

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ
ΥΓΕΙΑΣ ΜΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:

ΜΠΙΤΟΥΝΗ ΜΑΡΙΑ

ΓΚΟΤΣΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	7
1.1 Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων.....	7
1.2 Χωροθέτηση εγκαταστάσεων	9
1.3Ανάλυση Χωροθέτησης	11
1.4 Εφαρμογές της Ανάλυσης Χωροθέτησης.....	13
2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ	15
2.1 Μοντέλο Weber	15
2.2 Είδος κέντρου παροχής υπηρεσιών (σταθερό / κινούμενο)	17
2.3 Αντικειμενική συνάρτηση (objective function).....	17
2.4 Μεθοδολογική προσέγγιση.....	19
2.5 Μοντέλα Χωροθέτησης	21
2.6 Διάκριση και ταξινόμηση των προβλημάτων και των μοντέλων χωροθέτησης.	22
2.7 Υποκατηγορίες προβλημάτων Διαμέσων.....	31
2.8 Υποκατηγορίες προβλημάτων διακέντρων.....	31
2.9 Δυναμικά προβλήματα.....	31
2.10 Στοχαστικά προβλήματα	32
2.11 Ιεραρχικά προβλήματα	33
2.12 Προβλήματα επικάλυψης.....	33
2.13 Προβλήματα Δρομολόγησης και Προγραμματισμού.....	34
3. ΝΕΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	35
3.1 Προβλήματα Cent-Median και Medi-Center	35
3.2 Ισοζυγισμένα αντικείμενα	35
3.4 Κομβικά προβλήματα χωροθέτησης	36
3.5 Ανταγωνιστικά Προβλήματα Χωροθέτησης.....	37
3.6 Συνδυασμός τοποθέτησης και επανάληψης.....	38
3.7 Προβλήματα κέρδους	39
4. Αλγόριθμοι.....	40
4.1Ευρετικοί αλγόριθμοι	40
4.2 Παραδείγματα ευρετικών αλγορίθμων	42
4.3 Μεταευρετικοί αλγόριθμοι.....	43

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΜΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	44
5.1 Διατύπωση του προβλήματος	44
5.2 Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου χωροθέτησης-κατανομής	45
5.3 Εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου χωροθέτησης-κατανομής	48
5.4 Εύρεση βέλτιστων λύσεων	51
5.5 Υπολογισμός αλγόριθμου	53
6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	61
7. Βιβλιογραφία.....	62

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο “Χωροθέτηση δημοσίων κέντρων υγείας με πολυκριτηριακή ανάλυση” αφορά τη χωροθέτηση δημοσίων εγκαταστάσεων. Επιχειρείται η ανασκόπηση των βασικών εννοιών της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της Ανάλυσης Χωροθέτησης. Επίσης, παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα Χωροθέτησης και αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης σε ένα πρόβλημα. Τέλος, ένα πρόβλημα χωροθέτησης με πραγματικά δεδομένα και η επίλυσή του με έναν αλγόριθμο Ανάλυσης Χωροθέτησης και με τον αντίστοιχο αλγόριθμο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές έννοιες στην πολυκριτηριακή ανάλυση και γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Ύστερα γίνεται ανασκόπηση στις έννοιες της χωροθέτησης εγκαταστάσεων και ανάλυσης χωροθέτησης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορα προβλήματα χωροθέτησης και τρόποι επίλυσης αυτών. Παρουσιάζονται τα βασικά μοντέλα χωροθέτησης και η μαθηματική τους διατύπωση.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε κάποια άλλα μοντέλα χωροθέτησης τα οποία έχουν αναπτυχθεί μέσα από νέες δομές. Δηλαδή είναι κάποιες παραλλαγές των βασικών μοντέλων χωροθέτησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποιοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την εύρεση βέλτιστων λύσεων σε προβλήματα με μεγάλο όγκο δεδομένων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρόβλημα χωροθέτησης δημοσίων κέντρων υγείας παρουσία ιδιωτικών κέντρων υγείας. Παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο που λύνει το πρόβλημα και στη συνέχεια λύνεται με αλγόριθμο Ανάλυσης Χωροθέτησης και αλγόριθμο Ομαδοποίησης και συγκρίνονται τα αποτελέσματα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων, είναι ο κλάδος εκείνος της Επιχειρησιακής Έρευνας που ασχολείται με την επίλυση προβλημάτων λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα του ενός κριτήρια απόφασης. Η διαδικασία λήψης απόφασης είναι η διαδικασία εκείνη που επιλέγει μια λύση από ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων. Η λήψη της απόφασης γίνεται από τον αποφασίζοντα ο οποίος συγκρίνει και αξιολογεί τις εναλλακτικές λύσεις και επιλέγει τελικά την καταλληλότερη λύση για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Η εισαγωγή περισσότερων του ενός κριτηρίων στη διαδικασία λήψης απόφασης οδηγεί σε μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση των πραγματικών προβλημάτων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση βοηθά στην καλύτερη αντιμετώπιση ενός προβλήματος διότι λαμβάνει υπόψη περισσότερα από ένα κριτήρια. Γι αυτό και η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους της Επιχειρησιακής Έρευνας.

Στην Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων η συμμετοχή του αποφασίζοντα στη διαδικασία επίλυσης είναι απαραίτητη ώστε να εκφράσει τις προτιμήσεις του σε σχέση με τις επιδόσεις των εναλλακτικών επιλογών στα εξεταζόμενα κριτήρια και να καταλήξει στην τελική του απόφαση. Αν υπάρχει κάποια εναλλακτική επιλογή που να έχει την καλύτερη επίδοση ως προς όλα τα κριτήρια τότε η λύση του προβλήματος είναι προφανής. Αυτό όμως σπάνια συμβαίνει γιατί τα κριτήρια απόφασης είναι συνήθως αλληλοσυγκρουόμενα εκφράζοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών.

Τα προβλήματα της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων είναι χαμηλού βαθμού δόμησης δηλαδή η ορθολογική λύση δεν καθορίζεται από το ίδιο το πρόβλημα (όπως όταν υπάρχει μόνο ένα κριτήριο απόφασης) αλλά αποτελεί αντικείμενο αναζήτησης με την άμεση εμπλοκή του αποφασίζοντα στη διαδικασία αυτή, ο οποίος εκφράζει τις υποκειμενικές του προτιμήσεις.

Ένα από τα πιο συνήθη και ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη λήψη αποφάσεων είναι η χωροθέτηση εγκαταστάσεων (facility location). Η τοποθεσία που θα επιλεγεί για τη δημιουργία μιας εγκατάστασης καθορίζει ως επί το πλείστον την επιτυχημένη παροχή υπηρεσιών για τις οποίες σχεδιάστηκε η εγκατάσταση αυτή. Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων αντιπροσωπεύει

μακροχρόνιες επενδύσεις λόγω του κόστους απόκτησης ιδιοκτησίας και των υψηλών κατασκευαστικών εξόδων. Προκειμένου λοιπόν να είναι επιτυχημένη η λειτουργία της εγκατάστασης και η επένδυση παραγωγική θα πρέπει να διαμορφωθεί μία ορθολογική διαδικασία λήψης απόφασης που θα επικεντρώνεται στους σημαντικούς παράγοντες και στα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της εγκατάστασης.

1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων αποτελεί ένα εξελιγμένο πεδίο της επιχειρησιακής έρευνας, το οποίο τις τελευταίες δεκαετίες έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο (Δούμπος 2007). Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτηριακής ανάλυσης έπαιξε η διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης.

Ο κύριος στόχος της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι να δημιουργηθεί ένα μοντέλο το οποίο να μπορεί να βοηθήσει κάποιον ενδιαφερόμενο να λάβει μέρος στη διαδικασία λήψης της απόφασης, άλλοτε για να διαμορφώσει και άλλοτε για να μεταβάλλει τις προτιμήσεις του ή να αποφασίσει σε συμφωνία με τους τελικούς του στόχους.

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (Multiple Criteria Decision Analysis), είναι μία συστηματική λογική και μαθηματική μέθοδος που βοηθάει τους αποφασίζοντες να επιλύουν προβλήματα που προκύπτουν από την επιδίωξη πολλών αντιμαχόμενων στόχων στη λήψη των αποφάσεων. Είναι ιδιαίτερα σημαντική και χρήσιμη μέθοδος όταν, εκτός από τη σύγκρουση των κριτηρίων, υπάρχει αβεβαιότητα στην διατύπωση των προτιμήσεων του λήπτη των αποφάσεων. Τέλος, η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων, μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση των διαφωνιών που προκύπτουν όταν στην απόφαση εμπλέκονται πολλοί αποφασίζοντες.

Η χρησιμότητα της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων, έγκειται στο να βοηθάει τον αποφασιζόμενο να οργανώσει τις πληροφορίες του, να σκεφτεί συστηματικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε λύσης, να συνειδητοποιήσει τις προτιμήσεις του, έτσι ώστε να είναι σε θέση να κάνει τους λιγότερο οδυνηρούς συμβιβασμούς.

Κατά την προσπάθεια, όμως, εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων-παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, γεννάται ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο

ορισμένες φορές αποθαρρύνει τους αποφασίζοντες και αναλυτές από την υιοθέτηση αυτής της πιο ρεαλιστικής προσέγγισης. Το πρόβλημα αυτό αφορά τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων.

Ως πρώτη τεκμηριωμένη προσπάθεια επιστημονικής αντιμετώπισης του προβλήματος της σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων μπορεί να θεωρηθεί η εργασία του Pareto, ο οποίος έθεσε τις απαραίτητες αξιωματικές βάσεις, εισάγοντας παράλληλα μια εκ των πλέον βασικών εννοιών της σύγχρονης πολυκριτηριακής ανάλυσης, την έννοια της αποτελεσματικότητας (efficiency). Μεταπολεμικά, ο Koopmans (1951) επέκτεινε την έννοια της αποτελεσματικότητας του Pareto εισάγοντας την έννοια του αποτελεσματικού συνόλου, δηλαδή του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων οι οποίες δεν κυριαρχούνται από καμία άλλη εναλλακτική δραστηριότητα (non-dominated set of alternatives). Κατά την ίδια περίπου χρονική περίοδο (1940-1950) οι Von Neumann και Morgenstern (1944) αναπτύσσουν τη θεωρία της χρησιμότητας, η οποία αποτέλεσε τη βάση ενός από τα κυριότερα μεθοδολογικά ρεύματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων.

Στη δεκαετία του 1960 όλες οι προαναφερθείσες «προκαταρκτικές» ερευνητικές εργασίες αποτέλεσαν το έναυσμα για την πραγματοποίηση περαιτέρω έρευνας από τους Charnes και Cooper (1961) όσον αφορά τη σύνδεση της θεωρίας του γραμμικού προγραμματισμού και της πολυκριτηριακής ανάλυσης (προγραμματισμός στόχων – goal programming), καθώς και από τον Fishburn (1965) όσον αφορά την επέκταση της θεωρίας χρησιμότητας σε προβλήματα λήψης αποφάσεων υπό το καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων. Περί τα τέλη της δεκαετίας του 1960 η πολυκριτηριακή ανάλυση άρχισε να απασχολεί και τους Ευρωπαίους επιχειρησιακούς ερευνητές. Πρωτοπόρος μεταξύ αυτών υπήρξε ο Roy (1968) ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations) και θεωρείται ο ιδρυτής της «Ευρωπαϊκής σχολής» της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Τις επόμενες δυο δεκαετίες (1970-1990) η πολυκριτηριακή ανάλυση αναπτύχθηκε ραγδαία σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε θέματα πρακτικών εφαρμογών για την αντιμετώπιση διάφορων πολύπλοκων πραγματικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων.

Προς την κατεύθυνση αυτή σημαντική υπήρξε η συμβολή της πληροφορικής και της επιστήμης των υπολογιστών. Η ταχύτερη τεχνολογική πρόοδος που συντελέστηκε στους χώρους αυτούς, κατά τις τελευταίες δυο δεκαετίες, έδωσε τα απαραίτητα μέσα για την υλοποίηση των μεθοδολογικών εξελίξεων της πολυκριτηριακής ανάλυσης σε ολοκληρωμένα πληροφοριακά συστήματα, τα οποία συνέβαλλαν και στην προώθηση των πρακτικών εφαρμογών της πολυκριτηριακής ανάλυσης. (Παπλά Νεκταρία-Κονδύλω, 2009)

1.2 Χωροθέτηση εγκαταστάσεων

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων (facility location) είναι ένα συνηθισμένο αλλά σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη λήψη αποφάσεων. Ο σχεδιασμός ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης εξυπηρέτησης πελατών εξαρτάται πρωταρχικά από την επιλογή του χώρου στον οποίο θα δημιουργηθούν μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις προκειμένου να εξυπηρετήσουν μια συγκεκριμένη κατανομή πελατών. Η τοποθεσία που θα επιλεγεί για τη δημιουργία μίας εγκατάστασης, όπως ένας πυροσβεστικός σταθμός, ένας αποθηκευτικός χώρος ή ένα εμπορικό κατάστημα, είναι σημαντική γιατί καθορίζει τη βέλτιστη παροχή των υπηρεσιών για τις οποίες σχεδιάστηκε η εγκατάσταση αυτή.

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων αντιπροσωπεύει μακροχρόνιες επενδύσεις λόγω του κόστους απόκτησης ιδιοκτησίας και των υψηλών κατασκευαστικών εξόδων. Επομένως, για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης και για να είναι η επένδυση παραγωγική, θα πρέπει να διαμορφωθεί μια ορθολογική διαδικασία λήψης αποφάσεων που θα επικεντρώνεται στους σημαντικούς παράγοντες και τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της εγκατάστασης.

Ο στόχος της βέλτιστης χωροθέτησης μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση συνολικού χρόνου ταξιδιού όπως για παράδειγμα τη χωροθέτηση ενός πυροσβεστικού σταθμού, ή ενός κέντρου υγείας, η ελαχιστοποίηση του χρόνου ταξιδιού για τον πιο απομακρυσμένο πελάτη όπως στην περίπτωση των εγκαταστάσεων επείγουσας ανάγκης, ή η χωροθέτηση δρομολογίων αερομεταφορών ή στρατιωτικών εγκαταστάσεων.

Κάποια μοντέλα χωροθέτησης χρησιμοποιούνται σε ανταγωνιστικά περιβάλλοντα όπου οι εταιρείες ανταγωνίζονται για πελάτες, όπως καταστήματα τροφίμων, εμπορικά κέντρα, εστιατόρια ή πρατήρια βενζίνης. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι εγκαταστάσεις θεωρούνται ανεπιθύμητες. Όπως η χωροθέτηση αεροδρομίων, κέντρων ανακύκλωσης, εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας, φυλακές, χωματερές, εργοστάσια που μολύνουν το περιβάλλον ή διυλιστήρια. Σε αυτές τις περιπτώσεις η χωροθέτηση αντιπροσωπεύει την ισορροπία μεταξύ δύο συγκεκριμένων στόχων την προστασία των κατοίκων και την όσο πιο δυνατή άμεση πρόσβαση.

Η ανάλυση χωροθέτησης (location analysis) αναφέρεται στην ανάπτυξη μαθηματικών προτύπων και αλγόριθμων τοποθέτησης εγκαταστάσεων κάθε τύπου σε χωρικό περιβάλλον. Οι εγκαταστάσεις χωροθετούνται έτσι ώστε να ικανοποιούν την ζήτηση, τον ανεφοδιασμό, την κάλυψη περιοχών, ή συσχετίζονται με την ύπαρξη άλλων εγκαταστάσεων. Στην ανάλυση χωροθέτησης δεν εξετάζονται μεμονωμένα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης, αλλά λαμβάνονται υπόψη τα γενικότερα χαρακτηριστικά του συστήματος που θα τοποθετηθεί η εγκατάσταση με βάση την κατανομή των πόρων του συστήματος που εξυπηρετεί.

Πιο συγκεκριμένα, οι πόροι του συστήματος είναι τα σταθερά σημεία του συστήματος όπου, ανάλογα με το πρόβλημα, αντιπροσωπεύουν άλλες εγκαταστάσεις, αγορές ή καταναλωτές, αφετηρίες ή περιορισμούς, με τους οποίους αλληλεπιδρά η μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις που πρόκειται να χωροθετηθούν (Plastria 1995).

Ο γενικευμένος όρος που περιγράφει αυτή την διαδικασία αναζήτησης θέσεων για εγκαταστάσεις μέσα σε δίκτυα εξυπηρέτησης είναι γνωστά ως προβλήματα χωροθέτησεων - κατανομών (location – allocation problems). Σε αυτά τα προβλήματα ζητείται η χωροθέτηση κέντρων εξυπηρέτησης σε δοσμένο χώρο, έτσι ώστε να καλύπτεται η ζήτηση στο χώρο αυτό με τον καλύτερο τρόπο (Μητρόπουλος Παναγιώτης, 2007).

Τα προβλήματα χωροθέτησης μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη φύση της ζήτησης, την ποσότητα ζήτησης, τον τρόπο που πρέπει να καλυφθεί η ζήτηση κ.τ.λ.

Η πρώτη μεγάλη κατηγορία προβλημάτων είναι τα προβλήματα επικάλυψης συνόλου (set covering problems). Η ζήτηση λέγεται ότι καλύπτεται, αν η

πλησιέστερη κτιριακή εγκατάσταση δεν απέχει περισσότερο από X λεπτά μακριά, όπου X είναι ο χρόνος εξυπηρέτησης που χρησιμοποιείται στο μοντέλο. Ένα αντίστοιχο πρόβλημα με το πρόβλημα επικάλυψης συνόλου είναι όταν με την επίλυση του μοντέλου παρατηρούμε ότι χρειαζόμαστε περισσότερα κέντρα παροχής υπηρεσιών από ότι έχουμε. Αυτό μας οδηγεί σε ένα διαφορετικό ορισμό του προβλήματος: Μεγιστοποιούμε τη ζήτηση που μπορεί να καλυφθεί στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου επιπέδου υπηρεσιών με τη χρήση ενός δεδομένου αριθμού κέντρου παροχής υπηρεσιών. Το πρόβλημα αυτό ονομάζεται πρόβλημα μέγιστης επικάλυψης (maximum covering problem).

1.3 Ανάλυση Χωροθέτησης

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον αποτελεί σημαντικό πρόβλημα που μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα μιας επιχείρησης.

Ονομάζουμε Ανάλυση Χωροθέτησης (Location Analysis) τη διαδικασία κατά την οποία σε κάποιο περιβάλλον, εγκαθιστούμε κέντρα παροχής υπηρεσιών (εξυπηρέτησης) έτσι ώστε να καλύψουμε τις ανάγκες των χρηστών των κέντρων αυτών (ζήτηση) κατά τον «καλύτερο δυνατό τρόπο». Όπου ο «καλύτερος δυνατός τρόπος» επιτυγχάνεται βελτιστοποιώντας μια αντικειμενική συνάρτηση η οποία περιγράφει ακριβέστερα τους στόχους του προβλήματος. Με τη βελτιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης επιτυγχάνεται είτε η μεγιστοποίηση του οφέλους είτε η ελαχιστοποίηση του κόστους των εν λόγω κέντρων παροχής υπηρεσιών. Το περιβάλλον αποτελεί το χωρικό σύστημα ζήτησης (χώρος) στο οποίο τα κέντρα παροχής υπηρεσιών και οι πελάτες είναι τοποθετημένοι. Το περιβάλλον αυτό μπορεί να είναι Συνεχές ή Διακριτό ή ένα δίκτυο (πλήρες ή διακριτό). Το περιβάλλον κάθε προβλήματος στην Ανάλυση Χωροθέτησης αποτελεί κριτήριο για την κατηγοριοποίηση του κάθε προβλήματος (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007).

Όλες οι υποψήφιες θέσεις στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν τα διάφορα κέντρα παροχής υπηρεσιών αποτελούν υποσύνολα του περιβάλλοντος. Τα κέντρα παροχής υπηρεσιών μπορούν να απεικονιστούν με σημεία, γραμμές, μονοπάτια ή

κύκλους. Ο αριθμός των κέντρων παροχής υπηρεσιών που μπορούν να εγκατασταθούν περιορίζεται ανάλογα με τις ικανότητες της κάθε υπηρεσίας, το κόστος της εγκατάστασης της και την ακτίνα κάλυψής της. Στο κάθε περιβάλλον μπορούν να τοποθετηθούν το πολύ P - κέντρα παροχής υπηρεσιών, όπου P είναι ένας πεπερασμένος αριθμός.

Σε κάποιες περιπτώσεις, το να καλυφθεί ακριβώς η ζήτηση τη χρονική στιγμή που θέλουμε είναι ίσως αρκετά περίπλοκο και χρειάζεται μεγάλο κόστος. Θα μπορούσε όμως να οδηγήσει σε αρκετά φθηνότερη λύση μια μικρή χαλάρωση του συγκεκριμένου περιορισμού. Για παράδειγμα αντί για 4 λεπτά που είναι ο απαιτούμενος χρόνος για να καλυφθεί η ζήτηση θα μπορούσε μέσα σε 5 λεπτά να μπορεί να καλύπτεται η ζήτηση και να οδηγεί σε πολύ φθηνότερο κόστος. Αυτό μας δίνει ένα ακόμα μοντέλο το οποίο έχει τον ακόλουθο ορισμό: Ελαχιστοποιούμε τον μέγιστο χρόνο αντίδρασης (το χρόνο ανάμεσα σε ένα πελάτη και στην πλησιέστερη κτιριακή εγκατάσταση) χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο αριθμό (P) από κέντρα παροχής υπηρεσιών. Τα προβλήματα αυτά ονομάζονται προβλήματα P -κέντρων (P center).

Οι κατηγορίες των προβλημάτων χωροθέτησης που αναφέρθηκαν παραπάνω εστιάζουν στην συμπεριφορά της χειρότερης περίπτωσης του συστήματος, για παράδειγμα στον μέγιστο χρόνο αντίδρασης. Στην πραγματικότητα μας ενδιαφέρει αντί για την ελαχιστοποίηση του μέγιστου χρόνου αντίδρασης να ελαχιστοποιείται ο μέσος χρόνος αντίδρασης. Αυτό μας οδηγεί σε ένα τέταρτο πρόβλημα το οποίο έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου αντίδρασης (το χρόνο ανάμεσα σε ένα πελάτη και στην πλησιέστερη κτιριακή εγκατάσταση) χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο αριθμό (P) από κέντρα παροχής υπηρεσιών. Τα προβλήματα αυτά ονομάζονται προβλήματα P - μέσων (P - median).

Υπάρχουν δυο διαφορετικών ειδών κόστη που παρουσιάζονται στα προβλήματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων. Πρώτον, τα σταθερά κόστη (fixed costs) που είναι ανεξάρτητα από την ποσότητα των προϊόντων που υπάρχουν σε κάθε αποθήκη (για παράδειγμα το κόστος κατασκευής ή κόστος ενοικίασης) και τα μεταβλητά κόστη (variable costs) που εξαρτώνται από την απόσταση των πελατών από τις αποθήκες και από την απόσταση των αποθηκών μεταξύ τους.

1.4 Εφαρμογές της Ανάλυσης Χωροθέτησης

Οι εφαρμογές στα μοντέλα της Χωροθέτησης Κέντρων Παροχής Υπηρεσιών ποικίλουν. Μερικές από αυτές είναι η τοποθέτηση αποθηκών, εργοστασίων, νοσοκομείων, η λιανική αγορά αγαθών και διάφορα άλλα κλασικά. Συναντώνται επίσης εφαρμογές της Χωροθέτησης Κέντρων Παροχής Υπηρεσιών στην τοποθέτηση ηλεκτρονικών σειρήνων συναγερμού πυρόσβεσης, κεραιών ραντάρ, κτλ. Αυτά ονομάζονται “facilities” (κέντρα παροχής υπηρεσιών, υπηρεσίες, παροχές). Σκοπός της Χωροθέτησης Κέντρων Παροχής Υπηρεσιών είναι να βρεθεί η κατάλληλη θέση ή θέσεις για κάθε κέντρο παροχής υπηρεσιών.

Επίσης, πολλές εφαρμογές της Ανάλυσης Χωροθέτησης αναφέρονται στην τοποθέτηση ενός ή περισσότερων κέντρων παροχής υπηρεσιών με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιστοποιούνται κάποια σταθερά αντικείμενα όπως η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς, η προώθηση ισοδύναμων υπηρεσιών στους πελάτες επιτυγχάνοντας το κέρδος των περισσότερων μετοχών της αγοράς.

Τα προβλήματα της Χωροθέτησης Κέντρων Παροχής Υπηρεσιών αποτελούν την αφορμή για τη λύση διαφόρων συνδυαστικών προβλημάτων. Η έρευνα των προβλημάτων της Χωροθέτησης Κέντρων Παροχής Υπηρεσιών συνδέει πολλά ερευνητικά πεδία όπως τις εφαρμογές σε Ερευνητικές και Διοικητικές Επιστήμες, τη Μηχανολογία Μηχανικών σε βιομηχανίες, τη Γεωγραφία, τα Οικονομικά, την Επιστήμη των Υπολογιστών, τα Μαθηματικά, το marketing, την Ηλεκτρολογία Μηχανικών, τον Μη Γραμμικό Προγραμματισμό και άλλα σχετικά πεδία.

Η κατασκευή ενός δημόσιου ή ιδιωτικού κέντρου παροχής υπηρεσιών, αποτελεί την συνιστώσα πολλών επιμέρους ενεργειών. Πρέπει να γίνεται βάση έρευνας και ορθολογικού χωροθετικού, κατασκευαστικού και λειτουργικού σχεδιασμού, σε συνδυασμό με τις κατάλληλες προδιαγραφές και την αποδοτική διαχείριση των διαθέσιμων χρηματικών κεφαλαίων.

Η εξασφάλιση της επάρκειας και των δυνατοτήτων της μονάδας σε βάθος χρόνου, αποτελεί βασικό κριτήριο για την υλοποίηση της κατασκευής. Αναμφισβήτητα όσο μεγαλύτερη είναι η επένδυση, τόσο επιτακτικότερη καθίσταται η ανάγκη για την πλήρωση των ανωτέρω προϋποθέσεων.

Ο καθορισμός των βέλτιστων θέσεων για την χωροθέτηση των κέντρων παροχής υπηρεσιών αποτελεί μια σημαντική στρατηγική πρόκληση για την ανάλυση της χωροθέτησης. Δεν αρκεί όμως μόνο η βέλτιστη χωροθέτηση με χρονικό κριτήριο το παρόν, αλλά θα πρέπει λόγω της σύγχρονης εξελικτικής τάσης που διακρίνει όλους τους τομείς, ο σχεδιασμός των χωροθετούμενων υπηρεσιών να εξασφαλίζει την εξέλιξη των νέων απαιτήσεων.

Ο στρατηγικός χωροθετικός σχεδιασμός στηρίζεται στις εφαρμογές της χωροθέτησης και το πεδίο του εκτείνεται από την εγκατάσταση και τη λειτουργία των καταστημάτων και αποθηκών μιας μεγάλης ιδιωτικής εταιρίας με ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια, μέχρι το σχεδιασμό πόλεων με κριτήρια δημόσιου συμφέροντος (π.χ σχεδιασμός συστήματος επεξεργασίας λυμάτων, σύστημα υγείας κλπ). Επίσης, πολλές εφαρμογές της Ανάλυσης Χωροθέτησης, αναφέρονται στην τοποθέτηση ενός ή περισσότερων κέντρων παροχής υπηρεσιών με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιστοποιούνται κάποια κριτήρια, όπως η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς, και η προώθηση ισοδύναμων υπηρεσιών στους πελάτες.

Η έρευνα των προβλημάτων της χωροθέτησης άπτεται πολλών πεδίων όπως τις εφαρμογές σε Ερευνητικές και Διοικητικές επιστήμες, τη Μηχανολογία Μηχανών σε βιομηχανίες, τη Γεωγραφία, τα Οικονομικά, την Επιστήμη των Υπολογιστών, τα Μαθηματικά, το marketing, την Ηλεκτρολογία Μηχανικών κλπ. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι το πεδίο της ανάλυσης της χωροθέτησης είναι πολύ ενεργό στην έρευνα, παρατηρείται έλλειψη ως προς τις εφαρμογές της. Μία από τις αιτίες είναι ότι πολλά πρακτικά προβλήματα που περιλαμβάνουν πολλαπλούς αντικειμενικούς σκοπούς και δομές, οι οποίες δεν απεικονίζονται στις απλές μορφές των προβλημάτων χωροθέτησης (κυρίως του δημόσιου τομέα). Συνεπώς τα βασικά μειονεκτήματα των λύσεων των προβλημάτων χωροθέτησης μπορεί να αφορούν τις μετρήσεις, την εύρεση συναίνεσης μεταξύ των ληπτών της απόφασης και άλλα.

2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

2.1 Μοντέλο Weber

Το πρώτο μοντέλο της Θεωρίας Χωροθέτησης ανήκει στον Weber. Η μελέτη της Θεωρίας Χωροθέτησης άρχισε τυπικά όταν το 1909 ο Alfred Weber μελετούσε πώς να τοποθετήσει μιαν απλή αποθήκη έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ολική απόσταση μεταξύ της αποθήκης αυτής και των διαφόρων προμηθευτών της. Ακολουθώντας αυτήν την αρχική έρευνα, η Θεωρία Χωροθέτησης (Location Theory) βρήκε εφαρμογή σε έρευνες που ήταν επηρεασμένες από μεγάλο φάσμα από διαφορετικά πεδία.

Το πρόβλημα, όπως διαπιστώθηκε από τον Weber αποσκοπούσε να βρει, σε ένα χωρικό σύστημα ζήτησης και προσφοράς, εκείνο το σημείο, στο οποίο θα τοποθετηθεί το κέντρο παροχής υπηρεσιών (για τον Weber είναι η βιομηχανία), ώστε η απαιτούμενη ενέργεια (κόστος) σε αυτήν την διαδικασία παροχής αγαθών να ελαχιστοποιείται.

Στην περίπτωση ενός κέντρου παροχής υπηρεσιών, το πρόβλημα, σύμφωνα με τον Weber, θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής: Να δοθεί ένα σύνολο από χρήστες μιας υπηρεσίας, που οι θέσεις τους είναι γνωστές στο χώρο, να βρεθεί η θέση αυτής της υπηρεσίας, γι' αυτούς τους χρήστες έτσι ώστε το συνολικό κόστος προσιτότητας να είναι το ελάχιστο δυνατό. Το συνολικό κόστος προσιτότητας είναι το άθροισμα του κόστους που καταβάλλεται από τον κάθε χρήστη. Το κόστος αυτό μπορεί να εκφραστεί σε χρόνο, χρήμα ή απόσταση, που είναι και οι συνηθέστεροι τρόποι μέτρησης του. Σε όλες τις περιπτώσεις, το κόστος προσιτότητας για κάθε επίσκεψη και για κάθε μονάδα θεωρείται γνωστό. Κάτω από τις σημερινές συνθήκες οι δυνατότητες του μοντέλου του Weber, για την λύση προβλημάτων χωροθέτησης κέντρων παροχής υπηρεσιών, όπως διατυπώθηκε προηγουμένως, είναι περιορισμένες. Γενικά υπάρχει μια έλλειψη περιορισμών σε σχέση με τις πιθανές σχέσεις που μπορούν να καταλάβουν τα κέντρα παροχής υπηρεσιών. Για παράδειγμα, παράγοντες που σχετίζονται με τη χρήση γης ελαττώνουν δραστικά τον αριθμό των επιτρεπόμενων θέσεων για την τοποθέτηση των διαφόρων κέντρων παροχής υπηρεσιών.

Σε πολλές περιπτώσεις ένα κέντρο παροχής υπηρεσιών, για λόγους οι οποίοι σχετίζονται με την προσφερόμενη υπηρεσία (π.χ. πυροσβεστική κάλυψη), δε μπορούν να χωροθετηθούν σε θέσεις που η απόσταση από τους χρήστες ξεπερνά μια ορισμένη τιμή, η οποία μπορεί να αντιστοιχεί σε ένα μέγιστο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο πρέπει να γίνει η παροχή της υπηρεσίας. Ακόμα και ο Weber μιλούσε για κάθε σημείο στον χώρο, ενώ σήμερα σε πολλές περιπτώσεις η φύση των προβλημάτων και οι ανάγκες επίλυσης τους, ιδιαίτερα όταν υπάρχει πληθώρα στοιχείων, απαιτούν τον περιορισμό των σημείων που μπορούν να δεχθούν κέντρα παροχής υπηρεσιών. Αποτέλεσμα αυτών των περιορισμών, καθώς και η ανάγκη να αυξηθούν οι δυνατότητες, η ευελιξία της μεθόδου και ο τρόπος επίλυσης της (ιδιαίτερα με υπολογιστή), ήταν να επέλθουν σημαντικές βελτιώσεις στην διατύπωση αλλά και στην επίλυση του προβλήματος του Weber. Για παράδειγμα, κάθε σημείο της Ελλάδας δεν μπορεί να είναι έδρα Πανεπιστημίου. Ο Weber έλυνε το πρόβλημα από την πλευρά των ιδιωτών που απέβλεπαν σε προσωπικό όφελος, ενώ οι σημερινές συνθήκες επίλυσης προβλημάτων σχετίζονται κυρίως με τα κοινωνικά οφέλη.

Τέλος, ο Weber ενδιαφερόταν αποκλειστικά για την αποτελεσματικότητα της χωροθέτησης και αγνοούσε το πρόβλημα ισότητας ως προς την παροχή υπηρεσιών. Ακόμη, για κάθε είδος παροχής υπηρεσιών ο Weber αναφερόταν για θέσεις σταθερές στο χώρο, ενώ σήμερα μιλάμε και για κινητά κέντρα παροχής υπηρεσιών. Στην επόμενη παράγραφο θα γίνει αναφορά σε διάφορες μεθόδους και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και την εύρεση των πλέον τελεσφόρων χωροθετικών προτύπων (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007) .

2.2 Είδος κέντρου παροχής υπηρεσιών (σταθερό / κινούμενο)

Ο Weber μιλούσε για κέντρα παροχής υπηρεσιών, τα οποία ήταν σταθερά τοποθετημένα σε ένα σημείο στο χώρο. Όμως σήμερα υπάρχουν κέντρα παροχής υπηρεσιών που είναι σταθερά ή κινούμενα, δηλαδή η υπηρεσία προσφέρεται όπου υπάρχει ζήτηση. Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την παροχή ιατρικής περίθαλψης, στην περίπτωση που ο ιατρός δέχεται στο ιατρείο του, τότε έχουμε ένα σταθερό κέντρο παροχής υπηρεσιών, ενώ στην αντίθετη περίπτωση που ο ιατρός κάνει επισκέψεις στα σπίτια των ασθενών, αποτελεί κινούμενο κέντρο παροχής υπηρεσιών.

Η χωρική αυτή διαφοροποίηση, ενώ βοηθάει σημαντικά στην επίλυση χωροθετικών προβλημάτων, τελικά μπορεί να μην αλλοιώσει το αρχικό πρόβλημα. Όπως για παράδειγμα, η ζήτηση μπορεί να εκφραστεί με τον αριθμό των επισκέψεων, είτε στα κέντρα προσφοράς της εξυπηρέτησης είτε στα κέντρα ζήτησης. Ενώ το κόστος μπορεί να είναι το συνολικό κόστος προσιτότητας (για σταθερά κέντρα) ή το συνολικό κόστος εξυπηρέτησης (για κινούμενα κέντρα). (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007)

2.3 Αντικειμενική συνάρτηση (objective function)

Το πιο σημαντικό σημείο στη διαδικασία επίλυσης των προβλημάτων είναι η κατάλληλη επιλογή κριτηρίων βελτιστοποίησης. Τα κριτήρια βελτιστοποίησης ενσωματώνονται σε μια συνάρτηση η οποία ονομάζεται αντικειμενική συνάρτηση (objective function) μέσω της οποίας περιγράφονται ακριβέστερα οι στόχοι του κάθε προβλήματος. Οι αντικειμενικές συναρτήσεις που εκφράζουν το μοντέλο του Weber είναι ολοκληρωτικά στραμμένες στην δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος που να αποβλέπει και στην χωρική ισοκατανομή των ωφελειών (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007).

Στην περίπτωση της παροχής υπηρεσιών για παράδειγμα, η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος του κόστους προσιτότητας, που επιβαρύνει όλους τους χρήστες, μια από τις πλέον συνηθισμένες μορφές αντικειμενικής συνάρτησης, μπορεί να ερμηνευτεί ως συνολικό κριτήριο αποτελεσματικότητας. Όμως, μια τέτοια μορφή πρόσθεσης του

αντικειμενικού κόστους κάθε χρήστη οδηγεί σε χωροθετήσεις, που ευνοούν, μερικές φορές, τους χρήστες που είναι χωρικά συγκεντρωμένοι σε βάρος εκείνων που είναι διασκορπισμένοι. Έτσι, διακρίσεις τέτοιας μορφής, δηλαδή σε σχέση με την προσιτότητα, έχουν οδηγήσει σε προσπάθειες θέσπισης ενός κριτηρίου ισότητας για κάθε χρήστη. Για να αναπαρασταθεί το ευρύ φάσμα των προβλημάτων της Ανάλυσης Χωροθέτησης αναπτύχθηκε ένας μεγάλος αριθμός μαθηματικών προγραμματιστικών μοντέλων. Έχουν σχηματιστεί πολλές διαφορετικές αντικειμενικές συναρτήσεις έτσι ώστε να μετατρέψουν κάποια μοντέλα υπαγόμενα σε αριθμητικές εφαρμογές. Δυστυχώς, τα μοντέλα που σχηματίστηκαν ήταν πολύ δύσκολο να επιλυθούν με την ευνοϊκότερη συνθήκη αφού πολλά από τα μοντέλα απαιτούν ακέραιους προγραμματιστικούς σχηματισμούς. Τα περισσότερα μοντέλα από αυτά ανήκουν στην κλάση NP.

Η αρχική διατύπωση του Weber αναφερόταν στον ιδιωτικό τομέα, οπότε, η απόφαση για τη χωροθέτηση κέντρων παροχής υπηρεσιών, έπρεπε να βρίσκεται σε αρμονία με τους αντικειμενικούς σκοπούς του επιχειρηματία, η οποία εκφραζόταν κυρίως με την μεγιστοποίηση του κέρδους και επομένως ήταν αποτέλεσμα συμβιβασμού μεταξύ του κόστους κατασκευής και λειτουργίας των κέντρων παραγωγής και του κόστους μεταφοράς (πρώτης ύλης και τελειοποιημένων προϊόντων). Στο δημόσιο τομέα ο αντικειμενικός σκοπός (αντικειμενική συνάρτηση) εκφράζεται είτε ως ελαχιστοποίηση είτε ως μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους. Ως αποτέλεσμα, οι χωροθετικές αποφάσεις στο δημόσιο τομέα, που στη σημερινή εποχή γίνονται όλο και πιο σπουδαίες, έχουν όλα τα προβλήματα επίλυσης που παρουσιάζονται στον ιδιωτικό τομέα, επιπλέον όμως, πολλές φορές υπάρχει δυσκολία στο να ποσοτικοποιηθούν οι αντικειμενικοί σκοποί. Παρόλα αυτά, αρκετές αντικειμενικές συναρτήσεις έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί από τα μοντέλα χωροθετήσεων - κατανομών για προβλήματα του δημόσιου τομέα. Για παράδειγμα, το κοινωνικό κόστος συνήθως εκφράζεται σε σχέση με το κοινωνικό κόστος εξυπηρέτησης όλων των εξυπηρετούμενων. Ακόμη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μέγιστο κόστος προσιτότητας (ή εξυπηρέτησης), το συνολικό κόστος κατασκευής ή το συνολικό κόστος κατασκευής και προσιτότητας (ή εξυπηρέτησης). Όσον αφορά το κοινωνικό κόστος, αυτό εκφράζεται με τον αριθμό των επισκέψεων.

Η έρευνα στην περιοχή της ευαισθητοποιημένης ανάλυσης οδηγεί στο πρόβλημα της εισόδου δεδομένων με αβεβαιότητα. Ειδικότερα, κάποιες έρευνες προσπάθησαν

να ποσοτικοποιήσουν το αποτέλεσμα της αλλαγής στις τιμές των παραμέτρων της κατάλληλης τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης. Ενώ κάποια αποτελέσματα βοηθούν στην αποτίμηση της σθεναρότητας (robustness) της λύσης αφού το μοντέλο θα έχει επιλυθεί, δεν γίνεται τίποτα για να ενσωματωθεί ενεργά η αβεβαιότητα στα μοντέλα.

Συμπερασματικά, μέσω της μελέτης του χρόνου και της αβεβαιότητας θα οδηγηθούμε στην λύση όσο το δυνατό περισσότερων περιπτώσεων των ρεαλιστικών προβλημάτων της Ανάλυσης Χωροθέτησης. Αυτό οφείλεται σε χρονικούς περιορισμούς τους οποίους θα διαλέξουμε για να εστιάσουμε στις ποιοτικές συμβολές της έρευνας που παρουσιάζεται.

2.4 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων είναι ένα πολυδιάστατο πρόβλημα. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του επιχειρησιακού περιβάλλοντος και την απαραίτητη προσαρμογή στις συγκεκριμένες ανάγκες του προβλήματος, χρειάζεται διαφορετική προσέγγιση για την επίτευξη των επιθυμητών στόχων. Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται, προϋποθέτει τον προσδιορισμό ενός συνόλου τοποθεσιών για τις μονάδες εξυπηρέτησης με βάση χωρικά κατανεμημένες προϋποθέσεις, ενώ στη συνέχεια βελτιστοποιούνται κάποια συγκεκριμένα μετρήσιμα κριτήρια. Τα πρότυπα χωροθέτησης χρησιμοποιούνται στη λήψη αποφάσεων σε τομείς που σχετίζονται κυρίως με:

- τον εντοπισμό του συνόλου των υποψήφιων θέσεων χωροθέτησης
- τη βέλτιστη χωροθέτηση εγκαταστάσεων σε μια νέα περιοχή
- τον υπολογισμό της αποδοτικότητας προηγούμενων αποφάσεων χωροθέτησης
- τη βελτίωση των υπάρχοντων σχεδίων χωροθέτησης.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που προτείνεται για την προσέγγιση των προβλημάτων χωροθέτησης συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα.

- Κατανόηση και καθορισμός του προβλήματος
- Ανάπτυξη του αντίστοιχου μοντέλου (εννοιολογική και ποσοτική)
- Ανάλυση του μοντέλου

- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων
- Εκτέλεση των αποτελεσμάτων

Το σημαντικότερο στην διαδικασία επίλυσης μοντέλων χωροθέτησης είναι η επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων και η δημιουργία της αντικειμενικής συνάρτησης που θα βελτιστοποιεί τα κριτήρια αυτά. Ο σχηματισμός της αντικειμενικής συνάρτησης εξαρτάται κυρίως από τη φύση του οργανισμού που θα ασχοληθεί με το πρόβλημα, καθώς και από τη φύση των μονάδων εξυπηρέτησης. Ένας πρώτος διαχωρισμός σε αυτό το πρόβλημα αφορά τη διάκριση ανάμεσα στην εξυπηρέτηση των ιδιωτικών ή δημόσιων αναγκών.

Οι μονάδες εξυπηρέτησης στον ιδιωτικό τομέα, όπως ένα κατάστημα, μία αποθήκη ή ένας σταθμός εξυπηρέτησης πελατών, συνήθως χωροθετούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εκπληρώνουν στόχους όπως η ελαχιστοποίηση του κόστους ή η μεγιστοποίηση του κέρδους, είτε αυτό υπολογίζεται σε χρήματα είτε σε χρόνο ή απόσταση. Αντίθετα η χωροθέτηση εγκαταστάσεων του δημόσιου τομέα είναι πιο πολύπλοκη γιατί σχετίζεται με προβληματικές καταστάσεις κοινωνικοοικονομικού και πολιτικού χαρακτήρα στις οποίες είναι δύσκολο ή αδύνατον να υπολογισθούν μονοσήμαντα οι συνέπειες τους.

Είναι συχνό επίσης φαινόμενο στις αποφάσεις αυτές να υπάρχει αυξημένη αβεβαιότητα είτε επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία και σαφώς καθορισμένες συνέπειες είτε εμπίπτουν σε φιλοσοφικές αναζητήσεις συχνά αντικρουόμενες (αποτίμηση κόστους μιας οικολογικής καταστροφής ή ενός θανάτου από ατύχημα).

Τυπικά παραδείγματα εγκαταστάσεων του δημόσιου τομέα είναι τα αστυνομικά τμήματα, οι βιβλιοθήκες, οι σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διαφορετικές αντιλήψεις για την επίτευξη των στόχων στα προβλήματα της χωροθέτησης μεταβάλλουν αντίστοιχα τα πιθανά μαθηματικά μοντέλα χωροθέτησης κατανομής που εφαρμόζονται. Η κατηγορία προβλημάτων του ιδιωτικού τομέα, συνήθως χρησιμοποιεί την τυπική απόκλιση αποδοτικότητας $\min\text{sum}$. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι εγκαταστάσεις τοποθετούνται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούν το άθροισμα του συνολικού κόστους μεταφοράς. Αντίθετα στις δραστηριότητες του δημόσιου τομέα εφαρμόζεται ευρέως η τυπική συνάρτηση ισότητας $\min\text{max}$ όπως για παράδειγμα στη

χωροθέτηση μονάδων υγείας έτσι ώστε να μειώνεται ο χρόνος πρόσβασης των πολιτών στις μονάδες εξυπηρέτησης ακόμα και των πιο απομακρυσμένων περιοχών.

2.5 Μοντέλα Χωροθέτησης

Ο προσδιορισμός και η ταξινόμηση των προβλημάτων χωροθέτησης γίνεται μέσω γενικότερων κριτηρίων σύνθεσής τους με κοινά πολλές φορές στοιχεία, όπως η συνάρτηση ή αντικείμενο (objective), η μεταβλητή ή οι μεταβλητές της απόφασης (decision variable-s) και οι παράμετροι του συστήματος (system parameters). Με βάση αυτά τα στοιχεία, προσδιορίζονται κατ' αρχήν τα χωροθετικά προβλήματα ή μοντέλα. Η μεγάλη όμως ανάπτυξη του θεωρητικού πεδίου των προβλημάτων και των μοντέλων χωροθέτησης, οδήγησε σε ένα μεγαλύτερο φάσμα επιλογών μέσω ειδικότερων και συγκεκριμένων κριτηρίων σύνθεσής τους. Έτσι, ένα χωροθετικό πρόβλημα μπορεί να προσδιοριστεί π.χ με χωρικά κατανομημένες προϋποθέσεις (system parameter) σε πρόβλημα «δικτύου» (network) ή «επιπέδου» (planar) για την χωροθέτηση μιας μονάδας ή χωροθέτηση – κατανομή πολλών «μονάδων» (decision variable). Η λύση που συνήθως παρέχεται με τη βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης (objective), προσδιορίζει και την μορφή του προβλήματος. Δηλαδή ο αντικειμενικός στόχος της συνάρτησης προσδιορίζει και είναι αλληλένδετος με την μορφή που θα έχει το χωροθετικό πρόβλημα. Σήμερα, υπάρχουν καταγεγραμμένα εκατοντάδες προβλήματα οργάνωσης του χώρου, που αποτελούν πεδίο έρευνας και εφαρμογών με πολλά από αυτά επιλύουν τα προβλήματα χωροθέτησης των υπηρεσιών έκτακτων αναγκών και ειδικότερα την χωροθέτηση των υπηρεσιών υγείας.

Υπάρχει άμεση συνάφεια και ταύτιση των προβλημάτων χωροθέτησης και των αντίστοιχων μοντέλων που τα επιλύουν, άρα τα μοντέλα χωροθέτησης ταξινομούνται και κατατάσσονται σύμφωνα με τα προβλήματα χωροθέτησης. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που δεν υπάρχει ένα βασικό μοντέλο χωροθέτησης που θα χρησιμοποιείται για κάθε περίπτωση χωροθέτησης.

Σε θεωρητικό επίπεδο έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα αντίστοιχα με τα προβλήματα χωροθέτησης. Ωστόσο, πολλά από αυτά ήταν δύσκολο να επιλυθούν

αφού χαρακτηρίζονταν από υπολογιστική πολυπλοκότητα και χρειάστηκε η επιστήμη των υπολογιστών προκειμένου να μπορούν να εφαρμοστούν. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και τα μοντέλα χωροθέτησης υπηρεσιών έκτακτων αναγκών, στις οποίες ανήκουν και τα κέντρα υγείας, αφού κάθε πλευρά της λειτουργίας τους αντανακλά την πραγματικότητα, ρεαλιστικές υποθέσεις και περιορισμούς, που πρέπει να ενσωματωθούν στο πρόβλημα και σε κάθε περίπτωση περιλαμβάνουν την ορθή και λεπτομερή καταγραφή στοιχείων από εξωγενείς παράγοντες. Η επεξεργασία των πραγματικών δεδομένων, οδήγησε στην επιλογή της επίλυσης τριών προβλημάτων οργάνωσης του χώρου:

- i. Στο πρόβλημα της βέλτιστης χωροθέτησης (P-Κέντρων) παροχής υπηρεσιών, όπου γίνεται η παραδοχή ότι στην εξεταζόμενη περιοχή δεν υπάρχουν άλλα κέντρα (το γενικό πρόβλημα).
- ii. Στο πρόβλημα της βέλτιστης χωροθέτησης (K) επιπλέον κέντρων, θεωρώντας τα υπάρχοντα κέντρα ως δοσμένα (το προσθετικό πρόβλημα).
- iii. Στο πρόβλημα της αναδιοργάνωσης ενός χωρικού συστήματος, όπου δεδομένων (P)-Κέντρων παροχής υπηρεσιών σε μια περιοχή, κλείνουν κέντρα που δεν είναι βέλιστα χωροθετημένα και ανοίγουν καινούρια σε βέλτιστες θέσεις. (το πρόβλημα αναδιοργάνωσης). (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

2.6 Διάκριση και ταξινόμηση των προβλημάτων και των μοντέλων χωροθέτησης.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα για να επιλύσουν εκατοντάδες προβλήματα χωροθέτησης. Οι δυνατότητές τους σε σχέση με το πρώτο και βασικό μοντέλο του Weber, είναι μεγαλύτερες και οι περιορισμοί διαφορετικοί. Ειδικότερα διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο δικτύου, την αντικειμενική συνάρτηση, με το αν πρόκειται για χωροθέτηση μιας ή πολλών μονάδων (πρόβλημα χωροθετήσεων – κατανομών), με το αν η μονάδα είναι κινητή ή όχι με τα σημεία ζήτησης (σε όλο το δίκτυο ή σε κόμβους). Η λύση κάθε προβλήματος χωροθέτησης επιλέγεται βάσει μίας μεταβλητής. Η επιλογή της μεταβλητής βάσει της οποίας θα λυθεί το πρόβλημα, γίνεται από τον λήπτη της απόφασης (decision maker).

Αφού κατανοηθεί και προσδιορισθεί η διάκριση του χωροθετικού προβλήματος, αναπτύσσεται και το αντίστοιχο μοντέλο, που βελτιστοποιεί την λύση του. Έτσι, αντίστοιχα η πρώτη σημαντική διάκριση είναι: τα συνεχή (continuous) και τα ασυνεχή ή διακριτά (discrete) μοντέλα. Ένας μεγάλος αριθμός από έρευνες, ειδικά όσες αναφέρονται σε εφαρμοσμένα προβλήματα ή σε μη εφαρμοσμένες χωροθετήσεις ενός κέντρου παροχής υπηρεσιών, εξετάζουν πολλαπλές επεκτάσεις των ανωτέρω βασικών μοντέλων.

Περαιτέρω βασική κατηγοριοποίηση των «διακριτών προβλημάτων» είναι όταν οι προς χωροθέτηση «μονάδες» είναι επιθυμητές από τους «πελάτες» οπότε οι αντικειμενικοί σκοποί-κριτήρια του προβλήματος ονομάζονται «pull». Σε αυτή την περίπτωση αναπτύσσονται χωροθετικά προβλήματα που στοχεύουν στο:

- i. να ελαχιστοποιηθεί η συνολική απόσταση των χρηστών από το πλησιέστερο προς αυτούς κέντρο παροχής υπηρεσιών και επιλύονται ως **προβλήματα των διαμέσων** (minisum),
- ii. να ελαχιστοποιηθεί η μέγιστη απόσταση ενός από το κοντινότερο προς αυτόν κέντρο παροχής υπηρεσιών και επιλύονται ως **προβλήματα των διακέντρων** (minimax),
- iii. αν οι αντικειμενικοί σκοποί του λήπτη της απόφασης είναι διαφορετικοί, όπως να καλυφθούν οι πελάτες και η ζήτησή τους, τότε επιλύονται τα **προβλήματα κάλυψης** (covering problems). (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

Αντίστοιχα αναπτύχθηκαν και τα μοντέλα χωροθέτησης όπως:

i. το **μοντέλο Διαμέσου** (P-Median ή Minisum). Σκοπός του P- Διάμεσος είναι η εύρεση των θέσεων για P κέντρα παροχής υπηρεσιών, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος εξυπηρέτησης. Το πρόβλημα P- Διαμέσου τυποποιήθηκε από τον Hakimi (1964,1965).

Είσοδοι :

h_i = η ζήτηση στον κόμβο i

d_{ij} = η απόσταση ανάμεσα στους κόμβους i και τις υποψήφιες θέσεις j

P= ο αριθμός των κέντρων παροχής υπηρεσιών που θα τοποθετηθούν.

Μεταβλητές απόφασης:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{αν τοποθετήσουμε το κέντρο παροχής υπηρεσιών} \\ & \text{στην υποψήφια θέση } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{αν η ζήτηση στον κόμβο } i \text{ εξυπηρετείται από το κέντρο παροχής} \\ & \text{υπηρεσιών στον κόμβο } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Μαθηματική τυποποίηση μοντέλου:

$$\text{MINIMIZE } \sum_j \sum_i h_i * d_{ij} * y_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_j y_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j x_j = P \quad (3)$$

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

$$x_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (5)$$

$$y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (6)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί την απόσταση της συνολικής ζήτησης μεταξύ κάθε κόμβου ζήτησης και του κοντινότερου κέντρου παροχής υπηρεσιών. Ο περιορισμός (2) δηλώνει ότι κάθε κόμβος ζήτησης i θα ανατεθεί ακριβώς σε ένα κέντρο παροχής υπηρεσιών j . Ο περιορισμός (3) δηλώνει ότι θα τοποθετηθούν ακριβώς P κέντρα παροχής υπηρεσιών. Ο περιορισμός (4) δηλώνει ότι η ζήτηση στον κόμβο i μπορεί να ανατεθεί σε ένα κέντρο στη θέση j , αφού σε αυτόν τον κόμβο τοποθετηθεί το κέντρο. Οι περιορισμοί (5) και (6) είναι περιορισμοί ακεραιότητας (Θανασούλας Δήμος, 2011).

Ως ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού υπάρχουν n^2 δυαδικές μεταβλητές αν και η μείωση του αριθμού των πιθανών χώρων για τις εγκαταστάσεις μπορεί να κάνει μικρότερο αυτό τον αριθμό. (Shams-ur Rahman, David K. Smith, 2000)

ii. το **μοντέλο Διακέντρων** (centers ή Minimax). Το P-Διακέντρων τυποποιήθηκε και αυτό από τον Hakimi (1964,1965) και ελαχιστοποιεί την απόσταση, έχοντας έναν δεδομένο αριθμό κέντρων παροχής υπηρεσιών, ενώ καλύπτονται όλοι οι κόμβοι ζήτησης. Σκοπός αυτού του μοντέλου είναι να χωροθετηθούν P κέντρα παροχής υπηρεσιών, ώστε να καλύπτεται όλη η ζήτηση και η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ ενός κέντρου ζήτησης και του πλησιέστερου κέντρου παροχής υπηρεσιών να ελαχιστοποιείται.

Είσοδοι :

h_i = η ζήτηση στον κόμβο i

d_{ij} = η απόσταση ανάμεσα στους κόμβους i και τις υποψήφιες θέσεις j

P= ο αριθμός των κέντρων παροχής υπηρεσιών που θα τοποθετηθούν.

Μεταβλητές απόφασης:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{αν τοποθετήσουμε το κέντρο παροχής υπηρεσιών} \\ & \text{στην υποψήφια θέση } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

y_{ij} = το ποσοστό της ζήτησης στον κόμβο i που εξυπηρετείται από ένα κέντρο παροχής υπηρεσιών στον κόμβο j.

W= η μέγιστη απόσταση μεταξύ του κόμβου ζήτησης και του πλησιέστερου κέντρου παροχής υπηρεσιών.

Μαθηματική τυποποίηση μοντέλου:

$$\text{MINIMIZE } W \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_j y_{ij}=1, \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j x_j=P \quad (3)$$

$$y_{ij} \leq x_j, \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$W \geq \sum_j d_{ij} * y_{ij}, \quad \forall i \quad (5)$$

$$x_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (6)$$

$$y_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (7)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί τη μέγιστη απόσταση μεταξύ του κόμβου ζήτησης και του κοντινότερου κέντρου παροχής υπηρεσιών. Ο περιορισμός (2) δηλώνει ότι η ζήτηση των κόμβων i προσδιορίζεται σε κάποια θέση των κέντρων παροχής j . Ο περιορισμός (3) δηλώνει ότι θα τοποθετηθούν P κέντρα. Ο περιορισμός (4) δηλώνει ότι η ζήτηση στον κόμβο i θα κατανεμηθεί μόνο στις θέσεις όπου έχουν τοποθετηθεί κέντρα παροχής υπηρεσιών. Ο περιορισμός (5) ορίζει τη μέγιστη απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε κόμβου ζήτησης i και του κοντινότερου κέντρου παροχής υπηρεσιών j . Οι περιορισμοί (6) και (7) είναι περιορισμοί ακεραιότητας και θετικότητας (Θανασούλας Δήμος, 2011).

Αυτό το πρόβλημα έχει μόνο n δυαδικές μεταβλητές και αυτό το καθιστά ιδανικό για μεγάλα προβλήματα, ωστόσο οι n περιορισμοί ανισότητας μπορεί να το κάνουν υπολογιστικά δύσκολο. (Shams-ur Rahman, David K. Smith, 2000)

iii. τα **μοντέλα Κάλυψης** (covering models), αναφέρονται σε προβλήματα όπου η χωροθέτηση ενός κέντρου παροχής υπηρεσιών, καλύπτει τις ανάγκες των πελατών, δηλαδή βρίσκεται εντός μιας συγκεκριμένης απόστασης σε σχέση με τους πελάτες και εντός ενός χρονικού ορίου. (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

Μοντέλο Συνόλου Κάλυψης

Σκοπός αυτού του μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους της τοποθέτησης ενός αριθμού κέντρων εξυπηρέτησης από ένα σύνολο υποψήφιων θέσεων, ώστε κάθε σημείο ζήτησης να καλύπτεται από ένα τουλάχιστον κέντρο. Αυτό το μοντέλο τυποποιήθηκε από τον Toregas (1971).

Είσοδοι:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{αν η υποψήφια θέση } j \text{ μπορεί να καλύψει τη ζήτηση } i \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

f_j = το κόστος της τοποθέτησης ενός κέντρου παροχής υπηρεσιών στην υποψήφια θέση j

Μεταβλητές απόφασης:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{αν τοποθετήσουμε το κέντρο παροχής υπηρεσιών} \\ & \text{στην υποψήφια θέση } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Μαθηματική τυποποίηση μοντέλου:

$$\text{MINIMIZE} \quad \sum_j f_j * x_j \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_j a_{ij} * x_j \geq 1, \quad \forall i \quad (2)$$

$$x_j = 0, 1, \quad \forall j \quad (3)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος της τοποθέτησης των κέντρων παροχής υπηρεσιών. Ο περιορισμός 2 δηλώνει ότι κάθε σημείο ζήτησης i πρέπει να καλύπτεται από τουλάχιστον ένα κέντρο παροχής υπηρεσιών. Ο περιορισμός 3 είναι ο ακέραιος περιορισμός. Αυτό το πρόβλημα έχει 2^n δυαδικές μεταβλητές, που το καθιστούν ικανό για την επίλυση μεγάλων προβλημάτων σε σχέση με το πρόβλημα P- Διάμεσος. (Θανασούλας Δήμος, 2011)

Μοντέλο Μέγιστης Κάλυψης

Στο Μοντέλο Μέγιστης Κάλυψης θεωρούμε ότι υπάρχει ένας δεδομένος αριθμός κέντρων εξυπηρέτησης που πρέπει να τοποθετηθούν, που μεγιστοποιούν την καλυπτόμενη ζήτηση. Τυποποιήθηκε από τους Church and ReVelle (1974).

Είσοδοι:

h_i = η ζήτηση στον κόμβο i

p = ο αριθμός των κέντρων παροχής υπηρεσιών που θα τοποθετηθούν

Μεταβλητές απόφασης:

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται} \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Μαθηματική τυποποίηση:

$$\text{MAXIMIZE } \sum_i h_i * z_i \quad (1)$$

$$\text{Subject to } z_i \leq \sum_j a_{ij} * x_j \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j x_j \leq p \quad (3)$$

$$x_j = 0,1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$z_i = 0,1 \quad \forall i \quad (5)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί το ποσό της καλυπτόμενης ζήτησης. Ο περιορισμός (2) δηλώνει ότι η ζήτηση στον κόμβο i δεν καλύπτεται, εκτός κι αν επιλεγθεί έστω και μια θέση τοποθέτησης κέντρου που καλύπτει τον κόμβο i . Ο περιορισμός (3) δηλώνει ότι δεν μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερα από p κέντρα παροχής υπηρεσιών. Οι περιορισμοί (4) και (5) είναι περιορισμοί ακεραιότητας. (Θανασούλας Δήμος, 2011)

Fixed Charge Facility Location Model

Στα προηγούμενα μοντέλα ο αριθμός των κέντρων παροχής υπηρεσιών ήταν δεδομένος και το κόστος εγκατάστασης σταθερό σε όλους τους κόμβους. Το Fixed Charge Facility Location Model ελαχιστοποιεί το άθροισμα του κόστους εγκατάστασης και του μεταφορικού κόστους. Παρακάτω, αναφέρονται δύο μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την επίλυση διαφορετικών προβλημάτων.

Uncapacitated Fixed Charge Facility Location Model

Είσοδοι :

f_i = το πάγιο κόστος εγκατάστασης στην υποψήφια θέση j

h_i = η ζήτηση στον κόμβο i

d_{ij} = η απόσταση ανάμεσα στους κόμβους ζήτησης i και τις υποψήφιες θέσεις j

a = το κόστος ανά μονάδα απόστασης ανά μονάδα ζήτησης

Μεταβλητές απόφασης:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{αν τοποθετηθεί το κέντρο παροχής υπηρεσιών στη θέση } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Y_{ij} = υπηρεσιών στον κόμβο j

Μαθηματική τυποποίηση μοντέλου:

$$\text{MINIMIZE } \sum_j f_j * x_j + a \sum_i \sum_j h_i * d_{ij} * Y_{ij}$$

$$\text{Subject to } \sum_j Y_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (1)$$

$$Y_{ij} \leq X_j, \quad \forall ij \quad (2)$$

$$X_j = 0,1, \quad \forall j \quad (3)$$

$$Y_{ij} \geq 0, \quad \forall ij \quad (4)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί τα συνολικά κόστη. Ο περιορισμός (1) ορίζει ότι κάθε κόμβος ζήτησης i εξυπηρετείται από ένα κέντρο παροχής υπηρεσιών στη θέση j εφόσον σε αυτόν τον κόμβο εγκατασταθεί ένα κέντρο (2). Οι περιορισμοί (3) και (4) είναι ο ακέραιος και ο μη αρνητικός περιορισμός.

Capacitated Fixed Charge Facility Location Model

Είσοδοι :

f_i = το πάγιο κόστος εγκατάστασης στην υποψήφια θέση j

h_i = η ζήτηση στον κόμβο i

d_{ij} = η απόσταση ανάμεσα στους κόμβους ζήτησης i και τις υποψήφιες θέσεις j

a = το κόστος ανά μονάδα απόστασης ανά μονάδα ζήτησης

k_j = χωρητικότητα του κέντρου παροχής υπηρεσιών στην υποψήφια θέση j εάν το κέντρο παροχής εγκατασταθεί εκεί

Μαθηματική τυποποίηση μοντέλου:

$$\text{MINIMIZE } \sum_j f_i * x_j + a \sum_i \sum_j h_i * d_{ij} * Y_{ij}$$

$$\text{Subject to } \sum_j Y_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (1)$$

$$Y_{ij} \leq X_j, \quad \forall ij \quad (2)$$

$$\sum_i h_i * Y_{ij} \leq k_j * X_j, \quad \forall j \quad (3)$$

$$X_j = 0, 1, \quad \forall j \quad (4)$$

$$Y_{ij} \geq 0, \quad \forall ij \quad (5)$$

Αυτό το μοντέλο είναι όμοιο με το παραπάνω, το μόνο που αλλάζει είναι ο περιορισμός της χωρητικότητας που προστίθεται (Θανασούλας Δήμος, 2011).

2.7 Υποκατηγορίες προβλημάτων Διαμέσων

Στα προβλήματα των διαμέσων (minisum) ανήκει το συνεχές πρόβλημα P-διάμεσος που είναι ένα από τα πιο βασικά προβλήματα στο χώρο των συνεχών προβλημάτων χωροθέτησης. Σκοπός του προβλήματος αυτού, είναι η εύρεση ενός συνόλου από πιθανές θέσεις για τα P-κέντρα παροχής υπηρεσιών, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η συνολική σταθμική απόσταση από τους πελάτες προς το κοντινότερο κέντρο παροχής υπηρεσιών. Τα προβλήματα χωροθέτησης ‘time-space’ αναφέρονται στον τόπο και χρόνο λειτουργίας μίας μονάδας. (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

2.8 Υποκατηγορίες προβλημάτων διακέντρων

Στα προβλήματα των διακέντρων (minimax) ανήκουν, ως υποκατηγορία, τα προβλήματα των διακέντρων κορυφής (vertex center problems) τα οποία τίθενται στην περίπτωση που οι θέσεις των κέντρων παροχής υπηρεσιών είναι περιορισμένες στους κόμβους του δικτύου. Συνεπώς ζητείται η χωροθέτησή τους σε συγκεκριμένους κόμβους στο δίκτυο. (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

2.9 Δυναμικά προβλήματα

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των ντετερμινιστικών ή αιτιοκρατικών προβλημάτων/μοντέλων, είναι ότι δεν περιλαμβάνουν τις χρονικές διαστάσεις, δηλαδή τα χαρακτηριστικά των προβλημάτων του real – world. Όμως η ορθή στρατηγική των προβλημάτων της Ανάλυσης Χωροθέτησης απαιτεί τα οποιαδήποτε λογικά πρότυπα να αντιπροσωπεύουν και την μελλοντική αβεβαιότητα, δηλαδή το πρόβλημα της Ανάλυσης Χωροθέτησης θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα εκτεταμένο ορίζοντα προγραμματισμού. Οι αποφασίζοντες (decision makers) πρέπει όχι μόνο να επιλέγουν εγκαταστάσεις οι οποίες θα εξυπηρετούν αποτελεσματικά μεταβαλλόμενες

απαιτήσεις με το πέρασμα του χρόνου, αλλά πρέπει επίσης να μελετήσουν τον συγχρονισμό των επεκτάσεων των κέντρων παροχής υπηρεσιών και της επανεγκατάστασής τους στη διάρκεια μιας μακράς περιόδου. Αυτός ο ορθός προβληματισμός των θεωρητικών της χωροθέτησης, οδήγησε στα δυναμικά μοντέλα χωροθέτησης υπηρεσιών. Ο περαιτέρω διαχωρισμός τους σε απλά δυναμικά μοντέλα χωροθέτησης και πολλαπλά δυναμικά μοντέλα χωροθέτησης, εξυπηρετεί την καλύτερη ανά περίπτωση επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης, με την υιοθέτηση στατικών και ντετερμινιστικών λύσεων, συμπεριλαμβανομένης και της χρονικής διάστασης.

Στα δυναμικά προβλήματα συμπεριλαμβάνονται πολλά προβλήματα χωροθέτησης μη γραμμικά, όπως επίσης και αυτά που περιλαμβάνουν επιδράσεις ανάδρασης (feedback), οι οποίες μπορεί να αλλάξουν το σύστημα. Έτσι, την τελευταία εικοσαετία έχει επιτευχθεί και ερευνηθεί μία καινούρια κατηγορία μοντέλων ανάλυσης χωροθέτησης, τα επονομαζόμενα εξελικτικά μοντέλα (evolutionary models), τα οποία βασίζονται στη δυναμική συμπεριφορά τους και περιλαμβάνουν τόσο εξωγενείς, όσο και ενδογενείς παράγοντες αλλαγής. Με τον όρο εξωγενείς παράγοντες εννοείται συνήθως η μεταβαλλόμενη ζήτηση, ενώ στους ενδογενείς στο πρόβλημα «παράγοντες» συμπεριλαμβάνονται η αύξηση ή η μείωση ή και η επανατοποθέτηση του αριθμού των μονάδων. (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

2.10 Στοχαστικά προβλήματα

Το χαρακτηριστικό των στοχαστικών προβλημάτων, είναι η ενσωμάτωση πιθανοτήτων στις παραμέτρους του κάθε προβλήματος, δηλαδή το σύστημα είναι συνάρτηση παραμέτρων που εμφανίζουν τυχαιές μεταβλητές. Αυτό σημαίνει ότι η συμπεριφορά του μοντέλου δεν είναι απόλυτα προβλέψιμη. Παρ' όλα αυτά μπορεί να είναι γνωστό πόσο πιθανό είναι να συμβούν κάποιες καταστάσεις, κάτι το οποίο μπορεί να προκύψει και να διατυπωθεί με μία πιθανολογική κατανομή. Έτσι αναπτύχθηκαν τα πιθανοθεωρητικά μοντέλα, που εντάσσονται στην κατηγορία των στοχαστικών και περιγράφουν μια συνάρτηση κόστους, η οποία περιέχει πιθανότητα. Στα μοντέλα αυτά μεγιστοποιείται η συνάρτηση κόστους, η οποία εκφράζει με πιθανότητα την αναμενόμενη κάλυψη των κέντρων παροχής υπηρεσιών σε κάθε γειτονιά και για όλους τους κόμβους του δικτύου. Τα πιθανοθεωρητικά μοντέλα,

λαμβάνουν επίσης υπόψη τις πιθανότητες τα κέντρα παροχής υπηρεσιών να είναι απασχολημένα, για να υπολογίσουν έτσι την ποσότητα των επαναλήψεων που χρειάζονται για την εξυπηρέτηση των πελατών.(Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

2.11 Ιεραρχικά προβλήματα

Μία άλλη κατηγορία προβλημάτων χωροθέτησης είναι τα ιεραρχικά προβλήματα χωροθέτησης (hierarchical location problems). Στα προβλήματα αυτά υπάρχουν ιεραρχίες στις μονάδες, έτσι ώστε κάθε ιεραρχία σε κάποιο επίπεδο να παρέχει γενικά όλες τις υπηρεσίες μίας μονάδας του επόμενου (χαμηλότερου) επιπέδου.

Τα ιεραρχικά προβλήματα χωροθέτησης απαντώνται κυρίως στη χωροθέτηση διαφόρων κέντρων υγείας και νοσοκομείων. Υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα υγείας π.χ. γραφεία ιατρών στο χαμηλότερο επίπεδο, μια μικρή κλινική στο επόμενο ψηλότερο σημείο και ένα γενικό νοσοκομείο στο ψηλότερο επίπεδο. Κάθε κέντρο παροχής υπηρεσιών σε μερικά επίπεδα εξασφαλίζει γενικά όλες τις υπηρεσίες ενός κέντρου παροχής υπηρεσιών στο επόμενο χαμηλότερο επίπεδο. Ο σκοπός των ιεραρχικών προβλημάτων χωροθέτησης είναι π.χ να εξυπηρετηθούν όσο το δυνατό περισσότερα άτομα με παράλληλη μείωση του κόστους (κόστος εξυπηρέτησης). (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

2.12 Προβλήματα επικάλυψης

Σε πολλά προβλήματα χωροθέτησης η εξυπηρέτηση στους πελάτες, από τις εγκαταστάσεις που έχουν εκχωρηθεί, εξαρτάται από την απόσταση ανάμεσα στους πελάτες και στις εγκαταστάσεις στις οποίες οι πελάτες έχουν εκχωρηθεί. Έτσι οδηγούμαστε στην έννοια της επικάλυψης. Με κάθε κόμβο ζήτησης 'i' υπάρχει ένα υποσύνολο 'N_i' από τους υποψήφιους κόμβους εγκατάστασης που μπορούν να εξυπηρετήσουν ή να καλύψουν τη ζήτηση στον κόμβο ζήτησης.

Αυτό το σύνολο μπορεί να καθοριστεί και σαν μια δυαδική μεταβλητή 'a_{ij}' που παίρνει την τιμή '1' αν η εγκατάσταση στο υποψήφιο μέρος 'j' μπορεί να καλύψει τη ζήτηση στον υποψήφιο κόμβο i και 0 αλλιώς. Πολλές φορές λέγεται ότι η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί αν η απόσταση του κοντινότερου μονοπατιού ανάμεσα στον

κόμβο ζήτησης και στην εγκατάσταση είναι μικρότερη ή ίση από την απόσταση κάλυψης. Μια απλή απόσταση κάλυψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλους τους κόμβους ζήτησης. Εναλλακτικά η απόσταση κάλυψης μπορεί να εξαρτάται είτε από τον κάθε κόμβο ξεχωριστά είτε από την κάθε εγκατάσταση ξεχωριστά. (Λουκάκης Ιωάννης, 2010)

Το πρόβλημα επικάλυψης συνόλου έχει ως στόχο να βρεθεί ένα ελάχιστο σύνολο από εγκαταστάσεις, από ένα πεπερασμένο σύνολο από υποψήφιες εγκαταστάσεις, έτσι ώστε κάθε κόμβος ζήτησης να καλύπτεται από μια εγκατάσταση.

2.13 Προβλήματα Δρομολόγησης και Προγραμματισμού

Τα προβλήματα Δρομολόγησης και Προγραμματισμού ανήκουν στα NP-προβλήματα και αφορούν προβλήματα που προκύπτουν καθημερινά σε εταιρίες συγκοινωνιών, μεταφοράς και ναυτιλιακές εταιρίες. Επίσης, συναντώνται στους κλάδους της Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης, της Επιχειρησιακής Έρευνας, της Επιστήμης των Μεταφορών, της Επιστήμης των Υπολογιστών και των Μαθηματικών.

Στην περιγραφή αυτών των προβλημάτων θεωρούμε την ύπαρξη μιας κεντρικής αποθήκης όπου αποθηκεύεται απεριόριστη ποσότητα προϊόντος. Ακόμα, θεωρούμε την ύπαρξη ενός συνόλου πελατών διασκορπισμένων στην ευρύτερη περιοχή γύρω από την αποθήκη που έχουν συγκεκριμένες ανάγκες σε ποσότητα προϊόντος και στην τήρηση συγκεκριμένου χρόνου όσο αφορά στο χρόνο εξυπηρέτησης τους και στο χρόνο παράδοσης. Τέλος, υπάρχουν και τα οχήματα που μεταφέρουν τα προϊόντα, ωστόσο, έχουν και αυτά συγκεκριμένους περιορισμούς που αφορούν την ποσότητα προϊόντος που μπορούν να μεταφέρουν. Αυτό είναι ένα κλασικό πρόβλημα Δρομολόγησης, όμως, υπάρχουν και κάποιες παραλλαγές του προβλήματος καθώς αλλάζει κάποιο από τα βασικά στοιχεία του αρχικού προβλήματος. Αυτές οι παραλλαγές είναι:

- Δρομολόγηση χωρίς προγραμματισμό
- Πρόβλημα πολλαπλών περιοδευόντων πωλητών
- Προβλήματα Δρομολόγησης και Προγραμματισμού με παραλαβή και παράδοση
- Στοχαστική Δρομολόγηση και Προγραμματισμός
- Προβλήματα Δρομολόγησης και Προγραμματισμού πολλαπλών διαδρομών

3. ΝΕΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

Σ' αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε μερικά από τα πιο κύρια μοντέλα χωροθέτησης μέσα από νέες δομές, ασυνήθιστες ρυθμίσεις και μέσω έξυπνων αντικειμενικών συναρτήσεων που έχουν αναπτυχθεί.

3.1 Προβλήματα Cent-Median και Medi-Center

Είναι δύο επεκτάσεις των βασικών προβλημάτων Χωροθέτησης του P- Διαμέσων και του P-Διακέντρων που χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν αυτά τα προβλήματα.

Το **cent-median** είναι ένα μοντέλο το οποίο ελαχιστοποιεί έναν γραμμικό κυρτό συνδυασμό των αντικειμενικών συναρτήσεων των προβλημάτων διαμέσων και διακέντρων.

Το **medi-center** ελαχιστοποιεί τη μέση απόσταση υπό τον περιορισμό ότι όλες οι αποστάσεις από τους πελάτες προς τα κέντρα παροχής υπηρεσιών δεν υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο όριο. Και οι δύο κατηγορίες μπορούν εύκολα να παραμετροποιηθούν χρησιμοποιώντας διάφορα βάρη και όρια σαν παραμέτρους.

Η έξοδος των αλγορίθμων των πιο πάνω προβλημάτων, δηλαδή η σχέση ανάμεσα στην μέση απόσταση και την μέγιστη απόσταση δίνει σημαντικές πληροφορίες για την δυναμική της κάθε λύσης (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007) .

3.2 Ισοζυγισμένα αντικείμενα

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές των χωροθετικών μοντέλων με ισοζυγισμένα αντικείμενα, δηλαδή με αντικείμενα που επιχειρούν να ισοζυγίσουν τον χειρισμό όλων των πελατών. Η κύρια αιτία εμφανίζεται να είναι το πρόβλημα της μονάδας μέτρησης του χειρισμού του κάθε πελάτη. Οι αμερόληπτοι πελάτες προσαρμόζουν τον εαυτό τους στο κοινωνικοοικονομικό σύστημα. Τα τυπικά μεροληπτικά αντικείμενα χρησιμοποιούν συνήθως τη διασπορά σ^2 της απόστασης προσπέλασης (access distance), την καμπύλη Lorenz (η οποία τυπικά χρησιμοποιείται για να

μετρήσει την εισερχόμενη μεταβλητότητα) ή τον σχετικό δείκτη Gini ως εκφράσεις οι οποίες μετρούν την αμεροληψία ή την μη αμεροληψία ενός συνόλου από θέσεις.

Ένα απλό παράδειγμα της χωροθέτησης σε ένα επίπεδο δείχνει ότι τα αμερόληπτα αντικείμενα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν σύζευξη με ένα αποδοτικό αντικείμενο, δηλαδή κατά κάποιο τρόπο σαν stand-alone αντικείμενα. Θεωρώντας τρεις πελάτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε σχήμα τριγώνου (στις κορυφές του τριγώνου). Η μία γωνία του τριγώνου πλησιάζει τις 180° . Το σημείο το οποίο βελτιστοποιεί την ισότητα των αποστάσεων είναι το κέντρο του κύκλου του οποίου η περιφέρεια τέμνει τις κορυφές του τριγώνου δηλαδή το τρίγωνο είναι εγγεγραμμένο στον κύκλο. Μετακινώντας την απόσταση του κέντρου παροχής υπηρεσιών διαμέσου των τριών πελατών, ο συγκεκριμένος πελάτης κερδίζει στο ότι η απόσταση του από το κέντρο μειώνεται. Όμως, αυτό το κέρδος πετυχαίνεται με «έξοδο» το ότι οι αποστάσεις και των τριών πελατών από το κέντρο παροχής υπηρεσιών είναι περισσότερο άνισες (μεταβλητές) (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007).

3.4 Κομβικά προβλήματα χωροθέτησης

Τα κομβικά προβλήματα χωροθέτησης πρωτοεμφανίστηκαν σε περιβάλλον στο οποίο οι πελάτες απαιτούσαν να μεταφερθούν σε πολλούς προορισμούς από διαφορετικά σημεία αφετηρίας κάθε φορά. Συνήθως είναι φτηνότερο για τον μεταφορέα να αποφεύγει επανάληψη των ίδιων διαδρομών ανάμεσα στα ίδια σημεία αφετηρίας και προορισμού. Αντίθετα όμως, τα κομβικά δίκτυα είναι συναρμολογημένα έτσι ώστε οι πελάτες οι οποίοι θα ταξιδέψουν από την αφετηρία τους προς ένα κεντρικό κόμβο ή από τον ένα ή τον άλλο προορισμό τους ή προς άλλο κόμβο. Επιπλέον, αν ένας πελάτης πάει σε ένα δεύτερο κόμβο, τότε θα μπορεί να συνεχίσει προς τον τελικό του προορισμό-στόχο. Τα κομβικά συστήματα είναι πολύ δημοφιλή στον κλάδο των αερογραμμών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λύση των κομβικών προβλημάτων δε χρησιμεύει αποκλειστικά και μόνο στον μεταφορέα. Τυπικά η κυκλοφορία ανάμεσα στα περισσότερα σημεία αρχής – προορισμού δεν δικαιολογεί συχνές υπηρεσίες εξυπηρέτησης αν και το κομβικό σύστημα επιτρέπει στους πελάτες να ταξιδεύουν πολύ πιο συχνά προς τους προορισμούς τους αφού εξυπηρετεί πολλές ανάγκες τους με κάποια σχετική δαπάνη (κόστος). (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007)

3.5 Ανταγωνιστικά Προβλήματα Χωροθέτησης

Τα ανταγωνιστικά προβλήματα Χωροθέτησης συμπεριλαμβάνουν και αποφάσεις χωροθέτησης αλλά και αποφάσεις για τα κόστη που λειτουργούν σαν μεταβλητές σε ένα μοντέλο. Ένα ανταγωνιστικό μοντέλο δείχνει τις θέσεις και τις τιμές οι οποίες μεγιστοποιούν τα κέρδη της αγοράς συγκριτικά με προηγούμενους ανταγωνιστές. Η πιθανότητα μιας τιμής δείχνει κατά ένα μεγάλο βαθμό την αστάθεια. Η συνεισφορά των ανταγωνιστικών μοντέλων στα οικονομικά τυπικά είναι ανάλογη της συνεισφοράς της ήδη υπάρχουσας ισορροπίας κατά Nash. Όπως για παράδειγμα μια ισορροπία μπορεί σε γενικές γραμμές να θεωρηθεί σαν μια λύση όπου κανένας από τους ανταγωνιστές δεν έχει μεροληπτικά σκοπό να αλλάξει την ήδη υπάρχουσα λύση. Για παράδειγμα, τα Hotelling-models έχουν έμφυτη αστάθεια με την έννοια ότι ακόμα κι αν συμβούν φαινομενικά δευτερεύοντες αλλαγές στους κανόνες χωροθέτησης ή στις παραμέτρους, μπορεί όχι μόνο να αλλάξει τη λύση του προβλήματος αλλά και να καταστρέψει ή να δημιουργήσει την ισορροπία κατά Nash.

Μια άλλη προσέγγιση των σειριακών ανταγωνιστικών προβλημάτων είναι τα προβλήματα όπου ο επικεφαλής στη χωροθέτηση και κοστολόγηση σε ένα αγώνα ακολουθείτε από οπαδούς στο παιχνίδι. Η ιδέα αυτή ξεκίνησε από ένα γερμανό οικονομολόγο, τον Von Stackelberg (1943) ο οποίος ήταν ο πρώτος που μελέτησε το δυοπώλειο. Στο δυοπώλειο μια φίρμα λειτουργεί σαν επικεφαλής του παιχνιδιού ενώ η άλλη ακολουθεί. Η πιο πρόσφατη εισφορά στην Ανάλυση Χωροθέτησης πάνω σε αυτόν τον τομέα έγινε από τον Hakimi ο οποίος όρισε τις πιθανές θέσεις για τα κέντρα παροχής υπηρεσιών ως medianoids. Οι θέσεις αυτές προκύπτουν από τα προβλήματα χωροθέτησης υπό συνθήκη στα οποία η φίρμα που ακολουθεί παίρνει τις θέσεις που δίνονται από τη φίρμα που προηγείται. Επίσης, ο Hakimi όρισε τις θέσεις της φίρμας που προηγείται σαν centroids με την έννοια ότι η φίρμα που ηγείται του παιχνιδιού θα χρησιμοποιήσει την καλύτερη δράση της φίρμας που ακολουθεί και θα την προφυλάξει χρησιμοποιώντας μια στρατηγική minimax. Το πρόβλημα της φίρμας που ακολουθεί ονομάζεται maximum capture problem, το οποίο τυποποιήθηκε και λύθηκε από τον ReVelle.

Επιπλέον, τα ανταγωνιστικά προβλήματα χωροθέτησης επεκτείνονται για να συμπεριλαμβάνουν ελεύθερη είσοδο (free entry) στα οποία τα επιπρόσθετα κέντρα

παροχής υπηρεσιών μπορούν να εισέλθουν στην αγορά για όσο χρονικό διάστημα τους συμφέρει. Σε αυτά τα προβλήματα κάθε υποψήφιο κέντρο παροχής υπηρεσιών δρα σαν επικεφαλής προστατεύοντας τον εαυτό του από νέες εισόδους άλλων κέντρων παροχής υπηρεσιών. Η πολυπλοκότητα αυτών των μοντέλων συνήθως απαιτεί υπολογιστικές προσομοιώσεις. (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007)

3.6 Συνδυασμός τοποθέτησης και επανάληψης

Τα προβλήματα εγκατάστασης και επανάληψης (Location-Routing problems) συγχωνεύουν τις ιδέες της εγκατάστασης και επανάληψης σε ένα απλό μοντέλο. Ένα παράδειγμα τέτοιου μοντέλου είναι η ταυτόχρονη εγκατάσταση ταχυδρομικών κουτιών και η επαναλαμβανόμενη χρήση των ταχυδρομικών φορτηγών για μεταφορά των γραμμάτων και δεμάτων. Επειδή όπως γνωρίζουμε τα προβλήματα επανάληψης είναι NP-πλήρεις, η προσθήκη των συνιστωσών εγκατάστασης δεν κάνει ευκολότερη τη λύση τους. Γι' αυτό τα προβλήματα εγκατάστασης και επανάληψης είναι NP-πλήρεις. Επιπρόσθετα, στα προβλήματα εγκατάστασης και επανάληψης ανήκουν και τα προβλήματα p -διασποράς (p -dispersion problems) τα οποία δεν περιλαμβάνουν οποιουδήποτε πελάτες αλλά προσπαθούν να εγκαταστήσουν κέντρα παροχής υπηρεσιών έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η κοντινότερη απόσταση ανάμεσα σε κάθε κέντρο παροχής υπηρεσιών και του κοντινότερου του γείτονα. Τυπικές εφαρμογές αυτού του είδους των προβλημάτων συναντιούνται σε στρατιωτικό περιβάλλον όπου ο decision maker προσπαθεί να εγκαταστήσει αποθήκες πολεμοφοδίων έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι η εύρεση και η διαδοχική καταστροφή μιας τέτοιας αποθήκης έχει όσο το δυνατό μικρότερο αντίκτυπο στην εύρεση και καταστροφή και των υπόλοιπων αποθηκών. Παρόμοια προβλήματα είναι τα p -αμυντικά προβλήματα (p -defense problems) τα οποία μεγιστοποιούν το άθροισμα των αποστάσεων ανάμεσα στα κέντρα παροχής υπηρεσιών που είναι κοντινότερα το ένα στο άλλο. (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007)

3.7 Προβλήματα κέρδους

Η ζήτηση στα μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής βρίσκεται σε κάθε σημείο ενός δικτύου. Η ζήτηση θα καλυφθεί με διαδρομές από σημείο σε σημείο. Όμως για πολλά είδη εξυπηρέτησης όπως σταθμούς εξυπηρέτησης, fast foods και ATM τραπεζών η ζήτηση των πελατών δε βρίσκεται ακριβώς πάνω στα σημεία αλλά κατά μήκος των μονοπατιών. Σε αυτά τα προβλήματα σκοπός είναι να ικανοποιηθεί ή να περιοριστεί όσο το δυνατό περισσότερο η ενδεχόμενη ζήτηση. Γι αυτόν το σκοπό ο Hodgson (1990) δημιούργησε το Flow Capturing Location Allocation Problem (FCLM) το οποίο εξυπηρετεί τη ζήτηση τοποθετώντας κέντρα παροχής υπηρεσιών για να περιορίσει τις διαδρομές. Το μοντέλο αυτό βρίσκει εφαρμογή στους σταθμούς επιθεώρησης μεταφορικών μέσων και στους πίνακες ανάρτησης διαφημίσεων. Από τεχνική άποψη, πολύ σημαντικό στα μοντέλα παραγωγής ροής είναι το ενδεχόμενο διπλής αρίθμησης του κέρδους. Για να αποφευχθεί αυτό χρειάζεται να προστεθούν εναλλακτικές μεταβλητές 0-1 οι οποίες καθορίζουν την ύπαρξη ή όχι ενός χαρακτηριστικού το οποίο παίρνει μια ειδική διαδρομή για να εξυπηρετηθεί το λιγότερο από ένα κέντρο παροχής υπηρεσιών. (Χατζηθωμά Ανδρούλα, 2007)

4. Αλγόριθμοι

4.1 Ευρετικοί αλγόριθμοι

Η επίλυση ενός προβλήματος συνδυαστικής βελτιστοποίησης γίνεται δυσκολότερη όσο το μέγεθος του προβλήματος αυξάνει και θέλοντας να βρούμε μια βέλτιστη λύση σε κάποιο λογικό χρόνο είναι πρακτικά αδύνατο. Για να επιλύσουμε προβλήματα τέτοιας μορφής καταφεύγουμε σε διαφορετικές τεχνικές που μας οδηγούν σε μια σχεδόν βέλτιστη , αλλά ικανοποιητική λύση. Μια τέτοια τεχνική είναι οι ευρετικοί αλγόριθμοι.

Τα κυριότερα στοιχεία ενός αλγορίθμου είναι η δυνατότητα εύρεσης της βέλτιστης λύσης και ο χρόνος υπολογισμού που απαιτείται για την εύρεση αυτής. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι βρίσκουν λύσεις στο πρόβλημα που εφαρμόζονται σε ένα χρονικό διάστημα, όμως αυτό δεν σημαίνει ότι αυτές οι λύσεις είναι και οι βέλτιστες ή ότι η βέλτιστη λύση θα βρεθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Μία λύση ενός ευρετικού αλγορίθμου γίνεται αποδεκτή εάν ικανοποιεί κάποια κριτήρια όπως η ποιότητα της λύσης, δηλαδή η απόκλιση της από τη βέλτιστη, η ευκολία απόκτησης μίας λύσης, η λογική πάνω στην οποία στηρίζονται οι κανόνες του ευρετικού αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκαν για να οδηγηθούμε στη λύση. Στην κάθε λύση αντιστοιχεί ένας αριθμός π.χ. ένα κόστος ή ένα όφελος οπότε ζητείται μια λύση για την οποία ο αριθμός αυτός είναι ελάχιστος. Για κάθε πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης δεν υπάρχει μόνο ένας ευρετικός αλγόριθμος που να δίνει τη βέλτιστη λύση, αλλά έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι που συγκρινόμενοι μεταξύ τους μας οδηγούν σε καλύτερες λύσεις. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αλγορίθμων όπως :

- Αλγόριθμοι απληστίας
- Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι

- Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης

Οι δύο πρώτες κατηγορίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μιας αρχικής λύσης, ενώ η τρίτη για τη βελτίωση μιας υπάρχουσας λύσης.

Οι αλγόριθμοι απληστίας προσπαθούν να οδηγήσουν σε μια εφικτή λύση του προβλήματος, αλλά χρειάζονται πολύ χρόνο γιατί είναι μυωπικοί αλγόριθμοί, δηλαδή βλέπουν μόνο μπροστά.

Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να λύσουν το πρόβλημα χρησιμοποιώντας επιπλέον πληροφορία. Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι καλύπτουν τόσο την εγγύηση για τη λύση όσο και ότι θα έχουμε στη διάθεση μας μία καλή εφικτή λύση.

Οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης προσπαθούν από μία αρχική εφικτή λύση να βελτιώσουν τη λύση με κάποια μέθοδο αναζήτησης στη γειτονιά της λύσης. Η τοπική αναζήτηση βασίζεται στη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος. Χαρακτηριστικό της τοπικής αναζήτησης είναι ότι μπορεί να εκτελείται από διαφορετικά αρχικά σημεία και να επιλέγεται σαν βέλτιστη λύση το καλύτερο. Σημαντικό επίσης είναι να γνωρίζουμε που θα είναι τα αρχικά σημεία που πρέπει να επιλέγουμε. Για να είναι επιτυχής η διαδικασία θα πρέπει να γίνει σωστή επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την αναζήτηση. Τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά τη διάρκεια της φάσης της σχεδίασης ενός αλγορίθμου τοπικής αναζήτησης είναι:

- Η επιλογή της γειτονιάς και αυτό σχετίζεται με την ανησυχία που υπάρχει για το αν είναι ή όχι εφικτή η λύση
- Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι η ποιότητα της αρχικής λύσης. Όσο καλύτερη είναι η αρχική λύση τόσο περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να οδηγηθούμε ευκολότερα και γρηγορότερα σε βελτίωση της λύσης με τη χρήση της τοπικής αναζήτησης.

- Το τρίτο και σημαντικότερο στοιχείο για την επιτυχία του αλγορίθμου είναι η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για να βελτιώνει την αρχική λύση.

4.2 Παραδείγματα ευρετικών αλγορίθμων

1. Αλγόριθμοι κατασκευής

Οι αλγόριθμοι κατασκευής ξεκινούν από μια κενή αρχική λύση και στη συνέχεια προσθέτουν καθορισμένα τμήματα στη λύση μέχρι να βρεθεί μια ολοκληρωμένη λύση.

2. Langrangian Relaxation

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση προβλημάτων που περιέχουν περιορισμούς. Οι περιορισμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τους "καλούς" και τους "κακούς". Στην πρώτη κατηγορία το πρόβλημα λύνεται εύκολα και με την προσθήκη των "κακών" γίνεται δυσκολότερο. Έτσι, οι τελευταίοι περιορισμοί αντικαθιστώνται στην αντικειμενική συνάρτηση με βάρη που λέγονται πολλαπλασιαστές Lagrange.

3. Γενετικοί αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε προβλήματα που προσομοιώνουν την εξέλιξη των πληθυσμών ανάλογα με την εξέλιξη αυτών στη φύση. Αυτοί οι αλγόριθμοι εφαρμόζονται σε πεπερασμένο αριθμό πληθυσμών και η διαδικασία λειτουργεί επαναληπτικά, όπου κάθε επανάληψη είναι μια γενιά.

4. Αλγόριθμος Tabu Search

Σε αυτόν τον αλγόριθμο η αναζήτηση ξεκινά από μια υποψήφια λύση και μπορεί να μεταβεί σε κάποια άλλη λύση αρκεί αυτή η λύση να μην περιέχεται στην tabu-list. Στη διαδικασία υπάρχει μια tabu-list μεταβλητών που δεν πρέπει να εκτελεστούν ξανά. Όταν υπάρξει μια μεταβολή σε μια υποψήφια λύση τότε η μεταβολή προστίθεται στη λίστα και αυτό βοηθά στο να μην επαναλαμβάνονται οι ίδιες λύσεις.

5. Νοημοσύνη των σμηνών

Η νοημοσύνη των σμηνών στηρίζεται στη μελέτη της συμπεριφοράς σε αυτό-οργανωμένα σύνολα πληθυσμών όπως μέλισσες και μυρμηγκία που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον και κάνουν διάφορες εργασίες σημαντικές για το σύνολο του πληθυσμού τους. Τέτοιοι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί είναι:

- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών
- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμηνών μορίων
- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας τεχνητών μελισσών

4.3 Μεταευρετικοί αλγόριθμοι

Οι μεταευρετικοί αλγόριθμοι είναι υποκατηγορία και εξέλιξη των ευρετικών αλγορίθμων οι οποίοι δεν βρίσκουν απευθείας τη βέλτιστη λύση, αλλά βελτιώνουν την τρέχουσα λύση με τη χρησιμοποίηση δευτερευόντων ευρετικών μεθόδων. Χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση δύσκολων προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Ο μεταευρετικός αλγόριθμος είναι μια διαδικασία επαναληπτικής βελτίωσης που έχει σκοπό την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της ικανότητας παραγωγής υψηλής ποιότητας λύσεων και της ευελιξίας που χρειάζεται για να μπορεί ο αλγόριθμος να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα (π.χ περιορισμοί). Ο στόχος αυτού του αλγορίθμου είναι από τη μια ο γρήγορος προσδιορισμός των λύσεων και από την άλλη η εξοικονόμηση χρόνου από τη μη αναζήτηση σε περιοχές που έχουν εξερευνηθεί ή δεν δίνουν υψηλής ποιότητας λύσεις.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΜΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

5.1 Διατύπωση του προβλήματος

Το μοντέλο χωροθετεί δημόσια κέντρα υγείας σε μια γεωγραφική περιοχή με συγκεκριμένο αριθμό πληθυσμιακών κέντρων και κατοίκων σε κάθε κέντρο. Επίσης, σε αυτή την περιοχή υπάρχει και ένας συγκεκριμένος αριθμός ιδιωτικών κέντρων υγείας που τοποθετούνται. Το αντικείμενο είναι η μεγιστοποίηση του χαμηλόμισθου πληθυσμού που καλύπτει.

Υποθέτουμε ότι η έλξη των νέων δημόσιων κέντρων που χωροθετήθηκαν και των ήδη υπάρχοντων ιδιωτικών κέντρων είναι το ίδιο σε όρους ποιότητας υπηρεσιών και τιμών. Όμως, οι πελάτες επιλέγουν το πιο κοντινό κέντρο σε αυτούς. Επίσης, υποθέτουμε ότι η ζήτηση υπηρεσιών υγείας είναι ανελαστική.

Ο πληθυσμός είναι συγκεντρωμένος σε πληθυσμιακά κέντρα. Ο πληθυσμός σε καθένα από αυτά τα κέντρα έχει χωριστεί με βάση τα εισοδηματικά του κριτήρια σε δύο κατηγορίες α)χαμηλόμισθος και β)υψηλόμισθος. Κάθε σημείο πληθυσμού είναι χωρισμένο σε δύο τύπους, χαμηλόμισθο και υψηλόμισθο πληθυσμό. Τα άτομα που ανήκουν στις χαμηλόμισθες ομάδες δεν πληρώνουν για υπηρεσίες υγείας και μπορούν μόνο να απευθυνθούν στα κοντινά τους κέντρα υγείας, ενώ τα υψηλόμισθα άτομα μπορούν να διαλέξουν μεταξύ ιδιωτικών και δημόσιων κέντρων υγείας.

Το κεφάλαιο που απαιτείται για να καλύψει την ανέγερση και τα λειτουργικά κόστη ενός δημόσιου κέντρου προέρχονται από κρατικά έξοδα μαζί με τα έσοδα που αποκτώνται από την παροχή υπηρεσιών σε υψηλόμισθους πελάτες.

Η παροχή υπηρεσιών υγείας στους υψηλόμισθους πληθυσμούς μπορεί να ικανοποιείται είτε από δημόσια είτε από ιδιωτικά κέντρα, ενώ η κάλυψη του χαμηλόμισθου πληθυσμού δεν είναι υποχρεωτικός περιορισμός στη δομή του μοντέλου χωροθέτησης. Αυτό προκύπτει λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας κρατικών κεφαλαίων για τη λειτουργία των δημόσιων κέντρων υγείας. Επίσης, αναφερόμαστε σε μονάδες υγείας οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες που δεν είναι

ζωτικής σημασίας (όπως οι διαγνωστικές εξετάσεις), οπότε δεν κρίνεται απαραίτητη η κάλυψη ολόκληρου του πληθυσμού.

5.2 Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου χωροθέτησης-κατανομής

Το μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού για την επίλυση του προβλήματος χωροθέτησης των δημοσίων κέντρων υγείας διαμορφώνεται ως εξής:

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\text{Max}Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in Q_i} P_i * x_{ij} \quad (1)$$

υπό τους περιορισμούς

$$x_{ij} \leq y_j, \forall i \in I, \forall j \in Q_i \quad (2)$$

$$w_{ik} \leq y_k, \forall i \in I, \forall k \in K_i \quad (3)$$

$$\sum_{j \in Q_i} x_{ij} \leq 1, \forall i \in I \quad (4)$$

$$u_{mm} = 1, \forall m \in M \quad (5)$$

$$(\sum_{m \in M} u_{im}) + (\sum_{k \in K_i} w_{ik}) = 1, \forall i \in I \quad (6)$$

$$\left(\frac{\sum_{i \in I} \sum_{k \in K_i} (R_i * w_{ik} * cc) + SM}{E} \right) = nc \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq nc \quad (8)$$

$$x_{ij}, u_{im}, w_{ik}, y_j = 0, 1 \quad \forall i \in I, j \in Q_i, k \in K_i, m \in M \quad (9)$$

όπου:

I, i = θέση των πληθυσμιακών κέντρων

J, j = θέση των σημείων που είναι υποψήφια για την τοποθέτηση δημόσιων κέντρων υγείας

M, m = θέση των σημείων όπου είναι τοποθετημένα τα ιδιωτικά κέντρα

D_{ij} = η μικρότερη απόσταση μεταξύ των σημείων i και j (των κέντρων πληθυσμού από τα δημόσια κέντρα)

S = μέγιστη καλυπτόμενη απόσταση για τον χαμηλόμισθο πληθυσμό

$K_i = \{j \in J \mid d_{ij} < \min(d_{im})\}$, το σύνολο των υποψήφιων θέσεων j για την τοποθέτηση δημοσίων κέντρων που είναι πιο κοντά στο πληθυσμιακό κέντρο i από το κοντινότερο ιδιωτικό κέντρο m

$Q_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$, είναι το σύνολο των υποψήφιων θέσεων j για την τοποθέτηση δημοσίων κέντρων που είναι μέσα στην απόσταση S του πληθυσμιακού κέντρου i (ευκλείδεια απόσταση)

P_i = ο χαμηλόμισθος πληθυσμός στο κέντρο i

R_i = ο υψηλόμισθος πληθυσμός στο κέντρο i

nc = ο αριθμός των δημοσίων κέντρων που θα τοποθετηθούν

cc = το ποσό που πληρώνεται για την εξυπηρέτηση από κάθε υψηλόμισθο πελάτη

E = το ετήσιο κόστος ενός δημοσίου κέντρου

SM = η ετήσια επιδότηση που πληρώνεται από το κράτος για κάθε δημοσίο κέντρο

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{αν το δημοσίο κέντρο τοποθετείται στη θέση } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο χαμηλόμισθος πληθυσμός στο κέντρο } i \\ & \text{κατανεμηθεί στο δημοσίο κέντρο στη θέση } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

$$w_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο υψηλόμισθος πληθυσμός στο κέντρο } i \\ & \text{κατανεμηθεί στο δημοσίο κέντρο που} \\ & \text{τοποθετείται στο } k \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

$$u_{im} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο υψηλόμισθος πληθυσμός στο κέντρο } i \\ & \text{κατανεμηθεί στο ιδιωτικό κέντρο στη θέση } m \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί τον χαμηλόμισθο πληθυσμό που καλύπτεται από τις υπηρεσίες των δημοσίων κέντρων. Ο περιορισμός 2 κατανέμει τον

χαμηλόμισθο πληθυσμό σε ένα δημόσιο κέντρο που βρίσκεται μέσα στην καλυπτόμενη απόσταση. Ο περιορισμός 3 προτρέπει τον υψηλόμισθο πληθυσμό που περιτριγυρίζεται από δημόσια κέντρα να κατανεμηθεί μόνο στα δημόσια κέντρα που είναι πιο κοντά σε αυτούς από οποιοδήποτε ιδιωτικό κέντρο. Βασική υπόθεση είναι ότι αυτός ο πληθυσμός θα διαλέξει ένα δημόσιο κέντρο όταν είναι πιο κοντά από οποιοδήποτε ιδιωτικό. Ο περιορισμός 4 θέτει ότι ο χαμηλόμισθος πληθυσμός στην περιοχή i κατανέμεται σε ένα κέντρο το πολύ. Ο περιορισμός 5 προτρέπει τον υψηλόμισθο πληθυσμό που ζει σε μια περιοχή όπου υπάρχει ιδιωτικό κέντρο να κατανεμηθεί σε αυτό. Ο περιορισμός 6 θέτει ότι ο υψηλόμισθος πληθυσμός στη θέση i κατανέμεται είτε σε ένα ιδιωτικό είτε σε ένα δημόσιο κέντρο μια φορά και αυτό γιατί ο υψηλόμισθος πληθυσμός πάντα θα έχει εξυπηρέτηση είτε δημόσια είτε ιδιωτική. Ο περιορισμός 7 ορίζει τη μεταβλητή nc , τον αριθμό των κέντρων που είναι δυνατόν να χωροθετηθούν, εφόσον δοθούν οι διαθέσιμοι πόροι. Αυτοί οι πόροι είναι το άθροισμα των επιδοτήσεων και των εσόδων που αποκτώνται από τον υψηλόμισθο πληθυσμό που κατανέμεται σε αυτά τα δημόσια κέντρα. Όσο αυτός ο πληθυσμός αυξάνεται, ο αριθμός των κέντρων υγείας επίσης αυξάνεται και περισσότερος χαμηλόμισθος πληθυσμός μπορεί να εξυπηρετηθεί. Ο περιορισμός 8 θέτει ότι δεν μπορούν να οικοδομηθούν περισσότερα από nc κέντρα υγείας. Οι περιορισμοί 7 και 8 μπορούν να συνδυαστούν σε ένα περιορισμό. Ο περιορισμός 9 δηλώνει ότι αυτές οι μεταβλητές είναι δυαδικές.

Οι μεταβλητές u_{ij} ορίζονται μόνο για τις θέσεις j που υπάρχουν ιδιωτικά κέντρα. Οι μεταβλητές w_{ij} ορίζονται μόνο για τις θέσεις j που ανήκουν στο k_i , το σύνολο των υποψήφιων θέσεων για χωροθέτηση που είναι πιο κοντά στο i από το πλησιέστερο ιδιωτικό κέντρο υγείας. Οι μεταβλητές x_{ij} ορίζονται μόνο για τις θέσεις j που ανήκουν στο Q_i , το σύνολο των υποψήφιων θέσεων που βρίσκονται μέσα στην επικαλυπτόμενη απόσταση.

Η αντικειμενική συνάρτηση οδηγεί όσο το δυνατόν περισσότερες μεταβλητές x_{ij} να πάρουν την τιμή 1 στη λύση του προβλήματος. Ο περιορισμός 2 θέτει όσο το δυνατόν περισσότερες μεταβλητές y_j να πάρουν την τιμή 1 και το ίδιο θέτουν και οι 7 και 8, οι μεταβλητές w_{ik} επίσης ωθούνται να πάρουν την τιμή 1 στην επίλυση. Έτσι, αν και η αντικειμενική μεγιστοποιεί την κάλυψη του χαμηλόμισθου πληθυσμού, η δομή του μοντέλου ωθεί την μέγιστη κάλυψη και του υψηλόμισθου πληθυσμού.

Κάποια ιδιωτικά κέντρα θα παρέχουν καλύτερη ποιότητα εξυπηρέτησης από τα δημόσια. Έτσι, πλούσιοι πελάτες ίσως επιλέξουν να ταξιδέψουν πιο μακριά από το πιο κοντινό δημόσιο κέντρο. Ωστόσο, η επιπλέον απόσταση που είναι διατεθειμένοι να διανύσουν αυτοί οι πελάτες δεν είναι απεριόριστη και μπορεί να μετρηθεί. Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι ένας μέσος υψηλόμισθος πελάτης είναι πρόθυμος να διανύσει μια απόσταση D μίλια (ή ένα ποσοστό α τοις εκατό μεγαλύτερη απόσταση) μεγαλύτερη από την απόσταση στο πιο κοντινό δημόσιο κέντρο, για να έχει καλύτερη εξυπηρέτηση. Στο μοντέλο, αυτή η επιπλέον απόσταση θα άλλαζε τη μεταβλητή K_j σε $K_i = \{j \in J \mid d_{ij} < \min(d_{im}) - D\}$ που είναι το σύνολο των υποψήφιων θέσεων j που είναι πιο κοντά κατά τουλάχιστον D στη ζήτηση στη θέση i από το κοντινότερο ιδιωτικό κέντρο m ή $K_i = \{j \in J \mid (1+\alpha)d_{ij} < \min(d_{im}) - D\}$ που είναι το σύνολο των υποψήφιων θέσεων j που είναι πιο κοντά τουλάχιστον κατά ένα ποσοστό α τοις εκατό στη ζήτηση στη θέση i από το πιο κοντινό ιδιωτικό κέντρο m .

5.3 Εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου χωροθέτησης-κατανομής

Παρακάτω παρουσιάζεται μια εφαρμογή για την εύρεση της πιο αποτελεσματικής τοποθέτησης των δημοσίων κέντρων υγείας σε ανταγωνισμό με τα υπάρχοντα ιδιωτικά κέντρα υγείας στην πόλη Σαντιάγκο της Χιλής (Optimal location of public health centres which provide free and paid service, 2001).

Υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να υπάρξει αποτελεσματικότερη χωροθέτηση των δημοσίων κέντρων υγείας ώστε να καλύπτουν τον χαμηλόμισθο πληθυσμό. Ενώ, τα ιδιωτικά κέντρα εξυπηρετούν μόνο τους πελάτες που μπορούν να πληρώσουν για τις υπηρεσίες που τους παρέχονται, τα δημόσια κέντρα παρέχουν εξυπηρέτηση επί πληρωμή στους υψηλόμισθους πελάτες και επιδοτούμενες υπηρεσίες σε πελάτες που ανήκουν στις χαμηλόμισθες ομάδες. Επίσης, οι χαμηλόμισθοι πελάτες θα απευθυνθούν σε κάποιο δημόσιο κέντρο υγείας, ενώ οι υψηλόμισθοι πελάτες μπορούν να επιλέξουν το κέντρο που θα απευθυνθούν είτε είναι δημόσιο είτε ιδιωτικό. Στα δημόσια κέντρα τα έσοδα που αποκτώνται από τις επί πληρωμή υπηρεσίες χρησιμοποιούνται για να καλύψουν μερικώς το κόστος των επιδοτούμενων υπηρεσιών και ο αριθμός των δημοσίων κέντρων που θα

τοποθετηθούν εξαρτάται από τον αριθμό των υψηλόμισθων πελατών που θα εξυπηρετεί. Ένας υψηλόμισθος πελάτης επιλέγει το δημόσιο κέντρο υγείας εάν αυτό βρίσκεται πιο κοντά σε αυτόν από τα υπάρχοντα ιδιωτικά κέντρα υγείας. Για να λυθεί το πρόβλημα πρέπει να μεγιστοποιηθεί η κάλυψη του χαμηλόμισθου πληθυσμού από τις υπηρεσίες των δημοσίων κέντρων υγείας.

Για να αξιολογηθεί η απόδοση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ένα δίκτυο 30 κόμβων στην πόλη του Σαντιάγκο στη Χιλή.

ΚΟΜΒΟΣ	X	Y	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΖΩΝΗ
1	3,2	3,1	370	2
2	2,9	3,2	360	3
3	2,7	3,6	290	1
4	2,9	2,9	240	2
5	3,2	2,9	240	2
6	2,6	2,5	160	3
7	2,4	3,3	220	3
8	3,0	3,5	190	1
9	2,9	2,7	190	3
10	2,9	2,1	190	3
11	3,3	2,8	160	2
12	1,7	5,3	150	1
13	3,4	3,0	140	2
14	2,5	6,0	120	1
15	2,1	2,8	120	3
16	3,0	5,1	110	1
17	1,9	4,7	100	1
18	1,7	3,3	100	1
19	2,2	4,0	90	1
20	2,5	1,4	90	3
21	2,9	1,2	90	3
22	2,4	4,8	80	1
23	1,7	4,2	80	1
24	2,4	2,0	80	3
25	1,9	2,1	80	3

26	1,0	3,2	80	3
27	3,4	5,6	70	1
28	1,2	4,7	70	1
29	1,9	3,8	60	1
30	2,7	4,1	60	1

Το δίκτυο αυτό χωρίστηκε σε 3 ζώνες όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα με βάση το εισόδημα των πελατών σε κάθε κόμβο. Η τιμολόγηση σε κάθε ζώνη είναι διαφορετική καθώς και το ποσό που πληρώνεται από τους υψηλόμισθους πελάτες. Στη ζώνη 1 το ποσό πληρωμής για κάθε υψηλόμισθο πελάτη είναι 25,8\$ και το 45,2% του πληθυσμού είναι χαμηλόμισθος. Στη ζώνη 2 το ποσό που πληρώνεται από κάθε υψηλόμισθο πελάτη είναι 44\$ και το 31,8% του πληθυσμού είναι χαμηλόμισθος. Τέλος, στη ζώνη 3 το ποσό πληρωμής είναι 41,4\$ και το ποσοστό του χαμηλόμισθου πληθυσμού είναι 18,2%.

Επιπρόσθετα, κάθε πελάτης απαιτεί κατά προσέγγιση εξυπηρέτηση μια φορά το χρόνο. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ του κάθε κόμβου και του δημοσίου κέντρου υγείας έχει τεθεί στο 1,5 χλμ. Το κόστος διατήρησης (E) ενός κέντρου για ένα χρόνο είναι 82400\$. Αφού, το πρόβλημα θα λυθεί από το δημόσιο φορέα, το ποσό της επιδότησης είναι μια δεδομένη ποσότητα ή μπορεί να τροποποιηθεί με τη λύση του προβλήματος. Το λειτουργικό κόστος ενός κέντρου (δηλαδή το κόστος έναρξης λειτουργίας, το μισθοδολογικό κόστος και τα γενικά κόστη), καθώς και το κόστος για κάθε λειτουργία (το οποίο εξαρτάται από κόστος συντήρησης του εξοπλισμού, το κόστος λειτουργίας καθώς και το κόστος του προσωπικού που απαιτείται για να χειριστεί τον εξοπλισμό). Η τιμή της κάθε υπηρεσίας τιμολογείται σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.

Παρακάτω, λύνονται πολλές περιπτώσεις του προβλήματος χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές επιδότησης. Επίσης, λόγω του ανταγωνισμού που υπάρχει με τα ιδιωτικά κέντρα υγείας, δημιουργήθηκαν κάποια σενάρια στα οποία κάθε φορά θεωρείται διαφορετικός αριθμός και διαφορετικές θέσεις ιδιωτικών κέντρων. Για παράδειγμα στο σενάριο 1, δύο ιδιωτικά κέντρα είναι τοποθετημένα στους κόμβους 3 και 5. Ο ίδιος αριθμός ιδιωτικών κέντρων είναι τοποθετημένα στα σενάρια 2 και 3

(στις θέσεις 10 και 12, και 27 και 28 αντίστοιχα). Αυτά τα σενάρια δημιουργήθηκαν ώστε να παρουσιαστεί ένας ευρύς αριθμός περιπτώσεων.

5.4 Εύρεση βέλτιστων λύσεων

Το πρόβλημα λύνεται στο EXCEL. Όπως είναι αναμενόμενο, σε όλες τις περιπτώσεις όσο αυξάνεται η επιδότηση, αυξάνεται η κάλυψη του χαμηλόμισθου πληθυσμού και μειώνεται η "σύλληψη" του υψηλόμισθου πληθυσμού. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο η επιδότηση αυξάνεται, η ανάγκη για προσέλκυση υψηλόμισθων πελατών μειώνεται και τα κέντρα είναι ελεύθερα να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιηθεί η κάλυψη του χαμηλόμισθου πληθυσμού. Από την άλλη μεριά, όσο η επιχορήγηση μειώνεται, τα κέντρα πρέπει να τοποθετηθούν πιο κοντά στον υψηλόμισθο πληθυσμό ώστε να μπορέσουν να επιβιώσουν. Αυτό φαίνεται και από τον πίνακα 2 όπου βλέπουμε τις λύσεις για το σενάριο 1.

Πίνακας 2: αποτελέσματα από το σενάριο 1

Επιδότηση	Δημόσια		
	κέντρα υγείας	Υψηλόμισθος πληθυσμός	Χαμηλόμισθος πληθυσμός
20 000	-		
30 000	4	{2, 4, 6, 9, 10, 15,20, 21, 24, 25}	{1-11, 13, 15, 18, 19, 24, 25, 29, 30}
40 000	4	{2, 4, 6, 9, 10, 15, 20, 21, 24, 25}	{1-11, 13, 15, 18, 19, 24, 25, 29, 30}
50 000	9	{4, 6, 9, 10, 15, 20, 21, 24, 25}	{1-11, 13, 15, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 29, 30}
60 000	9	{4, 6, 9, 10, 15, 20, 21, 24, 25}	{1-11, 13, 15, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 29, 30}
70 000	7	{7, 15, 18, 23, 25, 26, 28, 29}	{1-11, 13, 15, 17, 18, 19, 23-26, 29, 30}
80 000	7	{7, 15, 18, 23, 25, 26, 28, 29}	{1-11, 13, 15, 17, 18, 19, 23-26, 29, 30}
90 000	7	7, 15, 18, 23, 25, 26, 28, 29}	{1-11, 13, 15, 17, 18, 19, 23-26, 29, 30}
100 000	4	{2, 4, 6, 9, 10, 15,20, 21, 24, 25}	{1-11, 13, 19, 24, 25, 29, 30}
	19	{12, 14, 16-19, 22, 23, 26, 27, 28,	{12, 15-18, 22, 23, 26, 28}

			29}
110 000	4	{2, 4, 6, 9, 10, 15,20, 21, 24, 25}	{1-11, 13, 15, 18, 19, 24, 25, 29}
	22	{12, 14, 16, 17, 22, 23, 27, 28}	{12, 14, 16, 17, 22, 23, 27, 28, 30}
120000- 170000	9	{4, 6, 9, 10, 15, 20, 21, 24, 25}	{1-11, 13, 15, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 29, 30}
	22	{12, 14, 16, 17, 22, 23, 27, 28}	{12, 14, 16, 17, 22, 23, 27, 28}
180 000	4	{2, 4, 6, 9, 10, 15, 25}	{1, 2, 4-11, 13, 15, 18, 19, 24, 25, 29, 30}
	22	{2, 14, 16, 17, 22, 23, 27, 28}	{3, 12, 14, 16, 17, 22, 23, 27, 28}
	25	{20, 21, 24, 26}	{20, 21, 26}

Σε αυτό το σενάριο, όταν η επιδότηση είναι μικρότερη από 30.000\$, δεν είναι δυνατό να τοποθετηθεί κανένα δημόσιο κέντρο. Όσο η επιδότηση αυξάνεται στις 30.000\$ ένα δημόσιο κέντρο τοποθετείται στον κόμβο 4 που προσελκύει υψηλόμισθο πληθυσμό από τους κόμβους 2,4,6,9,10,15,20,21,24 , ενώ καλύπτει και τον χαμηλόμισθο πληθυσμό τους κόμβους 1-11, 13,15,18,19,24,25,29,30. Όσο η επιδότηση αυξάνεται στις 50.000\$ το κέντρο μπορεί να επιβιώσει προσελκύοντας μικρότερο αριθμό υψηλόμισθων πελατών, έτσι το κέντρο τοποθετείται στον κόμβο 9 όπου καλύπτει τον υψηλόμισθο πληθυσμό στους κόμβους 4,6,9,10,15,20,21,24,25 και καλύπτει μεγαλύτερο αριθμό χαμηλόμισθου πληθυσμού στους κόμβους 1-11, 13, 15, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 29, 30. Το μοτίβο επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η επιδότηση φτάνει τις 90.000\$. Όταν η επιδότηση αυξάνεται ακόμα περισσότερο στις 100.000\$, τότε η επιδότηση μαζί με τον υψηλόμισθο πληθυσμό που επιλέγει το δημόσιο κέντρο για την εξυπηρέτηση του, αρκούν για τη δημιουργία δύο δημοσίων κέντρων. Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα με μια επιδότηση 100.000\$ τοποθετούνται δύο δημόσια κέντρα υγείας στους κόμβους 4 και 19. Όταν η επιδότηση φτάνει τις 180.000\$ τότε βλέπουμε ότι τοποθετούνται τρία δημόσια κέντρα υγείας στους κόμβους 4, 22, 25 όπου αποκτάται και η μέγιστη κάλυψη με τρία κέντρα γιατί καλύπτεται όλος ο χαμηλόμισθος πληθυσμός. Αν τοποθετηθεί μόνο ένα κέντρο η θέση του θα εξαρτηθεί από το ποσό της επιδότησης.

Έτσι το μοντέλο συμπεριφέρεται σαν μοντέλο μέγιστης κάλυψης με το βάρος να είναι στην κάλυψη του χαμηλόμισθου πληθυσμού. Η άλλη περίπτωση είναι να συμπεριφέρεται σαν μοντέλο μέγιστης "σύλληψης" με το βάρος να πέφτει στην προσέλκυση υψηλόμισθου πληθυσμού, μόνο αν αυτό βοηθά στη δημιουργία επιπλέον δημοσίων κέντρων.

Κάποιες τοποθεσίες δημοσίων κέντρων εμφανίζονται ως βέλτιστες σε πολλές περιπτώσεις. Ένας λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι δεν έχει σημασία πόσο μεγάλη είναι η επιδότηση, πόσα ιδιωτικά κέντρα υπάρχουν ή που είναι τοποθετημένα αυτά τα ιδιωτικά κέντρα. Ένα δημόσιο κέντρο υγείας που είναι τοποθετημένο σε μια συγκεκριμένη θέση, πάντα θα καλύπτει τον ίδιο αριθμό χαμηλόμισθων πελατών, γιατί η κάλυψη εξαρτάται μόνο από την καλυπτόμενη απόσταση. Δεν είναι το ίδιο για τη προσέλκυση του υψηλόμισθου πληθυσμού που εξαρτάται από τον αριθμό και την τοποθεσία των ιδιωτικών κέντρων, αφού ο υψηλόμισθος πελάτης θα επιλέξει το κέντρο που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτόν είτε είναι ιδιωτικό είτε δημόσιο κέντρο υγείας. Παρόλο που ο αριθμός των ιδιωτικών κέντρων υγείας δεν επηρεάζει σημαντικά την αντικειμενική συνάρτηση, η τοποθεσία τους επιδρά στην ανάγκη για επιδότηση. Αυτό φαίνεται συγκρίνοντας τις αλλαγές στην επιδότηση που χρειάζεται για μέγιστη κάλυψη, σε διαφορετικές περιπτώσεις με τον ίδιο αριθμό ιδιωτικών κέντρων.

5.5 Υπολογισμός αλγόριθμου

Το μέγεθος των πραγματικών προβλημάτων μπορεί να διαφέρει, αφού ένα ευρύ δίκτυο μπορεί να έχει εκατοντάδες κόμβους, όπου ένας κόμβος αντιπροσωπεύει μια περιοχή μιας πόλης. Δεδομένου του χρόνου τρεξίματος που χρειάζεται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης του μοντέλου για μεγαλύτερα δίκτυα είναι πιθανότατα πολύ χρονοβόρο έχει αναπτυχθεί μια τεχνική, ένας αλγόριθμος, που βρέθηκαν βέλτιστες λύσεις σε όλες τις περιπτώσεις.

Τα δεδομένα εισόδου για τον αλγόριθμο είναι τα ακόλουθα για όλους τους κόμβους ζήτησης:

- Η απόσταση από το i προς όλες τις υποψήφιες θέσεις j .
- Το σύνολο \mathbf{k}_i .

- Ο χαμηλόμισθος πληθυσμός στο i .
- Ο υψηλόμισθος πληθυσμός στο i .

Ακολουθεί η περιγραφή της εφαρμογής.

Βήμα 1: Δημιουργείται μια λίστα όλων των υποψήφιων κόμβων. Για κάθε υποψήφιο κόμβο j υπολογίζονται τα ακόλουθα στοιχεία.

- Η τιμή της αντικειμενικής αν μόνο ένα δημόσιο κέντρο υγείας τοποθετηθεί σε αυτόν τον κόμβο.
- Τα έσοδα που αποκτώνται από την προσέλκυση του υψηλόμισθου πληθυσμού από το μοναδικό κέντρο που τοποθετείται σε αυτό τον κόμβο. Το κέντρο αυτό "συλλαμβάνει" τους υψηλόμισθους πελάτες για τους οποίους είναι το πιο κοντινό κέντρο.

Βήμα 2: Για κάθε υποψήφια θέση j υπάρχει ένα σημείο για να τοποθετηθεί ένα δεύτερο κέντρο, έχοντας υπόψη το πρώτο κέντρο που τοποθετείται στη θέση j . Όταν βρεθεί η θέση του δεύτερου κέντρου, μόνο ο πληθυσμός που δεν έχει καταναμηθεί στο κέντρο j θα ληφθεί υπόψη. Υπολογίζονται τα ίδια στοιχεία όπως στο βήμα 1. Και τα δύο κέντρα διατηρούνται σαν μια βέλτιστη λύση, αν τα έσοδα που αποκτώνται από την προσέλκυση του υψηλόμισθου πληθυσμού και στα δύο κέντρα μαζί με την επιδότηση αρκούν για να διατηρηθούν και τα δύο. Διαφορετικά, οι θέσεις δεν διατηρούνται σαν πιθανή λύση.

Βήμα 3: Για κάθε ζεύγος θέσεων που βρέθηκαν στο βήμα 2, ένα τρίτο κέντρο τοποθετείται χρησιμοποιώντας τα ίδια κριτήρια με πριν.

Βήμα 4: Η διαδικασία συνεχίζεται σχηματίζοντας νέες λύσεις, μέχρι να μην μπορούν να προστεθούν άλλα κέντρα σε καμία λύση. Αυτό συμβαίνει για πολλούς λόγους:

- Η λύση περιλαμβάνει αρκετά δημόσια κέντρα ώστε να καλυφθεί όλος ο χαμηλόμισθος πληθυσμός και δεν υπάρχει λόγος να προστεθούν άλλα κέντρα. Υπάρχουν τόσα δημόσια κέντρα όσοι οι κόμβοι ζήτησης.
- Η οριακή "σύλληψη" από ένα δημόσιο κέντρο που προστίθεται στη λύση δεν είναι αρκετή για να χρηματοδοτήσει το πρόσθετο κέντρο.

Βήμα 5: Επιλέγεται η βέλτιστη λύση από όλες τις πιθανές λύσεις.

Παρακάτω οι πίνακες 3-6 συγκρίνουν τις βέλτιστες λύσεις με τις λύσεις που βρέθηκαν από τον αλγόριθμο. Οι αντικειμενικές τιμές που βρέθηκαν από τον αλγόριθμο είναι βέλτιστες. Και για τις δύο μεθόδους βλέπουμε την τιμή της επιδότησης, την τιμή της αντικειμενικής και τον αριθμό του υψηλόμισθου πληθυσμού

Πίνακας 3 : Λύσεις για σενάριο 1

Υψηλόμισθος πληθυσμός	Θέση των δημοσίων Κέντρων υγείας
-----------------------	-------------------------------------

που προσελκύεται από τα δημόσια

Επιδότηση	Αντικειμενική συνάρτηση	EXCEL	Αλγόριθμος	EXCEL	Αλγόριθμος
20 000	0	0	0		
30 000	977	1262	1262	4	4
40 000	977	1262	1262	4	4
50 000	1009	968	968	9	9
60 000	1009	968	968	9	9
70 000	1073	578	578	7	7
80 000	1073	578	578	7	7
90 000	1073	578	578	7	7
100 000	1259	1891	1891	4, 19	4, 19
110 000	1330	1689	1689	4, 22	4, 22
120 000	1362	1395	1141	9, 22	9, 22
130 000	1362	1395	1141	9, 22	6, 22
140 000	1362	1395	1141	9, 22	6, 22
150 000	1362	1395	1141	9, 22	6, 22
160 000	1362	1395	1141	9, 22	6, 22
170 000	1362	1395	1141	9, 22	6, 22
180 000	1377	1754	1754	4, 22, 25	4, 22, 25

κέντρα. Επίσης, βλέπουμε τις θέσεις των δημοσίων κέντρων και στις δύο περιπτώσεις.

Πίνακας 4: Λύσεις για το σενάριο 2

Επιδότηση	Αντικειμενική συνάρτηση	Υψηλόμισθος πληθυσμός		Θέση των δημοσίων Κέντρων υγείας	
		EXCEL	Αλγόριθμος	EXCEL	Αλγόριθμος
0 000	1009	2094	2094	9	9
10 000	1009	2094	2094	9	9
20 000	1019	1772	1772	8	8
30 000	1073	1502	1502	7	7
40 000	1073	1502	1502	7	7
50 000	1073	1502	1502	7	7
60 000	1073	1502	1502	7	7
70 000	1073	1502	1502	7	7
80 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
90 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
100 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
110 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
120 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
130 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
140 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
150 000	1362	2449	2449	6, 22	6, 22
160 000	1377	2323	2331	6, 7, 22	2, 22, 24

Στα σενάρια 2 και 3 ένα δημόσιο κέντρο δημιουργείται χωρίς καμία επιδότηση. Αυτό είναι δυνατόν γιατί η έλλειψη ανταγωνιστικών ιδιωτικών κέντρων υγείας επιτρέπει τη "σύλληψη" αρκετά υψηλόμισθων πελατών από ένα δημόσιο κέντρο που βρίσκεται στη σωστή θέση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, και οι θέσεις και η κάλυψη που βρέθηκαν από τους δύο τρόπους επίλυσης είναι τα ίδια. Σημείωση μόνο ότι στις λύσεις του αλγορίθμου προσελκύεται περισσότερος υψηλόμισθος πληθυσμός.

Πίνακας 5 : Λύσεις για το σενάριο 3

Επιδότηση	Αντικειμενική συνάρτηση	Υψηλόμισθος πληθυσμός		Θέση των δημοσίων Κέντρων υγείας	
		EXCEL	Αλγόριθμος	EXCEL	Αλγόριθμος
0 000	1073	2576	2576	7	7
50000	1073	2576	2576	7	7
60000	1361	2675	2675	15,22	15,22
70000	1362	2610	2610	6,22	6,22
80000	1362	2610	2610	6,22	6,22
90000	1362	2610	2610	9,22	6,22
100000	1362	1395	2610	9,22	6,22
110000	1362	1395	2610	9,22	6,22
120000	1362	1395	2610	9,22	6,22
130000	1362	1395	2610	9,22	6,22
140000	1377	2779	2785	9,16,23	6,14,23

Πίνακας 6 : Λύσεις για το σενάριο 4

Επιδότηση	Αντικειμενική συνάρτηση	Υψηλόμισθος πληθυσμός		Θέση των δημοσίων Κέντρων υγείας	
		EXCEL	Αλγόριθμος	EXCEL	Αλγόριθμος
30000	0	0	0		
40000	977	1253	1253	4	4
50000	1019	1005	1005	8	8
60000	1029	786	786	3	3
70000	1073	579	579	7	7
80000	1073	579	579	7	7
90000	1073	579	579	7	7
100000	1073	579	579	7	7
110000	1298	1439	1439	4,12	4,12
120000	1330	1253	1253	4,22	4,22
130000	1330	1253	1253	4,22	4,22
140000	1330	1253	1253	4,22	4,22
150000	1361	463	463	15,22	15,22
160000	1362	278	278	22,24	22,24
170000	1362	278	278	22,24	22,24
180000	1362	278	278	22,24	22,24
190000	1377	1522	1522	4,22,25	22,24

Βλέπουμε ότι στο σενάριο 1, όταν η επιδότηση που δίνεται είναι 20.000\$ δεν τοποθετείται κανένα δημόσιο κέντρο. Όταν η επιδότηση ανεβαίνει στα 30.000\$, τότε από την αντικειμενική συνάρτηση φαίνεται ότι ο χαμηλόμισθος πληθυσμός που καλύπτεται είναι 977 άτομα. Ο υψηλόμισθος πληθυσμός που θα "συλληφθεί" από το δημόσιο κέντρο που τοποθετείται στον κόμβο 4 είναι 1262 άτομα. Όταν η επιδότηση φτάνει τις 180.000\$ τότε δημιουργούνται τρία δημόσια κέντρα στους κόμβους 4, 22 και 25 και ο χαμηλόμισθος πληθυσμός που καλύπτεται από αυτά τα κέντρα είναι 1377 άτομα, ενώ ο υψηλόμισθος πληθυσμός είναι 1754 άτομα.

Στο σενάριο 2 αυτό που παρατηρούμε είναι ότι ακόμα και χωρίς καμία επιδότηση τοποθετείται ένα δημόσιο κέντρο στον κόμβο 9 όπου καλύπτει 1009 άτομα και 2094 άτομα υψηλόμισθου πληθυσμού θα επιλέξουν το δημόσιο κέντρο για την εξυπηρέτησή τους.

Όπως και στο σενάριο 3 παρατηρούμε ότι με μηδενική επιδότηση τοποθετείται ένα δημόσιο κέντρο. Τέλος, οι διαφορές στον τρόπο επίλυσης με τον αλγόριθμο Ανάλυσης Χωροθέτησης και την ευρετική μέθοδο όπως βλέπουμε από τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι ελάχιστες.

6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ένα μοντέλο για τη τοποθέτηση ανταγωνιστικών δημοσίων κέντρων υγείας και ένας αλγόριθμος για να λυθεί το πρόβλημα παρουσιάστηκαν παραπάνω. Η κύρια συνεισφορά αυτού του μοντέλου είναι ότι λαμβάνει υπόψη την προσέλκυση του υψηλόμισθου πληθυσμού, ενώ μεγιστοποιεί την κάλυψη του χαμηλόμισθου πληθυσμού. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι το μοντέλο συμπεριφέρεται σαν μοντέλο μέγιστης προσέλκυσης με το βάρος να πέφτει στον υψηλόμισθο πληθυσμό μόνο έναν η προσέλκυση του βοηθά στο να δημιουργηθούν επιπλέον κέντρα. Σε κάθε άλλη περίπτωση το μοντέλο συμπεριφέρεται σαν μοντέλο μέγιστης κάλυψης όπου λαμβάνει υπόψη τον χαμηλόμισθο πληθυσμό. Επίσης, το μοντέλο θεωρεί το κράτος και τον ιδιωτικό τομέα σαν δύο ανταγωνιστικές οντότητες, που τείνει να βελτιώσει τις δημόσιες υπηρεσίες στην περίπτωση που δεν είναι τόσο καλές όσο θα έπρεπε. Επιβάλλει στον δημόσιο τομέα τη χρήση των ίδιων εργαλείων διαχείρισης με τον ιδιωτικό, δηλαδή τον ανταγωνισμό και την προσέλκυση πελατών. Εξοικονομεί κάποια χρήματα από τον κρατικό προϋπολογισμό με τη "σύλληψη" υψηλόμισθων πελατών.

Το μοντέλο που προκύπτει είναι ιεραρχικό και χρησιμοποιεί τόσο την έννοια της μέγιστης κάλυψης από μια υπηρεσία όσο και την "σύλληψη" της αγοράς. Ο αλγόριθμος βρήκε βέλτιστη λύση σε όλες τις περιπτώσεις του προβλήματος που μελετήθηκε.

Το μοντέλο και ο αλγόριθμος εφαρμόστηκαν σε ένα πιλοτικό παράδειγμα. Τα αποτελέσματα δείχνουν τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση του ανταγωνισμού, όταν σχεδιάζονται δημόσιες υπηρεσίες. Στο παράδειγμα, κάθε δημόσιο κέντρο χωρίς υψηλόμισθους πελάτες χρειάζεται μια ετήσια επιδότηση πάνω από 80.000\$. Σε όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν αυτό το ποσό μειώθηκε από τη "σύλληψη" πελατών που πλήρωναν για τις υπηρεσίες. Σε κάποιες περιπτώσεις δεν υπήρχε η ανάγκη για επιδότηση. Το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη την ικανότητα του κάθε μοντέλου σαν παράμετρο. Ωστόσο, αυτή η ικανότητα μπορεί να υπολογιστεί από τη λύση του μοντέλου.

7. Βιβλιογραφία

1. Χατζηθωμά Ανδρούλα (2007): “Η σχέση της ανάλυσης χωροθέτησης με τους αλγορίθμους ομαδοποίησης”, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών τμήμα Μαθηματικών και Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής σελ. 18-20, 74-76
2. Μητρόπουλος Παναγιώτης (2007): “Πολυκριτηριακή ανάλυση στη λήψη αποφάσεων για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων και την κατανομή πόρων”, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων σελ. 14-16
3. Κωστάκη Χαρά (2007): “Μέθοδοι εισαγωγής και επίδραση των νέων τεχνολογιών και της πληροφορικής σε μονάδες υγείας”, διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών
4. Παπλά Νεκταρία- Κονδύλω (2009): “Πολυκριτηριακή ανάλυση και χωροθέτηση τραπεζικών καταστημάτων”, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων σελ. 9-11
5. V Marianon and P Taborga (2001): “Optimal location of public health centres which provide free and paid services”, Journal of the Operational Research Society. σελ. 1-10
6. Shams-ur Rahman and David K. Smith : European Journal of operation research (2000): “Use of location- allocation models in health service development planning in developing nations”, σελ. 437-452
7. Ιωάννης Μαρινάκης και Αθανάσιος Μυγδαλάς (2008): “Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας”, Εκδόσεις “σοφία” Θεσσαλονίκη, σελ. 53-62, 281-286
8. Λουκάκης Ιωάννης (2010): “Το πρόβλημα χωροθέτησης των μονάδων Πυρόσβεσης-Διάσωσης: Θεωρία και Μεθοδολογία της έρευνας”, διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο τμήμα Γεωγραφίας, σελ. 30-35
9. Cohon J.L (1978): Multiobjective Programming and Planning
10. Plastria F. (1995): “Continuous location problems. In Drezner Z. (Ed.) Facility location: A survey of applications and methods”

11. Δούμπος Μιχάλης (2007). : “Πολυκριτήρια συστήματα αποφάσεων-Σημειώσεις Μαθήματος”, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
12. Θανασούλας Δήμος (2011): “Χωροθέτηση επίγειων πυροσβεστικών δυνάμεων για άμεση κατάσβεση δασικών πυρκαγιών”, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, σελ. 40-48
13. Δεναξιάς Α. Ευάγγελος (2013): “Επίλυση προβλημάτων Δρομολόγησης και Προγραμματισμού πολλαπλών δρομολογίων με χρήση παράλληλης προσομοιωμένης ανόπτησης”, διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, σελ. 20-23, 60
14. Σαλίχου Αναστασία (2012): “Προηγμένες μέθοδοι βελτιστοποίησης στη Διοίκηση Έργων. Η περίπτωση της βελτιστοποίησης με αποικίες μυρμηγκιών”, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, σελ. 38-47
15. Hakimi SL (1964): “Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph”, σελ. 450-459
16. Hakimi SL (1965): “Optimum location of switching centers in a communications network and some related graph theoretic problems”, σελ. 462-475
17. Church L and ReVelle C (1974) : “The Maximal Covering Location Problem”, Papers of the Regional Science Association, σελ. 101-118
18. Toregas C, Swain R, ReVelle C, Bergman L (1971) : “The location of emergency service facilities”, σελ. 1363-1373