

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ – ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**"ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (ΜΔΕ) ΣΤΗΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ"**

ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**"ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΜΕ
ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ
ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ"**

ΜΑΡΙΑ ΜΟΡΦΟΥΛΑΚΗ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2010

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΚΑΡΑΚΑΣΙΔΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΗΛΙΟΥ, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ,

ΕΥΤΥΧΙΑ ΝΑΘΑΝΑΗΛ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Π.Θ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ πολύ τον επ. καθ. Θ. Καρακασίδη που με μεγάλη υπομονή με βοήθησε να γνωρίσω ένα νέο επιστημονικό πεδίο που μου ήταν εντελώς άγνωστο....

Ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής για τη βοήθειά τους και το ενδιαφέρον τους κατά την πορεία εκτέλεσης της εργασία αυτής....

Ευχαριστώ όλους του καθηγητές που είχα τη χαρά να παρακολουθήσω στη διάρκεια αυτών των σπουδών για τις γνώσεις που μου μετάδωσαν αλλά και για την κατανόηση που έδειξαν....

Ευχαριστώ από καρδιάς την κ. Ναθαναήλ (ή καλύτερα την Τέτη) για την παρακίνηση, τις ευκαιρίες και την υποστήριξη που μου χάρισε και μου χαρίζει

Ευχαριστώ το Ινστιτούτο Μεταφορών για την παροχή των δεδομένων και ειδικά τους συνεργάτες μου Εύη και Jose ...

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου που είναι πάντα εκεί, κατανοεί και με στηρίζει.....

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	3
Summary	3
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	5
1.1 Γενικά	5
1.2 Ανάλυση Περιεχομένων της Εργασίας.....	7
Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στις «Ευφυείς Μεταφορές».....	9
2.1 Τι είναι Ευφυείς Μεταφορές.....	9
2.2 Σκοπιμότητα συστημάτων ευφυών μεταφορών.....	10
2.3 Εφαρμογές ευφυών μεταφορών στην Ελλάδα.....	13
2.4 Κρίσιμοι παράγοντες επιτυχίας των συστημάτων ευφυών μεταφορών.....	16
2.4.1 Ανθρώπινοι παράγοντες.....	16
2.4.2 Ανθρώπινοι παράγοντες από την πλευρά του οχήματος.....	16
2.4.3 Ανθρώπινοι παράγοντες από την πλευρά της υποδομής.....	18
2.4.4 Σχεδιασμός & Χρηματοδότηση	18
2.4.5 Εφαρμογή προτύπων.....	19
Κεφάλαιο 3: Τεχνολογία Προηγμένων Συστημάτων Παρακολούθησης της Κυκλοφορίας	21
3.1 Εισαγωγή.....	21
3.2 Τύποι συστημάτων παρακολούθησης	21
3.3 Μαγνητικοί ανιχνευτές.....	22
3.4 Συσκευές ανίχνευσης έξω από το οδόστρωμα	24
3.5 Κλειστά αναλογικά κυκλώματα τηλεόρασης.....	25
3.6 Παρακολούθηση με ψηφιακή επεξεργασία εικόνας.....	27
3.7 Παρακολούθηση με τη βοήθεια καρτών ανταπόκρισης οχημάτων	33
3.8 Παρουσίαση του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας του ΥΠΕΧΩΔΕ	34
Κεφάλαιο 4: Έλεγχος και Στατιστική Ανάλυση Κυκλοφοριακών Δεδομένων	36
4.1 Περιγραφή Κυκλοφοριακών Δεδομένων.....	36
4.2 Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση σύμφωνα με τη πληρότητα δεδομένων.....	38
4.3 Περιγραφικά στατιστικά των φόρτων	47
Κεφάλαιο 5: Διερεύνηση Συσχέτισης Δεδομένων.....	53
5.1 Εισαγωγή.....	53
5.2 Διαχωρισμός σημείων ανά κυκλοφοριακό άξονα	53
5.3 Ανάλυση κυκλοφοριακών τάσεων ανά άξονα και θέση μέτρησης	57
5.3.1 Εισαγωγή	57
5.3.2 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 1 με κατεύθυνση προς Λαμία	62
5.3.3 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 1 με κατεύθυνση προς Πειραιά	65
5.3.4 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 8 με κατεύθυνση προς Πειραιά	69
5.3.5 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 2 με κατεύθυνση προς Γλυφάδα.....	73
5.4 Ανάλυση των σημείων μέτρησης κάθε άξονα σε Συστάδες (clusters)	77
5.4.1 Εισαγωγή	77
5.4.2 Ανάλυση κατά συστάδες και ομαδοποίηση στοιχείων για τον άξονα της Ε.Ο. Αθηνών-Λαμίας.....	81

5.4.3	Ανάλυση κατά συστάδες και ομαδοποίηση στοιχείων για τον άξονα της Ποσειδώνος.....	86
Κεφάλαιο 6: Ανάλυση με Μοντέλα Χρονοσειρών και Δημιουργία Μοντέλων Πρόβλεψης Κυκλοφοριακών Φόρτων.....		90
6.1	Εισαγωγή.....	90
6.2	Δημιουργία μοντέλου χρονοσειρών	91
6.2.1	Γενικά	91
6.2.2	Δημιουργία και έλεγχος Μονομεταβλητών Μοντέλων	94
6.2.3	Δημιουργία και έλεγχος Πολυμεταβλητών Μοντέλων	102
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα		109
Βιβλιογραφία		112

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη μεθοδολογίας που βασίζεται στην ανάλυση κυκλοφοριακών δεδομένων και στη δημιουργία μοντέλου χρονοσειρών ώστε να γίνει εφικτή η μέγιστη αξιοποίηση του μεγάλου όγκου δεδομένων που συλλέγουν τα συστήματα ευφυών μεταφορών και η χρήση αυτών για την πρόβλεψη μελλοντικών κυκλοφοριακών στοιχείων του οδικού δικτύου.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει διττό στόχο. Αφενός την πρόβλεψη των μελλοντικών κυκλοφοριακών φόρτων βάσει δεδομένων του οδικού δικτύου που συλλέγονται συστηματικά και αφετέρου την ελαχιστοποίηση των δεδομένων που θα πρέπει να εισάγονται στα μοντέλα για να επιτυγχάνεται η πρόβλεψη αυτή.

Η παρούσα εργασία αξιοποίησε τα μέχρι σήμερα ερευνητικά συμπεράσματα εισάγοντας ένα βήμα ακόμα στη διαδικασία πρόβλεψης των κυκλοφοριακών φόρτων μιας ομάδας σημείων. Παίρνοντας ως δεδομένη την ικανότητα συσχέτισης των κυκλοφοριακών φόρτων δύο σημείων του οδικού δικτύου, πραγματοποιήθηκε ως πρώτο βήμα η διερεύνηση της συσχέτισης αυτής μέσω της ανάλυσης των δεδομένων σε συστάδες και στη συνέχεια η πρόβλεψη των κυκλοφοριακών φόρτων των σημείων κάθε συστάδας.

Η πρόβλεψη αυτή πραγματοποιήθηκε δημιουργώντας ένα μονομεταβλητό μοντέλο χρονοσειρών για το ένα σημείο κάθε συστάδας και στη συνέχεια συσχετίζοντας γραμμικά τα υπόλοιπα σημεία της συστάδας με αυτό. Συγχρόνως, για ακόμα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη με τη χρήση πολυμεταβλητών μοντέλων για τα σημεία κάθε συστάδας.

Η παρούσα εργασία ουσιαστικά κατέληξε στη σύνδεση των ερευνητικών προσπαθειών για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης κυκλοφορίας με την ανάγκη των χρηστών για ακόμα πιο ορθή και σε πραγματικό χρόνο πληροφόρηση.

SUMMARY

The main objective of the specific paper is the development of a methodology that is based on the analysis of traffic data and the creation of a time series model in order to achieve the utilization of the large amount of data that is collected from the ITS technologies and also the use of this data for forecasting the traffic volumes of a road network.

The proposed methodology aims to succeed two targets. On one side the forecast of future traffic volumes based on road network data that are systematically collected and on the other side the minimization of the data that should be imported in a time series model in order to achieve the previous mentioned forecast.

The present work taking into account the conclusions of the up to today research on the time series model analysis, is importing another step in the process of the traffic volume forecast. Taking as given the cross-correlation between the volumes of two separate segments of the road network, a research of this cross-correlation via cluster analysis took place and afterwards the forecast of traffic volumes was realized. This forecast was realised by creating a single variable time series model for a specific segment of each cluster and afterwards connecting by a linear model the remainder segments of the cluster with this. Simultaneously for comparative analysis and more reliable results, forecast with the use of multi variable time series models for each cluster was also took place.

The present work substantially led to the connection of the research results for the development of traffic forecast models with the need of users for more accurate and in real time traveling information.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Ανάλυση και πρόβλεψη κυκλοφοριακών φόρτων με προχωρημένες μεθόδους στατιστικής ανάλυσης και μοντέλα χρονοσειρών”, έχει ως στόχο τη διαμόρφωση πρότυπης μεθοδολογίας με την οποία πραγματοποιείται πρόγνωση των κυκλοφοριακών φόρτων του οδικού δικτύου με χρήση μοντέλων χρονοσειρών.

Βασική προσπάθεια της παρούσας ερευνητικής δουλειάς, αποτελεί η αξιοποίηση όλων των κυκλοφοριακών δεδομένων που συλλέγονται από τα ευρέως διαδεδομένα και εφαρμοσμένα ευφυή συστήματα παρακολούθησης της κυκλοφορίας και συνήθως χρησιμοποιούνται για τη πληροφόρηση του μετακινούμενου ως ενδείξεις «βέλτιστης διαδρομής», «κυκλοφοριακών συνθηκών», «συμβάντων» κτλ.

Η μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη σε τέτοιου είδους συστήματα έφερε τα τελευταία χρόνια την επανάσταση στην πληροφόρηση του οδηγού. Συγχρόνως, κατά τη μετακίνηση με δημόσιο μεταφορικό μέσο η διάρκεια αναμονής του επιβάτη στη στάση σταμάτησε να βασίζεται στην εμπειρική γνώση της συχνότητας του λεωφορείου και απέκτησε on line ενημέρωση για το χρόνο άφιξης του κάθε οχήματος και τις οποιεσδήποτε καθυστερήσεις.

Ο όγκος των δεδομένων που συλλέγονται από τα σύγχρονα Κέντρα Παρακολούθησης της Κυκλοφορίας αξιοποιείται κατά κύριο λόγο από όλες τις εταιρείες και τους φορείς που σε πραγματικό χρόνο ενημερώνουν του πελάτες τους για την κατάσταση του οδικού δικτύου είτε μέσω διαδικτυακών εφαρμογών είτε μέσω navigators είτε ακόμα με τηλεφωνικά κέντρα, μέσω ραδιοφώνου κτλ. Για το έργο αυτό απαιτείται ένα αρκετά μεγάλο κόστος τόσο από πλευράς των διαχειριστών του εξοπλισμού οι οποίοι συλλέγουν τις πληροφορίες και πρέπει να φροντίζουν για την ορθότητα των μεταδιδόμενων στοιχείων αλλά και τη συντήρηση των συστημάτων τους όσο και από πλευράς εταιρειών που δευτερογενώς αξιοποιούν τις πληροφορίες αυτές και πληρώνουν στον πάροχο το κόστος τους ανά ώρα, θέση και είδος.

Μέχρι σήμερα διάφορες επιστημονικές εργασίες είχαν ως στόχο να παρέχουν καινοτόμες εφαρμογές για την εκμετάλλευση των δεδομένων αυτών, να βελτιώσουν το χρόνο ανάδρασης

της κάθε υπηρεσίας, να δημιουργήσουν προηγμένους αλγόριθμους για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής ή των κυκλοφοριακών συνθηκών κ.α.

Τα τελευταία χρόνια έγινε και εφαρμογή μοντέλων χρονολογικών σειρών για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης ενός σημείου του οδικού δικτύου ενώ πιο πρόσφατα παρουσιάσθηκαν μοντέλα πολλών μεταβλητών όπου για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης ενός σημείου του οδικού δικτύου χρησιμοποιείται και η χρήσιμη πληροφορία που περιέχεται στα υπόλοιπα υπό μελέτη σημεία μέτρησης χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η θέση τους και χωρίς αυτές οι εφαρμογές να οδηγήσουν σε μια μεθοδολογική προσέγγιση χρήσης των χρονολογικών σειρών για τη πρόβλεψη των κυκλοφοριακών στοιχείων με στόχο τη μείωση των χρησιμοποιούμενων δεδομένων και την ορθολογικότερη τοποθέτηση του εξοπλισμού παρακολούθησης της κυκλοφορίας.

Η παρούσα εργασία αξιοποίησε τα συμπεράσματα των παραπάνω διερευνήσεων εισάγοντας ένα βήμα ακόμα στη διαδικασία πρόβλεψης των κυκλοφοριακών φόρτων μιας ομάδας σημείων. Παίρνοντας ως δεδομένη την ικανότητα συσχέτισης των κυκλοφοριακών φόρτων μεταξύ δύο σημείων καταγραφής τους μέσα στο οδικό δίκτυο, πραγματοποιήθηκε ως πρώτο βήμα η διερεύνηση της συσχέτισης αυτής μέσω της ανάλυσης των δεδομένων σε συστάδες και στη συνέχεια η πρόβλεψη των κυκλοφοριακών φόρτων των σημείων κάθε συστάδας. Η πρόβλεψη αυτή πραγματοποιήθηκε δημιουργώντας μονομεταβλητά και πολυμεταβλητά μοντέλα για κάθε συστάδα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση χρονοσειρών έχουν ως πηγή το Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας του ΥΠΕΧΩΔΕ το οποίο καταγράφει σε 24ωρη βάση συγκεκριμένα κυκλοφοριακά στοιχεία. Τα κυκλοφοριακά αυτά δεδομένα διατίθενται σε ενδιαφερόμενους ερευνητές, φορείς και εταιρείες έπειτα από σχετικό αίτημα και με κάποιο προκαθορισμένο κόστος.

Το Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας του Νομού Αττικής, δημιουργήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ το 2002 με στόχο τη παρακολούθηση της Κυκλοφορίας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Τα κυκλοφοριακά μεγέθη που καταγράφει το Κέντρο αφορούν σε:

- Κυκλοφορικοί φόρτοι: Ο αριθμός οχημάτων που διέρχεται από μια συγκεκριμένη θέση μέτρησης (η κάθε μέτρηση αφορά σε χρονικό διάστημα 1.5 λεπτού και μετά από επεξεργασία γίνεται αναγωγή της στην ώρα).

- Μέση ταχύτητα: Η μέση ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων από μια συγκεκριμένη θέση μέτρησης (η κάθε μέτρηση αφορά σε χρονικό διάστημα 1.5 λεπτού και μετά από επεξεργασία γίνεται αναγωγή της στην ώρα).
- Κατάληψη: Αφορά σε ποσοστό κατάληψης της οδού στην συγκεκριμένη θέση μέτρησης από οχήματα (η κάθε μέτρηση αφορά σε χρονικό διάστημα 1.5 λεπτού και μετά από επεξεργασία γίνεται αναγωγή της στην ώρα).

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν για τη συγκεκριμένη εργασία αφορούν σε μετρήσεις στα 602 σημεία του οδικού δικτύου -επάνω σε συγκεκριμένους άξονες - μέσα σε διάστημα 57 μηνών δηλαδή από τον Ιούλιο του 2006 έως και τον Νοέμβριο του 2008, για τρεις ημέρες κάθε μήνα , για 24 ώρες την ημέρα και για μία τιμή ανά ώρα.

Τα τελικά αποτελέσματα αφορούν στη σύνθεση μιας μεθοδολογικής προσέγγισης για τη καταγραφή των κυκλοφοριακών συνθηκών ενός οδικού δικτύου μέσα από τη παρακολούθηση ελαχιστοποιημένου αριθμού οδικών διατομών και συγχρόνως τη πρόβλεψη της κυκλοφορίας μέσω της συνδυαστικής χρήσης των στοιχείων αυτών. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων ώστε να γίνει εμφανής η τάση των κυκλοφοριακών φόρτων ανά οδικό άξονα, την ανάλυση συγκεκριμένων αξόνων ως προς το κυκλοφοριακό προφίλ κάθε διατομής ώστε να αναδειχτούν τα σημεία τα οποία παρουσιάζουν κοινό προφίλ και άρα μπορούν να αντιμετωπιστούν ως μία ομάδα (συστάδα), την ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου πρόβλεψης κυκλοφοριακών φόρτων για ένα σημείο κάθε ομάδας και τέλος έχοντας ως δεδομένο το σημείο αυτό τον υπολογισμό με συντελεστές συσχέτισης των τιμών φόρτων όλων των σημείων της ίδιας ομάδας.

Αναλυτικά τα περιεχόμενα της εργασίας παρουσιάζονται στην ενότητα που ακολουθεί.

1.2 Ανάλυση Περιεχομένων της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται μέσα σε επτά κεφάλαια συμπεριλαμβανομένου του παρόντος. Στα κεφάλαια αυτά δίνονται τα εισαγωγικά στοιχεία για τις ευφυείς μεταφορές και τα συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης και καταγραφής της κυκλοφορίας ενώ παρουσιάζεται το κέντρο ελέγχου της κυκλοφορίας του ΥΠΕΧΩΔΕ το οποίο αποτέλεσε τον τροφοδότη των στοιχείων της εργασίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία που

αναλύθηκαν και βασικά χαρακτηριστικά αυτών. Τέλος γίνεται αναλυτικά περιγραφή των μεθόδων που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των στοιχείων και τα τελικά αποτελέσματα των μεθόδων αυτών. Η εργασία κλείνει με το κεφάλαιο των συμπερασμάτων. Πιο αναλυτικά, στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται ανά κεφάλαιο τα παρακάτω:

Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται η εισαγωγή στους στόχους της παρούσας εργασίας καθώς και μια λεπτομερής αναφορά στα περιεχόμενα της ανά κεφάλαιο.

Στο Κεφάλαιο 2, πραγματοποιείται μια μικρή βιβλιογραφική ανασκόπηση στις τεχνολογίες των συστημάτων ευφυών μεταφορών (Intelligent Transport Systems) στη σκοπιμότητα τους αλλά και στου κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας τους.

Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι των συστημάτων – τεχνολογιών παρακολούθησης της κυκλοφορίας ενώ γίνεται και μια πρώτη αναφορά στο Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας του ΥΠΕΧΩΔΕ και στα στοιχεία που αυτό συλλέγει και παρέχει στο ευρύ κοινό.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται η παρουσίαση του συνόλου των δεδομένων στα οποία βασίζεται η παρούσα εργασία, των διαδικασιών ελέγχου των δεδομένων αυτών και των βασικών συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη στατιστική επεξεργασία τους.

Στο Κεφάλαιο 5, επιχειρείται η συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων δύο συγκεκριμένων αξόνων της περιοχής επιρροής του κέντρου ελέγχου του ΥΠΕΧΩΔΕ έτσι ώστε να δημιουργηθούν συστάδες από ομοιογενή δεδομένα σε τάση και εποχικότητα.

Στο Κεφάλαιο 6, πραγματοποιείται η ανάλυση των στοιχείων κυκλοφοριακού φόρτου μίας συστάδας και η πρόβλεψη αυτών με χρήση μοντέλων χρονοσειρών. Τα μοντέλα τα οποία δημιουργούνται αφορούν σε μονομεταβλητά και πολυμεταβλητά μοντέλα χρονοσειρών ενώ για κάθε ένα πραγματοποιούνται και οι αντίστοιχοι έλεγχοι καταλληλότητας.

Τέλος, το Κεφάλαιο 7 συνοψίζει τα βασικά αποτελέσματα της εργασίας δίνοντας και κάποιες σκέψεις για πιθανή χρήση των μεθοδολογιών που αναπτύχθηκαν σε πραγματικές εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ «ΕΥΦΥΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»

2.1 Τι είναι Ευφυείς Μεταφορές

Ο όρος Συστήματα Ευφυών Μεταφορών (Intelligent Transport Systems) είναι ένας γενικός όρος για τις ολοκληρωμένες εφαρμογές επικοινωνίας, ελέγχου και τεχνολογίας επεξεργασίας πληροφοριών στο σύστημα μεταφορών. Οι «Τηλεματικές μεταφορές» είναι ένας όρος που επίσης χρησιμοποιήθηκε για τις τεχνολογίες που υποστηρίζουν αυτά τα συστήματα.

Ένα σύστημα ευφυών μεταφορών καλύπτει όλους τα μεταφορικά μέσα και αφορά όλα τα στοιχεία του συστήματος μεταφοράς – το όχημα, την υποδομή, και το οδηγό ή χρήστη, σε μία δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Η εφαρμογή των ευφυών μεταφορών βελτιώνει τη διαδικασία αποφάσεων, συχνά σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η λειτουργία ολόκληρου του μεταφορικού συστήματος.

Οι πληροφορίες είναι το κύριο στοιχείο του συστήματος ευφυών μεταφορών είτε είναι στατικές είτε πραγματικού χρόνου συγκοινωνιακά δεδομένα είτε ένας ψηφιακός χάρτης. Πολλά εργαλεία του βασίζονται στη συλλογή, την επεξεργασία, το συνδυασμό και την παροχή των πληροφοριών. Τα δεδομένα που προκύπτουν μπορούν να παρέχουν πληροφορίες πραγματικού χρόνου σχετικά με παρούσες συνθήκες του δικτύου, ή σε on-line πληροφορίες σχεδιασμού ταξιδιού, που επιτρέπουν την τροχαία και τα γραφεία, τους επαγγελματίες οδηγούς, τους δημόσιους και εμπορικούς φορείς μεταφορών και τους αυτόνομους ταξιδιώτες να είναι καλύτερα ενημερωμένοι, πιο ασφαλείς, πιο οργανωμένοι και να παίρνουν πιο «έξυπνες» αποφάσεις ή να χρησιμοποιούν πιο «έξυπνα» τα οδικά δίκτυα.

Οι παρούσες χρήσεις ενός συστήματος ευφυών μεταφορών περιλαμβάνουν εργαλεία για την εξασφάλιση μέγιστης αποδοτικότητας στα οδικά δίκτυα και συγκεκριμένες εφαρμογές για:

- ✓ Παρακολούθηση παρόντων οδικών συνθηκών και πρόβλεψη του τι είναι αναμενόμενο να συμβεί.
- ✓ Συντονισμό της σηματοδότησης για την ελάττωση των καθυστερήσεων και των ουρών με χρήση δυναμικών μοντέλων.

- ✓ Παροχή προτεραιότητας βάσει σηματοδότησης σε λεωφορεία / τρένα και οχήματα εκτάκτου ανάγκης στο οδικό δίκτυο για να περιοριστούν οι ώρες ταξιδιού, βελτιώνοντας την αξιοπιστία και τη συνέπεια.
- ✓ Εντοπισμός και χειρισμός συμβάντων στο οδικό δίκτυο.
- ✓ Βιντεοσκοπημένη κάλυψη των σημείων συμφόρησης.
- ✓ Ηλεκτρονική πληρωμή και έλεγχος πρόσβασης σε αστικά τμήματα .
- ✓ Συστήματα αυτόματης πληρωμής για τη χρήση του οδικού δικτύου, συμπεριλαμβανομένου των αυτόματων διοδίων.
- ✓ Συστήματα κάμερας για καταγραφή φόρτου και ταχύτητας.
- ✓ Παρακολούθηση της ποιότητας αέρα εντοπισμός και πρόβλεψη ατμοσφαιρικής ρύπανσης και εφαρμογή στρατηγικών για την εξομάλυνση των ατμοσφαιρικών προβλημάτων.
- ✓ Συστήματα ασφαλείας.
- ✓ Παροχή πληροφοριών πραγματικού χρόνου σε VMS και σε στάσεις Δ.Σ.

2.2 Σκοπιμότητα συστημάτων ευφυών μεταφορών

Η ανάπτυξη των συστημάτων ευφυών μεταφορών έχει πολλά να προσφέρει σε όλες τις βασικές ομάδες των ενδιαφερομένων:

- ✓ Τις εθνικές, τοπικές και νομαρχιακές αρχές.
- ✓ Τους λειτουργούς στόλου οχημάτων (εμπορικών και δημοσίων μεταφορών).
- ✓ Τη βιομηχανία και το εμπόριο.
- ✓ Τους ταξιδιώτες.

Από τις παραπάνω κατηγορίες η ανάλυση που ακολουθεί εστιάζει κυρίως στους τελικούς χρήστες (οδηγούς και άλλους ταξιδιώτες), και τις εθνικές, τοπικές και νομαρχιακές αρχές.

A. Οδηγοί και άλλοι Ταξιδιώτες

Στην πρώτη περίπτωση, αυτοί που επωφελούνται από ένα σύστημα ευφυών μεταφορών είναι οι οδικοί χρήστες και οι άλλοι ταξιδιώτες (συχνά αναφερόμενοι ως τελικοί χρήστες). Οι οδηγοί αυτοκινήτων, φορτηγών και άλλων μεταφορικών οχημάτων έχουν όλοι τη δυνατότητα να κερδίσουν από ένα τέτοιο σύστημα, έχοντας για παράδειγμα, αίσθημα μεγαλύτερης ασφάλειας στα ταξίδια τους, λιγότερες ώρες ταξιδιού, γνώση βέλτιστης διαδρομής κ.α. Οι πεζοί και οι άλλοι ευάλωτοι χρήστες των δρόμων μπορούν να απολαμβάνουν μεγαλύτερη ασφάλεια και μια παροχή οδικών προτεραιοτήτων ευνοϊκή προς αυτούς. Οι χρήστες των δημόσιων συγκοινωνιών μπορούν να έχουν λιγότερες ώρες διαδρομής και να σχεδιάζουν τη μετακίνηση τους βασιζόμενοι σε καλύτερη πληροφόρηση. Με τη βέλτιστη ενοποίηση των υπηρεσιών, το σύστημα ευφυών μεταφορών μετατρέπεται σε ένα Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας και μπορεί να αποφέρει προηγμένες υπηρεσίες τόσο για τη βελτιστοποίηση των οδικών συνθηκών στο δίκτυο όσο και για την πληροφόρηση και εξυπηρέτηση του ταξιδιωτικού κοινού. Για παράδειγμα, άμεση καταγραφή ενός οδικού συμβάντος αποφέρει άμεση ανταπόκριση σε αυτό, περιορίζοντας το χρονικό διάστημα διακοπής της κυκλοφορίας.

Μερικά πλεονεκτήματα του συστήματος ευφυών μεταφορών επέρχονται με κάποιο κόστος για το χρήστη. Για παράδειγμα, η ασφάλεια, η εγκυρότητα και η δυνατότητα πρόβλεψης της διάρκειας του ταξιδιού μπορεί να προκύπτουν από τον εντοπισμό της τοποθεσίας του οχήματος ή ελέγχοντας την ταχύτητα του οδηγού. Μερικοί το αντιλαμβάνονται αυτό σαν μία παρέμβαση της ιδιωτικής ζωής, ή σαν μη αναγκαία παρεμβολή στον έλεγχο του οδηγού. Παραπλήσια θέματα αντίληψης επέρχονται από τις ενδο-οχηματικές εφαρμογές. Οι τεχνολογίες υποβοήθησης του οδηγού μπορούν να αυξήσουν την ασφάλεια κατά την οδήγηση για τους ηλικιωμένους, αλλά πολλοί δεν θέλουν να αντιμετωπίζονται σαν ηλικιωμένοι! Μία κοινότυπη άποψη είναι ότι οι τεχνολογίες υποβοήθησης του οδηγού είναι σημαντικές «για τα άτομα που τις χρειάζονται», αλλά, υπονοείται ότι, τέτοιο άτομο «δεν είμαι εγώ». Πολλοί άνθρωποι είναι, ωστόσο, πρόθυμοι να παραιτηθούν από μέρος της ιδιωτικής τους ζωής ή ανωνυμίας εάν πρόκειται να κερδίσουν σε ασφάλεια και άνεση. Το θεμελιώδες ζήτημα για ένα άτομο, όσον αφορά τη κοινωνία, είναι «τα οφέλη που παίρνω από ένα σύστημα ευφυών μεταφορών αξίζουν το κόστος;» είτε το κόστος είναι σε χρήματα, είτε σε χρόνο ή έλεγχο.

Για χρήστες δημόσιων μέσων μεταφοράς, και για ανθρώπους που επιθυμούν να κάνουν ταξίδια με συνδυασμό μεταφορικών μέσων, τα συστήματα ευφυών μεταφορών προσφέρουν ξεκάθαρα

πλεονεκτήματα. Βελτιώνουν την πληροφόρηση, μειώνουν τη διάρκεια ταξιδιού, αυξάνουν τη συχνότητα και την αξιοπιστία των μέσων και κάνουν τις μετεπιβιβάσεις ευκολότερες. Οι χρήστες λεωφορείων, όταν έχουν να επιλέξουν μεταξύ βελτιωμένης συχνότητας και άρα χρόνου αναμονής στη στάση και βελτιωμένης εγκυρότητας πληροφοριών μέσω ενός συστήματος πληροφόρησης πραγματικού χρόνου, επιλέγουν όλο και περισσότερο το σύστημα πληροφόρησης πραγματικού χρόνου.

B. Εθνικές, τοπικές και νομαρχιακές Αρχές

Στο μεγαλύτερο μέρος του αναπτυσσόμενου ή αναπτυσσόμενου κόσμου, η κυκλοφοριακή άνοδος θα ξεπεράσει τα οφέλη που αποκτήθηκαν από τα συστήματα ευφυών μεταφορών μέσα σε λίγα χρόνια, εκτός και αν αυτά αποτελέσουν τμήμα ενός γενικότερου ανασχεδιασμού του συγκοινωνιακού συστήματος-σχήματος. Ένα τέτοιο σχήμα θα μπορούσε να περιλαμβάνει περιορισμό χρήσης του αυτοκινήτου, και μέτρα τα οποία θα δίνουν προτεραιότητα στις δημόσιες μεταφορές. Η αντιπαράθεση και ο διάλογος είναι αναγκαία για την εδραίωση του ρόλου των συστημάτων ευφυών μεταφορών σε σύγχρονες συγκοινωνίες – τα συστήματα βρίσκονται εκεί για να εξασφαλίσουν λιγότερες καθυστερήσεις, πιο εύκολες κυκλοφοριακές ροές, ασφαλέστερο περιβάλλον, λιγότερο θόρυβο, μόλυνση και άλλες κυκλοφοριακές ενοχλήσεις.

Έχοντας ήδη ως δεδομένο ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση δημιουργεί ζήτηση καινούργιων οδικών αξόνων, και η κατασκευή νέων οδικών αξόνων επιφέρει μεγαλύτερη χρήση του Ι.Χ. αυτοκινήτου και άρα μεγαλύτερη κυκλοφοριακή συμφόρηση, τότε το σύστημα ευφυών μεταφορών μπορεί να προσφέρει μια εναλλακτική λύση στο πρόβλημα αυτό. Χρησιμοποιώντας το σύστημα ευφυών μεταφορών για την ομαλοποίηση των κυκλοφοριακών ροών και τη βελτίωση των χρόνων ταξιδιού, ο φαύλος κύκλος της κυκλοφοριακής συμφόρησης επιβραδύνεται. Αυτή είναι μια εξαιρετικά έγκυρη εφαρμογή, εφόσον οι πολιτικοί, οι οδηγοί και οι κάτοικοι καταλάβουν ότι πρέπει να τη χρησιμοποιήσουν ορθολογικά.

Σε αυτό το πλαίσιο η δεύτερη βασική ομάδα που μπορεί να επωφεληθεί από ένα σύστημα ευφυών μεταφορών είναι οι τοπικές Αρχές και Εθνικές Κυβερνήσεις.

Μία επένδυση σε ένα σύστημα ευφυών μεταφορών μπορεί να βοηθήσει την τοπική κοινωνία να παρέχει στους πολίτες της το μέσο για ασφαλέστερα και πιο αξιόπιστα ταξίδια, μειώνοντας την απειλητική επιρροή στο περιβάλλον, δίνοντας προτεραιότητα σε δημόσιες συγκοινωνίες και σε φιλικά προς το περιβάλλον μέσα.

Εναλλακτικά, εάν η αρμοδιότητα ενός Φορέα, είναι η λειτουργία του οδικού δικτύου μιας πόλης, τότε το σύστημα ευφυών μεταφορών μπορεί να βοηθήσει στην συντήρηση ισορροπίας μεταξύ πολλών αντιτιθέμενων προτεραιοτήτων. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τις ανταγωνιστικές ανάγκες των κατοίκων, το λιανικό εμπόριο, τον τουρισμό και το περιβάλλον, χωρίς να παραβλέπει η ανάγκη να δίνουν ασφαλή και άνετη πρόσβαση σε άτομα που δεν διαθέτουν αυτοκίνητο.

Με μοναδικό τρόπο, το σύστημα ευφυών μεταφορών μπορεί να αποτελέσει το μέσο για να επιτευχθούν πολλοί απ’ τους στόχους του στρατηγικού σχεδιασμού για τις αστικές κυρίως μεταφορές. Εάν ο στόχος σε μία πόλη είναι να διευκολυνθεί η ελεύθερη διέλευση των αυτοκινήτων, τότε το σύστημα μπορεί να διαχειριστεί τον οδικό χώρο ώστε να μεγιστοποιηθεί η δυνατότητα. Εάν ο στόχος είναι το αντίθετο, να περιορίσει την κυκλοφορία, τότε το σύστημα μπορεί να πληροφορήσει τους ταξιδιώτες σχετικά με εναλλακτικά μέσα μεταφοράς και να βοηθήσει τον περιορισμό της πρόσβασης σε συγκεκριμένες περιοχές.

Τέλος, με τα συστήματα ευφυών μεταφορών δημιουργείται ένας κεντρικός μηχανισμός συλλογής και αποθήκευσης κυκλοφοριακών δεδομένων η επεξεργασία των οποίων συμβάλλει στον ορθότερο μελλοντικό σχεδιασμό και στην αποδοτικότερη διαχείριση του συγκοινωνιακού συστήματος.

2.3 Εφαρμογές ευφυών μεταφορών στην Ελλάδα

Το αστικό προφίλ των μετακινήσεων στην Ελλάδα έχει αλλάξει ριζικά τα τελευταία 10 χρόνια. Η μεγάλη αύξηση στο δείκτη ιδιοκτησίας Ι.Χ. που πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 2000 άλλαξε ουσιαστικά την κατανομή των μετακινήσεων στα διάφορα μεταφορικά μέσα. Το ιδιωτικό μέσο χρησιμοποιείται κατά ποσοστό που υπερβαίνει το 50% για την εξυπηρέτηση των καθημερινών μετακινήσεων στα αστικά κυρίως κέντρα. Ο δείκτης ιδιοκτησίας αυτοκινήτων στην Ελλάδα είναι κοντά στα 430 αυτοκίνητα ανά 1000 κατοίκους, σαφώς χαμηλότερος από τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο του 540 αυτοκίνητα ανά 1000 κατοίκους.

Ειδικά και μόνον στην Αθήνα αλλά και σε άλλες μεγάλες πόλεις ο δείκτης ιδιοκτησίας είναι πάνω από τον μέσο Ευρωπαϊκό όρο, κοντά στα 780 αυτοκίνητα ανά 1000 κατοίκους. Για το λόγο αυτό πρόσφατη έκθεση της EUROSTAT αναφέρει για την Ελλάδα ότι, παρουσιάζει μία από τις μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ επαρχιών στην ίδια χώρα και ότι επίσης στην Ελλάδα ανήκουν οι περισσότερες Ευρωπαϊκές περιφέρειες με μεγάλη αύξηση στον δείκτη ιδιοκτησίας Ι.Χ. Το

γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την μεγάλη έλλειψη σε επιφάνεια δρόμων καθώς και την μικρή ανάπτυξη των ΜΜΜ, δημιουργεί την εντύπωση υπερκορεσμού και σημαντικές καθυστερήσεις και ουρές στην κίνηση των οχημάτων κυρίως τις ώρες αιχμής.

Λύση στα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί έρχονται να δώσουν οι εφαρμογές ευφυών μεταφορών στον Ελληνικό χώρο. Ως βασικότερες εφαρμογές σημειώνονται οι παρακάτω:

- ✓ Διαχείριση της κυκλοφορίας. Το Κέντρο Ελέγχου της Κυκλοφορίας του ΥΠΕΧΩΔΕ λειτουργεί από τους Ολυμπιακούς Αγώνες του (2004) με συνεχώς αναπτυσσόμενο εξοπλισμό και παρεχόμενες υπηρεσίες.
- ✓ Ταξιδιωτικές πληροφορίες. Στη Θεσσαλονίκη έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί ένα VMS σύστημα ταξιδιωτικής πληροφόρησης στην Περιφερειακή οδό ενώ σύντομα επεκτείνεται και μέσα στο δίκτυο της πόλης.
- ✓ Ηλεκτρονικές πληρωμές. Τα πρώτα συστήματα ηλεκτρονικών πληρωμών που χρησιμοποιούν τεχνολογία έξυπνων καρτών εγκαταστάθηκαν στα 70 χλμ. της Αττικής οδού Αθηνών πριν έξι περίπου χρόνια ενώ σήμερα είναι εγκατεστημένα σε όλα τα διόδια της ΠΑΘΕ.
- ✓ Εντοπισμός συμβάντων. Το σύστημα IN_RESPONSE παρέχει πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα εντοπισμού συμβάντων σε μήκος 15 χλμ. της περιφερειακής οδού της Θεσσαλονίκης.
- ✓ Δημόσια μεταφορά. Η κοινωνία της πληροφορίας με σχετικά προγράμματα της έδωσε την ευκαιρία σε πολλά οχήματα των ΚΤΕΛ να λειτουργούν με δυναμική καταγραφή της θέσης τους και παρακολούθηση τους από σχετικό κέντρο διαχείρισης στόλου. Στη Θεσσαλονίκη από το 2004 έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί το Κέντρο Διαχείρισης του στόλου του, το οποίο παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τα οχήματα και δίνει την πληροφορία αυτή στο επιβατικό κοινό μέσα από «έξυπνες στάσεις».
- ✓ Λιμενική Λειτουργία και διαχείριση. Το λογισμικό NAVIS χρησιμοποιείται για ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα διαχείρισης και ελέγχου για το λιμάνι του Πειραιά. Στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης ένα άλλο πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα έχει αναπτυχθεί και εγκατασταθεί στο Container Terminal.
- ✓ Ναυλωμένες Μεταφορές. Περιορισμένη χρήση συστήματος εντοπισμού σε ναυλωμένα οχήματα για αστικές και υπεραστικές μεταφορές. Ένας από τους μεγαλύτερους φορείς

(ΠΡΟΟΔΟΣ Α.Ε.) το χρησιμοποιεί για 500 οχήματα και περιλαμβάνει απόδειξη διανομής (POD) πληροφοριών.

Μέχρι το 2007 δεν υπήρχε ένας οργανισμός αφιερωμένος στην ανάπτυξη των συστημάτων ευφυών μεταφορών και η Ελλάδα είχε μόνο ένα μέλος στο ERTICO – το Εθνικό Κέντρο Ερευνών Τεχνολογίας και Ανάπτυξης (CERTH), το οποίο περιλαμβάνει το Εθνικό Ινστιτούτο Μεταφορών. Το Φεβρουάριο του 2007 ιδρύθηκε το ITS Hellas το οποίο έχει ως στόχο την προώθηση των ευφυών μεταφορών.

Το ITS Hellas είναι μια Εθνική Πλατφόρμα δηλαδή ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός με μέλη από το δημόσιο τομέα, (υπουργεία, οργανισμούς κτλ.), από τον ιδιωτικό τομέα, (εταιρείες, βιομηχανίες, υπηρεσίες, ΜΜΕ κτλ.) και από Ερευνητικούς οργανισμούς (ερευνητικά ινστιτούτα, πανεπιστήμια κτλ.) που ασχολείται με τον ευρύτερο τομέα της ανάπτυξης υλοποίησης ή και αξιολόγησης εφαρμογών Ευφυών Συστημάτων μεταφορών. Οι δραστηριότητες μια τέτοιας Πλατφόρμας καλύπτουν κα τα τέσσερα πεδία των μεταφορών όπως έχουν οριστεί διεθνώς (Οδικές μεταφορές, Ναυτιλία, Σιδηροδρομικές μεταφορές και Αεροπορικές μεταφορές) αλλά και ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Υποδομές μεταφορών, Τεχνολογίες οχημάτων, Επικοινωνίες, Τηλεματικές τεχνολογίες, Ανάπτυξη λογισμικού και εξοπλισμού, Σοσιοοικονομικά θέματα, Διαχείριση μέσων μεταφοράς, Διαχείριση κυκλοφορίας (traffic management) κτλ).

Άλλοι Εθνικοί οργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη των συστημάτων ευφυών μεταφορών και στηρίζονται στις πρωτοβουλίες της Κοινωνίας της Πληροφορίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι οι παρακάτω:

- ✓ Γενική Γραμματεία για την Κοινωνία της Πληροφορίας του Υπουργείου Οικονομίας Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας, που κατευθύνει όλες τις προσπάθειες για την ανάπτυξη προγραμμάτων ITS σε εθνικό επίπεδο και στα κανάλια των κονδυλίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- ✓ «Κοινωνία της Πληροφορίας Α.Ε.» του Υπουργείου Οικονομίας Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας που έχει ως σκοπό να παρέχει τεχνική βοήθεια σε διάφορα κυβερνητικά τμήματα για την ανάπτυξη των πρωτοβουλιών της κοινωνίας της πληροφορίας τους.
- ✓ Ειδικές μονάδες για τα έργα της Κοινωνίας της Πληροφορίας και προγράμματα σε κάθε υπουργείο, που εξυπηρετούν τα διαθέσιμα κονδύλια σε κάθε υπουργείο για τις πρωτοβουλίες

της κοινωνίας της πληροφορίας συμπεριλαμβανομένου και των συστημάτων ευφυών μεταφορών.

Η χρηματοδότηση ανάπτυξης ενός συστήματος ευφυών μεταφορών βασίζεται στο δημόσιο κλάδο χρησιμοποιώντας κονδύλια της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα οποία συνδέονται με ευρύτερες πρωτοβουλίες, όπως διάφορα ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα (π.χ. 7^ο Πρόγραμμα Ερευνητικού Πλαισίου).

2.4 Κρίσιμοι παράγοντες επιτυχίας των συστημάτων ευφυών μεταφορών

2.4.1 Ανθρώπινοι παράγοντες

Πολλές από τις σημαντικές τεχνολογίες ITS αφορούν τη διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI) δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αλληλεπιδρούν με την τεχνολογία. Το "ποντίκι" έχει επιτρέψει τη χρήση των υπολογιστών για τις λειτουργίες κυκλοφορίας, ο «browser» έχει επιτρέψει τη χρήση του Διαδικτύου για την πληροφόρηση των ταξιδιωτών και οι ψηφιακοί χάρτες έχουν επιτρέψει τη χρήση GNSS για τη πλοήγηση οχημάτων και τη διαχείριση στόλου. Για την ορθή λειτουργία του ITS, πρέπει να εξετάσουμε την ανθρώπινη πλευρά. Οι άνθρωποι εμπλέκονται στο ITS όχι μόνο ως οδηγοί αλλά και ως αρμόδιοι για το σχεδιασμό ταξιδιού, ταξιδιώτες με συνδυασμένα μέσα, χειριστές κέντρων κυκλοφορίας, αποστολείς στόλου, αντιδρώντες έκτακτης ανάγκης, κλπ.

2.4.2 Ανθρώπινοι παράγοντες από την πλευρά του οχήματος

Η ανθρώπινη αλληλεπίδραση με το όχημα είναι κρίσιμη στον τομέα μεταφορικών υπηρεσιών, δεδομένου ότι τα λάθη ή οι λανθασμένες κρίσεις όσον αφορά τις βασικές λειτουργίες οδήγησης έχουν σαφείς επιπτώσεις στην ασφάλεια. Η χρήση κινητών τηλεφώνων ως αιτία ατυχημάτων αποτελεί τη βάση για την απαγόρευση χρήσης κινητών τηλεφώνων (ακόμη και με προφορική εντολή κλήσης) κατά την οδήγηση. Μερικές μονάδες πλοήγησης απαιτούν από τον οδηγό να σταματήσει το όχημα πριν την εισαγωγή των προορισμών στη συσκευή πλοήγησης αν και μερικοί θεωρούν ότι αυτό είναι υπερβολικό δεδομένου ότι οι οδηγοί μπορούν να αποσπαστούν εξίσου από τη μουσική, τη συνομιλία με τους επιβάτες κλπ. Ιδιαίτερη προσοχή στη διεπαφή ανθρώπου-μηχανής απαιτείται όσον αφορά τις συσκευές και τον εξοπλισμό του οχήματος που οι οδηγοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν, ή να μάθουν γρήγορα να χρησιμοποιούν στα νέα ή

νοικιασμένα οχήματα, σε περιβάλλοντα αμυδρώς φωτισμένα, και χωρίς να πρέπει να μελετήσει δυσκόλως κατανοητά εγχειρίδια λειτουργίας.

Η αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής, και οι διεπαφές ανθρώπου-μηχανής (HMI), παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών καθώς και στην τελική αποδοχή των ITS συστημάτων από τους χρήστες. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι συστημάτων υποστήριξης, και οι προκύπτουσες διεπαφές πρέπει να σχεδιαστούν με μεγάλη προσοχή, βάσει των οδηγιών για "παραδοσιακούς" ανθρώπινους παράγοντες και εργονομική εργασία. Οι οδηγοί οχημάτων απαιτούν πρόσθετη προσοχή δεδομένου ότι οι αποφάσεις και οι ενέργειές τους επηρεάζουν άμεσα την ασφάλεια οδικής κυκλοφορίας. Αναμιγνύοντας τους "πλήρως ικανούς" με τους "μη πλήρως ικανούς" στη χρήση ITS δημιουργούνται διάφορα προβλήματα. Για τους μη-οδηγούς ταξιδιώτες αλλά και για τους οδηγούς που είναι «οριακά» κατάλληλοι να οδηγήσουν, πρέπει να λάβουμε υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας υπηρεσίας ITS τους παράγοντες ανθρώπινης ανικανότητας – αδύναμη όραση, εξασθενημένη ακοή, χαμηλή επιδεξιότητα, γηρατειά, κλπ. Αυτό ισχύει για το σχεδιασμό ιστοχώρων καθώς επίσης και του πίνακα οργάνων.

Για το λόγο αυτό, έχουν δηλωθεί βασικά εργονομικά κριτήρια για τα συστήματα σχεδιασμού, οθόνης, πληροφόρησης, ελέγχου και τα βοηθητικά συστήματα οδήγησης, και έχουν προσδιοριστεί διάφορες βασικές οδηγίες κατάλληλες για τις έννοιες συστημάτων HMI:

- ✓ Προσανατολισμός χρηστών - π.χ. τα συστήματα πρέπει να αποφεύγουν να επιβαρύνουν τον οδηγό αλλά ούτε το αντίθετο, έτσι ώστε αυτός να μην είναι ούτε πάρα πολύ ενεργός αλλά ούτε να βαριέται.
- ✓ Προσανατολισμός δραστηριότητας - π.χ. θα πρέπει να γίνει αποτελεσματική κατανομή των δραστηριοτήτων και των πόρων προσδιορίζοντας τις δραστηριότητες που εκτελούνται καλύτερα από τον οδηγό και εκείνων που είναι καταλληλότερες για αυτοματοποίηση.
- ✓ Τεχνολογικός προσανατολισμός - π.χ. ο στόχος πρέπει να είναι να αναπτυχθούν τα συστήματα που φαίνεται να είναι απλά για τον οδηγό.
- ✓ Προσανατολισμός διαδικασιών - π.χ. βιοτεχνολόγοι και ψυχολόγοι πρέπει να αναμιχθούν στην έναρξη της διαδικασίας σχεδιασμού.

2.4.3 Ανθρώπινοι παράγοντες από την πλευρά της υποδομής

Οι ανθρώπινοι παράγοντες πρέπει να εξεταστούν για όλους τους χρήστες, όχι μόνο για τους οδηγούς οχημάτων. Για παράδειγμα, μερικά από τα σύγχρονα κέντρα ελέγχου της κυκλοφορίας διαθέτουν πάνω από 100 οθόνες κλειστού κυκλώματος (CCTV), που καθιστούν δύσκολο για τους χειριστές να εντοπίσουν και να εστιάσουν σε κρίσιμα σημεία. Η χρήση της τηλεοπτικής και τεχνητής όρασης γίνεται ολοένα και πιο διαδεδομένη στα κέντρα κυκλοφορίας, αλλά πάρα πολλές πληροφορίες και πάρα πολλοί λάθος συναγερμοί που φθάνουν στους χειριστές (οι οποίοι δεν είναι τελικοί χρήστες) μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την υπερφόρτωση. Τα αυτόματα συστήματα συναγερμού συμβάντος μπορούν ακόμη και να τεθούν εκτός λειτουργίας εάν οι λάθος συναγερμοί είναι πάρα πολλοί.

Η βασική έννοια του ITS αφορά τον τελικό χρήστη, και οι ανθρώπινοι παράγοντες πρέπει να θεωρηθούν ότι ενισχύουν την αποδοχή χρηστών. Οι ανθρώπινοι παράγοντες έπαιξαν μεγάλο ρόλο στην απόφαση να χρησιμοποιηθεί η προφορική αναγνώριση και στο σχεδιασμό μιας αποδοτικής ιεραρχικής δομής που θα επιτρέψει στον επισκέπτη "να εντρυφήσει εις βάθος" για να ανακτήσει τις απαραίτητες πληροφορίες γρήγορα. Μετά από την πυρκαγιά στη σήραγγα Mont Blanc το 1999, στην οποία πέθαναν πολλοί άνθρωποι, το νέο σύστημα διαχείρισης σηράγγων περιλαμβάνει πολύ καλύτερη σηματοδότηση με σκοπό την ασφάλεια των χρηστών σε περίπτωση παρόμοιου συμβάντος. Ιδιαίτερα ορατές πινακίδες οδηγούν τους χρήστες στην κοντινότερη στοά εκκένωσης και υπάρχει πιο αποτελεσματική σηματοδότηση με τη χρήση δυναμικού VMS.

2.4.4 Σχεδιασμός & Χρηματοδότηση

Τα κρίσιμα θεσμικά ζητήματα του ITS είναι ο σχεδιασμός κατά την ανάπτυξη μιας υπηρεσίας, η συνεργασία με τον ιδιωτικό τομέα και η χρηματοδότηση και προμήθεια. Οι επαγγελματίες που χρησιμοποιούν υπηρεσίες και τεχνολογίες ITS πρέπει να εξοικειωθούν με τους εναλλακτικούς και καινοτόμους τρόπους επίλυσης των διαφόρων θεσμικών ζητημάτων.

Στους επαγγελματίες που επιθυμούν να επενδύσουν στα συστήματα ITS συνιστάται η δημιουργία καλά μελετημένου και καλά δομημένου επενδυτικού σχεδίου, το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει την προετοιμασία της μελέτης εφαρμογής ITS, και τον τελικό σχεδιασμό του νέου τρόπου λειτουργίας.

Οι συμφωνίες οργανισμών διαμεσολάβησης αποτελούν σημαντικό μέσο εξασφάλισης ολοκληρωμένων διαδικασιών ITS. Όταν συνίσταται μια συνεργασία μεταξύ πολλαπλών οργανισμών, ειδικά εάν μερικοί από αυτούς ανήκουν στον ιδιωτικό τομέα, ο ρόλος κάθε συνεργάτη και το μέτρο επιτυχίας του πρέπει να είναι απολύτως σαφή σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη, που τεκμηριώνονται εξ' αρχής και κατά προτίμηση στα υπομνήματα συμφωνίας.

Για την αποτελεσματική εφαρμογή ITS, ο δημόσιος τομέας ενθαρρύνεται να εξετάσει τη στενή συνεργασία με τους οργανισμούς του ιδιωτικού τομέα, ώστε να προκύψουν τελικές υπηρεσίες με βέλτιστο αποτέλεσμα για τον τελικό χρήστη. Ένα από παράδειγμα τέτοιας συνεργασίας μπορεί εδώ να αναφερθεί το Ολοκληρωμένο Σύστημα Αστικής Κινητικότητας και Διαχείρισης της Κυκλοφορίας που αυτή τη στιγμή υλοποιείται στη Θεσσαλονίκη σε συνέργεια της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, του Δήμου Θεσσαλονίκης, του Ινστιτούτου Μεταφορών, του Συμβουλίου Αστικών Συγκοινωνιών της πόλης καθώς και του Εθνικού Αστεροσκοπείου και του Νορβηγικού Institute of Transport Economics, το οποίο υλοποιείται με χρηματοδότηση του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου και με Εθνική συμμετοχή.

Δεδομένης της φύσης των εγχειρημάτων χρηματοδότησης ITS και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων της, οι συνεργασίες αυτές πρέπει να είναι ανοικτές προς, νέες μορφές δημόσιας σύμβασης και συμφωνίες χρηματοδότησης.

2.4.5 Εφαρμογή προτύπων

Τα πρότυπα αποτελούν αυστηρές προδιαγραφές για τα σημαντικά τμήματα υλικού και λογισμικού για την εξασφάλιση ότι αυτά θα συνεργάζονται, ακόμα και όταν είναι από ανταγωνιστικούς προμηθευτές. Πριν το σχεδιασμό οποιασδήποτε Εθνικής Στρατηγικής για την ανάπτυξη ITS απαιτείται προσεκτική ανάλυση των διαφορετικών τύπων προτύπων ITS καθώς και μια ενδελεχή ενημέρωση της παρούσας κατάστασης ανάπτυξης προτύπων ITS σε διεθνές επίπεδο.

Υπάρχουν διαφορετικές ταξινομήσεις για τα πρότυπα ITS. Κατ' αρχήν, τα πρότυπα απαιτούνται στα πρωτόκολλα και τις ομάδες μηνυμάτων ούτως ώστε να επιτρέπεται η ομαλή ροή δεδομένων και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των υποσυστημάτων. Τα πρωτόκολλα, όπως το TCP/IP για το Διαδίκτυο, δίνουν τους τύπους για τη διαβίβαση μηνυμάτων, διευκρινίζουν τις λεπτομέρειες της μορφής μηνυμάτων, και περιγράφουν πώς θα πρέπει να ενεργήσει κανείς σε περίπτωση σφάλματος. Απαιτούνται επίσης πρότυπα ομάδων μηνυμάτων, όπως συνήθως

καθορίζονται στα λεξικά δεδομένων, προκειμένου να επιτραπεί η σημαντική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των υποσυστημάτων. Για παράδειγμα, για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με συμβάντα, πρέπει να υπάρχουν πρότυπα για την κωδικοποίηση ορισμένων στοιχείων μηνυμάτων για τη σαφή περιγραφή της θέσης (π.χ. αριθμός οδικού τμήματος) και τον τύπο συμβάντος (π.χ. πυρκαγιά, τραυματισμός, κλπ.). Σε περίπτωση που απαιτείται ασύρματη επικοινωνία, επιβάλλεται επίσης η τυποποίηση της συχνότητας και τεχνικής ρύθμισης. Το ITS μπορεί να χρησιμοποιήσει υπάρχοντα πρότυπα στα χαμηλότερα επίπεδα για την ολοκλήρωση Ανοιχτών Συστημάτων (OSI) και να εστιάσει στην τυποποίηση εξειδικευμένου περιεχομένου δεδομένα ITS σε επίπεδο εφαρμογής (το υψηλότερο επίπεδο OSI).

Δεύτερον, τα πρότυπα ITS μπορούν να καθιερωθούν σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό, διεθνές και παγκόσμιο επίπεδο. Κάποια πρότυπα μπορεί να απαιτούνται μόνο μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο. Για παράδειγμα, για τις περισσότερες λειτουργίες των εμπορικών οχημάτων, διεθνή πρότυπα μπορεί να απαιτούνται για μια συγκεκριμένη ήπειρο (π.χ. Ευρώπη ή Βόρεια Αμερική) αλλά δεν απαιτούνται τα παγκόσμια πρότυπα δεδομένου ότι τα φορτηγά δεν διασχίζουν τις ηπείρους. Αντίθετα, τα πρότυπα για τον προσδιορισμό φορτίου πρέπει να είναι παγκόσμια προκειμένου να διευκολυνθούν ο προσδιορισμός του φορτίου, οι έλεγχοι ασφάλειας και η μετακίνησή τους μεταξύ των ηπείρων.

Τρίτον, όπως οποιοσδήποτε άλλος τύπος προτύπων, τα πρότυπα ITS μπορούν να είναι πραγματικά, όταν ο καθένας ακολουθεί τα πρότυπα που καθορίζονται από τον κύριο προμηθευτή, ή τα πρότυπα συναίνεσης, τα οποία προσεγγίζονται μέσω των διαδικασιών που καθιερώνονται από τους οργανισμούς που θέτουν αυτά τα πρότυπα (συνήθως επαγγελματικές εταιρείες και εμπορικές ενώσεις). Τα πρότυπα μπορούν επίσης να καθοριστούν από την κυβέρνηση (υπό μορφή κανονισμού), συνήθως ως έσχατη λύση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Η κατακόρυφη αύξηση των κυκλοφοριακών φόρτων που λαμβάνει χώρα τα τελευταία χρόνια σε όλα τα οδικά δίκτυα παγκοσμίως έχει επιβάλλει νέες απαιτήσεις στο χώρο της διαχείρισης των εν λειτουργία οδικών έργων. Η φιλοσοφία της διεύρυνσης της οδικής υποδομής ως λύση στο πρόβλημα έδειξε γρήγορα τη δυσκαμψία της, οπότε ως γόνιμη στρατηγική αντιμετώπισης έχει χριστεί πλέον η φιλοσοφία της διαχείρισης της κυκλοφορίας. Για να πραγματοποιηθεί, όμως, η διαχείριση αυτή, ασφαλώς απαιτείται πρώτα η απόκτηση των σχετικών δεδομένων της κυκλοφορίας, μέσα από την ίδια την οδική υποδομή. Παράλληλα, οι απαιτήσεις ασφάλειας που προβάλλουν οι σύγχρονοι αυτοκινητόδρομοι επιβάλλουν ταχύτερη ανίχνευση και αντιμετώπιση των πάσης φύσεως προβληματικών καταστάσεων στην κυκλοφορία, που φτάνουν ως την άμεση επιτήρηση σε πραγματικό χρόνο.

Οι συνθήκες αυτές έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός ακόμη πεδίου εξοπλισμού των οδών, αυτό του εξοπλισμού παρακολούθησης της κυκλοφορίας. Μέχρι τώρα στο πεδίο αυτό περιλαμβάνονταν μόνο οι ανιχνευτές για τους σκοπούς της φωτεινής σηματοδότησης, καθώς και κάμερες κλειστού τηλεοπτικού κυκλώματος σε επικίνδυνα σημεία, όπως σήραγγες ή γέφυρες. Η σύγχρονη παρακολούθηση αξιοποιεί τόσο τις υπάρχουσες, όσο και νέες τεχνολογίες για τους σκοπούς της, δηλαδή τη μέτρηση πάσης φύσεως κυκλοφοριακών δεδομένων και την επιτήρηση της κυκλοφορίας.

3.2 Τύποι συστημάτων παρακολούθησης

Ο εξοπλισμός των συστημάτων παρακολούθησης της κυκλοφορίας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στους παρακάτω τύπους:

- **Μαγνητικοί ανιχνευτές:** Είναι παγκοσμίως ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος τύπος, με κύρια εφαρμογή τους σηματοδοτούμενους κόμβους. Χρησιμοποιούνται για μέτρηση κυκλοφοριακών δεδομένων.
- **Αισθητήρες ανίχνευσης έξω από το οδόστρωμα:** Είναι συσκευές που τοποθετούνται επάνω από το οδόστρωμα, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνολογίες όπως μικροκύματα, λέιζερ ή

υπέρυθρες ακτινοβολίες. Χρησιμοποιούνται και αυτοί για μέτρηση κυκλοφοριακών δεδομένων.

- Κλειστά αναλογικά κυκλώματα τηλεόρασης: Η γνωστή πρακτική όπου αναλογικές κάμερες αποστέλλουν την εικόνα σε οθόνες του κέντρου διαχείρισης, για άμεση παρακολούθηση από το προσωπικό.
- Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας: Η πιο σύγχρονη τεχνική, όπου ψηφιακές κάμερες αποστέλλουν την εικόνα σε υπολογιστικά συστήματα τόσο για εξαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων, όσο και για διαπίστωση ειδικών συμβάντων, σε κάθε περίπτωση μετά από ηλεκτρονική επεξεργασία της εικόνας.

Στο παρόν Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι παραπάνω τύποι συστημάτων.

3.3 Μαγνητικοί ανιχνευτές

Οι σπουδαιότεροι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι οι ανιχνευτές βρόχου. Η εφαρμογή των ανιχνευτών αυτών ήταν πολύ συνηθισμένη σε σηματοδοτούμενους κόμβους για τις ανάγκες της επενέργειας, αλλά πλέον έχει επεκταθεί και στο πεδίο της παρακολούθησης της κυκλοφορίας, και ειδικότερα για την απόκτηση κυκλοφοριακών δεδομένων.

Οι εν λόγω ανιχνευτές είναι συσκευές που αποτελούνται από ένα βρόχο καλωδίου, τοποθετημένου κάτω από την οδική επιφάνεια, ο οποίος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Ένα όχημα που διέρχεται επάνω από το καλώδιο λειτουργεί ως πυρήνας στο πηνίο, μεταβάλλοντας τη χωρητικότητά του, και με αυτό τον τρόπο πιστοποιεί την διέλευση του.

Στοιχεία που είναι δυνατόν να μετρηθούν με τη βοήθεια των ανιχνευτών βρόχου είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, η κατανομή κατά λωρίδα, η πυκνότητα των οχημάτων και οι χρονικοί διαχωρισμοί. Επίσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1, τοποθετώντας τους βρόχους σε ζεύγη κατά μήκος της λωρίδας είναι δυνατή και η μέτρηση της ταχύτητας, όπως και του μήκους κάθε οχήματος, επιτρέποντας την κατηγοριοποίηση της κυκλοφορίας κατά τύπο οχημάτων.

Επιπλέον, προχωρημένες τεχνικές διαχείρισης των εν λόγω συστημάτων ανίχνευσης χρησιμοποιούν την προαναφερθείσα ικανότητα μέτρησης του μήκους για ταυτοποίηση της διέλευσης του ίδιου οχήματος σε επόμενα σημεία, επιτρέποντας έτσι την εξαγωγή συμπερασμάτων για τους χρόνους διαδρομής και τις μέσες ταχύτητες κίνησης στην οδό. Το ποσοστό σφάλματος στην αναγνώριση των οχημάτων με αυτή τη μέθοδο δεν ξεπερνάει το 5%.

Παρομοίως, η ταυτοποίηση της διέλευσης ενός οχήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τη βοήθεια του μαγνητικού «αποτυπώματος» που αφήνει κάθε ξεχωριστό όχημα κατά τη διέλευσή του από κάθε βρόχο. Με τη διασπορά σημείων ανίχνευσης σε ένα οδικό δίκτυο ή στις εισόδους και εξόδους αυτοκινητοδρόμων είναι δυνατή η εξαγωγή δεδομένων σχετικά με την προέλευση και προορισμό των μετακινήσεων.



Εικόνα 3.1: Ζεύγη μαγνητικών ανιχνευτών βρόχου

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης μαγνητικών ανιχνευτών βρόχου ως συστήματα παρακολούθησης είναι η απλότητα και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης, όπως και η δεδομένη εμπειρία από την πολύχρονη χρήση τους. Επίσης, δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα, ενώ η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.

Μειονέκτημά τους είναι η ανάγκη επέμβασης επάνω στην οδό, τόσο για την εγκατάσταση, όσο και για τη συντήρησή τους. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι λόγω της θέσης του εξοπλισμού αυτού, παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της καταστροφής του και χρήζει ιδιαίτερη προσοχής η γενική συντήρησή του. Συγκεκριμένα, σύστημα υπόγειων βρόγχων που κατέγραφε κυκλοφοριακούς φόρτους σε 500 οδικές διατομές της Θεσσαλονίκης έπαψε να λειτουργεί λόγω ελλιπούς συμβολαίου συντήρησης και λόγω καταστροφών του υπόγειου εξοπλισμού από έργα ασφαλτόστρωσης, φυσικού αερίου κ.α.

3.4 Συσκευές ανίχνευσης έξω από το οδόστρωμα

Ως εναλλακτική λύση στους μαγνητικούς ανιχνευτές βρόχου στο πεδίο της απόκτησης κυκλοφοριακών δεδομένων, έχουν επινοηθεί και χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι συσκευών ανίχνευσης, τοποθετούμενοι έξω από το οδόστρωμα. Το χαρακτηριστικό όλων αυτών των συσκευών είναι η παρακολούθηση επάνω ή δίπλα από την οδό, με τοποθέτηση σε δικές τους ή υπάρχουσες διατάξεις στήριξης. Κατά συνέπεια, δεν απαιτείται η παρενόχληση της κυκλοφορίας κατά την εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση των διατάξεων αυτών.

Μερικές από τις διατάξεις που μπορούν να συναντηθούν είναι:

- **Ανιχνευτές μικροκυμάτων:** Κατά τη λειτουργία τους εκπέμπουν μικροκύματα και μετρούν τη μεταβολή στη συχνότητα του ανακλώμενου επάνω στην επιφάνεια παρακολούθησης σήματος. Η μεταβολή αυτή είναι ανάλογη με την ταχύτητα των οχημάτων και μπορεί να υπολογιστεί με μεγάλη ακρίβεια. Ωστόσο, η μέτρηση είναι δυνατή μόνο σε περίπτωση ελαφράς κυκλοφορίας. Σε πυκνή, αργή ή στάσιμη κυκλοφορία η λειτουργία είναι προβληματική έως αδύνατη.
- **Ανιχνευτές υπερήχων:** Υπολογίζουν την απόσταση από τα οχήματα, με τη βοήθεια υπερήχων που ανακλώνται επάνω σε αυτά και στο οδόστρωμα. Η λειτουργία τους παρεμποδίζεται από παράσιτα πηγών θορύβου.
- **Ενεργητικοί ανιχνευτές υπερύθρων:** Εκπέμπουν μία σειρά από αόρατες υπέρυθρες ακτίνες και αναλύουν τις αντανάκλασεις από τις λείες επιφάνειες των οχημάτων. Μπορούν να μετρήσουν κυκλοφοριακούς φόρτους και ταχύτητες οχημάτων.
- **Παθητικοί ανιχνευτές υπερύθρων:** Υπολογίζουν τις μεταβολές στη θερμική ακτινοβολία που προκαλούνται σε ένα συγκεκριμένο πεδίο λήψης. Οι παθητικοί ανιχνευτές κυκλοφορίας, απαιτούν πολύ λίγη ενέργεια και το κόστος τους είναι εξαιρετικά ανταγωνιστικό, ωστόσο πάσχουν στην ακρίβεια υπολογισμού της ταχύτητας.



Εικόνα 3.2: Παθητικός ανιχνευτής υπερύθρων

- **Ανιχνευτές λέιζερ:** Χρησιμοποιούν ακτινοβολία τύπου λέιζερ για να υπολογίσουν την απόσταση από τα οχήματα, ενώ είναι ικανοί να προσδιορίσουν και το περίγραμμά τους. Υπολογίζουν με μεγάλη ακρίβεια φόρτους, ταχύτητα και ταξινόμηση κατά τύπο οχήματος, αλλά το κόστος τους καθιστά απαγορευτική τη μαζική τους χρήση.

Κάθε τύπος από τους προαναφερθέντες παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθώς και διάφορες δυνατότητες ανίχνευσης συγκεκριμένων στοιχείων κυκλοφορίας, ενώ σημαντική παράμετρος στη λειτουργία τους είναι και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Για τη διεύρυνση των δυνατοτήτων ανίχνευσης μπορούν να συνδυαστούν επιμέρους τεχνολογίες, όπως παθητικοί ανιχνευτές υπερύθρων μαζί με υπέρηχους ή μικροκύματα. Πάντως, από τους προαναφερθέντες τύπους ο μόνος που διαθέτει την ικανότητα αναγνώρισης οχημάτων, οπότε μπορεί και να εφαρμοστεί για επαναταυτοποίηση, σε αναλογία με τους ανιχνευτές βρόχου, είναι οι ανιχνευτές με λέιζερ, το κόστος των οποίων, όμως, είναι πολύ υψηλό. Κατά συνέπεια, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι ανιχνευτές βρόχου μάλλον θα παραμείνουν για αρκετό καιρό ακόμη οι δημοφιλέστεροι, με τους ανιχνευτές εκτός οδοστρώματος να αποτελούν απλώς εναλλακτική λύση όπου δεν είναι δυνατή η εφαρμογή τους.

3.5 Κλειστά αναλογικά κυκλώματα τηλεόρασης

Η χρήση κλειστών κυκλωμάτων τηλεόρασης αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο επιτήρησης σε οποιοδήποτε πεδίο, οπότε και η επιτήρηση της κυκλοφορίας δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση στον κανόνα. Μία σειρά από αναλογικές κάμερες, που εφαρμόζονται κατά μήκος μίας οδού ή σε συγκεκριμένα σημεία ενός οδικού δικτύου, μεταφέρει την εικόνα σε οθόνες στο

κέντρο διαχείρισης, όπου το προσωπικό μπορεί να παρακολουθήσει άμεσα τη διεξαγωγή της κυκλοφορίας, ενώ είναι δυνατή και η εγγραφή σε βίντεο.

Ασφαλώς η μέθοδος αυτή παρακολουθήσεως, τουλάχιστον άμεσα, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για επίβλεψη, και όχι για απόκτηση κυκλοφοριακών δεδομένων.

Κατά την επίβλεψη της κυκλοφορίας με τη μέθοδο κλειστού κυκλώματος παρακολουθήσεως, το προσωπικό του κέντρου διαχείρισης είναι σε θέση να διαπιστώσει διάφορες προβληματικές καταστάσεις όπως ατυχήματα, συμφορήσεις, παράνομα ή προβληματικά κινούμενα οχήματα, δυσμενείς καιρικές συνθήκες, και να αντιδράσει άμεσα, γνωρίζοντας και το πραγματικό μέγεθος του προβλήματος. Σαν απλά παραδείγματα, σε περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης σε κάποιο σημείο αυτοκινητοδρόμου το προσωπικό μπορεί να ρυθμίσει εύκολα και άμεσα την απεικόνιση ενός προειδοποιητικού μηνύματος σε πινακίδα μεταβλητών μηνυμάτων, ή να κινήσει άμεσα τις απαραίτητες διαδικασίες σε περίπτωση ατυχήματος.

Σημαντικός, επίσης, είναι ο ρόλος της επίβλεψης και στην περίπτωση των σιδηρόδρομων, όπου ένα ατύχημα ή μία δυσλειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού μπορεί να αποβούν εξαιρετικά επικίνδυνα.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία στην απόδοση του όλου συστήματος επίβλεψης είναι η κατάλληλη τοποθέτηση των καμερών. Αυτή εξαρτάται τόσο από τις απαιτήσεις της επίβλεψης, όσο και από τις δυνατότητες της ίδιας της συσκευής που επιλέγεται. Υπάρχουν συσκευές με δυνατότητες περιστροφής κατά τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα, καθώς και μεγέθυνσης και εστίασης διαφόρων βαθμών, άμεσα χειριζόμενες σε πραγματικό χρόνο από το προσωπικό του κέντρου. Αυτές οι διατάξεις, βέβαια, απαιτούν πιο σύνθετη υποδομή επικοινωνίας, αλλά επιτρέπουν την κάλυψη ευρύτερης και μεγαλύτερου μήκους περιοχής, μέχρι και 800 m βάθους.

Σοβαρό ελάττωμα της μεθόδου επίβλεψης με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης αποτελεί η δυσκολία λήψης στο σκοτάδι και υπό δυσμενείς συνθήκες ορατότητας, όπως βροχή, χιόνι, ομίχλη, σκόνη, καπνός. Επειδή, δε, είναι αυτές οι περιπτώσεις που καθίσταται ίσως περισσότερο χρήσιμη η επιτήρηση, αρκετοί κατασκευαστές έχουν προχωρήσει στη δημιουργία συσκευών λήψης με υπέρυθρες ακτίνες, που διαθέτουν βελτιωμένες σχετικές ικανότητες, όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.3 έως 3.5.



Εικόνα 3.3: Άποψη υπό συνήθεις συνθήκες ορατότητας.



Εικόνα 3.4: Νυχτερινή άποψη με κάμερα βραχέων υπερύθρων



Εικόνα 3.5: Νυχτερινή άποψη με κάμερα μακρών υπερύθρων

3.6 Παρακολούθηση με ψηφιακή επεξεργασία εικόνας

Η εφαρμογή συστημάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας αποτελεί την πιο σύγχρονη, αποτελεσματική και συγχρόνως ολοκληρωμένη μέθοδο παρακολούθησης της κυκλοφορίας. Κατά τη μέθοδο αυτή, όπως και στην περίπτωση των κλειστών κυκλωμάτων τηλεόρασης, λαμβάνεται εικόνα από την οδό με τη βοήθεια κάμερας και αναπαράγεται σε οθόνες του κέντρου διαχείρισης. Πλην όμως, η εικόνα αυτή εισάγεται και σε κατάλληλη ηλεκτρονική υπολογιστική μονάδα, όπου και υφίσταται επεξεργασία για τη λήψη όλων των επιθυμητών στοιχείων,

παρακάμπτοντας τον ανθρώπινο παράγοντα. Η παρακολούθηση της κυκλοφορίας με ψηφιακή επεξεργασία εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εξαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων, όσο και για επιτήρηση της κυκλοφορίας.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 3.6. Κατά την εγκατάσταση του συστήματος, αφού οριστικοποιηθεί η θέση της κάμερας και ξεκινήσει η λήψη της εικόνας, ο χειριστής ορίζει στην οθόνη γραμμές και περιοχές ανίχνευσης, ανάλογα με τα στοιχεία που είναι επιθυμητό να λαμβάνονται. Μόλις κάποιο όχημα πατήσει κάποια γραμμή ή εισέλθει σε κάποια περιοχή, ανιχνεύεται. Στη συνέχεια, μία σειρά από αλγορίθμους αναλαμβάνει να επεξεργαστεί περαιτέρω την εικόνα και να εξαγάγει όλα τα επιθυμητά στοιχεία, απεικονίζοντάς τα στην οθόνη, αλλά και αποθηκεύοντάς τα για δημιουργία διαχρονικών δεδομένων.



Εικόνα 3.6: Εικόνα λειτουργίας συστήματος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας

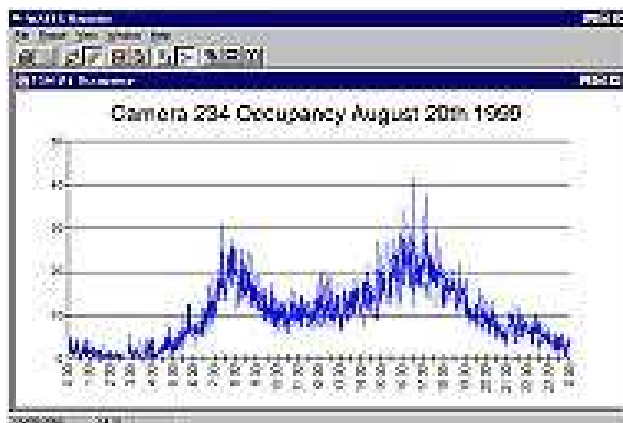
Συνοπτικά, οι δυνατότητες που παρέχονται από τη χρήση ενός σχετικού συστήματος μπορεί να είναι:

- Μέτρηση κυκλοφοριακών φόρτων
- Μέτρηση ταχύτητας οχημάτων και μέσης ταχύτητας κίνησης
- Κατανομή κυκλοφορίας κατά λωρίδα
- Χωρικοί και χρονικοί διαχωρισμοί
- Πυκνότητα κυκλοφορίας
- Εκτίμηση μήκους οχημάτων και αντίστοιχη ταξινόμηση φόρτων
- Αναγνώριση παρουσίας οχημάτων σε προσβάσεις κόμβων

- Μέτρηση μήκους ουράς αναμονής σε προσβάσεις κόμβων
- Αναγνώριση συμφορήσεως
- Αναγνώριση προβληματικής κίνησης οχημάτων, όπως υψηλή ή χαμηλή ταχύτητα και απότομη μεταβολή της, στάση, αντίθετη κίνηση
- Ανίχνευση αντικειμένων στο οδόστρωμα
- Ανίχνευση καπνού ή ομίχλης
- Δυνατότητα παρακολούθησης οχήματος βάσει διαστάσεων και χρώματος

Βέβαια, μία εγκατάσταση ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας δεν είναι απαραίτητο να περιλαμβάνει όλες τις προαναφερθείσες δυνατότητες ταυτόχρονα, παρά μόνο όσες χρειάζονται σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Συνήθως το διαθέσιμο λογισμικό διατίθεται σε τρεις διαφορετικές δυνατότητες, για μέτρηση κυκλοφοριακών δεδομένων, για ανίχνευση περιστατικών (επιτήρηση) και για διαχείριση σηματοδοτούμενων κόμβων.

Κατά τη μέτρηση κυκλοφοριακών δεδομένων μπορούν να μετρηθούν διάφορα στοιχεία όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, οι ταχύτητες των οχημάτων, η κατανομή κατά λωρίδα, οι χωρικοί και χρονικοί διαχωρισμοί, η πυκνότητα κυκλοφορίας. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης του μήκους κάθε οχήματος, με αντίστοιχη κατανομή της κυκλοφορίας κατά κατηγορία. Τα στοιχεία μήκους σε συνδυασμό με το χρώμα, επιτρέπουν και την ταυτοποίηση της διέλευσης ενός συγκεκριμένου οχήματος από επόμενα παρακολουθούμενα σημεία, για την εξαγωγή μέσων ταχυτήτων και χρόνων διαδρομής, όπως και δεδομένων προέλευσης και προορισμού, σε αναλογία με τα όσα εκτέθηκαν σχετικά με τους μαγνητικούς βρόχους. Το πλεονέκτημα είναι ότι με τη βοήθεια του λογισμικού όλα αυτά τα στοιχεία μπορούν να παρουσιαστούν σε διάφορες μορφές, καθώς και να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν για εξαγωγή διαχρονικών στοιχείων, εντελώς αυτόματα.



Εικόνα 3.7: Παρουσίαση στοιχείων κυκλοφορίας

Η ανίχνευση διαφόρων ειδών περιστατικών πραγματοποιείται και αυτή αυτόματα, με τη δυνατότητα διαπίστωσης συμφόρησης, σταματημένων ή κινούμενων αντίθετα οχημάτων, αντικειμένων στο οδόστρωμα.



Εικόνα 3.8: Ανίχνευση περιστατικού

Με την ανίχνευση κάποιου περιστατικού ενημερώνεται το προσωπικό του κέντρου, το οποίο έχει βέβαια τη δυνατότητα να επιβεβαιώσει την πληροφορία κοιτώντας την οθόνη του, διαπιστώνοντας το είδος και την έκτασή του και αποφασίζοντας για τις ενέργειες στις οποίες θα προβεί.

Απλώς δεν απαιτείται η συνεχής επαγρύπνησή του, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των κλειστών κυκλωμάτων τηλεόρασης. Ιδιαίτερη εφαρμογή της δυνατότητας ανίχνευσης περιστατικών μπορεί να πραγματοποιηθεί σε επικίνδυνα σημεία, όπως οι σήραγγες, (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9: Ανίχνευση σταματημένου οχήματος σε σήραγγα

Τέλος, κατά τη δυνατότητα της διαχείρισης σηματοδοτούμενων κόμβων το σύστημα επεξεργασίας έχει τη δυνατότητα ανίχνευσης οχημάτων που αναμένουν ή προσεγγίζουν στην παρακολουθούμενη πρόσβαση, τη μέτρησή τους, καθώς και την εκτίμηση του μήκους ενδεχόμενης ουράς. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται στη διαχείριση της επενεργούμενης σηματοδότησης.



Εικόνα 3.10: Ανίχνευση αναμένοντων οχημάτων σε σηματοδότη

Βασικοί παράγοντες στην αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία της ηλεκτρονικής παρακολούθησης είναι το είδος και η θέση των συσκευών λήψης εικόνας που χρησιμοποιούνται. Καθώς η ποιότητα της γραφικής επεξεργασίας εξαρτάται από την αντίστοιχη της εικόνας, οι κάμερες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ψηφιακής επεξεργασίας απαιτείται να είναι μεγαλύτερης ευκρίνειας σε σχέση με τις κοινές κάμερες των κλειστών κυκλωμάτων. Έγχρωμες κάμερες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν, αλλά είναι εν γένει λιγότερο ευαίσθητες σε σχέση με τις ασπρόμαυρες.



Εικόνα 3.11: Τύποι συσκευών λήψης εικόνας για εφαρμογές ψηφιακής επεξεργασίας

Η βέλτιστη θέση κάθε κάμερας εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής, καθώς και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Γενικά οι κάμερες θα πρέπει να είναι τοποθετημένες όσο το δυνατό υψηλότερα, και στο κέντρο της ζώνης ανίχνευσης. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, προτιμάται η τοποθέτηση κοντά στην εσωτερική λωρίδα, καθώς με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται το γεγονός βραδέα και ογκώδη οχήματα να κλείνουν το οπτικό πεδίο στις παρακείμενες λωρίδες. Η απευθείας πρόσπτωση του ηλιακού φωτός επάνω στο φακό θα πρέπει να αποφεύγεται. Το οπτικό πεδίο εξαρτάται από το ύψος τοποθέτησης, όπως και από το εύρος ανοίγματος του φακού.

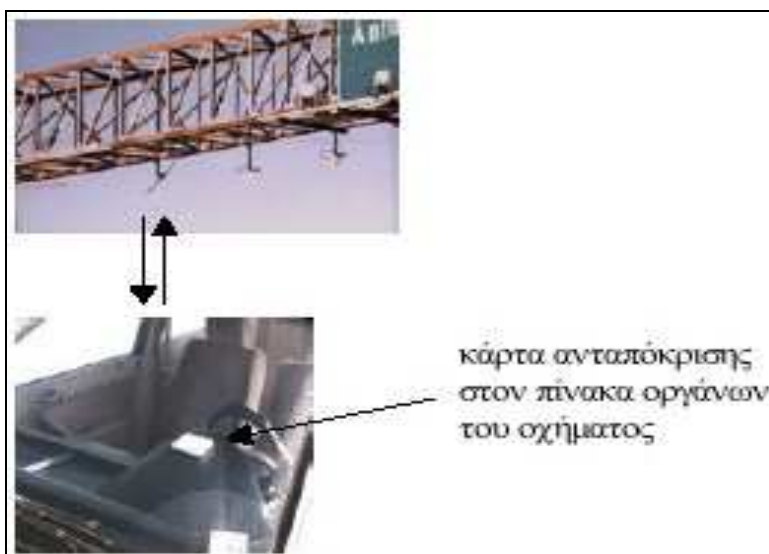
Ενδεικτικά, για την ανίχνευση σταματημένων οχημάτων η ζώνη ανίχνευσης συνήθως περιορίζεται σε 350 m σε ανοιχτές οδούς και σε 15 φορές το ύψος της κάμερας μέσα σε σήραγγες. Επίσης, μία κάμερα με σχεδόν κατακόρυφη τοποθέτηση (κοιτάζοντας προς τα κάτω) παρέχει σαφέστερη διάκριση των διαδοχικών οχημάτων, μειώνοντας τα σφάλματα αναγνώρισης καθότι φαίνονται τα διάκενα μεταξύ τους, αλλά το εξαιρετικά περιορισμένο πεδίο λήψης την καθιστά ακατάλληλη για επιτήρηση.

Τέλος, αναφέρεται ότι, όπως και στην περίπτωση των κλειστών κυκλωμάτων, έτσι και εδώ βασική αδυναμία της μεθόδου είναι η δυσκολία ανίχνευσης σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή περιορισμένης ορατότητας. Ομοίως, αντιμετώπιση του προβλήματος επιτυγχάνεται με χρήση τεχνολογιών όπως οι υπέρυθρες ακτινοβολίες.

3.7 Παρακολούθηση με τη βοήθεια καρτών ανταπόκρισης οχημάτων

Πέρα από τις προαναφερθείσες, μία ακόμη μέθοδος που εφαρμόζεται σε αρκετές περιοχές του κόσμου και χρίζει αναφοράς είναι και η παρακολούθηση με τη βοήθεια καρτών ανταπόκρισης στο εσωτερικό των οχημάτων. Η μέθοδος αυτή είναι ευρύτερα γνωστή με τη μορφή της ηλεκτρονικής χρέωσης διοδίων. Οι οδηγοί που επιθυμούν την αποφυγή της στάσης σε σταθμούς διοδίων εφοδιάζονται με μία ειδική κάρτα, την οποία τοποθετούν στο εσωτερικό του οχήματος. Σε κάθε σταθμό διοδίων υπάρχει ειδικός αναγνώστης, που αναγνωρίζει το συγκεκριμένο όχημα βάσει της κάρτας και χρεώνει το σχετικό αντίτιμο στον οδηγό.

Η δυνατότητα αυτή αναγνώρισης κάθε συγκεκριμένου οχήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα και για την ταυτοποίηση της διέλευσης του οχήματος και από επόμενους σταθμούς ανάγνωσης, παρέχοντας κυκλοφοριακά δεδομένα. Βέβαια, η μέθοδος αυτή προφανώς συνεργάζεται μόνο με τα εφοδιασμένα με κάρτα οχήματα, άρα τα αξιόπιστα δεδομένα που μπορεί να παρέχει είναι πολύ φτωχά, περιοριζόμενα μόνο σε μέσες ταχύτητες και χρόνους διαδρομής. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι και αντίστοιχα απλή, φθηνή και εύκολης εφαρμογής, καθώς απαιτεί απλώς την τοποθέτηση αναγνωστών σε οποιοδήποτε πρόσφορο σημείο (μαζί με την υποδομή επικοινωνίας, βέβαια) και αξιοποιεί την ήδη υπάρχουσα υποδομή χρηστών-κατόχων κάρτας.



Εικόνα 3.12: Λειτουργία συστήματος παρακολούθησης με κάρτες ανταπόκρισης οχημάτων

3.8 Παρουσίαση του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας του ΥΠΕΧΩΔΕ

Με στόχο τη βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών και την άμεση απόκριση σε συμβάντα στο κύριο οδικό δίκτυο του Νομού Αττικής, το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. εγκατέστησε και λειτουργεί από το 2004 το δικό του σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Μέσω αυτού, επιβλέπονται συνεχώς οι κυκλοφοριακές συνθήκες στους κεντρικούς δρόμους της Αττικής, λαμβάνονται μέτρα για την αντιμετώπιση έκτακτων συμβάντων (ατυχήματα, ακινητοποίηση οχημάτων, έργα στο δρόμο, εκδηλώσεις, κ.λ.π.) που δημιουργούν προβλήματα στην κυκλοφορία, ενώ παράλληλα ενημερώνονται οι οδηγοί σχετικά με τις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες.

Το Σύστημα αυτό αποτελείται από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και από διάφορες συσκευές που έχουν εγκατασταθεί κατά μήκος βασικών οδικών αρτηριών (συστήματα μέτρησης της κυκλοφορίας, συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας, φωτεινοί σηματοδότες, ηλεκτρονικές πινακίδες για την παρουσίαση μηνυμάτων σχετικών με την κυκλοφορία, κ.λ.π.).

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι καταγραφής κυκλοφοριακών δεδομένων που χρησιμοποιεί το σύστημα και συγκεκριμένα οι Central, Autoscope και SBH.

Τα κυκλοφοριακά μεγέθη που καταγράφει το Κέντρο αφορούν σε:

- Κυκλοφορικοί φόρτοι: Ο αριθμός οχημάτων που διέρχεται από μια συγκεκριμένη θέση μέτρησης (η κάθε μέτρηση αφορά σε χρονικό διάστημα 1.5 λεπτού και μετά από επεξεργασία γίνεται αναγωγή της στην ώρα).
- Μέση ταχύτητα: Η μέση ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων από μια συγκεκριμένη θέση μέτρησης (η κάθε μέτρηση αφορά σε χρονικό διάστημα 1.5 λεπτού και μετά από επεξεργασία γίνεται αναγωγή της στην ώρα).
- Κατάληψη: Αφορά σε ποσοστό κατάληψης της οδού στην συγκεκριμένη θέση μέτρησης από οχήματα (η κάθε μέτρηση αφορά σε χρονικό διάστημα 1.5 λεπτού και μετά από επεξεργασία γίνεται αναγωγή της στην ώρα).

Στο Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας, συγκεντρώνονται τα παραπάνω κυκλοφοριακά στοιχεία από τα συστήματα μέτρησης και ύστερα από κατάλληλη αξιολόγηση:

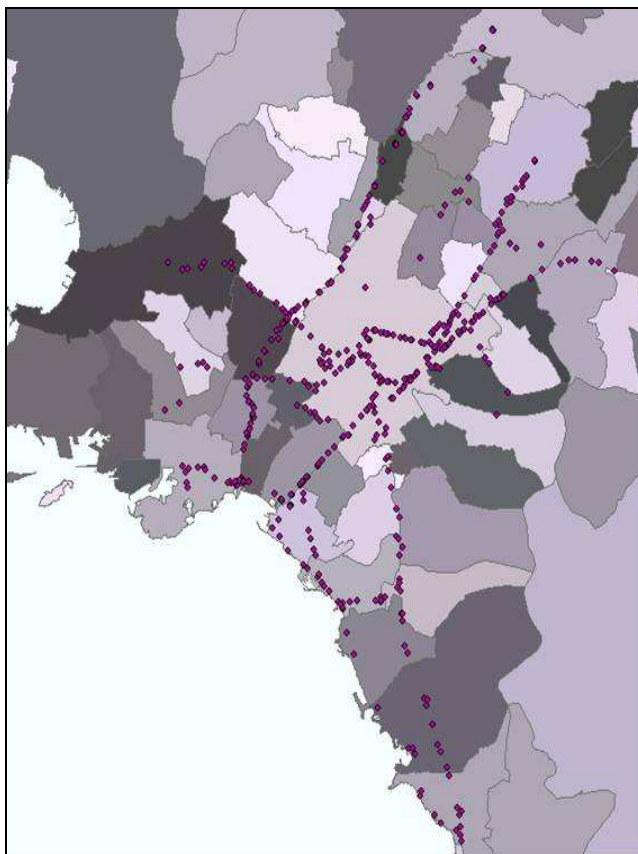
- α) Αποστέλλονται μηνύματα στις ηλεκτρονικές πινακίδες για να πληροφορηθούν οι οδηγοί τις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες, τα έκτακτα συμβάντα στη διαδρομή που κινούνται, καθώς και προβλεπόμενους χρόνους διάνυσης ορισμένων επιλεγμένων διαδρομών στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή,
- β) Γίνονται παρεμβάσεις στη ρύθμιση των φωτεινών σηματοδοτών,
- γ) Ενημερώνονται οι αρμόδιες Υπηρεσίες (Υπηρεσίες συντήρησης οδών, ΕΚΑΒ, Τροχαία, Πυροσβεστική κ.λ.π.) σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η επέμβασή τους για να αντιμετωπίσουν το συμβάν (ατυχήματα, βλάβη οδοστρώματος, εμπόδια στην κυκλοφορία κ.λ.π.)
- δ) Προβάλλονται στις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων χρηστικά μηνύματα που έχουν σχέση με κανόνες οδικής ασφάλειας, όταν δεν υπάρχει χρήση άλλων μηνυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 Περιγραφή Κυκλοφοριακών Δεδομένων

Τα στοιχεία του Κέντρου Διαχείρισης της Κυκλοφορίας του ΥΠΕΧΩΔΕ που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν για τη συγκεκριμένη εργασία αφορούν σε καταγραφές κυκλοφοριακών φόρτων που πραγματοποιήθηκαν σε 602 σημεία του οδικού δικτύου -επάνω σε συγκεκριμένους άξονες - μέσα σε διάστημα 57 μηνών δηλαδή από τον Ιούλιο του 2006 έως και τον Νοέμβριο του 2008, για τρεις ημέρες κάθε μήνα , για 24 ώρες την ημέρα και για μία τιμή ανά ώρα.

Από τα 602 σημεία, τα 554 λειτουργούν και μέσα στο 2010, όπως αυτά απεικονίζοντα στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση των σημείων καταγραφής κυκλοφοριακών στοιχείων στην Αττική

Αναλυτικά οι άξονες στους οποίους καταγράφονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πιν. 4.1).

A/A	ΟΔΟΣ	A/A	ΟΔΟΣ
1	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	24	ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ
2	Λ. ΚΗΦΙΣΟΥ	25	Λ. ΟΜΟΡΦΟΚΚΛΗΣΙΑΣ
3	ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	26	ΑΧΑΡΝΩΝ
4	Λ. ΣΥΓΓΡΟΥ	27	ΑΘΗΝΩΝ
5	Λ. ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ	28	ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ
6	ΔΙΑΚΟΥ	29	ΠΕΤΡΟΥ ΡΑΜΛΗ
7	ΒΑΣ. ΣΟΦΙΑΣ	30	ΑΛΙΠΕΔΟΥ
8	Λ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ	31	ΕΘΝ. ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ
9	Λ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	32	ΚΟΝΩΝΟΣ
10	ΚΑΤΕΧΑΚΗ	33	ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ
11	ΠΑΡΑΔΕΙΣΟΥ/ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	34	ΒΑΣ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ
12	ΒΑΣ. ΣΟΦΙΑΣ	35	ΚΑΛΛΙΡΟΗΣ
13	Λ. ΣΥΓΓΡΟΥ	36	ΠΑΝ. ΤΣΑΛΔΑΡΗ
14	ΑΜΑΛΙΑΣ	37	ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ
15	ΣΤΑΔΙΟΥ	38	ΑΛΙΜΟΥ
16	ΠΕΙΡΑΙΩΣ	39	ΑΛΚΥΟΝΙΔΩΝ
17	Λ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ	40	ΗΛΙΟΥΠΟΛΕΩΣ
18	ΠΑΝΟΡΜΟΥ	41	ΥΜΗΤΤΟΥ
19	Λ. ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ	42	Λ. ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ
20	ΦΕΙΔΙΠΠΙΔΟΥ	43	ΕΘΝ. ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ
21	Λ. ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ	44	ΑΜΦΙΘΕΑΣ
22	ΚΑΤΕΧΑΚΗ	45	ΚΑΤΕΧΑΚΗ
23	ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΗ		

Πίνακας 4.1: Οδικοί άξονες στους οποίους καταγράφονται κυκλοφοριακοί φόρτοι

Η επεξεργασμένη βάση δεδομένων του Κ.Δ.Κ στην οποία βασίστηκε όλη η ανάλυση της παρούσας εργασίας, περιλαμβάνει τα παρακάτω πεδία:

- Year: Έτος συγκεκριμένης εγγραφής

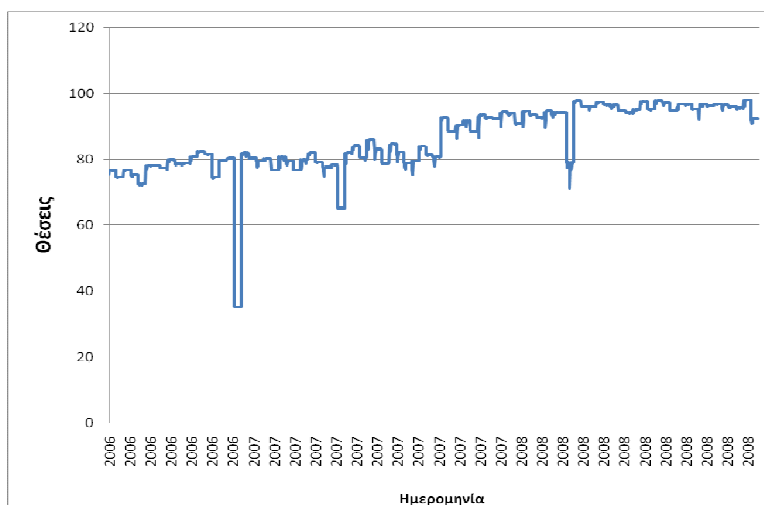
- Month : Μήνας συγκεκριμένης εγγραφής
- Day_2: Ημέρα (Κυριακή – Σάββατο)
- Time Interval : Ωριαίο διάστημα (0-23)
- Seasonal : Ημερομηνία τύπου (year_month_day)
- Seasonal_2 : Ημερομηνία τύπου (year_month_day_time interval)
- Date: Ημερομηνία τύπου (day/month/ year)
- MS.: Κωδικός θέσης στον οποίο αντιστοιχούν τα καταγεγραμμένα οχήματα.

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης όλων των κυκλοφοριακών φόρτων της βάσης διαχωρισμένα για λόγους διαχείρισης και εποπτείας σε τέσσερις ζώνες βάσει της κατανομής των θέσεων των σημείων μέτρησης στο χώρο.

4.2 Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση σύμφωνα με τη πληρότητα δεδομένων

Πριν την έναρξη της στατιστικής ανάλυσης των στοιχείων που συλλέχθηκαν, πραγματοποιήθηκε ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος των δεδομένων με στόχο την ανάδειξη των θέσεων μέτρησης στα οποία υπήρχε επαρκής όγκος δεδομένων (ποσοτικό κριτήριο) αλλά και ορθές μετρήσεις (ποιοτικό κριτήριο). Ο λόγος της παραπάνω ανάλυσης αφορά στο γεγονός ότι οι τεχνολογίες αυτόματης καταγραφής κυκλοφοριακών στοιχείων παρουσιάζουν πολλές φορές προβλήματα κατά τη λειτουργίας τους. Κάποια από τα πιο συνήθη προβλήματα είναι η διακοπή της λειτουργίας τους, η λάθος μέτρηση (ίδια τιμή μέτρησης για μεγάλο χρονικό διάστημα) ή ακόμα η λανθασμένη καταγραφή λόγω θέσης της κάμερας ή λόγω συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας.

Το σχήμα 4.1 δείχνει τον αριθμό των θέσεων μέτρησης οι οποίες ήταν σε λειτουργία για το διάστημα 07/06 – 12/08. Φαίνεται ότι προς το τέλος του 2007 μπήκαν σε λειτουργία καινούριες κάμερες ενώ για 3 μικρά διαστήματα στη συνολική χρονική διάρκεια που εξετάζεται δεν λειτούργησε ένα μεγάλο ποσοστό θέσεων (Πίνακας 4.2).

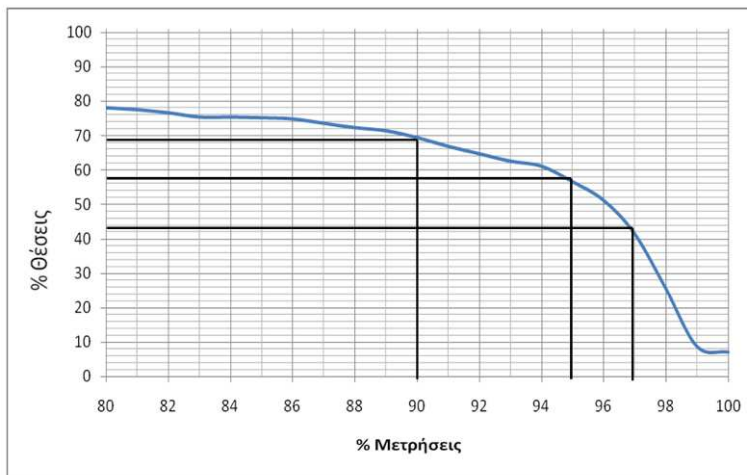


Σχήμα 4.1: Διαχρονική εξέλιξη των θέσεων λειτουργίας του εξοπλισμού

Ημερομηνία		Θέσεις	
14/12/2006	Πέμπτη	195	35 %
20/05/2007	Κυριακή	362	65 %
20/03/2008	Πέμπτη	394 - 438	71 - 79 %

Πίνακας 4.2: Χρονικά σημεία με μεγάλη μείωση των θέσεων συλλογής στοιχείων

Πρώτο κριτήριο επιλογής των θέσεων οι οποίες θα συμπεριληφθούν στην ανάλυση της παρούσας εργασίας αποτέλεσε το ποσοστό πληρότητας δεδομένων που αυτές έχουν. Εξετάστηκαν τρία εναλλακτικά σενάρια που αφορούσαν σε πληρότητα δεδομένων 90%, 95% και 97% για το χρονικό διάστημα που εξετάζεται όπως φαίνεται στην Σχήμα 4.2 και στον πίνακα 4.3.

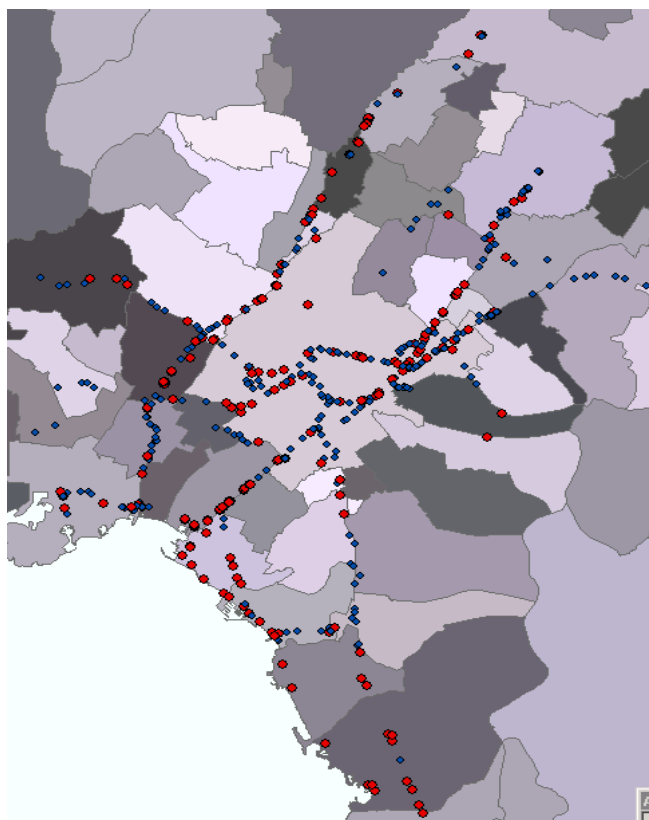


Σχήμα 4.2: Ποσοστιαία κατανομή της πληρότητας των δεδομένων στις θέσεις.

Minimum	Θέσεις		Average
90 %	385	69 %	97 %
95 %	314	57 %	98 %
97 %	230	42 %	98.6 %

Πίνακας 4.3: Ποσοστό θέσεων σε σχέση με τη μέση πληρότητα δεδομένων

Για τη βελτιστοποίηση των τελικών αποτελεσμάτων επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία των σταθμών που έχουν καταγεγραμμένες παραπάνω από το 97% των μετρήσεων (230 θέσεις με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 4.4), για τους οποίους έχουμε 98,6% πληρότητας των δεδομένων.

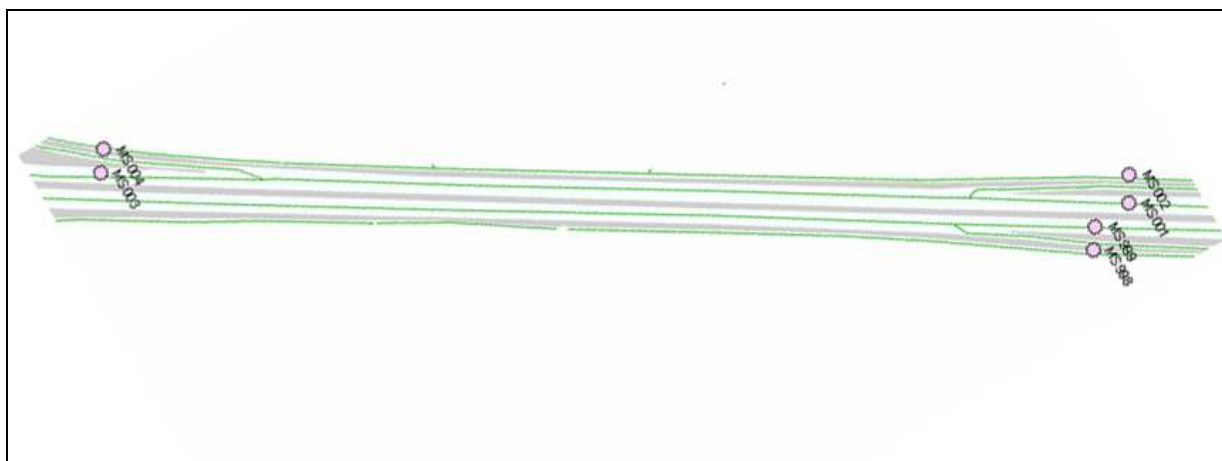


Εικόνα 4.4 : Θέσεις καταγραφής κυκλοφοριακών φόρτων με πληρότητα στοιχείων πάνω από 97%

Για τον ποιοτικό έλεγχο των δεδομένων επιλέχτηκαν δειγματοληπτικά τέσσερις διαδοχικές θέσεις καταγραφής κυκλοφοριακών στοιχείων επάνω στην Ε.Ο Αθηνών – Λαμίας και συγκεκριμένα οι θέσεις με κωδικούς MS001, MS002, MS003 και MS004 (πιν. 4.4) και αναλύθηκαν τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί.

MS001	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΚΥΡΙΟΣ ΔΡΟΜΟΣ ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΗΣ ΡΑΜΠΑΣ ΚΑΛΥΦΤΑΚΗ
MS002	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΡΑΜΠΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΗΣ ΚΑΛΥΦΤΑΚΗ/ΚΥΜΗΣ ΣΤΗΝ Ε.Ο. ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ
MS003	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΚΥΡΙΟΣ ΔΡΟΜΟΣ ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ ΜΕΤΑ ΤΗ ΡΑΜΠΑ ΕΞΟΔΟΥ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ
MS004	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΡΑΜΠΑ ΕΞΟΔΟΥ ΠΡΟΣ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΤΗΣ Ε.Ο. ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ

Πίνακας 4.4 : Θέσεις μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για λογικό έλεγχο των δεδομένων



Εικόνα 4.5 : Θέσεις μέτρησης με πληρότητα στοιχείων πάνω από 97%

Η εικόνα 4.5 δείχνει ότι το άθροισμα MS001 + MS002 θα έρεπε να είναι ίδιο με το άθροισμα MS003 + MS004. Ο πίνακας 4.5 όμως ο οποίος παρουσιάζει τις διαφορές των αθροισμάτων δείχνει ότι υπάρχει σημαντικό πρόβλημα.

Year	Month	Day_2	Day	MS001	MS002	MS003	MS004	MS001+MS002	MS003+MS004	ΔΙΑΦΟΡΑ
2006	7	Saturday	15	47461	9714	54504	2636	57175	57140	35
2006	7	Sunday	16	69703	6767	71385	3077	76470	74462	2008
2006	7	Thursday	13	61672	14184	68288	5540	75856	73828	2028
2006	8	Saturday	12	30677	5440	36533	1492	36117	38025	-1908
2006	8	Sunday	13	35592	3746	39341	1238	39338	40579	-1241
2006	8	Thursday	10	47116	10224	53818	3297	57340	57115	225
2006	9	Saturday	16	48640	11577	54946	2744	60217	57690	2527
2006	9	Sunday	17	63108	9804	63079	2909	72912	65988	6924
2006	10	Saturday	14	43033	10823	42684	2259	53856	44943	8913
2006	10	Sunday	15	60938	8693	52196	1702	69631	53898	15733
2006	10	Thursday	12	55360	14816	52725	5061	70176	57786	12390
2006	11	Saturday	11	50150	11800	44341	2156	61950	46497	15453
2006	11	Sunday	12	59889	10245	51232	2305	70134	53537	16597
2006	11	Thursday	9	57542	14596	50968	5711	72138	56679	15459
2006	12	Saturday	16	53652	11835	44901	3053	65487	47954	17533
2006	12	Sunday	17	61634	9987	47411	1660	71621	49071	22550
2006	12	Thursday	14	58816	13346	46182	4577	72162	50759	21403
2007	1	Saturday	13	49580	11558	51536	2740	61138	54276	6862
2007	1	Sunday	14	55562	8923	54833	3218	64485	58051	6434
2007	1	Thursday	11	58017	14046	60326	6115	72063	66441	5622
2007	2	Saturday	17	41310	9533	39829	2131	50843	41960	8883

Year	Month	Day_2	Day	MS001	MS002	MS003	MS004	MS001+MS002	MS003+MS004	ΔΙΑΦΟΡΑ
2007	2	Sunday	18	43821	7546	39107	1331	51367	40438	10929
2007	2	Thursday	15	58748	14452	56832	7773	73200	64605	8595
2007	3	Saturday	17	54590	11831	50649	2772	66421	53421	13000
2007	3	Sunday	18	61705	8601	55571	3067	70306	58638	11668
2007	3	Thursday	15	58230	14323	54963	5683	72553	60646	11907
2007	4	Saturday	21	50877	11043	57854	3228	61920	61082	838
2007	4	Sunday	22	61035	8862	67588	3413	69897	71001	-1104
2007	4	Thursday	19	55967	13596	66234	6296	69563	72530	-2967
2007	5	Saturday	19	46403	10569	56467	3075	56972	59542	-2570
2007	5	Sunday	20	53617	8362	62807	2377	61979	65184	-3205
2007	5	Thursday	17	55020	12671	65028	7907	67691	72935	-5244
2007	6	Saturday	16	48653	9933	60017	3386	58586	63403	-4817
2007	6	Sunday	17	66809	7654	74464	4140	74463	78604	-4141
2007	6	Thursday	14	55801	12874	67756	6508	68675	74264	-5589
2007	7	Saturday	21	42715	8477	54901	2801	51192	57702	-6510
2007	7	Sunday	22	64437	6521	73389	2988	70958	76377	-5419
2007	8	Saturday	18	35932	4999	42549	1569	40931	44118	-3187
2007	8	Sunday	19	52187	4573	56129	1812	56760	57941	-1181
2007	8	Thursday	16	43006	6493	50098	2502	49499	52600	-3101
2007	9	Saturday	15	46453	10647	55929	2849	57100	58778	-1678
2007	9	Sunday	16	71613	10321	77765	2912	81934	80677	1257
2007	9	Thursday	13	58845	13535	63671	7971	72380	71642	738
2007	10	Saturday	13	52876	12293	58421	3442	65169	61863	3306
2007	10	Sunday	14	61938	9879	64669	3120	71817	67789	4028
2007	10	Thursday	11	60087	14869	64125	7413	74956	71538	3418
2007	11	Saturday	10	50126	12005	51993	2962	62131	54955	7176
2007	11	Sunday	11	58621	9953	59294	2874	68574	62168	6406
2007	11	Thursday	8	60361	14682	56854	7319	75043	64173	10870
2007	12	Saturday	8	54503	13297	53165	3032	67800	56197	11603
2007	12	Sunday	9	56927	10595	55784	2016	67522	57800	9722
2007	12	Thursday	6	58972	13431	53846	7112	72403	60958	11445
2008	1	Saturday	19	51495	11910	47086	2531	63405	49617	13788
2008	1	Sunday	20	59250	9445	53780	2334	68695	56114	12581
2008	1	Thursday	17	58112	15207	49641	4386	73319	54027	19292
2008	2	Saturday	9	45014	10287	37612	1686	55301	39298	16003
2008	2	Sunday	10	49863	9498	51061	1927	59361	52988	6373
2008	2	Thursday	7	58208	14742	44278	4289	72950	48567	24383
2008	3	Saturday	22	47112	11163	54676	3077	58275	57753	522
2008	3	Sunday	23	52211	8320	56645	2239	60531	58884	1647

Year	Month	Day_2	Day	MS001	MS002	MS003	MS004	MS001+MS002	MS003+MS004	ΔΙΑΦΟΡΑ
2008	4	Saturday	12	49648	10520	54190	3304	60168	57494	2674
2008	4	Sunday	13	59176	8000	60600	2890	67176	63490	3686
2008	4	Thursday	10	57587	13525	63740	6631	71112	70371	741
2008	5	Saturday	17	46818	11883	56961	3202	58701	60163	-1462
2008	5	Sunday	18	60950	9354	70100	3131	70304	73231	-2927
2008	5	Thursday	15	52851	14900	63839	6167	67751	70006	-2255
2008	6	Saturday	14	43536	11402	53247	2893	54938	56140	-1202
2008	6	Sunday	15	55142	8512	62147	2560	63654	64707	-1053
2008	6	Thursday	12	58845	15909	70149	6527	74754	76676	-1922
2008	7	Monday	14	71196	15006	81123	6952	86202	88075	-1873
2008	7	Saturday	12	47275	10507	57535	3175	57782	60710	-2928
2008	7	Tuesday	15	60743	15414	70925	6395	76157	77320	-1163
2008	8	Saturday	23	41142	6948	47394	2081	48090	49475	-1385
2008	8	Sunday	24	57907	5757	60997	2239	63664	63236	428
2008	8	Thursday	21	43819	9685	51646	3336	53504	54982	-1478
2008	9	Saturday	13	51860	12403	57876	3338	64263	61214	3049
2008	9	Sunday	14	65788	9373	69781	3365	75161	73146	2015
2008	9	Thursday	11	60384	15635	67757	6494	76019	74251	1768
2008	10	Sunday	19	55741	10127	57797	5038	65868	62835	3033
2008	10	Thursday	16	57762	15836	61010	6839	73598	67849	5749
2008	11	Saturday	22	49929	12999	62218	3579	62928	65797	-2869
2008	11	Sunday	23	51746	10047	61295	2485	61793	63780	-1987
2008	11	Thursday	20	59759	15659	65729	8445	75418	74174	1244
2008	12	Thursday	11	56995	16105	66715	6974	73100	73689	-589

Πίνακας 4.5: Σύγκριση φόρτων στα σημεία ελέγχου

Ο έλεγχος επαναλήφθηκε για τέσσερις άλλες θέσεις MS019, MS020, MS023 και MS024, αλλά το συμπέρασμα ήταν ακριβώς το ίδιο όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

MS019	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΚΥΡΙΟΣ ΔΡΟΜΟΣ ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗ ΡΑΜΠΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΗΣ ΑΝΑΓΕΝΗΣΕΩΣ
MS020	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΡΑΜΠΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΓΕΝΗΣΕΩΣ ΣΤΗΝ Ε.Ο. ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ
MS023	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΚΥΡΙΟΣ ΔΡΟΜΟΣ ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΡΑΜΠΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ/ΕΞΟΔΟΥ ΤΗΣ ΛΑΧΑΝΑ
MS024	Ε.Ο. ΑΘΗΝΩΝ-ΛΑΜΙΑΣ	ΝΔ	ΡΑΜΠΑ ΕΞΟΔΟΥ ΠΡΟΣ Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ (ΚΡΕΣΤΑΙΝΗΣ) ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΤΗΣ Ε.Ο. ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΙΡΑΙΑ

Πίνακας 4.6: Νέες θέσεις μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για λογικό έλεγχο των δεδομένων

Year	Month	Day_2	Day	MS019	MS020	MS023	MS024	MS019+MS020	MS023+MS024	ΔΙΑΦΟΡΑ
2006	8	Saturday	12	43285	6460	52591	2385	49745	54976	-5231
2006	8	Sunday	13	43198	4389	48692	2598	47587	51290	-3703
2006	8	Thursday	10	71153	10825	83586	4120	81978	87706	-5728
2006	9	Saturday	16	74627	13252	87792	4622	87879	92414	-4535
2006	9	Sunday	17	75110	10125	85317	5025	85235	90342	-5107
2006	9	Thursday	14	82551	15344	99542	5689	97895	105231	-7336
2006	10	Saturday	14	63243	11822	76227	3942	75065	80169	-5104
2006	10	Sunday	15	66535	9285	80722	3984	75820	84706	-8886
2006	10	Thursday	12	76563	14813	91481	5150	91376	96631	-5255
2006	11	Saturday	11	62913	11238	77006	4463	74151	81469	-7318
2006	11	Sunday	12	60924	9762	72345	4418	70686	76763	-6077
2006	11	Thursday	9	69334	13300	84777	4785	82634	89562	-6928
2006	12	Saturday	16	63562	12472	73320	5575	76034	78895	-2861
2006	12	Sunday	17	61078	10408	72707	4422	71486	77129	-5643
2006	12	Thursday	14	65993	12860	83411	5040	78853	88451	-9598
2007	1	Saturday	13	66719	12509	84612	4069	79228	88681	-9453
2007	1	Sunday	14	63230	10533	75940	4333	73763	80273	-6510
2007	1	Thursday	11	73798	13584	90781	4831	87382	95612	-8230
2007	2	Saturday	17	52236	10450	70902	3496	62686	74398	-11712
2007	2	Sunday	18	47603	8008	62378	3007	55611	65385	-9774
2007	2	Thursday	15	73078	14515	94339	4989	87593	99328	-11735
2007	3	Saturday	17	64231	11218	81352	4542	75449	85894	-10445
2007	3	Sunday	18	61909	9153	76843	4809	71062	81652	-10590
2007	3	Thursday	15	68093	12616	87817	5256	80709	93073	-12364
2007	4	Saturday	21	64657	10536	88409	4579	75193	92988	-17795
2007	4	Sunday	22	67031	8732	84559	5228	75763	89787	-14024
2007	4	Thursday	19	72239	12126	96558	5214	84365	101772	-17407
2007	5	Saturday	19	54257	9670	80299	4297	63927	84596	-20669
2007	5	Sunday	20	60719	9323	78535	4270	70042	82805	-12763
2007	5	Thursday	17	65909	12196	91730	5184	78105	96914	-18809
2007	6	Saturday	16	59462	9469	86286	4592	68931	90878	-21947
2007	6	Sunday	17	64804	7266	86328	5728	72070	92056	-19986
2007	6	Thursday	14	67870	11936	1E+05	5632	79806	105984	-26178
2007	7	Saturday	21	52383	7872	73639	4007	60255	77646	-17391
2007	7	Thursday	19	73024	11336	1E+05	5257	84360	106297	-21937
2007	8	Saturday	18	44990	5901	53860	2554	50891	56414	-5523
2007	8	Sunday	19	57626	5458	65531	3275	63084	68806	-5722
2007	8	Thursday	16	56000	6843	66072	2942	62843	69014	-6171

Year	Month	Day_2	Day	MS019	MS020	MS023	MS024	MS019+MS020	MS023+MS024	ΔΙΑΦΟΡΑ
2007	9	Saturday	15	70304	12191	86901	3877	82495	90778	-8283
2007	9	Sunday	16	83064	10593	97521	5128	93657	102649	-8992
2007	9	Thursday	13	74734	14509	93858	4956	89243	98814	-9571
2007	10	Saturday	13	75637	13080	90441	4247	88717	94688	-5971
2007	10	Sunday	14	71729	10206	84416	4716	81935	89132	-7197
2007	10	Thursday	11	74625	14595	91838	5017	89220	96855	-7635
2007	11	Saturday	10	68046	12255	85860	4271	80301	90131	-9830
2007	11	Sunday	11	66188	10182	79771	4418	76370	84189	-7819
2007	11	Thursday	8	71525	13129	88487	4972	84654	93459	-8805
2007	12	Saturday	8	70827	13153	87502	4816	83980	92318	-8338
2007	12	Sunday	9	62609	9846	76694	4215	72455	80909	-8454
2007	12	Thursday	6	72020	13195	89751	5019	85215	94770	-9555
2008	1	Saturday	19	67332	11713	88463	4406	79045	92869	-13824
2008	1	Sunday	20	63528	9769	78933	4371	73297	83304	-10007
2008	1	Thursday	17	66455	12556	87981	4955	79011	92936	-13925
2008	2	Saturday	9	50689	9172	75609	3837	59861	79446	-19585
2008	2	Sunday	10	53355	8794	71367	3794	62149	75161	-13012
2008	2	Thursday	7	68747	13397	90951	4844	82144	95795	-13651
2008	3	Saturday	22	64128	11524	84988	4332	75652	89320	-13668
2008	3	Sunday	23	60743	8123	78496	4019	68866	82515	-13649
2008	3	Thursday	20	57452	12145	69832	4293	69597	74125	-4528
2008	4	Saturday	12	67667	11884	88162	4549	79551	92711	-13160
2008	4	Sunday	13	67352	9247	84706	4859	76599	89565	-12966
2008	4	Thursday	10	74341	13340	95489	5486	87681	100975	-13294
2008	5	Saturday	17	68427	11360	88691	4492	79787	93183	-13396
2008	5	Sunday	18	70973	9134	88082	5261	80107	93343	-13236
2008	5	Thursday	15	77609	13470	98689	5327	91079	104016	-12937
2008	6	Saturday	14	63526	10783	76756	4016	74309	80772	-6463
2008	6	Sunday	15	66578	7774	76829	4553	74352	81382	-7030
2008	6	Thursday	12	81571	14950	99967	5405	96521	105372	-8851
2008	7	Monday	14	88588	14185	1E+05	5976	102773	110173	-7400
2008	7	Saturday	12	67910	10797	80901	4142	78707	85043	-6336
2008	7	Tuesday	15	85896	14519	1E+05	5529	100415	106467	-6052
2008	8	Saturday	23	51847	7409	53575	2912	59256	56487	2769
2008	8	Sunday	24	63690	6269	62136	3638	69959	65774	4185
2008	8	Thursday	21	62631	9351	65369	3381	71982	68750	3232
2008	9	Saturday	13	73818	12578	74186	3982	86396	78168	8228
2008	9	Sunday	14	75460	9445	74861	4194	84905	79055	5850

Year	Month	Day_2	Day	MS01 9	MS02 0	MS02 3	MS02 4	MS019 +MS02 0	MS023+ MS024	ΔΙΑΦΟΡ Α
2008	9	Thursday	11	82870	15156	90253	4843	98026	95096	2930
2008	10	Sunday	19	75207	9863	68269	6377	85070	74646	10424
2008	10	Thursday	16	80920	13155	73731	4354	94075	78085	15990
2008	11	Saturday	22	85954	12879	80088	4346	98833	84434	14399
2008	11	Sunday	23	76375	10122	71349	3619	86497	74968	11529
2008	11	Thursday	20	83696	12964	83226	4859	96660	88085	8575
2008	12	Thursday	11	88191	13100	83355	4607	101291	87962	13329

Πίνακας 4.7: Σύγκριση φόρτων στα νέα σημεία ελέγχου

Οι διαφορές αυτές που παρουσιάζονται οφείλονται στην τεχνολογία καταγραφής των κυκλοφοριακών φόρτων. Σε σχετική ερώτηση που τέθηκε στο Κέντρο Διαχείρισης του ΥΠΕΧΩΔΕ η εξήγηση που δόθηκε ήταν ότι το σύστημα δεν μετράει τα αυτοκίνητα που παίρνανε από την ζέβρα περιοχή. Τα στοιχεία λοιπόν ως προς την αξιοπιστία τους φαίνεται να παρουσιάζουν συγκεκριμένα προβλήματα τα οποία αναμένεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της ανάλυσης που θα πραγματοποιηθεί.

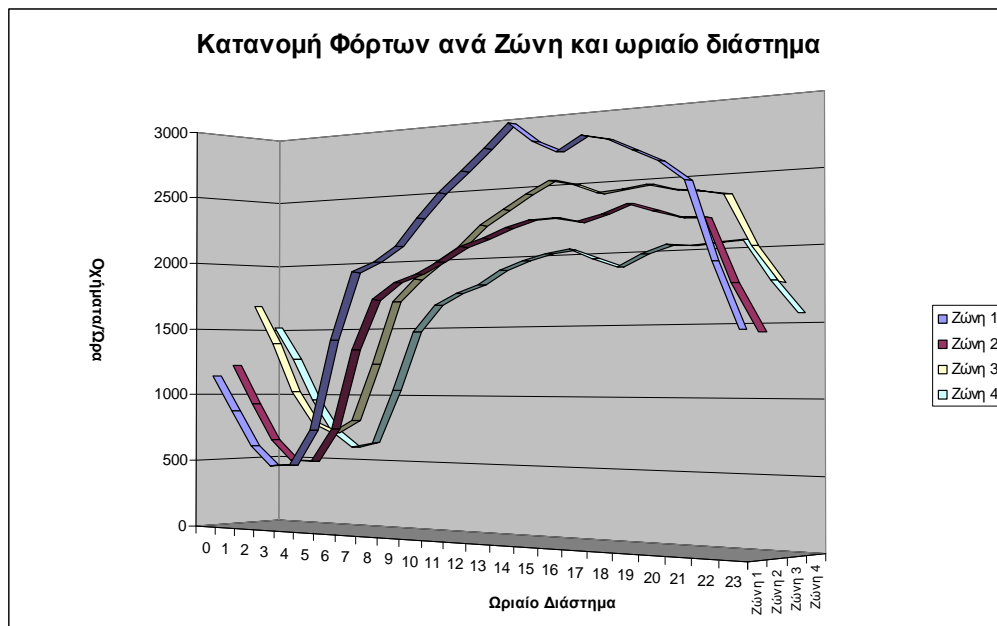
4.3 Περιγραφικά στατιστικά των φόρτων

Για την βέλτιστη στατιστική επεξεργασία των κυκλοφοριακών φόρτων και λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε 4 ζώνες με βάση τις καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων. Με το διαχωρισμό αυτό προέκυψαν οι παρακάτω 4 ζώνες:

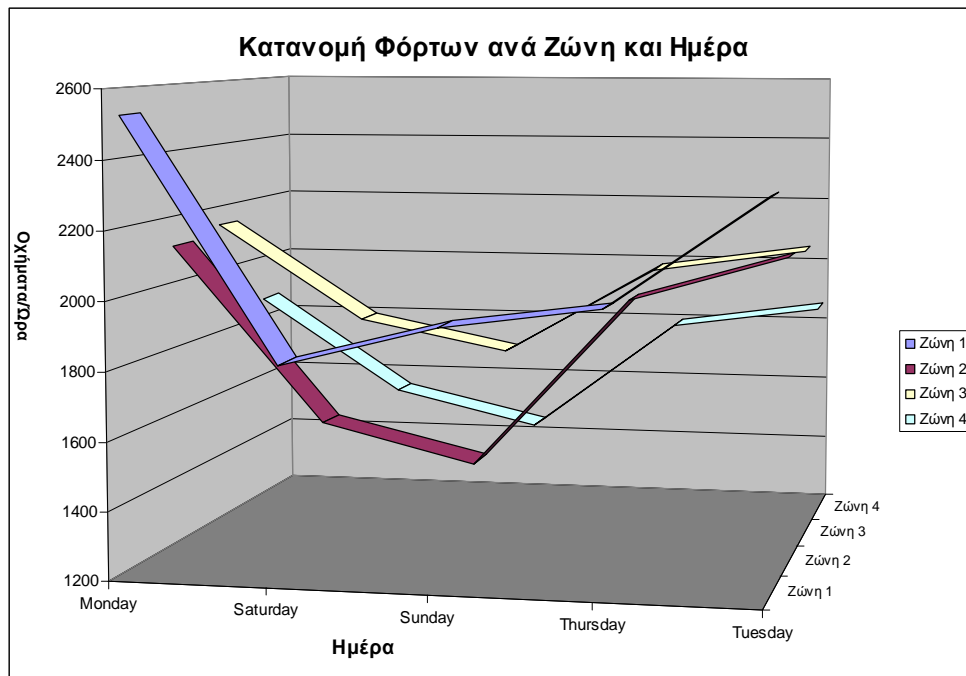
- 1η ζώνη (203) Β.Α. (1^ο τεταρτημόριο): Σημεία καταγραφής κυκλοφοριακών φόρτων τα οποία ανήκουν στους δήμους Κηφισιάς, Μεταμόρφωσης,, Ν. Φιλαδέλφειας, Φιλοθέης, Γαλατσίου, Χαλανδρίου, Νέου Ψυχικού, Αγίας Παρασκευής, Αθηνών και Ζωγράφου (Κυρίως επί τις Λεωφ. Κηφισιάς, Μεσογείων, Λεω. Αλεξάνδρας κτλ)
- 2η ζώνη (44) Ν.Α. (4^ο τεταρτημόριο): Σημεία καταγραφής κυκλοφοριακών φόρτων τα οποία ανήκουν στους δήμους Βούλας, Γλυφάδας, Ελληνικού, Αργυρούπολης, Ηλιούπολης, Δάφνης, (Λεωφ. Εθνικής Αντιστάσεως, Βουλιαγμένης κτλ)
- 3η ζώνη (211) Β.Δ. (2^ο τεταρτημόριο): Σημεία καταγραφής κυκλοφοριακών φόρτων τα οποία ανήκουν στους δήμους Αθηνών, Περιστερίου, Αιγάλεου, Ταύρου, Ρέντη, Χαϊδαρίου, Κορυδαλλού, Νίκαιας (Λεωφ. Κηφισού Τσαλδάρη Καλλιρρόης Λεω. Κωνσταντινουπόλεως)

- 4η ζώνη (107) Β. Α. (3^ο τεταρτημόριο): Σημεία καταγραφής κυκλοφοριακών φόρτων τα οποία ανήκουν στους δήμους Γλυφάδας, Ελληνικού, Αλίμου, Παλαιού Φαλήρου, Νέας Σμύρνης Μοσχάτου, Πειραιά (Λεω. Συγγρού, Λεω. Ποσειδώνος με Κηφισίας Αμφιθέας)

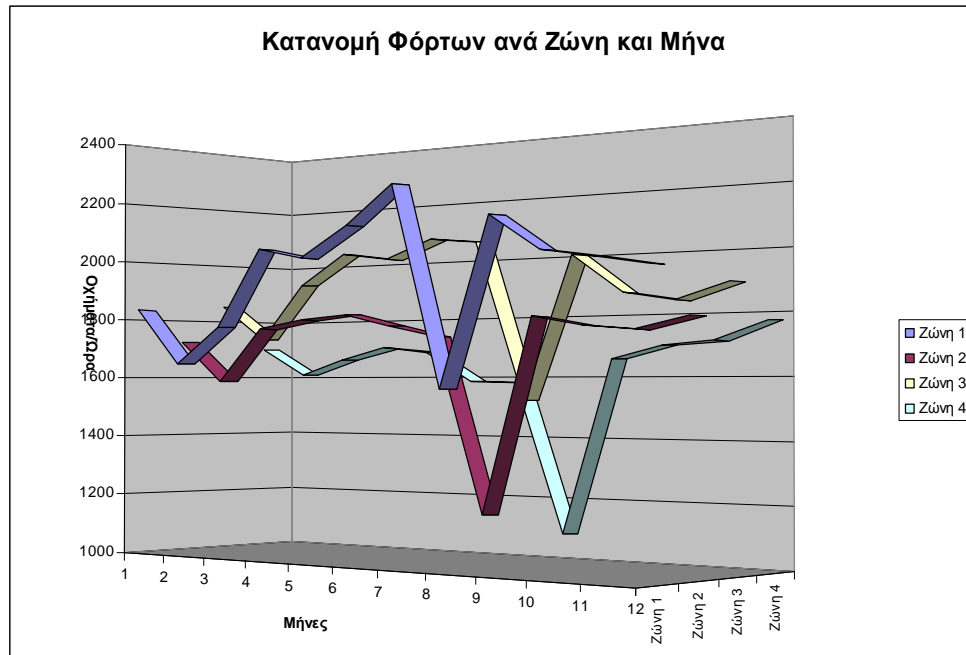
Στο σχήμα 4.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή των μέσων κυκλοφοριακών φόρτων ανά ζώνη για το σύνολο των θέσεων μέτρησης της, στο σχήμα 4.4 η ημερήσια μεταβολή, στο σχήμα 4.5 η μηνιαία ενώ στο σχήμα 4.6 η ετήσια.



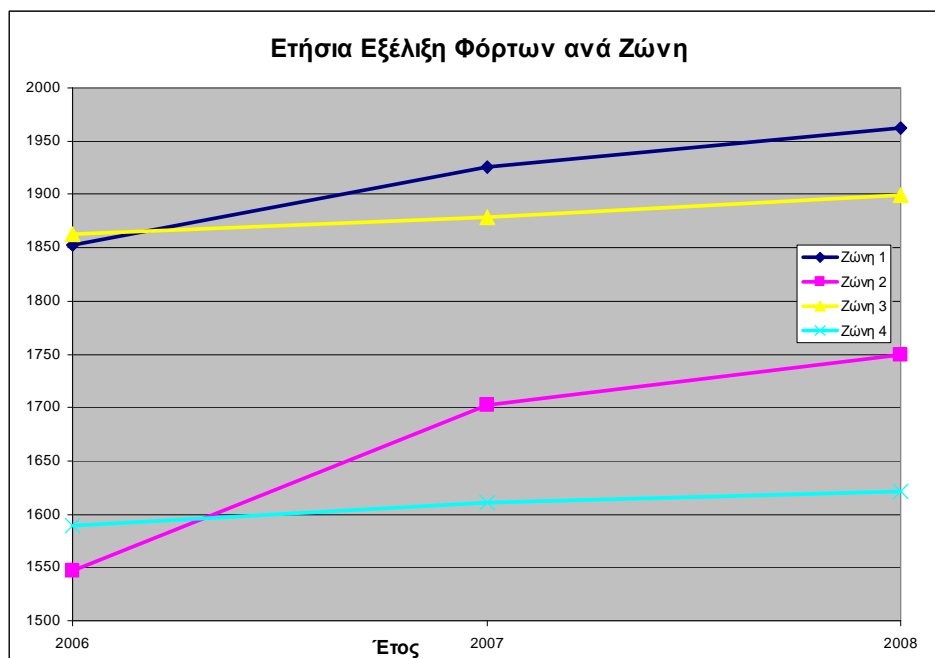
Σχήμα 4.3: Μέση κυκλοφορικοί φόρτοι ανά ώρα του συνόλου των σημείων μέτρησης και των 4 ζωνών ξεχωριστά



Σχήμα 4.4: Μέση κυκλοφορικοί φόρτοι ανά ημέρα του συνόλου των σημείων μέτρησης και των 4 ζωνών ξεχωριστά



Σχήμα 4.5: Μέση κυκλοφορικοί φόρτοι ανά μήνα του συνόλου των σημείων μέτρησης και των 4 ζωνών ξεχωριστά

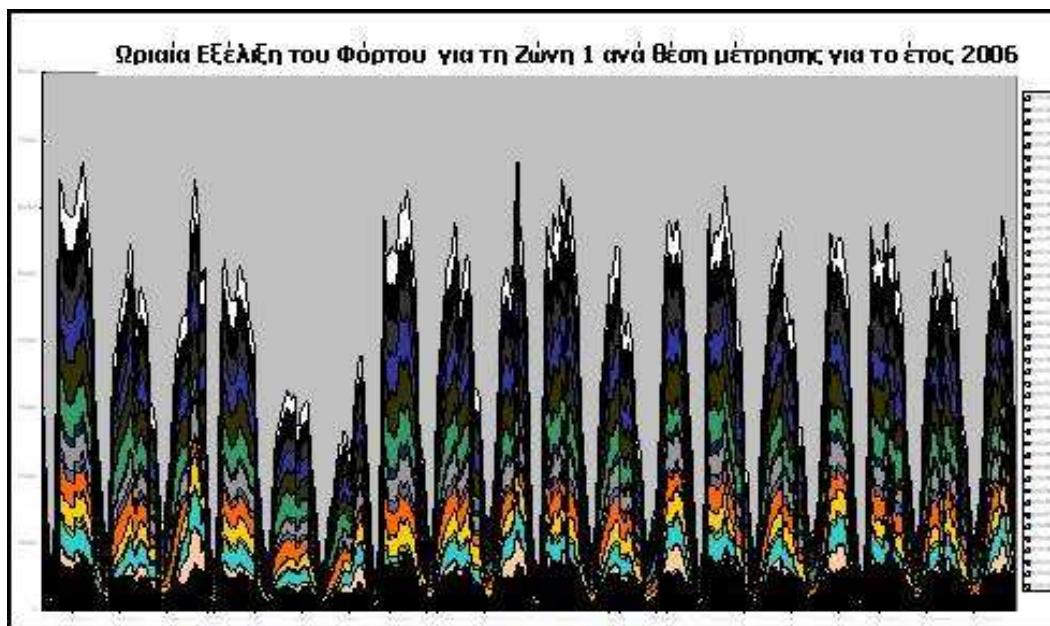


Σχήμα 4.6: Μέση κυκλοφορικοί φόρτοι ανά έτος του συνόλου των σημείων μέτρησης και των 4 ζωνών ξεχωριστά

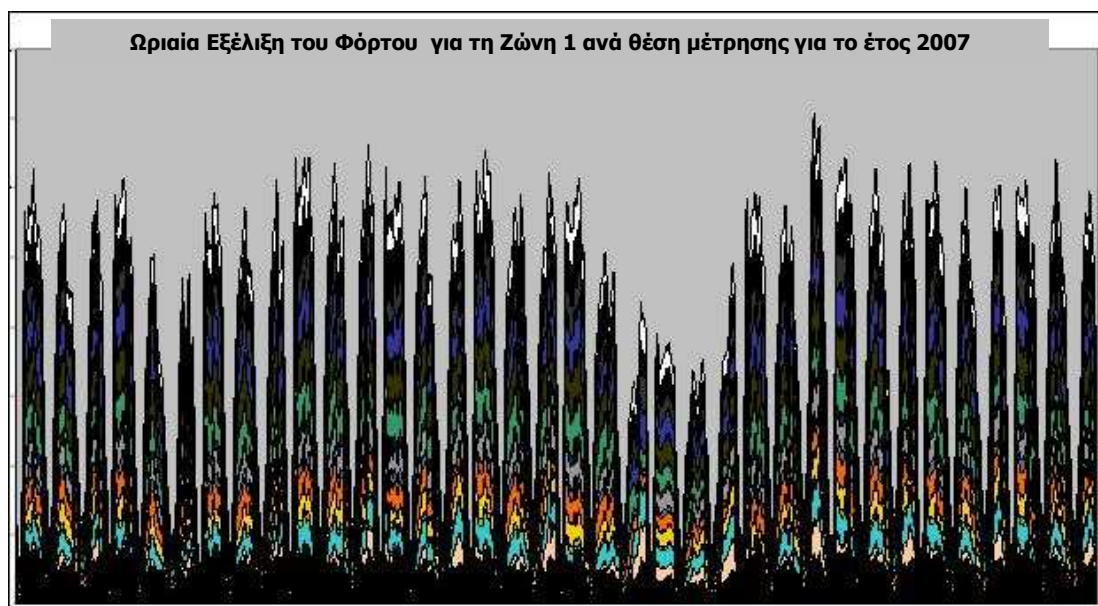
Από τα παραπάνω σχήματα γίνεται προφανής η κοινή τάση που παρουσιάζουν τα στοιχεία φόρτων ως προς το ωριαίο προφίλ, με αύξηση των μετακινήσεων από τις 7 το πρωί και έως το μεσημέρι, τη μείωση του φόρτου το Σαββατοκύριακο και τους θερινούς μήνες ενώ συγχρόνως φαίνεται ότι η κυκλοφορία στο οδικό δίκτυο αυξάνεται κάθε χρόνο.

Στα σχήματα 4.7-4.9 που ακολουθούν, παρουσιάζεται η ωριαία εξέλιξη του φόρτου σε μικροκλίμακα και συγκεκριμένα για όλες τις θέσεις της ζώνης 1 και για κάθε χρονιά από το 2006 έως το 2008. Γίνεται εμφανής η κοινή περιοδικότητα που παρουσιάζουν τα στοιχεία και συγκεκριμένα το καθημερινό προφίλ της κίνησης το οποίο φαίνεται να παρουσιάζει την αιχμή του στη μεσημεριανή επιστροφή (15:00-17:00) αλλά και στο πρωινό διάστημα (8:00-10:00). Είναι εμφανής επίσης η μεγάλη πτώση που παρουσιάζουν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι κατά τη θερινή περίοδο και κυρίως τον μήνα Αύγουστο.

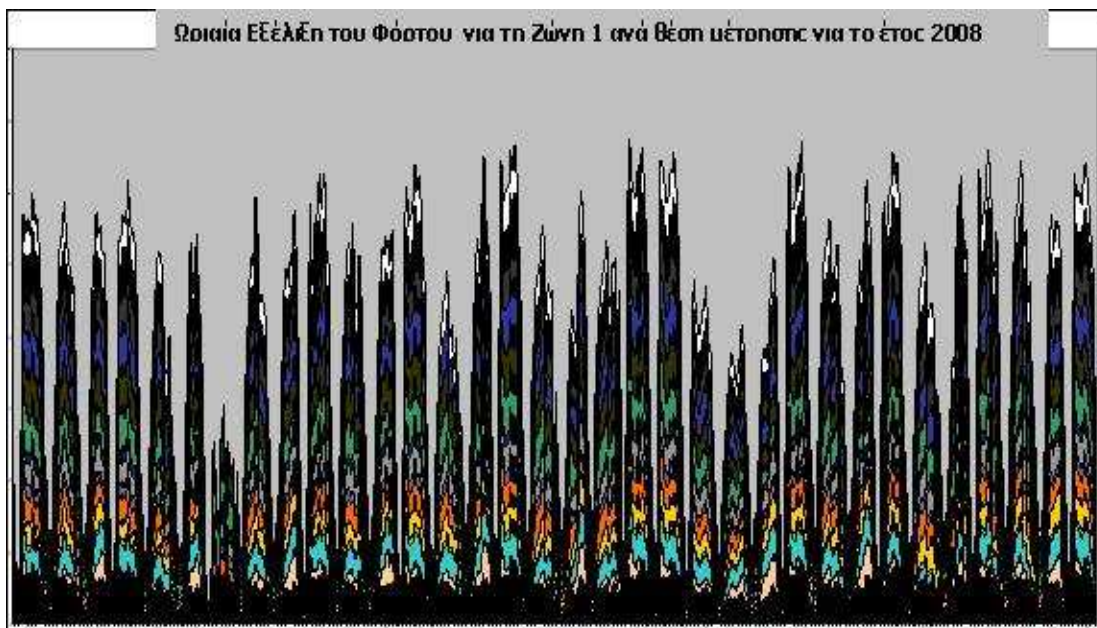
Με προσεκτική παρατήρηση του προφίλ των μετακινήσεων για κάθε ζώνη αλλά και στο σύνολο των σημείων, προκύπτει μια πρώτη αίσθηση πως συγκεκριμένες θέσεις έχουν ακριβώς την ίδια περιοδικότητα και θα μπορούσαν να εξεταστούν ως σύνολο, να συσχετιστούν μεταξύ έτσι ώστε από τα δεδομένα της μίας να προκύπτουν οι τιμές όλης της ομάδας.



Σχήμα 4.7: Ωριαία εξέλιξη του Φόρτου για τη Ζώνη 1 ανά θέση μέτρησης για το έτος 2006



Σχήμα 4.8: Ωριαία Εξέλιξη του Φόρτου για τη Ζώνη 1 ανά θέση μέτρησης για το έτος 2007



Σχήμα 4.9: Ωριαία Εξέλιξη του Φόρτου για τη Ζώνη 1 ανά θέση μέτρησης για το έτος 2008

Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων η ανάλυση που θα ακολουθήσει για την εύρεση των συσχετίσεων μεταξύ σημείων μέτρησης όσων αφορά στο κυκλοφοριακό προφίλ αλλά και η πρόβλεψη με τη χρήση μοντέλων χρονοσειρών, θα πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένες ομάδες στοιχείων βάσει της χωροθέτησης τους στους κυκλοφοριακούς άξονες της περιοχής που εξετάζεται. Αναλυτικά η επιλογή των αξόνων – σημείων και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που επιλέχθηκαν παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Στόχο του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί η διερεύνηση των συσχετίσεων που παρουσιάζουν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι σε διαφορετικές θέσεις κάθε άξονα, έτσι ώστε να δημιουργηθούν πιθανές συστάδες “clusters”. Για τα σημεία κάθε συστάδας θα υπολογιστούν στη συνέχεια μονομεταβλητά και πολυμεταβλητά μοντέλα χρονοσειρών με τα οποία θα προβλέπεται ο κυκλοφοριακός φόρτος κάθε σημείου της συστάδας.

Με τον τρόπο αυτό θα μπορεί να μεταβεί κανείς εύκολα από τις προβλέψεις των κυκλοφοριακών στοιχείων μίας ή περισσότερων θέσεων σε αυτά των υπολοίπων της ομάδας και δεν θα χρειάζεται η παρακολούθηση τόσων σημείων με ειδικό εξοπλισμό για την απεικόνιση του κυκλοφοριακού προφίλ της περιοχής.

Για την υλοποίηση του παραπάνω στόχου πραγματοποιήθηκε ένας διαχωρισμός των θέσεων μέτρησης ανά κυκλοφοριακό άξονα και στη συνέχεια μελετήθηκαν δύο άξονες σε λεπτομέρεια. Με ανάλυση των τάσεων που παρουσιάζουν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι κάθε σημείου των αξόνων αυτών, δόθηκε μια πρώτη ένδειξη των ομάδων στις οποίες μπορούσαν αυτά να διαχωριστούν ενώ με κατάλληλη στατιστική ανάλυση επαληθεύτηκαν και καθορίστηκαν τα τελικά “clusters”.

5.2 Διαχωρισμός σημείων ανά κυκλοφοριακό άξονα

Ως πρώτη φάση διερεύνησης για την εύρεση της συσχέτισης που μπορεί να έχουν τα κυκλοφοριακά στοιχεία κάποιων θέσεων μεταξύ τους, χωρίστηκαν οι θέσεις μέτρησης σε 13 ομάδες που ουσιαστικά αποτελούν 13 ξεχωριστούς κυκλοφοριακούς άξονες όπως αυτοί παρουσιάζονται στο χάρτη 5.1 που ακολουθεί. Ο διαχωρισμός αυτός αφορούσε τη γεωγραφική θέση των σημείων αλλά και τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά όπως αυτά προκύπτουν σε σχέση με την κατεύθυνση της κίνησης (κάθετοι προς το κέντρο άξονες ή τροφοδοτικοί, είσοδοι στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και έξοδοι κτλ). Τελικά οι 13 άξονες στους οποίους χωρίστηκαν οι θέσεις μέτρησης είναι οι εξής:

1.Ε. Ο . Αθηνών – Λαμίας

Στον δρόμο της Εθνικής οδούς Αθηνών Λαμίας δίνονται συνολικά 19 θέσεις κυκλοφοριακών μετρήσεων, από αυτές 12 θέσεις στον κύριο δρόμο και 7 σε ράμπες. Βορειοανατολική

κατεύθυνση δηλαδή προς Λαμία έχουν 6 σημεία μέτρησης εκ των οποίων τα 2 σε ράμπες εξόδου. Αντίστοιχα νοτιοδυτική κατεύθυνση έχουν τα υπόλοιπα 13 σημεία με σημεία μέτρησης σε 3 ράμπες εισόδου και 2 εξόδου.

2.Λ. Κηφισού

Επί της Λ. Κηφισού τα σημεία μέτρησης κυκλοφοριακών φόρτων είναι 13 εκ των οποίων 10 θέσεις έχουν κατεύθυνση προς Λαμία και μόνο 3 θέσεις προς Πειραιά. Στις θέσεις μέτρησης με κατεύθυνση προς Λαμία βρέθηκαν μετρήσεις και σε 2 ράμπες εισόδου και 1 εξόδου.

3. Ποσειδώνος

Επί της Ποσειδώνος 13 θέσεις μέτρησης έχουν κατεύθυνση προς Γλυφάδα Βουλιαγμένη εκ των οποίων 4 σε ράμπες εισόδου. Αντιθέτως οι θέσεις μέτρησης με κατεύθυνση Πειραιά είναι 6 με 1 θέση σε ράμπα εξόδου στη Λ. Συγγρού.

4. Λ. Συγγρού

Στη Λ. Συγγρού οι θέσεις είναι 10 εκ των οποίων οι 2 πρώτες στις ράμπες εξόδου στην Ποσειδώνος με κατεύθυνση και προς Πειραιά και προς Γλυφάδα, 1 ράμπα εισόδου από την Αμφιθέας και οι υπόλοιπες επί της οδού με κατεύθυνση προς κέντρο οι 6 και 1 με κατεύθυνση προς Φάληρο.

5. Λ. Βουλιαγμένης– Αθ. Διάκου

Η θέση μέτρησης της Βουλιαγμένης βρίσκεται πριν την Καλλιρρόης με κατεύθυνση προς Βόρεια. Στην αντίθετη κατεύθυνση θέση μέτρησης βρίσκεται επί της Αθ. Διάκου με κατεύθυνση από Συγγρού προς Καλλιρρόης.

6. Βασ. Σοφίας

Η μία με κατεύθυνση προς Βασ. Κωνσταντίνου η άλλη προς Λ. Κηφισίας και η άλλη προς Λ. Αλεξάνδρας.

7. Λ. Αλεξάνδρας

Οι δύο πρώτες θέσεις μέτρησης έχουν κατεύθυνση προς Λ. Κηφισίας ενώ η τρίτη έχει κατεύθυνση προ την Πατησίων πριν από την Χαρ. Τρικούπη.

8. Λ. Κηφισίας

Οι 9 θέσεις μέτρησης έχουν κατεύθυνση προς Κηφισιά ενώ οι υπόλοιπες προς κέντρο. 1 ράμπα εισόδου προς κέντρο στο ύψος της Κατεχάκη 2 ράμπες εισόδου με κατεύθυνση προς Κηφισιά

μια στην Κατεχάκη και μια στη Σπύρου Λούη. 3 ράμπες εξόδου 1 από κατεύθυνση Κηφισιά μια κέντρου και μια στην Αττική Οδό. Στην ίδια ομάδα θέσεων μέτρησης μπορεί να συγκαταλεχτεί η Α080 στην Διάκου με κατεύθυνση προς κέντρο και η Α076 στην Αρτέμιδος που είναι ράμπα εισόδου προς την λεωφόρο με κατεύθυνση προς κέντρο.

9. Λ. Μεσογείων

9 θέσεις μέτρησης επί της οδού όπου 1 ράμπα εξόδου με κατεύθυνση προς Αγία Παρασκευή άλλες 2 θέσεις με κατεύθυνση Αγ. Παρασκευή 4 προς κέντρο 2 προς Σταυρό.

10. Λ. Βουλιαγμένης

Οι 8 θέσεις μέτρησης προς κέντρο και 6 προς Βουλιαγμένη.

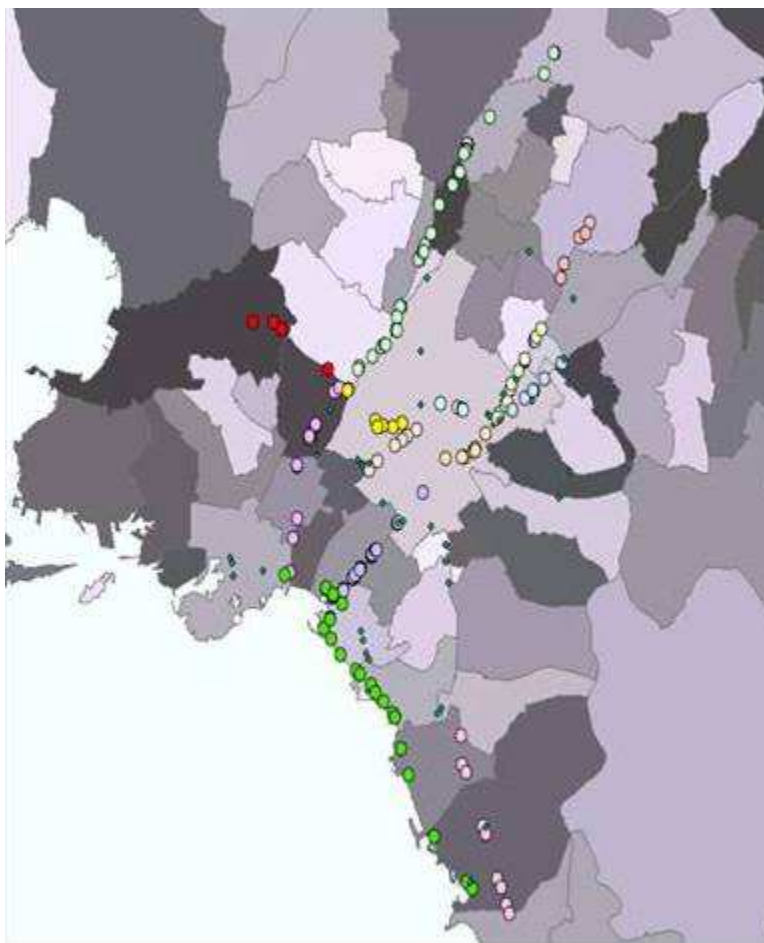
11. Λ. Πειραιώς

Οι 6 θέσεις μέτρησης με κατεύθυνση προς Ομόνοια και 1 προς Πειραιά πριν από την ιερά οδό.

12. Πέτρου Ράλλη

Οι 2 θέσεις μέτρησης έχουν κατεύθυνση προς Πειραιά και 1 προς Αθήνα πριν από την Λ. Κηφισού.

13. Αμφιθέας



Χάρτης 5.1: Απεικόνιση των Θέσεων καταγραφής στοιχείων ανά κυκλοφοριακό άξονα

Για την περαιτέρω ανάλυση των στοιχείων και τη σύνθεση της μεθοδολογίας συσχέτισης των δεδομένων και υπολογισμού του μοντέλου πρόβλεψης των κυκλοφοριακών φόρτων επιλέχθηκαν δύο συγκεκριμένοι άξονες καθώς ο όγκος των στοιχείων δεν επέτρεπε την καθολική ανάλυση τους.

Οι δύο αυτοί άξονες αφορούν στον άξονα 1 δηλαδή την είσοδο της πόλης από την Εθνική Οδό Αθηνών – Λαμίας και στον άξονα 8 που είναι η Λεωφόρος Ποσειδώνος. Οι δύο άξονες αυτοί θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί για την διερεύνηση και τα ερευνητικά αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, καθώς παρουσιάζουν μεγάλους κυκλοφοριακούς φόρτους ενώ έχουν ένα διαφορετικό κυκλοφοριακό προφίλ καθώς ο ένας εξυπηρετεί αστικές μετακινήσεις προς και από το κέντρο της πόλης αλλά και μετακινήσεις αναψυχής ενώ ο δεύτερος είναι ένας μεταβατικός

άξονας που συνδέει υπεραστικό και προαστιακό δίκτυο με το κέντρο της πρωτεύουσας. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η επιλογή βασίστηκε επίσης και στο μεγάλο αριθμό θέσεων καταγραφής φόρτων που θα έπρεπε να έχουν οι προς ανάλυση άξονες για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Ο αριθμός αυτός θα έπρεπε να είναι τέτοιος ώστε να επιτρέπει να διαχωριστούν ομάδες σημείων του άξονα με κοινά χαρακτηριστικά στο προφίλ και τις τάσεις της κυκλοφορίας, ενώ τα σημεία εισόδου και εξόδου εξαιρέθηκαν από την ανάλυση αυτή καθώς αποτελούν ξεχωριστή ομάδα και δεν συμπεριφέρονται με το ίδιο τρόπο όπως τα σημεία που βρίσκονται επάνω στη διατομή του κάθε άξονα.

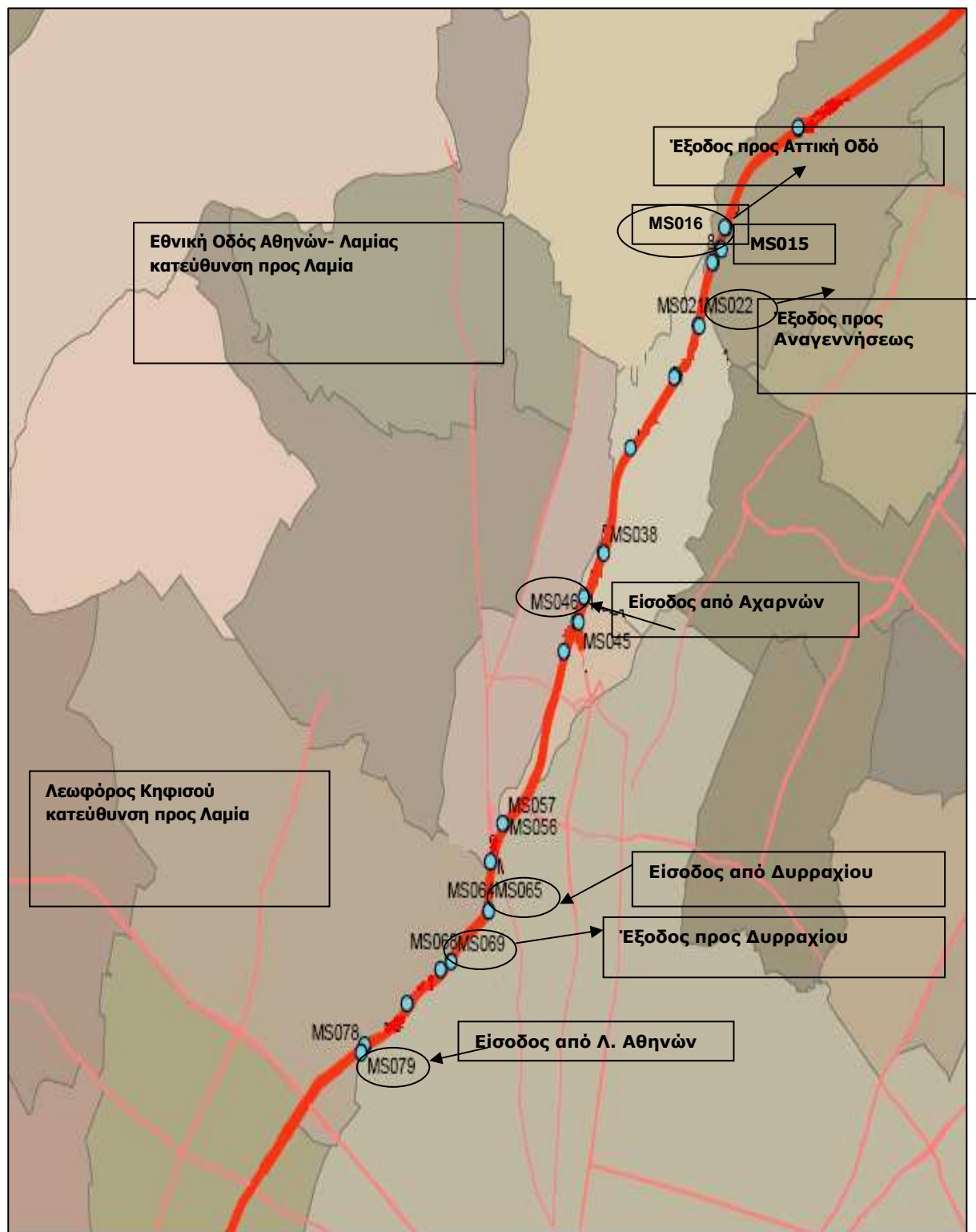
Όλη λοιπόν η μεθοδολογία και η ανάλυση που θα ακολουθήσει παρακάτω αφορά στα στοιχεία των θέσεων μέτρησης των δύο αυτών αξόνων.

5.3 Ανάλυση κυκλοφοριακών τάσεων ανά άξονα και θέση μέτρησης

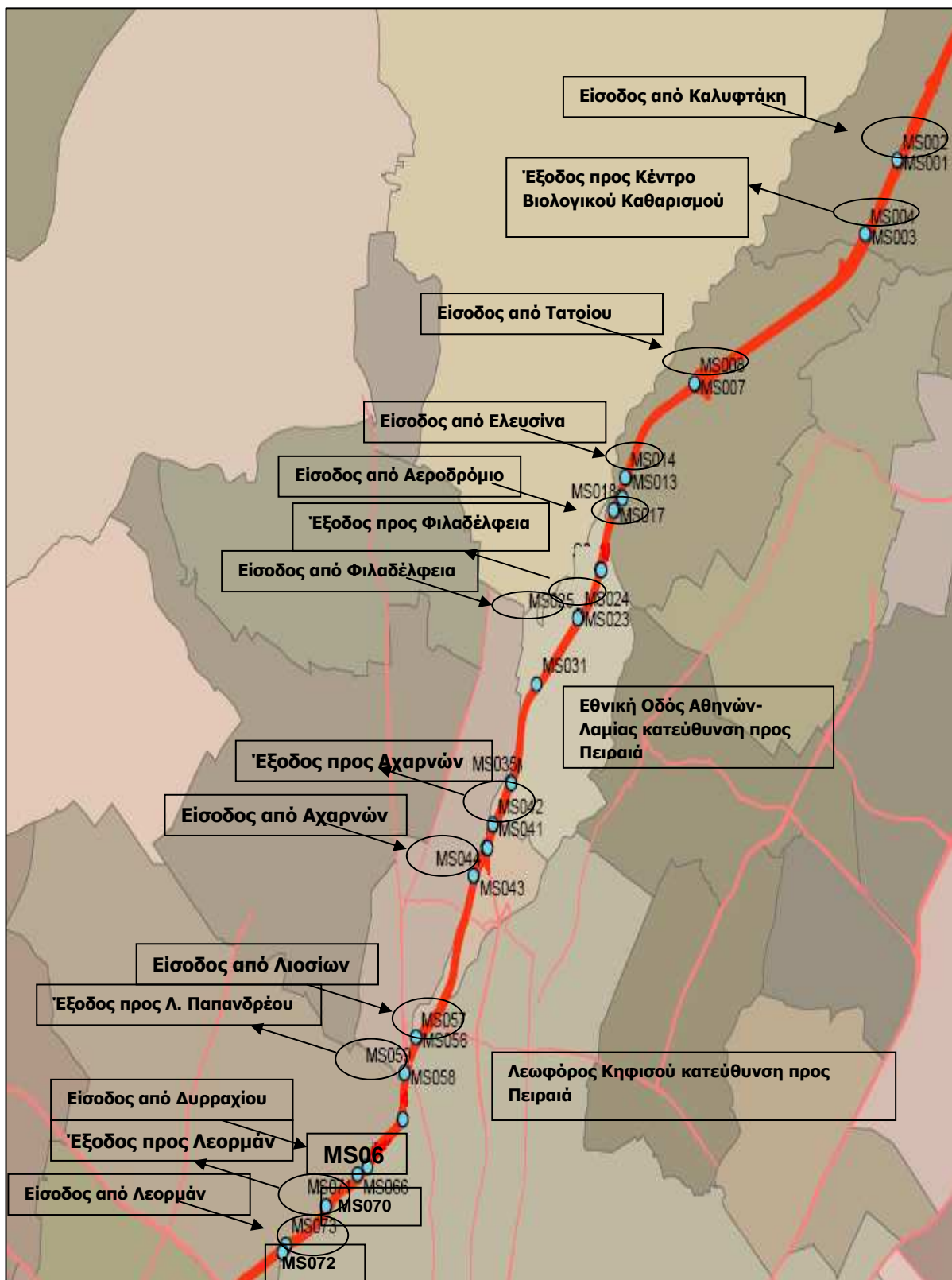
5.3.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση των κυκλοφοριακών τάσεων ανά άξονα και θέση μέτρησης έχει ως στόχο την ανάδειξη της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς του άξονα αλλά και την πρώτη εκτίμηση των θέσεων του άξονα που παρουσιάζουν κοινή τάση και πυκνότητα κυκλοφορικών φόρτων μέσα στην ημέρα και θα μπορούσαν να συσχετιστούν. Ως πρώτο βήμα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των τάσεων των κυκλοφοριακών φόρτων για κάθε άξονα και κατεύθυνση ξεχωριστά. Για την καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων έγινε απεικόνιση επάνω σε χάρτη αλλά και γραμμική, του κάθε άξονα, των θέσεων καταγραφής φόρτων πάνω σε αυτόν αλλά και των θέσεων εισόδου και εξόδου άλλων οδικών τμημάτων. Η κάθε κατεύθυνση του άξονα 1 και 8 αναλύθηκε ξεχωριστά καθώς η πορεία προς και από το κέντρο της πόλης παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά κυκλοφοριακής πυκνότητας μέσα στην ημέρα.

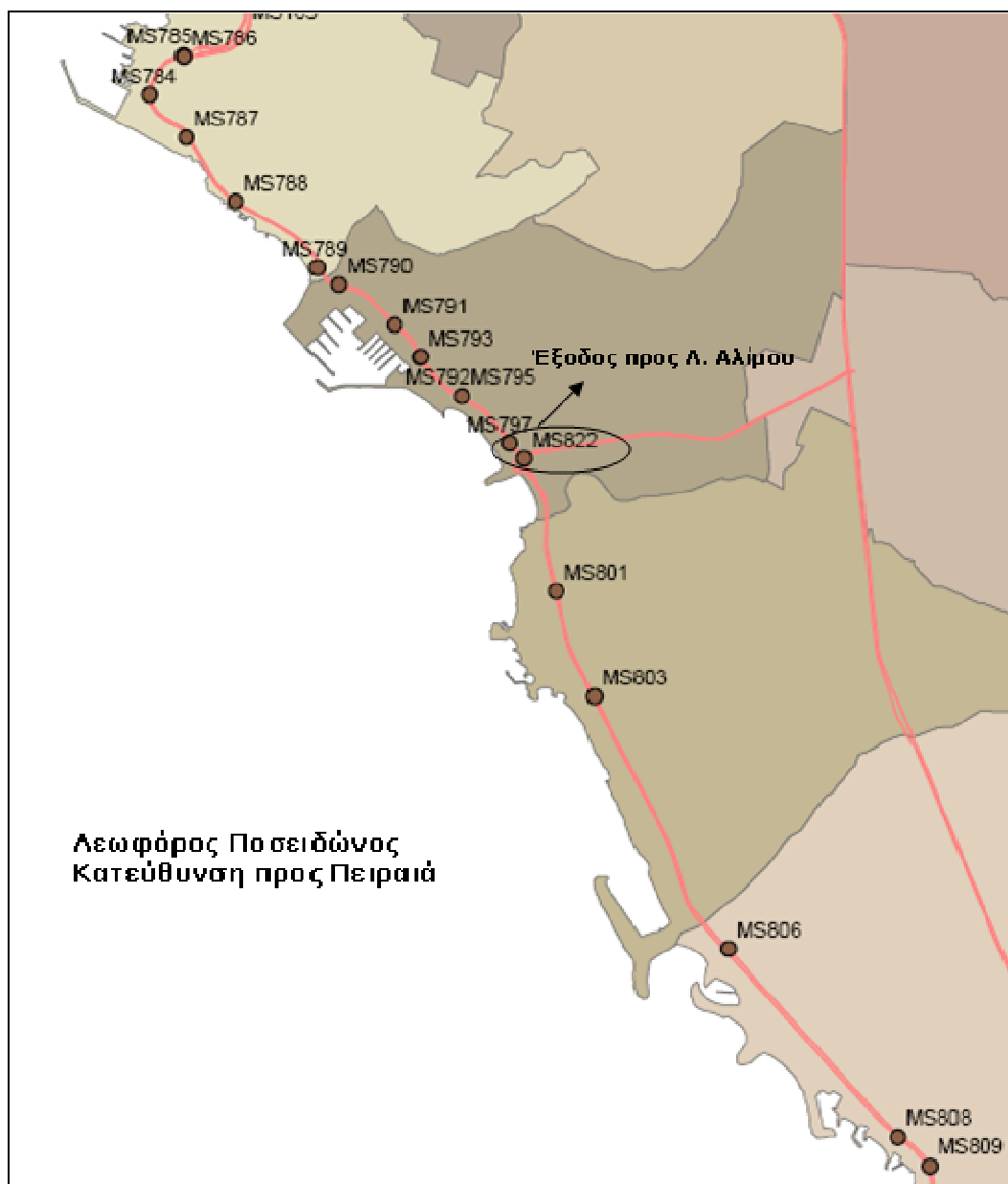
Στους χάρτες που ακολουθούν (χάρτης 5.2-5.4) παρουσιάζονται οι δύο άξονες ανά κατεύθυνση και τα σημεία καταγραφής φόρτου επάνω σε αυτούς. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ο πρώτος άξονας αυτός αποτελεί την είσοδο της πόλης από την Εθνική οδό Αθηνών- Λαμίας ενώ ο όγδοος άξονας είναι η λεωφόρος Ποσειδώνος.



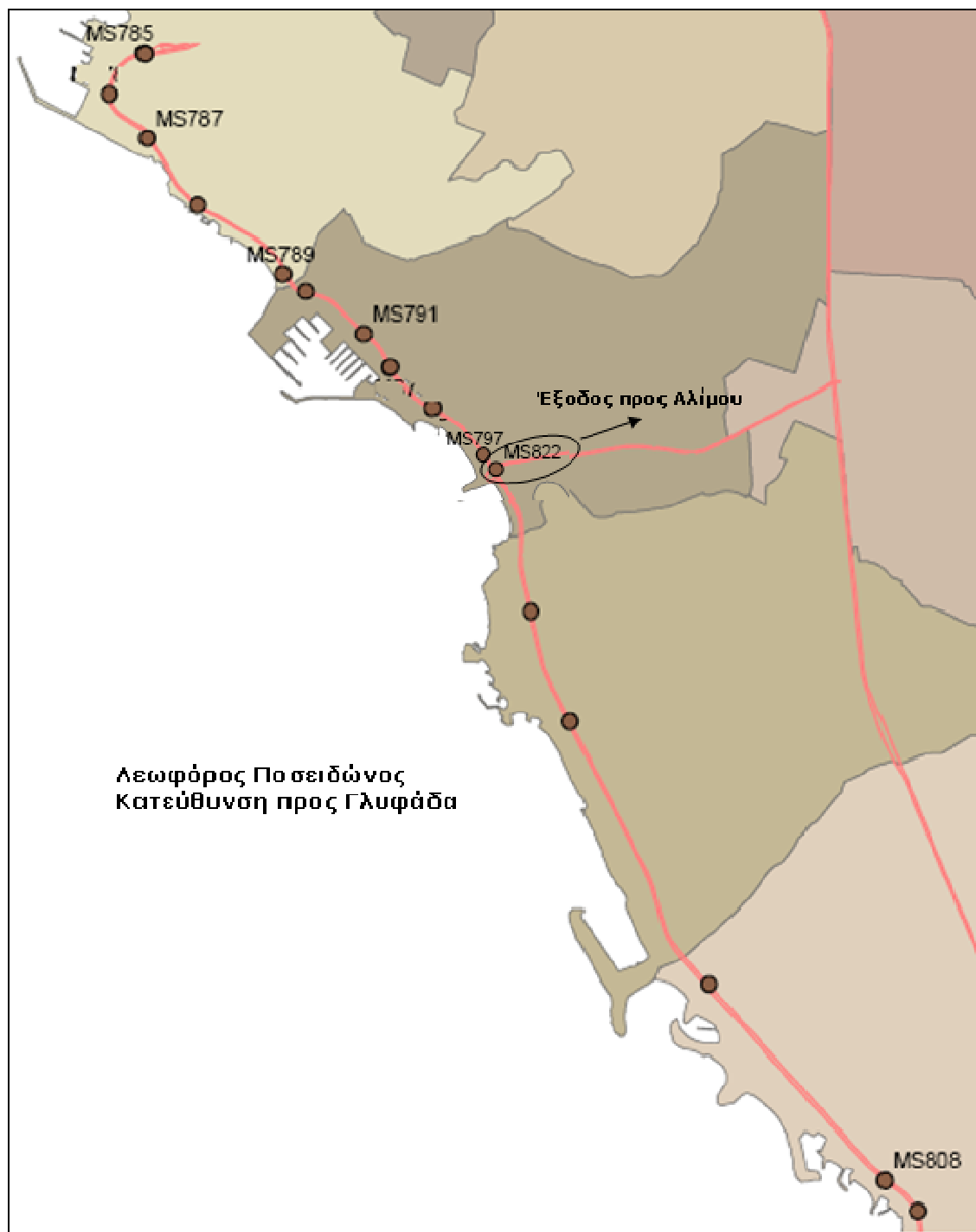
*Χάρτης 5.2: Γεωγραφική θέση του άξονα 1 και των σημείων καταγραφής φόρτων για την
κατεύθυνση προς Λαμία*



Χάρτης 5.3: Γεωγραφική θέση του άξονα 1 και των σημείων καταγραφής φόρτων για την κατεύθυνση προς Πειραιά



Χάρτης 5.4: Γεωγραφική θέση του άξονα 8 και των σημείων καταγραφής φόρτων (κατεύθυνση προς Πειραιά)



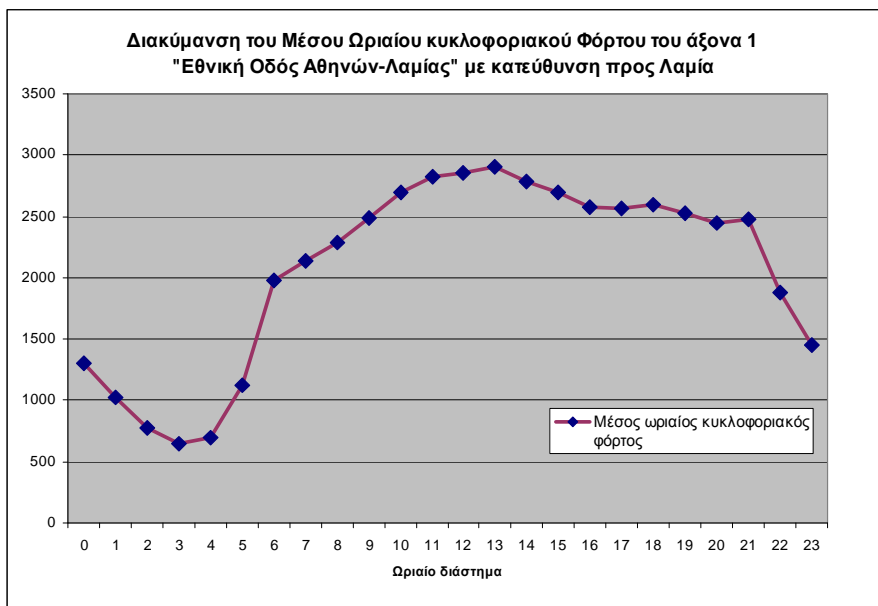
Χάρτης 5.5: Γεωγραφική θέση του άξονα 8 και των σημείων καταγραφής φόρτων (κατεύθυνση προς Γλυφάδα)

5.3.2 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 1 με κατεύθυνση προς Λαμία

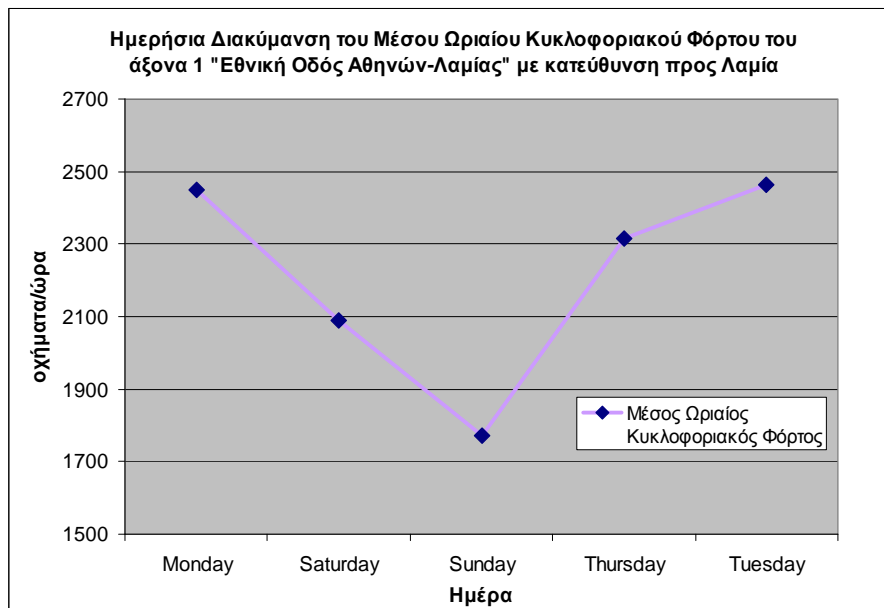
Από τα διαγράμματα διακύμανσης του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου που παρατίθενται παρακάτω γίνεται προφανής η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα τις πρωινές ώρες και μέχρι τις πρώτες μεσημεριανές ενώ από τις δύο το μεσημέρι και έως τις εννέα το βράδυ ο φόρτος παρουσιάζει σχετικά σταθερές τιμές. Τη βραδινή περίοδο ο κυκλοφοριακός φόρτος μειώνεται σημαντικά.

Όσον αφορά στο προφίλ της κάθε ημέρας, γίνεται εμφανής η μεγάλη πτώση της κυκλοφορίας το Σάββατο και κυρίως την Κυριακή ενώ η Δευτέρα και η Τετάρτη φαίνεται να είναι οι ημέρες όπου παρουσιάζεται ο μεγαλύτερος φόρτος.

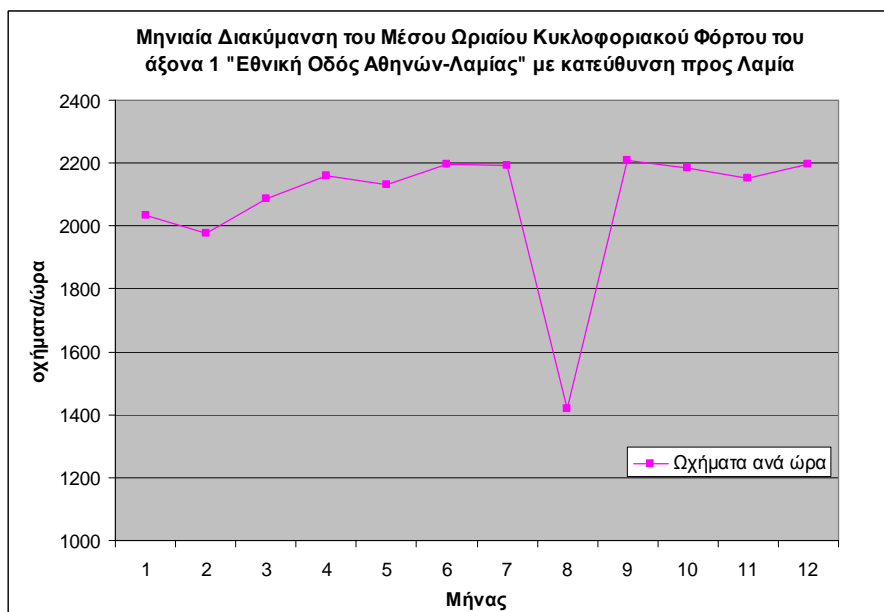
Τέλος, ο Δεκέμβριος φαίνεται να είναι σίγουρα ο μήνας με τη μεγαλύτερη κυκλοφοριακή συμφόρηση ενώ μεγάλη είναι η πτώση των κυκλοφοριακών φόρτων τους καλοκαιρινούς μήνες και κυρίως τον Αύγουστο.



Σχήμα 5.1: Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 1 (κατεύθυνση προς Λαμία)

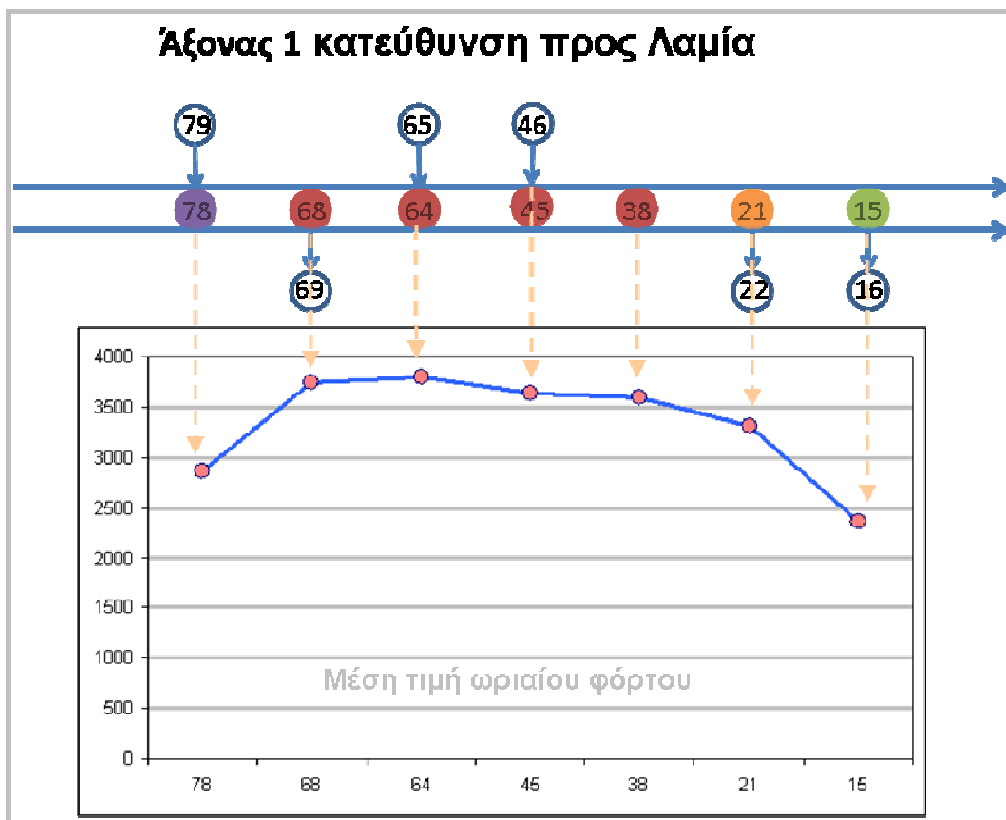


Σχήμα 5.2: Ημερήσια Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 1 (κατεύθυνση προς Λαμία)



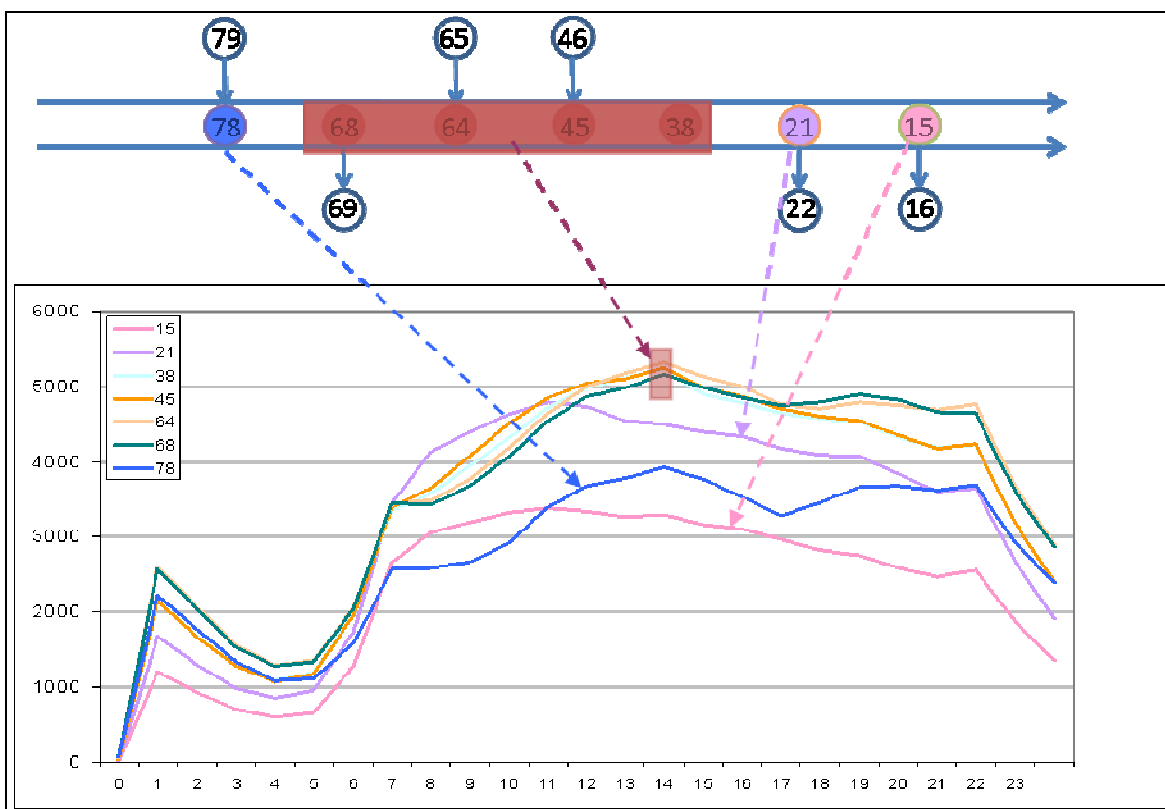
Σχήμα 5.3: Μηνιαία Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 1 (κατεύθυνση προς Λαμία)

Στο σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ανάλυση των στοιχείων φόρτου του πρώτου άξονα με κατεύθυνσης προς Λαμία ώστε να φανεί η διακύμανση του μέσου ωριαίου φόρτου ανά θέση μέτρησης (σχήμα 5.4) καθώς και η ημερήσια τάση του ωριαίου φόρτου ανά θέση καταγραφής (σχήμα 5.5).



*Σχήμα 5.4: Μέσος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος του άξονα 1 ανά θέση μέτρησης.
(κατεύθυνση προς Λαμία)*

Όπως φαίνεται ο φόρτος στο συγκεκριμένο άξονα είναι χαμηλός όσο περισσότερο απομακρυνόμαστε από το αστικό τμήμα προς τη Λαμία εκτός από τη θέση 78 η χαμηλή τιμή φόρτου δημιουργείται από το ότι η καταγραφή γίνεται πριν την είσοδο των οχημάτων από τη λεωφόρο Αθηνών.



Σχήμα 5.5: Ημερήσια διακύμανση του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα 1 ανά θέση μέτρησης (κατεύθυνση προς το Λαμία)

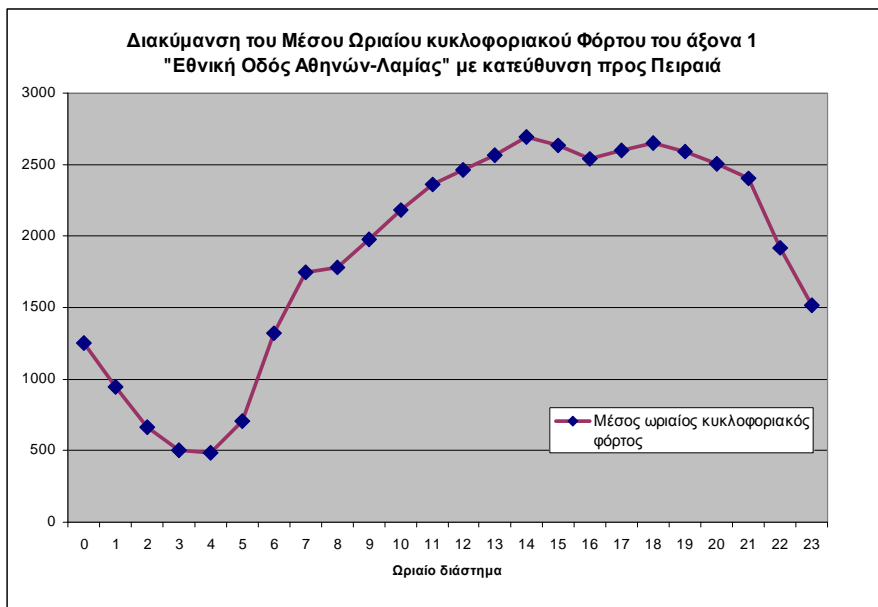
Από το σχήμα 5.5. διαφαίνεται μία ομάδα σημείων που συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο μέσα στην ημέρα και αυτά είναι τα 45,38,64 και 68 δηλαδή τα σημεία που και στο συνολικό διάγραμμα παρουσίαζαν παρόμοιες τιμές μέσου ωριαίου φόρτου ενώ τα άλλα τρία σημεία ακολουθούν το καθένα τη δική του τάση στο διάστημα από τις επτά το πρωί και έως τις δέκα το βράδυ.

5.3.3 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 1 με κατεύθυνση προς Πειραιά

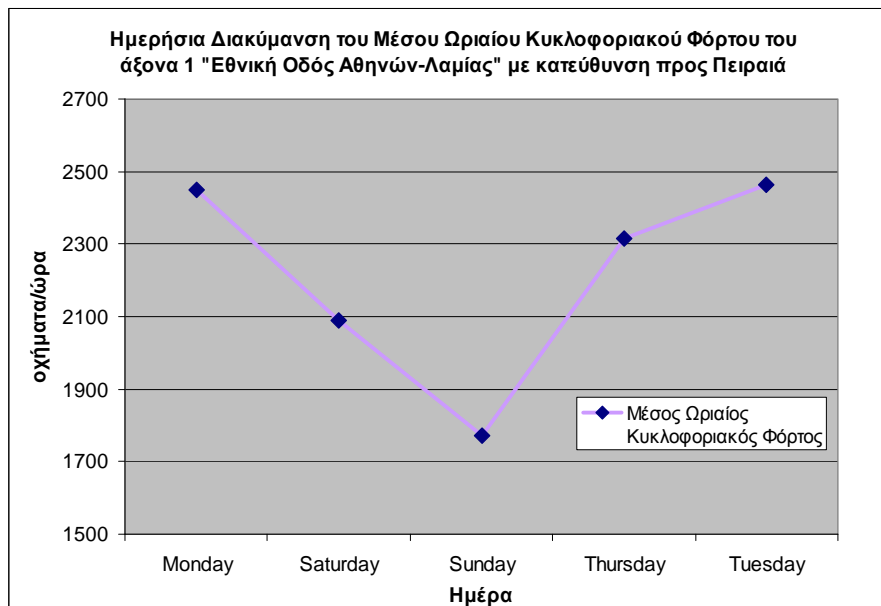
Για την αντίθετη κατεύθυνση του πρώτου άξονα δηλαδή προς Πειραιά, τα διαγράμματα διακύμανσης του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου που παρατίθενται παρακάτω υποδεικνύουν αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα τις πρωινές ώρες και μέχρι τις πρώτες μεσημεριανές ενώ από μία πολύ μικρή πτώση παρατηρείται μεταξύ δύο και τέσσερις το μεσημέρι, αύξηση και πάλι έως τις έξι το απόγευμα και στη συνέχεια σταδιακή πτώση έως και την βραδινή περίοδο που και εδώ ο κυκλοφοριακός φόρτος μειώνεται σημαντικά.

Όσον αφορά στο προφίλ της κάθε ημέρας, γίνεται εμφανής και εδώ η μεγάλη πτώση της κυκλοφορίας το Σάββατο και κυρίως την Κυριακή ενώ η Δευτέρα και η Τετάρτη φαίνεται να είναι οι ημέρες όπου παρουσιάζεται ο μεγαλύτερος φόρτος.

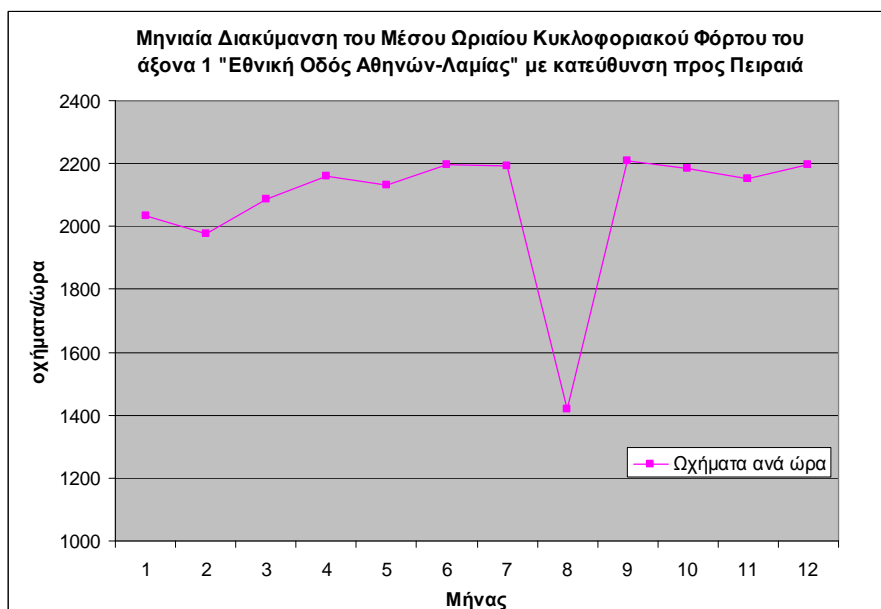
Τέλος, ίδιο φαίνεται να είναι το προφίλ των κυκλοφοριακών φόρτων στους μήνες του έτους καθώς ο Δεκέμβριος είναι ο μήνας με τη μεγαλύτερη κυκλοφοριακή συμφόρηση ενώ μεγάλη είναι η πτώση των κυκλοφοριακών φόρτων τους καλοκαιρινούς μήνες και κυρίως τον Αύγουστο.



Σχήμα 5.6: Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 1 (κατεύθυνση προς Πειραιά)



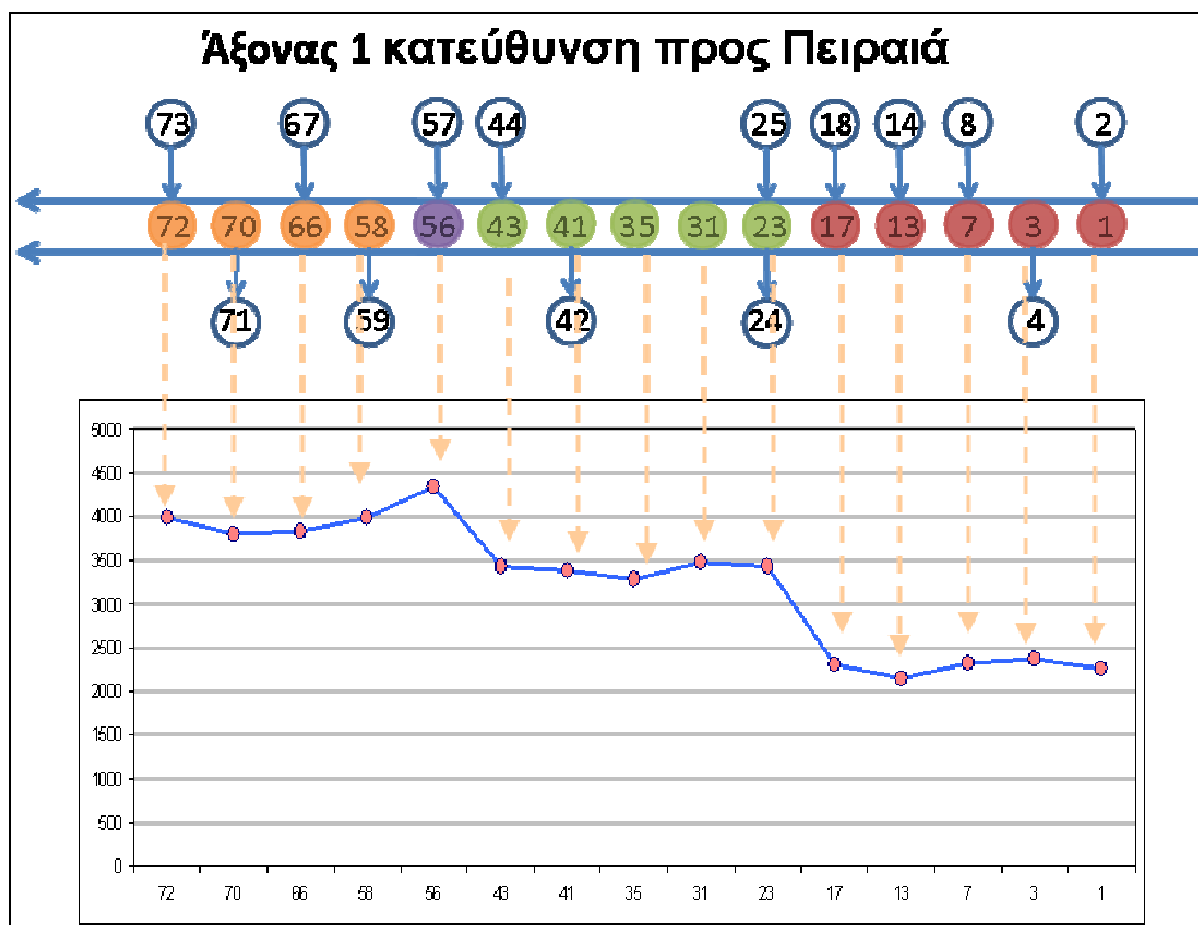
Σχήμα 5.7: Ημερήσια Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 1 (κατεύθυνση προς Πειραιά)



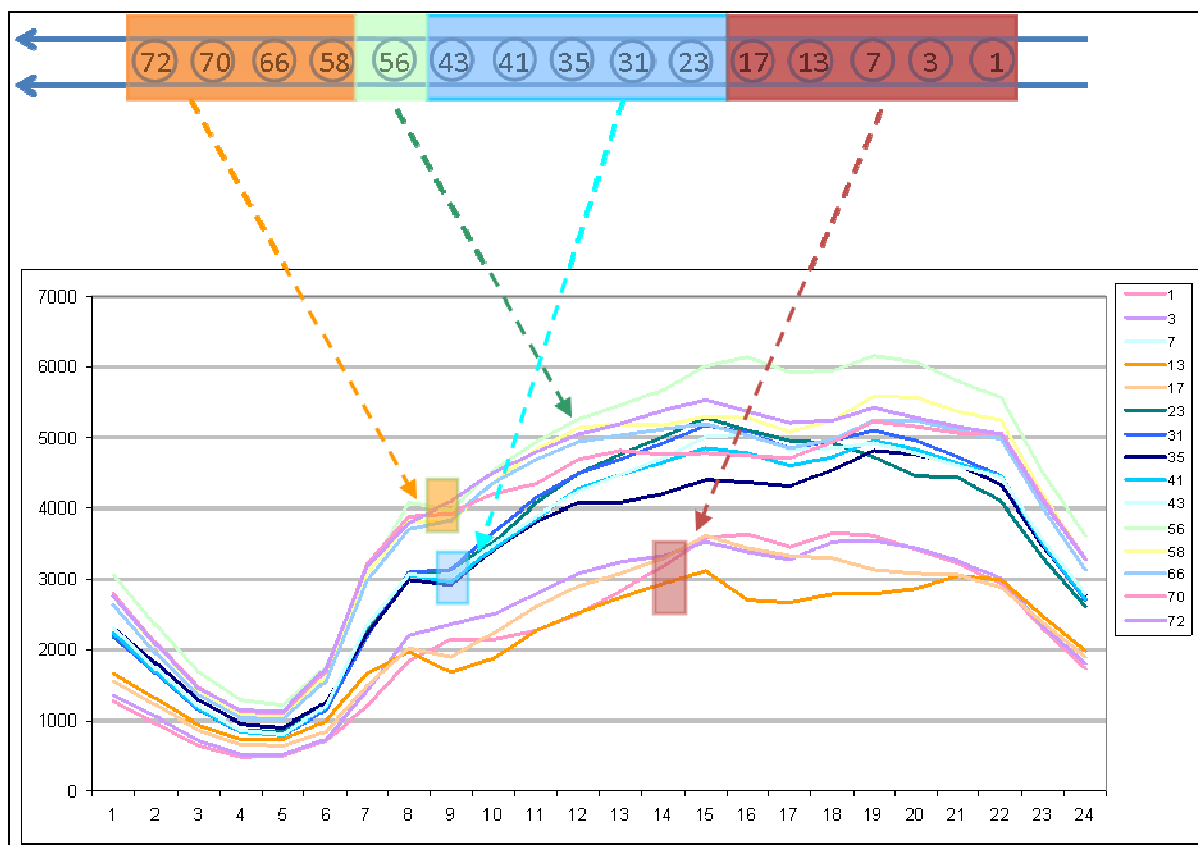
Σχήμα 5.7: Μηνιαία Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 1 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ανάλυση των στοιχείων φόρτου του πρώτου άξονα με κατεύθυνσης προς Πειραιά ώστε να φανεί η διακύμανση του μέσου ωριαίου φόρτου

ανά θέση μέτρησης (σχήμα 5.8) καθώς και η ημερήσια τάση του ωριαίου φόρτου ανά θέση καταγραφής (σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.8: Ημερήσια διακύμανση του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα 1 ανά θέση μέτρησης (κατεύθυνση προς το Πειραιά)



Σχήμα 5.9: Ημερήσια διακύμανση του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα 1 ανά θέση μέτρησης (κατεύθυνση προς το Πειραιά)

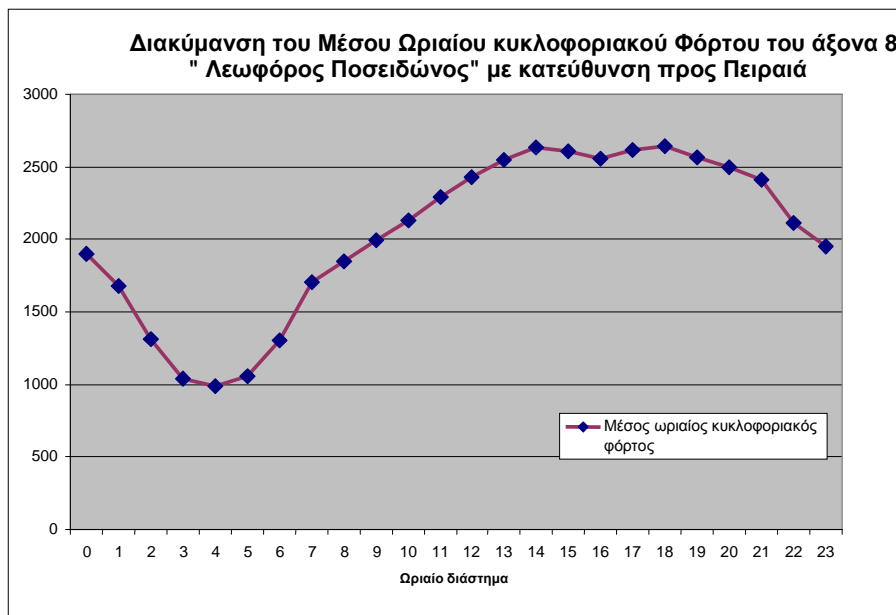
Από το σχήμα 5.9. φαίνονται τρεις ομάδες σημείων ομάδα σημείων που συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο μέσα στην ημέρα και ένα σημείο το οποίο έχει διαφορετικό εύρος τιμών από τις δώδεκα το μεσημέρι και έως τις δέκα το βράδυ. Γενικά μπορεί κανείς να δει μια ομοιογένεια ως προς τις τάσεις μέσα στην ημέρα αλλά διαφορετικότητα ως προς το εύρος τιμών μεταξύ των ομάδων.

5.3.4 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 8 με κατεύθυνση προς Πειραιά

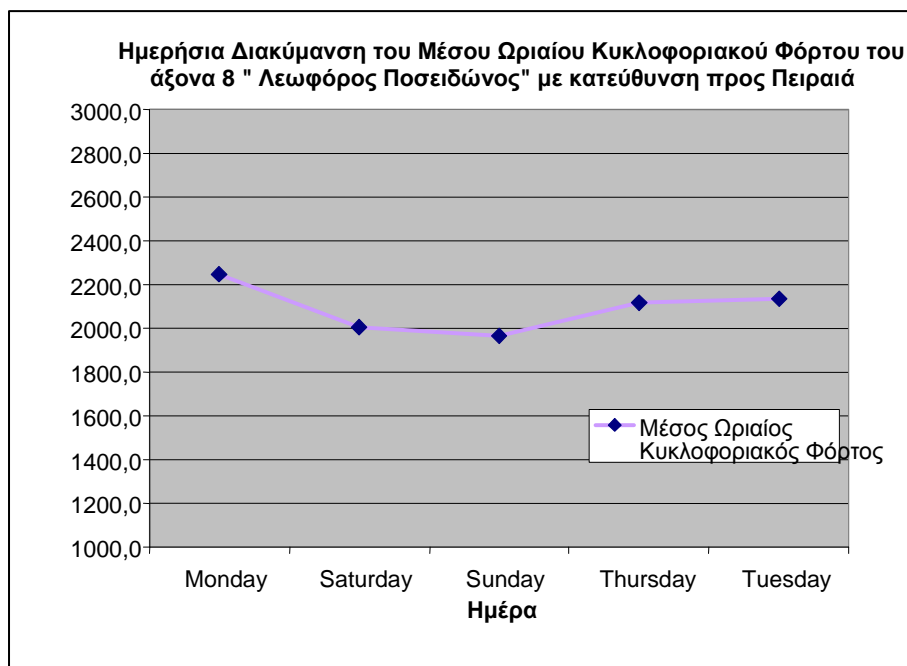
Από τα διαγράμματα διακύμανσης του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου της λεωφόρου Ποσειδώνος με κατεύθυνση προς τον Πειραιά που παρατίθενται παρακάτω γίνεται προφανής η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα τις πρωινές ώρες και μέχρι τις πρώτες μεσημεριανές ενώ από τις δύο το μεσημέρι και έως τις εννέα το βράδυ ο φόρτος παρουσιάζει σχετικά σταθερές τιμές. Τη βραδινή περίοδο ο κυκλοφοριακός φόρτος μειώνεται σημαντικά.

Όσον αφορά στο προφίλ της κάθε ημέρας, γίνεται εμφανής η μικρή σχετικά με τους άλλους άξονες πτώση της κυκλοφορίας το Σάββατο και την Κυριακή καθώς το συγκεκριμένο οδικό τμήμα χρησιμοποιείται πολύ για ταξίδια αναψυχής και διασκέδασης.

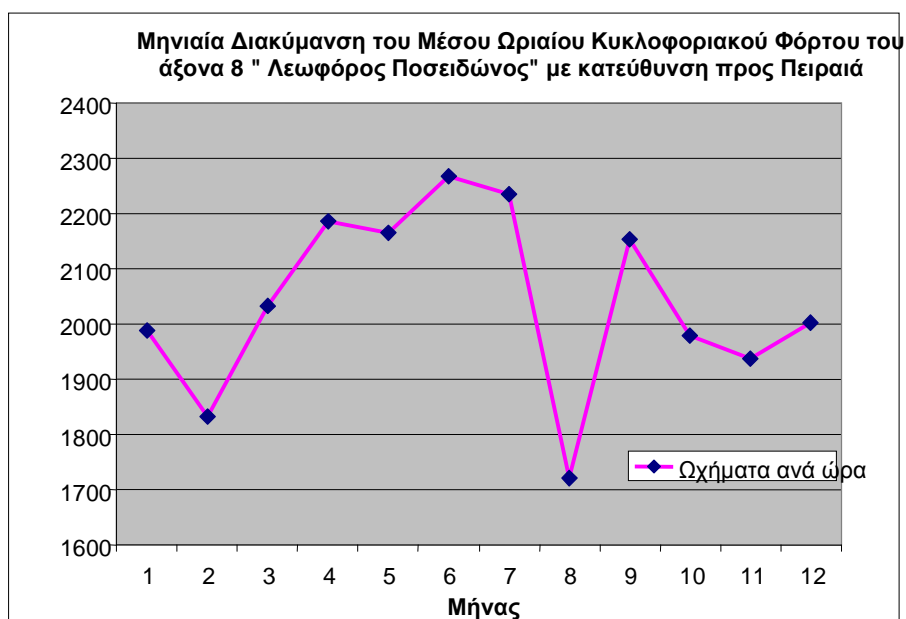
Όσον αφορά τώρα στους μήνες, φαίνεται ότι οι καλοκαιρινοί μήνες παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους φόρτους καθώς ο άξονας διασχίζει παραλιακές περιοχές αλλά και πάλι ο Αύγουστος έχει τις χαμηλότερες τιμές φόρτου.



Σχήμα 5.10: Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 8 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

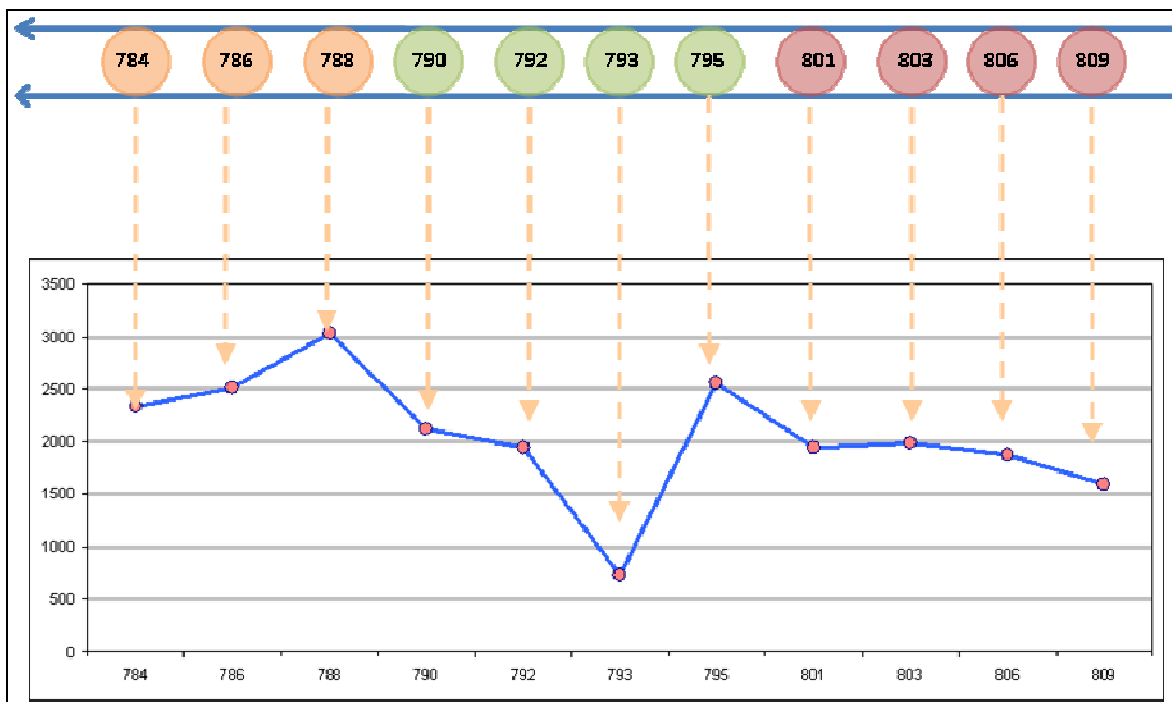


Σχήμα 5.11: Ημερήσια Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 8 (κατεύθυνση προς Πειραιά)



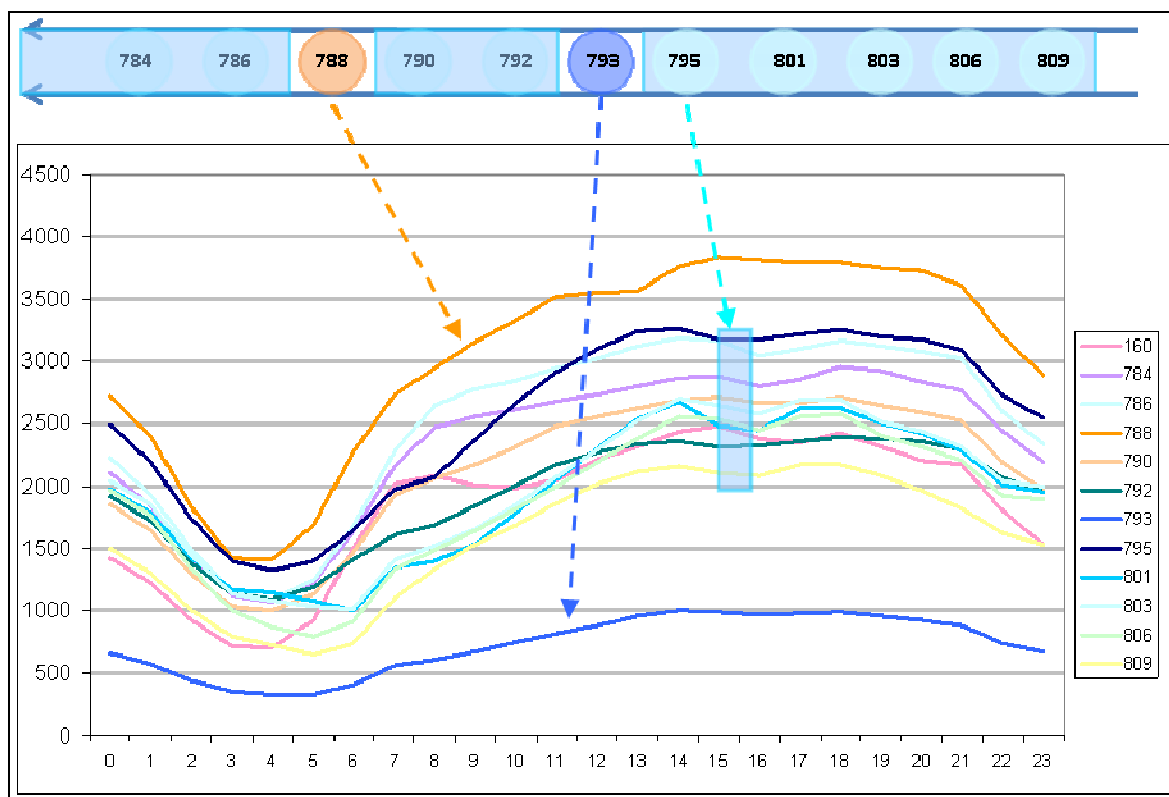
Σχήμα 5.12: Μηνιαία Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 8 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

Στο σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ανάλυση των στοιχείων του άξονα ώστε να φανεί η διακύμανση του μέσου ωριαίου φόρτου ανά θέση μέτρησης (σχήμα 5.13) καθώς και η ημερήσια τάση του ωριαίου φόρτου ανά θέση καταγραφής (σχήμα 5.14).



*Σχήμα 5.13: Μέσος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος του άξονα 8 ανά θέση μέτρησης.
(κατεύθυνση προς Πειραιά)*

Όπως φαίνεται ο φόρτος στο συγκεκριμένο άξονα παρουσιάζει μια απότομη πτώση στο σημείο 793 για να αρχίσει να ανεβαίνει και πάλι καθώς πλησιάζουμε προς την Αμφιθέας.



Σχήμα 5.14: Ημερήσια διακύμανση του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα 8 ανά θέση μέτρησης (κατεύθυνση προς Πειραιά)

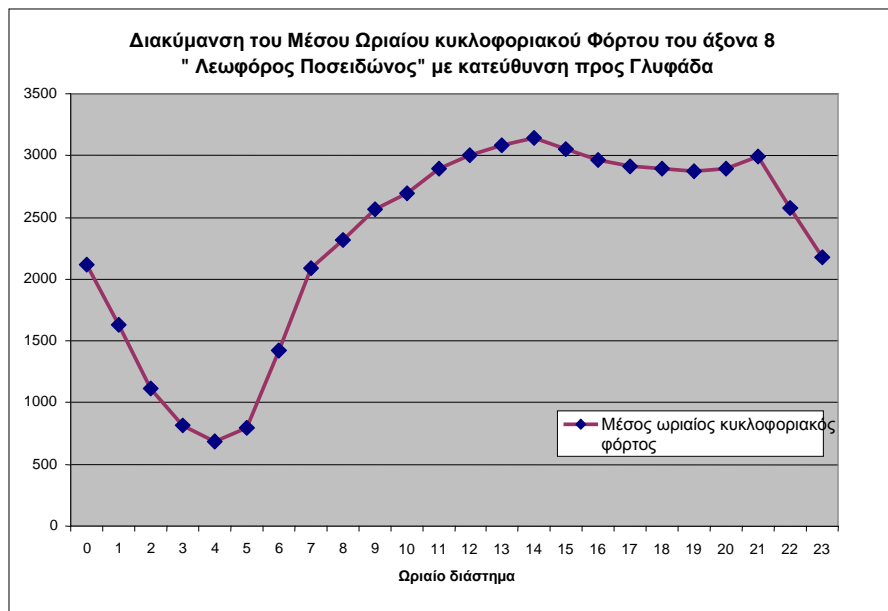
Από το σχήμα 5.14 φαίνεται ότι τα περισσότερα σημεία του άξονα συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο μέσα στην ημέρα εκτός από δύο σημεία τα οποία παρουσιάζουν ακραίες χαμηλές ή υψηλές τιμές.

5.3.5 Ανάλυση των κυκλοφοριακών φόρτων του άξονα 2 με κατεύθυνση προς Γλυφάδα

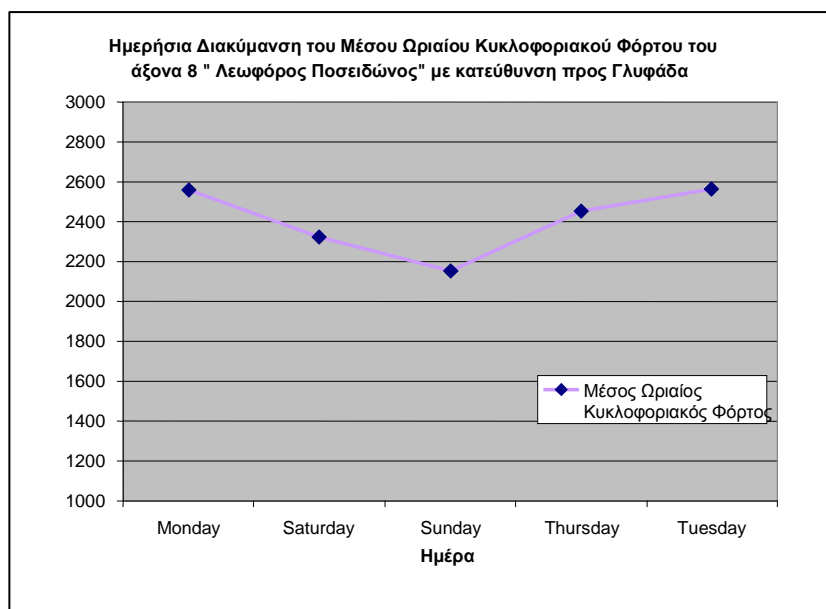
Για την αντίθετη κατεύθυνση του πρώτου άξονα δηλαδή προς Γλυφάδα τα διαγράμματα διακύμανσης του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου που παρατίθενται παρακάτω υποδεικνύουν αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα από τις πέντε το πρωί και μέχρι τις πρώτες μεσημεριανές ενώ από τις δύο το μεσημέρι, μία πολύ μικρή πτώση μεταξύ δύο και επτά, αύξηση και πάλι έως τις εννέα το βράδυ και στη συνέχεια σταδιακή πτώση έως και την βραδινή περίοδο που και εδώ ο κυκλοφοριακός φόρτος μειώνεται σημαντικά.

Όσον αφορά στο προφίλ της κάθε ημέρας, γίνεται εμφανής και εδώ μια όχι και τόσο σημαντική πτώση της κυκλοφορίας το Σάββατο και την Κυριακή ενώ η Δευτέρα και η Τετάρτη φαίνεται να είναι οι ημέρες όπου παρουσιάζεται ο μεγαλύτερος φόρτος.

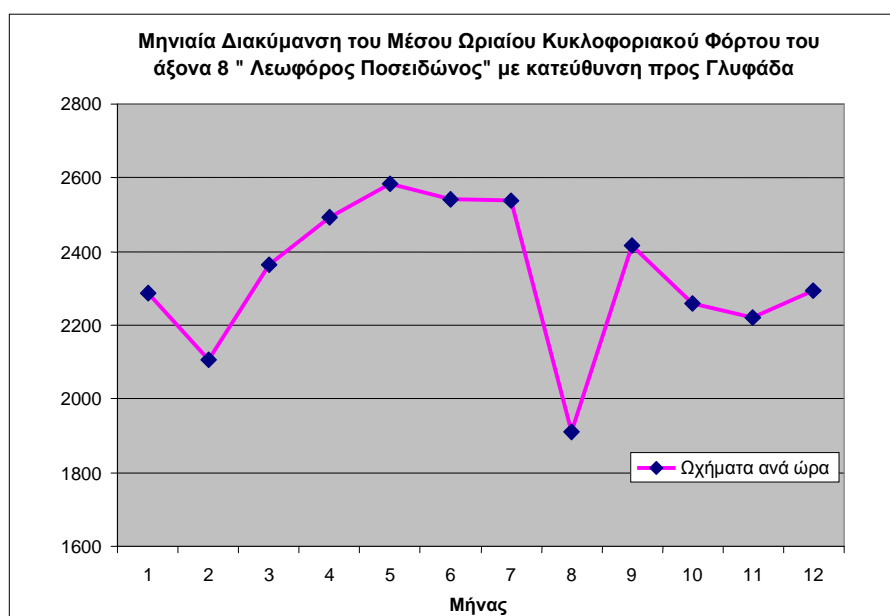
Τέλος στο προφίλ των κυκλοφοριακών φόρτων ανά μήνα του έτους φαίνεται και πάλι η μεγάλη κίνηση που παρουσιάζει η περιοχή του άξονα κατά τους θερινούς μήνες αν και πάλι τον Αύγουστο παρατηρείται αρκετά μεγάλη μείωση.



Σχήμα 5.15: Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 8 (κατεύθυνση προς Γλυφάδα)

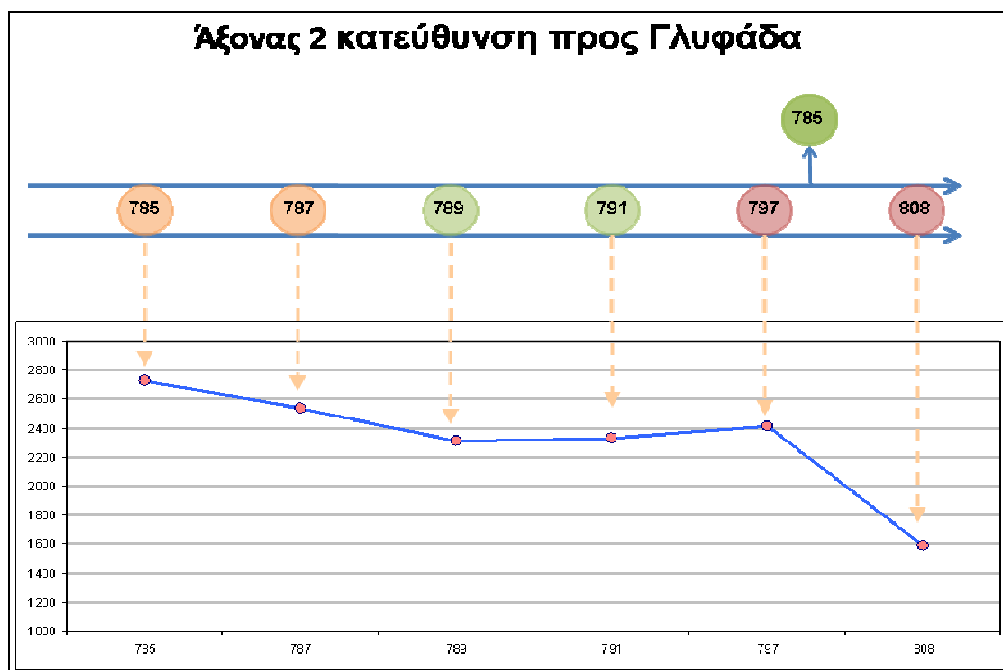


Σχήμα 5.16: Ημερήσια Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 2 (κατεύθυνση προς Γλυφάδα)

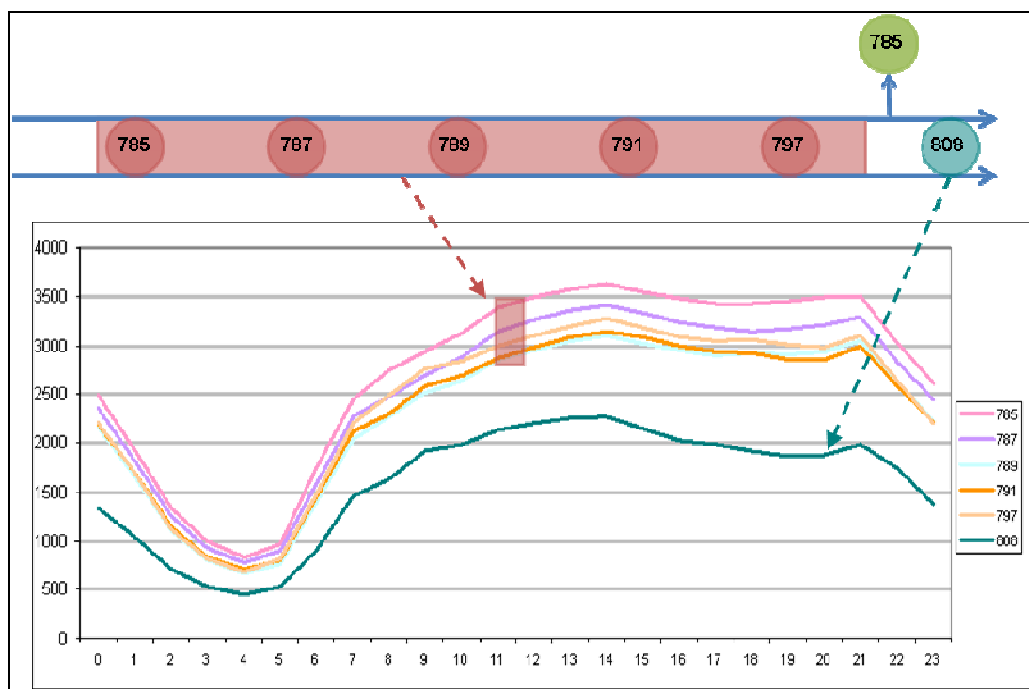


Σχήμα 5.17: Μηνιαία Διακύμανση του Μέσου Ωριαίου κυκλοφοριακού Φόρτου του άξονα 1 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

Στο σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ανάλυση των στοιχείων φόρτου ανά θέση μέτρησης ώστε να φανεί η διακύμανση του μέσου ωριαίου φόρτου (σχήμα 5.18) καθώς και η ημερήσια τάση του ωριαίου φόρτου (σχήμα 5.19).



Σχήμα 5.18: Ημερήσια διακύμανση του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα 2 ανά θέση μέτρησης (κατεύθυνση προς Γλυφάδα)



Σχήμα 5.19: Ημερήσια διακύμανση του μέσου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου του άξονα 2 ανά θέση μέτρησης (κατεύθυνση προς Γλυφάδα)

Από το σχήμα 5.19. φαίνονται ότι όλα τα σημεία συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο μέσα στην ημέρα και ένα σημείο το οποίο έχει διαφορετικό εύρος τιμών σε όλη τη διάρκεια της ημέρας καθώς βρίσκεται προς τη Γλυφάδα.

5.4 Ανάλυση των σημείων μέτρησης κάθε άξονα σε Συστάδες (clusters)

5.4.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση κατά συστάδες είναι μια μέθοδος που έχει ως σκοπό να κατατάξει σε ομάδες τις υπάρχουσες παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας την πληροφορία που υπάρχει σε κάποιες μεταβλητές. Μπορεί να πει κανείς πως εξετάζοντας πόσο όμοιες είναι κάποιες παρατηρήσεις ως προς κάποιον αριθμό μεταβλητών, η μέθοδος τείνει να δημιουργεί ομάδες από παρατηρήσεις που μοιάζουν μεταξύ τους.

Μια επιτυχημένη ανάλυση θα πρέπει να καταλήξει σε ομάδες για τις οποίες οι παρατηρήσεις μέσα σε κάθε ομάδα να είναι όσο γίνεται πιο ομοιογενείς, αλλά παρατηρήσεις διαφορετικών ομάδων να διαφέρουν όσο γίνεται περισσότερο.

Μια πολύ βασική έννοια για την ανάλυση κατά συστάδες – αλλά όχι μόνο- είναι οι έννοιες της απόστασης και της ομοιότητας. Γενικά οι δύο αυτές έννοιες είναι αντίθετες οπότε παρατηρήσεις που είναι όμοιες θα έχουν μεγάλη ομοιότητα και μικρή απόσταση. Οι έννοιες λοιπόν αυτές είναι πολύ χρήσιμες καθώς σε αυτές στηρίζεται ο τελικός διαχωρισμός των παρατηρήσεων σε ομάδες.

Η παρούσα εργασία χρησιμοποίησε το λογισμικό SPSS για την ανάλυση των στοιχείων σε συστάδες. Δύο είναι οι βασικές προσεγγίσεις του συγκεκριμένου προγράμματος για την ανάλυση αυτή: η ιεραρχικές μέθοδοι και η μέθοδος K-Means. Και οι δύο μέθοδοι, στηρίζονται σε καθαρά αλγοριθμικές λύσεις και δεν προϋποθέτουν κάποιο μοντέλο. Υπάρχουν αρκετές άλλοι στατιστικές μέθοδοι όπου ξεκινώντας από κάποιες υποθέσεις κατατάσσουν τις παρατηρήσεις. Δυστυχώς αυτές οι μέθοδοι έχουν αρκετά υπολογιστικά προβλήματα και για το λόγο αυτό δεν προσφέρονται από τα περισσότερα στατιστικά πακέτα που χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Γενικά, σε οποιαδήποτε μέθοδο υπάρχουν πολλά σημεία στα οποία ο ερευνητής μπορεί να λειτουργήσει υποκειμενικά, με αποτέλεσμα από τα ίδια δεδομένα να εξαχθούν ακόμα και αντικρουόμενα αποτελέσματα. Από την άλλη πλευρά όμως, μια γενική αλήθεια είναι πως όταν στα δεδομένα υπάρχουν πραγματικά ομοιογενείς ομάδες, τότε οποιαδήποτε μέθοδος θα καταφέρει να τις αναγνωρίσει.

Η επιλογή της απόστασης έχει να κάνει με τη μέθοδο που τελικά θα χρησιμοποιήσει ο ερευνητής αλλά και τον τύπο των δεδομένων. Για συνεχή δεδομένα η ευκλείδεια απόσταση είναι συνήθως η προτιμότερη λύση. Αν κάποια από τις μεταβλητές όμως έχει τεράστια διακύμανση σε σχέση με τις υπόλοιπες, αυτή θα παίζει σπουδαιότερο ρόλο και άρα θα κατευθύνει τα τελικά αποτελέσματα.

Σε αυτή την περίπτωση καλό είναι να τυποποιηθούν τα δεδομένα ώστε να έχουν ίδια μέση τιμή και διακύμανση (άρα και ειδικό βάρος). Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι το λογισμικό SPSS στη μέθοδο K-Means δεν προσφέρει δυνατότητα επιλογής.

Όσον αφορά στην επιλογή της βέλτιστης μεθόδου, γενικά οι ιεραρχικές μέθοδοι δεν είναι καλή ιδέα να χρησιμοποιούνται για μεγάλο πλήθος δεδομένων καθώς απαιτούν πολύ χρόνο και υπολογιστική ισχύ. Επίσης υπάρχει η τάση να δημιουργούνται ομάδες με ανομοιογενές μέγεθος. Από την άλλη η μέθοδος K-means ενώ αποφεύγει αυτά τα προβλήματα και δουλεύει ικανοποιητικά με μεγάλα δείγματα και δημιουργεί ομάδες παραπλήσιου μεγέθους, εξαρτάται πολύ από τις αρχικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν.

Λόγω του ότι τα δεδομένα που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία δεν θεωρούνται μεγάλο όγκου και οι ομάδες στις οποίες θα χωριστούν δεν είναι γνωστές αλλά πρέπει να προταθούν από τον αλγόριθμο (μπορεί όμως να γίνει σαφής λογικός έλεγχος των αποτελεσμάτων γιατί υπάρχει ήδη μια πρώτη εκτίμηση), η ιεραρχική μέθοδος θεωρήθηκε πιο κατάλληλη και εύκολα εφαρμόσιμη.

Η ανάλυση λοιπόν που θα ακολουθήσει στις επόμενες παραγράφους για κάθε άξονα βασίζεται στη μέθοδο αυτή. Στην ιεραρχική ομαδοποίηση ο αριθμός των ομάδων δεν είναι γνωστός από πριν. Οι μέθοδοι λειτουργούν ιεραρχικά με την έννοια ότι ξεκινούν χρησιμοποιώντας κάθε παρατήρηση σαν μια ομάδα και σε κάθε βήμα ενώνουν σε ομάδες τις παρατηρήσεις που βρίσκονται κοντά. Η μέθοδος αυτή αλγοριθμικά θα μπορούσε να αποτυπωθεί ως εξής:

- Βήμα 1: Δημιουργία του πίνακα αποστάσεων για όλες τις ομάδες
- Βήμα 2: Εύραιση της μικρότερης απόστασης και συνένωση των δύο παρατηρήσεων με τη μικρότερη απόσταση. Δηλαδή δημιουργία μία ομάδας με τις παρατηρήσεις που είναι πιο κοντά. Αν η μικρότερη απόσταση αφορά μια ήδη δημιουργηθείσα ομάδα και μια παρατήρηση, εισάγεται η παρατήρηση σε αυτή την ομάδα ή αν αφορά δύο ομάδες που ήδη υπάρχουν ενώνονται.
- Βήμα 3: Αν όλες οι παρατηρήσεις δεν έχουν ενταχθεί σε μια ομάδα, επιστροφή στο βήμα 1, αλλιώς ολοκλήρωση.

Υπάρχουν μερικά σημαντικά σημεία για τον αλγόριθμο που ο ερευνητής πρέπει να αποφασίσει.

Αρχικά, θα πρέπει να αποφασιστεί το είδος της απόστασης που θα χρησιμοποιηθεί. Ένα άλλο σημαντικό σημείο για τον αλγόριθμο είναι ότι θα υπολογιστεί η απόσταση της ομάδας που δημιουργείται σε σχέση με μια άλλη ομάδα. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι, μερικές από αυτές είναι:

- Nearest Neighbor: Η μέθοδος του κοντινότερου γείτονα, υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα σε δύο ομάδες ως την μικρότερη απόσταση από μια παρατήρηση μέσα σε μια ομάδα με κάποια παρατήρηση στην άλλη ομάδα. Η μέθοδος έχει κάποιες χρήσιμες μαθηματικές ιδιότητες, αλλά παράγει ομάδες που δεν είναι συμπαγείς και συνήθως δημιουργεί μερικές πολύ μεγάλες ομάδες και κάποιες πολύ μικρές.

- Furthest Neighbor: Σε αυτή την περίπτωση συμβαίνει το αντίθετο. Δηλαδή, η μέθοδος του μακρύτερου γείτονα υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα σε δύο ομάδες ως την μεγαλύτερη απόσταση από μια παρατήρηση μέσα στη μια ομάδα με κάποια παρατήρηση στην άλλη ομάδα. Οι ομάδες που δημιουργούνται είναι συνήθως συμπαγείς, αλλά αποτυγχάνει να δημιουργήσει κάποιες μικρές μα πολύ συμπαγείς ομάδες.
- Average between groups: Σε αυτή τη περίπτωση η απόσταση είναι ο μέσος της απόστασης ανάμεσα σε όλες τις αποστάσεις της μιας ομάδας με τα στοιχεία της άλλης.
- Average within groups: Στην περίπτωση αυτή η απόσταση είναι ο μέσος όλων των αποστάσεων που προκύπτουν, όταν ενώσουμε τις δύο ομάδες.
- Centroid: Η απόσταση υπολογίζεται ως η απόσταση των κέντρων των ομάδων. Μέθοδος αυτή έχει μερικές καλές ιδιότητες και παράγει συνήθως ομάδες συμπαγείς και ελλειπτικές.
- Ward method: Αυτή η μέθοδος διαφέρει από τις άλλες και είναι σχεδιασμένη να ελαχιστοποιεί τη διακύμανση μέσα σε ομάδες. Για κάθε παρατήρηση μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση της από το κέντρο της ομάδας. Αν αθροίσουμε για όλες τις ομάδες, έχουμε μια τιμή που είναι το συνολικό άθροισμα. Αρχικά, αυτό το άθροισμα είναι 0, αφού κάθε παρατήρηση είναι και μια ομάδα, άρα η απόσταση από το κέντρο της είναι 0. Σε κάθε βήμα ενώνουμε τις ομάδες τις οποίες, αν ενωθούν, οδηγούν στην μικρότερη αύξηση του συνολικού αθροίσματος αποστάσεων. Η μέθοδος έχει μερικές πολύ καλές ιδιότητες και συνήθως δημιουργεί ομάδες με παρόμοιο αριθμό παρατηρήσεων. Για αυτό και πολύ συχνά χρησιμοποιείται στην πράξη.

Συγκρίνοντας τις μεθόδους μεταξύ τους, θα πρέπει να τονιστεί ότι από πειράματα προσομοίωσης οι μέθοδοι με την καλύτερη επίδοση είναι η μέθοδος του Ward και η Average Between Groups. Η μέθοδος Nearest Neighbor είναι αυτή με την χειρότερη επίδοση. Αυτό που θα πρέπει να έχει ο ερευνητής πάντα στο μυαλό του είναι ότι, αν οι ομάδες είναι αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους, κάθε μέθοδος θα βρει σωστή ομαδοποίηση. Επιπλέον, κάθε μέθοδος δουλεύει καλύτερα με συγκεκριμένη μορφή δεδομένων.

Ένα καλό που έχει η ιεραρχική ομαδοποίηση είναι ότι εξάγει δενδρογράμματα. Το δενδρογράμμα αποτελεί ένα πολύτιμο οπτικό εργαλείο για την ιεραρχική ομαδοποίηση αναδεικνύοντας την ιστορία της ομαδοποίησης και βοηθώντας την επιλογή της λύσης που τελικά θα κρατηθεί, αλλά εμφανίζει και τη δυναμική της μεθόδου.

Εκτός από τα δενδρογράμματα σημαντικοί πίνακες που εμφανίζονται και επεξηγούν τις δημιουργηθείσες συστάδες είναι οι πίνακες συσσωρεύσεων (Agglomeration schedule) και ο πίνακας κατάταξης των μεταβλητών στις συστάδες (cluster membership). Ο πρώτος πίνακας περιγράφει τα στάδια κατά τα οποία δημιουργήθηκε κάθε συστάδα (όπως αυτά απεικονίζονται και στο δενδρογράμμα) ενώ συγχρόνως εμφανίζει για κάθε στάδιο ένα συντελεστή. Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής αυτός τόσο πιο ομοειδή στοιχεία συμμετέχουν στις συστάδες που δημιουργούνται. Κριτήριο για το στάδιο στο οποίο θα πρέπει να σταματάει η διαδικασία αποτελεί η μεγάλη μεταβολή του συντελεστή ανάμεσα σε δύο στάδια.

5.4.2 Ανάλυση κατά συστάδες και ομαδοποίηση στοιχείων για τον άξονα της Ε.Ο. Αθηνών- Λαμίας

Η ανάλυση κατά συστάδες για τους δύο άξονες έχει ως στόχο την ανάδειξη των στοιχείων που παρουσιάζουν κοινή τάση και εύρος τιμών επιβεβαιώνοντας ή διορθώνοντας το διαχωρισμό που πραγματοποιήθηκε παρατηρώντας την στατιστική ανάλυση των στοιχείων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε συστάδες για τον άξονα 1 με κατεύθυνση προς τη Λαμία παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Γίνεται εμφανής από τον πίνακα των συσσωρεύσεων (πιν. 5.1) ότι ως βέλτιστος μπορεί να θεωρηθεί ο διαχωρισμός σε τέσσερις συστάδες. Ο πίνακας κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες, (πιν. 5.2) όπως και το δενδρογράμμα (σχήμα 5.20) επιβεβαιώνει απόλυτα τις ομάδες που διαχωρίστηκαν κατά τη στατιστική ανάλυση των στοιχείων του άξονα. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι οι θέσεις μέτρησης με κωδικό 68,64,45 και 38 αποτελούν μία ομάδα ενώ οι θέσεις 21,15 και 78 έχουν η κάθε μία διαφορετικό εύρος τιμών και τάση στοιχείων.

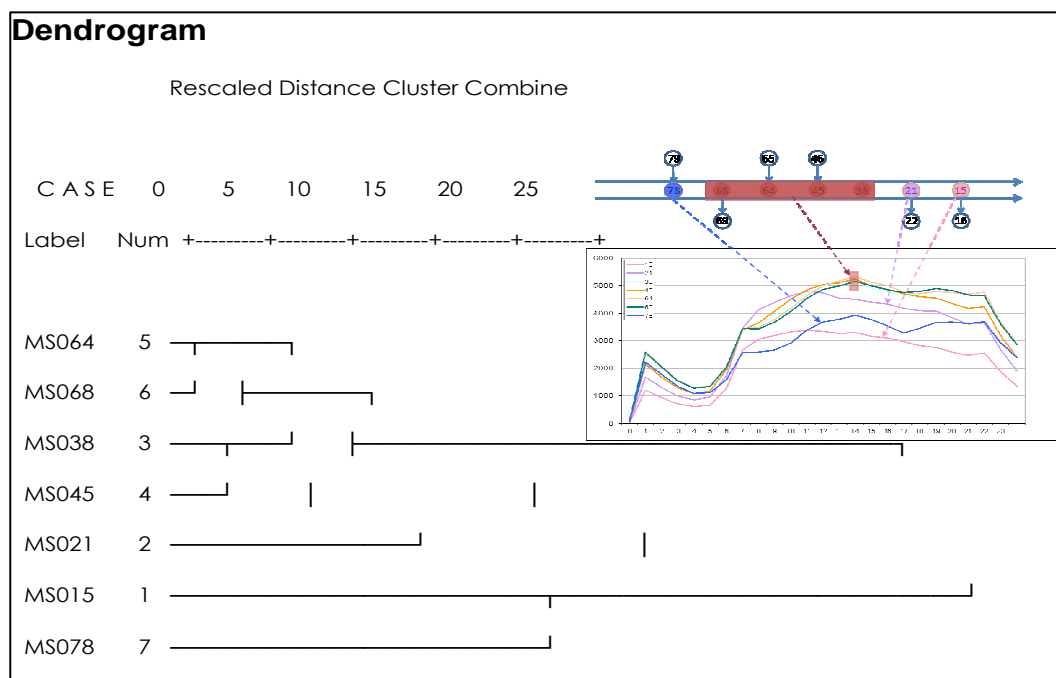
Agglomeration Schedule						
Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	5	6	8,696E7	0	0	3
2	3	4	2,209E8	0	0	3
3	3	5	4,909E8	2	1	4
4	2	3	1,077E9	0	3	6
5	1	7	1,591E9	0	0	6

Agglomeration Schedule						
Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	5	6	8,696E7	0	0	3
2	3	4	2,209E8	0	0	3
3	3	5	4,909E8	2	1	4
4	2	3	1,077E9	0	3	6
5	1	7	1,591E9	0	0	6
6	1	2	3,347E9	5	4	0

Πίνακας 5.1: Πίνακας μέσων αποστάσεων για το άξονα 1 (κατεύθυνση προς Λαμία)

Cluster Membership					
Case	6 Clusters	5 Clusters	4 Clusters	3 Clusters	2 Clusters
MS015	1	1	1	1	1
MS021	2	2	2	2	2
MS038	3	3	3	2	2
MS045	4	3	3	2	2
MS064	5	4	3	2	2
MS068	5	4	3	2	2
MS078	6	5	4	3	1

Πίνακας 5.2: Πίνακας κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες για τον άξονα 1 (κατεύθυνση προς Λαμία)



Σχήμα 5.20: Δενδρογράμμα κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες για τον άξονα 1 (κατεύθυνση προς Λαμία)

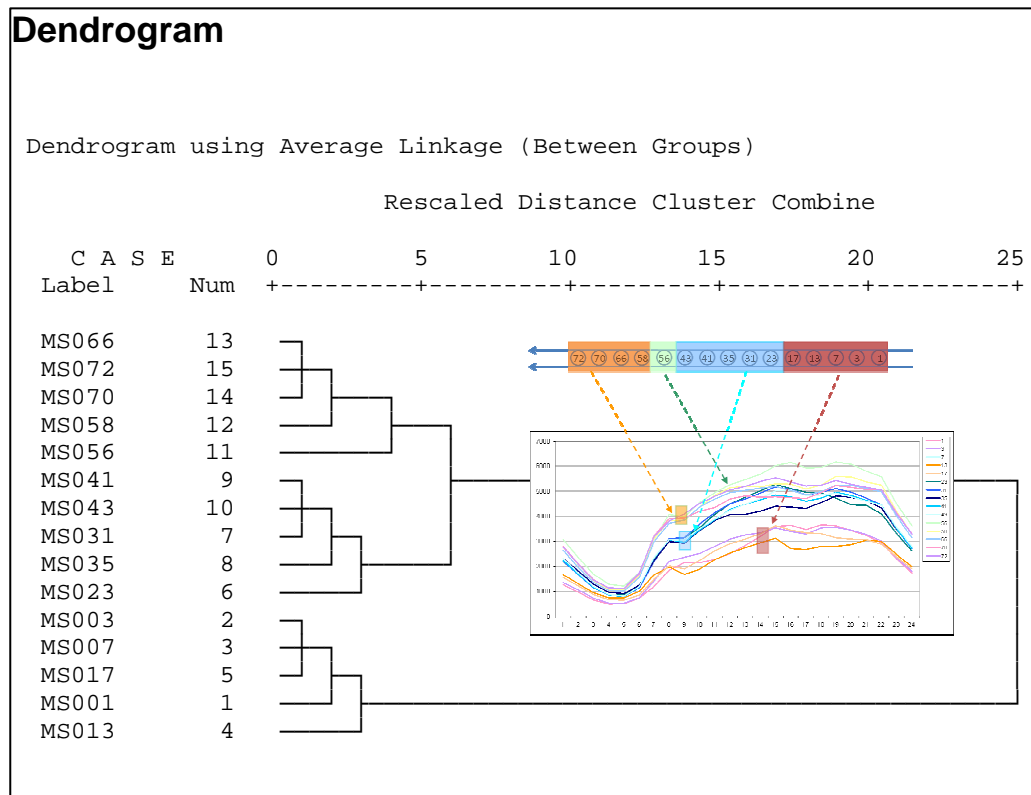
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε συστάδες για τον άξονα 1 με κατεύθυνση προς Πειραιά παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Γίνεται εμφανής από τον πίνακα των μέσων αποστάσεων (πιν. 5.3) ότι ως βέλτιστος μπορεί να θεωρηθεί ο διαχωρισμός σε τέσσερις συστάδες. Ο πίνακας κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες, (πιν. 5.4) επιβεβαιώνει απόλυτα τις ομάδες που διαχωρίστηκαν κατά τη στατιστική ανάλυση των στοιχείων του άξονα. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι οι θέσεις μέτρησης με κωδικό 1,3,7,15,17 αποτελούν τη μία ομάδα, οι θέσεις 23,31,35,41 και 43 τη δεύτερη, οι 58,66,70,72 την τρίτη ενώ η θέση 56 έχει από μόνη της διαφορετικό εύρος τιμών και τάση στοιχείων. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η ανάγνωση του δενδρογράμματος (σχήμα 5.21).

Agglomeration Schedule						
Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	13	15	1,690E8	0	0	5
2	9	10	2,149E8	0	0	3
3	7	9	2,490E8	0	2	7
4	2	3	2,598E8	0	0	6
5	13	14	3,284E8	1	0	9
6	2	5	3,467E8	4	0	8
7	7	8	4,469E8	3	0	10
8	1	2	4,683E8	0	6	11
9	12	13	4,702E8	0	5	12
10	6	7	6,840E8	0	7	13
11	1	4	7,727E8	8	0	14
12	11	12	9,295E8	0	9	13
13	6	11	1,437E9	10	12	14
14	1	6	5,516E9	11	13	0

Πίνακας 5.3: Πίνακας μέσων αποστάσεων για το άξονα 1 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

Cluster membership									
Case	10 Clusters	9	8	7	6	5	4	3	2
MS001	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MS003	2	2	2	1	1	1	1	1	1
MS007	2	2	2	1	1	1	1	1	1
MS013	3	3	3	2	2	2	1	1	1
MS017	4	2	2	1	1	1	1	1	1
MS023	5	4	4	3	3	3	2	2	2
MS031	6	5	5	4	4	3	2	2	2
MS035	7	6	5	4	4	3	2	2	2
MS041	6	5	5	4	4	3	2	2	2
MS043	6	5	5	4	4	3	2	2	2
MS056	8	7	6	5	5	4	3	3	2
MS058	9	8	7	6	6	5	4	3	2
MS066	10	9	8	7	6	5	4	3	2
MS070	10	9	8	7	6	5	4	3	2
MS072	10	9	8	7	6	5	4	3	2

Πίνακας 5.4: Πίνακας κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες για τον άξονα 1 (κατεύθυνση προς Πειραιά)



Σχήμα 5.21: Δενδρογράμμο κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες για τον άξονα 1 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

5.4.3 Ανάλυση κατά συστάδες και ομαδοποίηση στοιχείων για τον άξονα της Ποσειδώνος

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε συστάδες για τον άξονα 8 με κατεύθυνση προς Πειραιά παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Ο πίνακας των μέσων αποστάσεων (πιν. 5.5) φανερώνει διαχωρισμό των σημείων καταγραφής φόρτου σε τρεις συστάδες. Ο πίνακας κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες, (πιν. 5.6) δεν επιβεβαιώνει απόλυτα τις ομάδες που διαχωρίστηκαν κατά τη στατιστική ανάλυση των στοιχείων του άξονα. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι οι θέσεις μέτρησης με κωδικό 784,786,788 και 795 διαχωρίζονται από τις θέσεις 801,803,806 και 809 σε δεύτερη συστάδα ενώ η θέση 793 αποτελεί μόνη της μια άλλη ομάδα. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η ανάγνωση του δενδρογράμματος (σχήμα 5.22).

Agglomeration Schedule						
Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	8	9	5,292E7	0	0	2
2	8	10	9,893E7	1	0	4
3	1	2	1,033E8	0	0	5
4	5	8	2,643E8	0	2	6
5	1	7	2,866E8	3	0	8
6	4	5	3,358E8	0	4	7
7	4	11	4,786E8	6	0	9
8	1	3	9,004E8	5	0	9
9	1	4	1,528E9	8	7	10
10	1	6	5,253E9	9	0	0

Πίνακας 5.5: Πίνακας μέσων αποστάσεων για το άξονα 8 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

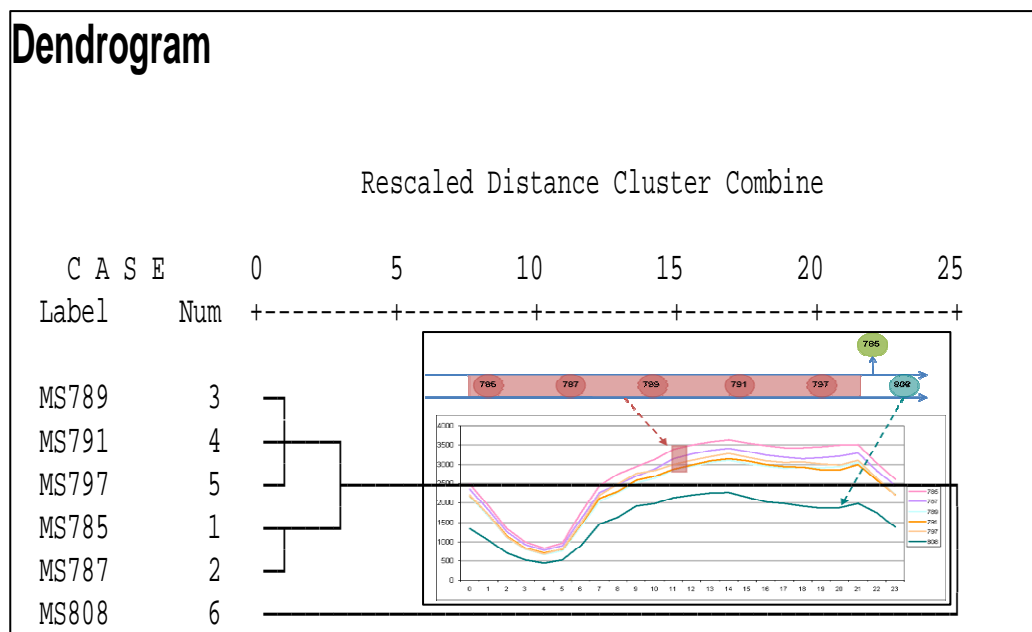
Cluster Membership

Case	10 Clusters	9 Clusters	8 Clusters	7 Clusters	6 Clusters	5 Clusters	4 Clusters	3 Clusters	2 Clusters
MS784	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MS786	2	2	1	1	1	1	1	1	1
MS788	3	3	2	2	2	2	2	1	1
MS790	4	4	3	3	3	3	3	2	1
MS792	5	5	4	4	4	3	3	2	1
MS793	6	6	5	5	5	4	4	3	2
MS795	7	7	6	6	1	1	1	1	1
MS801	8	8	7	4	4	3	3	2	1
MS803	8	8	7	4	4	3	3	2	1
MS806	9	8	7	4	4	3	3	2	1
MS809	10	9	8	7	6	5	3	2	1

Πίνακας 5.6: Πίνακας κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες για τον άξονα 8 (κατεύθυνση προς Πειραιά)

Cluster Membership				
Case	5 Clusters	4 Clusters	3 Clusters	2 Clusters
MS785	1	1	1	1
MS787	2	1	1	1
MS789	3	2	2	1
MS791	3	2	2	1
MS797	4	3	2	1
MS808	5	4	3	2

Πίνακας 5.8: Πίνακας κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες για τον άξονα 8 (κατεύθυνση προς Γλυφάδα)



Σχήμα 5.23: Δενδρογράμμα κατάταξης των μεταβλητών σε ομάδες για τον άξονα 8 (κατεύθυνση προς Γλυφάδα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Για τη βραχεία πρόγνωση του κυκλοφοριακού φόρτου έχουν επικρατήσει τεχνικές καθαρά επαγωγικές οι οποίες βασίζονται κατά πρώτο λόγο στα ιστορικά δεδομένα. Μερικές από τις πιο συχνά εμφανιζόμενες στη βιβλιογραφία είναι η μη παραμετρική παλινδρόμηση (Davis & Nihan, 1991), παλινδρόμηση με χρονικά μεταβαλλόμενους συντελεστές (Rice & van Zwet, 2001), Kalman filtering, (Whittaker, 1997) και τα νευρωνικά δίκτυα (van Lint & Hoogendoorn, 2002).

Η χρησιμοποίηση μοντέλων χρονολογικών σειρών την τελευταία δεκαετία ήταν απόρροια των νέων συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας τα οποία ουσιαστικά αποθήκευαν τα απαραίτητα δεδομένα. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα μιας μεταβλητής τύπου ARIMA στα οποία για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης ενός σημείου του οδικού δικτύου χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα μόνο από το συγκεκριμένο σημείο, (Williams Durvasula & Brown, 1997, Lee & Fambro, 1999), ενώ πιο πρόσφατα παρουσιάστηκαν μοντέλα πολλών μεταβλητών όπου για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης ενός σημείου του οδικού δικτύου χρησιμοποιείται και η χρήσιμη πληροφορία που περιέχεται στα υπόλοιπα υπό μελέτη σημεία μέτρησης χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η θέση τους, (Williams, 2001, Stathopoulos & Karlaftis, 2002).

Διερεύνηση η οποία πραγματοποιήθηκε (Υ. Kamarianakis, P. Prastakos, 2005) ανέδειξε τη δυνατότητα εφαρμογής των δυναμικών γραμμικών μοντέλων (dynamic linear models/state-space models) συνδυαστικά με μοντέλα χώρου-χρόνου (space-time models) για τη πρόβλεψη κυκλοφοριακών μεγεθών. Συγχρόνως έδειξε ότι παρόλο που οι διαφορές σε ακρίβεια μεταξύ πολυμεταβλητών και μονομεταβλητών μοντέλων δεν είναι μεγάλες, ένα πολυμεταβλητό μοντέλο έχει το πλεονέκτημα της καλύτερης προσαρμοστικότητας σε ακραία κυκλοφοριακά φαινόμενα.

Η παρούσα εργασία αξιοποίησε τα συμπεράσματα των παραπάνω διερευνήσεων εισάγοντας ένα βήμα ακόμα στη διαδικασία πρόβλεψης των κυκλοφοριακών φόρτων μιας ομάδας σημείων. Παίρνοντας ως δεδομένη την ικανότητα συσχέτισης των κυκλοφοριακών φόρτων μεταξύ δύο σημείων καταγραφής τους μέσα στο οδικό δίκτυο, πραγματοποιήθηκε ως πρώτο βήμα η

διερεύνηση της συσχέτισης αυτής μέσω της ανάλυσης των δεδομένων σε συστάδες και στη συνέχεια η πρόβλεψη των κυκλοφοριακών φόρτων των σημείων κάθε συστάδας. Η πρόβλεψη αυτή πραγματοποιήθηκε δημιουργώντας ένα μονομεταβλητό μοντέλο χρονοσειρών για το ένα σημείο κάθε συστάδας και στη συνέχεια συσχετίζοντας γραμμικά τα υπόλοιπα σημεία της συστάδας με αυτό. Συγχρόνως για συγκριτική ανάλυση, πραγματοποιήθηκε και πρόβλεψη με τη χρήση πολυμεταβλητών μοντέλων για τα σημεία κάθε συστάδας.

Η μεθοδολογία της ανάλυσης κατά συστάδες αλλά και αυτή της δημιουργίας μοντέλων χρονοσειρών που θα παρουσιαστεί στις επόμενες ενότητες αποτελεί πρότυπο για κάθε αντίστοιχη ανάλυση σε στοιχεία κυκλοφοριακών φόρτων οποιονδήποτε οδικών τμημάτων.

6.2 Δημιουργία μοντέλου χρονοσειρών

6.2.1 Γενικά

Η ανάλυση των χρονοσειρών δίνει τη δυνατότητα μελέτης της εξέλιξης του φαινομένου του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τη διάρκεια του χρόνου. Άλλοι στόχοι για τη μελέτη της χρονοσειράς, είναι η αναζήτηση ενός απλού μαθηματικού μοντέλου που να μπορεί να εξηγήσει την προηγούμενη συμπεριφορά της σειράς καθώς και η χρήση αυτού του μοντέλου για πρόβλεψη του κυκλοφοριακού φόρτου σε μελλοντικό χρονικό ορίζοντα.

Επειδή τα διαθέσιμα στοιχεία της παρούσης εργασίας αποτελούνται από μια καθημερινή και το σαββατοκύριακο και οι διακυμάνσεις των φόρτων διαφοροποιούνται σημαντικά σε σχέση με την ημέρα, αποφασίστηκε ο διαχωρισμός των χρονικών σειρών κατά ημέρα της εβδομάδας. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν στην καθημερινή (Πέμπτη) για μία συστάδα του άξονα της Ποσειδώνος με κατεύθυνση προς Πειραιά ενώ σημειώνεται ότι η διαδικασία ανάλυσης θα ήταν για κάθε περίπτωση η ίδια.

Στη μελέτη των χρονολογικών σειρών για τη δημιουργία πρόβλεψης, είναι διαθέσιμες διάφορες στατιστικές τεχνικές. Οι δημοφιλέστερες τεχνικές είναι το expotential smoothing και η ARIMA.

Το expotential smoothing είναι ένας γρήγορος τρόπος για τη δημιουργία προβλέψεων. Η λογική της τεχνικής αυτής είναι ότι οι πρόσφατες προβλέψεις πρέπει να έχουν περισσότερη βαρύτητα στην πρόβλεψη από τις χρονικά απομακρυσμένες παρατηρήσεις. Η λείανση (smoothing) περιλαμβάνει την πρόβλεψη μιας παρατήρησης από ένα συνδυασμό με βάρη των προηγούμενων

τιμών. Χαρακτηρίζεται ως «εκθετική» γιατί τα βάρη μειώνονται εκθετικά καθώς οι παρατηρήσεις μεγαλώνουν χρονικά.

Η τεχνική ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) ακολουθεί τη λογική ότι η διακύμανση της χρονολογικής σειράς μπορεί να διασπαστεί σε τρία μέρη: στο αυτοπαλίνδρομο κομμάτι, στη διαφορά και στο κομμάτι κινητών μέσων.

Πιο συγκεκριμένα το αυτοπαλίνδρομο κομμάτι της τεχνικής ARIMA χρησιμοποιεί ανεξάρτητες μεταβλητές για να προβλέψει μια εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή χρονοσειρά. Με λίγα λόγια χρησιμοποιώντας τις χρονικές υστερήσεις (lags) της σειράς προβλέπει τις μελλοντικές τιμές της.

Αντίθετα το κομμάτι των κινητών μέσων ενός μοντέλου ARIMA χρησιμοποιεί τις χρονικές υστερήσεις των σφαλμάτων του μοντέλου για να πραγματοποιήσει τις προβλέψεις.

Το κομμάτι της διαφοράς ενός του μοντέλου είναι ένας τρόπος να διαχειριστεί κανείς την τάση με μια χρονολογική σειρά. Ουσιαστικά είναι μια μέθοδος για να δημιουργήσουμε μια στάσιμη σειρά.

Οι χρονολογικές σειρές απεικονίζουν λοιπόν την κίνηση διαφόρων μεγεθών στο χρόνο. Η κίνηση των σειρών παρατηρείται και καταγράφεται σε σταθερά διαστήματα χρόνου. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι αν σε κάποια χρονική στιγμή δεν έχει παρατηρηθεί/ μετρηθεί η τιμή της χρονολογικής σειράς, η χρονική αυτή στιγμή θα πρέπει να απεικονίζεται με ένα κενό κελί στο αρχείο των δεδομένων. Γενικότερα, έχει παρατηρηθεί ότι οι χρονολογικές σειρές μπορούν να διασπαστούν σε τέσσερις βασικές συνιστώσες οι οποίες είναι:

Τάση: Πρόκειται για την μακροχρόνια ομαλή κεντρική κίνηση που διαπερνά όλο το μήκος της χρονολογικής σειράς. Η τάση μπορεί να είναι ανοδική ή καθοδική, ενώ θεωρείται ανύπαρκτη όταν είναι παράλληλη με το άξονα των x .

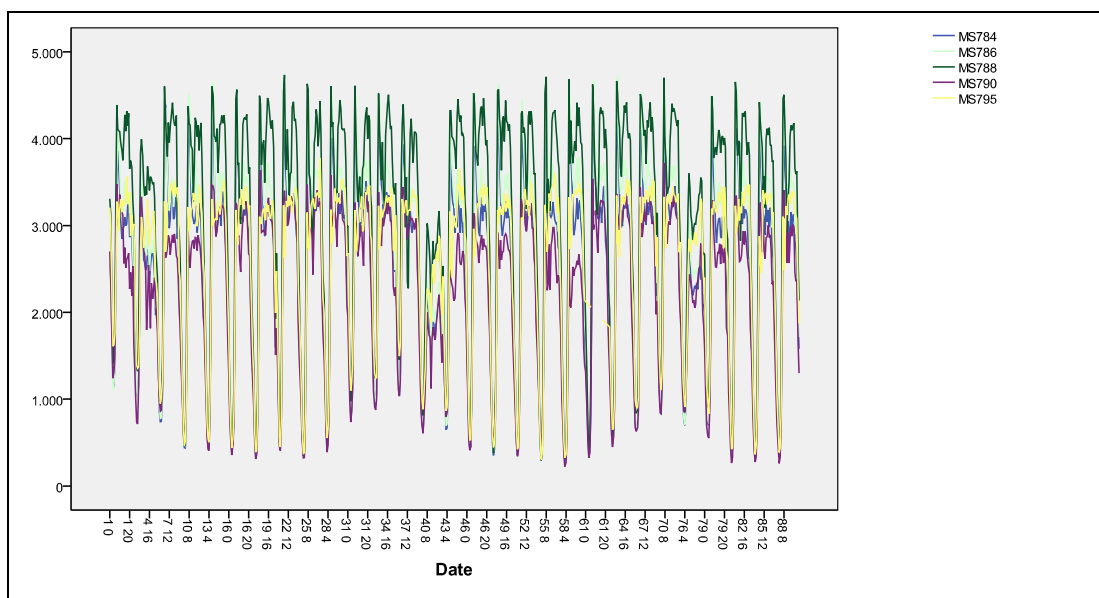
Κυκλική κύμανση: Πρόκειται για συστηματική κυκλική κίνηση που αναπτύσσεται γύρω από την τάση και επαναλαμβάνεται με μικρή, μεγάλη ή πλήρη ομοιομορφία κατά περιόδους μεγαλύτερες του έτους.

Εποχική κύμανση: Πρόκειται για κυκλική κίνηση που δημιουργείται και ολοκληρώνεται μέσα στα πλαίσια μιας χρονικής περιόδου.

Τυχαία κύμανση: Πρόκειται για την κίνηση της χρονολογικής σειράς που διαμορφώνεται ανεξάρτητα του χρόνου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα στοιχεία τα οποία αναλύθηκαν αποτελούν τη χρονική σειρά των 24ωρων μετρήσεων φόρτου μιας συγκεκριμένης ημέρας την εβδομάδα για μια ομάδα σημείων του άξονα της Ποσειδώνος.

Για τον προσδιορισμό του είδους τάσης και της εποχικότητας των δεδομένων, υπολογίστηκε το sequence plot όπως αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 6.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 6.1: Γραφική απεικόνιση των χρονικών σειρών της πρώτης συστάδας του άξονα της Ποσειδώνος με κατεύθυνση προς Πειραιά (sequence plot)

Από το γράφημα θα μπορούσε να παρατηρήσει κανείς ότι δεν υπάρχει κάποια αξιοσημείωτη τάση των τιμών και άρα η χρονολογική σειρά είναι στατική, ενώ ολοκληρώνει μια κυκλική κίνηση μέσα στα πλαίσια μίας ημέρας. αλλά και μέσα σε ένα χρόνο.

Για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ο expert modeler του λογισμικού spss ο οποίος έχει τη δυνατότητα να επιλέγει το μοντέλο που κάνει καλύτερο fit στα δεδομένα που του δίνονται, επιλέγοντας μέσα από μία σειρά μοντέλων ARIMA, ARMA ή exponential smoothing τα οποία και θεωρήθηκαν κατάλληλα για τα συγκεκριμένα δεδομένα.

6.2.2 Δημιουργία και έλεγχος Μονομεταβλητών Μοντέλων

Τα πρώτα μοντέλα τα οποία διερευνήθηκαν, αφορούν σε μονομεταβλητά μοντέλα χρονοσειρών όπου ένα αντιπροσωπευτικό σημείο της συστάδας μπορεί να προβλέψει τη δική του χρονοσειρά με κάποια συγκεκριμένη υστέρηση. Στη συνέχεια όλα τα άλλα σημεία της ίδιας συστάδας υπολογίζονται με απλά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης, από τις τιμές του αντιπροσωπευτικού σημείου.

Αρχικά υπολογίστηκε ένα μοντέλο για τη χρονική σειρά κάθε σημείου που συμμετέχει σε ένα συγκεκριμένο cluster του άξονα της Ποσειδώνος. Ο τύπος αλλά και τα μέτρα αξιολόγησης των μονομεταβλητών μοντέλων χρονολογικών σειρών που δημιουργήθηκαν παρουσιάζονται στο πίνακα 6.1.

Μετρητής	Προτεινόμενο Μοντέλο	Μέτρα Αξιολόγησης του μοντέλου			
		R^2	Stationary R^2	MAE	MAPE
784	MA(3)	0,856	0,856	314	21,4
786	AR(3)	0,895	0,895	287	15,17
788	ARMA(3,2)	0,861	0,861	353	16,9
790	MA(2)	0,779	0,779	356	28,3
795	ARMA(4,4)	0,892	0,892	239	13,2
Βέλτιστη τιμή		0,895	0,895	239	13,2

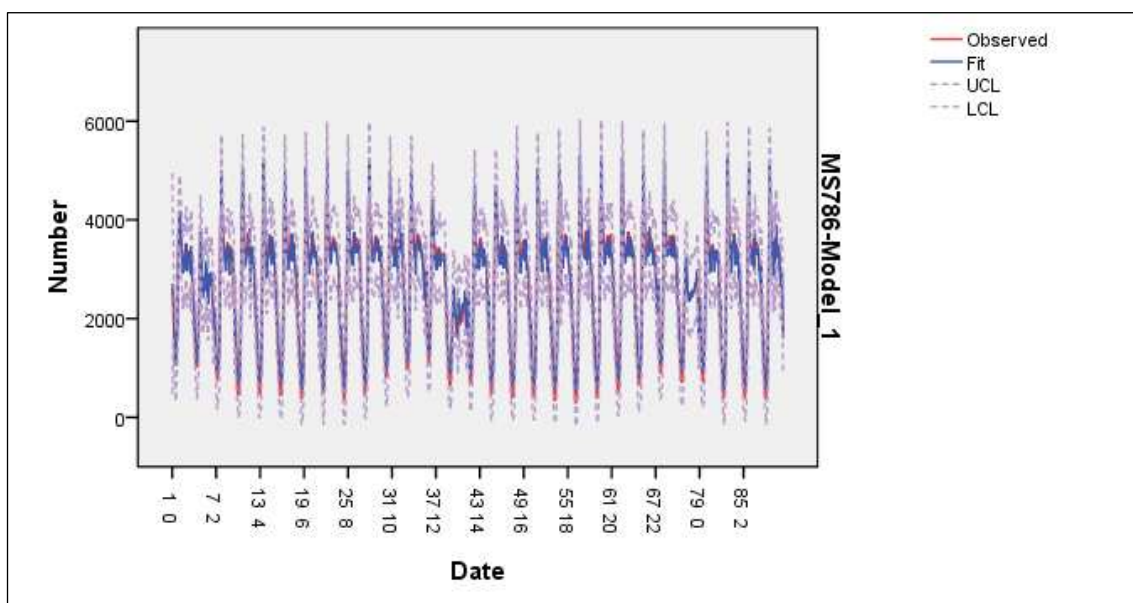
Πίνακας 6.1: Κριτήρια αξιολόγησης των μοντέλων χρονοσειρών

Για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου χρονοσειρών χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα μέτρα του, Stationary R^2 , R^2 , (Mean Absolute Percentage Error) MSPE, (Mean Absolute Error), MAE και Normalized BIC. Από τις υψηλές τιμές τόσο του Stationary R^2 όσο και του R^2 φαίνεται ότι όλα τα μοντέλα εξηγούν το 80 -90% της συνολικής διακύμανσης. Το μοντέλο που φαίνεται να ξεχωρίζει κατά το κριτήριο αυτό είναι οι προβλέψεις του σημείου 786.

Τα παραπάνω μέτρα βασίζονται στην πραγματική τιμή σφάλματος. Ο συντελεστής ποσοστιαίου σφάλματος PE εκφράζει την έλλειψη προσαρμογής του μοντέλου ως σχετική απόκλιση της

επόμενης προβλεπόμενης τιμής από αυτήν που παρατηρήθηκε, με άλλα λόγια, τα σχετικά σφάλματα στις προβλέψεις. Ο μέσος όρος των αποκλίσεων αυτών εκφράζεται με το συντελεστή μέσου ποσοστού σφάλματος (MPE). Ένα μέσο ποσοστιαίο σφάλμα κοντά στο 0 (μηδέν) μπορεί να παραχθεί από μεγάλες θετικές και αρνητικές τιμές ποσοστιαίου σφάλματος που αλληλοαναιρούνται. Έτσι, ένα καλύτερο μέτρο της σχετικής συνολικής προσαρμογής είναι το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα. Το μέτρο αυτό εκφράζει ο συντελεστής μέσου απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (MAPE) ο οποίος συνήθως είναι πιο σημαντικός από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Όπως φαίνεται από τον πίνακα ο μετρητής 795 παρουσιάζει βέλτιστες τιμές για τα τρία αυτά κριτήρια προσαρμογής των μοντέλων.

Επιλέγοντας να κρατηθεί το μοντέλο χρονοσειράς του μετρητή 786 το διάγραμμα sequence plot του συγκεκριμένου μονομετβλητού μοντέλου παρουσιάζεται παρακάτω αποδεικνύοντας πολύ καλή προσαρμογή στα δεδομένα.



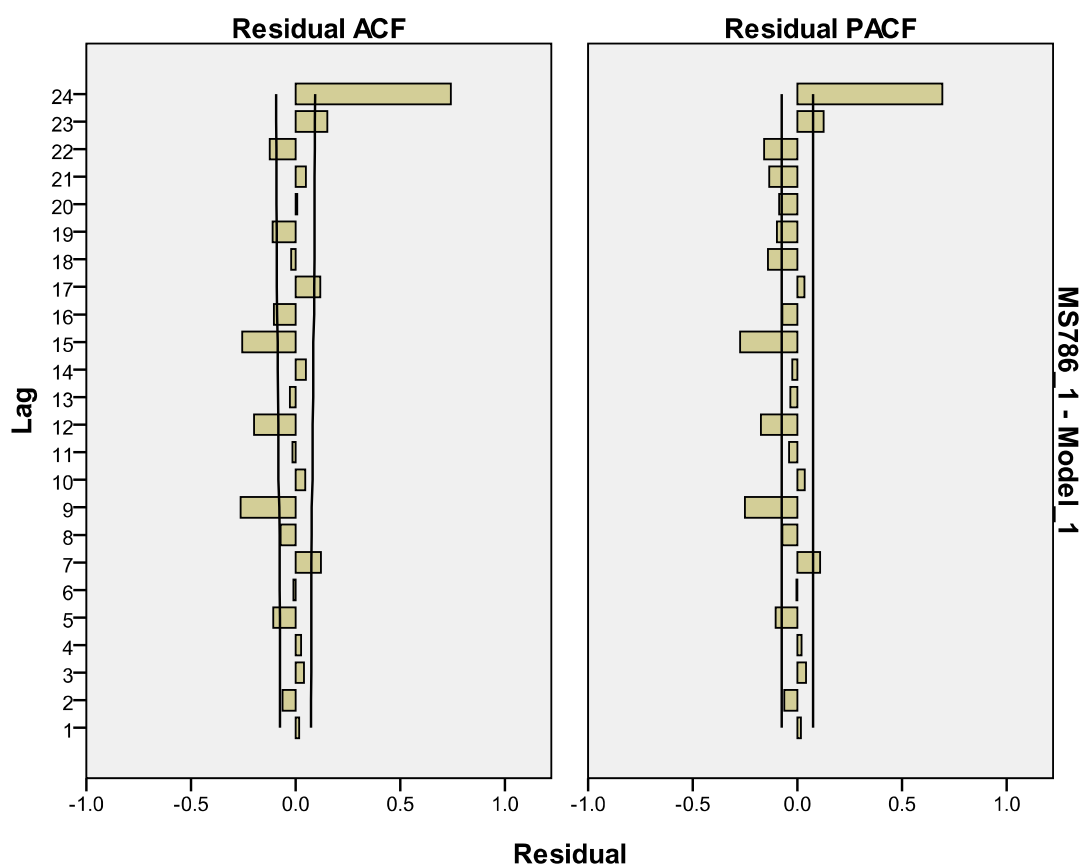
Σχήμα 6.2: Σύγκριση πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών του μοντέλου

Από τις μικρές τιμές στους πίνακες των αυτοσυσχετίσεων και μερικών αυτοσυσχετίσεων (πίν.6.2) που ακολουθούν φαίνεται ότι δεν υπάρχει γενικότερο πρόβλημα αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από το γράφημα αυτοσυσχετίσεων που ακολουθεί (σχ. 6.3).

Residual ACF		
Model	MS786-Model_1	
	ACF	SE
1	.016	.038
2	-.062	.038
3	.040	.038
4	.026	.038
5	-.107	.038
6	-.010	.039
7	.121	.039
8	-.071	.039
9	-.263	.039
10	.046	.042
11	-.015	.042
12	-.198	.042
13	-.027	.043
14	.049	.043
15	-.255	.043
16	-.104	.045
17	.117	.046
18	-.021	.046
19	-.110	.046
20	.007	.047
21	.050	.047
22	-.124	.047
23	.151	.047
24	.743	.048

Residual PACF		
Model	MS786-Model_1	
	PACF	SE
1	.016	.038
2	-.063	.038
3	.042	.038
4	.020	.038
5	-.104	.038
6	-.005	.038
7	.109	.038
8	-.071	.038
9	-.251	.038
10	.035	.038
11	-.040	.038
12	-.174	.038
13	-.034	.038
14	-.024	.038
15	-.273	.038
16	-.071	.038
17	.034	.038
18	-.140	.038
19	-.098	.038
20	-.087	.038
21	-.134	.038
22	-.158	.038
23	.126	.038
24	.692	.038

Πίνακας 6.2: Πίνακας αυτοσυσχετίσεων



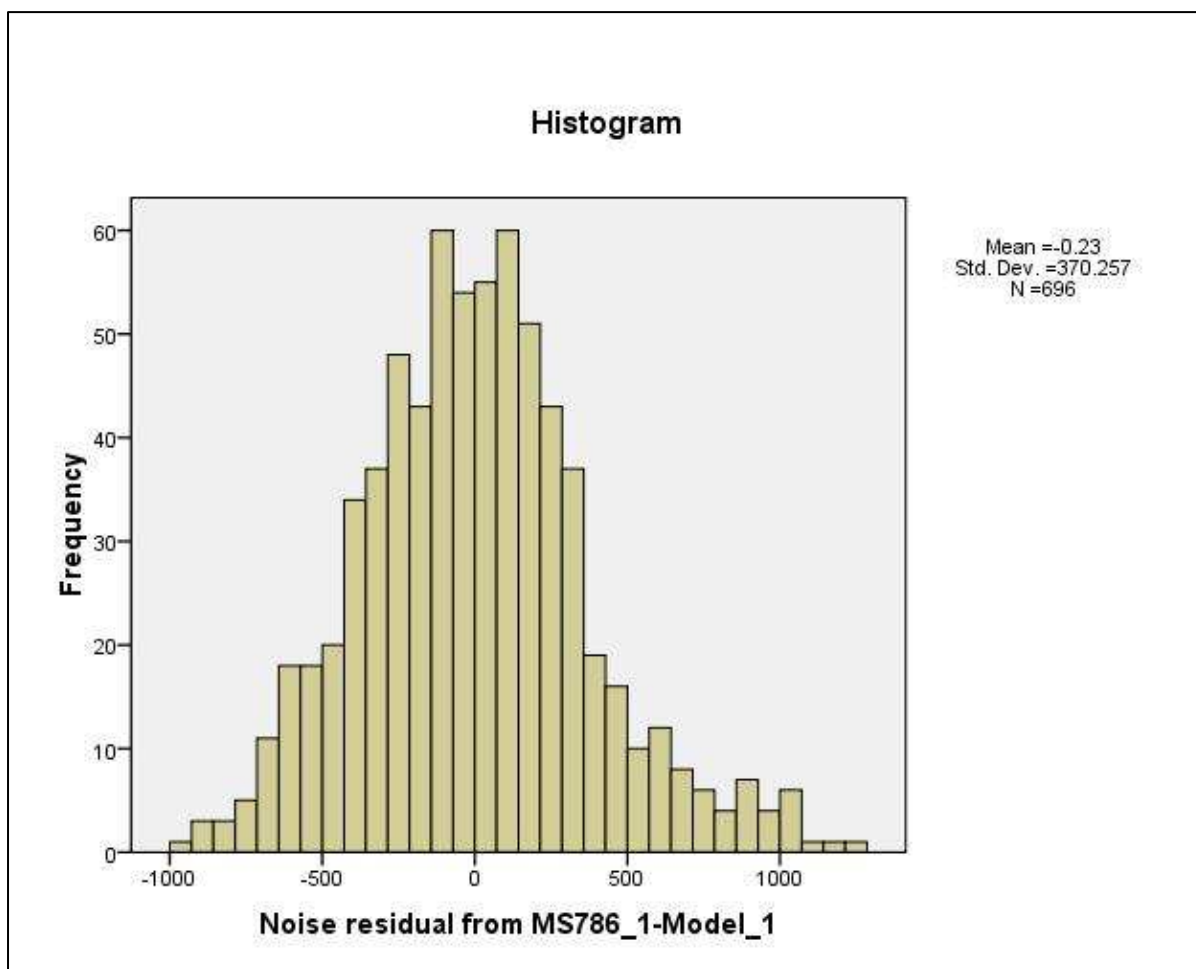
Σχήμα 6.3: Γράφημα αυτοσυσχετίσεων

Ο έλεγχος κανονικότητας των καταλοίπων φαίνεται και από τους παρακάτω ελέγχους (πιν. 6.3) από τον οποίο προκύπτει ότι δεν απορρίπτεται η υπόθεση της κανονικότητας των καταλοίπων, αφού και για τους δυο ελέγχους που εμφανίζονται τα $p\text{-value} > \alpha = 0.05$.

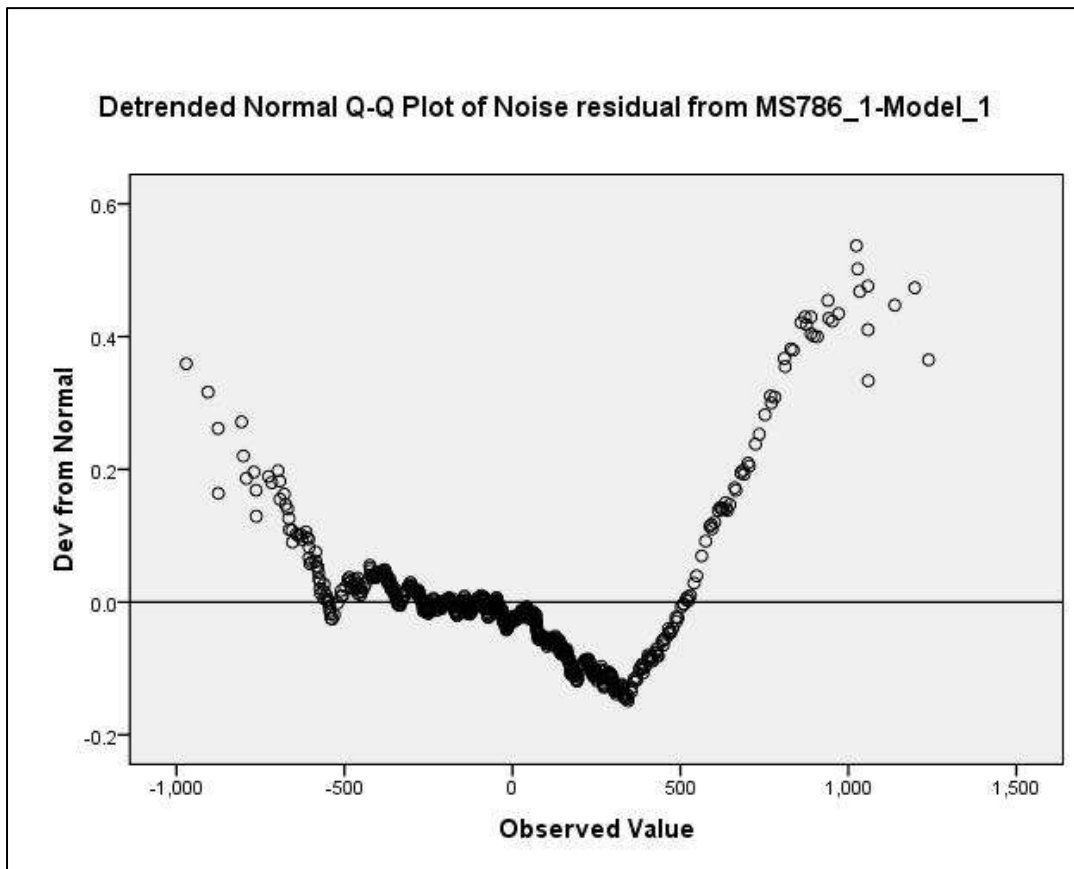
Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Noise residual from MS786_1-Model_1	.041	696	.007	.988	696	.000
a. Lilliefors Significance Correction						

Πίνακας 6.3: Πίνακας ελέγχου κανονικότητας καταλοίπων

Στη συνέχεια ακολουθούν το ιστόγραμμα (σχήμα 6.4) και ένα Q-Q plot των καταλοίπων (σχ. 6.5) τα οποία επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των ελέγχων.

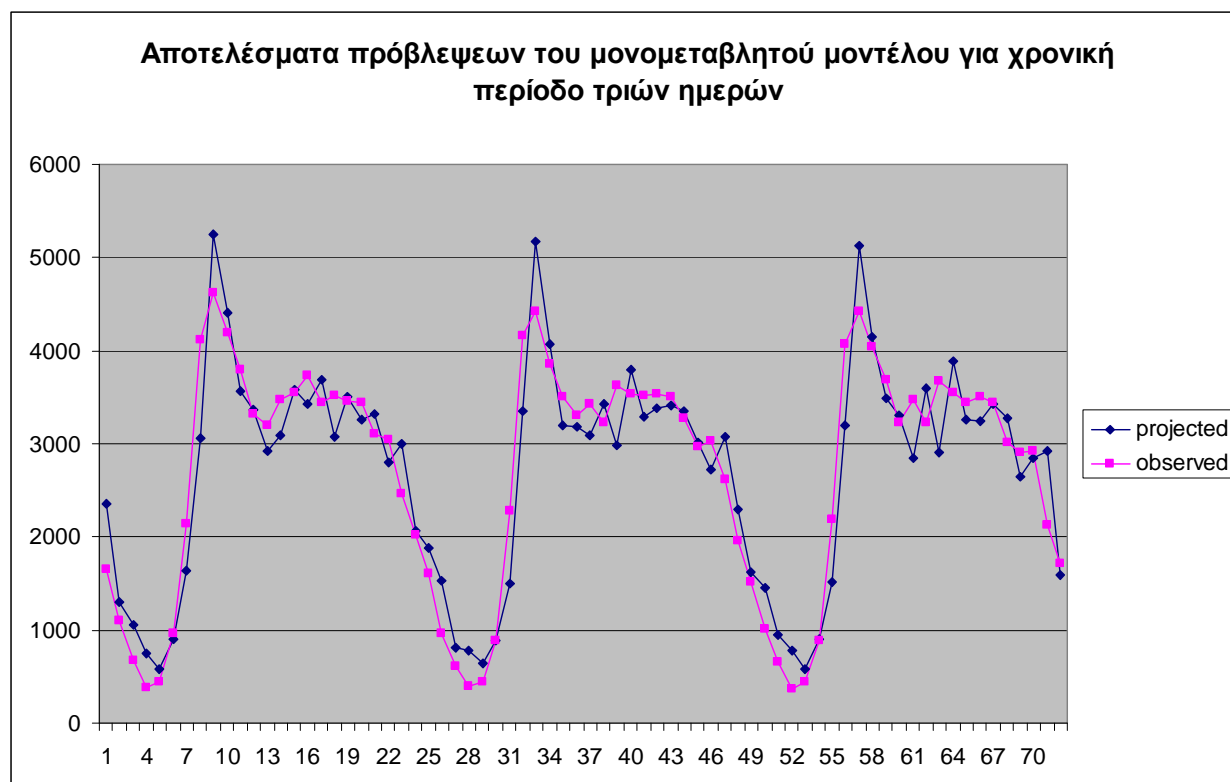


Σχήμα 6.4: Ιστόγραμμα κατανομής καταλοίπων του μονομεταβλητού μοντέλου



Σχήμα 6.5: Q-Q plot των καταλοίπων του μονομεταβλητού μοντέλου

Η σύγκριση των τιμών που μετρήθηκαν με αυτές που προβλέφθηκαν παρουσιάζονται παραστατικά στο σχήμα 6.6 για τις τρεις τελευταίες ημέρες της περιόδου που εξετάζεται έτσι ώστε να φανούν τα προβλήματα που υπάρχουν στην προσαρμογή του μοντέλου ιδιαίτερα στις ακραίες τιμές.



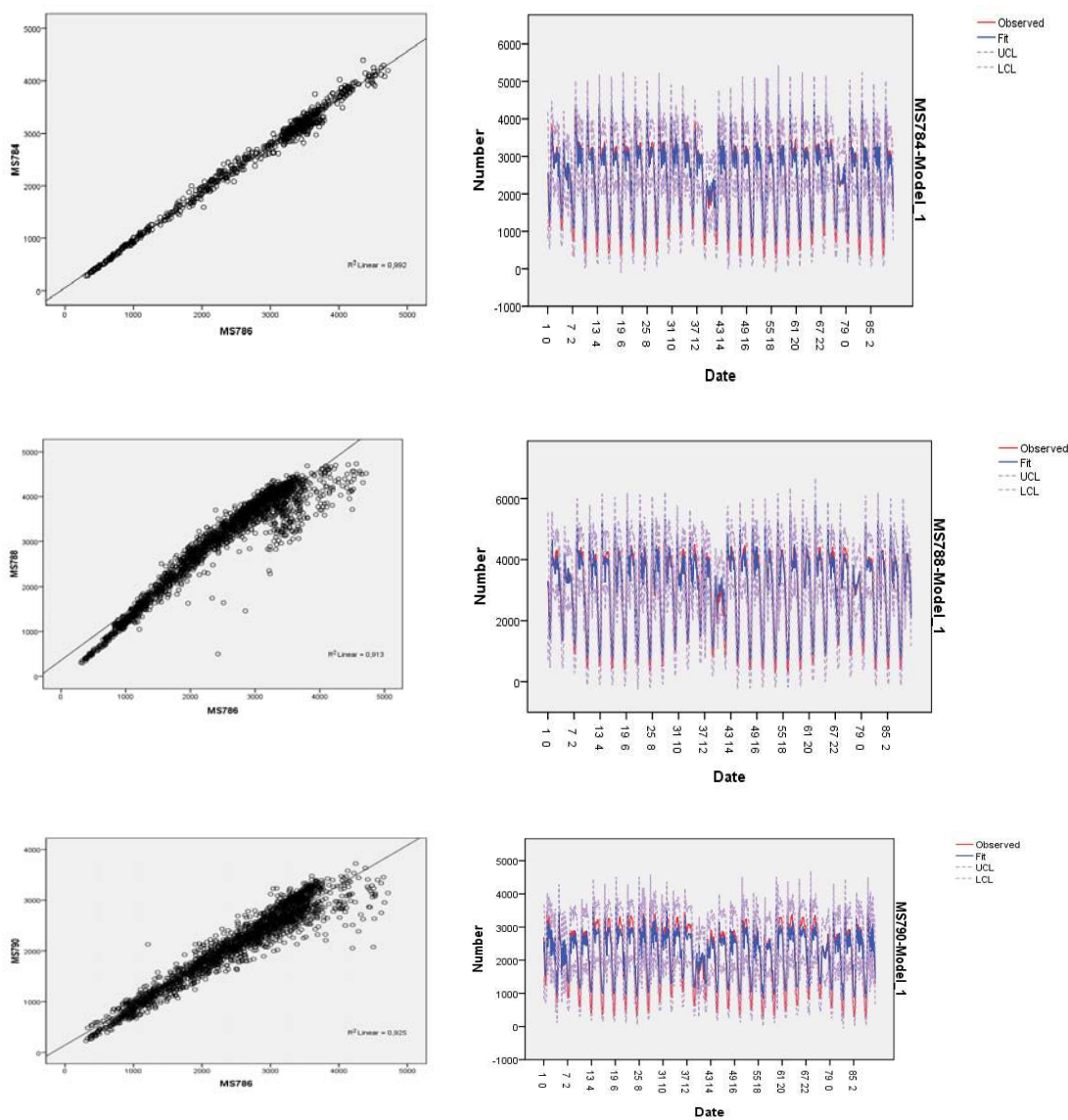
Σχήμα 6.6: Σύγκριση πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών του πολυμεταβλητού μοντέλου για συγκεκριμένη χρονική περίοδο

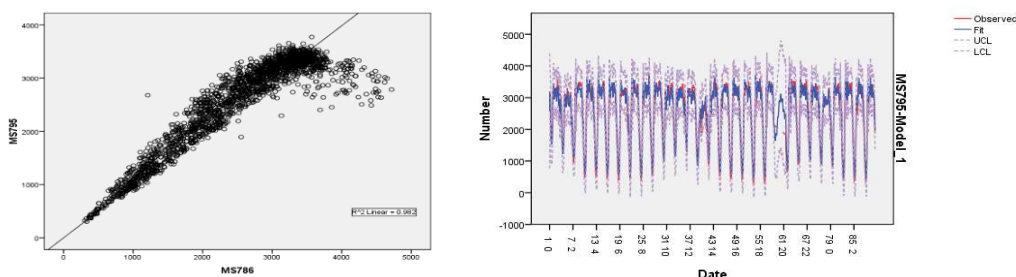
Θεωρώντας ότι παρά τα προβλήματα που φαίνεται να υπάρχουν κατά τις προβλέψεις θα μπορούσαν να δοθούν αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα, κρατώντας το μοντέλο του συγκεκριμένου μετρητή εξετάστηκε η περίπτωση να προκύψουν τα στοιχεία των υπόλοιπων διατομών της συστάδας από τα γραμμικά μοντέλα που περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα και απεικονίζονται στην εικόνα 7.

Μετρητής	Συντελεστής συσχέτισης	R^2
784	0,919	0,992
788	1,13	0,913
790	0,838	0,925
795	0,996	0,982

Πίνακας 6.4: Συντελεστές γραμμικής συσχέτισης των υπόλοιπων σημείων της συστάδας με τη χρονοσειρά του μετρητή 786

Αντίστοιχα για τον έλεγχο της καταλληλότητας των παραπάνω μοντέλων ελέγχθηκε γραφικά (σχήμα 6.7) η προσαρμογή των μοντέλων στα αρχικά δεδομένα, η ομοσκεδαστικότητα και η κανονικότητα των καταλοίπων τους.





Σχήμα 6.7: Γραφική απεικόνιση των μέτρων καταλληλότητας των γραμμικών μοντέλων

6.2.3 Δημιουργία και έλεγχος Πολυμεταβλητών Μοντέλων

Η δημιουργία μοντέλων με περισσότερα από μια μεταβλητές, είναι δεδομένο ότι θα βελτιώσει την προσαρμοστικότητα των μοντέλων χρονοσειρών και θα δώσει πολύ πιο έγκυρες προβλέψεις. Στην περίπτωση αυτή, για κάθε συστάδα θα πρέπει να υπάρχουν δεδομένα από περισσότερες των μία θέσεων μέτρησης οπότε έχουμε λιγότερη εξοικονόμηση πόρων αλλά μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία προβλέψεων.

Η ταυτόχρονη χρήση των προτεινόμενων μικτών μοντέλων (ARMA) με τις μεταβλητές που ανήκουν στο clustering έδωσε συντελεστές προσαρμογής των μοντέλων σε επίπεδα του 98%. Αναλυτικά οι συγκριτικοί δείκτες αξιολόγησης των χώρο – χρονικών πολυμεταβλητών μοντέλων παρατίθενται στο ακόλουθο πίνακα 6.5.

Μετρητής	Προτεινόμενο Μοντέλο	Μέτρα Αξιολόγησης του μοντέλου				
		R ²	Stationary R ²	MAE	MAPE	Normalized BIC
784	MA(3)+f(786,788)	0,994	0,994	58,8	2,5	8,8
786	AR(3)+f(784,788)	0,995	0,995	60,8	2,4	8,8
788	ARMA(3,2)+f(786,784)	0,964	0,964	181,5	7,4	11,02
790	MA(2)+f(784,786)	0,966	0,966	124,8	6,35	10,34
795	ARMA(4,4)+f(784,786,788)	0,963	0,963	133,9	6,28	10,47

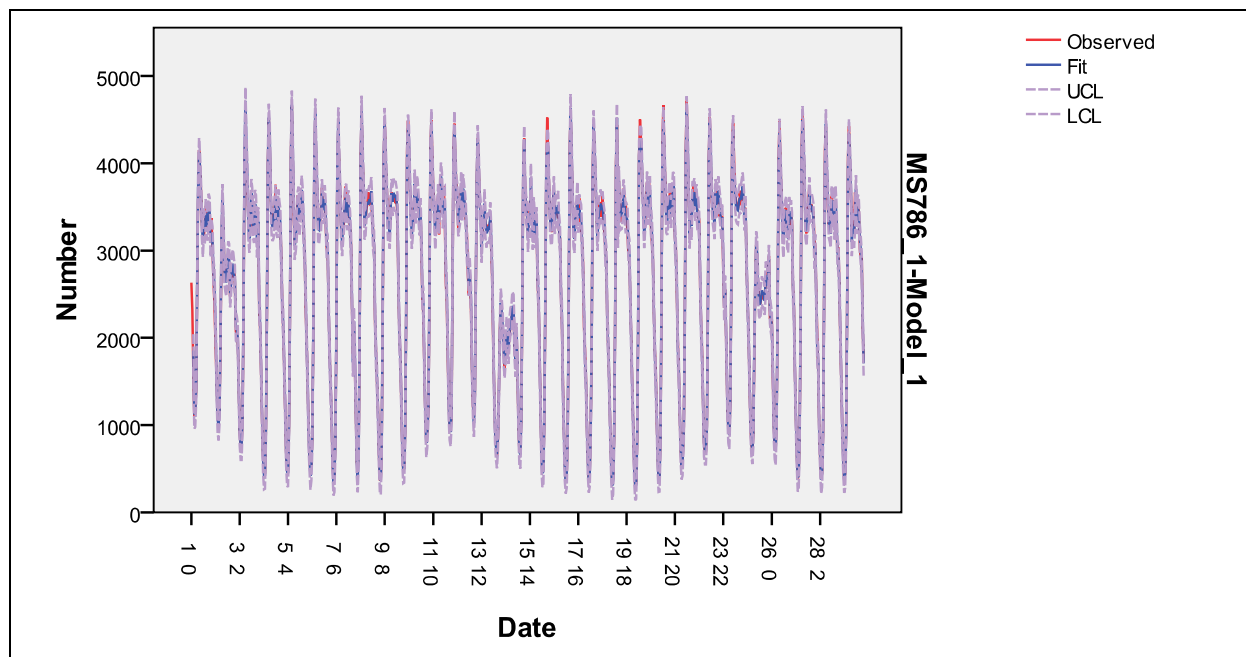
Πίνακας 6.5: Κριτήρια αξιολόγησης των χώρο – χρονικών πολυμεταβλητών μοντέλων χρονοσειρών

Όπως φαίνεται και πάλι ξεχωρίζουν τα μοντέλα που προκύπτουν από το συνδυασμό των σημείων 786 με 784 και 788 καθώς και 795 με 784,786 και 788.

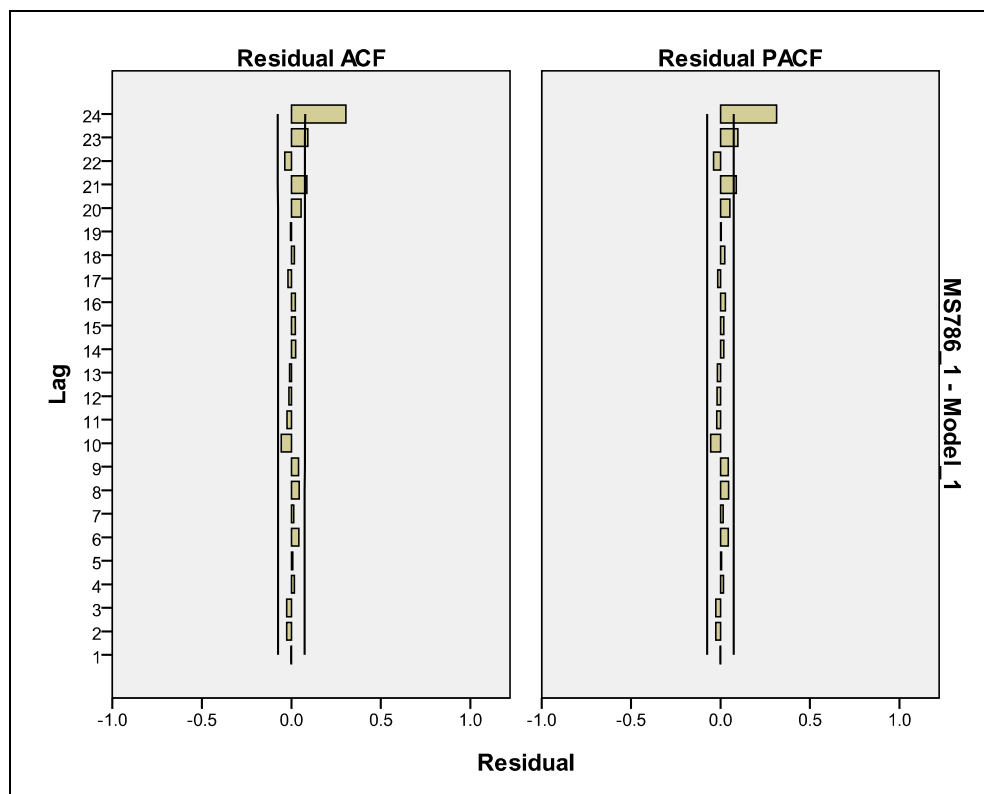
Επιλέγοντας και πάλι το μοντέλο που έχει ως ανεξάρτητη μεταβλητή τη χρονοσειρά του σημείου 786, παρουσιάζονται παρακάτω ο πίνακας προσαρμογής (πιν 6.6) και το διάγραμμα sequence plot (σχ.6.8) όπου φαίνεται πολύ καλή προσαρμογή του μοντέλου ενώ συγχρόνως από το διάγραμμα αυτοσυσχετίσεων (σχ.6.9) φαίνεται ότι δεν υπάρχει πρόβλημα αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων.

Model Fit											
Fit Statistic	Mean	SE	Minimum	Maximum	Percentile						
					5	10	25	50	75	90	95
Stationary	.995	.	.995	.995	.995	.995	.995	.995	.995	.995	.995
R-squared											
R-squared	.995	.	.995	.995	.995	.995	.995	.995	.995	.995	.995
RMSE	81.859	.	81.859	81.859	81.859	81.859	81.859	81.859	81.859	81.859	81.859
MAPE	2.445	.	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445
MaxAPE	18.697	.	18.697	18.697	18.697	18.697	18.697	18.697	18.697	18.697	18.697
MAE	60.850	.	60.850	60.850	60.850	60.850	60.850	60.850	60.850	60.850	60.850
MaxAE	354.300	.	354.300	354.300	354.300	354.300	354.300	354.300	354.300	354.300	354.300
Normalized BIC	8.895	.	8.895	8.895	8.895	8.895	8.895	8.895	8.895	8.895	8.895

Πίνακας 6.6: Πίνακας προσαρμογής του πολυμεταβλητού μοντέλου χρονοσειρών με (ανεξάρτητη μεταβλητή το σημείο 786)



Σχήμα 6.8: Σύγκριση πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών του πολυμεταβλητού μοντέλου



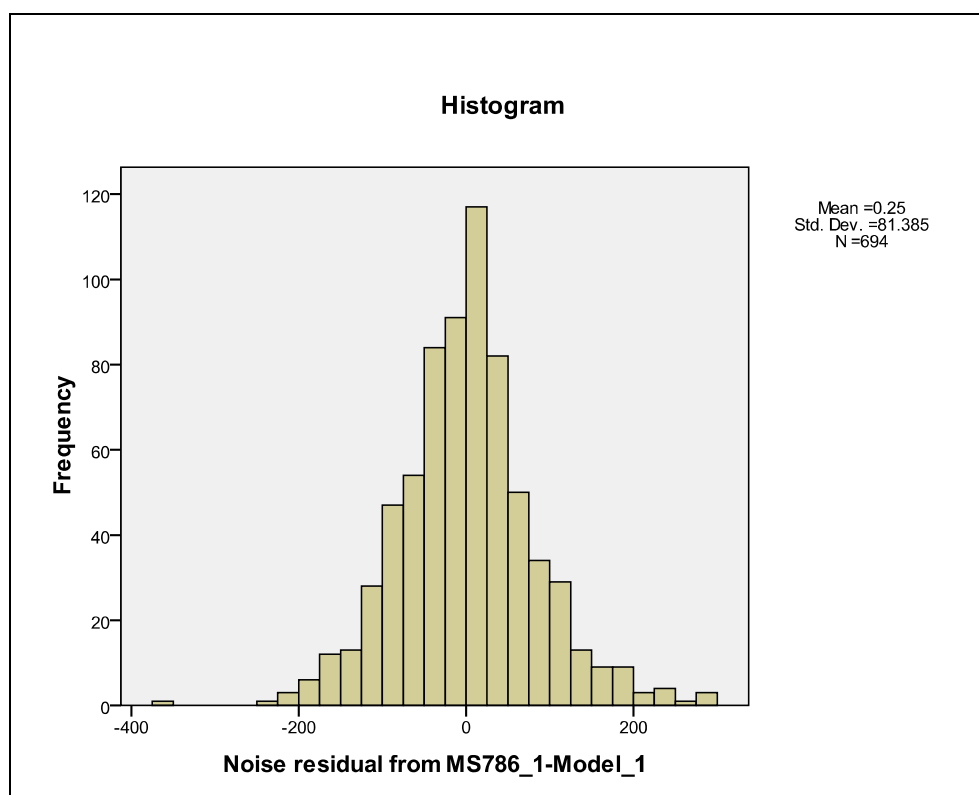
Σχήμα 6.9: Γράφημα αυτοσυσχετίσεων του πολυμεταβλητού μοντέλου

Ο έλεγχος κανονικότητας των καταλοίπων φαίνεται και από τους παρακάτω ελέγχους (πιν. 6.7) από τον οποίο προκύπτει ότι δεν απορρίπτεται η υπόθεση της κανονικότητας των καταλοίπων, αφού και για τους δυο ελέγχους που εμφανίζονται τα $p\text{-value} > \alpha = 0.05$.

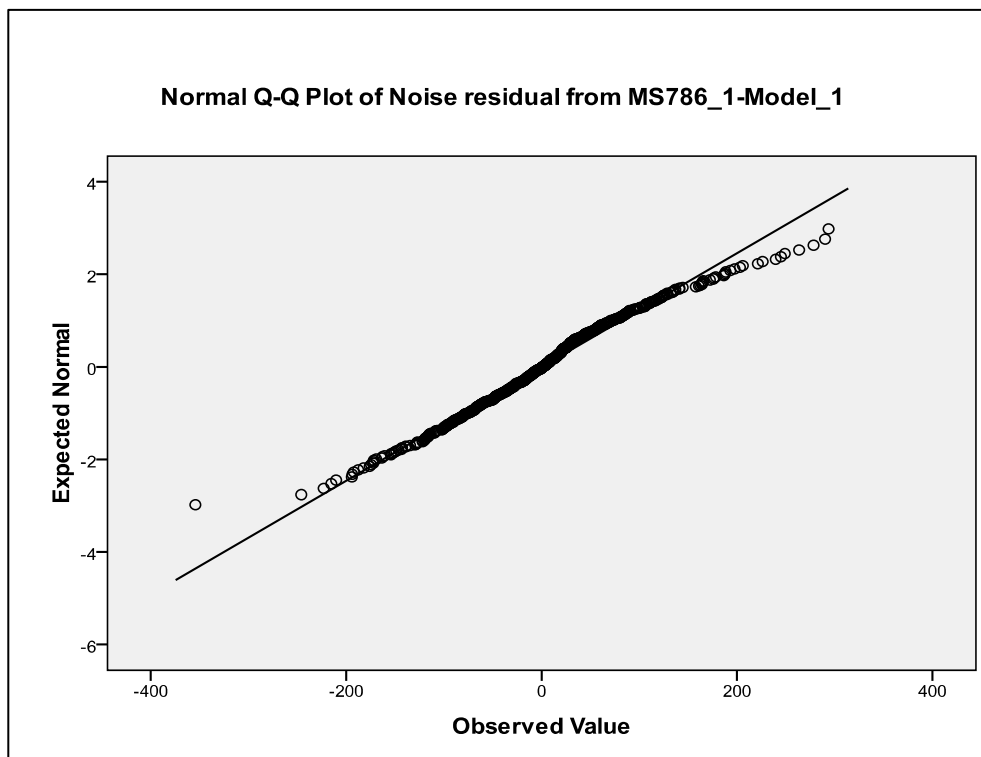
Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Noise residual from MS786_1-Model_1	.063	694	.000	.985	694	.000
a. Lilliefors Significance Correction						

Πίνακας 6.7: Πίνακας ελέγχου κανονικότητας καταλοίπων

Στη συνέχεια ακολουθούν το ιστόγραμμα (σχήμα 6.10) και ένα Q-Q plot των καταλοίπων (σχ. 6.11) τα οποία επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των ελέγχων.



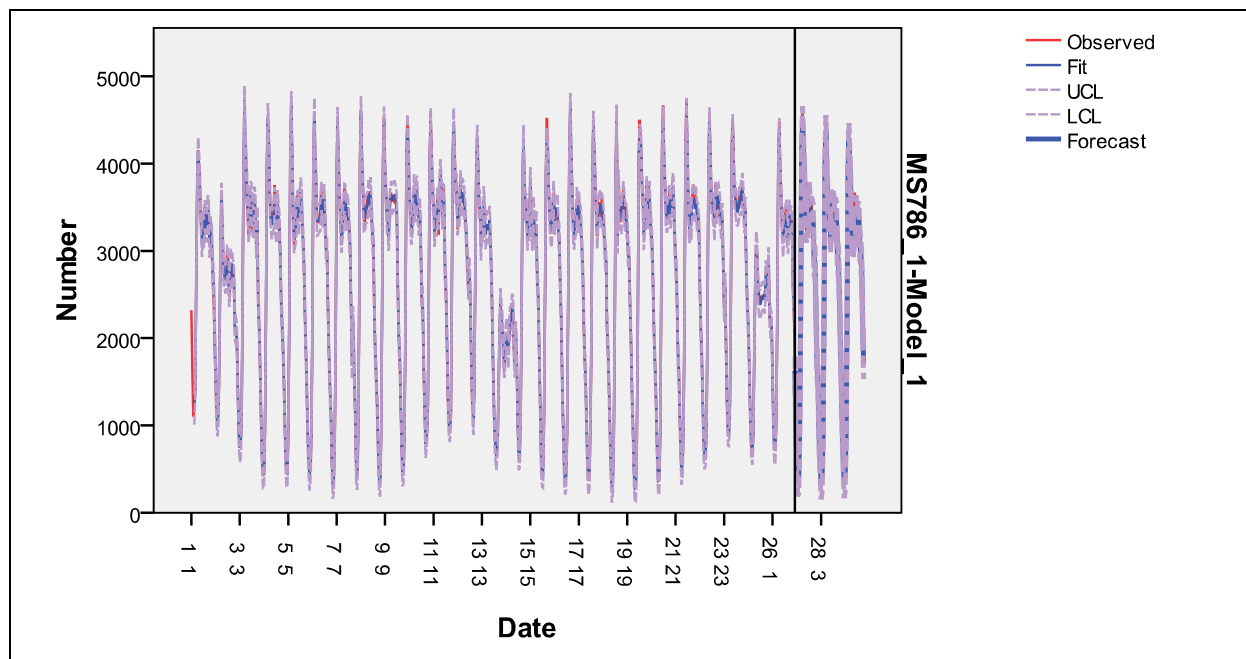
Σχήμα 6.10: Ιστόγραμμα κατανομής καταλοίπων του πολυμεταβλητού μοντέλου



Σχήμα 6.11: Q-Q plot των καταλοίπων του πολυμεταβλητού μοντέλου

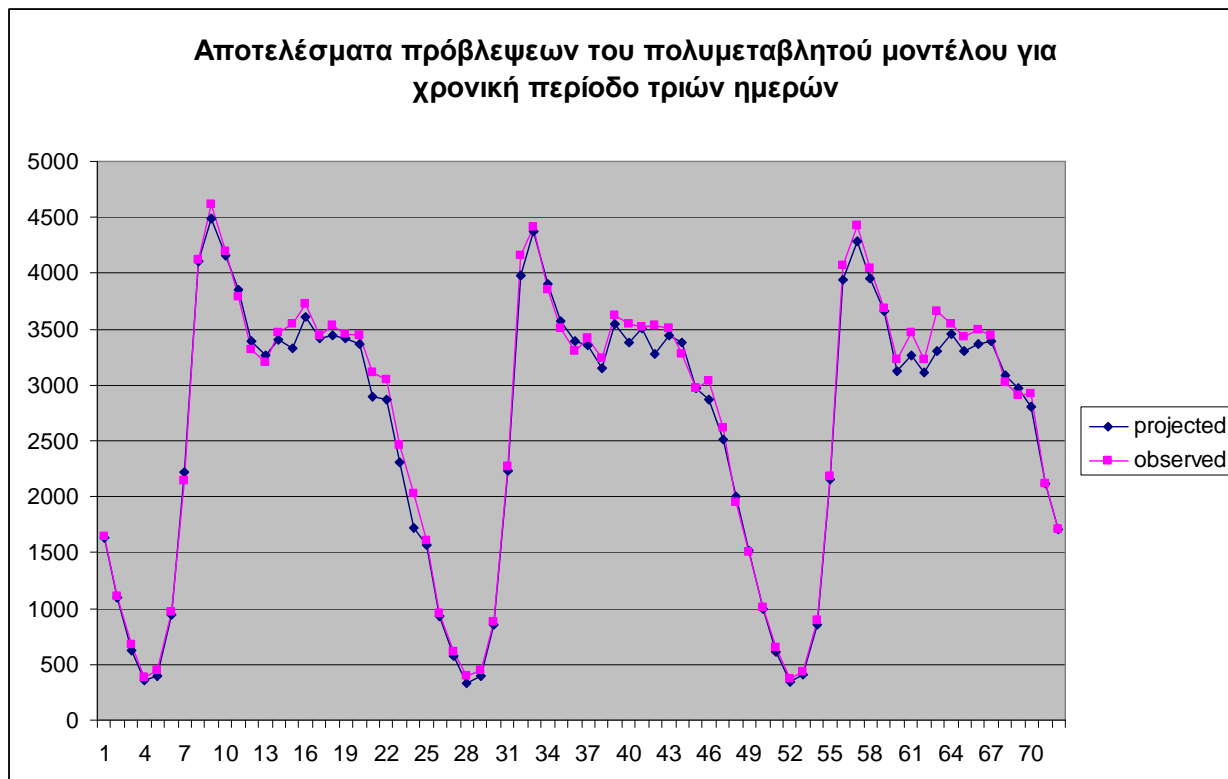
Ένας άλλος έλεγχος της καταλληλότητας του προβλεπτικού μοντέλου που πραγματοποιήθηκε ήταν με διαχωρισμό των δεδομένων στη χρονική στιγμή των 26 από τις 29 ημέρες των παρατηρήσεων και η χρήση του μοντέλου για την εκτίμηση των τιμών για τις υπόλοιπες ημέρες και ώρες.

Η σύγκριση των τιμών που μετρήθηκαν με αυτές που προβλέφθηκαν παρουσιάζονται παραστατικά στο σχήμα 6.12 που ακολουθεί και αφορά σε όλη τη χρονική περίοδο των παρατηρήσεων.



Σχήμα 6.12: Σύγκριση πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών του πολυμεταβλητού μοντέλου και προσαρμογή των τιμών της προβλεπόμενης περιόδου

Στο σχήμα 6.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσαρμογής του μοντέλου μόνο για την περίοδο των προβλέψεων του μοντέλου δηλαδή για τις ημέρες 27-29 και για κάθε ώρα. Όπως φαίνεται υπάρχει πλήρης ταύτιση των μετρηθέντων τιμών και των προβλεπόμενων από το μοντέλο με μια μικρή απόκλιση σε συγκεκριμένες κορυφές της καμπύλης.



Σχήμα 6.13: Προσαρμογή των τιμών του μοντέλου μόνο για την περίοδο πρόβλεψης.

Όπως φαίνεται και από τους τελευταίους ελέγχους τα πολυμεταβλητά μοντέλα θα μπορούσαν αξιόπιστα και με μεγάλη ακρίβεια να προβλέψουν της τιμές των ωριαίων φόρτων με δεδομένα τις χρονοσειρές μιας ή περισσότερων θέσεων καταγραφής φόρτου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ανάγκες σε δεδομένα των ερευνητών και μελετητών του οδικού μεταφορικού συστήματος αλλά και της λειτουργίας των νέων τεχνολογιών για την εύρεση βέλτιστης διαδρομής κατά τις αστικές μετακινήσεις με Ι.Χ. αυτοκίνητο, είναι μεγάλες. Οι υποδομές παρακολούθησης του οδικού δικτύου σε μεγάλα αστικά κέντρα φαίνεται να μπορούν να καλύψουν αρκετές από τις ανάγκες αυτές, χωρίς όμως να είναι εύκολη η διαδικασία λειτουργίας και ελέγχου των υποδομών αυτών αλλά και των τελικών στοιχείων που δίνουν προς το ευρύ κοινό. Το οικονομικό κόστος όλης της διαδικασίας (αγορά – εγκατάσταση – συντήρηση - εκμετάλλευση) συγκέντρωσης των απαραίτητων στοιχείων είναι αρκετά μεγάλο και κατά συνέπεια η παροχή των στοιχείων προς τρίτους έχει αντίστοιχα υψηλή τιμή.

Η ανάγκη λοιπόν για την εύρεση μιας μεθοδολογίας σύμφωνα με την οποία θα μπορεί η συστηματική καταγραφή συγκεκριμένων κυκλοφοριακών στοιχείων ενός σημείου του οδικού δικτύου να παράγει αντίστοιχα δεδομένα για άλλα σημεία κρίνεται σχεδόν επιτακτική και θα προσδώσει μεγάλο όφελος τόσο στην οικονομία πόρων όσο και στην βελτιστοποίηση της χωροθέτησης των υποδομών παρακολούθησης αλλά και του ποσοστού του οδικού δικτύου το οποίο θα μπορεί να παρακολουθεί ένα κέντρο ελέγχου.

Για την επίτευξη των παραπάνω, στα πλαίσια της εργασίας αυτής προτείνεται η συνδυαστική εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων της πολυμεταβλητής ανάλυσης κατά συστάδες και της ανάλυσης χρονοσειρών. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων επιβεβαιώνεται αφενός από τους υψηλούς συντελεστές συσχέτισης των μετρητών που ανήκουν σε κοινή συστάδα και από τις πολύ καλές τιμές συντελεστών προσδιορισμού και αφετέρου από τις υψηλές τιμές συντελεστών προσδιορισμού των χώρο – χρονικών μοντέλων για τους μετρητές των συστάδων.

Τα μοντέλα που της παρούσας εργασίας βασίστηκαν σε κυκλοφοριακά δεδομένα ωριαίου φόρτου από συγκεκριμένα σημεία των οδικών αξόνων που διαχειρίζεται το Κέντρο Ελέγχου του ΥΠΕΧΩΔΕ και θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω ανάλυση όλων των υπολοίπων αξόνων της Αθήνας ώστε να προταθεί ο ελάχιστος αριθμός θέσεων καταγραφής φόρτου για να επιτευχθεί πλήρης αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών της πόλης.

Τα βασικά συμπεράσματα από τη διαδικασία εφαρμογής των μεθοδολογιών διαχωρισμού των δεδομένων σε συστάδες και δημιουργία μοντέλων χρονοσειρών για την πρόβλεψη των κυκλοφοριακών στοιχείων μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Τα κυκλοφοριακά στοιχεία που συλλέγονται από τις υποδομές ενός κέντρου διαχείρισης της κυκλοφορίας παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα τα οποία καθιστούν την οποιαδήποτε διαδικασία εμπλοκής του σε μαθηματικά μοντέλα «επικίνδυνη» αν πρώτα δεν πραγματοποιηθεί σε αυτά λογικός έλεγχος, καθαρισμός των ακραίων τιμών και σφαλμάτων καθώς και αντικατάσταση των ελλιπών δεδομένων βάσει συγκεκριμένης στατιστικά διαδικασίας.
- Τα κυκλοφοριακά δεδομένα διαφορετικών διατομών- για την παρούσα εργασία οι κυκλοφοριακοί φόρτοι- σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζουν μεταξύ τους κοινά χαρακτηριστικά (τάση, εποχικότητα κ.α.) και μπορούν αν ομαδοποιηθούν σε μεγάλες συστάδες (clusters) και να εξεταστούν ως αυτοσυσχετιζόμενα.
- Η συσχέτιση της χρονοσειράς των στοιχείων μιας συστάδας αποτελεί το πρώτο βήμα για τη δημιουργία κατάλληλων μοντέλων με τα οποία μπορεί να υπολογιστούν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι ενός σημείου μέσα από την ίδια του τη χρονοσειρά (με χρονική στέρηση μίας ώρα ή και μίας εβδομάδας ή ενός μήνα) καθώς επίσης και σε συνδυασμό της δικής του χρονοσειράς αλλά και των χρονοσειρών των σημείων που αποτελούν την ίδια συστάδα.
- Όταν ένα σημείο προβλέπει τα στοιχεία του με μια χρονική υστέρηση, υπάρχει η δυνατότητα μέσα από απλά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης ή άλλου τύπου, να υπολογιστούν και τα στοιχεία των άλλων σημείων της ίδιας συστάδας. Η συγκεκριμένη εργασία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα μοντέλα αυτά δεν μπορούν να έχουν πολύ καλή προσαρμογή για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Αντίθετα, στην περίπτωση των πολυμεταβλητών μοντέλων όπου στοιχεία των χρονοσειρών πολλών σημείων μίας συστάδας συνεργάζονται για τη δημιουργία προβλέψεων, τότε τα αποτελέσματα δείχνουν μεγάλη ακρίβεια στα προβλεπόμενα στοιχεία που αγγίζει την τέλεια προσαρμογή.
- Η εφαρμογή μοντέλων χρονοσειρών στα κυκλοφοριακά δεδομένα έχει ένα ευρύ πεδίο διερεύνησης και αξιοποίησης έτσι ώστε να μπορεί να επανεκκτημηθούν τα σημεία

τοποθέτησης του εξοπλισμού ελέγχου της κυκλοφορίας αλλά και ο τρόπος που σήμερα λειτουργούν οι συσκευές και τα μοντέλα πλοήγησης.

- Η δυνατότητα πρόβλεψης του κυκλοφοριακού προφίλ ενός δικτύου μέσα στις επόμενες ώρες ή ημέρες χρησιμοποιώντας τα δυναμικά στοιχεία που συλλέγει ένα κέντρο διαχείρισης της κυκλοφορίας μπορεί να δώσει στον μετακινούμενο την βέλτιστη διαδρομή όχι για τη χρονική στιγμή που επιλέγει αυτός να δηλώσει τη μετακίνηση του αλλά για τη μελλοντική χρονική στιγμή στην οποία θα βρίσκεται σε κάθε τμήμα της διαδρομής του.

Τα παραπάνω συμπεράσματα μπορούν να αποτελέσουν τη βάση περαιτέρω διερεύνησης για τη βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας που σε πολύ αρχικό στάδιο παρουσιάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chris Chatfield, The Analysis of Time Series, An Introduction, sixth edition, 2009.
2. Stathopoulos, A., Karlaftis, G.M., 2003. A multivariate statespace approach for urban traffic flow modeling and prediction. In: 81th Annual Transportation Research Board Meeting, Transportation Research Part C, 11(2), 121–135.
3. Καμαριανάκης Ι., Πραστάκος Π., 2002, Περιγραφή και Πρόβλεψη της Κυκλοφοριακής Ροής μέσω Δυναμικών Γραμμικών Μοντέλων και Μοντέλων Χώρου – Χρόνου, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Hellas GI.
4. Stathopoulos, A. and Karlaftis, G.M., 2002, A multivariate state-space approach for urban traffic flow modeling and prediction. 81th Annual Transportation Research Board Meeting.
5. Van Lint, J.W.C. and Hoogendoorn, S.P., 2002, Freeway travel time prediction with state-space neural networks. 81th Annual Transportation Research Board Meeting.
6. Rice, J. and van Zwet E. 2001, A simple and effective method for predicting travel times on freeways. IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings.
7. Rice, J., van Zwet, E., 2001. A simple and effective method for predicting travel times on freeways. Proceedings of fourth International Conference IEEE Intelligent Transportation Systems, Oakland, CA.
8. Kotsialos, A. and Papageorgiou M. 2001, The importance of traffic flow modeling for motorway traffic control. Networks and Spatial Economics 1, 179-203.
9. Stathopoulos, A. and Karlaftis, G.M., 2001, Spectral and Cross-Spectral Analysis of Urban Traffic Flows. 4th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems.
10. Ε. Μπόρα- Σέντα, Χ. Μωυσιάδης, Εφαρμοσμένη Στατιστική, Πολλαπλή Παλινδρόμηση, Ανάλυση Διασποράς, Χρονοσειρές, Θεσσαλονίκη, 1997.
11. Whittaker, J., Garside, S., Lindveld, K. 1997, Tracking and predicting a network traffic process. International Journal of Forecasting 13, 51-61.

12. Williams, B.M., Durvasula, P.K., Brown, D.E., 1997. Urban freeway travel prediction: application of seasonal ARIMA and exponential smoothing models. 77th Annual Transportation Research Board Meeting. (a) Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1644, National Research Council, Washington, DC, pp. 132–141.
13. Lutkepohl, H., 1993. Introduction to Multiple Time Series Analysis. Springer, Berlin.
14. Davis, G.A. and Nihan, N.L. 1991, Nonparametric regression and short-term freeway traffic forecasting. ASCE Journal of Transportation Engineering 117(2), 168-178.
15. Papageorgiou, M., J. M. Blosseville, and H. Hadj-Salem (1990). Modelling and Real-Time Control of Traffic Flow on the Southern Part of the Boulevard Peripherique in Paris Part I: Modelling, Part II: Coordinated Ramp Metering. Transportation Research A, 24A, pp. 345-370
- Pfeifer, P.E., Deutsch, S.J., 1981a. Variance of the sample-time autocorrelation function of contemporaneously correlated variables. SIAM Journal of Applied Mathematics, Series A, 40 (1), 133–136.
16. Pfeifer, P.E., Deutsch, S.J., 1980a. A three-stage iterative procedure for space–time modeling. Technometrics 22 (1), 35–47.
17. Pfeifer, P.E., Deutsch, S.J., 1981b. Seasonal space–time ARIMA modeling. Geographical Analysis 13 (2), 117–133.
18. Pfeifer, P.E., Deutsch, S.J., 1981c. Space–time ARMA modeling with contemporaneously correlated innovations. Technometrics 23 (4), 401–409.