



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

# ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΚΑΒ: ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΑΛΙΟ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΤΡΟΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

---

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία  
υπό

**ΑΝΑΣΤΑΣΑΣΙΟΥ-ΤΑΞΙΑΡΧΗ ΚΟΥΤΣΙΟΥΚΗ**

**ΑΝΝΑΣ – ΕΙΡΗΝΗΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ**

**ΣΤΑΜΑΤΙΟΥ ΣΦΥΡΗ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, Ιούνιος 2018

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

**Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)** Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

**Δεύτερος Εξεταστής** Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

**Τρίτος Εξεταστής** Δρ. Δημήτριος Παντελής  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον κ. Αθανάσιο Ζηλιασκόπουλο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με το αντικείμενο της επιχειρησιακής έρευνας καθώς και τον κ. Αθανάσιο Λόη γιατί χωρίς την καθοδήγηση του δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μας.

Επίσης, ευχαριστούμε και τα υπόλοιπα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μας, κ. Γιώργο Λυμπερόπουλο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, και κ. Δημήτρη Παντελή, Αναπληρωτή Καθηγητή του ίδιου τμήματος, για τον χρόνο που αφιέρωσαν για την ανάγνωση της εργασίας μας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε και να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στις οικογένειες μας για τη στήριξη, υλική και ηθική, που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Αναστάσιος Κουτσιούκης  
Άννα Παπαγεωργίου  
Σταμάτιος Σφυρής

# ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΚΑΒ: ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΑΛΙΟ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΤΡΟΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ-ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ ΚΟΥΤΣΙΟΥΚΗΣ

ANNA-ΕΙΡΗΝΗ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ ΣΦΥΡΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος

Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διεξάγεται μια μελέτη πάνω στις επιχειρήσεις των ασθενοφόρων. Τονίζεται η σημασία του χρόνου μεταξύ της κλήσης στο κέντρο και της άφιξης του οχήματος στον χώρο του περιστατικού και αναζητούνται λύσεις να βελτιωθεί. Γίνεται μία ανασκόπηση στην υπάρχουσα έρευνα πάνω στο θέμα και μία αναφορά στις μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από το ΕΚΑΒ Θεσσαλίας και περιείχαν καταγραφές για τις τρεις περιόδους με την μεγαλύτερη ζήτηση. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται αρχικά ως ένα πρόβλημα δρομολόγησης όπου ως αποθήκη θεωρείται το νοσοκομείο και αναζητείται ο μικρότερος αριθμός οχημάτων που μπορούν να ανταπεξέλθουν στην ζήτηση. Χωρίζοντας την πόλη της Λάρισας σε έξι clusters και λύνοντας ένα πρόβλημα center προτείνεται η τοποθεσία για την στάθμευση του οχήματος. Εξετάζεται η συσχέτιση ειδικοτήτων που χρειάζονται και βάρδιας και γίνονται προβλέψεις ώστε να είναι καλύτερο προετοιμασμένο το σύστημα.

**Λέξεις κλειδιά:** ασθενοφόρα, πρόβλημα δρομολόγησης, πρόβλημα τοποθέτησης εγκατάστασης, συσταδοποίηση, πρόβλεψη.

# **EKAB SERVICES: A STUDY ON TRANSITIONING FROM OLD TO NEWER OPTIMIZED WAYS OF OPERATING**

ANASTASIOS-TAXIARCHIS KOUTSIOUKIS

ANNA-EIRINI PAPAGEORGIU

STAMATIOS SFIRIS

University of Thessaly, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Dr. Athanasios Ziliaskopoulos

Professor, University of Thessaly, Department of Mechanical Engineering

## **Abstract**

The operations of the ambulance fleet are the main focus of this thesis. An important measure is outlined -the time between the call to the center and the arrival on scene. Efforts to optimize that time start by reviewing the existing extensive research on the matter and later mentioning the methodology that shall be used. The data collected for this, was obtained from the emergency service center (EKAB) in the city of Larissa, regarding the three busiest time frames. The issue is first solved as a routing problem, where the hospital counts as a single depot, thus seeking the minimum number of vehicles necessary to meet the demand. Separating the city in six clusters, and solving a facility location problem for each one, addresses the issue of efficiently locating the fleet. Research then moves on the correlation between need for medical specialties and daily shifts, before using forecasting methods aiming to better prepare the system.

**Key words:** ambulance, routing problem, facility location problem, clustering, forecast.

## ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Ακρωνύμιο	Πλήρες Όνομα
<b>AMEXCLP</b>	Adjusted Maximum Expected Covering Location Problem
<b>DARP</b>	Dial-a-Ride Problem
<b>DSM</b>	Double Standard Model
<b>EMS</b>	Emergency Medical Services
<b>GIS</b>	Geographic Information System
<b>LSCM</b>	Location Set Covering Model
<b>MALP</b>	Maximum Availability Location Problem
<b>MEXCLP</b>	Maximum Expected Covering Location Problem
<b>MCLP</b>	Maximal Covering Location Problem
<b>QPLSCP</b>	Queuing Probabilistic Location Set Covering Problem
<b>RT</b>	Response Time
<b>SPP</b>	Shortest Path Problem
<b>TIMEXCLP</b>	Time Maximum Expected Covering Location Problem
<b>TSP</b>	Travelling salesman problem
<b>USEMSA</b>	United States Emergency Medical Services Act
<b>VRP</b>	Vehicle Routing Problem
<b>AEE</b>	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο
<b>EKAB</b>	Εθνικό Κέντρο Άμεσης Βοήθειας
<b>EΠΙ</b>	Επείγουσα Προνοσοκομειακή Ιατρική
<b>E.T.I.K</b>	Ειδικό Τμήμα Ιατρικής των Καταστροφών
<b>KIM</b>	Κινητές Ιατρικές Μονάδες
<b>ΟΔΙΚ</b>	Ομάδα Διαχείρισης Κρίσης
<b>ΧΑΠ</b>	Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια

# Πίνακας περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1: Ορισμός Προβλήματος.....</b>	<b>1</b>
<b>Κεφάλαιο 2: Χωροθέτηση Ασθενοφόρων - ΕΚΑΒ.....</b>	<b>4</b>
2.1 Επείγουσα ιατρική υπηρεσία (EMS).....	4
2.2 Υπάρχοντα Μοντέλα Εύρεσης της Θέσης του Ασθενοφόρου .....	9
2.3 Οντότητες στην Λειτουργία των Ασθενοφόρων .....	16
2.4 Βήματα στη Λειτουργία των Ασθενοφόρων .....	18
2.5 Χρόνος Απόκρισης και ο Παράγοντας Τύχη στο Πρόβλημα .....	20
2.6 Εθνικό Κέντρο Άμεσης Βοήθειας (ΕΚΑΒ) .....	22
2.6.1 Διάρθρωση του ΕΚΑΒ.....	23
2.6.2 Δραστηριότητες – Υπηρεσίες και Μέσα.....	24
<b>Κεφάλαιο 3: Δεδομένα.....</b>	<b>27</b>
3.1 Η περιοχή Μελέτης - Λάρισα .....	27
3.1.1 Δημογραφικά Στοιχεία της Περιοχής.....	28
3.1.2 Διοικητική Δομή Δήμου Λαρισαίων.....	29
3.1.3 Η Ιστορία της Περιοχής.....	30
3.1.4 Μακεδονική και Ρωμαϊκή Περίοδος .....	31
3.1.5 Βυζαντινή Περίοδος.....	32
3.1.6 Οθωμανική Περίοδος .....	33
3.1.7 Σύγχρονη Ιστορία .....	33
3.1.8 Η Λάρισα Σήμερα.....	34
3.1.9 Το κλίμα της Περιοχής .....	34
3.2 Συλλογή Δεδομένων.....	35
3.3 Επεξεργασία δεδομένων – Εξαγωγή Συντεταγμένων .....	41
<b>Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογίες .....</b>	<b>44</b>
4.1 Δρομολόγηση .....	44
4.1.1 Η έννοια της Δρομολόγησης .....	44
4.1.2 Δημοφιλή Προβλήματα Δρομολόγησης.....	45
4.2 Συσταδοποίηση (Clustering) .....	52
4.2.1 Εφαρμογές της Συσταδοποίησης.....	53
4.2.2 Βήματα στη Διαδικασία Συσταδοποίησης .....	57
4.2.3 Διαδικασία Clustering .....	58
4.2.4 Μέτρα Ομοιότητας – Μέτρα Ανομοιότητας.....	61
4.2.5 Αναπαράσταση των clusters .....	64
4.3 Πρόβλημα Εγκατάστασης (Facility Location) .....	66

4.3.1 Προβλήματα Median .....	68
4.3.2 Προβλήματα Covering.....	69
4.3.3 Προβλήματα Center .....	74
4.4 Πρόβλεψη .....	75
4.4.1 Μέθοδοι πρόβλεψης.....	76
4.4.2 Μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε.....	77
<b>Κεφάλαιο 5: Υπολογιστική Ανάλυση .....</b>	<b>79</b>
5.1 Στατιστική ανάλυση .....	80
5.1.1 Συμπτώματα με την Μεγαλύτερη Συχνότητα .....	80
5.1.2 Συνολικά έκτακτα περιστατικά ανά ειδικότητα γιατρού.....	80
5.1.3 Έκτακτα περιστατικά ανά ειδικότητα γιατρού για κάθε περίοδο .....	83
5.1.4 Έκτακτα περιστατικά για κάθε ειδικότητα γιατρού ανά βάρδια .....	86
5.2 Βελτιστοποίηση Αριθμού Ασθενοφόρων.....	91
5.2.1 Επιλογή ημέρας μελέτης.....	91
5.2.2 Χρόνοι Απόκρισης .....	95
5.2.3 Μείωση Αριθμού Οχημάτων για Πρόσθετο Χρόνο 30 λεπτά.....	97
5.2.4 Μείωση Αριθμού Οχημάτων για Πρόσθετο Χρόνο 20 λεπτά.....	104
5.2.5 Μείωση Αριθμού Οχημάτων για Πρόσθετο Χρόνο 15 λεπτά.....	106
5.3 Μελέτη Τοποθέτησης Οχημάτων.....	107
5.3.1 Εύρεση Cluster .....	107
5.3.2 Εύρεση Κέντρου .....	112
5.4 Πρόβλεψη περιστατικών .....	121
5.4.1 Πρόβλεψη για κάθε ημέρα.....	123
5.4.2 Πρόβλεψη για κάθε περίοδο .....	130
<b>Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα.....</b>	<b>135</b>
6.1 Συμπεράσματα.....	135
6.2 Μελλοντική Έρευνα .....	136
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>140</b>



## Κεφάλαιο 1: Ορισμός Προβλήματος

Τα επείγοντα ιατρικά περιστατικά που συμβαίνουν εκτός νοσοκομείου είναι επικίνδυνα, μπορούν να αποβούν μοιραία και χρίζουν άμεσης επαγγελματικής βοήθειας. Οι ασθενείς, συγγενείς, ακόμα και οι περαστικοί συμβουλεύονται να καλέσουν για ασθενοφόρο το ταχύτερο δυνατόν, αναμένοντας ότι το σύστημα επείγουσας ιατρικής υπηρεσίας (Emergency Medical Services –EMS) θα προσφέρει την απαραίτητη βοήθεια και θα τους μεταφέρει στο νοσοκομείο για να τους αναλάβει το ιατρικό προσωπικό.

Ο πρωταρχικός στόχος των EMS είναι να παρέχουν αποτελεσματικές υπηρεσίες στους ασθενείς, καθώς οι προ-νοσοκομιακές υπηρεσίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποδοτική ιατρική βοήθεια σε περιπτώσεις ανάγκης. Αυτό γίνεται προσφέροντας το απαραίτητο προσωπικό, τον εξοπλισμό και τις υποδομές. Αν και η ποιότητα των EMS βασίζεται σε πολλούς παράγοντες, όπως η αποτελεσματικότητα του προσωπικού, η σωστή μεταφορά εντολών και η επικοινωνία, η προσοχή της βιομηχανίας στρέφεται στην ταχύτητα τους, καθώς μετά την κλήση στο κέντρο, η γρήγορη άφιξη του ασθενοφόρου είναι κρίσιμη για τον ασθενή, ειδικά σε απειλητικές για την ζωή περιπτώσεις.

Κατά κύριο λόγο η έρευνα γύρω από τις επιχειρήσεις των EMS και την βελτίωσή τους στρέφεται γύρω από την βελτίωση του χρόνου απόκρισης (response time –RT). Ως χρόνο απόκρισης μετράμε τον χρόνο ανάμεσα στην κλήση στο κέντρο και την άφιξη του ασθενοφόρου στον χώρο του περιστατικού. Στον χρόνο RT δεν συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος που το προσωπικό του ασθενοφόρου περνά στον χώρο του ατυχήματος καθώς εξαρτάται από την φύση του περιστατικού και την κρίση τους. Η εύρεση του ιδανικού RT είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, ανάμεσά τους η

τοποθεσία των ασθενοφόρων κατά την αναμονή, η διαδρομή που θα επιλέξουν και η σωστή εκπαίδευση του προσωπικού.

Παρά τις εκτεταμένες μελέτες στο θέμα, δεν έχει τεθεί ένα αυστηρό όριο, στο οποίο πρέπει να υπακούουν τα οχήματα, σχετικά με τον χρόνο RT, αλλά έχουν δοθεί οδηγίες μετά από έρευνες που επικεντρώνονται στους ασθενείς με καρδιακή ανακοπή. Οι ασθενείς πρέπει να υποβληθούν σε ηλεκτρική απινίδωση για να μετατραπεί η κοιλιακή μαρμαρυγή σ' έναν απινιδώσιμο ρυθμό (Dean et al 1988) όσο το δυνατόν πιο σύντομα. Τέτοιας σημασίας είναι αυτή η διαδικασία, που έχουν γίνει δοκιμές να εφοδιαστούν με απινιδωτές τα περιπολικά της αστυνομίας (White et al 1996, Mosesso et al 1998) δημόσια κτίρια και δημοφιλής τοποθεσίες (Karch et al 1998, Valenzuela et al 2000, Page et al 2000). Ακόμη, έρευνες σε ασθενείς με μη τραυματική αιτιολογία καρδιακής ανακοπής, έχουν δείξει ότι το ποσοστό επιβίωσής τους είναι υψηλότερο αν οι πρώτες βοήθειες ξεκινήσουν 4 λεπτά από την κλήση στο κέντρο και το ιατρικό προσωπικό φτάσει μέσα σε 8 λεπτά (Eisenberg et al 1979, Stiell et al 1999). Έτσι, για τις ΗΠΑ έχει τεθεί ένα όριο από το National Fire Protection Association για όλους τους παροχούς υπηρεσιών EMS που είναι 8 λεπτά και 59 δευτερόλεπτα για το 90% των κλήσεων που αφορούν απειλητικά για τη ζωή περιστατικά. Υπάρχουν έρευνες σε εξέλιξη που εξετάζουν τα οφέλη ενός νέου ορίου, τα 6 λεπτά.

Εκτός βέβαια από το RT, υπάρχουν άλλα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί ένα σύστημα υπηρεσιών EMS. Πρόσφατες μελέτες επικεντρώνονται στο ποσοστό επιβίωσης των ασθενών, ανεξάρτητα από τον χρόνο με τον οποίο σχετίζεται κάθε περιστατικό, ισχυρίζονται ότι έτσι, βελτιώνεται τόσο η ποιότητα των υπηρεσιών.

Ο πιο προφανής ίσως τρόπος να βελτιωθεί το σύστημα των ιατρικών υπηρεσιών είναι η αύξηση του στόλου, σενάριο μη ρεαλιστικό καθώς το κόστος το οποίο συνεπάγεται είναι απαγορευτικό. Όπως έχει προκύψει από μελέτη της American Ambulance Association η προσθήκη ενός οχήματος μαζί με το αντίστοιχο πλήρωμα κοστίζει ετησίως \$400,000 με \$500,000. Ως εκ τούτου πρέπει να βρεθούν άλλες λύσεις.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα προσπαθήσουμε να μελετήσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο RT και μετά από μια μελέτη στις ήδη υπάρχουσες συνθήκες, να προτείνουμε βελτιώσεις για το σύστημα. Για τον λόγο αυτό θα επικεντρωθούμε κυρίως στις επιχειρήσεις των ασθενοφόρων. Ως στοιχεία προς μελέτη επιλέξαμε τα επείγοντα περιστατικά στα οποία κλήθηκαν να ανταποκριθούν τα 6 οχήματα του ΕΚΑΒ Λάρισας.

Δύο είναι οι σκοπιές υπό τις οποίες θα μελετηθούν οι επιχειρήσεις των ασθενοφόρων στην εργασία αυτή. Αρχικά οι ανάγκες σε στόλο, ανάλογα με την ημέρα και την ώρα ώστε να φανούν ευκαιρίες να μειωθεί το αναγκαίο προσωπικό. Φυσικά οι προσπάθειες για μείωση του κόστους θα γίνουν πάντα με σεβασμό στον χρόνο RT, η σημασία του οποίου τονίστηκε παραπάνω. Έπειτα θα γίνει μια ανάλυση για την πιο αποτελεσματική τοποθεσία των ασθενοφόρων κατά τις περιόδους αναμονής, ώστε να προσεγγίζουν τα περιστατικά όσο το δυνατόν ταχύτερα. Για τον λόγο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε εργαλεία της επιχειρησιακής έρευνας, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω, μετά από μία μελέτη στις προηγούμενες έρευνες πάνω στο θέμα.

## Κεφάλαιο 2: Χωροθέτηση Ασθενοφόρων - ΕΚΑΒ

### 2.1 Επείγουσα ιατρική υπηρεσία (EMS)

Σε περίπτωση νοσοκομειακής ιατρικής έκτακτης ανάγκης είναι ζωτικής σημασίας το προσωπικό και τα οχήματα άμεσης απόκρισης να φθάνουν στο χώρο γρήγορα και τα περιστατικά να μπορούν να μεταφέρονται στο νοσοκομείο αν χρειαστεί άμεσα. Αυτό απαιτεί το ασθενοφόρο και το πλήρωμά του να βρίσκονται σε όμορη περιοχή με το εκάστοτε περιστατικό. Δεδομένου ότι είναι πρακτικά αδύνατο και οικονομικά ασύμφορο να σταθμεύει ένα ασθενοφόρο σε κάθε διασταύρωση, υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός ασθενοφόρων και πληρωμάτων, που θα πρέπει να τοποθετηθούν στο πεδίο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ένα ασθενοφόρο λέγεται ότι καλύπτει μια περιοχή αν μπορεί να φτάσει την περιοχή αυτή εντός ενός ορισμένου ορίου χρόνου απόκρισης. Λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα ασθενοφόρα και τα πρότυπα του χρόνου απόκρισης, οι ιατρικές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης είναι αντιμέτωπες με την πρόκληση να βελτιστοποιήσουν την απόδοσή τους. Αυτό μεταφράζεται συχνά σε προβλήματα βελτιστοποίησης κοινά στην Επιχειρησιακή Έρευνα, π.χ., μεγιστοποίηση του αριθμού των τομέων που καλύπτονται από τα ασθενοφόρα.

Η Επείγουσα ιατρική υπηρεσία (Emergency Medical Service EMS) είναι η οργάνωση και ο συντονισμός της (εκτός-νοσοκομείου) οξείας ιατρικής περίθαλψης και της μεταφοράς σε καθορισμένες περιοχές. Η EMS συνήθως αποτελείται από τα τηλεφωνικά κέντρα, τους διεκπεραιωτές, τα ασθενοφόρα και το παραϊατρικό προσωπικό. Ο στόχος της EMS είναι να αυξηθεί η πιθανότητα επιβίωσης για τους ασθενείς. Για το σκοπό αυτό, ο χρόνος παίζει σημαντικό ρόλο, ειδικά σε περιπτώσεις καταστροφών ή άμεσης νοσηλείας, όπως η καρδιακή ανακοπή. Η ανάλυση για τους

ασθενείς καρδιακής ανακοπής εκτός νοσοκομείου στη βιβλιογραφία, έχει αποκαλύψει τη σχέση μεταξύ του ποσοστού επιβίωσης και τους παράγοντες των επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου απόκρισης (δηλαδή το διάστημα μεταξύ της άφιξης μιας κλήσης έκτακτης ανάγκης και τη στιγμή κατά την οποία το ασθενοφόρο φτάνει στον ασθενή), το μοντέλο υπηρεσιών κατάστασης έκτακτης ανάγκης, και ο χρόνος επέμβασης της καρδιοπνευμονικής ανάνηψης (CPR), καθώς και τη διαδικασία απινίδωσης. Όπως αναφέρεται στο (Schmid and Doerner, 2010), κάθε λεπτό καθυστέρησης στο χρόνο απόκρισης μειώνει το ποσοστό επιβίωσης κατά 7-10%. Ορισμένα μοντέλα παλινδρόμησης για την επιβίωση του ασθενούς σε περιπτώσεις καρδιακής ανακοπής, τα οποία αναπτύχθηκαν από εμπειρικά δεδομένα, μπορούν να βρεθούν στον McLay (2010). Λόγω της σημασίας του χρόνου απόκρισης, τα ασθενοφόρα τοποθετούνται έτσι ώστε σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, να υπάρχει δυνατότητα να φτάσουν στον προορισμό τους κατά τρόπο αποτελεσματικό από πλευράς χρόνου.

Παρόλου που η επιβίωση των ασθενών είναι ο απώτερος στόχος, είναι δύσκολο να μετρηθεί και συνήθως δεν ορίζεται ως μέτρο απόδοσης των ιατρικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης από ιατρούς ή ερευνητές. Αντ' αυτού έχουν χρησιμοποιηθεί κάποιοι δείκτες που αντικατοπτρίζουν την επιβίωση των ασθενών McLay (2010). Οι δείκτες αυτοί σχετίζονται με τον χρόνο απόκρισης και μπορούν να είναι :

- η έκταση της γεωγραφικής περιοχής που μπορεί να εξυπηρετηθεί εντός ενός κατώτατου προκαθορισμένου χρονικού ορίου,
- το ποσοστό του πληθυσμού που μπορεί να εξυπηρετηθεί μέσα σ' ένα κατώτατο προκαθορισμένο χρονικό όριο και

- το ποσοστό των κλήσεων έκτακτης ανάγκης που μπορούν να απαντηθούν εντός ενός κατώτατου προκαθορισμένου χρονικού ορίου.

Το τελευταία ονομάζεται επίσης και ποσοστό κάλυψης και είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο της απόδοσης της EMS. Πολλά συστήματα EMS βασίζονται πρότυπα απόδοσης σε σχέση με την κάλυψη. Ένα τέτοιο πρότυπο κάλυψης μπορεί να απαιτήσει τουλάχιστον το 80% των κλήσεων έκτακτης ανάγκης να έχουν χρόνους απόκρισης κάτω από 10 λεπτά.

Εκτός από τα παραπάνω μέτρα, ο Andersson (2005) ανέπτυξε ένα άλλο μέτρο που ονομάζεται ετοιμότητα, προκειμένου να αξιολογηθεί η ικανότητα ανταπόκρισης των ιατρικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης σε εκκρεμείς κλήσεις, σε κάθε ζώνη ζήτησης. Το μέτρο της ετοιμότητας για μια ζώνη ζήτησης, λαμβάνει υπόψη τον εκτιμώμενο όγκο κλήσεων στη ζώνη, τον αριθμό των ασθενοφόρων που βρίσκονται κοντά και τους χρόνους μετακίνησης στη ζώνη.

Η διαχείριση ενός συστήματος EMS, όπως και άλλα συστήματα γενικά, αποτελείται από τρία επίπεδα διαχείρισης: στρατηγική, τακτική και επιχειρησιακή διαχείριση.

Ο στρατηγικός σχεδιασμός της EMS επιλύει προβλήματα σχετιζόμενα με το σχεδιασμό του συστήματος (δηλαδή τη λήψη απόφασης σχετικά με την οργάνωση των προηγμένων υπηρεσιών υποστήριξης της ζωής με ή χωρίς βασικές υπηρεσίες υποστήριξης της ζωής, όσον αφορά στην ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας και της περιορισμένης χρηματοδότησης), τη ρύθμιση του αριθμού των σταθμών και τις θέσεις τους (δηλαδή τον σχεδιασμό του σταθμού), τη διαμόρφωση του αριθμού των ασθενοφόρων και την κατανομή του στόλου των ασθενοφόρων σε συγκεκριμένους σταθμούς (δηλαδή την κατανομή ασθενοφόρων). Το μέγεθος του στόλου και τα

προβλήματα κατανομής ασθενοφόρων μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν ως τακτικά και λειτουργικά ζητήματα, όπως υποστηρίζει ο Ingolfsson (2013), ότι η διαθεσιμότητα των ασθενοφόρων θα πρέπει να ποικίλλει για να ταιριάζει σε ημερήσια και εβδομαδιαία πρότυπα ζήτησης.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν κλήσεις έκτακτης ανάγκης διαφόρων τύπων, ένας παροχός EMS πρέπει να συντονίζει τις ενέργειες πολλών ασθενοφόρων και των υπαλλήλων που έχουν διακριτά επίπεδα εκπαίδευσης. Ο προγραμματισμός του προσωπικού είναι ένα τυπικό πρόβλημα που εντάσσεται στον τακτικό προγραμματισμό της EMS. Διαδρομή ταξιδιού για παραγγελίες μεταφοράς ασθενών είναι ένα άλλο πρόβλημα, καθώς πολλές εντολές μεταφοράς είναι γνωστές προκαταβολή. Η δρομολόγηση των μετακινήσεων για τις εντολές μεταφοράς ασθενών είναι ένα άλλο πρόβλημα, καθώς πολλές εντολές μεταφοράς είναι γνωστές εκ των προτέρων.

Σε επιχειρησιακό επίπεδο, οι παροχοί των EMS λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την αποστολή και τη μετεγκατάσταση των ασθενοφόρων. Ο προγραμματισμός της αποστολής και μετεγκατάστασης λαμβάνει υπόψη την κατάσταση του συστήματος κατά τη στιγμή της απόφασης, αναλύει την επίδραση των πιθανών αποφάσεων στο σύστημα και στοχεύει στη μεγιστοποίηση της κάλυψης, της ετοιμότητας ή στην ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης. Ένας απλός αλλά τυπικός κανόνας αποστολής στέλνει ένα ασθενοφόρο που μπορεί να φτάσει στο τόπο του συμβάντος στο συντομότερο χρονικό διάστημα. Κατά καιρούς έχουν προταθεί άλλες εναλλακτικές λύσεις για την αποστολή του ασθενοφόρου, όπως οι Andersson και Värbrand (2007) και Schmid (2012), οι οποίες έχουν οδηγήσει σε μεγαλύτερη μείωση του μέσου χρόνου απόκρισης σε σχέση με τον κανόνα του

πλησιέστερου οχήματος. Η αλλαγή στη διαθεσιμότητα των ασθενοφόρων, ο χρόνος μεταβίβασης ή η προβλεπόμενη ζήτηση μπορεί να επηρεάσουν εν τέλει την κάλυψη.

Για την πρόληψη του εκφυλισμού της κάλυψης, εξετάζεται η αναδιάταξη ή μετεγκατάσταση των ασθενοφόρων σε αδράνεια. Πολλοί παροχοί EMS τείνουν να εξαπλώνουν τα διαθέσιμα ασθενοφόρα τους στην περιοχή παροχής υπηρεσιών, έτσι ώστε οι αποστάσεις κίνησης σε πιθανές κλήσεις να μπορούν να μειωθούν Henderson (2010).

Μαζί με τα προβλήματα προγραμματισμού η διαχείριση της EMS σε όλα τα επίπεδα χρειάζεται δεδομένα σχετικά με τους χρόνους ταξιδιού και την ζήτηση για τις υπηρεσίες ασθενοφόρων (δηλαδή τον όγκο των κλήσεων ή τον ρυθμό κλήσης) κατανεμημένα ανά χρονικά διαστήματα και θέσεις. Ως εκ τούτου η μοντελοποίηση του χρόνου των ταξιδιών και η πρόβλεψη της ζήτησης απαιτούν το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας.

Η επιχειρησιακή έρευνα έχει χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στον προγραμματισμό του EMS από τα μέσα της δεκαετίας του 1960. Οι Goldberg (2004), Henderson (2010) και Ingolfsson (2013) παρέχουν σε επαγγελματίες και ερευνητές του τομέα με ευρείες έρευνες σε προβληματικές περιοχές, ερευνητικές δραστηριότητες σχετικές με τον σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων EMS. Τα βασικά θέματα του τομέα της έρευνας περιλαμβάνουν την τοποθέτηση των ασθενοφόρων, τα προβλήματα μετεγκατάστασης και αποστολής ασθενοφόρων, τον προγραμματισμό του προσωπικού, την πρόβλεψη της ζήτησης και μοντέλα προσομοίωσης κλήσεων σε αναμονή για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος EMS και των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).



## 2.2 Υπάρχοντα Μοντέλα Εύρεσης της Θέσης του Ασθενοφόρου

Η αλυσίδα των γεγονότων που καταλήγει στη συμμετοχή ενός ασθενοφόρου στη σκηνή ενός περιστατικού περιλαμβάνει τα ακόλουθα: 1) ανίχνευση και αναφορά συμβάντων, 2) έλεγχος κλήσεων, 3) αποστολή οχήματος και 4) πραγματική συμμετοχή των παραϊατρικών. Η κύρια λειτουργία της ανίχνευσης είναι ο προσδιορισμός της σοβαρότητας της κατάστασης, του βαθμού επείγουσας ανάγκης και να αποφασίσει για τον τύπο και τον αριθμό των ασθενοφόρων για αποστολή. Δεδομένου ότι ο χρόνος είναι ζωτικής σημασίας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, είναι σημαντικό τα οχήματα να είναι ανά πάσα στιγμή χωροθετημένα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής κάλυψη και γρήγορος χρόνος απόκρισης. Σ' αυτά τα ερωτήματα προσπαθούν να απαντήσουν τα μοντέλα εγκατάστασης/μετεγκατάστασης των ασθενοφόρων.

Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο σχεδιασμό των συστημάτων EMS, επικεντρώθηκε στην εύρεση της τοποθεσίας των ασθενοφόρων και στην μετεγκατάστασή τους. Η τοποθεσία σημαίνει τον εντοπισμό ασθενοφόρων και σταθμών με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί κάποιος στόχος (συντά στόχος είναι μεγιστοποίηση της κάλυψης), ενώ η μετεγκατάσταση αφορά τη δυναμική μετεγκατάσταση ασθενοφόρων όλη την ημέρα για να αποκατασταθεί η κάλυψη. Η πλειοψηφία των μοντέλων σ' αυτούς τους τομείς, βασίζονται τις τεχνικές του μαθηματικού προγραμματισμού και ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες. Τα Στατικά και Ντετερμινιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται στο στάδιο του σχεδιασμού και αγνοούν τις στοχαστικές εκτιμήσεις όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των ασθενοφόρων. Τα Πιθανοτικά μοντέλα αντικατοπτρίζουν το γεγονός ότι τα ασθενοφόρα λειτουργούν ως διακομιστές σε ένα σύστημα αναμονής και δεν μπορούν

πάντα να απαντήσουν σε μια κλήση. Τέλος τα Δυναμικά μοντέλα αναπτύχθηκαν με σκοπό την επαναλαμβανόμενη μετεγκατάσταση των ασθενοφόρων σ' όλη την διάρκεια της μέρας. Οι Brotcorne et al. (2003) και ο Goldberg (2004) έχουν κάνει μια εκτενή επισκόπηση των σημαντικότερων μοντέλων που αναπτύχθηκαν σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες.

Τα περισσότερα μοντέλα τοποθεσίας και μετεγκατάστασης βασίζονται σε μια αναπαράσταση δικτύου όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν την ζήτηση ή οι πιθανές θέσεις ασθενοφόρων και τόξα αντιπροσωπεύουν δρόμους. Τα μήκη των τόξων συνήθως αναφέρονται σε χρόνους ταξιδιού. Πολλά απ' αυτά τα μοντέλα έχουν την έννοια της κάλυψης 0-1 που σημαίνει ότι είτε ένας κόμβος καλύπτεται είτε όχι.

Ένα από τα πρώτα μοντέλα που ασχολήθηκαν με το στατικό και προκαθορισμένο πρόβλημα εύρεσης της τοποθεσίας, γνωστό ως Location Set Covering Model (LSCM), εισήχθη από τους Toregas et al. (1971). Ο στόχος τους ήταν να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των οχημάτων που απαιτούνται για την κάλυψη όλων των σημείων ζήτησης στην περιοχή εξυπηρέτησης. Στην ουσία, ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και η διασφάλιση δίκαιης κάλυψης. Κάθε πιθανή τοποθεσία του οχήματος έχει ένα σετ απαιτήσεων που μπορεί να καλύψει. Όλα τα σημεία ζήτησης είναι εξίσου σημαντικά και ένα ενιαίο στατικό μέγεθος (απόσταση ή χρόνος) χρησιμοποιείται για κάθε ζήτηση. Αυτό το μοντέλο αγνοεί διάφορες πτυχές των προβλημάτων της πραγματικής ζωής. Το πιο σημαντικό όλων, ίσως είναι ότι μόλις αποσταλεί ένα όχημα, ορισμένα σημεία ζήτησης δεν είναι καλύπτονται πλέον. Σε αυτό το μοντέλο ένας κόμβος είτε καλύπτεται είτε όχι. Επίσης, το μοντέλο υποθέτει, ότι υπάρχουν αρκετά οχήματα έτσι ώστε να καλύπτεται η ζήτηση, που μπορούν να κυκλοφορούν, πράγμα που δεν συμβαίνει πάντα στην πράξη (συνήθως ο

στόλος των οχημάτων είναι προκαθορισμένος). Ωστόσο, εκτιμά ένα κατώτατο όριο στον αριθμό των οχημάτων που απαιτούνται για την εξασφάλιση πλήρους κάλυψης.

Μια εναλλακτική προσέγγιση για την αντιμετώπιση ορισμένων ελλείψεων του LSCM είναι το Maximal Covering Location Problem (MCLP), που προτάθηκε από τους Church & Reville (1974). Ο στόχος του MCLP είναι να μεγιστοποιήσει την κάλυψη του πληθυσμού, δεδομένου ενός περιορισμένου αριθμού ασθενοφόρων. Αυτός ο στόχος μπορεί οδηγήσει σε ορισμένα σημεία ζήτησης που δεν καλύπτονται. Όπως και στον Toregas et al. (1971), ένα σημείο ζήτησης καλύπτεται αν έστω και ένα ασθενοφόρο βρίσκεται σε θέση έτσι ώστε, ο χρόνος ταξιδιού ή η απόσταση να βρίσκονται εντός ενός προκαθορισμένου ορίου, που ονομάζεται τυπική κάλυψη. Βέβαια, όπως και στο LSCM, δεν υπάρχει μερική κάλυψη σε αυτό το μοντέλο. Φυσικά και τα δύο μοντέλα LSCM και το MCLP έχουν νόημα. Το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σχεδιασμού για να προσδιορίσει τον σωστό αριθμό οχημάτων που καλύπτουν όλη τη ζήτηση, ενώ το δεύτερο προσπαθεί να κάνει την καλύτερη δυνατή χρήση των διαθέσιμων πόρων.

Οι Eaton et al. (1985) χρησιμοποίησε το MCLP για να προγραμματίσει την αναδιοργάνωση των ιατρικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης στο Όστιν του Τέξας. Το προτεινόμενο σχέδιο εξοικονόμησε στην πόλη 3.4 εκατομμύρια δολάρια σε κόστος κατασκευής και 1.2 εκατομμύρια δολάρια ετησίως σε λειτουργικά έξοδα, το 1984. Επιπλέον, ο μέσος χρόνος απόκρισης μειώθηκε παρά το γεγονός της αύξηση των κλήσεων στην υπηρεσία.

Τόσο στο LSCM όσο και στο MCLP, υποτίθεται ότι υπάρχει μόνο μία χρονική περίοδος. Ο Schilling (1980) θεώρησε ένα μοντέλο που είναι διαιρεμένο σε χρονικές περιόδους (για παράδειγμα έτη). Το μοντέλο είναι μια επέκταση του MCLP και θεωρεί μια διαφορετική θέση που μπορεί να οριστεί για κάθε χρονική περίοδο. Το

συγκεκριμένο μοντέλο έχει πολλαπλό στόχο, αφού μεγιστοποιεί την συνολική ζήτηση που καλύπτεται σε κάθε χρονική περίοδο.

Οι Gendreau et al. (1997) χρησιμοποίησαν μια μέθοδο Tabu για να λύσουν το πρόβλημα της θέσης των ασθενοφόρων. Αυτοί ενσωμάτωσαν δύο πρότυπα κάλυψης  $r_1$  και  $r_2$  με  $r_1 < r_2$ . Κάθε ζήτηση πρέπει να καλύπτεται από ένα ασθενοφόρο που βρίσκεται μέσα σε  $r_2$  χρονικές μονάδες και ένα ποσοστό  $a$  της ζήτησης πρέπει να βρίσκεται μέσα σε  $r_1$  μονάδες χρόνου, το οποίο πιθανότατα συμπίπτει με το ασθενοφόρο που καλύπτει τη ζήτηση εντός του  $r_2$  μονάδες χρόνου. Το μοντέλο από τους Gendreau et al. (1997), το οποίο ονομάζεται Double Standard Model (DSM), μεγιστοποιεί τον αριθμό διπλών καλυμμένων κλήσεων.

Τα ντετερμινιστικά μοντέλα δεν αναγνωρίζουν την στοχαστική φύση του προβλήματος της τοποθεσίας ασθενοφόρων, καθώς και το γεγονός ότι τα ασθενοφόρα είναι σαν διακομιστές σε ένα σύστημα αναμονής, με αποτέλεσμα να μην είναι πάντοτε διαθέσιμα. Επομένως, αναπτύχθηκαν πιθανοτικά μοντέλα για την αντιμετώπιση των ελλείψεων των ντετερμινιστικών μοντέλων. Ένα από τα πρώτα πιθανοτικά μοντέλα για τη θέση ασθενοφόρων είναι το Maximum Expected Covering Location Problem (MEXCLP) που εισήχθη από τον Daskin (1983). Σ' αυτό μοντέλο υποτίθεται, ότι κάθε ασθενοφόρο είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα και ότι όλα έχουν την ίδια πιθανότητα  $q$  να είναι απασχολημένα, που ονομάζεται κλάσμα απασχόλησης.

Μπορεί κάποιος να εκτιμήσει το κλάσμα απασχόλησης διαιρώντας την συνολική εκτιμώμενη διάρκεια των κλήσεων, για όλα τα σημεία ζήτησης προς το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων ασθενοφόρων. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, το μοντέλο μεγιστοποιεί την αναμενόμενη ζήτηση που καλύπτεται. Η μεγάλη διαφορά σε σχέση με τα μοντέλα που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι ότι σ' αυτό το μοντέλο

επιτρέπεται η μερική κάλυψη. Ο Daskin ανέπτυξε ένα heuristic για την εύρεση του καλύτερου συνόλου τοποθεσιών, δεδομένου ενός σταθερού αριθμού ασθενοφόρων. Οι Fujiwara et al. (1987) εφάρμοσαν το μοντέλο MEXCLP στην πόλη της Μπανγκόκ το 2002, όπου θεωρούσαν 59 σημεία ζήτησης και 49 τοποθεσίες ασθενοφόρων. Επίσης, μια επέκταση του MEXCLP, γνωστή ως TIMEXCLP, αναπτύχθηκε από τους Repede & Bernardo (1994), στην οποία οι διακυμάνσεις στην ταχύτητα ταξιδιού κατά τη διάρκεια της ημέρας λήφθηκαν σοβαρά υπόψιν. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο προσομοίωσης για την επικύρωση των προτεινόμενων λύσεων. Μια άλλη παραλλαγή του MEXCLP είναι αυτή των Goldberg et al. (1990), όπου οι χρόνοι ταξιδιού θεωρούνται στοχαστικοί. Το συγκεκριμένο μοντέλο μεγιστοποιεί τον αναμενόμενο αριθμό κλήσεων που καλύπτεται μέσα σε 8 λεπτά. Οι συγγραφείς ταξινομήσαν τις πιθανές θέσεις κατά σειρά προτίμησης και στην συνέχεια υπολόγισαν την πιθανότητα να εξυπηρετηθεί ένα σημείο ζήτησης μέσα στο χρονικό πρότυπο των 8 λεπτών, με βάση τις ακόλουθες τρεις πιθανότητες: 1) την πιθανότητα ένα ασθενοφόρο στην  $k^{\text{οστη}}$  προτιμώμενη θέση, για ένα σημείο ζήτησης, να έχει την δυνατότητα να φτάσει σ' αυτό το σημείο εντός 8 λεπτών, 2) την πιθανότητα ότι αυτό το ασθενοφόρο θα είναι διαθέσιμο. 3) την πιθανότητα ότι τα ασθενοφόρα στις  $k - 1$  λιγότερο προτιμώμενες θέσεις, δεν θα είναι διαθέσιμα.

Οι ReVelle & Hogan (1989) πρότειναν δύο άλλα μοντέλα, με στόχο την μεγιστοποίηση της ζήτησης που καλύπτεται με μία δεδομένη πιθανότητα  $\alpha$ . Στο πρώτο μοντέλο, γνωστό ως Maximum Availability Location Problem (MALP), οι συγγραφείς υποθέτουν ότι το κλάσμα απασχόλησης είναι το ίδιο για όλες τις πιθανές τοποθεσίες ασθενοφόρων, σε αντίθεση με το μοντέλο που πρότεινε ο Daskin, όπου το κλάσμα απασχόλησης  $q$  θεωρείται ίδιο για όλα τα ασθενοφόρα. Στο δεύτερο μοντέλο, η παραδοχή που αφορά το ίδιο κλάσμα απασχόλησης για όλες τις πιθανές τοποθεσίες

είναι χαλαρή. Αντ' αυτού, οι ReVelle και Hogan (1989) εκτίμησαν το κλάσμα απασχόλησης για κάθε θέση, ως λόγος της συνολικής διάρκειας των κλήσεων που αφορούν τον εν λόγω σταθμό προς τη συνολική διαθεσιμότητα των ασθενοφόρων του.

Αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να αναπτύξουν μοντέλα για να εκτιμήσουν το κλάσμα απασχόλησης, που σχετίζεται με ολόκληρο το σύστημα ή με κάθε ασθενοφόρο. Οι Batta et al. (1989) ήταν μεταξύ των πρώτων που πρότειναν ένα τέτοιο μοντέλο. Στο μοντέλο τους, γνωστό ως το Adjusted MEXCLP (AMEXCLP), πολλαπλασιάστηκε η αντικειμενική συνάρτηση του MEXCLP μ' έναν διορθωτικό συντελεστή, ο οποίος αντιπροσωπεύει το γεγονός ότι τα ασθενοφόρα δεν λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά ότι μπορούν να θεωρηθούν ως διακομιστές σ' ένα σύστημα αναμονής στο οποίο μπορεί να εφαρμοστεί το hypercube μοντέλο (Larson 1974). Εν αντίθεση με τους Batta et al. (1989), που υποθέσαν ίδιο κλάσμα απασχόλησης για το σύνολο του συστήματος, οι Marianon & ReVelle (1994) πρότειναν το Queuing Probabilistic Location Set Covering Problem (QPLSCP), κατά το οποίο τα κλάσματα απασχολημένα είναι συγκεκριμένα. Οι Silva & Serra (2003) προχώρησαν την δουλειά των Marianon & ReVelle (1994), έτσι ώστε να συμπεριλάβουν τις πολλαπλές προτεραιότητες κλήσεων. Οι Marianon & ReVelle το 1996 πήγαν ένα βήμα παραπέρα από τους ReVelle & Hogan (1989), χρησιμοποιώντας την θεωρία της ουράς για δημιουργία των απαιτούμενων περιορισμών κάλυψης. Επίσης, μια επέκταση του LSCM, που ονομάζεται Rel-P, εισήχθη από τους Ball & Lin (1993) που ενσωμάτωσε έναν γραμμικό περιορισμό στον αριθμό των οχημάτων που απαιτούνται για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου επιπέδου αξιοπιστίας.

Τόσο τα ντετερμινιστικά μοντέλα όσο και τα πιθανοτικά μοντέλα προσδιορισμού της θέσης των ασθενοφόρων, δεν αναγνωρίζουν το γεγονός ότι στην

πράξη, τα ασθενοφόρα μετακινούνται συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής κάλυψη σε διαφορετικές τοποθεσίες. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των δυναμικών μοντέλων εύρεσης θέσης. Το πρώτο μοντέλο μετεγκατάστασης αναπτύχθηκε από τους Kolesar & Walker (1974) για υπηρεσίες πυρόσβεσης. Το πρόβλημα της μετεγκατάστασης των ασθενοφόρων είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπιστεί, δεδομένου ότι πρέπει να επιλυθεί πιο τακτικά, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Σήμερα, χάρη στον προηγμένο υπολογιστή της τεχνολογίας και των ταχύτερων heuristics, είναι δυνατόν να επιλυθεί το πρόβλημα της μετεγκατάστασης ασθενοφόρων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι μια νέα στρατηγική ανασυγκρότησης ασθενοφόρων μπορεί να υπολογισθεί ανά πάσα στιγμή  $t$ . Ένα αποτελεσματικό μοντέλο για την επίτευξη αυτού του στόχου αναπτύχθηκε από τους Gendreau et al. (2001). Το συγκεκριμένο μοντέλο κάνει χρήση του DSM που αναπτύχθηκε από τους ίδιους συγγραφείς το 1997 και επιλύει το πρόβλημα της μετεγκατάστασης των ασθενοφόρων σε κάθε στιγμή  $t$ , κατά την οποία μια κλήση είναι καταχωρημένη. Το μοντέλο θεωρεί επίσης μια σειρά πρακτικών παραδοχών όπως: 1) τα ασθενοφόρα που μετακινούνται σε διαδοχικές αναδιατάξεις δεν μπορούν πάντα να είναι τα ίδια. 2) πρέπει να αποφεύγονται οι επαναλαμβανόμενες οδικές μετακινήσεις μεταξύ δύο ίδιων θέσεων τοποθεσίας. 3) τα μεγάλα ταξίδια μεταξύ προέλευσης και προορισμού πρέπει να αποφεύγονται. Τα δυναμικά μοντέλα γίνονται όλο και πιο δημοφιλή αυτές τις μέρες και η πρόοδό τους εξαρτάται από τις εξελιγμένες τεχνολογίες υπολογιστών και τη διαθεσιμότητα γρήγορων και ακριβή heuristics.

## 2.3 Οντότητες στην Λειτουργία των Ασθενοφόρων

Σύμφωνα με τον Ngoc-Hien (2015), η λειτουργία των ασθενοφόρων εμπεριέχει τις ακόλουθες οντότητες στο σύστημα: κλήσεις, οχήματα, σταθμούς, αποστολές και πληρώματα.

- **Κλήσεις:** Οι κλήσεις έρχονται στο σύστημα αναφέροντας περιστατικά. Αν είναι πραγματικά επείγουσες περιπτώσεις, γίνονται υποθέσεις για την υπηρεσία. Μια κλήση χαρακτηρίζεται από τη στιγμή της παραλαβής, μια διεύθυνση ή συντεταγμένη (γεωγραφικό πλάτος, μήκος), την αιτία Του συμβάντος και την προτεραιότητα ή το επίπεδο επείγοντος. Περαιτέρω δεδομένα που καταγράφονται για μια υπόθεση περιλαμβάνουν την ανάθεση σε ασθενοφόρα και τα συστατικά του χρόνου υπηρεσίας που δαπανώνται για αυτό. Οι περισσότερες περιπτώσεις απαιτούν την αποστολή ενός ασθενοφόρου. Η ένταση του όγκου των κλήσεων εκφράζει την συνολική ζήτηση για την υπηρεσία ασθενοφόρων.
- **Οχήματα:** Τα οχήματα που ονομάζονται διακομιστές ή πόροι του συστήματος. Μπορούν να διαφέρουν ως προς τα είδη, τον εξοπλισμό και τα χρονοδιαγράμματα εργασίας. Στην περιοχή μπορεί να υπάρχουν ελικόπτερα έκτακτης ανάγκης, βάρκες έκτακτης ανάγκης, η κανονικά ασθενοφόρα και ασθενοφόρα μεταφοράς ασθενών που χρησιμοποιούνται, αν οι ασθενείς χρειάζονται μόνο ιατρική μεταφορά. Σήμερα τα οχήματα έχουν συνήθως GPS και συσκευές επικοινωνίας για να μεταδίδουν στο κέντρο σήματα σχετικά με τις θέσεις και τις καταστάσεις τους κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Ένα όχημα ανήκει σε ένα μόνο σταθμό σε ένα δεδομένο χρόνο. Εάν παρθούν



αποφάσεις μετεγκατάστασης, ένα όχημα θα πρέπει να επανατοποθετηθεί από ένα σταθμό σε ένα άλλο.

- Σταθμοί: Οι σταθμοί ασθενοφόρων είναι ένα άλλο είδος πόρων για το σύστημα. Δεν βρίσκονται πάντα σε κτίρια. Υποτυπώδεις τοποθεσίες, όπως χώροι στάθμευσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Μια διεύθυνση ή μια συντεταγμένη είναι η πιο σημαντική πληροφορία για ένα σταθμό.
- Διαχειριστές/αποστολείς: Οι αποστολείς εργάζονται στο τηλεφωνικό κέντρο. Τα καθήκοντα τους περιλαμβάνουν τη λήψη κλήσεων, τον καθορισμό προτεραιότητας των προσκλήσεων, την αποστολή και την μετεγκατάσταση, την διατήρηση και παρακολούθηση της ουράς των καθυστερημένων περιπτώσεων, και την καταγραφή των πληροφοριών των περιπτώσεων. Σήμερα υποστηρίζονται από εφαρμογές GIS για την παρακολούθηση των θέσεων των ασθενοφόρων και καταστάσεων. Κατά τη λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων, οι αποστολείς ακολουθούν γενικές κατευθυντήριες γραμμές, τις εμπειρίες και την κρίση τους. Έτσι μπορούν να πάρουν διαφορετικές αποφάσεις για την ίδια κατάσταση.
- Πλήρωμα: Ένα ασθενοφόρο είναι στελεχωμένο με ένα πλήρωμα που συνήθως αποτελείται από ένα νοσηλεύτη και ένα ιατρό. Οι γιατροί εμπλέκονται σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις. Τα πληρώματα αποφασίζουν εάν οι ασθενείς πρέπει να μεταφέρονται σε νοσοκομεία ή όχι, και επιλέγουν κατάλληλα τα νοσοκομεία.

## 2.4 Βήματα στη Λειτουργία των Ασθενοφόρων

Όταν ληφθεί μια κλήση στο τηλεφωνικό κέντρο του ΕΚΑΒ, ένας διαχειριστής καταγράφει τη θέση της, προσδιορίζει τη προτεραιότητα της (για παράδειγμα 1, 2, 3,4 και 5, με το 1 να είναι η υψηλότερη ή πιο επείγουσα προτεραιότητα) και στη συνέχεια επιλέγει ένα ή το πιο κατάλληλο όχημα για να αναθέσει την υπόθεση. Αν όλα τα οχήματα είναι απασχολημένα, η υπόθεση καθυστερεί μέχρι να γίνει διαθέσιμο ένα όχημα.

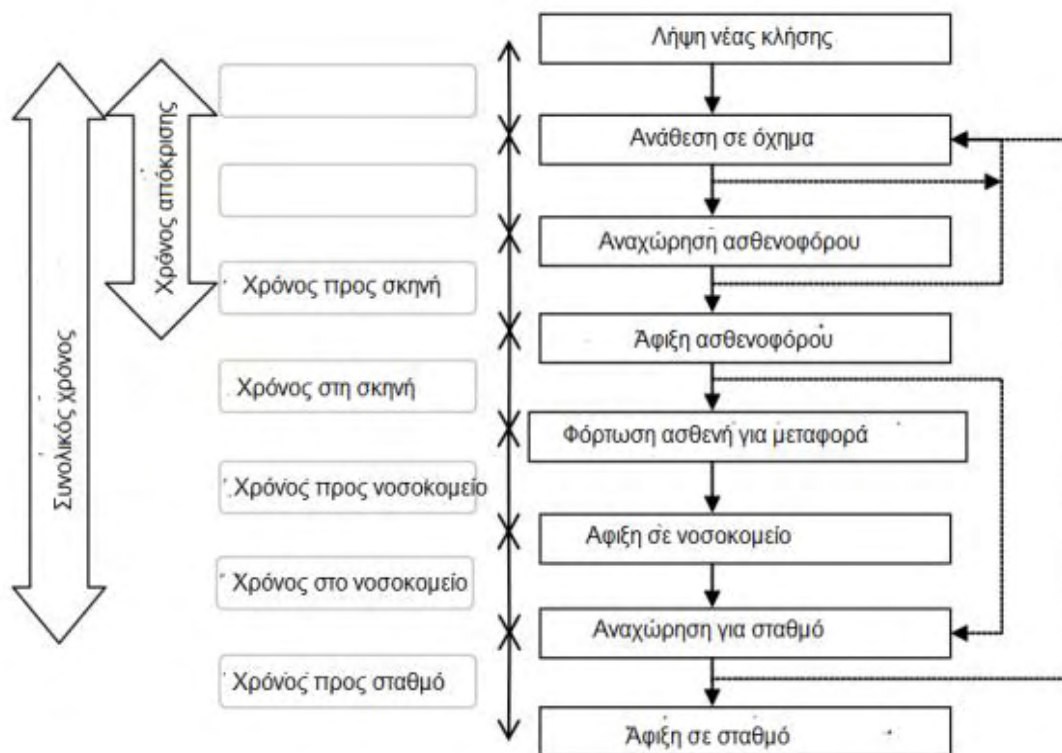
Υπάρχει μια ουρά για να παρακολουθούνται οι καθυστερούμενες περιπτώσεις. Κατά την επεξεργασία της ουράς, θεωρείται η ύψιστη προτεραιότητα πρώτα, και στη συνέχεια οι χαμηλότερες προτεραιότητες. Οι κλήσεις της ίδιας προτεραιότητας αντιμετωπίζονται με διαδικασίες first come first served. Μετά τη λήψη απόφασης σχετικά με ένα διαθέσιμο όχημα για την αποστολή, ο αποστολέας στέλνει μια ειδοποίηση στην ομάδα του. Αν η ομάδα είναι στο σταθμό, τους παίρνει ένα σύντομο χρονικό διάστημα να ετοιμαστούν. Αυτό το χρονικό διάστημα ονομάζεται χρόνος προετοιμασίας. Σε αντίθετη περίπτωση, θεωρείται ότι αναχωρούν για την περιοχή κλήση αμέσως.

Πριν το όχημα φτάσει στη σκηνή, εξακολουθεί να είναι υποψήφιο για αποστολή, αν το κέντρο λάβει μια νέα κλήση με υψηλότερη προτεραιότητα. Στην κατάσταση που ένα όχημα καθ' οδόν προς μια σκηνή επιλεγεί για να εξυπηρετήσει τη νέα υπόθεση, η αποστολή διακόπτεται. Οι αποστολείς ορίζουν ένα άλλο κατάλληλο όχημα για τη διακεκομμένη υπόθεση ή θα πρέπει να περιμένουν στην ουρά.

Στη σκηνή, η ομάδα παρέχει στον ασθενή ιατρική φροντίδα εάν είναι απαραίτητο. Στη συνέχεια, μπορεί να μεταφέρει τον ασθενή στο νοσοκομείο. Εάν δεν απαιτείται παράδοση σε νοσοκομείο, αυτοί και το ασθενοφόρο θα είναι διαθέσιμοι

μετά τη θεραπεία. Διαφορετικά, στο νοσοκομείο, η ομάδα χρειάζεται κάποιο χρόνο για να παραδώσει τον ασθενή. Από τη στιγμή που η ομάδα γίνεται διαθέσιμη, θα πάει πίσω στο σταθμό ή θα κατευθυνθεί προς μια νέα αποστολή.

Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα. Σε κάθε βήμα παρουσιάζονται όροι που δηλώνουν χρονικά διαστήματα μεταξύ συνεχόμενων βημάτων και αφορούν σε μετακινήσεις από και προς συγκεκριμένα σημεία. Ο χρόνος απόκρισης είναι ένα ζωτικής σημασίας μέτρο σε συστήματα EMS. Αν οι κλήσεις δεν καθυστερούν λόγω μη διαθεσιμότητας των ασθενοφόρων ή αλλαγής, οι μετακινήσεις προς τη σκηνή είναι ένα σημαντικό συστατικό του χρόνου απόκρισης. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο σε πολλά μοντέλα εύρεσης της τοποθεσίας ασθενοφόρων ή/και μετεγκατάστασης αυτών μεταξύ θέσεων, οι χρόνοι ταξιδιού χρησιμοποιούνται αντί των χρόνων απόκρισης.



**Εικόνα 2.1:** Η διαδικασία λειτουργίας των ασθενοφόρων και οι σχετικοί χρόνοι (Παπανικολάου 2016)

## 2.5 Χρόνος Απόκρισης και ο Παράγοντας Τύχη στο Πρόβλημα

Όπως φαίνεται και παραπάνω, ο χρόνος απόκρισης είναι το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που λαμβάνεται μια κλήση μέχρι που ένα ασθενοφόρο φτάνει στο χώρο κλήσης (Εικόνα 1). Ο χρόνος απόκρισης αποτελεί τον πιο εμφανή δείκτη αποτελεσματικότητας ενός συστήματος EMS. Σε πολλές αστικές περιοχές το πρότυπο χρόνου απόκρισης είναι το ασθενοφόρο να φθάσει στο περιστατικό μέσα σε 8 λεπτά και 59 δευτερόλεπτα στο 90% των περιπτώσεων. Το USEMSA(United States Emergency Medical Services Act) έχει θέσει κάποιες άλλες προδιαγραφές, όπου αυτές οι προδιαγραφές έχουν υιοθετηθεί σήμερα σχεδόν σε όλα τα κράτη του κόσμου:

1. Σε αστικές περιοχές το 95% των περιστατικών θα πρέπει να εξυπηρετούνται μέσα σε 10 λεπτά
2. Σε αγροτικές περιοχές το 95% των περιστατικών θα πρέπει να εξυπηρετούνται μέσα σε 30 λεπτά

Κανονικά, το κύριο συστατικό του χρόνου απόκρισης είναι ο χρόνος ταξιδιού προς την τοποθεσία του περιστατικού. Ένα δεύτερο σημαντικό στοιχείο που ονομάζεται "chute time" είναι ο χρόνος που χρειάζεται το πλήρωμα του ασθενοφόρου να αρχίσει να κινείται προς το τοποθεσία. Αυτό αναφέρεται επίσης ως καθυστέρηση πριν από τη μετακίνηση.

Γενικά έχει παρατηρηθεί ότι τα συστήματα EMS έχουν τυχαία φύση και περίπλοκους κανόνες λειτουργίας. Η ζήτηση, οι χρόνοι μετακίνησης, οι χρόνοι εξυπηρέτησης, η μη διαθεσιμότητα / διαθεσιμότητα ασθενοφόρου και προσωπικού είναι παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση τυχαιότητας στο σύστημα.

Σύμφωνα με την ανάλυση της κίνησης των κλήσεων έκτακτης ανάγκης στο Rajagopalan et al (2006), οι κλήσεις έχουν τυχαία μοτίβα τόσο χρονικά, όσο και χωρικά. Βέβαια ο όγκος ζήτησης σε περιοχές είναι διακριτός και διαφέρει ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την ημέρα της εβδομάδας και από ειδικές εκδηλώσεις, όπως την παραμονή της Πρωτοχρονιάς, τον 15 Αύγουστο και το Πάσχα. Αν ληφθεί υπόψιν ότι ο αριθμός των ασθενοφόρων και οι θέσεις τους καθορίζονται με σκοπό να παρέχουν καλή κάλυψη στη ζήτηση, είναι εμφανές ότι οι μεταβολές στις κλήσεις επηρεάζουν την ανάπτυξη των οχημάτων.

Ένας άλλος τυχαίος παράγοντας είναι ο χρόνος μετακίνησης, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου μετακίνησης στη σκηνή και του χρόνου μετακίνησης στο νοσοκομείο. Οι χρόνοι μετακίνησης είναι δυναμικοί, ανάλογοι με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Επιπλέον, οι ταχύτητες ταξιδιού εξαρτώνται από τις προτεραιότητες των κλήσεων επειδή τα ασθενοφόρα μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα φώτα και τη σειρήνα για να επιταχύνουν τη διαδρομή τους όταν υπηρετούν κλήσεις υψηλής προτεραιότητας. Στο Schmid and Doerner (2010) φάνηκε ότι η χρήση του μέσου χρόνου ταξιδιού, αντί του πραγματικού, εξαρτώμενου από διάφορες μεταβολές, χρόνου ταξιδιού θα υπερεκτιμά την κάλυψη μιας λύσης του προβλήματος τοποθεσίας ασθενοφόρου.

Εκτός από τους χρόνους ταξιδιού, άλλα συστατικά του συνολικού χρόνου υπηρεσίας είναι ο χρόνος καθυστέρησης αποστολής (χρόνος που δαπανάται για τον αποστολέα να ερευνησει τους καλούντες, ο χρόνος για την επιλογή των οχημάτων για αποστολή και ο χρόνος για να επικοινωνήσει με τα πληρώματα), ο χρόνος προετοιμασίας (χρόνος για τα πληρώματα να ετοιμαστούν), ο χρόνος στη σκηνή και χρόνο στο νοσοκομείο. Όλα αυτά είναι επίσης στοχαστικά. Ο Ingolfsson (2013)

παρατήρησε ότι οι καθυστερήσεις είναι εξαιρετικά μεταβλητές και σημαντικές για τους χρόνους απόκρισης των συστημάτων EMS.

Η τυχαιότητα της κίνησης των κλήσεων, οι χρόνοι μετακίνησης και οι χρόνοι εξυπηρέτησης έχουν σαν αποτέλεσμα την τυχαία μη διαθεσιμότητα ασθενοφόρου. Η μη διαθεσιμότητα ασθενοφόρου ονομάζεται επίσης κλάσμα απασχόλησης, πιθανότητα απασχόλησης ή χρήση ασθενοφόρου. Εκφράζει την πιθανότητα ότι ένα ασθενοφόρο είναι απασχολημένο. Υπολογίζεται από τη σχέση μεταξύ του συνολικού φόρτου εργασίας (χρόνοι ταξιδιού και οι χρόνοι εξυπηρέτησης στις αποστολές) και το συνολικό διαθέσιμο χρόνο εργασίας (Goldberg , 2004).

Τελευταίος παράγοντας αλλά διόλου ευκαταφρόνητος που συμβάλει στην τυχαιότητα του προβλήματος προέρχεται από το προσωπικό. Οι αποστολείς έχουν διαφορετικές εμπειρίες και κρίση. Οι αποφάσεις τους είναι επομένως διακριτές. Το ίδιο ισχύει και για τα πληρώματα έκτακτης ανάγκης.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι το θέμα της τοποθέτησης κινητών μονάδων υγείας είναι ένα πολύπλοκο και πολυσύνθετο πρόβλημα, που επηρεάζεται από πολλαπλούς παράγοντες, κάποιοι εκ των οποίων παρουσιάζουν τυχαιότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το εν λόγω πρόβλημα αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τους ερευνητές αλλά και σχεδιαστές συστημάτων παροχής υγείας.

## **2.6 Εθνικό Κέντρο Άμεσης Βοήθειας (ΕΚΑΒ)**

Σκοπός του ΕΚΑΒ είναι ο συντονισμός της παροχής, σε έκτακτες περιπτώσεις, άμεσης βοήθειας και επείγουσας ιατρικής φροντίδας στους πολίτες και η μεταφορά αυτών σε μονάδες παροχής υπηρεσιών υγείας. Είναι ο μοναδικός επίσημος φορέας της πολιτείας παροχής υπηρεσιών Επείγουσας Προνοσοκομειακής Ιατρικής και Νοσηλευτικής Φροντίδας. Μελετά, προτείνει και αναπτύσσει προγράμματα που

αφορούν στον τομέα της Επείγουσας Ιατρικής. Στον ίδιο τομέα της Επείγουσας Προνοσοκομειακής Ιατρικής και Νοσηλευτικής Φροντίδας είναι και ο μοναδικός επίσημος φορέας που αναλαμβάνει τον χειρισμό και αντιμετώπιση Μαζικών Απωλειών Υγείας με την ανάπτυξη του Ειδικού Τμήματος Ιατρικής των Καταστροφών (Ε.Τ.Ι.Κ.).

### **2.6.1 Διάρθρωση του ΕΚΑΒ**

Το ΕΚΑΒ είναι αναπτυγμένο Πανελλαδικά σε 12 Παραρτήματα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Λάρισα, Καβάλα, Ιωάννινα, Λαμία, Αλεξανδρούπολη, Τρίπολη, Κοζάνη και Μυτιλήνη) και κάθε Παράρτημα αναπτύσσεται σε Τομείς στις διάφορες περιοχές της χώρας. Η ανάπτυξη του ΕΚΑΒ δημιουργεί ένα σύγχρονο σύστημα υπηρεσιών Επείγουσας Προνοσοκομειακής Ιατρικής και συμβάλει:

- καθοριστικά στην ποιοτική αναβάθμιση των παρεχόμενων συνολικά υπηρεσιών υγείας,
- στην άμεση παροχή οργανωμένων υπηρεσιών ΕΠΙ με συνέπεια την ελάττωση της θνητότητας, του χρόνου νοσηλείας και της συχνότητας προσωρινής ή μόνιμης ανικανότητας και αναπηρίας,
- στη μείωση του κόστους των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας,
- στη μείωση του βαθμού μετανάστευσης προς τα μεγάλα αστικά κέντρα με τη δημιουργία αισθήματος ασφάλειας στους κατοίκους της περιφέρειας,
- στη μείωση των αποτρέψιμων θανάτων (διεθνώς μόνο για τα ατυχήματα κατά 30%).

Το ΕΚΑΒ διαθέτει 735 απλά ασθενοφόρα, 102 κινητές μονάδες, 25 μοτοσικλέτες, 7 επιβατικά αυτοκίνητα, 2 αυτοκινούμενα συντονιστικά κέντρα, 2 οχήματα αντιμετώπισης καταστροφών και 3 ελικόπτερα. Υπάρχουν ακόμη περίπου 350 ασθενοφόρα που χρησιμοποιούνται από Νοσοκομεία και Κέντρα Υγείας όπου δεν έχει αναπτυχθεί το ΕΚΑΒ.

### **2.6.2 Δραστηριότητες – Υπηρεσίες και Μέσα**

Η κύρια δραστηριότητα του ΕΚΑΒ είναι η άμεση ιατρική και νοσηλευτική φροντίδα σε όλους τους πολίτες οπουδήποτε και οποτεδήποτε χρειαστεί, καθώς και η ασφαλής και ταχεία μεταφορά τους σε κατάλληλες μονάδες παροχής υπηρεσιών υγείας. Αυτό επιτυγχάνεται με ανάπτυξη και λειτουργία υπηρεσιών παροχής επείγουσας προνοσοκομειακής ιατρικής όπως αυτές ορίζονται στον Οργανισμό του ΕΚΑΒ. Η αποτελεσματική λειτουργία των υπηρεσιών του ΕΚΑΒ σε κάθε Περιφέρεια επιτυγχάνεται με τα εξής (Καρούτσος et al 2007):

α) στελέχωση με κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό ιατρικό, νοσηλευτικό και πληρώματα ασθενοφόρων - διασώστες καθώς και προσωπικό διοικητικής και τεχνικής υποστήριξης.

β) επιχειρησιακό κέντρο επικοινωνίας και συντονισμού: δέχεται όλες τις κλήσεις για επείγουσα ιατρική βοήθεια, τις καταγράφει και τις διαβαθμίζει ως προς τον βαθμό του επείγοντος:

- επιλέγει και κινητοποιεί το πλησιέστερο προς τον τόπο του συμβάντος κατάλληλο ασθενοφόρο ή κινητή μονάδα παροχής επείγουσας προνοσοκομειακής ιατρικής, ώστε να επιληφθεί στο μικρότερο δυνατό χρόνο,

- παρακολουθεί και καθοδηγεί το προσωπικό των ασθενοφόρων στην παροχή εξειδικευμένης βοήθειας,



- ενεργοποιεί σε περιπτώσεις ομαδικών ατυχημάτων ή μαζικών καταστροφών την Ομάδα Διαχείρισης Κρίσης (ΟΔΙΚ) του ΕΚΑΒ η οποία κινητοποιεί το Ειδικό Τμήμα Ιατρικής των Καταστροφών, τον απαιτούμενο αριθμό ασθενοφόρων, καθώς και μονάδες άλλων φορέων (πυροσβεστική, αστυνομία κλπ),
- διατηρεί συνεχή επικοινωνία με τα τμήματα υποδοχής επειγόντων περιστατικών των Νοσοκομείων και τα ενημερώνει για τους μεταφερόμενους προς αυτά πάσχοντες,
- καταγράφει και αποτυπώνει όλα τα δεδομένα και τις πληροφορίες για τα διακινούμενα περιστατικά.

Για την επίτευξη όλων των παραπάνω, το ΕΚΑΒ Διαθέτει:

- τηλεφωνικό κέντρο με ικανό αριθμό γραμμών και ένα ενιαίο σε εθνικό επίπεδο ευκολομνημόνευτο τριψήφιο αριθμό κλήσης (166),
- σύγχρονο ψηφιακό δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας για τη συνεχή επαφή με ασθενοφόρα και άλλα μέσα και με άλλους εμπλεκόμενους φορείς,
- ασύρματο ψηφιακό σύστημα εντοπισμού και πλοήγησης όλων των οχημάτων του ΕΚΑΒ Αθηνών,
- δίκτυο ενσύρματης επικοινωνίας με τα τμήματα υποδοχής επειγόντων περιστατικών των Νοσοκομείων,
- συστήματα πληροφορικής για καταγραφή και επεξεργασία πληροφοριών,
- σύγχρονα μέσα μετάδοσης ιατρικών πληροφοριών (σύστημα τηλεϊατρικής στο τμήμα αεροδιακομιδών),
- 24ωρη λειτουργία σε σύγχρονες κτιριακές εγκαταστάσεις.

γ) μέσα άμεσης επέμβασης και διακομιδής πασχόντων κατάλληλα εξοπλισμένα (ασθενοφόρα, κινητές μονάδες επείγουσας ιατρικής, μοτοσικλέτες, πτητικά μέσα - Ελικόπτερα):

- τα ασθενοφόρα είναι κατάλληλα εξοπλισμένα και στελεχώνονται με δύο διασώστες – πληρώματα,

- οι Κινητές Μονάδες Επείγουσας Ιατρικής έχουν ειδικό εξοπλισμό και στελεχώνονται με δύο διασώστες - πληρώματα και ένα ιατρό εκπαιδευμένο στην Επείγουσα Προνοσοκομειακή Ιατρική και είναι εφοδιασμένες με εξειδικευμένο εξοπλισμό και φάρμακα για προχωρημένη υποστήριξη και σταθεροποίηση των ζωτικών λειτουργιών του πάσχοντος και εξειδικευμένους θεραπευτικούς χειρισμούς,

- οι μοτοσικλέτες άμεσης επέμβασης έχουν ειδικό εξοπλισμό και στελεχώνονται με ένα διασώστη - πλήρωμα και ένα γιατρό εκπαιδευμένο στην Επείγουσα Προνοσοκομειακή Ιατρική,

- τα τρία Ελικόπτερα έχουν παραχωρηθεί στην Πολεμική Αεροπορία για επιχειρησιακή εκμετάλλευση στις αεροδιακομιδές επειγόντων περιστατικών από το ΕΚΑΒ,

- Η επιχειρησιακή ετοιμότητα των κάθε είδους ασθενοφόρων εξαρτάται από τον επαρκή αριθμό τους και την κατάλληλη χωροταξική κατανομή τους έτσι ώστε σε κάθε χρονική στιγμή να έχουν μικρό χρόνο ανταπόκρισης.

δ) Ιατρικές υπηρεσίες:

- Συντονιστικό Κέντρο
- Κινητές Ιατρικές Μονάδες (ΚΙΜ)
- Μοτοσικλέτες

## **Κεφάλαιο 3: Δεδομένα**

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία μας παρασχέθηκαν από το ΕΚΑΒ Θεσσαλίας και αφορούν τα έκτακτα περιστατικά που καταγράφηκαν σε 3 περιόδους. Αξίζει να αναφερθεί ότι σκοπός της εργασίας ήταν η καταγραφή των έκτακτων περιστατικών που παρουσιάστηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Λάρισας και όχι ολόκληρης της περιφέρειας της Θεσσαλίας. Σ' αυτό το κεφάλαιο, αρχικά παρατίθενται μερικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης (όπως δημογραφικά στοιχεία, υγειονομικές εγκαταστάσεις που υπάρχουν κ.α.). Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος που έγινε η καταγραφή των δεδομένων, καθώς και κάποιες δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά το συγκεκριμένο στάδιο. Τέλος, γίνεται αναφορά στον τρόπο που επεξεργάστηκαν τα δεδομένα, προκειμένου να μετατραπούν οι οδοί των περιστατικών σε συντεταγμένες, έτσι ώστε να προχωρήσει η υπολογιστική διαδικασία.

### **3.1 Η περιοχή Μελέτης - Λάρισα**

Η Λάρισα είναι η μεγαλύτερη θεσσαλική πόλη (144.651 κάτοικοι, 2011) και μία από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας. Αποτελεί την πρωτεύουσα της περιφέρειας Θεσσαλίας και την έδρα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας. Η πόλη βρίσκεται στο κέντρο του ανατολικού τμήματος της θεσσαλικής πεδιάδας, το οποίο καταλαμβάνει σχεδόν εξ ολοκλήρου ο νομός της Λάρισας. Χαρακτηριστικό στοιχείο της πόλης είναι ότι τη διασχίζει ο ποταμός Πηνειός.

Η πόλη της Λάρισας κατέχει θέση εξέχουσας οικονομικής σημασίας επί του οδικού άξονα Πατρών – Αθηνών – Θεσσαλονίκης – Ευζώνων (Π.Α.Θ.Ε.) που ενώνει

τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα, την Αθήνα και την Θεσσαλονίκη (βόρεια και νότια Ελλάδα). Επιπλέον, βρίσκεται πάνω στον βασικό σιδηροδρομικό άξονα της Ελλάδας και συνδέεται οδικά με το δυτικό τμήμα της χώρας (Ηπειρος). Η πόλη της Λάρισας συγκεντρώνει λειτουργίες οικισμού πρώτου επιπέδου και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αστικά κέντρα της χώρας. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά την καθιστούν ως μία από τις δυναμικότερες αστικές περιοχές, λόγω, βέβαια, και της γεωγραφικής της θέσης. Η πόλη της Λάρισας αδιαμφισβήτητα αποτελεί γεωργικό, εμπορικό, στρατιωτικό, διοικητικό, οικονομικό και πνευματικό κέντρο της Θεσσαλίας.



**Εικόνα 3.1: Η περιοχή της Λάρισας**

### **3.1.1 Δημογραφικά Στοιχεία της Περιοχής**

Ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Λαρισαίων, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 163.380 κατοίκους, με τον μόνιμο πληθυσμό της Περιφερειακής

Ενότητας Λάρισας (πρώην Νομαρχίας) να ανέρχεται σε 284.420 κατοίκους. Τα πληθυσμιακά μεγέθη της πόλης της Λάρισας αλλά και η εξέλιξή τους διαχρονικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1

Διαχρονική εξέλιξη (1961 – 2011) του πληθυσμού της Λάρισας (Πηγή: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Λαρισαίων 2011–2014, ΕΣΥΕ).

ΧΩΡΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ						ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ
	1961	1971	1981	1991	2001	2011	2001-2011
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	695,385	659,913	695,654	734,589	753,888	730,730	-3.07%
Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ/ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	237,776	232,226	254,295	270,612	279,305	284,420	1.83%
ΔΗΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	56,891	73,848	103,468	114,334	126,076	163,380	29.59%

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι ο πληθυσμός της περιφέρειας Θεσσαλίας τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζει μια σταθερή αυξητική τάση με εξαίρεση την τελευταία, 2001-2011, που παρουσίασε μια μικρή μείωση της τάξεως του 3,07%. Την ίδια συμπεριφορά ακριβώς παρουσιάζει και ο πληθυσμός του νομού της Λάρισας. Όσον αφορά, όμως, τον πληθυσμό του δήμου Λάρισας αυτός κατά τη διάρκεια όλων των χρόνων αυξανόταν και την τελευταία δεκαετία 2001-2011 αυξήθηκε με το μεγάλο ποσοστό της τάξεως του 30% περίπου.

#### 3.1.2 Διοικητική Δομή Δήμου Λαρισαίων

Ο νέος Δήμος Λαρισαίων, με βάση το σχέδιο "ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ", αποτελείται από τρεις Δημοτικές Ενότητες, έξι Δημοτικές Κοινότητες και οκτώ Τοπικές Κοινότητες. Η διοικητική δομή έχει ως εξής:

ΔΗΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΙΩΝ:

Α.ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΙΩΝ

1. Δημοτική Κοινότητα 1ου Διαμερίσματος Λαρίσης
2. Δημοτική Κοινότητα 2ου Διαμερίσματος Λαρίσης
3. Δημοτική Κοινότητα 3ου Διαμερίσματος Λαρίσης (συμπεριλαμβάνονται οι οικισμοί Κουλούριου και Αμφιθέας)
4. Δημοτική Κοινότητα 4ου Διαμερίσματος Λαρίσης
5. Τοπική Κοινότητα Τερψιθέας

#### **B. ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ**

1. Δημοτική Κοινότητα Γιάννουλης
2. Δημοτική Κοινότητα Φαλάννης

#### **Γ. ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ**

1. Τοπική Κοινότητα Αμυγδαλέας
2. Τοπική Κοινότητα Ελευθερών
3. Τοπική Κοινότητα Κοιλιάδος
4. Τοπική Κοινότητα Κουτσοχέρου
5. Τοπική Κοινότητα Λουτρού Λαρίσης
6. Τοπική Κοινότητα Μάνδρας
7. Τοπική Κοινότητα Ραχούλας

### **3.1.3 Η Ιστορία της Περιοχής**

Η Λάρισα είναι πανάρχαια πόλη και κατοικείται εδώ και σχεδόν 4.000 χρόνια. Οι αρχαιολογικές έρευνες μαρτυρούν ότι η περιοχή της Λάρισας κατοικείτο κατά την Παλαιολιθική περίοδο. Την εξουσία της πόλης μέχρι το τέλος της κυριαρχίας των

Μακεδόνων κατείχαν οι Θεσσαλοί Αλευάδες. Κατά τους χρόνους των Περσικών πολέμων οι κάτοικοί της emήδισαν και πολέμησαν εναντίον των άλλων Ελλήνων στο πλευρό των ξένων επιδρομέων. Κατά τη διάρκεια του Πελοποννησιακού πολέμου μάχονταν στο πλευρό των Αθηναίων. Η Λάρισα είχε κόψει νόμισμα και αρκετά αρχαία κέρματα έχουν διασωθεί. Στη Λάρισα έζησε και πέθανε, περίπου στην ηλικία των ενενήντα χρόνων, ο Πατέρας της Ιατρικής, ο Ιπποκράτης, ο οποίος τάφηκε κάπου μεταξύ Γυρτώνης, Τυρνάβου και Λαρίσης.

### **3.1.4 Μακεδονική και Ρωμαϊκή Περίοδος**

Τον 4ο αιώνα π.Χ. η Λάρισα με τη βοήθεια δυνάμεων από την Κεντρική Ελλάδα πολέμησε με την πόλη Φάρσαλο για να διατηρήσει την δύναμη της και την νίκησε. Ωστόσο ο πόλεμος αυτός εξουθένωσε τους στρατιώτες της, οι οποίοι δεν μπόρεσαν να αμυνθούν στην εισβολή των Μακεδόνων υπό τον Φίλιππο Β΄ το 344 π.Χ. Η πόλη ήταν υποταγμένη στους Μακεδόνες από το 344-196 π.Χ. περίοδο κατά την οποία είχε οικονομικά και δημογραφικά προβλήματα. Κατά την ελληνιστική εποχή, Λαρισαίοι ιππείς του Μεγάλου Αλεξάνδρου (είχαν ικανή φήμη τότε) ίδρυσαν την Λάρισα στην Συρία και την Λάρισα στην Αραβία.

Το 197 π.Χ. οι Ρωμαίοι κατέλαβαν την πόλη. Κατά την Ρωμαϊκή Κυριαρχία η Λάρισα γνώρισε μια σύντομη περίοδο ακμής. Το 2ο αιώνα π.Χ. ιδρύθηκαν τα Ελευθέρια, μια πανθεσσαλική γιορτή προς τιμήν του Ελευθερίου Διός, τα οποία περιελάμβαναν ιππικούς αγώνες καθώς και φιλολογικούς, χορευτικούς, γυμνικούς, μουσικούς αγώνες. Με την συγκρότηση μεγάλων ιδιοκτησιών γης των Ρωμαίων στη Θεσσαλία, υποβαθμίστηκε ο θεσμός του κοινού των Θεσσαλών και ακολούθησε μια περίοδος παρακμής για την Λάρισα. Υπήρξε μείωση του πληθυσμού της και η ζωή των κατοίκων δυσκόλεψε. Ωστόσο, η Λάρισα καταφέρνει να ξεπεράσει την κρίση με

μετοικήσεις πληθυσμών από τις γύρω πόλεις ενώ παράλληλα απελευθερώθηκαν δούλοι.

### 3.1.5 Βυζαντινή Περίοδος

Μετάπειτα η πόλη περιήλθε στο Βυζάντιο και σε όλους αυτούς τους αιώνες δέχτηκε αλλεπάλληλες επιδρομές. Στα τέλη του βου αιώνα υπήρξε μια μεγάλη περίοδος ταραχών και αναστατώσεων, κατά την οποία οι πόλεις της Θεσσαλίας παύουν να αναφέρονται στις πηγές. Το φαινόμενο αυτό δημιουργήθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος από τις βαρβαρικές επιδρομές.

Σλαβικά φύλα εγκαταστάθηκαν σε περιοχές της Θεσσαλίας και της Μακεδονίας κατά την διάρκεια των επιδρομών τους, τα οποία με την κατάλληλη πολιτική των βυζαντινών αυτοκρατόρων εκχριστιανίστηκαν και ενσωματώθηκαν στο ντόπιο πληθυσμό. Για να αντιμετωπιστούν νέοι κίνδυνοι, έγινε διοικητική αναδιοργάνωση του κράτους με τη Θεσσαλία να ανήκει πλέον στο Θέμα Ελλάδος. Η Λάρισα αποτέλεσε την πρωτεύουσα του Θέματος για κάποια διαστήματα, κυρίως την εποχή των Βουλγαρικών πολέμων. Η Θεσσαλία απειλήθηκε από τις επιδρομές των Βουλγάρων (τέλη 10ου αιώνα) υπό τον τσάρο Σαμουήλ, οι οποίες κορυφώθηκαν με την κατάληψη της Λάρισας το 982 μ.Χ. μετά από τρίχρονη πολιορκία. Την ίδια περίοδο μεταφέρθηκαν τα λείψανα του Αγίου Αχιλλίου από τη Λάρισα στην Πρέσπα, όπου κτίστηκε ναός προς τιμή του.

Μετά την ήττα των Βουλγάρων το 966 μ.Χ. από τον στρατηγό Νικηφόρο Ουρανό στη μάχη του Σπερχειού. Ακολούθησε μια εποχή ειρήνης και αναδιοργάνωσης του Βυζαντίου από τον αυτοκράτορα Βασίλειο Β', ο οποίος φρόντισε για την ανόρθωση των κατεστραμμένων φρουρίων της Θεσσαλίας.



Την εποχή του αυτοκράτορα Αλεξίου Α' Κομνηνού (1082-1118 μ.Χ.), οι Νορμανδοί με ηγεμόνα τον Βοημόνδο, λεηλάτησαν την περιοχή και πολιορκήσαν για μεγάλο διάστημα τη Λάρισα, αλλά οι επιθέσεις τους αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς με την εκστρατεία του Αλεξίου το 1083 μ.Χ.

Τον 12ο αιώνα αρχίζει η διάσπαση της κεντρικής οργάνωσης του κράτους και η εμφάνιση μικρών περιφερειών με διάφορα ονόματα. Το σύστημα αυτό διαδόθηκε στη Θεσσαλία, η οποία έχοντας τεράστιες πεδινές εκτάσεις προκάλεσε το ενδιαφέρον των ισχυρών της εποχής.

### **3.1.6 Οθωμανική Περίοδος**

Η παρακμή που επικράτησε το 14ο αιώνα διευκόλυνε την εδραίωση της οθωμανικής κυριαρχίας με διάφορους Έλληνες και ξένους δυνάστες να εκμεταλλεύονται οικονομικά μεγάλο μέρος του αγροτικού πληθυσμού. Η οθωμανική κυριαρχία συνέβαλε στο μαρασμό της ήδη παρηκμασμένης οικονομίας, με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του πληθυσμού να μετακινηθεί προς τα ορεινά για μεγαλύτερη ασφάλεια, μακριά από την οθωμανική εξουσία. Το 1881 η Θεσσαλία ελευθερώθηκε από τον ελληνικό στρατό και προσαρτήθηκε στο ελληνικό κράτος. Μέχρι την προσάρτηση της Θεσσαλίας η πόλη έφερε το όνομα Γενί Σεχίρ Φενερί, σε αντιδιαστολή με τη Γενί Σεχίρ Εγιαλετή που αποτελούσε το όνομα της ευρύτερης περιοχής, περίπου του σημερινού νομού.

### **3.1.7 Σύγχρονη Ιστορία**

Στην πόλη της Λάρισας και στις γειτονικές περιοχές εγκαταστάθηκε τεράστιος πληθυσμός προσφύγων από την Ανατολική Ρωμυλία, την Μικρά Ασία, την Καππαδοκία και τον Πόντο με αποτέλεσμα την δημιουργία νέων γειτονιών σε

διαστάσεις μικρών πόλεων. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου η πόλη υπέστη μεγάλες καταστροφές από τους βομβαρδισμούς των ιταλικών αεροπλάνων το 1941.

### **3.1.8 Η Λάρισα Σήμερα**

Σήμερα η Λάρισα είναι μία από τις μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις. Διαθέτει τρία δημόσια νοσοκομεία: το Γενικό Νοσοκομείο, το Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο και το Στρατιωτικό Νοσοκομείο. Φιλοξενεί πολλές δημόσιες υπηρεσίες. Είναι η έδρα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Θεσσαλίας - Στερεάς Ελλάδας, της Περιφέρειας Θεσσαλίας, της Τακτικής Αεροπορίας, της 1ης Στρατιάς, του Στρατηγείου του ΝΑΤΟ, του Θεσσαλικού Θεάτρου, της Ιατρικής Σχολής και της Σχολής Βιοχημείας - Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, καθώς και του Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας, του τρίτου μεγαλύτερου Τεχνολογικού Ιδρύματος της Ελλάδας. Καταλαμβάνει την πρώτη θέση μεταξύ ελληνικών πόλεων σε ποσοστό κάλυψης πρασίνου ανά τ.μ. αστικού χώρου. Στην οδό Καρδίτσης 1 υπάρχει μια από τις μεγαλύτερες δικαστικές φυλακές της χώρας, το κλειστό κατάστημα Λάρισας. Η ποδοσφαιρική της ομάδα, η Αθλητική Ένωσις Λάρισας (ΑΕΛ), είναι η μόνη επαρχιακή ομάδα που έχει καταφέρει να κατακτήσει πρωτάθλημα και δύο κύπελλα Ελλάδας.

### **3.1.9 Το κλίμα της Περιοχής**

Το κλίμα της Λάρισας έχει τα στοιχεία του ηπειρωτικού κλίματος της πεδινής Θεσσαλίας, με ετήσιες διαφορές μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας άνω των 22 °C. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15,7 °C βαθμοί κελσίου. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην πόλη κυμαίνεται στα 425 χιλιοστά.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2

Τα κλιματικά στοιχεία της Λάρισας

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέγιστη Μηνιαία θερμοκρασία (°C)	9.8	12.0	14.7	19.6	25.7	31.0	33.1	32.6	28.4	22.2	15.8	11.1
Ελάχιστη Μηνιαία θερμοκρασία (°C)	0.7	1.3	3.3	6.2	10.9	15.0	17.7	17.3	14.0	10.0	5.8	2.0
Απόλυτα ρεκόρ θερμοκρασίας (°C)	-	-21.6	-	-	-	-	-	45.4	-	-	-	-
Μέση μηνιαία Βροχόπτωση (mm)	32.5	31.7	36.7	33.0	38.2	25.6	19.0	16.4	30.2	52.2	56.9	50.8
Μέση Μηνιαία Υγρασία (%)	79.6	75.1	73.4	68.7	61.6	49.2	46.6	50.0	58.9	70.0	79.5	82.2

### 3.2 Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων αποτέλεσε το πιο χρονοβόρο στάδιο της εργασίας. Αρχικά έπρεπε να απευθυνθούμε στο ΕΚΑΒ Θεσσαλίας, προκειμένου να μας ενημερώσουν για τις καταγραφές που είχαν στην διάθεση τους. Η αρχική σκέψη μας ήταν να συλλέξουμε καταγραφές για ένα έτος, προκειμένου το δείγμα να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό. Η ιδέα αυτή εγκαταλείφθηκε γρήγορα, λόγω του μεγάλου όγκο δεδομένων που απαιτούνταν να αλιεύσουμε ακόμη και για ένα μόνο έτος. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη δυσκολία που είχαμε να αντιμετωπίσουμε κατά το στάδιο της καταγραφής, ήταν το γεγονός ότι στο ΕΚΑΒ Θεσσαλίας τα περιστατικά καταγράφονται και αποθηκεύονται σε χειρόγραφο μορφή. Οπότε, αν λάβουμε υπόψιν μας, ότι κατά μέσο όρο στην πόλη της Λάρισας παρουσιάζονται 30 περιστατικά ημερησίως, αυτό σημαίνει ότι για να ένα έτος ο συνολικός αριθμός των περιστατικών που θα έπρεπε να καταγράψουμε είναι περίπου  $30 \times 365 = 10950$ . Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ήταν αδύνατο να μετατρέψουμε ένα τόσο μεγάλο όγκο δεδομένων από χειρόγραφο σε ηλεκτρονική μορφή, προκειμένου στην συνέχεια να προχωρήσουμε στην επεξεργασία τους. Επίσης, μία ακόμη περαιτέρω δυσκολία που είχαμε να αντιμετωπίσουμε, είναι ότι στα βιβλία του ΕΚΑΒ Θεσσαλίας περιλαμβάνονται περιστατικά για όλη την περιφέρεια. Οπότε, έπρεπε να ελέγχουμε

μεμονωμένα τις καταγραφές και να βλέπουμε ποιες αντιστοιχούν στην πόλη της Λάρισας, που ήταν και το ζητούμενο. Τέλος, ένα μικρό αλλά όχι ασήμαντο εμπόδιο που έπρεπε να ξεπεράσουμε ήταν ότι στα βιβλία περιέχονται όλες οι κινήσεις που μπορεί να κάνει ένα ασθενοφόρο, είτε για να μεταφέρει ένα ασθενή που έχει ραντεβού στο νοσοκομείο, είτε έχουμε επιστροφή ενός ασθενή στο σπίτι του, είτε μεταφορά σ' άλλο νοσοκομείο, δηλαδή για περιπτώσεις, οι οποίες δεν αποτελούν έκτακτα περιστατικά.

Έτσι, στηριζόμενοι στην εμπειρία των ανθρώπων του ΕΚΑΒ, μας μεταφέρθηκε ότι έχουν παρατηρηθεί 3 περίοδοι, κατά τις οποίες εμφανίζονται τα περισσότερα περιστατικά. Η πρώτη αντιστοιχεί στην περίοδο των Χριστουγέννων, η δεύτερη αντιστοιχεί στην περίοδο της άνοιξης (κυρίως στην περίοδο του Πάσχα αλλά και το πρώτο δεκαήμερο του Μαΐου ταυτόχρονα) και η τρίτη στην περίοδο του 15 Αύγουστου. Έτσι ορίσαμε τις εξής 3 περιόδους, όπου θα γίνει η συλλογή των δεδομένων:

- Περίοδος Χριστουγέννων (Από 15/12/2016 έως 15/1/2017)
- Περίοδος Πάσχα (Από 8/4/2017 έως 8/5/2017)
- Περίοδος 15 Αύγουστου (Από 20/7/2017 έως 17/8/2017)

Επιλέγοντας αυτές τις περιόδους εξασφάλισαμε, ότι θα έχουμε δεδομένα για όλη την διάρκεια των διακοπών των Χριστουγέννων και του Πάσχα, καθώς και τις πρώτες μέρες του Μαΐου (όπως αναφέρθηκε προηγουμένως λόγω κυρίως αλλεργιών υπάρχει αύξηση των περιστατικών), όπως επίσης θα έχουμε δεδομένα περιστατικών στην καρδιά του καλοκαιριού (που λόγω υψηλών θερμοκρασιών παρουσιάζονται πολλά προβλήματα, κυρίως σε ηλικιωμένους ή άτομα με αναπνευστικά και καρδιολογικά προβλήματα).

Αφού έγινε οι επιλογή των περιόδων καταγραφής στην συνέχεια, ήμασταν σε θέση να ξεκινήσουμε την καταγραφή. Στο βιβλίο επειγόντων περιστατικών του ΕΚΑΒ Θεσσαλίας περιλαμβάνονται 11 στήλες, που πρέπει να συμπληρωθούν για κάθε περιστατικό και είναι :

1. Α/Α δηλαδή αύξων αριθμός
2. Ώρα κλήσεως του 166
3. Ονοματεπώνυμο Ασθενή
4. Ώρα διαβίβασης της κλήσης σε ασθενοφόρο
5. Ασθενοφόρο που διαβιβάστηκε
6. Ώρα άφιξης ασθενοφόρου
7. Διεύθυνση κατοικίας του ασθενή
8. Περιοχή
9. Τηλέφωνο καλούντος
10. Πάθηση ασθενή
11. Υγειονομικός σχηματισμός που διακομίστηκε

Προφανώς εμάς δεν μας ενδιέφεραν το ονοματεπώνυμο του ασθενούς και το τηλέφωνό του. Επίσης, για λόγους οικονομίας χρόνου, δεν υπήρχε λόγος να καταγράψουμε το νοσοκομείο που παρέλαβε τον ασθενή, διότι όπως μας ενημέρωσαν από το ΕΚΑΒ τις μονές μέρες τα περιστατικά μεταφέρονται στο Γενικό Νοσοκομείο Λάρισας και τις ζυγές στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο. Γι' αυτό η βάση δεδομένων που δημιουργήσαμε είχε τις παρακάτω στήλες:

- Ημερομηνία

- Ωρα κλήσης του 166
- Ωρα διαβίβασης της κλήσης σε ασθενοφόρο
- Ασθενοφόρο που διαβιβάστηκε
- Ωρα άφιξης ασθενοφόρου
- Διεύθυνση κατοικίας του ασθενή
- Γεωγραφικό πλάτος διεύθυνσης
- Γεωγραφικό μήκος διεύθυνσης
- Συμπτώματα

CALL_DATE	CALL_TIME	CALL_TIME_	AMBULANCI	ARRIVAL_TII	ADDR	ADDR_LAT	ADDR_LON	SYMPTOMS
21/12/2016	11:00	11:01	AM1	11:02	ΚΟΥΜΑ 3			ΑΕΕ
21/12/2016	11:21	11:22	AM1	11:30	ΠΑΥΛΟΥ ΜΕΛΑ			ΠΙΘ. ΠΝΙΓΜΟΣ Α
21/12/2016	12:53	12:53	A2	12:58	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΣ			ΔΑΓΚΩΜΑ ΣΚΥΛΟ
21/12/2016	13:11	13:27	A4	13:49	Κ.Υ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ			ΠΙΘ. ΑΕΕ
21/12/2016	13:40	13:42	AM1	13:56	23ης ΟΚΤΩΒΡΙΚ			ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΟ
21/12/2016	14:26	14:37	A4	14:44	ΑΡΓΥΡΑΚΟΥΛΗ			ΛΙΠΟΘΥΜΙΑ
21/12/2016	16:18	16:20	A3	16:29	ΜΑΝΔΗΛΑΡΑ			ΛΙΠΟΘΥΜΙΑ
22/12/2016	0:30	0:30	A1	0:35	ΚΡΗΤΗΣ 9			ΑΝΟΥΡΙΑ
22/12/2016	4:54	4:55	A2	5:17	ΑΜΥΓΔΑΛΕΑ			ΑΠΑΓΧΟΝΙΣΜΟΣ
22/12/2016	5:43	5:44	A3	6:06	ΓΥΡΤΩΝΗ			ΕΜΠΥΡΕΤΟ, ΟΙΔΗ
22/12/2016	8:48	9:28	A3	9:54	ΑΜΠΕΛΩΝΑΣ			ΕΜΕΤΟΙ
22/12/2016	10:45	10:47	A3	10:52	ΠΑΛΑΜΑ 9			ΥΠΕΡΤΑΣΗ
22/12/2016	11:32	11:34	A2	11:42	LIDL			ΛΙΠΟΘΥΜΙΑ
22/12/2016	11:50	11:52	A3	11:59	23ης ΟΚΤΩΒΡΙΚ			ΠΤΩΣΗ
22/12/2016	13:09	13:20	A1	13:25	JUMBO ΓΙΑΝΝΟ			ΚΡΙΣΗ 'Υ'
22/12/2016	13:28	13:28	A4	13:32	ΦΑΡΜΑΚΙΔΟΥ			ΠΑΡΑΣΥΡΣΗ, ΤΡΑ
22/12/2016	14:11	14:15	A1	14:23	ΚΡΗΤΗΣ 9			ΧΑΜΗΛΟΣ ΑΙΜΑ
22/12/2016	15:23	15:29	A1	15:40	ΚΛΙΝΙΚΗ ΘΩΜΑ			ΠΝΙΓΜΟΣ ΑΠΟ Ξ
22/12/2016	16:06	16:08	A2	16:20	ΡΑΧΟΥΛΑΣ 32			ΚΟΙΛΙΑΚΟ ΑΛΓΟ
22/12/2016	18:18	18:18	A1	18:29	ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟ			ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΟ
22/12/2016	18:23	18:40	A3	18:45	ΑΝΘΙΜΟΥ ΓΑΖΙ			ΕΜΠΥΡΕΤΟ
22/12/2016	18:25	18:27	A2	18:45	ΔΕΝΔΡΑ ΤΥΡΝΑ			ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΟ
22/12/2016	19:09	19:10	A1	19:20	ΠΑΠΑΡΟΔΟΥ 4			ΠΙΘ. ΑΕΕ
22/12/2016	20:58	20:59	A2	21:04	ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ			ΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΔΡΟΙ

**Εικόνα 3.2:** Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των περιστατικών

Όπως είναι εμφανές από την παραπάνω εικόνα, σε πρώτη φάση δεν καταγράψαμε τις συντεταγμένες των διευθύνσεων, καθώς δεν μας τις παρείχαν από το ΕΚΑΒ (όπως είναι λογικό, αφού δεν τους ενδιαφέρουν). Η εισαγωγή των συντεταγμένων έγινε σε μεταγενέστερο στάδιο, το οποίο θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα βιβλία του ΕΚΑΒ Θεσσαλίας περιέχουν περιστατικά για όλη την περιφέρεια. Οπότε ζητήθηκαν από τους ανθρώπους του ΕΚΑΒ οι κωδικοί των ασθενοφόρων, που είναι υπεύθυνα για την διανομή των ασθενών μόνο στην πόλη της Λάρισας.

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΑΜΕΣΗΣ ΒΟΗΘΕΙΑΣ**  
**ΕΠΙΣΗΜΟ ΗΜ. ΔΕΛΤΙΟ**      Ε.Κ.Α.Β. ΛΑΡΙΣΑΣ      ΒΑΡΔΙΑ :

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : ..... / ..... / 20.....

ΙΑΤΡΟΣ : ΤΟΜ-ΛΑΡΙΣΑ ..... ΤΟΜ-ΒΟΛΟ .....

ΑΣΥΡΜΑΤΙΣΤΕΣ : 1..... 2.....

ΤΗΛΕΦΩΝΗΤΕΣ : 1..... 2..... 3..... ΓΡΑΜ.ΥΠ..

ΠΕΡ.	ΚΩΔ	ΠΛΗΡΩΜΑΤΑ	ΩΡΑ ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗΣ	ΑΡ.ΠΙΝΑΚ.	ΧΙΛ/ΤΡΑ
Λ	A1				
Α	A2				
Ρ	A3				
Ι	A4				
Σ	A5				
Α	A6				
ΜΑΚ	ΑΤΜ	→ Καρραχίρι			
ΖΑΠ	ΑΤΖ	→ Ζαίπεω			
ΜΟΝ	ΑΜ1	→ Περασάτορο κήλη + χυαίου			
ΜΗΧ	Μ1				
ΕΛΑ	A11	ΕΛΑΤΟΡΑ			
ΤΥΡ	A12	ΤΥΡΑΒΟΣ			
ΦΑΡ	A14	ΦΑΡΣΑΛΑ			
ΑΠ	A15	ΑΠΑ			

**Εικόνα 3.3:** Τα ασθενοφόρα που εξυπηρετούν ασθενείς στην ευρύτερη περιοχή της Λάρισας

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3 τα ασθενοφόρα A1, A2, A3, A4, A5, A6, ATM, ATZ και AM1 εξυπηρετούν περιστατικά στην πόλη της Λάρισας και στα περίχωρά της. Βέβαια όπως μας τονίστηκε και παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια της καταγραφής, αν για παράδειγμα το ασθενοφόρο A11 που βρίσκεται στην Ελασσόνα δεν μπορεί να εξυπηρετήσει κάποιον ασθενή, είτε γιατί είναι απασχολημένο, είτε γιατί στο Κέντρο Υγείας της Ελασσόνας δεν υπάρχει γιατρός για μια συγκεκριμένη πάθηση, τότε ο ασθενής μεταφέρεται στην Λάρισα με κάποιο από τα προαναφερθέντα ασθενοφόρα. Αυτός είναι και ο λόγος, όπου όπως θα δούμε στην συνέχεια, πολλά περιστατικά που έχουμε συλλέξει δεν βρίσκονται σε κοντινές απόσταση από την Λάρισα, πλην όμως έπρεπε να τα λάβουμε υπόψη, καθώς απασχολούν ασθενοφόρα της Λάρισας.

Έχοντας τους κωδικούς των ασθενοφόρων, στην συνέχεια ήμασταν σε θέση να ξεκινήσουμε την καταγραφή. Συγκεκριμένα, εμείς κοιτούσαμε την στήλη με το ασθενοφόρο που διαβιβάστηκε η κλήση και εφόσον αφορούσε κάποιο από αυτά που υπάγονται στην πόλη της Λάρισας, κοιτούσαμε στην συνέχεια την πάθηση. Έπειτα αν η πάθηση δεν αφορούσε κάποιο ραντεβού ή επιστροφή ασθενή, καταχωρούσαμε την καταγραφή στη βάση δεδομένων.

Βέβαια παρατηρήθηκαν κάποιες περίεργες περιπτώσεις περιστατικών, όπου ταυτίζονταν οι χρόνοι κλήσης, διαβίβασης στο ασθενοφόρο και άφιξής του, ενώ σε κάποιες άλλες κλήσεις παρουσιάστηκαν καθυστερήσεις μέχρι και μιας ώρας. Η μεγάλη αυτή διακύμανση μπορεί να οφείλεται σε ανθρώπινο λάθος, καθώς η καταγραφή γίνεται χειρόγραφα. Λόγω όμως αυτής της ασυνέπειας των χρόνων, θα αγνοηθούν από τους υπολογισμούς οι χρόνοι αυτοί και πλέον ως χρόνος απόκρισης θα υπολογίζεται η διαφορά ανάμεσα στην άφιξη του ασθενοφόρου και στην κλήση στο κέντρο. Επίσης σε κάποια περιστατικά υπήρχαν ελλείψεις σε κάποιες στήλες, είτε



λόγω απροσεξίας είτε λόγω ακύρωσης της κλήσης, οπότε και αυτές οι περιπτώσεις αποκλείστηκαν. Αξίζει να τονιστεί, ότι εκτός από την εγκυρότητα των καταγραφών, ένας ακόμα λόγος που κάνει δύσκολη την ανάλυση των χρόνων είναι η μεγάλη εξάρτησή τους από την κρίση του εκάστοτε τηλεφωνητή. Τόσο η σοβαρότητα των συμπτωμάτων που αναφέρθηκαν, όσο και ο όγκος των κλήσεων που υπάρχουν διαμορφώνουν την ταχύτητα με την οποία θα διαχειριστεί το περιστατικό το προσωπικό. Λόγω λοιπόν της μεγάλης επιρροής του ανθρώπινου παράγοντα στην εξίσωση, πρόκειται για μια διαδικασία δύσκολη να μελετηθεί και να προταθεί βελτίωση.

Έτσι μαζεύτηκαν συνολικά 2.459 επείγουσες κλήσεις από περιόδους 32, 31 και 29 ημερών αντίστοιχα. Συγκεκριμένα για την περίοδο των Χριστουγέννων συλλέχθηκαν 968 επείγοντα περιστατικά, 821 για την περίοδο του Πάσχα και 670 για την περίοδο του 15 Αύγουστου.

### **3.3 Επεξεργασία δεδομένων – Εξαγωγή Συντεταγμένων**

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, για την συνέχεια της μελέτης των περιστατικών ήταν αναγκαία η μετατροπή των οδών σε συντεταγμένες (latitude, longitude). Για την διαδικασία αυτή δοκιμάστηκαν διάφορες μέθοδοι, όπως η χειρόγραφη μεταφορά τους στο εργαλείο maps της Google και η χρήση μακροεντολής. Τελικά όμως, χρησιμοποιήθηκε ένα εργαλείο σε συνεργασία με το εργαστήριο βελτιστοποίησης, στο οποίο φορτώνονταν οι οδοί σε λίστες των 50 περιστατικών κάθε φορά για να εξαχθούν οι συντεταγμένες. Στην Εικόνα 3.4 φαίνεται ένα μικρό παράδειγμα των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από το εργαλείο. Στις περιπτώσεις που δεν δίνονταν ακριβείς διευθύνσεις, όπως αυτή του

αριθμού 3, το χωριό Κουλούρι της Λάρισας, προκύπτουν οι συντεταγμένες του κέντρου του χωριού.

Εργαλεία χαρτών Αρχική Φόρτωμα Αρχείων Μετατροπή

File name

Κλειδί Google

 Convert

ΑΡΙΘ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	LATITUDE	LONGITUDE
1	ΚΑΤΣΙΡΟΥΜΠΑ 6, ΛΑΡΙΣΑ	39.6342859	22.4335812
2	ΓΙΑΝΝΟΥΛΗ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6654207	22.3939492
3	ΚΟΥΛΟΥΡΙ, ΛΑΡΙΣΑ	39.7040247	22.4391056
4	ΝΙΚΗ, ΛΑΡΙΣΑ	39.641506	22.419757
5	ΜΑΝΔΗΛΑΡΑ 35, ΛΑΡΙΣΑ	39.6355488	22.419389
6	ΑΣΚΛΗΠΙΟΥ 48, ΛΑΡΙΣΑ	39.6345422	22.4183106
7	Κ.Υ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ, ΛΑΡΙΣΑ	39.7400147	22.2760376
8	ΚΛΙΝΙΚΗ ΘΩΜΑ "ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ", ΛΑΡΙΣΑ	39.6286167	22.4600867
9	ΠΑΙΩΝΙΟΥ 74, ΛΑΡΙΣΑ	39.6097978	22.4211385
10	ΠΑΤΡΟΚΛΟΥ 14, ΛΑΡΙΣΑ	39.6361102	22.4174604

© 2018 - Lois

**Εικόνα 3.4:** Οι οδοί και οι συντεταγμένες, όπως προέκυψαν από το εργαλείο

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας, εντοπίστηκαν κάποια περιστατικά με ίδιες συντεταγμένες, που έδειχναν το κέντρο της Λάρισας. Αυτό οφειλόταν στην αδυναμία του συστήματος να εντοπίσει τις απαιτούμενες διευθύνσεις, είτε λόγω αλλαγής ονόματος, είτε λόγω ορθογραφικού λάθους στην καταγραφή τους. Επειδή οι περιπτώσεις αυτές δεν ήταν πάρα πολλές (συγκεκριμένα 57), ελέγχθηκαν

μεμονωμένα, καθώς έγινε χειρόγραφη μεταφορά τους στο Google maps. Εντούτοις, σε λίγες περιπτώσεις κατέστη δυνατό, να βρεθούν οι σωστές συντεταγμένες αυτών των οδών. Οι υπόλοιπες περιπτώσεις διαγράφηκαν, με αποτέλεσμα τα τελικά προς μελέτη δεδομένα να είναι 2.421. Μετά, την εξαγωγή των συντεταγμένων όλα τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν σ' ένα αρχείο excel (Εικόνα 3.5).

	Ημερομηνία	Ώρα κλήσης	Ώρα άφιξης	Συμπτώματα	Διεύθυνση	lat	lon
1	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	3:27	3:50	ΚΟΙΛΙΑΚΟ ΑΛΓΟΣ	ΤΥΡΝΑΒΟΣ, ΛΑΡΙΣΑ	39.7589933	22.28609
2	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	8:16	8:29	CA, ΔΙΑΘΕΣΙΑ	ΓΙΑΝΝΟΥΛΗ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6654207	22.3939492
3	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	8:18	8:25	ΠΤΩΣΗ ΑΠΌ ΤΟ ΚΡΕΒΑΤΙ, ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΓΗΡΟΚΟΜΕΙΟ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6207	22.4053799
4	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	8:30	8:40	ΕΝΤΟΝΟ ΑΛΓΟΣ ΚΟΙΛΙΑΣ	ΠΑΙΩΝΙΟΥ 76, ΛΑΡΙΣΑ	39.6097005	22.4211621
5	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	10:07	10:12	ΠΙΘ. ΥΠΟΓΛΥΚ. ΚΩΜΑ	15ο ΓΥΜΝΑΣΙΟ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6209034	22.4172721
6	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	10:15	10:54	ΕΠΙΣΧΕΣΗ ΟΥΡΩΝ	ΦΑΛΑΝΗ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6476947	22.4159035
7	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	19:20	19:31	ΠΙΘ. ΑΕΕ, ΣΒΗΝΕΙ	ΤΕΡΨΙΘΕΑ, ΛΑΡΙΣΑ	39.618598	22.4282175
8	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	19:40	19:56	ΣΥΠΤΙΚΟ SHOCK	ΚΛ, ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ, ΛΑΡΙΣΑ	39.696927	22.340831
9	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	20:25	20:34	ΔΥΣΠΝΟΙΑ, CA ΠΙΝΕΥΜΟΝΩΝ	ΣΕΡΙΦΟΥ 68, ΛΑΡΙΣΑ	39.6273573	22.4133437
10	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	21:16	21:18	ΤΡΟΧΑΙΟ	ΚΛΕΙΣΤΟ ΝΕΑΠΟΛΗΣ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6132292	22.3983882
11	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	21:30	21:57	ΜΕΘΗ	ΦΥΛΑΚΕΣ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6107972	22.3972121
12	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	23:40	23:59	ΖΑΛΗ	HOT SPOT ΚΟΥΤΣΟΧΕΡΟ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6080495	22.237404
13	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	3:06	3:30	ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ	ΡΟΔΙΑ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6314268	22.416203
14	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	14:53	15:06	ΛΙΠΟΘΥΜΙΑ	ΗΠΕΙΡΟΥ 68, ΛΑΡΙΣΑ	39.6342376	22.4170697
15	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	15:54	16:03	ΤΡΟΧΑΙΟ	ANIMUS, ΛΑΡΙΣΑ	39.638701	22.4137924
16	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	15:54	16:03	ΤΡΟΧΑΙΟ	ANIMUS, ΛΑΡΙΣΑ	39.638701	22.4137924
17	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	16:29	16:48	ΜΟΥΔΙΑΣΜΑ ΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ	ΑΡΜΕΝΙΟ, ΛΑΡΙΣΑ	39.4890403	22.6980421
18	Πέμπτη, 15 Δεκεμβρίου 2016	16:28	17:01	ΑΡΡΥΘΜΙΕΣ	ΠΑΤΡΟΚΛΟΥ 18, ΛΑΡΙΣΑ	39.6361219	22.4180385
19	Παρασκευή, 16 Δεκεμβρίου 2016	0:35	1:03	ΔΥΣΠΝΟΙΑ, ΠΙΕΣΗ	ΜΕΣΟΧΩΡΙ, ΛΑΡΙΣΑ	39.748261	22.1032616
20	Παρασκευή, 16 Δεκεμβρίου 2016	2:04	2:18	ΖΑΧΑΡΟ	HOT SPOT ΚΟΥΤΣΟΧΕΡΟ, ΛΑΡΙΣΑ	39.6080495	22.237404
21	Παρασκευή, 16 Δεκεμβρίου 2016	8:02	8:10	ΠΟΝΟΣ ΣΤΟ ΣΤΗΘΟΣ	ΙΑΤΡΙΔΟΥ 15, ΛΑΡΙΣΑ	39.6234092	22.3931442
22	Παρασκευή, 16 Δεκεμβρίου 2016	8:32	8:41	ΛΙΠΟΘ. ΤΑΣΕΙΣ, ΕΜΕΤΟΙ	ΑΓΧΙΑΛΟΥ 20, ΛΑΡΙΣΑ	39.6285156	22.3953815
23	Παρασκευή, 16 Δεκεμβρίου 2016	9:23	9:35	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΔΟΥΚΑ 83, ΛΑΡΙΣΑ	39.6239798	22.4343985

**Εικόνα 3.5:** Το αρχείο excel με τα συνολικά δεδομένα

## **Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογίες**

Για την μελέτη των επιχειρήσεων των οχημάτων του ΕΚΑΒ χρησιμοποιήθηκαν κάποια εργαλεία της επιχειρησιακής έρευνας τα οποία θα αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο. Πρώτος στόχος της εργασίας ήταν να μελετήσει τον αριθμό περιστατικών που αναλαμβάνει κάθε όχημα, αλλά και τον χρόνο απόκρισης που αντιστοιχεί σε κάθε περίπτωση. Για τον λόγο αυτό αντιμετωπίστηκε η περίπτωση αυτή ως ένα πρόβλημα δρομολόγησης και χρησιμοποιήθηκαν μεθοδολογίες από τον τομέα αυτό για την έρευνα. Στη συνέχεια αναζητήθηκε η καλύτερη δυνατή τοποθεσία για κάθε ασθενοφόρο σε φάση αναμονής, ώστε να μειωθεί ο χρόνος απόκρισης. Για να γίνει αυτό, χωρίστηκε η πόλη της Λάρισας σε διακριτά κομμάτια, διαδικασία που ονομάζεται συσταδοποίηση και αναλύεται παρακάτω. Τέλος, αναπτύσσονται οι διάφοροι τύποι προβλημάτων τοποθέτησης εγκατάστασης διότι ήταν αναγκαίοι για την εύρεση της βέλτιστης θέσης.

### **4.1 Δρομολόγηση**

#### **4.1.1 Η έννοια της Δρομολόγησης**

Η έννοια της Δρομολόγησης σχετίζεται με την κατάστρωση και σχεδίαση της βέλτιστης διαδρομής πάνω σε ένα δίκτυο, του οποίου οι ακμές (δυνατές μεταβάσεις μεταξύ των κόμβων) χαρακτηρίζονται από κόστη. Τα κόστη αυτά μπορεί να είναι χρόνος μετακίνησης, αποστάσεις, οικονομική επιβάρυνση ή και συνδυασμοί των προηγούμενων, ανάλογα με τη φύση του εξεταζόμενου προβλήματος. Ο αντικειμενικός σκοπός του προβλήματος είναι ο εντοπισμός της βέλτιστης διαδρομής, δηλαδή της διαδρομής, που οδηγεί από έναν κόμβο σε έναν άλλον και το κόστος αυτής είναι το ελάχιστο δυνατόν.

Η δρομολόγηση γίνεται για διάφορα είδη δικτύων, συμπεριλαμβανομένου του τηλεφωνικού δικτύου (μεταγωγή κυκλώματος), ηλεκτρονικά δίκτυα δεδομένων (διαδίκτυο) και τα δίκτυα μεταφορών. Το πρόβλημα της δρομολόγησης αποτελεί ένα από τα πιο πολυσυζητημένα προβλήματα της επιστημονικής περιοχής της βελτιστοποίησης. Οι αλγόριθμοι και οι τεχνικές, που χρησιμοποιούνται για την εύρεση ή προσέγγιση της βέλτιστης διαδρομής, απαντώνται τακτικά σε προβλήματα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης (combinatorial optimization), με προεκτάσεις στις συγγενείς περιοχές της στοχαστικής βελτιστοποίησης (stochastic optimization) και βέλτιστου ελέγχου (optimal control).

Ένα πρόβλημα που μπορεί να τεθεί σε ένα δίκτυο είναι το ακόλουθο: Δοσμένου ενός αρχικού κόμβου, να οδηγηθούμε σε έναν άλλο κόμβο, επιλέγοντας εκείνο το μονοπάτι που φέρει το ελάχιστο αθροιστικό κόστος επί των ακμών του δικτύου, που οδηγούν διαδοχικά από τον αρχικό κόμβο στον κόμβο προορισμού. Η εύρεση αυτού του βέλτιστου μονοπατιού ορίζει ένα πρόβλημα δρομολόγησης και η ιδέα του προβλήματος μπορεί να αποτελεί την απλοποιημένη εκδοχή για μια ευρύτερη κλάση προβλημάτων δρομολόγησης. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό σαν το Πρόβλημα του Συντομότερου Μονοπατιού (Shortest Path Problem). Αποτελεί σημείο αναφοράς για σχεδόν όλα τα προβλήματα δρομολόγησης και απαντάται σε πολλές περιοχές έρευνας, όπως για παράδειγμα στη Θεωρητική Πληροφορική και Επιστήμη των Υπολογιστών (Theoretical Informatics and Computer Science), η Επιχειρησιακή Έρευνα (Operations Research), τα Διακριτά Μαθηματικά (Discrete Mathematics) κ.α.

#### 4.1.2 Δημοφιλή Προβλήματα Δρομολόγησης

Ο τρόπος και η δυσκολία εντοπισμού της βέλτιστης διαδρομής εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο, που είναι ορισμένο το πρόβλημα και την τοπολογία του δικτύου, όπως στην περίπτωση κατά την οποία η ζητούμενη διαδρομή είναι κλειστή ή ανοιχτή (μονοπάτι ή κύκλος), αν τα κόστη μεταβάλλονται ή είναι σταθερά, αν η τοπολογία του δικτύου με το χρόνο κ.α. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τόσο της ζητούμενης διαδρομής όσο και του δικτύου, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα προβλήματα σε κλάσεις με κοινά χαρακτηριστικά. Παρακάτω δίνουμε τις συνοπτικές περιγραφές ορισμένων από τα πιο γνωστά προβλήματα, που συναντούμε στην επιστημονική βιβλιογραφία.

##### *a) Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (TSP)*

Ένα από τα πιο διαδεδομένα προβλήματα δρομολόγησης είναι το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή. Απαντάται συχνά στην περιοχή της Θεωρητικής Πληροφορικής και της Μαθηματικής Βελτιστοποίησης και σύμφωνα με το οποίο ισχύουν τα εξής:

Έστω ένας πλανόδιος πωλητής, ο οποίος απαιτείται να περάσει από ένα συγκεκριμένο αριθμό πόλεων. Ο πωλητής ξεκινάει από μια συγκεκριμένη πόλη (αφετηρία), με την απαίτηση να μεταβεί σε κάθε πόλη ακριβώς μια φορά και να επιστρέψει και πάλι στην αφετηρία του, έχοντας πραγματοποιήσει την ελάχιστη διαδρομή. Όσον αφορά τον όρο ελάχιστη διαδρομή, εξαρτάται κάθε φορά από το αντικείμενο προς βελτιστοποίηση και τη φύση του προβλήματος και μπορεί να είναι κόστος διαδρομής, η αποφυγή μιας δύσκολης διαδρομής, ο χρόνος μετάβασης και άλλα.

Το πρόβλημα αυτό διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1930 και έκτοτε αποτέλεσε βασικό αντικείμενο μελέτης για πολλά ακόμα προβλήματα βελτιστοποίησης. Στις επόμενες δεκαετίες 1950 και 1960 το πρόβλημα έγινε αρκετά δημοφιλές στην επιστημονική κοινότητα, καθώς διατυπώθηκε ως πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού.

Αν και η διατύπωση του προβλήματος μοιάζει αρκετά απλή, ωστόσο το TSP αποτελεί ένα από τα προβλήματα, όπου δεν έχει βρεθεί κάποια γενική μέθοδος επίλυσης. Η απλότητα της διατύπωσης του προβλήματος είναι παραπλανητική. Λόγω αυτής της μεγάλης δυσκολίας, που παρουσιάζει το TSP ως προς την υπολογισσιμότητα και πολυπλοκότητά του, ένας μεγάλος αριθμός ευρετικών αλγορίθμων έχουν προταθεί, παρουσιάζοντας λύσεις ακόμα και στην περίπτωση όπου υπάρχουν πολλές πόλεις στα δεδομένα του προβλήματος. Ορισμένες παραλλαγές του προβλήματος εισάγουν διάφορους περιορισμούς όπως ύπαρξη χρονοπαραθύρων (time windows) ή περιορισμένων πόρων (limited resources), οπότε το πρόβλημα γίνεται σαφώς δυσκολότερο.

Αξίζει να αναφερθεί ότι για πρώτη φορά μοντελοποιήθηκε και επιλύθηκε ένα πραγματικό πρόβλημα με τις 49 πρωτεύουσες πολιτειών των Η.Π.Α. Το TSP περιγράφεται από έναν γράφο με βάρη, οι κορυφές του οποίου αναπαριστούν τις πόλεις και οι ακμές τις δυνατές μεταβάσεις. Τα βάρη επί των ακμών περιγράφουν τις αποστάσεις μεταξύ των πόλεων. Ουσιαστικά η διαδρομή σε ένα τέτοιο πρόβλημα συνιστά έναν κύκλο Hamilton ελάχιστου μήκους. Επιπλέον, ο γράφος μπορεί να είναι είτε κατευθυνόμενος είτε όχι, με το πρόβλημα να είναι ακόμα πιο σύνθετο στη πρώτη περίπτωση. Όσον αφορά τη δυσκολία επίλυσης κατατάσσεται στην NP, με αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποιος αλγόριθμος, που να το επιλύει σε πολυωνυμικό χρόνο, δηλαδή σε χρόνο που εξαρτάται πολυωνυμικά από το πλήθος των πόλεων, που

υπάρχουν ως δεδομένα στο πρόβλημα. Συνεπώς στις περιπτώσεις, που αυξάνονται τα δεδομένα, είναι επόμενο ο χρόνος επίλυσης να αυξάνεται εκθετικά (Kang and Ouyang 2010, Davendra 2010).

### ***b) Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP)***

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Vehicle Routing Problem) εντάσσεται στη κατηγορία των προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού (Linear Programming). Τα προβλήματα αυτά αποτελούν συνήθως ειδικές περιπτώσεις προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού (Linear Programming), στα οποία όμως οι μεταβλητές λαμβάνουν επιτρεπτές τιμές από ένα σύνολο ακεραίων αριθμών. Τα προβλήματα του Ακέραιου Προγραμματισμού παρουσιάζουν και αυτά πολυπλοκότητα NP-τύπου, δηλαδή δεν έχει βρεθεί αλγόριθμος, που να τα επιλύει σε μη πολυωνυμικό χρόνο.

Το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: Απαιτείται να καθοριστεί το σύνολο των βέλτιστων διαδρομών για έναν στόλο οχημάτων, προκειμένου να εξυπηρετηθούν ορισμένοι πελάτες, που βρίσκονται σε συγκεκριμένους κόμβους ενός δικτύου. Τα οχήματα αυτά είναι δυνατόν να αναχωρούν από μία ή και περισσότερες βάσεις - αποθήκες ανεφοδιασμού στις οποίες και πρέπει να επιστρέψουν.

Η έρευνα στη δρομολόγηση οχημάτων ξεκίνησε το 1959 με το πρόβλημα αποστολής φορτηγών από τους Dantzig και Ramser. Η διατύπωση του ήταν η εξής, έστω ένας στόλος φορτηγών μεταφοράς καυσίμων, ζητείται η βέλτιστη διαδρομή μεταξύ του σταθμού ανεφοδιασμού και των σταθμών εξυπηρέτησης. Η προσεγγιστικά βέλτιστη λύση προέκυψε μετά από μοντελοποίηση του προβλήματος με γραμμικό προγραμματισμό. Έκτοτε έχουν προταθεί αρκετοί αλγόριθμοι και μοντέλα για την ακριβή επίλυση διάφορων περιπτώσεων VRP. Σήμερα υπάρχουν



αρκετά πακέτα λογισμικού, τα οποία δίνουν λύση σε πραγματικά προβλήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων.

Τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, η επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει έντονα την προσοχή της στη μελέτη του VRP. Αυτή η στροφή συμπίπτει με την αύξηση της χρήσης των Κατανεμημένων Συστημάτων (Distributed Systems). Ένα κατανεμημένο σύστημα αποτελείται από γεωγραφικά ανεξάρτητες, αυτόνομες υπολογιστικές συσκευές, που έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους και να λειτουργούν συντονισμένα για την επίτευξη ενός κοινού στόχου.

Η βασική ιδέα είναι η διανομή αγαθών ανάμεσα σε ένα σύνολο αποθηκών και ένα σύνολο γεωγραφικά διασκορπισμένων πελατών, κάνοντας τη θεώρηση ότι οι θέσεις των πελατών αποτελούν τους κόμβους εξυπηρέτησης πάνω σε ένα δίκτυο, στο οποίο σημειώνουμε και όλες τις δυνατές μεταβάσεις – ακμές, που ενώνουν τους κόμβους αυτούς, αλλά και με τους σταθμούς ανεφοδιασμού. Η συλλογή στερεών αποβλήτων (solid waste collection), η δρομολόγηση σχολικών λεωφορείων (school bus routing), η μεταφορά ατόμων με αναπηρία (transportation of handicapped persons) και η διαχείριση μονάδων συντήρησης (management of maintenance units) αποτελούν μερικά παραδείγματα πραγματικών προβλημάτων, στα οποία εφαρμόζονται παρεμφερείς τεχνικές επίλυσης με αυτές, που χρησιμοποιούμε στο VRP.

Το VRP αποτελεί μια επέκταση του TSP, διότι στο πρώτο επιζητούμε το πλήθος των βέλτιστων διαδρομών των οχημάτων, στις οποίες κάθε όχημα εκκινεί από έναν κόμβο - αποθήκη, διατρέχει ένα υποσύνολο κόμβων πελατών σε καθορισμένη σειρά και επιστρέφει στον αρχικό κόμβο. Τα οχήματα είναι δυνατόν να έχουν διαφορετικές χωρητικότητες και πρέπει να επισκεφτούν τα σημεία εξυπηρέτησης ακριβώς μια φορά και όπως είναι επόμενο η συνολική ζήτηση φορτίου πάνω σε μια

διαδρομή δε πρέπει να ξεπερνά τη χωρητικότητα του οχήματος. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους για κάθε μια από τις  $m$  αυτές διαδρομές και επομένως και το συνολικό κόστος των παραδόσεων. Φυσικά σε ένα πραγματικό πρόβλημα μπορούν να προκύψουν πολλοί περιορισμοί, οι οποίοι να μετατρέψουν το πρόβλημα σε ακόμα πιο πολύπλοκο, όπως ορισμό του συνολικού χρόνου δρομολόγησης, να υπάρχουν συγκεκριμένα χρονοπαράθυρα, μέσα στα οποία μπορεί να ξεκινήσει η εξυπηρέτηση κ.α.. Το πρόβλημα αυτό κατατάσσεται στην πολυπλοκότητα τύπου NP, δηλαδή όπως και στο πρόβλημα TSP δεν έχει βρεθεί αλγόριθμος που να το επιλύει σε πολυωνυμικό χρόνο (Zang et al 2012, Toth and Vigo 2002).

#### ***b.1) Το πρόβλημα Dial-a-Ride***

Το πρόβλημα Dial-a-ride (DARP) είναι σε γενική μορφή ένα πρόβλημα δρομολόγησης VRP. Μορφοποιήθηκε για πρώτη φορά στην δεκαετία του 1970 (Wilson et al., 1971, 1976, 1977) και έχει πλέον απασχολήσει έναν μεγάλο αριθμό ερευνητών ώστε να βρεθούν αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για την επίλυσή του. Στο πρόβλημα οι επιβάτες ζητούν να γίνει μια διαδρομή ανάμεσα σε δύο κόμβους -τον pickup και τον delivery-. Ο στόλος που θα εξυπηρετήσει την ζήτηση αυτή αποτελείται από έναν αριθμό οχημάτων με συγκεκριμένη χωρητικότητα, που αναμένουν στην αποθήκη (depot). Έτσι, υπάρχουν δύο προβλήματα που μπορούν να λυθούν:

- Ο σκοπός μπορεί να είναι είτε να καθοριστεί το μέγεθος του στόλου που μπορεί να ανταπεξέλθει στην ζήτηση, οπότε και ζητάμε την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, το οποίο προέρχεται από μισθούς οδηγών και κόστος διαχείρισης οχημάτων.

- Ο σκοπός είναι να ικανοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερα αιτήματα με δεδομένο τον στόλο, οπότε και ζητάμε την μεγιστοποίηση της ζήτησης που εξυπηρετείται.

Το DARP μπορεί να είναι στατικό ή δυναμικό. Στην πρώτη περίπτωση, όλα τα αιτήματα για μετακίνηση είναι γνωστά από πριν και στην δεύτερη περίπτωση τα αιτήματα αποκαλύπτονται κατά την διάρκεια της ημέρας με τα οχήματα να πρέπει να προσαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα μπορεί να υπάρχουν διαφορετικές αποθήκες από τις οποίες γίνεται η εκκίνηση των οχημάτων και ο στόλος μπορεί να μην είναι ομοιογενής.

Για παράδειγμα η περίπτωση της υπηρεσίας μετακίνησης ηλικιωμένων ή ανθρώπων με κινητικά προβλήματα μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα DARP καθώς τα οχήματα κάνουν το pickup από πόρτα σε πόρτα. Ακόμα υπάρχουν διαφορετικοί τύποι οχημάτων –κάποια δέχονται καροτσάκια, άλλα είναι φτιαγμένα για ασθενείς στο κρεβάτι (Madsen et al. 1995).

Η ποιότητα των υπηρεσιών dial-a-ride έγκειται σε κάποια μεγέθη, όπως η διάρκεια και το μήκος κάθε διαδρομής, στον χρόνο αναμονής των πελατών, στον χρόνο που περνούν στα οχήματα οι πελάτες και στην διαφορά ανάμεσα στον επιθυμητό και πραγματικό χρόνο άφιξης. Κάποια από αυτά τα μεγέθη αποτελούν περιορισμούς που θέτονται στην αντικειμενική. Συχνά στο DARP οι χρήστες θέτουν ένα χρονικό παράθυρο για τον χρόνο άφιξης και αναχώρησης.

### **c) Το Πρόβλημα της Συντομότερης Διαδρομής (SPP)**

Ένα από τα πιο βασικά προβλήματα στη θεωρία των δικτύων είναι το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής (Shortest Path Problem). Το πρόβλημα αφορά την εύρεση της συντομότερης διαδρομής μεταξύ μιας προέλευσης (αρχικός

κόμβος) και ενός προορισμού (τελικός κόμβος), διαμέσου ενός συνεκτικού δικτύου, όταν είναι γνωστές οι αποστάσεις των αντίστοιχων κλάδων του δικτύου. Ο ορισμός του προβλήματος καθορίζει ότι σε έναν κατευθυνόμενο γράφο με βάρη στις ακμές και με  $n$  αριθμό κόμβων. Το μήκος του μονοπατιού είναι το μήκος όλων των ακμών του. Συντομότερο μονοπάτι χαρακτηρίζεται αυτό το οποίο έχει ίδιο κόμβο αφετηρίας και προορισμού αλλά με μικρότερο μήκος από όλα τα υπόλοιπα. Αν και έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι επίλυσης (αλγόριθμοι), ο αλγόριθμος του Dijkstra, είναι από τις πιο γρήγορες και εύχρηστες μεθόδους. Η διαδικασία αυτή εξελίσσεται από την αρχή του δικτύου, προσδιορίζοντας μία αλληλουχία των κόμβων του δικτύου σε ανερχόμενη σειρά της συντομότερης τους απόστασης από την αρχή, λύνοντας έτσι το πρόβλημα όταν φτάσει στον τελικό κόμβο.

Το SSP, όπως και το TSP, αποτελεί θεμελιώδες πρόβλημα βελτιστοποίησης. Και αυτό για δύο λόγους:

Πρώτον γιατί οι αλγόριθμοι, που το επιλύουν, χρησιμοποιούνται σε μία γενικότερη πληθώρα ζητημάτων βελτιστοποίησης.

Δεύτερον, γιατί το πρόβλημα του SSP μοντελοποιείται με τη χρήση γράφων και η επίλυσή του στηρίζεται στην εξαγωγή συμπερασμάτων και ιδιοτήτων των δοσμένων δομών. Αυτή η έντονη ανάλυση των γράφων κεντρίζει το ενδιαφέρον των ατόμων, που ασχολούνται με την επιστημονική περιοχή της Θεωρίας Γράφων.

## **4.2 Συσταδοποίηση (Clustering)**

Η ανάλυση συστάδων (cluster analysis) ή πιο απλά clustering είναι η οργάνωση μιας συλλογής από δείγματα - στοιχεία (patterns) σε συστάδες (clusters) με βάση κάποιο μέτρο ομοιότητας. Τα στοιχεία συνήθως περιγράφονται σαν διανύσματα τιμών κάποιων μέτρων ή αναπαρίστανται ως σημεία σε έναν πολυδιάστατο χώρο. Ο

σκοπός είναι πως τα αντικείμενα σε μία ομάδα θα πρέπει να είναι όμοια (ή σχετικά/συγγενικά) μεταξύ τους και διαφορετικά/ξεχωριστά από (ή ετερογενείς προς) τα άλλα αντικείμενα στις άλλες ομάδες. Όσο μεγαλύτερη η ομοιότητα (ή ομοιογένεια) μέσα σε μία ομάδα και η διαφορά μεταξύ των ομάδων, τόσο καλύτερη είναι η ομοιογένεια. Στοιχεία, που ανήκουν στην ίδια ομάδα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιότητα από ότι στοιχεία, που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες.

Η συσταδοποίηση (clustering) είναι μια διαδικασία, που εντάσσεται γενικότερα στην μη επιβλέπουσα μάθηση (unsupervised learning). Υπάρχει διαφορά μεταξύ supervised και unsupervised. Στην επιβλεπόμενη μάθηση ή κατηγοριοποίηση (supervised classification) ένα σύνολο από πρό-ομαδοποιημένα στοιχεία είναι διαθέσιμο, και αυτό που μας ζητείται είναι να εντάξουμε ένα νέο στοιχείο σε κάποια από τις υπάρχουσες κλάσεις. Συνήθως τα πρό-ομαδοποιημένα στοιχεία χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις διαφορετικές ομάδες – κλάσεις, στις οποίες θα εντάξουμε νέα στοιχεία. Αντίθετα στην μη επιβλεπόμενη μάθηση και συσταδοποίηση το πρόβλημα είναι να ομαδοποιήσουμε σε λογικές κλάσεις τα στοιχεία, χωρίς καμία γνώση για προ-υπάρχουσες ομάδες. Έτσι, η συσταδοποίηση είναι απόλυτα οδηγημένη από τα δεδομένα (data driven) και παράγεται από αυτά.

#### **4.2.1 Εφαρμογές της Συσταδοποίησης**

Ο στόχος είναι να καθοριστεί η εγγενής συσταδοποίηση (clustering) σε ένα σύνολο unlabeled δεδομένων. Αλλά πώς να αποφασιστεί τι αποτελεί μία καλή ομαδοποίηση; Μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει κάποιο απόλυτα “βέλτιστο” κριτήριο, που θα ήταν ανεξάρτητο από τον τελικό στόχο της ομαδοποίησης. Συνεπώς, είναι ο χρήστης που πρέπει να παρέχει αυτό το κριτήριο, κατά τέτοιο τρόπο ώστε το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του.

Παραδείγματος χάριν, θα μπορούσαμε να ενδιαφερθούμε για την εύρεση αντιπροσώπων για ομοιογενείς ομάδες (μείωση δεδομένων), για την εύρεση “φυσικών clusters” και την περιγραφή των άγνωστων ιδιοτήτων τους (“φυσικοί” τύποι δεδομένων), για την εύρεση χρήσιμων και κατάλληλων σχηματισμών ομάδας (“χρήσιμες” κλάσεις δεδομένων) ή για την εύρεση ασυνήθιστων αντικειμένων δεδομένων (ανίχνευση outliers).

Οι τεχνικές συσταδοποίησης εφαρμόζονται όταν δεν υπάρχουν καθορισμένες ομάδες, που να έχουν προβλεφθεί και περισσότερο όταν υπάρχει ανάγκη τα δεδομένα μας να χωριστούν σε φυσικές ομάδες. Αυτές οι ομάδες πιθανώς αντικατοπτρίζουν έναν μηχανισμό, ο οποίος προκαλεί σε ορισμένα από τα δεδομένα ομαδοποιήσεις βάσει κάποιων χαρακτηριστικών ομοιότητας. Η συσταδοποίηση απαιτεί διαφορετικές τεχνικές από τις μεθόδους κατηγοριοποίησης και αυτοσχέτισης. Γενικά υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι, με τους οποίους μπορούν να εκφραστούν τα αποτελέσματα. Οι ομάδες είναι μπορεί να είναι:

- Αποκλειστικές, που σημαίνει πως κάθε στοιχείο ανήκει μόνο σε μία και μοναδική ομάδα.
- Επικαλυπτόμενες δηλαδή ένα στοιχείο να ανήκει σε διάφορες ομάδες.
- Πιθανοτικές και κάθε στοιχείο να ανήκει σε κάποιες ομάδες με κάποια πιθανότητα
- Ιεραρχικές, όπου υπάρχει ένας διαχωρισμός των στοιχείων σε ομάδες, αλλά με ιεραρχία επιπέδων.

Η επιλογή του είδους των συστάδων έχει να κάνει με τη φύση των μηχανισμών, που θα υποστηρίζουν το συγκεκριμένο φαινόμενο συσταδοποίησης. Ωστόσο, επειδή αυτοί οι μηχανισμοί δεν είναι τόσο γνωστοί η επικράτηση της ορθής

μεθόδου συσταδοποίησης είναι κάτι, που η επιστημονική κοινότητα αναζητά και συνήθως η επιλογή βασίζεται στα εργαλεία συσταδοποίησης, που είναι διαθέσιμα.

Η συσταδοποίηση είναι βασική εργασία σε πολλούς τομείς, όπως η ανάλυση προτύπων (pattern - analysis), η λήψη αποφάσεων (decision-making), η μηχανική εκμάθηση (machine - learning), η εξόρυξη δεδομένων (data mining), η ανάκτηση κειμένων (document retrieval) κ.α. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, που εφαρμόζεται συσταδοποίηση υπάρχει μικρή γνώση για τη δομή και το είδος των στοιχείων π.χ. στατιστικά μοντέλα, που να περιγράφουν τα δεδομένα.

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές πάνω σε πρακτικά προβλήματα. Παρακάτω δίνονται κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα ανάλογα με το αν σκοπός της συσταδοποίησης είναι η κατανόηση ή η χρησιμότητα.

**a) Εφαρμογές Συσταδοποίηση για κατανόηση κλάσεων**

Κλάσεις ή σημαντικές ομάδες από αντικείμενα, που μοιράζουν κοινά χαρακτηριστικά, παίζουν σημαντικό ρόλο στο πως ο άνθρωπος αναλύει και το περιγράφει τον κόσμο γενικά. Από τη φύση του ο άνθρωπος διαχωρίζει αντικείμενα σε ομάδες (συσταδοποίηση), και ταιριάζει συγκεκριμένα αντικείμενα σε τέτοιες ομάδες (κατηγοριοποίηση).

**b) Εφαρμογές Στη Βιολογία**

Οι βιολόγοι έχουν ξοδέψει πολλά χρόνια έρευνας στη δημιουργία ταξινομιών από ζωντανούς οργανισμούς (hierarchical classification). Έτσι δεν μας κάνει έκπληξη, που αρκετή από τη δουλειά, που έχει γίνει ως τώρα στην ανάλυση συστάδων (cluster analysis) έδειξε πως αναζητούσε να δημιουργήσει μία καλά ορισμένη μαθηματική ταξινόμια, που θα μπορούσε αυτόματα να βρίσκει τις δομές κατηγοριοποίησης. Πιο πρόσφατα, οι βιολόγοι έχουν εφαρμόσει τεχνικές

συσταδοποίησης για να αναλύσουν το μεγάλο αριθμό γενετικής πληροφορίας, που είναι διαθέσιμη. Η συσταδοποίηση έχει χρησιμοποιηθεί για εύρεση συστάδων γονιδίων, που έχουν παρόμοια λειτουργία.

**c) Εφαρμογές Στην Εξόρυξη γνώσης**

Ο παγκόσμιος ιστός αποτελείται από δισεκατομμύρια σελίδες και τα αποτελέσματα από ένα ερώτημα σε μία μηχανή αναζήτησης μπορεί να επιστρέψει χιλιάδες σελίδες σαν αποτέλεσμα. Η συσταδοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ομαδοποίηση αυτά τα αποτελέσματα σε ένα μικρό αριθμό από ομάδες, καθεμιά από τις οποίες σκιαγραφεί μία διάσταση του ερωτήματος. Για παράδειγμα ένα ερώτημα για μία ταινία μπορεί να επιστρέψει σελίδες ομαδοποιημένες σε κατηγορίες, όπως ανασκοπήσεις, ηθοποιούς και θέατρα. Κάθε κατηγορία (cluster) μπορεί να διασπαστεί σε υποκατηγορίες (subclusters), παράγοντας ιεραρχικές δομές, που στη συνέχεια βοηθούν περισσότερο το χρήστη κατά την αναζήτηση που κάνει.

**d) Εφαρμογές Στο Κλίμα**

Για να κατανοήσουμε το κλίμα στη γη απαιτείται να βρεθούν πρότυπα κλίματος στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς. Εδώ η ανάλυση των συστάδων έχει εφαρμοστεί για να βρεθούν τέτοια πρότυπα της ατμοσφαιρικής πίεσης των πολικών περιοχών και περιοχών στους ωκεανούς που επηρεάζουν σημαντικά το κλίμα της γης.

**e) Εφαρμογές Στην Ψυχολογία και ιατρική**

Μια ασθένεια ή κατάσταση συχνά έχει ένα αριθμό μεταβολών, και η ανάλυση συστάδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθούν αυτές οι διαφορετικές υποκατηγορίες. Η ανάλυση των συστάδων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωριστούν πρότυπα σε χωρική ή προσωρινή κατανομή μίας ασθένειας.



#### 4.2.2 Βήματα στη Διαδικασία Συσταδοποίησης

Η διαδικασία της συσταδοποίησης μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές τμηματοποιήσεις ενός συνόλου δεδομένων, ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιείται.

Κατά συνέπεια, υπάρχει ανάγκη προεπεξεργασίας των δεδομένων προτού εφαρμοστεί η συσταδοποίηση σε ένα σύνολο δεδομένων. Τα βασικά βήματα για την ανάπτυξη της διαδικασίας της συσταδοποίησης είναι τα παρακάτω:

- **Επιλογή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων.** Σε αυτό το βήμα βασικός στόχος είναι να επιλεχθούν κατάλληλα τα γνωρίσματα (attributes), στα οποία πρόκειται να εφαρμοστεί η συσταδοποίηση, ώστε να κωδικοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία σχετικά με την εργασία, που μας ενδιαφέρει. Κατά συνέπεια, η προεπεξεργασία των δεδομένων μπορεί να είναι απαραίτητη πριν από τη χρησιμοποίησή τους στη διαδικασία της συσταδοποίησης.
- **Επιλογή αλγορίθμου συσταδοποίησης.** Αυτό το βήμα αναφέρεται στην επιλογή ενός αλγορίθμου, που οδηγεί στον καθορισμό ενός καλού σχήματος συσταδοποίησης (clustering scheme). Το μέτρο γειννίας και το κριτήριο συσταδοποίησης, που θα χρησιμοποιηθούν χαρακτηρίζουν ουσιαστικά τον αλγόριθμο συσταδοποίησης, καθώς και τη δυνατότητα του να καθορίσει ένα σχήμα συσταδοποίησης, που να ταιριάζει στο σύνολο δεδομένων. Συνεπώς, το βήμα αυτό βασίζεται στα εξής:
- Στο μέτρο γειννίας (proximity measure), το οποίο προσδιορίζει πόσο «όμοια» είναι δύο αντικείμενα (δηλαδή διανύσματα γνωρισμάτων). Στις περισσότερες από τις περιπτώσεις πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι όλα τα

επιλεγμένα γνωρίσματα συμβάλλουν εξίσου στον υπολογισμό του μέτρου εγγύτητας και δεν υπάρχει κανένα γνώρισμα, που να υπερισχύει των άλλων.

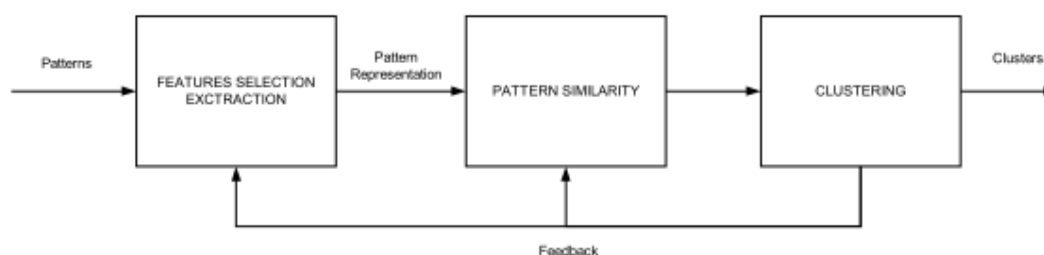
- Κριτήριο συσταδοποίησης. Σε αυτό το βήμα, πρέπει να καθορίσουμε το κριτήριο συσταδοποίησης, το οποίο μπορεί να εκφραστεί μέσω μίας συνάρτησης κόστους ή κάποιου άλλου τύπου κανόνων. Πρέπει να τονίσουμε ότι πρέπει να λάβουμε υπόψη τον τύπο των συστάδων, που αναμένονται να εμφανιστούν στο σύνολο δεδομένων. Κατά συνέπεια, πρέπει να καθορίσουμε «ένα καλό» κριτήριο συσταδοποίησης που να οδηγεί σε μία τμηματοποίηση που να ταιριάζει καλά στο σύνολο δεδομένων.
- Εγκυρότητα αποτελεσμάτων συσταδοποίησης. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου συσταδοποίησης εξακριβώνεται, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα κριτήρια και τεχνικές. Εφόσον, οι αλγόριθμοι συσταδοποίησης καθορίζουν τις συστάδες, που δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων, ανεξάρτητα από τις μεθόδους συσταδοποίησης, η τελική τμηματοποίηση των δεδομένων απαιτεί κάποιου είδους αξιολόγηση στις περισσότερες εφαρμογές.
- Ερμηνεία αποτελεσμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις, οι εμπειρογνώμονες στην περιοχή της εφαρμογής, που αναφέρεται η συσταδοποίηση πρέπει να ενσωματώσουν τα αποτελέσματα της συσταδοποίησης με αλλά πειραματικά στοιχεία.

#### **4.2.3 Διαδικασία Clustering**

Συνήθως τα βήματα, που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία του Clustering, είναι:

- Αναπαράσταση των στοιχείων: η οποία μπορεί να περιλαμβάνει παραγωγή νέων χαρακτηριστικών ή επιλογή μέρους των χαρακτηριστικών των στοιχείων (Pattern representation).
- Ορισμός του μέτρου ομοιότητας μεταξύ των στοιχείων (Similarity measure definition).
- Η καθαυτή διαδικασία της ομαδοποίησης. (Clustering).
- Αφαίρεση δεδομένων όταν χρειάζεται. (Data abstraction).
- Προσδιορισμός και εκτίμηση του αποτελέσματος. (Assessment of output).

Στο σχήμα παρουσιάζεται μία τυπική αλληλουχία των τριών πρώτων σταδίων κατά τη διαδικασία του Clustering περιλαμβανομένης μίας ανατροφοδότησης, όπου το μέχρι στιγμής αποτέλεσμα μπορεί να προβάλλει αξιόλογα χαρακτηριστικά των δεδομένων ή να επηρεάσει τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των στοιχείων.



**Εικόνα 4.1:** Διαδικασία clustering

Η αναπαράσταση των στοιχείων αφορά στον αριθμό των κλάσεων, τον αριθμό των διαθέσιμων στοιχείων, στον αριθμό και τύπο των χαρακτηριστικών, τα οποία ενδιαφέρουν τον αλγόριθμο του Clustering. Μερικά από τα προηγούμενα δεν είναι άμεσα διαθέσιμα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαδικασία της επιλογής χαρακτηριστικών κατά την οποία βρίσκονται και επιλέγονται τα καταλληλότερα χαρακτηριστικά των στοιχείων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για το Clustering. Εξάλλου, η διαδικασία της εξαγωγής χαρακτηριστικών χρησιμοποιεί μετασχηματισμούς υπαρχόντων χαρακτηριστικών για την παραγωγή άλλων, τα οποία πιθανόν να είναι πιο ενδιαφέροντα. Οποιαδήποτε από τις τεχνικές αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή των κατάλληλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων για την αναπαράσταση των στοιχείων προς ομαδοποίηση.

Το μέτρο ομοιότητας μεταξύ των στοιχείων καθορίζεται από μία συνάρτηση απόστασης. Ένα απλό μέτρο απόστασης, όπως η Ευκλείδεια απόσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικατοπτρίσει τη διαφορά - ανομοιότητα μεταξύ δύο στοιχείων, ενώ άλλα μέτρα απόστασης ποσοτικοποιούν την ομοιότητα των στοιχείων. Αναφορά στα μέτρα απόστασης γίνεται παρακάτω.

Η διαδικασία του Clustering μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι απόλυτα καθορισμένο (ομαδοποίηση των δεδομένων σε ξένες μεταξύ τους κλάσεις), ή fuzzy (όπου κάθε στοιχείο δεν ανήκει μόνο σε μία κλάση αλλά είναι μέλος όλων των κλάσεων με κάποιο βαθμό σε κάθε μία). Οι αλγόριθμοι ιεραρχικού Clustering παράγουν μια σειρά από εμφωλευμένες κλάσεις μετά από διαδικασίες διαχωρισμού ή συγχώνευσης με βάση το μέτρο ομοιότητας μεταξύ των στοιχείων διαφορετικών ομάδων. Οι αλγόριθμοι διαμέρισης από τη μεριά τους στοχεύουν στο να διαχωρίσουν τα δεδομένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να βελτιστοποιείται το κριτήριο με το οποίο γίνεται το Clustering, πιθανόν κάποιο μέτρο ομοιότητας ή διαφοροποίησης. Άλλες τεχνικές Clustering βασίζονται στη θεωρία των πιθανοτήτων και άλλες σε θεωρία γράφων.

Η αφαίρεση δεδομένων είναι διαδικασία κατά την οποία το σύνολο των δεδομένων αποκτά μία απλή και συμπαγή αναπαράσταση. Ο όρος απλή αναπαράσταση μπορεί να εξηγηθεί είτε από τη μεριά της αυτοποιημένης ανάλυσης είτε από τη μεριά του ανθρώπου. Στην πρώτη περίπτωση θα θέλαμε τα δεδομένα μας να αναπαρίστανται με τέτοιο σαφή και απλό τρόπο, ώστε μια περαιτέρω υπολογιστική επεξεργασία να είναι εξίσου εφικτή. Στη δεύτερη περίπτωση η απλή αναπαράσταση των δεδομένων τα κάνει πιο κατανοητά σε αυτούς, που πρόκειται να τα επεξεργαστούν και να βγάλουν συμπεράσματα. Συνήθως η αφαίρεση δεδομένων στο Clustering είναι μια συνοπτική αναπαράσταση κάθε κλάσης με τη βοήθεια κάπου αντιπροσώπου στοιχείου, το οποίο καλείται κεντροειδές (centroid).

Τέλος, η εκτίμηση (validation) της διαδικασίας του Clustering προσπαθεί να εκτιμήσει το αποτέλεσμα ενός αλγορίθμου, να βρει τι χαρακτηρίζει μια καλή διαδικασία από μια όχι και τόσο επιτυχή. Κυρίως αυτό που εκτιμάται είναι το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή κατά πόσο οι κλάσεις, που δημιουργήθηκαν έχουν νόημα και κατά ποσό αυτές δε δημιουργήθηκαν κατά τυχαίο τρόπο εξαιτίας του συγκεκριμένου αλγορίθμου, που χρησιμοποιήθηκε.

#### **4.2.4 Μέτρα Ομοιότητας – Μέτρα Ανομοιότητας**

Τα μέτρα εγγύτητας χωρίζονται σε μέτρα ομοιότητας (similarity measures) και μέτρα ανομοιότητας (dissimilarity measures).

- Τα μέτρα ομοιότητας μπορούν να λάβουν θετικές, αλλά και αρνητικές τιμές.
- Η μέγιστη τιμή της ομοιότητας μεταξύ δυο διανυσμάτων του  $X$  επιτυγχάνεται, όταν αυτά ταυτίζονται.
- Η ελάχιστη τιμή ανομοιότητας μεταξύ δυο διανυσμάτων του  $X$  επιτυγχάνεται όταν αυτά ταυτίζονται.

- Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα μέτρα ομοιότητας είναι αντίθετα από τα μέτρα ανομοιότητας.

Εύκολα μπορούμε να αποδείξουμε ότι αν το μέτρο ανομοιότητας  $d$  είναι μια μετρική, με  $d(x, y) > 0$ , τότε το μέτρο ομοιότητας  $ds = a$  με  $a > 0$  είναι και αυτό μετρική.

Επίσης εύκολα μπορούμε να αποδείξουμε ότι το μέτρο ομοιότητας  $d_{\max} - d$  είναι μια μετρική, όπου  $d_{\max}$  συμβολίζει τη μέγιστη τιμή του  $d$  ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη σημείων του  $X$ .

Θα μπορούσαμε να ομαδοποιήσουμε τα μέτρα εγγύτητας σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

1. Μέτρα απόστασης (Distance Measures).
2. Συντελεστές Σχέσης (Association Coefficients).
3. Συντελεστές Συσχέτισης (Correlation Coefficients).
4. Πιθανοτικοί Συντελεστές Ομοιότητας (Probabilistic Similarity Measures).

Σε κάθε συστάδα τα σημεία, που περιέχονται σε αυτή, παρουσιάζουν ομοιότητα μεταξύ. Έτσι για όλες τις τεχνικές Clustering είναι σημαντικό να ορίζεται ένα μέτρο ομοιότητας μεταξύ δύο αντικειμένων από το χώρο δεδομένων. Με τη μεγάλη ποικιλία στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα η επιλογή του μέτρου ομοιότητας θα πρέπει να είναι προσεγμένη. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό το μέτρο ομοιότητας που συνήθως μετράτε δεν είναι η ομοιότητα αλλά η διαφορετικότητα δυο σημείων.

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε σε μέτρα ομοιότητας, τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα, και χρησιμοποιούνται για την σύγκριση στοιχείων, των οποίων τα

χαρακτηριστικά περιγράφονται από συνεχείς τιμές. Το μέτρο ομοιότητας καλείται και απόσταση και ικανοποιεί την τριγωνική ανισότητα για δύο στοιχεία  $x, y$ :

$$D(x, y) = 0$$

$$D(x, y) = D(y, x)$$

$$D(x, y) \leq D(x, z) + D(z, y)$$

Το πιο γνωστό μέτρο ομοιότητας, που χρησιμοποιείται είναι η Ευκλείδεια απόσταση, η οποία ορίζεται ως εξής:

$$D(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}$$

Άλλοι τύποι, που δίνουν την απόσταση μεταξύ δύο στοιχείων μπορεί να είναι η απόσταση Manhattan:

$$D(x,y) = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i|$$

ή το μέγιστο της διαφοράς σε κάθε διάσταση:

$$D(x,y) = \max_{i=1}^k |x_i - y_i|$$

Η ευκλείδεια απόσταση χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις λίγων διαστάσεων και έχει καλά αποτελέσματα, όταν δεδομένα κατηγοριοποιούνται σε συμπαγή και αρκετά απομονωμένα clusters. Ένα πρόβλημα, που παρουσιάζει, είναι ότι στις πολλές διαστάσεις το χαρακτηριστικό, το οποίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση από τα άλλα κυριαρχεί και αποπροσανατολίζει το τελικό αποτέλεσμα. Εδώ πρόκειται για αυτό που συνήθως αναφέρεται ως κατάρα των πολλών διαστάσεων (curse of dimensionality).

Μερικοί αλγόριθμοι αντί να υπολογίζουν κάθε φορά την απόσταση μεταξύ δύο στοιχείων, χρησιμοποιούν ένα πίνακα, στον οποίο τοποθετούν τις ομοιότητες των στοιχείων. Αυτό που γίνεται είναι ένας προϋπολογισμός των  $n(n-1)/2$  τιμών ομοιότητας για ένα σύνολο  $n$  στοιχείων.

Όσον αφορά τώρα τον υπολογισμό της απόστασης για στοιχεία, των οποίων τα χαρακτηριστικά δεν είναι συνεχείς τιμές, αυτός είναι αρκετά προβληματικός. Στις περισσότερες των περιπτώσεων τα χαρακτηριστικά δεν είναι συγκρίσιμα και το αποτέλεσμα της σύγκρισης έχει δύο δυνατές τιμές, όμοιο ή ανόμοιο. Παρόλα αυτά οι ειδικοί, που ασχολούνται με στοιχεία των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι και των δύο τύπων έχουν βρει μεθόδους και μετρά για τον ορισμό της απόστασης των στοιχείων.

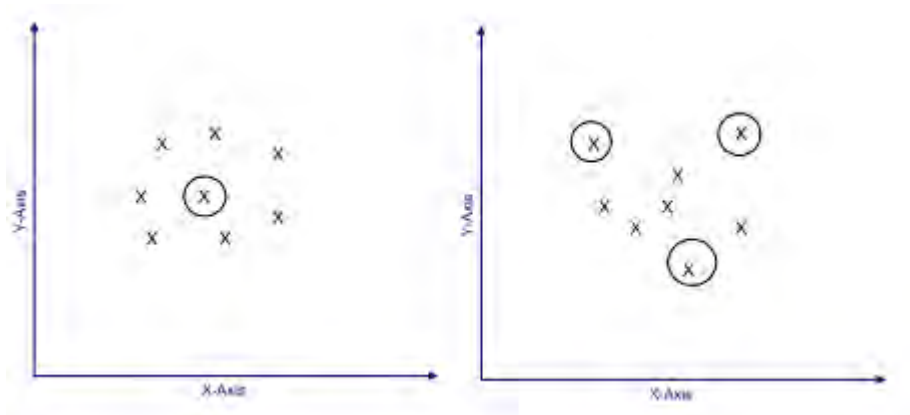
#### **4.2.5 Αναπαράσταση των clusters**

Το αποτέλεσμα της συσταδοποίησης είναι μια διαμέριση των δεδομένων σε συστάδες (clusters). Η διαμέριση αυτή δίνει μια ιδέα για το πως μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα δεδομένα μας σε έναν συγκεκριμένο αριθμό από κλάσεις. Σε πολλές εφαρμογές και κυρίως σε εκείνες λήψεως αποφάσεων είναι ανάγκη να υπάρξει μια συμπαγής και κατανοητή αναπαράσταση των clusters. Το ζήτημα της αναπαράστασης των clusters, που είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αφαίρεση δεδομένων είναι πολύ σημαντικό για τη λήψη αποφάσεων. Η αναπαράσταση ενός cluster μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Μερικοί από τους προτεινόμενους είναι και οι παρακάτω:

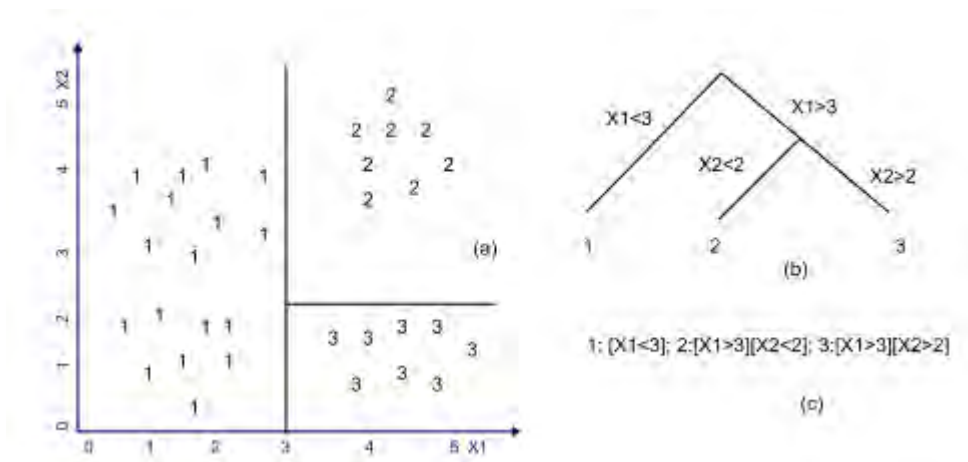
1. Ένα cluster μπορεί να αναπαρασταθεί από το κεντροειδές σημείου του ή από έναν αριθμό σημείων, που είναι τα πιο απομακρυσμένα στο cluster.



2. Οι κόμβοι ενός δένδρου κατηγοριοποίησης μπορούν να αναπαραστήσουν ένα cluster.
3. Επίσης ένα cluster μπορεί να αναπαρασταθεί, χρησιμοποιώντας συζευκτικούς λογικούς τελεστές.



**Εικόνα 4.2:** Αναπαράσταση clusters από σημεία



**Εικόνα 4.3:** α) clusters σε χώρο 2 διαστάσεων, β) ομαδοποίηση με δένδρο, γ) ομαδοποίηση με λογικούς συζευκτικούς τελεστές

Ο πρώτος τρόπος αναπαράστασης με τη χρήση ενός κεντροειδούς είναι ο πιο συνήθης και έχει καλά αποτελέσματα, όταν τα clusters είναι συμπαγή και τα στοιχεία κατανέμονται ομοιόμορφα γύρω από το κεντροειδές. Σε αντίθετη περίπτωση ο τρόπος

αυτός αναπαράστασης δεν είναι ο πιο κατάλληλος. Στην περίπτωση αυτή η αναπαράσταση ενός cluster από συνοριακά σημεία είναι μια πολύ καλή λύση υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι, που ακολουθούν αυτή την τεχνική όπως ο αλγόριθμος CURE. Όσο το σχήμα του cluster αλλάζει και παίρνει διάφορα σχήματα στο χώρο, η επιλογή των σημείων πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να περιγράφεται το cluster όσο το δυνατόν καλύτερα. Η αναπαράσταση με ένα δένδρο κατηγοριοποίησης είναι ισοδύναμη με την αναπαράσταση ενός cluster με λογικούς συζευκτικούς τελεστές.

Η αναπαράσταση των clusters και η αφαίρεση δεδομένων, που αυτή συνεπάγεται είναι πολύ σημαντική γιατί:

- δίνει μια απλή και ανθρωπίνως κατανοητή αναπαράσταση των δεδομένων,
- επιτυγχάνεται συμπίεση των δεδομένων, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί από άλλες υπολογιστικές εφαρμογές και
- βοηθάει και επιταχύνει τη διαδικασία λήψεων αποφάσεων.

### **4.3 Πρόβλημα Εγκατάστασης (Facility Location)**

Το 1909 ο Alfred Weber θέλησε να βρει την καλύτερη τοποθεσία για μια αποθήκη ώστε να ελαχιστοποιείται η απόσταση ανάμεσα σε αυτήν και τους πελάτες, ξεκινώντας έτσι την θεωρία των προβλημάτων εγκατάστασης (Weber 1929) με την μελέτη του αυτή να αποτελεί την αφετηρία της έρευνας σε αυτόν τον τομέα.

Τα προβλήματα εγκατάστασης είναι ένα κομμάτι της επιχειρησιακής έρευνας που έχει απασχολήσει πολύ λόγω του ότι αφορά ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών. Στην γενική τους μορφή τα προβλήματα αυτά περιλαμβάνουν μία ομάδα σημείων με συγκεκριμένη ζήτηση, διασκορπισμένων στον χώρο ενδιαφέροντος των οποίων οι αποστάσεις σε χρόνο και κόστος καταγράφονται

ώστε να προκύψει η βέλτιστη τοποθεσία της εγκατάστασης. Με τον όρο εγκατάσταση εννοούμε ένα εργοστάσιο παραγωγής για κάποια βιομηχανία, ένα νέο κατάστημα πώλησης ή και μια υπηρεσία όπως η πυροσβεστική.

Λόγω του μεγάλου κόστους που συνοδεύει την δημιουργία μιας από τις προαναφερθείσες εγκαταστάσεις, είναι καίριας σημασίας ο προσεκτικός προγραμματισμός. Πρέπει να αξιολογηθούν οι πιθανές τοποθεσίες, να καθοριστεί το μέγεθος της εγκατάστασης και να υπολογιστεί το συνολικό κόστος. Το τελευταίο είναι και αυτό που έχει οδηγήσει την επιχειρησιακή έρευνα να αναπτύξει μαθηματικά μοντέλα που αφορούν τα προβλήματα εγκατάστασης με διαφορετικές αντικειμενικές ώστε να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές ανάγκες.

Λόγω της υπολογιστικής δυσκολίας, το μεγαλύτερο κομμάτι της έρευνας αφορούσε ντετερμινιστικά μοντέλα εγκαταστάσεων και με αυτά θα ασχοληθούμε παρακάτω. Σε αυτά όλα, τα δεδομένα (ζήτηση, αποστάσεις, χρόνοι) θεωρούνται γνωστά και σταθερά μεγέθη και τα αποτελέσματα είναι μοναδικά. Στην πραγματικότητα, η επίλυση αυτών των προβλημάτων δεν είναι αρκετή καθώς υπάρχουν μεγάλες αβεβαιότητες στον τομέα, και ανεξέλεγκτες μεταβολές, που δεν λαμβάνονται υπόψιν. Για τον λόγο αυτό οι Averbakh και Berman (Averbakh and Berman 1997) εισάγουν την ανάλυση ευαισθησίας στο πρόβλημα ως έναν τρόπο να ανταποκριθούν στην αβεβαιότητα των δεδομένων.

Στην γενική τους μορφή τα προβλήματα εγκατάστασης έχουν ως δεδομένα γνωστές ποσότητες και μέσα από διάφορα κριτήρια και περιορισμούς καταλήγουν στην λύση που ικανοποιεί καλύτερα την αντικειμενική, για ένα σημείο του χρόνου. Ένας αριθμός ερευνητών μελετούν την επίλυση των προβλημάτων αυτών με πολλές αντικειμενικές (Current et al 1990). Γενικά όμως ένας τρόπος να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα μιας εγκατάστασης είναι η μέση απόστασή της από αυτούς που

την επισκέπτονται. Όσο η μέση απόσταση (είτε σε χρόνο, είτε σε απόσταση) μεγαλώνει, η πρόσβαση δυσκολεύει με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποτελεσματικότητα.

### 4.3.1 Προβλήματα Median

Στα προβλήματα αυτά η απόσταση προσμετρά την ποσότητα της ζήτησης σε κάθε σημείο. Έπειτα αναζητούνται οι τοποθεσίες των εγκαταστάσεων, ανάμεσα σε κάποιες επιλογές, ώστε να μειωθεί η συνολική απόσταση ταξιδιού μεταξύ αυτών και των πελατών. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι συμβολισμοί:

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1

Σύμβολα για πρόβλημα median

Δεδομένα	
$i$	Δείκτης των σημείων ζήτησης
$j$	Δείκτης των σημείων πιθανής τοποθεσίας εγκατάστασης
$h_i$	Ζήτηση στο σημείο $i$
$d_{ij}$	Απόσταση ανάμεσα στο σημείο $i$ και $j$
$P$	Αριθμός εγκαταστάσεων προς τοποθέτηση
Μεταβλητές απόφασης	
$X_j$	=1, αν τοποθετηθεί εκεί εγκατάσταση =0, αν όχι
$Y_{ij}$	=1, αν η ζήτηση $i$ ικανοποιείται από την εγκατάσταση $j$ =0, αν όχι

Το πρόβλημα median μορφοποιείται ως ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού ως εξής:

$$\min \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

$$s. t. \sum_j X_j = P \quad (2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0, \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (5)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (6)$$

Στην αντικειμενική (1) ελαχιστοποιείται το συνολικό «κόστος» για το πρόβλημα που εδώ εκφράζεται ως η απόσταση ανάμεσα στο κάθε σημείο και την εγκατάσταση πολλαπλασιασμένο με την ζήτηση του σημείου αυτού. Ο περιορισμός (2) εξασφαλίζει ότι θα τοποθετηθούν όσες εγκαταστάσεις χρειαζόμαστε και ο περιορισμός (3) ότι κάθε σημείο ζήτησης θα ικανοποιηθεί από κάποια εγκατάσταση. Ο περιορισμός (4) αναθέτει την εξυπηρέτηση ενός σημείο μόνο σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις και τέλος οι (5) και (6) είναι περιορισμοί δυαδικότητας.

Η παραδοχή ότι οι εγκαταστάσεις θα τοποθετηθούν σε ένα γνωστό σετ κόμβων προκύπτει από το θεώρημα του Hakimi (Hakimi 1964) που λέει ότι θα υπάρχει τουλάχιστον μία βέλτιστη λύση όπου οι  $P$  εγκαταστάσεις είναι τοποθετημένες σε κόμβους. Έτσι μπορεί να λυθεί η απλοποιημένη εκδοχή του προβλήματος που δεν περιλαμβάνει κάθε πιθανό σημείο του χώρου.

### 4.3.2 Προβλήματα Covering

Παρότι τα προβλήματα median καλύπτουν μία μεγάλη γκάμα εφαρμογών για δημόσιες ή ιδιωτικές εγκαταστάσεις, υπάρχουν περιπτώσεις που η ελαχιστοποίηση της μέσης απόστασης ως κριτήριο δεν γίνεται να εφαρμοστεί, όπως για παράδειγμα αν μία πόλη αναζητά που να τοποθετήσει έναν πυροσβεστικό σταθμό ή ένα

νοσοκομείο. Σε αυτές τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης είναι πιο σημαντικό να υπάρχει μια «μέγιστη» απόσταση που είναι αποδεκτή και ως εκ τούτου, στις περιπτώσεις αυτές υπάρχουν διαφορετικά κριτήρια για να αξιολογηθεί κάθε τοποθεσία.

Ένα από αυτά τα κριτήρια είναι η συνολική κάλυψη (coverage) που προσφέρεται από την εγκατάσταση αν γίνει σε συγκεκριμένη τοποθεσία και θεωρούμε ότι η ζήτηση έχει ικανοποιηθεί αν είναι προσβάσιμη η εγκατάσταση μέσα σε συγκεκριμένο χρόνο. Προκύπτουν έτσι δύο τύποι προβλημάτων, τα set-covering και τα maximal-covering.

## 1. Set-covering

Στα προβλήματα αυτά, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους της εγκατάστασης, δεδομένης ζήτησης που επιβάλλεται να καλυφθεί. Για την μορφοποίηση χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι συμβολισμοί:

### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2

Σύμβολα για πρόβλημα set-covering

Δεδομένα	
$i$	Δείκτης των σημείων ζήτησης
$j$	Δείκτης των σημείων πιθανής τοποθεσίας εγκατάστασης
$c_j$	Κόστος δημιουργίας εγκατάστασης στον κόμβο $j$
$S$	Μέγιστη αποδεκτή απόσταση ανάμεσα στην εγκατάσταση και ένα σημείο
$N_i$	Αριθμός εγκαταστάσεων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το σημείο $i$ . Κοντινή θεωρείται η απόσταση μικρότερη του $S$ .
Μεταβλητές απόφασης	
$X_j$	=1, αν τοποθετηθεί εκεί εγκατάσταση =0, αν όχι

Το πρόβλημα set-covering μορφοποιείται ως εξής:

$$\min \sum_j c_j X_j \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (3)$$

Σκοπός της αντικειμενικής (1) είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος εγκατάστασης. Το κόστος  $c_j$  μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι ίσο για κάθε τοποθεσία ώστε στην ουσία να λύνεται ένα πρόβλημα που να ελαχιστοποιεί τον απαραίτητο αριθμό εγκαταστάσεων. Ο περιορισμός (2) υπάρχει ώστε να αναθέτεται σε κάθε σημείο ζήτησης μία εγκατάσταση σε αποδεκτή απόσταση, όπως αυτή κρίνεται από το σημείο  $S$  και τέλος ο περιορισμός (3) είναι περιορισμός δυαδικότητας.

Σε αντίθεση με το πρόβλημα median, το set-covering δεν κάνει καμία διάκριση ανάμεσα στα σημεία ανάλογα με τον όγκο ζήτησης. Για αυτό και έχει εφαρμογή στις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, διότι για τις υπηρεσίες αυτές όλα τα περιστατικά κρίνονται ίσης σημασίας και πρέπει να εξυπηρετηθούν άμεσα. Κατ'επέκταση σε μία περιοχή με μικρή πυκνότητα –όπου τα περιστατικά είναι δηλαδή πολύ αραιά, θα αναγκαστούμε να τοποθετήσουμε πολλές εγκαταστάσεις ώστε να είναι όλες οι αποστάσεις μικρότερες του  $S$ .

## 2. Maximal covering

Παρότι τα αποτελέσματα από το πρόβλημα set-covering είναι ικανοποιητικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, πολλές φορές δεν είναι ρεαλιστικά. Η τοποθέτηση ενός πυροσβεστικού σταθμού ή μιας υπηρεσίας δημοσίου συνεπάγεται ένα πολύ μεγάλο κόστος που δεν γίνεται να αγνοήσουμε και σε πολλές περιπτώσεις παίρνεται η απόφαση να μην χτιστούν οι απαραίτητες εγκαταστάσεις όπως υποδείχτηκαν από το παραπάνω πρόβλημα λόγω έλλειψης πόρων. Στις καταστάσεις λοιπόν αυτές όπου η

απόσταση  $S$  δημιουργεί πρόβλημα, επιλέγεται να λυθεί το πρόβλημα maximal covering το οποίο ψάχνει το τρόπο να δώσει σε όσους παραπάνω πελάτες είναι δυνατόν την απαραίτητη κάλυψη –αυτήν δηλαδή που κάνει την απόσταση από μια εγκατάσταση μικρότερη του  $S$ . Πλέον δηλαδή σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της κάλυψης δεδομένου του αριθμού των εγκαταστάσεων. Για την μορφοποίηση χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι συμβολισμοί:

### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3

Σύμβολα για πρόβλημα maximal covering

Δεδομένα	
$i$	Δείκτης των σημείων ζήτησης
$j$	Δείκτης των σημείων πιθανής τοποθεσίας εγκατάστασης
$h_i$	Ζήτηση στο σημείο $i$
$P$	Αριθμός εγκαταστάσεων προς τοποθέτηση
$S$	Μέγιστη αποδεκτή απόσταση ανάμεσα στην εγκατάσταση και ένα σημείο
$N_i$	Αριθμός εγκαταστάσεων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το σημείο $i$ . Κοντινή θεωρείται η απόσταση μικρότερη του $S$ .
Μεταβλητές απόφασης	
$X_j$	=1, αν τοποθετηθεί εκεί εγκατάσταση =0, αν όχι
$Z_i$	=1, αν ο κόμβος $i$ ικανοποιείται =0, αν όχι

Το πρόβλημα maximal covering μορφοποιείται ως εξής:

$$\max \sum_i h_i Z_i \quad (1)$$

$$\text{s. t. } Z_i \leq \sum_{j \in N_i} X_j \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j X_j \leq P \quad (3)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (4)$$



$$Z_i \in \{0,1\} \forall i \quad (5)$$

Η αντικειμενική (1) μεγιστοποιεί τον αριθμό της ζήτησης που ικανοποιείται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ο περιορισμός (2) καθορίζει ποιοι κόμβοι ζήτησης θα καλυφθούν μέσα στο αποδεκτό διάστημα, διότι η μεταβλητή  $Z_i$  θα γίνει 1 μόνο αν υπάρχει μια εγκατάσταση εντός απόστασης  $S$  και στην περίπτωση που δεν υπάρχει, το δεξί μέλος θα γίνει 0, αναγκάζοντας το αριστερό μέλος να είναι 0. Ο περιορισμός (3) περιορίζει τον αριθμό των εγκαταστάσεων προς τοποθέτηση σε  $P$  και οι (4) και (5) είναι περιορισμοί δυαδικότητας.

Όπως και στην περίπτωση του προβλήματος median, ως πιθανά σημεία τοποθέτησης μετρώνται ένα σύνολο διακριτών σημείων τα οποία είναι συνήθως σημεία που υπάρχει ζήτηση. Όπως και πριν, έρευνα έχει δείξει ότι υπάρχει τουλάχιστον μία λύση της οποίας οι εγκαταστάσεις είναι σε σημεία με ζήτηση, κάτι που μας βοηθάει ώστε να περιορίσουμε το πρόβλημα.

Το πρόβλημα των υπηρεσιών EMS ως ένα covering μοντέλο ερεύνησαν οι Daskin και Stern (Daskin and Stern 1981). Μέχρι τώρα όμως θεωρούσαμε πως είναι δυνατό να εξυπηρετηθεί μία ζήτηση οποιαδήποτε στιγμή, κάτι που στην περίπτωσή μας δεν είναι δυνατό. Στην εφαρμογή αυτή αν τα οχήματα είναι απασχολημένα σε ένα σημείο που υπήρξε ζήτηση, δεν είναι δυνατό να εξυπηρετήσουν κάποιο άλλο. Μία επέκταση που πρότειναν για το θέμα αυτό είναι να ικανοποιείται η ζήτηση από μία άλλη εγκατάσταση που βρίσκεται όμως και πάλι εντός απόστασης  $S$  από το σημείο, αν η κοντινότερη είναι απασχολημένη ή δεν μπορεί για οποιοδήποτε άλλο λόγο να εξυπηρετήσει.

### 4.3.3 Προβλήματα Center

Στην προηγούμενη κατηγορία προβλημάτων υπήρχε ως δεδομένο μία μέγιστη απόσταση ώστε να βρεθεί ο μικρότερος αριθμός εγκαταστάσεων προς τοποθέτηση. Λόγω του μεγάλου κόστους που καθιστά κάποιες λύσεις ανέφικτες, προτάθηκε η προσέγγιση του προβλήματος ως maximal coverage, όπου πλέον αναζητούσαμε την μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη.

Στα προβλήματα center απαιτείται κάλυψη όλης της ζήτησης και ψάχνουμε σημεία να τοποθετηθούν οι εγκαταστάσεις με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται η απόσταση ανάμεσά τους, με τον αριθμό των εγκαταστάσεων να είναι γνωστό. Πλέον όμως δεν είναι σταθερή η απόσταση  $S$  που δεν πρέπει να υπερβεί, αλλά είναι ένα μέγεθος που ελαχιστοποιείται από το πρόβλημα.

Εδώ ελαχιστοποιείται η μέγιστη απόσταση ανάμεσα σε ένα σημείο και την κοντινότερη εγκατάσταση. Σε αντίθεση με τα παραπάνω προβλήματα, το θεώρημα του Hakimi δεν εφαρμόζεται και εκτός κι αν γίνει η παραδοχή ότι θα αναζητήσουμε λύση μόνο στους κόμβους της ζήτησης, είναι πολύ πιθανόν η βέλτιστη να βρίσκεται σε σημεία του χώρου. Τα μεγέθη για την μορφοποίηση του προβλήματος είναι τα εξής:

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4

Σύμβολα για πρόβλημα center

Δεδομένα	
$i$	Δείκτης των σημείων ζήτησης
$j$	Δείκτης των σημείων πιθανής τοποθεσίας εγκατάστασης
$P$	Αριθμός εγκαταστάσεων προς τοποθέτηση
$d_{ij}$	Απόσταση ανάμεσα στο σημείο $i$ και $j$
Μεταβλητές απόφασης	
$X_j$	=1, αν τοποθετηθεί εκεί εγκατάσταση

	=0, αν όχι
$Y_{ij}$	=1, αν η ζήτηση $i$ ικανοποιείται από την εγκατάσταση $j$ =0, αν όχι
$D$	Μέγιστη απόσταση ανάμεσα σε ένα σημείο ζήτησης και την κοντινότερη εγκατάσταση.

Το πρόβλημα μορφοποιείται ως εξής:

$$\min D \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_j X_j = P \quad (2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$D \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij} \quad \forall i \quad (5)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (6)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (7)$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο σκοπός της αντικειμενικής (1) είναι η ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόστασης μεταξύ οποιουδήποτε σημείου και της κοντινότερης σε αυτό εγκατάστασης. Οι περιορισμοί (2), (3), (4) είναι όμοιοι με το πρόβλημα median. Ο περιορισμός (5) καθορίζει την μεταβλητή απόφασης  $D$  ως την μεγαλύτερη δυνατή απόσταση ανάμεσα σε ένα σημείο και την εγκατάσταση που το εξυπηρετεί. Τέλος, οι περιορισμοί (6) και (7) είναι περιορισμοί δυαδικότητας.

#### 4.4 Πρόβλεψη

Ως πρόβλεψη θεωρείται η εκτίμηση μελλοντικών γεγονότων που θα χρησιμοποιήσει ένας φορέας για τον προγραμματισμό των σχεδίων του, καθώς και την χάραξη στρατηγικής. Οι προβλέψεις (forecasting) είναι απαραίτητες για ένα

μεγάλο αριθμό αποφάσεων σχεδιασμού και προγραμματισμού. Η αβεβαιότητα που πολλές φορές χαρακτηρίζει τη ζήτηση προϊόντων ή υπηρεσιών και, συνεπώς, τις απαιτήσεις σε μηχανές, υλικά, κεφάλαια, ανθρώπινο δυναμικό και, γενικά, δυναμικότητα που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση κατέστησε αναγκαία την ανάπτυξη μεθόδων πρόβλεψης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε περίπτωση εξαρτάται από:

- Το είδος της απόφασης
- Τη μορφή πρόβλεψης (εκτίμηση παραμέτρων κατανομής πιθανότητας τ.μ., δ.ε., κτλ).
- Την περίοδο (χρονική μονάδα) και τον ορίζοντα (αριθμός περιόδων) πρόβλεψης (στρατηγικές, τακτικές, λειτουργικές αποφάσεις)
- Το κόστος
- Την ακρίβεια (αυξάνει για μεγάλο αριθμό ποσοτικών στοιχείων σε μικρό ορίζοντα πρόβλεψης).
- Την απλότητα-ευκολία εφαρμογής (κατανόηση-εύκολη εφαρμογή-χαμηλός κόστος).
- Τα διαθέσιμα στοιχεία (είδος-ποσότητα-ποιότητα).

#### **4.4.1 Μέθοδοι πρόβλεψης**

Εφόσον υπάρχει ιστορικά δεδομένα, μια βασική κατηγοριοποίηση των μεθόδων πρόβλεψης είναι:

- Μέθοδοι προεκβολής ή χρονοσειρών: Γίνεται χρήση παρελθοντικών στοιχείων για την πρόβλεψη μέσω της προβολής στο μέλλον του τρόπου

διαμόρφωσης των παρελθόντων τιμών μιας μεταβλητής. Χρησιμοποιούνται για βραχυπρόθεσμες-μεσοπρόθεσμες προβλέψεις.

- Αιτιακές μέθοδοι: Εξετάζεται η υπόθεση ότι η προς πρόβλεψη μεταβλητή (εξαρτημένη) είναι συνάρτηση μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων. Σκοπός είναι η εύρεση αυτής της συνάρτησης και η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, αν υπάρχουν προβλέψεις για τις ανεξάρτητες. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεσοπρόθεσμες – μακροπρόθεσμες προβλέψεις.
- Εμπειρικές μέθοδοι : Χρησιμοποιείται κάποια στατιστική κατανομή, με στόχο να ταιριάζει όσο το δυνατόν περισσότερο στις παρατηρήσεις. Χρησιμοποιούνται σε μακροπρόθεσμες προβλέψεις.

#### **4.4.2 Μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε**

Λαμβάνοντας υπόψιν τα κριτήρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως για την επιλογή μεθόδου πρόβλεψης, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η πολυωνυμική προσαρμογή, που αντιστοιχεί σε αιτιακή μέθοδο. Συγκεκριμένα από την στιγμή που δεν είχαμε χρονοσειρά (τα δεδομένα μας περιλαμβάνουν καταγραφές για 3 περιόδους ενός έτους) δεν ήταν εφικτό να εφαρμοστεί κάποια μέθοδος προεκβολής. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψιν το κριτήριο της μορφής της πρόβλεψης, οι εμπειρικές μέθοδοι απορρίφθηκαν, διότι δεν επιθυμούσαμε να θεωρήσουμε ως τυχαίες μεταβλητές τον αριθμό των περιστατικών και τις διάφορες χρονικές οντότητες και να προσπαθήσουμε κάνουμε μια πρόβλεψη που θα απαντάει ποια είναι η πιθανότητα ο αριθμός των περιστατικών να ξεπεράσει μία τιμή σε κάποια χρονική στιγμή. Ακόμη, η προσπάθεια εύρεσης μια τέτοιας κατανομής που να ταιριάζει αρκετά στα δεδομένα αποτελεί μια αρκετά περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία.

Αρχικά έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί η γραμμική παλινδρόμηση που αποτελεί και την πιο διαδεδομένη μέθοδο αιτιακής πρόβλεψης. Όμως οι εξισώσεις που προέκυψαν είχαν πολύ μεγάλη απόκλιση από τις παρατηρήσεις. Οπότε η επόμενη μέθοδος που εξετάστηκε ήταν η πολυωνυμική προσαρμογή. Όπως παρουσιάζεται και στο Κεφάλαιο 5, η μέθοδος εφαρμόστηκε 3 φορές. Ως εξαρτημένη μεταβλητή θεωρήθηκε ο αριθμός των περιστατικών και ως ανεξάρτητη 3 διαφορετικές χρονικές οντότητες (οι μέρες της εβδομάδας, οι εβδομάδες για τις οποίες είχαμε καταγραφές μία εκ των μέρα της εβδομάδας και οι 3 περίοδοι). Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η ευκολία εφαρμογής και εξαγωγής αποτελεσμάτων μέσω του excel.

## Κεφάλαιο 5: Υπολογιστική Ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η μελέτη που έγινε γύρω από τα ασθενοφόρα και την λειτουργία τους στην πόλη της Λάρισας. Λόγω των πολλών δεδομένων που είχαμε στην διάθεσή μας, έγινε επιλογή μίας μόνο μέρας για ανάλυση. Στην ημέρα αυτή εξετάστηκε πόσο χρόνο χρειάζονται τα οχήματα για να προσεγγίσουν τον χώρο του περιστατικού και αν υπάρχει περιθώριο για μείωση του στόλου, έστω και για κάποιες ώρες της ημέρας.

Στην συνέχεια έγινε η έρευνα γύρω από την τοποθέτηση των οχημάτων στην πόλη. Συγκεκριμένα χωρίστηκε η Λάρισα σε 6 κομμάτια, σε καθένα από τα οποία ανατέθηκε ένα ασθενοφόρο και μελετήθηκε ποια είναι η καλύτερη θέση για να παραμείνει σταθμευμένο ώστε να είναι κοντά στα περιστατικά που θα προκύψουν.

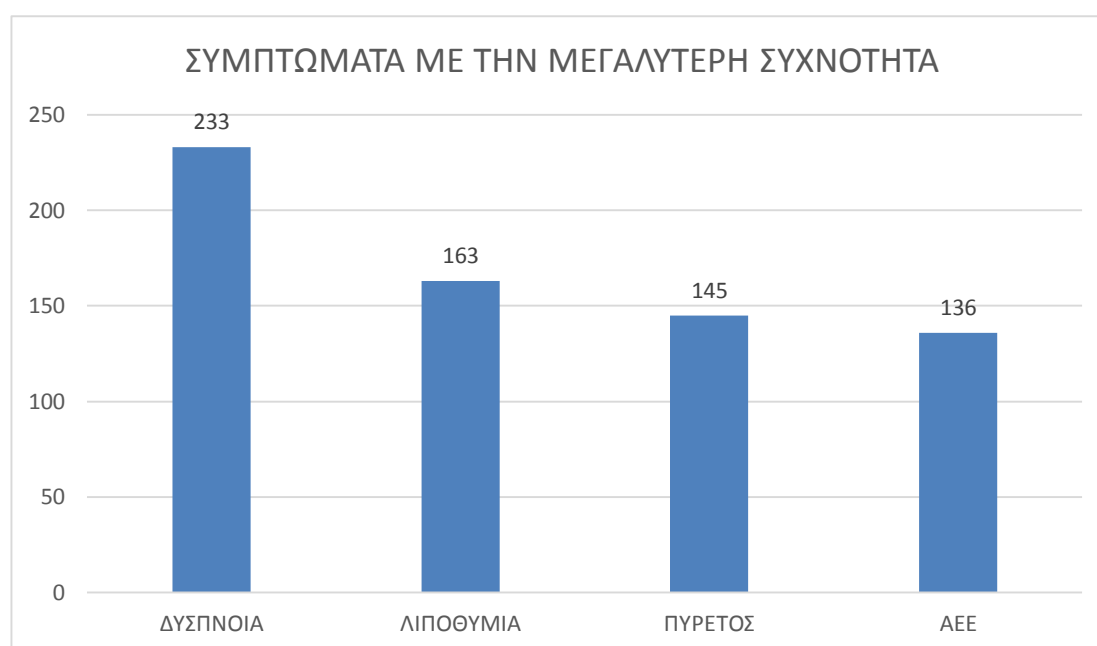
Έπειτα έγινε μια στατιστική ανάλυση των περιστατικών, όπου βρέθηκαν τα συμπτώματα που παρουσιάστηκαν τις περισσότερες φορές, καθώς επίσης εντοπίστηκαν οι ειδικότητες των γιατρών με τον περισσότερο φόρτο εργασίας (όσον αφορά την αντιμετώπιση των έκτακτων περιστατικών) και στις 3 περιόδους μαζί, αλλά και σε κάθε περίοδο ξεχωριστά. Επιπλέον, εξετάστηκε ο φόρτος εργασίας των γιατρών και στις 3 βάρδιες λειτουργίας.

Τέλος έγινε μια προσπάθεια πρόβλεψης των έκτακτων περιστατικών, μέσω της προσπάθειας εύρεσης μιας εξίσωσης (σε κάθε cluster) που να μας δίνει το αριθμό των περιστατικών κάθε μέρα αλλά και κάθε περίοδο.

## 5.1 Στατιστική ανάλυση

### 5.1.1 Συμπτώματα με την Μεγαλύτερη Συχνότητα

Στην συνέχεια, με βάση τα δεδομένα που είχαμε στην διάθεσή μας, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει μια στατιστική ανάλυσή τους. Οπότε, η πρώτη ανάλυση αφορούσε τα συμπτώματα, οποία εμφανίζονται με την μεγαλύτερη συχνότητα. Συγκεκριμένα, βρέθηκαν 4 συμπτώματα, τα οποία εμφανίστηκαν σε περισσότερα από 100 περιστατικά. Τα συμπτώματα αυτά ήταν η δύσπνοια, η λιποθυμία, ο πυρετός και το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ). Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται πόσες φορές εμφανίστηκε το καθένα από τα 4 αυτά δημοφιλή περιστατικά.



**Εικόνα 5.1:** Τα συμπτώματα που εμφανίστηκαν τις περισσότερες φορές

### 5.1.2 Συνολικά έκτακτα περιστατικά ανά ειδικότητα γιατρού

Αφού, λοιπόν βρέθηκαν τα συμπτώματα με την μεγαλύτερη συχνότητα, αποφασίστηκε να πάμε την ανάλυση ένα βήμα πιο πέρα. Έτσι, έγινε μια προσπάθεια ανάθεσης των περιστατικών ανά ειδικότητα γιατρού, προκειμένου να αποτυπώσουμε



μια εικόνα του φόρτου εργασίας των γιατρών του νοσοκομείου, καθώς και των αναγκών που έχει το νοσοκομείο σε γιατρούς. Φυσικά και ο φόρτος εργασίας των γιατρών περιλαμβάνει την νοσηλεία των ήδη υπάρχων ασθενών του νοσοκομείου, όπως επίσης κάποιο από τα έκτακτα περιστατικά μπορεί να έρθει στο νοσοκομείο με δικό του μεταφορικό μέσο και όχι με ασθενοφόρο.

Πριν παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν, οφείλουμε να διευκρινίσουμε κάποιες παραδοχές που έγιναν. Πρώτον, όπως είδαμε και προηγουμένως, το σύμπτωμα της δύσπνοιας ήταν αυτό που εμφανίστηκε τις περισσότερες φορές. Όταν το σύμπτωμα αυτό ήταν το μοναδικό, το οποίο καταγραφόταν κατά την κλήση, θεωρήθηκε ότι το περιστατικό αυτό, το αναλαμβάνει σε πρώτη φάση παθολόγος, ο οποίος μετά την εξέταση βλέπει αν ο ασθενής πρέπει να παραπεμφθεί σε κάποιον άλλο γιατρό. Αν όμως, για παράδειγμα σ' ένα περιστατικό τα συμπτώματα ήταν ταυτόχρονα δύσπνοια και πόνος στο στήθος, τότε το περιστατικό αυτό, όπως είναι λογικό ανατίθεται σε καρδιολόγο ή αν αναφέρεται ότι ο ασθενής πάσχει από ΧΑΠ (Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια), τότε το περιστατικό ανατίθεται σε πνευμονολόγο. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και με το σύμπτωμα λιποθυμία, το οποίο ήταν το δεύτερο δημοφιλέστερο. Εφόσον, αναφερόταν μόνο αυτό στην στήλη των συμπτωμάτων θεωρήθηκε ότι ο παθολόγος είναι αυτός που το αναλαμβάνει σε πρώτη φάση. Όταν όμως υπήρχε αναφορά νευρολογικού αιτίου (πχ επιληπτική κρίση), τότε το περιστατικό υπάγεται στις αρμοδιότητες του νευρολόγου. Επίσης, όσον αφορά Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο, αν και ο παθολόγος ή ο γενικός γιατρός μπορεί να βγάλει την πρώτη διάγνωση πιθανού Αγγειακού Εγκεφαλικού Επεισοδίου, οι νευρολόγοι είναι οι ιατροί που ειδικεύονται σε διαταραχές του εγκεφάλου και των νεύρων και ασχολούνται με τη διάγνωσή του. Τέλος, μια μεγάλη δυσκολία προέκυψε από το γεγονός, ότι σε αρκετά

περιστατικά στην στήλη των συμπτωμάτων του βιβλίου του ΕΚΑΒ αναγραφόταν ως σύμπτωμα πτώση ή τραυματισμός ή τροχαίο, χωρίς να δίνεται κάποιο επιπλέον στοιχείο. Αυτά τα περιστατικά θεωρήθηκε ότι υπάγονται στον γενικό γιατρό, αν και είναι πολύ πιθανό κατά την παραλαβή του ασθενή από τους διασώστες να δίνονται ακριβέστερα στοιχεία για την πάθηση του ασθενή. Για παράδειγμα, σ' ένα περιστατικό που αναγράφεται ως σύμπτωμα η πτώση, μπορεί κατά την παραλαβή του να αναφέρεται ότι έχει υποστεί κάποιο κάταγμα, οπότε αυτό το περιστατικό αφορά τον ορθοπεδικό. Αφού, λοιπόν έγιναν οι παραπάνω παραδοχές, προέκυψαν 6 ειδικότητες γιατρών με το μεγαλύτερο φόρτο εργασίας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



**Εικόνα 5.2:** Οι 6 ειδικότητες γιατρών με τα περισσότερα περιστατικά

Είναι ξεκάθαρο ότι, η μερίδα του λέοντος των έκτακτων περιστατικών αφορά την ειδικότητα του παθολόγου. Το αποτέλεσμα αυτό είναι απολύτως λογικό για 2 λόγους. Πρώτον, η ειδικότητα του παθολόγου έχει πολύ μεγάλο εύρος παθήσεων με

τις οποίες ασχολείται και δεύτερον, τα 2 δημοφιλέστερα συμπτώματα (δύσπνοια και λιποθυμία) θεωρήσαμε ότι άπτονται των αρμοδιοτήτων των παθολόγων, τουλάχιστον σε πρώτη φάση. Οι υπόλοιπες ειδικότητες είχαν πάνω κάτω σχεδόν τα ίδια περιστατικά, εκτός της ειδικότητας της πνευμονολογίας η οποία είχε 101 έκτακτα περιστατικά. Γενικά στο διάγραμμα απεικονίζονται οι ειδικότητες που είχαν πάνω από 100 περιστατικά. Το νούμερο της στήλης με τις λοιπές δραστηριότητες παρότι φαίνεται αρκετά μεγάλο, στην πραγματικότητα δεν είναι τόσο σημαντικό. Αν συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι υπόλοιπες ειδικότητες των γιατρών στο νοσοκομείο της Λάρισας είναι πάρα πολλές (και συγκεκριμένα 23), τότε προκύπτει το συμπέρασμα ο αριθμός των έκτακτων περιστατικών για καθεμία είναι αρκετά μικρός.

### **5.1.3 Έκτακτα περιστατικά ανά ειδικότητα γιατρού για κάθε περίοδο**

Στην συνέχεια, προχωρήσαμε σε μια διερεύνηση των έκτακτων περιστατικών ανά ειδικότητα γιατρού για κάθε μία από τις 3 περιόδους ξεχωριστά. Η διερεύνηση αυτή είναι αρκετά χρήσιμη καθώς, όπως θα δούμε και στην συνέχεια, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον αριθμό των έκτακτων περιστατικών ανά περίοδο, οπότε προκύπτουν και διαφορετικές ανάγκες στον αριθμό των γιατρών που πιθανόν να απαιτούνται. Τα ευρήματα φαίνονται στα 3 παρακάτω διαγράμματα.



**Εικόνα 5.3:** Τα έκτακτα περιστατικά ανά ειδικότητα γιατρού την περίοδο των Χριστουγέννων



**Εικόνα 5.4.:** Τα έκτακτα περιστατικά ανά ειδικότητα γιατρού την περίοδο του Πάσχα



**Εικόνα 5.5:** Τα έκτακτα περιστατικά ανά ειδικότητα γιατρού την περίοδο του 15 Αύγουστου

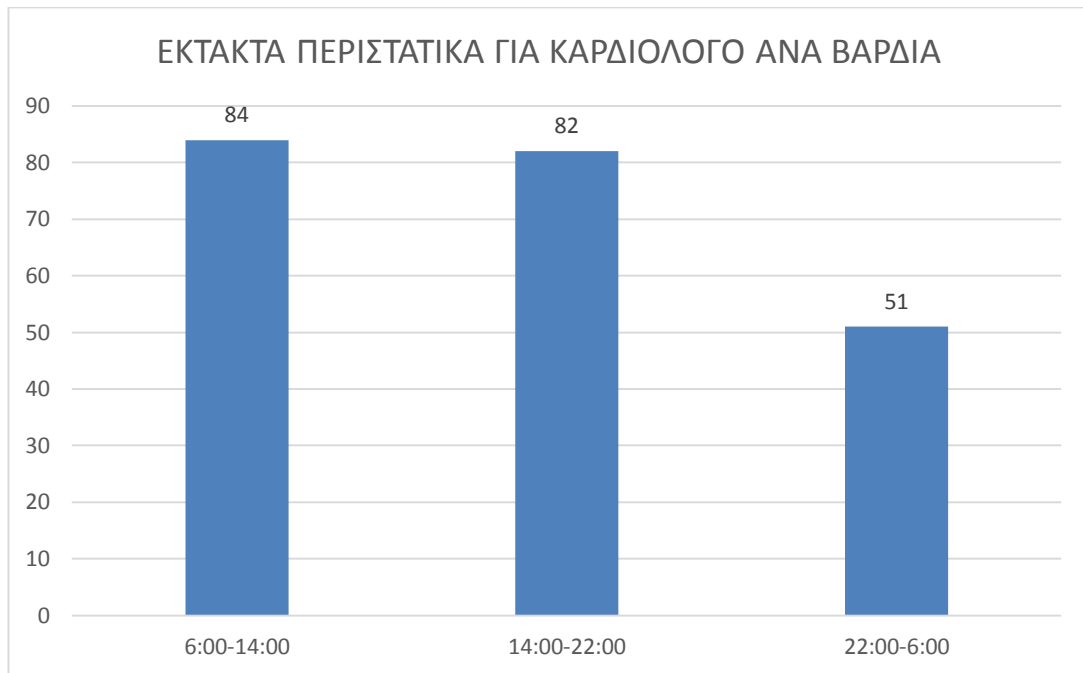
Είναι εμφανές ότι την περίοδο των Χριστουγέννων εμφανίστηκαν περισσότερα έκτακτα περιστατικά για όλες τις ειδικότητες, εκτός της ειδικότητας του ορθοπεδικού, όπου τα περισσότερα περιστατικά καταγράφηκαν την περίοδο του Πάσχα. Βέβαια οι διαφορές δεν θα λέγαμε ότι είναι πολύ μεγάλες (εκτός της ειδικότητας των παθολόγων), οπότε θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι ανάγκες σε γιατρούς είναι σχεδόν οι ίδιες.

Η μεγάλη διαφορά παρουσιάζεται στα περιστατικά του 15 Αύγουστου, όπου τα νούμερα είναι αισθητά μικρότερα. Πριν γίνει η παραπάνω διερεύνηση είχαμε την αίσθηση ότι τα περισσότερα περιστατικά της καρδιολογίας και της πνευμονολογίας θα εμφανίζονταν την περίοδο του καλοκαιριού, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν, δημιουργούν περαιτέρω δυσκολίες σε άτομα με καρδιολογικά ή πνευμονολογικά προβλήματα. Το γεγονός όμως, ότι σ' όλες τις ειδικότητες τα

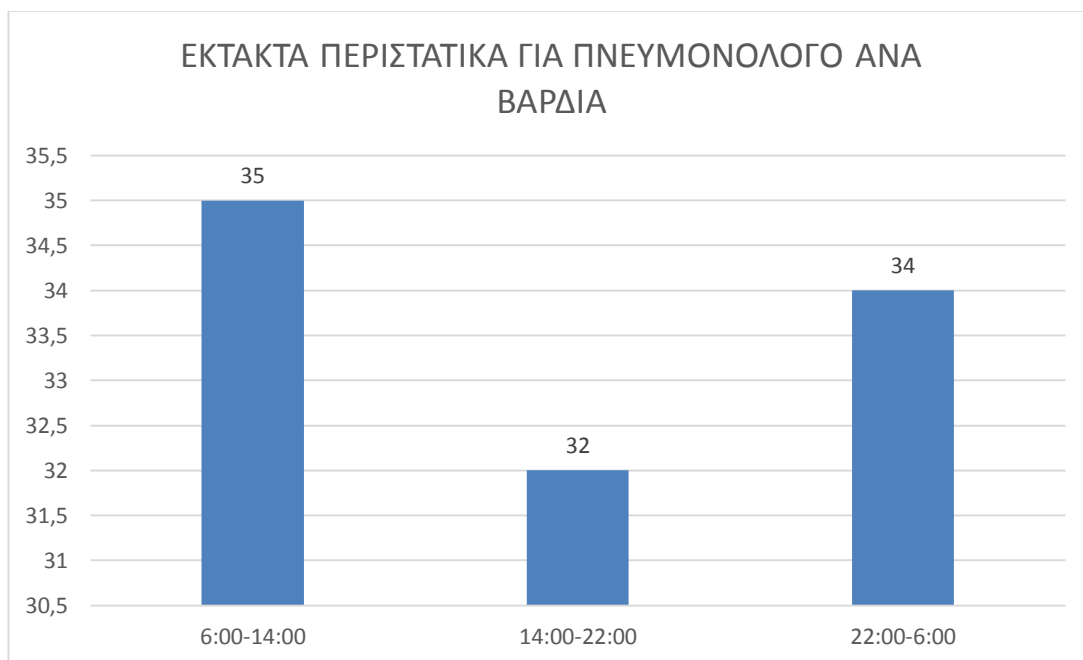
νούμερα είναι αισθητά μικρότερα σε σχέση με τις 2 άλλες περιόδους και κυρίως στις ειδικότητες της καρδιολογίας και πνευμονολογίας, μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού της Λάρισας απουσιάζει από την πόλη (προφανώς για να αποφύγει τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στην πόλη – σχεδόν καθημερινά ξεπερνάει τους 35 °C) και είτε βρίσκεται σε διακοπές, είτε σε κάποιο παραθαλάσσιο εξοχικό. Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το καλοκαίρι υπάρχουν λιγότερες ανάγκες σε γιατρούς, αφού η απουσία ενός σημαντικού μέρους του πληθυσμού, δεν μειώνει μόνο τα έκτακτα περιστατικά, αλλά προφανώς τα συνολικά.

#### **5.1.4 Έκτακτα περιστατικά για κάθε ειδικότητα γιατρού ανά βάρδια**

Τελευταίο κομμάτι της στατιστικής ανάλυσης αποτέλεσε η ανάλυση των περιστατικών και η ταξινόμησή τους ανά βάρδια λειτουργίας για τις δημοφιλέστερες ειδικότητες γιατρών, που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Λόγω των μεγάλων αβεβαιοτήτων που υπάρχουν στα περιστατικά του γενικού γιατρού, δηλαδή κατά πόσον αυτά τα περιστατικά που αναθέσαμε αφορούν τη συγκεκριμένη ειδικότητα, δεν κάναμε περαιτέρω ανάλυση γι' αυτή την ειδικότητα. Οπότε, ταξινομήθηκαν τα περιστατικά ανά βάρδια για τις ειδικότητες του καρδιολόγου, του πνευμονολόγου, του παθολόγου, του νευρολόγου και του ορθοπαιδικού. Οι βάρδιες στο νοσοκομείο είναι τρεις, μία πρωινή, μία μεσημεριανή και μία βραδινή. Η πρωινή είναι 6 το πρωί με 2 το μεσημέρι, η μεσημεριανή ξεκινάει 2 το μεσημέρι και τελειώνει 10 το βράδυ και η βραδινή αρχίζει 10 το βράδυ και σταματάει στις 6 το πρωί της επόμενης μέρας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



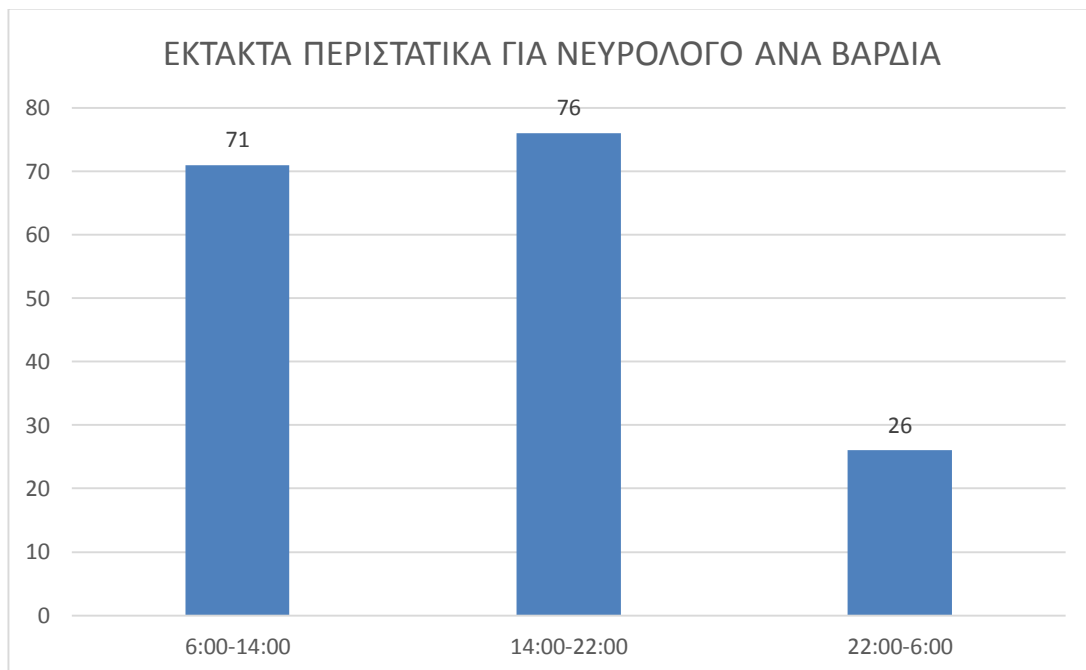
**Εικόνα 5.6:** Τα έκτακτα περιστατικά για την ειδικότητα του καρδιολόγου ανά βάρδια εργασίας



**Εικόνα 5.7:** Τα έκτακτα περιστατικά για την ειδικότητα του πνευμονολόγου ανά βάρδια εργασίας



**Εικόνα 5.8:** Τα έκτακτα περιστατικά για την ειδικότητα του παθολόγου ανά βάρδια εργασίας



**Εικόνα 5.9:** Τα έκτακτα περιστατικά για την ειδικότητα του νευρολόγου ανά βάρδια εργασίας





**Εικόνα 5.10:** Τα έκτακτα περιστατικά για την ειδικότητα του ορθοπεδικού ανά βάρδια εργασίας

Παρατηρούμε, ότι οι περιπτώσεις του καρδιολόγου, του παθολόγου και του ορθοπεδικού παρουσιάζουν το ίδιο ακριβώς μοτίβο όσον αφορά τα έκτακτα περιστατικά ανά βάρδια. Δηλαδή, τα περισσότερα περιστατικά εμφανίστηκαν στην πρωινή βάρδια και τα λιγότερα στην βραδινή. Από την άλλη, στη περίπτωση του πνευμονολόγου στην βάρδια 2 το μεσημέρι με 10 το βράδυ παρουσιάστηκαν τα λιγότερα έκτακτα περιστατικά, ενώ αντιθέτως στην περίπτωση του νευρολόγου παρουσιάστηκαν τα περισσότερα.

Για την περίπτωση του καρδιολόγου θα μπορούσαμε να πούμε ότι στην πρωινή και την μεσημεριανή βάρδια παρουσιάστηκαν σχεδόν τα ίδια περιστατικά, ενώ στην βραδινή το νούμερο είναι αισθητά μικρότερο. Οπότε, στην πρωινή και την μεσημεριανή βάρδια θα λέγαμε ότι χρειάζεται ο ίδιος αριθμός καρδιολόγων, ενώ στην βραδινή χρειάζονται λιγότεροι.

Όσον αφορά την ειδικότητα των πνευμονολόγων, παρατηρούμε ότι και στις 3 βάρδιες, έχουμε σχεδόν τον ίδιο αριθμό έκτακτων περιστατικών. Επομένως απαιτείται σταθερός αριθμός πνευμονολόγων όλο το 24ωρο.

Στους παθολόγους παρατηρήθηκε, ότι στην πρωινή βάρδια καταγράφηκαν τα περισσότερα περιστατικά, στην μεσημεριανή λιγότερα απ' ότι στην πρωινή και στην βραδινή η πτώση είναι αισθητή. Οπότε εδώ οι ανάγκες σε ιατρικό προσωπικό είναι μεγαλύτερες στην πρωινή, λιγότερες στην μεσημεριανή βάρδια και ακόμα λιγότερες στην βραδινή.

Για τους νευρολόγους ισχύει ότι και για τους καρδιολόγους, δηλαδή ότι οι ανάγκες είναι σχεδόν ίδιες στην πρωινή και την μεσημεριανή βάρδια και ασφαλώς λιγότερες με την βραδινή, με την μόνη διαφορά ότι τα περισσότερα περιστατικά παρουσιάστηκαν στην μεσημεριανή βάρδια. Βέβαια όπως και στους καρδιολόγους, η διαφορά στον αριθμό των περιστατικών μεταξύ πρωινής και μεσημεριανής βάρδιας είναι πάρα πολύ μικρή, γι' αυτό και συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν οι ίδιες ανάγκες στις 2 βάρδιες.

Τέλος για τους ορθοπεδικούς ισχύουν ακριβώς τα ίδια με τους παθολόγους, δηλαδή οι ανάγκες είναι ασφαλώς περισσότερες στην πρωινή βάρδια και ελάχιστες στην βραδινή. Βέβαια, το αποτέλεσμα ήταν το αναμενόμενο, αφού τα περισσότερα έκτακτα περιστατικά που αφορούν τον ορθοπεδικό είναι κατάγματα και κακώσεις, που είναι πιθανότερο να συμβούν την μέρα, απ' ότι το βράδυ που οι περισσότεροι κοιμούνται.

## 5.2 Βελτιστοποίηση Αριθμού Ασθενοφόρων

### 5.2.1 Επιλογή ημέρας μελέτης

Από τα γραφεία του ΕΚΑΒ έφτασε στα χέρια μας ένας μεγάλος όγκος δεδομένων που ενώ προσφέρεται για παρατηρήσεις και εξαγωγή πληροφοριών, δύσκολα διαχειρίζεται για την μελέτη παρακάτω. Για τον λόγο αυτό πάρθηκε η απόφαση να μελετηθεί μόνο μία ημέρα, η οποία επιλέχθηκε να είναι η ημερομηνία με τα περισσότερα περιστατικά. Η λογική πίσω από αυτό είναι προφανής. Αν ένας αριθμός ασθενοφόρων μπορεί να διαχειριστεί την ζήτηση την χειρότερη ημέρα, τότε είναι ασφαλές να υποθέσουμε πως τα αποτελέσματα επεκτείνονται και στις υπόλοιπες μέρες και άρα δεν υπάρχει λόγος να μελετηθούν ξεχωριστά.

Αναλύθηκαν λοιπόν τα περιστατικά ανά ημέρα και καταλήξαμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο μέσος όρος των κλήσεων ανά ημέρα ήταν 26.
- Η ημέρα με τα λιγότερα περιστατικά ήταν η Τρίτη 15 Αυγούστου, με μόνο 12 κλήσεις, κάτι που δεν αποτελεί έκπληξη καθώς πρόκειται για γενική αργία και μειώνεται ο πληθυσμός που παραμένει στην πόλη της Λάρισας.
- Οι δύο ημέρες που ξεχώρισαν με τα περισσότερα περιστατικά ήταν η Πέμπτη 5 Ιανουαρίου και η Δευτέρα 9 Ιανουαρίου με 45 περιστατικά η καθεμιά.

Για την επιλογή όμως μία εκ των δύο αυτών ημερών εξετάστηκαν τα περιστατικά σε σχέση με τις βάρδιες. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, στην Ελλάδα οι βάρδιες του ΕΚΑΒ είναι τρεις ημερησίως και είναι: 6:00-14:00, 14:00-22:00, 22:00-6:00. Επειδή η πρώτη βάρδια της ημέρας ξεκινάει στις 6:00 το πρωί, οι κλήσεις πριν από αυτήν την ώρα θεωρούνται κομμάτι της προηγούμενης μέρας.

Ομοίως η τρίτη και τελευταία βάρδια ξεκινάει στις 22:00 και τελειώνει στις 6:00 το πρωί της επόμενης μέρας, άρα τα περιστατικά που συμβαίνουν στο χρονικό διάστημα 0:01-6:00 συνυπολογίζονται σε αυτά της προηγούμενης ημέρας.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1

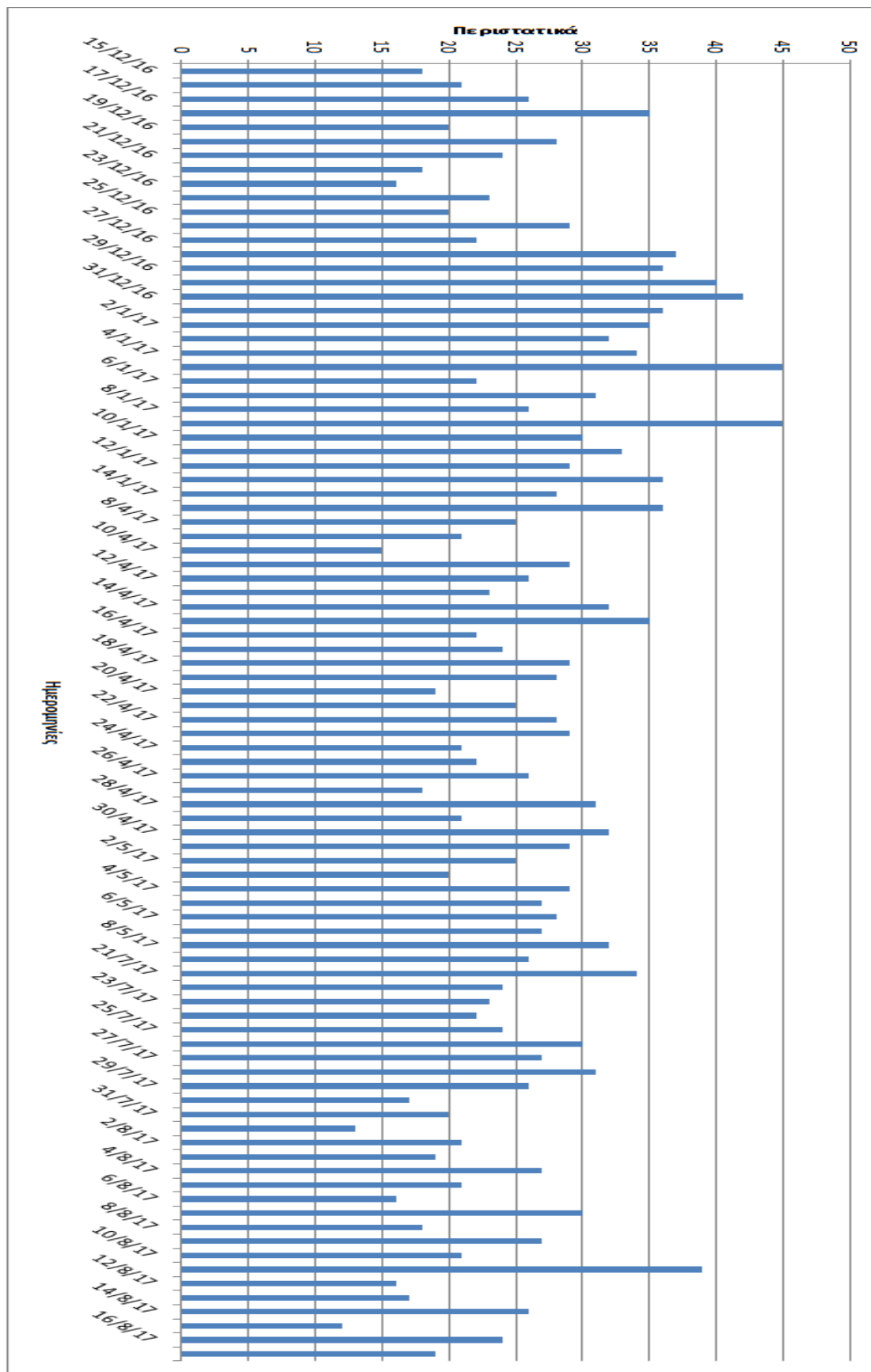
Περιστατικά ανά βάρδια

	5-Ιαν	9-Ιαν
<b>6:00-14:00</b>	17	17
<b>14:00-22:00</b>	20	22
<b>22:00-6:00</b>	3	3

Στον πίνακα φαίνεται ο πραγματικός αριθμός περιστατικών στα οποία έπρεπε να ανταποκριθούν οι 3 βάρδιες κάθε ημέρας, για τις δύο αυτές ημερομηνίες. Στις 5 Ιανουαρίου υπήρξαν συνολικά 40 και στις 9 Ιανουαρίου υπήρξαν 42. Άρα ως ημέρα προς μελέτη επιλέχθηκε η Δευτέρα 9 Ιανουαρίου.

Ακολουθεί διάγραμμα με τον αριθμό περιστατικών ανά ημέρα και παρότι δεν θα μας απασχολήσει παρακάτω, είναι ενδιαφέρον ότι κατά κύριο λόγο, η ζήτηση για οχήματα μειώνεται την περίοδο του Αυγούστου που μελετάμε. Όπως και με την περίπτωση της Τρίτης 15 Αυγούστου, κάτι τέτοιο είναι λογικό δεδομένου ότι η περίοδος αυτή αποτελεί περίοδο διακοπών για μεγάλο ποσοστό κατοίκων της Λάρισας, με αποτέλεσμα να μειώνονται τα περιστατικά εντός πόλης.

Ακόμη, ακολουθεί πίνακας όπου φαίνονται αναλυτικά τα περιστατικά που θα μας απασχολήσουν παρακάτω για την Δευτέρα 9 Ιανουαρίου.



**Εικόνα 5.11:** Επείγοντα περιστατικά που καταγράφηκαν

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2

Περιστατικά που θα μελετηθούν

1	9/1/17	6:26	6:33	ΑΙΜΟΡΡΑΓΙΑ ΠΕΠΤΙΚΟΥ	ΧΑΤΖΗΓΙΑΝΝΗ 46
2	9/1/17	6:57	7:07	ΠΟΝΟΣ ΣΤΟ ΣΤΗΘΟΣ	ΡΙΖΑΡΗ 6
3	9/1/17	7:08	7:16	ΛΙΠΟΘΥΜΙΑ	ΓΙΑΝΝΟΥΛΗ
4	9/1/17	9:24	9:36	ΠΤΩΣΗ ΑΠΟ ΣΚΑΛΑ, ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΥ 62
5	9/1/17	9:40	9:52	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΑΙΤΩΛΙΑΣ 10
6	9/1/17	10:21	10:35	ΚΑΤΑΠΤΩΣΗ, ΕΜΕΤΟΙ	ΒΕΖΥΡΟΥΔΗ 9
7	9/1/17	10:43	10:58	ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΟ	ΔΑΙΔΑΛΟΥ 24
8	9/1/17	11:08	11:28	ΠΤΩΣΗ, ΚΑΚΩΣΗ Κ. ΑΚΡΟΥ	ΚΟΝΔΥΛΗ 6-8
9	9/1/17	10:48	11:04	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΗΡΑΣ 11
10	9/1/17	11:12	11:24	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΠΙΝΔΑΡΟΥ 19
11	9/1/17	11:06	11:15	ΖΑΛΗ, ΠΟΝΟΣ ΣΤΑ ΑΚΡΑ	ΤΡΙΚΑΛΩΝ 17
12	9/1/17	11:31	12:00	ΛΟΙΜΩΞΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
13	9/1/17	12:04	12:28	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΕΛΑΦΟΥ 13
14	9/1/17	12:48	13:02	ΚΟΛΠΙΚΗ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗ	ΠΑΝΑΓΟΥΛΗ 9
15	9/1/17	12:40	12:59	ΠΤΩΣΗ, ΟΡΘ. Κ. ΑΚΡΟΥ	25ης ΜΑΡΤΙΟΥ 52
16	9/1/17	14:31	14:40	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΟΜΟΡΦΟΧΩΡΙ
17	9/1/17	13:07	14:20	ΕΜΠΥΡΕΤΟ, ΔΥΣΠΝΟΙΑ	Κ.Υ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ
18	9/1/17	13:14	14:28	ΠΙΘ. ΑΕΕ	ΕΡΕΤΡΙΑ ΦΑΡΣΑΛΩΝ
19	9/1/17	15:20	16:00	ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΟ	ΧΡΥΣΟΧΟΟΥ 4
20	9/1/17	15:36	15:46	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΗΡΟΔΟΤΟΥ 9
21	9/1/17	14:37	15:41	ΠΙΘ. ΑΕΕ	ΣΥΚΟΥΡΙΟ
22	9/1/17	14:15	14:34	ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΟ	ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΙ ΛΑΡΙΣΑΣ
23	9/1/17	16:53	17:02	ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΥΣΧΕΡΕΙΑ	ΚΛΙΝΙΚΗ ΚΑΛΥΨΩ
24	9/1/17	16:27	16:43	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΣΕΡΡΩΝ 8
25	9/1/17	15:48	16:40	ΑΙΜΑΤΟΥΡΙΑ	ΑΜΠΕΛΩΝΑΣ
26	9/1/17	15:45	16:30	ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΟ	ΙΛΙΣΟΥ 26
27	9/1/17	17:02	17:19	ΔΥΣΠΝΟΙΑ, ΑΔΥΝΑΜΙΑ	ΡΙΟΥ 7
28	9/1/17	17:04	17:30	ΕΜΕΤΟΙ, ΔΙΑΡΡΟΙΕΣ	ΚΑΡΑΘΑΝΟΥ 15
29	9/1/17	16:34	17:46	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ 2-4
30	9/1/17	18:53	19:21	ΛΙΠΟΘΥΜΙΑ	Κ.Υ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ
31	9/1/17	20:31	20:36	ΛΟΙΜΩΞΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ	ΚΛΙΝΙΚΗ ΚΑΛΥΨΩ
32	9/1/17	19:35	20:51	ΠΤΩΣΗ, ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΟ	ΝΕΡΟΥΤΣΟΥ 6
33	9/1/17	20:06	21:12	ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΟ	ΕΒΡΟΥ 21
34	9/1/17	21:08	21:14	ΠΙΘ. ΑΕΕ	25ης ΜΑΡΤΙΟΥ 3
35	9/1/17	21:49	21:55	ΠΤΩΣΗ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΗ	ΒΟΛΟΥ
36	9/1/17	21:53	22:11	ΔΥΣΦΟΡΙΑ, ΧΑΜΗΛΗ ΠΙΕΣΗ	ΧΡΥΣΟΧΟΟΥ 18
37	9/1/17	21:28	21:46	ΔΥΣΠΝΟΙΑ	ΑΡΓΟΥΣ 11
38	9/1/17	21:51	23:08	ΠΤΩΣΗ, ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΟ	ΒΛΑΧΟΥ 28
39	9/1/17	21:02	23:40	ΑΕΕ	Κ.Υ. ΑΓΙΑΣ
40	10/1/17	0:04	0:17	ΠΙΘ. ΑΕΕ	ΑΓΓΕΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ 34
41	10/1/17	0:51	1:07	ΕΜΠΥΡΕΤΟ	ΠΑΝΟΠΟΥΛΟΥ 72
42	10/1/17	2:37	3:22	ΑΕΕ	ΤΥΡΝΑΒΟΣ

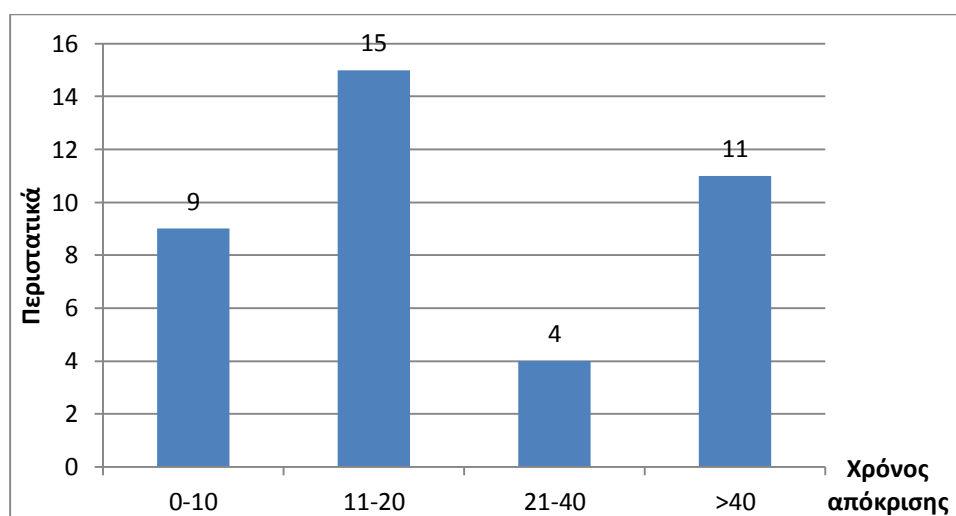
## 5.2.2 Χρόνοι Απόκρισης

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω η αξιολόγηση ενός συστήματος EMS μπορεί να γίνει με βάση διάφορα κριτήρια. Ανάμεσα σε αυτά που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι ο χρόνος απόκρισης (RT), το ποσοστό γεωγραφικής κάλυψης που προσφέρει και το ποσοστό επιβίωσης ασθενών.

Στην δική μας περίπτωση η έκταση που καλύπτεται από τα οχήματα του ΕΚΑΒ Λάρισας είναι σταθερή και δεν θα μας απασχολήσει το αν επιδέχεται βελτιώσεις, καθώς οποιαδήποτε μείωση ή αύξηση του δικτύου συνεπάγεται την επέκταση της μελέτης στις υπόλοιπες μονάδες του ΕΚΑΒ στην Θεσσαλία, όπως το ΕΚΑΒ Βόλου ή το ΕΚΑΒ Τρικάλων, μιας και θα μεταβληθούν αναλόγως. Ακόμη, δεν συλλέξαμε στοιχεία για την κατάσταση των ασθενών μετά την διακομιδή τους στο νοσοκομείο, μιας και δεν κρατάει τέτοιο αρχείο το ΕΚΑΒ, και συνεπώς δεν υπάρχει τρόπος να μετρηθεί το ποσοστό επιβίωσης τους. Για τους λόγους αυτούς επιλέχθηκε ως παράγοντας που θα κρίνει την επιτυχία του συστήματος έκτακτης ανάγκης ο χρόνος απόκρισης, που συμβολίζει τον χρόνο ανάμεσα στην κλήση στο κέντρο του ΕΚΑΒ και την άφιξη του οχήματος στον χώρο του περιστατικού.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα χρονικά παράθυρα των χρόνων απόκρισης της ημέρας που μελετάμε. Σε αρχικό σημείο στην εργασία έγινε λόγος για έλλειψη διεθνούς ορίου στον χρόνο RT το οποίο να εξασφαλίζει την επιβίωση των ασθενών, αλλά γενικά έχει εκτιμηθεί ότι τα 8 λεπτά είναι μία καλή προσέγγιση. Με την πλειοψηφία των περιστατικών να εμπίπτει στο χρονικό διάστημα 11-20 λεπτά είναι εμφανές ότι το ΕΚΑΒ Λάρισας είναι μακριά από την ιδανική περίπτωση. Ακόμη, ο μέσος όρος των RT υπολογίστηκε στα 17 λεπτά, με περιπτώσεις να χρειάζονται περισσότερο της μιας ώρας για να εξυπηρετηθούν. Πρέπει όμως να

σημειωθεί ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις πόλεις για τις οποίες έγιναν οι μελέτες και στην Λάρισα. Αρχικά πρέπει να αναφερθούμε στην κατάσταση των οχημάτων, καθώς οι περισσότερες Αμερικανικές πόλεις διαθέτουν πλήρως εξοπλισμένο και ανανεωμένο στόλο, για τον οποίο πληρώνουν οι ασθενείς, ανάλογα με τον ιδιωτικό φορέα στον οποίο είναι ασφαλισμένοι. Μιας και το ΕΚΑΒ Λάρισας είναι δημόσια δωρεάν υπηρεσία, οι πόροι προς εκμετάλλευση είναι λιγότεροι, κάτι που αντικατοπτρίζεται στα οχήματα που δυσκολεύονται να ανταποκριθούν στις συνθήκες. Ακόμη, το ΕΚΑΒ είναι υπεύθυνο για μια μεγάλη περιοχή, εκτός της πόλης, η οποία περιλαμβάνει και χωριά που βρίσκονται σε απόσταση άνω των 20 χλμ. από το κέντρο της Λάρισας, όπως η Ελασσόνα και ο Αγιοκάμπος. Επομένως, στην περιοχή που μελετάμε τα 8 λεπτά ως RT για το 90% των κλήσεων δεν είναι ρεαλιστικό όριο.



**Εικόνα 5.12:** Χρόνοι απόκρισης για τις 9/1/17

Εντούτοις, η μεγάλη διακύμανση στους χρόνους θέτει σε ρίσκο την ζωή των ασθενών και πρέπει να μελετηθεί.



### 5.2.3 Μείωση Αριθμού Οχημάτων για Πρόσθετο Χρόνο 30 λεπτά

Είναι αναμενόμενο σε αυτό το σημείο να φαίνεται παράλογη η προσπάθεια να μειωθεί ο στόλος των ασθενοφόρων, ειδικά μετά την παραπάνω ματιά στους χρόνους απόκρισης. Οι μεγάλες όμως αποστάσεις που καλούνται να καλύψουν τα ασθενοφόρα είναι κάτι που δεν επιδέχεται μεταβολές και σε επόμενο κομμάτι της εργασίας θα γίνει προσπάθεια να μειωθεί ο RT. Σε αυτή την φάση όμως, κοιτώντας από οικονομική σκοπιά το πρόβλημα, η μείωση του στόλου ή η μεταβολή του κατά την διάρκεια της ημέρας θα έχει οικονομικό όφελος για την υπηρεσία.

Για τον λόγο αυτό το πρόβλημα θα αντιμετωπιστεί ως ένα πρόβλημα δρομολόγησης dial-a-ride με τον νοσοκομείο να δρα ως η «αποθήκη» (depot) από και προς την οποία κινούνται τα ασθενοφόρα μετά την παραλαβή των ασθενών.

Συγκεκριμένα αναπτύχθηκε εργαλείο σε συνεργασία με το Εργαστήριο Βελτιστοποίησης, το οποίο αναθέτει τα περιστατικά σε έναν αριθμό οχημάτων και καταλήγει στο αν ή όχι μπορεί ο αριθμός αυτός να τα διαχειριστεί. Ως κριτήριο επιτυχίας ή αποτυχίας μπαίνει ένα χρονικό διάστημα που λειτουργεί ως «παράθυρο». Για παράδειγμα, αν η απόσταση ανάμεσα στο νοσοκομείο και ένα περιστατικό είναι 40 λεπτά και το «παράθυρο» που βάλουμε είναι 10 λεπτά, τότε θεωρείται επιτυχία αν ένα ασθενοφόρο προσεγγίσει στο περιστατικό σε λιγότερο από 50 λεπτά. Σε κάθε άλλη περίπτωση θεωρείται αποτυχία.

Ο λόγος που επιλέχθηκε να αντιμετωπιστεί έτσι το πρόβλημα είναι ότι έτσι κάθε περίπτωση αντιμετωπίζεται ξεχωριστά, χωρίς κοινό χρόνο απόκρισης, κάτι που λύνει το πρόβλημα με τις μεγάλες διαφοροποιήσεις στις αποστάσεις (και κατ' επέκταση στους χρόνους) που είχαμε παραπάνω.

Για την χρήση του εργαλείου χρειάστηκαν τα παρακάτω:

- Το «παράθυρο» των 30 λεπτών.
- Οι αποστάσεις ανάμεσα σε όλα τα περιστατικά που υπολογίστηκαν σε χρόνο και σε χιλιόμετρα με χρήση αλγορίθμου και είναι πιστές στον ΚΟΚ.
- Ο χρόνος που αφιερώνει το πλήρωμα του ασθενοφόρου στον χώρο του περιστατικού. Γενικά υπάρχουν δύο μέθοδοι διαχείρισης των περιστατικών. Η πρώτη είναι η άμεση αντιμετώπιση του περιστατικού στον χώρο κλήσης με τα διαθέσιμα μέσα του οχήματος μέχρι να σταθεροποιηθεί η κατάσταση του ασθενούς για να μεταφερθεί στο νοσοκομείο, ενώ η δεύτερη είναι η άμεση διακομιδή για να αναλάβουν τον ασθενή οι γιατροί του νοσοκομείου. Αν και το κομμάτι αυτό επιδέχεται πολλές μελέτες και αναλύσεις από την ιατρική κοινότητα, για τις ανάγκες της εργασίας ο χρόνος αυτός καθορίστηκε να είναι 15 λεπτά. Έτσι είναι αρκετά μεγάλος ώστε να υπάρχει περιθώριο να γίνει μία πρώτη αντιμετώπιση του περιστατικού αν το κρίνει αναγκαίο το πλήρωμα. Ακόμη, μέσα στο διάστημα αυτό μπορεί να υπολογιστεί και ο χρόνος που χρειάζεται το όχημα να βρει την ακριβή οδό, ειδικά όταν πρόκειται για χωριά, όπου δεν δίνονται σαφείς οδηγίες.
- Ο χρόνος από την στιγμή που το ασθενοφόρο αφήνει τον ασθενή στο νοσοκομείο μέχρι να μπορεί να παραλάβει τον επόμενο καθορίστηκε 15 λεπτά. Στην πραγματικότητα ο χρόνος αυτός είναι πολύ μικρότερος και σπάνια ξεπερνά τα 5 λεπτά, έγινε όμως η παραδοχή ότι αφετηρία και προορισμός του οχήματος είναι το νοσοκομείο, οπότε στα 15 αυτά λεπτά συνυπολογίζεται ο χρόνος μέχρι το όχημα να φτάσει στην πραγματική θέση αναμονής του, που βρίσκεται κάπου μέσα στην πόλη της Λάρισας.
- Τα 42 περιστατικά της 9ης Ιανουαρίου.

- Οι συντεταγμένες του νοσοκομείου που λειτουργεί ως αφετηρία και προορισμός.
- Τα 6 ασθενοφόρα που έχει στην διάθεσή του το ΕΚΑΒ Λάρισας.

Με αυτά τα δεδομένα κλήθηκε να γίνει ο έλεγχος αν τα 6 οχήματα μπορούν να ανταποκριθούν. Η εισαγωγή των δεδομένων για ασθενοφόρα και περιστατικά έγινε σε αρχείο txt όπως φαίνεται παρακάτω:

```

{
AMB1
1
1
360
365
1
365
1800
1440
NOF
}

```

**Εικόνα 5.13:** Εισαγωγή δεδομένων στον κώδικα για τα ασθενοφόρα

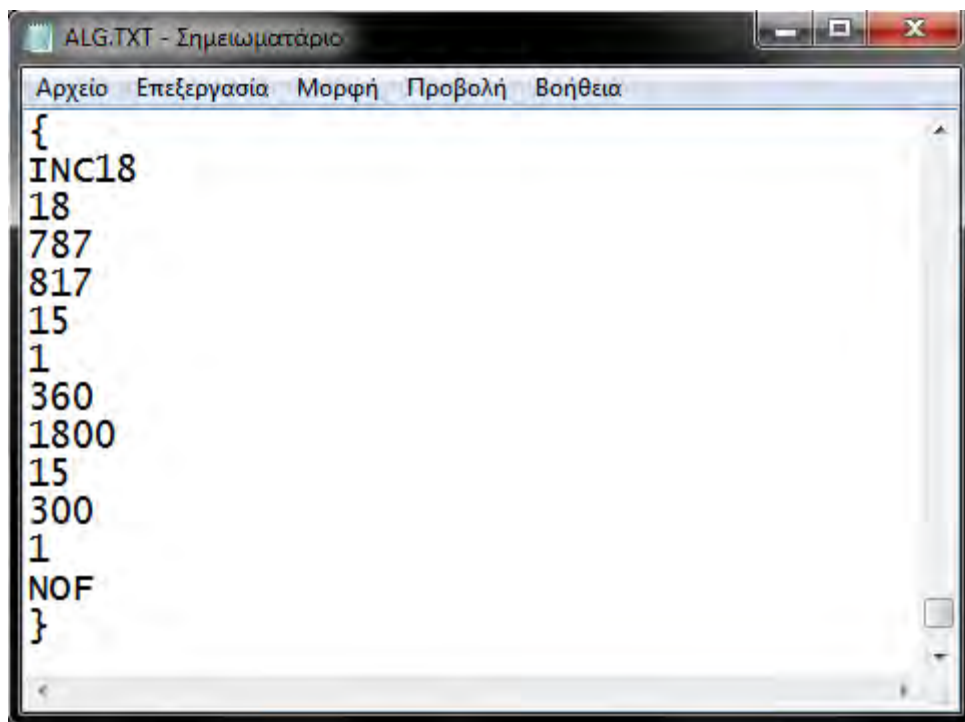
Για κάθε ένα από τα 6 ασθενοφόρα δημιουργήθηκε ένα κομμάτι στο αρχείο όπως παραπάνω, όπου αναφέρεται:

- το όνομά του (AMB1)
- ο κόμβος από τον οποίο ξεκινάει (κόμβος 1-νοσοκομείο)
- η χωρητικότητα του (1)
- το νωρίτερο που μπορεί να ξεκινήσει την λειτουργία του (360 –δηλαδή 6 το πρωί)

- το αργότερο που μπορεί να ξεκινήσει την λειτουργία του (365 –δηλαδή 6:05)
- τον προορισμό μετά το pickup (κόμβος 1- νοσοκομείο)
- την ώρα που μπορεί να αναλάβει το πρώτο περιστατικό (365 –δηλαδή 6:05)
- την ώρα που σταματάει να αναλαμβάνει περιστατικά (1800 -24 ώρες μετά την εκκίνηση της βάρδιας)
- τον χρόνο που μπορεί να διαρκέσει η βάρδια (1440 -24 ώρες)

Να σημειωθεί ότι από την στιγμή που όλα τα ασθενοφόρα λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα χωρίς παύσεις, θεωρήσαμε ότι αρχή και τέλος της λειτουργίας τους είναι το εικοσιτετράωρο της ημέρας και δεν τα ξεχωρίσαμε ανάλογα με τις βάρδιες.

Για τα περιστατικά εισάγαμε τα δεδομένα ως εξής:



```

{
INC18
18
787
817
15
1
360
1800
15
300
1
NOF
}

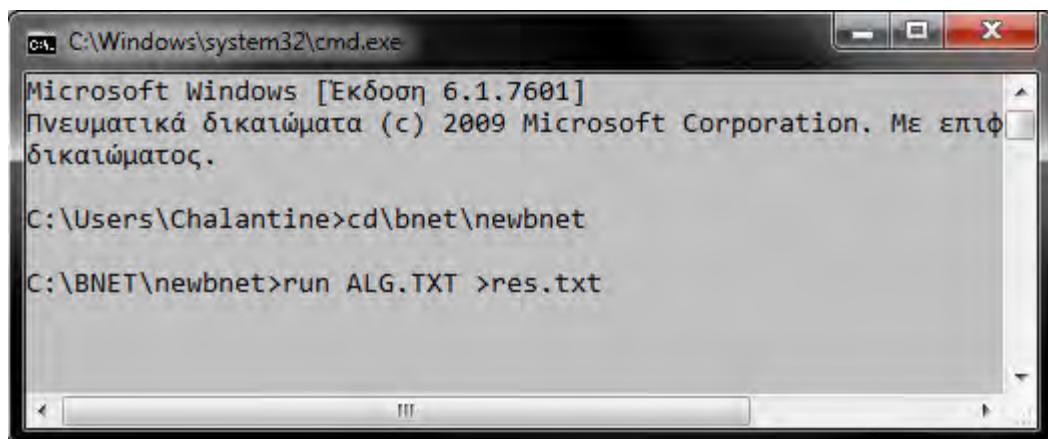
```

**Εικόνα 5.14:** Εισαγωγή δεδομένων στον κώδικα για τα περιστατικά

Για κάθε περιστατικό δηλαδή δημιουργήθηκε ένα κομμάτι στο αρχείο όπως φαίνεται παραπάνω που αναφέρεται:

- το όνομα του περιστατικού (INC18)
- ο κόμβος στον οποίο αντιστοιχεί το περιστατικό (18)
- η απαιτούμενη ώρα παραλαβής (787 –δηλαδή 13:07)
- η μέγιστη ώρα παραλαβής που επιτρέπεται που λόγω χρονικού παραθύρου που είναι 30 λεπτά μετά την αρχική (817 –δηλαδή 13:37)
- το service time στην διαδικασία του pickup (15 λεπτά)
- ο προορισμός μετά το pickup (κόμβος 1 –νοσοκομείο)
- το νωρίτερο που μπορεί να φτάσει στον προορισμό (360 –δηλαδή 6:00)
- το αργότερο που μπορεί να φτάσει στο νοσοκομείο (1800 –δηλαδή 24 ώρες μετά)
- το service time στον προορισμό (15 λεπτά)
- τον μέγιστο χρόνο που μπορεί να διαρκέσει η διαδρομή (300 λεπτά)
- τον αριθμό της ζήτησης (1 ασθενής)

Στη συνέχεια μέσω command line έτρεξε ο αλγόριθμος όπως φαίνεται παρακάτω:



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Έκδοση 6.1.7601]
Πνευματικά δικαιώματα (c) 2009 Microsoft Corporation. Με επιφ
δικαιώματος.

C:\Users\Chalantine>cd\bnet\newbnet

C:\BNET\newbnet>run ALG.TXT >res.txt
  
```

**Εικόνα 5.15:** Το τρέξιμο του κώδικα

Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω όπως εξάγονται σε αρχείο txt:

```
newres30min6amb.txt - Σημειωματάριο
Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια
START_ROUTE_SESSION
ROUTE_ID:1
VEHICLE_DESCR:AMB1
ROUTE_DISTANCE:164.355
ROUTE_TIME:1291
TOTAL_PASSENGERS_DISTANCE:79.441
AVERAGE_PASSENGERS_PER_DISTANCE_UNIT:0.488297
ROUTE_SLOPE:8.21775
VEHICLE_COST:164.355
VEHICLE_CHARGING_COST:164.355
START_SCHEDULE_SESSION
AMB1 SDEPOT 0 -10000 360 360 0 0 1
AMB1 INC2 1 1 386 401 21 1 2
AMB1 INC2 2 -1 407 422 0 -1 1
AMB1 INC5 3 1 564 579 126 1 5
AMB1 INC5 4 -1 594 609 0 -1 1
AMB1 INC7 5 1 622 637 0 1 7
AMB1 INC7 6 -1 652 667 0 -1 1
AMB1 INC16 7 1 760 775 88 1 16
AMB1 INC16 8 -1 779 794 0 -1 1
AMB1 INC17 9 1 871 886 66 1 17
AMB1 INC17 10 -1 899 914 0 -1 1
AMB1 INC21 11 1 936 951 13 1 21
AMB1 INC21 12 -1 961 976 0 -1 1
AMB1 INC30 13 1 994 1009 14 1 30
AMB1 INC30 14 -1 1013 1028 0 -1 1
AMB1 INC40 15 1 1262 1277 202 1 40
AMB1 INC40 16 -1 1310 1325 0 -1 1
AMB1 INC43 17 1 1597 1612 249 1 43
AMB1 INC43 18 -1 1636 1651 0 -1 1
AMB1 EDEPOT 19 -20000 1651 1651 0 0 1
END_SCHEDULE_SESSION
END_ROUTE_SESSION
```

Εικόνα 5.16: Αποτελέσματα ανάθεσης περιστατικών στο όχημα 1

Στο κομμάτι αυτό των αποτελεσμάτων φαίνεται η ανάθεση περιστατικών στο 1<sup>ο</sup> όχημα του ΕΚΑΒ. Φαίνονται για κάθε περίπτωση η ώρα που γίνεται η παραλαβή

και η ώρα που φτάνει στο νοσοκομείο και τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύει, που είναι 164,355.

Τα υπόλοιπα αποτελέσματα παρατίθενται αναλυτικά στον πίνακα και φαίνεται ότι κανένα περιστατικό δεν μένει αναπάντητο, συνεπώς εξυπηρετούνται όλα σε λιγότερο από 30 λεπτά –εκτός του χρόνου ανάμεσα στο νοσοκομείο και το περιστατικό.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3

Περιστατικά ανά ασθενοφόρο για 30'

Ασθενοφόρο	Περιστατικά που αναλαμβάνει
1	1→4→6→15→16→20→29→39→42
2	2→9→12→14→21→25→23→32→31→38→40→41
3	3→5→11→18→19→24→27→30→33→34→35
4	7→8→13→22→36
5	10→17→26
6	28→37

Με μία πρώτη ματιά είναι εμφανές ότι το 5ο και 6ο όχημα αναλαμβάνουν σημαντικά λιγότερα περιστατικά από τα υπόλοιπα. Για τον λόγο αυτό έγινε δεύτερος έλεγχος, αυτήν την φορά για 5 οχήματα συνολικά. Όπως και πριν, δεν υπάρχει κλήση που να μην εξυπηρετείται.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4

Περιστατικά ανά ασθενοφόρο για 30'

Ασθενοφόρο	Περιστατικά που αναλαμβάνει
1	1→4→6→15→16→20→29→28→39
2	2→9→12→14→21→25→23→32→31→37→40
3	3→5→11→18→19→24→27→30→33→34→35
4	7→8→13→22→38→41→42
5	10→17→26→36

Μιας και πάλι το 5ο όχημα αναλάμβανε τα λιγότερα περιστατικά έγινε προσπάθεια να μειωθούν και άλλο τα οχήματα, αλλά για 4 ασθενοφόρα υπήρχαν 2 περιστατικά που έμεναν ανικανοποίητα. Απαιτούσαν δηλαδή περισσότερο χρόνο για να εξυπηρετηθούν.

Αν και φαίνεται να ικανοποιείται η ζήτηση με 5 ασθενοφόρα για την χειρότερη μέρα, είναι πρόωρο το συμπέρασμα, καθώς η μείωση σε προσωπικό μπορεί να επιφέρει προβλήματα στο γενικό RT. Συγκεκριμένα, περιστατικά τα οποία θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν με παράθυρο πολύ μικρότερο των 30 λεπτών, ίσως αυξάνουν το RT τους ώστε να μειωθεί το RT άλλων. Πρέπει λοιπόν να βρεθεί μία λύση η οποία μειώνει τον χρόνο απόκρισης σχετικά με τον στόλο, χωρίς το ένα να αποκλείει το άλλο.

### 5.2.4 Μείωση Αριθμού Οχημάτων για Πρόσθετο Χρόνο 20 λεπτά

Το κριτήριο των 30 λεπτών ως «παράθυρο» που τέθηκε στους αρχικούς ελέγχους είναι ήδη μία βελτίωση από την υπάρχουσα κατάσταση γιατί μας έδειξε ότι μπορεί να λειτουργήσει και με 5 οχήματα, αντί για έξι. Παρότι λοιπόν τα



αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά, η αποτελεσματικότητα των υπηρεσιών πρώτης ανάγκης έγκειται στην γρήγορη απόκριση, και τα 30 λεπτά επιδέχονται μείωσης.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι σκοπός της εργασίας δεν είναι να λυθεί ένα πρόβλημα που να μειώνει όσο το δυνατόν τον χρόνο απόκρισης για τα περιστατικά με τα υπάρχοντα οχήματα, καθώς δεν είναι αυτά τα αποτελέσματα του αλγορίθμου και κυρίως εξετάζεται μία τυχαία μέρα του χρόνου, τα αποτελέσματα της οποίας δύσκολα γενικεύονται για όλον τον χρόνο. Επίσης σύμφωνα με μελέτες η μείωση του χρόνου απόκρισης δεν εγγυάται την αύξηση του ποσοστού επιβίωσης, όταν μιλάμε για κάποια συμπτώματα. Αντίθετα, στοχεύουμε στην μείωση των οχημάτων όσο είναι δυνατόν, με σεβασμό στην άμεση αντιμετώπιση των περιστατικών.

Ιδανικά ο χρόνος απόκρισης θα κυμαινόταν ανάμεσα στα 10-20 λεπτά παραπάνω από τον πάγιο χρόνο της απόστασης που πρέπει να καλυφθεί, έτσι επιλέχθηκε στην συνέχεια να εξεταστεί το πρόβλημα με την απαίτηση τα ασθενοφόρα να φτάνουν στα περιστατικά σε 20 λεπτά το πολύ.

Υπήρξε λύση για αυτήν την περίπτωση τόσο με 6 όσο και με 5 ασθενοφόρα, οι λεπτομέρειες της οποίας φαίνονται παρακάτω.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5

Περιστατικά ανά ασθενοφόρο για 20'

Ασθενοφόρο	Περιστατικά που αναλαμβάνει
1	1→4→6→15→16→20→29→39→42
2	2→9→12→14→21→25→23→32→31→37→40
3	3→5→11→18→19→24→30→33→34→35
4	7→8→13→22→27→38→41
5	10→17→26→28→36

Όπως και πριν ο χαμηλότερος αριθμός οχημάτων που μπορούσαν να ανταποκριθούν στην ζήτηση με παράθυρο 20 λεπτά στο RT ήταν 5, καθώς κάποια περιστατικά έμεναν ανικανοποίητα για 4 οχήματα.

### 5.2.5 Μείωση Αριθμού Οχημάτων για Πρόσθετο Χρόνο 15 λεπτά

Παρότι είναι πλέον ασφαλές να καταργηθεί το 6ο όχημα, έγινε και έλεγχος για 15 λεπτά. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, με 6 ασθενοφόρα ήταν εφικτό, αλλά με 5 ασθενοφόρα υπήρχε ένα περιστατικό που χρειαζόταν παραπάνω χρόνο. Αναλυτικά φαίνονται παρακάτω οι αναθέσεις.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6

Περιστατικά ανά ασθενοφόρο για 15'

Ασθενοφόρο	Περιστατικά που αναλαμβάνει
1	1→4→7→15→21→25→23→32→31→37→40→42
2	2→9→13→20→27→39→41
3	3→5→11→14→22→24→35
4	6→10→18→19→29→30→33→34→36
5	8→17→16→26→28→38

Η μη ανάθεση ενός περιστατικού δεν κρίνεται ως μεγάλης σημασίας καθώς πρόκειται για τον περιορισμό 15 λεπτών. Δεδομένου ότι για 5 οχήματα και χρόνο 20 λεπτά, δεν υπήρχε ανικανοποίητη ζήτηση, το συγκεκριμένο περιστατικό θα είναι προσβάσιμο σε 15-20 λεπτά.

Είναι έτσι ξεκάθαρο ότι η λειτουργία του EKAB θα μπορούσε να συνεχιστεί ικανοποιητικά και με 5 οχήματα, αντί για 6. Είναι όμως λογικό να μην είναι εφικτό να γίνει μία τέτοια αλλαγή βασισόμενη σε στοιχεία μιας ημέρας. Ειδικότερα όταν

πρόκειται για μια υπηρεσία έκτακτης ανάγκης όπου οι καθυστερήσεις σχετίζονται με την επιβίωση των ασθενών.

Αν η μείωση των οχημάτων είναι κάτι που δεν είναι δυνατό να γίνει για όλη την ημέρα, τότε θα ήταν ευκολότερο να γίνει τις βραδινές ώρες. Η κατανομή των περιστατικών στις βάρδιες φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7

Περιστατικά ανά βάρδια

Βάρδια	Περιστατικά
6:00-14:00	992
14:00-22:00	900
22:00-6:00	528

Όπως είναι εμφανές η πλειοψηφία των περιστατικών συσσωρεύεται τις πρωινές και απογευματινές ώρες με την βραδινή βάρδια να έχει πολύ μικρότερο όγκο να διαχειριστεί. Κατά μέσο όρο, στα στοιχεία που καταγράφηκαν υπήρξαν περίπου 6 κλήσεις ανά ημέρα το χρονικό διάστημα 22:00-6:00 και συγκεκριμένα την Δευτέρα 9 Ιανουαρίου μόνο 3 κλήσεις έγιναν στο κέντρο του ΕΚΑΒ. Εύλογα λοιπόν προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα 6 οχήματα της βάρδιας αυτής μπορούν να μειωθούν χωρίς να υπάρξει ρίσκο στην υγεία των ασθενών.

## 5.3 Μελέτη Τοποθέτησης Οχημάτων

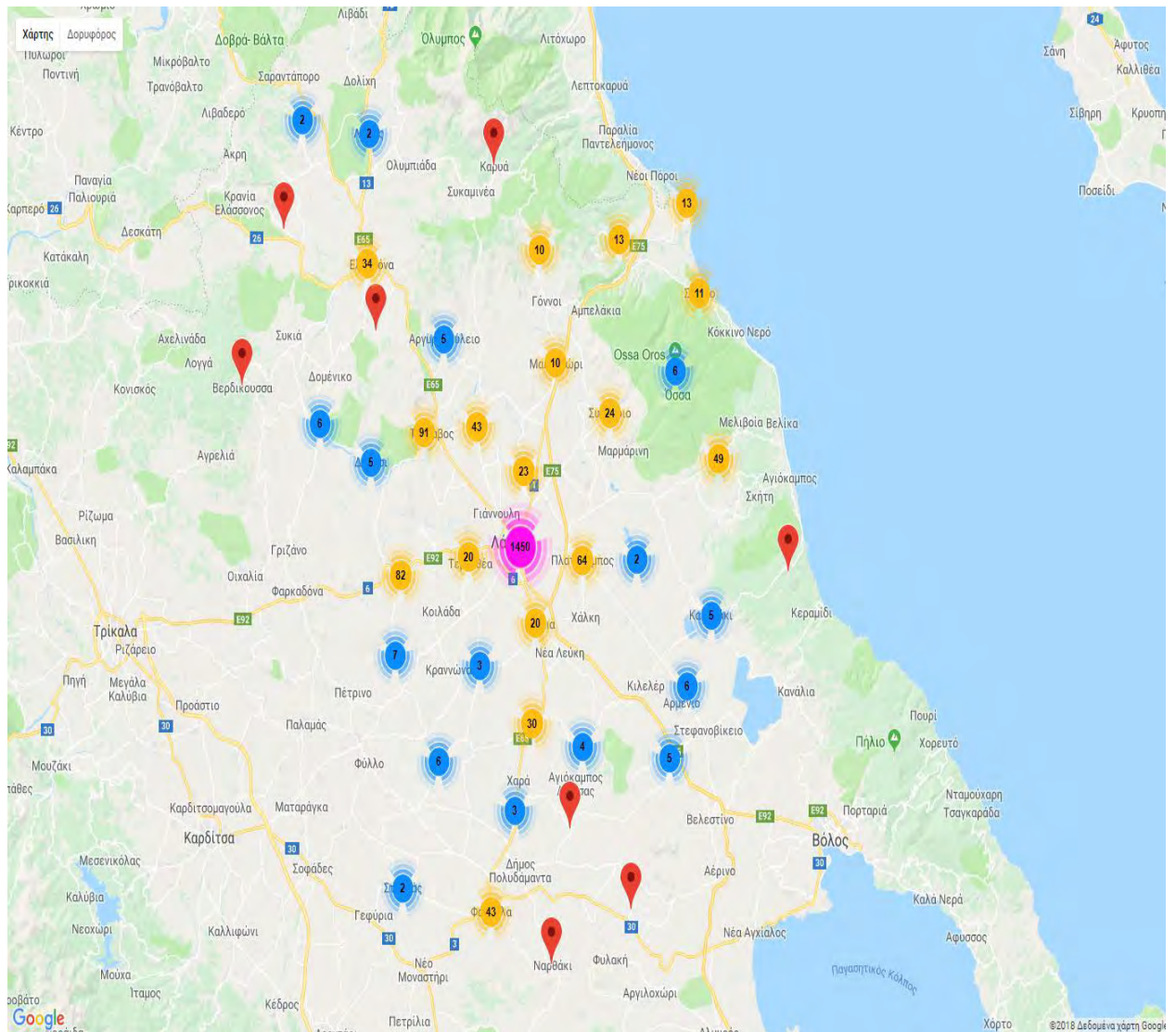
### 5.3.1 Εύρεση Cluster

Εκτός από την μελέτη της λειτουργίας των ασθενοφόρων από την σκοπιά της ανάθεσης σε συγκεκριμένο χρόνο, θα γίνει μία προσπάθεια να μελετηθούν χωρικά.

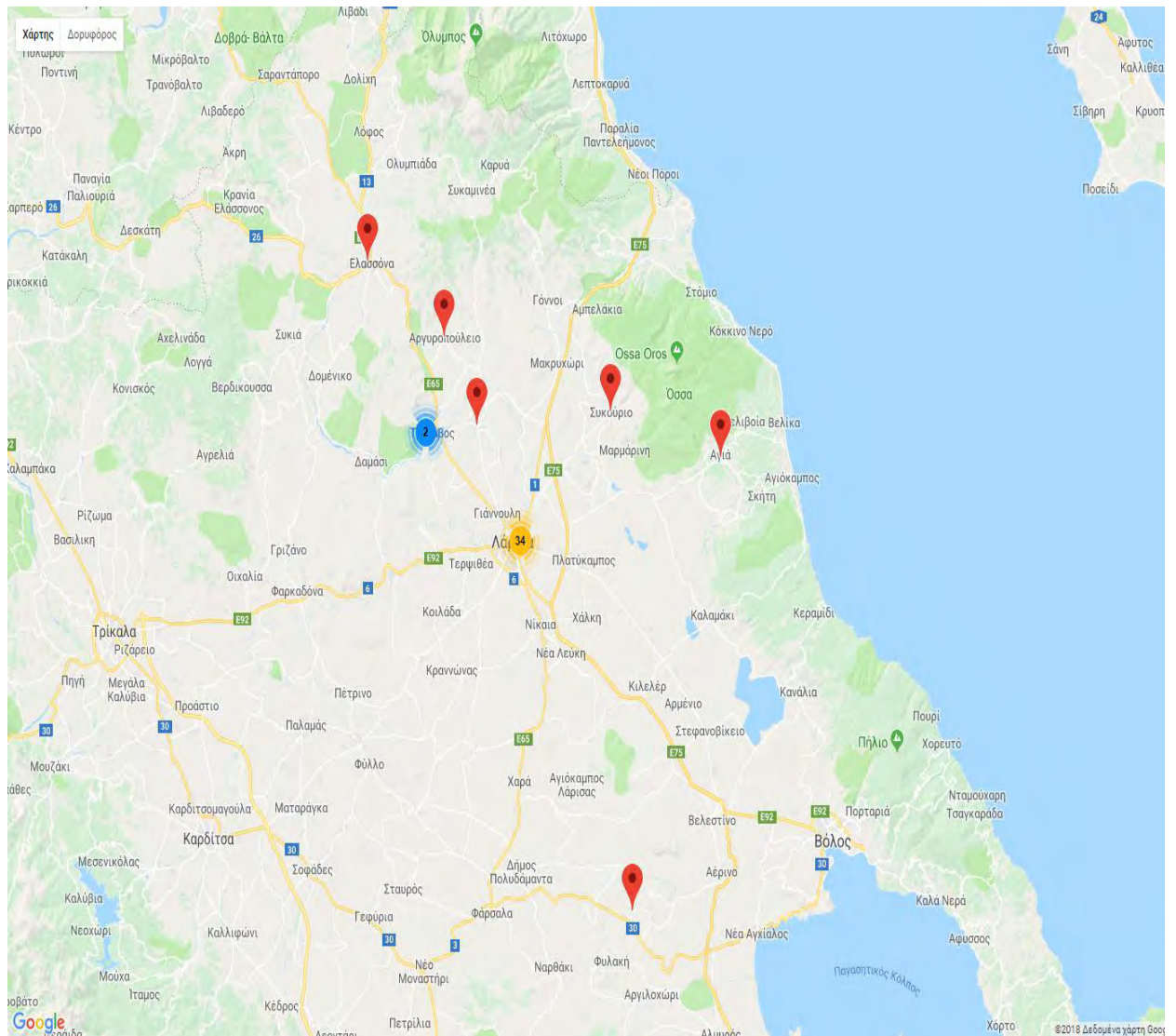
Συγκεκριμένα θα αναζητηθεί η βέλτιστη θέση αναμονής τους ώστε να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν γρηγορότερα τα γύρω περιστατικά. Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να χωριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος, που εδώ είναι η Λάρισα και τα γύρω χωριά, σε cluster. Έτσι θα ανατεθεί σε κάθε cluster ένα ασθενοφόρο που θα το εξυπηρετεί. Με τον τρόπο αυτό θα βελτιωθεί ακόμα περισσότερο ο χρόνος απόκρισης καθώς έτσι τα ασθενοφόρα θα αναλαμβάνουν την ζήτηση που υπάρχει σε μία ακτίνα γύρω τους.

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω cluster είναι ένα σύμπλεγμα ή μια ομάδα σημείων. Εδώ τα όρια του κάθε cluster θα υποδείξουν οι κλήσεις της Δευτέρας 9 Ιανουαρίου, τα οποία είναι και ενδεικτικά της γενικής ζήτησης. Οι διευθύνσεις των περιστατικών ανέβηκαν σε εργαλείο που αναπτύχθηκε σε συνεργασία με το εργαστήριο βελτιστοποίησης, το οποίο τις εμφάνισε στον χάρτη. Ακολουθούν ο χάρτης με όλα τα περιστατικά που καταγράφηκαν καθώς και ο χάρτης με τα περιστατικά της 9ης Ιανουαρίου.

Μιας και τα ασθενοφόρα που έχει στην διάθεσή του το ΕΚΑΒ ανά βάρδια είναι 6, θα δημιουργηθούν 6 αρχικά cluster. Φαίνεται ότι το εργαλείο κάνει ήδη μια προσπάθεια να δημιουργήσει τα απαιτούμενα cluster, ακολουθώντας την μεθοδολογία k-means και μαζεύει τα σημεία που βρίσκονται κοντά σε μία ομάδα. Όπως ήταν αναμενόμενο επίσης η μεγαλύτερη ζήτηση συγκεντρώνεται στο κέντρο της πόλης -1450 κλήσεις- με περιοδικά περιστατικά να υπάρχουν στα γύρω χωριά.



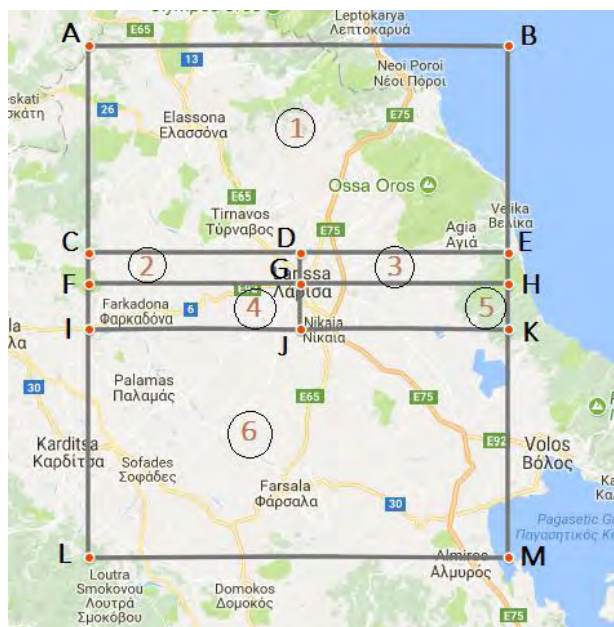
**Εικόνα 5.17:** Περιστατικά που καταγράφηκαν



**Εικόνα 5.18:** Περιστατικά που καταγράφηκαν στις 9/1/17



Επιλέχθηκαν λοιπόν 13 σημεία τα οποία χωρίζουν την περιοχή μελέτης μας σε 6 ορθογώνια cluster. Η επιλογή των σημείων ξεκίνησε από το κέντρο της Λάρισας το οποίο χωρίστηκε στα 4 ώστε να μοιραστεί όσο το δυνατόν καλύτερα η ζήτηση.



Σημείο	Συντεταγμένες	
A	40,02235	21,96441
B	40,02235	22,85705
C	39,68816	21,96441
D	39,68816	22,41416
E	39,68816	22,85705
F	39,63689	21,96441
G	39,63689	22,41416
H	39,63689	22,85705
I	39,56441	21,96441
J	39,56441	22,41416
K	39,56441	22,85705
L	39,19075	21,96441
M	39,19075	22,85705

**Εικόνα 5.19 :** Τα 6 cluster που δημιουργήθηκαν

Είναι προφανές ότι το εμβαδόν των cluster διαφέρει σημαντικά διότι η έκταση που πρέπει να καλυφθεί είναι μεγάλη, παρόλα αυτά η ζήτηση στις πιο απομακρυσμένες περιοχές είναι μικρή, έτσι έχουμε καταλήξει με 4 μικρότερα cluster, που απορροφούν όμως το μεγαλύτερο ποσοστό των περιστατικών και 2 μεγάλα. Συντάχθηκε στη συνέχεια εντολή στο excel και έτσι καταλήξαμε με τον αριθμό περιστατικών ανά cluster όπως φαίνεται παρακάτω, καθώς και το εμβαδό του καθενός όπως υπολογίστηκε από το Google maps.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8

Ιδιότητες cluster

Περιοχή	Περιστατικά	Εμβαδό
1	338	2.838 km <sup>2</sup>
2	152	220 km <sup>2</sup>
3	390	217 km <sup>2</sup>
4	360	311 km <sup>2</sup>
5	600	307 km <sup>2</sup>
6	122	3.195 km <sup>2</sup>

### 5.3.2 Εύρεση Κέντρου

Ένα σημαντικό κομμάτι της έρευνας μας είναι το πού θα τοποθετηθούν τα ασθενοφόρα για τις περιόδους αναμονής, ώστε να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στα περιστατικά που θα προκύψουν και το νοσοκομείο. Για τον λόγο αυτό θα λυθεί το πρόβλημα ως ένα πρόβλημα τοποθέτησης εγκατάστασης (facility location).

Όπως αναλύθηκε παραπάνω υπάρχουν τρία είδη τέτοιων προβλημάτων. Για να βρούμε ως ποιο είδος θα επιλυθεί το πρόβλημα των ασθενοφόρων κοιτάμε τα δεδομένα και τα αποτελέσματα που βγάζουν.

Έτσι, το πρόβλημα median απορρίπτεται διότι αναζητά μια λύση που ελαχιστοποιεί την συνολική απόσταση, λαμβάνοντας υπόψιν το «βάρος» της ζήτησης κάθε σημείου. Στην δική μας όμως περίπτωση όλα τα περιστατικά είναι ίσα. Θεωρητικά θα μπορούσε να μπει η ζήτηση ίση με 1 σε όλα τα σημεία, αλλά το αποτέλεσμα του προβλήματος δεν μας ικανοποιεί, διότι πρόκειται για υπηρεσία έκτακτης ανάγκης όπου πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η μέγιστη απόσταση. Τα δύο προβλήματα covering που περιεγράφηκαν επίσης δεν μας ικανοποιούν για διαφορετικούς λόγους. Αρχικά στο πρόβλημά μας δεν έχουμε το μέγεθος  $S$ , που είναι η μέγιστη επιτρεπτή απόσταση (είτε σε χιλιόμετρα, είτε σε λεπτά) ανάμεσα από ένα σημείο και το κοντινότερο όχημα. Ένα τέτοιο μέγεθος θα ήταν δύσκολο να



καθοριστεί καθώς υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία στις τοποθεσίες που έχουμε περιστατικά. Έπειτα η ελαχιστοποίηση των εγκαταστάσεων που είναι ο στόχος του προβλήματος δεν έχει εφαρμογή στην δική μας περίπτωση καθώς είναι σταθερά τα οχήματα. Όσον αφορά το πρόβλημα maximal covering, υπάρχει το πρόβλημα ότι στόχο έχει την μεγιστοποίηση της κάλυψης της ζήτησης, ενώ εμείς παίρνουμε ως δεδομένο ότι θα καλυφθεί όλη η ζήτηση. Για τον λόγο αυτό, καταλήγουμε ότι ο τρόπος που θα προσεγγίσουμε το πρόβλημα μας, είναι ως ένα πρόβλημα center, όπου αναζητούνται οι τοποθεσίες των εγκαταστάσεων ώστε να ελαχιστοποιείται η μέγιστη απόσταση ανάμεσα σε ένα σημείο και την κοντινότερη εγκατάσταση.

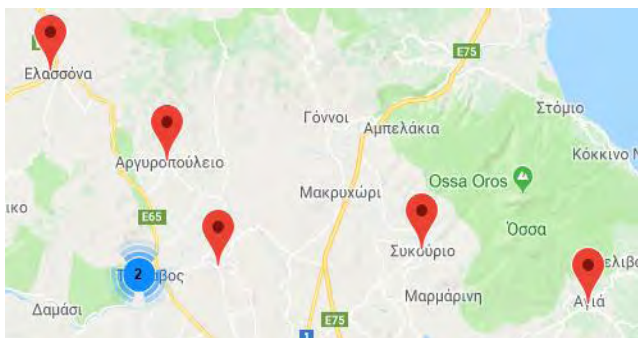
Στην δική μας περίπτωση θα λυθεί για κάθε cluster ένα πρόβλημα center το οποίο ως εγκατάσταση προς τοποθέτηση θα έχει το όχημα και ως σημεία με ζήτηση τα εκάστοτε περιστατικά.

Λόγω του μεγάλου όγκου περιστατικών που αντιστοιχεί σε κάθε cluster, η θέση που ψάχνουμε θα βρεθεί με δεδομένα τις κλήσεις της Δευτέρας 9 Ιανουαρίου, όπως και στην προηγούμενη μελέτη. Τα 42 περιστατικά της ημέρας αυτής κατανέμονται στα cluster όπως φαίνεται παρακάτω:

### ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9

Ιδιότητες cluster

cluster	περιστατικά
1	7
2	3
3	14
4	9
5	8
6	1



**Εικόνα 5.20 :** Περιστατικά στο cluster 1

Η μελέτη μας θα ξεκινήσει με το 1<sup>ο</sup> cluster τα περιστατικά του οποίου φαίνονται στον χάρτη. Πρόκειται για 7 περιστατικά οι αποστάσεις ανάμεσα στα οποία βρέθηκαν με το ίδιο

εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω, που τις βρίσκει με σεβασμό

στον ΚΟΚ. Το αρχείο με τα δεδομένα φαίνεται παρακάτω, όπου για κάθε σενάριο κόμβων αναγράφεται δίπλα η απόσταση σε χιλιόμετρα:

```
kin.txt (~/loes) - gedit
File Edit View Search Tools Documents
Open Save Undo
kin.txt x
18 22 58.922
18 23 21.069
18 26 32.061
18 31 25.324
18 40 75.136
18 43 23.542
22 18 56.726
22 23 36.677
22 26 28.81
22 31 36.499
22 40 28.761
22 43 37.862
23 18 20.83
23 22 37.731
23 26 12.247
23 31 11.763
23 40 57.895
23 43 9.981
26 18 33.168
26 22 29.663
26 23 13.816
26 31 9.191
26 40 49.827
26 43 12.492
31 18 25.093
31 22 36.944
31 23 11.755
31 26 8.246
31 40 54.456
Plain Text Tab Width: 8 Ln 1, Col 1 INS
```

**Εικόνα 5.21:** Το αρχείο με τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων

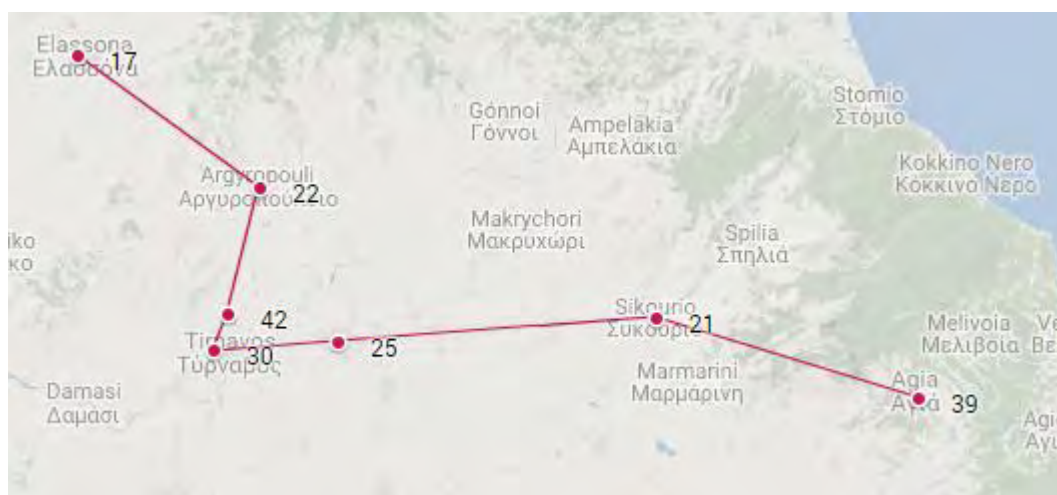
Έπειτα χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος που δημιουργήθηκε σε συνεργασία με το Εργαστήριο Βελτιστοποίησης, ο οποίος είναι σε γλώσσα προγραμματισμού C++11 και λύνει για το δίκτυο αυτό τον αλγόριθμο Kruskal για την εύρεση του δέντρου ελάχιστης κάλυψης. Για να το κάνει αυτό ταξινομεί τις ακμές σε αύξουσα σειρά και

τις προσθέτει στο δέντρο μόνο αν δεν δημιουργείται κύκλος. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

```
chalantine@chalantine-Inspiron-5748: ~/loes
File Edit View Search Terminal Help
=====PRINT KRUSKAL MST =====
Included Edges
43-31 :2.827
31-26 :8.246
43-23 :9.98
23-18 :20.83
40-22 :28.761
22-26 :28.81
TOTAL COST:95
chalantine@chalantine-Inspiron-5748:~/loes$
```

**Εικόνα 5.22:** Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου Kruskal

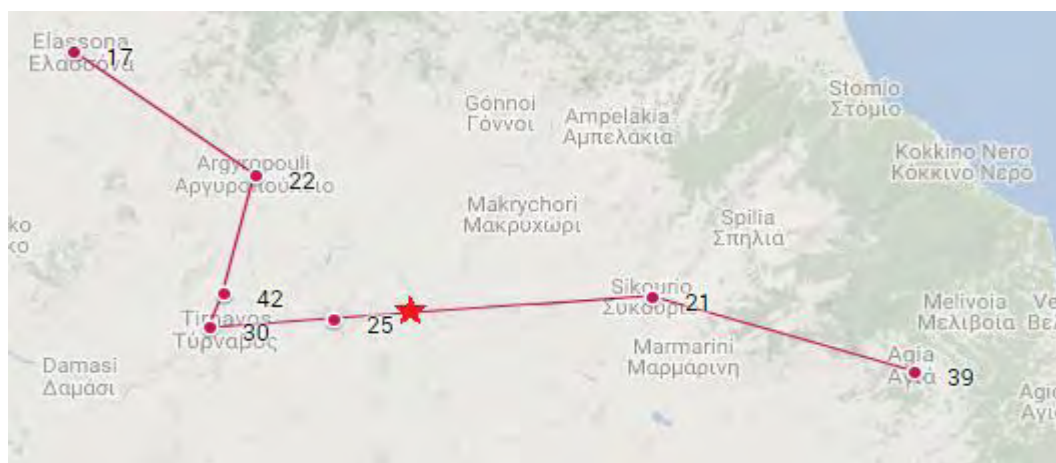
Για να συνδεθούν οι κόμβοι με το ελάχιστο κόστος έχουν επιλεγθεί οι παραπάνω ακμές. Φτιάχνοντας το δέντρο αυτό στο εργαλείο maps του Google έχουμε:



**Εικόνα 5.23:** Δέντρο ελάχιστης κάλυψης για cluster 1

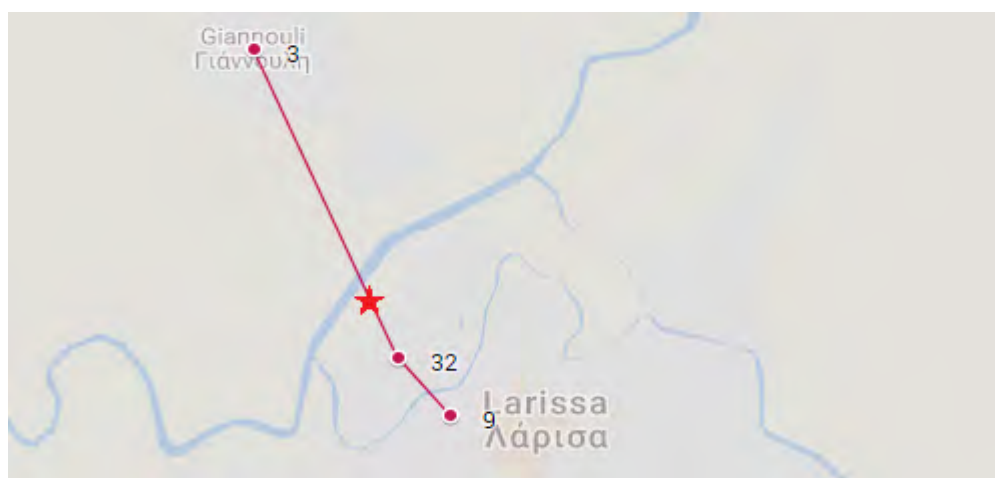
Στη συνέχεια, για να βρεθεί το κέντρο επιλέγεται ένα τυχαίο σημείο, έστω ο κόμβος 30 που αντιστοιχεί στο κέντρο υγείας Τυρνάβου και ψάχνουμε το σημείο που βρίσκεται πιο μακριά. Εδώ είναι ο κόμβος 39, το Κ.Υ. Αγιάς. Από αυτό το σημείο

ψάχνουμε εκ νέου το μακρύτερο σημείο που είναι ο κόμβος 17, το Κ.Υ. Ελασσόνας. Το βέλτιστο σημείο για να στηθεί το ασθενοφόρο βρίσκεται ακριβώς ανάμεσα στα σημεία 39 και 17. Πρόκειται για μία απόσταση 99,454 χλμ. και άρα το κέντρο είναι 49,727 χλμ. ξεκινώντας από οποιοδήποτε από τα δύο σημεία, ή αλλιώς λίγο έξω από τον Αμπελώνα (κόμβος 25), 20 περίπου λεπτά από το κέντρο της Λάρισας.



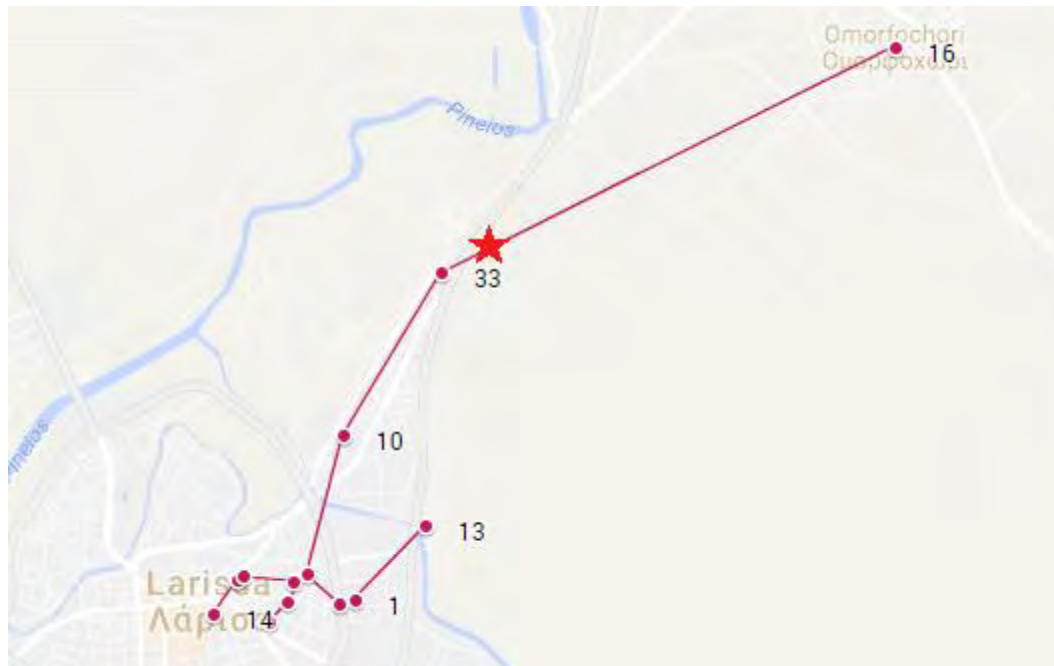
**Εικόνα 5.24:** Θέση οχήματος για cluster 1

Για το 2<sup>ο</sup> cluster δεν είναι αναγκαία η διαδικασία αυτή καθώς στην περίπτωση που εξετάζουμε είχε μόνο 3 περιστατικά και μπορούμε να πούμε ότι θα έπρεπε το όχημα να μπει στο κέντρο της διαδρομής, δηλαδή λίγο έξω από την πόλη της Λάρισας, όπως φαίνεται παρακάτω:



**Εικόνα 5.25:** Θέση οχήματος για cluster 2

Στο 3<sup>ο</sup> cluster παρουσιάζεται ένα ενδιαφέρον θέμα:



**Εικόνα 5.26:** Θέση οχήματος για cluster 3

Βλέπουμε ότι παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης βρίσκεται στο κέντρο της πόλης, λόγω ενός περιστατικού εκτός πόλης, μετατοπίζεται κατά πολύ η τοποθεσία του ασθενοφόρου που πρέπει να προταθεί. Ένας τρόπος να λυθεί αυτό θα ήταν να γίνει νέα εύρεση cluster ώστε να μην υπάρχουν τέτοιες μεταβολές.

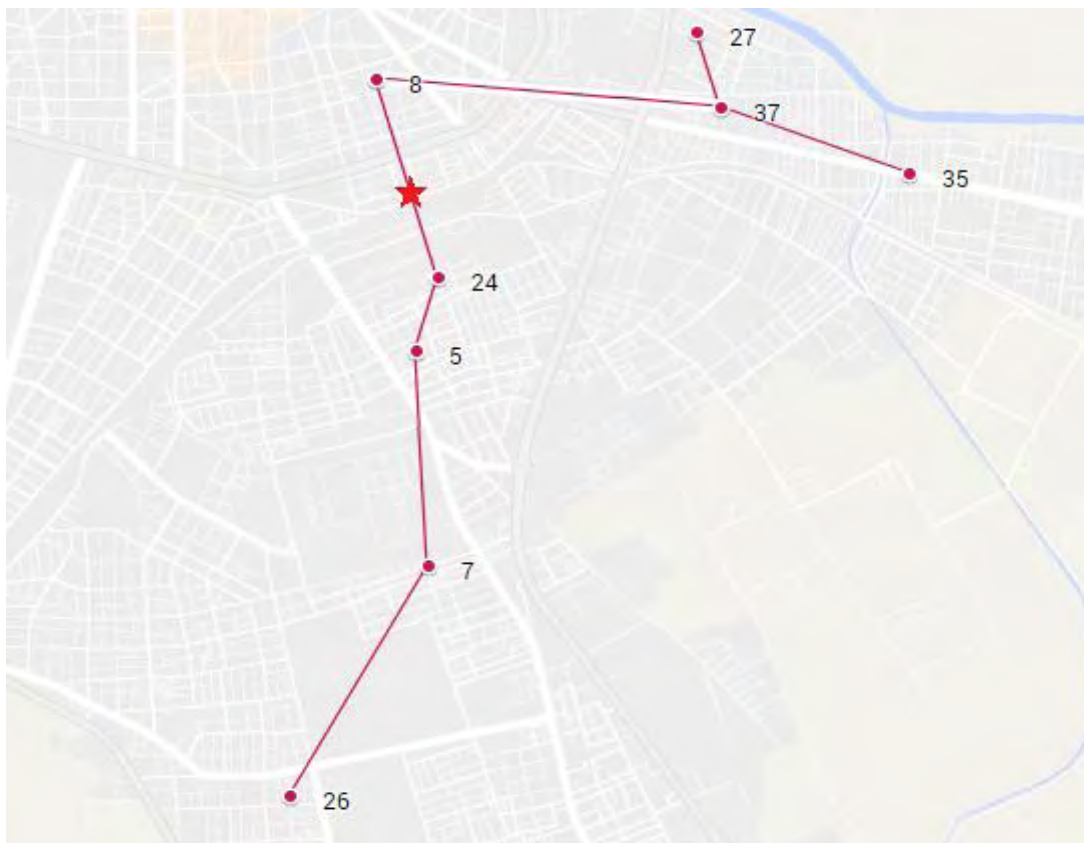
Για το 4<sup>ο</sup> cluster ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία επίλυσης του αλγορίθμου Kruskal και στη συνέχεια η εύρεση του κέντρου και φαίνεται στον παρακάτω χάρτη:





**Εικόνα 5.27:** Θέση οχήματος για cluster 4

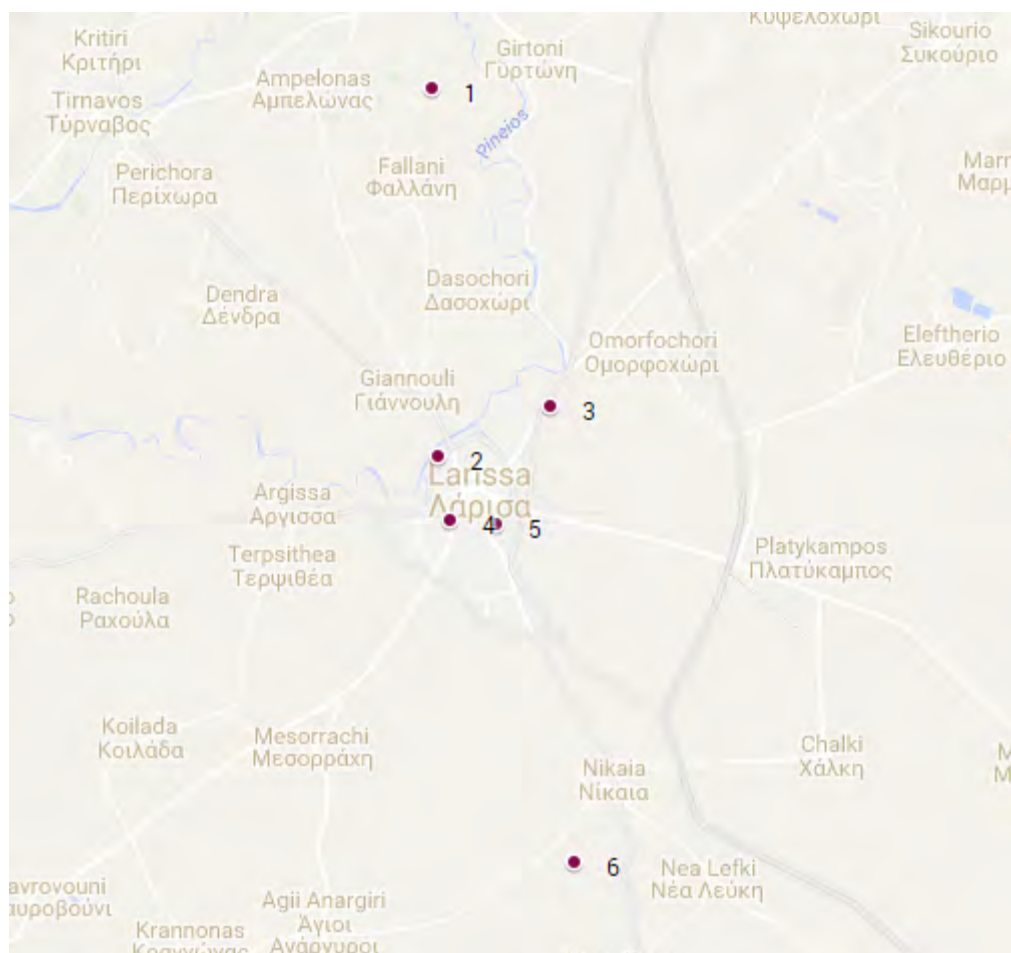
Ομοίως για το 5<sup>ο</sup> cluster:



**Εικόνα 5.28:** Θέση οχήματος για cluster 5

Στο 6<sup>ο</sup> cluster όμως δεν είναι δυνατή να γίνει αυτή η μελέτη, καθώς πρόκειται για ένα μόνο περιστατικό το οποίο δεν θεωρείται αντιπροσωπευτικό δείγμα της ζήτησης. Για τον λόγο αυτό δεν θα το θεωρήσουμε ως πιθανή τοποθεσία ασθενοφόρου. Αντίθετα, θα επιλέξουμε να το τοποθετήσουμε στο κέντρο περίπου του 6<sup>ου</sup> cluster με σκοπό να κάνουμε όσο το δυνατόν περισσότερες περιοχές προσβάσιμες σε μικρό χρόνο.

Συνολικά λοιπόν στον χάρτη της Λάρισας τα ασθενοφόρα πρέπει να τοποθετηθούν όπως φαίνεται στον χάρτη:



**Εικόνα 5.29:** Η θέση και των 6 οχημάτων

Όπως ήταν αναμενόμενο από την συγκέντρωση της ζήτησης, τα 3 από τα 6 ασθενοφόρα πρέπει να αναμένουν στο κέντρο της Λάρισας, 1 βρίσκεται λίγο έξω από



την πόλη και τα 2 άλλα οχήματα να αναλαμβάνουν τα περιστατικά βόρεια και νότια της πόλης αντίστοιχα.

Μιας και ο αλγόριθμος που επιλύθηκε μειώνει τις αποστάσεις ανάμεσα στην «εγκατάσταση» και τα σημεία ζήτησης, είναι εμφανές ότι θα επιφέρει μεγάλες μειώσεις στον χρόνο απόκρισης, ειδικά σε αυτόν που υπολογίζαμε στην αρχή, σύμφωνα με τον οποίο το ασθενοφόρο γυρνάει στο νοσοκομείο και αναμένει εκεί την νέα κλήση από το κέντρο.

Φυσικά, ως επέκταση στην υπάρχουσα δουλειά, μπορούν να εξεταστούν νέα cluster τα οποία να μοιράζουν καλύτερα την ζήτηση, ειδικά στο κέντρο και να μην έχουν τόσο μεγάλες αποκλίσεις, όσο εδώ. Κάτι τέτοιο βέβαια πρέπει να γίνει με σεβασμό στο γεγονός ότι η μεγαλύτερη ζήτηση συγκεντρώνεται στο κέντρο, και το να τοποθετηθεί μακριά από αυτό όχημα, που θα καλείται να το εξυπηρετήσει, δεν είναι αποδεκτό.

## 5.4 Πρόβλεψη περιστατικών

Τελευταίο κομμάτι των υπολογισμών αποτέλεσε η προσπάθεια πρόβλεψης των έκτακτων περιστατικών, σε καθ' ένα από τα 6 cluster, που ορίσαμε προηγουμένως. Οι αναλύσεις αφορούσαν 3 διαφορετικές χρονικές οντότητες:

- πρόβλεψη για κάθε μέρα της εβδομάδας
- πρόβλεψη για τις εβδομάδες, όπου έχουμε δεδομένα
- πρόβλεψη για τις 3 περιόδους, όπως τις ορίσαμε προηγουμένως (Χριστουγέννων, Πάσχα και 15 Αύγουστου).

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, ως μέθοδος πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε η πολυωνυμική προσαρμογή. Ουσιαστικά κατά την μέθοδο έγινε

προσπάθεια εύρεσης ενός πολυωνύμου (έως έκτης τάξης), με το οποίο θα μπορούμε, είτε να υπολογίσουμε με ακρίβεια, είτε να προσεγγίσουμε σε πολύ καλό βαθμό τον αριθμό των έκτακτων περιστατικών (για παράδειγμα κάθε μέρα της εβδομάδας) σε κάθε ζώνη.

Η εύρεση των πολυωνύμων έγινε μέσω της χρήσης του excel. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν διαγράμματα, που απεικονίζουν τον αριθμό των περιστατικών, για κάθε μέρα της εβδομάδας ξεχωριστά, τον συνολικό αριθμό των περιστατικών κάθε εβδομάδας (για τις οποίες είχαμε δεδομένα στην διάθεσή μας), καθώς επίσης και διαγράμματα στα οποία απεικονίζεται ο συνολικός αριθμός των περιστατικών στις 3 περιόδους. Η παραπάνω διαδικασία έγινε για κάθε ζώνη ξεχωριστά, επομένως έγινε συνολικά 6 φορές. Στην συνέχεια, η εύρεση των πολυωνύμων ήταν αρκετά εύκολη, καθώς η εξαγωγή της εξίσωσης τάσης γίνεται κατευθείαν στο excel. Υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης εξίσωσης μέχρι έκτου βαθμού. Εμείς, ξεκινώντας από εξίσωση πρώτου βαθμού, υπολογίζαμε το  $R^2$  και εφόσον η απόκλιση από το 1 ήταν αρκετά μεγάλη, ανεβαίναμε σε τάξη, μέχρις ότου να βρεθεί εξίσωση με  $R^2$  κοντά στο 1, ει δυνατόν ίσο με 1.

Όπως φαίνεται και παρακάτω, όσον αφορά την εύρεση πολυωνύμου που προσομοιώνει τον αριθμό των περιστατικών για κάθε μέρα και κάθε περίοδο, η διαδικασία στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την ημερήσια πρόβλεψη, προέκυψαν πολυώνυμα έκτου βαθμού, που υπολογίζουν με απόλυτη ακρίβεια ( $R^2 = 1$ ) τον αριθμό των περιστατικών σε κάθε μία από τις 6 ζώνες, όπως επίσης το ίδιο ισχύει και για τα πολυώνυμα που βρέθηκαν για κάθε περίοδο, με την μόνη διαφορά, ότι τα πολυώνυμα που προέκυψαν ήταν δεύτερης τάξης. Δυστυχώς, η προσπάθεια εύρεσης πολυωνύμου, που να προσομοιώνει τον συνολικό αριθμό των περιστατικών για κάθε εβδομάδα, δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Μάλιστα σε

κάποιες περιπτώσεις, παρότι φτάσαμε σε πολυώνυμο έκτης τάξης, ο συντελεστής  $R^2$  υπολογίστηκε ίσος με 0.4265, δηλαδή η απόκλιση από την επιθυμητή τιμή 1 ήταν πάρα πολύ μεγάλη. Αυτός είναι και ο λόγος, που τις συγκεκριμένες αναλύσεις δεν τις λάβαμε υπόψιν μας και τα αποτελέσματά τους δεν παρουσιάζονται στην συνέχεια.

#### 5.4.1 Πρόβλεψη για κάθε ημέρα

Η διαδικασία εξαγωγής των πολυωνύμων είχε ως εξής. Για κάθε μέρα βρέθηκαν τα περιστατικά που έλαβαν χώρα, σε κάθε cluster. Στην συνέχεια, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των περιστατικών για κάθε ημέρα και στρογγυλοποιήθηκε, έτσι ώστε να είναι ακέραιος αριθμός. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

ΔΕΥΤΕΡΑ		ΤΡΙΤΗ		ΤΕΤΑΡΤΗ		ΠΕΜΠΤΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
19/12/2016	2	20/12/2016	3	21/12/2016	3	15/12/2016	2
26/12/2016	7	27/12/2016	0	28/12/2016	3	22/12/2016	2
2/1/2017	7	3/1/2017	5	4/1/2017	4	29/12/2016	3
9/1/2017	6	10/1/2017	3	11/1/2017	3	5/1/2017	5
10/4/2017	0	11/4/2017	6	12/4/2017	4	12/1/2017	1
17/4/2017	6	18/4/2017	6	19/4/2017	5	13/4/2017	2
24/4/2017	3	25/4/2017	5	26/4/2017	3	20/4/2017	2
1/5/2017	10	2/5/2017	8	3/5/2017	1	27/4/2017	4
8/5/2017	4	25/7/2017	5	26/7/2017	1	4/5/2017	8
24/7/2017	5	1/8/2017	2	2/8/2017	3	20/7/2017	4
31/7/2017	3	8/8/2017	0	9/8/2017	4	27/7/2017	2
7/8/2017	7	15/8/2017	4	16/8/2017	3	3/8/2017	3
14/8/2017	6	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>4</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>3</b>	10/8/2017	4
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>					17/8/2017	6
						<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>3</b>
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ		ΣΑΒΒΑΤΟ		ΚΥΡΙΑΚΗ			
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ		
16/12/2016	6	17/12/2016	2	18/12/2016	4		
23/12/2016	4	24/12/2016	3	25/12/2016	2		
30/12/2016	5	31/12/2016	1	1/1/2017	6		
6/1/2017	4	7/1/2017	5	8/1/2017	5		
13/1/2017	4	14/1/2017	3	15/1/2017	5		
14/4/2017	7	8/4/2017	7	9/4/2017	2		
21/4/2017	6	15/4/2017	9	16/4/2017	7		
28/4/2017	3	22/4/2017	7	23/4/2017	5		
5/5/2017	4	29/4/2017	2	30/4/2017	4		
21/7/2017	9	6/5/2017	5	7/5/2017	3		
28/7/2017	4	22/7/2017	5	23/7/2017	3		
4/8/2017	8	29/7/2017	6	30/7/2017	5		
11/8/2017	6	5/8/2017	5	6/8/2017	4		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>	12/8/2017	3	13/8/2017	4		
		<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>4</b>		

Εικόνα 5.30: Περιστατικά ανά ημέρα στο cluster 1

ΔΕΥΤΕΡΑ		ΤΡΙΤΗ		ΤΕΤΑΡΤΗ		ΠΕΜΠΤΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
19/12/2016	2	20/12/2016	3	21/12/2016	1	15/12/2016	3
26/12/2016	3	27/12/2016	1	28/12/2016	2	22/12/2016	4
2/1/2017	3	3/1/2017	5	4/1/2017	1	29/12/2016	2
9/1/2017	3	10/1/2017	6	11/1/2017	4	5/1/2017	13
10/4/2017	2	11/4/2017	5	12/4/2017	2	12/1/2017	1
17/4/2017	0	18/4/2017	1	19/4/2017	2	13/4/2017	1
24/4/2017	1	25/4/2017	1	26/4/2017	2	20/4/2017	2
1/5/2017	0	2/5/2017	1	3/5/2017	0	27/4/2017	2
8/5/2017	3	25/7/2017	1	26/7/2017	3	4/5/2017	0
24/7/2017	0	1/8/2017	2	2/8/2017	1	20/7/2017	4
31/7/2017	4	8/8/2017	2	9/8/2017	2	27/7/2017	3
7/8/2017	1	15/8/2017	0	16/8/2017	5	3/8/2017	3
14/8/2017	0	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>	10/8/2017	1
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>					17/8/2017	0
						<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>3</b>

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ		ΣΑΒΒΑΤΟ		ΚΥΡΙΑΚΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
16/12/2016	3	17/12/2016	4	18/12/2016	5
23/12/2016	1	24/12/2016	2	25/12/2016	1
30/12/2016	4	31/12/2016	2	1/1/2017	3
6/1/2017	0	7/1/2017	3	8/1/2017	2
13/1/2017	2	14/1/2017	4	15/1/2017	3
14/4/2017	3	8/4/2017	4	9/4/2017	2
21/4/2017	4	15/4/2017	3	16/4/2017	1
28/4/2017	3	22/4/2017	2	23/4/2017	3
5/5/2017	0	29/4/2017	2	30/4/2017	2
21/7/2017	1	6/5/2017	0	7/5/2017	1
28/7/2017	3	22/7/2017	0	23/7/2017	2
4/8/2017	2	29/7/2017	2	30/7/2017	1
11/8/2017	2	5/8/2017	0	6/8/2017	2
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>	12/8/2017	1	13/8/2017	3
		<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>

Εικόνα 5.31: Περιστατικά ανά ημέρα στο cluster 2

ΔΕΥΤΕΡΑ		ΤΡΙΤΗ		ΤΕΤΑΡΤΗ		ΠΕΜΠΤΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
19/12/2016	3	20/12/2016	6	21/12/2016	3	15/12/2016	1
26/12/2016	5	27/12/2016	5	28/12/2016	4	22/12/2016	1
2/1/2017	5	3/1/2017	3	4/1/2017	7	29/12/2016	9
9/1/2017	15	10/1/2017	6	11/1/2017	6	5/1/2017	13
10/4/2017	4	11/4/2017	3	12/4/2017	8	12/1/2017	6
17/4/2017	4	18/4/2017	7	19/4/2017	6	13/4/2017	4
24/4/2017	5	25/4/2017	3	26/4/2017	2	20/4/2017	5
1/5/2017	5	2/5/2017	4	3/5/2017	6	27/4/2017	4
8/5/2017	4	25/7/2017	8	26/7/2017	7	4/5/2017	4
24/7/2017	11	1/8/2017	4	2/8/2017	4	20/7/2017	6
31/7/2017	3	8/8/2017	2	9/8/2017	4	27/7/2017	7
7/8/2017	4	15/8/2017	1	16/8/2017	5	3/8/2017	8
14/8/2017	6	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>4</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>	10/8/2017	3
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>6</b>					17/8/2017	2
						<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ		ΣΑΒΒΑΤΟ		ΚΥΡΙΑΚΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
16/12/2016	2	17/12/2016	6	18/12/2016	7
23/12/2016	3	24/12/2016	5	25/12/2016	5
30/12/2016	6	31/12/2016	10	1/1/2017	7
6/1/2017	6	7/1/2017	6	8/1/2017	3
13/1/2017	9	14/1/2017	4	15/1/2017	6
14/4/2017	5	8/4/2017	5	9/4/2017	2
21/4/2017	5	15/4/2017	5	16/4/2017	4
28/4/2017	3	22/4/2017	7	23/4/2017	5
5/5/2017	4	29/4/2017	7	30/4/2017	7
21/7/2017	5	6/5/2017	0	7/5/2017	8
28/7/2017	12	22/7/2017	2	23/7/2017	6
4/8/2017	5	29/7/2017	2	30/7/2017	2
11/8/2017	9	5/8/2017	3	6/8/2017	2
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>6</b>	12/8/2017	4	13/8/2017	2
		<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>

Εικόνα 5.32: Περιστατικά ανά ημέρα στο cluster 3

ΔΕΥΤΕΡΑ		ΤΡΙΤΗ		ΤΕΤΑΡΤΗ		ΠΕΜΠΤΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
19/12/2016	3	20/12/2016	4	21/12/2016	6	15/12/2016	5
26/12/2016	10	27/12/2016	2	28/12/2016	8	22/12/2016	5
2/1/2017	6	3/1/2017	4	4/1/2017	7	29/12/2016	9
9/1/2017	10	10/1/2017	6	11/1/2017	5	5/1/2017	6
10/4/2017	1	11/4/2017	4	12/4/2017	3	12/1/2017	8
17/4/2017	2	18/4/2017	5	19/4/2017	8	13/4/2017	9
24/4/2017	3	25/4/2017	4	26/4/2017	9	20/4/2017	4
1/5/2017	3	2/5/2017	2	3/5/2017	6	27/4/2017	1
8/5/2017	7	25/7/2017	4	26/7/2017	7	4/5/2017	5
24/7/2017	2	1/8/2017	1	2/8/2017	0	20/7/2017	3
31/7/2017	4	8/8/2017	5	9/8/2017	5	27/7/2017	4
7/8/2017	7	15/8/2017	3	16/8/2017	6	3/8/2017	2
14/8/2017	4	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>4</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>6</b>	10/8/2017	7
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>					17/8/2017	5
						<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ		ΣΑΒΒΑΤΟ		ΚΥΡΙΑΚΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
16/12/2016	6	17/12/2016	7	18/12/2016	6
23/12/2016	2	24/12/2016	8	25/12/2016	3
30/12/2016	8	31/12/2016	11	1/1/2017	7
6/1/2017	3	7/1/2017	7	8/1/2017	4
13/1/2017	7	14/1/2017	2	15/1/2017	9
14/4/2017	6	8/4/2017	4	9/4/2017	2
21/4/2017	1	15/4/2017	3	16/4/2017	3
28/4/2017	9	22/4/2017	5	23/4/2017	4
5/5/2017	2	29/4/2017	4	30/4/2017	10
21/7/2017	4	6/5/2017	3	7/5/2017	4
28/7/2017	5	22/7/2017	4	23/7/2017	4
4/8/2017	4	29/7/2017	9	30/7/2017	4
11/8/2017	6	5/8/2017	4	6/8/2017	6
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>	12/8/2017	2	13/8/2017	3
		<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>5</b>

Εικόνα 5.33: Περιστατικά ανά ημέρα στο cluster 4

ΔΕΥΤΕΡΑ		ΤΡΙΤΗ		ΤΕΤΑΡΤΗ		ΠΕΜΠΤΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
19/12/2016	9	20/12/2016	11	21/12/2016	10	15/12/2016	6
26/12/2016	2	27/12/2016	12	28/12/2016	19	22/12/2016	6
2/1/2017	12	3/1/2017	14	4/1/2017	14	29/12/2016	10
9/1/2017	10	10/1/2017	6	11/1/2017	13	5/1/2017	13
10/4/2017	7	11/4/2017	10	12/4/2017	8	12/1/2017	12
17/4/2017	9	18/4/2017	9	19/4/2017	4	13/4/2017	7
24/4/2017	7	25/4/2017	7	26/4/2017	9	20/4/2017	6
1/5/2017	9	2/5/2017	10	3/5/2017	7	27/4/2017	4
8/5/2017	11	25/7/2017	6	26/7/2017	11	4/5/2017	10
24/7/2017	4	1/8/2017	4	2/8/2017	8	20/7/2017	8
31/7/2017	4	8/8/2017	7	9/8/2017	10	27/7/2017	8
7/8/2017	9	15/8/2017	2	16/8/2017	3	3/8/2017	2
14/8/2017	7	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>8</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>10</b>	10/8/2017	4
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>8</b>					17/8/2017	5
						<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>7</b>

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ		ΣΑΒΒΑΤΟ		ΚΥΡΙΑΚΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
16/12/2016	2	17/12/2016	6	18/12/2016	10
23/12/2016	6	24/12/2016	3	25/12/2016	8
30/12/2016	15	31/12/2016	16	1/1/2017	11
6/1/2017	8	7/1/2017	10	8/1/2017	11
13/1/2017	10	14/1/2017	12	15/1/2017	11
14/4/2017	6	8/4/2017	5	9/4/2017	2
21/4/2017	4	15/4/2017	11	16/4/2017	5
28/4/2017	11	22/4/2017	5	23/4/2017	10
5/5/2017	13	29/4/2017	6	30/4/2017	7
21/7/2017	12	6/5/2017	18	7/5/2017	8
28/7/2017	7	22/7/2017	9	23/7/2017	8
4/8/2017	6	29/7/2017	7	30/7/2017	5
11/8/2017	11	5/8/2017	9	6/8/2017	1
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>9</b>	12/8/2017	4	13/8/2017	3
		<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>9</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>7</b>

Εικόνα 5.34: Περιστατικά ανά ημέρα στο cluster 5

ΔΕΥΤΕΡΑ		ΤΡΙΤΗ		ΤΕΤΑΡΤΗ		ΠΕΜΠΤΗ	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ
19/12/2016	1	20/12/2016	0	21/12/2016	1	15/12/2016	1
26/12/2016	2	27/12/2016	1	28/12/2016	1	22/12/2016	0
2/1/2017	2	3/1/2017	1	4/1/2017	1	29/12/2016	3
9/1/2017	1	10/1/2017	3	11/1/2017	2	5/1/2017	1
10/4/2017	1	11/4/2017	1	12/4/2017	1	12/1/2017	1
17/4/2017	3	18/4/2017	1	19/4/2017	1	13/4/2017	0
24/4/2017	2	25/4/2017	2	26/4/2017	1	20/4/2017	0
1/5/2017	2	2/5/2017	0	3/5/2017	0	27/4/2017	3
8/5/2017	3	25/7/2017	0	26/7/2017	1	4/5/2017	2
24/7/2017	0	1/8/2017	0	2/8/2017	0	20/7/2017	1
31/7/2017	2	8/8/2017	2	9/8/2017	2	27/7/2017	2
7/8/2017	2	15/8/2017	2	16/8/2017	2	3/8/2017	1
14/8/2017	3	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>1</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>1</b>	10/8/2017	2
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>					17/8/2017	1
						<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>1</b>
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ		ΣΑΒΒΑΤΟ		ΚΥΡΙΑΚΗ			
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ		
16/12/2016	2	17/12/2016	1	18/12/2016	3		
23/12/2016	0	24/12/2016	2	25/12/2016	1		
30/12/2016	2	31/12/2016	2	1/1/2017	2		
6/1/2017	1	7/1/2017	0	8/1/2017	1		
13/1/2017	4	14/1/2017	3	15/1/2017	2		
14/4/2017	5	8/4/2017	0	9/4/2017	2		
21/4/2017	5	15/4/2017	4	16/4/2017	2		
28/4/2017	2	22/4/2017	2	23/4/2017	2		
5/5/2017	4	29/4/2017	0	30/4/2017	2		
21/7/2017	3	6/5/2017	2	7/5/2017	3		
28/7/2017	0	22/7/2017	4	23/7/2017	0		
4/8/2017	2	29/7/2017	0	30/7/2017	0		
11/8/2017	5	5/8/2017	0	6/8/2017	0		
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>3</b>	12/8/2017	2	13/8/2017	2		
		<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2</b>		

Εικόνα 5.35: Περιστατικά ανά ημέρα στο cluster 6

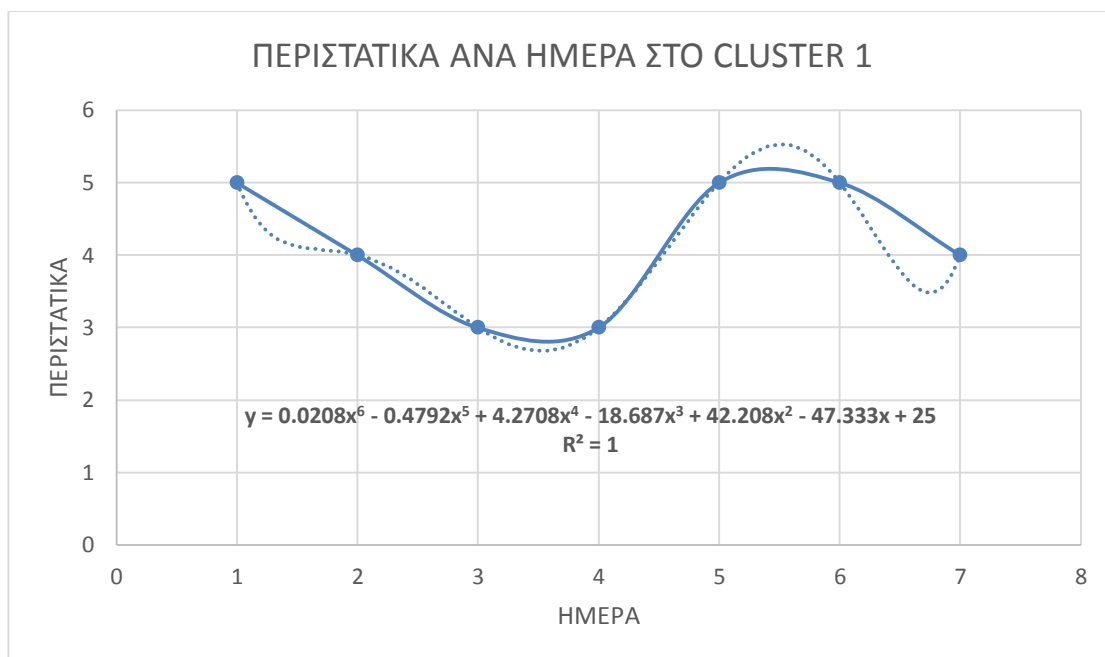
Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους, που υπολογίστηκαν παραπάνω, κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα, στα οποία ο άξονας των Y αντιστοιχεί στους μέσους όρους των περιστατικών για κάθε ημέρα και ο άξονας των X αντιστοιχεί στις μέρες της εβδομάδας. Συνολικά κατασκευάστηκαν 6 διαγράμματα, ένα για κάθε ζώνη. Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν τα πολυώνυμα, με την διαδικασία που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Τα πολυώνυμα που προέκυψαν ήταν τα εξής:

- CLUSTER 1:  $Y=0.0208 \times X^6 - 0.4792 \times X^5 + 4.2708 \times X^4 - 18.687 \times X^3 + 42.208 \times X^2 - 47.333 \times X + 25$
- CLUSTER 2:  $Y=-0.0278 \times X^6 + 0.6667 \times X^5 - 6.2778 \times X^4 + 29.333 \times X^3 + 70.694 \times X^2 + 82 \times X - 33$
- CLUSTER 3:  $Y=0.0306 \times X^6 - 0.7333 \times X^5 + 6.9722 \times X^4 - 33.417 \times X^3 + 84.497 \times X^2 - 105.35 \times X + 54$

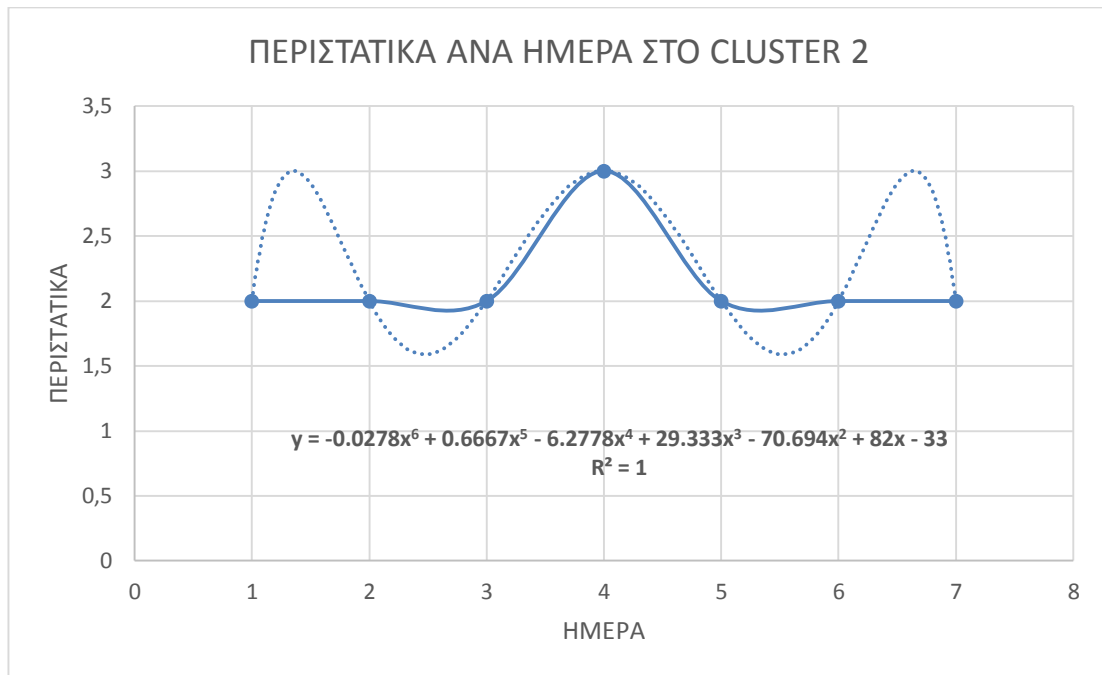
- CLUSTER 4:  $Y=0.0292 \times X^6 - 0.7375 \times X^5 + 7.3958 \times X^4 - 37.229 \times X^3 + 97.575 \times X^2 - 123.03 \times X + 61$
- CLUSTER 5:  $Y=0.0806 \times X^6 - 1.975 \times X^5 + 19.056 \times X^4 - 91.542 \times X^3 + 227.36 \times X^2 - 270.98 \times X + 126$
- CLUSTER 6:  $Y=0.0361 \times X^6 - 0.8417 \times X^5 + 7.6944 \times X^4 - 35.042 \times X^3 + 83.269 \times X^2 - 97.117 \times X + 44$

,όπου  $X=1$  αντιστοιχεί στην Δευτέρα,  $X=2$  αντιστοιχεί στην Τρίτη,.....,  $X=7$  αντιστοιχεί στην Κυριακή.

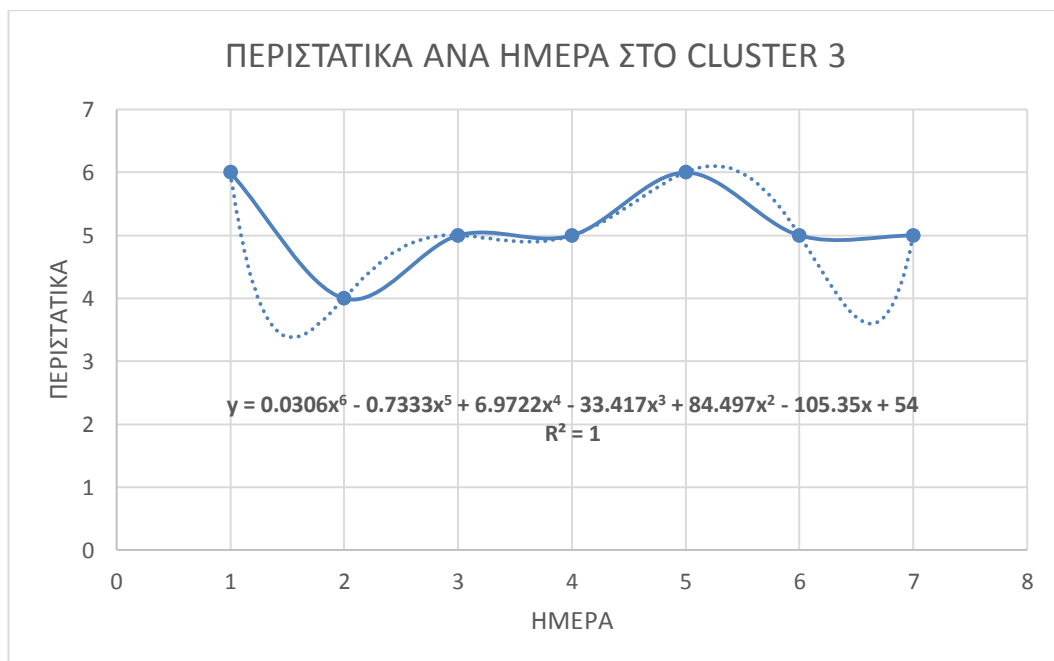
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις εξισώσεις των πολυωνύμων και τα  $R^2$ .



**Εικόνα 5.36:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά ημέρα στο cluster 1

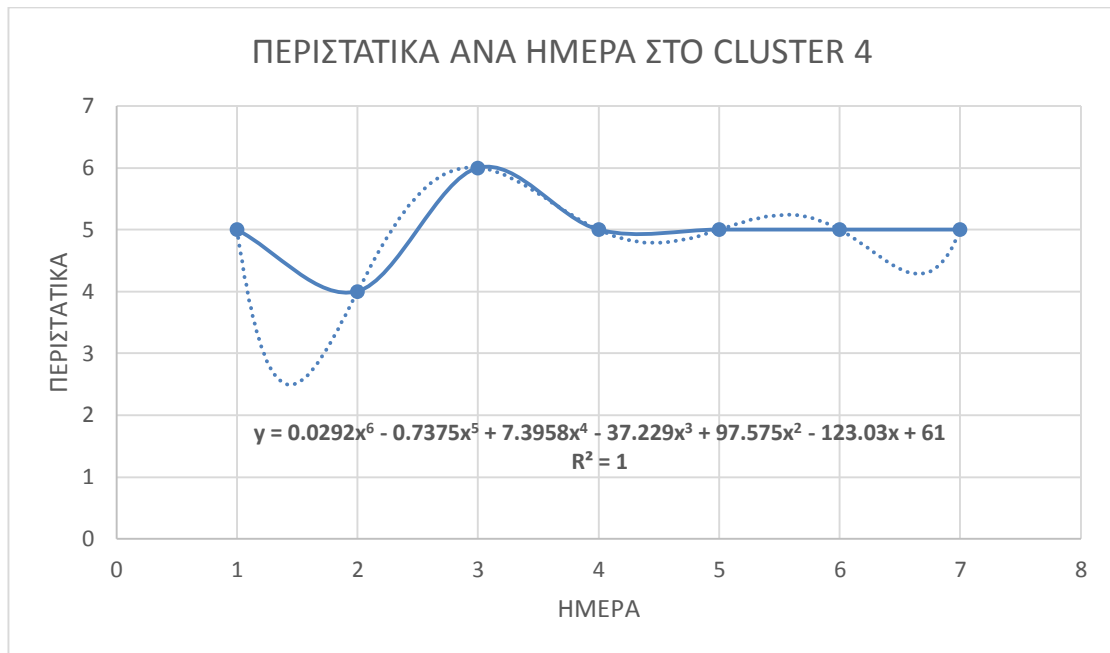


**Εικόνα 5.37:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά ημέρα στο cluster 2

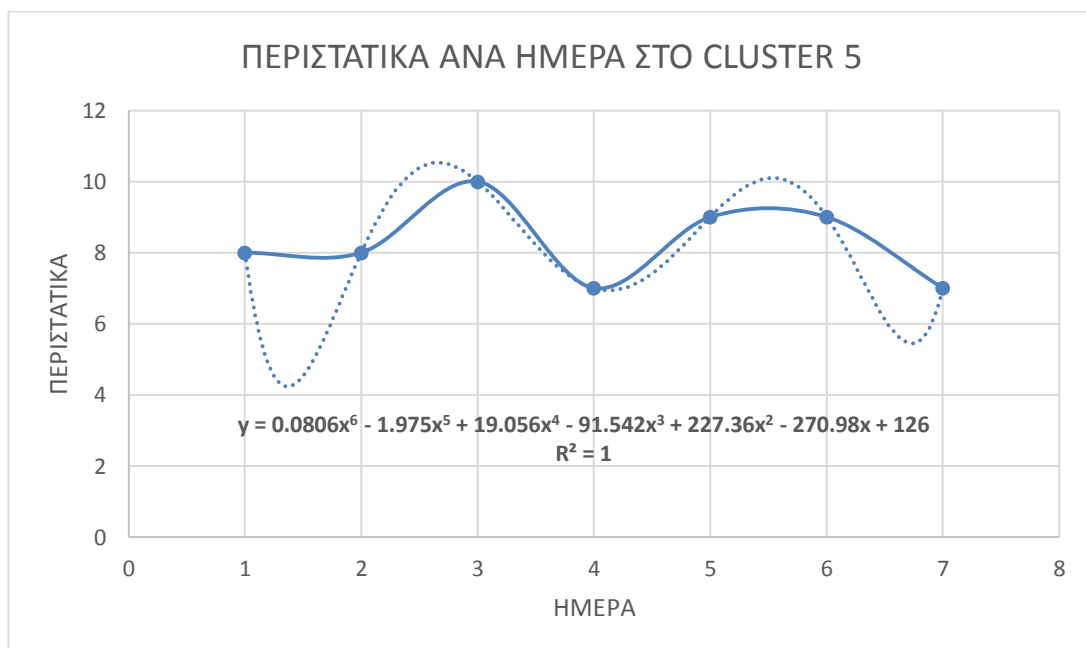


**Εικόνα 5.38:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά ημέρα στο cluster 3

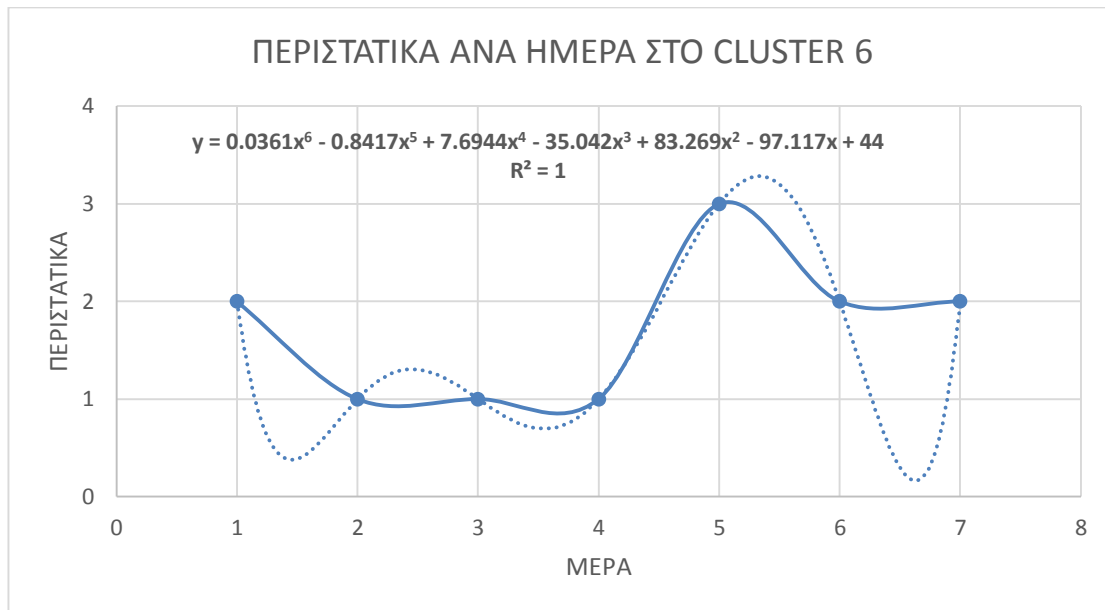




**Εικόνα 5.39:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά ημέρα στο cluster 4



**Εικόνα 5.40:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά ημέρα στο cluster 5



**Εικόνα 5.41:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά ημέρα στο cluster 6

#### 5.4.2 Πρόβλεψη για κάθε περίοδο

Για την εξαγωγή των πολυωνύμων που αφορούν τα περιστατικά στις 3 περιόδους, αρχικά έγινε η κατανομή των περιστατικών στην εκάστοτε περίοδο, που έλαβε χώρα. Στην συνέχεια προέκυψαν τα διαγράμματα, στα οποία ο άξονας των Y αντιστοιχεί στον συνολικό αριθμό έκτακτων περιστατικών για κάθε περίοδο και ο άξονας των X αντιστοιχεί στις 3 περιόδους. Έπειτα, υπολογίστηκαν τα πολυώνυμα, όπως ακριβώς έγινε και στον υπολογισμό των πολυωνύμων, που αφορούσε την ημερήσια πρόβλεψη. Η διαδικασία αυτή έγινε ξεχωριστά για κάθε ζώνη. Επομένως έγινε συνολικά 6 φορές. Τα πολυώνυμα που προέκυψαν ήταν:

- CLUSTER 1:  $Y = -27 \times X^2 + 111 \times X + 34$
- CLUSTER 2:  $Y = 16.5 \times X^2 - 85.5 \times X + 159$
- CLUSTER 3:  $Y = 12 \times X^2 - 70 \times X + 241$
- CLUSTER 4:  $Y = 21.5 \times X^2 - 118.5 \times X + 291$
- CLUSTER 5:  $Y = 2 \times X^2 - 75 \times X + 391$

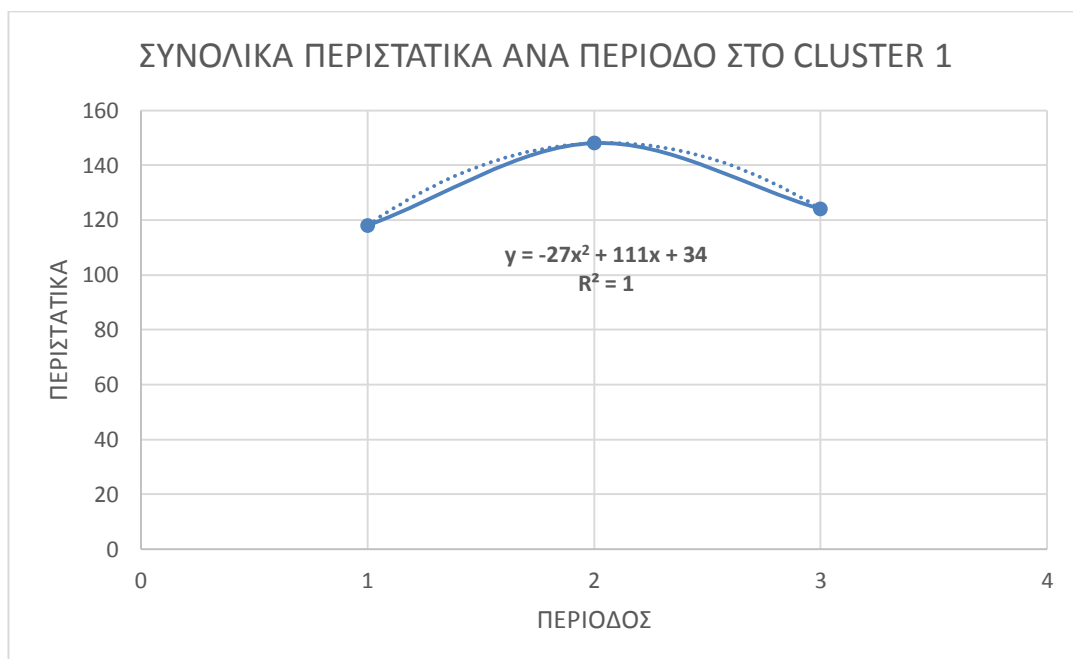
- CLUSTER 6:  $Y = -11 \times X^2 + 40 \times X + 20$

όπου  $X=1$  αντιστοιχεί στην περίοδο των Χριστουγέννων (15/12/2016-15/1/2017),

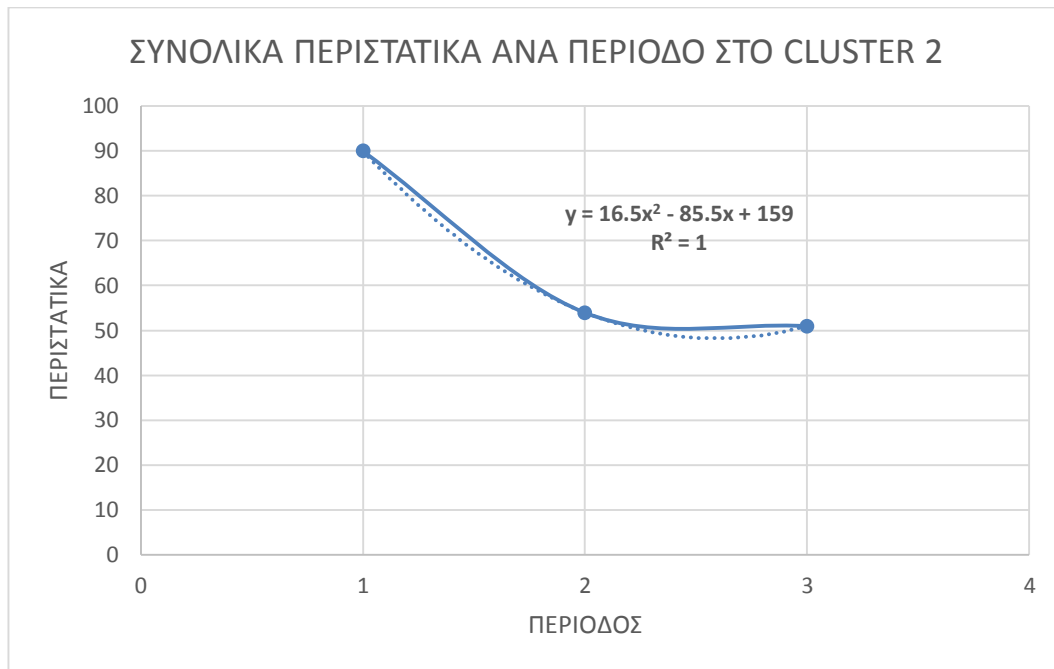
$X=2$  αντιστοιχεί στην περίοδο του Πάσχα (8/4/2017-8/5/2017)

$X=3$  αντιστοιχεί στην περίοδο του 15 Αύγουστου (20/7/2017-17/8/2017)

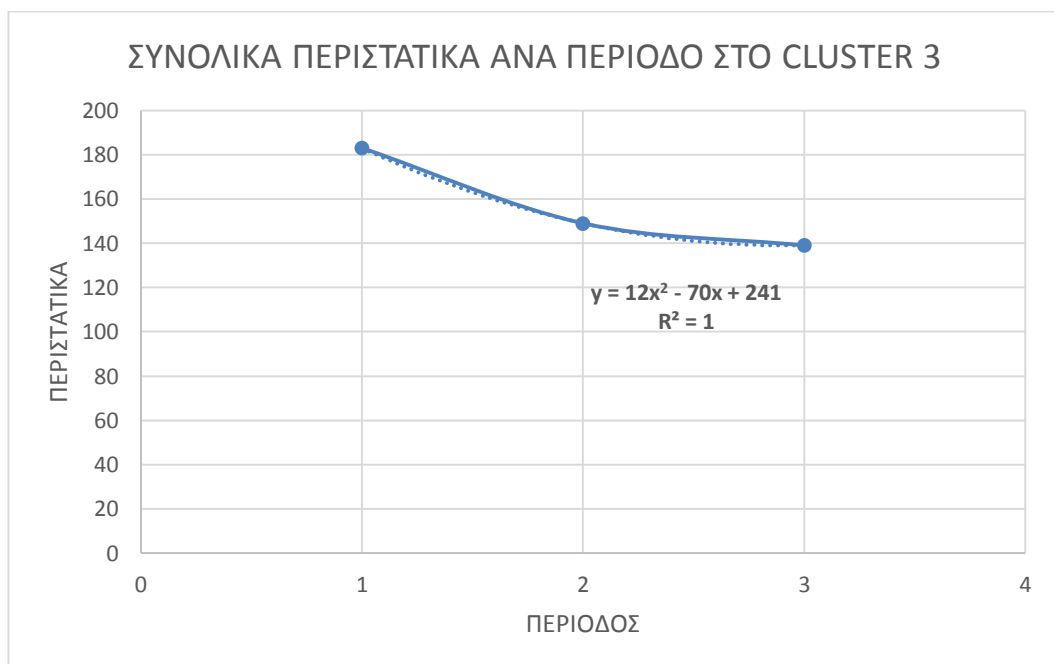
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις εξισώσεις των πολυωνύμων και τα  $R^2$ .



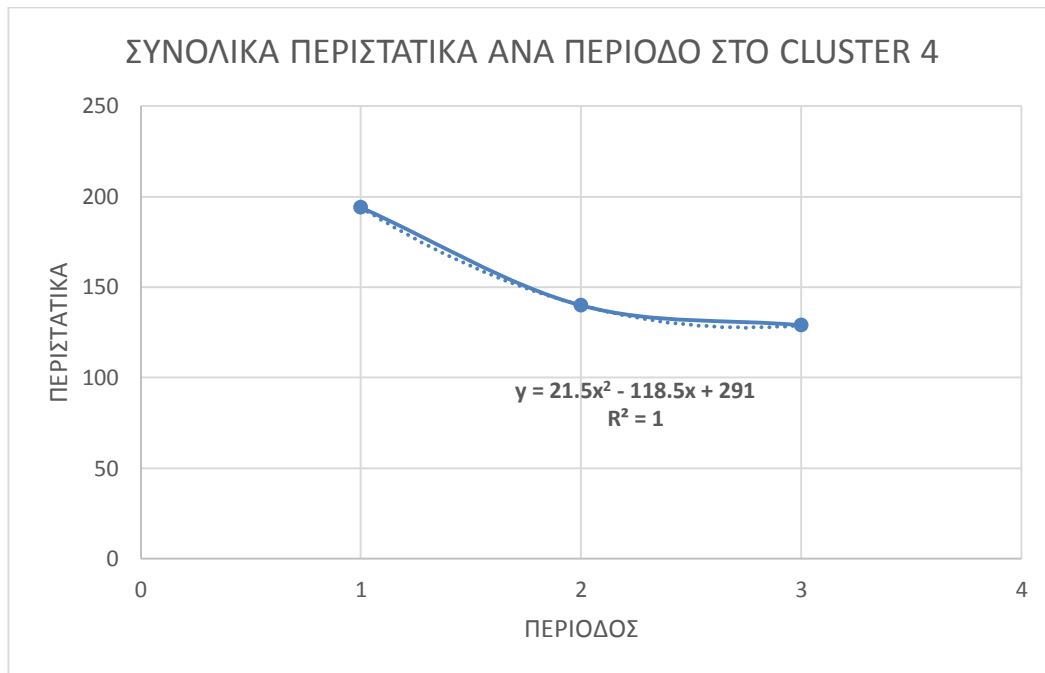
**Εικόνα 5.42:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά περίοδο στο cluster 1



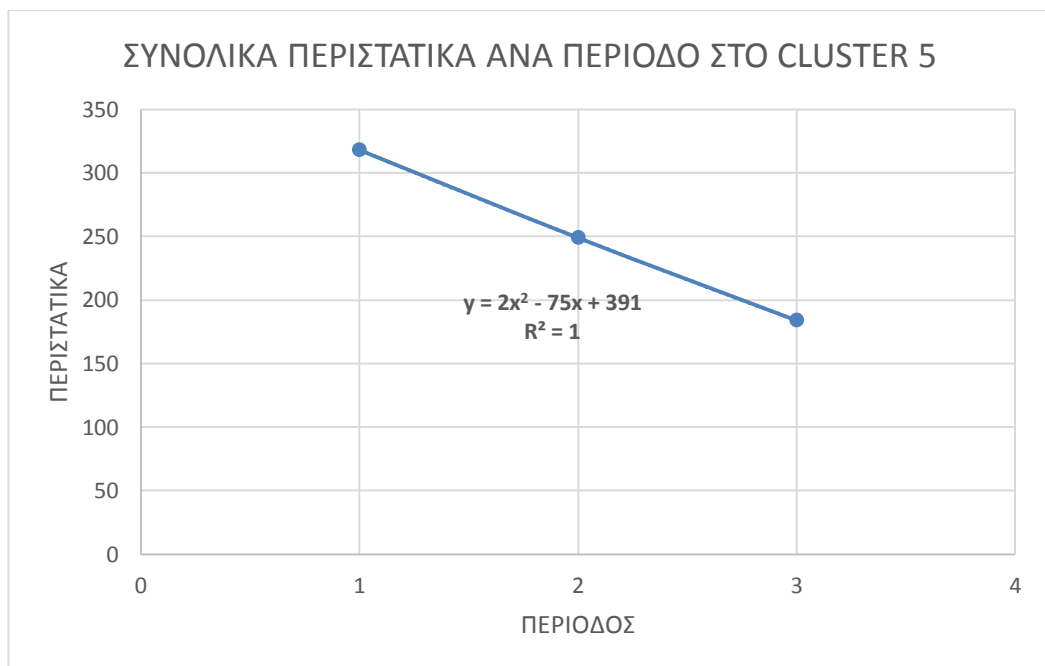
**Εικόνα 5.43:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά περίοδο στο cluster 2



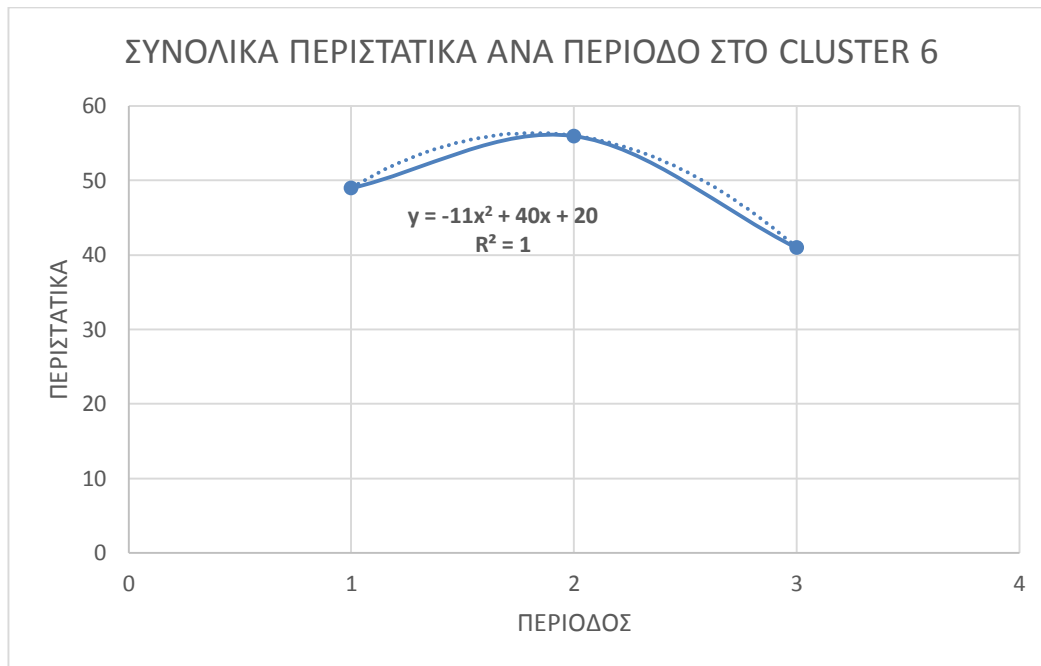
**Εικόνα 5.44:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά περίοδο στο cluster 3



**Εικόνα 5.45:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά περίοδο στο cluster 4



**Εικόνα 5.46:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά περίοδο στο cluster 5



**Εικόνα 5.47:** Πολυώνυμο πρόβλεψης περιστατικών ανά περίοδο στο cluster 6

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα

### 6.1 Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν τα εξής:

- Για τα χρονικά παράθυρα των 30 και 20 λεπτών όλα τα περιστατικά εξυπηρετούνταν στον απαραίτητο χρόνο, ενώ για τα 15 λεπτά, έμενε αναπάντητο ένα περιστατικό. Το γεγονός αυτό δεν προκαλεί ανησυχία καθώς ξέρουμε ότι θα εξυπηρετηθεί σε 15-20 λεπτά, μιας και για την περίπτωση των 20 λεπτών, δεν υπήρχε αποτυχία. Για τον λόγο αυτό προτείναμε την χρήση 5 οχημάτων.
- Προτείνεται η μείωση του στόλου τις βραδινές ώρες καθώς η ζήτηση ελαττώνεται αισθητά.
- Για το cluster που περιλάμβανε χωριά βόρεια της Λάρισας, όπως η Ελασσόνα, ο Τύρναβος και η Αγιά, η βέλτιστη τοποθεσία για να τοποθετηθεί το όχημα βρέθηκε ότι είναι λίγο έξω από τον Αμπελώνα και απέχει 20 λεπτά από το κέντρο της Λάρισας.
- Ομοίως βρέθηκε η βέλτιστη τοποθεσία για κάθε όχημα και για τα άλλα cluster, με αποτέλεσμα να βγουν στο συνολικό χάρτη της Λάρισας τα σημεία που πρέπει να στηθούν τα οχήματα. Όπως ήταν αναμενόμενο τα μισά πρέπει να βρίσκονται στο κέντρο για να εξυπηρετούν καλύτερα την πόλη, με τα υπόλοιπα 3 να βρίσκονται γύρω για τις επαρχιακές περιοχές.
- Το σύμπτωμα που καταγράφηκε τις περισσότερες φορές στα περιστατικά ήταν η δύσπνοια.

- Η ειδικότητα του παθολόγου (με πολλή μεγάλη απόσταση από τις άλλες ειδικότητες) είχε τον περισσότερο φόρτο εργασίας, όσον αφορά την αντιμετώπιση των έκτακτων περιστατικών. Η εικόνα αυτή επαληθεύτηκε τόσο στον συνολικό αριθμό των έκτακτων περιστατικών όσο και στον αριθμό των περιστατικών στις επιμέρους περιόδους.
- Η περίοδος των Χριστουγέννων ήταν αυτή με τα περισσότερα έκτακτα περιστατικά, σε σύγκριση με τις άλλες 2 περιόδους.
- Ειδικότερα η περίοδος του 15 Αύγουστου είχε αρκετά χαμηλά νούμερα, σε σχέση με τις άλλες 2 περιόδους, γεγονός που μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ένα σημαντικό μέρος της πόλης λείπει εκείνη την περίοδο. Οπότε και οι ανάγκες σε γιατρούς είναι σαφώς λιγότερες.
- Σ' όλες τις ειδικότητες τα περισσότερα περιστατικά παρουσιάστηκαν στην πρωινή και μεσημεριανή βάρδια, εκτός της ειδικότητας των πνευμονολόγων όπου παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζεται περίπου ο ίδιος αριθμός έκτακτων περιστατικών.

## 6.2 Μελλοντική Έρευνα

Παρά την μελέτη που έγινε στην παρούσα εργασία, υπάρχει πάντα χώρος να επεκταθεί, ειδικά όταν πρόκειται για ένα θέμα που αφορά ανθρώπινες ζωές. Ήδη όταν ξεκινήσαμε να μελετάμε την υπάρχουσα βιβλιογραφία πάνω στο θέμα, έγινε σαφές ότι πρόκειται για έναν τομέα για τον οποίο έχουν γραφεί αμέτρητα paper, και που συνεχίζονται και γράφονται. Προφανώς είναι δύσκολο να βγει ένα καταλυτικό αποτέλεσμα ως βέλτιστο, μιας και υπάρχει μεγάλη τυχαιότητα στο πώς εμφανίζονται τα περιστατικά και φυσικά μία λύση που εξυπηρετεί μία πόλη δεν σημαίνει ότι



επεκτείνεται σε μία άλλη. Για τον λόγο αυτό παραθέτουμε εδώ κάποιους τομείς στους οποίους πιστεύουμε ότι πρέπει να επικεντρωθούν οι επόμενες έρευνες ώστε να προκύψουν ακόμη πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Αρχικά, όσον αφορά την δικιά μας έρευνα, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, μπορούν να επιλεγθούν καλύτερα τα cluster για την πόλη της Λάρισας, ώστε να μοιραστεί καλύτερα η ζήτηση σε αυτά και να μην υπάρχουν οι μεγάλες αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν στα δικά μας. Κατ' επέκταση, μιας και εξετάστηκε η περίπτωση της χρήσης 5 οχημάτων, αντί για 6, θα μπορούσαν να γίνουν 5 cluster και να ανατεθεί σ' αυτά από ένα όχημα. Για άλλη μια φορά όμως, πρέπει να τονιστεί ότι τα cluster πρέπει να σέβονται την μορφολογία της περιοχής. Συγκεκριμένα, ένα cluster το οποίο περιλαμβάνει ένα κομμάτι του κέντρου και ένα κομμάτι απομακρυσμένης περιοχής δεν είναι βελτίωση, καθώς είναι επόμενο η τοποθεσία αναμονής του οχήματος να είναι μακριά από το κέντρο. Έτσι υπάρχει μεγάλο ρίσκο η αστική περιοχή να έχει καθυστερήσεις, ειδικά αφότου έχει παρατηρηθεί ότι ο μεγαλύτερος όγκος περιστατικών είναι στο κέντρο της Λάρισας.

Όσον αφορά την πρόβλεψη, εφόσον είναι δυνατή η συλλογή δεδομένων για ένα ολόκληρο έτος ή ακόμη καλύτερα για περισσότερα έτη, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη μέθοδος πρόβλεψης, όπως μια μέθοδος προεκβολής ή χρονοσειρών. Επίσης, εφόσον υπάρχουν καταγραφές για πολλά έτη, τα αποτελέσματα θα είναι πιο αξιόπιστα όσον αφορά την στατιστική ανάλυση που έγινε.

Μία βελτίωση που αποκλείστηκε από την αρχή λόγω κόστους είναι φυσικά η αύξηση του στόλου. Παρότι υπάρχει άμεση συσχέτιση ανάμεσα στον αριθμό οχημάτων και το ποσοστό επιβίωσης των ασθενών, είναι κατανοητό ότι μία τέτοια πρόταση είναι ανέφικτη, ειδικά για τα δεδομένα της Ελλάδας. Εντούτοις, μπορεί να εξεταστεί το κόστος απόκτησης ενός οχήματος ώστε να χρησιμοποιείται για κάποιες

μόνο ώρες, ώστε να μην χρειάζεται να μιλάμε για αύξηση και στο προσωπικό. Συγκεκριμένα, οι ώρες αιχμής και αυτές που θα λειτουργούσε το νέο όχημα είναι οι πρώτες πρωινές και μεσημεριανές.

Κάτι που είναι υποχρεωτικό να κάνει το προσωπικό, είναι η μεταφορά των ασθενών στο νοσοκομείο, ανεξάρτητα από την σοβαρότητα του περιστατικού. Δυστυχώς δεν γίνεται από το κοινό συνετή χρήση της υπηρεσίας του ΕΚΑΒ και τα τηλεφωνήματα μπορεί να αφορούν απλές πτώσεις, αδιαθεσίες ή άλλα μη απειλητικά συμπτώματα, για τα οποία δεν απαιτείται η κινητοποίηση του ασθενοφόρου. Ας μην ξεχνάμε ότι η χρήση ασθενοφόρου, αυτονόητα περνά τον ασθενή στα επείγοντα περιστατικά χωρίς αναμονή, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζεται και ως ταξί. Όλη αυτή η κακή χρήση της υπηρεσίας έχει ως αποτέλεσμα να απασχολούνται τα οχήματα σε περιπτώσεις που δεν χρίζουν άμεσης διακομιδής στο νοσοκομείο και να δημιουργούνται καθυστερήσεις στα σοβαρά περιστατικά. Φυσικά και είναι δύσκολο να αλλάξουμε την νοοτροπία, αλλά θα μπορούσαν να γίνουν προσπάθειες για εκπαίδευση του κοινού μέσω διαφημίσεων ή επισκέψεων στα σχολεία. Ακόμα, θα μπορούσε να δοθεί στο προσωπικό του οχήματος το περιθώριο επιλογής της διακομιδής ή όχι. Μπορεί να ακούγεται επικίνδυνο, αλλά με την σωστή εκπαίδευση και την πείρα που έχουν συγκεντρώσει, είναι ικανοί να κρίνουν την σοβαρότητα ενός περιστατικού, ώστε να μειωθεί η ζήτηση για τα οχήματα. Σε περιπτώσεις που ο ασθενής πρέπει να επισκεφθεί το νοσοκομείο, αλλά η κατάσταση δεν είναι κρίσιμη, μπορούν να του προτείνουν να μεταβεί με δικό του μέσο ή να καλούν ταξί.

Παρατηρήθηκε από τα δεδομένα που συλλέξαμε ότι το ΕΚΑΒ Λάρισας αναλάμβανε περιστατικά λίγο έξω από την πόλη των Τρικάλων και του Βόλου, κάτι που παραπέμπει στο πόσο μεγάλο είναι το δίκτυο για το οποίο είναι υπεύθυνο το ΕΚΑΒ Λάρισας. Η μείωση της επιφάνειας που καλούνται να εξυπηρετήσουν τα

οχήματα θα έχει ως αποτέλεσμα την αποσυμφόρηση της κατάστασης, ώστε να μπορούν να κινούνται πιο γρήγορα, μιας και θα περιορίζονται σε κοντινές περιοχές. Έτσι, σε συνεργασία με τα τμήματα του ΕΚΑΒ των γύρω πόλεων μπορεί να γίνει μια ανακατανομή των περιοχών.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι επιχειρήσεις των ασθενοφόρων από την σκοπιά του χρόνου απόκρισης, αλλά όπως αναφέρθηκε στην αρχή υπάρχουν άλλα κριτήρια βελτιστοποίησης που μπορούν να εφαρμοστούν. Για παράδειγμα μπορεί να επικεντρωθεί το ενδιαφέρον στο ποσοστό επιβίωσης των ασθενών που μεταφέρονται στο νοσοκομείο και θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε πώς αυτό μεταφράζεται σε κόστος (Zaffar et al, 2016). Αν δηλαδή μπορεί να βελτιωθεί η πιθανότητα επιβίωσης των ασθενών, με ποιο κόστος μπορεί να γίνει αυτό;

Οι περισσότερες έρευνες μέχρι τώρα έχουν επικεντρωθεί στην επίλυση κάποιου είδους προβλήματος δρομολόγησης είτε στατικού είτε δυναμικού. Οι χρόνοι ταξιδιού όμως, με βάση τους οποίους βελτιστοποιούμε την αντικειμενική, θεωρούνται σταθεροί κατά την διάρκεια του ορίζοντα. Οποιοσδήποτε μεταβολές στην ταχύτητα κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής αγνοούνται. Λαμβάνοντας όμως υπόψιν τις μεταβολές αυτές βελτιώνεται η ποιότητα της λύσης που παίρνουμε. Ειδικά σε περιοχές με μεγάλο όγκο οχημάτων, όπως η Λάρισα, η ταχύτητα με την οποία κινούνται τα οχήματα μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Οι Schmid και Doerner έχουν προτείνει την μετακίνηση των ασθενοφόρων στην διάρκεια της ημέρας ώστε να μπορούν να ξεπερνούν την κίνηση που αναμένεται. (Schmid & Doerner, 2010). Γενικά, η έννοια της μετακίνησης και επανατοποθέτησης των ασθενοφόρων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον ειδικά αν παρατηρηθούν συγκεντρώσεις της ζήτησης σε περιοχές που εξαρτώνται από τον χρόνο.

Αυτές είναι κάποιες από τις προτάσεις που μας προκάλεσαν ενδιαφέρον και που πιστεύουμε ότι έχουν εφαρμογή στο υπάρχον σύστημα της Λάρισας και είναι συνεπώς εφικτές. Εντούτοις, η έρευνα πάνω στην λειτουργία των ασθενοφόρων, περιπολικών ή πυροσβεστικών οχημάτων δεν τελειώνει ποτέ και είναι ευτυχές το ότι παρουσιάζονται συνεχώς νέες βελτιώσεις.

## **Βιβλιογραφία**

Andersson T., (2005). *Decision support tools for dynamic fleet management – applications in airline planning and ambulance logistics*, Ph.D. dissertation, Linkopings University, Department of Science and Technology.

Andersson T. and Värbrand P., (2007). *Decision support tools for ambulance dispatch and relocation*, Journal of the Operational Research Society, vol. 58, pp. 195–201.

Averbakh I. and Berman O., (1997). *Minimax regret P-center location on a network with demand uncertainty*, Working Paper.

Ball M. & Lin L., (1993). *A reliability model applied to emergency service vehicle location*, *Operations Research*, vol. 41, pp. 18–36.

Batta R., Dolan J. & Krishnamurty N., (1989). *The maximal expected covering location problem: Revisited*, *Transportation Science*, vol. 23, pp. 277–287.

Brotcorne L., Laport G., Semet F., (2003). *Ambulance location and relocation models*, *European Journal of Operational Research*, vol. 147, pp. 451-463.

Church R. and ReVelle C., (1974). *The maximal covering locational problem*, *Papers of the Regional Science Association*, vol. 32, pp. 101-108.

Current J., Min H. and Schilling D., (1990) *Multiobjective analysis of facility location decisions*, *European Journal of Operational Research*, vol. 49, pp. 295-307

Daskin M.S., (1983). *A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution*, *Transportation Research*, vol. 17(1), pp. 48-70.

Daskin M.S. and Stern E., (1981). *A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment*, *Transportation Science*, vol. 15 (2), pp. 137-152

Davendra D. (2010). *Travelling Salesman Problem, Theory and Applications*, InTech.

Dean N.C, Haug, P.J. and Hawker P.J., (1988). *Effect of Mobile Paramedic Units on Outcome in Patients with Myocardial Infarction*, *Annals of Emergency Medicine*, vol. 17, pp. 1034-41

Eaton D. et al., (1985). *Determining emergency medical deployment in Austin, Texas*, *Interfaces*, vol. 15(1), pp. 96–108.

Eisenberg M.S, Bergner L. and Hallstrom A., (1979) *Cardiac resuscitation in the community. Importance of rapid provision and implications for program planning*. *JAMA*, vol. 241, pp. 1905-7.

Fujiwara O., Makjamroen T. & Gupta K., (1987). *Ambulance deployment analysis: A case study of Bangkok*, European Journal of Operational Research, vol. 31, pp. 9-18.

Gendreau M., Laporte G., & Semet F. (1997). *Solving an ambulance location model by Tabu search*, Location Science 5, pp. 75-88.

Gendreau M., Laporte G. & Semet F., (2001). *A dynamic model and parallel Tabu search heuristic for real-time ambulance relocation*, Parallel Computing, vol. 27, pp. 1641–1653.

Goldberg J. B., (2004). *Operations research models for the deployment of emergency services vehicles*, EMS Management Journal, vol. 1, pp. 20-39.

Goldberg J. et al., (1990). *A Simulation Model for Evaluating a Set of Emergency Vehicle Base Locations: Development, Validation, and Usage*, Socio-Econ. Plann. Sci., vol. 24(2), pp. 125-141.

Hakimi S., (1964). *Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph*, Operations Research, vol. 12, pp. 450-459.

Henderson S. G., (2010). *Operations research tools for addressing current challenges in emergency medical services*, Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science.

Hesse Owen S. and M. S. Daskin M., (1998). *Strategic facility location: A review*, European Journal of Operational Research, vol 111, pp. 423-447.

Ingolfsson A., (2013). Chapter 6 - *EMS planning and management*. *Operations Research and Health Care Policy*, International Series in Operations Research & Management Science 190, G.S. Zaric (edition), Springer Science+Business Media New York, pp. 105-128.

Kang S. and Ouyang Y. (2010). *The traveling purchaser problem with stochastic prices: Exact and approximate algorithms*, Elsevier Ltd.

Karch S. et al., (1998). *Response times and outcomes for cardiac arrests in Las Vegas casinos*, American Journal of Emergency Medicine, vol. 16, pp. 249-53.

Kian A., (2010). *EMS Response Time Models: A Case Study and Analysis for the Region of Waterloo*, Msc thesis, University of Waterloo, Master of Applied Science in Management Sciences.

Kolesar P. & Walker W., (1974). *An algorithm for the dynamic relocation of fire companies*, Operations Research, vol. 22, pp. 249– 274.

Larson R. C., (1974). *A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services*, Computers & Operations Research, vol. 1, pp. 67-95.

Madsen O.B.G., Ravn H.F., Rygaard J.M. (1995). *A heuristic algorithm for the dial-a-ride problem with the time windows, multiple capacities, and multiple objectives*. Annals of Operations Research, 60, pp. 193-208.

Marianov V. and ReVelle C.S., (1994). *The queuing probabilistic location set covering problem and some extensions*, Socio-Economic Planning Science, vol. 28, pp. 167–178.

Marianov V. & Revelle C., (1996). *The queueing maximal availability location problem: a model for the siting of emergency vehicles*, European Journal of Operational Research, vol. 93, pp. 110-20.

McLay L. A., (2010). *Emergency medical service systems that improve patient Survivability*,. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science.

Mosesso V. et al. (1998). *Use of automated external defibrillators by police officers for treatment of out-of-hospital cardiac arrest*, Annals of Emergency Medicine, vol. 32, pp. 200-7.

Ngoc-Hien T., (2015). *Quantitative Analysis of Ambulance Location-allocation and Ambulance State Prediction*, Linköping University, Department of Science and Technology.

Page R. et al., (2000). *Use of automated external defibrillators by a U.S. airline*, The New England journal of medicine, vol. 343, pp. 1210-6.

Pons P. and Markovhick V., (2002). *Eight minutes or less: Does the ambulance response time guideline impact trauma patient outcome?*, The Journal of Emergency Medicine, vol. 23, pp. 43-48

Repede J. F. and Bernardo J. J., (1994). *Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky*, European Journal of Operational Research, vol. 75, pp. 567-581.

ReVelle C. & Hogan K., (1989). *The maximum availability location problem*, Transportation Science, vol. 23, pp. 192-200.

Schilling D., (1980). *Dynamic location modeling for public-sector facilities: A multi-criteria approach*, Decision Sciences, vol. 11, pp. 714-724.

Schmid V., (2012). *Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming*, European Journal of Operational Research, vol. 219, pp. 611-621.

Schmid V. and Doerner K. F., (2010). *Ambulance location and relocation problems with time-dependent travel times*, European Journal of Operational Research, vol. 207, pp. 1293-1303.

Silva F. & Serra D., (2003). *Locating emergency services with priority rules: The priority queueing covering location problem*.

Stiell I. et al., (1999). *Improved out-of-hospital cardiac arrest outcome through the inexpensive optimization of an existing defibrillation program*, JAMA, vol. 281, pp. 1175-81.

Toth P. and Vigo D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*, Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia.

Toregas C., Swain R., ReVelle C. and Berman L., (1971). *The location of emergency service facilities*, Operations Research, vol. 19-2, pp. 1363-1373.

Valenzuela T. et al., (2000) *Outcomes of rapid defibrillation by security officers after cardiac arrest in casinos*, The New England journal of medicine, vol. 343, pp. 1206-9.

Weber A., (1929). *Uber den Standort der Industrien (Alfred Weber's Theory of the Location of Industries)*, University of Chicago.

White R. et al., (1996). *High discharge survival rate after out-of-hospital ventricular fibrillation with rapid defibrillation by police and paramedics*, Annals of Emergency Medicine, vol. 28, pp. 480-485.

Wilson N.H.M., Sussman J.M., Wang H.K. & Higonnet B.T. (1971) *Scheduling algorithms for dial-a-ride systems*. Urban Systems Laboratory Report USL, M.I.T., Cambridge, MA.



Wilson N.H.M., Weissberg H. (1976) *Advanced dial-a-ride algorithms research project: Final report*. Dept. of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, MA.

Wilson N.H.M., Colvin N.H., (1977) *Computer control of the Rochester dial-a-ride system*. Dept. of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, MA.

Zaffar M. et al., (2016). *Coverage, survivability or response time: A comparative study of performance statistics used in ambulance location models via simulation-optimization*, Operations Research for Health Care, vol. 11, pp. 1-12.

Zhang T. et al (2012). *Scatter search for the stochastic travel-time vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries*, Elsevier, Computer & Operations Research 39 2277-2290.

Καρούτσος Ι., Λαμπρουσης Θ. και Κωνσταντινίδης Θ.Κ., (2007). *Υγιεινή και Ασφάλεια της Εργασίας για τους εργαζόμενους στον τομέα της επείγουσας διακομιδής ασθενών (Εκτίμηση επικινδυνότητας εργασίας στη λειτουργία του Ε.Κ.Α.Β. Αθήνας)*, Εργασία Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, Τμήμα Ιατρικής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Παπανικολάου Ν., (2016). *Βέλτιστη τοποθέτηση κινητών μονάδων υγείας σε αστικές περιοχές*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων.