλο Γεωγραφικά Σταθμισμένο μέσα από το περιβάλλον της GWR4

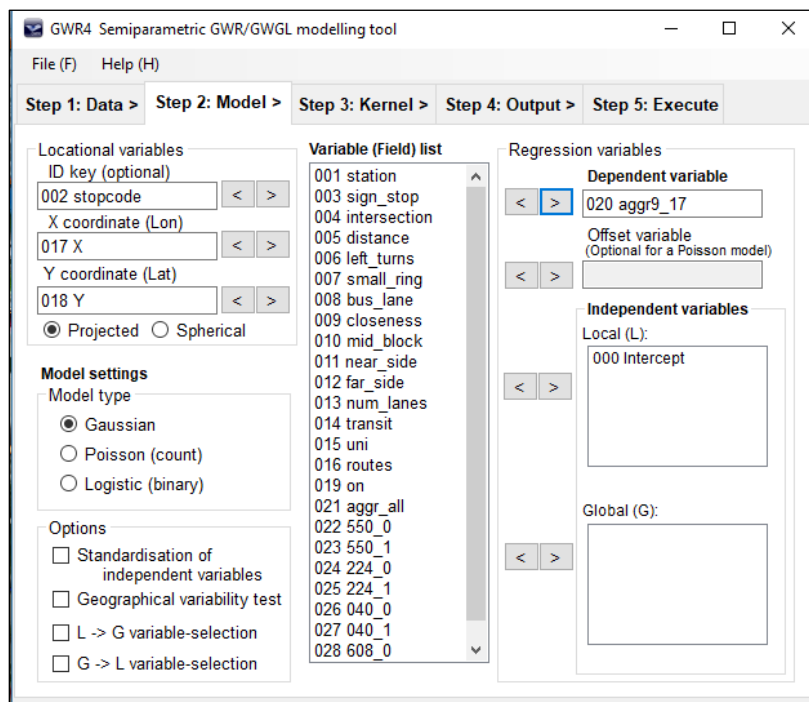
Η GWR4 είναι μια νέα έκδοση ανοικτού λογισμικού εφαρμογών για τα Microsoft Windows. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διερευνήσει γεωγραφικά τις μεταβολές στις σχέσεις μεταξύ εξαρτώμενων και ανεξάρτητων – επεξηγηματικών μεταβλητών. Αναπτύχθηκε από τους ίδιους μελετητές που δημιούργησαν τη Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (GWR) (Brunsdon, Fortheringham και Charlton) με την ικανότητα να εκτελεί τοπικά μοντέλα παλινδρόμησης σε κάθε γεωγραφικό πεδίο (παρατήρηση), σε σύγκριση με την γραμμική παλινδρόμηση με OLS, η οποία σε καθολική κλίμακα τρέχει ένα μοντέλο για όλες τις παρατηρήσεις. Στη GWR, οι εκτιμήσεις συντελεστών διαφοροποιούνται γεωγραφικά και μπορούν να χαρτογραφηθούν.

Για την επιλογή της συγκεκριμένης εφαρμογής καθοριστικό ρόλο έπαιξαν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες τα οποία δεν παρέχονταν από άλλα λογισμικά που εφάρμοζαν το μοντέλο. Μερικά από αυτά είναι η R αλλά και το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ArcMap. Στην πρώτη λείπουν από την αναφορά η σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών τοπικά (t – statistics) και η ακρίβεια υπολογισμού των συντελεστών για κάθε παρατήρηση (standard errors). Η τελευταία υπολογίζεται στο ArcMap ωστόσο απουσιάζει η σημαντικότητα τοπικά. Τα δύο αυτά μεγέθη παρέχονται από το πακέτο της GWR4 και μπορούν να οπτικοποιηθούν. Ακόμα ένας λόγος υπέρ της εφαρμογής αυτής είναι η δημιουργία μεικτών μοντέλων. Η έννοια αυτή αφορά την δυνατότητα επίλυσης εξίσωσης που περιέχει συγχρόνως τοπικά μεταβλητές (local) αλλά και σταθερές (global) παραμέτρους. Έτσι, η εξίσωση (5.2) παίρνει τη μορφή:

$$Y_i = b_1(u_i, v_i) * x_1 + b_2(u_i, v_i) * x_2 + \dots + b_n * x_n + b_{n+1} * x_{n+1} + \dots + \varepsilon_i \quad (5.5)$$

Στην (5.5) το πρώτο μέρος αφορά τις τοπικές μεταβλητές και το δεύτερο τις σταθερές – καθολικές μεταβλητές. Η δυνατότητα αυτή ενισχύει την επίλυση και δίνει ευελιξία στην προσπάθεια ερμηνείας του φαινομένου. Πλεονεκτήματα επίσης υπάρχουν στην επιλογή του τύπου παλινδρόμησης (Gaussian, Logistic, Poisson), στο είδος τον kernel (Gaussian, bisquare) και στην απλότητα της διαδικασίας και οικονομίας χρόνου. Για τους λόγους αυτούς αποφασίστηκε πως ο πληρέστερος τρόπος απόδοσης των σχέσεων μεταξύ εξαρτημένης και περιγραφικών μεταβλητών ήταν μέσω της GWR4.

Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ένα μητρώο δεδομένων το οποίο υπακούει στις αρχές και απαιτήσεις που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο για το Λογιστικό Μοντέλο. Ωστόσο, το αρχικό μητρώο τροποποιήθηκε με σκοπό να δώσει την πληροφορία που δεν υπήρχε στο προηγούμενο κυρίως ως προς την χωρική λεπτομέρεια. Η περιγραφή της θέσης έγινε με συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87 και αφορά τη θέση στάσεων λεωφορείων. Κάθε στάση σημαίνει και μία παρατήρηση με ακόλουθη την απώλεια δεδομένων στην τρίτη διάσταση που στην περίπτωση Λογιστικού Μοντέλου ήταν ο χρόνος. Μεταβλητές που περιγράφονταν από την έννοια αυτή αποκλείονται από την εφαρμογή. Αντίθετα, παραμένουν παράμετροι που περιγράφουν τη στάση και το περιβάλλον της ή την ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 5.4. Ορισμός Μοντέλου στην GWR4

Με την επιλογή του μητρώου έπεται ο ορισμός του μοντέλου. Επιλέγεται Γκαουσιανή Συνάρτηση της οποίας η εξαρτημένη μεταβλητή δεν είναι πλέον διακριτή αλλά συνεχής και περιγράφει το άθροισμα των Γεγονότων Συνωστισμού Λεωφορείων ανά στάση για διάστημα τριών μηνών και δρομολογίων από τις 9 π.μ. ως τις 5μ.μ.. Με την επιλογή των περιγραφικών μεταβλητών και συντεταγμένων έρχεται ο προσδιορισμός σχήματος και μεγέθους kernel όπως ορίσθηκε παραπάνω. Λόγω της κατανομής των παρατηρήσεων στο χώρο και της φύσης του φαινομένου που εξετάζεται χρησιμοποιείται η Γκαουσιανή συνάρτηση με μεταβλητό εύρος ζώνης. Η επιλογή του h δεν γίνεται από το χρήστη αλλά από το πρόγραμμα επιλέγοντας τη ρύθμιση «golden selection search» δίνοντας την εντολή για την επαναληπτική διαδικασία με σκοπό την εύρεση κατάλληλων ευρών ζώνης.

Με τον καθορισμό των μεταβλητών και των υπολογιστικών μεθόδων που απαιτούνται, συνέχεια έχει η εκτέλεση του προγράμματος και η εξαγωγή αποτελεσμάτων και αναφορών. Δίνονται τρία παράγωγα που αναφέρονται στο παράγωγο αρχείο με κατάληξη .ctl που αφορά το αρχείο της εφαρμογής, στα στατιστικά του μοντέλου με κατάληξη .txt και στους συντελεστές των τοπικών μοντέλων – παραμέτρων των παρατηρήσεων και τα δικά τους στατιστικά στοιχεία, με κατάληξη .csv. Το τελευταίο αρχείο είναι αυτό που δίνει στοιχεία που μπορούν να οπτικοποιηθούν.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως το τελικό μοντέλο προέκυψε έπειτα από πολλές δοκιμές και επαναλήψεις προσθέτοντας και αφαιρώντας μεταβλητές και ελέγχοντας τα στατιστικά αποτελέσματα.

5.3.3. Αποτελέσματα GWR

Από την εκτέλεση του προγράμματος εξάγεται η αναφορά με τα στατιστικά αποτελέσματα του μοντέλου. Στο πρώτο μέρος γίνεται η περιγραφή της μεθόδου και τα στοιχεία έτσι όπως εισήχθησαν στο πρόγραμμα.

Αναφέρονται συγκεκριμένα:

- Η ημερομηνία και ώρα εκτέλεσης,
- Το μητρώο και ο αριθμός παρατηρήσεων,
- Ο τύπος του μοντέλου,
- Το είδος των kernel,
- Η ρύθμιση για το εύρος ζώνης h ,
- Το κριτήριο για την εφαρμογή στα δεδομένα και την επιλογή του εύρους ζώνης,
- Ο αριθμός τοπικών και καθολικών περιγραφικών μεταβλητών,
- Πρόσθετες ρυθμίσεις στο μοντέλο για την ευελιξία επίλυσης,
- Ο μοναδικός κωδικός των παρατηρήσεων και τα στοιχεία της θέσης τους,
- Το είδος των αποστάσεων,
- Η εξαρτημένη και οι ανεξάρτητες παράμετροι που χρησιμοποιούνται και το είδος τους.


```

*****
* Semiparametric Geographically Weighted Regression *
* Release 1.0.90 (GWR 4.0.90) *
* 12 May 2015 *
* (Originally coded by T. Nakaya: 1 Nov 2009) *
* Tomoki Nakaya(1), Martin Charlton(2), Chris Brunsdon (2) *
* Paul Lewis (2), Jing Yao (3), A Stewart Fotheringham (4) *
* (c) GWR4 development team *
* (1) Ritsumeikan University, (2) National University of Ireland, Maynooth, *
* (3) University of Glasgow, (4) Arizona State University *
*****

Program began at 24-Feb-19 01:35:18
Data filename: C:\Users\club40\Desktop\rural_survey_eng\diplomatiki_\data\4\aggr4.csv
Number of areas/points: 309

-----Model settings-----
Model type: Gaussian
Geographic kernel: adaptive Gaussian
Method for optimal bandwidth search: Golden section search
Criterion for optimal bandwidth: AICc
Number of varying coefficients: 5
Number of fixed coefficients: 3
-----Modelling options-----
Standardisation of independent variables: OFF
Testing geographical variability of local coefficients: On
Local to Global Variable selection: On
Global to Local Variable selection: OFF
Prediction at non-regression points: OFF
-----Variable settings-----
Area key: field2: stopcode
Easting (x-coord): field17 : X
Northing (y-coord): field18: Y
Cartesian coordinates: Euclidean distance
Dependent variable: field20: aggr9_17
Offset variable is not specified
Intercept: varying (Local) intercept
Independent variable with varying (Local) coefficient: field4: intersection
Independent variable with varying (Local) coefficient: field13: num_lanes
Independent variable with varying (Local) coefficient: field15: uni
Independent variable with varying (Local) coefficient: field16: routes
Independent variable with fixed (Global) coefficient: field9: closeness
Independent variable with fixed (Global) coefficient: field12: far_side
Independent variable with fixed (Global) coefficient: field14: transit
*****

```

Εικόνα 5.5. Αναφορά της GWR4 1/6

Στη συνέχεια, επιλύεται ένα καθολικό μοντέλο με τη μέθοδο MET και παρατίθενται τα στατιστικά της αποτελέσματα.

```

Global regression result
*****
Residual sum of squares: 17324697.952243
Number of parameters: 8
(Note: this num does not include an error variance term for a Gaussian model)
ML based global sigma estimate: 236.784678
Unbiased global sigma estimate: 239.910683
-2 log-likelihood: 4255.603452
Classic AIC: 4273.603452
AICc: 4274.205459
BIC/MDL: 4307.203524
CV: 59636.978063
R square: 0.127365
Adjusted R square: 0.104095
-----
Variable Estimate Standard Error t(Est/SE)
Intercept 325.518733 40.681337 8.001672
intersection 48.674402 13.282426 3.664572
num_lanes -62.244576 15.570718 -3.997541
uni 85.461041 66.823941 1.278899
routes -2.533195 4.376657 -0.578797
closeness 118.732949 51.079156 2.324489
far_side -94.210259 38.072273 -2.474511
transit 89.641398 54.774177 1.636563

```

Εικόνα 5.6. Αποτελέσματα επίλυσης Καθολικού Μοντέλου 2/6

Με τον ίδιο τρόπο επιλύεται και το πρώτο σταθμισμένο μοντέλο αναφέροντας τα στατιστικά των καθολικών μεταβλητών και το αρχείο με τα επιμέρους στατιστικά των χωρικά μεταβαλλόμενων παραμέτρων. Στο σημείο αυτό μπορεί να γίνει μία πρώτη σύγκριση μέσω των μεγεθών adjusted R square και AICc όπως επίσης και με τον έλεγχο του t – statistic.

```
GWR (Geographically weighted regression) result
*****
Bandwidth search <golden section search>
Best bandwidth size 56.000
Minimum AICc 4187.174
*****
Bandwidth size: 56.785722
Diagnostic information
Residual sum of squares: 12162209.373537
Effective number of parameters (model: trace(S)): 18.116042
Effective number of parameters (variance: trace(S'S)): 13.317757
Degree of freedom (model: n - trace(S)): 290.883958
Degree of freedom (residual: n - 2*trace(S) + trace(S'S)): 286.085674
ML based sigma estimate: 198.393298
Unbiased sigma estimate: 206.185530
-2 log-likelihood: 4146.279389
Classic AIC: 4184.511472
AICc: 4187.173711
BIC/MDL: 4255.878180
CV: 44997.081878
R square: 0.387397
Adjusted R square: 0.338158
*****
<< Fixed (Global) coefficients >>
*****
Variable Estimate Standard Error t(Estimate/SE)
closeness 117.999307 44.335396 2.661515
far_side -102.584635 33.200332 -3.089868
transit 97.120062 49.150833 1.975960
*****
<< Geographically varying (Local) coefficients >>
Estimates of varying coefficients have been saved in the following file.
```

Εικόνα 5.7. Σταθμισμένο Μοντέλο 3/6

Το αριστερό μέρος της 5.6. αφορά στην προσαρμογή του καθολικού μοντέλου. Οι στήλες κατά σειρά περιγράφουν: το όνομα της μεταβλητής, τον συντελεστή της στην εξίσωση, το τυπικό σφάλμα εκτίμησής τους και τη σημαντικότητά τους. Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται αρχικά πως ο αριθμός των γραμμών που εξυπηρετούνται από τη στάση (routes) δεν είναι σημαντικός παράγοντας για την ερμηνεία του φαινομένου Συνωστισμού.

Τα κοινά μεγέθη στις δύο βαθμονομήσεις του μοντέλου αναφέρονται:

- Στην τυπική απόκλιση της μεθόδου μέγιστης πιθανοφάνειας (ML sigma estimate) για κάθε μοντέλο,
- Στο τυπικό σφάλμα αμερόληπτου συντελεστή (unbiased sigma estimate) που ισούται με τον υπολογισμό από ένα στατιστικό δείγμα μιας εκτιμώμενης τιμής της τυπικής απόκλισης του δείγματος αυτού, κατά τρόπον ώστε η αναμενόμενη τιμή του να ισούται με την πραγματική,
- Στην τιμή της συνάρτησης μέγιστης πιθανοφάνειας (-2 log likelihood -),

- Οι τιμές κριτηρίων προσαρμογής (Classic AIC, AICc, BIC/MDL, CV) από τις οποίες ενδιαφέρει το διορθωμένο AICc.
- Οι δείκτες προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα (R squared και adjusted R squared) από τα οποία ενδιαφέρει το τελευταίο.

Η βελτίωση στην ερμηνεία του φαινομένου γίνεται ξεκάθαρη από το μέγεθος του R adjusted πράγμα που επιβεβαιώνει σε πρώτη φάση και την ανάγκη εφαρμογής ενός μοντέλου που συνυπολογίζει την χωρική εξάρτηση των μεταβλητών.

Παρακάτω φαίνονται η αναφορά για τα στατιστικά των χωρικά μεταβλητών συντελεστών.

Variable	Mean	STD	Min	Max	Range
Intercept	305.463368	139.180677	41.86331	473.588499	431.72519
intersection	55.610192	17.735494	28.061757	88.407808	60.346051
num_lanes	-73.567315	50.685707	-	19.42587	189.729198
uni	80.117761	118.08366	-144.52405	332.183563	476.707613
routes	4.337606	14.495143	-24.062151	30.328362	54.390512
Variable	Lwr Quartile	Median	Upr Quartile	Interquartile R	Robust STD
Intercept	174.761934	361.062609	425.265882	250.503948	185.696033
intersection	41.446022	52.712829	68.152283	26.706261	19.79708
num_lanes	-97.679159	-79.634639	-42.85011	54.82905	40.644218
uni	3.215723	48.279617	129.958037	126.742314	93.952791
routes	-6.921714	3.314719	18.348796	25.27051	18.732773

Πίνακας 5.2. Στατιστικά αποτελέσματα των συντελεστών

Το σημαντικότερο παράγωγο της GWR4 είναι ένα σύνολο τοπικών εκτιμήσεων – συντελεστών για κάθε σχέση. Λόγω του όγκου αυτών των τοπικών εκτιμήσεων και των τυπικών τους σφαλμάτων, δεν εκτυπώνονται στο αρχείο καταχώρισης αλλά αποθηκεύονται σε άλλο αρχείο. Ωστόσο, ως ένδειξη του εύρους της μεταβλητότητάς τους, δίνεται μια σύνοψη 5 αριθμών – μεγεθών των εκτιμήσεων αυτών. Τα μεγέθη αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος παρουσιάζει το διάμεσο, το ανώτερο και κατώτερο τεταρτημόριο, τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των δεδομένων. Αυτό είναι χρήσιμο για να εξαχθούν συμπεράσματα για το βαθμό χωρικής μεταβλητότητας σε μια σχέση συγκρίνοντας το εύρος του τοπικού συντελεστή με ένα διάστημα εμπιστοσύνης γύρω από την τιμή του συντελεστή του ισοδύναμου καθολικού μοντέλου. Με τον τρόπο αυτό, συγκρίνεται το εύρος τιμών των τοπικών εκτιμήσεων μεταξύ του κατώτερου και ανώτερου τεταρτημορίου με την τυπική απόκλιση κάθε παραμέτρου που προκύπτει από το καθολικό μοντέλο. Χαρακτηριστικά, εάν το εύρος τοπικών εκτιμήσεων μεταξύ της

περιοχής των τεταρτημορίων είναι μεγαλύτερο από το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης σημαίνει ότι η σχέση μπορεί να είναι μη στατική χωρικά.

Παρατηρείται στον πίνακα 5.3 πως η συνθήκη ικανοποιείται για το σύνολο των μεταβλητών δηλώνοντας τη χωρική τους εξάρτηση.

METABΛΗΤΗ	S.E.	2 * S.E.	ΕΥΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΩΝ
Intercept	8.001672	16.00334	250.503948
intersection	3.664572	7.329144	26.706261
num_lanes	-3.99754	-7.99508	54.82905
uni	1.278899	2.557798	126.742314
routes	-0.5788	-1.15759	25.27051

Πίνακας 5.3. Εύρος τεταρτημορίων ως προς τυπική απόκλιση

Μετά τη διαπίστωση της χωρικής συσχέτισης που επαληθεύει και τα αποτελέσματα του δείκτη Moran's I σε πρότερο κεφάλαιο, το πρόγραμμα ελέγχει τη βελτίωση των αποτελεσμάτων με το σταθμισμένο μοντέλο. Θεωρείται λοιπόν η μηδενική υπόθεση πως το σταθμισμένο μοντέλο δεν επέφερε καμία βελτίωση στα αποτελέσματα. Η συνθήκη αυτή εξετάζεται και ελέγχεται από τον πίνακα ANOVA (Analysis of Variance) ή Πίνακας ανάλυσης Διακύμανσης, ο οποίος μέσα από την τιμή του F αναιρεί την μηδενική υπόθεση δηλώνοντας την βελτίωση του μοντέλου από τα χωρικά βάρη. Ακολουθεί, ο έλεγχος της μεταβλητότητας των ανεξάρτητων παραμέτρων όπου σε περιπτώσεις που το αποτέλεσμα είναι αρνητικό ή μικρότερο των 2 μονάδων υπάρχει σημαντική χωρική διακύμανση.

GWR ANOVA Table				
Source	SS	DF	MS	F
Global Residuals	17324697.952	301.000		
GWR Improvement	5162488.579	14.914	346142.929	
GWR Residuals	12162209.374	286.086	42512.473	8.142150
Geographical variability tests of local coefficients				
Variable	F	DOF for F test	DIFF of Criterion	
Intercept	13.972166	1.955	290.884	-23.309035
intersection	3.964959	1.788	290.884	-3.387177
num_lanes	12.184855	2.328	290.884	-23.486454
uni	5.036477	1.605	290.884	-4.830278
routes	16.582970	2.088	290.884	-30.027427

Note: positive value of diff-Criterion (AICc, AIC, BIC/MDL or CV) suggests no spatial variability in terms of model selection criteria.
F test: in case of no spatial variability, the F statistics follows the F distribution of DOF for F test.

Εικόνα 5.8. Πίνακας ανάλυσης Διακύμανσης και Έλεγχος χωρικής μεταβλητότητας 4/6

Η εκτέλεση του προγράμματος συνεχίζει με την επιλογή και το διαχωρισμό των τοπικών και καθολικών παραμέτρων με στόχο την ελάχιστη τιμή του κριτηρίου AICc. Μέσω αυτού του δείκτη μάλιστα μπορούν να συγκριθούν τα μοντέλα (ακόμη και διαφορετικά) ως προς την προσαρμογή σε ίδιο σετ δεδομένων. Για τη βελτίωση του μοντέλου απαιτείται η μείωση του συντελεστή αυτού κατά τουλάχιστον 3 μονάδες.

```

*****
(L -> G) Variable selection from varying coefficients to fixed coefficients
*****
Bandwidth search <golden section search>
Limits: 56, 309
Golden section search begins...
Initial values
pL      Bandwidth: 56.000 Criterion: 4210.483
p1      Bandwidth: 61.385 Criterion: 4213.789
p2      Bandwidth: 64.714 Criterion: 4216.819
pU      Bandwidth: 70.099 Criterion: 4221.791
iter 1 (p1) Bandwidth: 61.385 Criterion: 4213.789 Diff: 3.328
iter 2 (p1) Bandwidth: 59.328 Criterion: 4212.786 Diff: 2.057
iter 3 (p1) Bandwidth: 58.057 Criterion: 4212.185 Diff: 1.271
iter 4 (p1) Bandwidth: 57.271 Criterion: 4211.354 Diff: 0.786
iter 5 (p1) Bandwidth: 56.786 Criterion: 4210.483 Diff: 0.486
Best bandwidth size 56.000
Minimum AICc 4210.483
Bandwidth search <golden section search>
Limits: 56, 309
Golden section search begins...
Initial values
pL      Bandwidth: 56.000 Criterion: 4190.561
p1      Bandwidth: 61.385 Criterion: 4195.058
p2      Bandwidth: 64.714 Criterion: 4199.155
pU      Bandwidth: 70.099 Criterion: 4205.938
iter 1 (p1) Bandwidth: 61.385 Criterion: 4195.058 Diff: 3.328
iter 2 (p1) Bandwidth: 59.328 Criterion: 4193.558 Diff: 2.057
iter 3 (p1) Bandwidth: 58.057 Criterion: 4192.642 Diff: 1.271
iter 4 (p1) Bandwidth: 57.271 Criterion: 4191.600 Diff: 0.786
iter 5 (p1) Bandwidth: 56.786 Criterion: 4190.561 Diff: 0.486
Best bandwidth size 56.000
Minimum AICc 4190.561
Bandwidth search <golden section search>
Limits: 56, 309
    
```

Εικόνα 5.9. Επιλογή μεταβλητών μέσω επαναληπτικής διαδικασίας 5/6

Με την αυτόματη επιλογή τοπικών και καθολικών παραμέτρων η εφαρμογή εκτελεί διαδοχικές επιλύσεις με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των μεταβλητών που επιλέγησαν, ως τοπικές ή καθολικές. Το μοντέλο με τα καλύτερα στατιστικά αποτελέσματα είναι και το καταληκτικό. Η διαδικασία αν και σύνθετη δεν είναι χρονοβόρα, ενώ στο τέλος δίνεται σύντομη αναφορά για την καταληκτική επιλογή μεταβλητών. Συγκρίνεται η αρχική τιμή του AICc με αυτή του τελικού μοντέλου μετά τις επιλύσεις. Στην αναφορά αναγράφεται και η διαφορά τους ελέγχοντας αν όντως ο αλγόριθμος λειτούργησε θετικά για τη δημιουργία δυνατόν πληρέστερου μοντέλου.

Κατόπιν αυτού, παρουσιάζεται η αναφορά του σταθμισμένου μοντέλου δίνοντας τα απαραίτητα μεγέθη τόσο για τις τοπικές μεταβλητές (ξεχωριστό αρχείο) όσο και για τις καθολικές, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

The summary of the L -> G variable selection model	AICc
GWR model before L -> G selection	4189.601397
GWR model after L -> G selection	4187.173711
Improvement	2.427685

Model summary and local stats are being updated by the improved model.

Εικόνα 5.10. Αποτέλεσμα επιλογής μοντέλου 6/6

Στην εικόνα 5.9 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της αυτόματης μεταβολής μεταβλητών από τοπικές σε καθολικές. Η επιλογή αυτή γίνεται με σκοπό την ελαχιστοποίηση της τιμής του κριτηρίου AICc. Το νέο μοντέλο βελτιώνεται και προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα.

Από την αναφορά στην GWR4 εξάγονται ακόμα πρόσθετα παράγωγα με τις επιμέρους τιμές των συντελεστών και τα στατιστικά τους αποτελέσματα. Λόγω του όγκου τους αποφεύγεται η παράστασή τους σε πίνακες. Προσφέρονται ωστόσο, για χαρτογράφηση με τη βοήθεια λογισμικού GIS. Στην εργασία χρησιμοποιείται το ArcMap λόγω της απλότητας στην αναπαράσταση χωρικών δεδομένων.

5.3.4. Χαρτογράφηση αποτελεσμάτων στο ArcMap

Αρχικά παρουσιάζονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο τελικό μοντέλο. Από αυτές καθολικές ήταν: η στάση μετά από σηματοδοτούμενο κόμβο, η σύνδεση με μέσα σταθερής τροχιάς και η εξάρτηση διαδοχικών στάσεων.

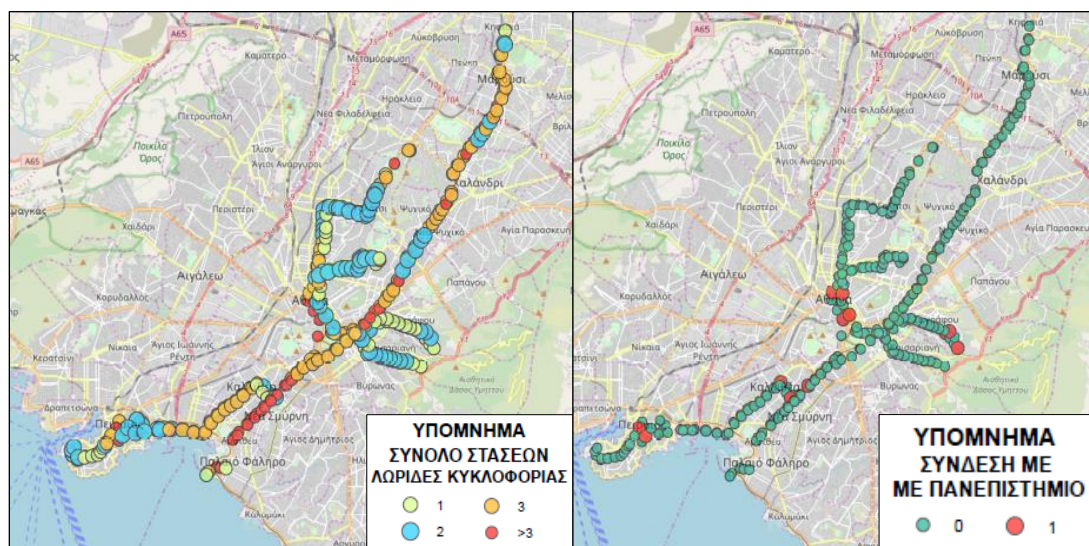


Εικόνα 5.11. Καθολικές Ανεξάρτητες μεταβλητές

Από την παραπάνω εικόνα γίνεται αντιληπτή η παρουσία των συγκεκριμένων μεταβλητών στην περιοχή μελέτης. Οι στάσεις που βρίσκονται μετά από σηματοδοτούμενο κόμβο είναι διάσπαρτες σε όλη την περιοχή. Απουσιάζουν από την Λ. Συγγρού και συγκεντρώνονται στην Λ. Ελ. Βενιζέλου στην Καλλιθέα και στην περιοχή του κέντρου όπου υπάρχει έντονη η παρουσία των κόμβων.

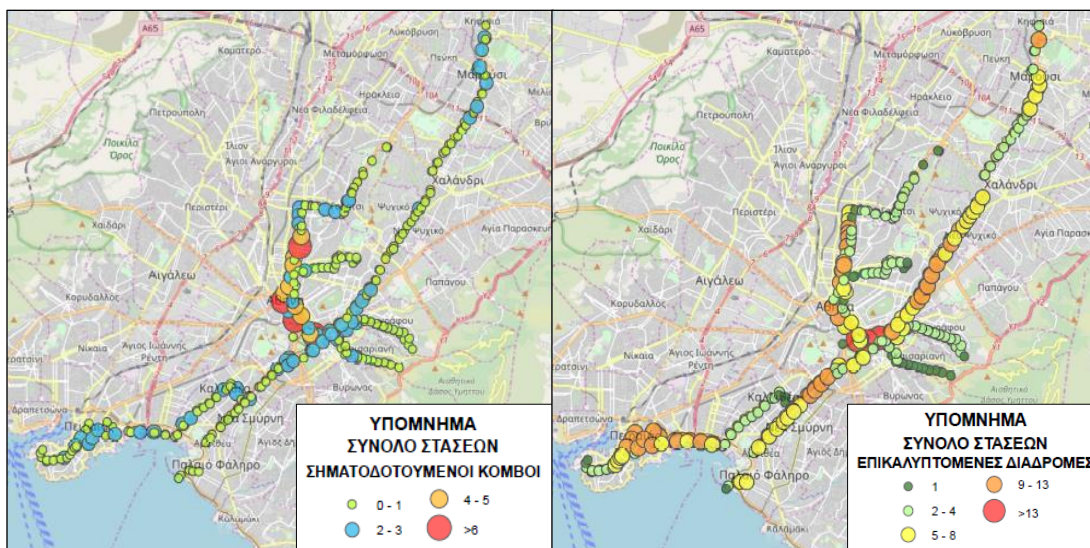
Συνεχίζοντας, φαίνονται οι στάσεις που επιτρέπουν τη σύνδεση με μέσα σταθερής τροχιάς. Βρίσκονται συγκεντρωμένες κυρίως στο κέντρο που εξυπηρετείται από τις γραμμές μετρό και σε προάστια που υπάρχει σύνδεση με τον ηλεκτρικό ή το τράμ. Τέλος, εμφανίζονται οι στάσεις που αλληλεπιδρούν με τις διαδοχικές τους (ίδιας γραμμής) λόγω εγγύτητας (Rashidi et al 2017). Βρίσκονται διάσπαρτες με εξαίρεση τη Λ. Συγγρού και τοπική αύξηση σε περιοχές όπως ο Πειραιάς, η Πατησίων και η Καισαριανή.

Ως τοπικές παράμετροι επιλέχθηκαν: ο αριθμός λωρίδων στη διατομή της στάσης, η σύνδεση με Πανεπιστήμιο, ο αριθμός κόμβων μεταξύ διαδοχικών στάσεων και οι επικαλυπτόμενες διαδρομές. Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του μεικτού μοντέλου παρατίθενται χάρτες με τις μεταβλητές αυτές όπως προκύπτουν από τα μητρώα δεδομένων.



Εικόνα 5.12. Τοπικές Ανεξάρτητες μεταβλητές 1/2

Στις εικόνες 5.11 και 5.12 φαίνονται οι τοπικές μεταβλητές του μοντέλου. Στην πρώτη, παρατηρούνται διατομές με αυξημένες λωρίδες κυκλοφορίας σε μεγάλες αρτηρίες εκτός κέντρου όπως Λ. Συγγρού, Λ. Κηφισίας και Λ. Ελ. Βενιζέλου, ενισχύοντας την ελεύθερη ροή οχημάτων. Αντίθετα, στην περιοχή του κέντρου υπάρχουν μικρότερες διατομές δυσχεραίνοντας τις ήδη επιβαρυσμένες κυκλοφοριακές συνθήκες και περιορίζοντας επίσης την δυνατότητα ελιγμών (προσπεράσεων). Ακόμα, παρουσιάζονται οι στάσεις σε περιοχές Πανεπιστημίων όπου γενικά υπάρχει αυξημένη ζήτηση λόγω του φοιτητικού κοινού. Αυτά συγκεντρώνονται στον Πειραιά, την Λ. Συγγρού, την περιοχή του Ζωγράφου και της Πατησίων.



Εικόνα 5.13. Τοπικές Ανεξάρτητες μεταβλητές 2/2

Στο χάρτη φαίνεται ο αριθμός των κόμβων στη διαδρομή από προηγούμενη στάση. Ο αριθμός αυτός είναι μικρός σε μεγάλες αρτηρίες πολλών λωρίδων με ελεύθερη ροή όπως η Λ. Συγγρού και η Κηφισίας. Το ίδιο παρατηρείται βέβαια και σε περιοχές εκτός κέντρου σε τοπικές οδούς όπως στην περιοχή του Ζωγράφου και της Καισαριανής. Αντίθετα, οι κόμβοι αυξάνουν στην περιοχή του κέντρου γύρω από το Σύνταγμα, το Πανεπιστήμιο και την Πατησίων.

Από την διαδικασία που εφαρμόζεται στο προηγούμενο κεφάλαιο εξάγεται ένα μητρώο τύπου .csv το οποίο φέρει όλη την πληροφορία για το χωρικά μεταβαλλόμενο μέρος του μεικτού μοντέλου. Κάθε παρατήρηση περιγράφεται από την κωδική της ονομασία – κωδικός αριθμός στάσης – και τη γεωγραφική της θέση – καρτεσιανές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87. Σε αυτά αντιστοιχίζεται επίσης:

- Ο σταθμισμένος συντελεστής κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής (est),
- η τυπική του απόκλιση και η σημαντικότητά του σύμφωνα με τα όρια εμπιστοσύνης κανονικής κατανομής (se και t αντίστοιχα).

Τα στοιχεία αυτά δίνονται αρχικά για τον σταθερό όρο κι έπειτα για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή. Αυτά ακολουθούνται από στατιστικά στοιχεία που αναφέρονται:

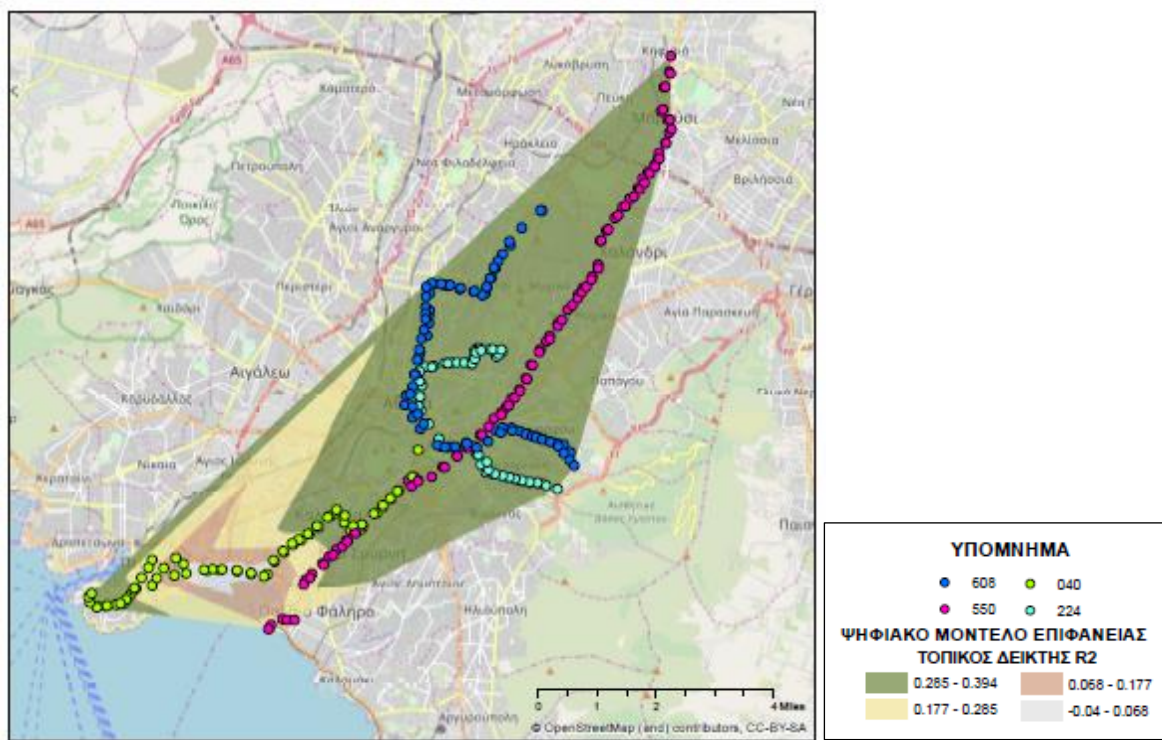
- Στην εξαρτημένη μεταβλητή y όπως δίνεται στα δεδομένα,
- Στην υπολογισμένη ή μεταβλητή πρόβλεψης του μοντέλου \hat{y} ,_{hat}
- Στη διαφορά των δύο και τα κανονικοποιημένα κατάλοιπα (residual και std residual),
- Στον τοπικό δείκτη ερμηνείας του μοντέλου localR2,
- Στον δείκτη Cooks Distance (CooksD) που ανιχνεύει ακραίες τιμές όπου το μοντέλο έχει μεγάλη ευαισθησία.

Παρακάτω φαίνεται ένα μέρος του μητρώου αυτού. Τα στοιχεία αυτά ερμηνεύονται καλύτερα με τη χαρτογράφησή τους στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών Arcmap.

Area key	x	y	est Intercept	se Intercept	t Intercept	est intersection	se intersection	t intersection	y	yhat	residual	std residual	localR2	CooksD
10340	478888.9	4208482	460.427	47.64482	9.663736	79.20855	15.49329	5.112443	396	378.7	17.301	0.0861	0.33465	0.000021
150021	478695.2	4208133	455.0528	49.68139	9.159422	83.34105	16.14747	5.161245	149	251.8	-102.8	-0.511	0.32656	0.00069
150038	478567.2	4207940	449.6057	50.42794	8.915805	84.79462	16.41303	5.1663	138	304.8	-166.8	-0.821	0.3234	0.001097
150006	478465.2	4207775	444.4133	50.45764	8.807653	85.02333	16.46247	5.164676	154	387.8	-233.8	-1.145	0.32345	0.001453
150007	478354	4207467	435.4053	50.48702	8.624104	85.44108	16.55951	5.159638	161	365.6	-204.6	-1.018	0.32591	0.002958

Εικόνα 5.14. Απόσπασμα αποτελεσμάτων GWR4

Στην εικόνα 5.13 παρατηρείται η προτελευταία στήλη με τον τοπικό δείκτη προσαρμογής του μοντέλου. Για την ερμηνεία του αξίζει να επισημανθεί πως ένα σταθμισμένο μοντέλο ουσιαστικά δημιουργεί μία εξίσωση παλινδρόμησης για κάθε ζεύγος συντεταγμένων, δηλαδή κάθε σημείο – παρατήρηση. Έτσι, σε κάθε σημείο δίνεται μία ένδειξη για το πόσο καλά έχει εφαρμόσει το μοντέλο στα δεδομένα. Από το πλήθος των τοπικών αυτών R2 εξάγεται και το καθολικό R2 adjusted που χαρακτηρίζει το μοντέλο. Στην παρούσα εργασία το μοντέλο απέδωσε R2 adjusted ίσο με 0.338 σύμφωνα με την εικόνα 5.6. Το σύνολο των τοπικών R2 παρουσιάζεται σε χάρτη περιγράφοντας την μέγιστη και ελάχιστη τιμή του στις αντίστοιχες περιοχές. Γίνεται έτσι κατανοητή η εφαρμογή των τοπικών μοντέλων ανά περιοχή.



Χάρτης 5.1. Τοπικός Δείκτης R2

Για τον χάρτη 5.1, λαμβάνοντας σαν αρχικό δεδομένο τις τιμές του δείκτη προσαρμογής για κάθε παρατήρηση, δημιουργήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας της τιμής αυτής. Χρησιμοποιώντας την οριζοντιογραφική θέση των παρατηρήσεων (x, y) και σαν τρίτη διάσταση το τοπικό R^2 , δόθηκε χρώμα σε όλη την περιοχή που αυτές ορίζουν, με γραμμική παρεμβολή. Εμφανίζεται έτσι, η βαθμιαία μεταβολή του ζητούμενου δείκτη. Επίσης, σημαίνονται με χρώμα οι στάσεις όπως αντιστοιχούν σε κάθε γραμμή ώστε να μπορεί να εξαχθεί άμεσα συμπέρασμα για την διαμόρφωση του δείκτη σε επίπεδο γραμμής.

Η μέγιστη τιμή του $localR^2$ ισούται με 0.394 και συναντάται στην στάση με κωδικό 200017 η οποία αντιστοιχίζεται στην 6^η ΖΩΓΡΑΦΟΥ της διαδρομής ΖΩΓΡΑΦΟΥ – ΑΚΑΔΗΜΙΑ – ΓΑΛΑΤΣΙ του 608. Στο χάρτη βρίσκεται στην πράσινη περιοχή. Αντίθετα, η ελάχιστη τιμή του τοπικού δείκτη υπολογίστηκε στην στάση με κωδικό 400087 και είναι ίση με -0.04. Είναι η στάση ΗΣΑΠ Ν. ΦΑΛΗΡΟΥ της διαδρομής ΣΥΝΤΑΓΜΑ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ του 040. Στο χάρτη η στάση βρίσκεται στην περιοχή γκρι χρώματος. Περιοχές καφέ και κίτρινου χρώματος σημαίνουν ενδιάμεσες τιμές του δείκτη προσαρμογής σύμφωνα με το υπόμνημα.

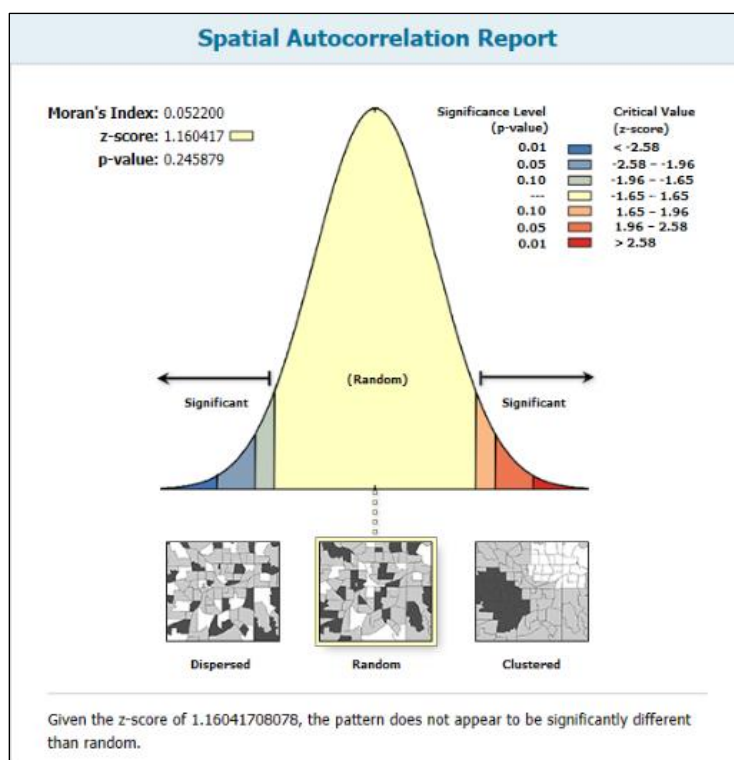
Εμφανίζοντας τα αποτελέσματα σε χάρτη παρατηρούνται μαζί με τις θετικές και κάποιες μηδενικές ή ακόμα και αρνητικές τιμές. Οι τελευταίες βαίνουν κάθετα στην φύση του δείκτη που εξετάζεται ως ποσοστό ερμηνείας των δεδομένων από το μοντέλο. Παρ'όλα αυτά, φαινόμενα αρνητικών τιμών του R^2 εμφανίζονται όταν οι ανεξάρτητες μεταβλητές αποτυγχάνουν στην ερμηνεία της εξαρτημένης (μη στατιστικά σημαντικές) ενώ άμεση σχέση έχει και το μέγεθος του δείγματος, η αύξηση του οποίου θα βελτιώσει το αποτέλεσμα αυτό.

Στην περίπτωση αυτή του χάρτη 5.1, πράγματι οι αρνητικές και μηδενικές τιμές συγκεντρώνονται σε περιοχή με παρατηρήσεις της ίδιας γραμμής χωρίς γειτνίαση με άλλες. Στην περιοχή εκείνη λοιπόν χρειάζονται επιπλέον παρατηρήσεις και το μοντέλο δεν κατάφερε να προσαρμοσθεί στα δεδομένα. Ωστόσο, η περιοχή αυτή είναι αρκετά περιορισμένη και δεν επηρεάζει το σύνολο των παρατηρήσεων.

Σε επόμενο στάδιο και πριν ξεκινήσει η μελέτη των επιμέρους ανεξάρτητων μεταβλητών ελέγχεται η χωρική κατανομή των κανονικοποιημένων υπολοίπων – *std residuals* – σύμφωνα με την παράγραφο 5.2 της μελέτης. Ο καθολικός δείκτης Moran's I εξετάζει την ύπαρξη χωρικού προτύπου στα κανονικοποιημένα υπόλοιπα (συγκεντρωτικό είτε διασκορπισμένο).

Μία από τις βασικές υποθέσεις την Ανάλυσης Παλινδρόμησης είναι η ανεξαρτησία των καταλοίπων της μεθόδου, δηλαδή της αφαίρεσης της υπολογισμένης από τη δεδομένη τιμή. Διαφορετικά, ανεξαρτησία μεταξύ των καταλοίπων – *residuals*. Η ανεξαρτησία αυτή αφορά στις τιμές των καταλοίπων ως προς τα γειτονικά τους. Με άλλα λόγια οι τιμές αυτές δεν διαμορφώνουν χωρικά πρότυπα (γειτονικές όμοιες ή αντίθετες τιμές).

Η τυχαία κατανομή τους λοιπόν φανερώνει την έλλειψη συσχέτισης και προσδίδει ακρίβεια και εγκυρότητα στο μοντέλο. Διαφορετικά, δημιουργούνται προβλήματα αξιοπιστίας και ακρίβειας του μοντέλου (heteroscedasticity και multicollinearity). Η ύπαρξη χωρικών προτύπων στα κατάλοιπα των διαφορών οδηγεί ακόμα σε βεβιασμένα αποτελέσματα, μέσα από την υπόθεση πως κανένας από τους συντελεστές των περιγραφικών μεταβλητών δεν παίρνει την τιμή 0. Τέλος, σφάλματα προκύπτουν και στην εκτίμηση της διακύμανσης των συντελεστών.

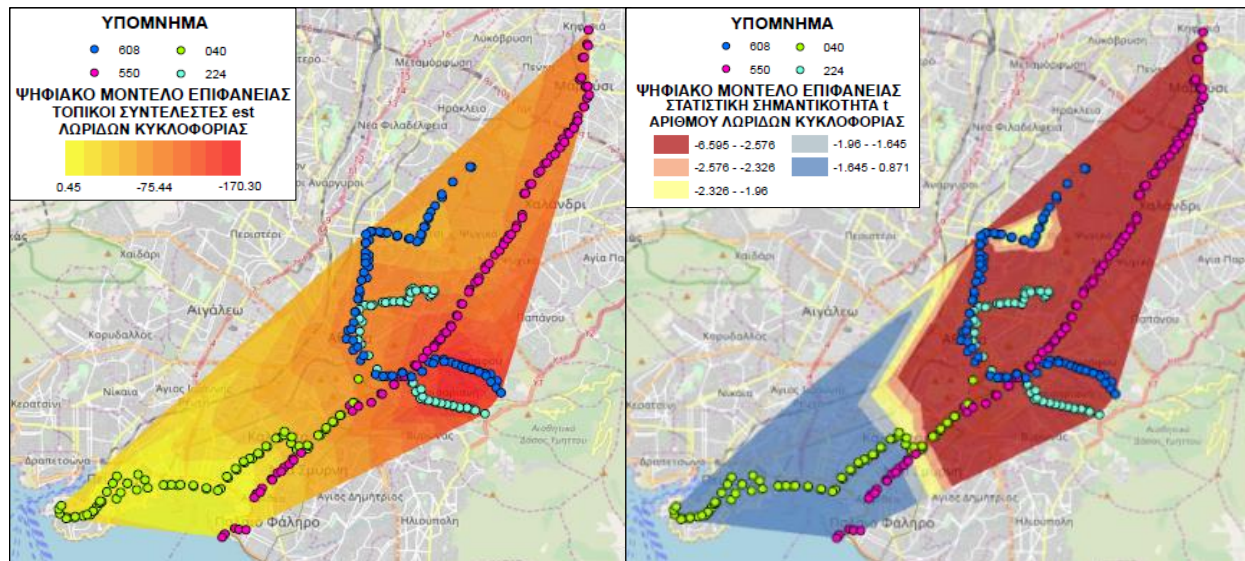


Εικόνα 5.15. Δείκτης Moran's I των κανονικοποιημένων υπολοίπων

Η τιμή του δείκτη Moran's I για τα κανονικοποιημένα κατάλοιπα παρουσιάζεται στην εικόνα 5.14 όπου και φαίνεται η τυχαία κατανομή τους στην περιοχή μελέτης. Αντίθετα αποτελέσματα οδηγούν στην απόρριψη του μοντέλου ή την εισαγωγή επιπλέον μεταβλητών.

Με την επιβεβαίωση του μοντέλου μπορεί να συνεχίσει η ανάλυση των αποτελεσμάτων και των στατιστικών τους μεγεθών. Παρακάτω παρουσιάζονται για κάθε τοπική μεταβλητή χάρτες με τις τιμές του συντελεστή της ανά σημείο αλλά και της σημαντικότητας αυτού σε κάθε περιοχή.

- Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας στη διατομή της στάσης:



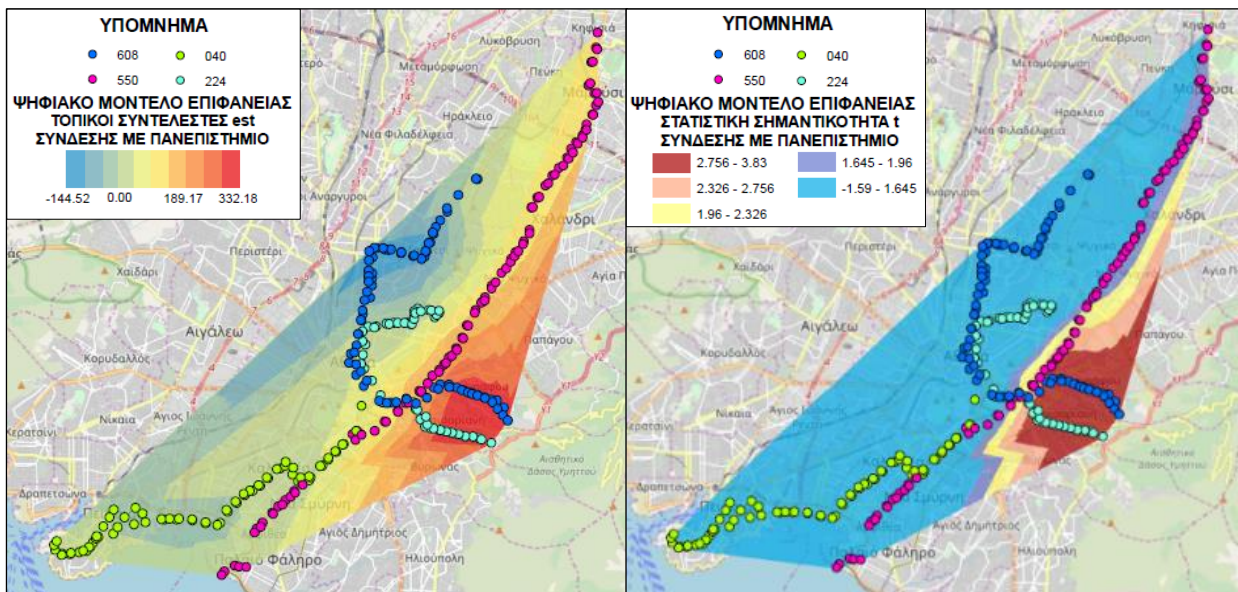
Χάρτης 5.2. Συντελεστής και σημαντικότητα αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας

Από το παράγωγο του μοντέλου προκύπτει ο παραπάνω χάρτης. Το αριστερό μέρος παρουσιάζει την μεταβολή του συντελεστή στην περιοχή μελέτης με την κίτρινη επιφάνεια να παίρνει τιμές γύρω από το μηδέν και σταδιακά οι πορτοκαλί και κόκκινες ζώνες ν' αντιστοιχούν σε αρνητικές τιμές, με μέγιστη αρνητική τιμή ίση με -170.3. Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει τον περιορισμό του φαινομένου συνωστισμού με την αύξηση των λωρίδων κυκλοφορίας. Η ερμηνεία αυτή είναι λογική αν αναλογισθεί κανείς ότι η άυξηση του αριθμού των λωρίδων συμβάλλει στην αποσυμφόρηση της οδού και δίνει τη δυνατότητα για ελιγμούς και προπεράσεις αντί καθυστερήσεων.

Στο δεξί μέρος σημαίνεται η σημαντικότητα της μεταβλητής σύμφωνα με τα επίπεδα εμπιστοσύνης της κανονικής κατανομής. Μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώνονται στην κόκκινη ζώνη ωστόσο μη σημαντική αποδεικνύεται μόνο στην σκούρα μπλε περιοχή. Το μέρος αυτό της περιοχής μελέτης φέρει δεδομένα μίας γραμμής του 040. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη απόστασή του από το κέντρο θεωρείται ότι οδηγεί στα συγκεκριμένα επίπεδα σημαντικότητας. Τοπικά η τιμή της μειώνεται, εντός των επιθυμητών ορίων με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη συμβολή των λεωφόρων Γαλασίου και Βεϊκου όπου η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι αισθητά μικρότερη του κέντρου και επομένως δεν υπάρχουν σημαντικές καθυστερήσεις. Έτσι, τοπικά η μεταβολή της διατομής της οδού ενδέχεται να μην επηρεάσει τη δημιουργία συστάδων λεωφορείων.

- Σύνδεση με Πανεπιστήμιο

Όσον αφορά τη σύνδεση με Πανεπιστήμιο, όπως φαίνεται παραπάνω γίνεται σε τρεις από τις 4 γραμμές που εξετάζονται, σε συγκεκριμένες στάσεις.



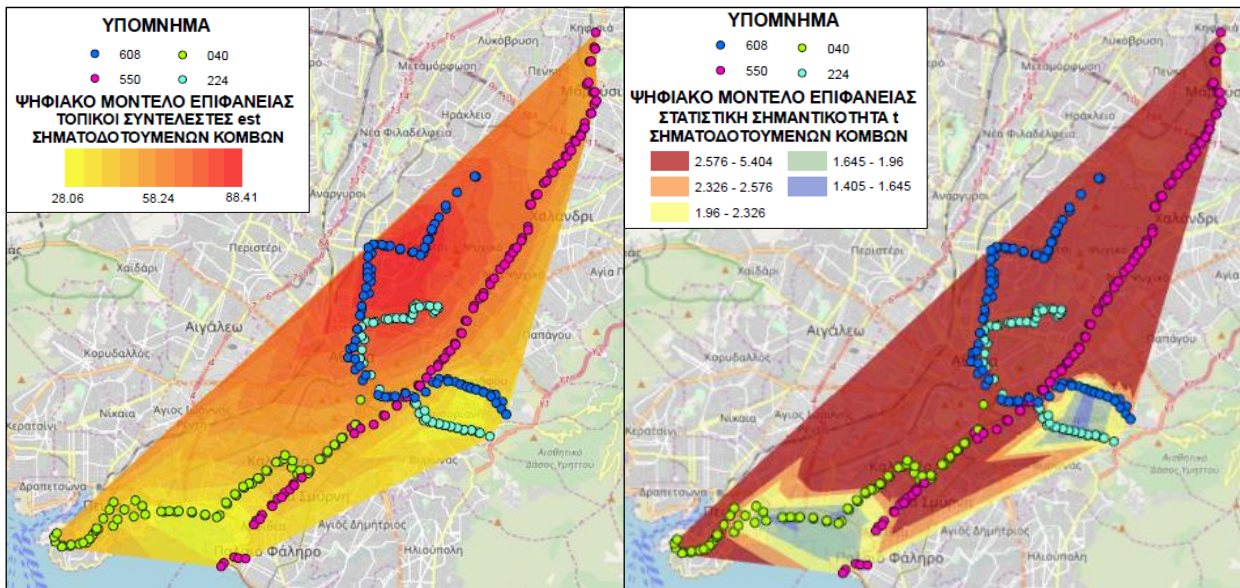
Χάρτης 5.3. Συντελεστής και σημαντικότητα σύνδεσης Πανεπιστημίου

Παρατηρείται λοιπόν από την δεξιά μεριά η μεταβολή του συντελεστή της μεταβλητής αυτής η οποία παρουσιάζει ένα σημαντικό εύρος τιμών περίπου στις 477 μονάδες, με ελάχιστη τιμή συντελεστή -144 και μέγιστη 332. Περιοχές με εκπαιδευτικά Ιδρύματα όπως η Ζωγράφου και η Ακαδημία έχουν θετικούς συντελεστές με υψηλές τιμές. Ακόμα θετικές τιμές εμφανίζονται και στην περιοχή του Πειραιά αφού εξυπηρετείται το αντίστοιχο Πανεπιστήμιο. Οι τιμές φθίνουν με την απομάκρυνση από αυτές τις περιοχές και αναπόφευκτα μηδενίζονται, στα μέρη πράσινου χρώματος. Το Γαλάτσι συγκεντρώνει αρνητικούς συντελεστές με μέγιστες κατά απόλυτες τιμές στη Λ. Γαλατσίου.

Η σημαντικότητα στο δεξί μέρος, αποδίδεται με τη βοήθεια των διαστημάτων εμπιστοσύνης της κανονικής κατανομής. Με κέντρο την περιοχή του Ζωγράφου και πέριξ αυτής οι τιμές του συντελεστή είναι σημαντικές. Αρκετά εκτεταμένη είναι η ζώνη με μικρή σημαντικότητα παρά την ύπαρξη αντίστοιχων ιδρυμάτων. Παρ'όλα αυτά τοπικά οι περιοχές με χαμηλή σημαντικότητα στη μεταβλητή αυτή επηρεάζονται από άλλους παράγοντες όπως ο αριθμός των κόμβων, η βαριά κυκλοφοριακή συμφόρηση στα κέντρα (Αθήνα, Πειραιάς) και αυξημένη επιβατική κίνηση. Επομένως κρίνεται πως ο παράγοντας για την εξυπηρέτηση Πανεπιστημίου στη ζώνη αυτή δεν είναι καθοριστικός.

• Αριθμός σηματοδοτούμενων κόμβων από προηγούμενη στάση

Στον χάρτη 5.4 περιγράφεται η μεταβολή του συντελεστή του αριθμού σηματοδοτούμενων κόμβων από προηγούμενη στάση καθώς και η σημαντικότητά της τοπικά.

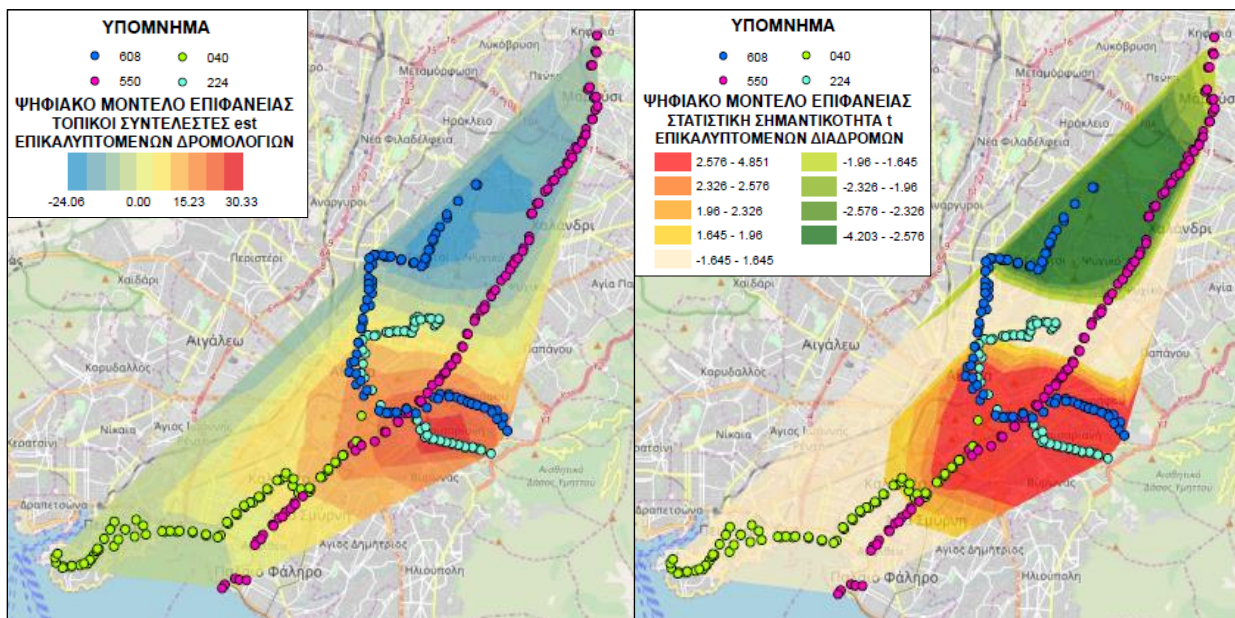


Χάρτης 5.4. Συντελεστής και σημαντικότητα αριθμού σηματοδοτούμενων κόμβων

Εμφανίζοντας μόνο θετικές τιμές η μεταβλητή έχει ελάχιστους συντελεστές με τιμές περίπου 28 σε περιοχές κίτρινου χρώματος – κυρίως στην περιοχή του Ζωγράφου και της παραλιακής στο ύψος του Μοσχάτου και Νέου Φαλήρου. Ατίθεται, μεγάλες τιμές, έως 88, έχει στην περιοχή του Γαλασίου και στην ομώνυμη λεωφόρο. Η εστία του κέντρου της Αθήνας έχει ενδιάμεσες τιμές. Το αποτέλεσμα αυτό συμβαδίζει με την παρουσία των κόμβων και εξηγεί πως με την αύξησή τους ενισχύεται το φαινόμενο του Συνωστισμού Λεωφορείων. Αυτό είναι λογικό αν αναλογισθεί κανείς τις πρόσθετες καθυστερήσεις λόγω ρύθμισης κυκλοφορίας από τους φωτεινούς σηματοδότες. Αυτοί συνεπάγονται την συστηματική διακοπή της ελεύθερης ροής των οχημάτων. Σε περιπτώσεις προσπέλασης λιγότερων κόμβων οι επιβραδύνσεις και καθυστερήσεις περιορίζονται.

Η σημαντικότητα του συντελεστή είναι σε πλέον ικανοποιητικά όρια και κατά τόπους μειώνεται, μάλιστα στις περιοχές όπου οι τιμές του συντελεστή μειώνονται. Μη σημαντικές περιοχές σχεδόν απουσιάζουν με μόνη ύπαρξη περιοχών με έλλειψη δεδομένων. Στο σημείο αυτό αξίζει να γίνει αντιπαραβολή με τη σύνδεση με Πανεπιστήμια και τον χάρτη 5.3 όπου και εμφανίζεται αντιστραμμένη η εικόνα του χάρτη 5.4. Αποδεικνύεται, λοιπόν, πως η μη σημαντικότητα ενός συντελεστή τοπικά σχετίζεται με την περιγραφή του φαινομένου στην περιοχή από διαφορετικούς παράγοντες. Αυτό βέβαια ενισχύει και την επιλογή του σταθμισμένου μοντέλου για την διερεύνηση φαινομένων Συνωστισμού.

• Επικαλυπτόμενα δρομολόγια

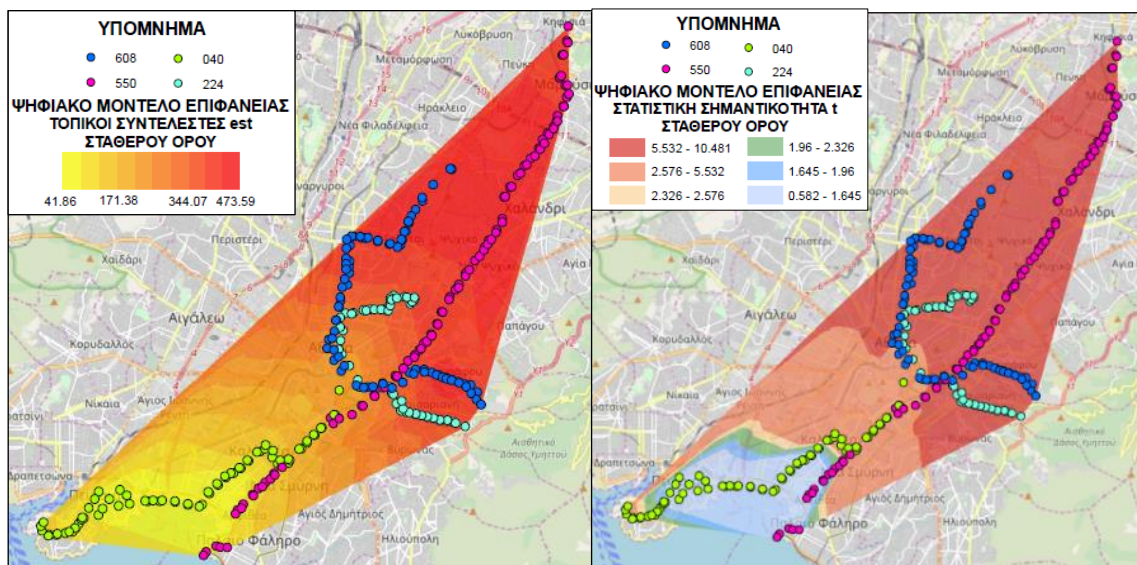


Χάρτης 5.5. Συντελεστές και σημαντικότητα επικαλυπτόμενων δρομολογίων

Στον χάρτη 5.5 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή των επικαλυπτόμενων δρομολογίων, που εκφράζεται από τον αριθμό των γραμμών που εξυπηρετεί η στάση, και της σημαντικότητάς του. Το εύρος τιμών του συντελεστή είναι περίπου 55 μονάδες και η μεταβολή των τιμών γίνεται αντιληπτή από την επιλογή χρώματος. Οι μπλε περιοχές συμβολίζουν αρνητικό συντελεστή και οι κόκκινες θετικό. Στην πρώτη περίπτωση, η αύξηση των γραμμών που εξυπηρετεί η στάση αποτρέπει το Συνωστισμό Λεωφορείων. Αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις χαμηλής συχνότητας (ή/ και μεγάλου φόρτου) όπου αυξάνει η επιβατική κίνηση και εκτονώνεται από την εξυπηρέτηση γραμμών κοινών διαδρομών. Στη δεύτερη περίπτωση, η ύπαρξη διαφορετικών γραμμών με κοινά δρομολόγια εντείνει τα φαινόμενα συνωστισμού. Αυτό διότι η μεγάλη συχνότητα σε συνδυασμό με τις πολλαπλές γραμμές αυξάνει την πιθανότητα ταυτόχρονης άφιξης είτε λεωφορείων ίδιας είτε διαφορετικής γραμμής. Ωστόσο, το αποτέλεσμα παραμένει κοινό με το ακόλουθο όχημα να μην μπορεί να λειτουργήσει στη στάση μέχρις ότου απομακρυνθεί το προπορευόμενο. Πράγματι η διπλή αυτή συμβολή της μεταβλητής υφίσταται και μάλιστα προτείνεται μία βέλτιστη συχνότητα περί των 20 λεπτών για την οποία λεωφορεία με κοινές διαδρομές δεν θα συνέπιπταν σε στάση (Diab et al 2015).

Παρά το γεγονός πως η μη σημαντική περιοχή είναι εκτεταμένη, αφορά υποπεριοχές με απουσία παρατηρήσεων ή με παρατηρήσεις μίας μόνο γραμμής. Περιοχές κέντρου έχουν μεγάλη σημαντικότητα η οποία φθίνει με την απομάκρυνση από αυτό.

- Σταθερός όρος



Χάρτης 5.6. Συντελεστής και σημαντικότητα σταθερού όρου

Εκτός από τις τοπικές μεταβλητές το μοντέλο για τη Σταθμισμένη Παλινδρόμηση εισάγει έναν σταθερό όρο με σκοπό να συνηπολογίσει όλες εκείνες τις παραμέτρους που δεν εισάγονται στο μοντέλο. Στην παράγωγη αναφορά δίνονται εξίσου τα στοιχεία του όρου αυτού για τη χαρτογράφηση του με τρόπο ίδιο με τις άνω μεταβλητές.

Σε όλη την περιοχή μελέτη ο συντελεστής είναι θετικός, με μεγάλο εύρος τιμών. Η αύξησή του υποδηλώνει την ένταση φαινομένων συνωστισμού. Ελάχιστες τιμές αφορούν την περιοχή των Νοτίων Προαστίων ενώ οι μέγιστες παρατηρούνται από το Ψυχικό και βορειότερα.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Από το ευρύ πεδίο των Συγκοινωνιακών Συστημάτων η παρούσα εργασία εστίασε στις αστικές συγκοινωνίες και ιδιαίτερα στην παθογένεια των λεωφορειακών γραμμών. Αυτή εκφράζεται κυρίως με καθυστερήσεις και απόκλιση από το πρόγραμμα έως ότου ενταθούν και καταλήξουν σε ταυτόχρονη άφιξη λεωφορείων ίδιας γραμμής σε στάση. Το φαινόμενο περιγράφεται ως Συνωστισμός Λεωφορείων ή Bus Bunching σύμφωνα με ξένη βιβλιογραφία. Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν η ανάπτυξη μοντέλων για τη διερεύνηση των παραμέτρων που σχετίζονται με το φαινόμενο και η ποιοτική ερμηνεία τους.

6.1. Σύνοψη της μελέτης

Για τις ανάγκες της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά δεδομένα του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (ΟΑΣΑ Α.Ε.) της μορφής αυτόματου εντοπισμού, γνωστά και ως AVL. Τα δεδομένα αυτά αφορούν τις γραμμές 608, 550, 040 και 224 και την περίοδο Σεπτέμβριος – Δεκέμβριος του 2017. Αφού μελετήθηκαν, κρίθηκε πως υποστηρίζουν τη δημιουργία Δυναμικού Λογιστικού Μοντέλου Παλινδρόμησης το οποίο και πραγματοποιήθηκε σε προγραμματιστική γλώσσα Python.

Εξαρτημένη μεταβλητή ορίσθηκε η γένεση του Συνωστισμού λεωφορείων με τιμές 0 και 1, ως απόρροια του χρονικού διαχωρισμού διαδοχικών δρομολογίων τα τρία λεπτά της ώρας. Οι παράγοντες που αποδείχθηκε πως επιδρούν επιβαρυντικά στο φαινόμενο αυτό είναι οι ημέρες απεργιών των μέσων σταθερής τροχιάς όταν και η κατανομή του επιβατικού φόρτου αλλάζει ολοκληρωτικά ευνοώντας τις καθυστερήσεις. Παρόμοια επιδρούν και περίοδοι αιχμής εντός του 24ώρου όπου τόσο οι κυκλοφοριακές συνθήκες όσο και η ζήτηση για μετακίνηση αυξάνουν σημαντικά. Η ύπαρξη στάσης σε απόσταση μεγαλύτερη ή ίση των εξήντα μέτρων από σηματοδοτούμενο κόμβο ενισχύει το φαινόμενο του Συνωστισμού λόγω έλλειψης συνθηκών ρύθμισης της κυκλοφορίας. Αλλά και η ύπαρξη στάσεων εντός της περιοχής του δακτυλίου ή και σε απόσταση μικρότερη των τριάντα μέτρων από φωτεινό σηματοδότη, αυξάνουν τις καθυστερήσεις επιβαρύνοντας τα προγραμματισμένα δρομολόγια. Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από τις δυσμενείς συνθήκες του κέντρου αλλά και τις διαδοχικές στάσεις στη δεύτερη περίπτωση. Αντίθετα, εθνικές εορτές και σχολικές αργίες επιδρούν ευεργετικά εφόσον μειώνεται η ζήτηση για μετακίνηση λόγω παύσης υπηρεσιών και λοιπών υποχρεώσεων. Εξίσου σημαντική στην αποφυγή δημιουργίας συστάδας οχημάτων είναι και η προγραμματισμένη συχνότητα των δρομολογίων η οποία και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του 24ώρου αλλά και από καθημερινές σε Σαββατοκύριακα. Άλλες παράμετροι που περιγράφουν χαρακτηριστικά της στάσης έχουν μικρότερη συμμετοχή στο μοντέλο και αναλύονται σε παραπάνω κεφάλαια.

Μέσα από το Δυαδικό μοντέλο μελετήθηκαν παράμετροι που αφορούν τόσο χαρακτηριστικά της στάσης όσο και της γραμμής σαν σύνολο παρατηρήσεων. Ακόμα, σημαντική είναι και η παρουσία του χρόνου όπως εκφράζεται από τις αντίστοιχες μεταβλητές. Παρ' όλα αυτά το μέγεθος του συντελεστή προσαρμογής υποδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω μελέτης και χρήσης μεταβλητών. Για τον λόγο αυτό ακολούθησε η προσέγγιση του Χωρικά Σταθμισμένου Μοντέλου Παλινδρόμησης και η διερεύνηση χωρικής αυτοσυσχέτισης των μεταβλητών. Για το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό (GWR4 και Arcmap).

Το σταθμισμένο μοντέλο επέτρεψε την επιλογή παραμέτρων μονοσήμαντα ορισμένων για το σύνολο της περιοχής μελέτης αλλά και την επιλογή χωρικά μεταβαλλόμενων μεταβλητών. Οι πρώτες είναι η χωροθέτηση στάσης μετά από σηματοδοτούμενο κόμβο, η αλληλεπίδραση των στάσεων λόγω εγγύτητας και η σύνδεση με μέσα σταθερής τροχιάς. Από αυτές προσθετικά στη γένεση συνωστισμού λειτουργούν η εγγύτητα των στάσεων και η σύνδεση με μέσα σταθερής τροχιάς. Τα αποτελέσματα αυτά υπογραμμίζουν την ανάγκη μελέτης εκτεταμένων γραμμών με πλήθος στάσεων και μεγάλες μεταξύ αποστάσεις με σκοπό κατά την ενδιάμεση διαδρομή να μπορούν τα λεωφορεία να αυξήσουν το διαχωρισμό τους χωρίς απαραίτητη επιβολή μέτρων. Άλλος παράγοντας που γίνεται ξεκάθαρο πως διαμορφώνει το φαινόμενο αυτό είναι η επιβατική κίνηση που αλλάζει σε συγκοινωνιακούς κόμβους όπως είναι οι στάσεις πλησίον μετρό. Από την άλλη πλευρά, οι τοπικές μεταβλητές ποικίλλουν σε μέγεθος συντελεστή, πρόσημο και σημαντικότητα ανά την περιοχή μελέτης δημιουργώντας μοντέλα όσα και οι παρατηρήσεις και διαμορφώνοντας ένα τελικό. Χαρακτηριστικά βρέθηκε πως η αύξηση των λωρίδων κυκλοφορίας βελτιώνει το πρόβλημα του συνωστισμού ιδιαίτερα στην περιοχή Ζωγράφου και Καισαριανή αλλά και στο κέντρο της Αθήνας αφού διευκολύνει την κυκλοφοριακή ροή. Μικρότερης σημαντικότητας είναι η μεταβλητή στην περιοχή του Πειραιά. Η σύνδεση με Πανεπιστήμιο επιβαρύνει την κατάσταση ενώ περιοχές χωρίς αυτό το σκοπό παρουσιάζουν μία βελτιωμένη εικόνα. Το γεγονός υπογραμμίζει τη δυναμική του φοιτητικού κοινού και της παρουσίας τους στις λεωφορειακές μετακινήσεις. Άλλη παράμετρος που διατηρεί τον Συνωστισμό Λεωφορείων είναι η αύξηση των σηματοδοτούμενων κόμβων μεταξύ διαδοχικών στάσεων. Μεγαλύτερη είναι η συνεισφορά στην περιοχή του Γαλασίου, με τους κόμβους να καθυστερούν την άφιξη σε στάση. Τέλος, αποδίδεται πλήρως η διττή σημασία του αριθμού εξυπηρετούμενων γραμμών από στάση με την περιοχή του Ζωγράφου και του κέντρου να συνεισφέρουν θετικά στην απόκλιση από το πρόγραμμα με την αύξηση των γραμμών σε αντίθεση με την περιοχή του Γαλασίου όπου και ο συνωστισμός περιορίζεται.

6.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων αποδίδει την σημασία κάθε μεταβλητής και τις ελλείψεις του μοντέλου δίνοντας την ευκαιρία για προτάσεις περαιτέρω έρευνας, ιδέες και κατευθύνσεις. Από τα αποτελέσματα ξεκάθαρη είναι η ανάγκη υπολογισμού της επιβατικής κίνησης και μάλιστα ως παράγοντα τοπικού χαρακτήρα εφόσον διαμορφώνεται γύρω από περιοχές με χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτές των Πανεπιστημίων. Άλλος παράγοντας που κρίνεται σημαντικός είναι ο χρόνος και η εισαγωγή του σε χωρικά σταθμισμένο μοντέλο. Συγκεκριμένα, μεγάλο ενδιαφέρον θα υπήρχε για την παρατήρηση ενός μεικτού μοντέλου, σαν αυτό που αναλύεται παραπάνω, στον χρόνο. Άμεση ανάγκη είναι και η προέκταση της μελέτης όχι σε επιλεγμένες γραμμές αλλά σε ένα ευρύτερο δίκτυο που θα αναδείξει καλύτερα τους τοπικούς παράγοντες και τις αδυναμίες κάθε περιοχής. Θα συσχετίσει ακόμα τις γραμμές μεταξύ τους συγκρίνοντας και αντιπαραβάλλοντας εύρυθμες με επιβαρυμένες γραμμές. Στο πλαίσιο αυτό μπορεί ακόμα να μελετηθεί και η ταυτόχρονη άφιξη λεωφορείων διαφορετικών γραμμών, το οποίο επιδερμικά εισάγεται από την μεταβλητή για την εξυπηρέτηση επικαλυπτόμενων διαδρομών. Σε άλλα επίπεδα η μελέτη παρουσιάζει ενδιαφέρον ως μία βάση για την κατανόηση του προβλήματος του Συνωστισμού Λεωφορείων και την απώλειας λειτουργικότητάς τους. Έχοντας μέσα από την παρούσα διπλωματική εργασία, αποσαφηνίσει αρκετούς παράγοντες και πως αυτοί επιδρούν, μπορούν πλέον να υπάρξουν μελέτες για την ανάπτυξη μεθόδων για την επίλυση του προβλήματος και την βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης των αστικών συγκοινωνιών στην Αθήνα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arriagada J. , Gschwender A. , Munizaga M. A. , Martin T. , 2018 . Modeling bus bunching using massive location and fare collection data, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, ISSN: 1547-2450 (Print) 1547-2442 (Online) , DOI: 10.1080/15472450.2018.1494596 .
- Blainey S. , Mulley C. , 2013 . Using Geographically Weighted Regression to forecast rail demand in the Sydney Region , Paper Presented at the Australasian Transport Research Forum (ATRF), 36th, Brisbane, Queensland, Australia .
- Cardozo O. D. , García – Palomares J. C. , Gutiérrez J. , 2012 . Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station – level , *Applied Geography* 34 , pp. 548 – 558 , DOI: 10.1016/j.apgeog.2012.01.005 .
- Charlton M. , Fotheringham S. , Brunsdon C. , 2006 . GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION , *NCRM Methods Review Papers* , NCRM/006 , Discussion Paper , Unpublished .
- Diab E. , Bertini R. , El-Genaidy A. , 2016 . Bus transit service reliability: Understanding the impacts of overlapping bus service on headway delays and determinants of bus bunching. Paper presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. , USA .
- Du H. , Mulley C. , 2006 . Relationship Between Transport Accessibility and Land Value: Local Model Approach with Geographically Weighted Regression , *Transp. Res. Record Journal of the Transportation Research Board* 1977 (1977) , 197-205 , DOI: 10.3141/1977-25 .
- Feng W. , Figliozzi M. , 2015 . Empirical analysis of bus bunching characteristics based on bus AVL/APC data. Paper presented at the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board , Washington , D.C. , USA .
- Fonzone, A. , Schmöcker, J.-D. , Liu, R. , 2015. A model of bus bunching under reliability-based passenger arrival patterns. In: *Selected Proceedings of the 21th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (ISTTT)*. *Transport Research Part C*, 59, pp. 164–182 . ISSN 0968-090X .
- Matthias A. , Nair R. , 2017 . A predictive-control framework to address bus bunching , *Transp. Res. Part B* 104 , 123–148 , DOI: 10.1016/j.trb.2017.06.013 .
- Moreira-Matias L. , Ferreira C. , Gama J. , Mendes-Moreira J. , de Sousa J. F. , 2012. Bus Bunching Detection by Mining Sequences of Headway Deviations , *Industrial Conference on Data Mining : Advances in Data Mining. Applications and Theoretical*

- Aspects , In P. Pedra (Ed.), *Advances in data mining. Applications and theoretical aspects* (Vol. 7377 , pp. 77–91). Springer Berlin Heidelberg .
- Moreira-Matias L. , Gama J. , Mendes-Moreira J. , de Sousa J. F. , 2014. An incremental probabilistic model to predict bus bunching in real-time. *Lecture Notes in Computer Science*, 8819, 227-238. DOI: 10.1007/978-3-319-12571-8_20 .
- Pilachowski, J.M. (2009) *An Approach to Reducing Bus Bunching*. PhD Thesis, University of California, Berkeley .
- Pirdavani A. , Bellemans T. , Brijs T. , Wets G. , 2014 . Application of Geographically Weighted Regression Technique in Spatial Analysis of Fatal and Injury Crashes, *Journal of Transportation Engineering* vol. 140 , Issue 8 , DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000680 .
- Rashidi S. , Ranjitkar P. , Csaba O. , Hooper A. , 2017. Using Automatic Vehicle Location Data to Model and Identify Determinants of Bus Bunching , *Transp. Res. Procedia* 25 , 1444 – 1456 .
- Saefuddin A. , Setiabudi N. A. , Fitrianto A. , 2012 . On Comparison Between Logistic Regression and Geographically Weighted Logistic Regression: with Application to Indonesian Poverty Data , *World Applied Sciences Journal* 19 (2) , pp. 205-210, ISSN 1818-4952 , DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.02.528 .
- Schmöcker J.D. , Sun W. , Fonzone A. , Liu R. , 2016. Bus bunching along a corridor served by two lines. *Transp. Res. Part B* vol. 93, 300 – 317 . DOI :10.1016/j.trb.2016.07.005 .
- Verbich D. , Diab E. , El-Geneidy A. , 2016 . Have they bunched yet? An exploratory study of the impacts of bus bunching on dwell and running times. *Public Transport: Planning and Operations* , 8(2) , 225–242 .
- Wu W. , Liu R. , Jin W. , 2017 . Modelling bus bunching and holding control with vehicle overtaking and distributed passenger boarding behaviour , *Transp. Res. Part B* vol. 104, 175–197 , DOI:10.1016/j.trb.2017.06.019 .
- Yu H. , Chen D. , Wu Z. , Ma X. , Wang Y. , 2016 . Headway-based bus bunching prediction using transit smart card data , *Transp. Res. Part C* 72 , 45–59 , DOI: 10.1016/j.trc.2016.09.007 .
- Zhao F. , Chow F. L. , Li M. T. , Liu X. , 2006 . A Transit Ridership Model Based on Geographically Weighted Regression and Service Quality Variables , *Transp. Res. Record Journal of the Transportation Research Board* 1972 (1) , pp. 105-114 , DOI: 10.3141/1972-15 .