

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ

**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΦΡΟΝΤΙΔΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΣΕ ΗΜΙΑΣΤΙΚΕΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ**

Επισκόπηση βιβλιογραφίας

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΥΓΕΙΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Ιωάννης Μητρόπουλος, Απόστολος Ραφαηλίδης και Γεώργιος Χαλίμος

ΠΑΤΡΑ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Περιεχόμενα

1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	2
1.1 Χωροθέτηση εγκαταστάσεων	2
1.2 Ανάλυση Χωροθέτησης	4
1.3 Εφαρμογές της Ανάλυσης Χωροθέτησης.....	5
2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ	8
2.1 Μεθοδολογική προσέγγιση.....	8
2.2 Μοντέλα Χωροθέτησης	9
2.3 Διάκριση και ταξινόμηση των προβλημάτων και των μοντέλων χωροθέτησης.	11
2.4 Δυναμικά προβλήματα.....	19
2.5 Στοχαστικά προβλήματα	20
2.6 Ιεραρχικά προβλήματα	20
3. ΝΕΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	21
3.1 Προβλήματα Cent-Median και Medi-Center	21
3.2 Ισοζυγισμένα αντικείμενα	21
3.3 Κομβικά προβλήματα χωροθέτησης	22
3.4 Ανταγωνιστικά Προβλήματα Χωροθέτησης.....	23
3.5 Προβλήματα κέρδους	24
4. Αλγόριθμοι.....	25
4.1 Ευρετικοί αλγόριθμοι	25
4.2 Παραδείγματα ευρετικών αλγορίθμων	26
4.3 Μεταευρετικοί αλγόριθμοι.....	28
5. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΥΓΕΙΑΣ.....	29
5.1 Διατύπωση του προβλήματος	29
5.2 Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου χωροθέτησης-κατανομής	30
5.1 Εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου χωροθέτησης-κατανομής	33
5.4 Εύρεση βέλτιστων λύσεων	35
6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	39
7. Βιβλιογραφία	40

1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 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).

1.2 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.

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.

1.3 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 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 κατανομημένες 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 υπαρχόντων 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.

2.2 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 κατανεμημένες 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 βέλτιστα χωροθετημένα και ανοίγουν καινούρια σε βέλτιστες θέσεις. (το πρόβλημα αναδιοργάνωσης).

2.3 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).

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).

δεδομένα :

h_i = η ζήτηση στον κόμβο i

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

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

Μεταβλητές απόφασης:

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

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

Μαθηματική τυποποίηση μοντέλου:

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

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

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

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

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

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

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 (Θανατούλας 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:

$$\min \quad W \quad (1)$$

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

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

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

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

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

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

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.

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.

Μοντέλο Συνόλου Κάλυψης

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

δεδομένα:

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

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:

$$\min \quad \sum_j f_j x_j \quad (1)$$

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

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

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 $2 \cdot n$ δυαδικές μεταβλητές, που το καθιστούν ικανό για την επίλυση μεγάλων προβλημάτων σε σχέση με το πρόβλημα P- Διάμεσος.

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).

δεδομένα:

$h_i =$ 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:

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

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

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

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

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

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.

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

δεδομένα:

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:

$$\min \sum_j f_j x_j + a \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij}$$

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

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

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

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

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

δεδομένα:

f_j = 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:

$$\min \sum_j f_j x_j + a \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij}$$

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

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

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

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

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

Αυτό το μοντέλο είναι όμοιο με το παραπάνω, το μόνο που αλλάζει είναι ο περιορισμός της χωρητικότητας που προστίθεται.

2.4 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.

2.5 Στοχαστικά προβλήματα

Το χαρακτηριστικό των στοχαστικών προβλημάτων, είναι η ενσωμάτωση πιθανοτήτων στις παραμέτρους του κάθε προβλήματος, δηλαδή το σύστημα είναι συνάρτηση παραμέτρων που εμφανίζουν τυχαίες 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.

2.6 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).

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 .

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).

3.3 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).

3.4 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.

3.5 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.

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 αντικαθίστανται 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. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΥΓΕΙΑΣ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$K_i = \{j \in J / d_{ij} < \min(d_{im})\}$, 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

$Q_i = \{j \in J / d_{ij} \leq S\}$, 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

$n_c =$ ο αριθμός των δημοσίων κέντρων που θα τοποθετηθούν

$c_c =$ 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 δημόσιο κέντρο

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

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

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

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

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 $K_j = \{j \in J \mid d_{ij} < \min(d_{im}) - D\}$ 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 $K_j = \{j \in J \mid (1+\alpha)d_{ij} < \min(d_{im}) - D\}$ 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 .

5.1 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 σε ένα υποθετικό παράδειγμα με 30 υποψήφιες θέσεις. Τα δεδομένα περιγράφονται στον πίνακα 1.

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.

Πίνακας 1. Δεδομένα υποθετικού δικτύου 30 κόμβων

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 προσέλκυση 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, 29}	{12, 15-18, 22, 23, 26, 28}
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 εξυπηρέτησή 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.

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 προσέλκυση υψηλόμισθων πελατών.

Το μοντέλο που προκύπτει είναι ιεραρχικό και χρησιμοποιεί τόσο την έννοια της μέγιστης κάλυψης από μια υπηρεσία όσο και την προσέλκυση 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 προσέλκυση 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. 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
2. V Marianov and P Torga (2001): “Optimal location of public health centres which provide free and paid services”, Journal of the Operational Research Society. σελ. 1-10
3. 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
4. Ιωάννης Μαρινάκης και Αθανάσιος Μυγδαλάς (2008): “Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας”
5. Cohon J.L (1978): Multiobjective Programming and Planning
6. Plastria F. (1995): “Continuous location problems. In Drezner Z. (Ed.) Facility location: A survey of applications and methods”
7. Δούμπος Μιχάλης (2007). : “Πολυκριτήρια συστήματα αποφάσεων- Σημειώσεις Μαθήματος”, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
8. Hakimi SL (1964): “Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph”, σελ. 450-459
9. Hakimi SL (1965): “Optimum location of switching centers in a communications network and some related graph theoretic problems”, σελ. 462-475
10. Church L and ReVelle C (1974) : “The Maximal Covering Location Problem”, Papers of the Regional Science Association, σελ. 101-118
11. Toregas C, Swain R, ReVelle C, Bergman L (1971) : “The location of emergency service facilities”, σελ. 1363-1373