



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ ΤΟΥ COVID-19**  
**ΣΤΗΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΛΟΝΔΙΝΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ**  
**ΜΗ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ**

**ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

*Επιβλέπουσα: Σπυροπούλου Ιωάννα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια*

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ  
ΤΕΧΝΙΚΗΣ



*Αθήνα, Οκτώβριος 2022*



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**

**SCHOOL OF RURAL, SURVEYING AND GEOMATICS ENGINEERING**

**DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT**

Diploma Thesis

**INVESTIGATION OF THE IMPLICATIONS OF THE COVID-19 PANDEMIC  
ON THE PASSENGER TRAFFIC OF THE LONDON UNDERGROUND  
UTILIZING SPATIAL ANALYSIS**

**SOFIANOPOULOS NIKOLAOS**

*Supervisor: Spyropoulou Ioanna, Associate Professor*

**LABORATORY OF  
TRANSPORTATION ENGINEERING**



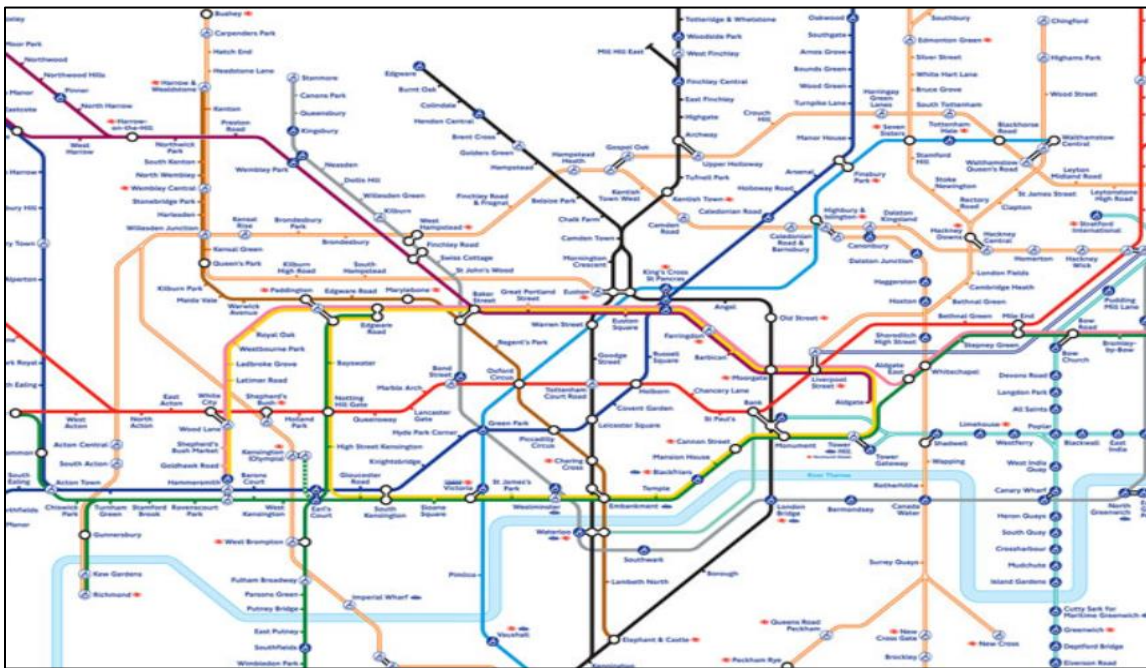
*Athens, October 2022*



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ ΤΟΥ COVID-19 ΣΤΗΝ**  
**ΕΠΙΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΛΟΝΔΙΝΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΗ**  
**ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ**



**ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

*Επιβλέπουσα: Σπυροπούλου Ιωάννα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια*

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ**  
**ΤΕΧΝΙΚΗΣ**



**Αθήνα, Οκτώβριος 2022**

## ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

*Δηλώνω ότι η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί στο σύνολο της δική μου εργασία, και κανένα τμήμα της δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την κτήση άλλου τίτλου σπουδών. Όπου έχει χρησιμοποιηθεί υλικό από άλλες πηγές, αυτές έχουν αναφερθεί με ακρίβεια και πληρότητα.*

Σοφιανόπουλος Νικόλαος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη διερεύνηση των επιπτώσεων της πανδημίας του Covid-19 στην επιβατική κίνηση του μετρό του Λονδίνου. Ως βασικός στόχος επιλέχθηκε η μελέτη, ανάλυση και εντοπισμός της επιρροής των μεταβολών των προφίλ της επιβατικής κίνησης των σταθμών του συστήματος με χρήση Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης. Η εμφάνιση της πανδημίας στη Μεγάλη Βρετανία, καθώς επίσης και τα περιοριστικά μέτρα που εφαρμόστηκαν, είχαν ως αποτέλεσμα την επιρροή στην καθημερινή ζωής των πολιτών σε όλους τους τομείς, και ένας από αυτούς ήταν και οι καθημερινές τους μετακινήσεις. Με βάση αυτό, η λειτουργία ενός βασικού μεταφορικού συστήματος, όπως το μετρό του Λονδίνου, δέχτηκε άμεσα τις επιπτώσεις της νέας κατάστασης. Για την εκπόνηση της εργασίας, αξιοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα επιβατικής κίνησης για κάθε σταθμό του μετρό, για τα έτη 2019 και 2020, κατόπιν αιτήματος στο TfL (Transport for London). Τα δεδομένα αυτά, δέχτηκαν σημαντικό αριθμό αρχικών επεξεργασιών, ώστε να διαμορφωθούν με τέτοιο τρόπο για να είναι αξιοποιήσιμα από το λογισμικό που πραγματοποιεί τους αλγόριθμους της προαναφερθείσας ταξινόμησης (NCSS) και κανονικοποιήθηκαν, με σκοπό την αντικειμενική και ανεπηρέαστη εφαρμογή των μεθόδων. Για λόγους ορθότητας, εμβάθυνσης και λεπτομερέστερης ανάλυσης, επιλέχθηκε να διαχωριστούν οι μετρήσεις επιβατικής κίνησης σε εισόδους και εξόδους των δύο ετών, με αποτέλεσμα την τελική δημιουργία τεσσάρων βάσεων δεδομένων. Οι τελικοί προς ανάλυση σταθμοί προέκυψε να είναι 226, ενώ οι μεταβλητές για την πραγματοποίηση των ταξινομήσεων, οι 335 μετρήσεις επιβατικής κίνησης ανά σταθμό. Οι δύο αλγόριθμοι που επιλέχθηκαν για την εφαρμογή της Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης ήταν ο K-Means και ο Fuzzy C-Means. Οι δύο αυτές μέθοδοι χαρακτηρίζονται από ευκολία εφαρμογής και αξιοπιστία στην ανάλυση δεδομένων της μορφής που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, και προσέφεραν την ευκαιρία να εφαρμοστούν συνδυαστικά, εμπλουτίζοντας ο ένας τα συμπεράσματα του άλλου και δίνοντας έτσι μια πιο σφαιρική προσέγγιση στις απαιτήσεις της ανάλυσης. Έπειτα από την εφαρμογή των δύο μεθόδων, οι σταθμοί ταξινομήθηκαν σε κλάσεις και προέκυψαν τα απαραίτητα συμπεράσματα. Είτε στην περίπτωση του πρώτου αλγορίθμου που εκτελεί αυστηρή ομαδοποίηση, είτε στην περίπτωση του δεύτερου που πραγματοποιεί Ασαφή Ταξινόμηση, το έτος 2019, οι σταθμοί ταξινομήθηκαν σε ισχυρές κλάσεις οι οποίες ταυτόχρονα εμφάνισαν περισσότερο ισόρροπη κατανομή στο χώρο και ομοιόμορφη εικόνα, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του 2020. Επιπλέον, με βάση τη δεύτερη μέθοδο, η μέγιστη ασάφεια των σταθμών παρατηρήθηκε στον κεντρικό αστικό ιστό του Λονδίνου, καθώς και η μέγιστη μίξη των κλάσεων, όπως αυτή προέκυψε με τον πρώτο αλγόριθμο. Τέλος, η κλάση που ανήκε ο κάθε σταθμός, προέκυψε να έχει ήπια συσχέτιση με την απόσταση από το κέντρο της πόλης. Τα παραπάνω συμπεράσματα, οπτικοποιήθηκαν με χρήση χαρτών και συγκεντρωτικών πινάκων, με σκοπό την επίτευξη της βέλτιστης παρουσίασης τους.

## ABSTRACT

This thesis investigates the implications of the Covid-19 pandemic on the passenger traffic of the London Underground, utilizing spatial analysis. The objective is the analysis and identification of the influence of changes in passenger traffic profiles of the system through Unsupervised Classification (i.e. Cluster Analysis). The emergence of the pandemic in Great Britain, as well as the restrictive measures applied, resulted in affecting the everyday life of citizens in several ways, including their daily commuting patterns. As a result, the operation of a basic transport system, such as the London Underground, has directly been affected by this new situation. To achieve the aim of the study, data considering daily passenger entries and exits for every single station of the London Underground for the years 2019 and 2020 were obtained, following a request to TfL (Transport for London). The data were processed so as to be usable by the utilized software that performs Unsupervised Classification methods (NCSS). Following the processing stage, data were also normalized. In order to achieve a deeper and more detailed analysis entries and exits of the two years, were analyzed separately resulting in the creation of four final databases. In total, data from 226 stations were utilized, while the classification variables were the 335 daily measurements of passenger traffic per station and per year, divided into entries and exits. The two algorithms which were selected to apply Unsupervised Classification were K-Means and Fuzzy C-Means. Both methods can be characterized by simplicity of application and high reliability in data analysis in the form that was used in the present thesis. They also offered the opportunity of combined application and enrichment of each other's conclusions, and therefore providing a more comprehensive approach to the requirements of the analysis. Following the application of the two methods, the stations were classified into clusters and the necessary conclusions were drawn. Both in the case of the first algorithm which performs hard clustering, and in the case of the second that performs Fuzzy Classification, in the year of 2019, the stations were classified into strong clusters, which appeared to have a more balanced spatial distribution and solid picture, compared to 2020 results. Furthermore, based on the second method, the amount of fuzziness of the stations was maximized mainly in central London stations, while this area also contained the maximum mix of clusters, obtained from the first algorithm. Finally, the cluster to which every station belonged, turned out to be correlated at some point with the distance from the city center.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή .....	14
Κεφάλαιο 2 – Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	16
2.1. Γενικές επιστημονικές προσεγγίσεις .....	16
2.2. Ειδικές επιστημονικές προσεγγίσεις - Εξειδίκευση στα μέσα σταθερής τροχιάς.....	38
2.3. Ειδικές επιστημονικές προσεγγίσεις - Εφαρμογές μεθόδων χωρικής ανάλυσης.....	42
Κεφάλαιο 3 – Γενικά στοιχεία, δεδομένα και μεθοδολογίες.....	49
3.1. Στοιχεία της περιοχής μελέτης .....	49
3.1.1. Πληθυσμιακά στοιχεία.....	49
3.1.2. Στοιχεία μετακινήσεων του πληθυσμού .....	50
3.1.3. Το μετρό του Λονδίνου (London Underground).....	52
3.1.4. Τιμολόγηση της χρήσης ιδιωτικού ΙΧ στον αστικό ιστό του Λονδίνου .....	54
3.1.5. Η πανδημία του Covid-19 και οι επιπτώσεις της.....	55
3.1.6. Η επιρροή της πανδημίας στα ΜΜΜ του Λονδίνου .....	57
3.1.7. Συσχέτιση της πανδημίας με τη συμπεριφορά των πολιτών στις μετακινήσεις με βάση το TfL .....	60
3.2. Δεδομένα και προεπεξεργασίες.....	62
3.3. Τα Γεωπληροφοριακά Συστήματα.....	71
3.3.1. Τα Υποσυστήματα των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων .....	72
3.3.1.1. Υλικό (hardware) .....	72
3.3.1.2. Λογισμικό (software).....	72
3.4. Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση – Ο Αλγόριθμος K-Means .....	74
3.5. Η Μέθοδος της Ασαφούς Ταξινόμησης – Fuzzy C-Means .....	80
Κεφάλαιο 4 – Ανάλυση και αποτελέσματα .....	84
4.1. Αποτελέσματα με τη μέθοδο K-Means.....	84
4.1.1. Έλεγχος αριθμού ομάδων ταξινόμησης.....	85
4.1.2. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων ταξινόμησης .....	88
4.1.3. Ταξινόμηση αρχικών δεδομένων.....	95
4.1.4. Ταξινόμηση κανονικοποιημένων δεδομένων .....	102
4.1.5. Ταξινόμηση ποσοστού μεταβολής 2019-2020 .....	110
4.1.6. Τελικές ταξινομήσεις.....	112
4.2. Αποτελέσματα με τη Μέθοδο της Ασαφούς Ταξινόμησης.....	118
4.2.1. Εύρεση βέλτιστου αριθμού ομάδων ταξινόμησης.....	118

4.2.2. Επιλογή Συντελεστή Ασάφειας.....	121
4.2.3. Τελικά αποτελέσματα της μεθόδου .....	123
Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα.....	132
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Χαρτογραφικό υλικό τελικών ταξινομήσεων .....	137
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	146



## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 3.2.1. Ενδεικτική συχνότητα εμφάνισης σταθμών στη χρονοσειρά .....	65
Πίνακας 4.1.1. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εισόδους του 2019 .....	112
Πίνακας 4.1.2. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εξόδους του 2019 .....	113
Πίνακας 4.1.3. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εισόδους του 2020 .....	114
Πίνακας 4.1.4. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εξόδους του 2020 .....	115
Πίνακας 4.1.5. Πίνακας συσχέτισης των κανονικοποιημένων τιμών .....	117
Πίνακας 4.1.6. Πίνακας συσχέτισης των αρχικών δεδομένων .....	117
Πίνακας 4.2.1. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους του 2019 .....	124
Πίνακας 4.2.2. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2019 .....	125
Πίνακας 4.2.3. Λίστα κοινών σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους και Εξόδους του 2019 .....	126
Πίνακας 4.2.4. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους του 2020 .....	127
Πίνακας 4.2.5. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2020 .....	128
Πίνακας 4.2.6. Λίστα κοινών σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους και Εξόδους του 2020 .....	128
Πίνακας 4.2.7. Λίστα κοινών σταθμών μέγιστης Ασάφειας για όλες τις περιπτώσεις .....	128

## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 3.1.1. Η τάση του πληθυσμού του Λονδίνου. (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13) .....	49
Σχήμα 3.1.2. Μεταβολή της χρήσης των διάφορων μέσων μετακίνησης. (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13) .....	50
Σχήμα 3.1.3. Ποσοστιαία κατανομή της χρήσης των διάφορων μέσων μετακίνησης. (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13).....	51
Σχήμα 3.1.4. Μέσος όρος καθημερινών μετακινήσεων ανά σκοπό μετακίνησης (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13).....	52
Σχήμα 3.1.5. Μετακινήσεις και επιβατοχιλιόμετρα για το μετρό του Λονδίνου 2000-2020 (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13) .....	53
Σχήμα 3.1.6. Η περιοχή κοστολόγησης της χρήσης ΙΧ και δικύκλων στην πόλη του Λονδίνου (πηγή: TfL). .....	54
Σχήμα 3.1.7. Ημερήσια στοιχεία κρουσμάτων και θανάτων το 2020 για το Λονδίνο (πηγή δεδομένων: England Summary   Coronavirus (COVID-19) in the UK (data.gov.uk)).....	57
Σχήμα 3.1.8. Ποσοστιαία μεταβολή της χρήσης των MMM μεταφοράς του Λονδίνου από το 2019 στο 2020 (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13).....	58
Σχήμα 3.1.9. Ποσοστά ως προς το 2019 επιβατικής ζήτησης για το μετρό του Λονδίνου (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13) .....	59
Σχήμα 3.1.10. Ποσοστά χρήσης του εκάστοτε τρόπου μετακίνησης στο Λονδίνο πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13) .....	61
Σχήμα 3.2.1. Ενδεικτική απεικόνιση της βάσης δεδομένων για 2019. ....	63
Σχήμα 3.2.2. Ενδεικτική απεικόνιση της βάσης δεδομένων για 2020. ....	63
Σχήμα 3.2.3. Σχεσιακή απεικόνιση των βάσεων δεδομένων. ....	64
Σχήμα 3.2.4. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό Oxford Circus 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί). ....	66
Σχήμα 3.2.5. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό Oxford Circus 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί). ....	66
Σχήμα 3.2.6. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό Angel 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί). ....	67
Σχήμα 3.2.7. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό Angel 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).....	67
Σχήμα 3.2.8. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό South Kensington 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).....	68
Σχήμα 3.2.9. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό South Kensington 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).....	68
Σχήμα 3.2.10. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό Holborn 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί). ....	69
Σχήμα 3.2.11. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό Holborn 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί). ....	69
Σχήμα 3.2.12. Η τελική μορφή των τεσσάρων βάσεων δεδομένων.....	70
Σχήμα 3.4.1. Σχηματική απεικόνιση των σταδίων του αλγόριθμου ISODATA (από Δ. Αργιαλά, 1995) ....	77
Σχήμα 3.4.2. Γραφική απεικόνιση του αλγόριθμου K-κέντρα (από Δ. Αργιαλά, 1995) .....	78

Σχήμα 3.5.1. α) Στατιστική ταξινόμηση β) Ασαφής ταξινόμηση (από P. Burrough, 1992). .....	80
Σχήμα 4.1.1. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Είσοδοι 2019). .....	85
Σχήμα 4.1.2. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Εξοδοι 2019). .....	86
Σχήμα 4.1.3. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Είσοδοι 2020). .....	86
Σχήμα 4.1.4. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Εξοδοι 2020). .....	87
Σχήμα 4.1.5. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2019-4 κλάσεις). .....	88
Σχήμα 4.1.6. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2019-5 κλάσεις). .....	88
Σχήμα 4.1.7. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Εξοδοι 2019-4 κλάσεις). .....	89
Σχήμα 4.1.8. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Εξοδοι 2019-5 κλάσεις). .....	89
Σχήμα 4.1.9. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2020-4 κλάσεις). .....	90
Σχήμα 4.1.10. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2020-5 κλάσεις). .....	90
Σχήμα 4.1.11. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Εξοδοι 2020-4 κλάσεις). .....	91
Σχήμα 4.1.12. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Εξοδοι 2020-5 κλάσεις). .....	91
Σχήμα 4.1.13. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2019-4 κλάσεις). .....	92
Σχήμα 4.1.14. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2019-5 κλάσεις). .....	92
Σχήμα 4.1.15. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2020-4 κλάσεις). .....	93
Σχήμα 4.1.16. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2020-5 κλάσεις). .....	93
Σχήμα 4.1.17. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (4 ομάδες). .....	95
Σχήμα 4.1.18. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (5 ομάδες). .....	96
Σχήμα 4.1.19. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (4 ομάδες). .....	96
Σχήμα 4.1.20. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (5 ομάδες). .....	97
Σχήμα 4.1.21. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (4 ομάδες). .....	97
Σχήμα 4.1.22. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (5 ομάδες). .....	98
Σχήμα 4.1.23. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (4 ομάδες). .....	98
Σχήμα 4.1.24. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (5 ομάδες). .....	99
Σχήμα 4.1.25. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (4 ομάδες). .....	99
Σχήμα 4.1.26. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (5 ομάδες). .....	100
Σχήμα 4.1.27. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (4 ομάδες). .....	100
Σχήμα 4.1.28. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (5 ομάδες). .....	101
Σχήμα 4.1.29. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (4 ομάδες). .....	103
Σχήμα 4.1.30. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (5 ομάδες). .....	103
Σχήμα 4.1.31. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (4 ομάδες). .....	104
Σχήμα 4.1.32. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (5 ομάδες). .....	104
Σχήμα 4.1.33. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (4 ομάδες). .....	105
Σχήμα 4.1.34. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (5 ομάδες). .....	105
Σχήμα 4.1.35. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (4 ομάδες). .....	106
Σχήμα 4.1.36. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (5 ομάδες). .....	106
Σχήμα 4.1.37. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (4 ομάδες). .....	107
Σχήμα 4.1.38. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (5 ομάδες). .....	107
Σχήμα 4.1.39. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (4 ομάδες). .....	108
Σχήμα 4.1.40. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (5 ομάδες). .....	108
Σχήμα 4.1.41. Ταξινόμηση για το Ποσοστό Μεταβολής 2019-2020 (4 ομάδες). .....	110
Σχήμα 4.1.42. Ταξινόμηση για το Ποσοστό Μεταβολής 2019-2020 (5 ομάδες). .....	111
Σχήμα 4.1.43. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (4 ομάδες). .....	112

Σχήμα 4.1.44. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (4 ομάδες).....	113
Σχήμα 4.1.45. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (4 ομάδες).....	114
Σχήμα 4.1.46. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (4 ομάδες).....	115
Σχήμα 4.2.1. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Είσοδοι 2019).....	119
Σχήμα 4.2.2. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Εξοδοι 2019).....	119
Σχήμα 4.2.3. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Είσοδοι 2020).....	120
Σχήμα 4.2.4. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Εξοδοι 2020).....	120
Σχήμα 4.2.5. Επιλογή βέλτιστου Συντελεστή Ασάφειας ( $m=1.1$ ). .....	121
Σχήμα 4.2.6. Επιλογή βέλτιστου Συντελεστή Ασάφειας ( $m=1.2$ ). .....	122
Σχήμα 4.2.7. Επιλογή βέλτιστου Συντελεστή Ασάφειας ( $m=1.5$ ). .....	122
Σχήμα 4.2.8. Τελική ταξινόμηση (Είσοδοι 2019). .....	123
Σχήμα 4.2.9. Τελική ταξινόμηση (Εξοδοι 2019). .....	125
Σχήμα 4.2.10. Τελική ταξινόμηση (Είσοδοι 2020).....	127
Σχήμα 4.2.11. Τελική ταξινόμηση (Εξοδοι 2020). .....	128
Σχήμα 4.2.12. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους του 2019. ....	129
Σχήμα 4.2.13. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2019. ....	129
Σχήμα 4.2.14. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους του 2020. ....	130
Σχήμα 4.2.15. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2020. ....	130

## **Συντομογραφίες**

MMM: Μέσα Μαζικής Μεταφοράς

MATSIM : Multi-Agent Transport Simulation

EPISIM: Epidemic Simulation

LCH: London Cycle Hire

TfL: Transport for London

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

PTV: Planung Transport Verkehr

GPS: Global Positioning System

ITS: Intelligent Transport Systems

GTFS: General Transit Feed Specification

NAM: Norm-Activation Model

SEM: Structural Equation Modeling

AMOS: Analysis of Moment Structures

CATI: Computer Aided Telephone Interviews

GLR: General Linear Model

CHINAGEM: CHINA General Equilibrium Model

DiD: Difference in Differences

ANOVA: Analysis of Variance

K-SC: K- Spectral Clustering algorithm

PCA: Principal Component Analysis

SLG: Simple Linear Regression

GWR: Geographically Weighted Regression

CLARA: Clustering Large Applications

AFC: Automatic Frequency Control

LTDS: London Travel Demand Survey

SQL: Structured Query Language

ΓΣ: Γεωπληροφοριακό Σύστημα

ISODATA: Iterative Self-Organized Data Analysis Technique Algorithm

## Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή

Η εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19 στις αρχές του 2020, αποτέλεσε μια πρωτόγνωρη κατάσταση που επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τις καθημερινές ανάγκες και δραστηριότητες των ανθρώπων σε κάθε σημείο του πλανήτη. Η επιρροή της στην καθημερινή ζωή ήταν πολύπλευρη και πολυδιάστατη και, ταυτόχρονα, επέφερε σημαντικές αλλαγές στις συνήθειες των ανθρώπων σε κάθε σχεδόν πτυχή της καθημερινής ζωής. Η νέα πραγματικότητα, όπως αυτή εξελίχθηκε, οδήγησε σε κοινωνικές, οικονομικές αλλά και ψυχολογικές επιπτώσεις όπως αυτές αποτυπώθηκαν κατά τα επαναλαμβανόμενα πανδημικά κύματα. Ένας από τους βασικούς τομείς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που επλήγησαν ιδιαίτερα, ήταν αυτός των μεταφορών και των μετακινήσεων, τόσο λόγω της ίδιας της ύπαρξης της πανδημίας, όσο και λόγω των περιοριστικών μέτρων που εφαρμόστηκαν στην κάθε χώρα ξεχωριστά. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το πως αυτή η νέα πραγματικότητα επηρέασε χαρακτηριστικά της λειτουργίας ενός μεγάλου μεταφορικού συστήματος σταθερής τροχιάς, ήτοι το μετρό του Λονδίνου, με χρήση χωρικής ανάλυσης.

Η πόλη του Λονδίνου, ως το μεγαλύτερο αστικό κέντρο της μεγάλης Βρετανίας, αποτελεί μια σύγχρονη και ανεπτυγμένη πόλη, οι ανάγκες των πολιτών της οποίας ικανοποιούνται σε καθημερινή βάση από ποικιλία μέσων μαζικής μεταφοράς. Η χρήση αυτών, με βάση επιστημονικές διερευνήσεις που πραγματοποιούνται σε ετήσια βάση στη χώρα, τείνει να εμφανίζει αυξητική τάση, χωρίς καμία εξαίρεση. Επιπλέον, σχετικά με τις πιθανές επιλογές μέσου για μετακίνηση, έχει αποδειχτεί ότι οι πολίτες, επιλέγουν σε ποσοστό άνω του 50% το πυκνό δίκτυο των μέσων μαζικής μεταφοράς της πόλης, ή και εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης, όπως το ποδήλατο και το περπάτημα, έναντι του ιδιωτικού ΙΧ. Το μετρό συγκεκριμένα, του οποίου η κατασκευή ξεκίνησε το 1863, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα σιδηροδρομικά συστήματα στον κόσμο, καθώς αποτελείται από 11 γραμμές και τουλάχιστον 270 σταθμούς, με σημαντικό αριθμό των οποίων, να αποτελούν ανταποκρίσεις με τα υπόλοιπα μέσα μαζικής μεταφοράς της πόλης. Ταυτόχρονα, το μετρό, έχει διαχρονικά αποτελέσει από τις βασικότερες επιλογές των πολιτών για την πραγματοποίηση καθημερινών μετακινήσεων, με τη ζήτηση για μετακίνηση να ακολουθεί την αυξητική τάση όλων των υπόλοιπων μεταφορικών συστημάτων. Επιπρόσθετα, γενικότερα μέτρα που έχουν παρθεί από τις αρμόδιες αρχές του Λονδίνου, τόσο για τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου αλλά και τη γενικότερη προώθηση των αρχών της βιώσιμης κινητικότητας, όπως για παράδειγμα η τιμολόγηση της χρήσης ιδιωτικού ΙΧ στον κεντρικό αστικό ιστό της πόλης, έχουν λειτουργήσει ως αρωγοί στη αυξανόμενη τάση επιλογής των ΜΜΜ για μετακίνηση. Η εμφάνιση της πανδημίας στη Μεγάλη Βρετανία, είχε ως αποτέλεσμα την εφαρμογή ποικιλίας περιοριστικών μέτρων, από την προτροπή για εργασία από το σπίτι έως δύο καθολικές απαγορεύσεις κυκλοφορίας. Όπως ήταν επαικώλουθο, τα μέτρα αυτά, επηρέασαν σημαντικά τα είδη και τον αριθμό των μετακινήσεων που πραγματοποιούνταν σε καθημερινή βάση. Η επιβατική κίνηση, με βάση τα προαναφερθέντα, εμφάνισε πτωτικές τάσεις συναρτήσει της αυστηρότητας των μέτρων, και η ζήτηση για μετακίνηση με το μετρό του Λονδίνου, παρουσίασε το ίδιο προφίλ. Η καθημερινή ζήτηση για μετακίνηση παρουσίασε έντονη μείωση όπως ήταν πλήρως αναμενόμενο, αλλά ταυτόχρονα εμφανίστηκαν διαφοροποιήσεις όχι μόνο στις χρονικές περιόδους, αλλά και στους προορισμούς των πραγματοποιούμενων μετακινήσεων. Οι προσωπικές επιλογές των πολιτών μπόρεσαν να γίνουν αντιληπτές όχι μόνο μέσω των προφίλ μετακίνησης τους και τις αλλαγές που τα χαρακτήρισαν, αλλά και στις ίδιες τις επιλογές του μέσου με τα οποία θα πραγματοποιούσαν τις απαραίτητες καθημερινές μετακινήσεις τους για την ικανοποίηση των απαραίτητων αναγκών. Μολονότι παρατηρήθηκαν οι προαναφερθείσες μεταβολές, η άρση αρκετών περιοριστικών μέτρων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2020 είχε ως αποτέλεσμα να επιστρέψουν κάποια χαρακτηριστικά των μετακινήσεων στην αρχική

κατάσταση, ωστόσο η επιβατική κίνηση δεν προσέγγισε αυτή που μπορούσε να παρατηρηθεί το 2019.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, πλήθος επιστημονικών διερευνήσεων έχουν πραγματοποιηθεί διεθνώς, οι οποίες επιχείρησαν να παρατηρήσουν, να επεξηγήσουν και να συσχετίσουν την έλευση της πανδημίας στην εκάστοτε περιοχή, με μεταβολές σχετικές με τα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, τις επιλογές μέσου, το μέγεθος της ζήτησης κ.α. Ένας αξιοσημείωτος αριθμός αυτών, επέλεξε να προσεγγίσει επιστημονικά τα παραπάνω ζητήματα, εφαρμόζοντας μεθόδους ταξινόμησης, όπως για παράδειγμα η Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Cluster Analysis). Η παρούσα προσέγγιση έχει αποτελέσει διαχρονική επιλογή ανάλυσης μεγάλου αριθμού επιστημονικών θεμάτων, λόγω του σημαντικού αριθμού πλεονεκτημάτων που φέρει. Συγκεκριμένα, για περιπτώσεις ζητημάτων που άπτονται της περιοχής της γεωγραφικής ανάλυσης, η Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση, προσφέρει υψηλές δυνατότητες σχετικές με τη διερεύνηση των δεδομένων, καθώς επιτυγχάνει να δημιουργήσει φυσικές ομάδες αυτών, με ανεπιβλεπόμενο και αντικειμενικό τρόπο, καθώς δεν απαιτούνται εκ των προτέρων υποθέσεις για την εφαρμογή της ανάλυσης, με μοναδική εξαίρεση τον αρχικό καθορισμό του αριθμού των κλάσεων, στις οποίες ο ερευνητής επιθυμεί να ταξινομήσει τα υπό μελέτη δεδομένα. Ένα επιπλέον σημαντικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μορφής ταξινόμησης είναι η δυνατότητα της να εφαρμοστεί με μεγάλο αριθμό μεθόδων και αλγορίθμων, ανάλογα προφανώς με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του υπό μελέτη θέματος. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στο να διερευνήσει τις επιπτώσεις της πανδημίας του Covid-19 στην επιβατική κίνηση του μετρό του Λονδίνου, με εφαρμογή δύο αλγορίθμων Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης, του K-Means και του Fuzzy C-Means. Και οι δύο αυτοί αλγόριθμοι, αποτελούν χρήσιμες και κλασσικές προσεγγίσεις σε ζητήματα χωρικής ανάλυσης και μεταβολών, με τον πρώτο να πραγματοποιεί ισχυρή ομαδοποίηση δεδομένων και να προσφέρει ένα βασικό υπόβαθρο για την περαιτέρω εμβάθυνση της ανάλυσης. Ο δεύτερος, από την άλλη πλευρά, αποτελεί ισχυρό εργαλείο Ασαφούς Ταξινόμησης, καθώς επιτρέπει στα στοιχεία να ταξινομηθούν σε περισσότερες από μία ομάδες, συμπληρώνοντας με μια διαφορετική προσέγγιση, τα συμπεράσματα της πρώτης μεθόδου, και επιτυγχάνοντας συνεπώς μια σφαιρική αντίληψη της ανάλυσης.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, πραγματοποιείται ανασκόπηση της σχετικής διεθνούς βιβλιογραφίας μέσω αναφοράς επιστημονικών διερευνήσεων που έδωσαν σημαντικές κατευθύνσεις και εμβάθυνση σε ποικιλία θεμάτων, ενώ ταυτόχρονα έπαιξαν σημαντικό βοηθητικό ρόλο στη συγγραφή της. Οι αναφορές διαχωρίζονται σε γενικές προσεγγίσεις, διερευνήσεις που δίνουν έμφαση στα μέσα σταθερής τροχιάς, και τέλος σε εργασίες, που επέλεξαν την εφαρμογή αλγορίθμων ταξινόμησης ως εργαλείο ανάλυσης.

Το τρίτο Κεφάλαιο περιέχει μια σαφή αναφορά σημαντικών στοιχείων της περιοχής μελέτης, προσφέροντας αναλυτικές πληροφορίες σχετικές με τα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, την επιλογή μέσου μετακίνησης, τις επιπτώσεις της πανδημίας στους προαναφερθέντες τομείς κ.α. Στη συνέχεια πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή των προεπεξεργασιών που απαιτήθηκαν για την οργάνωση των δεδομένων ώστε να μορφοποιηθούν στην τελική αξιοποιήσιμη μορφή τους. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχές της Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης καθώς και οι λεπτομέρειες και ιδιαιτερότητες των δύο χρησιμοποιούμενων για την ανάλυση αλγορίθμων.

Τα Κεφάλαια 4 και 5 αποτελούν το τμήμα της εργασίας όπου δίνονται όλες οι απαραίτητες λεπτομέρειες της ανάλυσης και τα αποτελέσματα οπτικοποιούνται και σχολιάζονται με χρήση χαρτών, διαγραμμάτων και πινάκων. Το Κεφάλαιο 5 δε, αποτελεί μια συγκεντρωτική περιγραφή των συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας, με όσο πιο αναλυτικό τρόπο κατέστη δυνατό, ώστε να μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή η σφαιρική προσέγγιση που εφαρμόστηκε με συνδυασμό συγκοινωνιακών στοιχείων αλλά και βασικών αρχών της χωρικής ανάλυσης.

## Κεφάλαιο 2 – Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στο παρόν κεφάλαιο λαμβάνει χώρα αναφορά, άρθρων και μεθοδολογιών, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και λειτουργούν ως αρωγοί στη συγγραφή της, καθώς έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν ποικιλία επιστημονικών προσεγγίσεων σε θέματα παρεμφερή με το περιεχόμενο της, είναι φορείς γνώσης και ανάλυσης αλλά και διεπιστημονικής οπτικής σε γενικό αλλά και ειδικό επίπεδο.

### 2.1. Γενικές επιστημονικές προσεγγίσεις

Στο παρόν υποκεφάλαιο, λαμβάνει χώρα αναφορά επιστημονικών διερευνήσεων γενικού περιεχομένου και ποικιλίας επιστημονικών μεθόδων, οι οποίες έθιξαν θέματα αναφορικά με τις μεταβολές στα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, τις διαφοροποιήσεις στις επιλογές των μέσων μετακίνησης, τις οικονομικές επιπτώσεις στα μεταφορικά δίκτυα, αλλά και την ενέργεια.

Οι Manout and Ciari (2021), συσχέτισαν το ρόλο των καθημερινών δραστηριοτήτων και της κινητικότητας με τη διασπορά της πανδημίας του Covid-19. Θεωρήθηκε ότι οι βασικές καθημερινές δραστηριότητες, είτε εντός της κατοικίας είτε εξωτερικές, ιδίως αυτές που απαιτούν στενή φυσική επαφή και μετακινήσεις μπορούν επίσης να συμβάλλουν στη διασπορά του ιού. Η έρευνα δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη συσχέτιση των χαρακτηριστικών των ατόμων και στα προφίλ μετακινήσεων και δραστηριοτήτων που ακολουθούν, εφαρμόζοντας σενάριο προσομοίωσης στη πόλη του Μόντρεαλ στον Καναδά.

Για την εκπόνηση της εν λόγω έρευνας χρησιμοποιήθηκε πληθώρα στοιχείων όπως πληθυσμιακά στατιστικά στοιχεία του Καναδά, στοιχεία μετακινήσεων ανά νοικοκυριό, ιδιοκτησίας αυτοκινήτων ανά άτομο καθώς και κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού, τα οποία προσφέρουν μια ιδιαίτερα συνθετική προσέγγιση στην ανάλυση των κοινωνικών ιδιαιτεροτήτων που δύναται να συμβάλλουν στην εξέλιξη και διασπορά της πανδημίας.

Οι επιστημονικές μέθοδοι που εφαρμόστηκαν αφορούν σε δύο καινοτόμα και σύγχρονα μοντέλα, τα MATSIM και EPISIM. Το MATSIM, (Multi-Agent Transport Simulation) αποτελεί ένα μοντέλο το οποίο προσομοιώνει τις καθημερινές δραστηριότητες του πληθυσμού μέσω παρατηρήσεων των μετακινήσεων, οι οποίες παίζουν καθοριστικό ρόλο στον υπολογισμό των απαραίτητων παραμέτρων που υπεισέρχονται στην εφαρμογή του. Το EPISIM (Epidemic Simulation) είναι επίσης ένα μοντέλο το οποίο συνδυάζει στατιστικές και επιδημιολογικές μεθόδους για προβλέψει πως τα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά του συνθετικού πληθυσμού μπορούν να οδηγήσουν σε πιθανή μόλυνση και διασπορά της πανδημίας.

Με βάση τη συνδυαστική εφαρμογή και τα αποτελέσματα της διερεύνησης προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα. Αρχικά, θεωρήθηκε πως όλες οι δραστηριότητες, δεν επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο τη διασπορά του ιού. Οι καθημερινές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα τόσο στο σπίτι όσο και στο χώρο εργασίας φέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό ευθύνης στη διασπορά. Στη συνέχεια, οι δραστηριότητες που συνδέονται άμεσα με την αναψυχή και τον ελεύθερο χρόνο, καταλαμβάνουν τη δεύτερη θέση. Τέλος, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η μετάδοση σε άτομα που επιλέγουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς για την ικανοποίηση των δραστηριοτήτων τους είναι περιορισμένες, ενώ θεωρήθηκε ότι αυτές έλαβαν χώρα σε ώρες αιχμής με υψηλό συνωστισμό.

Σύμφωνα με τους Shakibaei et al. (2021), η έναρξη της πανδημίας του Covid-19 συνδέθηκε άμεσα και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις αλλαγές των προφίλ μετακίνησης του πληθυσμού, λόγω της πρωτόγνωρης κατάστασης που προέκυψε, καθώς και στα περιοριστικά μέτρα που υιοθετήθηκαν στην πόλη της Κωνσταντινούπολης στην Τουρκία, σε μια προσπάθεια αναχαίτισης



της εξάπλωσης του ιού. Η διερεύνηση έλαβε χώρα σε τρία στάδια στα αρχικά στάδια της πανδημίας και ερευνά λεπτομερώς τη συμπεριφορά του πληθυσμού ως προς τις δυνατότητες και επιλογές μετακίνησης, ενώ αναφέρει ότι τα περιοριστικά μέτρα που υιοθετήθηκαν είχαν άμεσα μεγάλη επιρροή στην αστική κινητικότητα. Το πρώτο στάδιο αφορά στην εμφάνιση της πανδημίας στην Κίνα, το δεύτερο στο γειτονικό Ιράν, ενώ το τρίτο αφορά πλέον στην εξάπλωση του ιού στην Τουρκία και την ίδια την πόλη μελέτης που επηρέασε πλέον τις ατομικές επιλογές ως προς τις μετακινήσεις.

Η συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων για τη διεξαγωγή της έρευνας έλαβε χώρα σε ένα χρονικό πλαίσιο διάρκειας από τον Ιανουάριο του 2020 έως τον Απρίλιο του ίδιου έτους, ενώ επίσης τα δεδομένα συνδέονται με διεξαγωγή επιτόπιας έρευνας μορφής ερωτηματολογίων όπου συγκεντρώθηκαν οι απαντήσεις των πολιτών, οι οποίες συνδυάστηκαν με τις πληροφορίες επιλογής μέσου μετακίνησης καθώς και τα δρομολόγια των μέσων μαζικής μεταφοράς. Επιπλέον στο πλαίσιο της έρευνας, συγκεντρώθηκαν στοιχεία κοινωνικών χαρακτηριστικών όπως φύλου, μεγέθους νοικοκυριού, επαγγελματικής κατάστασης, επιπέδου μόρφωσης, εισοδήματος, ιδιοκτησίας αυτοκινήτου καθώς και στοιχείων που συνδέονται άμεσα με αλλαγές στην καθημερινότητα του κάθε πολίτη και στις δραστηριότητες του, ειδικά ως προς τον τρόπο μετακίνησης από και προς αυτές.

Στο πλαίσιο πραγματοποίησης της έρευνας έλαβε χώρα κατηγοριοποίηση των στοιχείων που συγκεντρώθηκαν ώστε να διαφοροποιηθούν οι απαντήσεις των ερωτηθέντων και να προκύψουν οι απαραίτητοι διαχωρισμοί ως προς τις δραστηριότητες και τις μετακινήσεις αυτών. Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων και τη διεξαγωγή των συμπερασμάτων ακολουθήθηκε στατιστική ανάλυση όπως η εφαρμογή του τεστ  $\chi^2$ .

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν σχετίζονται άμεσα με το γεγονός ότι όσο πλησίαζε η τρίτη περίοδος διερεύνησης, τόσο περισσότεροι πολίτες λάμβαναν υπόψη ως σοβαρή την απειλή της πανδημίας και σταδιακά μείωναν τις μετακινήσεις τους για τις αντίστοιχες δραστηριότητες ενδιαφέροντος. Αξίζει να αναφερθεί ότι επλήγησαν ιδιαίτερα οι μετακινήσεις από και προς την εργασία ειδικά στην τελική περίοδο διερεύνησης, ενώ η χρήση όλων των μέσων μαζικής μεταφοράς και ιδίως των μέσων σταθερής τροχιάς, εμφάνισε πτωτική τάση χωρίς ωστόσο η χρήση ιδιωτικού αυτοκινήτου να εξαιρείται από αυτές τις παρατηρήσεις. Οι ερωτηθέντες με υψηλότερο εισόδημα αποδείχθηκε ιδιαίτερα πιθανό να επιλέξουν το προσωπικό τους όχημα για τις μετακινήσεις τους, ενώ άτομα που παραδοσιακά μετακινούνταν με μέσα μαζικής μεταφοράς, δεν εμφάνισαν τάση στροφής σε ιδιωτικό τρόπο μετακίνησης. Συνεπώς, έγινε αντιληπτό ότι όλα τα μέσα μετακίνησης τόσο τα δημόσια όσο και τα ιδιωτικά, ανεξαρτήτως σκοπού μετακίνησης, εμφάνισαν πτωτικές τάσεις ειδικά κατά τη μετάβαση από τη δεύτερη χρονική περίοδο διερεύνησης στην τρίτη.

Στην πόλη του Λονδίνου, οι Zhang et al. (2021), ανέφεραν ότι η εφαρμογή ποικίλων περιοριστικών μέτρων σε αυτή, επέφερε σημαντικό αριθμό αλλαγών στις συνήθειες των μετακινήσεων των πολιτών με τα μέσα ατομικής και μαζικής μεταφοράς, ενώ η έρευνά τους επικεντρώνεται και εξετάζει την περίπτωση της χρήσης δημοσίων ποδηλάτων LCH (London Cycle Hire). Υποστηρίχθηκε επίσης ότι η έλευση της πανδημίας επηρέασε σε κάθε περίπτωση τις μετακινήσεις και τις επιλογές των πολιτών στον τρόπο μετακίνησης που θα επιλέξουν, ενώ στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων και ανεξάρτητα από τη χώρα εκπόνησης αντίστοιχων ερευνών, η μείωση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς ήταν αναμενόμενη. Ωστόσο αναφέρθηκε ότι η συγκεκριμένη περίπτωση έρευνας που δίνει έμφαση στη χρήση των ποδηλάτων, ενδέχεται και αναμένεται να έχει διαφορετικά αποτελέσματα.

Για το σκοπό της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αφορούν στη χρήση ποδηλάτων από τους πολίτες του Λονδίνου από 761 σταθμούς ποδηλάτων της πόλης. Τα αντίστοιχα απαραίτητα στοιχεία μετακινήσεων και χρήσης αποκτήθηκαν μέσω του TfL (Transport for London), και περιείχαν λεπτομερείς καταγραφές συγκεντρωμένες σε ημερήσιο επίπεδο από τον Ιανουάριο του

2019 έως τον Ιούνιο του 2020. Εκτός αυτών, στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη της πανδημίας, που αφορούν σε έντεκα δήμους της πόλης με σταθμούς ποδηλάτων, αποκτήθηκαν μέσω του London Datastore. Με βάση το συνολικό αριθμό των κρουσμάτων ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμού, οι έντεκα αυτές περιοχές κατηγοριοποιήθηκαν ως προς την επιβάρυνση τους.

Η στατιστική ανάλυση που εφαρμόστηκε για τον εντοπισμό και υπολογισμό των επιπτώσεων της περιόδου επιβολής μέτρων στη χρήση ποδηλάτου ήταν τμηματική παλινδρόμηση με εφαρμογή σχεδιασμού διακοπτόμενης χρονοσειράς. Επιπλέον, εν συνεχεία σχεδιάστηκε το μοντέλο δομικής χρονοσειράς του Bayes για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων και τον υπολογισμό της συγκεντρωτικής επιρροής που είχε η επιβολή των μέτρων. Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου της παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις όπως ο χρόνος, οι καιρικές συνθήκες (αριθμός ημερών με ηλιοφάνεια ή βροχή) καθώς και ο αριθμός των καθημερινών μετακινήσεων με ποδήλατο. Στη συνέχεια, το δεύτερο προαναφερθέν μοντέλο εφαρμόστηκε λόγω της ιδιαίτερης χρησιμότητας του στην πρόβλεψη μη πραγματικών αποτελεσμάτων. Για την εφαρμογή των παραπάνω μοντέλων αλλά και την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση και προσοχή στην κατηγοριοποίηση της διάρκειας χρήσης των ποδηλάτων σε επιμέρους χρονικά διαστήματα. Τέλος, οι σταθμοί ποδηλάτων που είναι χωροθετημένοι σε θέσεις που επηρεάζουν τη χρήση τους, όπως σταθμοί μέσων σταθερής τροχιάς, νοσοκομεία και πάρκα, μελετήθηκαν εκτενέστερα.

Έπειτα από ανάλυση των στατιστικών αποτελεσμάτων και με χρήση αντίστοιχων διαγραμμάτων χρήσης των ποδηλάτων που προέκυψαν, εξήχθη το συμπέρασμα ότι με την εφαρμογή των μέτρων κοινωνικής αποστασιοποίησης στην πόλη, η χρήση των ποδηλάτων άρχισε να έχει πτωτική τάση, σε σύγκριση μάλιστα με την αντίστοιχη περίοδο του 2019. Ωστόσο κατά τη διάρκεια των μέτρων, παρατηρήθηκε ότι αρκετοί πολίτες σε κάποιες περιπτώσεις ήταν πιθανότερο να επιλέξουν το ποδήλατο σε σχέση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς για να αποφύγουν καταστάσεις συνωστισμού. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι περιοχές της πόλης με υψηλά επίπεδα διάδοσης του κορονοϊού εμφάνισαν πιο απότομη και εντονότερη μείωση της χρήσης των ποδηλάτων σε σύγκριση με λιγότερο επιβαρυσμένες περιοχές. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι και τα δύο μοντέλα που εφαρμόστηκαν οδήγησαν σε αρκετά παρεμφερείς παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Οι Shaer and Haghshenas (2021), διερεύνησαν στην πόλη Isfahan του Ιράν, τις αλλαγές στην επιλογή μέσου μετακίνησης των ηλικιωμένων ατόμων άνω των εξήντα ετών, κατά τη διάρκεια της πανδημίας του Covid-19 στη χώρα. Θεωρώντας ότι η χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς αλλά και η εναλλακτική μετακίνηση με τα πόδια ή με ποδήλατο που συμβάλλει και στην υγεία και φυσική άσκηση των ατόμων, αποτελεί συχνή επιλογή για τα άτομα αυτής της ηλικίας, οι ερευνητές επέλεξαν να ερευνήσουν το πως και αν μεταβλήθηκαν οι επιλογές της συγκεκριμένης ηλικιακής ομάδας λόγω της πρωτόγνωρης κατάστασης που επέφερε η πανδημία, αλλά και των αυστηρών περιοριστικών μέτρων που εφαρμόστηκαν στη χώρα.

Τα στοιχεία συγκεντρώθηκαν μέσω συνεντεύξεων με συγκεκριμένη θεματολογία ερωτήσεων από 453 συμμετέχοντες σε δεκαπέντε περιοχές της πόλης. Οι ερωτήσεις κάλυπταν ποικιλία θεμάτων, όπως χαρακτηριστικά μετακίνησης, χαρακτηριστικά συγκοινωνιακών υποδομών αλλά και δημογραφικά χαρακτηριστικά.

Έπειτα από τη συγκέντρωση των βασικών αυτών στοιχείων, έλαβε χώρα στατιστική ανάλυση με χρήση της μεθόδου της λογιστικής παλινδρόμησης. Η συγκεκριμένη μορφή, είναι ένας ιδιαίτερος τύπος πολλαπλής παλινδρόμησης με διακριτή μεταβλητή και πλεονέκτημα έναντι της κλασσικής μορφής γραμμικής παλινδρόμησης που εφαρμόζεται σε ποικίλες στατιστικές προσεγγίσεις και αναλύσεις. Με αυτό τον τρόπο, το μοντέλο που εφαρμόστηκε, είχε τη δυνατότητα να συγκρίνει τους παράγοντες που επηρεάζουν τις επιλογές του τρόπου μετακίνησης των ηλικιωμένων χρησιμοποιώντας της επιλογές αυτές ως ανεξάρτητες μεταβλητές.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της έρευνας, η πλειοψηφία των ερωτηθέντων ήταν άντρες συνταξιοδοτηθέντες και λίγοι από αυτούς διέθεταν αυτοκίνητο ή ποδήλατο. Με βάση τα

αποτελέσματα της στατιστικής μεθόδου, οι μετακινήσεις των ατόμων ανεξαρτήτως σκοπού μετακίνησης εμφάνισαν πτωτική τάση με την έλευση της πανδημίας στη χώρα. Πριν την εφαρμογή των περιοριστικών μέτρων, μεγάλο μέρος των ερωτηθέντων χρησιμοποιούσε το περπάτημα και τα μέσα μαζικής μεταφοράς για τη διεκπεραίωση διάφορων δραστηριοτήτων, ενώ στη συνέχεια, ένα από τα μέσα που παρουσίασε αύξηση στη χρήση του ήταν το ποδήλατο, ενώ το περπάτημα επίσης, ξεκίνησε να έχει κυρίαρχο ρόλο στις καθημερινές μετακινήσεις. Αντιθέτως, τα μέσα μαζικής μεταφοράς σταμάτησαν να χρησιμοποιούνται εντελώς. Σημαντικό ρόλο στην επιλογή του μέσου μετακίνησης είχαν τα προσωπικά και ιδιοκτησιακά χαρακτηριστικά του κάθε ατόμου. Τέλος, μπόρεσε να εξαχθεί ως συμπέρασμα, ότι κατά την πανδημία στην πόλη μελέτης, η χρήση ενεργών μέσων μετακίνησης όπως το ποδήλατο και το περπάτημα, έπαιξαν καθοριστικότερο ρόλο από τα μέσα μαζικής μεταφοράς.

Οι Yoshida and Ye (2021), διερεύνησαν στο Τόκιο, τη συμπεριφορά μετακίνησης των πολιτών κατά τη διάρκεια της πανδημίας σε συσχετισμό με τους Ολυμπιακούς Αγώνες που πραγματοποιήθηκαν στην πόλη κατά τη διάρκεια της μελέτης. Λόγω της έλευσης της πανδημίας, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την εφαρμογή περιοριστικών μέτρων, δόθηκε έμφαση στη μελέτη της κοινής μεταφοράς, ήτοι των μέσων μαζικής μεταφοράς αλλά κυρίως ειδικών περιπτώσεων όπως η κοινή χρήση αυτοκινήτου μεταξύ διαφορετικών ατόμων, αλλά και η κοινή χρήση ποδηλάτου. Επιπλέον η διερεύνηση επικεντρώθηκε στην παρατήρηση και ανάλυση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, σε συνδυασμό με τους Αγώνες, σε μια περίοδο κατά την οποία αναμενόταν υψηλή συμφόρηση σε όλα τα μεταφορικά δίκτυα.

Για την πραγματοποίηση της διαδικασίας της διερεύνησης, οι μελετητές άντλησαν ποικιλία στοιχείων και παρατηρήσεων από παλαιότερες μελέτες που σχετίζονται με το αντικείμενο τους, ενώ για τη συγκέντρωση στοιχείων που αφορούν στις αλλαγές των προφίλ μετακίνησης των πολιτών, πραγματοποιήθηκε έρευνα πεδίου με διαδικτυακό ερωτηματολόγιο από τις 28 Ιουλίου έως την 1<sup>η</sup> Αυγούστου 2021, στην καρδιά των Ολυμπιακών αγώνων. Επιπρόσθετα, δεδομένα που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη μελέτη, ήταν δεδομένα σχετικά με τα μέτρα προστασίας από τη μετάδοση του ιού, τον αριθμό των κρουσμάτων στους κατοίκους της πόλης, τους επιβατικούς φόρτους στα μέσα μαζικής μεταφοράς, τα μέτρα κατά της διασποράς σε αυτά, καθώς και το επίπεδο εξυπηρέτησης και το βαθμό λειτουργίας των μέσων κοινής μετακίνησης. Τα ερωτηματολόγια περιείχαν ποικιλία ερωτήσεων που επικεντρώνονταν στο αν οι ερωτηθέντες μετέβαλλαν τον τρόπο της μετακίνησης τους λόγω της πανδημίας και των Ολυμπιακών Αγώνων, ή λόγω συνδυασμού και των δύο καταστάσεων, ενώ εμμέσως προέτρεπαν και ωθούσαν τους πολίτες να χρησιμοποιήσουν την κοινή μεταφορική μέθοδο, ενώ ταυτόχρονα διερευνούσαν πόσο πρόθυμοι είναι να το πράξουν. Τέλος, μέσω των ερωτήσεων συγκεντρώθηκαν και πληθυσμιακά στοιχεία, στοιχεία ιδιοκτησίας ΙΧ, στοιχεία εισοδήματος και άλλα.

Για την επεξεργασία των προαναφερθέντων στοιχείων εφαρμόστηκε ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης με σκοπό τη δημιουργία συγκεντρωτικών πινάκων και αντίστοιχων διαγραμμάτων. Οι πίνακες αυτοί κατηγοριοποιούσαν τα αποτελέσματα με βάση διάφορους παράγοντες, όπως οι αιτίες μεταβολής των προφίλ μετακίνησης και η συχνότητα αυτών, τα μέσα που επιλέχθηκαν, το αν ανήκουν στα μέσα μαζικής μεταφοράς ή αν πρόκειται για κοινή χρήση αυτοκινήτου και ποδηλάτου, τους παράγοντες αύξησης ή μείωσης του χρόνου μετακίνησης αλλά και του κόστους αυτής. Επιπρόσθετα, αναλύθηκαν δεδομένα που σχετίζονται με την αντίληψη της επικινδυνότητας της πανδημίας και πως αυτή επηρέασε τις επιλογές των μέσων μετακίνησης καθώς και την αντίληψη των πολιτών ως προς τη χρήση της μοιραζόμενης μετακίνησης και το ρόλο που αυτή μπορεί να παίξει στις καθημερινές δραστηριότητες αλλά και την προθυμία των πολιτών να την εφαρμόσουν, μέσω της παρακίνησης που εμπεριεχόταν στα ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια.

Ως προς τα αποτελέσματα της έρευνας, οι μεταβολές σε αρχικό στάδιο, των προφίλ μετακίνησης των πολιτών, ήταν κυρίως συνάρτηση της συχνότητας εξόδου από το σπίτι για επαγγελματικούς

και παρεμφερείς λόγους. Εν συνεχεία, παρατηρήθηκε ότι τα μέσα μαζικής μεταφοράς άρχισαν να εμφανίζουν πτωτικές τάσεις ως προς τις επιλογές των ερωτηθέντων ατόμων. Όσον αφορά τη σχέση του ρίσκου και της επικινδυνότητας της πανδημίας, αυτά προέκυψε να αποτελούν ισχυρό κίνητρο μεταβολής της επιλογής του μέσου μετακίνησης ανάλογα την αντίληψη του κάθε πολίτη. Αναφορικά με τη χρήση της κοινής μετακίνησης, άτομα που είχαν ήδη εμπειρία εφαρμογής της, προέκυψε πιο πιθανό να την επιλέξουν εκ νέου, ενώ με βάση κίνητρα που δόθηκε επιλογής αυτού του τρόπου μετακίνησης, όπως οικονομικά κίνητρα, αυτά είχαν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ώθηση των ατόμων να την πραγματοποιήσουν.

Σύμφωνα με τους Parr et al. (2020), η πανδημία του Covid-19 έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις αλλαγές της συμπεριφοράς μετακίνησης των πολιτών, λόγω των περιορισμών που επιβλήθηκαν αλλά και της κοινωνικής αποστασιοποίησης. Ανέφεραν επιπλέον ότι οι αλλαγές αυτές, ήταν ιδιαίτερα εύκολο να παρατηρηθούν μέσω των κυκλοφοριακών φόρτων των αυτοκινητόδρομων στη πολιτεία της Φλόριντα των ΗΠΑ με σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών. Με βάση την υψηλή αξιοπιστία και αντικειμενικότητα των δεδομένων κυκλοφοριακών φόρτων, έγινε δυνατή η σύγκριση των κοινωνικών συμπεριφορών ως προς τις μετακινήσεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τον αρχικό εντοπισμό του ιού και την εξάπλωση του στη χώρα.

Για την πραγματοποίηση των απαιτήσεων της διερεύνησης, συγκεντρώθηκαν στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου για τις ίδιες ημέρες μεταξύ των ετών 2019 και 2020 από όλη την έκταση της πολιτείας ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός και η παρατήρηση των μεταβολών των μετακινήσεων τόσο χρονικά όσο και χωρικά σε συνδυασμό επιπλέον με τους περιορισμούς που επέβαλλε η κυβέρνηση, θεωρώντας τη Φλόριντα ως μια περιοχή με ιδιαίτερα δημογραφικά χαρακτηριστικά. Τα συνολικά στοιχεία αφορούν σε 262 διατομές και αποκτήθηκαν από τους μελετητές μέσω του Florida Department of Transportation.

Η ανάλυση έλαβε χώρα με σκοπό την απάντηση πέντε βασικών ερωτήσεων που αντικατοπτρίζουν και προσεγγίζουν τη μεταβολή των προφίλ μετακίνησης των πολιτών. Για την εκτέλεση αυτής, εφαρμόστηκαν στατιστικές μέθοδοι οι οποίες συνέκριναν τα διαφορετικά στοιχεία για τις δύο περιόδους και είχαν τη δυνατότητα να εντοπίσουν τις διαφορές μεταξύ τους, αλλά επίσης και για διαφορετικά σημεία για τα οποία αποκτήθηκαν τα στοιχεία, όπως για παράδειγμα το αν ανήκουν σε αγροτική ή αστική περιοχή καθώς και την κατηγορία του οδικού δικτύου που μελετήθηκε. Επιπρόσθετα, όλα τα στοιχεία πριν χρησιμοποιηθούν για τη στατιστική ανάλυση, ελέγχθηκαν ως προς την ορθότητα τους, ώστε να μην υπεισέρχονται σφάλματα κατά την μαθηματική εφαρμογή των μεθόδων. Μετά την εκτέλεση των απαραίτητων υπολογισμών, προέκυψαν συνδυαστικά και συγκριτικά στοιχεία, τα οποία οπτικοποιήθηκαν με ποικιλία διαγραμμάτων και πινάκων και έναν χάρτη που παρουσιάζουν με αναλυτικό τρόπο τα αποτελέσματα των προσεγγίσεων που εφαρμόστηκαν.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της διερεύνησης, οι ερευνητές κατέληξαν ότι παρατηρήθηκε εντυπωσιακή μείωση στα επίπεδα των κυκλοφοριακών φόρτων από το 2019 στο 2020 κατά τη σύγκριση αντίστοιχων ημερομηνιών, η οποία μάλιστα έτεινε σε σημαντικό βαθμό να ακολουθεί τα αυξανόμενα κρούσματα του ιού στην Πολιτεία. Ακόμη, στα νότια της Φλόριντα, οι παρατηρηθείσες μειώσεις ήταν μικρότερες, γεγονός το οποίο αποδόθηκε στην ιδιαίτερα μεγαλύτερη πυκνότητα του πληθυσμού σε αυτή την περιοχή ενώ κατόπιν, τονίστηκε ότι οι αστικές περιοχές παρουσίασαν τη μείωση νωρίτερα συγκριτικά με τις αγροτικές. Επίσης, οι αυτοκινητόδρομοι οι οποίοι εξυπηρετούσαν τη συντριπτική πλειοψηφία των μετακινήσεων, παρουσίασαν νωρίτερα τις πτωτικές μεταβολές σε σχέση με τις κύριες αρτηρίες, μια κατάσταση η οποία αποδόθηκε στο ότι μεγάλος αριθμός πολιτών ενδέχεται να επέλεξε να πραγματοποιήσει κοντινότερες διαδρομές λόγω των περιορισμών. Τέλος, αναφέρεται ότι οι αστικές αρτηρίες παρουσίασαν διαφορετικές μεταβολές στους φόρτους τους μεταξύ διαφορετικών ημερών, σε σύγκριση με άλλες κατηγορίες οδών λόγω της προαναφερθείσας διαφορετικής έναρξης των πτωτικών τάσεων ανά κατηγορία οδού.

Η Sobge (2021), στη Γκάνα της δυτικής Αφρικής, υποστήριξε ότι η εμφάνιση της πανδημίας στη χώρα έπαιξε ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις μετακινήσεις με τα μέσα μαζικής μεταφοράς και στην επιλογή του μέσου μετακίνησης λόγω της κοινωνικής αποστασιοποίησης. Ανέφερε ότι η χρήση των μέσων αυτών αποτελούσε σημαντικό τμήμα της καθημερινότητας των πολιτών στη χώρα και τα μέτρα που έλαβε η κυβέρνηση της για την αποτροπή της διασποράς του ιού επηρέασαν την υπάρχουσα κατάσταση κατά τη διάρκεια της εξάπλωσης της πανδημίας. Επιπλέον, τόνισε ότι η ανάπτυξη των μέσων αυτών στη χώρα είναι ανεπαρκής, και δεν προσφέρει την αναμενόμενη παροχή υπηρεσιών στους πολίτες.

Η διερεύνηση έλαβε χώρα στις τρεις μεγαλύτερες πόλεις της χώρας οι οποίες αποτελούν κέντρο δραστηριοτήτων αλλά ταυτόχρονα αποτέλεσαν και κέντρο διασποράς του ιού. Η συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων πραγματοποιήθηκε μέσω ερωτηματολογίων που αναρτήθηκαν στο διαδίκτυο, καθώς και τυπικών ερωτηματολογίων που δόθηκαν δια ζώσης στους πολίτες σε μια περίοδο διάρκειας από την 1<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου έως τις 31 Οκτωβρίου 2020. Το δείγμα της έρευνας ήταν 1005 συμπληρωμένα ερωτηματολόγια. Στο πλαίσιο των ερωτηματολογίων, απαντήθηκε ποικιλία ερωτήσεων, με το πρώτο τμήμα αυτών να αναφέρεται σε δημογραφικά και περιουσιακά στοιχεία των ερωτηθέντων, ενώ το δεύτερο έδινε καθαρή έμφαση στις μετακινήσεις και τις αντίστοιχες επιλογές μέσων για την πραγματοποίησή τους.

Για την εκπόνηση της διερεύνησης έλαβε χώρα στατιστική ανάλυση των προαναφερθέντων στοιχείων με χρήση ειδικού λογισμικού (IBM SPSS). Η ανάλυση των στατιστικών στοιχείων είχε τόσο περιγραφικό χαρακτήρα όσο και ποσοτική μορφή για τη δημιουργία δυνατότητας πραγματοποίησης των απαραίτητων συγκρίσεων. Ακολουθώντας, εφαρμόστηκαν δοκιμές χωρίς τη χρήση παραμέτρων ώστε να καταστεί δυνατή η στατιστική ανάλυση των συμπερασμάτων. Η χρήση του προαναφερθέντος λογισμικού με τη χρήση των μεθόδων προσέγγισης της ανάλυσης που εφαρμόζει, είχε τη δυνατότητα να μην επηρεάζεται από προβληματικά στοιχεία και να καταλήγει στα απαραίτητα αποτελέσματα με υψηλή αξιοπιστία. Τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων με τη βοήθεια πινάκων αλλά και διαγραμμάτων, παρουσιάστηκαν με σκοπό την καλύτερη οπτικοποίηση αυτών αλλά και για να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών. Οι κατηγοριοποιήσεις αφορούσαν στα διαφορετικά μέσα μετακίνησης, στις ηλικίες των ατόμων που συμμετείχαν στην έρευνα αλλά και σε άλλα προσωπικά χαρακτηριστικά, όπως το επίπεδο μόρφωσης και η ύπαρξη ή μη, προσωπικού μέσου μετακίνησης για τις καθημερινές δραστηριότητες, καθώς και το πόσο επηρεάστηκαν οι συνήθειες του καθενός με την έλευση της πανδημίας.

Με βάση τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων, εντοπίστηκε ξεκάθαρη μεταβολή των προφίλ των επιλογών των πολιτών για την πραγματοποίηση καθημερινών επαγγελματικών, θρησκευτικών και άλλων δραστηριοτήτων. Ο βασικότερος παράγοντας που προέκυψε ως αποτρεπτικός για την επιλογή των μέσων μαζικής μεταφοράς αποτέλεσε η στενή επαφή μεταξύ των ατόμων κατά τη χρήση τους, ενώ τα άτομα που χρησιμοποιούσαν περισσότερο τα μέσα αυτά, παρά κάποιο προσωπικό ΙΧ, έτειναν να επηρεάζονται περισσότερο από τον παράγοντα αυτόν. Τέλος, αναφέρθηκε ότι τα άτομα που επέλεγαν τα μέσα μαζικής μεταφοράς, με την έλευση της πανδημίας, θεωρούσαν ως βασικότερη παράμετρο την αποφυγή της διασποράς για την επιλογή του μέσου, σε σχέση με πριν την εμφάνιση της που επηρεάζονταν κυρίως από το κόμιστρο η τη διαθεσιμότητα οχημάτων.

Οι Manuwar et al. (2021), θεώρησαν ότι η πανδημία του Covid-19 επέφερε σημαντικές επιπτώσεις στις μεταφορές της Αυστραλίας. Η κυβέρνηση της χώρας, για τον περιορισμό της διασποράς του ιού, επέβαλλε σημαντικό αριθμό περιορισμών, οι οποίοι αναπόφευκτα επηρέασαν τη λειτουργία τριών τομέων των μεταφορών, όπως οι εναέρια μεταφορές, τα μέσα μαζικής μεταφοράς αλλά και οι εμπορευματικές μεταφορές. Επιπλέον, τονίστηκε ότι οι επιπτώσεις στη

χρήση των μέσων μεταφοράς από τους πολίτες, δεν αφορούσε μόνο στις αλλαγές των προφίλ μετακίνησης αλλά σχετίζεται άμεσα με σημαντική οικονομική δυσφορία του συνολικού τομέα μεταφορών για την υπό μελέτη χώρα.

Για την πραγματοποίηση της διερεύνησης, οι μελετητές αξιοποίησαν σημαντικό αριθμό συνδυαστικών στοιχείων από ποικιλία πηγών υψηλής αξιοπιστίας. Μεγάλο μέρος των στοιχείων συγκεντρώθηκε από μελέτη παρεμφερών άρθρων, από διαδικτυακές βάσεις δεδομένων συσχετιζόμενες με μετακινήσεις και επιβατικούς φόρτους, από συνεντεύξεις καθώς και ειδικές διαδικτυακές πλατφόρμες. Για την ορθότερη αξιοποίηση των στοιχείων αυτών, έγινε κατανομή της έρευνας σε έναν αριθμό συνδυαστικών ερωτήσεων που απαντούν σε θέματα σχετικά με τα προφίλ μετακινήσεων των πολιτών και τη χρήση των διαφορετικών μέσων μεταφοράς ή και την επιρροή στις εναέριες μετακινήσεις και τις εμπορευματικές μεταφορές.

Για την εξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων της διερεύνησης, εφαρμόστηκε συνδυαστική προσέγγιση με ταυτόχρονη χρήση υπαρχόντων αποτελεσμάτων στατιστικών αναλύσεων, καθώς και νέες στατιστικές αναλύσεις των αποκτηθέντων στοιχείων. Σκοπός ήταν η δημιουργία συγκεντρωτικών γραφημάτων και σχημάτων που να συνοψίζουν τα αποτελέσματα που είχαν συγκεντρωθεί ώστε να προκύψουν πρακτικά συμπεράσματα για την επιρροή της πανδημίας στις μεταφορές της Αυστραλίας. Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι η υπό αναφορά διερεύνηση αποτέλεσε κατά κύριο λόγο επιστημονική βιβλιογραφική ανασκόπηση και σχολιασμό αξιόπιστων στοιχείων που επεξεργάστηκαν μέσω στατιστικών προσεγγίσεων και δεν εφάρμοσε συγκεκριμένη μαθηματική διαδικασία για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που θα αναφερθούν εν συνεχεία.

Με βάση τη συνδυαστική ανάλυση των στοιχείων σε συνάρτηση με τα μέτρα κατά της διασποράς της πανδημίας, προέκυψε εντυπωσιακή μείωση στη χρήση όλων των τομέων των μεταφορών της χώρας ενώ οι εμπορευματικές μεταφορές επλήγησαν και αυτές αντίστοιχα κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της. Επιπροσθέτως, παρά τα μέτρα που πάρθηκαν και οδήγησαν σε περιορισμό των νέων μολύνσεων και της διασποράς, οι πολίτες δεν έτειναν να επαναφέρουν τα προφίλ μετακινήσεων τους στις αρχικές τους καταστάσεις προ έλευσης της πανδημίας στη χώρα. Τέλος, οι περιορισμοί και οι αναγκαστικές αλλαγές στις συνήθειες των πολιτών, οδήγησαν σε περιορισμό των κυκλοφοριακών φόρτων στα μεγάλα οδικά τμήματα των κύριων αστικών κέντρων.

Οι Liu et al. (2020) διερεύνησαν την επίδραση της πανδημίας του Covid-19 και των σχετικών περιορισμών που εφαρμόστηκαν, στην επιβατική ζήτηση για τα δημόσια μέσα μεταφοράς στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Με την αύξηση των κρουσμάτων στη χώρα, Πολιτείες και πόλεις άρχισαν να εφαρμόζουν ποικιλία περιοριστικών μέτρων σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής τα οποία επέφεραν αλλαγές στις καθημερινές συνήθειες των πολιτών. Επιπλέον, αναφέρθηκε ότι η επιρροή στα μεταφορικά συστήματα από πρωτόγνωρες καταστάσεις όπως αυτή μιας πανδημίας, αποτελεί ένα αντικείμενο που γεννά πολλά είδη ερωτημάτων και μπορεί να μελετηθεί με ποικίλους τρόπους.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας, οι ερευνητές, αξιοποίησαν δεδομένα μετακινήσεων από την εφαρμογή κινητού τηλεφώνου Transit η οποία καλύπτει αξιολογο αριθμό σημαντικών Αμερικανικών πόλεων, καθώς η εν λόγω εφαρμογή με τα στοιχεία που συγκεντρώνει, αποτελεί εργαλείο παρατήρησης των μεταβολών της επιβατικής ζήτησης σε καθημερινή αλλά και ωριαία βάση. Επιπρόσθετα, συγκεντρώθηκαν στοιχεία κρουσμάτων του ιού στη χώρα από τη βάση δεδομένων USAFacts τα οποία συσχετίστηκαν με τη μεταβολή της ζήτησης στα μεταφορικά συστήματα. Η ανάλυση αφορούσε 113 μεταφορικά συστήματα των Ηνωμένων Πολιτειών.

Η στατιστική μέθοδος ανάλυσης που εφαρμόστηκε είναι η Λογιστική Συνάρτηση για μια χρονοσειρά περιόδου από τις 15 Φεβρουαρίου του 2020 έως τις 10 Μαΐου του ίδιου έτους. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό παραμέτρων και στοιχείων τα οποία απαιτούν την απαραίτητη βαθμονόμηση. Για είναι δυνατή η πραγματοποίηση της εν λόγω βαθμονόμησης, αξιοποιήθηκαν στοιχεία όπως το φύλο, το εισόδημα, η πυκνότητα του πληθυσμού και άλλα τα

οποία μέσω αναλύσεων παλινδρόμησης συσχετίστηκαν με τις μεταβλητές. Όλα τα αποτελέσματα ελέγχθηκαν από άποψη στατιστικής σημαντικότητας και αξιοπιστίας με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου, χρησιμοποιώντας ειδικούς δείκτες, όπως αυτοί προκύπτουν από τη διαδικασία. Επιπλέον, για την ανάλυση και μελέτη των διαφοροποιήσεων της επιβατικής ζήτησης πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας, εφαρμόστηκε η μέθοδος Procrustes analysis. Με την ολοκλήρωση των προαναφερθέντων στατιστικών διαδικασιών, δημιουργήθηκαν και ενδεικτικά γραφήματα τα οποία συνοψίζουν τα αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα αυτά καταστούν σαφείς τις έντονες διαφοροποιήσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ διαφορετικών περιοχών μελέτης, όπως για παράδειγμα δύο συστημάτων μετρό. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί ότι οι μελετητές εφαρμόζοντας του απαραίτητους ελέγχους, απέδειξαν ότι η Λογιστική Συνάρτηση περιγράφει με υψηλή αξιοπιστία και προσαρμόζεται επαρκώς στα δεδομένα της εφαρμογής Transit.

Με βάση τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων και με σύγκριση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του κάθε ατόμου, προέκυψε ότι οι αστικές περιοχές με εργατικό χαρακτήρα και πιο ευάλωτους πληθυσμούς έτειναν να διατηρήσουν υψηλότερη επιβατική ζήτηση κατά τη διάρκεια της πανδημίας, σε σχέση με άλλες περιοχές που δεν εμφάνιζαν παρόμοια χαρακτηριστικά. Επιπρόσθετα, έπειτα από ανάλυση των παραχθέντων καμπυλών ζήτησης, εντοπίστηκε ότι σε πολλές περιπτώσεις, οι μείωση του επιβατικού φόρτου άρχισε να παρατηρείται νωρίτερα από την αύξηση της διασποράς του ιού στην εκάστοτε κοινότητα. Τέλος, οι αναλύσεις των ωριαίων ζητήσεων για μετακίνηση, κατέληξαν στο ότι οι διαδρομές μετακίνησης των πολιτών ήταν σημαντικά διαφοροποιημένες κατά τη διάρκεια της πανδημίας, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες πριν την έλευση της στη χώρα.

Σε επιστημονική διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στις είκοσι πιο μητροπολιτικές περιοχές των ΗΠΑ οι Qi et al. (2021) συσχέτισαν τις επιπτώσεις της πανδημίας του Covid-19 με τις μεταβολές της χρήσης των δημόσιων συστημάτων μεταφοράς. Τα συστήματα αυτά αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο της καθημερινότητας των πολιτών και είναι απαραίτητα για τη διεκπεραίωση των καθημερινών δραστηριοτήτων και αναγκών τους. Με βάση αυτό, επιλέχθηκε να μελετηθούν εις βάθος οι παράγοντες που κατά τη διάρκεια της πανδημίας, οδήγησαν σε μείωση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς σε συνδυασμό και αξιοποιώντας δεδομένα πιο ειδικά από τα κρούσματα και τους θανάτους, όπως αυτά εφαρμόστηκαν ήδη σε αντίστοιχες έρευνες.

Για την πραγματοποίηση της διερεύνησης αξιοποιήθηκαν και συγκεντρώθηκαν στοιχεία για χρονική περίοδο ενός έτους από την 1<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 2020 έως τις 21 Ιανουαρίου του 2021. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν σε στοιχεία σχετικά με την πανδημία, όπως ο αριθμός των κρουσμάτων και των θανάτων, σε στοιχεία χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς και της ζήτησης αυτών, καθώς και κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των μητροπολιτικών περιοχών μελέτης όπως αυτά αποκτήθηκαν από αξιόπιστους κρατικούς φορείς σε επίπεδο Πολιτείας αλλά και επαρχίας.

Μετά τη συγκέντρωση των προαναφερθέντων στοιχείων, ακολούθησε επεξεργασία τους με σκοπό τη στατιστική ανάλυση και τον καθορισμό εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε ο μηνιαίος ρυθμός μείωσης της χρήσης των μέσων, ενώ οι ανεξάρτητες μεταβλητές συσχετίστηκαν με ποικιλία στοιχείων όπως τα δεδομένα της πανδημίας και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά. Με βάση αυτές τις μεταβλητές, εν συνεχεία υπολογίστηκαν σημαντικοί ποσοστιαίοι δείκτες που παρουσίασαν το βαθμό αναγνώρισης της απειλής της πανδημίας από τους πολίτες. Επιπρόσθετα, για την εξαγωγή των συμπερασμάτων της διερεύνησης εφαρμόστηκε το μοντέλο Random Effects Panel data, το οποίο ως στατιστική μέθοδος μπορεί να συσχετίσει μεταξύ τους τις ανεξάρτητες μεταβλητές και να εντοπίσει αυτές με υψηλό βαθμό συσχέτισης, γεγονός που δημιουργεί πρόβλημα σε μια ανάλυση παλινδρόμησης, με αποτέλεσμα κάποιες από αυτές να πρέπει να απορριφθούν. Με βάση αυτόν τον έλεγχο, η εφαρμογή της μεθόδου μπόρεσε εν συνεχεία να χαρακτηριστεί ως ορθή, με αξιόπιστα

αποτελέσματα. Επιπλέον, ως δεύτερη μέθοδος ανάλυσης, εφαρμόστηκε η κλασική ανάλυση συσχετίσεων για επιπλέον έλεγχο και διασταύρωση των αποτελεσμάτων.

Εξετάζοντας τα συμπεράσματα της διερεύνησης, προέκυψε ότι σε όλες τις μητροπολιτικές περιοχές παρατηρήθηκε μείωση της ζήτησης, με επιμέρους διαφοροποιήσεις. Επιπροσθέτως, ο βαθμός αναγνώρισης της απειλής της πανδημίας αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα της επιλογής ενός μέσου μαζικής μεταφοράς για μετακίνηση. Ακόμη, οι περιοχές με μεγαλύτερα εισοδήματα πολιτών και μικρότερα ποσοστά ανεργίας έτειναν να παρουσιάζουν μεγαλύτερες μειώσεις στη ζήτηση για μετακίνηση ενώ τέλος, σημαντικές ήταν και οι διαφοροποιήσεις που παρατηρήθηκαν ανάλογα τα ιδιαίτερα δημογραφικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά της κάθε μητροπολιτικής περιοχής μελέτης.

Στην πόλη της Κωνσταντινούπολης στην Τουρκία, οι Aydin et al. (2022) υποστήριξαν ότι η συμπεριφορά των πολιτών ως προς τις επιλογές και τα προφίλ μετακίνησης επηρεάστηκαν ιδιαίτερα από την πανδημία του Covid-19. Επιπλέον, αναφέρθηκε ότι η συμπεριφορά των πολιτών και η αντίληψη τους ως προς τα περιοριστικά μέτρα αποτέλεσαν έναν ακόμα παράγοντα διερεύνησης καθώς η έλευση της πανδημίας στη χώρα, αλλά και στις περισσότερες χώρες του κόσμου, αποτέλεσε μια νέα πρωτόγνωρη πραγματικότητα για τη συντριπτική πλειοψηφία των καθημερινών δραστηριοτήτων συμπεριλαμβανομένης και της συμπεριφοράς ως προς τις μετακινήσεις. Η Κωνσταντινούπολη αποτελεί σημαντικό μητροπολιτικό κέντρο για την Τουρκία και εξυπηρετείται από μεγάλο αριθμό μεταφορικών συστημάτων, τα οποία επηρεάστηκαν σημαντικά από τα νέα δεδομένα.

Για την απόκτηση των απαραίτητων δεδομένων για την εκπόνηση της διερεύνησης, συγκεντρώθηκε σημαντικός αριθμός στοιχείων με διαδικτυακές μεθόδους, όπως ερωτηματολόγια, επικοινωνία μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και πλατφορμών κοινωνικής δικτύωσης. Τα στοιχεία αναφέρονταν σε χρονικό πλαίσιο των τριών πρώτων μηνών από την έλευση της πανδημίας στην πόλη. Στα πλαίσια της συγκέντρωσης των απαραίτητων δεδομένων αποκτήθηκαν κοινωνικά και δημογραφικά στοιχεία ενώ εν συνεχεία, τα στοιχεία αφορούσαν τις αλλαγές στις συνήθειες των μετακινήσεων των πολιτών πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Επιπρόσθετα, ένα τελικό τμήμα των πληροφοριών που συγκεντρώθηκαν αφορούσε στο πως αντιλήφθηκαν οι πολίτες τα εφαρμοζόμενα μέτρα κατά της διασποράς της πανδημίας και πως αξιολογούσαν την ασφάλεια μετακίνησης στα επιμέρους μέσα.

Σε αρχικό στάδιο για την εκπόνηση της διερεύνησης, έλαβε χώρα ανάλυση των δημογραφικών στοιχείων και κατηγοριοποίηση αυτών με χρήση γραφημάτων και σχημάτων. Όσον αφορά τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων, εφαρμόστηκε το τεστ  $\chi^2$  του Pearson με βάση τους στατιστικούς δείκτες του οποίου αποδείχθηκε η υψηλή στατιστική σημαντικότητα των υποθέσεων των ερευνητών για τη συχνότητα και τις προτιμήσεις των ερωτηθέντων ως προς τις επιλογές της μετακίνησης. Εν συνεχεία, για τη στατιστική ανάλυση του τμήματος της έρευνας που αφορούσε στην αντίληψη των πολιτών ως προς την ασφάλεια χρήσης της δημόσιας συγκοινωνίας, εφαρμόστηκε το τεστ του Levene για την αξιολόγηση των αντίστοιχων υποθέσεων. Για έναν αξιόλογο αριθμό ερωτημάτων τα οποία εμπλούτιζαν το θέμα της διερεύνησης, εφαρμόστηκαν οι αντίστοιχες στατιστικές αναλύσεις και έλεγχοι μέσω των οποίων αξιολογήθηκαν οι υποθέσεις. Επιπρόσθετα, μετά τους στατιστικούς ελέγχους δημιουργήθηκαν διαγράμματα με συγκεντρωτικά στοιχεία των προαναφερθέντων στατιστικών προσεγγίσεων.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα της εργασίας, παρατηρήθηκε ότι η αλλαγή πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας όσον αφορά τη συμπεριφορά των πολιτών ως προς τις μετακινήσεις είναι ιδιαίτερα σημαντική. Επιπλέον, οι πολίτες έτειναν να επιλέξουν περισσότερο εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης όπως το ποδήλατο και το περπάτημα, καθώς τους θεωρούσαν αρκετά ασφαλέστερους, ενώ αντίστοιχα, μαζί με τη μείωση των επιβατικών φόρτων, εντοπίστηκε και αντίστοιχη μείωση στη συχνότητα χρήσης των μέσων της δημόσιας συγκοινωνίας. Τέλος, τονίστηκε ότι με συνάρτηση τα δημογραφικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά, δεν παρατηρήθηκε



αξιοσημείωτη διαφοροποίηση μεταξύ των πολιτών αναφορικά με την αντίληψη της επικινδυνότητας της πανδημίας, ωστόσο οι γυναίκες έτειναν να τηρούν τα μέτρα προστασίας περισσότερο από τους άντρες.

Σε επιστημονική διερεύνηση που έλαβε χώρα στη Βουδαπέστη, οι de Souza and Mátrai (2022) υποστήριξαν ότι οι περιορισμοί κατά της διασποράς του Covid-19 που εφαρμόστηκαν στην Ουγγαρία, επηρέασαν σημαντικά τις μετακινήσεις του πληθυσμού στα αστικά μεταφορικά συστήματα. Η νέα πραγματικότητα που ήταν άμεσο αποτέλεσμα της πανδημίας, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις καθημερινές μετακινήσεις των πολιτών και στις αλλαγές των συνθηκών τους. Για τη χρονική περίοδο Μαρτίου και Απριλίου του 2020, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στην ανάλυση των μεταβολών στη γένεση μετακινήσεων και την επιλογή μέσου μετακίνησης.

Για την εκτέλεση της έρευνας συγκεντρώθηκε και χρησιμοποιήθηκε μεγάλη ποικιλία στοιχείων όπως η χρήση ποδηλάτων από το σύστημα MOL-Bubi, στοιχεία μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου, αριθμός πωλήσεων εισιτηρίων για τα μέσα μαζικής μεταφοράς καθώς και στοιχεία επιβατικών φόρτων για τα δημόσια μεταφορικά συστήματα. Για τη βέλτιστη ορθότητα των δεδομένων αυτών εφαρμόστηκε η μέθοδος εξομάλυνσης του Holt Winters' σε δεδομένα που κάλυπταν χρονοσειρά τριών ετών μηνιαίων παρατηρήσεων πριν την έναρξη της περιόδου ενδιαφέροντος, ήτοι Μάρτιος του 2020. Επιπρόσθετα, τα ημερήσια στοιχεία συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες καταγραφές πριν και μετά την περίοδο ενδιαφέροντος με χρήση βάσεων δεδομένων. Τα σημεία που παρουσίαζαν ελλείψεις καταγραφών διορθώθηκαν με χρήση γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης.

Για την ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων εφαρμόστηκε μοντέλο μεταφορών τεσσάρων βημάτων με σκοπό την παρουσίαση του δικτύου μεταφορών της πόλης υπό τη δράση των περιοριστικών μέτρων κατά της πανδημίας. Οι παράμετροι του μοντέλου βαθμονομήθηκαν με χρήση ποικιλίας πληθυσμιακών στοιχείων που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες όπως για παράδειγμα μαθητές και εργαζόμενοι αλλά και χρονικά στοιχεία όπως οι χρόνοι διαδρομής. Επιπλέον, στις εξισώσεις του μοντέλου υπεισέρχονται και άλλης μορφής παράμετροι όπως οι χρόνοι διαδρομής μεταξύ ζωνών, οι επιλογές μέσων μετακίνησης, η ιδιοκτησία ΙΧ, η μέση πληρότητα των οχημάτων και άλλα. Για την τελική επίλυση του μοντέλου και τη γένεση μετακινήσεων χρησιμοποιήθηκε λογισμικό προσομοίωσης (PTV VISUM 2020) για 192 ζώνες συνολικά στην ευρύτερη περιοχή της πόλης. Κατά την επεξεργασία των στοιχείων αναφέρεται επίσης, ότι δημιουργήθηκαν γραφήματα που παρουσίαζαν αναλυτικά τις μεταβολές, ενώ μετά την εφαρμογή του μοντέλου δημιουργήθηκε ειδικός χάρτης που συνόψιζε τα αποτελέσματα του.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της έρευνας, οι περιορισμοί που εφαρμόστηκαν στην πόλη έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη γένεση μετακινήσεων και στην επιλογή του εκάστοτε μέσου μετακίνησης, αλλά και γενικότερα στις συμπεριφορές των μετακινούμενων. Επιπλέον, προέκυψαν αξιολογές μειώσεις στις μετρήσεις των κυκλοφοριακών φόρτων τόσο στα προάστια, όσο και εντός του αστικού ιστού της Βουδαπέστης, γεγονός που μπόρεσε να εξηγηθεί μέσω του ότι οι περισσότερες δραστηριότητες πραγματοποιούνταν από την κατοικία. Τέλος, τα μέσα μαζικής μεταφοράς έτειναν να επιλέγονται σημαντικά λιγότερο από τους πολίτες, σε αντίθεση με το ιδιωτικό αυτοκίνητο και το ποδήλατο, οι χρήσεις των οποίων εμφάνισαν αυξητικές τάσεις.

Οι Tirachini and Cats (2020), διερεύνησαν την επιρροή της πανδημίας του Covid-19 στις δημόσιες συγκοινωνίες θεωρώντας ότι η αξιολόγηση αυτής της κατάστασης αποτελεί σημαντικό εργαλείο μελλοντικής έρευνας. Θεωρήθηκε ότι παρά τα ποικίλα μέτρα που πάρθηκαν από τις Κυβερνήσεις κάθε χώρας, ένα από τα αποτελεσματικότερα είναι η αποστασιοποίηση και η ορθή χρήση μάσκας εντός των οχημάτων μαζικής μεταφοράς. Επίσης, αναφέρθηκε ότι οι επιπτώσεις

της πανδημίας ξεπερνούν κατά πολύ το ρίσκο μόλυνσης και επεκτείνονται σε πολλούς τομείς της κοινωνικής και οικονομικής ζωής.

Η παρούσα έρευνα αποτελεί αναλυτική περιγραφή θεμάτων που σχετίζονται με τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς την περίοδο της πανδημίας και κύριος στόχος της ήταν να καταστήσει σαφή τη λογική και την προσέγγιση στα μέτρα που εφαρμόστηκαν σε διάφορες χώρες σχετικά με την προστασία από τη διασπορά του ιού. Συνεπώς δεν έλαβε χώρα η συγκέντρωση συγκεκριμένων αριθμητικών δεδομένων με σκοπό το μαθηματικό υπολογισμό και την εξαγωγή τέτοιου είδους συμπερασμάτων.

Όσον αφορά τα μέτρα που προέκυψε να πρέπει να εφαρμοστούν στις δημόσιες συγκοινωνίες, οι συγγραφείς έθιξαν ως σημαντικότερα αρχικά την ανάγκη εφαρμογής της κοινωνικής αποστασιοποίησης. Εν συνεχεία τόνισαν τη δυσκολία εφαρμογής αυτού του μέτρου σε κλειστούς συνωστισμένους χώρους. Έπειτα, έδωσαν έμφαση στην ανάλυση της σωστής χρήσης μάσκας και τη χαρακτήρισαν ως μια από τις πιο αξιόλογες μεθόδους για την αποφυγή της μετάδοσης του ιού. Τέλος ανέφεραν τη σημασία της σωστής υγιεινής και του αερισμού των κλειστών χώρων. Αναφορικά με τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, προσέθεσαν ότι η έλευση της πανδημίας, μέσω των μέτρων που εφαρμόστηκαν, έπληξε οικονομικά τα μέσα μαζικής μεταφοράς ενώ επίσης η χρήση τους εγκαταλείφθηκε από μεγάλο μέρος πολιτών. Τέλος, επικεντρώθηκαν στο γεγονός ότι η ανερχόμενη ιδέα της βιώσιμης κινητικότητας βρίσκεται υπό κρίση παρατηρώντας τις επιπτώσεις της πανδημίας στα μέσα μαζικής μεταφοράς.

Συμπερασματικά, οι συγγραφείς καταλήγουν στο πόσο επλήγη η δημόσια συγκοινωνία από τις συγκυρίες που επέφερε η πανδημία. Επιπλέον, επεξήγησαν τη σημαντικότητα του να παρθούν μέτρα τέτοιου τύπου, ώστε τα μέσα μαζικής μεταφοράς να είναι ασφαλή και συνεπώς να μην επικρατήσει η λανθασμένη αντίληψη ότι φέρουν πάντα υψηλή επικινδυνότητα σε τέτοιες πρωτόγνωρες καταστάσεις.

Οι Aloi et al. (2020), στην πόλη Santander της Ισπανίας, υποστήριξαν ότι οι περιορισμοί των μετακινήσεων που επιβλήθηκαν λόγω της πανδημίας του Covid-19 είχαν σημαντικές επιπτώσεις στους τομείς της αστικής κινητικότητας. Οι αρνητικές συνέπειες της έλευσης της πανδημίας δεν έχουν μελετηθεί αναλυτικά όσον αφορά τις μικρότερες πόλεις της Ευρώπης, ωστόσο και σε αυτές τις περιπτώσεις, η μείωση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς ήταν εμφανής, καθώς σημαντικός αριθμός πολιτών, απέφευγε να τα επιλέξει για τις μετακινήσεις του, λόγω φόβου της διασποράς του ιού. Συγκεκριμένα στην Ισπανία, τα μέτρα που εφαρμόστηκαν είχαν τα αντίστοιχα αναμενόμενα αποτελέσματα, καθώς η μείωση της χρήσης της δημόσιας συγκοινωνίας έγινε άμεσα εμφανής για όλα τα μέσα, και μάλιστα σε όλες τις περιοχές της χώρας, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής μελέτης.

Για την εκπόνηση της διερεύνησης, συγκεντρώθηκε σημαντικός αριθμός στοιχείων από ποικίλους φορείς της περιοχής μελέτης όπως δεδομένα φόρτων και χρονικής κατάληψης από ανιχνευτές οχημάτων. Επιπρόσθετα αξιοποιήθηκαν στοιχεία GPS και ITS για εκτίμηση στοιχείων ταχυτήτων, δεδομένα επικύρωσης εισιτηρίων ανά μέσο μαζικής μεταφοράς, καθώς επίσης έλαβε χώρα η ανάλυση των καταγραφών από 45 κάμερες ασφαλείας. Μέσω των καμερών αυτών, κατέστη δυνατό να παρατηρηθούν οι κινήσεις των πεζών πριν αλλά και κατά τη διάρκεια της πανδημίας, γεγονός που έδωσε τη δυνατότητα πραγματοποίησης συγκρίσεων. Τέλος, αξιοποιήθηκαν στοιχεία αισθητήρων από την τοπική Περιφερειακή Διεύθυνση Περιβάλλοντος καθώς και στοιχεία κινούμενων δεκτών στις οροφές των λεωφορείων.

Για την ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων ακολουθήθηκε στατιστική προσέγγιση και συγκεκριμένα το Network Macroscopic Fundamental Diagram. Με βάση αυτό και τις δυνατότητες που παρέχει, δημιουργήθηκαν διαγράμματα που παρουσιάζουν τα στοιχεία, και προσφέρουν την απεικόνιση ενός προφίλ των μέσων ροών της πόλης μελέτης αλλά και τις μετακινήσεις με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Εν συνεχεία, οι ερευνητές, έχοντας εφαρμόσει τις απαραίτητες βελτιστοποιήσεις στα δεδομένα, χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως αυτές έχουν

εφαρμοστεί σε παρόμοιες έρευνες, μπόρεσαν να εξαγάγουν σημαντικό αριθμό αποτελεσμάτων τα οποία παρουσίασαν με χρήση διαγραμμάτων. Ακόμη, αναφέρεται ότι για να μπορέσουν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τη χρήση των ποδηλάτων και τον αριθμό των πεζών, χρησιμοποιήθηκε μοντέλο κινητικότητας όπως αυτό είχε βαθμονομηθεί από μελέτες του Πανεπιστημίου της Cantabria. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, οι μελετητές εφάρμοσαν αντίστοιχη προσέγγιση όπως και στα μέσα μαζικής μεταφοράς για να καταλήξουν στα συμπεράσματα τους. Τέλος, οι μετρήσεις των κινούμενων και σταθερών αισθητήρων, έδωσαν τα κατάλληλα στοιχεία ώστε να μπορέσουν να δημιουργηθούν χάρτες με τις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων, οι ερευνητές παρατήρησαν σημαντική μείωση στη χρήση των μέσων μεταφοράς με εξαίρεση τη χρήση του ιδιωτικού ΙΧ, του οποίου η πτώση ήταν σημαντικά μικρότερη. Επιπλέον, οι ημερήσιες συνολικές μετακινήσεις είχαν παρουσιάσει πτώση, ενώ με ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρατηρήθηκε η εξαφάνιση της απογευματινής αιχμής. Τέλος, όλα τα μέτρα τα οποία επιβλήθηκαν, σε συνδυασμό με τις αλλαγές στην καθημερινότητα των πολιτών, οδήγησαν σε αξιόλογη μείωση των εκπομπών καυσαερίων στην πόλη.

Σύμφωνα με τους Fachetta and Noussan (2020), η πανδημία του Covid-19 επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τη μεταφορική ζήτηση, την επιλογή των μέσων μετακίνησης αλλά και την ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρωπαϊκή ήπειρο. Η αρνητική επιρροή της πρωτόγνωρης κατάστασης ήταν εύκολα εντοπίσιμη τόσο στα μέσα μαζικής μεταφοράς των αστικών περιοχών, όσο και στη λειτουργία των εναέριων μεταφορών, ενώ ταυτόχρονα και οι μεταφορές εμπορευμάτων εμφάνισαν αξιοσημείωτες πτωτικές τάσεις. Ανέφεραν επίσης, ότι στη σημερινή εποχή, ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για ένα ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό εκπομπής των ρύπων του θερμοκηπίου.

Η παρούσα διερεύνηση αποτελεί επιστημονική ανασκόπηση στοιχείων που συνδέουν τις παραπάνω μεταβολές στον τομέα των μεταφορών με την κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς δεν εφαρμόστηκε κάποιο συγκεκριμένο μαθηματικό ή στατιστικό μοντέλο για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Αντίθετα, η εργασία, έθιξε με επιστημονικό υπόβαθρο τα παραπάνω ζητήματα, και με χρήση υπαρχόντων στατιστικών στοιχείων και παρατηρήσεων, κατέληξε σε συμπεράσματα και προτάσεις.

Με βάση τα νέα δεδομένα και τα εφαρμοζόμενα περιοριστικά μέτρα σε ποικίλους τομείς, οι ερευνητές παρατήρησαν ότι σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, έχει συνδεθεί άμεσα με ιδιαίτερα αυξημένη πιθανότητα μόλυνσης από τον ιό. Με άλλα λόγια, σημαντικός αριθμός πολιτών που χρησιμοποιούσε τα μέσα αυτά, αποφάσισε να οδηγηθεί σε αλλαγές των επιλογών του ή και να τα αποφύγει εντελώς. Το προαναφερθέν, δεν θεωρήθηκε ότι επηρεάζει μόνο τις επιλογές των μέσων, αλλά και τις στρατηγικές που επιλέγουν να ακολουθήσουν οι εταιρείες μεταφορών. Επιπρόσθετα, καθώς οι μεταφορές αποτελούν έναν από τους τομείς που επλήγησαν περισσότερο από τη νέα κατάσταση, σε χώρες με ανεπτυγμένα μεταφορικά δίκτυα, οι πολίτες ενδέχεται να συνεχίσουν και μετά το πέρας της πανδημίας να χρησιμοποιούν εναλλακτικά μέσα μετακίνησης όπως το ποδήλατο, ενώ ταυτόχρονα η χρήση του ιδιωτικού ΙΧ ενδέχεται να παρουσιάσει αυξητικές τάσεις. Οι ερευνητές, αξιοποιώντας δεδομένα επιβατικής κίνησης και χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς της Apple δημιούργησαν συγκεντρωτικά γραφήματα για πολλές χώρες της Ευρώπης, στα οποία αποδεικνύονται οι πτωτικές τάσεις στις χρήσεις των μέσων για την άνοιξη του 2020.

Συμπερασματικά, κατέληξαν στο ότι οι μακροπρόθεσμες συνέπειες στον μεταφορικό τομέα και στην κατανάλωση ενέργειας από αυτόν είναι ιδιαίτερα απρόβλεπτες. Επιπλέον, θεώρησαν ότι η επιβατική ζήτηση για τα μέσα μαζικής μεταφοράς, παρά το σταδιακό πέρας της πανδημίας, θα παραμείνει σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που τη χαρακτήριζαν σε περιόδους πριν την έλευση της στις Ευρωπαϊκές χώρες λόγω κυρίως της τακτικής εφαρμογής της τηλεργασίας και των όχι

τόσο συχνών διεθνών μετακινήσεων. Τέλος, τόνισαν ότι ο τομέας των μεταφορών, του οποίου η ανάκαμψη θεωρείται ως η πιο αβέβαιη είναι αυτή των εμπορευμάτων.

Σε επιστημονική διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στην πόλη Tampere της Φινλανδίας, οι Tiikka ja and Viri υποστήριξαν την άμεση επιρροή της πανδημίας του Covid-19 στα μέσα μαζικής μεταφοράς, όπως στη συχνότητα χρήσης τους από τους πολίτες. Η εργασία επικεντρώθηκε στην περίοδο του Μαΐου 2020 συγκρίνοντας την με τον Ιανουάριο του ίδιου έτους, όπου η κατάσταση ήταν ακόμα σε φυσιολογικά επίπεδα. Τονίστηκε επιπλέον, ότι λόγω της υψηλής χρησιμότητας των μέσων μαζικής μεταφοράς για τις καθημερινές ανάγκες των πολιτών, όπως ήταν λογικό, μια πλήρης απαγόρευση της λειτουργίας τους θα ήταν παράλογη. Ταυτόχρονα, λόγω της περιορισμένης χρήσης τους από αυτούς, με γνώμονα τη νέα πρωτόγνωρη πραγματικότητα, ήταν αναμενόμενο να παρατηρηθεί διαφοροποίηση του επιπέδου λειτουργίας, για οικονομικούς λόγους. Η εργασία, με βάση τα παραπάνω, επικεντρώθηκε στη διερεύνηση των μέσων της δημόσιας συγκοινωνίας που εξυπηρετούσαν μετακινήσεις κυρίως προς το κέντρο της πόλης, και δεν έδωσε έμφαση σε περιπτώσεις λεωφορειακών γραμμών που συνδέονται με τα προάστια.

Αναφορικά με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, οι μελετητές αξιοποίησαν και δημιούργησαν χαρτογραφικό υπόβαθρο το οποίο απεικόνιζε τις διαδρομές, στάσεις και προγράμματα δρομολογίων, ώστε να δημιουργηθεί μια γενική εικόνα της κατάστασης λειτουργίας του δικτύου, αλλά ταυτόχρονα να είναι δυνατή και η σύγκριση με τον Ιανουάριο του 2020. Επιπλέον αποκτήθηκαν δεδομένα ελεύθερης πρόσβασης, μορφής βάσης δεδομένων από το Tampere Public Transport GTFS τα οποία περιείχαν πληροφορίες σχετικές με τις αναχωρήσεις προς το κέντρο της πόλης μια τυπική ημέρα του Μαΐου συγκρινόμενη με την αντίστοιχη του Ιανουαρίου. Ακόμη, αποκτήθηκαν στατιστικά δεδομένα για τους επιβάτες, ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός των μεταβολών στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς.

Όσον αφορά την ανάλυση των προαναφερθέντων στοιχείων, μελετήθηκαν αντίστοιχες προσεγγίσεις από άλλους ερευνητές, ώστε να επιλεγεί μια αρχική βάση στην προσέγγιση της επεξεργασίας των δεδομένων. Εν συνεχεία, επιλέχθηκε να αναλυθούν τα στοιχεία, με δημιουργία και υπολογισμό ειδικών πηλίκων, που θα αντικατόπτριζαν τις μεταβολές των δεδομένων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των υπολογισμών της εργασίας, αποτέλεσαν ο δείκτης μεταβολής χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς, ο δείκτης μεταβολής της συχνότητας των δρομολογίων και ουσιαστικά του επιπέδου λειτουργίας των μέσων της δημόσιας συγκοινωνίας, καθώς και ο αντίστοιχος που υπολόγιζε το επίπεδο φόρτισης του δικτύου, ή με άλλα λόγια το βαθμό κορεσμού των οχημάτων από τις επιβιβάσεις των πολιτών. Όλοι οι παραπάνω δείκτες εφαρμόστηκαν αναλυτικά κατά μήκος των διαδρομών εξυπηρέτησης των μεταφορικών συστημάτων και εντόπισαν τις αλλαγές μεταξύ των δύο μηνών, με απλές μαθηματικές πράξεις, αλλά και μεταξύ διαφορετικών σημείων της πόλης. Οι ερευνητές παρουσίασαν τα αποτελέσματα σε ενδεικτικούς χάρτες.

Σχετικά με τα αποτελέσματα, με βάση τις παραπάνω αναλύσεις, οι ερευνητές παρατήρησαν ότι η χρήση της δημόσιας συγκοινωνίας εμφάνισε εντυπωσιακή μείωση από τον Ιανουάριο στο Μάιο. Όσον αφορά τις συχνότητες των δρομολογίων, οι μεταβολές τους εμφάνισαν ασυνέχεια, χωρίς κάποιο συγκεκριμένο προφίλ, ωστόσο αναφέρθηκε ότι λόγω της πανδημίας, σε αρκετές περιπτώσεις εντοπίστηκε πύκνωση αυτών. Τέλος σχετικά με τον αριθμό των επιβατών, σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκε μείωση του συνωστισμού. Συμπερασματικά, το επίπεδο εξυπηρέτησης ήταν τέτοιο, ώστε να εξασφαλίζεται συγκεκριμένος αριθμός επιβατών στα οχήματα που να μην ξεπερνά κάποιο όριο ασφαλείας. Αναφέρθηκε επιπλέον, ότι η παρούσα προσέγγιση στην ανάλυση των στοιχείων θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις παρόμοιων διερευνήσεων, με αντίστοιχα όμως δεδομένα.

Οι Adu-Rayash and Dincer (2020) ανέφεραν ότι η εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19 στον πλανήτη επηρέασε σε σημαντικό βαθμό το συγκοινωνιακό τομέα και τις μεταφορές και δευτερευόντως την κατανάλωση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Όλοι οι τομείς των μεταφορών, ανεξαρτήτως του είδους τους, σε συνάρτηση με τα περιοριστικά μέτρα που εφαρμόστηκαν ανά τον κόσμο, δέχτηκαν έντονες επιδράσεις από τη νέα πραγματικότητα και τις αλλαγές στην καθημερινή ζωή που αυτή επέβαλε. Ταυτόχρονα, οι μεταβολές αυτές και η γενική μείωση της χρήσης των μεταφορών για ποικίλους λόγους, οδήγησαν σε μείωση της παραγόμενης ενέργειας και στις απαιτήσεις των καυσίμων. Οι ερευνητές ανέλυσαν εκτός των άλλων, προφίλ συμπεριφορών αλλά και μελλοντική ζήτηση σε συνάρτηση προφανώς με τις μεταβολές της χρήσης των μεταφορών και τον ενεργειακό παράγοντα.

Για την αξιολόγηση της διαδικασίας και την εκπόνηση της εργασίας, οι ερευνητές πρότειναν και δημιούργησαν ειδικό μοντέλο μαθηματικής βάσης το οποίο εφαρμόζει εξίσωση, το αποτέλεσμα της οποίας εξαρτάται από τέσσερις βασικές παραμέτρους. Για την εφαρμογή του προαναφερθέντος μοντέλου συγκεντρώθηκαν γενικά στοιχεία για διάφορες πόλεις ανά τον κόσμο, ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Τα δεδομένα αυτά, πριν την αξιοποίησή τους στο μοντέλο, υποβλήθηκαν σε ειδική επεξεργασία για την εξασφάλιση της ορθότητάς τους, όπως η κανονικοποίηση και η εφαρμογή βαρών ανάλογα τη σημαντικότητά τους.

Η πρώτη παράμετρος η οποία υπεισέρχεται στην εξίσωση του μοντέλου, αφορούσε στην αποδοτικότητα του συγκοινωνιακού τομέα. Με άλλα λόγια οι πόλεις αξιολογήθηκαν με γνώμονα το βαθμό που εφαρμόζουν τις αρχές της βιώσιμης κινητικότητας, το οποίο αποτελεί και ένδειξη της ικανοποίησης των πολιτών από τα υπάρχοντα μεταφορικά συστήματα. Η δεύτερη παράμετρος σχετίστηκε με την ικανότητα των πόλεων να εφαρμόζουν τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις σε τομείς του συγκοινωνιακού τομέα και γενικά των μεταφορών ώστε να καθίσταται η μετακίνηση ανταγωνιστική και αποτελεσματική. Η τρίτη παράμετρος είχε να κάνει με το βαθμό κυκλοφοριακής συμφόρησης που εμφανιζόταν σε κάθε μία από τις πόλεις μελέτης, θεωρώντας ότι για να είναι ένα μεταφορικό σύστημα αποδοτικό, πρέπει να λειτουργεί σε υψηλό επίπεδο και να επηρεάζεται όσο το δυνατόν λιγότερο από καθυστερήσεις. Η τέταρτη και τελευταία παράμετρος αφορούσε στην προσβασιμότητα των μέσων μεταφοράς των πόλεων ώστε να εξασφαλίζεται η εύκολη μετακίνηση των πολιτών ακόμα και σε απομακρυσμένα τμήματα αυτών, για ποικίλες δραστηριότητες. Εκτός από το προτεινόμενο μοντέλο που αξιολογεί σημαντικό αριθμό μεγάλων πόλεων ανά τον κόσμο ως προς την αποδοτικότητα των μεταφορικών τους συστημάτων, οι μελετητές αξιοποίησαν τα προαναφερθέντα αποκτηθέντα στοιχεία για τις μητροπόλεις, και αφού τα επεξεργάστηκαν, δημιούργησαν ποικιλία διαγραμμάτων που αντικατοπτρίζουν τις μεταβολές του επιπέδου κινητικότητας λόγω της έλευσης της πανδημίας. Τα εν λόγω διαγράμματα παρουσίασαν στοιχεία όπως τις μειώσεις των μετακινήσεων με επίγεια μέσα μεταφοράς αλλά και με εναέρια, για περίοδο μελέτης από τον Ιανουάριο του 2020 έως και τον Απρίλιο του ίδιου έτους, αλλά και διαφορετικά στοιχεία όπως το πόσο συμφωνούσαν οι πολίτες ανά χώρας μελέτης για την επανεκκίνηση της οικονομίας, παρά την πρωτόγνωρη κατάσταση. Τέλος, με βάση δεδομένα που αποκτήθηκαν, δημιουργήθηκαν διαγράμματα σχετικά με τις εκπομπές καυσαερίων.

Συμπερασματικά, με βάση τις παραπάνω αναλύσεις και τα διαγράμματα, οι ερευνητές προέβλεψαν ότι θα χρειαστεί σημαντικός χρόνος για να ανακάμψουν πλήρως ο συγκοινωνιακός και μεταφορικός τομέας. Επίσης, τόνισαν ότι η έλευση της πανδημίας είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των καυσαερίων και των απαιτήσεων σε καύσιμα, λόγω της μεταβολής της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς.

Οι Gutiérrez et al. (2020) υποστήριξαν ότι η εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19 επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργία των αστικών συστημάτων της δημόσιας συγκοινωνίας. Η προώθηση των μέσων μαζικής μεταφοράς είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μείωση των εκπομπών καυσαερίων αλλά ταυτόχρονα παίζει και καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις μεγάλες πόλεις. Η έλευση της πανδημίας άλλαξε δραστικά αυτά τα δεδομένα, καθώς εφαρμόστηκαν σε πολλές περιπτώσεις μέτρα περιορισμού της εξάπλωσης του ιού αλλά και των

μετακινήσεων, ενώ η χρήση των μέσων αυτών θεωρήθηκε από πολλούς ως επικίνδυνη, λόγω του συνωστισμού, γεγονός που αυξάνει τις πιθανότητες μετάδοσης του ιού. Η παρούσα εργασία σχολίασε τις μεταβολές αυτές στη χρήση της δημόσιας συγκοινωνίας με τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις.

Για την εκπόνηση της εργασίας δεν εφαρμόστηκε κάποια συγκεκριμένη μαθηματική ή στατιστική προσέγγιση, καθώς οι μελετητές συζήτησαν και σχολίασαν τις παραπάνω μεταβολές με επιστημονικό τρόπο σε μια μορφή βιβλιογραφικής ανασκόπησης η οποία απαντά σε σημαντικά ερωτήματα και θίγει σημαντικά ζητήματα τα οποία προέκυψαν από την πρωτόγνωρη αυτή κατάσταση.

Η πρώτη από τις τρεις προσεγγίσεις συνδέθηκε άμεσα με τις βραχυπρόθεσμες συνέπειες της πανδημίας στα μεταφορικά συστήματα. Σύμφωνα με αυτή, οι μελετητές ανέφεραν ότι τα εφαρμοζόμενα μέτρα κατά της πανδημίας καθώς και το αίσθημα αύξησης του ρίσκου μόλυνσης μέσω της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς, οδήγησε σε σημαντική αύξηση της χρήσης του προσωπικού ΙΧ. Όσον αφορά τη δεύτερη προσέγγιση, αυτή αναφέρθηκε στην ανάγκη παροχής ασφαλούς μετακίνησης με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Σύμφωνα με αυτή τη θέση, τονίστηκε ότι εκτός από τις βασικές μεθόδους προστασίας από την εξάπλωση του ιού, τα μεταφορικά συστήματα έπρεπε να είναι ευέλικτα με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουν την απαραίτητη κάλυψη των αναγκών των μετακινούμενων. Επιπρόσθετα, λόγω του συνωστισμού θεωρήθηκε λογικό ότι αρκετοί πολίτες θα επέλεγαν τρόπους μετακίνησης οι οποίοι θα εμπειρεύαν λιγότερο συνωστισμό. Εν συνεχεία, υποστηρίχθηκε από τους ερευνητές, ότι λόγω των μεταβολών στις συνθήκες της καθημερινής ζωής που επέφερε η πανδημία, τα μεταφορικά συστήματα θα μπορούσαν να προσαρμοστούν με τέτοιον τρόπο, ώστε να εξασφαλίζουν μια πιο βιώσιμη λειτουργία, με ταυτόχρονη ικανοποίηση όλων των πολιτών, ανεξαρτήτως των κοινωνικών τους ιδιαιτεροτήτων.

Σε τελικό στάδιο, η παρούσα εργασία πρότεινε ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις όπως αυτές θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις μελλοντικής έρευνας, με διδαχές από τις δυσκολίες και μεταβολές που επέβαλλε η πανδημία στα συστήματα μεταφορών και κυρίως στα μέσα μαζικής μεταφοράς. Με βάση αυτό, οι ερευνητές, ανέφεραν ως ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα την παρατήρηση των μεταβολών των συμπεριφορών των ατόμων ως προς τα προφίλ μετακίνησης τους, αλλά και ταυτόχρονα την ανάγκη να μελετηθεί μια προσέγγιση που θα θεωρεί την επιρροή των κοινωνικών και περιβαλλοντικών συνθηκών άνιση, σε συνάρτηση με τις μεταβολές στη χρήση των μεταφορικών συστημάτων.

Οι Caicedo et al. (2021) υποστήριξαν τη σημαντική επιρροή που είχε η πανδημία του Covid-19 στη ζήτηση για μετακίνηση στα μεταφορικά συστήματα της Μπογκοτά της Κολομβίας. Η διερεύνηση επικεντρώθηκε στη μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων του Bus Rapid Transit της υπό μελέτη πόλης. Η εμφάνιση της πανδημίας στη χώρα είχε ως αποτέλεσμα την εντυπωσιακή μείωση στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς από τους πολίτες. Με βάση αυτό, υποστηρίχθηκε ότι ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε μια προσέγγιση και ανάλυση που θα έθιγε τις σταδιακές μεταβολές στη χρήση του προαναφερθέντος μεταφορικού συστήματος σε συνάρτηση με τις διαφορετικές κοινωνικές και οικονομικές ομάδες όπως αυτές απαρτίζουν την πόλη μελέτης. Επιπρόσθετα, θεωρήθηκε ιδιαίτερα σημαντικό η παραπάνω κατεύθυνση της διερεύνησης να θίξει και να αναλύσει την κατάσταση με βάση το διαφορετικό βαθμό επιρροής της συμπεριφοράς των κοινωνικών στρωμάτων από τα περιοριστικά μέτρα κατά της πανδημίας.

Για την πραγματοποίηση της διερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τις κάρτες επιβίβασης των πολιτών στο προαναφερθέν μεταφορικό σύστημα της πόλης. Ωστόσο, εκτός αυτών, με βάση τις απαιτήσεις της εργασίας, αξιοποιήθηκαν και στοιχεία σταθμών, αλλά και πληθυσμιακά στοιχεία, όπως ο αριθμός των ατόμων που ανήκουν σε κάθε κοινωνικό στρώμα και μετακινούνται με τα συγκεκριμένα μέσα.

Για την εφαρμογή της ανάλυσης, τα στοιχεία από τις κάρτες επιβίβασης για χρονοσειρά από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου ως τις 12 Οκτωβρίου 2020 δέχτηκαν αρχική επεξεργασία ώστε να απορριφθούν οι διπλές εγγραφές και τα λοιπά προβληματικά στοιχεία. Εν συνεχεία, ένα επόμενο βασικό βήμα που εφαρμόστηκε ήταν η κατηγοριοποίηση των χρηστών σε τακτικούς και μη τακτικούς, ώστε να καταστεί δυνατό να ληφθεί μια πρώτη ιδέα για τις συμπεριφορές μετακίνησης των πολιτών. Επιπρόσθετα, για την κατάταξη των πολιτών σε στρώματα, και συγκεκριμένα τους χρήστες του συστήματος, εφαρμόστηκε μαθηματική μέθοδος χρήσης διανυσμάτων πιθανότητας με  $s$  διαστάσεις, με βάση την οποία, αξιοποιώντας τους τύπους που υπεισέρχονται, υπολογίζεται η πιθανότητα ένας τακτικός μετακινούμενος να ανήκει σε ένα στρώμα  $s$ . Επιπλέον για τον υπολογισμό του πληθυσμού που ανήκει σε κάθε στρώμα εφαρμόστηκε η γνωστή μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων με βάση τα αποτελέσματα της οποίας, αποκτήθηκαν σημαντικές πληροφορίες για την εξέλιξη της διερεύνησης. Επιπρόσθετα, λόγω της ιδιαιτερότητας των δεδομένων εισόδου, θεωρήθηκε ιδιαίτερα δύσκολο να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα ως προς την ορθότητά τους. Για να επιτευχθεί αυτό, έλαβε χώρα σύγκριση αυτών με άλλες υπάρχουσες βάσεις δεδομένων και αποτελέσματα άλλων μελετών. Τέλος, με την ολοκλήρωση της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου, δημιουργήθηκαν γραφήματα που παρουσιάζουν τις συγκρίσεις και τα αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα δημιουργήθηκε βάση δεδομένων, για πάνω από δύο εκατομμύρια συχνούς χρήστες του μεταφορικού συστήματος.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, η πανδημία και τα μέτρα που εφαρμόστηκαν, είχαν διαφορετική επιρροή στα άτομα που ανήκαν σε διαφορετικά στρώματα. Με άλλα λόγια, τα κατώτερα στρώματα παρουσίασαν μικρότερη μείωση και αλλαγή της χρήσης του υπό μελέτη μέσου, σε σχέση με τα μεσαία η ανώτερα στρώματα. Επιπλέον, οι χρήστες των κατώτερων στρωμάτων επέστρεψαν γρηγορότερα στη χρήση του συστήματος από ότι τα ανώτερα στρώματα, ενώ τέλος, οι πολίτες των κατώτερων στρωμάτων έτειναν να πραγματοποιούν παρόμοια μοτίβα μετακίνησης, όπως αυτά που λάμβαναν χώρα πριν την επιβολή του περιορισμού μετακινήσεων. Η παρατήρηση αυτή δεν εντοπίστηκε να ισχύει για χρήστες ανώτερων στρωμάτων.

Σύμφωνα με τους Eisenmann et al. (2021) η περίοδος περιορισμού των μετακινήσεων την άνοιξη του 2020 στη Γερμανία, είχε σημαντικές επιπτώσεις στη χρήση των διάφορων μέσων της δημόσιας συγκοινωνίας. Στην υπό μελέτη χώρα, εφαρμόστηκε μεγάλος αριθμός διαφορετικών μέτρων, τα οποία επηρέασαν με το δικό τους τρόπο τις καθημερινές συνήθειες των πολιτών, με αποτέλεσμα σημαντικές μεταβολές στις μετακινήσεις. Όπως αναφέρθηκε από τους ερευνητές, ποικίλες διερευνήσεις είχαν λάβει χώρα, οι οποίες απέδειξαν τις πτωτικές τάσεις στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, τις αλλαγές στις επιλογές των μέσων μετακίνησης αλλά και τις διαφοροποιήσεις στα προφίλ των μετακινήσεων των πολιτών. Η παρούσα διερεύνηση έλαβε χώρα τον Απρίλιο του 2020 και μελέτησε τις παραπάνω διαφοροποιήσεις.

Η εργασία σχετιζόταν με δεδομένα που αφορούσαν στις καθημερινές συνήθειες των πολιτών πριν και κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του περιορισμού των μετακινήσεων, όπως για παράδειγμα οι μετακινήσεις προς το χώρο εργασίας ή για λόγους αναψυχής, η επιλογή του μέσου μετακίνησης αλλά και η γενική στάση και οι συμπεριφορές των πολιτών ως προς τη νέα πρωτόγνωρη κατάσταση. Τα απαραίτητα δεδομένα συγκεντρώθηκαν μέσω διαδικτυακής έρευνας για δείγμα 1000 ατόμων ηλικίας μεγαλύτερης ίσης των δεκαοκτώ ετών και το δείγμα αυτό κατηγοριοποιήθηκε σε ομάδες ηλικιών, φύλο αλλά και κατηγορία τόπου διαμονής. Εν συνεχεία, το δείγμα κατηγοριοποιήθηκε με βάση τις επιλογές των διαφορετικών μέσων μετακίνησης.

Έπειτα, για την εξαγωγή των συμπερασμάτων, τα συγκεντρωμένα και κατηγοριοποιημένα δεδομένα δέχθηκαν την απαραίτητη επεξεργασία ώστε να προκύψουν οι μεταβολές στις χρήσεις του εκάστοτε μέσου. Με βάση ποσοστιαίες μετρήσεις και τη δημιουργία ποικιλίας διαγραμμάτων και γραφημάτων, οι ερευνητές έδειξαν τη διαφοροποίηση που παρατηρήθηκε στη χρήση του κάθε μέσου, με την έλευση της πανδημίας στη χώρα. Επιπρόσθετα, με επιπλέον επεξεργασίες και αναλύσεις των απαντήσεων του δείγματος, κατέστη δυνατό να δημιουργηθούν διαγράμματα που

να συνοψίζουν και να παρουσιάζουν τις μεταβολές στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς. Ακόμη, έμφαση δόθηκε και στην οπτικοποίηση με αντίστοιχες μεθόδους, των μεταβολών στη στάση των πολιτών ως προς το κάθε μέσο μαζικής μεταφοράς, ήτοι την πιθανότητα επιλογής τους. Τέλος, οι μελετητές εφάρμοσαν μοντέλο ανάλυσης παλινδρόμησης με διάφορες παραμέτρους και μεταβλητές για να απαντήσουν σε διάφορα ερωτήματα κατά τη διαδικασία εκπόνησης της εργασίας.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα της διερεύνησης και αξιολογώντας τα στοιχεία που προέκυψαν, αναφέρθηκε ότι τα μέσα μαζικής μεταφοράς κατά τη διάρκεια της επιβολής των αυστηρών μέτρων έπαψαν να είναι η πρώτη επιλογή των πολιτών, με τα ιδιωτικά μέσα να παρουσιάζουν μια ταυτόχρονη αυξητική τάση. Σχετικά με τη στάση των πολιτών απέναντι στα διαφορετικά μέσα μετακίνησης, κατέληξαν ότι το αυτοκίνητο χαρακτηρίστηκε ως ένα μέσο που δημιουργούσε αίσθημα ασφάλειας στους πολίτες, σε αντίθεση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς, ως προς τα οποία η στάση των πολιτών προέκυψε πιο αρνητική.

Οι Javid et al. (2021) πραγματοποίησαν επιστημονική διερεύνηση με σκοπό να σχολιάσουν και να χαρακτηρίσουν τις συμπεριφορές και τις επιλογές των μετακινούμενων ως προς τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς. Ανέφεραν ότι οι μεταφορές ανήκουν στην κατηγορία με τους πιο επιβαρυσμένους τομείς της καθημερινότητας λόγω της έλευσης της πανδημίας του Covid-19. Για την εξέλιξη της παρούσας εργασίας και για να απαντήσουν στα απαραίτητα ερωτήματα, οι ερευνητές θέλησαν να αναλύσουν τις προθέσεις των μετακινούμενων ως προς την επιλογή του μέσου μετακίνησης τους με χρήση του Norm-Activation Model (NAM). Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε στην Lahore του Πακιστάν. Η πόλη αυτή αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες της χώρας, με σημαντικό πληθυσμό και ένα δίκτυο μεταφορικών συστημάτων για την εξυπηρέτηση των καθημερινών αναγκών των πολιτών.

Τα στοιχεία που απαιτήθηκαν, συγκεντρώθηκαν μέσω ερωτηματολογίων, το περιεχόμενο των οποίων αφορούσε στην πρόθεση των πολιτών να υπακούσουν τα εφαρμοζόμενα περιοριστικά μέτρα κατά της εξάπλωσης του ιού, σε συνάρτηση με την παράλληλη επιλογή του μέσου μετακίνησης. Η μορφή των ερωτηματολογίων ήταν προσαρμοσμένη σε θεωρητική βάση της προαναφερθείσας μεθόδου NAM. Το συνολικό δείγμα αποτελούταν από 1516 ερωτηθέντες. Το πρώτο μέρος του ερωτηματολογίου σχετιζόταν με ερωτήσεις αναφορικές με τα προσωπικά χαρακτηριστικά των πολιτών καθώς και δεδομένα μετακινήσεων, ενώ το δεύτερο περιείχε ερωτήσεις που έθιγαν τη συμπεριφορά των μετακινούμενων σε περίοδο πανδημίας με τα μέτρα προστασίας κατά της μετάδοσης του ιού να βρίσκονται σε ισχύ. Τέλος, το τρίτο τμήμα αφορούσε στις γενικές απόψεις και τάσεις σχετικά με τα μέσα μαζικής μεταφοράς καθώς και την αίσθηση υπευθυνότητας ως προς τη νέα πρωτόγνωρη κατάσταση.

Για την πραγματοποίηση της εργασίας εφαρμόστηκε η μέθοδος Structural Equation Modeling (SEM), η οποία αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο όσον αφορά τις συγκοινωνιακές μελέτες, ειδικά σε περιπτώσεις μελετών που δίνουν έμφαση στις συμπεριφορές μετακινήσεων, ενώ ταυτόχρονα η μέθοδος αυτή καθιστά δυνατή την πολυμεταβλητή ανάλυση των δεδομένων. Για την εφαρμογή της μεθόδου εφαρμόστηκε ειδικό λογισμικό, το AMOS. Η μέθοδος ανάλυσης που επέλεξαν να εφαρμόσουν οι ερευνητές εμφανίζει ισχυρά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις κλασσικές μεθόδους ανάλυσης παλινδρόμησης, ενώ παρέχει μια λεπτομερέστερη και πιο αξιόπιστη προσέγγιση στο θέμα διερεύνησης τους. Μέσω της εφαρμογής της διαδικασίας, προέκυψαν στατιστικά αποτελέσματα τα οποία οργανώθηκαν σε μορφή πινάκων. Εν συνεχεία, στο τμήμα που επικεντρώθηκε στην επεξήγηση της συμπεριφοράς ως προς την επιλογή μέσου, δημιουργήθηκε δομικό μοντέλο στηριζόμενο στη μέθοδο της μέγιστης πιθανότητας.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα, οι μελετητές κατέληξαν και ανέφεραν ότι οι μετακινούμενοι που δυσκολεύονταν να προσαρμοστούν στα μέτρα κατά της πανδημίας, ήταν αυτοί οι οποίοι απέφευγαν σε μεγαλύτερο βαθμό να χρησιμοποιήσουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Επιπρόσθετα, τα άτομα με υψηλότερα εισοδήματα, προέκυψε να έχουν μικρότερη τάση να



χρησιμοποιήσουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Ακόμη, η υψηλή υπευθυνότητα και αντίληψη της κατάστασης έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία προσωπικών προτιμήσεων και επίλογων ως προς τη χρήση τους.

Οι Das et al. (2021) υποστήριξαν ότι η εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19 στον πλανήτη είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές διαφοροποιήσεις στις επιλογές της χρήσης των μέσων μετακίνησης των πολιτών και η χώρα της Ινδίας δεν αποτελούσε εξαίρεση. Αναφέρθηκε ότι η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς φέρνει σε κοντινές αποστάσεις τους μετακινούμενους, το οποίο από πολλούς έχει θεωρηθεί ότι θέτει πρόβλημα στη διασφάλιση της υγείας, με αποτέλεσμα πολλά άτομα να αποφεύγουν να τα επιλέξουν για τις μετακινήσεις τους. Με βάση αυτό, τονίστηκε ότι πολλές κυβερνήσεις επιχειρούν να εφαρμόσουν μεθόδους, που θα εξασφαλίσουν ασφαλέστερες μετακινήσεις με τα μέσα αυτά.

Για την εκπόνηση της διερεύνησης έλαβε χώρα διαδικτυακή έρευνα τεσσάρων φάσεων συνολικής διάρκειας περίπου δύο μηνών (Απρίλιος και Μάιος 2020) ταυτόχρονα με την επιβολή μέτρων απαγόρευσης κυκλοφορίας στη χώρα. Οι συμμετέχοντες αποτέλεσαν ένα δείγμα 840 ατόμων από διάφορες περιοχές της χώρας. Το περιεχόμενο των ερωτηματολογίων αφορούσε στις πιθανές αλλαγές των προφίλ μετακίνησης των συμμετεχόντων αλλά και στην αντίληψή τους ως προς τη σημασία διάφορων περιοριστικών μέτρων που εφαρμόστηκαν. Αυτά αποτελούνταν από τέσσερα μέρη τα οποία στο σύνολό τους ζητούσαν πληροφορίες σχετικά με τα κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των ατόμων που έλαβαν μέρος, συνήθειες μετακίνησης πριν την πανδημία ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση αλλά και ποιο μέσο μαζικής μεταφοράς αναμένεται να επιλέξει το κάθε άτομο μετά την πανδημία.

Για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων, εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, μια λογιστική παλινδρόμηση και μια διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης. Η πρώτη μέθοδος θεωρήθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη ως προς την ανάλυση και επεξήγηση των αλλαγών στις επιλογές των μέσων μαζικής μεταφοράς από τους πολίτες, ενώ από την άλλη πλευρά, η δεύτερη μέθοδος θεωρήθηκε ιδιαίτερα λειτουργική αναφορικά με τα μέτρα που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν μετά από την πανδημία καθώς και την αξιολόγηση αυτών από τους πολίτες. Κατά την εφαρμογή της λογιστικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε μεγάλος αριθμός παραμέτρων που θεωρήθηκε πιθανό να επηρεάζουν τις επιλογές των μετακινούμενων καθώς η μέθοδος αυτή χαρακτηρίστηκε από απλότητα εφαρμογής αλλά και εύκολη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Όσον αφορά την ιεραρχική διαδικασία, θεωρήθηκε επίσης μια κατάλληλη μέθοδος για να απαντηθούν σημαντικά ερωτήματα της εργασίας. Έπειτα από τις εφαρμογές των δύο μεθόδων, δημιουργήθηκαν συγκεντρωτικοί πίνακες που παρουσίαζαν τα αποτελέσματα καθώς και αντίστοιχα γραφήματα.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων, προέκυψε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μετακινούμενων που χρησιμοποιούσαν αυτοκίνητο πριν την πανδημία, θα συνέχιζαν να το κάνουν και μετά. Επιπλέον, ένα ποσοστό πολιτών που επέλεγαν τακτικά τα μέσα μαζικής μεταφοράς ανέφερε ότι δεν έχει σκοπό να το επαναλάβει μετά την πανδημία. Ακόμη, ως βασικός παράγοντας επιλογής του μέσου μετακίνησης προέκυψε να είναι ο χρόνος διαδρομής, ωστόσο τα νεαρότερα άτομα παρατηρήθηκε να είναι αυτά που είναι πιο πιθανό να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς και μετά την πανδημία. Επιπρόσθετα, τονίστηκε ότι τα οικονομικά χαρακτηριστικά των πολιτών ήταν αυτά που έπαιξαν σημαντικότερο ρόλο στις μεταβολές των επιλογών των μέσων μετακίνησης από δημόσια συγκοινωνία στο ΙΧ. Τέλος, όσον αφορά τις απόψεις για τα μέτρα μετά την πανδημία, ως πρώτο στην ιεραρχία για τη διατήρηση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς προέκυψε η μείωση των στάσεων σε συνωστισμένες περιοχές.

Σε επιστημονική διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, οι Parker et al. (2021) ανέφεραν τη σημαντική επιρροή της πανδημίας του Covid-19 στη χρήση της δημόσιας συγκοινωνίας καθώς και τις μεταβολές που αυτή επέφερε στη συμπεριφορά των μετακινούμενων. Σύμφωνα με τους ερευνητές, μεγάλη ποικιλία εργασιών που συσχετίζονται με τα παραπάνω θέματα έχει λάβει χώρα και τα αποτελέσματα αυτών αποδεικνύουν τις επιπτώσεις της έλευσης της πανδημίας. Η παρούσα εργασία, με στοιχεία που αξιοποίησε και τις αναλύσεις που έλαβαν χώρα, έδωσε μια ιδιαίτερη έμφαση στην απάντηση ερωτημάτων που σχετίζονται με την επιρροή της πανδημίας στη χρήση της δημόσιας συγκοινωνίας, ωστόσο η προσέγγιση που εφαρμόστηκε ήταν συνάρτηση της ατομικής επιλογής του κάθε μετακινούμενου.

Η διερεύνηση είχε διάρκεια από τον Ιανουάριο μέχρι το Δεκέμβριο του 2020, μια περίοδο μέσα στην οποία συγκεντρώθηκαν στοιχεία μετακίνησης από τα GPS των κινητών τηλεφώνων των πολιτών. Κατά τη διάρκεια των μηνών πραγματοποίησης της εργασίας τα στοιχεία αυτά περιείχαν δεδομένα αναφορικά με τον αριθμό των μετακινήσεων των πολιτών σε εβδομαδιαία βάση αλλά και τις αποστάσεις που αυτοί διένυσαν. Επιπλέον, το δείγμα που επιλέχθηκε ήταν τέτοιο ώστε να μπορεί να καλύψει τη μεγάλη έκταση της χώρας και ταυτόχρονα να είναι αντιπροσωπευτικό της μεγάλης δημογραφικής και γεωγραφικής διαφοροποίησης που εμφανίζεται σε αυτή, συμπεριλαμβάνοντας ουσιαστικά δεδομένα από διαφορετικές μητροπολιτικές περιοχές σε διαφορετικές Πολιτείες. Σε τμήμα της διερεύνησης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2020, μέρος του δείγματος κλήθηκε να απαντήσει σε ποικιλία ερωτήσεων αναφορικά με προσωπικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά, γενικές απόψεις αλλά και αντίληψης και συμμόρφωσης με τα μέτρα κατά της διασποράς του ιού.

Σε αρχικό στάδιο, με βάση τα στοιχεία που επιλέχθηκαν, οι ερευνητές επιχείρησαν να σχεδιάσουν μοντέλο logit το οποίο σε συνάρτηση με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ερωτηθέντων, μπορούσε να υπολογίσει την πιθανότητα να είναι χρήστες της δημόσιας συγκοινωνίας. Εν συνεχεία, εντοπίστηκε πως τα προφίλ μετακίνησης πριν και μετά την έλευση της πανδημίας μεταξύ χρηστών και μη της δημόσιας συγκοινωνίας διαφοροποιούνταν. Αυτό επιτεύχθηκε με τη δημιουργία γραφημάτων των συγκεντρωμένων στοιχείων. Επιπρόσθετα, με εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, προσδιορίστηκε ότι οι μετακινούμενοι επέλεξαν να μεταβάλλουν τα προφίλ της μετακίνησης τους, καθώς και ο λόγος για τον οποίο το έπραξαν. Τέλος, με χρήση Αρνητικής Διωνυμικής Παλινδρόμησης οι μελετητές μπόρεσαν να εντοπίσουν τις μεταβολές των προφίλ μετακίνησης σε ατομικό επίπεδο. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάστηκαν σε ειδικά γραφήματα και πίνακες, όπως αυτοί προέκυψαν από τις στατιστικές αναλύσεις.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα της εργασίας, οι ερευνητές κατέληξαν ότι η έλευση της πανδημίας στη χώρα επηρέασε τις επιλογές των μετακινούμενων με ποικίλους τρόπους. Αρχικά, οι χρήστες των μέσων της δημόσιας συγκοινωνίας ειδικά την μεταπανδημική περίοδο, επηρεάστηκαν περισσότερο από τους μη χρήστες και μετέβαλαν περισσότερο τα προφίλ μετακίνησης τους. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι ανάλογα την καταγωγή αλλά και το εισόδημα, η πιθανότητα να είναι ένα άτομο χρήστης της δημόσιας συγκοινωνίας ήταν μεγαλύτερη. Τέλος, παρά την προσπάθεια των συχνών χρηστών της δημόσιας συγκοινωνίας τα μεταβάλλουν τα μέσα τα οποία επέλεξαν να μετακινούνται, η μέση εβδομαδιαία μείωση της χρήσης τους παρέμεινε αισθητά μικρότερη από αυτή των μη τακτικών χρηστών.

Οι Tarvido et al. (2021) ανέφεραν την επιρροή που αναμένεται να έχει η εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19 στο συγκοινωνιακό τομέα και επικεντρώθηκαν στην ανάλυση των επιπτώσεων στις σιδηροδρομικές μεταφορές. Με βάση τους μελετητές, η παρούσα εργασία ανέλυσε τις αρνητικές συνέπειες που θα εμφανιστούν στις συγκοινωνίες, θεωρώντας ότι η νέα κατάσταση θα διαρκέσει και το 2021, ενώ εν συνεχεία επέλεξαν να προτείνουν ειδικές προσεγγίσεις, στο πως ο τομέας αυτός θα μπορούσε να προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες συνθήκες και απαιτήσεις, όπως αυτές επιβάλλονται από τη νέα πραγματικότητα.

Η πραγματοποίηση της εργασίας βασίστηκε σε μία μέθοδο έρευνας-δράσης με βάση την οποία καθίσταται δυνατή η χρήση δεδομένων συνδυαστικών επιπτώσεων. Η εργασία χωρίστηκε σε τρία επιμέρους τμήματα. Σε αρχικό στάδιο προσέγγισε τις επιπτώσεις της πανδημίας σε τομείς όπως οι συμπεριφορές των καταναλωτών, ο ίδιος ο συγκοινωνιακός τομέας αλλά και οι επιπτώσεις περιβαλλοντικού τύπου. Στη συνέχεια, έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση της επιβατικής κίνησης στα σιδηροδρομικά και μεταφορικά δίκτυα, ενώ τελικώς έδωσε προτάσεις και κατευθύνσεις όπως αυτές θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε μελλοντικές μελέτες που θα σχετίζονται με την ορθή διαχείριση τέτοιων κρίσεων από το σιδηροδρομικό τομέα.

Όσον αφορά τις επιλογές των καταναλωτών, οι μελετητές υποστήριξαν ότι η νέα πραγματικότητα είχε ως βασικό αποτέλεσμα σημαντικές διαφοροποιήσεις σε αυτές. Παρόλα αυτά, ο τομέας των συγκοινωνιών θεωρήθηκε ότι θα συνεχίζει να παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα των πολιτών. Αναφορικά με τον ίδιο τον τομέα της συγκοινωνίας και των μεταφορών, προέκυψε ότι κάποια μέσα επηρεάστηκαν περισσότερο από κάποια άλλα. Αναφέρθηκε ότι όλα τα μέσα μετακίνησης και μεταφοράς, είτε επίγεια, θαλάσσια ή εναέρια επλήγησαν από τη νέα πραγματικότητα, ωστόσο οι εναέρια μεταφορές ήταν αυτές που επηρεάστηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό. Δίνοντας έμφαση στο περιβάλλον, υποστηρίχθηκε ότι οι αρνητικές συνέπειες στις μεταφορές αλλά και στην καθημερινότητα γενικότερα είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής καυσαερίων. Στη συνέχεια, σε συνάρτηση με τις σιδηροδρομικές μεταφορές τόσο γενικά, όσο και με γνώμονα την αστική κινητικότητα, οι μελετητές υποστήριξαν ότι εμφανίζει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα υπόλοιπα επίγεια μέσα μετακίνησης, τα οποία θα μπορούσαν να τους επιτρέψουν να διαχειριστούν πιο αποδοτικά αντίστοιχες κρίσεις στο μέλλον. Παρόλα αυτά, η έλευση της πανδημίας, συνδέθηκε με την αύξηση χρήσης ιδιωτικών μέσων μετακίνησης.

Συμπερασματικά, οι ερευνητές κατέληξαν ότι παρά τη μείωση του επιπέδου λειτουργίας των σιδηροδρομικών μεταφορών λόγω της πανδημίας, αυτές ενδέχεται να παίξουν σημαντικό ρόλο στην ορθή και ασφαλή διατήρηση της κινητικότητας. Τέλος, ολόκληρος ο συγκοινωνιακός τομέας, αλλά και ο σιδηροδρομικός, θα μπορούσαν να αποτελέσουν παράγοντες μελέτης του τρόπου διαχείρισης τέτοιων καταστάσεων.

Οι Borkowski et al. (2020) στην Πολωνία, ανέφεραν τις μεταβολές στο καθημερινό προφίλ μετακίνησης των πολιτών λόγω της εμφάνισης της πανδημίας του Covid-19 στη χώρα. Η διερεύνηση επικεντρώθηκε στη μελέτη του συγκοινωνιακού τομέα και πιο συγκεκριμένα στην ανάλυση των επιλογών των ατόμων στο μέσο που επέλεγαν για τη μετακίνησή τους, αλλά κυρίως στις συνολικές διαφοροποιήσεις της μετακίνησής τους, σε συνάρτηση με τα μέτρα που επιβλήθηκαν, τα οποία σχετίζονταν με τον περιορισμό των μετακινήσεων και την υποχρέωση για παραμονή στο σπίτι.

Τα απαραίτητα δεδομένα για την πραγματοποίηση της διερεύνησης συγκεντρώθηκαν μέσω τηλεφωνικών συνεντεύξεων (Computer Aided Telephone Interviews - CATI), λόγω της υπεροχής της μεθόδου ως προς την πιθανότητα απόκτησης αξιόλογου αριθμού απαντήσεων με περισσότερες λεπτομέρειες. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε από Πολωνική Εταιρεία Ερευνών. Η διάρκεια της διαδικασίας συγκέντρωσης των δεδομένων ήταν από τις 24 Μαρτίου έως τις 6 Απριλίου 2020 για δείγμα 1069 ατόμων, μια βδομάδα μετά τα περιοριστικά μέτρα που ανακοίνωσε η Κυβέρνηση κατά της διασποράς του ιού. Επιπλέον, η δειγματοληψία έγινε τυχαία, με σκοπό να αντικατοπτρίζει τις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στον πληθυσμό της χώρας και έτσι το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό. Οι ερωτήσεις επικεντρώθηκαν σε θέματα μετακίνησης των πολιτών, όπως ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων, το μέσο που επιλέχθηκε καθώς και ο σκοπός της μετακίνησης. Επιπλέον, οι ερωτήσεις αφορούσαν μετακινήσεις πριν την επιβολή των μέτρων αλλά και αφότου εφαρμόστηκαν, με σκοπό να είναι δυνατή η εξαγωγή συγκριτικών αποτελεσμάτων. Τέλος, τα ερωτηματολόγια περιείχαν ερωτήσεις δημογραφικού τύπου.

Για την ανάλυση των δεδομένων εφαρμόστηκε Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση με βάση τη συσχέτιση της χρονικής διάρκειας των μετακινήσεων σε εβδομαδιαίο επίπεδο πριν και αμέσως μετά την επιβολή των μέτρων. Με την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε ότι οι σχέσεις μεταξύ μεταβλητών ήταν μη γραμμικές και συνεπώς εφαρμόστηκαν τα *sig* και *Wilcoxon tests* ώστε να μπορέσουν να προσδιοριστούν ορθότερα οι ανεξάρτητες και εξαρτημένες μεταβλητές. Με βάση τη θεώρηση ότι η επιλογή του σωστού μοντέλου ανάλυσης των δεδομένων είναι καθοριστικής σημασίας, το Γενικό Γραμμικό Μοντέλο (GLM), εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, λόγω της δυνατότητας του να χρησιμοποιεί διαφορετικών τύπων ανεξάρτητες μεταβλητές. Λόγω αρκετών περιορισμών των στατιστικών μοντέλων και μεθόδων ανάλυσης που εφαρμόστηκαν, οι ερευνητές πραγματοποίησαν ταυτόχρονη επεξεργασία και διόρθωση των δεδομένων, ώστε αυτά να μπορούν να υπεισέρχονται σωστά στις μεθόδους και ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Το Γραμμικό Μοντέλο αποδείχτηκε ιδιαίτερα χρήσιμο ως προς τον εντοπισμό των διαφορετικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων. Με την ολοκλήρωση των μεθόδων, δημιουργήθηκαν και παρουσιάστηκαν συγκεντρωτικοί πίνακες και γραφήματα που οπτικοποιούσαν τα αποτελέσματα.

Αναφερόμενοι στα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων, οι ερευνητές κατέληξαν ότι ο ατομικός χρόνος μετακίνησης για όλες τις ηλικιακές ομάδες μειώθηκε κατά σημαντικό ποσοστό. Επιπρόσθετα, τονίστηκε ότι η μεταβολή του χρόνου μετακίνησης ήταν συνάρτηση του αν εφαρμόστηκε κάποια αλλαγή στον εργασιακό τομέα του κάθε συμμετέχοντος. Ακόμη, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την αποδοτικότητα των εφαρμοσμένων μέτρων για τη συνολική μείωση των μετακινήσεων. Τέλος, η διερεύνηση δεν κατέληξε σε αξιόλογες διαφοροποιήσεις των επιλογών και προφίλ μετακίνησης σε συνάρτηση με το φύλο, την ηλικία και τον τόπο διαμονής, σε αντίθεση με την προσωπική φοβία ως προς τη μόλυνση από τον ιό.

Στην Κίνα, οι Cui et al. (2021) πραγματοποίησαν επιστημονική διερεύνηση αναφορικά με τις έντονες επιρροές που δέχτηκαν τα μεταφορικά συστήματα της χώρας, λόγω της εμφάνισης της πανδημίας του Covid-19. Αναφέρθηκε, ότι οι μεταφορές και οι συγκοινωνίες ήταν από τους πρώτους τομείς που επλήγησαν από την εμφάνιση του νέου ιού, καθώς η Κυβέρνηση της χώρας αναγνώρισε άμεσα την υψηλή επικινδυνότητα του γεγονότος και προέβη στην εφαρμογή ποικίλων περιοριστικών μέτρων. Ακόμη, η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους η νέα κατάσταση επηρέασε τις μεταφορές, στην ανομοιογένεια με βάση την οποία οι μεταβολές αυτές εμφανίστηκαν ενώ εφαρμόσε ποσοτική προσέγγιση στις επιπτώσεις αυτές.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας, εφαρμόστηκε το μοντέλο CHINAGEM (CGE), μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την ανάλυση οικονομικών επιπτώσεων τέτοιου είδους καταστάσεων. Για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία βάσεων δεδομένων του 2017 για 149 παραγωγικούς τομείς, από τους οποίους οι 10 αναφέρονταν σε δέκα διακριτά είδη μεταφορών όπως οι σιδηροδρομικές ή εναέριες μεταφορές. Εν συνεχεία, εφαρμόστηκε η Μέθοδος Αποσύνθεσης (Decomposition Method) με σκοπό την προσομοίωση ενδογενών μεταβλητών, οι οποίες θεωρήθηκε ότι επηρέασαν τους μεταφορικούς τομείς της χώρας, όπως το κατά κεφαλήν εισόδημα και η απασχόληση, καθώς και η συσχέτισή τους με εξωτερικούς παράγοντες. Η μέθοδος ακολουθεί συγκεκριμένη μαθηματική διαδικασία, με βάση την οποία προσδιορίζονται τα απαραίτητα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων απέδειξαν την έντονη επιρροή στους τομείς των μεταφορών από την πανδημία σε συνάρτηση με τους διαφορετικούς εξωτερικούς παράγοντες, από τους οποίους ο καθένας προέκυψε να ασκεί διαφορετικού επιπέδου επιρροή. Ακόμη, προέκυψε ότι και οι μη μεταφορικοί ή συγκοινωνιακοί τομείς που αναλύθηκαν στα πλαίσια της εφαρμογής της μεθόδου, δέχτηκαν εξίσου σημαντική επιρροή. Οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις ήταν επίσης ιδιαίτερα εμφανείς και αναλυθήκαν διεξοδικά από τους μελετητές. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις, όπως προέκυψαν από τις εφαρμογές των μεθόδων, παρουσιάστηκαν σε πίνακες και διαγράμματα που αντικατόπτριζαν τα αποτελέσματα.

Αναφορικά με τα αυτά, οι ερευνητές κατέληξαν και ανέφεραν ότι οι αρνητικές συνέπειες της εμφάνισης της πανδημίας στην Κίνα επηρέασαν με ποικίλους τρόπους το συγκοινωνιακό της τομέα. Με βάση έξι διαφορετικές παραμέτρους επιρροής του εν λόγω τομέα, εκτός από αυτές που παραπέμπουν σε οικονομικά στοιχεία, η ζήτηση για μετακίνηση από τους πολίτες είναι μία από τις βασικότερες ως προς το επίπεδο επιρροής. Ακόμη, με βάση τη δεύτερη ανάλυση όπως αυτή προαναφέρθηκε, οι παράγοντες αρνητικών επιπτώσεων στον τομέα των μεταφορών επηρέασαν διαφορετικά τα διακριτά μεταφορικά συστήματα, ανάλογα τη μορφή τους με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις επιβατικές μεταφορές να είναι συνάρτηση κυρίως της μειωμένης ζήτησης για μετακίνηση από τους πολίτες αλλά και την παύση λειτουργίας πολλών υποδομών και υπηρεσιών ικανοποίησης καθημερινών αναγκών.

Σύμφωνα με τους Kłos-Adamkiewics and Gutowski (2022), η εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19 άσκησε σημαντική επιρροή στις μετακινήσεις των πολιτών αλλά και στα παρατηρούμενα προφίλ μετακίνησης και η πρωτεύουσα της Πολωνίας, Βαρσοβία αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ως προς την εμφάνιση των μεταβολών στους παραπάνω τομείς. Η υιοθέτηση μέτρων από τις διάφορες Κυβερνήσεις, οδήγησε σε μεταβολές των επιλογών και της καθημερινότητας των πολιτών, μια κατάσταση η οποία είχε αναμενόμενο αντίκτυπο στις μεταφορές. Η παρούσα έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάλυση των επιπτώσεων της πανδημίας στη δημόσια συγκοινωνία, με γνώμονα όμως τις υποκειμενικές συμπεριφορές του κάθε ατόμου σε συνάρτηση με τη διασφάλιση της προσωπικής ασφάλειας του καθενός, το οποίο προέκυψε να είναι η βασική παράμετρος επιλογής του μέσου μετακίνησης.

Για την εκπόνηση της διερεύνησης και την απόκτηση των απαραίτητων δεδομένων, πραγματοποιήθηκε διαδικτυακή έρευνα μορφής ερωτηματολογίων, τα οποία περιείχαν ερωτήσεις σχετικές με την επιλογή μέσου μετακίνησης, τα μέτρα ατομικής προστασίας, αλλά και τις μεταβολές στα προφίλ μετακίνησης των συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια του δεύτερου και τρίτου κύματος της πανδημίας στη χώρα. Στο πρώτο τμήμα των ερωτηματολογίων περιείχονταν οι ερωτήσεις αναφορικά με τις παρελθοντικές και παροντικές επιλογές του μέσου μετακίνησης, ενώ το δεύτερο αναφερόταν στο αν οι ερωτηθέντες μετέβαλλαν τις επιλογές τους ή τη συχνότητα χρήσης της δημόσιας συγκοινωνίας. Τέλος, το τρίτο τμήμα, αφορούσε στην προσωπική άποψη των μετακινούμενων σχετικά με τις ενέργειες και τα μέτρα της δημόσιας συγκοινωνίας για τη διασφάλιση της ασφαλούς μετακίνησης. Αναφέρεται επίσης ότι τα ερωτηματολόγια συνέλεξαν και πληροφορίες σχετικά με κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά.

Σε αρχικό στάδιο, τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν αξιοποιήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθούν γραφήματα που παρουσίαζαν τα αποτελέσματα όπως αυτά απαντήθηκαν στα ερωτηματολόγια. Εν συνεχεία, οι μελετητές, για εντοπίσουν πιθανές συσχετίσεις των υπό μελέτη φαινομένων, επέλεξαν να εφαρμόσουν στατιστικές αναλύσεις όπως ο υπολογισμός των συντελεστών C-Pearson και V-Cramer. Παρά τις σχετικές ομοιότητες των δύο μεθόδων, οι ερευνητές ανέφεραν ότι η συνδυαστική χρήση τους είχε αξιόλογη σημασία ως προς τη μορφή των δεδομένων και ως προς την εξασφάλιση ακρίβειας και ορθότητας των αποτελεσμάτων. Με την ολοκλήρωση της εφαρμογής των μεθόδων, δημιουργήθηκαν πίνακες που συγκέντρωναν τα συνολικά στατιστικά αποτελέσματα.

Σχετικά με τα αποτελέσματα της έρευνας, οι ερευνητές ανέφεραν ότι παρατηρήθηκε ιδιαίτερη μείωση στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, όχι μόνο λόγω των περιορισμών, αλλά και λόγω φοβίας των μετακινούμενων να εκτεθούν στον ιό. Επιπλέον, πολλοί πολίτες αντικατέστησαν τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς με τη χρήση ιδιωτικού ΙΧ για λογούς προσωπικής προστασίας. Τέλος, τονίστηκε ότι η σωστή τήρηση των μέτρων προστασίας και υγιεινής θα μπορούσε να επηρεάσει θετικά το βαθμό ικανοποίησης των επιβατών από τη δημόσια συγκοινωνία, ακόμα και σε περίοδο πανδημίας.

Οι Schlicht and Axhausen (2003), διερεύνησαν τις ομοιότητες που ενδέχεται να εμφανίζουν τα προφίλ μετακίνησης των ανθρώπων ενώ ταυτόχρονα επιχειρήσαν να απαντήσουν στο ερώτημα αν τα προφίλ αυτά είναι σε κάποιο βαθμό επαναλαμβανόμενα. Ανέφεραν επιπλέον, ότι θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι τα άτομα τείνουν να επαναλαμβάνουν τους τρόπους με τους οποίους πραγματοποιούν κάποια μετακίνηση, ειδικά σε περιπτώσεις στις οποίες η διαδικασία και το μοτίβο που ακολουθήθηκε κρίθηκε ως αποτελεσματικά από τους ίδιους. Επιπλέον, η τάση αυτή επανάληψης των συμπεριφορών ως προς τη μετακίνηση και την πραγματοποίηση δραστηριοτήτων, τείνει να παραμένει σταθερή, καθώς και οι ίδιες οι καθημερινές υποχρεώσεις συνήθως παραμένουν παρόμοιες για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

Λόγω των ιδιαιτεροτήτων της επιστημονικής προσέγγισης, οι ερευνητές έπρεπε να χρησιμοποιήσουν δεδομένα τα οποία θα είχαν συγκεντρωθεί στα πλαίσια μελέτης αρκετά μεγάλης χρονικής διάρκειας. Για την πραγματοποίηση της διερεύνησης συνεπώς αξιοποιήθηκε βάση δεδομένων με καταγραφές διαρκείας έξι εβδομάδων στα πλαίσια του προγράμματος Mobidrive το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το German federal Ministry for Education and Research την άνοιξη και το φθινόπωρο του 1999 στις πόλεις Karlsruhe και Halle με συνολικό δείγμα 361 ατόμων. Η βάση περιείχε δεδομένα σχετικά με τις μετακινήσεις των πολιτών σε καθημερινή βάση όπως ο αριθμός αυτών, αλλά και κάποια κοινωνικά και δημογραφικά στοιχεία των συμμετεχόντων.

Για την απόδειξη πιθανών επαναλήψεων στα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, εφαρμόστηκε ποικιλία ειδικών δεικτών. Αρχικά αξιοποιήθηκε ο δείκτης Hanson ο οποίος θεωρήθηκε ιδιαίτερα χρήσιμος για τον εντοπισμό αυτής της πιθανής επανάληψης. Ως στοιχεία αξιοποιήθηκαν το μέσο μετακίνησης, ο σκοπός, ο προορισμός κ.α. Στη συνέχεια, αξιοποιήθηκε ο δείκτης Pas ο οποίος προσφέρει τη δυνατότητα σύγκρισης των μετακινήσεων της ίδιας ημέρας σε ζευγάρια με βάση μια αρχική μεταβλητή όπως για παράδειγμα το αν η μετακίνηση όντως πραγματοποιήθηκε και έπειτα με βάση δευτερεύουσες μεταβλητές όπως ο σκοπός πραγματοποίησης της μετακίνησης. Επιπρόσθετα, εφαρμόστηκε ο δείκτης ομοιότητας Clarke & Jones, ο οποίος σε αντίθεση με τους δύο άλλους προαναφερθέντες, συγκρίνει δύο μετακινήσεις με γνώμονα τον χρόνο, χωρίζοντας την ημέρα σε τμήματα και συγκρίνοντας τις μετακινήσεις ανά κάθε διακριτό τμήμα. Τέλος, εφαρμόστηκαν άλλες δύο μέθοδοι. Η μέθοδος του Lipps (2000) η οποία απλοποιεί τα καθημερινά προφίλ μετακίνησης σε τέσσερις βασικές δραστηριότητες και η μέθοδος του Wilson (1998), η οποία βασίζεται στην τεχνική ακολουθίας ευθυγράμμισης που εφαρμόζεται στη Μοριακή Βιολογία. Τα αποτελέσματα των προσεγγίσεων που προαναφέρθηκαν, παρουσιάστηκαν σε πίνακες και διαγράμματα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, οι ερευνητές κατέληξαν στην υψηλή μεταβλητότητα που χαρακτηρίζει τα δεδομένα που αναλυθήκαν. Επιπρόσθετα, ανέφεραν ότι η καθημερινή συμπεριφορά των πολιτών που οδηγεί στα προφίλ μετακίνησης, τείνει να έχει μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις, όταν μελετάται με μεθόδους που έχουν ως γνώμονα τις ίδιες τις μετακινήσεις, σε σχέση με τον άξονα του χρόνου. Τέλος, τόνισαν ότι οι πιθανές ομοιότητες φθίνουν, όπως είναι αναμενόμενο, όσο περισσότερο λεπτομερής γίνεται η ανάλυση από άποψη μεταβλητών.

## 2.2. Ειδικές επιστημονικές προσεγγίσεις - Εξειδίκευση στα μέσα σταθερής τροχιάς

Το ακόλουθο υποκεφάλαιο, περιέχει επιστημονικές διερευνήσεις οι οποίες έδωσαν έμφαση στην ανάλυση της λειτουργίας συστημάτων μέσων σταθερής τροχιάς και μετρό.

Σε εργασία που επικεντρώθηκε στα μέσα σταθερής τροχιάς και συγκεκριμένα στο μετρό της πρωτεύουσας της Ταϊβάν, οι Mützel and Scheiner (2021), υποστήριξαν ότι η παρατήρηση των στοιχείων επικύρωσης καρτών στις εισόδους των σταθμών μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στα προφίλ μετακίνησης και δυνητικά στον καλύτερο σχεδιασμό των δημοσίων μεταφορών και γενικότερα του αστικού σχεδιασμού. Τονίστηκε επιπλέον και δόθηκε έμφαση στις αλλαγές που προέκυψαν λόγω της εμφάνισης της πανδημίας του Covid-19.

Για το σκοπό της εργασίας πραγματοποιήθηκε συλλογή στοιχείων από τον Ιανουάριο του 2019 έως το Μάρτιο του 2020 επιτυγχάνοντας έτσι την παρατήρηση της επιρροής της κατάστασης που επέβαλλε η εμφάνιση της πανδημίας στη χώρα. Θεωρώντας ότι τα μέσα σταθερής τροχιάς συνδυάζουν υψηλές ταχύτητες και δυνατότητα ικανοποίησης μεγάλου επιβατικού φόρτου, αυτά αποτελούν σταθερή και διαχρονική επιλογή των πολιτών για ποικιλία μετακινήσεων. Η συλλογή στοιχείων αφορούσε σε δεδομένα επικύρωσης των καρτών εισόδου στους σταθμούς, διάρκειας μιας εβδομάδας μέσω των οποίων υπήρχε η δυνατότητα συλλογής πληροφοριών με χωρική και χρονική υπόσταση ως προς τα προφίλ μετακινήσεων που είναι δυνατό να παρατηρηθούν.

Το χρονικό πλαίσιο στο οποίο έλαβε χώρα η συγκέντρωση των προαναφερθέντων στοιχείων φέρει το πλεονέκτημα της σταδιακής επιβολής μέτρων στην πρωτεύουσα της χώρας, η οποία αποτυπώθηκε άμεσα στην επιβατική κίνηση με χρήση αθροιστικών στατιστικών στοιχείων, μέσων όρων και πινάκων προέλευσης – προορισμού. Η στατιστική πληροφορία που συγκεντρώθηκε, για επιπλέον οπτικοποίηση αποτυπώθηκε σε γραφήματα επιβατικής κίνησης για κάθε ημέρα της εβδομάδας αλλά και χαρτογραφικό υπόβαθρο με επιβατικές ροές πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

Οι ερευνητές, μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, κατέληξαν ότι σε αρχικό επίπεδο και πριν αρχίσει να είναι αντιληπτή η εμφάνιση της πανδημίας, στις ημέρες της εβδομάδας ακολουθούνται παρόμοια και αναμενόμενα προφίλ μετακινήσεων καθώς και αντίστοιχα πλήθη εξυπηρετούμενων επιβατών. Ωστόσο, με την εξέλιξη της πανδημίας, παρατηρήθηκε μείωση των επιβατών που επέλεγαν το συγκεκριμένο μέσο σταθερής τροχιάς για τις μετακινήσεις τους σε όλες τις γραμμές που εξυπηρετούν οι εγκαταστάσεις του έργου. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι θεωρήθηκε πως μετά τη μείωση του επιβατικού φόρτου στο μετρό, τα προφίλ και οι ροές των επιβατών, εμφάνισαν σχετική χωρική και χρονική ασυνέχεια. Το γεγονός αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα πως ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να εντοπιστούν και να ονομαστούν χαρακτηριστικά προφίλ μετακινήσεων μεταξύ των σταθμών.

Σε ακόμη μία εργασία η οποία έλαβε χώρα στην πρωτεύουσα της Ταϊβάν, Ταϊπέι, οι Chang et al. (2021) διερεύνησαν το βαθμό επιρροής στη χρήση του μετρό της πόλης από την έλευση της πανδημίας του Covid-19 στη χώρα. Αναφέρθηκε επίσης ότι η υπό μελέτη χώρα, είναι μια από τις περιπτώσεις που δεν επιβλήθηκαν αυστηρά περιοριστικά μέτρα, με αποτέλεσμα οι μεταβολές της χρήσης του εν λόγω δικτύου να είναι κυρίως συνάρτηση των προσωπικών επιλογών μετακίνησης των πολιτών, παρά της υπακοής σε μέτρα προστασίας που επέβαλλε η Κυβέρνηση της χώρας. Επιπλέον, το μετρό της πρωτεύουσας, αποτελεί πρωταρχικό τρόπο μετακίνησης για μεγάλο αριθμό ατόμων και εξυπηρετεί σημαντικό αριθμό καθημερινών δραστηριοτήτων.

Για την εκπόνηση της έρευνας, αξιοποιήθηκαν στοιχεία από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου έως τις 31 Μαρτίου των ετών 2017, 2018, 2019 και 2020 μέσω βάσης δεδομένων, η οποία περιείχε αναλυτικά δεδομένα για τον αριθμό των καθημερινών μετακινήσεων όπως αυτά αποκτήθηκαν από το Taipei Rapid Transit Corporation για 119 σταθμούς του συστήματος. Τα στοιχεία εισόδων και εξόδων από τους σταθμούς επεξεργάστηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν σε νέα βάση δεδομένων ώστε να αναφέρονται στις ίδιες ημερομηνίες και τους ίδιους σταθμούς για τα τέσσερα έτη μελέτης. Άλλα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν αφορούν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε σταθμού, όπως η συνδεσιμότητα τους με άλλες υποδομές αλλά και το σημείο στο οποίο χωροθετούνται. Ακόμη,

αξιοποιήθηκαν στοιχεία πυκνότητας των δρομολογίων των τρένων αλλά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των χρηστών όπως η ηλικία και το εισόδημα αλλά και αν πρόκειται για κατοίκους ή επισκέπτες.

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την επεξεργασία των στοιχείων αποτέλεσε μια εμπειρική ανάλυση με σκοπό την εύρεση της εξίσωσης χρήσης μέσω του μοντέλου DiD (difference in differences). Στην εφαρμογή του μοντέλου υπεισέρχονται παράμετροι και μεταβλητές οι οποίες βαθμονομήθηκαν από στοιχεία όπως τα δημογραφικά χαρακτηριστικά και οι ιδιαιτερότητες του σταθμού. Επιπλέον, κατά την εφαρμογή της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία κρουσμάτων του ιού ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων αλλά και οι διαφοροποιήσεις πριν και μετά την πανδημία με βάση τα έτη μελέτης. Κατά τη διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης, δημιουργήθηκαν γραφήματα και συγκεντρωτικοί πίνακες, οι οποίοι οπτικοποιούσαν τα αποτελέσματα και παρουσίαζαν τις έντονες μεταβολές στα αντίστοιχα έτη σε συνάρτηση με την εμφάνιση και αύξηση των κρουσμάτων. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, οι μελετητές αξιοποίησαν τη μέθοδο ώστε να εξαγάγουν κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα ανάλογα το σταθμό.

Συμπερασματικά, προέκυψε ότι κατά τη διάρκεια της πανδημίας, εμφανίστηκε αξιοσημείωτη μείωση στον αριθμό των μετακινήσεων των πολιτών. Ακόμη, αναφέρθηκε ότι ακόμα και ένα νέο επιβεβαιωμένο κρούσμα του ιού στη χώρα, είχε την ικανότητα να μειώσει τον αριθμό των πραγματοποιούμενων μετακινήσεων κατά ένα ποσοστό. Αξίζει να αναφερθεί, ότι η θέση του σταθμού και η συνδεσιμότητα που προσφέρει, ήταν επίσης μια παράμετρος που επηρέαζε τις μεταβολές στη χρήση του, θετικά ή αρνητικά, ενώ η κατηγοριοποίηση σε καθημερινή ή σαββατοκύριακο, επηρεάζει και σχετίζεται με τις μεταβολές. Τέλος, αναφέρθηκε ότι οι προσωπικές επιλογές των πολιτών και η θέληση για ατομική προστασία οδήγησαν στη μείωση της επιβατικής ζήτησης, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με άλλες πόλεις που εφαρμόστηκαν ιδιαίτερα αυστηρά περιοριστικά μέτρα.

Οι Tao et al. (2014), διερεύνησαν τη διασπορά της επιβατικής κίνησης στο μετρό της Χί'αν της Κίνας, καθώς και τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Ανέφεραν ότι τα υπόγεια μέσα σταθερής τροχιάς είναι ιδιαίτερα αποδοτικά και χρήσιμα για τις μετακινήσεις των πολιτών, ενώ ταυτόχρονα τόνισαν ότι οι διαφοροποιήσεις της επιβατικής κίνησης σε αυτά, έχει θεωρηθεί συνάρτηση των μοτίβων μετακινήσεων που πραγματοποιούνται από τους πολίτες. Επιπρόσθετα, χαρακτήρισαν την ημερήσια επιβατική κίνηση στα μέσα σταθερής τροχιάς όπως το μετρό, ως ιδιαίτερα χρήσιμο παράγοντα ανάλυσης, λόγω της τυχαιότητας αλλά και των σταθερών τάσεων που πολλές φορές εμφανίζει σε συγκεκριμένες περιόδους.

Για την εκπόνηση της διερεύνησης αξιοποιήθηκε ολόκληρη η χρονοσειρά της επιβατικής κίνησης για το έτος 2012. Από τη χρονοσειρά, διερευνήθηκε μεμονωμένα η επιβατική κίνηση του κάθε μήνα, ώστε σε αρχικό στάδιο να παρατηρηθούν τυχόν διαφοροποιήσεις. Επίσης, ελέγχθηκε η ύπαρξη αργιών αλλά και μεμονωμένων απρόβλεπτων γεγονότων που ενδέχεται να επηρέασαν τα επίπεδα της επιβατικής ζήτησης για το μετρό. Για την καλύτερη μελέτη των παρατηρήσεων αυτών δημιουργήθηκαν και αντίστοιχα γραφήματα, στα οποία ήταν ιδιαίτερα εμφανείς οι διαφορές.

Για την ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων αξιοποιήθηκε και βαθμονομήθηκε μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Το μοντέλο εφαρμόστηκε και για τις δύο γραμμές του μετρό που εξυπηρετεί το σύστημα, ενώ ως ανεξάρτητη μεταβλητή θεωρήθηκε η επιβατική κίνηση και ως εξαρτημένη ο χρόνος σε εβδομάδες. Επίσης θεωρήθηκε και ειδικός πολλαπλασιαστής για τον χρόνο ο οποίος αποτελούσε το ρυθμό αύξησης της επιβατικής κίνησης. Με την εφαρμογή της στατιστική μεθόδου δημιουργήθηκαν ειδικοί πίνακες με βάση τις τιμές των παραμέτρων των οποίων αξιολογήθηκε η επιτυχία της εφαρμογής της.



Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκε ειδικός πίνακας που συνέκρινε την πραγματική επιρροή των παραγόντων μεταβολής της επιβατικής κίνησης μέσω της σχέσης των κανονικοποιημένων τιμών του μοντέλου και των πραγματικών.

Αναφορικά με τα συμπεράσματα, οι ερευνητές αναγνώρισαν και εν συνεχεία προσδιόρισαν τις διαφοροποιήσεις της επιβατικής κίνησης ανάλογα την ημέρα. Επιπλέον, εντόπισαν ότι το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης με βάση τα στατιστικά του, προσαρμόζεται όντως ορθά στα δεδομένα και συνεπώς αποτέλεσε ορθή επιλογή ως προς την ανάλυση. Ακόμη, απέδειξαν ότι οι μέγιστες διακυμάνσεις της επιβατικής κίνησης, τόσο τις καθημερινές όσο και τα σαββατοκύριακα, δεν ξεπερνούν τα επίπεδα του 10 τοις εκατό. Τέλος, κατέληξαν ότι τη μεγαλύτερη επιρροή και διακύμανση στα επίπεδα της επιβατικής κίνησης για ανάλυση σε επίπεδο ημέρας επέφεραν οι περιπτώσεις αργιών, περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο γεγονός.

Στο Χονγκ Κονγκ, οι Wang et al. (2015), διερεύνησαν τα συγκεντρωτικά προφίλ των μετακινήσεων των πολιτών που χρησιμοποιούσαν το δίκτυο των μέσων σταθερής τροχιάς της πόλης. Ανέφεραν επιπλέον, την υψηλή σημαντικότητα της κατανόησης των προφίλ αυτών και των λόγων που αυτά δημιουργούνται με σκοπό την καλύτερη πρόβλεψη, οργάνωση και σχεδιασμό. Τόνισαν δε ότι οι βασικότερες προσεγγίσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στην ανάλυση τέτοιων δεδομένων τείνουν συνήθως να επικεντρώνονται είτε στις ίδιες τις μετακινήσεις, είτε στις δραστηριότητες των πολιτών που γεννούν αυτές τις μετακινήσεις. Τέλος, μια τρίτη προσέγγιση επικεντρώνεται στην κίνηση, δηλαδή με άλλα λόγια στην τροχιά που ακολουθεί ένα άτομο κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησης του.

Η παρούσα διερεύνηση επικεντρώθηκε στην ανάλυση των προφίλ μετακίνησης των πολιτών που χρησιμοποιούσαν το σιδηροδρομικό δίκτυο MTR. Τα δεδομένα που αποκτήθηκαν ήταν οι επικυρώσεις ειδικών καρτών στις πύλες AFC του συστήματος ανά δεκαπέντε λεπτά για τις εισόδους και τις εξόδους από τον κάθε σταθμό του δικτύου. Η χρονοσειρά των μετρήσεων αφορούσε σε ένα διάστημα από τις 21 έως τις 27 Μαρτίου του 2011. Η συγκεκριμένη εβδομάδα επιλέχθηκε από τους ερευνητές καθώς θεωρήθηκε μια τυπική εβδομάδα τους έτους που αντικατόπτριζε πραγματικούς επιβατικούς φόρτους, χωρίς να περιέχει αργίες ή απρόβλεπτα γεγονότα που θα μπορούσαν να τους επηρεάσουν.

Για την πραγματοποίηση των απαιτήσεων της διερεύνησης υιοθετήθηκε μία ανάλυση τριών βημάτων με βάση την οποία το αρχικό στάδιο αφορούσε στο να εντοπιστούν και να κατανοηθούν οι καθημερινοί ρυθμοί λειτουργίας του συστήματος. Έπειτα εφαρμόστηκαν ειδικοί δείκτες ισορροπίας και ανάλυση συστάδων. Τέλος, εφαρμόστηκαν περιγραφικές αναλύσεις για να περιγράψουν τις ομάδες που προέκυψαν. Όσον αφορά τους δείκτες ισορροπίας που εφαρμόστηκαν, ενδεικτικά αναφέρονται οι CAB, TST, MOK. Για την ομαδοποίηση των σταθμών, αξιοποιήθηκε η μέθοδος της ιεραρχικής ανάλυσης συστάδων με βάση το μαθηματικό υπόβαθρο της οποίας, οι σταθμοί ταξινομούνται με βάση τις Ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ τους. Επιπλέον, οι ερευνητές, μετά την ταξινόμηση επέλεξαν τα συσχετίσουν την επιρροή της επιβατικής κίνησης των σταθμών σε συνάρτηση με τις χρήσεις γης. Για να πραγματοποιηθεί αυτό εφαρμόστηκαν ειδικοί δείκτες, όπως ο δείκτης Εντροπίας. Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων παρουσιάστηκαν σε ποικιλία διαγραμμάτων και πινάκων για οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων, οι ερευνητές κατέληξαν στο ότι τα συμπεράσματα τους έρχονται σε άμεση συμφωνία άλλων διερευνήσεων που εφαρμόσαν παρόμοιες προσεγγίσεις σε παρόμοια δεδομένα. Ένας από τους βασικότερους παράγοντες που προέκυψε να σχετίζεται με τη διακύμανση στην επιβατική κίνηση, είναι αυτός της εργασίας και γενικά της απασχόλησης. Ο παράγοντας αυτός προέκυψε να εμφανίζει και ισχυρές συσχετίσεις

με τις περιόδους της πρωινής και της απογευματινής αιχμής. Η συσχέτιση των δραστηριοτήτων αναψυχής προέκυψε επίσης αξιόλογη. Τελικώς, στη συγκεκριμένη έρευνα ο πληθυσμός της περιοχής έναρξης της εκάστοτε μετακίνησης, προέκυψε ως ένας παράγοντας με χαμηλή επιρροή στα προφίλ της επιβατικής κίνησης.

### 2.3. Ειδικές επιστημονικές προσεγγίσεις - Εφαρμογές μεθόδων χωρικής ανάλυσης

Το παρόν υποκεφάλαιο, εξειδικεύει την αναφορά των διερευνήσεων σε εκείνες οι οποίες συνδυάζουν θέματα συγκοινωνιακού ενδιαφέροντος, με ταυτόχρονη εφαρμογή ποικιλίας μεθόδων χωρικής ανάλυσης, και είναι αυτές οι οποίες προσεγγίζουν σε μέγιστο βαθμό το αντικείμενο της παρούσας Εργασίας, σε σύγκριση με τις αναφορές των δύο προηγούμενων υποκεφαλαίων.

Οι Chen et al. (2009), διερεύνησαν τα ημερήσια προφίλ μετακίνησης των πολιτών που χρησιμοποιούσαν το δίκτυο του μετρό της Νέας Υόρκης. Υποστήριξαν ότι ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η συσχέτιση της έρευνας με την ώρα της πραγματοποίησης των μετακινήσεων από τους πολίτες ενώ ταυτόχρονα, τα προφίλ μετακίνησης αποτελούν συνάρτηση των στοιχείων του περιβάλλοντα χώρου. Με βάση αυτή τη θεώρηση, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στη σύνδεση της χρήσης του εν λόγω μέσου σταθερής τροχιάς, με το χώρο.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας, αξιοποιήθηκε ποικιλία στοιχείων, όπως η πυκνότητα του πληθυσμού και της απασχόλησης, ενώ τα στοιχεία χρήσης των σταθμών του μετρό αποκτήθηκαν μέσω του New York City Transit. Τα δεδομένα της βάσης αφορούσαν σε μετρήσεις εισόδου ανά έξι λεπτά ως μέσοι όροι για κάθε ημέρα της εβδομάδας για το Μάιο του 2005. Η επιλογή του συγκεκριμένου μήνα έγινε με βάση τη θεώρηση ότι αποτελεί έναν τυπικό μήνα για τις μετακινήσεις των πολιτών στο πλαίσιο ενός έτους. Επιπλέον αξιοποιήθηκαν δεδομένα χωρικής μορφής για τα δίκτυα του μετρό, ενώ επιπλέον συλλέχθηκαν δεδομένα χρήσεων γης. Τα δύο προαναφερθέντα χωρικά δεδομένα αποκτήθηκαν σε μορφή αξιοποιήσιμη στο λογισμικό ArcGIS. Τέλος, τα κοινωνικοοικονομικά και δημογραφικά στοιχεία του πληθυσμού, βρέθηκαν μέσω των βάσεων της απογραφής του 2000.

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της έρευνας και συγκεκριμένα για την κατηγοριοποίηση των σταθμών σε ομάδες με διακριτά χαρακτηριστικά-μεταβλητές, όπως για παράδειγμα η ωριαία επιβατική κίνηση, αξιοποιήθηκε η μέθοδος ανάλυσης συστάδων. Εφόσον επιλέχθηκε να αξιοποιηθούν οι Ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των μεταβλητών που χαρακτηρίζουν τον κάθε σταθμό, για την κατηγοριοποίηση τους στην αντίστοιχη ομάδα, ενώ επιλέχθηκε η μέθοδος του αλγορίθμου K-means. Με βάση τις αρχές του εν λόγω αλγορίθμου, για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων και την ορθότερη κατηγοριοποίηση των σταθμών, η εφαρμογή του ακολούθησε επαναληπτική διαδικασία. Αναφέροντας τη μαθηματική προσέγγιση, ο κάθε σταθμός αποδίδεται στην ομάδα, από το κέντρο της οποίας, απέχει τη μικρότερη απόσταση. Στο αρχικό στάδιο, ο αριθμός των ομάδων καθορίζεται εμπειρικά και χειροκίνητα, ωστόσο η επαναληπτική διαδικασία οδηγεί σε βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων, καθώς η εκ νέου επιλογή των κεντροειδών της κάθε ομάδας από τον αλγόριθμο, οδηγεί τελικώς σε μέγιστη απόσταση μεταξύ των ομάδων αλλά ταυτόχρονα σε ελάχιστες αποστάσεις των στοιχείων εντός της ομάδας, το οποίο είναι και το ζητούμενο. Η επιτυχία του αλγορίθμου ελέγχθηκε από τους ερευνητές, με παρουσίαση των απαραίτητων στατιστικών στοιχείων σε μορφή πινάκων αλλά και σχετικών διαγραμμάτων. Επιπλέον, σχεδιάστηκε πολυωνυμικό μοντέλο logit σκοπός του οποίου ήταν η συσχέτιση του περιβάλλοντα χώρου με τη συμμετοχή των σταθμών στην εκάστοτε ομάδα όπως αυτή προέκυψε από την εφαρμογή της προηγούμενης μεθόδου.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα, οι ερευνητές κατηγοριοποίησαν με βάση της μεταβλητές που επέλεξαν για τους σταθμούς του μετρό, σε πέντε διακριτές ομάδες. Επιπλέον, παρατήρησαν και απέδειξαν ότι η κατηγοριοποίηση των σταθμών συνδέεται σε σημαντικό βαθμό με τα τοπικά χωρικά αλλά και τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της περιβάλλουσας περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί και αναφέρεται, ότι οι σταθμοί που βρίσκονται σε περιοχές όπου επικρατούν οι κάτοικοι Ασιατικής καταγωγής τείνουν να ανήκουν στην Ομάδα 2, ενώ αντίστοιχα σταθμοί χωροθετημένοι σε περιοχές της πόλης με πλειοψηφία λευκού πληθυσμού και υψηλά εισοδήματα, τείνουν να ανήκουν στις Ομάδες 1 και 2. Τέλος, και με έμφαση καθαρά στο χωρικό στοιχείο, παρατηρήθηκε ότι οι σταθμοί και οι περιοχές με μικρή απόσταση από το κέντρο της πόλης, στην πλειοψηφία τους ανήκουν στην Ομάδα 3.

Οι Gan et al. (2020), στη Nanjing της Κίνας διερεύνησαν τα προφίλ μετακίνησης των πολιτών που χρησιμοποιούσαν το μετρό της πόλης. Με βάση αυτό υποστήριξαν την ισχυρή σύνδεση που θεωρήθηκε ότι παρουσιάζεται μεταξύ των καθημερινών μετακινήσεων των πολιτών, των ιδιαίτερων προφίλ που αυτές ακολουθούν, σε συνάρτηση όμως με τα χαρακτηριστικά των σταθμών και τις περιβάλλουσες χρήσεις γης. Αναφέρθηκε ότι οι μεταβολές αυτές των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντα χώρου παίζουν αξιοσημείωτο ρόλο στην επιρροή της μετακίνησης των πολιτών και διαφοροποιούν τις επιλογές τους. Τέλος αναφέρθηκε ότι βασικός σκοπός της παρούσας διερεύνησης ήταν να συνδεθεί η ανομοιογένεια των προφίλ μετακίνησης των πολιτών με τα χαρακτηριστικά του χώρου, ως μια προσέγγιση η οποία δεν είχε εφαρμοστεί ευρέως.

Για την εκπόνηση της εργασίας, οι ερευνητές απέκτησαν στοιχεία επιβατικής χρήσης των σταθμών του μετρό της πόλης για τον Απρίλιο του 2015 από το Nanjing Metro Corporation. Η βάση δεδομένων περιείχε αναλυτικά στοιχεία όπως τον χρόνο έναρξης και πέρατος της διαδρομής, τον χρόνο, τον σταθμό εισόδου, πιθανές μετεπιβιβάσεις και άλλα. Για την καλύτερη και πιο αξιόπιστη επεξεργασία των στοιχείων, τα δεδομένα μετατράπηκαν σε ωριαίες μετρήσεις. Επιπρόσθετα, μέσω του Nanjing Urban Planning Bureau, συγκεντρώθηκαν στοιχεία σχετικά με τις χρήσεις γης.

Για την πραγματοποίηση της διερεύνησης εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλυσης συστάδων σε αρχικό στάδιο, ενώ στη συνέχεια αξιοποιήθηκε πολυωνυμική παλινδρόμηση logit. Για την ορθή αξιοποίηση των δυνατοτήτων της μεθόδου, ως μεταβλητές αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα επιβατικής κίνησης-χρήσης για τους σταθμούς του μετρό στη χρονοσειρά που είχε δημιουργηθεί, ενώ ο αλγόριθμος K-means επιλέχθηκε ως ο καταλληλότερος για τη μορφή των δεδομένων, χάρη στην ευκολία και την αποτελεσματικότητα που προσφέρει. Ο εν λόγω αλγόριθμος, όπως έχει προαναφερθεί, κατηγοριοποιεί σε ομάδες τις υπάρχουσες παρατηρήσεις, ελαχιστοποιώντας την απόσταση του κάθε στοιχείου της ομάδας, από το αντίστοιχο κεντροειδές της. Για τον ορθότερο καθορισμό του αρχικού αριθμού των ομάδων, όπως απαιτεί ο αλγόριθμος, το οποίο παίζει και σημαντικό ρόλο για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του, χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί δείκτες ως αρωγοί στον καθορισμό αυτό. Όσον αφορά το πολυωνυμικό μοντέλο, αυτό εφαρμόστηκε εν συνεχεία, με σκοπό τον εντοπισμό την σχέσης μεταξύ των χαρακτηριστικών των χρήσεων γης και των σταθμών σε συνάρτηση με την ομάδα κατηγοριοποίησής τους. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε μορφή γραφημάτων και χαρτών για την καλύτερη οπτικοποίηση τους.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα, οι ομάδες κατηγοριοποίησης των σταθμών οι οποίες μέσω του αλγορίθμου προέκυψε να είναι επτά, ανάλογα με τα προφίλ μετακίνησης και τις διαφοροποιήσεις αυτών, μπόρεσαν να χαρακτηριστούν ανάλογα με την πηγή της επιρροής στα προφίλ. Για παράδειγμα η Ομάδα 3 ονομάστηκε ως η Ομάδα επηρεαζόμενη από τις μετακινήσεις για εργασία, ενώ αντίστοιχα η Ομάδα 2 ήταν αυτή που σχετίζεται με τις μετακινήσεις των φοιτητών στα Πανεπιστήμια της πόλης. Για την ονομασία των επτά ομάδων ουσιαστικά, αξιοποιήθηκαν οι διαφοροποιήσεις της επιβατικής κίνησης αιχμής με βάση την ημέρα. Επιπλέον, τα αποτελέσματα του πολυωνυμικού μοντέλου απέδειξαν ότι η χωροθέτηση των σταθμών σε διαφορετικές ομάδες

όπως προέκυψε από την ανάλυση συστάδων, αποτέλεσε συνάρτηση των διαφοροποιήσεων των ειδών των χρήσεων γης. Ως αντικατοπτριστικό παράδειγμα αυτού του συμπεράσματος, αναφέρεται το γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία των σταθμών που ανήκουν στην Ομάδα που σχετίζεται με την εργασία, ήταν χωροθετημένοι στον κεντρικό αστικό ιστό όπου συγκεντρωνόταν σημαντικός αριθμός σχετικών δραστηριοτήτων, και όχι σε άλλες πιο απομακρυσμένες ή αραιοκατοικημένες περιοχές της πόλης.

Στη Σεούλ της Κορέας, οι Kim et al. (2017) διερεύνησαν τα προφίλ μετακίνησης των πολιτών που χρησιμοποιούσαν το δίκτυο του μετρό της πόλης, ενώ συσχέτισαν τις διαφοροποιήσεις αυτών των προφίλ με τις χρήσεις γης του περιβάλλοντα χώρου των σταθμών αλλά και με άλλα δημογραφικά χαρακτηριστικά. Ανέφεραν επιπλέον ότι τα δεδομένα των μετακινήσεων των πολιτών αποτελούν ιδιαίτερα χρήσιμα στοιχεία στο να καταστεί δυνατή η παρατήρηση μετακινήσεων με χρονικό και χωρικό ορίζοντα.

Τα αρχικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν αφορούσαν στην ημερήσια επιβατική κίνηση από τις 18 έως τις 24 Ιουλίου για τα έτη 2013 και 2014 και αποκτήθηκαν μέσω του Transport Policy Division of the Seoul Metropolitan Government. Στα δεδομένα αυτά, εκτός από την επιβατική κίνηση, περιείχονταν 479 σταθμοί καθώς και στοιχεία όπως η γραμμή του μετρό που ανήκουν, οι συντεταγμένες τους και άλλα. Για την εύρεση της συσχέτισης των προφίλ μετακίνησης με τον περιβάλλοντα χώρο, που αποτέλεσε βασικό στόχο της παρούσας διερεύνησης, αξιοποιήθηκε ειδικός χάρτης χρήσεων και κάλυψης γης του 2013 αλλά και απογραφικά δεδομένα του 2010. Τα δεδομένα αυτά αποκτήθηκαν μέσω του Korean Ministry of Environment και του Statistical Geographical Information Service of Statistics Korea.

Για την πραγματοποίηση της εργασίας, τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και κανονικοποιήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία της ανάλυσης ενώ καθορίστηκαν και οι απαραίτητες μεταβλητές που επρόκειτο να αξιοποιηθούν κατά τις διαδικασίες. Για την ομαδοποίηση των σταθμών εφαρμόστηκε η προσέγγιση της ανάλυσης συστάδων και συγκεκριμένα ο αλγόριθμος K-means, λόγω της απλότητας του, της αξιοπιστίας του, αλλά και των υψηλών του δυνατοτήτων σε περιπτώσεις ανάλυσης που βασίζονται σε μεγάλες βάσεις δεδομένων και πολλές μεταβλητές. Λεπτομέρειες της λειτουργίας του αλγορίθμου έχουν ήδη αναφερθεί στα πλαίσια ανωτέρω διερευνήσεων, αλλά θίγονται και διεξοδικά στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η ποιότητα των ομαδοποιήσεων αξιολογήθηκε με τη χρήση ειδικών δεικτών όπως οι Dunn και Silhouette. Εν συνεχεία, εφαρμόστηκαν ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) καθώς και ανάλυση παλινδρόμησης για την εύρεση των σημαντικών μεταβλητών του εξωτερικού περιβάλλοντος που έπρεπε να αξιοποιηθούν κατά την έρευνα. Η ανάλυση παλινδρόμησης μέσω της διαδικασίας εφαρμογής της θεωρήθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη για τον καθορισμό της σχέσης μεταξύ των στοιχείων του περιβάλλοντα χώρου και των προς αξιοποίηση κοινωνικοοικονομικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα των μεθόδων παρουσιάστηκαν σε διαγράμματα και χάρτες.

Όσον αφορά τα τελικά αποτελέσματα της διερεύνησης, η βέλτιστη ταξινόμηση των σταθμών προέκυψε να είναι αυτή που οδήγησε σε ομαδοποίηση σε πέντε διακριτές κατηγορίες. Επιπλέον, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η καθεμία από τις 5 ομάδες είχε τις δικές της ιδιαιτερότητες από άποψη δημογραφικών στοιχείων χρήσεων γης, παρόλο που η ομαδοποίηση ήταν αποτέλεσμα της επιβατικής κίνησης και των προφίλ που αυτή παρουσίαζε. Αντίστοιχα, κατέληξαν στο ότι η χωροθέτηση των ομάδων ήταν συνάρτηση των μεταβολών των χρήσεων γης της πόλης και ότι η παρατήρηση αυτή μπορούσε να δώσει στοιχεία σχετικά με το βαθμό αστικοποίησης, αλλά και την τάση του πληθυσμού της πόλης σταδιακά να απομακρύνεται από το κέντρο της.

Σε επιστημονική διερεύνηση που επίσης έλαβε χώρα στη Σεούλ, οι Kim et al. (2018) συσχέτισαν τα προφίλ μετακίνησης των πολιτών στη διάσταση του χώρου και του χρόνου, που χρησιμοποιούσαν το μετρό, με τα ιδιαίτερα τοπικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου, αξιοποιώντας τα στοιχεία των “έξυπνων καρτών” των μέσων μαζικής μεταφοράς. Επιπλέον, ανέφεραν ότι η ορθή κατανόηση της σχέσης που αναπτύσσεται μεταξύ της δομής του χώρου αλλά και το πως αυτή συνδέεται με τα προφίλ μετακίνησης είναι καίριας σημασίας και μπορεί να δώσει στους ερευνητές μια καλύτερη αντίληψη για τη δομή μιας μεγάλης πόλης.

Για την πραγματοποίηση της εργασίας, οι ερευνητές αξιοποίησαν τα στοιχεία χρήσης των καρτών στα μέσα μαζικής μεταφοράς ήτοι τα λεωφορεία και το μετρό της πρωτεύουσας. Τα στοιχεία αυτά αφορούσαν σε επτά εκατομμύρια κάρτες και περιείχαν δεδομένα σχετικά με τη χρονική στιγμή εισόδου και εξόδου καθώς και τον αριθμό των επιβατών και άλλα. Για μεγαλύτερη ευκολία, τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν και οργανώθηκαν σε ειδικό πίνακα. Τα στοιχεία αφορούσαν σε μια χρονοσειρά από τις 18 έως τις 24 Μαρτίου του 2015. Επιπρόσθετα, τα στοιχεία κάλυψης και χρήσεων γης αλλά και τα απαραίτητα δημογραφικά στατιστικά στοιχεία αποκτήθηκαν από τα Korean Ministry of Environment και Statistics Korea αντίστοιχα. Αναφορικά με τα δημογραφικά στοιχεία, αυτά σχετίζονταν με δεδομένα όπως το νοικοκυριό, τον πληθυσμό και την εργασία.

Η πρώτη βασική προσέγγιση που εφαρμόστηκε για την εκπόνηση της διερεύνησης αποτελούσε την ανάλυση συστάδων. Έπειτα από την κατάλληλη προεργασία και προετοιμασία των δεδομένων, ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε ήταν ο K-SC ο οποίος αποτελεί μια ειδική υποπερίπτωση του προαναφερθέντος αλγορίθμου K-means, ο οποίος μάλιστα απαιτεί εξίσου τη χειροκίνητη αρχική επιλογή του αριθμού των ομάδων που θα καθορίσουν την ταξινόμηση. Για τον έλεγχο της σωστής εφαρμογής του αλγορίθμου αλλά και της ορθότητας του αριθμού των ομάδων, αξιοποιήθηκε ο ειδικός δείκτης Calinski-Harabasz αλλά και οι δείκτες Hartigan και Silhouette. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η Ανάλυση Κύριας Συνιστώσας (PCA) με χρήση των στοιχείων χρήσης με σκοπό την ανάλυση των δημογραφικών χαρακτηριστικών, λόγω της ιδιαίτερης χρησιμότητας της σε περιπτώσεις πολλών μεταβλητών που εμφανίζουν μεταξύ τους συσχέτιση. Επιπλέον, αξιοποιήθηκε η Ανάλυση Πολλαπλής Αντιστοιχίας (MPA) με στόχο την εύρεση των σχέσεων μεταξύ εξαρτημένων αλλά και ανεξάρτητων μεταβλητών, κάτι το οποίο λειτούργησε βοηθητικά στην όλη εκπόνηση της εργασίας. Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων των παραπάνω προσεγγίσεων δημιουργήθηκαν πίνακες, γραφήματα και χάρτες.

Αναφορικά με τα συμπεράσματα, η ταξινόμηση των προφίλ μετακίνησης οδήγησε στη δημιουργία πέντε διακριτών ομάδων η καθεμία μάλιστα από τις οποίες αντικατόπτριζε και συνδεόταν άμεσα με κάθε μία από τις πέντε βασικές δραστηριότητες της καθημερινότητας που γεννούν μετακινήσεις στον πληθυσμό. Επιπρόσθετα, η χωροθέτηση των προφίλ μετακίνησης αποδείχθηκε ότι είναι και συνάρτηση του πληθυσμού, του αριθμού των εργαζομένων αλλά και του αριθμού των σταθμών, γεγονός που θεωρήθηκε από τους ερευνητές ως αντικατοπτριστικό της δυναμικής του ανθρώπινου πληθυσμού.

Στην Guangzhou της Κίνας οι Li et al. (2020) διερεύνησαν την επιρροή του δομημένου περιβάλλοντος στη χρήση των μέσων σταθερής τροχιάς από τους πολίτες. Ανέφεραν ότι η επιλογή της προαναφερθείσας πόλης για την εκπόνηση της εργασίας είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς είναι μία από τις περιπτώσεις πόλεων της Κίνας που ανέπτυξαν χρονολογικά νωρίς τα μέσα σταθερής τροχιάς ως μέσο μετακίνησης του πληθυσμού, ενώ ταυτόχρονα το μετρό της

πόλης αποτελεί είναι από τα τρία μεγαλύτερα της χώρας, ως προς το μήκος των γραμμών που το απαρτίζουν.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας αξιοποιήθηκαν 124 σταθμοί του μετρό της πόλης ενώ χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία επιβατικής κίνησης από τις 4 μέχρι της 10 Ιανουαρίου του 2016 μέσω του Guangzhou Metro Company. Τα δεδομένα αυτά περιείχαν ωριαίες επιβιβάσεις και αποβιβάσεις για τις παραπάνω ημερομηνίες και ήταν διαθέσιμα μέσω των "έξυπνων καρτών". Όσον αφορά τα στοιχεία του δομημένου περιβάλλοντος όπως ο πληθυσμός, οι χρήσεις γης, η πυκνότητα, τα οποία, ταυτόχρονα θεωρήθηκαν και υποψήφιος ανεξάρτητες μεταβλητές για την ανάλυση αποκτήθηκαν με ποικίλους τρόπους, όπως ειδικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, δεδομένα κτιριακού αποτυπώματος, η βάση δεδομένων Tescent κ.α.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε να εφαρμοστεί στα πλαίσια της διερεύνησης είναι η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (GWR), η οποία σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους παλινδρόμησης, προσθέτει τη δυνατότητα να μπορεί να εκτιμηθεί η χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών που υπεισέρχονται στην ανάλυση. Η υπεροχή της μεθόδου αυτής στον προαναφερθέντα τομέα ουσιαστικά, παρέχει τη δυνατότητα να ληφθεί υπόψη η χωρική αυτοσυσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Εν συνεχεία, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος ταξινόμησης K-means του οποίου η περιγραφή έχει ήδη λάβει χώρα. Ακόμη, αξιοποιήθηκε η εφαρμογή της Γραμμικής Παλινδρόμησης (SLG) ώστε να εξαλειφθούν οι μεταβλητές με συγγραμμικότητα και να παραμείνουν αυτές με υψηλή στατιστική σημαντικότητα. Τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω μεθόδων ανάλυσης παρουσιάστηκαν σε μεγάλο αριθμό πινάκων, διαγραμμάτων αλλά και χαρτών.

Σχετικά με τα αποτελέσματα της εργασίας, οι ερευνητές κατέληξαν σε πρώτο στάδιο στην υψηλή ανομοιογένεια του τρόπου με τον οποίο επηρεάζει το δομημένο περιβάλλον τη χρήση των μέσων σταθερής τροχιάς και συγκεκριμένα του μετρό της πόλης ανάλογα για παράδειγμα με τη θέση που βρίσκεται ο σταθμός αλλά και την ώρα της ημέρας. Επιπλέον, αποδείχτηκε ότι οι διακριτές ομάδες σταθμών όπως αυτές προέκυψαν από τον αλγόριθμο ταξινόμησης, επηρεάστηκαν εντελώς διαφορετικά από τις διερευνηθείσες μεταβλητές με διαφορετικά ή και αντίστροφα αποτελέσματα σε κάποιες ομάδες σταθμών.

Οι Zhao et al. (2019) διερεύνησαν στην Nanjing της Κίνας, τα προφίλ μετακίνησης των επιβατών που χρησιμοποιούσαν το μετρό της πόλης, για να πραγματοποιήσουν τις δραστηριότητές τους. Ανέφεραν επίσης ότι τα μέσα μαζικής μεταφοράς, αποτελούν έναν από τους βασικότερους τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της σπατάλης ενέργειας αλλά και της εκπομπής ρύπων. Με βάση αυτή τη θεώρηση, τόνισαν τη σημασία της μελέτης και παρατήρησης των αστικών προφίλ μετακίνησης των πολιτών. Ουσιαστικά, έδωσαν έμφαση στο γεγονός ότι οι παρατηρήσεις αυτές θα μπορούσαν να έχουν σημαντική θετική επιρροή στον σωστό σχεδιασμό των μεταφορών και εν συνεχεία στην καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών.

Για την πραγματοποίηση της διερεύνησης συγκεντρώθηκαν στοιχεία για 83 σταθμούς του μετρό της πόλης μέσω των συστημάτων AFC του Nanjing Subway Operation Corporation από τις 21 έως τις 27 Οκτωβρίου του 2016. Η εβδομάδα αυτή επιλέχθηκε από τους ερευνητές, καθώς θεωρήθηκε ως μια τυπική εβδομάδα του έτους χωρίς επίσημες αργίες και απρόβλεπτα γεγονότα που θα μπορούσαν να έχουν επηρεάσει την επιβατική κίνηση και δε θα έδιναν μια αντικειμενική προσέγγιση στην πραγματική ζήτηση. Η βάση δεδομένων περιείχε στοιχεία όπως το ID των εισιτηρίων, την ακριβή ώρα εισόδου και εξόδου κ.α.

Πριν εφαρμοστεί η βασική μέθοδος ανάλυσης, οι ερευνητές προχώρησαν σε αρχική επεξεργασία και παρατήρηση των στοιχείων, ώστε να προβούν σε κάποια αρχικά συμπεράσματα. Στο τμήμα της βασικής ανάλυσης που αποτελούσε η ανάλυση συστάδων, εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές επιμέρους μέθοδοι οι οποίες λειτούργησαν σαν αρωγή στην ορθή ολοκλήρωση της διαδικασίας. Αρχικά, έλαβε χώρα μια κανονικοποίηση στα δεδομένα των επιβατικών μετακινήσεων για να μειωθεί η επιρροή που θα είχε η διαδικασία της ομαδοποίησης στα δεδομένα, ειδικά σε περιπτώσεις σταθμών που θα εμφάνιζαν ομοιότητες στα προφίλ μετακίνησης που τους χαρακτηρίζουν. Έπειτα από την κανονικοποίηση των μεταβλητών, οι οποιεσδήποτε ομοιότητες μεταξύ των σταθμών ανά δύο ως προς τα προφίλ της επιβατικής κίνησης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου του συνημίτονου κατέστη δυνατό να ανήκουν σε ένα διάστημα μεταξύ τους μηδενός και της μονάδας. Για την τελική ομαδοποίηση των σταθμών εφαρμόστηκε η μέθοδος K-Medoids με χρήση του αλγορίθμου CLARA. Η προαναφερθείσα αυτή μέθοδος φέρει σημαντικές ομοιότητες με τον αλγόριθμο K-means. Μια από τις βασικότερες διαφοροποιήσεις τους όμως είναι ότι η μέθοδος K-Medoids τοποθετεί το κάθε σημείο, το οποίο ουσιαστικά οπτικοποιεί το κάθε δεδομένο στο χώρο, πιο κοντά στο κέντρο της ομάδας και αποτελεί το κέντρο της ομαδοποίησης. Τέλος, εφαρμόστηκε το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συσχέτιση των ομάδων που προέκυψαν με τον περιβάλλοντα χώρο, χρησιμοποιώντας στοιχεία του δομημένου περιβάλλοντος ως μεταβλητές. Τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω αναλύσεων οπτικοποιήθηκαν με χρήση πινάκων, διαγραμμάτων αλλά και χαρτών. Τα στοιχεία που αφορούσαν στις Κυριακές αναλύθηκαν ξεχωριστά.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα, οι σταθμοί του μετρό ταξινομήθηκαν σε πέντε διακριτές ομάδες. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η βασική χρήση γης που περιέβαλλε τους σταθμούς των περισσότερων ομάδων ήταν αυτή της κατοικίας. Συγκεκριμένα οι σταθμοί της Ομάδας 2 προέκυψε να είναι αυτοί που ανήκαν σε κεντρική εμπορική περιοχή με μεγάλες συγκεντρώσεις χώρων εργασίας αλλά και αναψυχής. Αντίθετα, οι σταθμοί της Ομάδας 3 ήταν χωροθετημένοι σε περιοχή που σχετιζόταν με τα πανεπιστήμια της πόλης. Επιπλέον, οι σταθμοί της Ομάδας 4 συνδέθηκαν με πιο προαστιακές περιοχές με υψηλό αριθμό βιομηχανιών, ενώ τέλος, μόνο η Ομάδα 5 σχετίστηκε με απομακρυσμένους σταθμούς με μεγάλες αποστάσεις από το κέντρο.

Οι Zemp et al (2011), εκπόνησαν επιστημονική διερεύνηση με σκοπό την ταξινόμηση των σταθμών του Ελβετικού σιδηροδρομικού συστήματος. Ανέφεραν ότι σε αντίθεση με μεγάλο αριθμό αντίστοιχων επιστημονικών προσεγγίσεων που επικεντρώνονταν στον παράγοντα της επιβατικής κίνησης για τις αναλύσεις, εκείνοι επέλεξαν να ασχοληθούν και να εστιάσουν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες της τοποθεσίας στην οποία λειτουργεί ο εκάστοτε σταθμός. Τέλος, ανέφεραν τη σημασία της ομαδοποίησης των σταθμών, ως μια προσέγγιση η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε ορθότερο στρατηγικό σχεδιασμό.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας, συγκεντρώθηκαν στοιχεία μέσω συνεντεύξεων με 28 άτομα τα οποία εργάζονταν ή είχαν σχέση με τους σταθμούς, όπως φορείς εκμετάλλευσης σιδηροδρομικών υποδομών. Οι συνεντεύξεις έλαβαν χώρα δια ζώσης και είχαν μέση διάρκεια τη μιάμιση ώρα. Οι ερωτήσεις αποσκοπούσαν στην απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την προσωπική άποψη των ατόμων ως προς κάποια κριτήρια που χαρακτήριζαν τους σταθμούς όπως η λειτουργικότητα, η άνεση κ.α. Τα στοιχεία αυτά οδήγησαν στο να δημιουργηθούν πέντε συναρτήσεις οι οποίες περιέγραφαν τους σταθμούς. Επιπλέον, αξιοποιήθηκαν στοιχεία από το Swiss Federal Bureau of Statistics τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως μεταβλητές για τη βαθμονόμηση αυτών των συναρτήσεων. Σε αρκετές περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκε σημαντικός αριθμός ελλিপών στοιχείων, εφαρμόστηκαν αρκετές γραμμικές παλινδρόμησης.

Αυτές αποδείχτηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες για στοιχεία όπως η συχνότητα χρήσης των σταθμών από τους επιβάτες αλλά και ο αριθμός των τουριστών που χρησιμοποιούσαν τον καθένα. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος της ανάλυσης συστάδων. Οι ερευνητές επέλεξαν να εφαρμόσουν έναν αρκετά αξιόλογο αριθμό αλγορίθμων όπως αυτοί προτάθηκαν από τους Webb (2005) and Everitt et al. (2001). Ωστόσο, λόγω αρκετών προβλημάτων στις ομαδοποιήσεις, ο τελικός αλγόριθμος που επιλέχθηκε ως καταλληλότερος ήταν αυτός του Ward, λόγω της υπεροχής του στο να δημιουργεί ομάδες αντίστοιχων μεγεθών. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάστηκαν σε πίνακες και γραφήματα.

Όσον αφορά τα συμπεράσματα οι ερευνητές κατέληξαν ότι η καλύτερη ταξινόμηση είναι αυτή που ομαδοποίησε τους σταθμούς σε επτά διακριτές κατηγορίες. Επιπλέον, θεώρησαν με βάση τα αποτελέσματα ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες του πλαισίου κάθε σταθμού που επηρεάζουν το επίπεδο της λειτουργίας του, ενώ η ταξινόμηση με βάση αυτούς τους παράγοντες έχει ερμηνεύσιμα αποτελέσματα. Τέλος, απέδειξαν ότι υπάρχουν σταθμοί με παρόμοιες αποδόσεις όσον αφορά την επιβατική κίνηση αλλά επειδή ανήκουν σε διαφορετικά πλαίσια, χαρακτηρίζονται και από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.



## Κεφάλαιο 3 – Γενικά στοιχεία, δεδομένα και μεθοδολογίες

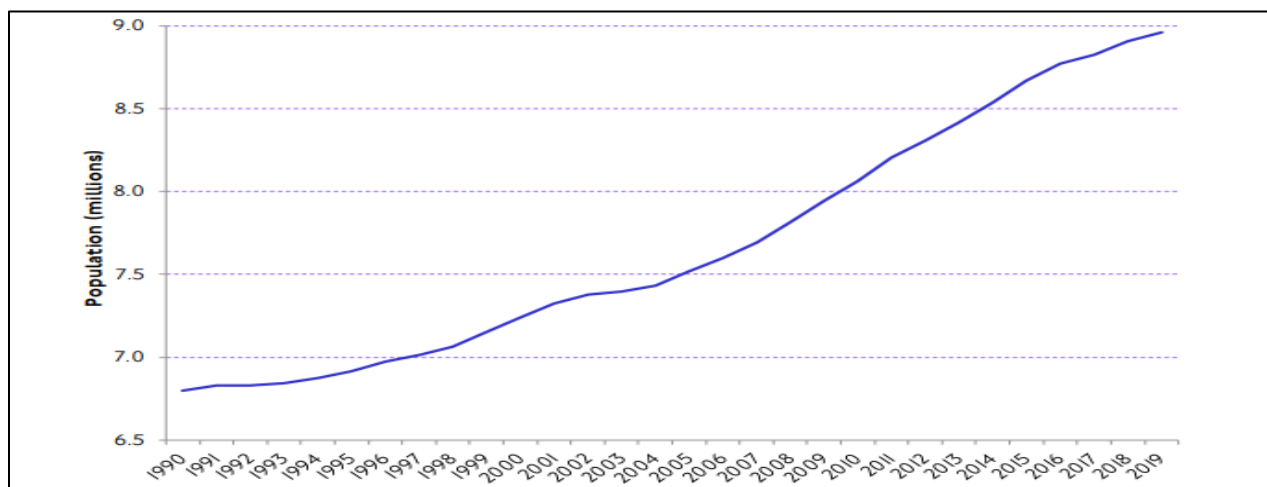
Στο παρόν κεφάλαιο θα λάβει χώρα η παρουσίαση στοιχείων της περιοχής μελέτης, καθώς και η αναλυτική περιγραφή της απόκτησης και αρχικής επεξεργασίας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση. Σε επόμενο στάδιο, θα παρουσιαστούν οι δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις της Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης: Ο αλγόριθμος K-Means και ο αλγόριθμος Fuzzy C-Means.

### 3.1. Στοιχεία της περιοχής μελέτης

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφονται βασικά στοιχεία της περιοχής μελέτης, τα οποία δίνουν μια αρχική εικόνα και θέτουν ένα πλαίσιο στις αναλύσεις που θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Η περιγραφή των στοιχείων αυτών κρίθηκε ως ιδιαίτερα σημαντική, με γνώμονα την εξοικείωση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, αλλά και την επιρροή που είχε στις λειτουργίες και τη δυναμική της η έλευση της πανδημίας του Covid-19. Το TfL, σε ετήσια βάση πραγματοποιεί έρευνες, η οποία συνδέονται με τις μετακινήσεις αλλά και τα γενικότερα προφίλ μετακίνησης των πολιτών του Λονδίνου. Επιπλέον, η ετήσιες αυτές έρευνες απαντούν σε ποικιλία ερωτημάτων και απεικονίζουν γραφικά τα αποτελέσματα, αλλά παρουσιάζουν και αναλυτικά τα συμπεράσματα σε ειδικά ετήσια Reports. Στα αποτελέσματα αυτά έχουν βασιστεί και οι παρατηρήσεις που αναφέρονται στα υποκεφάλαια που αφορούν στα στοιχεία της περιοχής μελέτης.

#### 3.1.1. Πληθυσμιακά στοιχεία

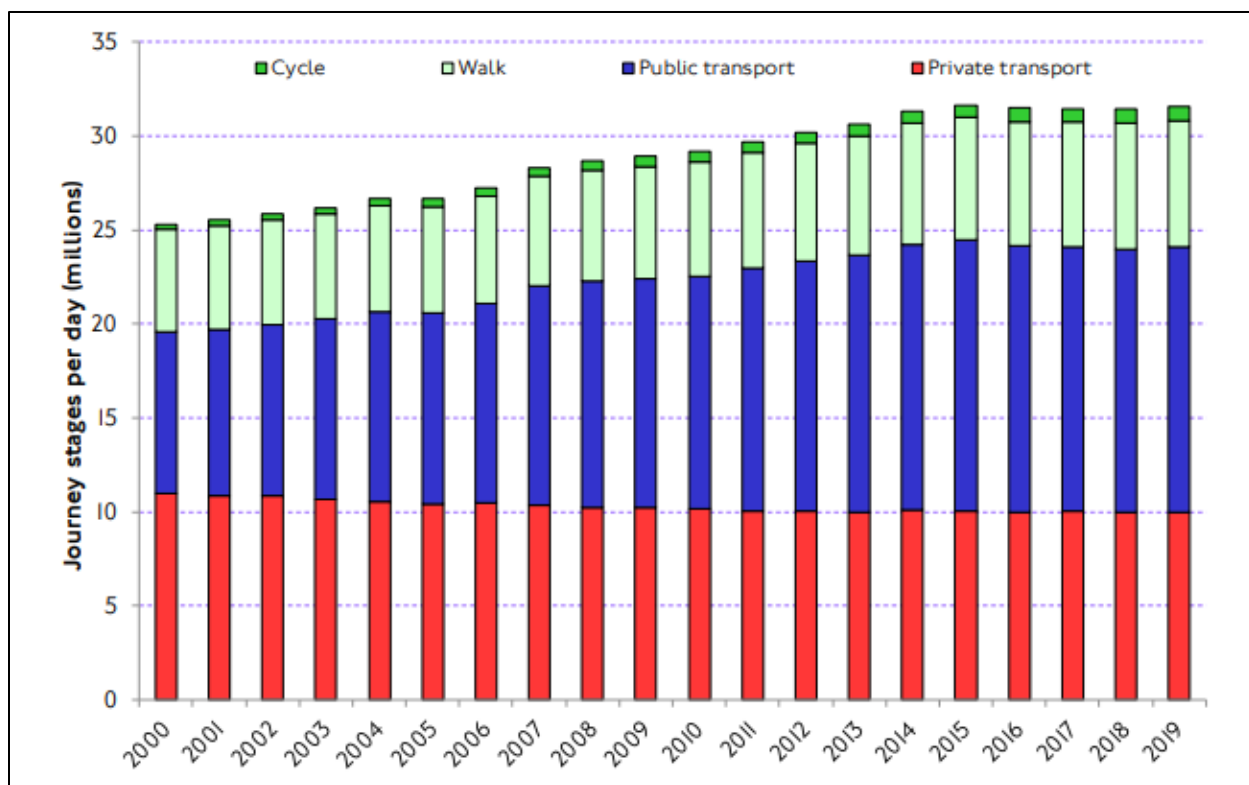
Η πόλη του Λονδίνου, αποτελεί το πολυπληθέστερο κέντρο της Μεγάλης Βρετανίας. Ο πληθυσμός του παρά τις σχετικές μεταβολές στο ρυθμό, μπορεί να χαρακτηριστεί ως αυξανόμενος και μάλιστα στο διάστημα από το 1980 έως το 2011, αυξήθηκε κατά 1,3 εκατομμύρια άτομα. Από το 2011, συνεχίζει να αυξάνεται με χαμηλότερους ρυθμούς αριθμώντας το 2019 τα 8,96 εκατομμύρια άτομα. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η τάση του πληθυσμού του Λονδίνου από το 1990.



Σχήμα 3.1.1. Η τάση του πληθυσμού του Λονδίνου. (πηγή: TfL's Travel in London Report 13).

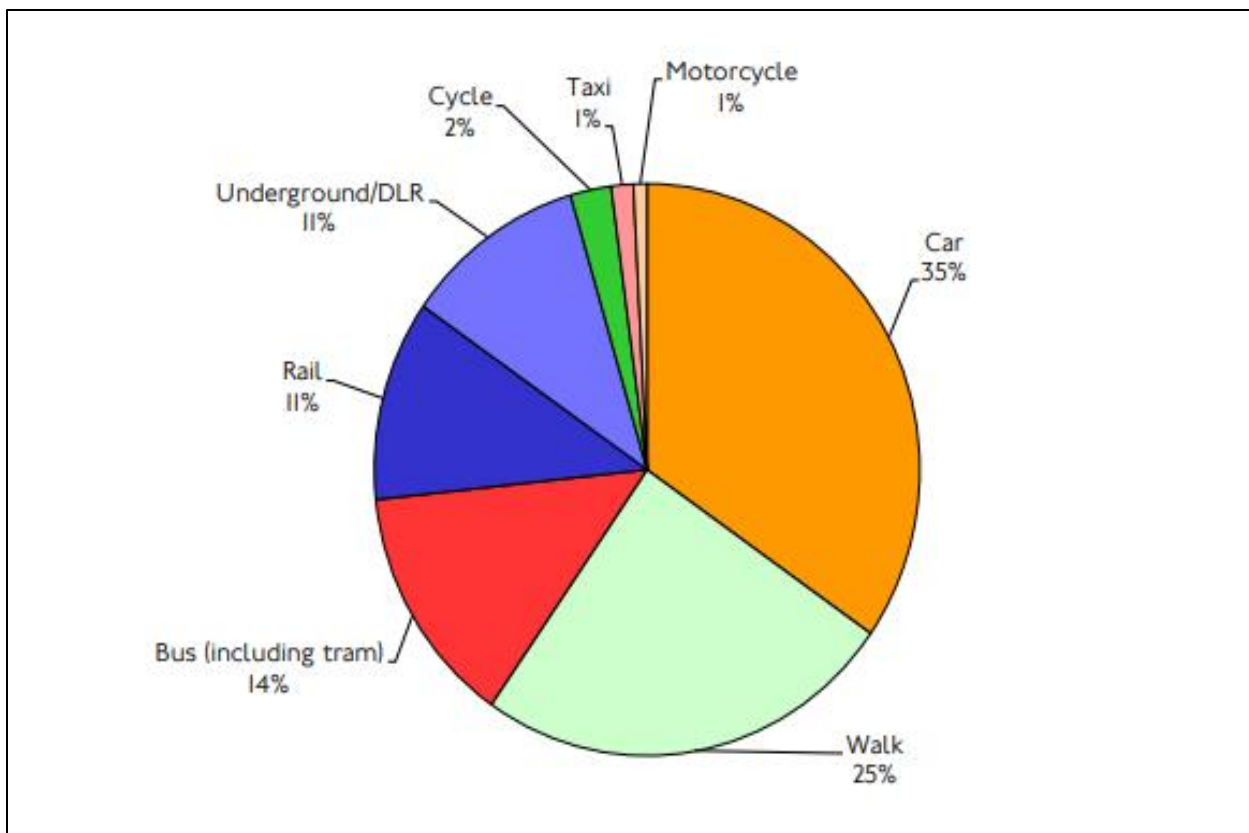
### 3.1.2. Στοιχεία μετακινήσεων του πληθυσμού

Οι καθημερινές μετακινήσεις στην πόλη τείνουν επίσης να εμφανίζουν αυξητικές τάσεις, όπως και ο ίδιος ο πληθυσμός. Σύμφωνα με το Transport for London (TfL), ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων σε ημερήσια βάση το 2019, αυξήθηκε κατά 0,7 τοις εκατό σε σχέση με το 2018. Κατά μέσο όρο μια τυπική ημέρα στην πόλη, το 2019, πραγματοποιούνταν περίπου 27 εκατομμύρια μετακινήσεις. Συνολικά, σε σχέση με το 2000, οι μετακινήσεις στο Λονδίνο έχουν αυξηθεί κατά 19,3 % και συγκεκριμένα οι μετακινήσεις με τα μέσα σταθερής τροχιάς της πόλης κατά 83,6 %. Μάλιστα, το 2019 και συγκεκριμένα για το μετρό, οι μετακινήσεις παρουσίασαν μια αύξηση της τάξης του 2,6 %. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή στη χρήση των ποικίλων μέσων μετακίνησης σε εκατομμύρια ταξίδια, όπως αυτά έχουν προκύψει ως μέσοι όροι της μιας εβδομάδας για το κάθε έτος.



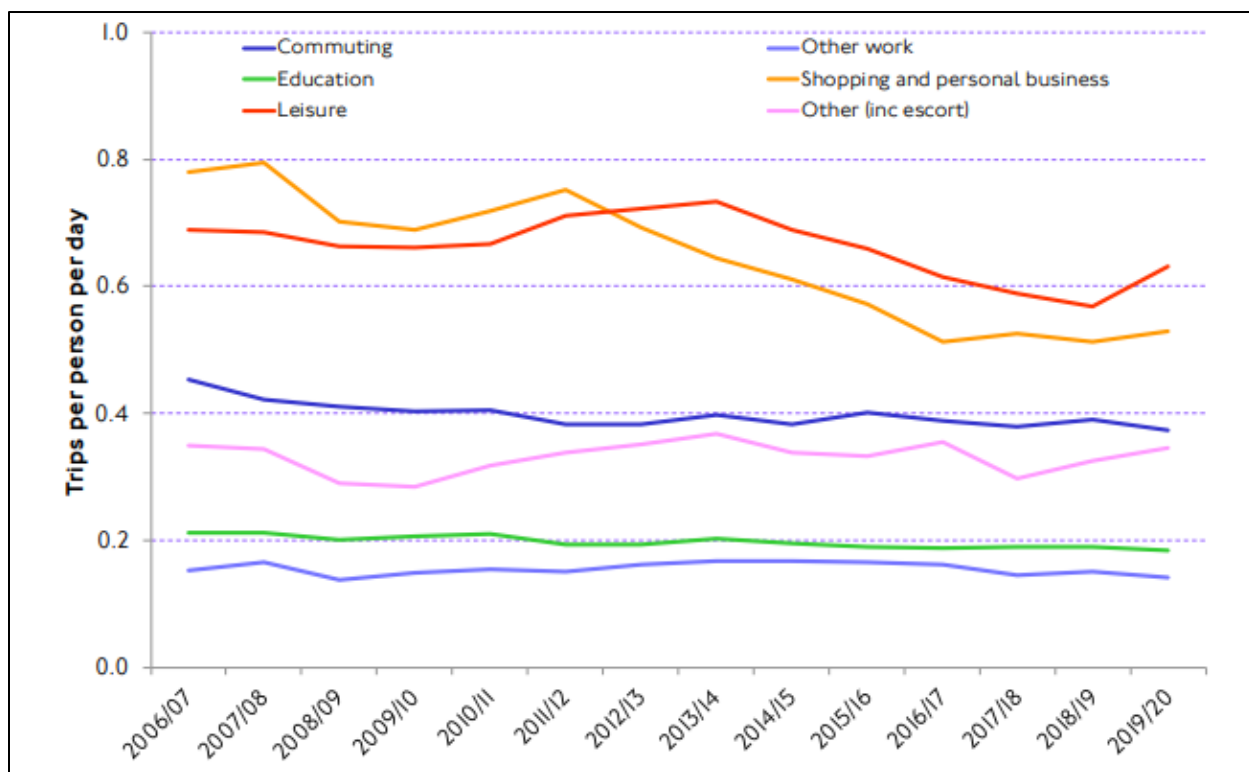
Σχήμα 3.1.2. Μεταβολή της χρήσης των διάφορων μέσων μετακίνησης. (πηγή: TfL's Travel in London Report 13).

Αναφορικά με τις επιλογές του μέσου μετακίνησης από τους πολίτες, τα μέσα μαζικής μεταφοράς αποτελούν πλέον όλο και συχνότερη επιλογή για τους κατοίκους της πόλης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αύξηση στο 35,8 % των μετακινήσεων να πραγματοποιούνται με ΜΜΜ το 2019, έναντι του 26,8 το 2000. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται μια ενδεικτική απεικόνιση της χρήσης κάθε μέσου για μετακίνηση το 2019. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, σημαντικό ρόλο εκτός από τα ΜΜΜ, παίζει και το περπάτημα, για αξιόλογο ποσοστό των μετακινήσεων.



Σχήμα 3.1.3. Ποσοστιαία κατανομή της χρήσης των διάφορων μέσων μετακίνησης. (πηγή: TfL's Travel in London Report 13).

Όσον αφορά το λόγο πραγματοποίησης των μετακινήσεων, αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τα στοιχεία του London Travel Demand Survey (LTDS), ο μέσος όρος των καθημερινών μετακινήσεων που πραγματοποιούν οι κάτοικοι του Λονδίνου για λόγους εργασίας και εκπαίδευσης, τείνει να παραμένει σταθερός για τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια. Ωστόσο, οι μετακινήσεις των ατόμων που σχετίζονται με δραστηριότητες αναψυχής, εμφανίζουν περισσότερο έντονες εποχικές διακυμάνσεις. Οι βασικότερες πτωτικές τάσεις εμφανίστηκαν το 2013 και μετά το 2018. Προς το 2019 και ιδιαίτερα προς το 2020, οι μετακινήσεις για αναψυχή άρχισαν και πάλι να παρουσιάζουν αυξητική πορεία, γεγονός που έχει αποδοθεί σε αυξανόμενη οικονομική ευημερία των κατοίκων. Ποικιλία παρατηρήσεων έχουν πραγματοποιηθεί οι οποίες αποδεικνύουν τις διαχρονικές διαφοροποιήσεις στον αριθμό των μετακινήσεων ανάλογα με την ηλικία αλλά και ανάλογα την εργασιακή κατάσταση των ατόμων, ωστόσο δεν αφορούν άμεσα την παρούσα εργασία και συνεπώς δε θα λάβει χώρα αναφορά τους. Παρατηρώντας το ακόλουθο διάγραμμα, μπορούν εύκολα να παρατηρηθούν τα προαναφερθέντα, ουσιαστικά δηλαδή οι μεταβολές του αριθμού των μετακινήσεων από τους κατοίκους της πόλης, ως συνάρτηση του σκοπού γένεσης της εκάστοτε μετακίνησης



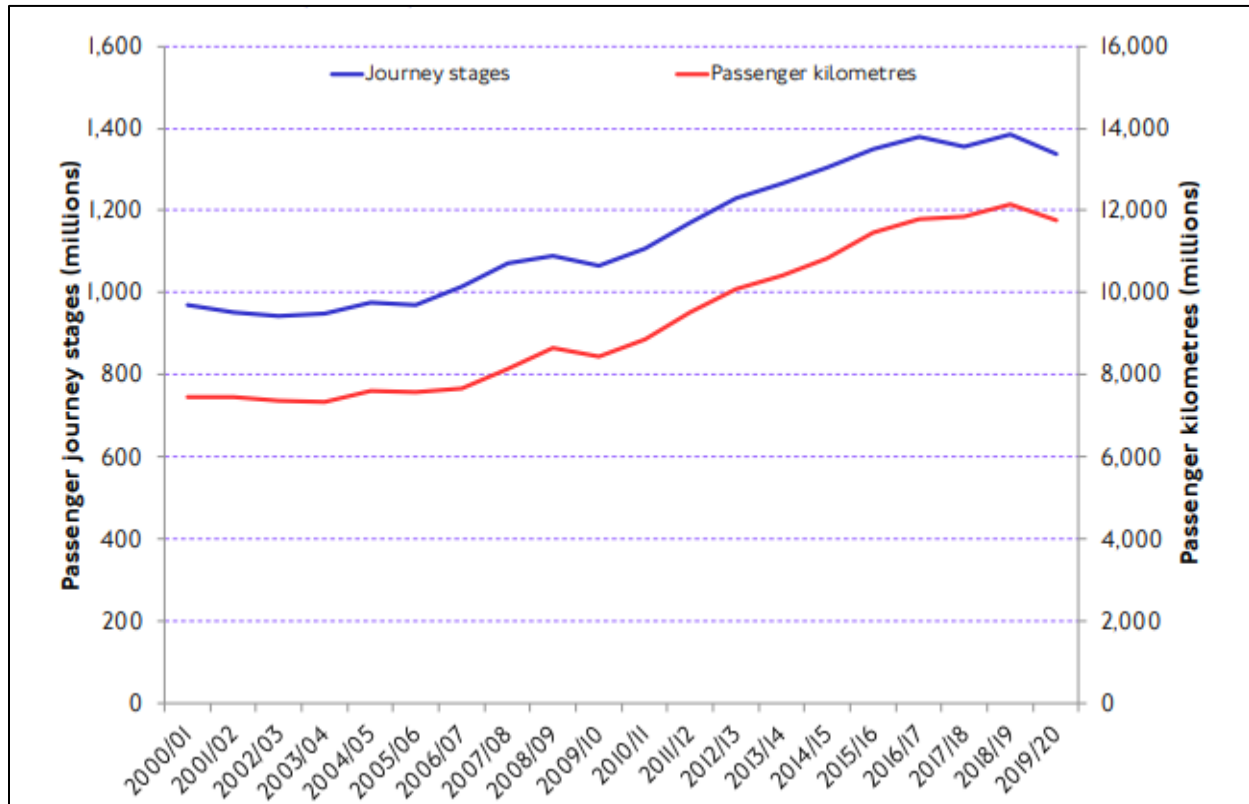
Σχήμα 3.1.4. Μέσος όρος καθημερινών μετακινήσεων ανά σκοπό μετακίνησης (πηγή: TfL's Travel in London Report 13).

### 3.1.3. Το μετρό του Λονδίνου (London Underground)

Η κατασκευή του μετρό της πόλης ξεκίνησε το 1863 με τη δημιουργία του πρώτου υπόγειου σιδηροδρομικού σταθμού στον κόσμο (Metropolitan Railway). Από τότε μέχρι σήμερα, το δίκτυο του έχει επεκταθεί εντυπωσιακά, καλύπτοντας 270 σταθμούς και 11 γραμμές (Bakerloo, Central, Circle, District, Hammersmith & City, Jubilee, Metropolitan, Northern, Piccadilly, Victoria Waterloo & City), με το μεγαλύτερο μέρος αυτού να έχει δημιουργηθεί τα πρώτα πενήντα χρόνια. Στη σημερινή εποχή, με όλες τις νέες επεκτάσεις, καλύπτει σημαντικό μέρος της πόλης αλλά και των προαστείων και έχει συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του Λονδίνου.

Αναφορικά με τη ζήτηση για μετακίνηση, το μετρό του Λονδίνου έχει αποτελέσει σταθερή επιλογή για τους κατοίκους της πόλης, ικανοποιώντας σημαντικό μέρος των μετακινήσεων τους σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα ΜΜΜ. Σε αντίθεση με τα αστικά λεωφορεία, μέχρι τις αρχές του 2000, η επιβατική ζήτηση για το μετρό, διατηρούσε μια σχετικά σταθερή τάση χωρίς έντονες αυξομειώσεις. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις σε αυτό παρατηρήθηκαν κατά τη δεκαετία του 2005 έως 2015. Από το 2015 μέχρι σήμερα η ζήτηση άρχισε να σταθεροποιείται, με αναμενόμενη μείωση κατά την έλευση της πανδημίας στη χώρα. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται τα επιβατοχιλιόμετρα καθώς και οι μετακινήσεις των πολιτών που χρησιμοποιούσαν και χρησιμοποιούν το μετρό της πόλης από το 2000 έως το 2020. Παρατηρώντας με λεπτομέρεια το διάγραμμα, μπορούν εύκολα να εντοπιστούν οι προαναφερθείσες αυξομειώσεις στη ζήτηση, ενώ ταυτόχρονα η πτωτική τάση της ζήτησης στο δεξί τμήμα του, αντικατοπτρίζει την έλευση της

πανδημίας αλλά και έμμεσα τους περιορισμούς που επιβλήθηκαν στην Αγγλική πρωτεύουσα, για τον περιορισμό της διασποράς του ιού.



Σχήμα 3.1.5. Μετακινήσεις και επιβατοχιλιόμετρα για το μετρό του Λονδίνου 2000-2020 (πηγή: TfL's Travel in London Report 13).

Εκτός από το μετρό της πόλης, ποικιλία μέσων μαζικής μεταφοράς λειτουργούν σε αυτή, ικανοποιώντας την υψηλή επιβατική ζήτηση και τη γενικότερη υψηλή ζήτηση για μετακίνηση που παρατηρείται σε μια μεγάλη πόλη όπως το Λονδίνο. Τα δίκτυα αυτά εξυπηρετούν την πόλη στο σύνολο της και είναι τα εξής:

- London Buses
- London Overground
- TfL Rail
- Docklands Light Rail (DLR)
- London Trams
- National Rail
- London River Services

### 3.1.4. Τιμολόγηση της χρήσης ιδιωτικού ΙΧ στον αστικό ιστό του Λονδίνου

Εκτός των παραπάνω παρατηρήσεων, σε αυτή τη φάση, ενδιαφέρον θεωρήθηκε να λάβει χώρα αναφορά του ειδικού μέτρου που παρατηρείται στην πόλη μελέτης και σχετίζεται με την τιμολόγηση της χρήσης των αυτοκινήτων σε συγκεκριμένα τμήματα της πόλης. Το προαναφερθέν μέτρο εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στις 17 Φεβρουαρίου του 2003 και βρίσκεται ακόμα σε ισχύ. Σκοπός της εφαρμογής του ήταν η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στον κεντρικό αστικό ιστό, αλλά και η μείωση της εκπομπής ρύπων. Σύμφωνα με το TfL, το κόμιστρο οφείλει να πληρωθεί από τη συντριπτική πλειοψηφία των ΙΧ και δίκυκλων, σε ελάχιστες ειδικές εξαιρέσεις. Επιπλέον, το κόμιστρο ανέρχεται σε 15 λίρες ανά όχημα ανά ημέρα και βρίσκεται σε ισχύ από τις 7.00 έως τις 18.00 τις καθημερινές, και από τις 12.00 έως τις 18.00 τα Σαββατοκύριακα και τις αργίες. Εξαιρέση τις παραπάνω περιπτώσεις αποτελούν η ημέρες των Χριστουγέννων και της Πρωτοχρονιάς. Η περιοχή επιρροής αφορά στο κεντρικό τμήμα της πόλης, με μικρές διαφοροποιήσεις της έκτασης που καλύπτει ανά τα έτη. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ενδεικτική απεικόνιση της λεγόμενης “Congestion Charge Zone” εντός της οποίας οφείλει να πληρωθεί το προαναφερθέν κόμιστρο, και το εμβαδόν της αφορά στη σημερινή της έκταση επιρροής.



Σχήμα 3.1.6. Η περιοχή κοστολόγησης της χρήσης ΙΧ και δίκυκλων στην πόλη του Λονδίνου (πηγή: TfL).

Πιο αναλυτικά, οι περιοχές που επηρεάζονται από την παραπάνω ζώνη είναι αυτές όπως παρουσιάζονται ακριβώς παρακάτω:

- Barbican
- Bloomsbury
- Borough
- Charing Cross
- City of London
- Clerkenwell
- Covent Garden
- Euston
- Finsbury
- Fitzrovia
- Holborn
- London Bridge
- Mayfair
- Soho
- St James's
- St Pancras
- Waterloo
- Τμήματα των περιοχών: Marylebone, Lambeth, Southwark, Westminster

Όπως προαναφέρθηκε, το συγκεκριμένο μέτρο εφαρμόστηκε για τη μείωση των εκπομπών ρύπων και τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στα κεντρικά πολυσύχναστα τμήματα της πόλης, αλλά και σε γενικότερα πλαίσια για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Εξετάζοντας τις παρατηρήσεις των ερευνών του TfL στα προηγούμενα υποκεφάλαια, αλλά δίνοντας και έμφαση στο Σχήμα 3.1.2. μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό το αποτέλεσμα του μέτρου αυτού. Παρά την αύξηση των συνολικών μετακινήσεων των πολιτών που μπορεί να θεωρηθεί συνάρτηση της οικονομικής κατάστασης και ευημερίας, από τα έτη 2003 και 2004 και έπειτα, παρατηρείται μείωση μικρή σταδιακή μείωση της ποσοστιαίας χρήσης του ΙΧ, αλλά και ταυτόχρονη μικρή σταδιακή αύξηση των μέσων μαζικής μεταφοράς.

### 3.1.5. Η πανδημία του Covid-19 και οι επιπτώσεις της

Οι πρώτες αναφορές για κρούσματα του ιού στη Μεγάλη Βρετανία έλαβαν χώρα στα τέλη του Ιανουαρίου του 2020, ωστόσο οι αρχικές περιπτώσεις γρήγορα ελέγχθηκαν και περιορίστηκαν. Μολονότι οι αντιδράσεις ήταν άμεσες, μέχρι τις αρχές του Μαρτίου του ίδιου έτους, ήταν πλέον ξεκάθαρο ότι η κατάσταση είχε ξεφύγει από τον έλεγχο και η χώρα αντιμετώπιζε ένα ισχυρότατο πανδημικό κύμα. Σε αρχικό στάδιο, στις 16 Μαρτίου, η κυβέρνηση ζήτησε από τους πολίτες να εργάζονται από το σπίτι, ώστε να περιοριστεί η διασπορά του ιού, ενώ στη συνέχεια στις 20 του μήνα ανακοίνωσε ότι θα κλείσουν όλοι οι χώροι αναψυχής λόγω του συνωστισμού. Σε τελικό στάδιο στις 23 Μαρτίου ανακοινώθηκε απαγόρευση κυκλοφορίας. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα

μέτρα αυτά οδήγησαν σε σημαντική μείωση της επιβατικής κίνησης και της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς, καθώς όπως προαναφέρθηκε είχε ζητηθεί από τους πολίτες να αποφεύγουν τη χρήση τους, να περιορίσουν τις εξόδους και την παραμονή εκτός κατοικίας στο ελάχιστο δυνατό, αλλά και να εργάζονται από το σπίτι στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Με την πάροδο του χρόνου, η αυστηρότητα της απαγόρευσης κυκλοφορίας άρχισε να αίρεται με αποτέλεσμα η επιβατική κίνηση να αρχίσει να αυξάνεται, χωρίς ωστόσο να επανέλθει στα επίπεδα προ πανδημίας. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν χαρακτηριστικές ημερομηνίες του 2020 οι οποίες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ζήτησης για μετακίνηση, από τα μέσα μαζικής μεταφοράς του Λονδίνου.

- Στις 10 Μαΐου, εργαζόμενοι με επαγγέλματα που δύσκολα διεκπεραιώνονταν από σπίτι, είχαν πλέον το δικαίωμα να επανέλθουν στους εργασιακούς χώρους.
- Την 1<sup>η</sup> Ιουνίου τα δημοτικά σχολεία άνοιξαν.
- Στις 15 Ιουνίου, αρκετοί λιανοπωλητές μπορούσαν πλέον να ανοίξουν τα καταστήματα τους.
- Στις 4 Ιουλίου άνοιξε η πλειοψηφία των χώρων αναψυχής και καλλωπισμού με εξαίρεση τα νυχτερινά κέντρα διασκέδασης.
- Την 1<sup>η</sup> Αυγούστου, οι εργαζόμενοι μπορούσαν πλέον να επιστρέψουν στο χώρο εργασίας τους, με εφαρμογή μέτρων κοινωνικής αποστασιοποίησης.
- Στις 14 Σεπτεμβρίου, όπου τα κρούσματα άρχισαν να αυξάνονται απότομα, οι συγκεντρώσεις άνω των έξι ατόμων ανακοινώθηκαν ως παράνομες στην Αγγλία.
- Στις 22 Σεπτεμβρίου, προτάθηκε και πάλι στους πολίτες να αρχίσουν να εργάζονται εκ νέου από το σπίτι.
- Με την έξαρση της πανδημίας πλέον να είναι γεγονός τον Οκτώβριο, η δεύτερη καραντίνα στην Αγγλία, ανακοινώθηκε στις αρχές Νοεμβρίου με παρόμοιους περιορισμούς με αυτούς της άνοιξης κατά τη διάρκεια της πρώτης.

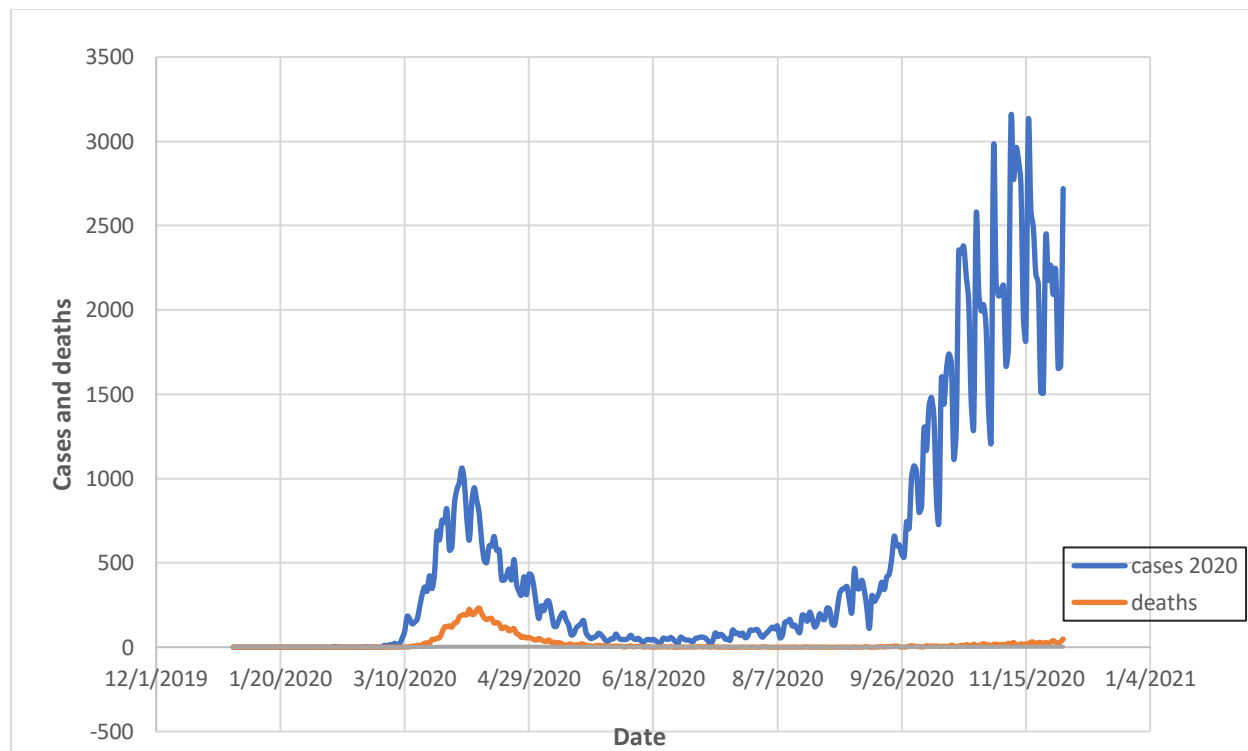
Η έλευση της πανδημίας στη χώρα, εκτός από τα καθημερινά προβλήματα που επέφερε, κυρίως λόγω του κινδύνου για τη δημόσια υγεία αλλά λόγω των περιορισμών που επιβλήθηκαν, είχε εκτός των άλλων και σημαντικές συνέπειες στην οικονομική δυναμική του Λονδίνου αλλά και στην οικονομική ζωή των κατοίκων. Επιπρόσθετα, η επιρροή της νέας πρωτόγνωρης κατάστασης στον καθημερινό τρόπο ζωής όπως έχει αναφερθεί είχε και αντίστοιχο αντίκτυπο στη ζήτηση των κατοίκων της πόλης για μετακίνηση. Οι επιπτώσεις αυτές στις καθημερινές δραστηριότητες των πολιτών και εν συνεχεία στις μετακινήσεις θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Ρυθμιστικοί περιορισμοί στις μετακινήσεις όπως αυτοί επιβλήθηκαν.
- Μεταβολές στα προφίλ μετακίνησης λόγω του οικονομικού αντίκτυπου της πανδημίας.
- Διαφοροποιήσεις στη χωρική κατανομή και τη συχνότητα καθημερινών μετακινήσεων για ικανοποίηση δραστηριοτήτων.
- Προσωπική αντίληψη του κάθε πολίτη για τον κίνδυνο της πανδημίας και την πιθανότητα μετάδοσης του ιού.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, εκτός των βασικών στοιχείων που συγκεντρώθηκαν για την εκπόνηση της διερεύνησης και της ανάλυσης που αυτή εμπεριέχει, αξιοποιήθηκαν στοιχεία κρουσμάτων και θανάτων λόγω της πανδημίας. Τα στοιχεία αυτά αποκτήθηκαν μέσω της ιστοσελίδας της κυβέρνησης του Ηνωμένου Βασιλείου ([England Summary | Coronavirus \(COVID-19\) in the UK \(data.gov.uk\)](#)), η οποία παραθέτει μεγάλη ποικιλία δεδομένων αναφορικά με την πορεία



της πανδημίας στη χώρα, και προσφέρει τα δεδομένα αυτά σε αξιοποιήσιμες μορφές. Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν αφορούν στις ημερήσιες μετρήσεις των κρουσμάτων του Covid-19 αλλά και των αντίστοιχων θανάτων ανά ημέρα εξίσου όπως αυτά μετρήθηκαν στο Λονδίνο κατά τη διάρκεια του 2020 από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου έως της 30 Νοεμβρίου. Τα στοιχεία αυτά αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία κοινού διαγράμματος κρουσμάτων-θανάτων για την προαναφερθείσα χρονοσειρά, όπως θα φανεί αμέσως παρακάτω:



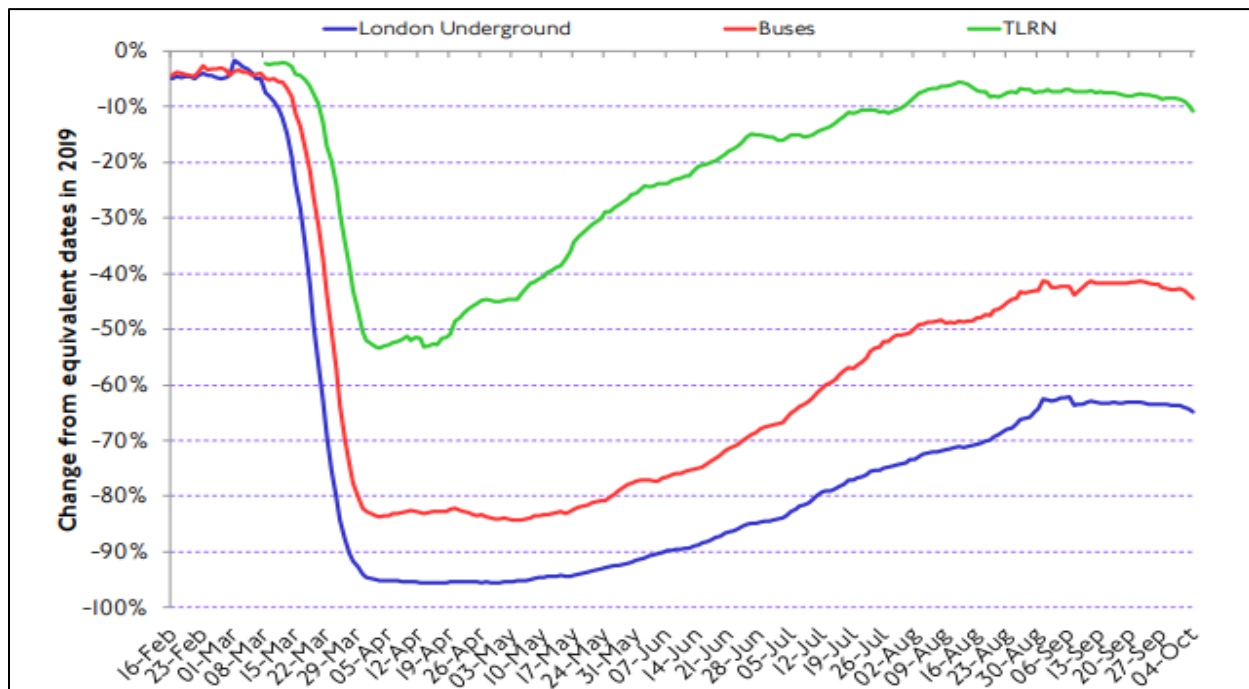
Σχήμα 3.1.7. Ημερήσια στοιχεία κρουσμάτων και θανάτων το 2020 για το Λονδίνο (πηγή δεδομένων: *England Summary | Coronavirus (COVID-19) in the UK (data.gov.uk)*).

Όπως είναι αναμενόμενο και μπορεί να παρατηρηθεί με βάση το παραπάνω διάγραμμα, οι αυξομειώσεις των κρουσμάτων έρχονται σε συμφωνία με τις σημαντικές ημερομηνίες που αναφέρθηκαν ανωτέρω και περιγράφουν τις μεταβολές της αυστηρότητας των μέτρων προστασίας που πήρε η κυβέρνηση σχετικά με την αναχαίτιση της εξάπλωσης του ιού.

### 3.1.6. Η επιρροή της πανδημίας στα MMM του Λονδίνου

Η εμφάνιση της πανδημίας στο Ηνωμένο Βασίλειο και συγκεκριμένα στο Λονδίνο είχε έναν άμεσο και ξαφνικό αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά της καθημερινής μετακίνησης των πολιτών. Η καθημερινή ζήτηση για μετακίνηση βίωσε μείωση όπως ήταν και πλήρως αναμενόμενο, αλλά ταυτόχρονα μεταβλήθηκαν και τα χρονικά πλαίσια και οι προορισμοί των πραγματοποιηθέντων μετακινήσεων. Οι προσωπικές επιλογές των πολιτών αντικατοπτρίστηκαν όχι μόνο στα προφίλ μετακίνησης τους και τις αλλαγές που τις χαρακτήρισαν, αλλά και στις ίδιες τις επιλογές του μέσου με τις οποίες θα πραγματοποιούσαν τις απαραίτητες καθημερινές μετακινήσεις τους. Όπως

προαναφέρθηκε, η άρση αρκετών περιοριστικών μέτρων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2020 είχε ως αποτέλεσμα να επιστρέψουν κάποια χαρακτηριστικά των μετακινήσεων στην αρχική κατάσταση, ωστόσο η επιβατική κίνηση δεν προσέγγισε αυτή που μπορούσε να παρατηρηθεί το 2019. Το παρακάτω διάγραμμα δίνει μια ενδεικτική χαρακτηριστική εικόνα των ποσοστιαίων μεταβολών της χρήσης των ΜΜΜ του Λονδίνου το 2020 σε σχέση με το 2019.



Σχήμα 3.1.8. Ποσοστιαία μεταβολής της χρήσης των ΜΜΜ μεταφοράς του Λονδίνου από το 2019 στο 2020 (πηγή: TfL's Travel in London Report 13).

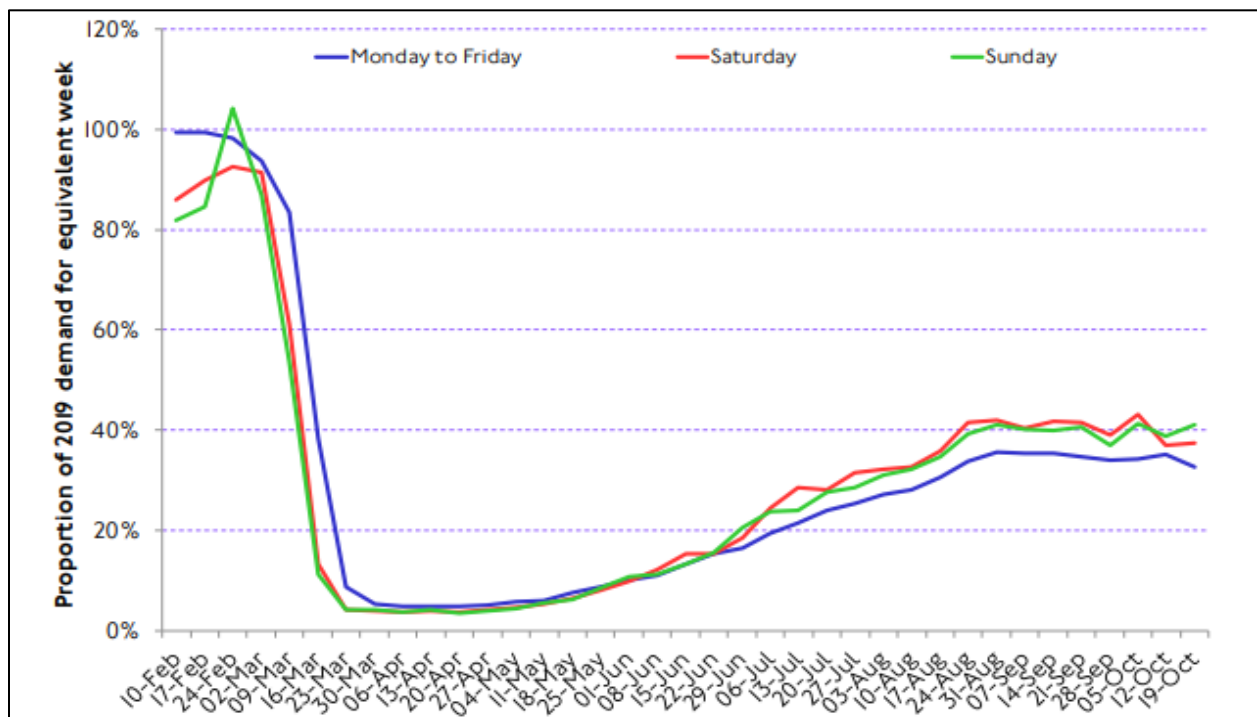
Όπως μπορεί να παρατηρηθεί με βάση το παραπάνω διάγραμμα, εντός του Μαρτίου παρατηρήθηκε εντυπωσιακή μείωση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς μεταξύ των δύο ετών, με χαρακτηριστικό σημείο αναφοράς το γεγονός ότι η χρήση του μετρό της πόλης μειώθηκε κατά 97 %, περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μέσο. Τη μείωση αυτή ακολούθησαν και τα λεωφορεία της πόλης σε μικρότερο ποσοστό της τάξης του 85 %, ενώ τη μικρότερη μείωση της τάξης του 65 %, παρουσίασε ο κυκλοφοριακός φόρτος με βάση το TLRN strategic road network.

Εκτός από τους αυτονόητους παράγοντες μείωσης της ζήτησης για μετακίνηση, όπως τα ίδια τα περιοριστικά μέτρα που επιβλήθηκαν, οι επιμέρους διαφοροποιήσεις της χρήσης του εκάστοτε μεταφορικού μέσου αποδόθηκαν στα ιδιαίτερα τοπικά χαρακτηριστικά και στα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, όπως για παράδειγμα η χρήση των λεωφορείων που είχε τη δυνατότητα να ικανοποιήσει μικρότερες σε απόσταση και διάρκεια μετακινήσεις. Επιπλέον, όσον αφορά τη σύγκριση του Λονδίνου με τις άλλες μεγάλες πόλεις της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής, οι παρατηρήσεις θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι έρχονται σε συμφωνία μεταξύ τους.

Όσον αφορά συγκεκριμένα στο μετρό του Λονδίνου, όπως ήδη αναφέρθηκε, η επιβατική ζήτηση για μετακίνηση μειώθηκε μόλις στο 3 % από το 2019 στο 2020. Με βάση αυτό, στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές παρατηρήσεις αναφορικά με τη γενική επιρροή της πανδημίας στη χρήση του μέσου:

- Τον Φεβρουάριο και τον Μάρτιο του 2020 πριν την επιβολή της απαγόρευσης κυκλοφορίας, η επιβατική ζήτηση ήταν σε αντίστοιχα επίπεδα με αυτά του 2019, εξυπηρετώντας κατά μέσο όρο μια τυπική ημέρα της εβδομάδας περίπου 4 εκατομμύρια μετακινήσεις.
- Το ολικό μέγιστο της χρήσης του μέσου που ήταν μόλις το 3 % του επιπέδου χρήσης του 2019, παρουσιάστηκε τον Απρίλιο.
- Η ανάκαμψη της επιβατικής ζήτησης για το μετρό άρχισε να εμφανίζεται κατά τις αρχές του Μαΐου, ωστόσο η τάση επαναφοράς ήταν ιδιαίτερα αργή.
- Μέχρι τον Αύγουστο του ίδιου έτος, η τάση επανάκαμψης είχε σταθεροποιηθεί, ωστόσο αποτελούσε μόλις το 35 % της αντίστοιχης ζήτησης του 2019, με άλλα λόγια κατά μέσο όρο μόλις 1,4 εκατομμύρια μετακινήσεις ανά ημέρα.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η πορεία της επιβατικής ζήτησης για το μετρό ανάλογα την ημέρα, ουσιαστικά με διαφοροποίηση σε καθημερινές, Σάββατα και Κυριακές:



Σχήμα 3.1.9. Ποσοστά ως προς το 2019 επιβατικής ζήτησης για το μετρό του Λονδίνου (πηγή: TfL's Travel in London Report 13).

Με βάση τα παραπάνω, σύμφωνα με το TfL, μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί ότι η απότομη μείωση της ζήτησης του Απριλίου είναι κοινή για όλες τις ημέρες, ενώ αντιθέτως η τάση επαναφοράς προέκυψε ως ελαφρώς ταχύτερη για τα σαββατοκύριακα. Επιπλέον, αναφορικά με τις αιχμές κατά τη διάρκεια της ημέρας, προέκυψε επίσης αντίστοιχη σημαντική μείωση, παρόλα αυτά όμως, η πρωινή και η απογευματινή αιχμή διατήρησαν τα χρονικά πλαίσια στα οποία εμφανίζονταν. Επιπρόσθετα, αναφορικά με τη χωρική διασπορά των μεταβολών, προέκυψε ότι στις κεντρικές εμπορικές περιοχές του Λονδίνου, ειδικά κατά τη διάρκεια του αυστηρότερου

τμήματος της απαγόρευσης κυκλοφορίας, η ζήτηση για μετακίνηση μειώθηκε ακόμα περισσότερο, σε σχέση με πιο απομακρυσμένες ή προστασιακές περιοχές. Οι διαφοροποιήσεις αυτές θεωρήθηκαν πιθανή συνάρτηση των χαρακτηριστικών του πληθυσμού αλλά και της οικονομικής δραστηριότητας της κάθε περιοχής. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι και οι υπηρεσίες του μετρό του Λονδίνου ακολούθησαν αντίστοιχα προφίλ διαφοροποιήσεων όπως και η επιβατική κίνηση. Εκτός από τα βασικά μέτρα προστασίας όπως η αποστασιοποίηση και η υποχρεωτική χρήση μάσκας, στο μετρό του Λονδίνου εφαρμόστηκαν και τα ακόλουθα ειδικά μέτρα:

- Κλείσιμο συγκεκριμένων σταθμών που δεν εξυπηρετούσαν κάποια ανταπόκριση ή κάποιες εισόδους σταθμών, ειδικά στις αρχικές φάσεις των μέτρων.
- Προσωρινή άρση πραγματοποίησης των βραδινών δρομολογίων.
- Ειδική σήμανση υπενθύμισης της τήρησης των αποστάσεων.
- Δυνατότητα πληρωμής στα μηχανήματα μόνο με κάρτα.

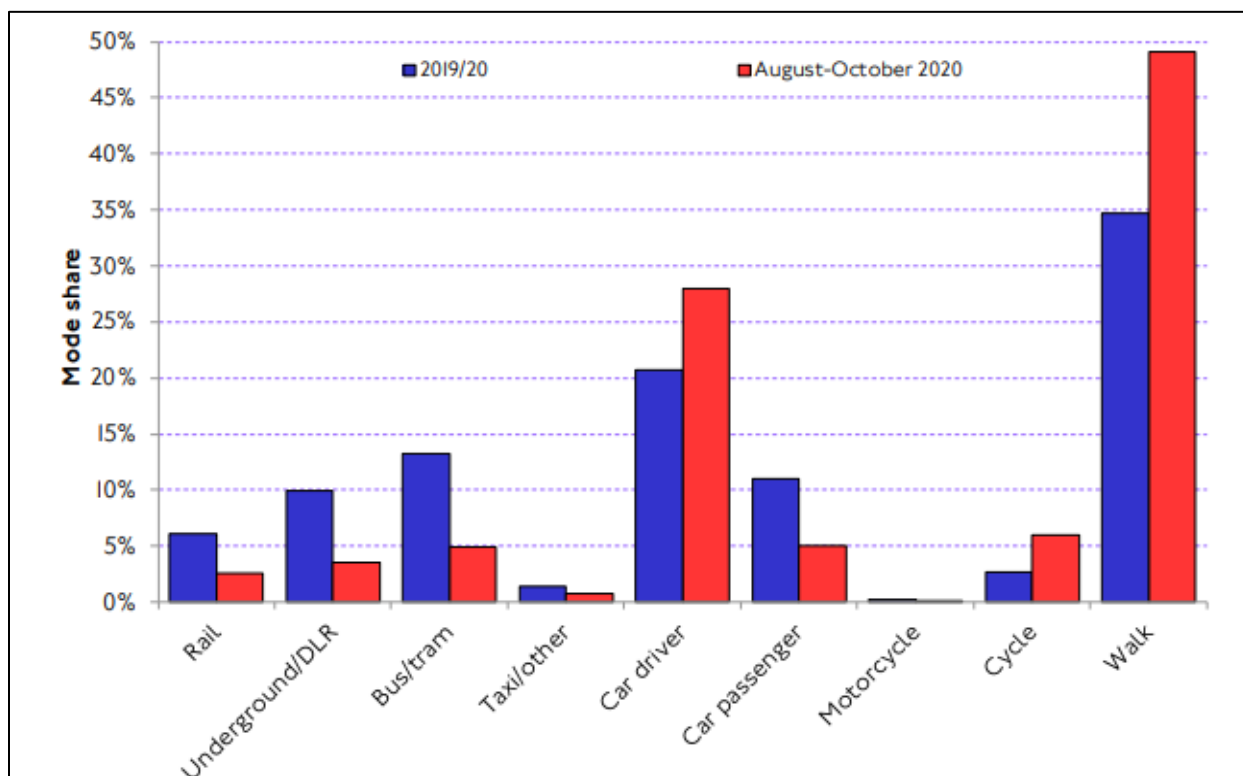
### 3.1.7. Συσχέτιση της πανδημίας με τη συμπεριφορά των πολιτών στις μετακινήσεις με βάση το TfL

Η επιρροή της έλευσης της πανδημίας επηρέασε σε σημαντικό βαθμό το κοινωνικό σύνολο και ιδιαίτερα τις επιλογές και τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης του κάθε ανθρώπου σε ατομικό επίπεδο. Τα περιοριστικά μέτρα αλλά και η γενικότερη πρωτόγνωρη κατάσταση οδήγησαν σε μεταβολές στις επιλογές των καθημερινών δραστηριοτήτων που επέλεγαν να πραγματοποιήσουν οι κάτοικοι του Λονδίνου. Στα πρώτα στάδια της πανδημίας, και ειδικότερα κατά την περίοδο Μαΐου και Ιουνίου του 2020, οι κύριες αιτίες για μετακίνηση αφορούσαν στην ικανοποίηση των επιτρεπόμενων δραστηριοτήτων, όπως η μετακίνηση προς χώρο εκπαίδευσης και εργασίας αλλά και η αναψυχή. Με την πάροδο του χρόνου και κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου, οι πολίτες άρχισαν να μετακινούνται περισσότερο καθαρά για λόγους αναψυχής, ενώ οι μετακινήσεις για επαγγελματικούς σκοπούς παρέμειναν σε συγκριτικά σταθερά επίπεδα.

Η αντίληψη των πολιτών σχετικά με την πανδημία και τους τρόπους προστασίας από αυτή έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών ερευνών. Με βάση αυτές το TfL κατέληξε ότι η άποψη των πολιτών σχετικά με τον κίνδυνο έκθεσης στον ιό κατά την πραγματοποίηση δραστηριοτήτων, διαφέρει σημαντικά ανάλογα το είδος της δραστηριότητας. Με βάση τις απαντήσεις των πολιτών για μια ποικιλία δραστηριοτήτων, η πιο ασφαλής δραστηριότητα προέκυψε να είναι αυτή της εκπαίδευσης. Απεναντίας, το μεγαλύτερο ρίσκο έκθεσης στον ιό θεωρήθηκε ότι υπάρχει κατά τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς της πόλης, ακόμη περισσότερο και από την επίσκεψη σε ένα συνωστισμένο νυχτερινό κέντρο διασκέδαση όπου δεν τηρείται η κοινωνική αποστασιοποίηση ή η χρήση μάσκας. Σε σχέση με τα διάφορα μέσα μαζικής μεταφοράς, οι πολίτες χαρακτήρισαν τα λεωφορεία ως αυτά στα οποία είναι το δυσκολότερο να τηρηθούν τα μέτρα ατομικής προστασίας.

Εκτός όλων των παραπάνω παρατηρήσεων, κατά τη διάρκεια της πανδημίας, σε αντίθεση με τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, μετακινήσεις με τα πόδια ή το ποδήλατο άρχισαν να αυξάνονται. Με βάση αυτό, το 52 % των ερωτηθέντων που συμμετείχαν στην ετήσια έρευνα του TfL, τόνισε ότι με την έλευση της πανδημίας στην πόλη, άρχισε να χρησιμοποιεί το ποδήλατο για να πραγματοποιήσει σημαντικό μέρος των καθημερινών μετακινήσεων και να αποφεύγει άλλα μέσα μεταφοράς, και ιδίως τα ΜΜΜ. Επιπλέον το 74 % θεώρησε πολύ πιο ασφαλή τη χρήση ποδηλάτου και χαμηλότερο κίνδυνο μόλυνσης σε σχέση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Ακόμα και όταν κάποια από τα περιοριστικά μέτρα κατά τη διάρκεια της πανδημίας άρχισαν να αίρονται, οι συνολικές μετακινήσεις στον αστικό ιστό του Λονδίνου έφτασαν μόλις στο 74 τοις εκατό της

αρχικής κατάστασης πριν τη σημαντική αύξηση των κρουσμάτων. Ωστόσο, τα MMM χαρακτηρίζονταν από μειωμένη επιβατική ζήτηση σε ποσοστό 60 %, σε σχέση με το ιδιωτικό αυτοκίνητο που η μείωση ήταν της τάξης του 10 %. Το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει τα μέσα μετακίνησης που χρησιμοποιούσαν οι κάτοικοι του Λονδίνου για το έτος 2020 σε ποσοστιαία μορφή σε σύγκριση με το 2019 και τις αρχές του 2020 πριν την επιβολή της απαγόρευσης κυκλοφορίας:



Σχήμα 3.1.10. Ποσοστά χρήσης του εκάστοτε τρόπου μετακίνησης στο Λονδίνο πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας (πηγή: TfL’s Travel in London Report 13).

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να αποτυπωθούν οι προαναφερθείσες παρατηρήσεις που προέκυψαν από τις αντίστοιχες μελέτες που αξιοποίησε το TfL, με βάση τις οποίες το ποδήλατο, το περπάτημα και το αυτοκίνητο άρχισαν να παίζουν πρωταρχικό ρόλο στις επιλογές μετακίνησης των πολιτών, και τα μέσα μαζικής μεταφοράς της πόλης να είναι αυτά που επλήγησαν περισσότερο, συμπεριλαμβανομένου και του μετρό.

### 3.2. Δεδομένα και προεπεξεργασίες

Για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας και την εφαρμογή των διαδικασιών της ανάλυσης όπως αυτές θα παρουσιαστούν αναλυτικά σε επόμενα κεφάλαια, κρίθηκε η απαραίτητη η απόκτηση δεδομένων επιβατικής κίνησης για τα μέσα μαζικής μεταφοράς του Λονδίνου, και συγκεκριμένα του μετρό της πόλης.

Το TfL, σε ετήσια βάση δημοσιοποιεί αλλά και εκδίδει αξιόλογο αριθμό δεδομένων και πληροφοριών που σχετίζονται με τη λειτουργία των μέσων μαζικής μεταφοράς της πόλης. Τα στοιχεία αυτά αφορούν σε στατιστικά δεδομένα, διαγράμματα αλλά και πολυσέλιδες αναφορές. Επιπλέον, μέσω ειδικής πλατφόρμας της ιστοσελίδας της εταιρείας, δίνεται η ευκαιρία σε ερευνητές αλλά και γενικά στους πολίτες να ζητήσουν σημαντικό αριθμό δεδομένων για εκπόνηση εργασιών και άλλους λόγους κατόπιν αιτήματος. Για την παρούσα εργασία, χρήσιμη θεωρήθηκε η απόκτηση δεδομένων ζήτησης, ήτοι επιβατικής κίνησης για κάθε ημέρα του 2019 και του 2020, με ελάχιστη αποδεκτή χρονοσειρά αυτή των δέκα μηνών. Τα δεδομένα όφειλαν να αφορούν σε μετρήσεις τόσο εισόδων όσο και εξόδων από τους σταθμούς του μεταφορικού συστήματος. Για το 2020, τα προαναφερθέντα δεδομένα είχαν ήδη ζητηθεί στα πλαίσια άλλης διερεύνησης, οπότε ήταν ήδη διαθέσιμα και συνεπώς κατατέθηκε αίτημα για τα αντίστοιχα δεδομένα του 2019. Με πλέον αποκτηθέντα τα στοιχεία και για τις δύο χρονολογίες, ξεκίνησαν οι διαδικασίες προεπεξεργασίας αυτών, ώστε να μετατραπούν σε αξιοποιήσιμη μορφή με βάση τις απαιτήσεις των αναλύσεων.

Έπειτα από το διαχωρισμό των δεδομένων σε στήλες, απαιτήθηκε η αφαίρεση όλων των σταθμών και από τα δύο φύλλα υπολογισμού που αφορούσαν σταθμούς που δεν ανήκαν στο δίκτυο του μετρό του Λονδίνου. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από την παραπάνω εικόνα, δίπλα από το όνομα του σταθμού, δίνεται και το είδος του μέσου μαζικής μεταφοράς το οποίο αφορά. Με βάση αυτή την πρώτη επεξεργασία προέκυψαν 627 σταθμοί. Με βάση το TfL, το μετρό του Λονδίνου εξυπηρετεί 270 σταθμούς. Η μεγάλη αυτή διαφορά προέκυψε από το γεγονός ότι και στις δύο ημερομηνίες, σε μεγάλο αριθμό σταθμών δε δινόταν πληροφορία σχετικά με το μεταφορικά σύστημα που ανήκε ο καθένας. Εν συνεχεία, με χρήση των εργαλείων του προγράμματος, αφαιρέθηκαν οι σταθμοί που δεν ανήκουν στο μετρό. Καθόσον οι μετρήσεις επιβατικής κίνησης που προσφέρει η εταιρεία, προέρχονται από μηχανήματα επικύρωσης καρτών κατά την είσοδο και την έξοδο από κάθε σταθμό, από την αντίστοιχη στήλη αφαιρέθηκαν οι μετρήσεις PVals και IVals. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις αποτελούν στοιχεία επιβατικής κίνησης από απομακρυσμένους και μη πολυσύχναστους σταθμούς στους οποίους δεν έχουν τοποθετηθεί τα σύγχρονα μηχανήματα, και φέρουν μεγάλη αβεβαιότητα, οπότε διατηρήθηκαν τα στοιχεία εισόδων και εξόδων.

Καθώς η ανάλυση που θα λάβει χώρα αποφασίστηκε να βασιστεί σε χρονοσειρά μετρήσεων επιβατικής κίνησης ανά ημέρα και για τα δύο έτη, επόμενη απαραίτητη επεξεργασία ήταν η δημιουργία της. Έπειτα από έλεγχο των ημερών που έχουν δοθεί ανά σταθμό για το 2019 και το 2020 παρατηρήθηκε ότι μια αποδεκτή χρονοσειρά θα ήταν αυτή των 335 ημερών με έναρξη την πρώτη Ιανουαρίου του εκάστοτε έτους και πέρας τις 30 Νοεμβρίου. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο γεγονός ότι το έτος 2020 είναι δίσεκτο, ώστε οι ημερομηνίες να είναι κοινές και για τα δύο έτη. Ο Δεκέμβριος του εκάστοτε έτους αφαιρέθηκε διότι από τα δεδομένα του 2020 έλειπε σημαντικός αριθμός ημερών. Για την ορθή αντιστοίχιση των δύο χρονοσειρών ανά ημέρα μια προς μία επιλέχθηκε να τοποθετηθεί νέα στήλη δίπλα από την κάθε ημερομηνία που να δείχνει την ημέρα στην οποία αντιστοιχεί. Με βάση αυτό, θεωρήθηκε λογική η αντιστοίχιση να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε οι δύο χρονοσειρές να εκκινούν και να τελειώνουν ακριβώς την ίδια ημέρα, και όχι την ίδια ημερομηνία, καθώς έτσι καθίστατο δυνατή η σύγκριση μεταξύ των δύο ετών. Επιπλέον, η

σύγκριση θα ήταν εξίσου ορθότερη υπό την έννοια ότι η επιβατική κίνηση, όπως έχει αποδείξει και το ίδιο το TfL, μεταβάλλεται σημαντικά μεταξύ των ημερών της εβδομάδας. Με άλλα λόγια η αντιστοίχιση μίας καθημερινής με ένα Σάββατο για παράδειγμα, ακόμα και αν αποτελούσαν την ίδια ημερομηνία των ίδιο μήνα, δε θα είχε κανένα νόημα, εφόσον η διαφοροποίηση της ζήτησης μεταξύ 2019 και 2020 δε θα ήταν μόνο αποτέλεσμα την πανδημίας, αλλά και της ίδιας της δυναμικής της ημέρας. Στις δύο παρακάτω εικόνες, παρουσιάζεται ενδεικτικά η μορφή των βάσεων δεδομένων για τα δύο έτη, μετά τις παραπάνω επεξεργασίες:

STATION NAME	STATION ID	DAY 2019	DATE 2019	ID 2019	TYPE	NUMBER
Acton Town	500	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	6692
Aldgate	502	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	11538
Alperton	505	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	3182
Amersham	506	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	2676
Angel	507	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	18032
Archway	508	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	10030
Amos Grove	509	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	5849
Baker Street	511	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	33911
Balham LU	512	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	14737
Bank	513	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	55641
Barking	514	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	21721
Barkingside	515	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	1958
Barons Court	516	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	7608
Becontree	518	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	4389
Belsize Park	519	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	6753
Bethnal Green LU	520	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	16947
Blackfriars LU	521	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	12283
Bond Street	524	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	55534
Boston Manor	526	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	2330
Brent Cross	529	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	2943
Brixton LU	778	Τετάρτη	2/1/2019	1	Entry	36038

Σχήμα 3.2.1. Ενδεικτική απεικόνιση της βάσης δεδομένων για 2019.

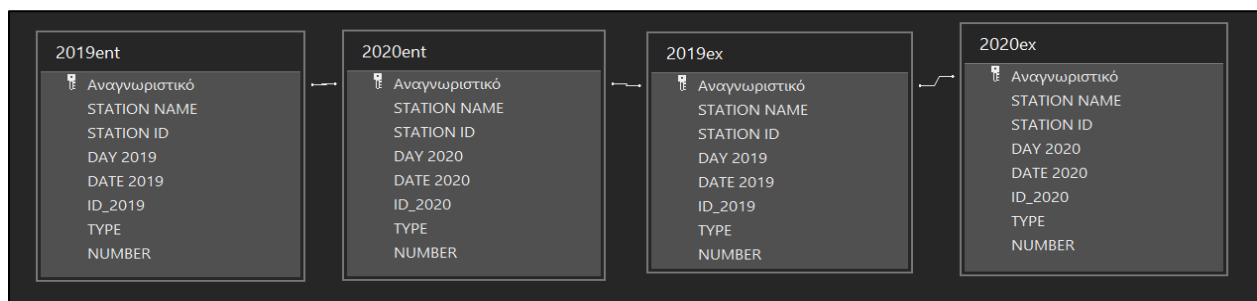
STATION NAME	STATION ID	DAY 2020	DATE 2020	ID 2020	TYPE	NUMBER
Acton Town	500	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	3470
Aldgate	502	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	3143
Alperton	505	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	1596
Amersham	506	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	886
Angel	507	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	8120
Archway	508	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	4806
Amos Grove	509	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	3265
Baker Street	511	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	16643
Balham LU	512	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	5679
Bank	513	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	10541
Barking	514	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	9120
Barkingside	515	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	652
Barons Court	516	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	2921
Becontree	518	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	1662
Belsize Park	519	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	2953
Bethnal Green LU	520	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	10012
Blackfriars LU	521	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	4510
Bond Street	524	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	28059
Boston Manor	526	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	1197
Brent Cross	529	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	1511
Brixton LU	778	Τετάρτη	1/1/2020	1	Entry	18338

Σχήμα 3.2.2. Ενδεικτική απεικόνιση της βάσης δεδομένων για 2020.

Στις παραπάνω απεικονίσεις όπως μπορεί να παρατηρηθεί έχει επισημανθεί η κοινή αφετηρία των δύο χρονοσειρών σε συνάρτηση με την ημέρα ενώ επιπλέον έχει τοποθετηθεί και ειδική στήλη με μοναδικό αναγνωριστικό ανά ημερομηνία όμοιο και για τις δύο βάσεις ώστε να μπορεί να γίνει ταχύτερα η αντιστοίχιση.

Επόμενη διαδικασία αποτέλεσε η διάσπαση των δύο επιμέρους βάσεων για τις δύο χρονολογίες με βάση τις εισόδους και τις εξόδους. Ουσιαστικά τόσο για το 2019, όσο και για το 2020 δημιουργήθηκαν δύο πίνακες αντίστοιχα, με τις μετρήσεις επιβατικής κίνησης ξεχωριστά για τις εισόδους και τις εξόδους ανά σταθμό, ώστε μετέπειτα να εφαρμοστεί και ξεχωριστή ανάλυση των δεδομένων. Ωστόσο με λεπτομερή παρατήρηση όλων των στοιχείων, και μολονότι είχε πραγματοποιηθεί επιλογή μόνο των σταθμών του μετρό, εντοπίστηκε ότι δεν έχουν δοθεί ακριβώς

οι ίδιοι σταθμοί για το 2019 και το 2020, αλλά και ούτε μεταξύ των βάσεων των εισόδων και των εξόδων. Λόγω του τεράστιου όγκου των δεδομένων και του μεγέθους των βάσεων, επιλέχθηκε να ακολουθηθεί επεξεργασία σε λογισμικό βάσεων δεδομένων, το Microsoft Access. Με βάση τις απαιτήσεις του προγράμματος, αξιοποιήθηκε η γλώσσα ερωτήσεων-απαντήσεων SQL λόγω της ευκολίας χρήσης της και της ταχύτητας της στην προσπέλαση των δεδομένων. Εφαρμόζοντας προγραμματιστικές εντολές και δημιουργώντας ερωτήματα στη συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού, κατέστη δυνατό να εντοπιστούν και να επιλεγθούν οι κοινόι σταθμοί μεταξύ των ημερομηνιών αλλά και μεταξύ των εισόδων και των εξόδων ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα οι τέσσερις βάσεις δεδομένων να περιέχουν κοινές χρονοσειρές, για τους ακριβώς ίδιους σταθμούς. Το μοναδικό ID που είχε τοποθετηθεί σε νέα στήλη και στους τέσσερις πίνακες, με την υποχρέωση να είναι κοινό για όλους, αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμο, για τη δημιουργία σχέσεων μεταξύ των πινάκων, αλλά και την εφαρμογή της γλώσσας. Στην εικόνα παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των βάσεων:



Σχήμα 3.2.3. Σχισιακή απεικόνιση των βάσεων δεδομένων.

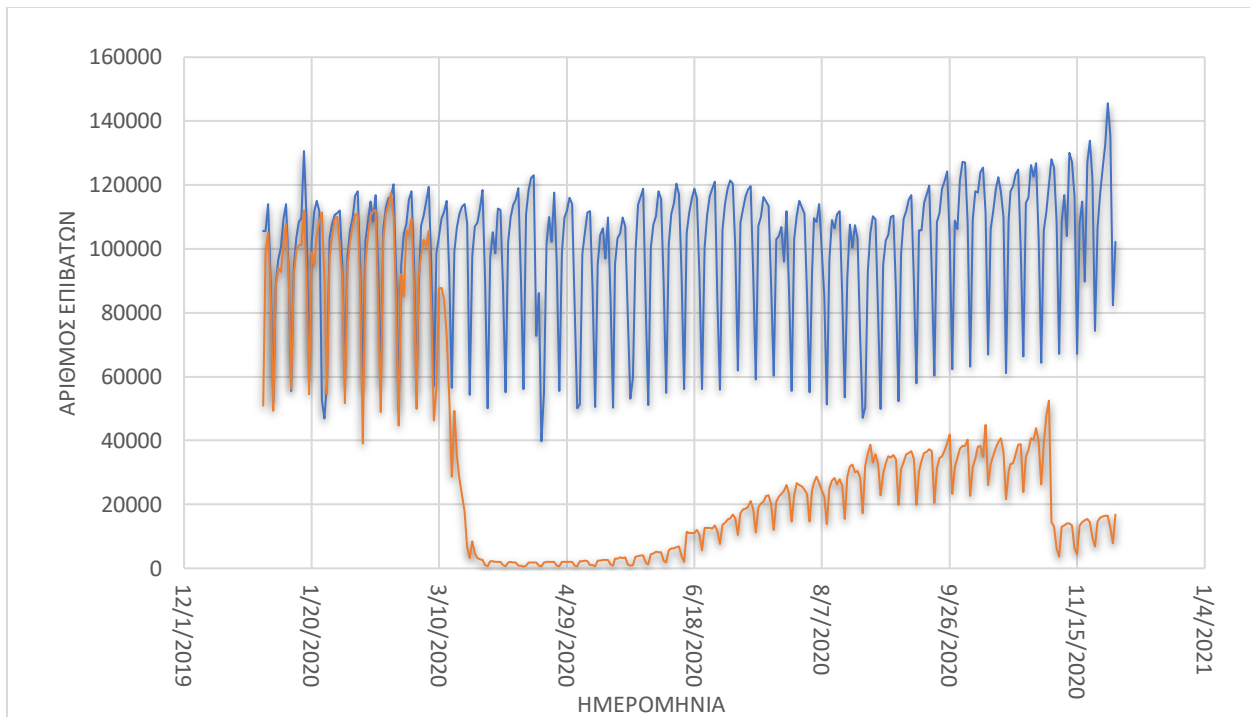
Σε επόμενο στάδιο και με πλέον κοινό αριθμό σταθμών και για τους τέσσερις πίνακες, έλαβε χώρα έλεγχος των χρονοσειρών που αντιστοιχεί ανά σταθμό και για τις δύο χρονολογίες τόσο για τις εισόδους όσο και για τις εξόδους. Παρατηρήθηκε δε, ότι σε μερικές περιπτώσεις σταθμών, δεν έχει δοθεί πλήρης χρονοσειρά για τις 335 μέρες που αποφασίστηκε να λάβει χώρα η ανάλυση. Αιτία για την αστοχία αυτή, ενδέχεται να είναι το γεγονός ότι κάποιοι σταθμοί, όπως ανέφερε το TfL, ενδέχεται να παρέμειναν κλειστοί για κάποιες μέρες, ειδικότερα στην αρχή της πρώτης απαγόρευσης κυκλοφορίας που επιβλήθηκε στην Αγγλία κατά τον Απρίλιο του 2020. Επιπλέον, λόγω του μεγάλου αριθμού στοιχείων που δόθηκαν, κάποιες ημέρες ενδέχεται να μην συμπεριλήφθηκαν λόγω κεκτημένης ταχύτητας. Ωστόσο, με δεδομένες τις απαιτήσεις της ανάλυσης, οι σταθμοί με απώλειες άνω του 10 % της χρονοσειράς, ήτοι να εμφανίζονται σε τουλάχιστον 300 ημέρες αυτής αφαιρέθηκαν, ώστε να επιτευχθεί εν συνεχεία η εφαρμογή των μεθόδων ανάλυσης χωρίς μεγάλες αποκλίσεις στον αριθμό των υποψήφιων μεταβλητών. Με χρήση εργαλείων του Excel απομονώθηκαν τελικά οι σταθμοί και για τις τέσσερις βάσεις δεδομένων, με αποτέλεσμα οι τελικές βάσεις να αποτελούνται από ακριβώς 226 σταθμούς, έναντι των 270 που εξυπηρετεί το δίκτυο του μετρό. Με χρήση και πάλι της Microsoft Access και με εφαρμογή ερωτημάτων SQL, ελέγχθηκαν οι τελικοί σταθμοί ως προς τη συχνότητα εμφάνισης τους στην απαιτούμενη χρονοσειρά (frequencies). Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, αποδείχθηκε ότι κανένας σταθμός σε καμία από τις τέσσερις βάσεις δεν εμφανίζεται λιγότερες από 300 ημέρες από τις 335 συνολικά. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικό απόσπασμα του πίνακα των συχνοτήτων, όπως αυτός προέκυψε:



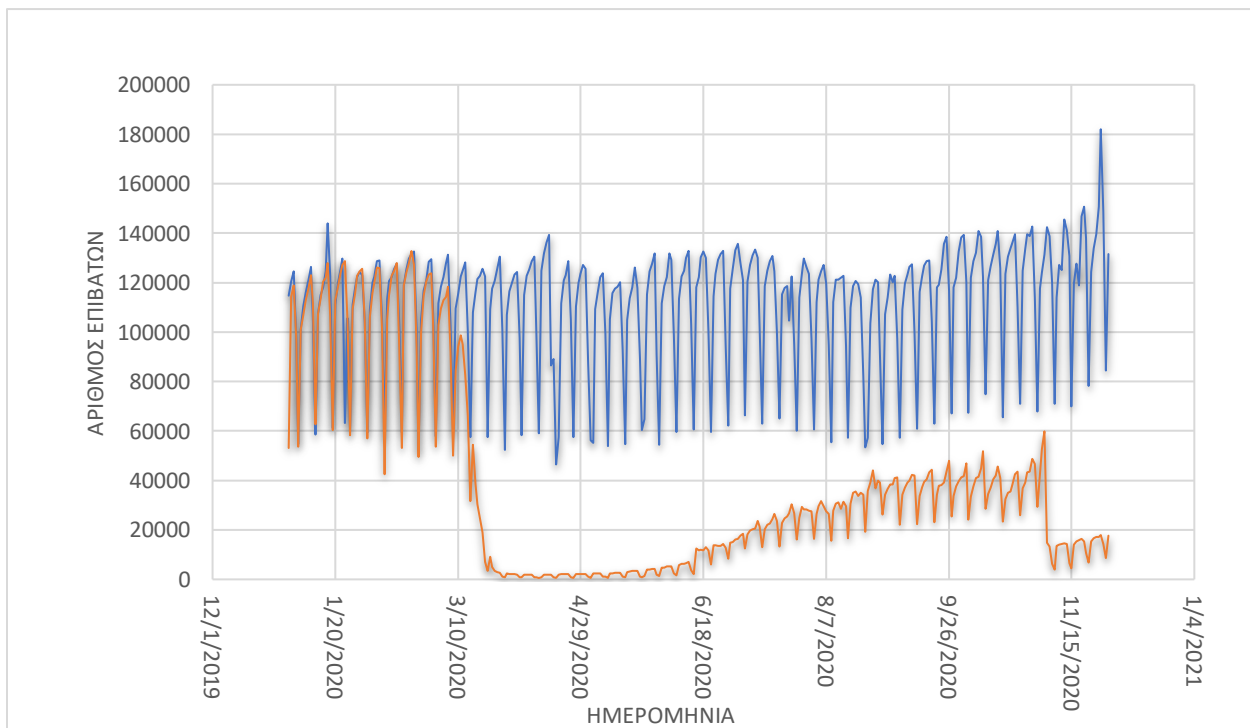
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΙ 2019)	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ΕΞΟΔΟΙ 2019)	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ
335	Acton Town	333	Acton Town
323	Aldgate	329	Aldgate
331	Alperton	332	Alperton
335	Amersham	335	Amersham
335	Angel	335	Angel
335	Archway	335	Archway
335	Arnos Grove	335	Arnos Grove
335	Baker Street	335	Baker Street
335	Balham LU	335	Balham LU
335	Bank	335	Bank
335	Barking	335	Barking
333	Barkingside	334	Barkingside
335	Barons Court	335	Barons Court
335	Becontree	335	Becontree
335	Belsize Park	335	Belsize Park
335	Bethnal Green LU	335	Bethnal Green LU

*Πίνακας 3.2.1. Ενδεικτική συχνότητα εμφάνισης σταθμών στη χρονοσειρά.*

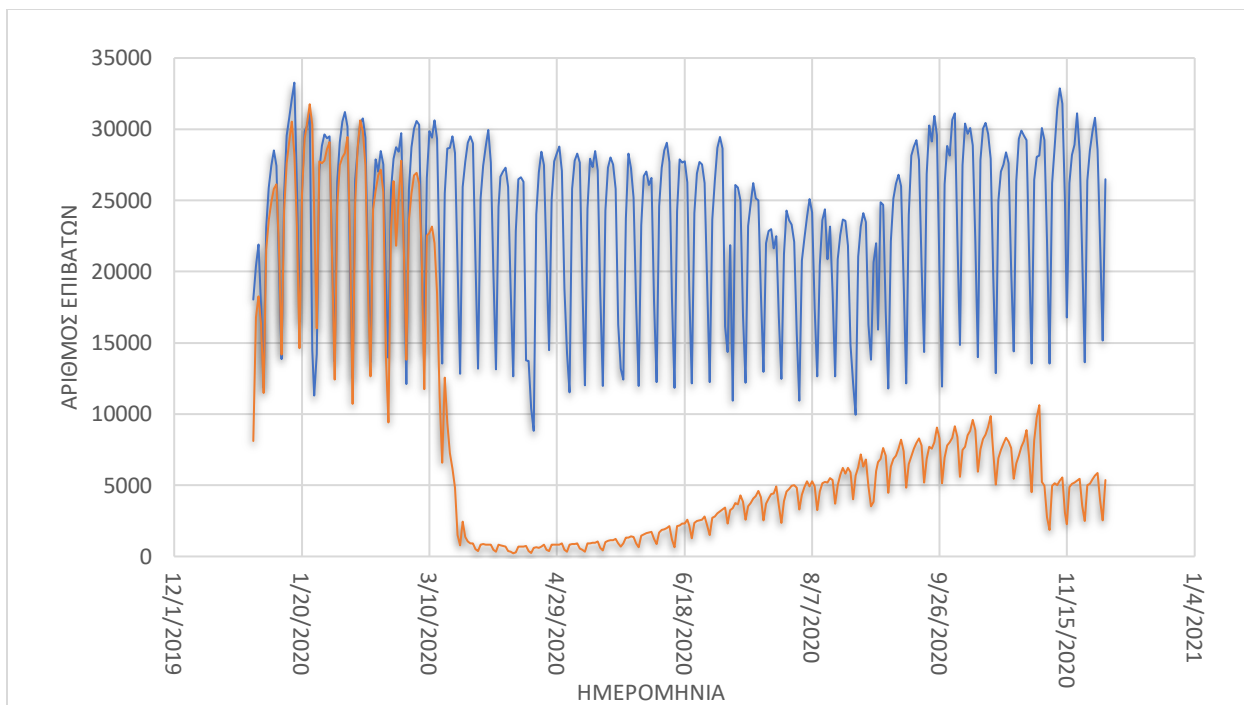
Με δεδομένη πλέον την τελική λίστα των σταθμών και για τους τέσσερις πίνακες, αποφασίστηκε να δημιουργηθούν ενδεικτικά διαγράμματα τάσεων του επιβατικού φόρτου για κάποιους από τους σταθμούς, με σκοπό να αποκτηθεί μια αρχική εικόνα και αντίληψη για τα προφίλ των μεταβολών της ζήτησης στους σταθμούς του μετρό της πόλης. Τα διαγράμματα που περιγράφουν τον κάθε σταθμό είναι δύο, με το πρώτο να απεικονίζει τις εισόδους και για τα δύο έτη σε κοινό διάγραμμα και με άξονα x τη χρονοσειρά του 2020 και το δεύτερο τις εξόδους. Λόγω των κοινών ημερών και της αντιστοιχίας ένα προς ένα μεταξύ των ημερομηνιών στις τέσσερις βάσεις δεδομένων, οποιαδήποτε κατακόρυφη γραμμή τέμνει τις δύο γραφικές παραστάσεις, το πραγματοποιεί αυτό σε ίδια ακριβώς ημέρα τόσο για το 2019 όσο και για το 2020. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά τα διαγράμματα τεσσάρων σταθμών της πόλης που εξυπηρετούν υψηλούς επιβατικούς φόρτους και χαρακτηρίζονται από πλήρη εμφάνιση σε όλες τις χρονοσειρές. Σε όλες τις περιπτώσεις οι μπλε τεθλασμένες γραμμές αναφέρονται στο 2019, ενώ οι πορτοκαλί στο 2020.



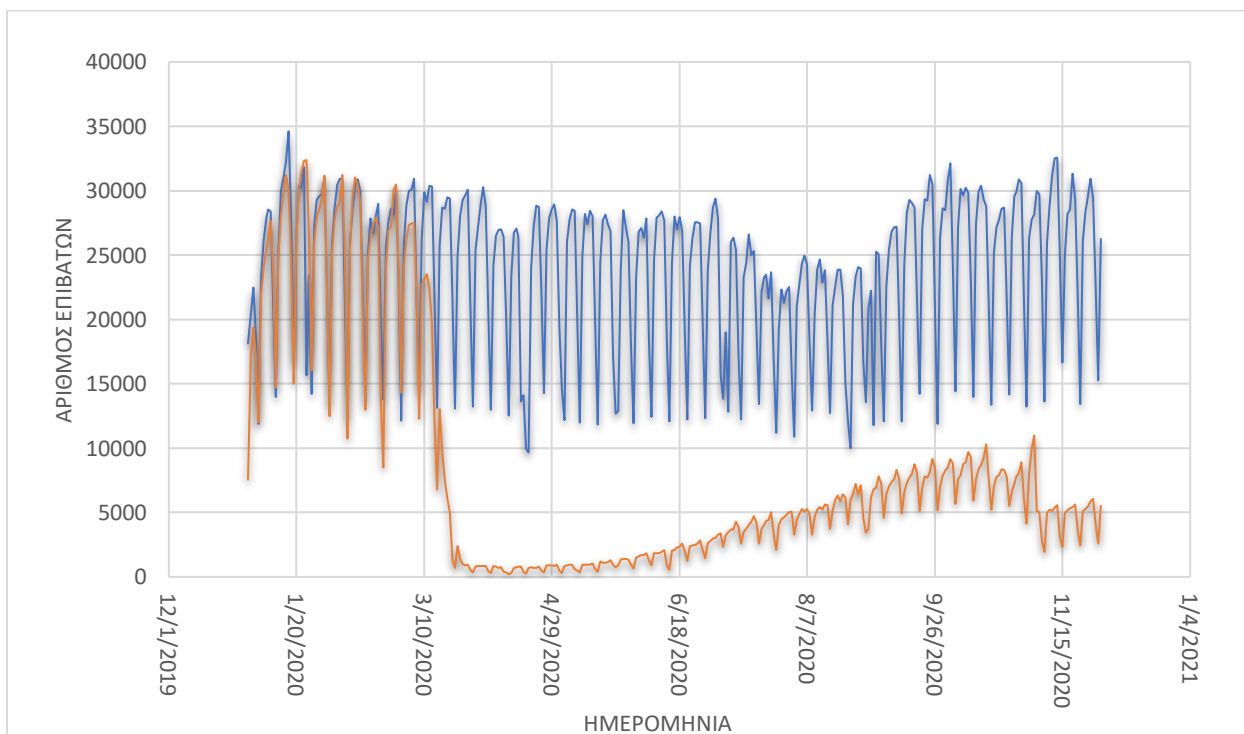
Σχήμα 3.2.4. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό Oxford Circus 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).



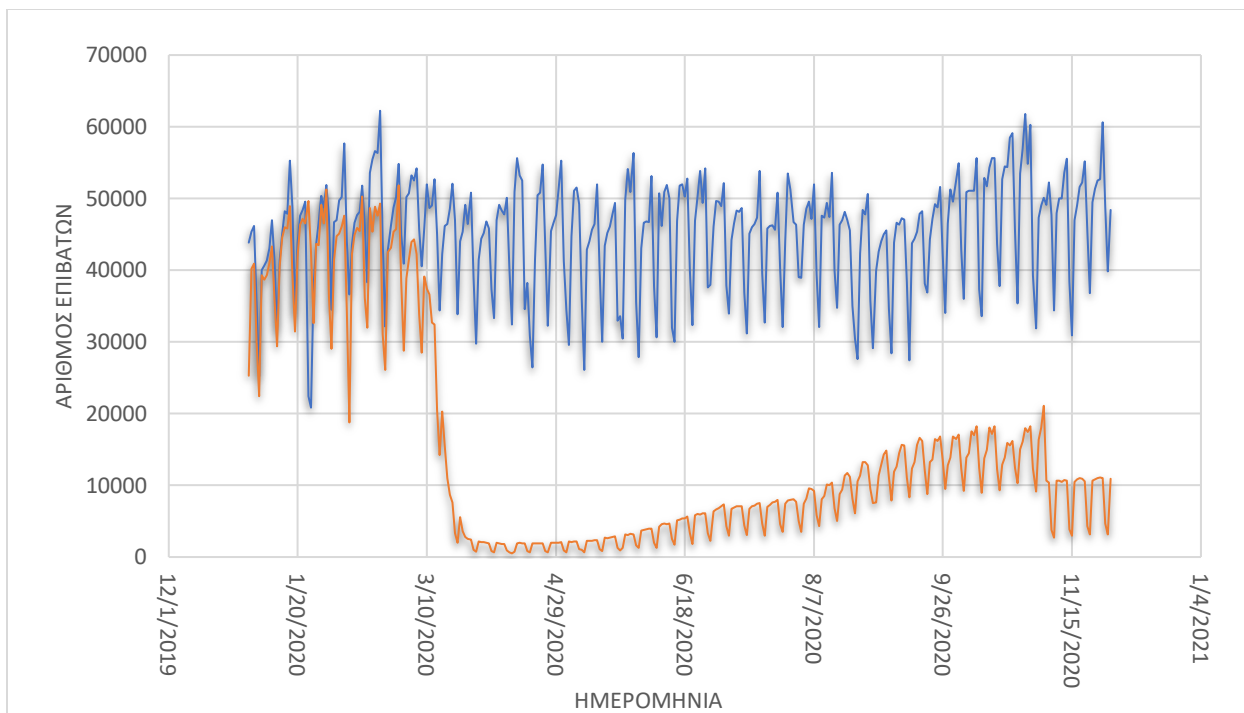
Σχήμα 3.2.5. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό Oxford Circus 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).



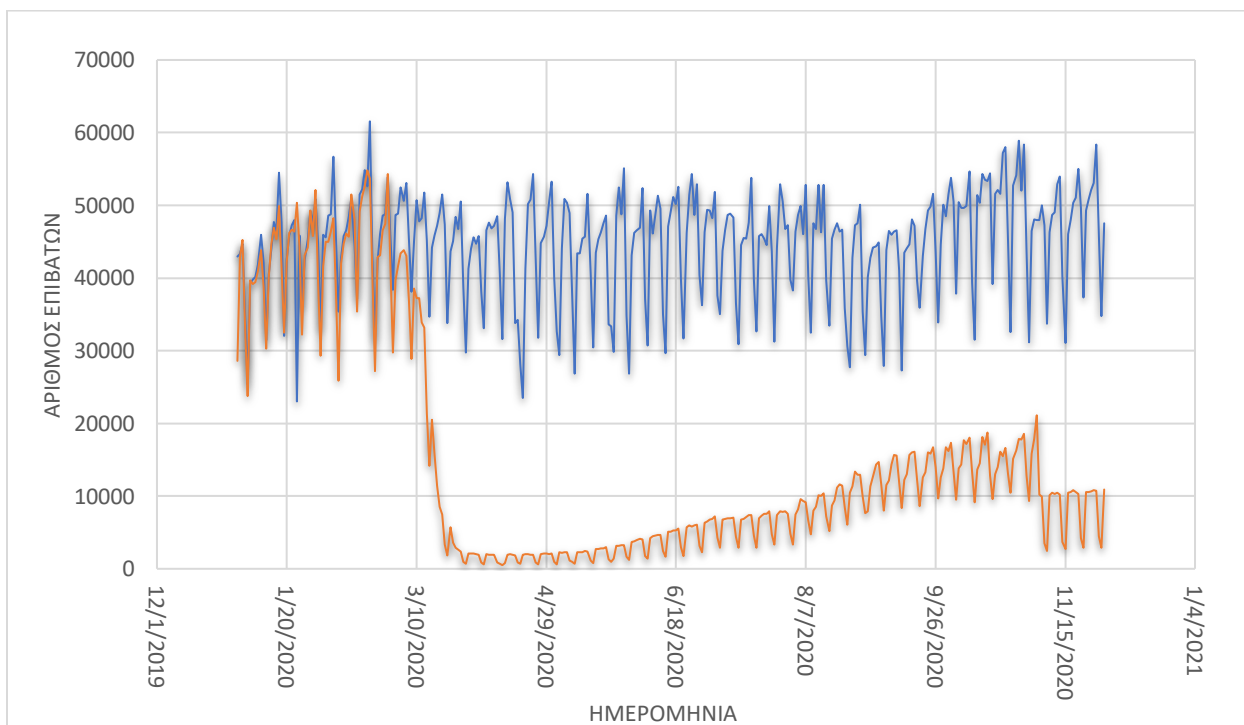
Σχήμα 3.2.6. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό Angel 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).



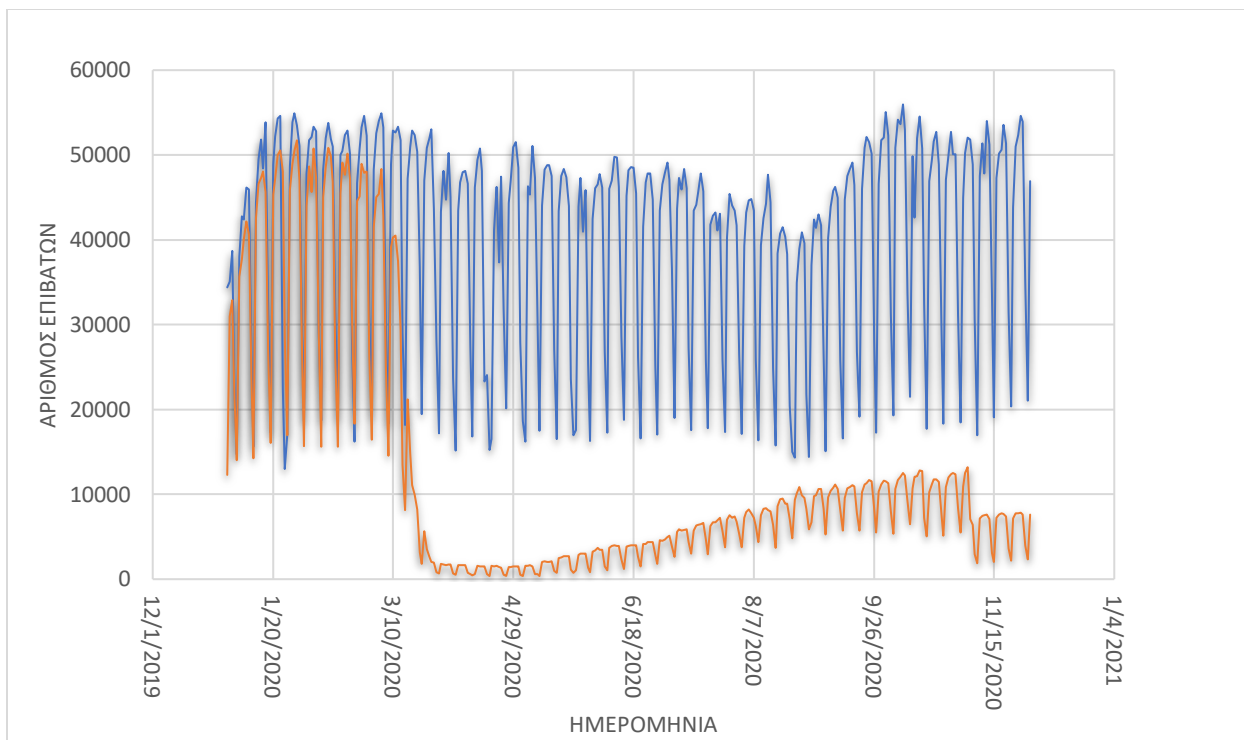
Σχήμα 3.2.7. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό Angel 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).



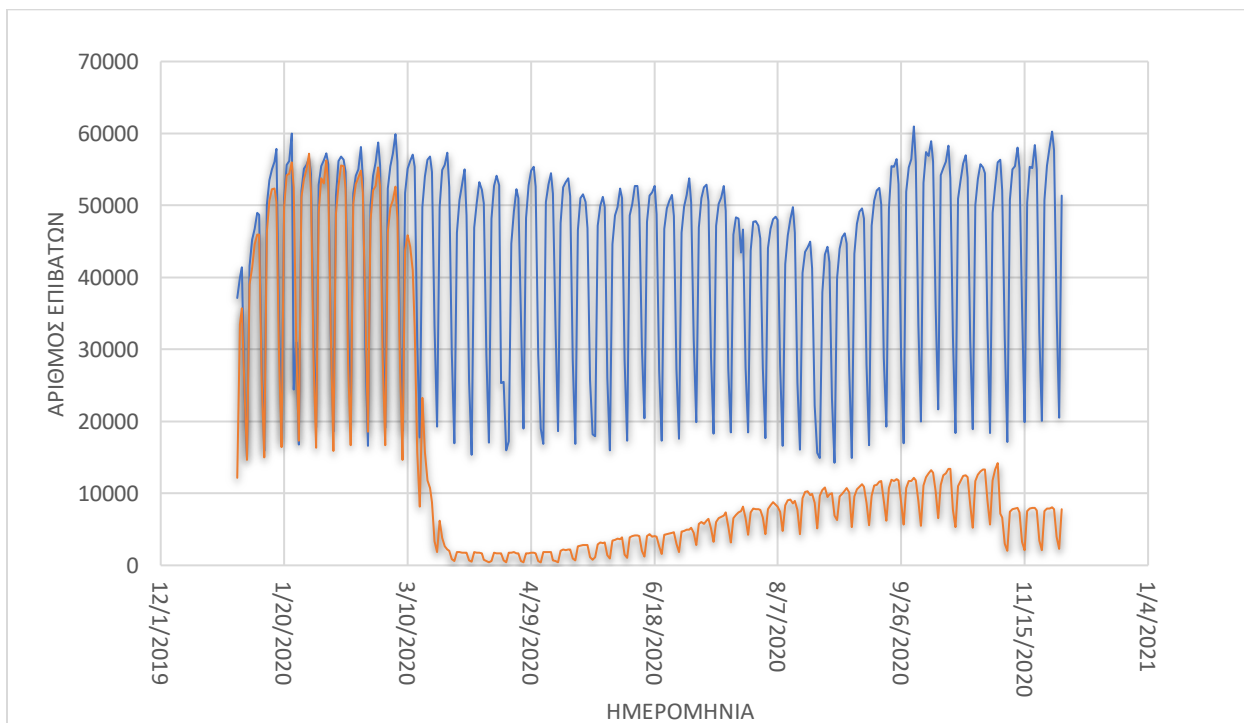
Σχήμα 3.2.8. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό South Kensington 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).



Σχήμα 3.2.9. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό South Kensington 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).



Σχήμα 3.2.10. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εισόδους στο σταθμό Holborn 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).



Σχήμα 3.2.11. Διάγραμμα επιβατικής κίνησης για τις εξόδους στο σταθμό Holborn 2019 (μπλε) και 2020 (πορτοκαλί).

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, η τάση της επιβατικής κίνησης τόσο για τις εισόδους όσο και για τις εξόδους εμφανίζουν παρόμοια προφίλ. Επιπλέον, οι τέσσερις αυτοί σταθμοί εξυπηρετούν εντελώς διαφορετικές γραμμές της πόλης ( πχ. Oxford Circus – Bakerloo, Central, Victoria / South Kensington – Circle, District, Piccadilly), γεγονός το οποίο αποδεικνύει ότι οι διαφοροποιήσεις των τάσεων είναι σε σημαντικό βαθμό γενικευμένες. Η μορφή των διαγραμμάτων που φέρει τόσο μεγάλη διασπορά στις απεικονιζόμενες τιμές, οφείλεται στην υψηλή διαφοροποίηση της επιβατικής κίνησης μεταξύ των ημερών της μίας εβδομάδας. Ουσιαστικά, τα τοπικά ελάχιστα αντιστοιχούν σε δεδομένα επιβατικής κίνησης από Σάββατο και κυρίως Κυριακή, ενώ καθώς οι τιμές αυξάνονται, και ειδικά στα τοπικά μέγιστα, τα σημεία αντιστοιχούν σε μετρήσεις επιβατικών φόρτων καθημερινών. Επιπρόσθετα, αναφορικά με τα διαγράμματα που αντιπροσωπεύουν τη χρονοσειρά του 2020, η απότομη πτώση που παρατηρείται στη γραφική παράσταση οφείλεται στην εθνική απαγόρευση κυκλοφορίας της 23<sup>ης</sup> Μαρτίου του 2020 και στα αντίστοιχα περιοριστικά μέτρα που τη συνόδευαν. Στη συνέχεια, η επιβατική κίνηση τείνει να ακολουθεί ήπια και αργή αυξητική πορεία, ακολουθώντας και τη χαλάρωση των μέτρων προστασίας με κορύφωση στις αρχές του φθινοπώρου που πλέον είχαν αρθεί σχεδόν όλοι οι περιορισμοί. Ωστόσο, στις αρχές Νοεμβρίου, η απότομη μείωση της επιβατικής κίνησης τόσο για τις εισόδους όσο και για τις εξόδους, αποτελεί συνάρτηση της δεύτερης ανακοίνωσης της εθνικής απαγόρευσης κυκλοφορίας. Οι παραπάνω παρατηρήσεις με χρήση των στοιχείων που αποκτήθηκαν έρχονται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα του TfL, τα οποία παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Στο τελικό στάδιο των προεπεξεργασιών των δεδομένων για την εφαρμογή των αναλύσεων απαιτήθηκε να δημιουργηθεί η τελική μορφή των τεσσάρων βάσεων δεδομένων ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή τους και επεξεργασία τους στα στατιστικά και γεωπληροφορικά λογισμικά. Με βάση τις απαιτήσεις της ανάλυσης συνεπώς, οι μεταβλητές, ήτοι ο ημερήσιος επιβατικός φόρτος για κάθε μέρα της χρονοσειράς, τόσο για εισόδους όσο και εξόδους των δύο ετών όφειλε να καλύπτει μοναδική γραμμή και να περιγράφει τον καθένα από τους τελικούς 226 σταθμούς μελέτης. Με άλλα λόγια, με εφαρμογή των δυνατοτήτων των Pivot Tables σε περιβάλλον Excel, δημιουργήθηκαν τέσσερις νέες βάσεις δεδομένων με 226 σειρές η καθεμία και μέγιστο πιθανό αριθμό στηλών τις 335, ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης του εκάστοτε σταθμού στη χρονοσειρά και ελάχιστο τις 300. Η κάθε στήλη αποτέλεσε τη μεταβλητή χι. Σε περιπτώσεις μηδενικών στοιχείων, αυτά αντικαταστάθηκαν με κενά, όπως ακριβώς οι ημέρες που έλειπαν από τη χρονοσειρά κάποιοι σταθμοί, με σκοπό την ορθότερη εφαρμογή των στατιστικών προσεγγίσεων αλλά και την αποφυγή υποεκτίμησης των δεδομένων. Στην ακόλουθη εικόνα, παρουσιάζεται ενδεικτικά, η τελική μορφή του πίνακα. Τέλος, με τη βοήθεια των δεδομένων του TfL, εισήχθησαν και δύο νέες στήλες, οι συντεταγμένες των σταθμών στο WGS 84, για να είναι δυνατή η δημιουργία των απαραίτητων χαρτογραφικών απεικονίσεων σε επόμενο χρόνο.

ID	NAME	X	Y	X1	X2	X3	X4
1	Acton Town	-0,27997	51,50271	6692	7214	7274	5399
2	Aldgate	-0,07572	51,51425	11538	12497	11581	6662
3	Alperton	-0,30009	51,54080	3182	3512	3499	2601
4	Amersham	-0,60737	51,67409	2676	3240	3139	1749
5	Angel	-0,13499	51,56543	18032	20374	21912	17527
6	Archway	-0,13328	51,61640	10030	10997	11673	8403
7	Arnos Grove	-0,15674	51,52259	5849	6066	6385	4722
8	Baker Street	-0,15287	51,44336	33911	37550	36987	24002
9	Balham LU	-0,08896	51,51338	14737	17030	18066	13992

Σχήμα 3.2.12. Η τελική μορφή των τεσσάρων βάσεων δεδομένων.

### 3.3. Τα Γεωπληροφοριακά Συστήματα

Ως Γεωπληροφοριακό Σύστημα (ΓΣ) ορίζεται ένα σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, τη διαχείριση και την απεικόνιση χωρικών δεδομένων, που υποστηρίζει τη διαδικασία του σχεδιασμού παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη, να αναλύει γεωγραφικές πληροφορίες για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό, σύμφωνα με το δικό του μοντέλο λήψης αποφάσεων (Burrough, 1986). Γενικά τα ΓΣ μπορούν να θεωρηθούν σαν ένα σύνολο προγραμμάτων που λειτουργούν πάνω σε μια χωρική βάση δεδομένων (Goodchild, 1992).

Οι παραπάνω ορισμοί δεν είναι και οι μοναδικοί. Υπάρχουν τόσοι πολλοί ορισμοί όσες και οι χρήσεις ή οι επιστήμες που αναμιγνύονται με τα ΓΣ: γεωγραφία, αστικός σχεδιασμός, αρχιτεκτονική του τοπίου, περιβαλλοντικές επιστήμες κ.α. Επίσης, ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών προσφέρει "εργαλεία" τα οποία χρησιμοποιούν επαγγελματίες σ' αυτούς τους τομείς για να βελτιώσουν τον τρόπο εργασίας τους. Όπως τα τηλέφωνα, οι υπολογιστές και οι επεξεργαστές κειμένων είναι εργαλεία για να κάνουν την εργασία πιο εύκολη, πιο γρήγορη και πιο ουσιαστική έτσι και τα ΓΣ χορηγούν, "εργαλεία" σε επαγγελματίες για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της εργασίας τους με γεωγραφικά ή με περιγραφικά δεδομένα (Huxhold, 1992).

Ο πραγματικός κόσμος παριστάνεται σε ένα ΓΣ από ένα αριθμό λογικών επιπέδων, ενώ γενικεύεται με δύο, κυρίως, τρόπους:

- με τα διανυσματικά μοντέλα (vector)
- και τα μοντέλα μορφής κανάβου (raster)

Στα διανυσματικά μοντέλα, η βασική λογική μονάδα στο γεωγραφικό χώρο είναι η γραμμή, εκφρασμένη από μία σειρά σημείων με συντεταγμένες  $x$ ,  $y$ . Τέτοια μπορεί να είναι μία ισαριθμική καμπύλη, ένας ποταμός, ένας δρόμος, το όριο μίας περιοχής ή τμήμα των παραπάνω. Μεμονωμένα σημεία, σε μία τέτοιου είδους οργάνωση μπορεί να εκφραστούν ως γραμμές μηδενικού μήκους (ένα σημείο με συντεταγμένες  $x$ ,  $y$ ), ενώ οι επιφάνειες εκφράζονται από σύνολο των διαδοχικών γραμμών που τις προσδιορίζουν (Burrough, 1986).

Στα μοντέλα μορφής κανάβου, ο γεωγραφικός χώρος έχει χωριστεί σε χωρία κανονικού σχήματος (φατνία), το καθένα από τα οποία αποτελεί βασική λογική μονάδα και όλα μαζί ένα κανάβο. Αντί του τετραγώνου που είναι ο πλέον συνήθης τύπος λογικής μονάδας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραλληλόγραμμο ή οποιοδήποτε άλλο κανονικό πολύγωνο (ή πολύεδρο αν το μοντέλο είναι τρισδιάστατο). Η απλούστερη δομή δεδομένων στο πλαίσιο των μοντέλων με μορφή κανάβου συνίσταται στη σειριακή (μονοδιάστατη) απόδοση των φατνίων. Κάθε φατνίο προσδιορίζεται με το ζεύγος γραμμής - στήλης του αντίστοιχου πίνακα και έναν αριθμό που προσδιορίζει το είδος ή την τιμή του χαρακτηριστικού που απεικονίζει.

Συνοπτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο μοντέλων σε σχέση με περιβαλλοντικά γεωγραφικά δεδομένα (Burrough, 1986, Tomlin, 1990). Τα πλεονεκτήματα των διανυσματικών μοντέλων είναι η συμπαγής δομή και η αποτελεσματική γενίκευση των γεωμετρικών δεδομένων, ενώ στα μειονεκτήματα τους είναι η πολύπλοκη δομή δεδομένων και η δυσκολία στη μαθηματική προσομοίωση, καθώς κάθε μονάδα έχει διαφορετικό μέγεθος. Τα πλεονεκτήματα των μοντέλων μορφής κανάβου είναι η απλή δομή δεδομένων, η εύκολη σύνδεση γεωγραφικών και τηλεπισκοπικών δεδομένων, η ευκολία μαθηματικής προσομοίωσης και απόδοσης συνεχών φαινομένων. Είναι προφανές ότι η δομή αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για διαχείριση από σύστημα σε περιβάλλον γλώσσας

προγραμματισμού (π.χ. Python, C, κτλ.) λόγω της ευκολίας αποθήκευσης, επεξεργασίας και απόδοσης. Τα μειονεκτήματα της είναι ο μεγάλος όγκος δεδομένων, η σχέση μεγέθους κανάβου - πληροφορίας και η χρονοβόρα διαδικασία των προβολικών μετασχηματισμών. Αν και πριν από μερικά χρόνια η επιλογή ενός από τα δύο μοντέλα υπαγόρευε και την αγορά αντίστοιχου λογισμικού, η σύγχρονη τάση είναι το λογισμικό να συνδυάζει και τα δύο μοντέλα καθώς και λειτουργίες μετασχηματισμού από το ένα στο άλλο

### 3.3.1. Τα Υποσυστήματα των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων

Τα εργαλεία ενός Γεωπληροφοριακού Συστήματος περιλαμβάνουν τον απαραίτητο τεχνικό εξοπλισμό (Hardware) και το λογισμικό (Software) που επιτρέπει την εισαγωγή, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση των δεδομένων.

#### 3.3.1.1. Υλικό (hardware)

Το βασικό χαρακτηριστικό οποιουδήποτε συστήματος συμπεριλαμβανόμενου και των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών είναι η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU). Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας ενός ΓΣ δε διαφέρει σε τίποτα από αυτήν οποιουδήποτε άλλου γενικής χρήσης συστήματος πληροφοριών ενώ τα πιο γνωστά λειτουργικά συστήματα (UNIX, WINDOWS 98, WINDOWS NT) χρησιμοποιούνται και από τα διάφορα πακέτα ΓΣ. Η οθόνη γραφικών πρέπει να είναι όσο το δυνατόν καλύτερης ευκρίνειας. Το πληκτρολόγιο είναι ανάλογο μ' αυτό άλλων συστημάτων και επιτρέπει την εισαγωγή πληροφοριών και εντολών στον υπολογιστή. Το πληκτρολόγιο είναι ένας εύκολος τρόπος για την εισαγωγή αλφαριθμητικών πληροφοριών κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης. Για την εισαγωγή των γεωγραφικών δεδομένων χρησιμοποιούνται δύο κυρίως συσκευές: ο ψηφιοποιητής και ο αυτόματος σαρωτής (scanner).

Ο αυτόματος σχεδιαστής (plotter) είναι ένα ακόμη μέρος από τον τεχνικό εξοπλισμό που επιτρέπει την αυτόματη σχεδίαση των δεδομένων. Μπορεί να είναι διανυσματικός (pen plotter) ή και μορφής κανάβου (inkjet plotter).

#### 3.3.1.2. Λογισμικό (software)

Το λογισμικό ενός ΓΣ περιλαμβάνει πέντε βασικά "υποσυστήματα" για:

- Εισαγωγή δεδομένων και έλεγχος, επαλήθευση τους.
- Διαχείριση της γεωγραφικής βάσης δεδομένων.
- Εξαγωγή πληροφοριών και παρουσίαση.
- Μετασχηματισμό των δεδομένων.
- Εργαλεία χωρικής ανάλυσης

Η εισαγωγή των δεδομένων αφορά τόσο τα γεωγραφικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα. Τα γεωγραφικά δεδομένα μπορούν να προέλθουν από ετερόκλητες πηγές, όπως γεωδαιτικές επίγειες μετρήσεις, τηλεπισκοπικές, φωτογραμμετρικές μεθόδους και υπάρχοντες χάρτες. Τα περιγραφικά δεδομένα είναι γενικά περιπτώσεις ή φαινόμενα τα οποία σχετίζονται με τα γεωγραφικά δεδομένα. Η λογική δομή αυτών των δεδομένων απαιτεί μία χωρική αναφορά ή κάποια χωρικά χαρακτηριστικά καταχωρημένα σε κάθε εγγραφή της βάσης δεδομένων. Αυτές οι χωρικές



αναφορές όπως το είδος της χρήσης γης ή της εδαφολογικής σύστασης σχετίζονται με τις συντεταγμένες ενός γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς και καταγράφονται.

Η διαχείριση των δεδομένων αφορά μετακίνηση και στροφή αντικειμένων, μεγέθυνση - σμίκρυνση παραθύρου εργασίας, μετατροπή δεδομένων από μια μορφή σε άλλη, γενίκευση στοιχείων κτλ. Η εξαγωγή πληροφοριών και η παρουσίαση τους αφορά στον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα αποδίδονται και τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους χρήστες. Ο μετασχηματισμός των δεδομένων περιλαμβάνει τις απαραίτητες διαδικασίες για τη συνένωση χαρτών μεταξύ τους, καθώς και μετασχηματισμούς που συνδέονται με αλλαγή της κλίμακας, προσαρμογή των δεδομένων σε άλλες προβολές, λογικές "πράξεις" κ.α. Το στάδιο της χωρικής ανάλυσης περιλαμβάνει τις διαδικασίες μετατροπής των στοιχείων σε πληροφορία (Κουτσόπουλος, 1986, Noel, 1991). Σαν αποτέλεσμα η ανάλυση χώρου είναι ένα σύνολο από "ποσοτικές διαδικασίες και τεχνικές που εφαρμόζονται σε χωρικές αναλυτικές εργασίες" (Johnston et. al., 1986.) και στοχεύουν, όπως γράφει και ο Haining (1994):

α) στη σωστή περιγραφή γεγονότων στο χώρο

β) στη συστηματική διερεύνηση των χωρικών προτύπων και των χωρικών σχέσεων με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των χωρικών διαδικασιών που ευθύνονται για τα χωρικά πρότυπα και τις σχέσεις που παρατηρούμε και

γ) στην αύξηση της ικανότητας πρόβλεψης και ελέγχου γεγονότων που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο.

Επιπλέον, όμως, υπάρχει ένας άλλος τέταρτος αντικειμενικός στόχος, που είναι η χρήση αυτών των τεχνικών και μεθόδων σαν εργαλεία λήψης αποφάσεων για το χώρο (Κουτσόπουλος, 1998). Γενικά τα ΓΣ θα μπορούσαν να παραλληλισθούν με μια εργαλειοθήκη (Carver, 1992). Μερικά από τα εργαλεία ή συνδυασμοί τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλύσουν αρκετά χωρικά προβλήματα. Σύμφωνα με τον Burrough (1986) τα κυριότερα χωρικά προβλήματα που επιλύει ένα ΓΣΠ είναι τα εξής:

- Τι είναι στην θέση A;
- Πού είναι τα X1, X2;
- Πού είναι το A σε σχέση με το B;
- Πόσο μεγάλο είναι το A (εμβαδό, περίμετρος);
- Ποιο είναι το αποτέλεσμα της επικάλυψης μεταξύ δύο ή περισσότερων επιπέδων (overlay);
- Πόσες εμφανίσεις τύπου A βρίσκονται σε απόσταση P από το B;
- Προσδιορισμός της ζώνης σε απόσταση P από το A (buffering).

Τα κυριότερα εργαλεία που είναι ενσωματωμένα στα περισσότερα ΓΣ σήμερα παραμένουν η επικάλυψη και η δημιουργία ζώνης. Σε κάποιες ελάχιστες εξαιρέσεις (π.χ. ARC/INFO grid, IDRISI, SPANS κτλ.) υπάρχουν περισσότερα και πιο ευέλικτα εργαλεία. Πάντως, όπως και όλες οι εργαλειοθήκες έχουν περιορισμένο αριθμό εργαλείων και σίγουρα όχι πλήρες (Openshaw 1992, 1991b, 1993a, Carver 1992, Fotheringham 1991, 1993). Για παράδειγμα κανένα πακέτο λογισμικού δεν επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων με λογικές εκτός της στατιστικής, όπως η υπολογιστική νοημοσύνη.

### 3.4. Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση – Ο Αλγόριθμος K-Means

Η ταξινόμηση ή ανάλυση σε κατηγορίες-ομάδες (classification), είναι η διαδικασία κατά την οποία ξεχωριστά αντικείμενα-περιστατικά κατανέμονται σε κατηγορίες, όσο το δυνατόν αντικειμενικότερα, με βάση τα κριτήρια που καθορίζονται. Ο στόχος είναι προφανής, η αντιμετώπιση των ομάδων με τους ίδιους νόμους και κανόνες (Johnston, 1976). Η ταξινόμηση μπορεί να είναι επιβλεπόμενη ή μη επιβλεπόμενη.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised classification ή Cluster analysis) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται στη διερεύνηση δεδομένων και προσπαθεί να δημιουργήσει “φυσικές” ομάδες δεδομένων. Αυτές οι ομάδες είναι ανεπηρέαστες, με την έννοια ότι δεν απαιτούνται εκ των προτέρων υποθέσεις, όπως συμβαίνει στις περισσότερες στατιστικές μεθόδους. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι ένα εργαλείο περιγραφής και εξερεύνησης των δεδομένων. Είναι μια μέθοδος που καθοδηγείται από τα δεδομένα (data driven). Το μόνο που απαιτείται από τον χρήστη είναι ο καθορισμός του αριθμού των τάξεων.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση έχει χρησιμοποιηθεί από πολύ νωρίς σε προβλήματα γεωγραφικής ανάλυσης. Τα καλύτερα παραδείγματα χρήσης της αναφέρονται στον προσδιορισμό κλιματικών περιφερειών ή στον προσδιορισμό ομοιογενών ζωνών κοινωνικοοικονομικών δεδομένων που προέρχονται συνήθως από απογραφές πληθυσμού (Johnston, 1976, Γιαουτζή, 1982). Επίσης χρησιμοποιείται κατά κόρον στην εύρεση των φασματικών τάξεων σε δορυφορικές πολυφασματικές εικόνες, όταν δεν υπάρχουν δείγματα εδάφους (Αργιαλάς, 1995).

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο κατάλληλη για τον προσδιορισμό των πυρήνων ατυχημάτων μια και η συμμετοχή των χαρακτηριστικών που απαρτίζουν αυτές τις περιφέρειες στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή, για όλη την περιοχή μελέτης, ώστε να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος που αξιοποιεί την υπάρχουσα γνώση.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι διαφορετικές μέθοδοι ταξινόμησης οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα, και οι διαφορές αυτές μπορεί να είναι μεγάλες. Επίσης, όπως οι Openshaw και Gillard (1978) απέδειξαν, τα αποτελέσματα μπορεί να επηρεαστούν από τους αλγόριθμους υλοποίησης της ίδιας μεθόδου. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου είναι δύσκολο καθήκον καθώς δεν υπάρχει μέθοδος που να είναι απόλυτα καλύτερη από όλες τις άλλες. Ο ορισμός της καλύτερης μεθόδου ταξινόμησης εξαρτάται από τον σκοπό της. Επιπλέον, ο αριθμός των τάξεων αποτελεί μια ακόμη εξαιρετικά σημαντική απόφαση, η οποία επηρεάζει και την ακρίβεια της ταξινόμησης.

Σύμφωνα με τον Openshaw (1997) μια ιδανική μέθοδος μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Δεν θα πρέπει να επιβάλλει μια ειδικά διαμορφωμένη δομή ή μορφολογικό πρότυπο στα δεδομένα, αλλά να ανταποκρίνεται στο πρότυπο των δεδομένων.
- Είναι σημαντικό να διατηρείται η ασάφεια, κάποιες περιοχές μπορεί να είναι μεταξύ των διαφόρων τάξεων και αυτό πρέπει να διατηρείται.
- Πρέπει να είναι ικανή να διαχειρίζεται δεδομένα με θόρυβο
- Πρέπει να χρησιμοποιεί τεχνικές προεπεξεργασίας των δεδομένων στον μικρότερο δυνατό βαθμό, καθώς δεν είναι λογικό να αναμένουμε από τα δεδομένα να αποκαλύψουν τη δομή τους, εάν παραλλαχθούν μαζικά από μετασχηματισμούς σύμφωνα με την απαίτηση κάποιας μεθόδου.

- Πρέπει να έχει επαρκή ευκαμψία, με την έννοια να αποκαλύπτει τη φυσική δομή των δεδομένων, αν υπάρχει, χωρίς αυτή να είναι γνωστή εξ αρχής.
- Πρέπει να έχει την ικανότητα να προσδιορίζει τον βέλτιστο αριθμό τάξεων και να επιτυγχάνει συνολικά ικανοποιητικά αποτελέσματα χωρίς να χάνει κάποια τοπικά ακρότατα.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι οι οποίες επιτυγχάνουν μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπως η παραδοσιακά χρησιμοποιούμενη στατιστική, η λογική της ασάφειας, τα νευρωνικά δίκτυα καθώς και ο συνδυασμός των δυο τελευταίων με την ενδεχόμενη χρήση γενετικών αλγορίθμων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται και αναλύονται τα χαρακτηριστικά της στατιστικής ταξινόμησης καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της.

Η στατιστική ταξινόμηση είναι η πιο συνήθης μέθοδος, σε σχέση με τις υπόλοιπες. Υπάρχουν αρκετές στατιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος για το συνδυασμό διαφόρων "περιπτώσεων" σε κατηγορίες είναι η ιεραρχική, κατά την οποία υπάρχει η δυνατότητα, η κατηγοριοποίηση να γίνει είτε με τη χρήση της σωρευτικής (agglomerative) μεθόδου, είτε με τη χρήση της διαιρετικής (divisive) μεθόδου. Στην πρώτη περίπτωση, στο πρώτο βήμα, όλες οι "περιπτώσεις" θεωρούνται ως αυτόνομες ομάδες και ομαδοποιούνται στα επόμενα βήματα, σύμφωνα με κάποιο μέτρο ομοιότητας με δοσμένα κριτήρια, ενώ στη δεύτερη μέθοδο, αρχικά όλες οι "περιπτώσεις" θεωρείται ότι αποτελούν μία ομάδα η οποία σε διαδοχικά βήματα διασπάται σε επιμέρους μέχρι κάθε "περίπτωση" να αποτελέσει μία ομάδα. Η ιδεατή περίπτωση θα ήταν να προσδιοριστεί ο κάθε δυνατός συνδυασμός και μετά να αποφασισθεί ποιος είναι ο καλύτερος για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Αλλά αυτό είναι αδύνατο εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των περιπτώσεων.

Η μέθοδος αυτή παράγει ένα ενδιάμεσο αποτέλεσμα που υποβοηθά το χρήστη να αποκαλύψει τον ουσιαστικό αριθμό των τάξεων των δεδομένων. Το ενδιάμεσο αποτέλεσμα είναι το ιστορικό των συγχωνεύσεων, το οποίο απεικονίζεται με τη μορφή ενός δενδρογράμματος, στο οποίο φαίνονται οι αποστάσεις μεταξύ των κέντρων για τις οποίες οι συσσωρεύσεις έχουν συγχωνευθεί.

Προκειμένου να βρεθεί τότε δύο "περιπτώσεις" μπορούν να μορφώσουν μία κατηγορία μελετάται η "απόσταση" μεταξύ τους. Ένας διαδεδομένος τρόπος εύρεσης της "απόστασης" στις ιεραρχικές μεθόδους, είναι η χρήση της τετραγωνικής Ευκλείδειας απόστασης, η οποία για  $N$  γεωγραφικά επίπεδα και δυο κανάβους έχει ως εξής:

$$d2(x_1, x_2) = |x_1 - x_2| = \{(x_1 - x_1)t(x_1 - x_2)\}^{1/2} = [(x_{11} - x_{21})^2 + (x_{12} - x_{22})^2 + \dots + (x_{1n} - x_{2n})^2]^{1/2}$$

Άλλη μέθοδος μέτρησης της απόστασης είναι αυτή που βασίζεται στην απόλυτη διαφορά (απόσταση οικοδομικού τετραγώνου), η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$d1(x_1, x_2) = [(x_{11} - x_{21}) + (x_{12} - x_{22}) + \dots + (x_{1n} - x_{2n})]$$

Επίσης υπάρχει η απόσταση Mahalanobis, ενώ θα μπορούσε να οριστεί μια καινούργια απόσταση από τον εκάστοτε χρήστη. Για να εκτιμηθεί η ποιότητα των ομαδοποιήσεων απαιτείται ο ορισμός ενός κατάλληλου κριτηρίου ποιότητας της ομαδοποίησης. Τέτοιο μέτρο αποτελεί η ελαχιστοποίηση του ολικού τετραγωνικού σφάλματος το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$Y = \sum_{Ci} \sum_{x \in Ci} (x - mi) t (x - mi)$$

όπου  $m_i$  είναι ο μέσος όρος της  $i$  τάξης  
και  $X \in Ci$  είναι ένα στοιχείο που έχει αποδοθεί στην τάξη  $C_i$ .

Υπάρχουν και άλλα μέτρα της ποιότητας της ταξινόμησης, όπως η ενδοδιασπορά και η εντροπία της κάθε τάξης. Ένας από τους συχνά χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους, ιδίως στην ταξινόμηση εικόνων είναι ο αλγόριθμος επαναληπτικής βελτιστοποίησης των συσσωρεύσεων (ISODATA), ο οποίος υλοποιείται με τα ακόλουθα βήματα (Αργιολάς, 1995):

1. Αρχικές τιμές. Ο αλγόριθμος αρχίζει με την επιλογή του αριθμού των συσσωρεύσεων  $A$ , και  $C$  σημείων του πολυφασματικού χώρου προτύπων που θα χρησιμεύσουν ως υποψήφια κέντρα συσσώρευσης. Ας καλέσουμε τα κέντρα των αρχικών συσσωρεύσεων:

$m_i$ , με  $i = 1, \dots, C$

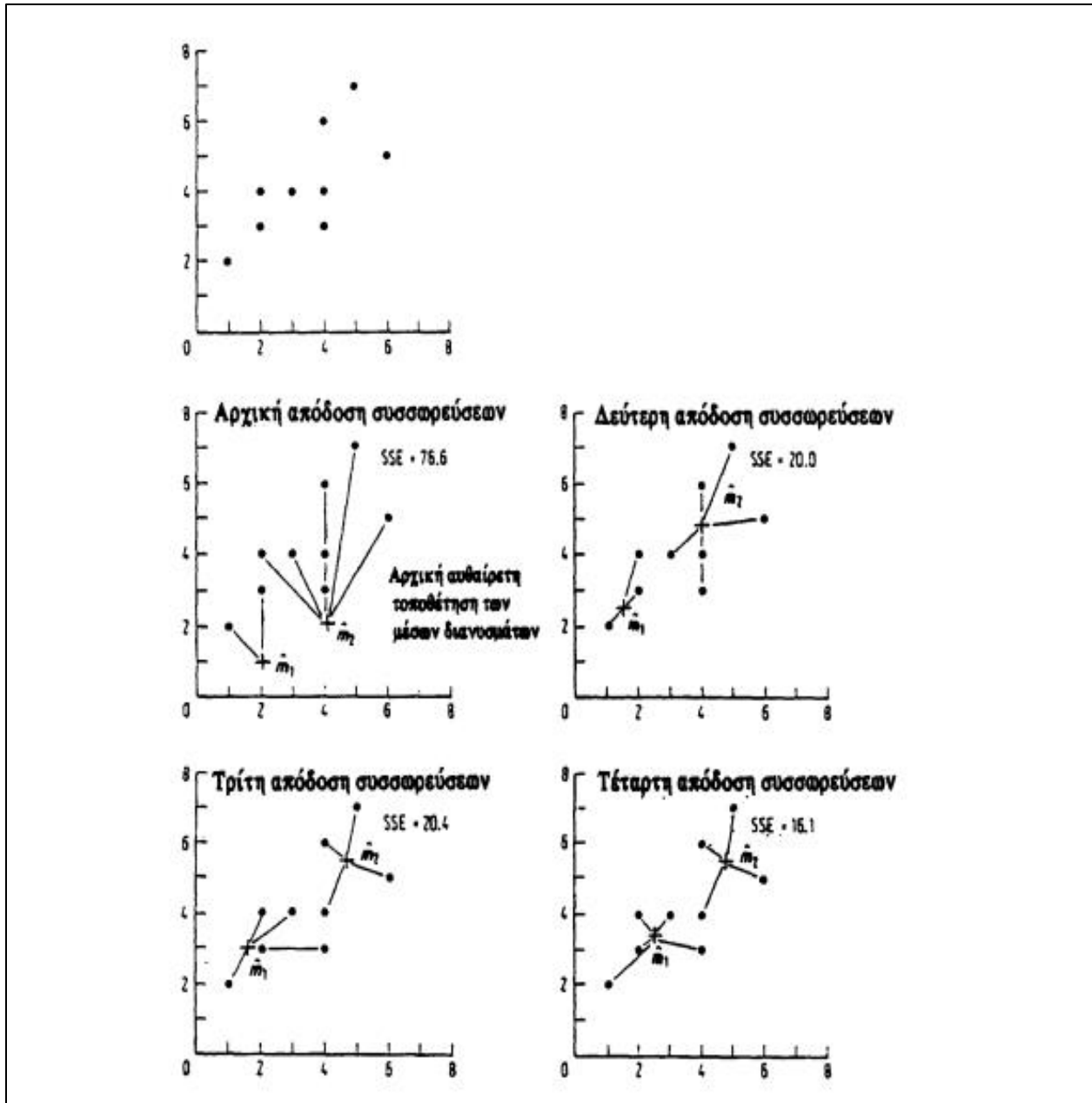
Η επιλογή των κέντρων  $m_i$ , σ' αυτό το στάδιο, είναι αυθαίρετη με εξαίρεση ότι οποιοδήποτε ζευγάρι δεν μπορεί να αποτελείται από τα ίδια κέντρα. Είναι σκόπιμο η επιλογή των κέντρων να γίνει κατά τρόπο ομοιόμορφο, μέσα από τα δεδομένα, έτσι ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία ανώμαλων συσσωρεύσεων και να συντομευθεί η σύγκλιση του αλγόριθμου.

2. Η θέση  $x$  του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας εξετάζεται και το στοιχείο αποδίδεται στην εγγύτερη υποψήφια συσσώρευση. Ο εγγύτερος γείτονας βρίσκεται με βάση την ευκλείδεια απόσταση ή την απόλυτη διαφορά των κέντρων.
3. Υπολογίζονται τα κέντρα (μέσοι) των νέων συσσωρεύσεων. Ας τα ονομάσουμε:

$m_i$ , με  $i = 1, \dots, C$

4. Αν  $m_i = m_i$ , για κάθε  $i$ , ο αλγόριθμος τερματίζεται. Αλλιώς, τα  $m_i$  επανορίζονται με τις τρέχουσες τιμές των  $m_i$ , και ο αλγόριθμος επιστρέφει στο βήμα (2).

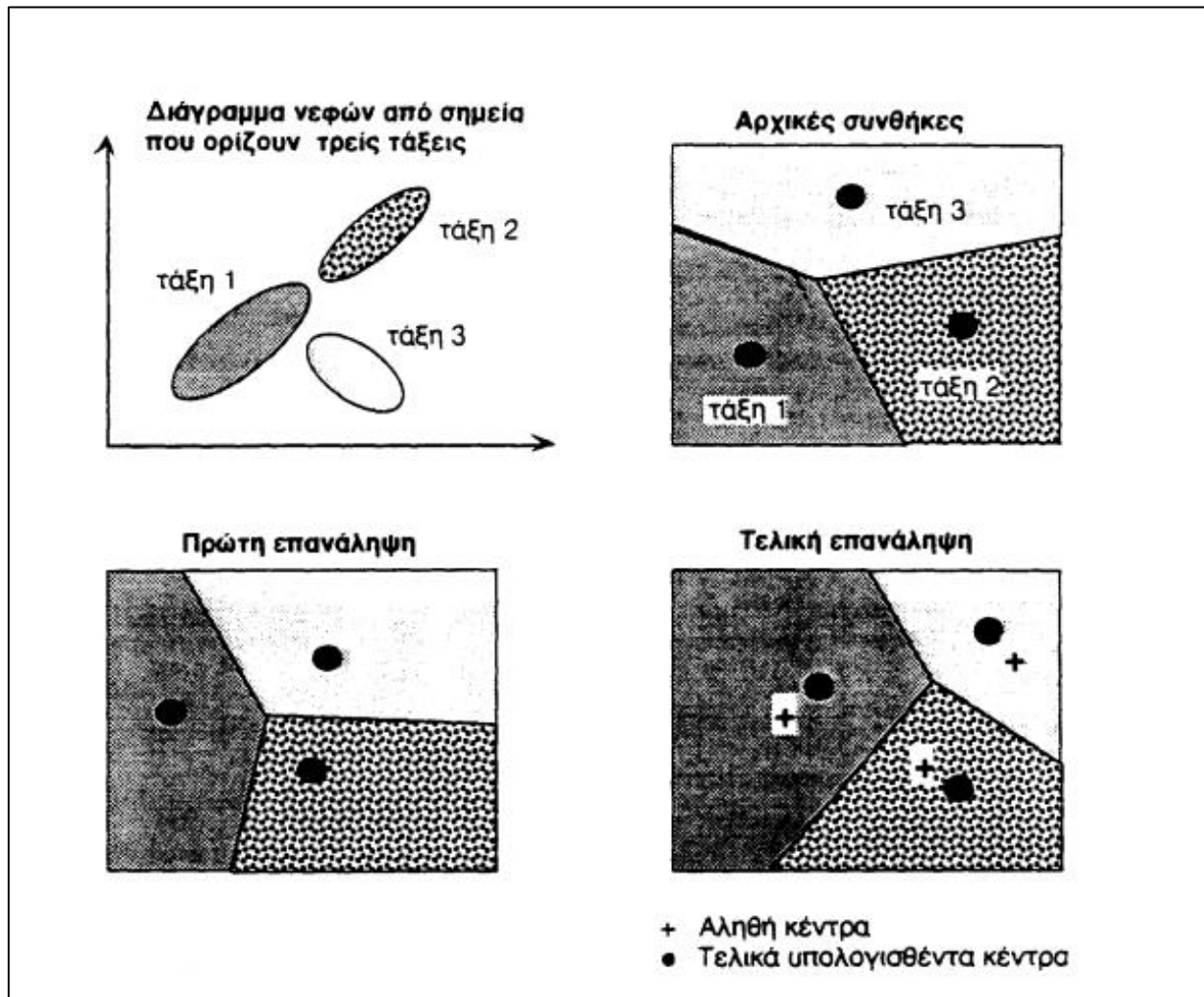
Μια απλή μορφή του αλγόριθμου της επαναληπτικής βελτιστοποίησης δίνεται διαγραμματικά στο Σχήμα 3.4.1. Όπως φαίνεται η μέθοδος οδηγεί προς τη σταδιακή ελάττωση του ολικού τετραγωνικού σφάλματος.



Σχήμα 3.4.1. Σχηματική απεικόνιση των σταδίων του αλγόριθμου ISODATA (από Δ. Αργιαλά, 1995).

Το Σχήμα 3.4.2 δείχνει μία εφαρμογή του αλγόριθμού των K-κέντρων (K-means), που αποτελεί τον πιο δημοφιλή αλγόριθμο, σε ένα δισδιάστατο σύνολο δεδομένων. Τα δεδομένα αποτελούνται από τρεις κανονικές κατανομές με διαφορετικά μέσα διανύσματος και πίνακες συμμεταβλητότητας. Στο πρώτο βήμα του αλγόριθμου καθορίζεται ένα αρχικό μέσο διάνυσμα για την κάθε τάξη. Ο κάθε κλάδος αποδίδεται στον εγγύτερο μέσο και έτσι σχηματίζονται οι πρώτες διαχωριστικές επιφάνειες, υπολογίζονται νέα μέσα διανύσματα από το αποτέλεσμα της προηγούμενης ταξινόμησης και οι κλάδοι αποδίδονται στις νέες τάξεις με τις νέες διαχωριστικές επιφάνειες. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην υπάρχει σημαντική απόκλιση από επανάληψη

σε επανάληψη. Ο αλγόριθμος δεν επηρεάζεται από την επιλογή των αρχικών μέσων διανυσμάτων. Αν τα μέσα διανύσματα που επιλέγονται αρχικά δεν είναι κοντά στα τελικά μέσα διανύσματα προφανώς θα χρειάζονται περισσότερες επαναλήψεις για την σύγκλιση του αλγόριθμου.



Σχήμα 3.4.2. Γραφική απεικόνιση του αλγόριθμου K-κέντρα (από Δ. Αργιαλά, 1995).

Στις μεθόδους που αναφέρθηκαν, μετά από κάθε βήμα, οι ομάδες αντικαθίστανται από τα κεντροειδή τους και οι νέες αποστάσεις υπολογίζονται με βάση τα νέα κέντρα. Αρκετοί ερευνητές προτείνουν διάφορες άλλες μεθόδους υπολογισμού των ομάδων (Lance and Williams, 1967). Αυτές περιλαμβάνουν:

- Τον υπολογισμό των καινούριων ομάδων με βάση τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ ενός σημείου μιας ομάδας και του πιο απομακρυσμένου από την άλλη. Η μέθοδος αυτή δίνει έμφαση στις διαφορές μεταξύ των ομάδων.

- Τον υπολογισμό των καινούριων ομάδων με βάση τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των σημείων δυο ομάδων.
- Τον υπολογισμό των καινούριων ομάδων με βάση τη συνολική απόσταση ενός σημείου της ομάδας από όλα τα σημεία των άλλων ομάδων. Ένα σημείο αντιστοιχίζεται σε μια ομάδα μόνο αν είναι κοντινό σε σχέση με όλα τα σημεία της ομάδας αυτής. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ “συντηρητική”.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που αποσκοπούν στη μείωση των δεδομένων πριν αυτά εισαχθούν στον αλγόριθμο ταξινόμησης. Μια από αυτές είναι η ανάλυση παραγόντων (factor analysis) η οποία αποβλέπει στην αντικατάσταση των  $N$  αρχικών μεταβλητών από  $M$  λιγότερες, νέες μεταβλητές που συγκρατούν την χρήσιμη πληροφορία. Πρακτικά οι καινούριες μεταβλητές μπορεί να είναι το 20% των παλιών. Στη δεκαετία του 1970 διεξάχθηκαν αρκετές οικολογικές μελέτες βασισμένες στην ανάλυση παραγόντων. Η μέθοδος όμως αυτή δεν είναι σήμερα ιδιαίτερα χρήσιμη. Ειδικότερα οι νέοι παράγοντες καθρεφτίζουν την εκλογή των αρχικών, δεν εξηγούνται γεωγραφικά και η διαδικασία της ονοματολογίας των νέων παραγόντων είναι υποκειμενική και δύσκολη (Openshaw, 1996).

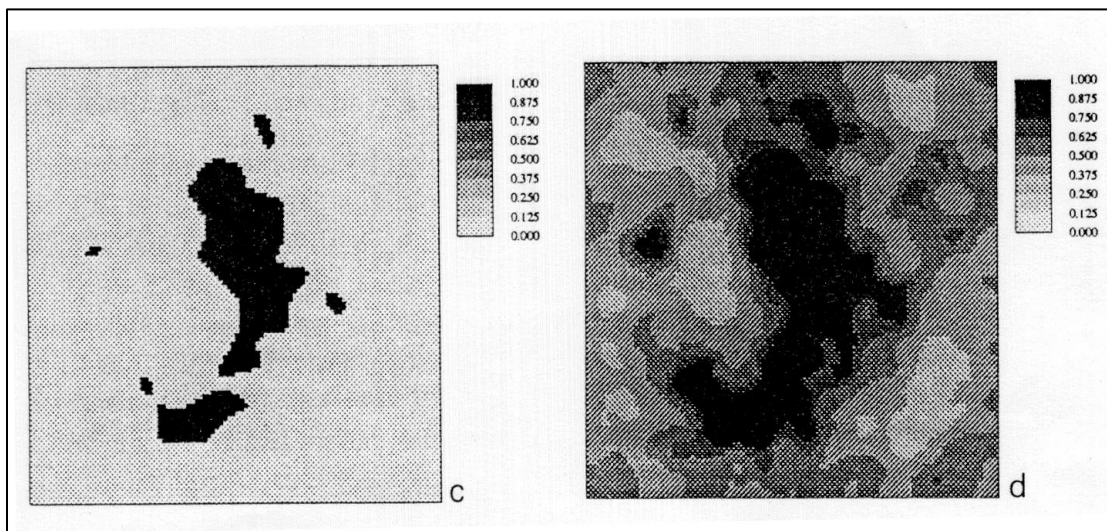
Ένα σημαντικό μειονέκτημα στους στατιστικούς αλγόριθμους ταξινόμησης, είναι ότι κάθε σημείο στο  $X$  είναι μονοσήμαντα ομαδοποιημένο με άλλα μέλη της δικής του ομάδας και έτσι δεν έχει εμφανή ομοιότητα με άλλα μέλη του  $X$ . Ένα άλλο πρόβλημα είναι η παρουσία σημείων που δεν μπορούν εύκολα να ομαδοποιηθούν ή βρίσκονται εκτός. Εκτρεπόμενα σημεία μπορεί να είναι πραγματικά εκτός, να είναι θόρυβος (noise) ή απλά να οφείλονται σε μετρητικά λάθη. Πάντως ιδιορρυθμίες αυτού του τύπου μπορούν να προκαλέσουν δυσκολίες στους στατιστικούς αλγόριθμους. Ένα άλλο μειονέκτημα των στατιστικών αλγόριθμων είναι ότι μπορεί να κολλήσουν σε ένα τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο, ενώ τα δεδομένα υποτίθεται ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι στατιστικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης προέρχονται από τη δεκαετία του 1960 ή του 1970 όταν οι Η/Υ ήταν αρκετά πιο αργοί και ο χρόνος υπολογισμού είχε μεγάλο κόστος. Για αυτό τον λόγο αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου και του κόστους της επεξεργασίας. Πλέον, αυτοί οι παράγοντες δεν είναι πια περιοριστικοί.

Σε αντίθεση με την στατιστική ταξινόμηση, οι μέθοδοι της τεχνητής νοημοσύνης διαχειρίζονται με μεγαλύτερη επιτυχία πολλά από τα προβλήματα που αναφέρθηκαν, αλλά η χρήση τους ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 3.5. Η Μέθοδος της Ασαφούς Ταξινόμησης – Fuzzy C-Means

Η ταξινόμηση, όπως αναφέρθηκε, είναι η διαδικασία του διαχωρισμού των δεδομένων βάσει μιας ιδιότητάς τους ή ενός χαρακτηριστικού γνωρίσματός τους. Έτσι, η ταξινόμηση πραγματοποιείται στον χώρο των ιδιοτήτων, όπου τα όρια των κλάσεων καθορίζονται σαν συναρτήσεις των χαρακτηριστικών  $z$ . Εξ' ορισμού, οι ασαφείς κλάσεις έχουν συνεχή όρια στο χώρο των ιδιοτήτων (σχήμα 3.5.1.), αλλά αυτό δεν συμβαίνει απαραίτητα και στο γεωγραφικό χώρο, καθώς η χωρική συνοχή εξαρτάται από τη χωρική διασπορά των τιμών της συνάρτησης συμμετοχής. Ωστόσο ακόμα και ελλείψει χωρικής δομής, τα διαβαθμισμένα όρια και οι αλληλοεπικαλύψεις των τάξεων στην ασαφή ταξινόμηση μπορούν να παραστήσουν και να παρουσιάσουν τον χώρο των ιδιοτήτων (P. Burrough, 1992).



Σχήμα 3.5.1. α) Στατιστική ταξινόμηση β) Ασαφής ταξινόμηση (από P. Burrough, 1992).

Ο αλγόριθμος Fuzzy C-Means (Bezdek, 1973) είναι ένας από τους πιο γνωστούς και αποδοτικούς αλγορίθμους ασαφούς ταξινόμησης (Σταφυλοπάτης και Μπλέκας 1996). Προϋποθέτει ότι ο αριθμός των κλάσεων είναι γνωστός εκ των προτέρων και προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει μια αντικειμενική συνάρτηση για τον προσδιορισμό των καλύτερων κλάσεων.

Συνοπτικά έχει ως εξής: Έστω ότι το  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  καθορίζει ένα σύνολο σημείων (διανυσμάτων) στο  $R^p$  και ότι το  $c$  είναι ένας ακέραιος,  $1 < c < n$ . Κάθε  $X_j$  είναι η αριθμητική παράσταση  $p$  στοιχείων που συνδέονται με ένα φυσικό αντικείμενο. Δεδομένου του  $X$ , μια ασαφής  $c$  διαίρεση του  $X$  παρίσταται με έναν  $c \times n$  ασαφή πίνακα διαίρεσης  $U = [u_{ij}]$  (α) που ικανοποιεί τις εξής συνθήκες:



$$0 < u_{ij} < 1 \quad 1 < i < c, 1 < j < n$$

$$\sum_{i=1}^N u_{ik} \geq C$$

$$1 < i < c$$

$$\sum_{i=1}^N u_{ik} = 1$$

$$1 < j < n$$

Στην εξίσωση (α), το  $u_{ij}$  είναι μια συνάρτηση που λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $\{0,1\}$ . Για τις ακραίες τιμές 0 και 1 το αποτέλεσμα είναι μια συμπαγής διαίρεση του πίνακα διαίρεσης.

Πολλά κριτήρια ελέγχου ταξινόμησης έχουν προταθεί για την αναγνώριση ασαφών  $c$ -διαιρέσεων στο  $Y$ . Από αυτά το πιο διαδεδομένο και καλά μελετημένο σαν μέθοδος είναι αυτό που σχετίζεται με τη γενικευμένη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (των λαθών) που είναι ιδιαίτερα λειτουργική και πρακτική :

$$J_m(U,V) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m D_{ij}(\beta)$$

Η εξίσωση (β) περιέχει έναν αριθμό μεταβλητών που είναι οι εξής :

- $Y = \{ y_1, y_2, \dots, y_N \} \subset \mathbb{R}^n =$  δεδομένα ( $\gamma_1$ )
- $c =$  αριθμός των ομάδων στο  $Y$  ( $\gamma_2$ )
- $m =$  εκθέτης βάρους,  $1 \leq m < \infty$  ( $\gamma_3$ )
- $U =$  ασαφής  $c$ -διαίρεση του  $Y$ ,  $U \in M_{fc}$  ( $\gamma_4$ )

- $V = (u_1, u_2, \dots, u_c) =$  διανύσματα των κέντρων ( $\gamma^5$ )

ενώ η απόσταση που φαίνεται στην εξίσωση ( $\beta$ ) είναι η ευκλείδεια απόσταση:

$$D_{ik} = \|y_k - u_i\|_A^2 = (y_k - u_i)^T A (y_k - u_i)$$

Ο ρόλος που παίζουν όλες σχεδόν οι μεταβλητές στις σχέσεις ( $\gamma_i$ ) είναι σαφής. Δύο όμως από τις παραμέτρους του  $J_m$ , αξίζει να διευκρινισθούν περαιτέρω, το  $m$  και το  $A$ . Ο εκθέτης βάρους  $m$  κοντρολάρει τα σχετικά βάρη που “μπαινούν” σε κάθε τετράγωνο λάθους  $d_{ik}^2$ . Όσο το  $m$  τείνει στο 1 ( $m \rightarrow 1$ ), όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι διαιρέσεις οι οποίες ελαχιστοποιούν το  $J_m$  γίνονται όλο και περισσότερο συμπαγείς, και όπως προαναφέρθηκε όταν  $m = 1$  είναι εντελώς συμπαγείς. Αντίστροφα, κάθε είσοδος των βέλτιστων  $\hat{U}$  στο  $J_m$ , πλησιάζει το  $(1/c)$  όσο το  $m$  τείνει στο  $\infty$  ( $m \rightarrow \infty$ ). Συνεπώς το  $m$  αυξανόμενο, τείνει να ευτελίσει τη συμμετοχή κατά το στάδιο της ασάφειας. Κάθε επιλογή του  $m$  καθορίζει, με όλες τις άλλες παραμέτρους καθορισμένες, έναν FCM αλγόριθμο. Καμιά θεωρητική ή υπολογιστική ένδειξη δεν διακρίνει ένα βέλτιστο  $m$ . Το διάστημα των χρήσιμων τιμών φαίνεται να είναι το  $[1, 30]$  περίπου. Πάντως, η καλύτερη στρατηγική επιλογής του  $m$  είναι η εμπειρία. Για τα περισσότερα δεδομένα, το  $15 \leq m \leq 30$  δίνει καλά αποτελέσματα.

Η άλλη μεταβλητή του  $J_m$ , η οποία αξίζει να αναφερθεί, είναι ο πίνακας βάρους  $A$ . Αυτός ο πίνακας ελέγχει το σχήμα που παίρνουν οι ομάδες στο  $R^n$ . Όταν  $A = I$ , η  $J_m$  ταυτίζεται με υπερσφαιρικές ομάδες. Για οποιοδήποτε άλλο  $A$ , οι ομάδες είναι απαραίτητα, υπερ-ελλειψοειδείς. Η Ευκλείδεια Νόρμα είναι η μόνη επιλογή για την οποία υπάρχουν επαρκή εμπειρικά δεδομένα.

Βέλτιστες ταξινομήσεις του  $Y$ , ορίζονται τα ζεύγη  $(\hat{U}, \hat{u})$  που τοπικά ελαχιστοποιούν το  $J_m$ . Οι απαραίτητες συνθήκες για το  $m = 1$  είναι γνωστές (αλλά δύσκολο να χρησιμοποιηθούν γιατί το  $M_c$  είναι διακριτό αλλά μεγάλο). Για  $m > 1$  αν  $y_k \neq u_j$  για όλα τα  $j$  και  $k$ , τα  $(\hat{U}, \hat{u})$  μπορεί να είναι τοπικά βέλτιστα για την  $J_m$  μόνο όταν :

$$u_i = \sum_{k=1}^N (\hat{u}_{ik})^m y_k / \sum_{k=1}^N (\hat{u}_{ik})^m \quad 1 \leq i \leq c$$

Το ζήτημα είναι αν τα τοπικά ελάχιστα του  $J_m$  αποτελούν καλές ταξινομήσεις του  $Y$ . Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται συνήθως διάφορα κριτήρια “κύρους” για κάθε  $\hat{U}$ . Ανάμεσα στα πιο δημοφιλή είναι ο συντελεστής διαίρεσης και εντροπίας του  $\hat{U} \in M_{fc}$

Η μέθοδος της ασαφούς ταξινόμησης σε πολλές μεταβλητές δύσκολα οπτικοποιείται και αποτιμάται. Αυτό σχετίζεται με την εκλογή των  $K$  και  $m$  μεταβλητών δηλαδή τον αριθμό των κλάσεων και το ποσό της ασάφειας που επιτρέπεται. Η παράμετρος  $m$  ελέγχει το ποσοστό ασάφειας των τάξεων. Η απόδοση του αλγόριθμου Fuzzy C-Means εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή της. Μια πρόσθετη δυσκολία είναι ότι η βέλτιστη ασάφεια μπορεί να εξαρτάται από τον αριθμό των κλάσεων και αντίστροφα.

Άλλα τρέχοντα προβλήματα του Fuzzy C-Means είναι η επιλογή των ιδιοτήτων που εισάγονται στο μοντέλο και η μέτρηση της απόστασης. Αυτές οι επιλογές μαζί, ορίζουν το βαθμό και το σχήμα της ασάφειας αλλά και τον τρόπο με τον οποίο οι ιδιότητες συμμετέχουν στο μοντέλο. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο βαθμός της ασάφειας είναι πάντα υποτιθέμενα ίσος για όλες τις κλάσεις. Το κριτήριο τερματισμού της επαναληπτικής διαδικασίας εύρεσης των κέντρων των τάξεων είναι η πολύ μικρή αλλαγή στην συνάρτηση ελαχιστοποίησης, ή η σύγκλιση της συνάρτησης. Αν και η συνάρτηση μπορεί να συγκλίνει αυτό δεν σημαίνει ότι τερμάτισε.

## Κεφάλαιο 4 – Ανάλυση και αποτελέσματα

Με βάση τις αρχές εφαρμογής των δύο παραπάνω μεθόδων, τις ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά της κάθε μίας από αυτές, στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων όλων των επιμέρους αναλύσεων, όπως αυτά προέκυψαν με τη βοήθεια των στατιστικών εργαλείων σε περιβάλλον NCSS. Το συγκεκριμένο λογισμικό επιλέχθηκε όχι μόνο λόγω των δυνατοτήτων του, αλλά και λόγω της δυνατότητάς του να διαχειρίζεται κενά στα δεδομένα (NULLS). Η επιλογή κάποιου άλλου λογισμικού λόγω της προαναφερθείσας μορφής των δεδομένων κρίθηκε απαγορευτική, καθώς τα κενά θα έπρεπε να υπολογιστούν ή να αντικατασταθούν με μηδενικά. Μια τέτοια παρέμβαση όπως είναι απόλυτα λογικό, εκτός από μαθηματικό λάθος, θα είχε καταστροφικές συνέπειες στα αποτελέσματα των μεθόδων και θα αναιρούσε την αρχή των αμερόληπτων δεδομένων, η οποία απαιτείται στις εφαρμογές της Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε μορφή εικόνων και συγκεντρωτικών πινάκων, τα οποία στη συνέχεια θα σχολιαστούν.

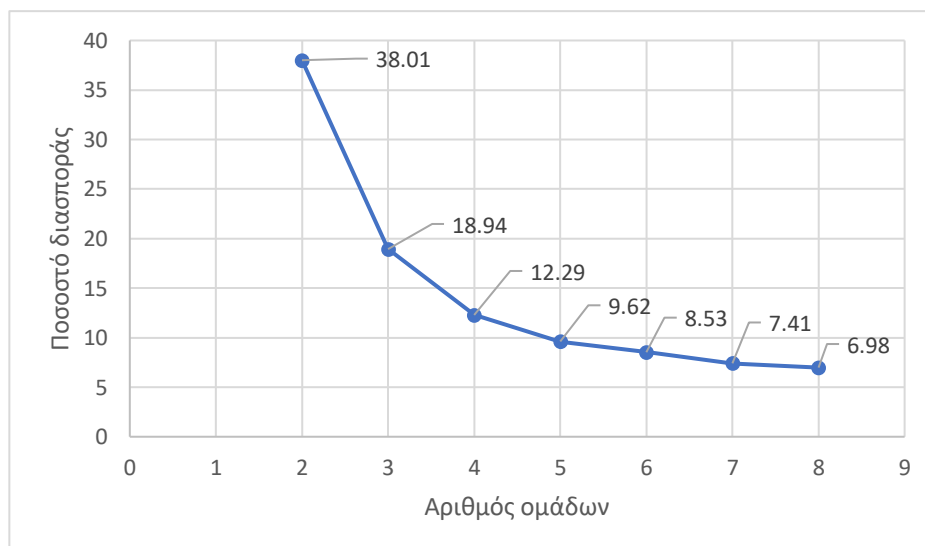
### 4.1. Αποτελέσματα με τη μέθοδο K-Means

Η πρώτη μέθοδος που εφαρμόστηκε για την πραγματοποίηση της ανάλυσης είναι αυτή της ταξινόμησης με εφαρμογή του Αλγορίθμου K-Means. Για την ορθή εφαρμογή αυτού, απαιτήθηκε επιπλέον επεξεργασία των τελικών βάσεων δεδομένων, ώστε αυτές να είναι στην απαιτούμενη μορφή. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλάμβανε σε αρχικό σημείο τον καθορισμό του αριθμού των απαιτούμενων τάξεων, όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο ξεχωριστό υποκεφάλαιο, λόγω της υψηλής σημασίας αυτού του συγκεκριμένου σταδίου της ανάλυσης. Μετέπειτα, έχοντας πραγματοποιηθεί ο καθορισμός των δύο βέλτιστων πιθανών αριθμών ομάδων, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος στα αρχικά δεδομένα διαδοχικά, για τις Εισόδους και Εξόδους του 2019 και του 2020 αλλά και για τη συνολική Επιβατική Κίνηση (άθροισμα Εισόδων και Εξόδων για το κάθε υπό μελέτη έτος). Στη συνέχεια, ακριβώς η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για τα κανονικοποιημένα δεδομένα, με τις λεπτομέρειες του σταδίου αυτού να έχουν δοθεί επίσης σε επόμενο υποκεφάλαιο. Επιπρόσθετα, μετά την εφαρμογή της μεθόδου στις κανονικοποιημένες τιμές, έλαβε χώρα η ανάλυση του Ποσοστού Μεταβολής της συνολικής Επιβατικής Κίνησης μεταξύ 2019 και 2020 όπως θα παρουσιαστεί λεπτομερώς στη συνέχεια. Τέλος, με βάση το βέλτιστο αριθμό ομάδων της ταξινόμησης όπως αυτός προέκυψε από όλα τα παραπάνω βήματα, θα παρουσιαστούν τα τελικά αποτελέσματα και οι αντίστοιχες παρατηρήσεις.

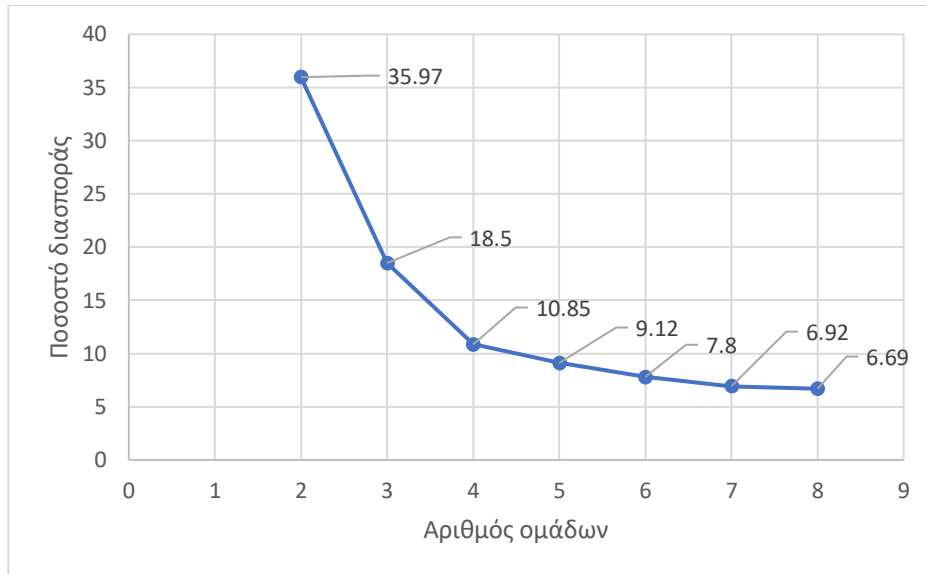
#### 4.1.1. Έλεγχος αριθμού ομάδων ταξινόμησης

Για την εύρεση του βέλτιστου αριθμού ομάδων της ταξινόμησης απαιτήθηκε η επαναληπτική εφαρμογή του αλγορίθμου για τις 335 μεταβλητές από δύο έως οκτώ πιθανές ομάδες. Το ίδιο το λογισμικό, με βάση τα εργαλεία του, σε κάθε εφαρμογή της μεθόδου, παρήγαγε ειδική αναφορά με ποικιλία στατιστικών στοιχείων. Η αξιολόγηση επιλέχθηκε να γίνει τόσο με βάση συγκεκριμένα χρήσιμα στατιστικά αποτελέσματα, όσο και με τη χωρική απεικόνιση της ταξινόμησης, όπως άλλωστε έχει πραγματοποιείται κατά κόρον σε αντίστοιχες διερευνήσεις. Η συνδυαστική παρατήρηση των αποτελεσμάτων αυτών, οδήγησε στην τελική επιλογή των τάξεων.

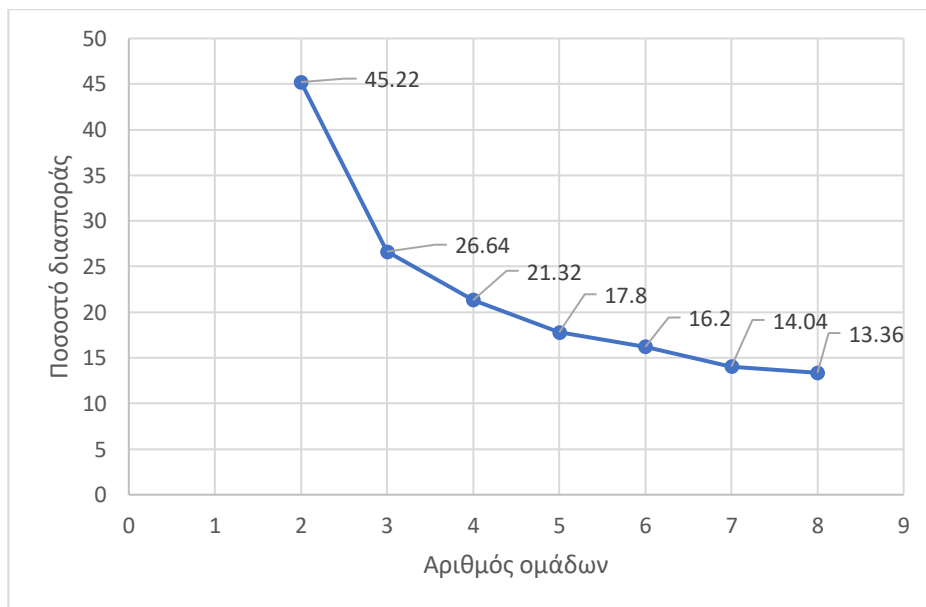
Στην παρούσα περίπτωση, και με βάση την αρχή λειτουργίας του αλγορίθμου, αξιοποιήθηκε το ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων, όπως αυτό προέκυψε από όλες τις επαναλήψεις για τον εκάστοτε αριθμό κλάσεων. Το στατιστικό αυτό αποτέλεσμα αντικατοπτρίζει το ποσοστό διασποράς που προκύπτει από την επιλογή του αριθμού ομάδων, σε σύγκριση με το αντίστοιχο ποσοστό διασποράς που θα προέκυπτε, σε περίπτωση που δεν πραγματοποιούνταν κάποια ταξινόμηση σε ομάδες. Όπως είναι λογικό, η αύξηση των ομάδων συνεπάγεται και μείωση του ποσοστού διασποράς, όπως μάλιστα και επιβεβαιώθηκε από την εφαρμογή της μεθόδου. Συνεπώς, σε ένα ιδεατό ιδανικό σενάριο όπου η καθεμία από τις 335 μεταβλητές θα ήταν και μια ομάδα, το ποσοστό διασποράς θα ήταν μηδενικό. Ωστόσο, η δημιουργία ενός τέτοιου σεναρίου δε θα είχε κανένα απολύτως νόημα. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η καμπύλη του ποσοστού διασποράς, σε συνάρτηση με τον αριθμό ομάδων για τις εισόδους και εξόδους των δύο ετών.



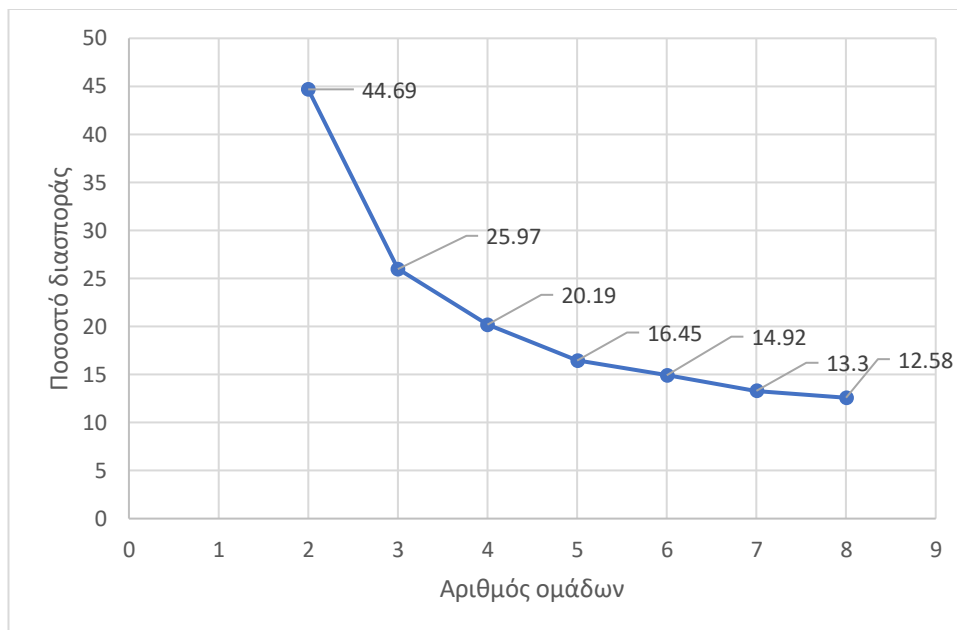
Σχήμα 4.1.1. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Είσοδοι 2019).



Σχήμα 4.1.2. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Έξοδοι 2019).



Σχήμα 4.1.3. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Είσοδοι 2020).

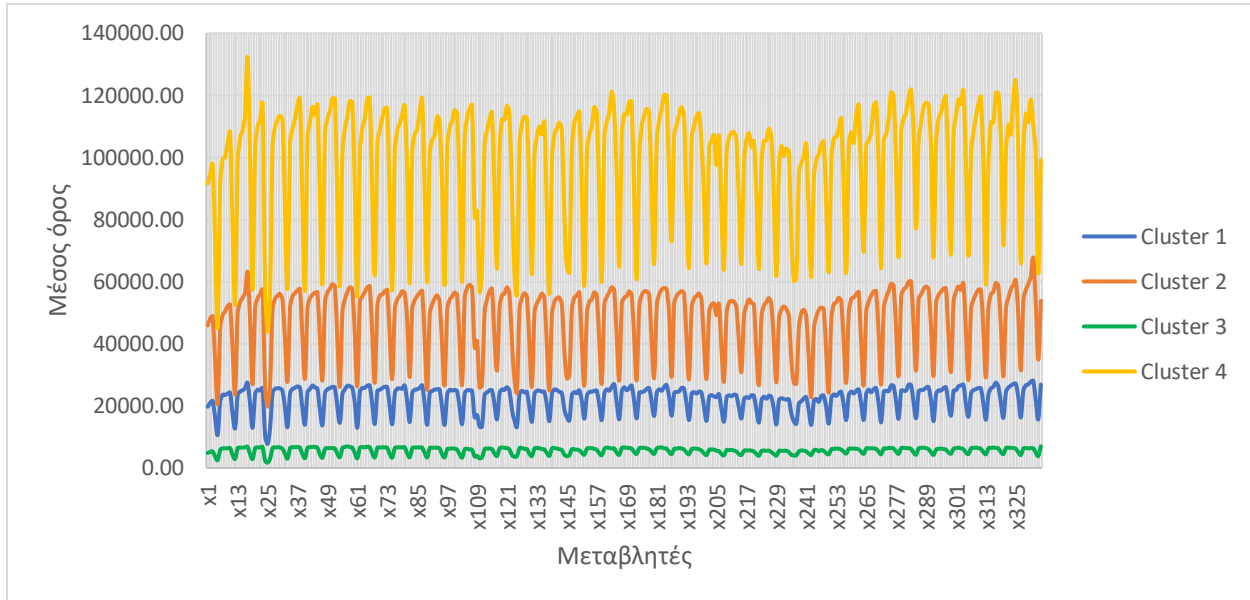


Σχήμα 4.1.4. Ποσοστό διασποράς ανά αριθμό ομάδων (Έξοδοι 2020).

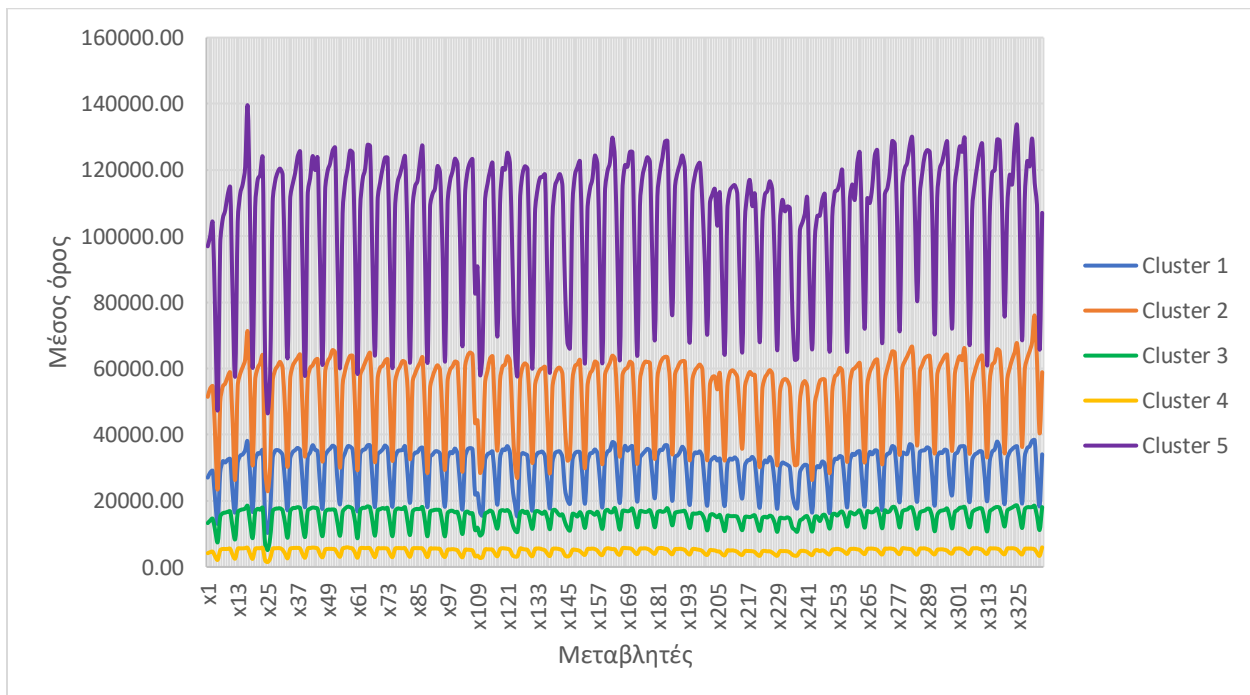
Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, όπως είναι αναμενόμενο, η καμπύλη αυτή είναι φθίνουσα. Για την εύρεση του βέλτιστου ή των βέλτιστων πιθανών αριθμών κλάσεων για την ταξινόμηση, επιλέγεται το σημείο της καμπύλης στο οποίο η γραφική παράσταση αρχίζει να παρουσιάζει σταθεροποίηση της κλίσης της. Καθώς όπως έχει ήδη τονιστεί ανωτέρω, η επιλογή του αριθμού των κλάσεων της ταξινόμησης είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο, αλλά και καθοριστικό για την επιτυχή εφαρμογή του αλγορίθμου καθώς και τον ορθό σχολιασμό των αποτελεσμάτων, σε αυτή τη φάση και με βάση τα διαγράμματα, υποψήφιοι βέλτιστοι αριθμοί ομάδων προέκυψαν οι 4 ή οι 5 κλάσεις. Για την τελική επιλογή έλαβε χώρα επιπλέον έλεγχος, όπως αυτός θα παρουσιαστεί παρακάτω.

#### 4.1.2. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων ταξινόμησης

Με βάση τα στατιστικά αποτελέσματα του λογισμικού, τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τους μέσους όρους της καθεμίας από τις 335 μεταβλητές σε καθεμία από τις πιθανές ομάδες και για τις δύο περιπτώσεις (4 ή 5 κλάσεις).

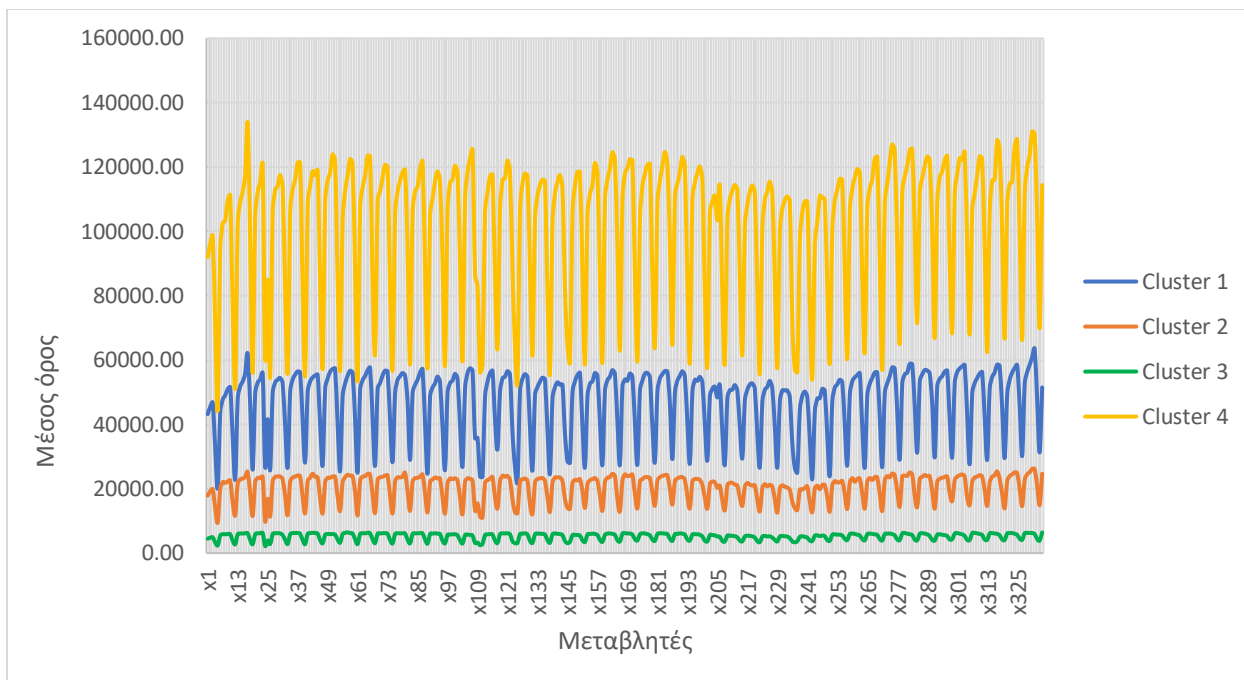


Σχήμα 4.1.5. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2019-4 κλάσεις).

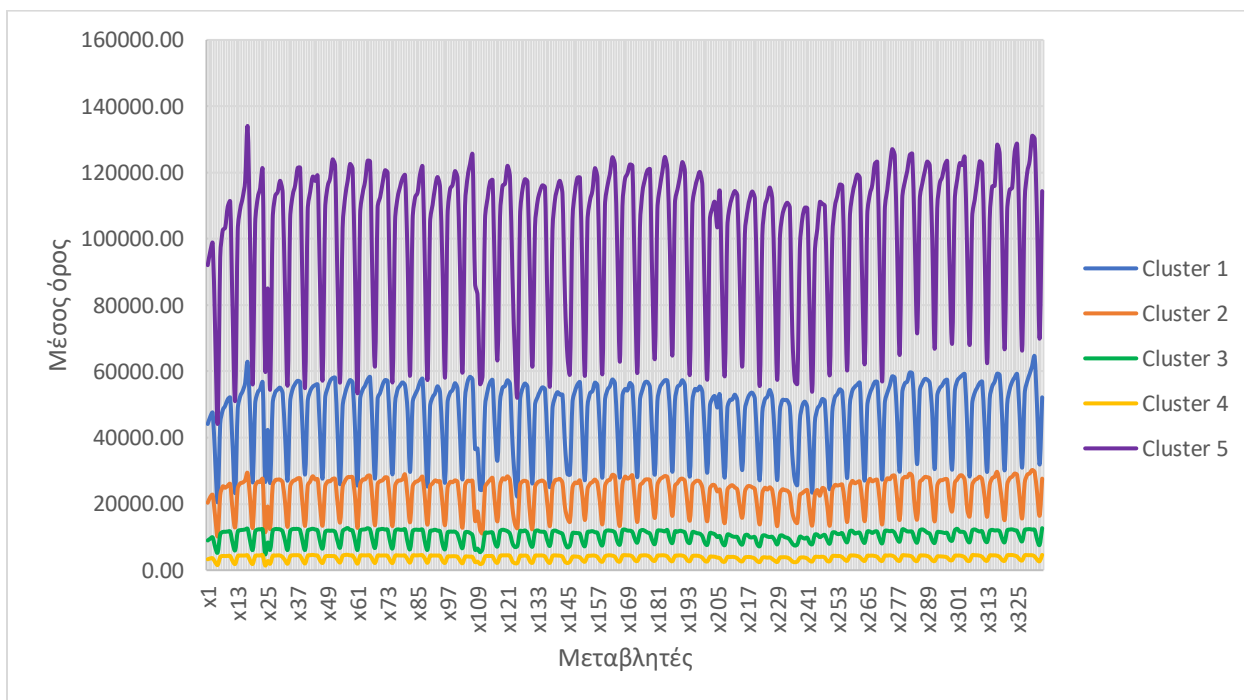


Σχήμα 4.1.6. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2019-5 κλάσεις).

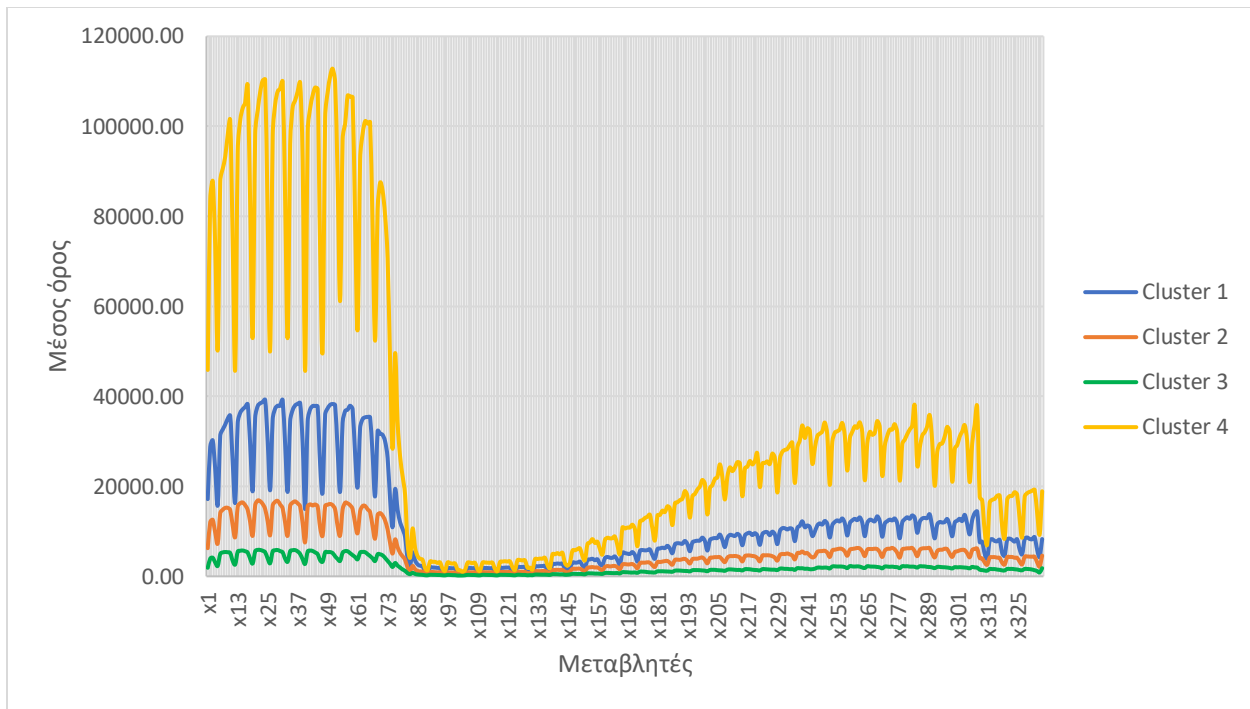




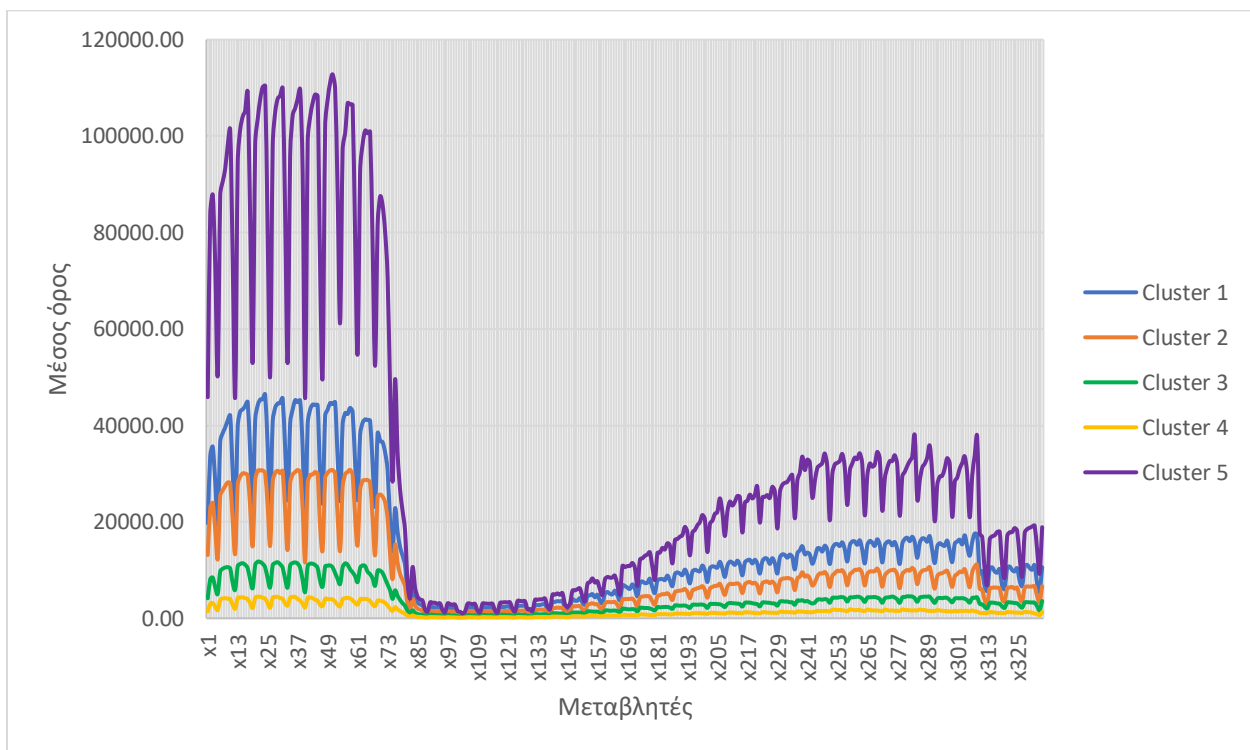
Σχήμα 4.1.7. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Έξοδοι 2019-4 κλάσεις).



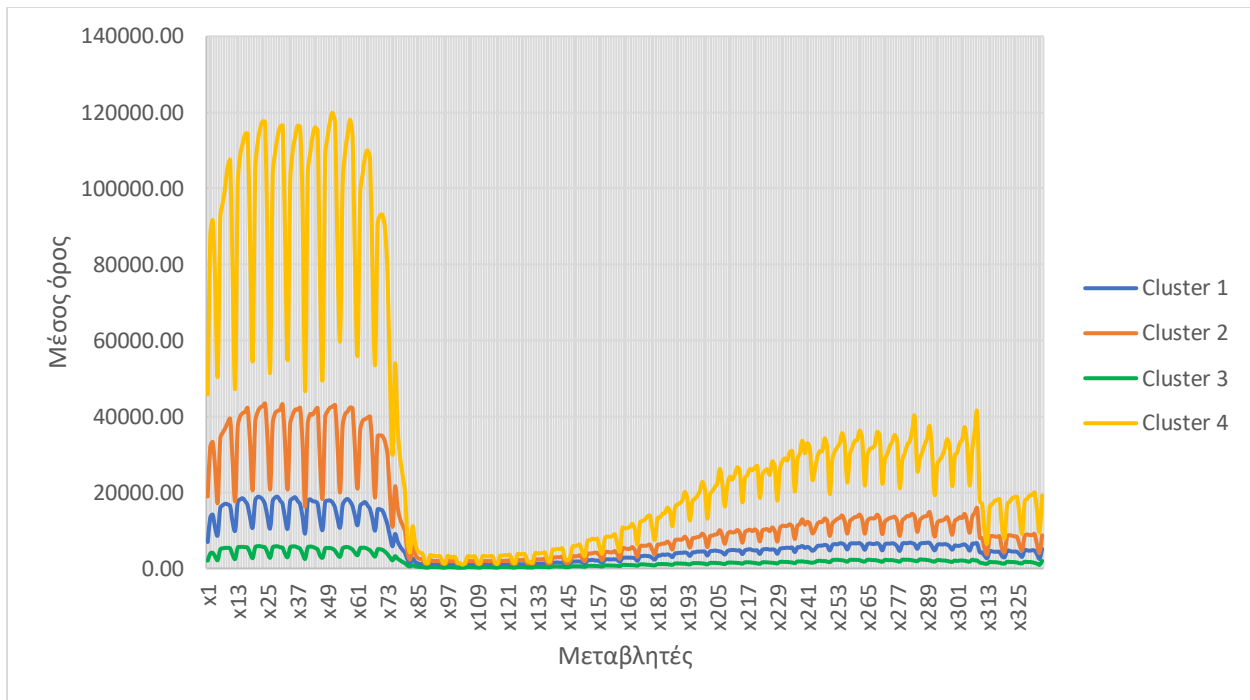
Σχήμα 4.1.8. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Έξοδοι 2019-5 κλάσεις).



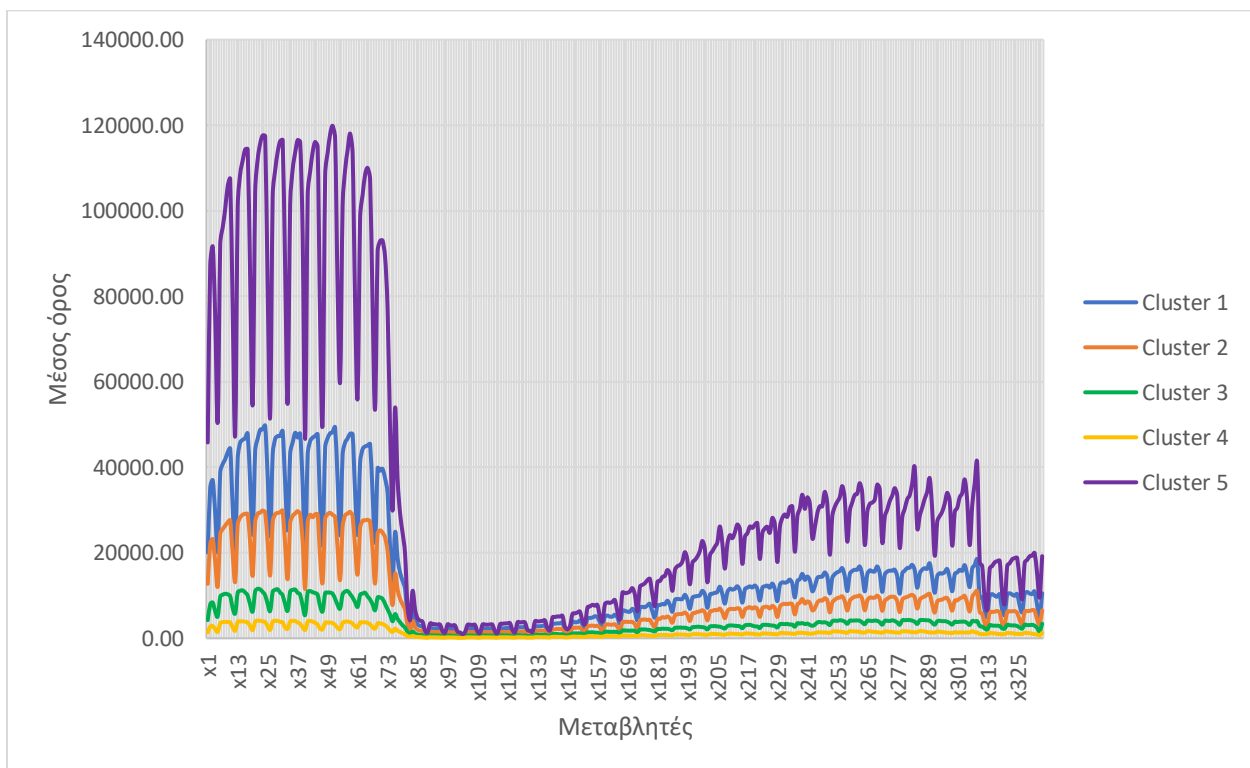
Σχήμα 4.1.9. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2020-4 κλάσεις).



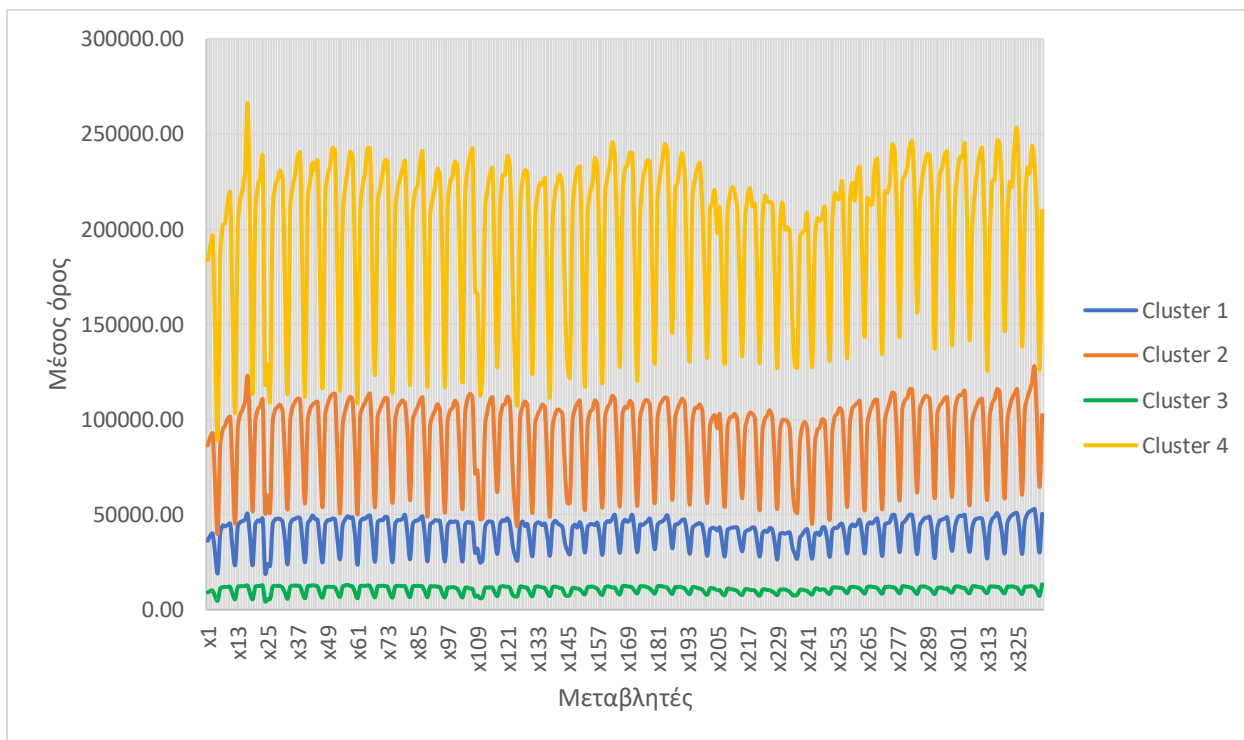
Σχήμα 4.1.10. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Είσοδοι 2020-5 κλάσεις).



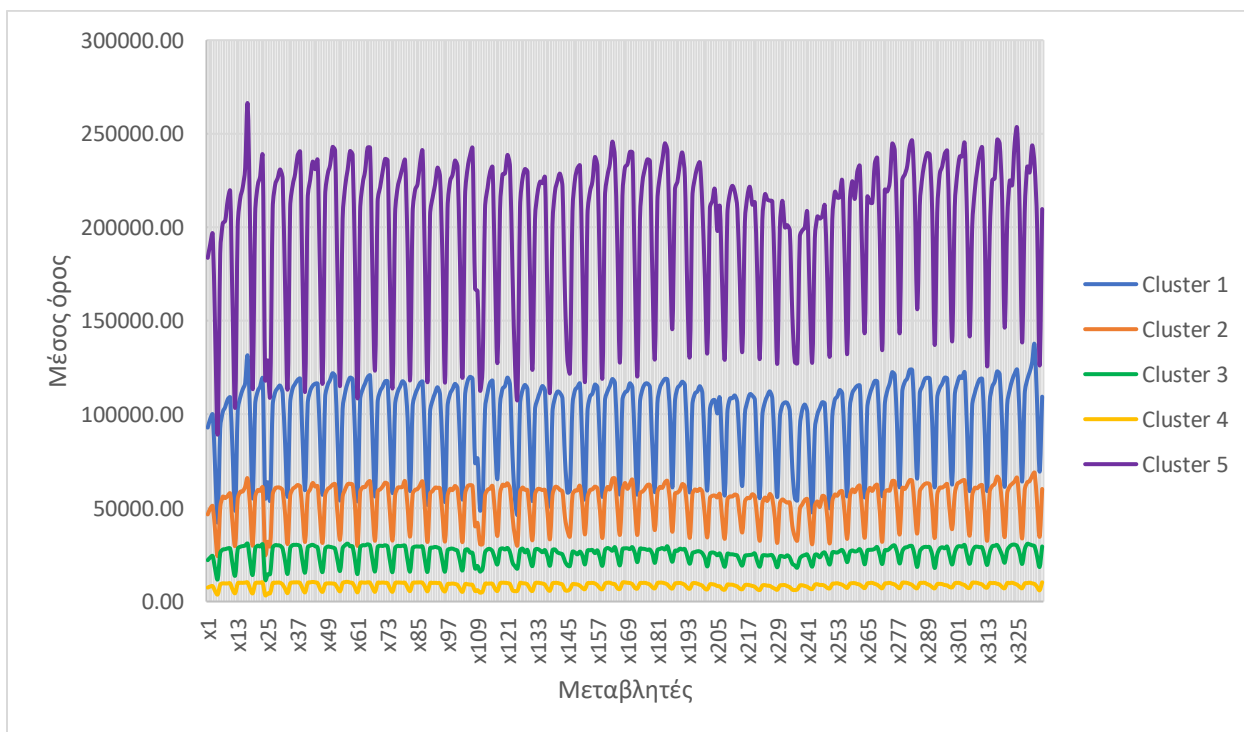
Σχήμα 4.1.11. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Έξοδοι 2020-4 κλάσεις).



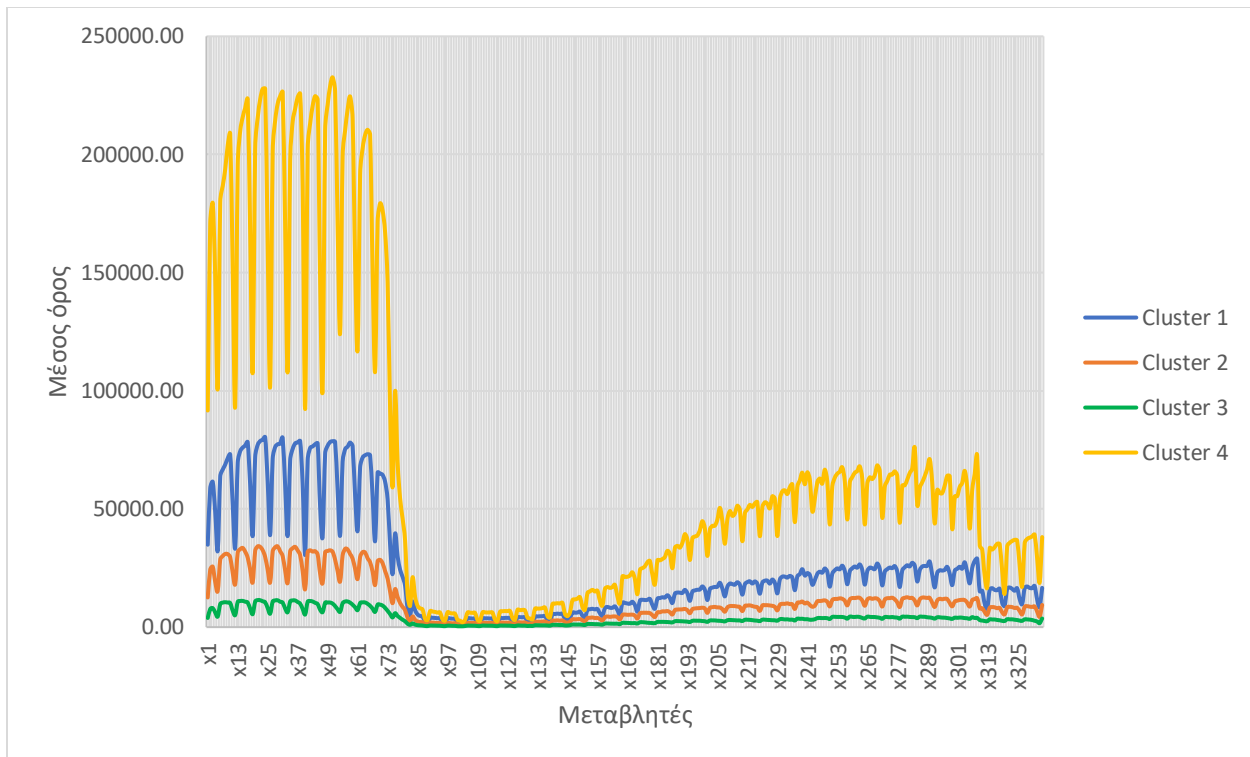
Σχήμα 4.1.12. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Έξοδοι 2020-5 κλάσεις).



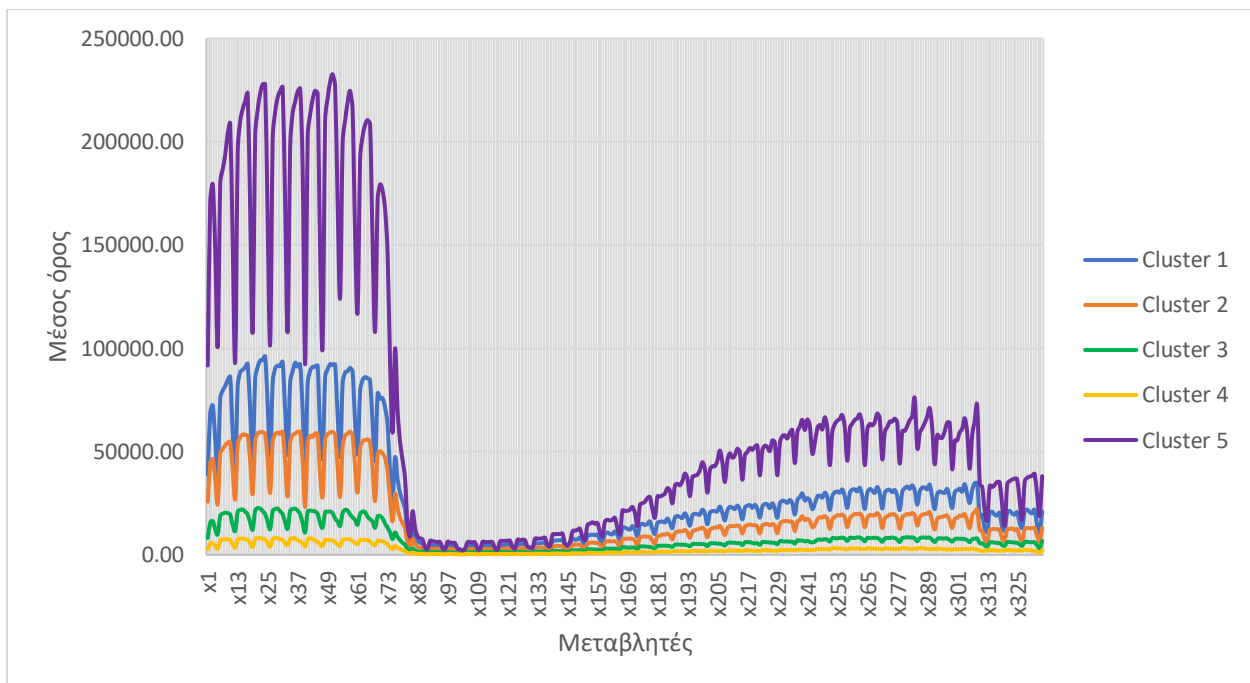
Σχήμα 4.1.13. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2019-4 κλάσεις).



Σχήμα 4.1.14. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2019-5 κλάσεις).



Σχήμα 4.1.15. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2020-4 κλάσεις).

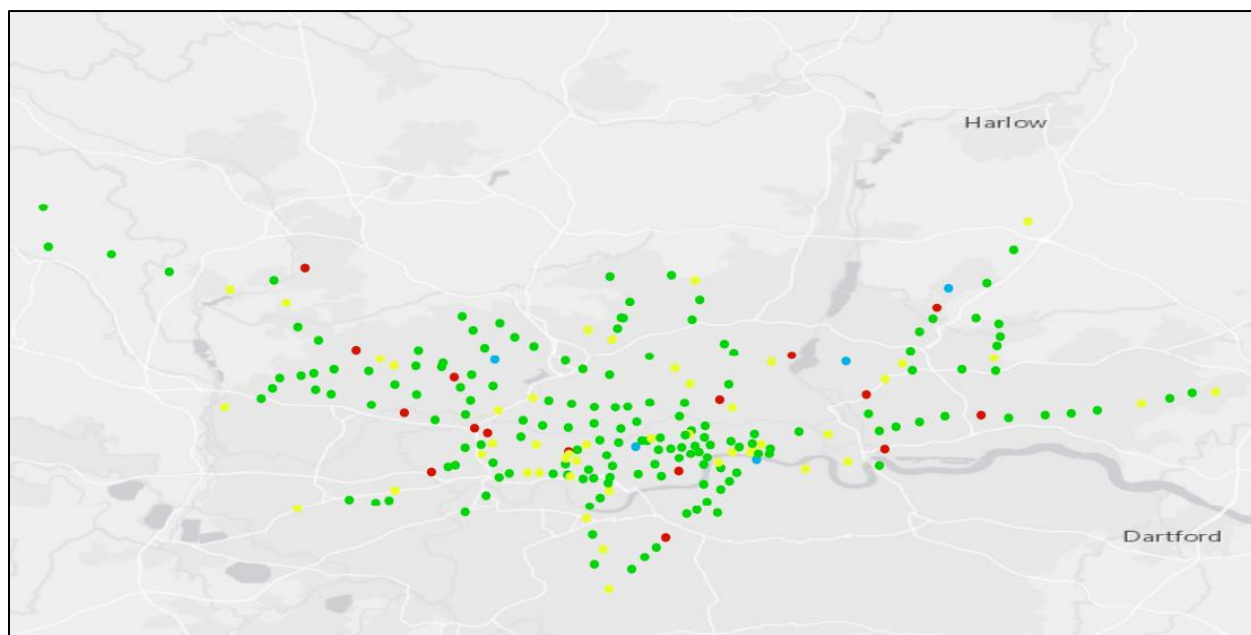


Σχήμα 4.1.16. Μέσοι όροι ανά μεταβλητή (Συνολική Επιβατική Κίνηση 2020-5 κλάσεις).

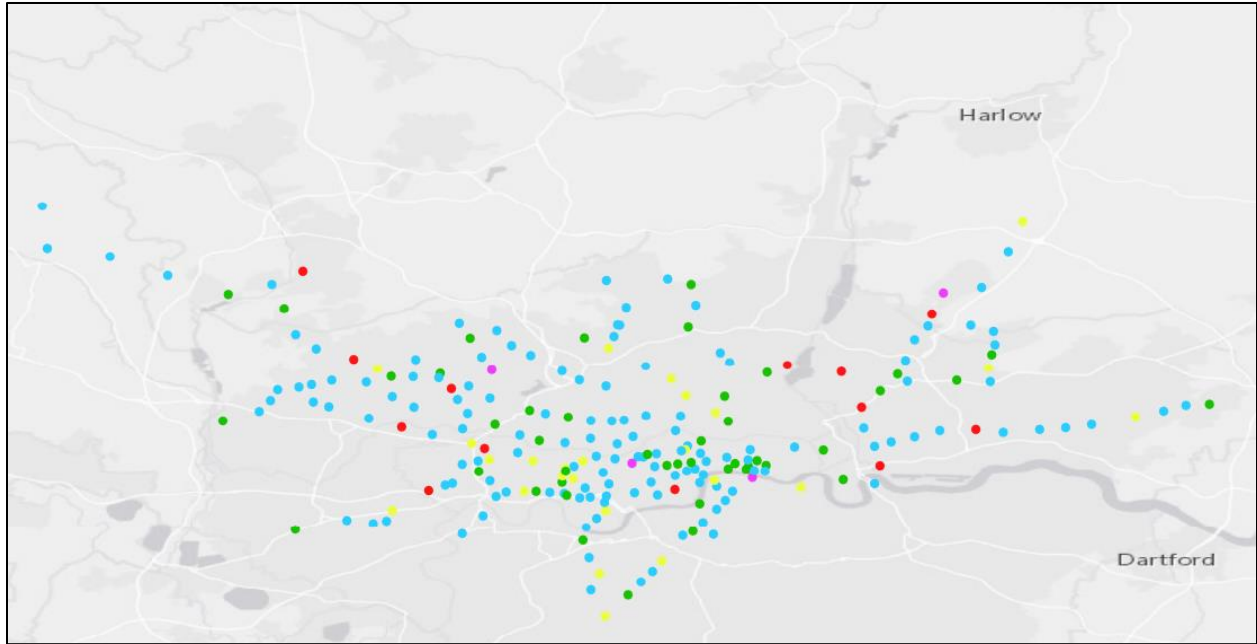
Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, τα παραπάνω διαγράμματα σχεδιάστηκαν τόσο για τις εισόδους και εξόδους των δύο ετών μελέτης, όσο και για τη συνολική επιβατική κίνηση ανά έτος, με σκοπό να παρατηρηθούν ομοιότητες ή και διαφορές. Ως αρχική παρατήρηση, αναφέρεται ότι ανεξαρτήτως του έτους ή του αριθμού των κλάσεων, σε όλα τα διαγράμματα, η καμπύλη που αντιστοιχεί σε κάθε κλάση, ακολουθεί την ίδια μορφή με τα διαγράμματα επιβατικής κίνησης, όπως αυτά δημιουργήθηκαν στο υποκεφάλαιο 3.2., το οποίο είναι απολύτως αναμενόμενο. Στη συνέχεια, εξετάζοντας όλα τα διαγράμματα και συγκρίνοντας μεταξύ τους σε όλες τις περιπτώσεις που αναφέρονται σε 4 και 5 κλάσεις αντίστοιχα, μπόρεσε να παρατηρηθεί ότι στις περιπτώσεις των τεσσάρων κλάσεων, οι γραφικές παραστάσεις ανά ομάδα, τείνουν να είναι πιο σαφώς διαχωρισμένες. Με άλλα λόγια, στα διαγράμματα που απεικονίζουν τις πέντε κλάσεις, οι πέντε γραφικές παραστάσεις τείνουν να τέμνονται σε περισσότερα σημεία, σε σχέση με αυτές που παρουσιάζονται στα διαγράμματα των τεσσάρων κλάσεων. Συμπερασματικά, σε αυτό το στάδιο, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν, ότι ο βέλτιστος αριθμός κλάσεων αναμένεται να είναι 4. Ωστόσο, η τελική απόφαση πάρθηκε μετά από περαιτέρω ανάλυση, εξετάζοντας τα χωρικά προφίλ, όπως αυτά προέκυψαν μετά την κατανομή των σταθμών στις αντίστοιχες κλάσεις τους.

#### 4.1.3. Ταξινόμηση αρχικών δεδομένων

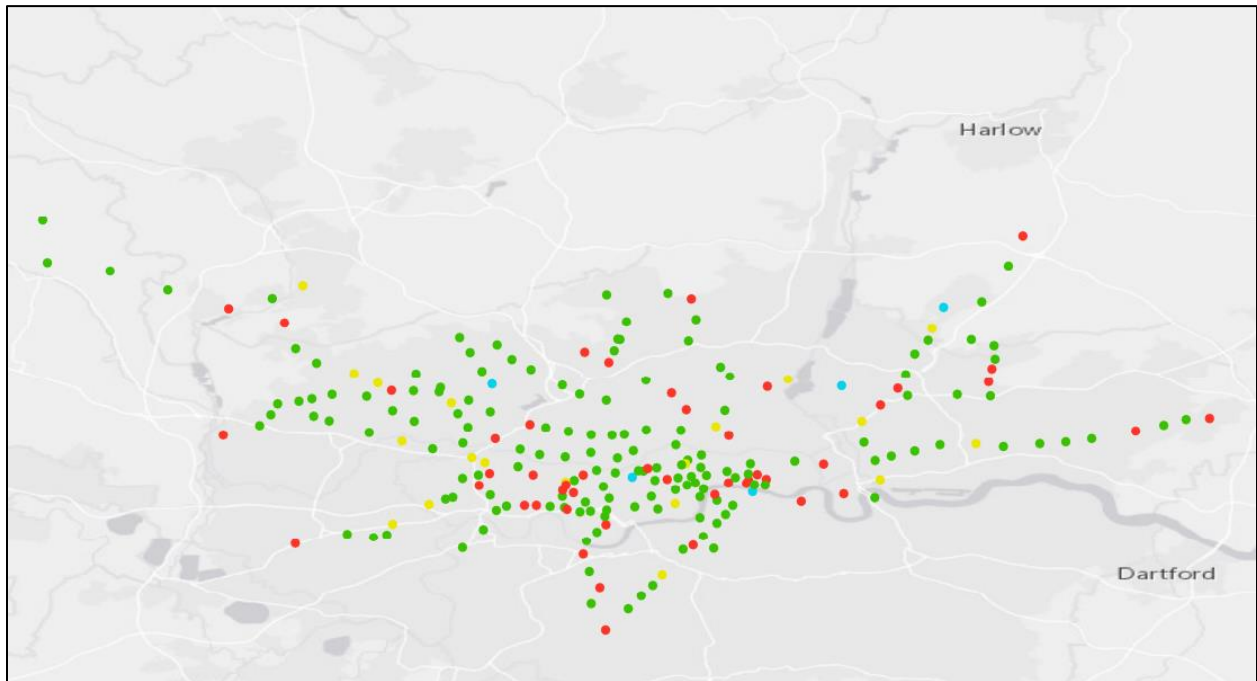
Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται σε μορφή εικόνων, οι ταξινομήσεις των αρχικών δεδομένων, όπως αυτές προέκυψαν με τη βοήθεια των εργαλείων του λογισμικού Arc-GIS. Οι παρακάτω χάρτες καλύπτουν όλες τις πιθανές περιπτώσεις, ήτοι τις ταξινομήσεις των εισόδων και των εξόδων για το 2019 και το 2020, αλλά και της συνολικής επιβατικής κίνησης και για τα δύο έτη. Στο στάδιο αυτό, δεν σχολιάστηκαν τα αποτελέσματα καθώς δεν πρόκειται για τις τελικές ταξινομήσεις. Ωστόσο, η παρουσίαση αυτών των χαρτών λειτούργησε ως αρωγή και ως το τελικό κριτήριο επιλογής του βέλτιστου αριθμού των κλάσεων των ταξινομήσεων. Σε όλες τις παρακάτω περιπτώσεις, η κάθε ομάδα απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα και ταυτόχρονα κοινό σε όλους τους χάρτες.



Σχήμα 4.1.17. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (4 ομάδες).

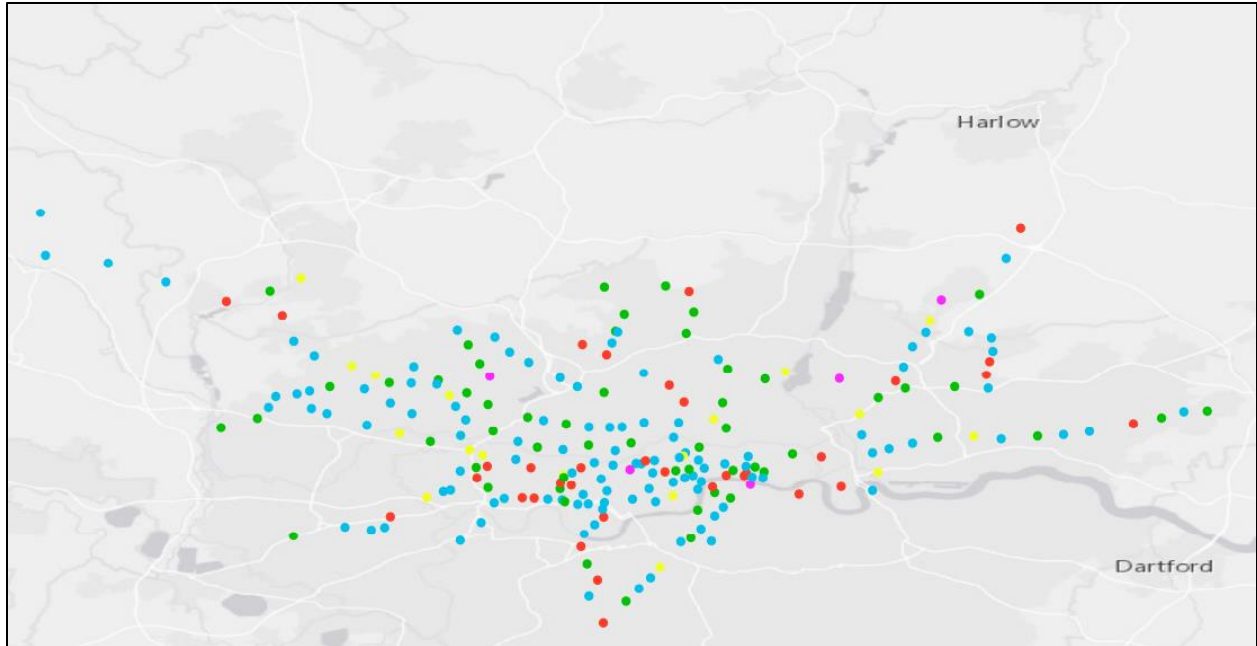


Σχήμα 4.1.18. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (5 ομάδες).

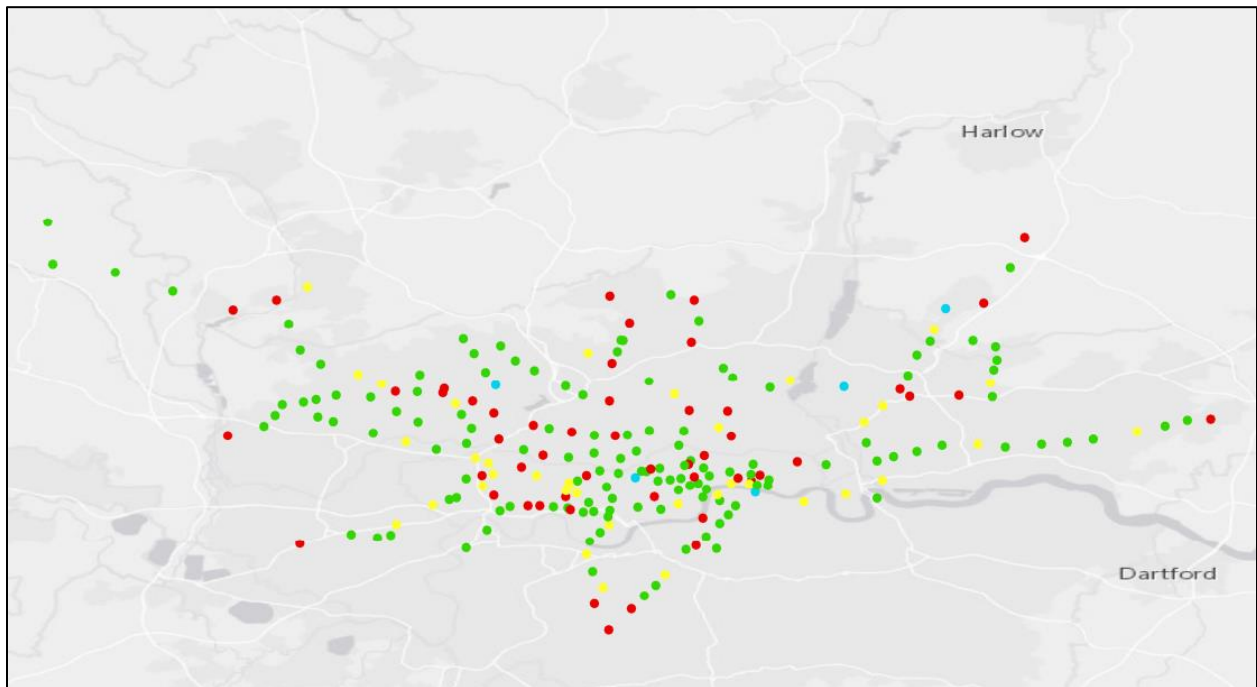


Σχήμα 4.1.19. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (4 ομάδες).

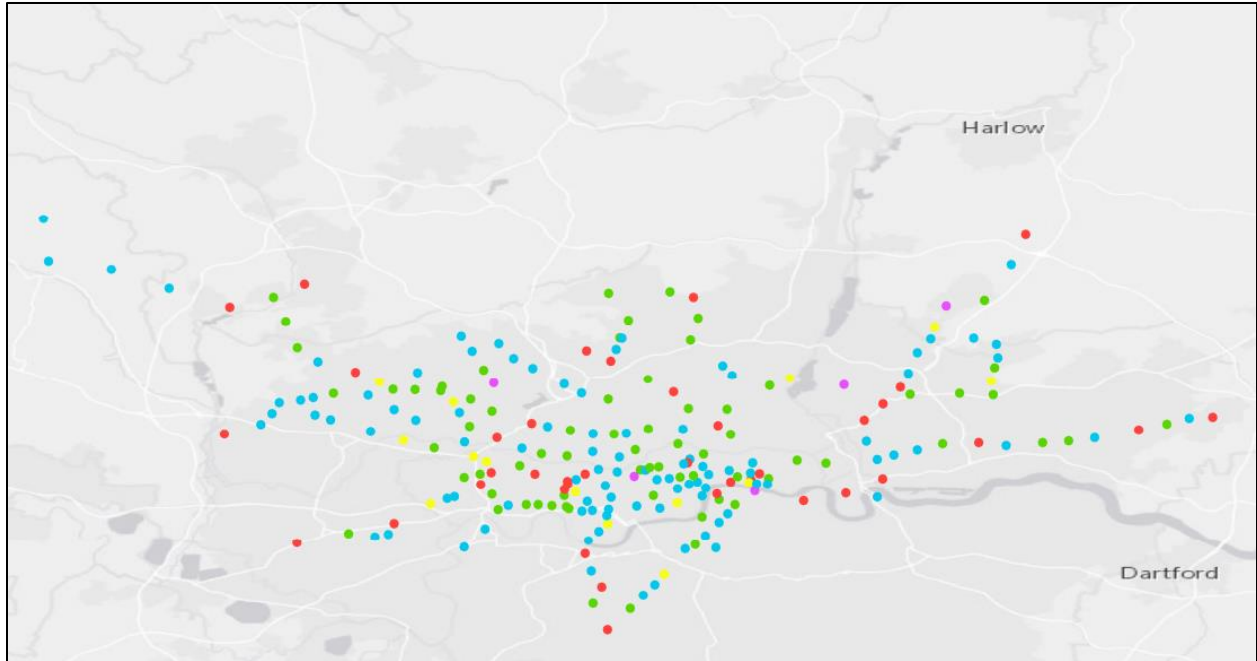




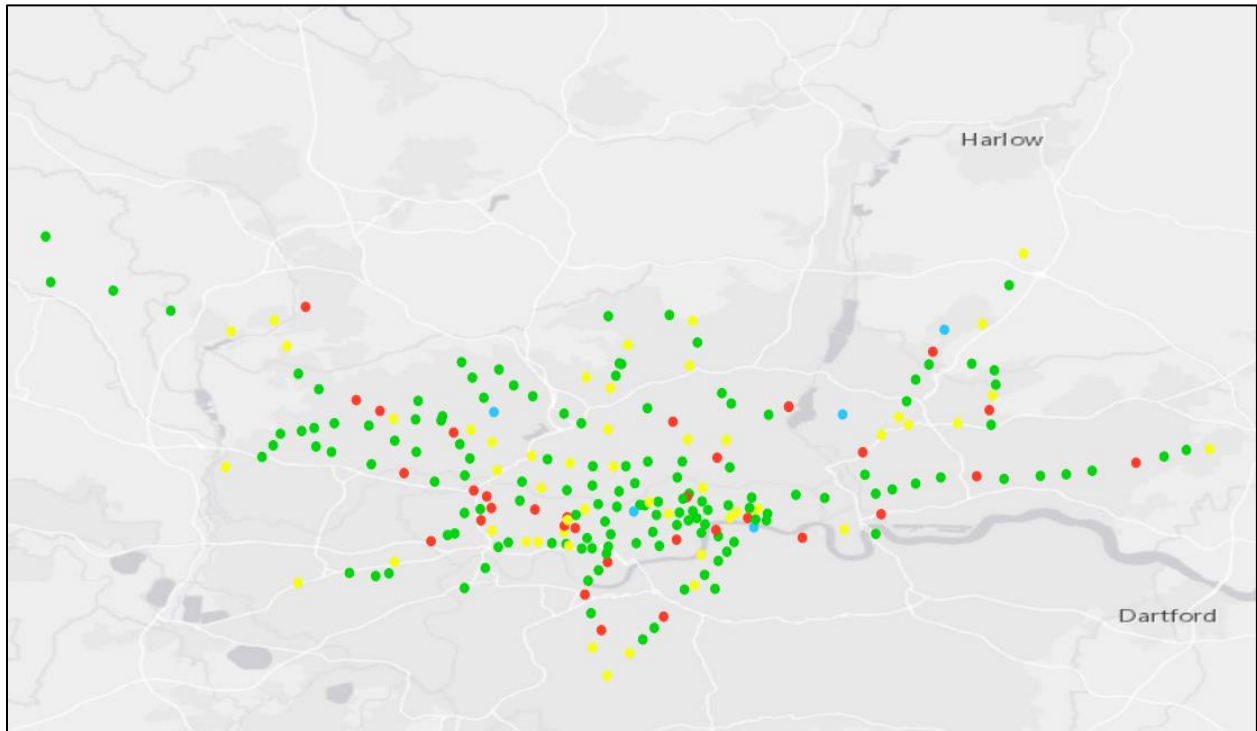
Σχήμα 4.1.20. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (5 ομάδες).



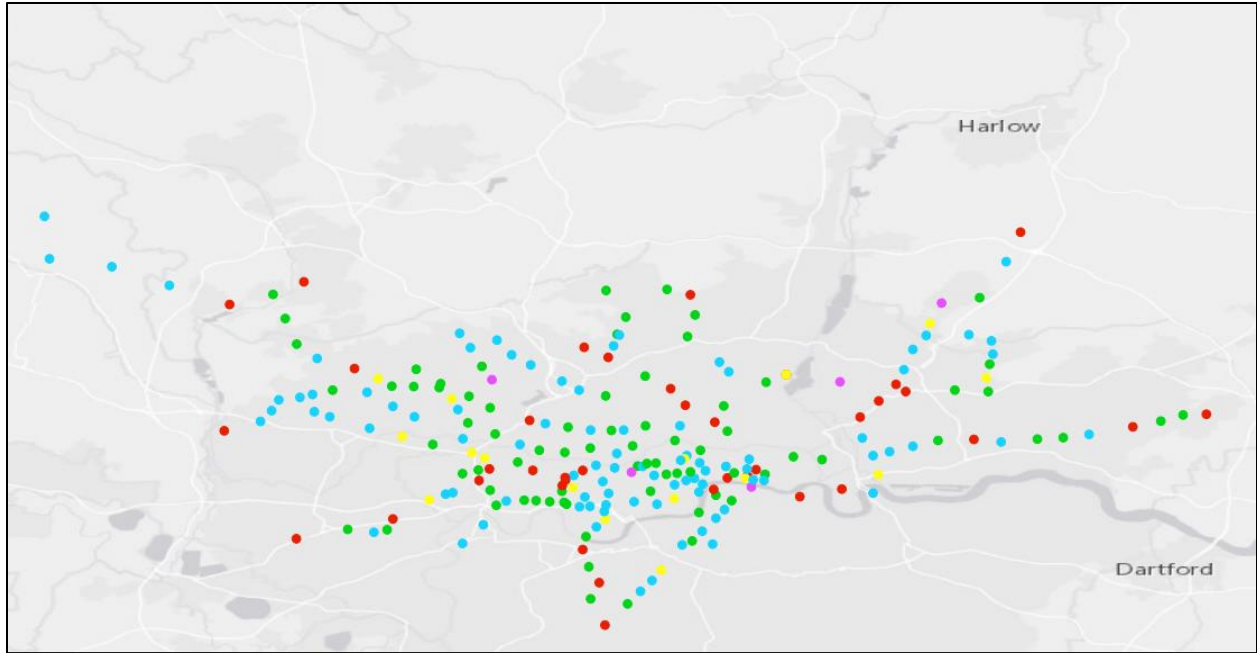
Σχήμα 4.1.21. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (4 ομάδες).



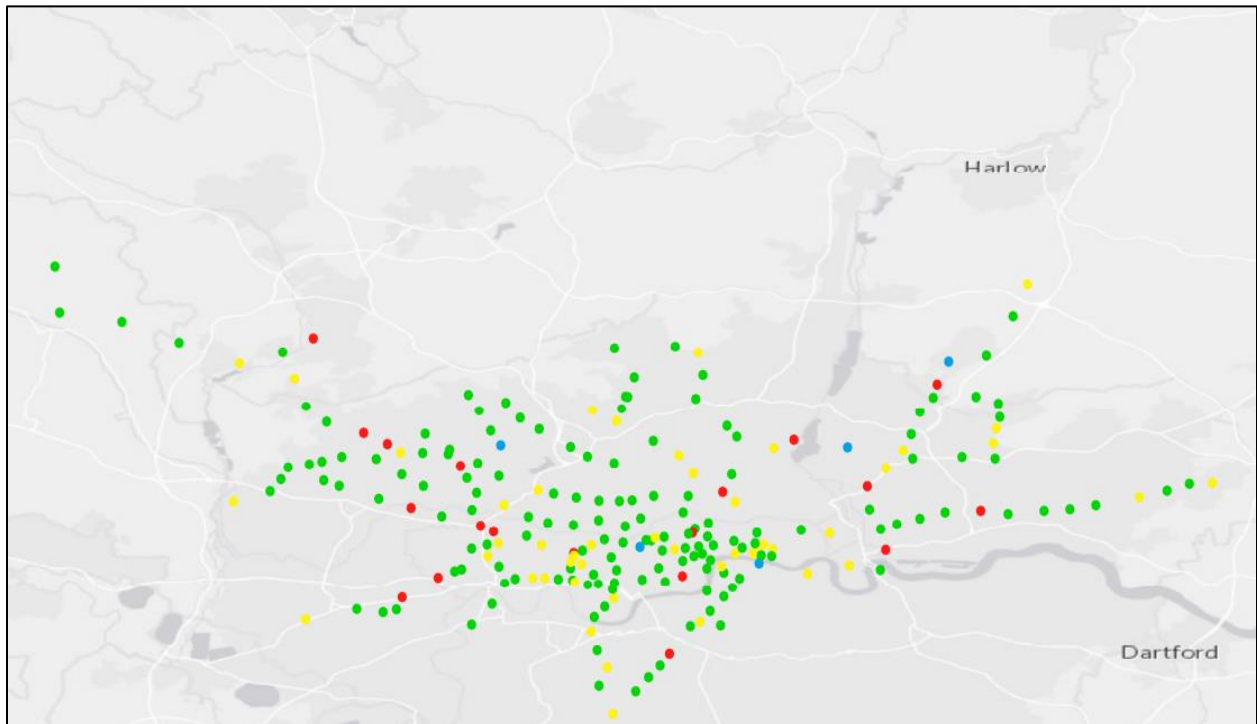
Σχήμα 4.1.22. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (5 ομάδες).



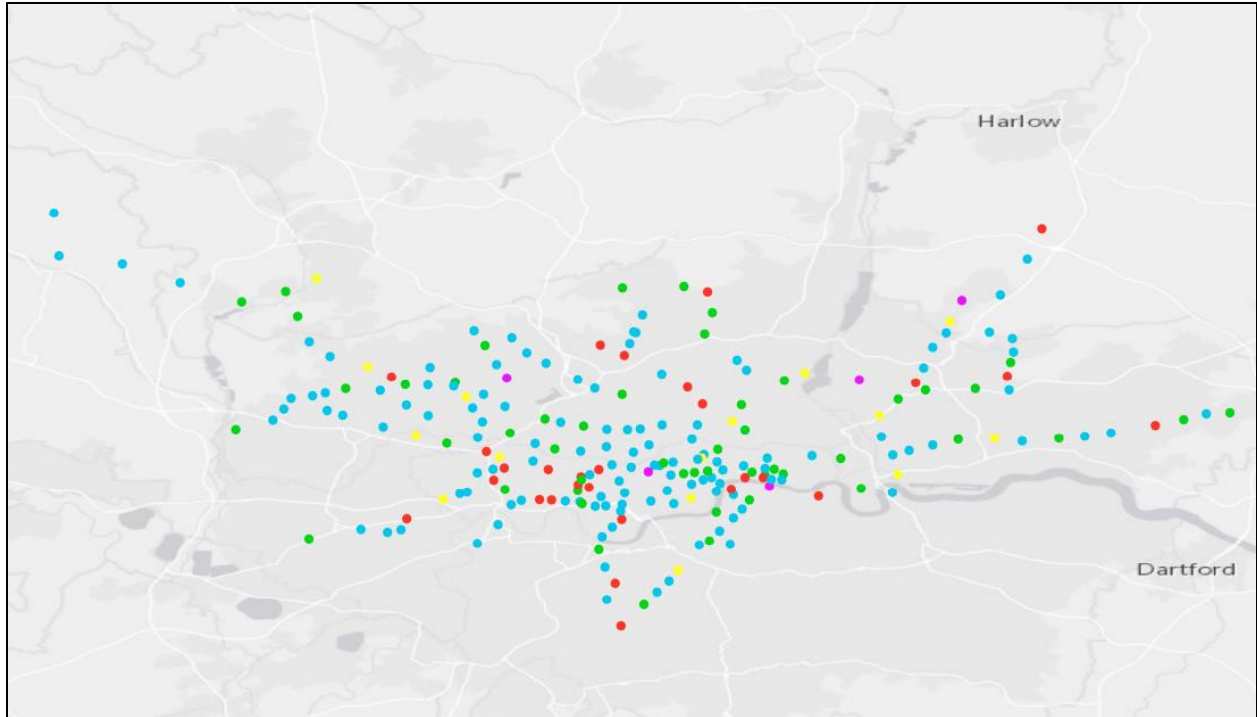
Σχήμα 4.1.23. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (4 ομάδες).



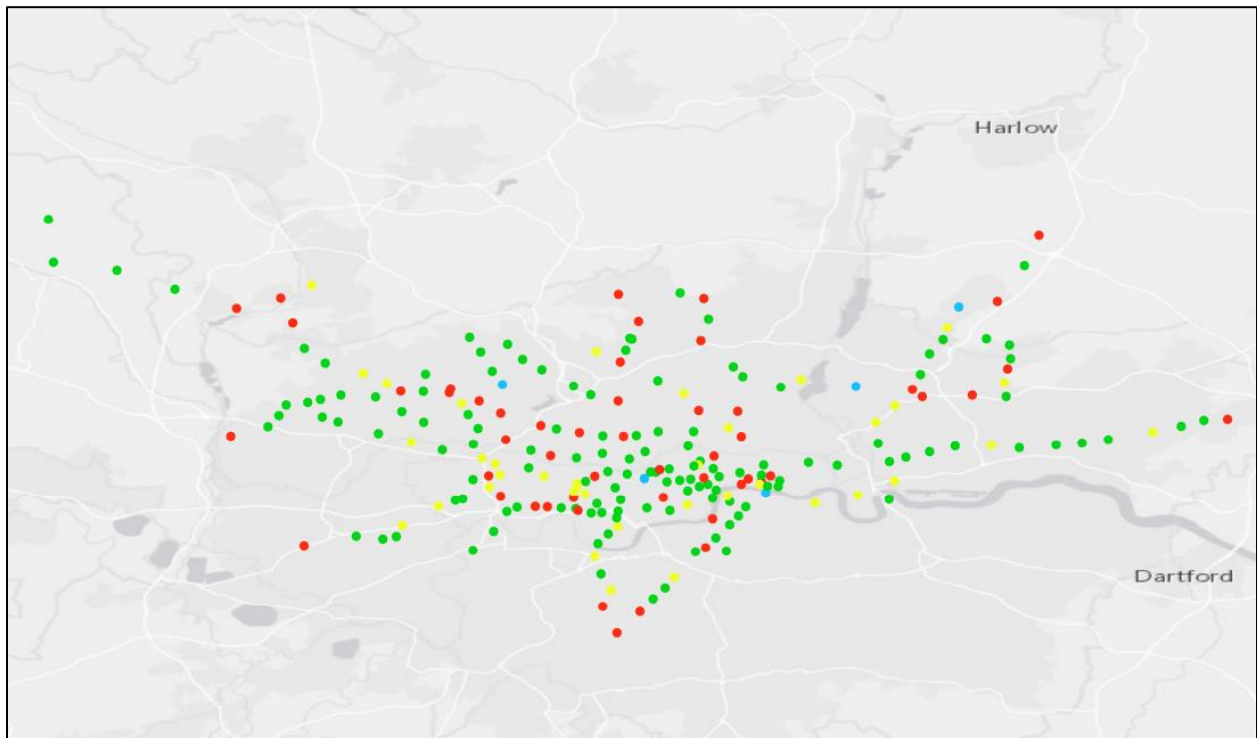
Σχήμα 4.1.24. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (5 ομάδες).



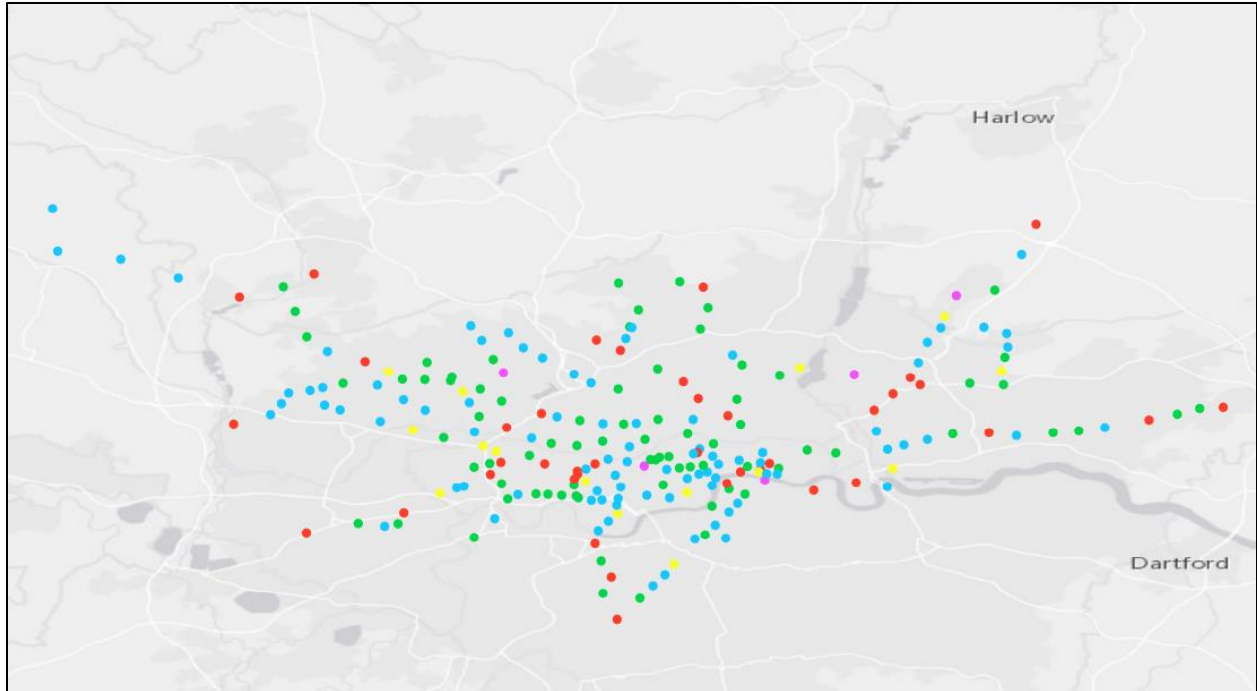
Σχήμα 4.1.25. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (4 ομάδες).



Σχήμα 4.1.26. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (5 ομάδες).



Σχήμα 4.1.27. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (4 ομάδες).

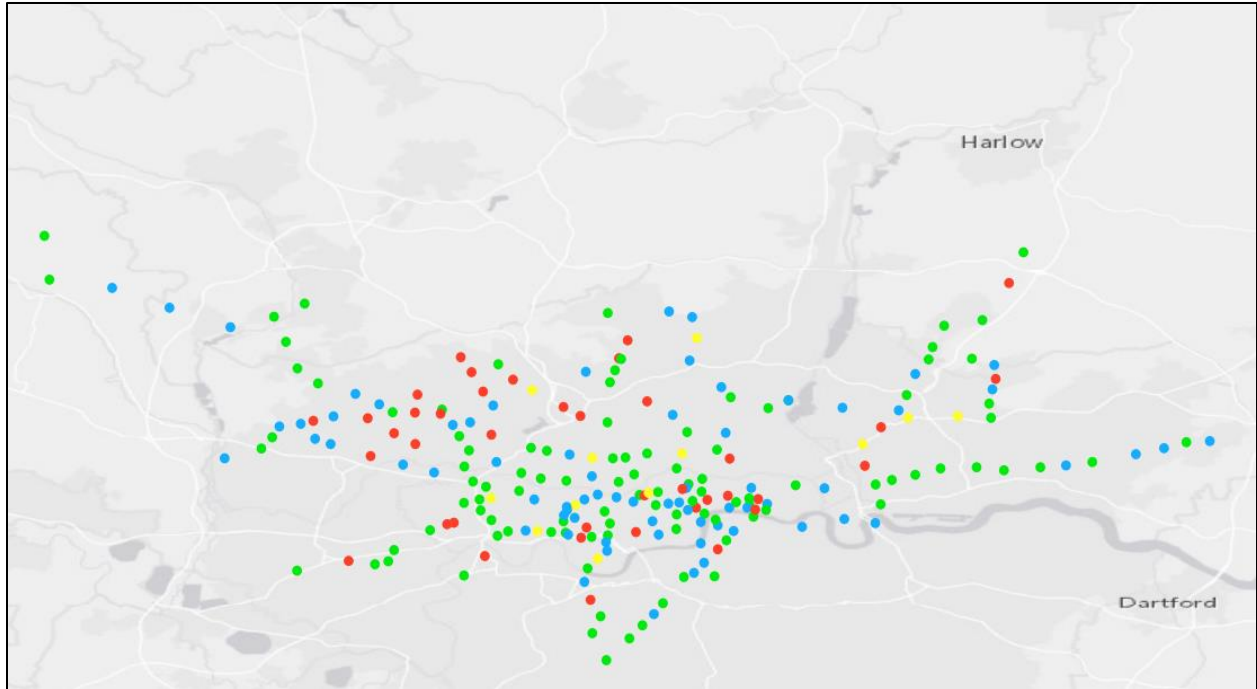


Σχήμα 4.1.28. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (5 ομάδες).

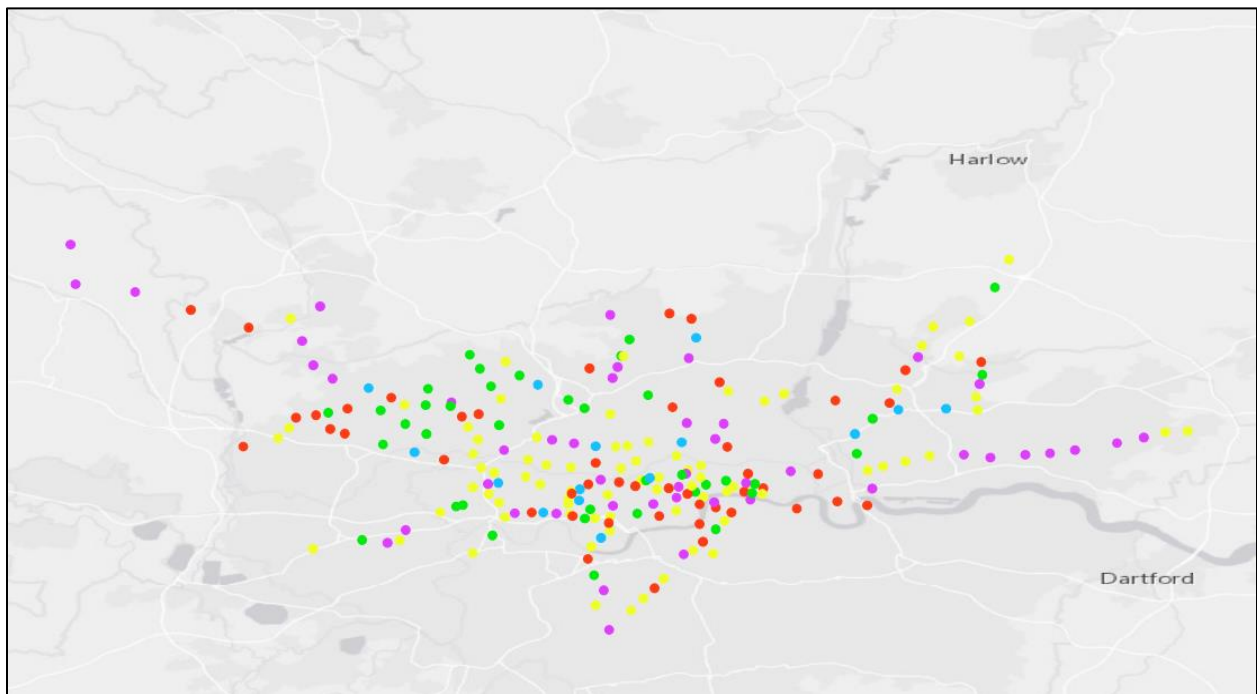
Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα και εξετάζοντας τους χάρτες, μπορεί να εντοπιστεί ότι οι χωρικές κατανομές μεταξύ των δύο ετών είναι αρκετά διαφοροποιημένες. Επιπλέον, αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις εντοπίζονται και μεταξύ των εισόδων και των εξόδων της ίδιας χρονολογίας, για ίδιο αριθμό κλάσεων. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αναμενόμενα, με βάση τις αρχές του αλγορίθμου και του ίδιου του ορισμού της Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης. Στη δεύτερη κατηγορία διαφοροποιήσεων (ίδιο έτος και ίδιος αριθμός κλάσεων), οι ομοιότητες είναι περισσότερες, γεγονός το οποίο είναι αναμενόμενο από συγκοινωνιακής άποψης (είσοδοι και έξοδοι στο ίδιο σύστημα μεταφοράς). Στην πρώτη περίπτωση (διαφοροποιήσεις μεταξύ διαφορετικών ετών), οι ομοιότητες είναι ακόμα λιγότερες, καθώς η έλευση της πανδημίας είχε καθοριστική επίπτωση στα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, άρα και εντελώς διαφορετικές τιμές της επιβατικής κίνησης για το 2020, που αποτελεί και τη μεταβλητή, με βάση την οποία πραγματοποιείται η ταξινόμηση μέσω του αλγορίθμου. Από άποψη χωρικής ανάλυσης, σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις (δηλαδή είτε εισοδοι, είτε έξοδοι, είτε συνολική επιβατική κίνηση ανά έτος), στις ταξινομήσεις των τεσσάρων κλάσεων, οι ομάδες τείνουν να είναι πιο ισόρροπα κατανεμημένες στο χώρο. Αντίστοιχα, στις περιπτώσεις ταξινόμησης με πέντε κλάσεις, οι σταθμοί που ανήκουν στην εκάστοτε ομάδα, τείνουν να βρίσκονται περισσότερο άναρχα χωροθετημένοι, χωρίς να μπορεί να εντοπιστεί εύκολα κάποιο χωρικό μοτίβο και οι ομάδες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως λιγότερο χωρικά ομοιογενείς. Συμπερασματικά, εκτός των στατιστικών αποτελεσμάτων, η ίδια η χωρική απεικόνιση των ταξινομήσεων παρέπεμψε στο ότι ο βέλτιστος αριθμός κλάσεων αναμένεται να είναι οι 4.

#### 4.1.4. Ταξινόμηση κανονικοποιημένων δεδομένων

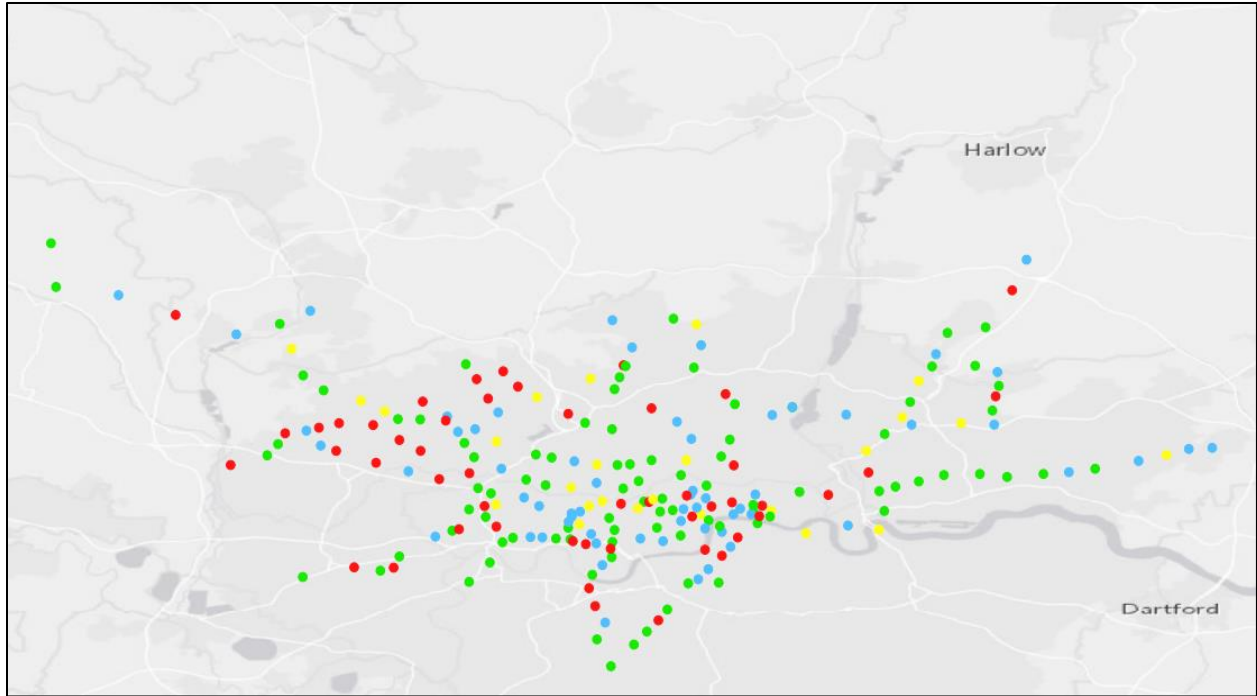
Έχοντας αποκτηθεί ένα αρχικό υπόβαθρο με βάση τις παραπάνω αναλύσεις, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί κανονικοποίηση των παραπάνω δεδομένων. Επιπλέον, με τη βοήθεια της κανονικοποίησης, μπόρεσε να καταστεί δυνατό να μελετηθούν τα προφίλ της επιβατικής κίνησης και όχι το μέγεθος της και η ταξινόμηση να είναι αντικειμενική, καθώς όλες οι τιμές των δεδομένων μετατράπηκαν και υποχρεώθηκαν να ανήκουν σε ένα εύρος από 0 έως 1. Αντίστροφα, όπως παρατηρήθηκε στις ταξινομήσεις των αρχικών δεδομένων, οι σταθμοί ομαδοποιούνταν με βάση το επίπεδο της ζήτησης, ήτοι την επιβατική κίνηση που εξυπηρετούσε ο καθένας. Συνεπώς, πολυσύχναστοι σταθμοί κατηγοριοποιούνταν στην ίδια κλάση, αποτέλεσμα εντελώς αναμενόμενο και που ταυτόχρονα ξεφεύγει από το θέμα και το στόχο της παρούσας εργασίας. Με άλλα λόγια, το κάθε στοιχείο της χρονοσειράς των δεδομένων επιβατικής κίνησης ανά σταθμό και ανά ημέρα του 2019 και 2020, επιλέχθηκε να διαιρεθεί με τη μέγιστη τιμή που εμφανίστηκε στον εκάστοτε σταθμό. Εφαρμόζοντας πολλαπλή φθίνουσα ταξινόμηση στα στοιχεία όλων των σταθμών και στα δύο έτη, σε αρχικό στάδιο εντοπίστηκε η μέγιστη τιμή της επιβατικής κίνησης. Ωστόσο, στη συνέχεια με σκοπό την ορθή εφαρμογή της διαδικασίας της κανονικοποίησης, ελέγχθηκε αν οι μέγιστες αυτές τιμές αποτελούσαν όντως το ολικό μέγιστο της χρονοσειράς ή κάποια ακραία τιμή να αποτελεί πιθανό σφάλμα (outlier). Αυθαίρετα επιλέχθηκε να θεωρηθεί ότι αν η αμέσως μικρότερη τιμή της μέγιστης ανήκε στο διάστημα 85%-100% αυτής, τότε η κανονικοποίηση θα λάμβανε χώρα με βάση το ολικό μέγιστο της χρονοσειράς του κάθε σταθμού. Σε περιπτώσεις που δεν τηρούταν το προαναφερθέν κριτήριο, η κανονικοποίηση πραγματοποιήθηκε με βάση την αμέσως επόμενη τιμή. Στη συνέχεια, με χρήση της τελικής μορφής της βάσης δεδομένων, πραγματοποιήθηκε εκ νέου η ταξινόμηση των εισόδων και εξόδων του 2019 και του 2020, αλλά και της συνολικής επιβατικής κίνησης ανά έτος, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο K-Means, εντελώς όμοια όπως στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, για 4 και 5 κλάσεις αντίστοιχα. Η χρήση των δύο πιθανών κλάσεων επιλέχθηκε να διατηρηθεί και σε αυτό το στάδιο της ανάλυσης, με σκοπό να ελεγχθεί αν τα αποτελέσματα θα είναι αντίστοιχα με αυτά που προέκυψαν με την ταξινόμηση των αρχικών δεδομένων. Στους παρακάτω χάρτες οπτικοποιήθηκαν τα αποτελέσματα, ακριβώς όμοια όπως στις παραπάνω περιπτώσεις.



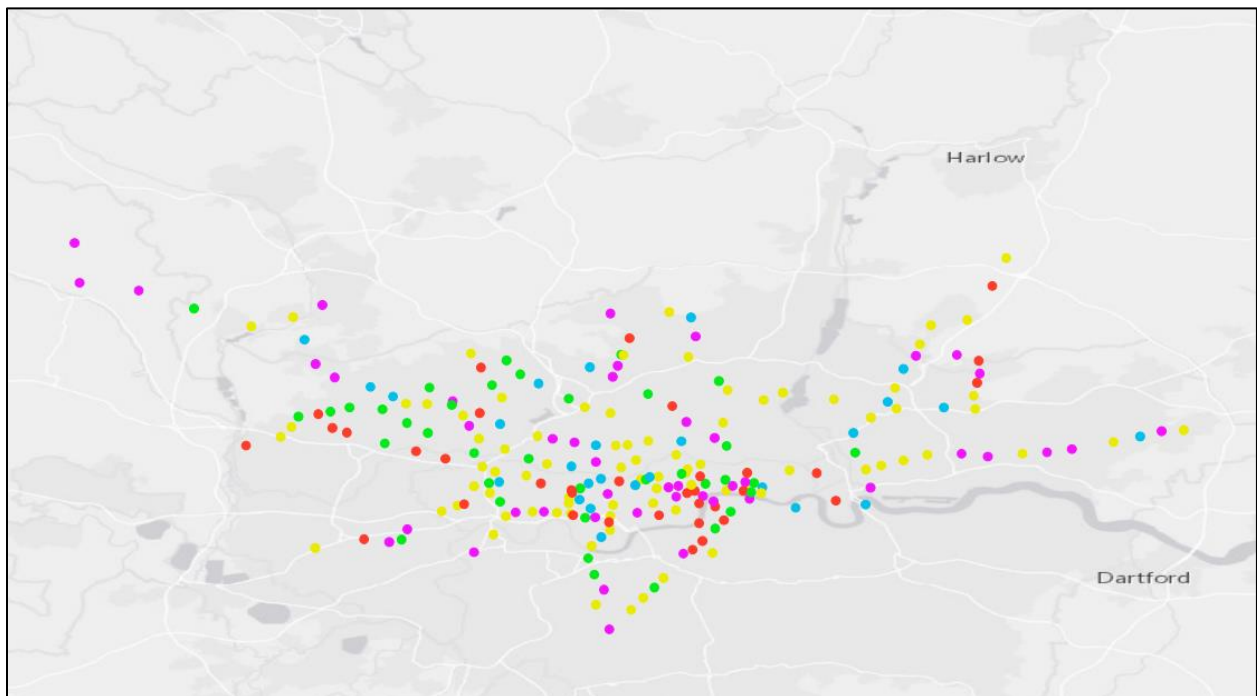
Σχήμα 4.1.29. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (4 ομάδες).



Σχήμα 4.1.30. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (5 ομάδες).

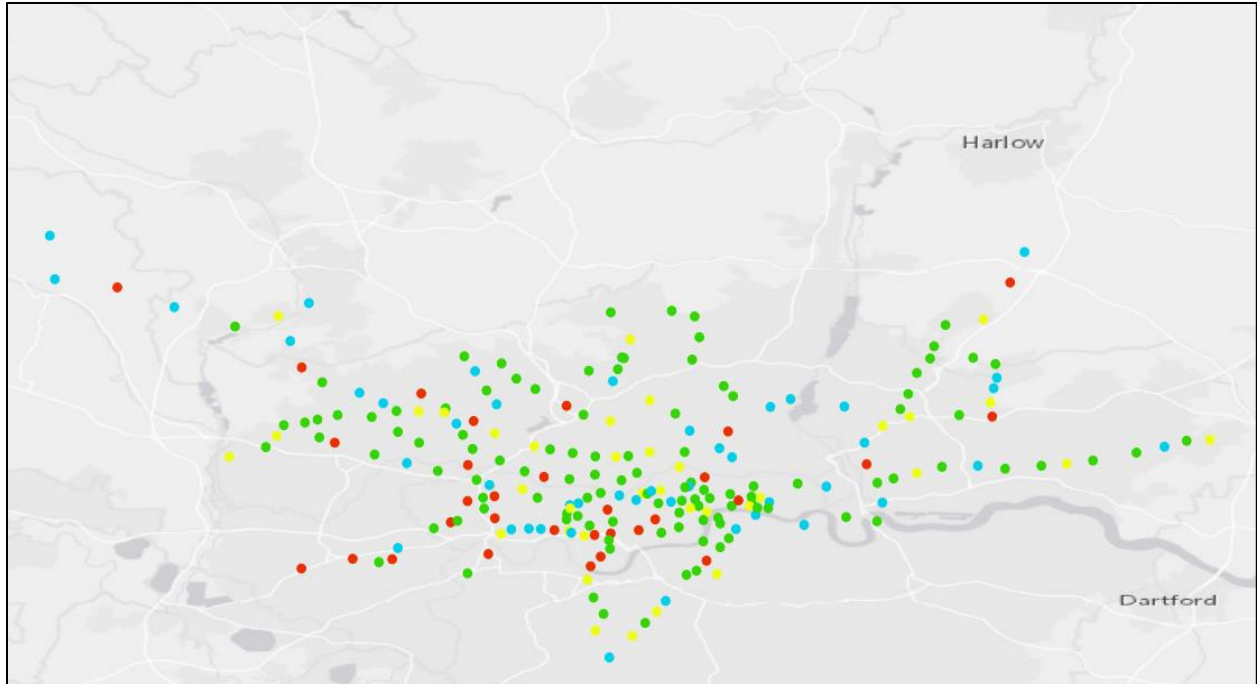


Σχήμα 4.1.31. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (4 ομάδες).

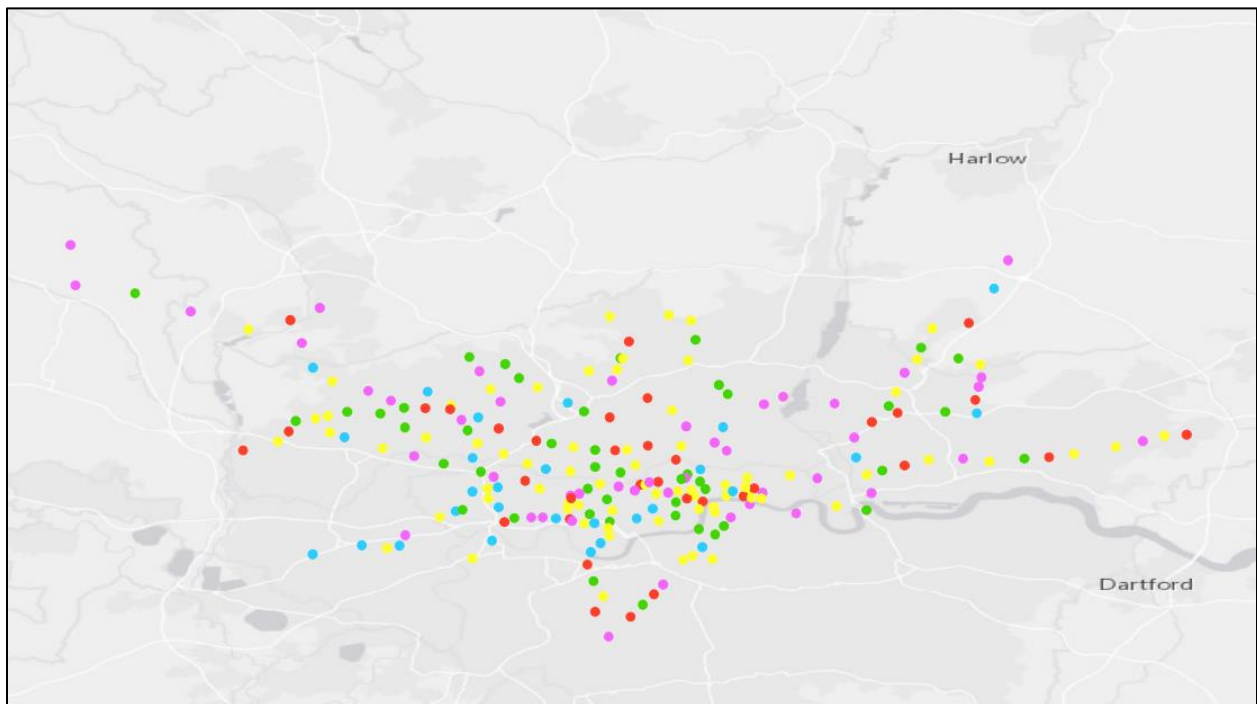


Σχήμα 4.1.32. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (5 ομάδες).

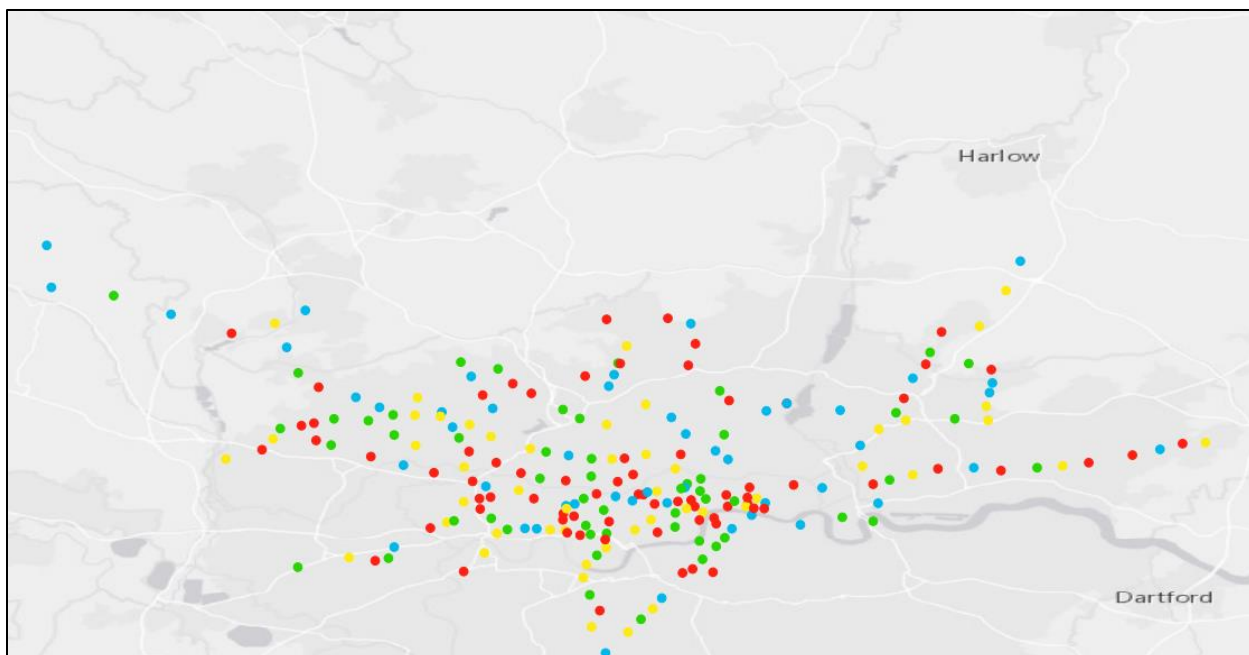




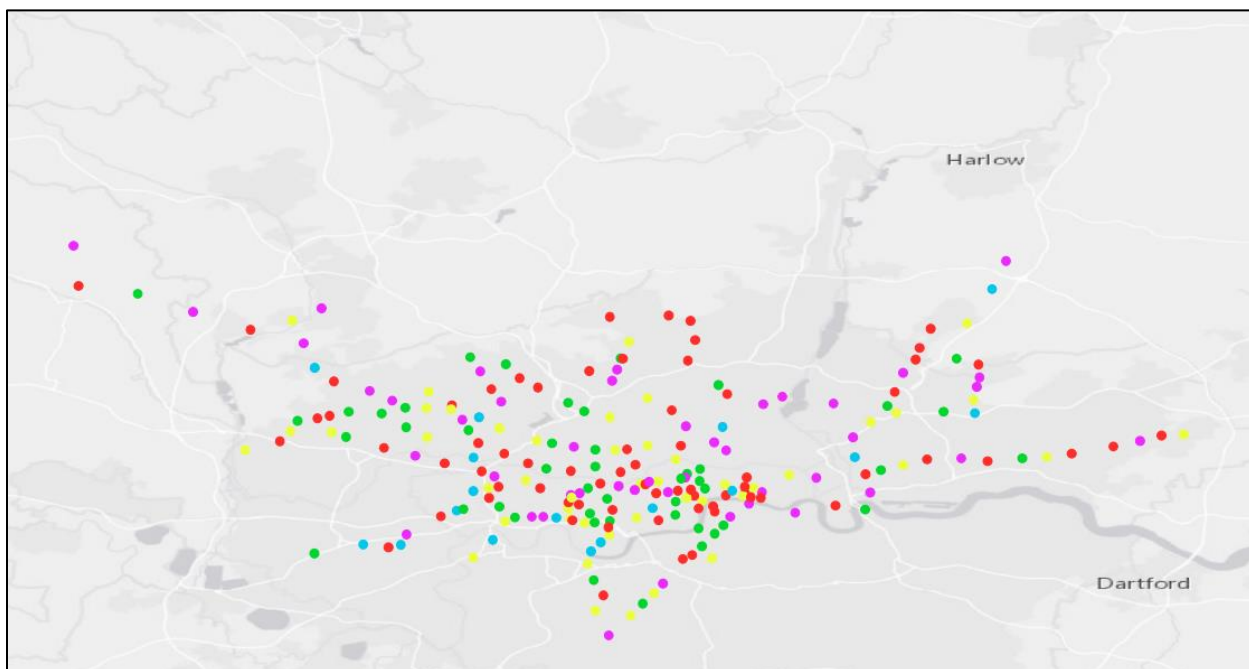
Σχήμα 4.1.33. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (4 ομάδες).



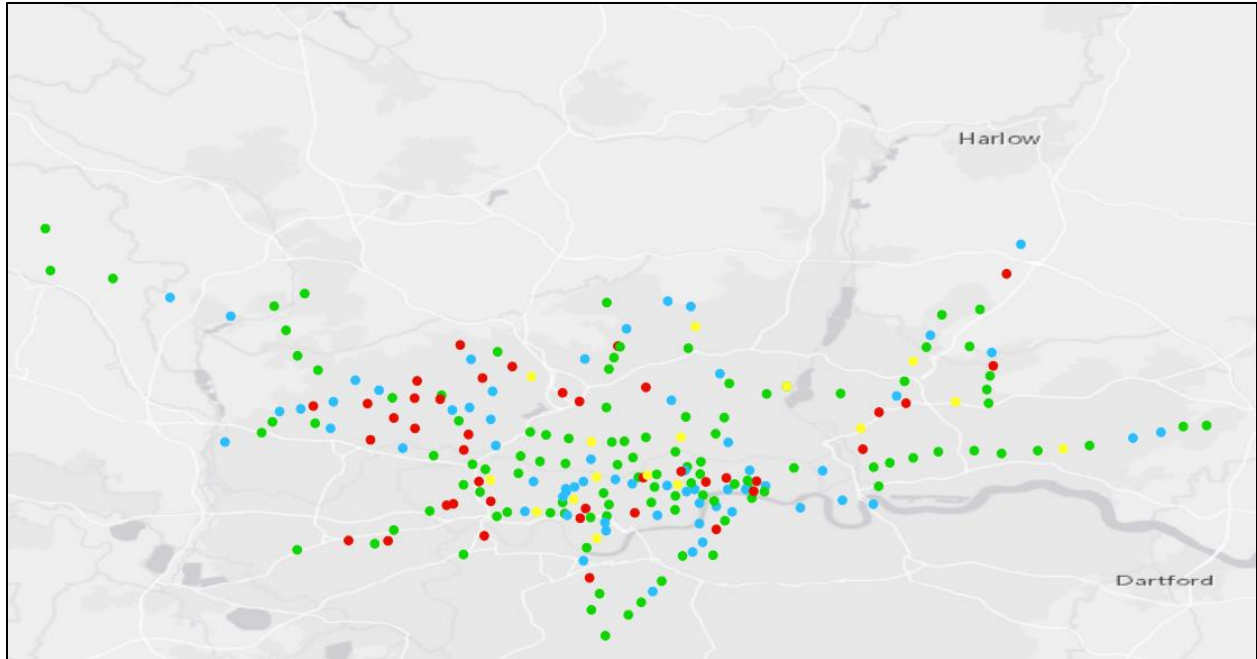
Σχήμα 4.1.34. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (5 ομάδες).



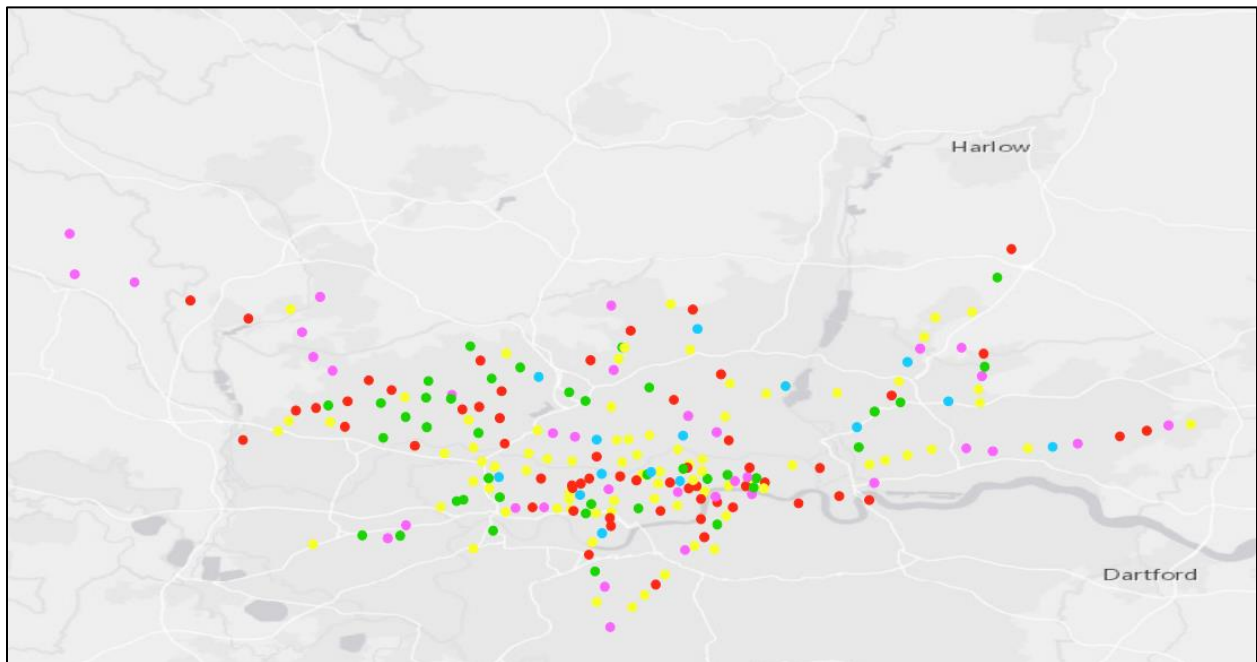
Σχήμα 4.1.35. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (4 ομάδες).



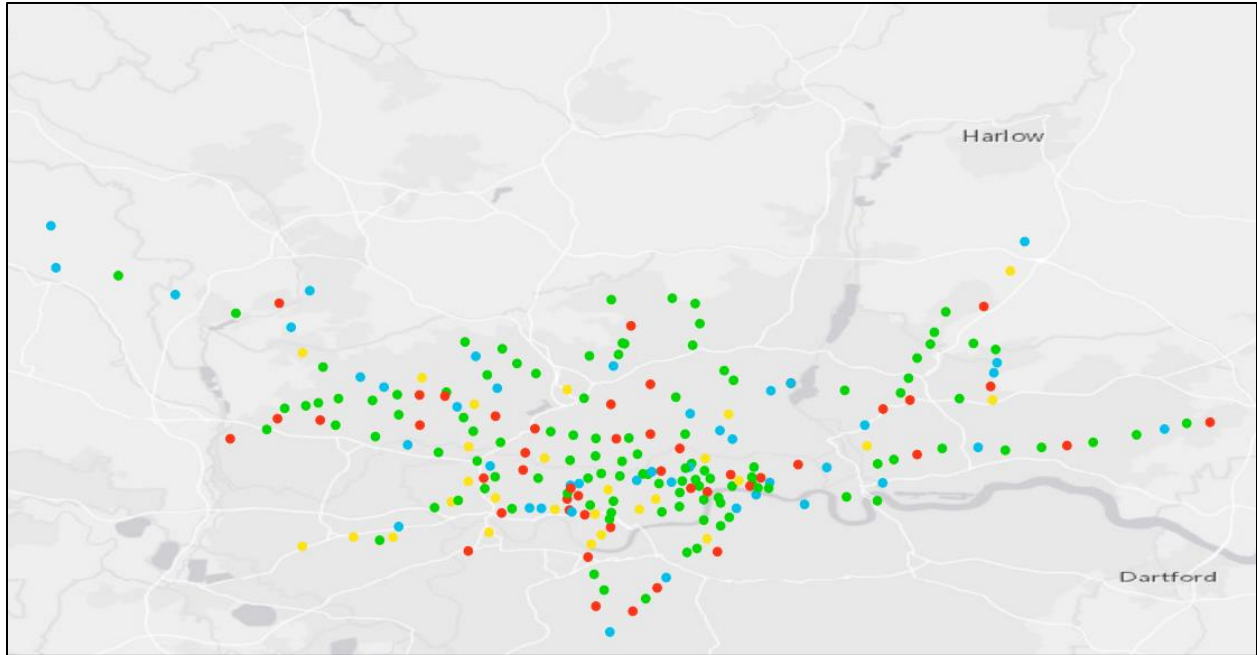
Σχήμα 4.1.36. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (5 ομάδες).



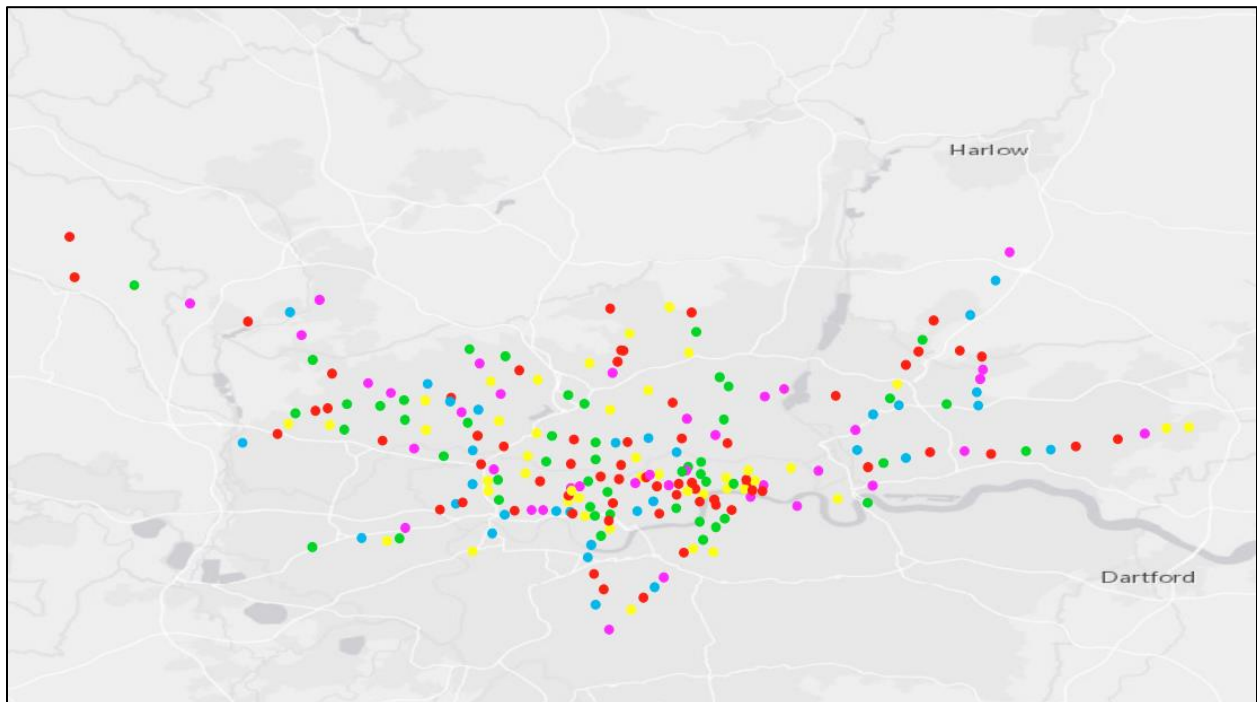
Σχήμα 4.1.37. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (4 ομάδες).



Σχήμα 4.1.38. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2019 (5 ομάδες).



Σχήμα 4.1.39. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (4 ομάδες).



Σχήμα 4.1.40. Ταξινόμηση για τη Συνολική Επιβατική Κίνηση του 2020 (5 ομάδες).

Εξετάζοντας τους παραπάνω χάρτες, παρόμοια συμπεράσματα μπόρεσαν να εξαχθούν όπως και στις περιπτώσεις ταξινόμησης των αρχικών δεδομένων. Με άλλα λόγια, η κατανομή των σταθμών σε κλάσεις είναι περισσότερο παρεμφερής, όπως είναι λογικό, μεταξύ εισόδων και εξόδων του ίδιου έτους, με σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ διαφορετικών ετών. Επιπρόσθετα, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι μεταξύ των αρχικών και των κανονικοποιημένων δεδομένων υπάρχουν επαρκείς ομοιότητες ως προς την κλάση που ανήκει ο κάθε σταθμός στην πρώτη και στη δεύτερη περίπτωση αντίστοιχα. Ως εξαίρεση στην παραπάνω παρατήρηση, θα μπορούσαν να θεωρηθούν κάποιοι σταθμοί του κεντρικού αστικού ιστού του Λονδίνου, οι οποίοι τείνουν να ομαδοποιούνται στην ίδια κλάση, τόσο με τις αρχικές τιμές επιβατικής κίνησης, όσο και με τις κανονικοποιημένες. Μια επιπλέον παρατήρηση που οφείλει να αναφερθεί, αφορά στο ότι στις ταξινομήσεις των κανονικοποιημένων τιμών, και μάλιστα σε όλες τις περιπτώσεις, οι σταθμοί τείνουν να εμφανίζουν μικρότερη χωρική συνέχεια ως προς τις ομάδες που ανήκουν. Με άλλα λόγια, σε μικρότερο ποσοστό γειτονικοί σταθμοί ανήκουν στην ίδια κλάση, σε σχέση με τα αποτελέσματα των αρχικών τιμών. Από άποψη χωρικής ανάλυσης, και με αναφορά μόνο στις ταξινομήσεις των κανονικοποιημένων τιμών, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τεσσάρων και πέντε κλάσεων μεταξύ τους, οι παρατηρήσεις είναι αντίστοιχες με αυτές των αρχικών ταξινομήσεων. Στις περιπτώσεις που οι επιλεγόμενες κλάσεις είναι τέσσερις, η εκάστοτε ομάδα τείνει να εμφανίζει πιο ισόρροπη χωροθέτηση, σε σχέση με τις περιπτώσεις των πέντε κλάσεων όπου οι ομάδες εμφανίστηκαν ως λιγότερο ομοιογενείς. Με βάση αυτό, επιβεβαιώνεται και σε αυτήν την περίπτωση η θεώρηση, ότι ο βέλτιστος αριθμός κλάσεων, αναμένεται να είναι οι 4.

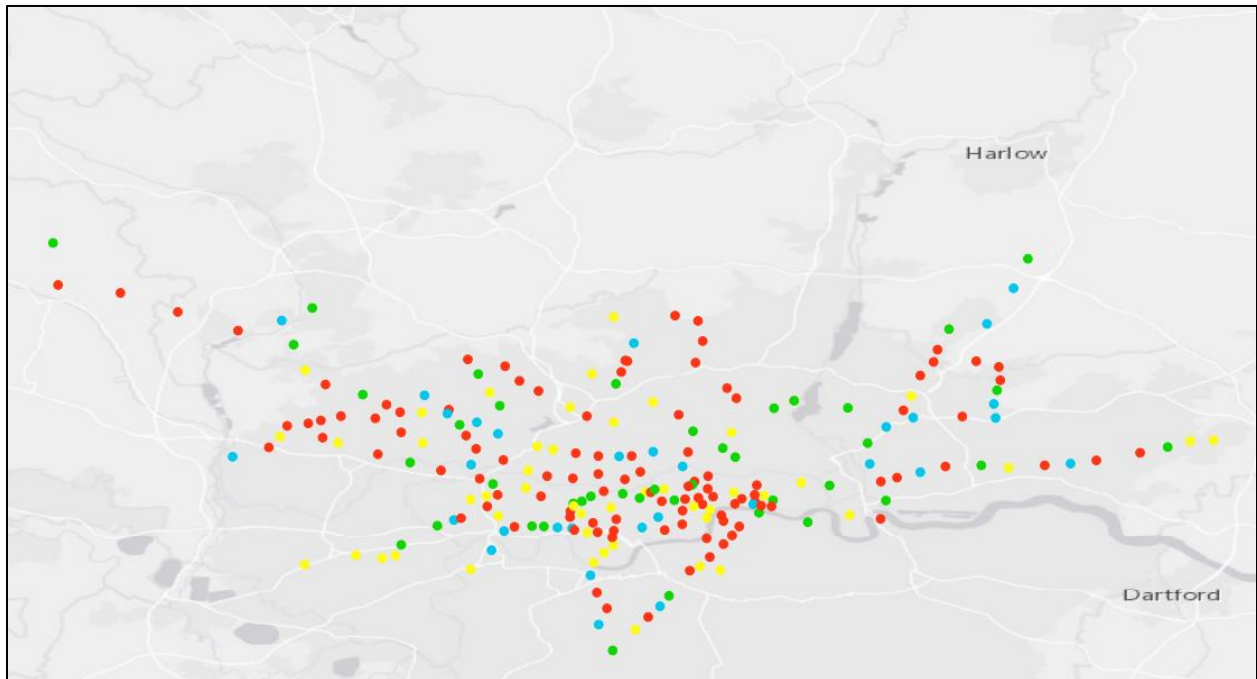
#### 4.1.5. Ταξινόμηση ποσοστού μεταβολής 2019-2020

Με σκοπό την επίτευξη της πληρότητας της ανάλυσης, επιλέχθηκε στο τελικό στάδιο της εφαρμογής του αλγορίθμου να ταξινομηθεί και το ποσοστό μεταβολής της συνολικής επιβατικής κίνησης μεταξύ του 2019 και του 2020. Το ποσοστό ορίστηκε ως εξής:

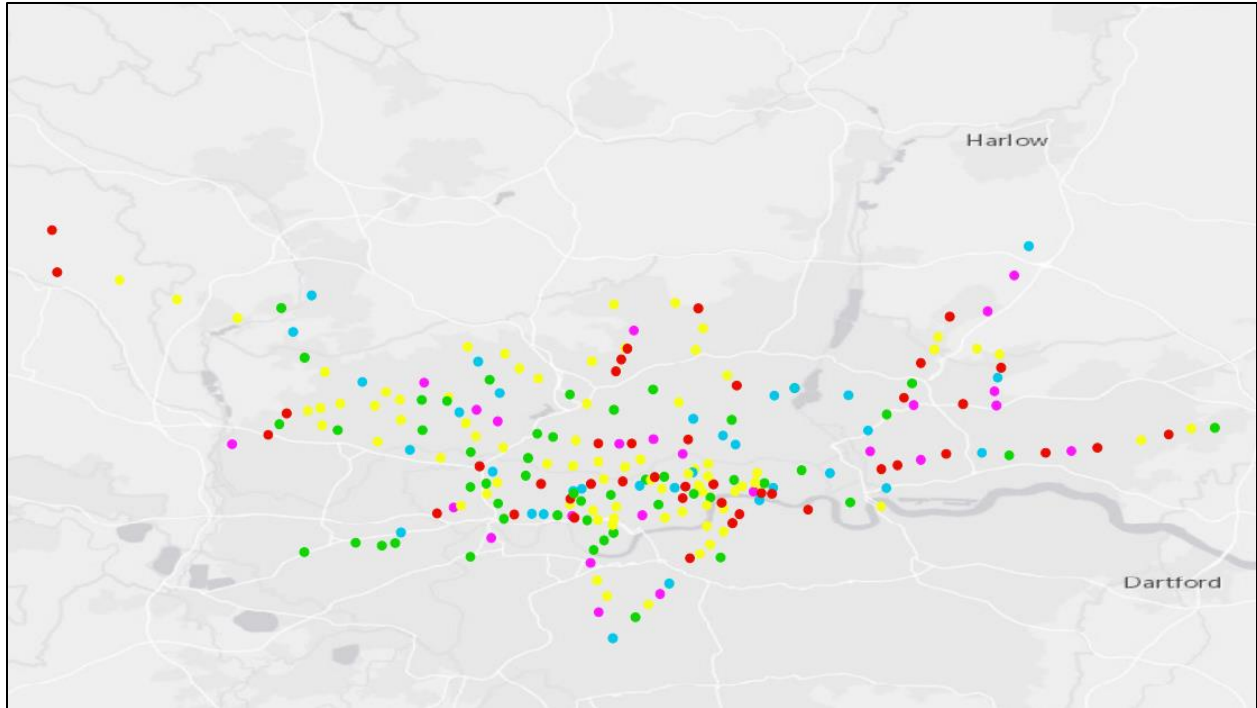
$$\pi = \frac{X_{2019} - X_{2020}}{X_{2019}}$$

όπου  $X_{xxxx}$  η συνολική επιβατική κίνηση το έτος που ορίζει ο δείκτης.

Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης του ποσοστού μεταβολής, απαιτήθηκε να βρεθούν οι κοινές ημέρες των δύο ετών, ώστε να μπορεί να οριστεί ο αριθμητής του ποσοστού. Καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα στοιχεία της επιβατικής κίνησης αποκτήθηκαν από το TfL, όπως ήταν λογικό λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, δε δόθηκαν στοιχεία για ακριβώς τις ίδιες ημέρες ανά σταθμό μεταξύ των δύο ετών. Επιπρόσθετα, εκτός από τις μη κοινές ημέρες οι οποίες αφαιρέθηκαν, ελέγχθηκε η βάση δεδομένων για παράλογες καταγραφές, όπως για παράδειγμα σε μια ολόκληρη ημέρα να εισέρχονται σε κάποιον σταθμό μόλις 3 άτομα. Οι περιπτώσεις αυτές επίσης αφαιρέθηκαν από τη βάση, καθώς θεωρήθηκε ότι οι σταθμοί αυτοί έκλεισαν εκείνες τις ημέρες για κάποιο λόγο. Ακόμη, σε αυτή την περίπτωση δεν εφαρμόστηκε κανονικοποίηση των δεδομένων, καθώς αυτή λαμβάνει χώρα έμμεσα, λόγω του πηλίκου. Τα αποτελέσματα για 4 και 5 κλάσεις αντίστοιχα παρουσιάζονται στους ακόλουθους χάρτες.



Σχήμα 4.1.41. Ταξινόμηση για το Ποσοστό Μεταβολής 2019-2020 (4 ομάδες).

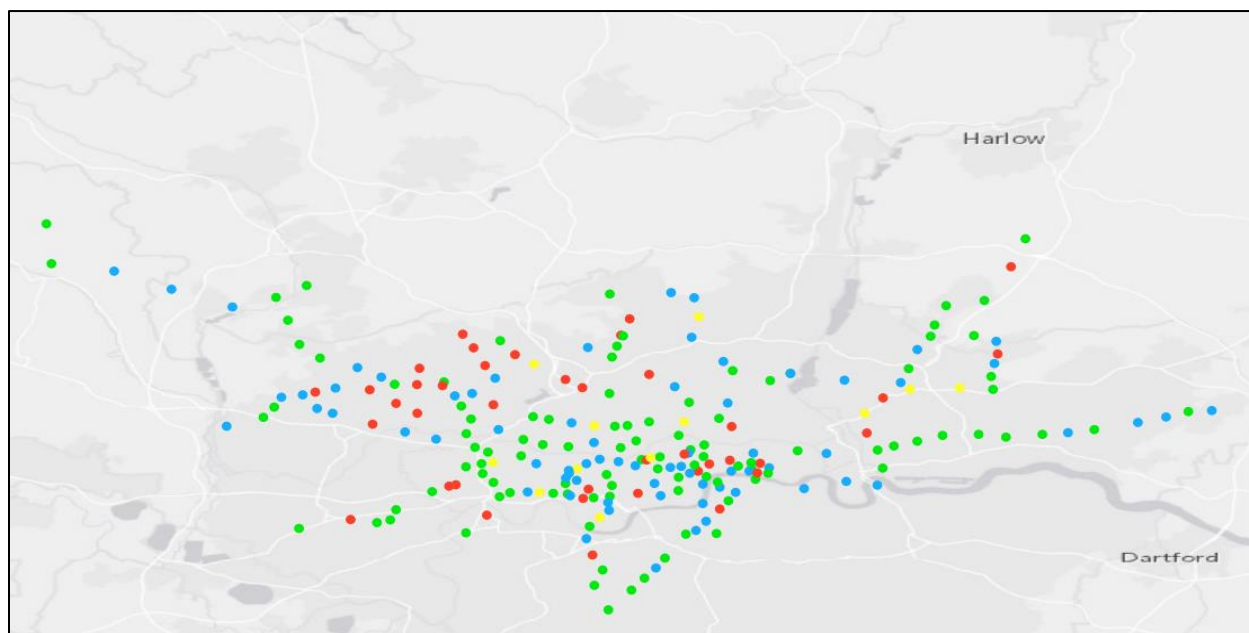


Σχήμα 4.1.42. Ταξινόμηση για το Ποσοστό Μεταβολής 2019-2020 (5 ομάδες).

Σχολιάζοντας συνοπτικά τα αποτελέσματα, μπορεί να θεωρηθεί ότι κατά την ταξινόμηση του ποσοστού μεταβολής της συνολικής επιβατικής κίνησης, και πάλι στην περίπτωση των 4 κλάσεων, οι ομάδες τείνουν να παρουσιάζονται χωρικά περισσότερο ομοιογενείς και πιο ομοιόμορφα κατανεμημένες στο χώρο, σε σύγκριση με την περίπτωση των 5 κλάσεων.

#### 4.1.6. Τελικές ταξινομήσεις

Με βάση τις παραπάνω επεξηγήσεις και παρατηρήσεις, ως ο βέλτιστος αριθμός κλάσεων επιλέγεται αυτός των 4, ενώ μεταξύ των αρχικών ταξινομήσεων και αυτών που προέκυψαν από τις κανονικοποιημένες τιμές, επιλέγονται οι δεύτερες. Επιπρόσθετα, ως τελικά αποτελέσματα ανάλυσης επιλέγονται οι ταξινομήσεις των εισόδων και των εξόδων του 2019 και του 2020. Οι περιπτώσεις της συνολικής επιβατικής κίνησης και του ποσοστού μεταβολής επιλέχθηκε να μην συμμετέχουν στα τελικά συμπεράσματα καθώς θεωρήθηκε ότι χάθηκε σημαντικός αριθμός δεδομένων της χρονοσειράς του κάθε σταθμού κατά τη βελτιστοποίηση των βάσεων δεδομένων για τον υπολογισμό του αθροισμάτων εισόδων-εξόδων καθώς και του ποσοστού. Με τους παρακάτω χάρτες και πίνακες παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα των ταξινομήσεων των σταθμών.



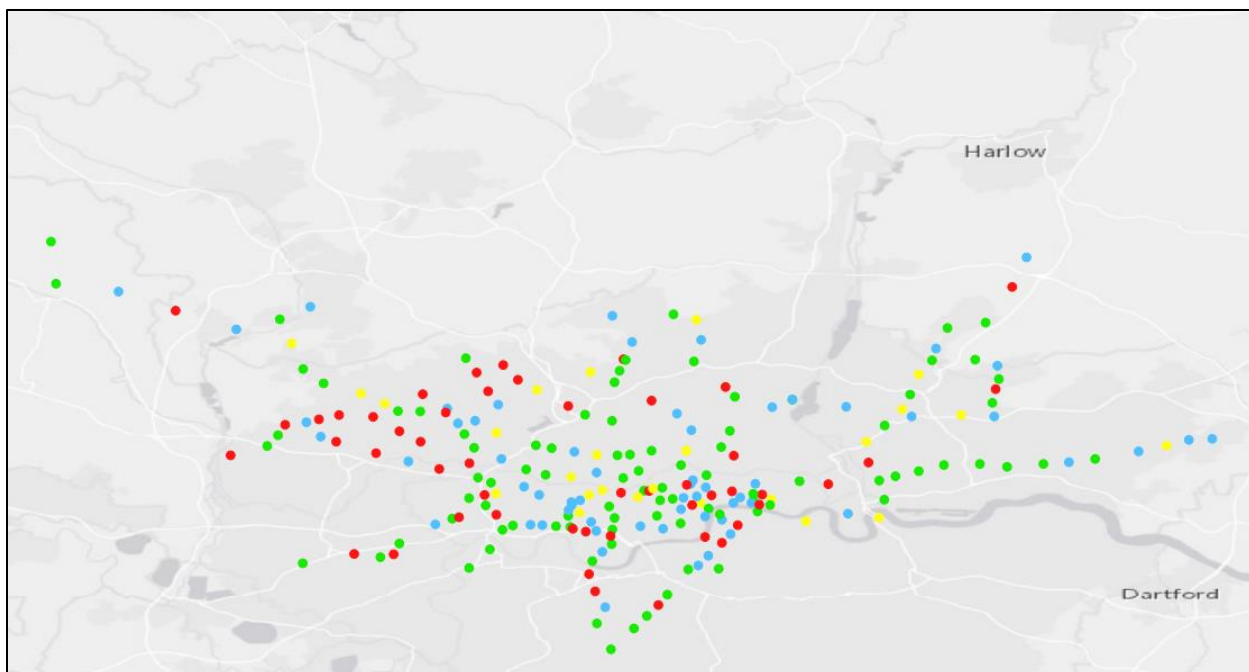
Σχήμα 4.1.43. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2019 (4 ομάδες).

Παρατηρώντας συνδυαστικά τον παραπάνω χάρτη και τον αντίστοιχο πίνακα, εντοπίστηκε ότι για τις Εισόδους του 2019, μέσω της ταξινόμησης, προέκυψε μία μεγάλη κλάση στην οποία συμμετέχει σχεδόν το ήμισυ των σταθμών.

<b>Ομάδες</b>	<b>Ποσοστό συμμετοχής σταθμών</b>
Ομάδα 3	46%
Ομάδα 4	32%
Ομάδα 2	17%
Ομάδα 1	5%

Πίνακας 4.1.1. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εισόδους του 2019.



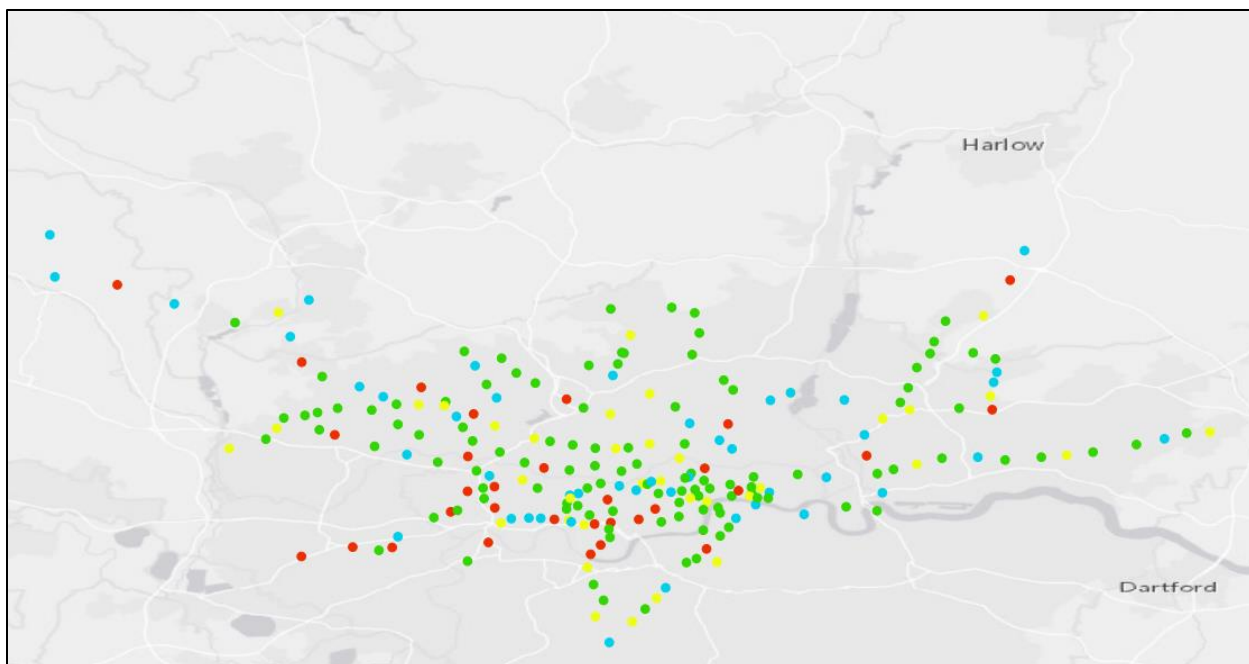


Σχήμα 4.1.44. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2019 (4 ομάδες).

Στην περίπτωση των Εξόδων του 2019, τα αποτελέσματα εμφανίζουν κοινά στοιχεία με τις Εισόδους, τόσο χωρικά όσο και ως προς τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών σε κλάσεις. Ωστόσο σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να παρατηρηθεί παρακάτω, ότι σε δύο από τις ομάδες, τα ποσοστά συμμετοχής εμφανίζουν αρκετά κοντινές τιμές. Επιπλέον αναφέρεται ότι έλαβε χώρα προσπάθεια αντιστοίχισης των ομάδων μία προς μία, με σκοπό την ευκολότερη οπτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ταυτόχρονα όμως οφείλει να τονιστεί, ότι αυτό αποτέλεσε μια ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία, καθώς με βάση τις αρχές του αλγορίθμου, οι ταξινομήσεις εμφανίζουν αρκετές διαφοροποιήσεις. Μεταξύ διαφορετικών ετών δε, η αντιστοίχιση προέκυψε πρακτικά αδύνατη.

<u>Ομάδες</u>	<u>Ποσοστό συμμετοχής σταθμών</u>
Ομάδα 2	40%
Ομάδα 3	27%
Ομάδα 1	22%
Ομάδα 4	11%

Πίνακας 4.1.2. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εξόδους του 2019.

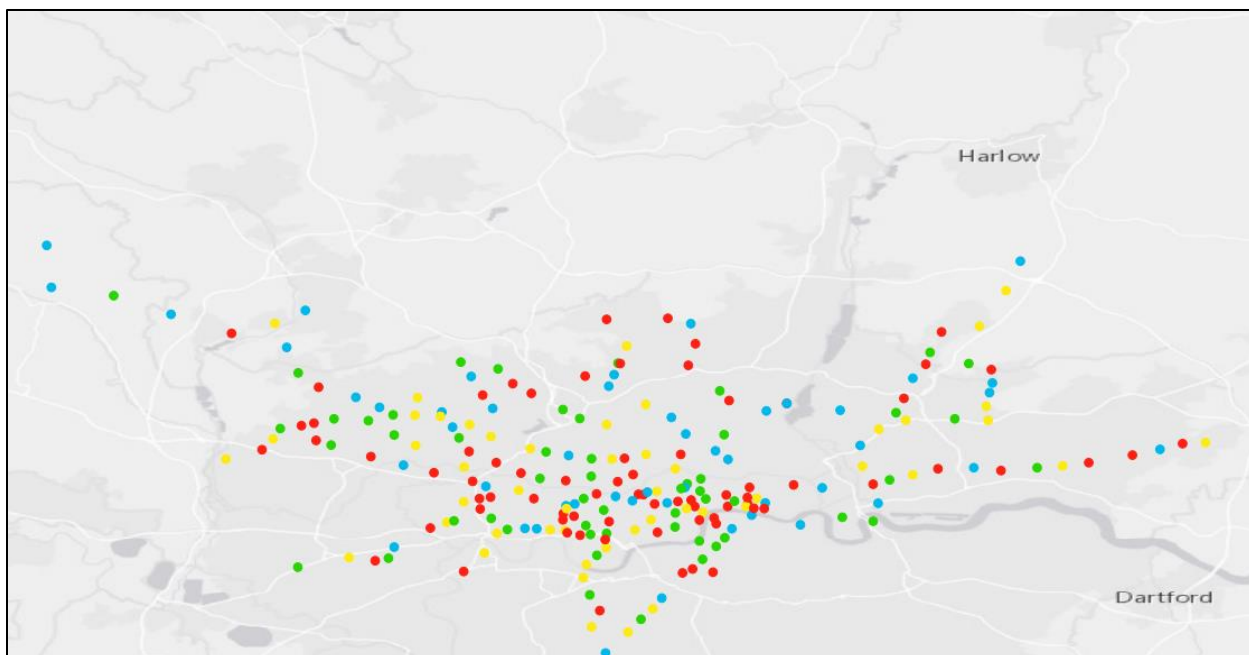


Σχήμα 4.1.45. Ταξινόμηση για τις Εισόδους του 2020 (4 ομάδες).

Για τις Εισόδους του 2020 τα συνδυαστικά αποτελέσματα απεικονίζονται και πάλι σε αντίστοιχο χάρτη και πίνακα. Εξετάζοντας τα ποσοστά συμμετοχής, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι εκτός από μία ομάδα που συμμετέχει το ήμισυ των σταθμών, στις υπόλοιπες οι ποσοστά τείνουν να ισομοιράζονται, σε αντίθεση με τις περιπτώσεις των ταξινομήσεων που αφορούν στο 2019. Ακόμη, επιχειρώντας να πραγματοποιηθεί η αντιστοίχιση μεταξύ των ετών, εκτός από την ομάδα με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής που τείνει να είναι κοινή σε αυτές τις τρεις περιπτώσεις, για τις υπόλοιπες ομάδες δύσκολα μπορεί να γίνει κατανοητό ποιες είναι οι αντίστοιχες ομάδες όπως παρουσιάζονται στους χάρτες του 2019. Αίτιο για το αποτέλεσμα αυτό μπορούν να θεωρηθούν οι αρκετά διαφοροποιημένες τιμές των μεταβλητών το 2020, που σχετίζονται με τα διαφορετικά προφίλ της επιβατικής κίνησης, λόγω της έλευσης της πανδημίας.

<b>Ομάδες</b>	<b>Ποσοστό συμμετοχής σταθμών</b>
Ομάδα 1	50%
Ομάδα 2	20%
Ομάδα 4	16%
Ομάδα 3	14%

Πίνακας 4.1.3. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εισόδους του 2020.



Σχήμα 4.1.46. Ταξινόμηση για τις Εξόδους του 2020 (4 ομάδες).

Σε αυτή την τελική περίπτωση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις Εξόδους του 2020. Όπως προκύπτει από τον πίνακα συμμετοχής, σε αυτή την περίπτωση οι σταθμοί τείνουν να ισομοιράζονται ακόμα περισσότερο με την κυρίαρχη ομάδα να βρίσκεται αρκετά κοντά ποσοστιαία με τις υπόλοιπες. Επιπλέον, οι τρεις μικρότερες κλάσεις σε αυτή την περίπτωση απαρτίζονται από σχεδόν όμοιο αριθμό σταθμών. Ακόμη, για την περίπτωση των Εξόδων του 2020, οι τέσσερις κλάσεις στις οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί οι σταθμοί, τείνουν να είναι ιδιαίτερα άναρχα κατανεμημένες στο χώρο, με οποιαδήποτε πιθανή αντιστοίχιση ή συσχέτιση των ομάδων με αυτές που προκύπτουν το 2019, να καθίσταται πρακτικά αδύνατη

<u>Ομάδες</u>	<u>Ποσοστό συμμετοχής σταθμών</u>
Ομάδα 2	33%
Ομάδα 4	23%
Ομάδα 3	22%
Ομάδα 1	22%

Πίνακας 4.1.4. Τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών ανά ομάδα για τις Εξόδους του 2020.

Παρατηρώντας συνδυαστικά τα παραπάνω αποτελέσματα των τελικών ταξινομήσεων, τόσο από άποψη χαρτών, όσο και από άποψη πινάκων, προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

Εξετάζοντας προσεκτικά τα ποσοστά συμμετοχής των σταθμών στην εκάστοτε κλάση, μπορεί να θεωρηθεί ότι στις περιπτώσεις των εισόδων τόσο του 2019 όσο και του 2020, οι ταξινομήσεις δημιουργούν ενισχυμένες ομαδοποιήσεις. Αντίστοιχα, στις περιπτώσεις των εξόδων και των δύο ετών, οι ομαδοποιήσεις τείνουν να ισομοιράζουν τους σταθμούς στις κλάσεις. Συγκρίνοντας τα δύο έτη μεταξύ τους, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η ενίσχυση της ομαδοποίησης εμφανίζει μείωση από το 2019 στο 2020. Η ταξινόμηση με τον πιο προφανή ισομοιρασμό στις κλάσεις, είναι αυτή των Εξόδων του 2020, ενώ αυτή που παρουσιάζει την πιο ενισχυμένη ομαδοποίηση είναι αυτή των Εισόδων του 2019. Αυτή η τελική παρατήρηση θεωρήθηκε ιδιαίτερα σημαντική, καθώς οι Είσοδοι του 2019, λόγω του προαναφερθέντος αποτελέσματος, επιλέχθηκε να αποτελέσουν τη βάση επιλογής της σημαντικότερης παραμέτρου της Μεθόδου της Ασαφούς Ταξινόμησης, ήτοι του Συντελεστή  $m$  (Fuzzifier), τα αποτελέσματα της οποίας θα παρουσιαστούν στο επόμενο υποκεφάλαιο. Επιπρόσθετα, η μείωση της ενίσχυσης των ομάδων, όπως αυτή εντοπίστηκε μεταξύ εισόδων και εξόδων του ίδιου έτους (τόσο στο 2019, όσο και στο 2020), επιβεβαιώνει την ορθότητα της επιλογής να μην παρουσιαστούν στις τελικές ταξινομήσεις η συνολική Επιβατική Κίνηση και το Ποσοστό Μεταβολής, λόγω των αναμενόμενων σφαλμάτων, καθώς όπως αποδείχθηκε, δεν ακολουθείται το ίδιο προφίλ στην επιβατική κίνηση.

Από άποψη χωρικής ανάλυσης, παρατηρώντας τους χάρτες, όπως είναι αναμενόμενο, η ταξινόμηση με τις πιο ενισχυμένες ομαδοποιήσεις (Είσοδοι 2019) εμφανίζει ξεκάθαρες ομάδες στο χώρο, ισόρροπα κατανομημένες και περισσότερο ομοιογενείς. Ταυτόχρονα παρατηρείται η τάση να εμφανίζονται ομοιόμορφα τμήματα κυρίως στα προάστια της πόλης, όπου δεν υπάρχει μίξη των κλάσεων και ουσιαστικά σημαντικός αριθμός γειτονικών σταθμών, ταξινομήθηκε στην ίδια ομάδα. Αντίστοιχα, στο κεντρικό Λονδίνο, όπως άλλωστε έχει ήδη αναφερθεί, παρατηρείται η μέγιστη μίξη των ομάδων, λόγω των διαφορετικών προφίλ της επιβατικής κίνησης που εμφανίζουν οι σταθμοί, οι οποίοι ωστόσο βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε μεγάλους αριθμούς αλλά και σε μικρότερες αποστάσεις μεταξύ τους. Με άλλα λόγια, λόγω της υψηλής πυκνότητας των σταθμών στο κεντρικό κομμάτι της πόλης, συνυπάρχουν σε πολλές περιπτώσεις κοντινοί σταθμοί, περισσότερο ή λιγότερο πολυσύχναστοι λόγω της θέσης τους, της εξυπηρέτησης ή όχι περισσότερων από μίας γραμμών του μετρό, ή επειδή αποτελούν η όχι ανταπόκριση με άλλα μεταφορικά συστήματα. Τα χαρακτηριστικά αυτά εμφανίζονται παρόμοια στην ταξινόμηση των Εισόδων του 2020, και μειώνονται αισθητά στις περιπτώσεις των Εξόδων. Στις Εξόδους του 2020 δε, εμφανίζεται η μέγιστη μίξη των κλάσεων σε όλες τις περιοχές μελέτης και δεν μπορεί να εντοπιστεί ομοιόμορφη ομαδοποίηση γειτονικών σταθμών.

Για τον έλεγχο πιθανών χωρικών παραγόντων και χαρακτηριστικών που θα μπορούσαν να επεξηγήσουν τις διαφοροποιήσεις στα προφίλ της επιβατικής κίνησης, και συνεπώς και στις ταξινομήσεις, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων της κλάσης που ανήκει ο κάθε σταθμός (τόσο μεταξύ εισόδων και εξόδων, όσο και μεταξύ των δύο ετών) σε σχέση με τον αριθμό των γραμμών που εξυπηρετεί ο κάθε σταθμός, τον αριθμό (αν υπάρχουν) των διασταυρώσεων γραμμών που εμφανίζεται στον εκάστοτε σταθμό, των πιθανών αλλαγών μέσων μαζικής μεταφοράς που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε έναν σταθμό, και τέλος της ζώνης που ανήκει ο καθένας, ως συνάρτηση της απόστασης από το κέντρο της πόλης (Ζώνη 1-Κεντρικό Λονδίνο). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα συσχέτισης.

Πίνακας συσχέτισης	Είσοδοι 2019	Είσοδοι 2020	Έξοδοι 2019	Έξοδοι 2020	Αριθμός γραμμών	Διασταυρώσεις γραμμών	Αλλαγές Μέσου	Ζώνη
Είσοδοι 2019	1,0000							
Είσοδοι 2020	-0,0733	1,0000						
Έξοδοι 2019	0,1422	-0,1298	1,0000					
Έξοδοι 2020	0,0259	-0,4364	0,0710	1,0000				
Αριθμός γραμμών	0,2319	-0,0572	0,1312	0,1146	1,0000			
Διασταυρώσεις γραμμών	0,1253	-0,0473	0,1153	0,0238	0,7956	1,0000		
Αλλαγές Μέσου	-0,0612	-0,0010	0,0428	-0,0884	0,1654	0,7236	1,0000	
Ζώνη	-0,1477	0,0838	-0,2275	-0,1062	-0,4214	-0,3541	-0,0971	1,0000

Πίνακας 4.1.5. Πίνακας συσχέτισης των κανονικοποιημένων τιμών.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα εντοπίστηκε ότι όχι μόνο δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των ομάδων που προέκυψαν να ανήκουν οι σταθμοί τόσο το ίδιο έτος (είσοδοι – έξοδοι) όσο και μεταξύ των ετών, αλλά τα αποτελέσματα των κλάσεων δεν συσχετίστηκαν και με κανέναν από τους χωρικούς παράγοντες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε νέα συσχέτιση με τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων των αρχικών δεδομένων (πριν την κανονικοποίηση) για εισόδους και εξόδους του 2019 και του 2020, για τέσσερις κλάσεις. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας συσχέτισης	Είσοδοι 2019	Είσοδοι 2020	Έξοδοι 2019	Έξοδοι 2020	Αριθμός γραμμών	Διασταυρώσεις γραμμών	Αλλαγές Μέσου	Ζώνη
Είσοδοι 2019	1,0000							
Είσοδοι 2020	0,7443	1,0000						
Έξοδοι 2019	0,7852	0,8160	1,0000					
Έξοδοι 2020	0,6358	0,6970	0,5607	1,0000				
Αριθμός γραμμών	-0,1489	-0,1848	-0,2827	-0,1284	1,0000			
Διασταυρώσεις γραμμών	-0,2016	-0,2270	-0,2783	-0,1429	0,7956	1,0000		
Αλλαγές Μέσου	-0,1539	-0,1632	-0,1309	-0,0816	0,1654	0,7236	1,0000	
Ζώνη	0,3844	0,3838	0,4539	0,3433	-0,4214	-0,3541	-0,0971	1,0000

Πίνακας 4.1.6. Πίνακας συσχέτισης των αρχικών δεδομένων.

Παρατηρώντας αυτή την περίπτωση, μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των προφίλ της επιβατικής κίνησης με βάση την οποία ταξινομήθηκαν οι σταθμοί, τόσο μεταξύ εισόδων όσο και μεταξύ εξόδων. Ωστόσο το αποτέλεσμα αυτό δε θεωρείται αξιόλογο, καθώς εφόσον οι τιμές δεν είναι κανονικοποιημένες, ο αλγόριθμος ταξινόμησε με βάση το μέγεθος της επιβατικής κίνησης και όχι το ίδιο το προφίλ της. Ωστόσο, μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχει ήπια συσχέτιση των ομάδων που ανήκουν οι σταθμοί και στις τέσσερις περιπτώσεις με τη Ζώνη των σταθμών, ήτοι ουσιαστικά την απόσταση από το κέντρο. Παρόλα αυτά, όπως απέδειξε ο προηγούμενος πίνακας, η συσχέτιση αυτή παύει να υπάρχει κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας (μη συσχέτιση ομαδοποιήσεων εισόδων και εξόδων του ίδιου έτους).

## 4.2. Αποτελέσματα με τη Μέθοδο της Ασαφούς Ταξινόμησης

Στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης και έχοντας αποκτηθεί ενδιαφέρουσα οπτική στις ιδιαιτερότητες των δεδομένων μέσω του Αλγορίθμου K-Means, επιλέχθηκε να εφαρμοστεί επιπλέον εμβάθυνση, εφαρμόζοντας τη Μέθοδο της Ασαφούς Ταξινόμησης μέσω του Αλγορίθμου Fuzzy C-Means, του οποίου οι αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3. Με βάση τα τελικά αποτελέσματα της προηγούμενης μεθόδου, ο εν λόγω αλγόριθμος αποφασίστηκε να εφαρμοστεί στις Εισόδους και Εξόδους και των δύο ετών, τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων των οποίων είχαν τόσο πρακτικό όσο και χωρικό νόημα. Με βάση τις ιδιαιτερότητες του λογισμικού και του νέου αλγορίθμου, δεν απαιτήθηκε κάποια επιπλέον επεξεργασία των τελικών τεσσάρων βάσεων δεδομένων των κανονικοποιημένων τιμών επιβατικής κίνησης.

### 4.2.1. Εύρεση βέλτιστου αριθμού ομάδων ταξινόμησης

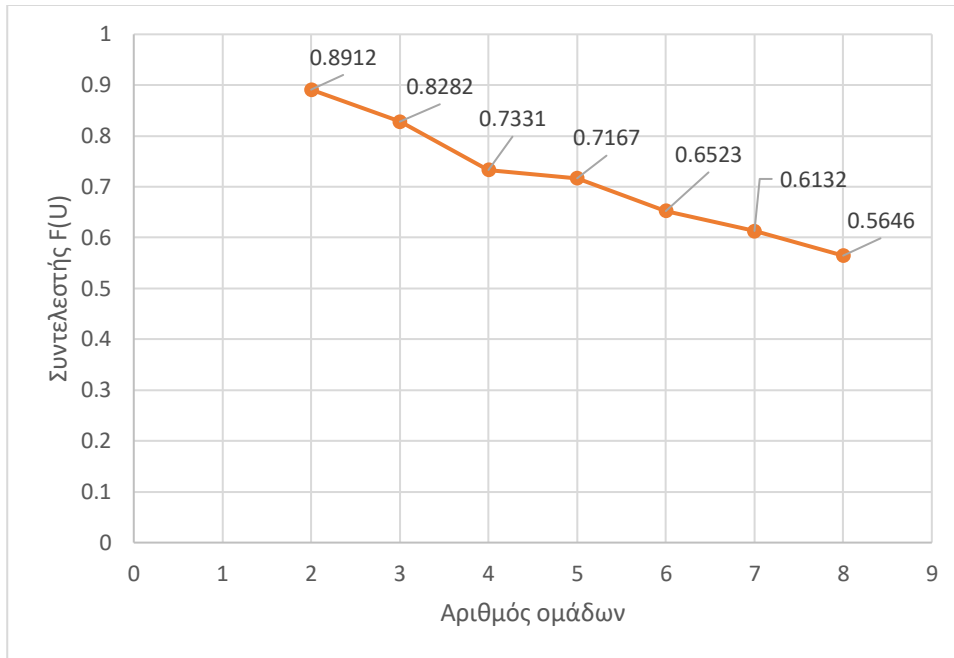
Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του Αλγορίθμου Fuzzy C-Means, όπως έχει ήδη αναλυθεί, είναι η δυνατότητα που δίνει στα προς ταξινόμηση αντικείμενα, να ανήκουν σε περισσότερες από μια κλάσεις, σε αντίθεση με την πλειοψηφία των υπόλοιπων αλγορίθμων ταξινόμησης. Για την παρούσα εργασία, όπως είναι γνωστό, τα αντικείμενα αποτελούν οι σταθμοί του μετρό του Λονδίνου, και οι μεταβλητές οι μετρήσεις επιβατικής κίνησης της χρονοσειράς για τον εκάστοτε σταθμό, τόσο το 2019 όσο και το 2020. Επιπρόσθετα, οφείλει να αναφερθεί, ότι ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι της βαθμονόμησης της συνάρτησης του αλγορίθμου αποτελεί ο εξ αρχής καθορισμός του αριθμού των κλάσεων (K) και η εύρεση του Συντελεστή Ασάφειας (Fuzzifier-m). Για την πραγματοποίηση της πρώτης απαίτησης, αξιοποιήθηκαν στατιστικά στοιχεία των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του αλγορίθμου για τις τέσσερις περιπτώσεις, όπως αυτά προέκυψαν σε ειδική αναφορά, αντίστοιχη με την περίπτωση εφαρμογής του K-Means.

Για τον καθορισμό του βέλτιστου αριθμού κλάσεων, ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε επαναληπτικά από 2 μέχρι 8 πιθανές κλάσεις, (ακριβώς όπως πραγματοποιήθηκε και στον K-Means), και αξιοποιήθηκε ο Συντελεστής F(U), όπως προέκυψε από το λογισμικό. Ο συντελεστής αυτός (Dunn's partition coefficient) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

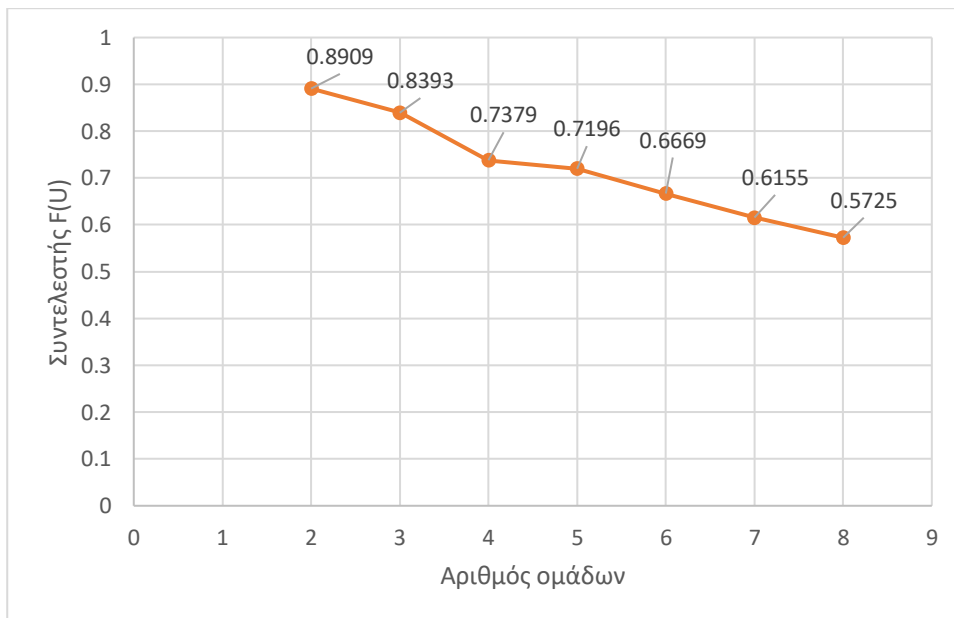
$$F(U) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N m_{ik}^2$$

όπου K ο αριθμός των κλάσεων και  $m_{ik}^2$  η άγνωστη πιθανότητα συμμετοχής του αντικειμένου i στην κάθε πιθανή κλάση k.

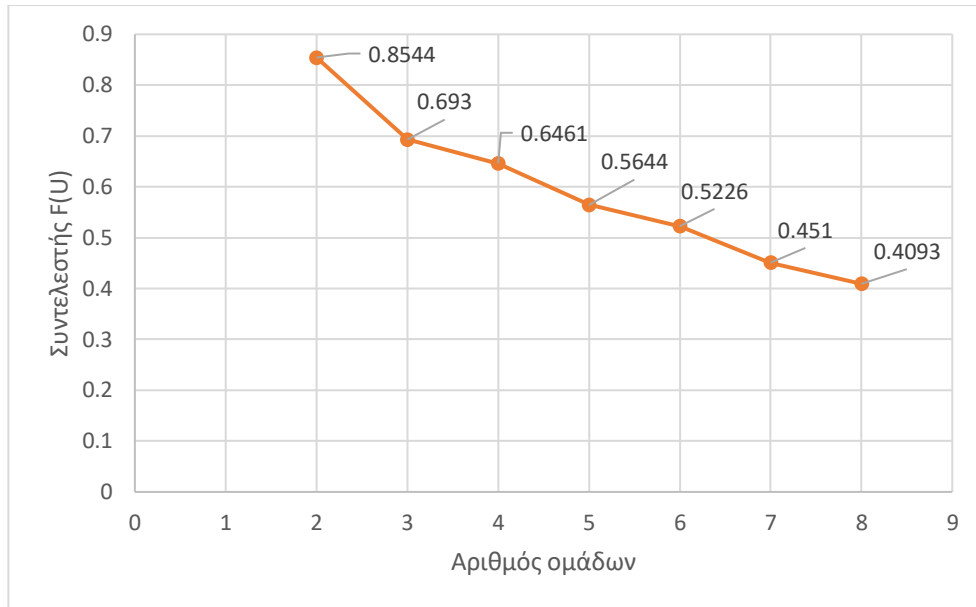
Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 1/K έως 1. Στην περίπτωση που το κάθε αντικείμενο έχει πιθανότητα συμμετοχής 1/K στην εκάστοτε κλάση, τότε και η τιμή του συντελεστή προκύπτει ίση με 1/K. Ειδικά στην περίπτωση που ο συντελεστής κανονικοποιηθεί για να ανήκουν οι τιμές του στο διάστημα 0 έως 1, η μηδενική τιμή ορίζει την πλήρη ασάφεια και η τιμή 1 την ενισχυμένη ομαδοποίηση. Τα αποτελέσματα για τις τέσσερις περιπτώσεις για 2 έως 8 πιθανές κλάσεις παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



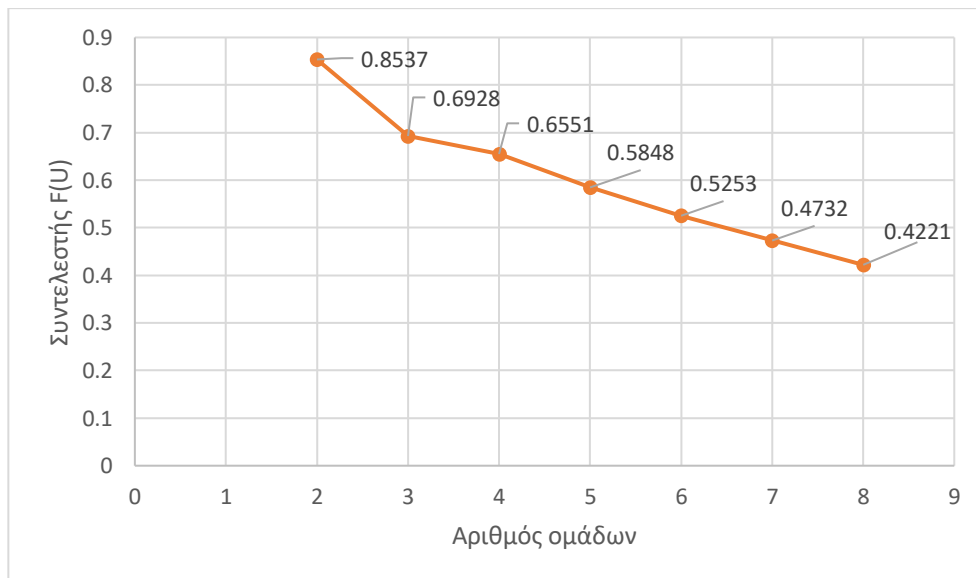
Σχήμα 4.2.1. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Είσοδοι 2019).



Σχήμα 4.2.2. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Εξοδοι 2019).



Σχήμα 4.2.3. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Είσοδοι 2020).



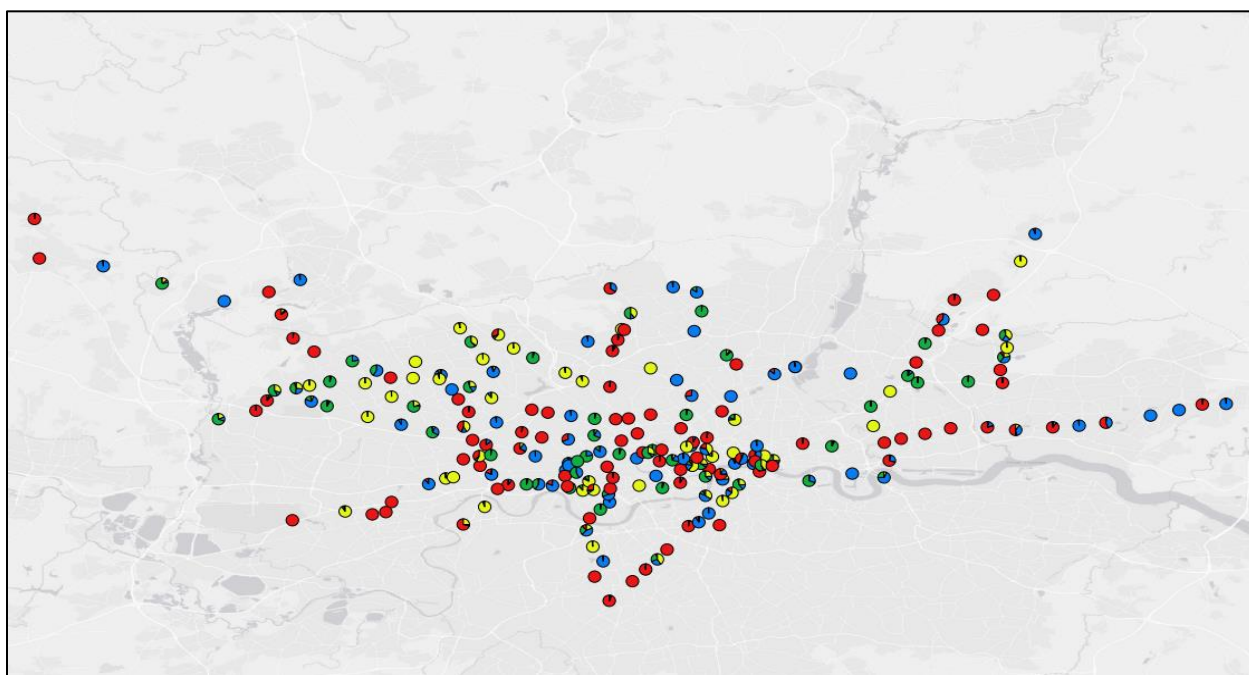
Σχήμα 4.2.4. Επιλογή βέλτιστου αριθμού ομάδων (Έξοδοι 2020).

Σε αντιστοιχία με τα διαγράμματα του K-Means, η γραφική παράσταση προκύπτει και πάλι φθίνουσα. Ως ιδανική επιλογή του αριθμού των ομάδων, μπορεί να θεωρηθεί το σημείο που κλίση της γραφικής παράστασης τείνει να σταθεροποιηθεί. Και με αυτή τη μέθοδο, βέλτιστες περιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν οι 4 ή οι 5 κλάσεις σε όλες τις περιπτώσεις. Με βάση όμως το υπόβαθρο που αποκτήθηκε από την εφαρμογή του προηγούμενου αλγορίθμου, ως βέλτιστος αριθμός κλάσεων, επιλέχθηκε αυτός των 4.

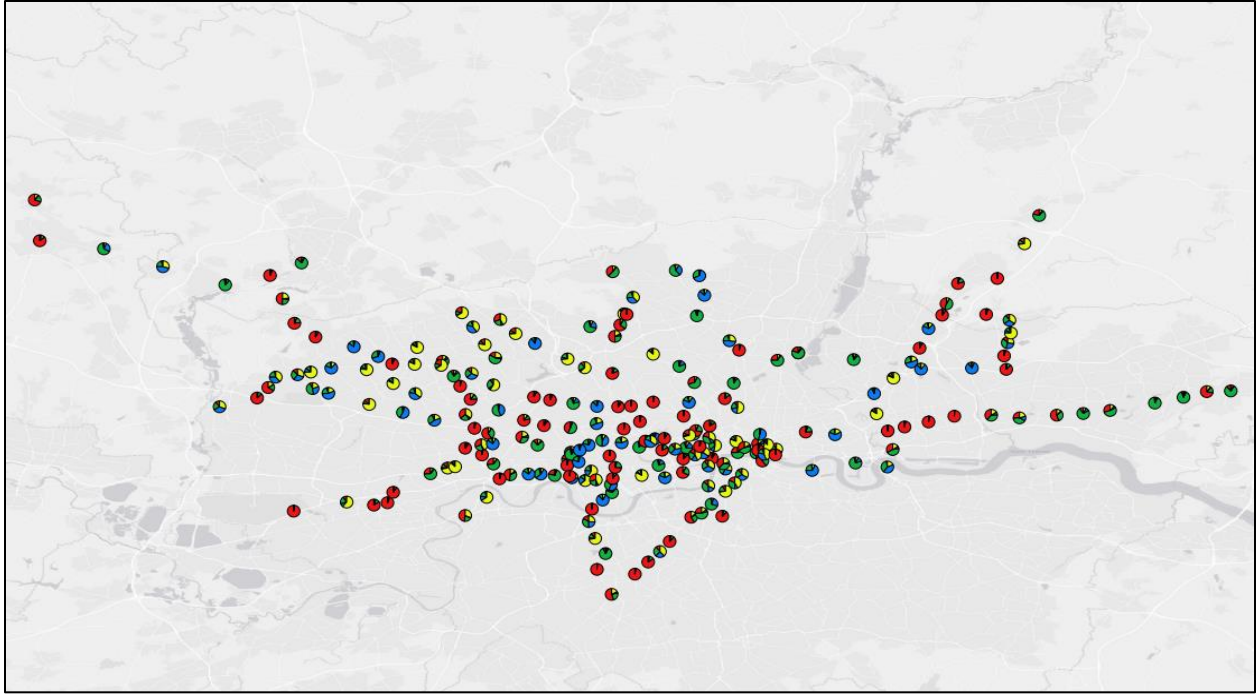


#### 4.2.2. Επιλογή Συντελεστή Ασάφειας

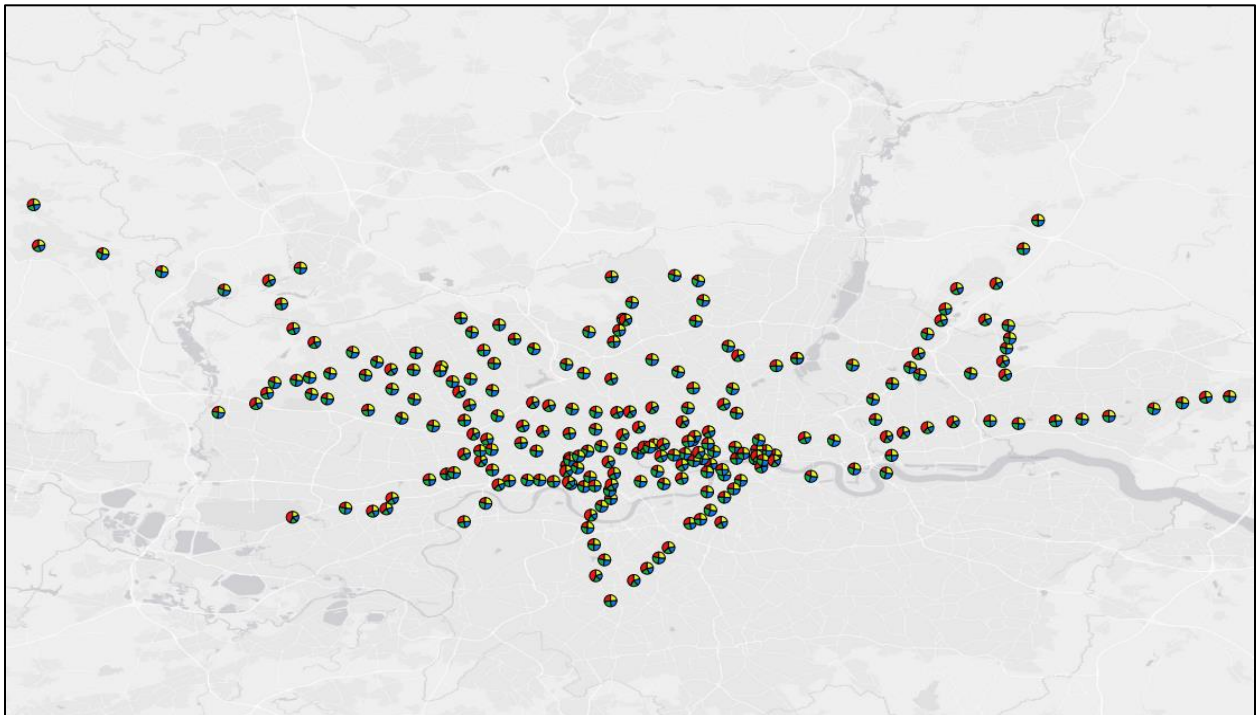
Ιδιαίτερα απαιτητικό αλλά και ταυτόχρονα σημαντικό στάδιο της εφαρμογής της παρούσας μεθόδου είναι η εκλογή μιας λογικής και ορθής τιμής του Συντελεστή Ασάφειας  $m$ . Ο συντελεστής αυτός όπως αναλυτικά έχει παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 3, ανάλογα την τιμή που του δίνεται (ίδιος για όλες τις κλάσεις), διευρύνει τα όρια των κλάσεων κατά την τιμή του. Συνεπώς, η σωστή επιλογή του είναι υψηλής σημασίας κατά την εφαρμογή της μεθόδου, ιδίως όσον αφορά το κομμάτι των ποσοστών της πιθανότητας συμμετοχής του κάθε αντικειμένου (σταθμοί) στην εκάστοτε κλάση. Με άλλα λόγια, μια υπερβολικά μεγάλη τιμή του συντελεστή, θα είχε σαν αποτέλεσμα μια μεγάλη διεύρυνση των ορίων των ομάδων, με αποτέλεσμα όλα ή τα περισσότερα αντικείμενα της ταξινόμησης, να έχουν σχεδόν ίδια πιθανότητα συμμετοχής σε όλες τις ομάδες, και να είναι πλήρως ασαφή, γεγονός το οποίο δεν έχει πρακτικό ή χωρικό νόημα. Αντίστροφα, μια λογική τιμή αυτού θα μπορούσε να ταξινομήσει τους σταθμούς και να καθορίσει την ασάφεια του καθενός, ώστε να μπορέσουν να εντοπιστούν οι πυρήνες των τάξεων (σταθμοί με πιθανότητα συμμετοχής σε μία μόνο κλάση >90%) και οι κορυφές των ορίων γειτονικών ομάδων (πλήρως ασαφείς σταθμοί). Στην παρούσα εργασία, και καθώς μόνο η εμπειρία μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή μιας σωστής τιμής, η τελική απόφαση επιλέχθηκε να παρθεί με βάση χωρικά αποτελέσματα. Με βάση τα αποτελέσματα του αλγορίθμου K-Means, οι Είσοδοι του 2019 παρουσίασαν τις πιο ενισχυμένες χωρικές ομαδοποιήσεις. Συμπερασματικά, επιλέχθηκε σε αυτή τη βάση δεδομένων να εφαρμοστεί επαναληπτικά η Ασαφής Ταξινόμηση για πιθανούς συντελεστές  $m=1.1, 1.2$  και  $1.5$  αντίστοιχα, με σκοπό να επιλεγεί η πιο αξιόλογη τιμή, με χωρικά αποτελέσματα που θα έχουν νόημα και θα μπορούν να δώσουν επιπλέον στοιχεία για το προφίλ της επιβατικής ζήτησης και το πως αυτό επηρέασε το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης των σταθμών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω χάρτες με τη σειρά που προαναφέρθηκαν οι πιθανές τιμές του συντελεστή.



Σχήμα 4.2.5. Επιλογή βέλτιστου Συντελεστή Ασάφειας ( $m=1.1$ ).



Σχήμα 4.2.6. Επιλογή βέλτιστου Συντελεστή Ασάφειας ( $m=1.2$ ).

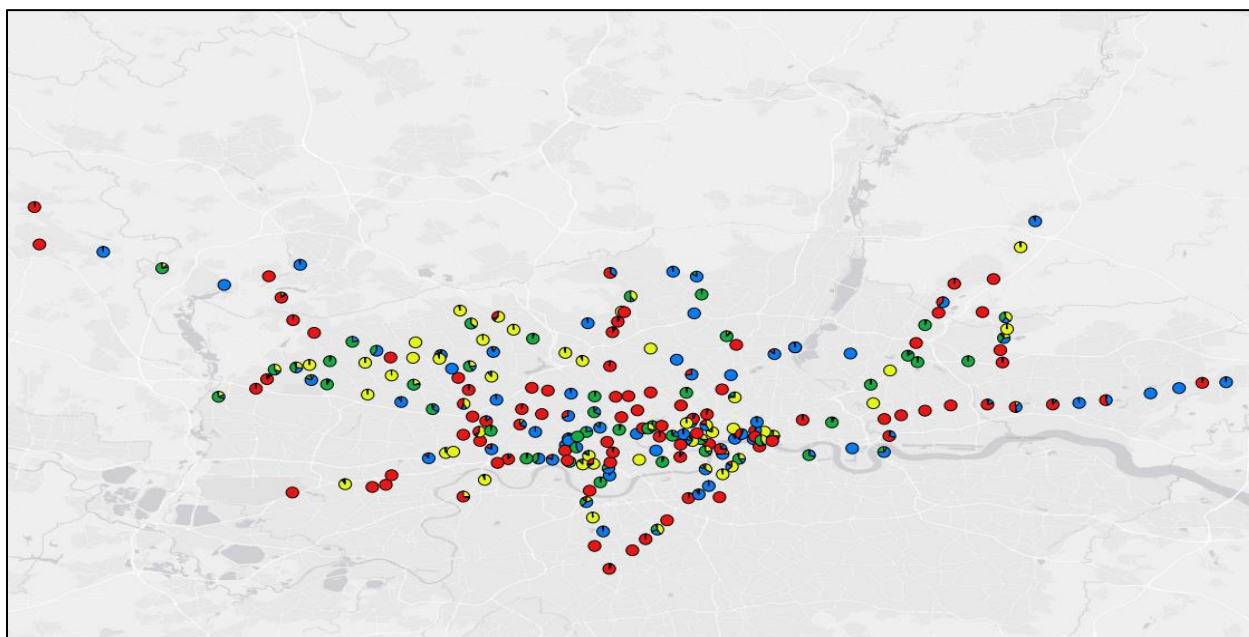


Σχήμα 4.2.7. Επιλογή βέλτιστου Συντελεστή Ασάφειας ( $m=1.5$ ).

Στους παραπάνω χάρτες, ο κάθε σταθμός περιγράφεται από μοναδικό διάγραμμα το οποίο προκύπτει από την πιθανότητα συμμετοχής του σε κάθε μία από τις 4 κλάσεις. Τα τέσσερα ποσοστά συμμετοχής ανά σταθμό προέκυψαν από ειδικό πίνακα της αναφοράς που παρήγαγε το λογισμικό με κάθε εφαρμογή της μεθόδου. Πιο αναλυτικά, ένας σταθμός του οποίου το διάγραμμα τείνει να είναι ισομοιρασμένο σε 4 ίσα μέρη, υποδεικνύει ότι έχει πιθανότητα της τάξης του 25% να ανήκει σε κάθε μία από τις 4 κλάσεις, και προφανώς είναι πλήρως ασαφής. Αντίστοιχα, ένας σταθμός με μονόχρωμο διάγραμμα, υποδεικνύει ότι έχει πιθανότητα της τάξης του 100% να ανήκει σε μια και μοναδική κλάση, και αποτελεί πυρήνα της κλάσης αυτής. Αναφέρεται ότι η κάθε μία από τις 4 κλάσεις χαρακτηρίζεται από διαφορετικό χρώμα. Συμπερασματικά, για συντελεστή ίσο με 1.5, η συντριπτική πλειοψηφία των σταθμών τείνει να ανήκει σε όλες τις κλάσεις με σχεδόν αντίστοιχη πιθανότητα. Από την άλλη πλευρά, για τιμή ίση με 1.1, μπορούν ευκολότερα να διακριθούν οι πυρήνες και οι κορυφές των ορίων, σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις. Συνεπώς η τιμή  $m=1.1$  επιλέγεται ως η πιο αξιόλογη για τις ανάγκες της παρούσας ανάλυσης.

#### 4.2.3. Τελικά αποτελέσματα της μεθόδου

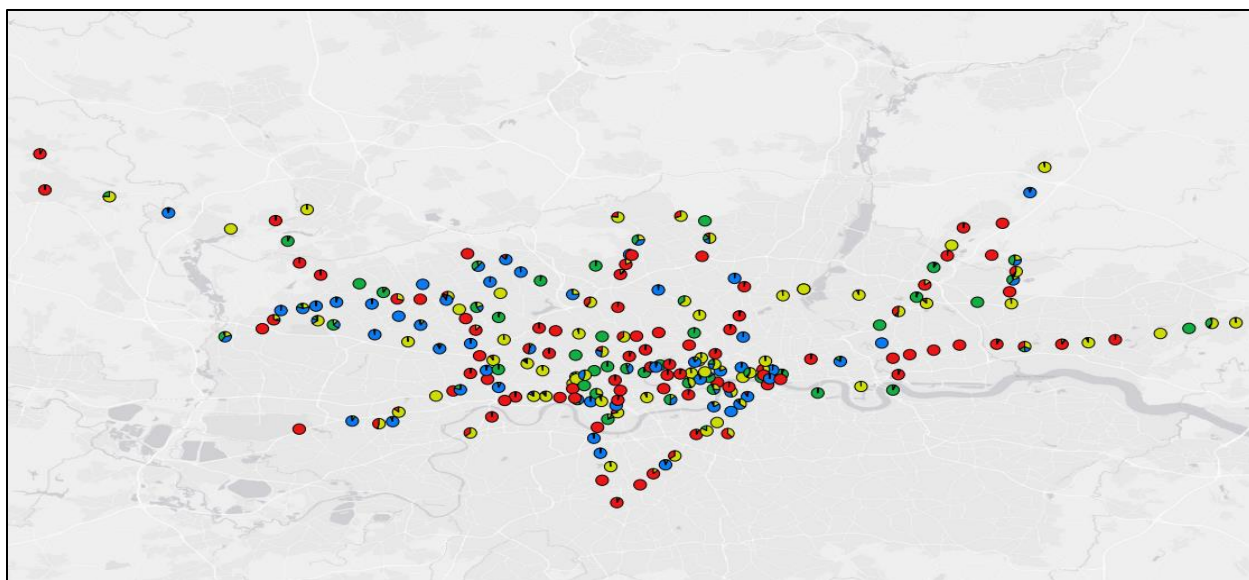
Αξιοποιώντας την παραπάνω τελική τιμή του συντελεστή, έλαβε χώρα επανάληψη της εφαρμογής της μεθόδου για τις Εξόδους του 2019 αλλά και Εισόδους και Εξόδους του 2020 για κοινή τιμή συντελεστή και 4 κλάσεις. Επιπλέον, αξιοποιώντας τους πίνακες ποσοστιαίων πιθανοτήτων συμμετοχής ανά περίπτωση, οπτικοποιήθηκαν τα αποτελέσματα σε χάρτες με διαγράμματα. Στη συνέχεια, για καθεμία από τις τέσσερις περιπτώσεις, δημιουργήθηκαν οι πίνακες με τους πλήρως ασαφείς σταθμούς. Η κατηγοριοποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε αυθαίρετα, με κριτήριο οι σταθμοί αυτοί να εμφανίζουν μέγιστη πιθανότητα συμμετοχής σε οποιαδήποτε κλάση μικρότερη του 80% και ταυτόχρονα να φέρουν ποσοστό συμμετοχής για όλες τις κλάσεις, ακόμα και της τάξης του 1% για κάποια ή κάποιες από αυτές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.



Σχήμα 4.2.8. Τελική ταξινόμηση (Είσοδοι 2019).

<b>Σταθμοί</b>	<b>Ομάδα 1 (%)</b>	<b>Ομάδα 2 (%)</b>	<b>Ομάδα 3 (%)</b>	<b>Ομάδα 4 (%)</b>
Aldgate	3	57	14	26
Alperton	44	1	13	42
Blackfriars LU	3	68	20	8
Cannon Street LU	1	60	3	36
Chiswick Park	1	77	8	14
East Ham	12	26	44	18
Eastcote	31	1	7	61
Edgware Road C&H	4	57	15	25
Euston Square	10	30	37	22
Goldhawk Road	3	38	21	37
High Street Kensington	2	16	8	74
Hillingdon	2	1	16	81
Ickenham	14	2	22	63
Ladbroke Grove	2	24	50	23
Latimer Road	1	65	8	27
Mill Hill East	1	54	4	41
Moor Park	64	1	31	4
Newbury Park	66	1	23	10
Parsons Green	2	65	27	6
Perivale	9	12	19	60
Plaistow	4	55	17	24
Putney Bridge	1	67	25	7
Royal Oak	6	42	25	27
Ruislip	2	17	75	6
Ruislip Manor	19	3	36	42
St Johns Wood	43	1	52	5
St Pauls	1	40	58	1
Stratford	1	75	4	20
Sudbury Town	4	27	28	41
Tottenham Hale	1	48	11	39
Upminster Bridge	50	4	37	10
Upton Park	3	66	13	18
Uxbridge	8	10	48	34
Warren Street	75	1	17	7
West Acton	2	29	60	9
West Harrow	27	1	7	65
West Kensington	1	57	11	31
Westbourne Park	3	60	13	24

Πίνακας 4.2.1. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασύφειας για τις Εισόδους του 2019.



Σχήμα 4.2.9. Τελική ταξινόμηση (Εξοδοι 2019).

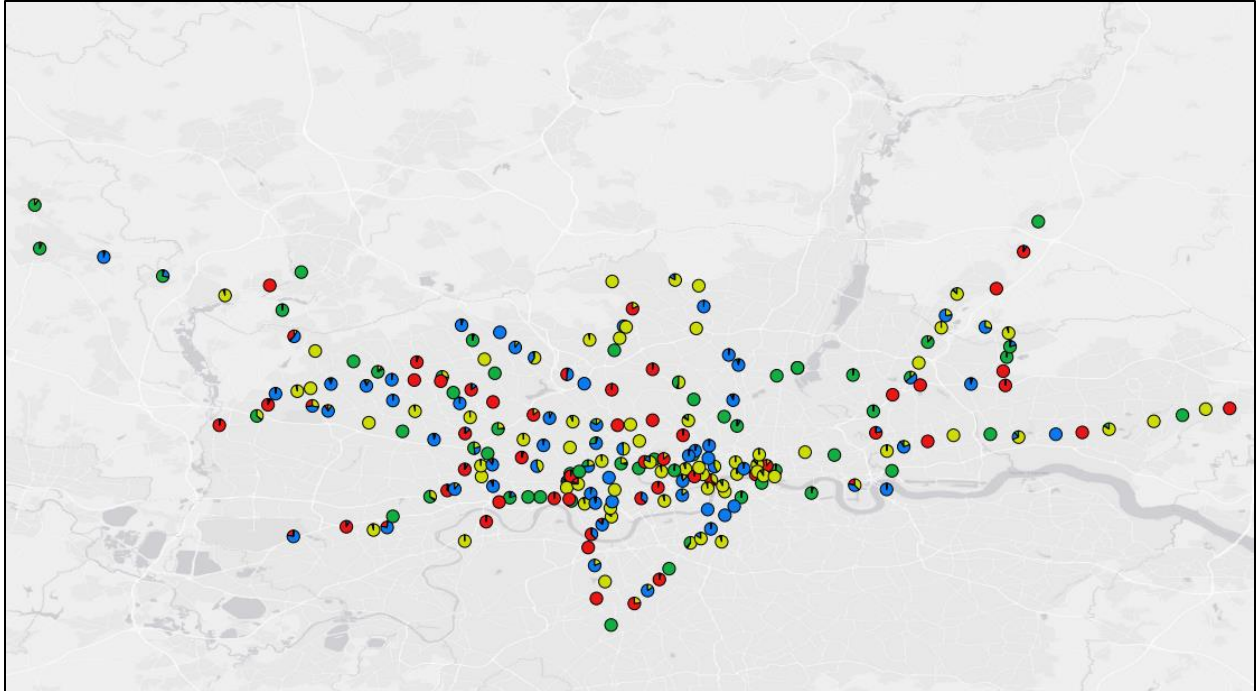
Σταθμοί	Ομάδα 1 (%)	Ομάδα 2 (%)	Ομάδα 3 (%)	Ομάδα 4 (%)
Cannon Street LU	3	35	52	9
Euston Square	5	35	43	18
Goldhawk Road	3	43	31	23
Grange Hill	4	50	4	42
Hammersmith C&H	2	56	31	11
Hillingdon	4	1	79	17
Ickenham	3	8	54	35
Ladbroke Grove	3	18	32	46
Lambeth North	1	1	43	55
Moor Park	61	2	4	33
Plaistow	4	56	22	19
Putney Bridge	19	2	27	53
Roding Valley	2	54	37	7
Royal Oak	5	15	59	20
Ruislip	6	12	17	65
Ruislip Manor	5	20	19	55
South Kenton	2	62	25	11
Southfields	13	20	18	50
St Johns Wood	2	38	4	57
Tottenham Hale	3	39	34	24
Upminster	3	37	4	56
Upminster Bridge	34	17	17	32
Upton Park	5	35	40	20
Uxbridge	3	3	78	16
Westbourne Park	6	49	18	26

Πίνακας 4.2.2. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2019.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται οι λίστες των κοινών πλήρως ασαφών σταθμών για το 2019 τόσο για εισόδους, όσο και για εξόδους.

<b>Σταθμοί</b>
<b>Cannon Street LU</b>
<b>Euston Square</b>
<b>Goldhawk Road</b>
<b>Hillingdon</b>
<b>Ickenham</b>
<b>Ladbroke Grove</b>
<b>Moor Park</b>
<b>Plaistow</b>
<b>Putney Bridge</b>
<b>Royal Oak</b>
<b>Ruislip</b>
<b>Ruislip Manor</b>
<b>St Johns Wood</b>
<b>Tottenham Hale</b>
<b>Upminster Bridge</b>
<b>Upton Park</b>
<b>Uxbridge</b>
<b>Westbourne Park</b>

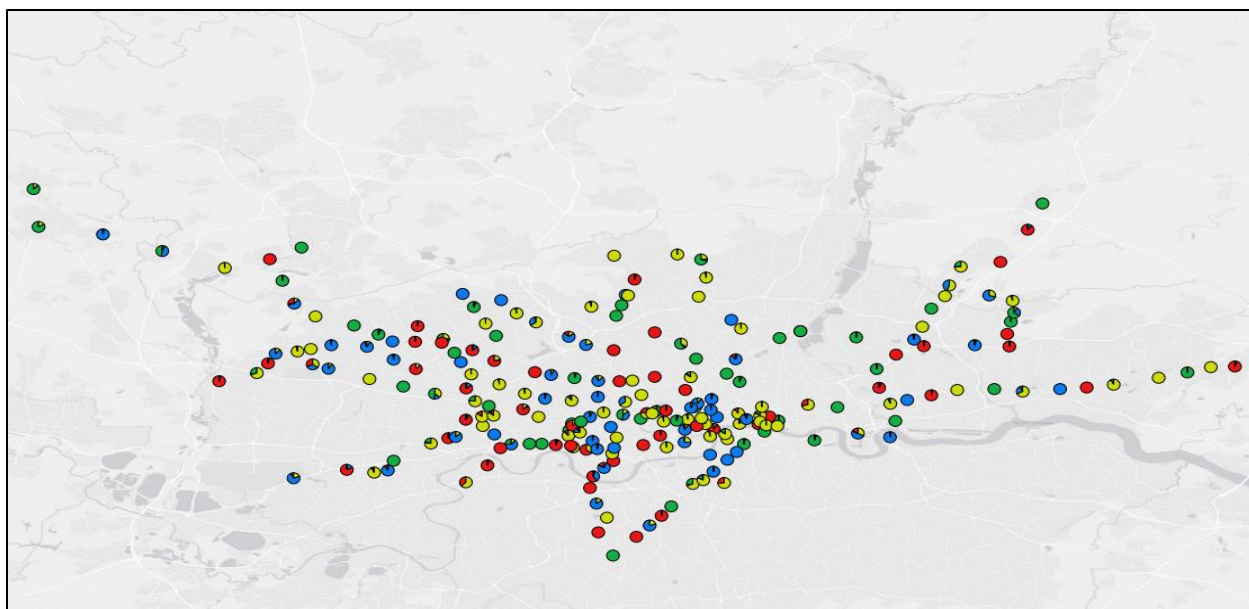
*Πίνακας 4.2.3. Λίστα κοινών σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους και Εξόδους του 2019.*



Σχήμα 4.2.10. Τελική ταξινόμηση (Είσοδοι 2020).

Σταθμοί	Ομάδα 1 (%)	Ομάδα 2 (%)	Ομάδα 3 (%)	Ομάδα 4 (%)
Canada Water	21	1	40	38
Knightsbridge	1	26	51	22
Urminster Bridge	1	11	20	69

Πίνακας 4.2.4. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους του 2020.



Σχήμα 4.2.11. Τελική ταξινόμηση (Εξοδοι 2020).

Σταθμοί	Ομάδα 1 (%)	Ομάδα 2 (%)	Ομάδα 3 (%)	Ομάδα 4 (%)
Canada Water	17	1	51	32
Northwick Park	26	3	60	11
Park Royal	16	1	78	6
Seven Sisters	8	2	14	76
Upminster Bridge	1	8	23	68

Πίνακας 4.2.5. Λίστα σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2020.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πλήρως ασαφείς σταθμοί για το 2020, αλλά και ο μοναδικός κοινός για όλες τις περιπτώσεις ταξινόμησης.

Σταθμοί
Canada Water
Upminster Bridge

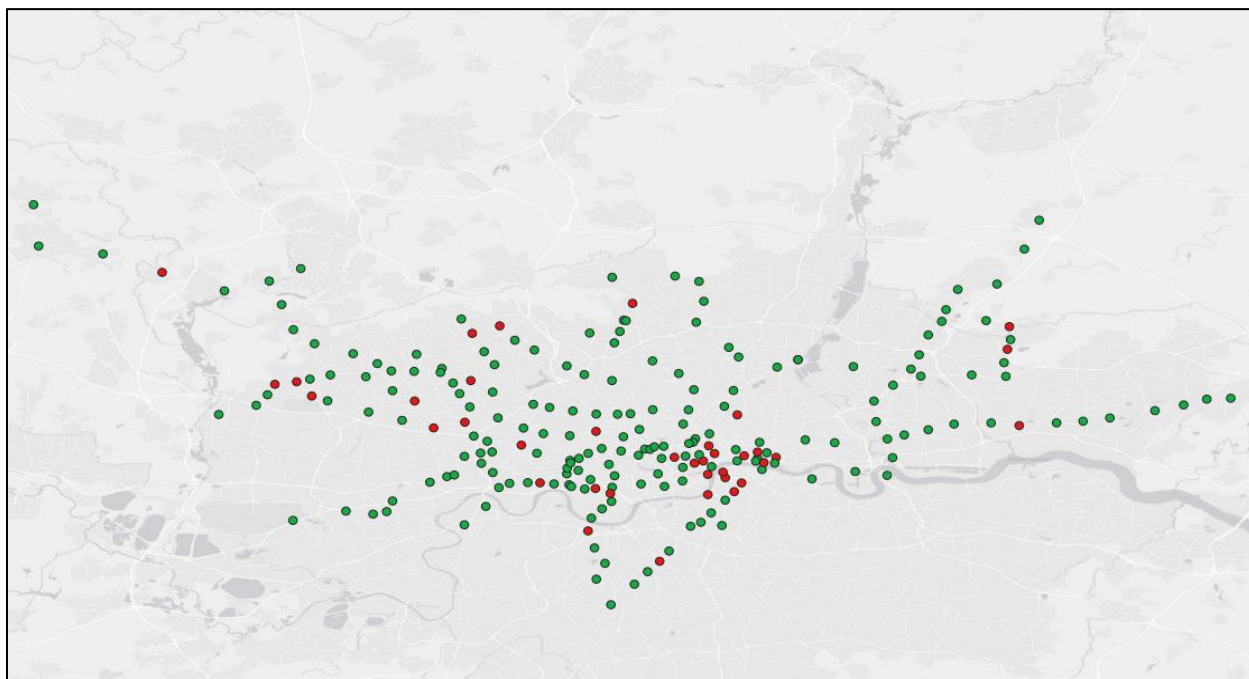
Πίνακας 4.2.6. Λίστα κοινών σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους και Εξόδους του 2020.

Σταθμοί
Upminster Bridge

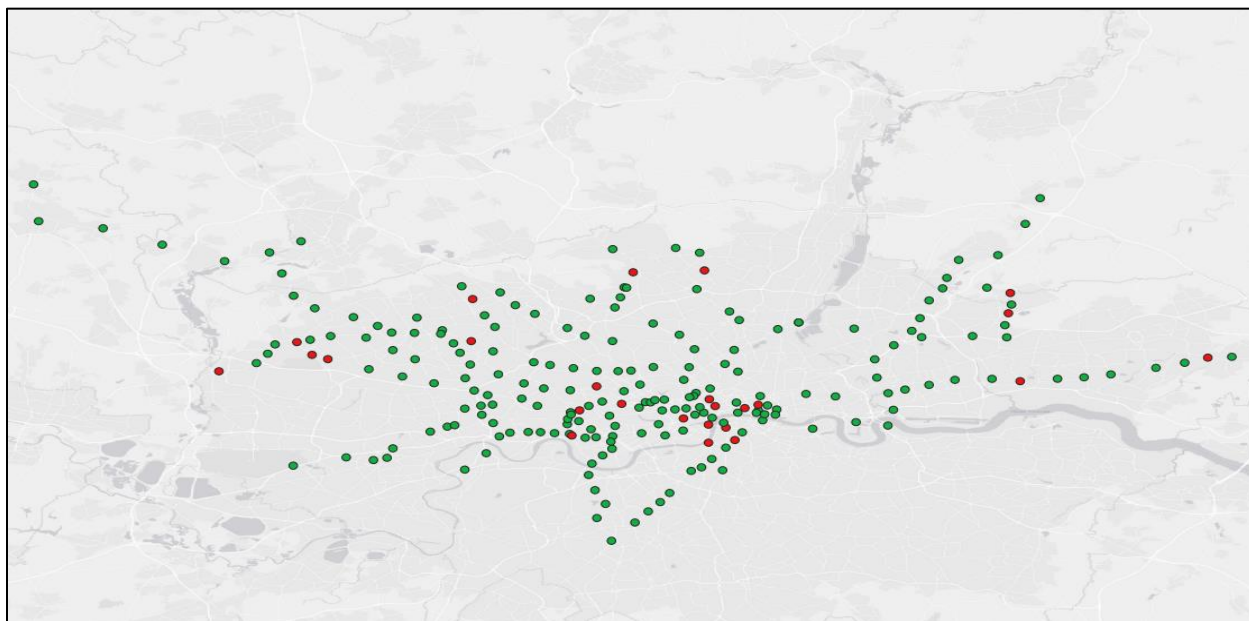
Πίνακας 4.2.7. Λίστα κοινών σταθμών μέγιστης Ασάφειας για όλες τις περιπτώσεις.



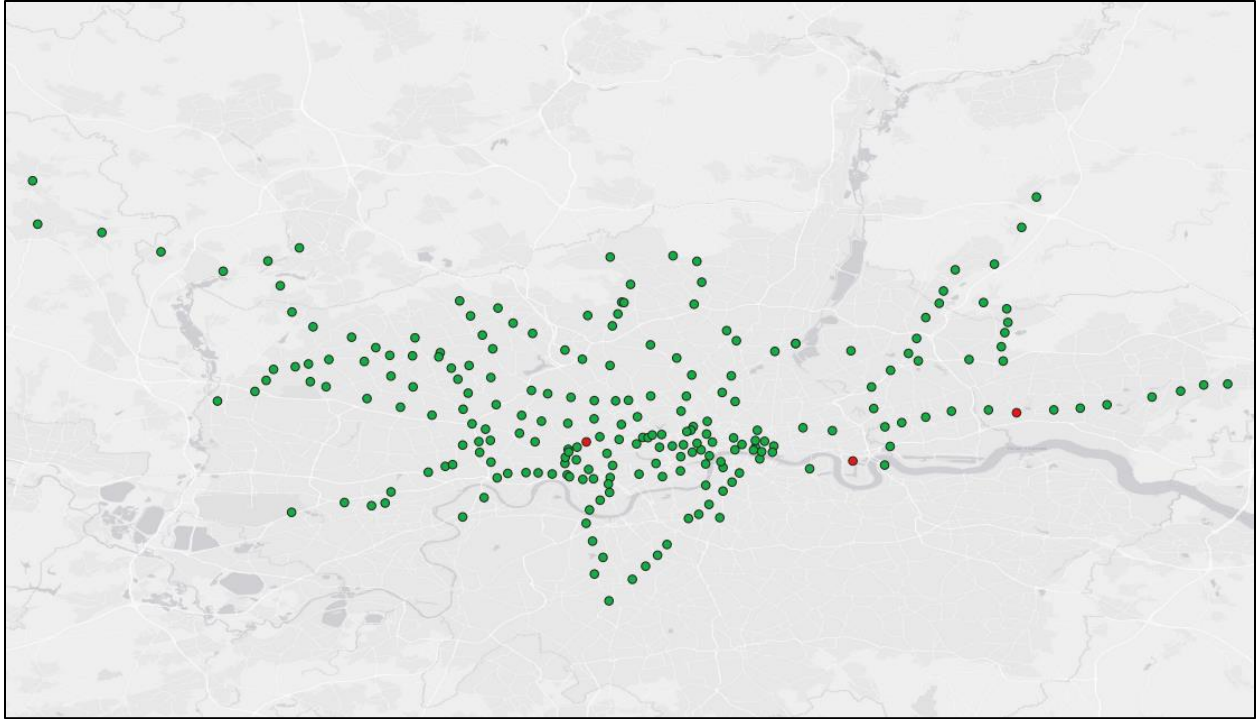
Στους παρακάτω χάρτες με κόκκινο χρώμα οπτικοποιούνται οι πλήρως ασαφείς σταθμοί ανά περίπτωση, με σκοπό την παρατήρηση της χωροθέτησής τους. Περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται το 2019, όπου οι πλήρως ασαφείς σταθμοί είναι περισσότεροι.



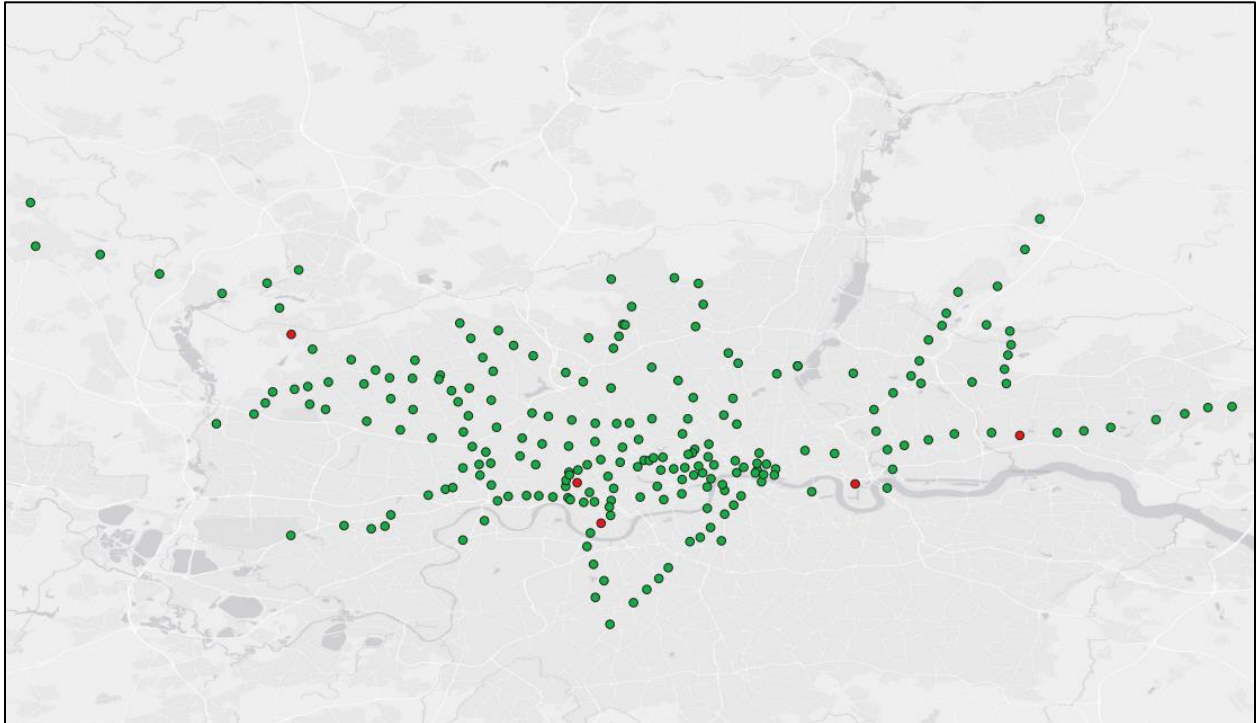
Σχήμα 4.2.12. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους του 2019.



Σχήμα 4.2.13. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2019.



Σχήμα 4.2.14. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εισόδους του 2020.



Σχήμα 4.2.15. Χωρική κατανομή των σταθμών μέγιστης Ασάφειας για τις Εξόδους του 2020.

Παρατηρώντας συνδυαστικά τα παραπάνω αποτελέσματα, αναφορικά με το προφίλ της επιβατικής κίνησης και το πως αυτό οπτικοποιήθηκε μέσω των ταξινομήσεων, μπόρεσαν να εξαχθούν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

Σχετικά με την κατανομή σε κλάσεις, τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν ότι εμφανίζουν κάποιες ομοιότητες με τα αποτελέσματα του Αλγορίθμου K-Means. Για το 2019, και ειδικότερα για την περίπτωση των εισόδων, τείνει να εμφανίζεται ενίσχυση της ομαδοποίησης με σημαντικό αριθμό σταθμών να ανήκουν σε κυρίαρχη κλάση. Ωστόσο η ενίσχυση αυτή, αν και μειώνεται στην περίπτωση των εξόδων, αυτό δε συμβαίνει τόσο έντονα όσο στην περίπτωση του Αλγορίθμου K-Means. Επιπλέον, για το 2020, τόσο για τις εισόδους όσο και για τις εξόδους, δεν μπορεί να εντοπιστεί ενισχυμένη κατανομή σε κλάσεις.

Από χωρικής άποψης, με βάση και τα προηγούμενα, για το έτος 2019, οι ομάδες τείνουν να εμφανίζονται περισσότερο ομοιογενείς, και σε αυτή την περίπτωση η παρατήρηση αυτή τείνει να επεκτείνεται και στις εξόδους του έτους. Έτσι, αρκετοί γειτονικοί σταθμοί (μη πλήρως ασαφείς), ειδικότερα σε περιοχές μακριά από το κέντρο της πόλης, έχουν την τάση να ανήκουν στην ίδια κλάση. Αντίστροφα, για το 2020, και στις δύο ταξινομήσεις που του αντιστοιχούν, οι μη ασαφείς σταθμοί είναι πιο άναρχα διεσπαρμένοι στο χώρο.

Σε αντιδιαστολή με τα παραπάνω, από άποψη ασάφειας, το έτος 2019, εμφανίζονται πολλοί περισσότεροι σταθμοί που τείνουν να ανήκουν σε περισσότερες από μία ομάδες, σε σύγκριση με το 2020. Επιπλέον, οι σταθμοί αυτοί, που με βάση τις αρχές της μεθόδου μπορούν να θεωρηθούν όρια γειτονικών κλάσεων, τείνουν στην πλειοψηφία τους να εμφανίζονται σε κεντρικές περιοχές του Λονδίνου και στις τέσσερις περιπτώσεις ταξινομήσεων. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του προηγούμενου αλγορίθμου με βάση τον οποίο, στον κεντρικό αστικό ιστό της πόλης, εμφανιζόταν η μεγαλύτερη μίξη των κλάσεων. Με βάση τη μέθοδο της Ασαφούς Ταξινόμησης συνεπώς όπου λαμβάνει χώρα επέκταση των ορίων της εκάστοτε κλάσης, κρίνεται αναμενόμενο η ασάφεια να αυξάνεται με τη μείωση της απόστασης από το κέντρο της πόλης. Τέλος, εξαιρώντας τη συσχέτιση των ασαφών σταθμών (πλήρως ή μη) με τη γεινίαση στο κέντρο του Λονδίνου, η εμφάνισή τους δε μπορεί να θεωρηθεί ότι ακολουθεί κάποιο άλλο εμφανές χωρικό μοτίβο.

## Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία διερεύνησε την επιρροή της έλευσης της πανδημίας στην επιβατική κίνηση του μετρό του Λονδίνου, με εφαρμογή δύο αλγορίθμων Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης. Η πόλη του Λονδίνου αποτελεί την πολυπληθέστερη αστική έκταση στη Μεγάλη Βρετανία καθώς και οικονομικό και πολιτισμικό κέντρο. Σε αυτήν, λειτουργεί ποικιλία μέσων μαζικής μεταφοράς, τα οποία εξυπηρετούν σε καθημερινή βάση τις ανάγκες των πολιτών και καλύπτουν συγκοινωνιακά την πόλη σε ολόκληρη την έκτασή της. Η κατασκευή του μετρό της πόλης ξεκίνησε το 1863. Από τότε μέχρι σήμερα, το δίκτυο του έχει επεκταθεί, καλύπτοντας 270 σταθμούς και 11 γραμμές (Bakerloo, Central, Circle, District, Hammersmith & City, Jubilee, Metropolitan, Northern, Piccadilly, Victoria Waterloo & City). Στη σημερινή εποχή, με όλες τις νέες επεκτάσεις, καλύπτει σημαντικό μέρος της πόλης αλλά και των προαστείων και έχει συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του Λονδίνου, όπως και τα υπόλοιπα μέσα μαζικής μεταφοράς που λειτουργούν στην πόλη. Αναφορικά με τη ζήτηση για μετακίνηση, το μετρό του Λονδίνου έχει αποτελέσει σταθερή επιλογή για τους κατοίκους της πόλης, ικανοποιώντας σημαντικό μέρος των μετακινήσεων τους σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα ΜΜΜ. Τα σταθερά υψηλά επίπεδα ζήτησης για μετακίνηση με το παρόν μέσο μειώθηκαν δραστικά με την έλευση της πανδημίας στη χώρα, λόγω της νέας πραγματικότητας αλλά και των περιοριστικών μέτρων που εφαρμόστηκαν.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας, αποκτήθηκαν δεδομένα επιβατικής κίνησης για όλους τους σταθμούς του μετρό σε ημερήσια βάση, για έτη 2019 και 2020, κατόπιν αιτήματος στο TfL (Transport for London). Εκτός αυτών, το TfL, σε ετήσια βάση πραγματοποιεί επιστημονικές διερευνήσεις και παράγει αναλυτικές αναφορές, οι οποίες προσέφεραν σημαντικά στοιχεία για τον εμπλουτισμό της παρούσας εργασίας, αναφορικά με πληθυσμιακά και δημογραφικά στοιχεία, τα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, τη ζήτηση για μετακίνηση, τις επιλογές μέσου μαζικής μεταφοράς αλλά και την επιρροή που δέχτηκαν όλα αυτά, λόγω της εμφάνισης της πανδημίας στη χώρα. Με την απόκτηση των στοιχείων επιβατικής κίνησης για τους σταθμούς, έλαβε χώρα στη συνέχεια αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων με χρήση διαφόρων λογισμικών αλλά και προγραμματισμού. Σκοπός των επεξεργασιών αυτών ήταν η δημιουργία των τελικών βάσεων δεδομένων σε μορφή αξιοποιήσιμη από το λογισμικό εφαρμογής των μεθόδων Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης (NCSS). Η ανάλυση επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για τις εισόδους και τις εξόδους του 2019 και του 2020, με αποτέλεσμα να απαιτηθεί η δημιουργία τεσσάρων βάσεων δεδομένων. Οι τελικοί σταθμοί προέκυψαν να είναι 226 και η χρονοσειρά της επιβατικής κίνησης να καλύπτει 335 ημέρες ανά έτος (2019 και 2020 αντίστοιχα), με μικρές διαφοροποιήσεις στον καθένα, λόγω έλλειψης ημερομηνιών. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση απαιτήθηκε όλοι οι σταθμοί να περιγράφονται από τουλάχιστον 300 μετρήσεις επιβατικής κίνησης ανά έτος.

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής δύο αλγορίθμων, του K-Means και του Fuzzy C-Means με τον δεύτερο να πραγματοποιεί Ασαφή Ταξινόμηση. Και για τους δύο αλγορίθμους έχει λάβει χώρα αναλυτική αναφορά των εξισώσεων, των απαραίτητων παραμέτρων, αλλά και των αρχών και ιδιαιτεροτήτων τους σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας. Στην περίπτωση του πρώτου αλγορίθμου, πραγματοποιήθηκαν αρχικές διαδικασίες για την εύρεση του βέλτιστου αριθμού κλάσεων της ταξινόμησης. Στη συνέχεια, τα δεδομένα επιβατικής κίνησης κανονικοποιήθηκαν, καθώς στόχος της εργασίας ήταν η διερεύνηση των προφίλ της επιβατικής κίνησης και πως αυτά άλλαξαν και όχι του μεγέθους της. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε επαναληπτικά για τις Εισόδους και Εξόδους του 2019, τη Συνολική Επιβατική Κίνηση 2019 και 2020 αλλά και το Ποσοστό Μεταβολής 2019-2020 (αρχικά δεδομένα / 4 και 5 κλάσεις). Επιπρόσθετα, η διαδικασία επαναλήφθηκε για τις κανονικοποιημένες τιμές για τις

εισόδους και τις εξόδους των δύο ετών αλλά και για τη συνολική επιβατική κίνηση ανά έτος και πάλι για 4 και 5 πιθανές κλάσεις. Τα αποτελέσματα οπτικοποιήθηκαν σε χάρτες, πίνακες και διαγράμματα, με σκοπό να επιλεγούν οι πιο αξιόλογες ταξινομήσεις από άποψη χωρικής ανάλυσης. Συνεπώς, οι τέσσερις τελικές ταξινομήσεις προέκυψε να είναι οι Είσοδοι και οι Έξοδοι των δύο ετών, με βέλτιστη ομαδοποίηση αυτή των τεσσάρων κλάσεων. Οι υπόλοιπες περιπτώσεις επιλέχθηκε να απορριφθούν, για λόγους που έχουν αναφερθεί στο Κεφάλαιο 4. Στη συνέχεια, με γνωστό πλέον το βέλτιστο αριθμό ομάδων για τις ανάγκες των παρόντων δεδομένων, εφαρμόστηκε η Μέθοδος της Ασαφούς Ταξινόμησης στις τέσσερις παραπάνω τελικές περιπτώσεις. Λόγω της ιδιαιτερότητας και των απαιτήσεων της μεθόδου, όφειλε να εκλεγεί ένας ορθός Συντελεστής Ασάφειας, κοινός για όλες τις περιπτώσεις, το οποίο και πραγματοποιήθηκε μέσω χωρικής οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων της μεθόδου. Με την εύρεση αυτού, εφαρμόστηκε η μέθοδος ταξινόμησης για τις εισόδους και τις εξόδους των δύο ετών, και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και πάλι σε χάρτες, διαγράμματα και πίνακες. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις των ταξινομήσεων, όπως αυτά προέκυψαν από όλες τις παραπάνω διαδικασίες.

Αναφορικά με τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων με τον Αλγόριθμο K-Means, με εφαρμογή στα αρχικά μη κανονικοποιημένα δεδομένα, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι σταθμοί ταξινομούνται σε διαφορετικό τρόπο, τόσο μεταξύ των δύο ετών, όσο και στο ίδιο έτος μεταξύ εισόδων και εξόδων. Μεταξύ των αποτελεσμάτων του ίδιου έτος, τα αποτελέσματα έχουν περισσότερες ομοιότητες σε σύγκριση με τα αποτελέσματα μεταξύ των δύο ετών. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πλήρως λογικό, καθώς το προφίλ της επιβατικής κίνησης αναμένεται να εμφανίζει μεγαλύτερη σταθερότητα μέσα σε μία ημέρα (είσοδοι και έξοδοι) παρά μεταξύ των ετών, πόσο μάλλον στην περίπτωση ενός έτους όπως το 2020, όπου εμφανίστηκε η πανδημία. Επιπλέον, αν και η επιλογή των 4 κλάσεων προέκυψε μετά από αρκετές διαδικασίες, ακόμα και σε αυτό το αρχικό στάδιο, ήταν εύκολο να εντοπιστεί, ότι από άποψη χωρικής ανάλυσης, η επιλογή αυτού του αριθμού ομάδων σε σχέση με τις 5, είχε περισσότερο νόημα από άποψη χωρικής ομοιογένειας των ταξινομήσεων.

Για την περίπτωση των τελικών δεδομένων (κανονικοποιημένων) και με αναφορά στον ίδιο αλγόριθμο, παρατηρήθηκαν παρεμφερή χαρακτηριστικά στην κατανομή των σταθμών σε κλάσεις, όπως και στις ταξινομήσεις των αρχικών δεδομένων. Ουσιαστικά, οι ταξινομήσεις που αναφέρονταν στα ίδια έτη, έφεραν περισσότερες ομοιότητες μεταξύ τους, σε σχέση με τις ταξινομήσεις που αναφέρονταν στα δύο έτη αντίστοιχα. Ωστόσο, με εξαίρεση κάποιους κεντρικούς σταθμούς του Λονδίνου (ιδίως στις ταξινομήσεις Εισόδων), που παρέμειναν στην ίδια κλάση και με τις δύο περιπτώσεις δεδομένων, δεν προέκυψε να διατηρούνται οι γειτνιάσεις (κοντινοί σταθμοί σε ίδια κλάση) στην περίπτωση των κανονικοποιημένων δεδομένων. Σε γενικές γραμμές, οι ταξινομήσεις των τελικών δεδομένων είχαν ως αποτέλεσμα μικρότερη χωρική ομοιογένεια των ομάδων σε όλες τις περιπτώσεις, σε σύγκριση με την εφαρμογή του αλγορίθμου στα αρχικά δεδομένα. Οι ομάδες στη δεύτερη περίπτωση, και ιδίως για το 2020, προέκυψαν πιο άναρχα κατανομημένες στο χώρο, με μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης μεγάλων περιοχών κυρίως στα προάστεια, όπου η πλειοψηφία των σταθμών ανήκε στην ίδια κλάση (όπως συνέβη στα αρχικά δεδομένα). Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί συνάρτηση της ίδιας της κανονικοποίησης, καθώς στην περίπτωση των αρχικών δεδομένων, ο αλγόριθμος επηρεάστηκε από το μέγεθος της επιβατικής κίνησης ανά σταθμό. Συνεπώς, απομακρυσμένοι σταθμοί από το κέντρο, που εξυπηρετούν μικρότερη επιβατική κίνηση, ταξινομήθηκαν στην ίδια κλάση και αντίστροφα. Αντιθέτως, μετά την κανονικοποίηση, ο αλγόριθμος μπόρεσε να ταξινομήσει πλήρως αντικειμενικά, με βάση το ίδιο το προφίλ της επιβατικής κίνησης και όχι το μέγεθός, γεγονός που ήταν και ο ίδιος ο στόχος της εργασίας, με αποτέλεσμα την προαναφερθείσα μικρότερη χωρική ομοιογένεια. Τέλος, με σύγκριση των 4 και 5 κλάσεων, οι ταξινομήσεις των πρώτων εμφάνισαν

περισσότερο νόημα από άποψη ευκολίας οπτικοποίησης και παρατήρησης των χωρικών κατανομών τόσο για τις εισόδους όσο και για τις εξόδους και των δύο ετών.

Με τελική επιλογή αυτή των 4 κλάσεων και ως βέλτιστων ταξινομήσεων αυτών των εισόδων και εξόδων και των δύο ετών, και όχι της συνολικής επιβατικής κίνησης ή του ποσοστού μεταβολής, για λόγους που προαναφέρθηκαν αναλυτικά προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

Συγκρίνοντας μεταξύ τους τις τέσσερις τελικές ταξινομήσεις (κανονικοποιημένα δεδομένα), οι εισόδοι και των δύο ετών εμφανίζουν ενισχυμένες ομαδοποιήσεις, καθώς και στις δύο περιπτώσεις εμφανίστηκε κυρίαρχη κλάση στην οποία συμμετείχε σημαντικό ποσοστό των σταθμών. Στην περίπτωση των εξόδων και των δύο ετών (ιδίως το 2020), η ενίσχυση αυτή έτεινε να μειώνεται αισθητά, και στη θέση της να εμφανίζεται ισομοιρασμός των σταθμών στις 4 κλάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η ταξινόμηση των Εισόδων του 2019, εμφάνισε την πιο ενισχυμένη ομαδοποίηση, ενώ αντίστροφα η ταξινόμηση των Εξόδων του 2020, σχεδόν πλήρη ισομοιρασμό των σταθμών στις 4 κλάσεις. Εξετάζοντας συνολικά τα αποτελέσματα και συγκρίνοντας τα δύο έτη μεταξύ τους εξήχθη το συμπέρασμα ότι η γενική ενίσχυση της ομαδοποίησης, μειώθηκε από το 2019 στο 2020. Σε συνέχεια των προηγούμενων από άποψη χωρικής ανάλυσης, όπως είναι απόλυτα λογικό, οι ταξινομήσεις με τις κυρίαρχες κλάσεις εμφάνισαν αρκετά ξεκάθαρη χωρική κατανομή των ομάδων και ομοιογενή εικόνα στο χώρο (Είσοδοι 2019 και 2020). Από την άλλη πλευρά, στις περιπτώσεις των εξόδων, οι κλάσεις προέκυψαν λιγότερο ομοιογενείς και εμφάνισαν έντονη μίξη στον υπό μελέτη χώρο, με τις Εξόδους του 2020 να εμφανίζουν την πιο άναρχη χωρική εικόνα. Η τάση εμφάνισης περιοχών με σταθμούς να ανήκουν σε μοναδική κλάση κυρίως στα προάστια της πόλης, διατηρήθηκε και σε αυτή την περίπτωση (όχι τόσο έντονα όσο στα αρχικά δεδομένα), και ιδίως στις περιπτώσεις των εισόδων. Ωστόσο, στο κεντρικό Λονδίνο, η μίξη των κλάσεων ήταν ξεκάθαρη, καθώς σε αυτή την περιοχή είναι χωροθετημένοι πολλοί σταθμοί σε κοντινές αποστάσεις, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από διαφορετικά προφίλ επιβατικής κίνησης και συνεπώς και στις 4 περιπτώσεις, ταξινομήθηκαν σε διαφορετικές κλάσεις, παρά τις μικρές αποστάσεις μεταξύ τους.

Στο τελικό στάδιο της πρώτης ανάλυσης όπου πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων της κατανομής των σταθμών στις κλάσεις, σε συνάρτηση με εξωτερικούς παράγοντες, όπως αυτοί επεξηγήθηκαν, για την περίπτωση των κανονικοποιημένων τιμών, δεν μπόρεσε να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα. Ωστόσο, κατά την πραγματοποίηση δεύτερης συσχέτισης με τις αρχικές τιμές, προέκυψε η κλάση που ανήκει ο κάθε σταθμός και στις τέσσερις ταξινομήσεις, να επηρεάζεται από την απόσταση αυτού από το κέντρο της πόλης σε έναν βαθμό. Ωστόσο η συσχέτιση αυτή αποδείχθηκε ότι χάνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των εισόδων και των εξόδων μεταξύ τους τόσο για το 2019 όσο και για το 2020 προέκυψε σχεδόν μηδενική.

Αναφορικά με την εφαρμογή του Αλγορίθμου Fuzzy C-Means για 4 κλάσεις και Συντελεστή Ασάφειας  $m=1.1$ , στα κανονικοποιημένα δεδομένα και συγκεκριμένα στις Εισόδους και Εξόδους του 2019 και του 2020 προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

Σχετικά με την κατανομή των σταθμών σε κλάσεις με γνώμονα το προφίλ της επιβατικής κίνησης καθενός από αυτούς, τα αποτελέσματα έτειναν να εμφανίζουν κάποια κοινά στοιχεία με τα αποτελέσματα του Αλγορίθμου K-Means. Ωστόσο, η μέθοδος της Ασαφούς Ταξινόμησης εξ ορισμού, μεγιστοποιεί την αποκτωμένη πληροφορία, καθώς αποδεικνύει ότι μερικοί σταθμοί θα μπορούσαν να ανήκουν σε περισσότερες από μια κλάσεις, και έτσι προσδίδει περισσότερη ευελιξία στην ανάλυση. Και σε αυτήν την περίπτωση, η ταξινόμηση των Εισόδων του 2019, εμφάνισε την πιο ενισχυμένη ομαδοποίηση των σταθμών με αυτή να μειώνεται στις εξόδους του ίδιου έτους, όχι όμως τόσο έντονα όσο κατά την εφαρμογή του K-Means. Αντίστροφα, δεν

παρατηρείται ενισχυμένη κατανομή σε κλάσεις για το 2020, τόσο για τις εισόδους, όσο και για τις εξόδους. Από χωρικής άποψης, για το 2019, σε απομακρυσμένες περιοχές από το κέντρο της πόλης, οι κλάσεις των μη ασαφών σταθμών, έτειναν να εμφανίζουν χωρική συνέχεια, με αρκετά τμήματα της υπό μελέτη περιοχής να απαρτίζονται από σταθμούς που είχαν πολύ μεγάλη πιθανότητα να ανήκουν στην ίδια κλάση. Το συμπέρασμα αυτό μπόρεσε να θεωρηθεί ότι χαρακτηρίζει και την ταξινόμηση των Εξόδων του 2019, όχι όμως τις ταξινομήσεις του 2020, καθώς οι μη ασαφείς σταθμοί, δεν παρουσίασαν χωρική ομοιογένεια μεταξύ τους.

Εξετάζοντας συγκεκριμένα την ίδια την ασάφεια των σταθμών, το έτος 2019, προέκυψαν πολλοί περισσότεροι σταθμοί που έφεραν την πιθανότητα να ανήκουν σε περισσότερες από μία ομάδες, σε σύγκριση με το 2020. Επιπλέον, οι σταθμοί αυτοί, οι οποίοι με βάση αυτό το κοινό τους χαρακτηριστικό θεωρήθηκαν ως όρια γειτονικών κλάσεων, χωροθετήθηκαν στην πλειοψηφία τους σε κεντρικές περιοχές του Λονδίνου και στις τέσσερις περιπτώσεις ταξινομήσεων. Η παρατήρηση έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του Αλγορίθμου K-Means με βάση τον οποίο, στον κεντρικό αστικό ιστό της πόλης, εμφανιζόταν η μεγαλύτερη μίξη των κλάσεων. Λόγω των χαρακτηριστικών του Αλγορίθμου Fuzzy C-Means, όπου πραγματοποιήθηκε επέκταση των ορίων της εκάστοτε κλάσης κατά κοινό Συντελεστή  $m=1.1$ , συμπεραίνεται ως αναμενόμενο η ασάφεια να αυξάνεται με την εγγύτητα στο κέντρο της πόλης. Ωστόσο, εξαιρώντας τη συσχέτιση των ασαφών σταθμών (πλήρως ή εν μέρει) με την απόσταση τους από το κέντρο, δεν εξήχθη κάποιο άλλο σημαντικό συμπέρασμα, που να μπορεί να αξιολογήσει με βάση κάποιο άλλον χωρικό παράγοντα επηρεασμού τους λόγους που αυτοί προέκυψαν στην εκάστοτε θέση τους στο χώρο.

Παρατηρώντας και συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω συμπεράσματα, όπως αυτά προέκυψαν από τις αναλύσεις, αναφέρεται σε αυτό το τελικό στάδιο, η σύνδεση αυτών των παρατηρήσεων, με την εμφάνιση της πανδημίας στο Λονδίνο και τις επιρροές αυτής, γεγονός που αποτελεί και τον ίδιο το στόχο της εργασίας.

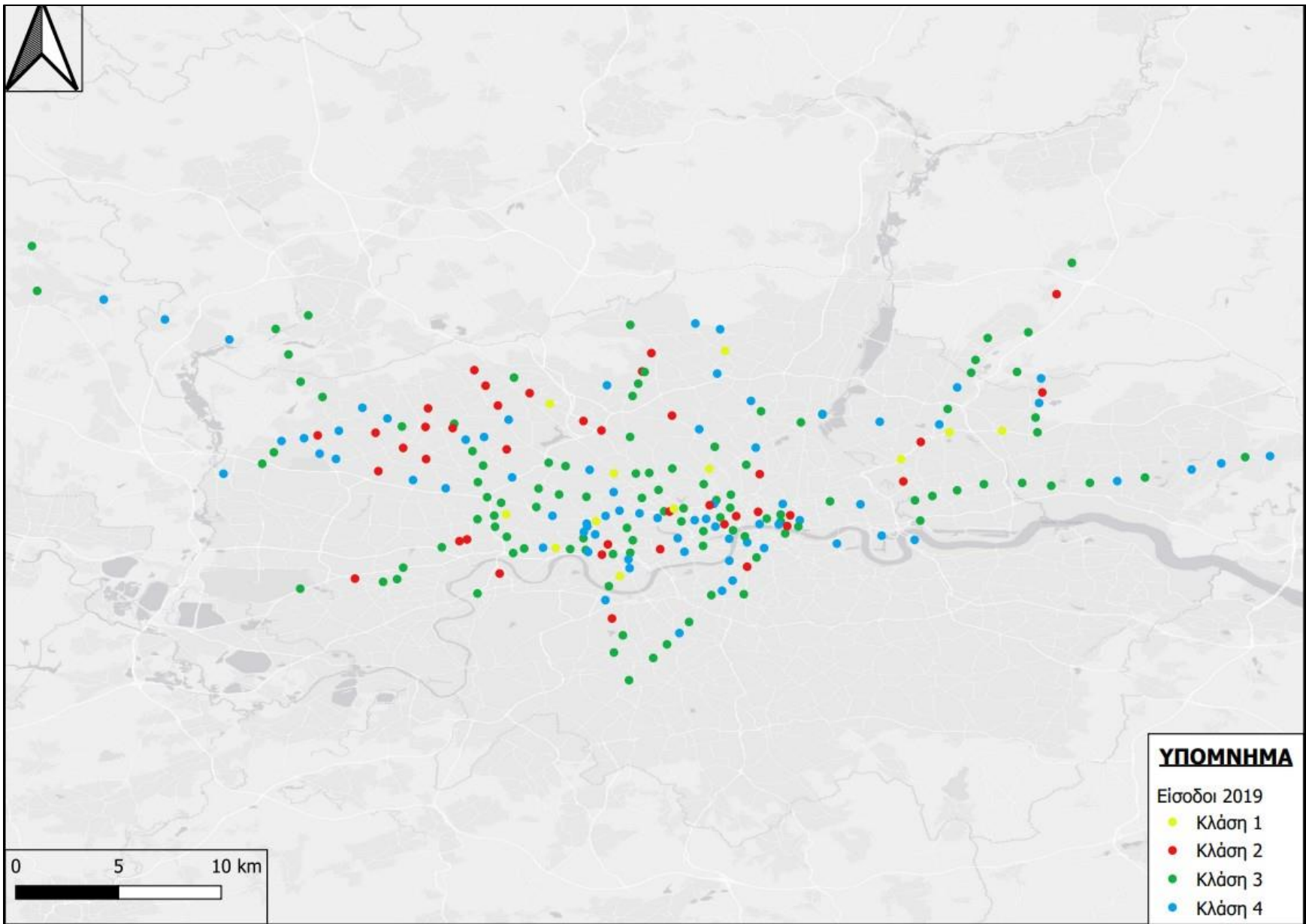
Όπως έχει προαναφερθεί, η εμφάνιση της πανδημίας στην πόλη, σε συνάρτηση με τα περιοριστικά μέτρα που εφαρμόστηκαν, την αύξηση των κρουσμάτων αλλά και τη γενικότερη πρωτόγνωρη κατάσταση, επηρέασαν σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργία όλων των μεταφορικών συστημάτων, και ιδίως του μετρό, στο οποίο παρατηρήθηκε η μέγιστη μείωση της επιβατικής κίνησης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέσα μαζικής μεταφοράς με βάση τις επιστημονικές διερευνήσεις του TfL. Η μείωση αυτή, αποτελεί συνέπεια μεγάλου αριθμού παραμέτρων οι οποίες άπτονται των προσωπικών επιλογών του κάθε μετακινούμενου και της προσωπικής του αντίληψης σχετικά με τη νέα κατάσταση, αλλά και του τρόπου με τον οποίο μπορεί να τη διαχειριστεί. Η μεταβολή της επιβατικής ζήτησης συνδέθηκε άρρηκτα, όπως είναι αναμενόμενο, με τη μείωση των πραγματοποιούμενων μετακινήσεων, την αλλαγή των χρονικών πλαισίων τους αλλά και της διάρκειας πραγματοποίησης αυτών, ενώ ταυτόχρονα αποτέλεσε και ένδειξη των διαφοροποιήσεων στην προσωπική επιλογή μέσου μετακίνησης. Πιο συγκεκριμένα, λόγω των περιοριστικών μέτρων και την πιθανότητα μόλυνσης από τον ιό, οι πολίτες κατά τη διάρκεια της πανδημίας, επέλεξαν περισσότερο εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης, όπως το ιδιωτικό ΙΧ, το ποδήλατο και το περπάτημα, για λόγους προσωπικής προστασίας. Συνεπώς, οι διαφοροποιήσεις αυτές στις επιλογές τους και η αποφυγή της επιλογής των μέσων μαζικής μεταφοράς, είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική αλλοίωση των προφίλ μετακίνησης που μπορούσαν να παρατηρηθούν σε αυτά. Οι παραπάνω αναλύσεις μπόρεσαν να επιβεβαιώσουν οπτικά και χωρικά τις παραπάνω μεταβολές στα προφίλ μετακίνησης των πολιτών, σε συνάρτηση με τις παραμέτρους που μόλις αναφέρθηκαν. Η υπεροχή των ενισχυμένων κλάσεων και της χωρικά ομοιογενούς κατανομής των σταθμών σε αυτές το 2019, αντικατοπτρίζει τις ομοιότητες των προφίλ της επιβατικής ζήτησης όπως αυτή χαρακτηρίζει γειτονικούς σταθμούς ή σταθμούς με παρόμοια λειτουργικά

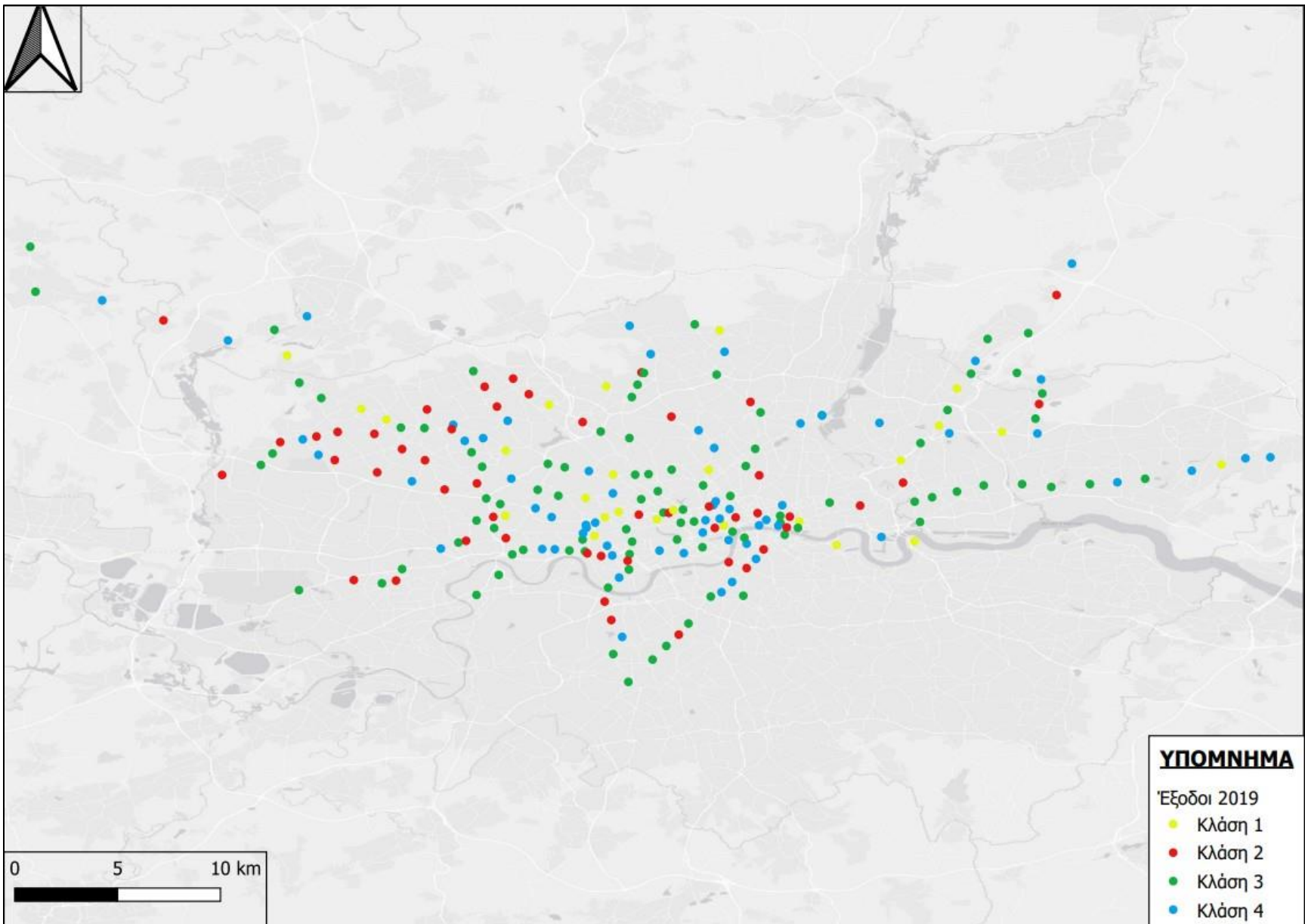
χαρακτηριστικά και οδήγησε στην ταξινόμηση αυτών σε ίδια κλάση, για προαστιακές περιοχές της πόλης, ή και για τμήματα της ίδιας γραμμής του συστήματος. Αντίστροφα, με την έλευση της πανδημίας το 2020, τόσο η ενισχυμένη κατανομή σε κλάσεις, όσο και οι χωρικά ομοιογενείς περιοχές έδωσαν τη θέση τους σε μη ισόρροπη χωροθέτηση των σταθμών, ισομοιρασμό και χωρική ανομοιογένεια. Με βάση αυτό, αποτυπώνεται η πολύπλοκη και πολύπλευρη επίπτωση της πανδημίας του Covid-19 στην επιβατική ζήτηση του μετρό. Με άλλα λόγια, η νέα πραγματικότητα σε συνδυασμό με τα περιοριστικά μέτρα που εφαρμόστηκαν, τα οποία στην πλειοψηφία τους προέτρεπαν την παραμονή στην κατοικία, οδήγησαν εν κατακλείδι στην απουσία της συνηθισμένης μορφής που μπορούσε να παρατηρηθεί στις καθημερινές μετακινήσεις, όπως για παράδειγμα η εμφάνιση των καθημερινών αιχμών. Συμπερασματικά, οι μετακινήσεις έπαψαν να παρουσιάζουν συγκεκριμένα και αναμενόμενα προφίλ ανά ημέρα, ενώ ταυτόχρονα μετατράπηκαν περισσότερο σε συνάρτηση της τυχαιότητας, με αποτέλεσμα την εξάλειψη της προ πανδημικής τους ομοιομορφίας.

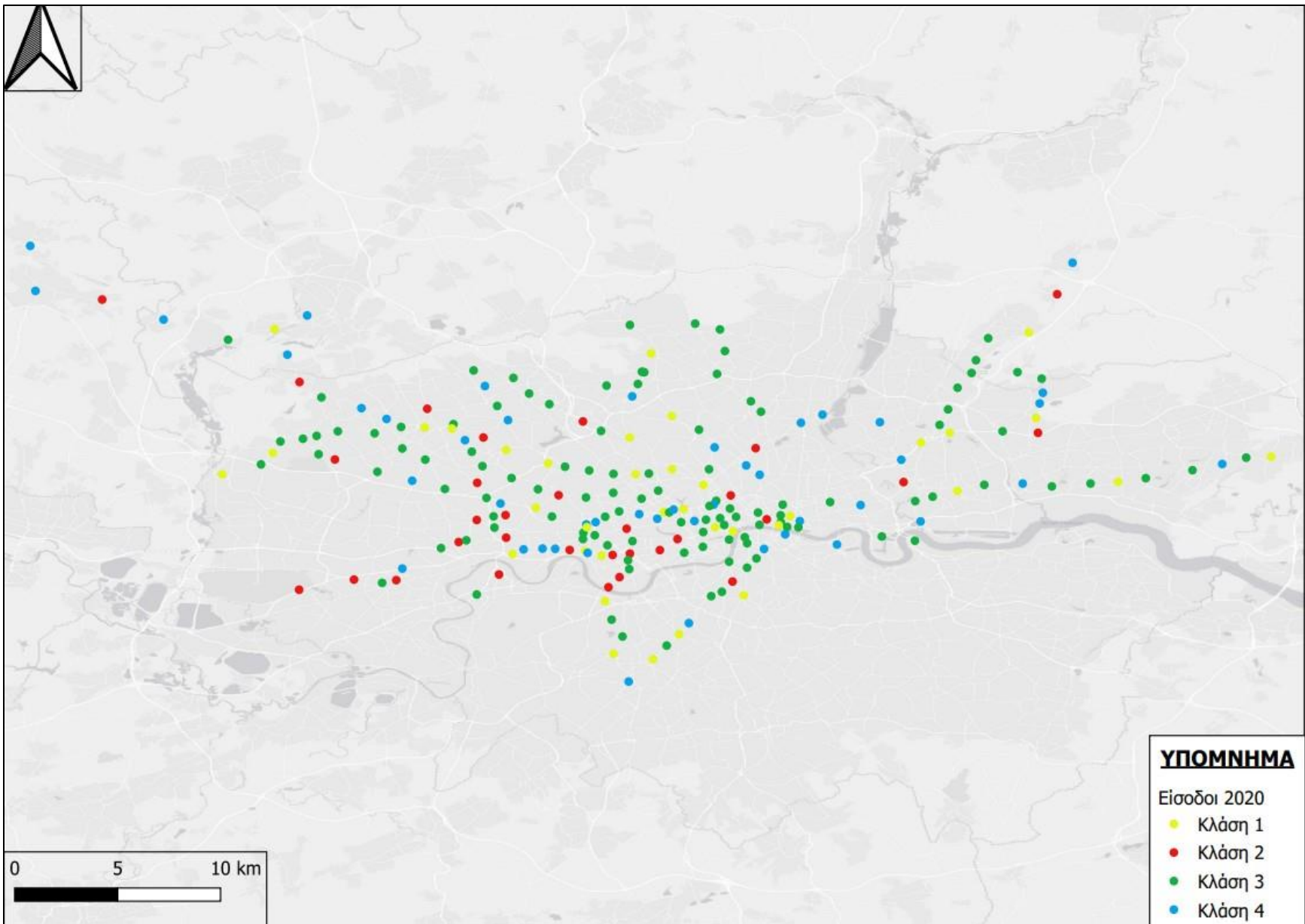
Με βάση όλες τις παραπάνω αναλύσεις αλλά και τα συμπεράσματα όπως αυτά παρουσιάστηκαν αναλυτικά, μπορούν να προταθούν επιπλέον προσεγγίσεις με σκοπό την εμπάθунση στο θέμα, αλλά και την απάντηση λεπτομερειών των αποτελεσμάτων. Σε αρχικό στάδιο, θα μπορούσε να λάβει χώρα περαιτέρω ανάλυση των στοιχείων με τρόπο τέτοιο ώστε να παρουσιαστούν ειδικοί δείκτες περιγραφής των τελικών κλάσεων των σταθμών. Η χρησιμότητα των δεικτών αυτών άπτεται της συγκεκριμενοποίησης των ιδιοτήτων της κάθε κλάσης από άποψη χαρακτηριστικών του προφίλ μετακίνησης που περιγράφει την κάθε μία, όπως για παράδειγμα ο αριθμός των περιόδων αιχμής και οι διάρκειες τους. Επιπλέον, η εφαρμογή της Μη Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης μέσω του Αλγορίθμου K-Means, θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με επιπρόσθετες μεταβλητές, οι οποίες να μην σχετίζονται μόνο με μετρήσεις επιβατικής κίνησης ανά σταθμό. Με άλλα λόγια, χωρικοί παράγοντες όπως η απόσταση από το κέντρο της πόλης, ή ο αριθμός σταθμών ανά περιοχή του Λονδίνου, θα μπορούσαν δυνητικά να εξηγήσουν αναλυτικότερα τα αποτελέσματα και να προσφέρουν μια βαθύτερη επεξήγηση των διαφοροποιήσεων των προφίλ μετακίνησης και το πως αυτά επηρεάστηκαν από την έλευση της πανδημίας του Covid-19. Επιπρόσθετα, προτείνεται επίσης η χρήση δημογραφικών στοιχείων ως μεταβλητές, όπως για παράδειγμα ο πληθυσμός της κάθε επιμέρους περιοχής, αλλά και χαρακτηριστικά στοιχεία των μετακινούμενων, όπως το εισόδημα, η επαγγελματική δραστηριότητα και η ιδιοκτησία ΙΧ. Στη διερεύνηση μέσω εφαρμογής μεθόδων Ασαφούς Ταξινόμησης, όπως για παράδειγμα ο Fuzzy C-Means, θα μπορούσαν εξίσου να προστεθούν ως επιπλέον μεταβλητές χωρικοί παράγοντες, όπως η Ζώνη του Λονδίνου στην οποία ανήκει κάθε σταθμός, ο αριθμός των διασταυρώσεων γραμμών που εξυπηρετεί και αν αποτελεί ανταπόκριση με άλλα μέσα μαζικής μεταφοράς της πόλης. Η συνδυαστική αυτή προσέγγιση, θα μπορούσε να εξηγήσει με σφαιρικό τρόπο τους λόγους και τις θέσεις εμφάνισης ασαφών ταξινομημένων σταθμών και να δικαιολογήσει την πιθανότητα ενός στοιχείου να ανήκει σε μοναδική, ή σε περισσότερες από μια ομάδες. Τέλος, συνδυαστικά με τις παραπάνω προτάσεις ή και μεμονωμένα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εφαρμογή ενός μοντέλου Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR). Η χρήση της θα επέτρεπε τη βαθμονόμηση τοπικών μοντέλων παλινδρόμησης, για παράδειγμα σε ξεχωριστές Ζώνες του Λονδίνου και την εκτίμηση τοπικών παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτές, θα επέτρεπαν με τη σειρά τους τη διερεύνηση της σχέσης μια εξαρτημένης μεταβλητής (για παράδειγμα η κλάση που έχει ταξινομηθεί ένας σταθμός) και ενός συνόλου ανεξάρτητων μεταβλητών (για παράδειγμα ο πληθυσμός της Ζώνης) και αν αυτή η σχέση είναι σταθερή ή μεταβάλλεται στο χώρο.

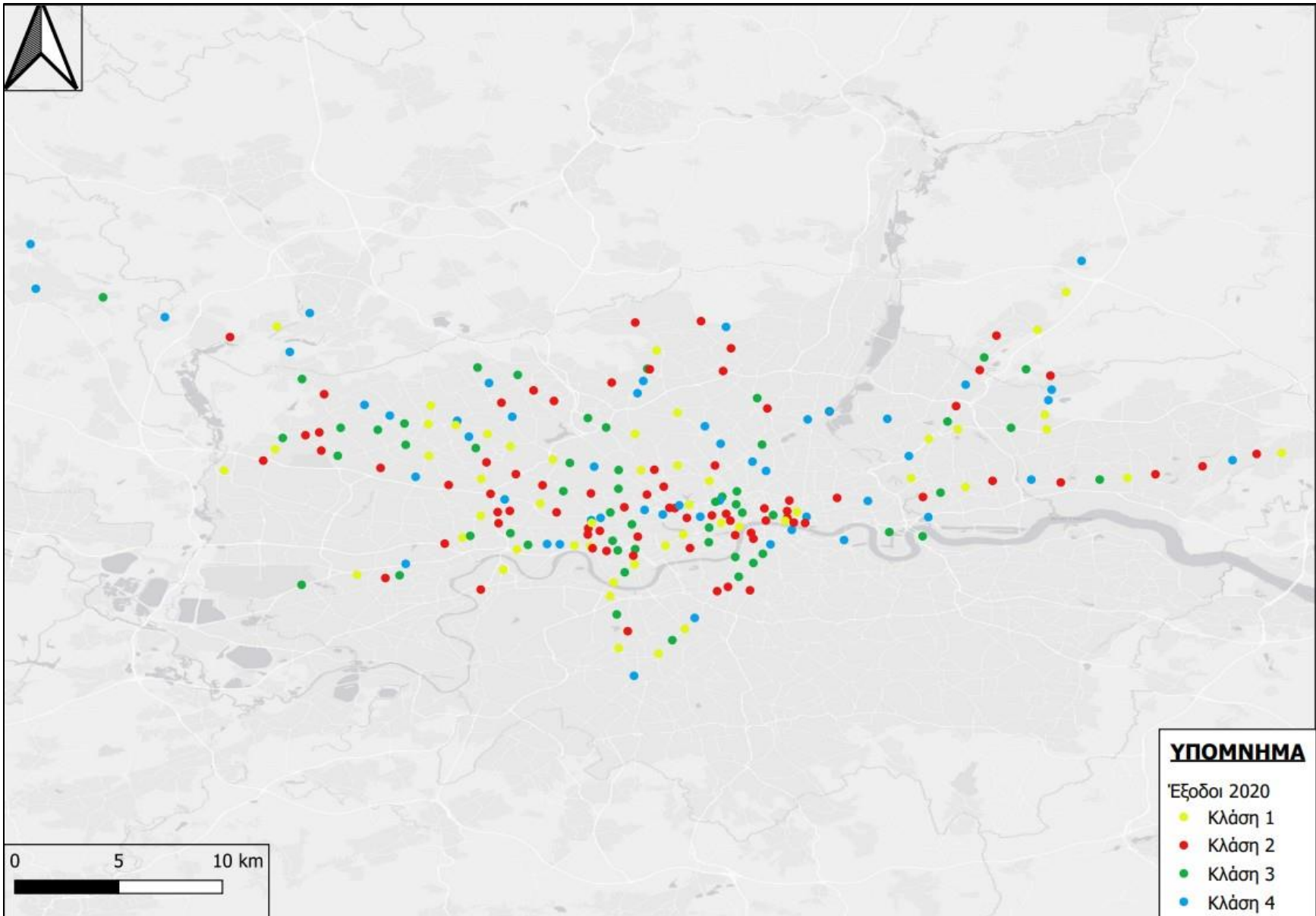


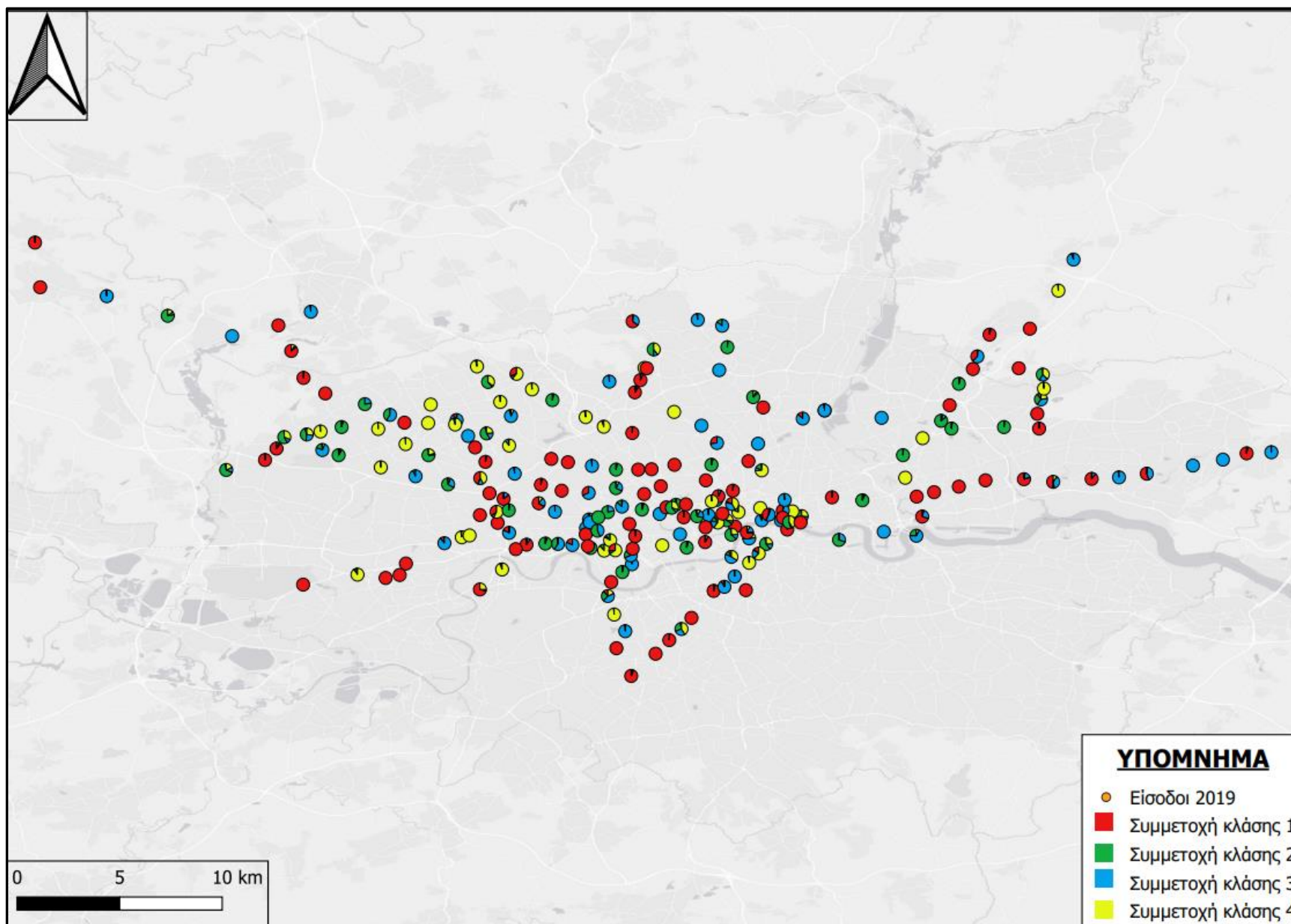
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Χαρτογραφικό υλικό τελικών ταξινομήσεων

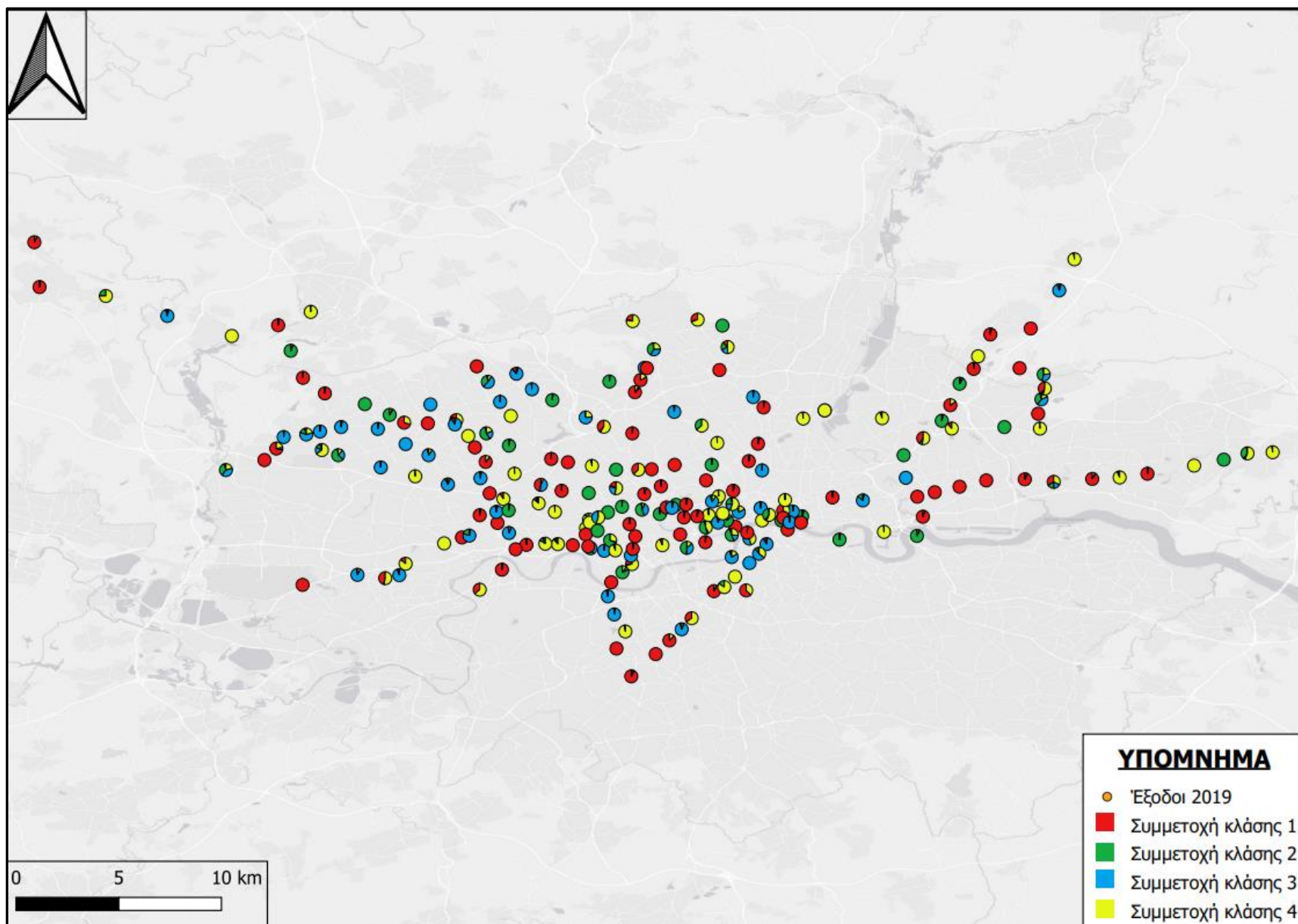


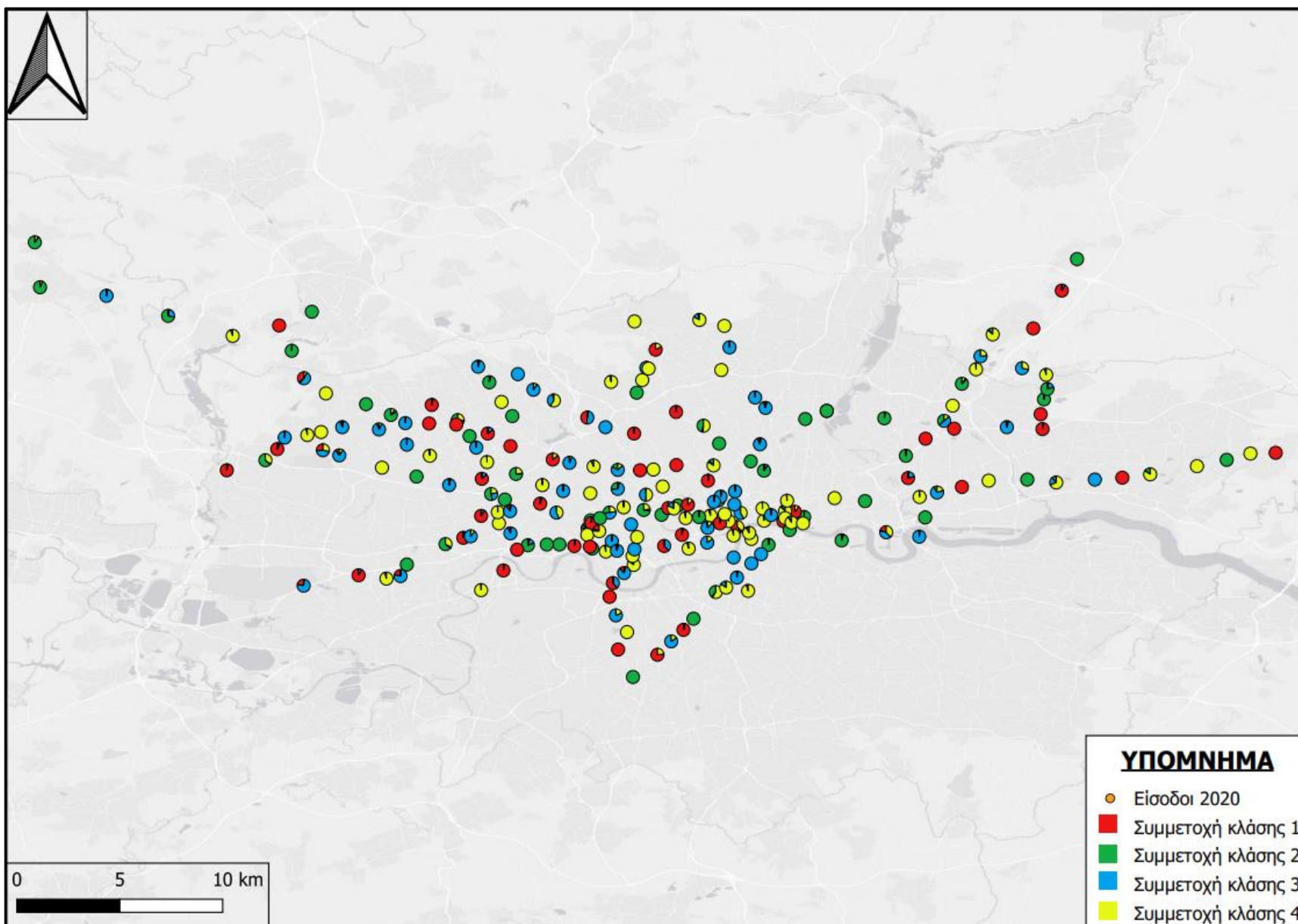




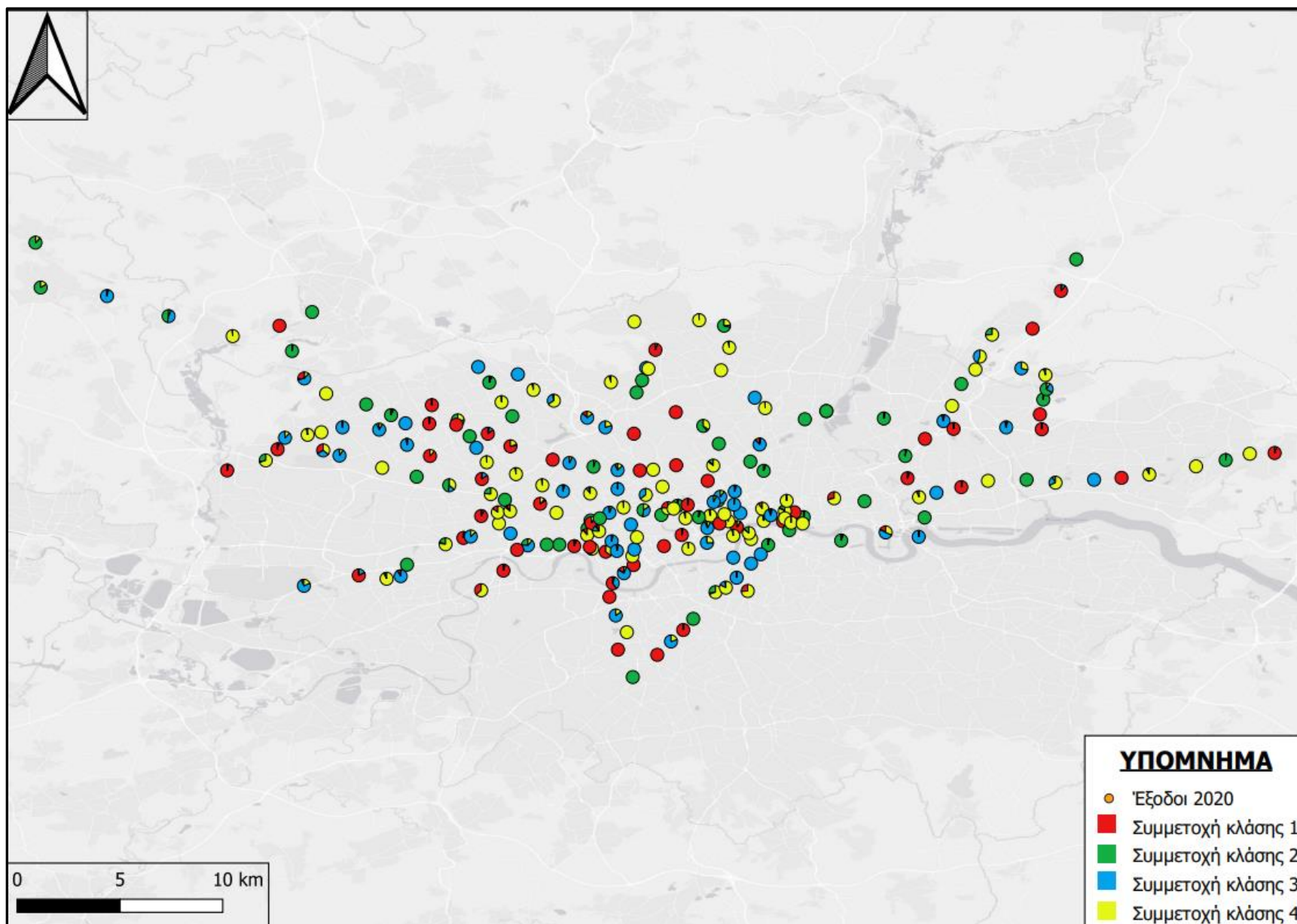












## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Yoshida, N., & Ye, W. (2021). Commuting travel behavior focusing on the role of shared transportation in the wake of the COVID-19 pandemic and the Tokyo Olympics. *latss Research*, 45(4), 405-416.

Parr, S., Wolshon, B., Renne, J., Murray-Tuite, P., & Kim, K. (2020). Traffic impacts of the COVID-19 pandemic: statewide analysis of social separation and activity restriction. *Natural hazards review*, 21(3).

Sogbe, E. (2021). The evolving impact of coronavirus (COVID-19) pandemic on public transportation in Ghana. *Case Studies on Transport Policy*, 9(4), 1607-1614.

Munawar, H. S., Khan, S. I., Qadir, Z., Kouzani, A. Z., & Mahmud, M. P. (2021). Insight into the impact of COVID-19 on Australian transportation sector: An economic and community-based perspective. *Sustainability*, 13(3), 1276.

Liu, L., Miller, H. J., & Scheff, J. (2020). The impacts of COVID-19 pandemic on public transit demand in the United States. *Plos one*, 15(11), e0242476.

Chang, H. H., Lee, B., Yang, F. A., & Liou, Y. Y. (2021). Does COVID-19 affect metro use in Taipei?. *Journal of transport geography*, 91, 102954.

Qi, Y., Liu, J., Tao, T., & Zhao, Q. (2021). Impacts of COVID-19 on public transit ridership. *International Journal of Transportation Science and Technology*.

Aydin, Nezir, Ali Osman Kuşakcı, and Muhammet Deveci. "The impacts of COVID-19 on travel behavior and initial perception of public transport measures in Istanbul." *Decision Analytics Journal* 2 (2022): 100029.

de Souza, R. N., & Mátrai, T. (2022). Impacts of the COVID-19 pandemic in the demand for urban transportation in Budapest. *Transportation Research Procedia*, 62, 99-106.

Tirachini, A., & Cats, O. (2020). COVID-19 and public transportation: Current assessment, prospects, and research needs. *Journal of Public Transportation*, 22(1), 1.

Falchetta, G., & Noussan, M. (2020, December). The Impact of COVID-19 on transport demand, modal choices, and sectoral energy consumption in Europe. In *IAEE Energy Forum* (Vol. 2020, pp. 48-50).

Aloi, A., Alonso, B., Benavente, J., Cordera, R., Echániz, E., González, F., ... & Sañudo, R. (2020). Effects of the COVID-19 lockdown on urban mobility: Empirical evidence from the city of Santander (Spain). *Sustainability*, 12(9), 3870.

Tiikkaja, H., & Viri, R. (2021). The effects of COVID-19 epidemic on public transport ridership and frequencies. A case study from Tampere, Finland. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 10, 100348.

- Abu-Rayash, A., & Dincer, I. (2020). Analysis of mobility trends during the COVID-19 coronavirus pandemic: Exploring the impacts on global aviation and travel in selected cities. *Energy research & social science*, 68, 101693.
- Gutiérrez, A., Miravet, D., & Domènech, A. (2021). COVID-19 and urban public transport services: emerging challenges and research agenda. *Cities & Health*, 5(sup1), S177-S180.
- Caicedo, J. D., Walker, J. L., & González, M. C. (2021). Influence of Socioeconomic Factors on Transit Demand During the COVID-19 Pandemic: A Case Study of Bogotá's BRT System. *Frontiers in Built Environment*, 7, 642344.
- Eisenmann, C., Nobis, C., Kolarova, V., Lenz, B., & Winkler, C. (2021). Transport mode use during the COVID-19 lockdown period in Germany: The car became more important, public transport lost ground. *Transport policy*, 103, 60-67.
- Javid, M. A., Abdullah, M., Ali, N., & Dias, C. (2021). Structural equation modeling of public transport use with COVID-19 precautions: An extension of the norm activation model. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 12, 100474.
- Das, S., Boruah, A., Banerjee, A., Raoniari, R., Nama, S., & Maurya, A. K. (2021). Impact of COVID-19: A radical modal shift from public to private transport mode. *Transport Policy*, 109, 1-11.
- Parker, M. E., Li, M., Bouzaghrane, M. A., Obeid, H., Hayes, D., Frick, K. T., ... & Chatman, D. G. (2021). Public transit use in the United States in the era of COVID-19: Transit riders' travel behavior in the COVID-19 impact and recovery period. *Transport Policy*, 111, 53-62.
- Tardivo, A., Carrillo Zanuy, A., & Sánchez Martín, C. (2021). COVID-19 impact on transport: A paper from the railways' systems research perspective. *Transportation Research Record*, 2675(5), 367-378.
- Borkowski, P., Jażdżewska-Gutta, M., & Szmelter-Jarosz, A. (2021). Lockdown: Everyday mobility changes in response to COVID-19. *Journal of Transport Geography*, 90, 102906.
- Kłos-Adamkiewicz, Z., & Gutowski, P. (2022). The Outbreak of COVID-19 Pandemic in Relation to Sense of Safety and Mobility Changes in Public Transport Using the Example of Warsaw. *Sustainability*, 14(3), 1780.
- Cui, Q., He, L., Liu, Y., Zheng, Y., Wei, W., Yang, B., & Zhou, M. (2021). The impacts of COVID-19 pandemic on China's transport sectors based on the CGE model coupled with a decomposition analysis approach. *Transport Policy*, 103, 103-115.
- Chen, C., Chen, J., & Barry, J. (2009). Diurnal pattern of transit ridership: a case study of the New York City subway system. *Journal of Transport Geography*, 17(3), 176-186.
- Gan, Z., Yang, M., Feng, T., & Timmermans, H. (2020). Understanding urban mobility patterns from a spatiotemporal perspective: daily ridership profiles of metro stations. *Transportation*, 47(1), 315-336.
- Kim, M. K., Kim, S. P., Heo, J., & Sohn, H. G. (2017). Ridership patterns at subway stations of Seoul capital area and characteristics of station influence area. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(3), 964-975.

- Kim, M. K., Kim, S., & Sohn, H. G. (2018). Relationship between spatio-temporal travel patterns derived from smart-card data and local environmental characteristics of Seoul, Korea. *Sustainability*, 10(3), 787.
- Li, S., Lyu, D., Huang, G., Zhang, X., Gao, F., Chen, Y., & Liu, X. (2020). Spatially varying impacts of built environment factors on rail transit ridership at station level: a case study in Guangzhou, China. *Journal of Transport Geography*, 82, 102631.
- Schlich, R., & Axhausen, K. W. (2003). Habitual travel behaviour: evidence from a six-week travel diary. *Transportation*, 30(1), 13-36.
- Tao, S. R., Chen, K. M., & Ma, C. Q. (2014). Study of distribution of weekly metro ridership of Xi'an metro. In *CICTP 2014: Safe, Smart, and Sustainable Multimodal Transportation Systems* (pp. 1362-1373).
- Wang, W. L., Lo, S. M., & Liu, S. B. (2015). Aggregated metro trip patterns in urban areas of Hong Kong: Evidence from automatic fare collection records. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3), 05014018.
- Zhao, X., Wu, Y. P., Ren, G., Ji, K., & Qian, W. W. (2019). Clustering analysis of ridership patterns at subway stations: A case in Nanjing, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 145(2), 04019005.
- Zemp, S., Stauffacher, M., Lang, D. J., & Scholz, R. W. (2011). Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters!. *Journal of transport geography*, 19(4), 670-679.
- Goguen, J. A. (1973). LA Zadeh. Fuzzy sets. *Information and control*, vol. 8 (1965), pp. 338–353.- LA Zadeh. Similarity relations and fuzzy orderings. *Information sciences*, vol. 3 (1971), pp. 177–200. *The Journal of Symbolic Logic*, 38(4), 656-657.
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & geosciences*, 10(2-3), 191-203.
- Hatzichristos, T., & Koutsopoulos, K. (1998). Delineation of demographic regions in Athens municipality using fuzzy classification. In *GIS Planet 98 Conference*, Lisbon.
- Burrough, P. (1986). *Principles of GIS for Land Resources Assessment*. Clarendon.
- Burrough, P. A. (1996). Natural objects with indeterminate boundaries (pp. 3-28). CRC Press.
- Fotheringham, A. S. (1991). GIS and spatial analysis: an NCGIA research initiative. *Environment and Planning A*, 23, 1390-1391.
- Fotheringham, A. S. (1993). On the future of spatial analysis: the role of GIS. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 25(1\_suppl), 30-34.
- Maguire, D. J. (1992). An Overview and Definition of GIS, in maguire DJ, Goodchild M, Rhind d (eds.), *GIS Principles and Applications*, Vol. 1.
- Haining, R. (1994). Designing spatial data analysis modules. *Spatial analysis and GIS*, 13-44.
- Carver, S. J. (1992). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 5(3), 321-339.

- Harris, C. D. (1986). Dictionary of Human Geography.
- Noel, C. (1993). Statistics for spatial data. Probability and Mathematical Statistics.
- Openshaw, S. (1991). A spatial analysis research agenda, in handling geographical information (Masser, I. and Blakemore, M., ed.) Longman, New York, NY.
- Openshaw, S. (1993). GIS 'crime' and GIS 'criminality'. Environment and Planning A, 25(4), 451-458.
- Openshaw, S. (1992). Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. Geographical Information Systems: principles and applications, 1, 389-402.
- Openshaw, S., & Openshaw, C. (1997). Artificial intelligence in geography. John Wiley & Sons, Inc..
- Openshaw, S., & Gillard, A. A. (1978). On the stability of a spatial classification of census enumeration district data. Theory and method in urban and regional analysis, London, Pion.
- Tomlin, C. D. (1990). Geographic information systems and cartographic modeling (Vol. 249). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Lance, G. N., & Williams, W. T. (1967). A general theory of classificatory sorting strategies: 1. Hierarchical systems. The computer journal, 9(4), 373-380.
- Manout, O., & Ciari, F. (2021). The contribution of everyday activities to the spread of COVID-19. An agent-based simulation from Montreal, Canada. researchgate.
- Shakibaei, S., De Jong, G. C., Alpkökin, P., & Rashidi, T. H. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on travel behavior in Istanbul: A panel data analysis. Sustainable cities and society, 65, 102619.
- Shaer, A., & Haghshenas, H. (2021). The impacts of COVID-19 on older adults' active transportation mode usage in Isfahan, Iran. Journal of Transport & Health, 23, 101244.
- Mützel, C. M., & Scheiner, J. (2022). Investigating spatio-temporal mobility patterns and changes in metro usage under the impact of COVID-19 using Taipei Metro smart card data. Public Transport, 14(2), 343-366.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Χατζηχρήστος Θ., 1999, Προσδιορισμός Οικοπεριφερειών με τη χρήση ΓΣΠ & Τεχνητής Νοημοσύνης, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ
- Αργιαλάς Δ., 1995, Ψηφιακή Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων Τηλεπισκόπησης, Αθήνα, ΕΜΠ.
- Γιαουτζή Μ., 1982, Τυπολογία Νομών και Περιφερειοποίηση της Χώρας, Σπουδαστήριο Πολεοδομίας: Ερευνητικό Πρόγραμμα, ΑΠΘ
- Κουτσόπουλος Κ., 1986, Γεωγραφία: Μεθοδολογία και Μέθοδοι Ανάλυσης, Παπαδάμης, Αθήνα

Κουτσόπουλος Κ., 1998, Μια θέση για κάθε τι και κάθε τι στη θέση του, Μια Ολοκληρωμένη Χωρική Προσέγγιση, Τεχνικά Χρονικά, Υπο δημοσίευση

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Δεδομένα για την εξέλιξη της πανδημίας: <https://coronavirus.data.gov.uk/>

Transport for London: <https://tfl.gov.uk/>