Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Τομέας Επιχειρησιακής Έρευνας

Μεταπτυχιακή Εργασία

«Εφαρμογή του αλγόριθμου Τεχνητής αποικίας Μελισσών σε προβλήματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων»

Παναγιώτης Παϊζάκης

Επιτροπή Αξιολόγησης

Λέκτορας κ.Ιωάννης Μαρινάκης, Επιβλέπων καθηγητής

Καθηγητής κ.Ματσατσίνης Νικόλαος,

Επίκουρος Καθηγητής κ.Δουλάμης Αναστάσιος,

Χανιά, Ιούλιος 2012

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα 1

Περίληψη 4

Κεφάλαιο 1: Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας-Logistics 6

1.1 Εισαγωγή 6

1.2 Στρατηγική και Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας 7

1.3 Logistics 8

1.3.1 Λειτουργίες-Τεχνικές των Logistics 9

1.3.2 Σκοπός Διαχείρισης των Logistics 10

Κεφάλαιο 2: Επιλογή Τοποθεσίας Χώρου Εγκαταστάσεων και Αποθήκευσης 12

2.1 Εισαγωγή 12

2.2 Χωροθέτηση Αποθηκών 13

2.3 Προβλήματα χωροθέτησης 14

2.4 Μοντέλα-Προβλήματα χωροθέτησης 16

2.4.1 Το μοντέλο p-κέντρα (p-centers) 16

2.4.2 Το πρόβλημα των p-μέσων (p-median problem) 17

2.4.3 Το Capacitated πρόβλημα p-μέσων (p-median) 19

2.4.4 Το μοντέλο σύνολο-κάλυψης 20

2.4.5 Το μοντέλο Μέγιστης-κάλυψης 21

2.4.6 Πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων περιορισμένης χωρητικότητας (Capacitated Facility Location Problem) 21

Κεφάλαιο 3 : Χρήση του μεθευρετικού αλγόριθμου "Artificial Bee Colony" για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης p-median και Capacitated Facility Location Problem 23

3.1 Μεθευρετικοί αλγόριθμοι 23

3.2 Εισαγωγή στον αλγόριθμο «Artificial Bee colony» 25

3.3 Τα βήματα του αλγορίθμου "Artificial Bee Colony" που υλοποιήσαμε για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης αποθηκών p-median και CFLP 28

3.3.1 Η τεχνική "Long Chain Neighborhood" για την παραγωγή γειτονικών λύσεων 31

3.4 Υπολογιστική Μελέτη 34

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα εφαρμογής του αλγόριθμου Artificial Bee Colony στα προβλήματα CFLP και P-Median 37

4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προβλήματος P-median 37

4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προβλήματος CFLP 49

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα 61

Βιβλιογραφία 63

Ελληνόγλωσση ***63***
Ξενόγλωσση ***63***

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Ιωάννη Μαρινάκη, Λέκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την βοήθεια του και την καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια της υλοποίησης της Μεταπτυχιακής μου Διατριβής.

Περίληψη

Στην εργασία ασχοληθήκαμε με έναν αριθμό προβλημάτων χωροθέτησης εγκαταστάσεων-αποθηκών, όπως το κλασικό πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων περιορισμένης χωρητικότητας και το πρόβλημα της επιλογής ενός αριθμού ενδιάμεσων σταθμών, στην περίπτωση μιας εταιρίας που ασχολείται με τη μεταφορά προϊόντων με σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς και την μεγιστοποίηση των κερδών της. Στόχος είναι να βρεθούν οι κατάλληλες θέσεις εγκατάστασης ενδιάμεσων κόμβων, σταθμών μεταφόρτωσης, μεταξύ των κόμβων παραγωγής και των κόμβων ζήτησης με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

Το *κεφάλαιο 1* παρουσιάζει γενικές πληροφορίες για την Διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και τον ρόλο και τον σκοπό διαχείρισης των Logistics στην σημερινή εποχή.

Το *κεφάλαιο 2* αναφέρεται στην χωροθέτηση εγκαταστάσεων. Παρουσιάζονται τα πέντε κυριότερα μοντέλα-προβλήματα χωροθέτησης, από τα οποία δύο από αυτά επιλύσαμε με την βοήθεια του αλγορίθμου Artificial Bee Colony, το p-median (p-μέσος) και το Capacitated Facility Location Problem (CFLP).

Στο *κεφάλαιο 3* γίνεται εκτενής αναφορά στον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης, στον *Artificial Bee Colony (Τεχνητή Αποικία Μελισσών)*. Στην αρχή παρουσιάζεται η προσομοίωση της αποικίας των μελισσών και του τρόπου εργασίας τους με την ελαχιστοποίηση των συναρτήσεων για την χωροθέτηση των εγκαταστάσεων, ενώ στην συνέχεια αναλύεται βήμα προς βήμα ο αλγόριθμος.

Στο *κεφάλαιο 4* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για την επίλυση των προβλημάτων p-median (p-μέσος) και Capacitated Facility Location

Problem (CFLP). Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε 20 παραδείγματα p-median και 20 παραδείγματα CFLP, από τα οποία στα 10 για κάθε περίπτωση, παρουσιάζεται το σχήμα αντιστοίχησης πελατών στις αποθήκες καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα αντιστοίχησης.

Τέλος, στο *κεφάλαιο 5* παραθέτουμε τα συμπεράσματα μας από τα παραπάνω αποτελέσματα αλλά και από την εν γένει συμπεριφορά του αλγόριθμου *Artificial Bee Colony (Τεχνητή Αποικία Μελισσών)* στα προβλήματα p-median (p-μέσος) και Capacitated Facility Location Problem (CFLP) ενώ δίνονται και κάποιες σκέψεις για πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις του αλγόριθμου.

Κεφάλαιο 1: Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας-Logistics

1.1 Εισαγωγή

Ως Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας ορίζεται ο σχεδιασμός, η οργάνωση, και ο συντονισμός όλων των δραστηριοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με τον όρο εφοδιαστική αλυσίδα εννοούμε την ροή υλικών, πληροφοριών και υπηρεσιών από τους προμηθευτές πρώτων υλών μέσα από τα εργοστάσια και τις αποθήκες, στους τελικούς πελάτες [Gattorna J.,1996]. Η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας θέλει να επιτύχει τη σύνδεση και το συντονισμό ανάμεσα στις λειτουργίες των άλλων ατόμων των καναλιών διανομής, δηλαδή των προμηθευτών και των πελατών και στην ίδια την επιχείρηση.

Τα logistics διαδραματίζουν έναν ολοένα σημαντικότερο ρόλο στο ανταγωνιστικό περιβάλλον των σημερινών επιχειρήσεων. Κάθε σύγχρονη οικονομική μονάδα επιδιώκει την μεγιστοποίηση της αξίας των αγαθών/υπηρεσιών που προσφέρει στους πελάτες της. Η διάδοσή του τομέα των logistics οφείλεται κατά κύριο λόγο στα ιδιαίτερα σημαντικά αποτελέσματα που επιφέρει, τόσο προς την κατεύθυνση της μείωσης του κόστους των επιχειρήσεων (διαμέσου του πληρέστερου έλεγχου των αποθεμάτων), όσο και προς την κατεύθυνση του βέλτιστου συντονισμού των διεργασιών της επιχείρησης που συνδέονται με τους προμηθευτές και τους διανομείς.

Σχήμα 1 Εφοδιαστική αλυσίδα

1.2 Στρατηγική και Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Η ανάγκη που κυριαρχεί στις μέρες μας στις επιχειρήσεις ώστε να αποκτήσουν πλεονέκτημα απέναντι στους ανταγωνιστές τους και να καταφέρουν να τους ξεπεράσουν, είναι ουσιαστικά ο βασικότερος λόγος που η στρατηγική της εφοδιαστικής αλυσίδας κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος. Έχοντας ήδη κάνει σημαντικά βήματα τόσο σε ακαδημαϊκό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο εφαρμογών, στην καθημερινή πρακτική, η στρατηγική της Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας ουσιαστικά δημιουργεί τις προϋποθέσεις ώστε να βελτιωθεί η θέση της επιχείρησης σε σχέση με αυτήν των ανταγωνιστών της. Σύμφωνα με τους ακαδημαϊκούς στρατηγικής, Johnson και Scholes, η έννοια της στρατηγικής δεν γίνεται να οριστεί τόσο εύκολα, αφού αποτελεί όρο που βασίζεται πιο πολύ στην ικανότητα αυτού που την εφαρμόζει και ο καθένας μπορεί να την ορίσει διαφορετικά. Η στρατηγική ασχολείται με αποφάσεις που επηρεάζουν την μακροχρόνια πορεία του οργανισμού ή της επιχείρησης. Οι αποφάσεις αυτές προσπαθούν να πετύχουν συγκριτικό πλεονέκτημα για τον οργανισμό ή για την επιχείρηση σε σχέση με τον ανταγωνισμό τους, δίνοντας τους έτσι την δυνατότητα να αντιμετωπίσουν καλύτερα τυχόν προβλήματα και να μπορούν να ανταπεξέλθουν αποτελεσματικότερα στις καθημερινές τους ανάγκες. Επιπλέον, εκτός από το συγκριτικό πλεονέκτημα που προσπαθούν να πετύχουν οι αποφάσεις, ασχολούνται με τα όρια ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης, δηλαδή ποιες κατευθύνσεις θα πρέπει να βρίσκονται στο επίκεντρο των λειτουργιών της επιχείρησης ή του οργανισμού. Με την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκαν δυο σχολές που αντιπροσώπευαν δυο διαφορετικές ιδέες όσον αφορά το θέμα της στρατηγικής. Η πρώτη σχολή υποστηρίζει ότι πρέπει οι επιχειρησιακοί πόροι της επιχείρησης ή του οργανισμού να συμβαδίζουν με το περιβάλλον της επιχείρησης στο οποίο λειτουργεί. Αυτή η ιδέα ονομάστηκε στρατηγική προσαρμογής. Ενώ αντίθετα η δεύτερη σχολή πίστευε ότι οι επιχειρήσεις ή οι οργανισμοί πρέπει να επενδύσουν πάνω στην προσπάθεια για απόκτηση νέων επιχειρησιακών πόρων και δυνατοτήτων ώστε να δημιουργηθούν νέες ευκαιρίες. Αυτή η ιδέα ονομάστηκε στρατηγική διεύρυνσης. Βέβαια για να μπορέσουμε να καταλάβουμε καλύτερα την έννοια της στρατηγικής και να έχουμε μια καλύτερη επαφή μαζί της θα πρέπει να έχουμε μια εικόνα του συνολικού περιβάλλοντος της επιχείρησης στο οποίο έχουμε σκοπό να την εφαρμόσουμε. Τώρα για το ποια από τις δυο ιδέες θα ακολουθήσει η κάθε επιχείρηση ή ο οργανισμός, είναι θέμα της

ανώτερης και ανώτατης διοίκησής τους. Όμως αυτό δεν καθιστά υποχρεωτική την επιλογή κάποιας εκ των δυο ιδεών. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η έννοια της στρατηγικής είναι τελείως υποκειμενική και διαισθητική, και εξαρτάται πλήρως από αυτόν που την εφαρμόζει. Έτσι δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο για να ακολουθήσει κάποιος. Εξαρτάται από την πολιτική που εφαρμόζει η κάθε επιχείρηση ή οργανισμός μέσα αλλά και έξω από αυτήν ή αυτόν.

1.3 Logistics

Όπως διαφαίνεται από τα παραπάνω, Logistics και Εφοδιαστική Αλυσίδα συνδέονται άρρηκτα. Η Εφοδιαστική Αλυσίδα αποτελεί το βασικότερο πεδίο εφαρμογής των Logistics, τα οποία αποτελούν το βασικότερο ζητούμενο για την ορθολογικοποίηση και την επιτυχία των διαδικασιών της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Τα Logistics απαντούν στο πώς πρέπει να οργανωθούν οι διαδικασίες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας π.χ. πώς πρέπει να γίνεται η διακίνηση των προϊόντων, με τι συχνότητα πρέπει να εκτελούνται οι παραδόσεις, μέσω ποιου δρομολογίου κ.λπ.

Logistics είναι το τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας που σχεδιάζει, υλοποιεί και ελέγχει την αποδοτική και αποτελεσματική ροή και αποθήκευση των προϊόντων, υπηρεσιών και πληροφοριών από το σημείο προέλευσής τους έως το σημείο κατανάλωσής τους. Τα Logistics βρίσκουν εφαρμογή σε δύο κυρίως πεδία. Το πρώτο είναι η επιχείρηση, η οποία πρέπει να οργανώνει την εισροή, την εσωτερική διακίνηση και την εκροή υλικών και προϊόντων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζει τη μέγιστη ικανοποίηση των πελατών της. Το δεύτερο πεδίο είναι η Εφοδιαστική Αλυσίδα, η οποία αποτελείται από όλες εκείνες τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς που είναι απαραίτητοι ώστε ένα προϊόν από πρώτες ύλες να καταλήξει στον τελικό καταναλωτή. Η διάδοσή του τομέα των logistics οφείλεται κατά κύριο λόγο στα ιδιαίτερα σημαντικά αποτελέσματα που επιφέρει, τόσο προς την κατεύθυνση της μείωσης του κόστους των επιχειρήσεων (διαμέσου του πληρέστερου έλεγχου των αποθεμάτων), όσο και προς την κατεύθυνση του βέλτιστου συντονισμού των διεργασιών της επιχείρησης που συνδέονται με τους προμηθευτές και τους διανομείς.

Η εφαρμογή των Logistics επιδιώκει να συντονίσει όλες τις προσπάθειες που γίνονται σε κάθε κρίκο της αλυσίδας εφοδιασμού, έτσι ώστε η επιδιωκόμενη αύξηση της αξίας σε μία φάση να μην προκαλεί μείωση της πρότυπης αξίας σε προηγούμενη

ή επόμενη φάση. Η λειτουργία των Logistics αποτελεί μία σύνθεση με σκοπό την βελτιστοποίηση των επί μέρους λειτουργιών: μάνατζμεντ του εφοδιαστικού περιβάλλοντος, διοίκηση μεταφορικής λειτουργίας, αποθήκευση και έλεγχος πρώτων υλών, διοίκηση παραγωγής, προγραμματισμός και προβλέψεις, διανομή προϊόντων, εξυπηρέτηση πελατών και service, διαχείριση υποπροϊόντων και αχρήστων κ.ά. Με την ολοκληρωμένη εφαρμογή της διαχειρίσεις αυτής ο πελάτης βρίσκει το προϊόν την κατάλληλη στιγμή, στην κατάλληλη ποιότητα και ποσότητα και στην καταλληλότερη τιμή, περιορίζοντας ουσιαστικά όλους εκείνους τους παράγοντες που αυξάνουν το κόστος του προϊόντος.

1.3.1 Λειτουργίες-Τεχνικές των Logistics

Η Διοίκηση της Εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται στην διαχείριση των παρακάτω λειτουργιών ή διαδικασιών που υπάρχουν και λειτουργούν σε όλες σχεδόν τις επιχειρήσεις ανεξάρτητα ή συνεργατικά και είναι οι εξής:

- οι αγορές – προμήθειες
- η διαχείριση αποθεμάτων
- οι μεταφορές και διανομές των προϊόντων
- η αποθήκευση

Το «Logistics management» διαχειρίζεται όλες τις επιμέρους διαδικασίες, που είναι σχετικές με τη φυσική ροή των αγαθών από τον τόπο παραγωγής στον τελικό καταναλωτή και ολόκληρο το πλέγμα των αλληλεξαρτήσεων τους.

Τα logistics επιτυγχάνουν τον στόχο τους εφαρμόζοντας τις παρακάτω τεχνικές:

- Συνολική παρακολούθηση, έλεγχο, και ρύθμιση των ροών από την κατανάλωση προς την παραγωγή τόσο του συστήματος όσο και του δικτύου που έχουν δημιουργηθεί.
- Προσαρμογή των ροών, ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ των φόρτων και της χωρητικότητας.
- Παρακολούθηση των ροών ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχος και η μεταβολή των φυσικών μετακινήσεων σε απρόβλεπτα γεγονότα.

Άρα τα Logistics αποτελούν μια μεθοδολογία που αφορά την σωστή λειτουργία του προϊόντος από την αποστολή μέχρι την ποιότητα και την τιμή.

Ένα βασικό στοιχείο του «Logistics management» είναι η αποθήκευση, που είναι από μόνο του ένα σημαντικό θέμα. Συγκεκριμένα, αναφέρεται στο σχεδιασμό, την οργάνωση και τη λειτουργία της αποθήκης. Δηλαδή, σχετίζεται με την εκτέλεση της εργασίας παραλαβής, φύλαξης, εξαγωγής και παράδοσης των προϊόντων που αποκτά η επιχείρηση από τρίτους ή των προϊόντων που παράγει η ίδια η επιχείρηση. Οι εργασίες που γίνονται μέσα στην αποθήκη είναι πολλές και ξεκινούν με την οργάνωση των χώρων, την επιλογή των μέσων που θα χρησιμοποιηθούν για την μετακίνηση των προϊόντων, την επιλογή του εξοπλισμού των ραφιών και των άλλων μηχανημάτων, τη λογιστική παρακολούθηση των αποθεμάτων, την εξασφάλιση τους από κλοπές ή διαρροές ή ακόμη από φθορές και ζημιές και γενικά την εκτέλεση πολλών εργασιών που βοηθούν να φτάσει το τελικό προϊόν στον τελικό του προορισμό. Πολλά σύγχρονα συστήματα έχουν πλέον εισαχθεί σε αυτόν το χώρο που συνεχώς εξελίσσεται. Η αποθήκη παραδοσιακά ήταν ένας χώρος στον οποίον τοποθετούνται τα προϊόντα για φύλαξη. Αυτή η λειτουργία συνεχίζεται να είναι ακόμη και σήμερα πολύ σημαντική, αλλά είναι πολύ χαμηλότερης σημασίας από άλλες. Σήμερα δεν τονίζεται η στασιμότητα των προϊόντων, δηλαδή δε μένει στάσιμο το προϊόν που φτάνει στην αποθήκη, ούτε εισάγεται για να προστατευτεί από τις καιρικές συνθήκες και από τυχόν κλοπή, αλλά εισάγεται και τοποθετείται προσωρινά στην αποθήκη, στην διαδρομή που διανύει για να φτάσει στον προορισμό του. Ο ορισμός της έννοιας της αποθήκης αναφέρεται στον χώρο όπου εκτελούνται πάρα πολλές εργασίες. Οι εργασίες αυτές πρέπει να εκτελούνται με μεγάλη ακρίβεια, γρήγορα και οικονομικά, γιατί παίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στην τελική διαμόρφωση του κόστους.

1.3.2 Σκοπός Διαχείρισης των Logistics

Το «Logistics management» επιδιώκει να ικανοποιήσει τους επιχειρησιακούς στόχους με το μικρότερο κόστος. Με λίγες λέξεις, επιδιώκει να βρίσκεται το σωστό προϊόν, στη σωστή ποσότητα, στο σωστό τόπο, στο σωστό χρόνο, στη σωστή του ώρα, με το σωστό κόστος. Από τα παραπάνω, είναι φανερό ότι το «Logistics management» για να ικανοποιεί τις επιδιώξεις της επιχείρησης πρέπει να ικανοποιεί δύο κριτήρια. Το ένα κριτήριο είναι η ποσότητα των υπηρεσιών που επιτυγχάνει και το δεύτερο

κριτήριο είναι το χαμηλό κόστος με το οποίο επιτυγχάνει την ποιότητα αυτών των υπηρεσιών. Ένα άριστο σύστημα Logistics πρέπει να ικανοποιεί δύο κριτήρια. Πρέπει να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, τόσο στο τμήμα παραγωγής όσο και στο τμήμα του «marketing» για τους πελάτες της επιχείρησης. Πρέπει να προσφέρει υπηρεσίες όχι μόνο υψηλής ποιότητας, άλλα και με χαμηλό κόστος. Τα ποιοτικά στοιχεία του «Logistics management» είναι πολλά από τα οποία τα κυριότερα από αυτά είναι:

1. Διαθεσιμότητα (availability). Η διαθεσιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να έχει πάντοτε αρκετά διαθέσιμα αποθέματα για να εξυπηρετεί τις ανάγκες της παραγωγής και των πελατών. Το σύστημα πρέπει να εξασφαλίζει συνεχώς τις ζητούμενες ποσότητες των προϊόντων την ώρα που τις χρειάζεται η παραγωγή ή ο καταναλωτής.

2. Δυναμικότητα (capacity). Η δυναμικότητα αναφέρετε στην ικανότητα του συστήματος να διακινεί, μέσα στο χρονικό διάστημα που του έχουν ορίσει, τις ζητούμενες ή τις παραγόμενες ποσότητες. Η δυναμικότητα αναφέρετε επίσης στην ταχύτητα εκτέλεσης μιας παραγγελίας και στη συνέπεια, δηλαδή στην επίτευξη αυτής της ταχύτητας συνεχώς επί καθημερινής βάσεως.

3. Συνέπεια (consistency). Το τρίτο στοιχείο της ποιότητας είναι η συνέπεια, δηλαδή η δυνατότητα του συστήματος να παραδίδει συνεχώς και επί καθημερινής βάσεως στους χρήστες του συστήματος, τα προϊόντα που ζητάνε σε καλή κατάσταση, χωρίς λάθη, σωστά επισημασμένα έτσι ώστε ο χρήστης να είναι βέβαιος ότι τα προϊόντα που παραλαμβάνει είναι αυτά που παρήγγειλε και μάλιστα βρίσκονται στη σωστή κατάσταση και ποιότητα.

Κεφάλαιο 2: Επιλογή Τοποθεσίας Χώρου Εγκαταστάσεων και Αποθήκευσης

2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο αποθήκευση εννοούμε την λειτουργία της επιχείρησης που επιφορτίζεται με τον λόγο της ορθολογικής διαχείρισης των αγαθών από την στιγμή της παραγωγής τους, ως την στιγμή προώθησης τους προς τον καταναλωτή. Για την υλοποίηση της λειτουργίας της αποθήκευσης είναι αναγκαίος ένας χώρος προκαθορισμένος μέσα στον οποίο περιλαμβάνονται, ταξινομούνται, διατηρούνται και φυλάσσονται τα υλικά.

Η αποθήκη είναι ένα κομβικό σημείο στην όλη ροή της διακίνησης των αγαθών από τους προμηθευτές στους καταναλωτές. Στην αποθήκη διεκπεραιώνονται οι εργασίες που έχουν σχέση με την παραλαβή των προϊόντων, οι εργασίες που έχουν σχέση με την φύλαξη των προϊόντων στους χώρους της επιχείρησης και οι εργασίες που έχουν με την εξαγωγή των προϊόντων από την αποθήκη και την αποστολή τους στα σημεία προορισμού, στους πελάτες της επιχείρησης ή στις μηχανές παραγωγής της επιχείρησης. Την παρακολούθηση όλων των στοιχείων των προϊόντων και όλων των κινήσεων που γίνονται στην αποθήκη παρακολουθεί και καταγράφει το λογιστήριο από τα παραστατικά που συνοδεύουν τα προϊόντα.

Με στόχο την εξυπηρέτηση του πελάτη, η επιλογή του σημείου των αποθηκών είναι απόφαση στρατηγικής σημασίας, καθώς με την κατάλληλη επιλογή ο ανεφοδιασμός της αγοράς θα γίνετε πιο γρήγορα, ενώ ταυτόχρονα δεν θα αυξάνεται και το αποθηκευτικό κόστος. Επίσης είναι εξίσου σημαντικό αν οι αποθήκες είναι ιδιόκτητες για την εταιρία, αν νοικιάζονται ή ακόμη και αν διατίθενται από εταιρεία σε εταιρία. Συνεπώς μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η κατάλληλη θέση των αποθηκών μπορεί να μειώσει αισθητά τις τιμές που σχετίζονται με την μετακίνηση όγκου προϊόντων κατά την μεταφορά από τις εγκαταστάσεις παραγωγής στην αποθήκη, ή από αποθήκη σε αποθήκη ή από την αποθήκη στον πελάτη. Βασική

προτεραιότητα της διαδικασίας επιλογής ενός τόπου για αποθήκευση και εγκατάσταση, είναι η θέση των διαφόρων αγορών πώλησης αλλά και των προμηθευτών-παραγωγικών μονάδων της εταιρείας, χωρίς να μπορούν να αποκλειστούν και άλλοι παράγοντες, όπως οι ανάγκες των πελατών, η τοποθεσία των φυσικών πρώτων υλών και των άλλων συστατικών στοιχείων του προϊόντος, η διαθεσιμότητα αλλά και το κόστος του εργατικού δυναμικού, οι τοπικές υπηρεσίες μεταφορών, οι επιβαλλόμενοι τοπικοί αλλά και κρατικοί φόροι, οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές νομοθεσίες και ιδιαιτερότητες απέναντι στην οργάνωση της εργασίας καθώς και άλλοι τοπικοί παράγοντες όπως είναι το κόστος της γης.

2.2 Χωροθέτηση Αποθηκών

Ως χωροθέτηση ορίζεται η επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση μιας λειτουργικής μονάδας μέσω κάποιων κριτηρίων, τα οποία ορίζονται ανάλογα με το είδος της μονάδας αυτής και τις ανάγκες της. Η επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας γίνεται μέσα από ένα εύρος εναλλακτικών τοποθεσιών για εγκατάσταση.
Η χωροθέτηση βρίσκει εφαρμογές σε πολλά πεδία. Παραδείγματα είναι η χωροθέτηση των supermarkets, η χωροθέτηση ταχυδρομείων, των κινητών σταθμών επισκευής οχημάτων που περιμένουν την εκδήλωση βλάβης, των ασθενοφόρων που περιμένουν να ανταποκριθούν σε κλήσεις, η τοποθέτηση αποθηκών με στόχο τη βέλτιστη εξυπηρέτηση τροφοδοσίας των επιχειρήσεων, η επιλογή της θέσης τραπεζικών καταστημάτων (σταθερών και κινητών), η επιλογή της θέσης τοποθέτησης κεραιών κινητής τηλεφωνίας, και πολλές ακόμα περιπτώσεις.

Όπως προαναφέραμε, η χωροθέτηση γίνεται βάσει κάποιων κριτηρίων που διαφέρουν από μονάδα σε μονάδα. Κάποια κριτήρια που χρησιμοποιούν οι μονάδες για χωροθέτηση είναι τα εξής:

- Ο πληθυσμός της κάθε περιοχής
- Ο αριθμός των πιθανών πελατών σε κάθε υποψήφια για εγκατάσταση περιοχή και τα χαρακτηριστικά τους
- Η απόσταση από τους προμηθευτές και τους πελάτες
- Το κόστος εγκατάστασης μιας νέας μονάδας στην εκάστοτε περιοχή
- Το εργατικό δυναμικό

2.3 Προβλήματα χωροθέτησης

Η εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να αποδοθεί με ένα δίκτυο αποτελούμενο από διάφορα επίπεδα ή στρώματα κόμβων και συνδέονται μεταξύ τους με τόξα. Τα προβλήματα μεταφοράς αναφέρονται στις μετακινήσεις αγαθών μεταξύ διαδοχικών κόμβων. Συνήθως, ως κόμβος πρώτου στρώματος, αναφέρεται με την γενικευμένη έννοια η εγκατάσταση παραγωγής και ως κόμβος δεύτερου στρώματος ο πελάτης ή πολλές φορές και ο μεταπωλητής. Η χωροθέτηση αφορά τους κόμβους του πρώτου στρώματος, δηλαδή το άνοιγμα ή το κλείσιμο εγκαταστάσεων παραγωγής.

Το πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων (Facility Location Problem) είναι ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα για μία εταιρεία, αφού η βέλτιστη διασπορά των εγκαταστάσεων της μπορούν να την οδηγήσουν σε βέλτιστη ανάπτυξη. Στα προβλήματα συνήθως έχουμε μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις, στις οποίες έχουν ανατεθεί η εξυπηρέτηση και ένας συγκεκριμένος αριθμός χωρικά διατεταγμένων απαιτήσεων, δηλαδή τους πελάτες. Στόχος είναι η βέλτιστη τοποθέτηση των εγκαταστάσεων ώστε να εξασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης και την μεγιστοποίηση του κέρδους της επιχείρησης.

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων μπορεί να δώσει λύση σε πολλές εφαρμογές, όπως στον σχεδιασμό εξ ολοκλήρου καινούριου συστήματος, αναδιάταξη υπάρχοντος δικτύου ή και την ένταξη νέων εγκαταστάσεων σε ήδη προϋπάρχων δίκτυο. Παραδείγματα εφαρμογών είναι η χωροθέτηση αποθηκών για την εξυπηρέτηση σύνολο εγκαταστάσεων λιανικής πώλησης, εγκατάσταση σταθμών πρώτων βοηθειών, χωροθέτηση σχολείων, νοσοκομείων, πυροσβεστικών σταθμών ή και σταθμών νοσοκομειακών οχημάτων.

Ο στόχος της βέλτιστης χωροθέτησης μπορεί να σημαίνει ελαχιστοποίηση του χρόνου ταξιδιού αν αναφερόμαστε σε σχολείο ή σε κέντρο πρώτων βοηθειών ή σε πυροσβεστικό σταθμό και γενικότερα σε εγκατάσταση στην οποία θα πρέπει να υπάρχει ταχεία πρόσβαση. Από την άλλη όμως υπάρχουν εγκαταστάσεις που θεωρούνται ανεπιθύμητες για τους κατοίκους όπως αεροδρόμια, δεξαμενές καυσίμων, φυλακές, χωματερές και άλλες. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στην προστασία των κατοίκων και στην άμεση πρόσβαση.

Σε ένα σύστημα διανομής, το εργοστάσιο προμηθεύει μια ή περισσότερες αποθήκες και κάθε αποθήκη εξυπηρετεί συγκεκριμένους πελάτες. Η ροή των προϊόντων είναι από το εργοστάσιο στις αποθήκες και από εκεί στους πελάτες.

Πολλές φορές όμως δεν ισχύει αυτό το μοντέλο. Το εργοστάσιο για παράδειγμα μπορεί να προμηθεύει απευθείας τους πελάτες αλλά και ορισμένες φορές οι αποθήκες έχουν διπλό ρόλο, και της παραγωγής/ συναρμολόγησης αλλά και της διανομής στους τελικούς πελάτες.

Ένα σύστημα διανομής εμπλέκει πολλά και σημαντικά προβλήματα άλλα μέσο-μακροπρόθεσμα και άλλα τα οποία δημιουργούνται σε καθημερινή βάση. Προβλήματα καθημερινά είναι η διαχείριση υλικών, θέματα οργάνωσης του προσωπικού, πληροφοριακά συστήματα και άλλα. Υπάρχουν όμως και κάποια θέματα στα οποία πρέπει να παρθούν αποφάσεις με μακροπρόθεσμο ορίζοντα, όπως πόσες αποθήκες πρέπει να κατασκευαστούν, που θα πρέπει να δημιουργηθούν, ποια η χωρητικότητα τους.

Το θέμα χωροθέτησης αποθηκών και γενικότερα εγκαταστάσεων είναι πολύ σημαντικό για μία εταιρεία. Η διοίκηση της εταιρείας θα πρέπει να πάρει στην αρχή αυτές τις αποφάσεις της χωροθέτησης των εγκαταστάσεων, αφού η μετέπειτα αλλαγή αυτής της απόφασης δεν είναι εύκολη αλλά είναι επιπλέον δαπανηρή. Για την απόφαση χωροθέτησης εγκαταστάσεων από μία εταιρεία θα πρέπει η εταιρεία να λάβει υπόψη της κάποιους παραμέτρους, όπως η διαθεσιμότητα κατάλληλων χώρων, η εγγύτητα σε μέσα τροφοδοσίας, η διαθεσιμότητα του εργατικού δυναμικού.

Ο αριθμός των εγκαταστάσεων που θα χωροθετηθούν και το μέγεθος κάθε μίας ξεχωριστά είναι συνάρτηση της εξυπηρέτησης και του κόστους. Είναι δεδομένο ότι η ποιότητα των υπηρεσιών βελτιώνεται καθώς ο αριθμός των εγκαταστάσεων αυξάνεται, όμως ταυτόχρονα αυξάνεται και το κόστος για την παροχή αυτών των υπηρεσιών.

Το γενικό πρόβλημα χωροθέτησης (Generalized Assignment Problem) σκοπεύει να αντιστοιχήσει ένα σετ εργασιών (tasks), πελατών στα παραδείγματα μας, σε ένα σύνολο αποθηκών (agents), με ένα ελάχιστο κόστος. Κάθε πελάτης (task) πρέπει να αντιστοιχηθεί σε μία και μόνο αποθήκη (agent). Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αναπτυχθεί και να χρησιμοποιηθεί ο μεθευρετικός αλγόριθμος «Artificial Bee Colony» για την επίλυση δύο διαφορετικών προβλημάτων, του p-median (p-μέσων) και του Capacitated Facility Location Problem (Χωροθέτηση εγκαταστάσεων περιορισμένης χωρητικότητας). Το μαθηματικό μοντέλο των προβλημάτων χωροθέτησης περιγράφεται ως εξής:

$$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij}$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_{ij} \le b_j \quad \forall j,\ 1 \le j \le m \qquad (2.1)$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1 \qquad \forall i,\ \ 1 \le i \le n$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad 1 \le i \le n \ \ \forall i,\ 1 \le j \le m \ \ \forall j$$

όπου I είναι το σύνολο των πελατών (i=1,….,n), J είναι το σύνολο των αποθηκών (j=1,…m), b_j= ποσότητα χωρητικότητας αποθήκης j, α_{ij}= η ποσότητα που απαιτείται εάν ο πελάτης i αντιστοιχηθεί στην αποθήκη j, x_{ij}= μεταβλητή απόφασης (x_{ij}=1, εάν ο πελάτης i αντιστοιχίζεται στην αποθήκη j, 0 διαφορετικά. Ο πρώτος περιορισμός σχετίζεται με την χωρητικότητα των αποθηκών. Ο δεύτερος περιορισμός διαβεβαιώνει ότι κάθε πελάτης αντιστοιχίζεται σε μία και μόνο αποθήκη.

2.4 Μοντέλα-Προβλήματα χωροθέτησης

Παρακάτω αναλύονται ορισμένα μοντέλα χωροθέτησης που έχουν πρακτική εφαρμογή. Παρουσιάζεται το μοντέλο p-διάμεσος (p-median), που δίνει έμφαση στο ερώτημα της οριοθέτησης των περιοχών εξυπηρέτησης, το μοντέλο p-center (p-κέντρων), το οποίο είναι ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης της μέγιστης απόστασης ανάμεσα σε ένα σημείο ζήτησης και την κοντινότερη εγκατάσταση στη ζήτηση, το μοντέλο σύνολο-κάλυψης (set-covering), που δίνει έμφαση στο ερώτημα για τον βέλτιστο αριθμό κέντρων παροχής υπηρεσιών και έμμεσα για τις περιοχές εξυπηρέτησης και το μοντέλο μέγιστης κάλυψης (maximal-covering), που δίνει έμφαση τόσο στον αριθμό των κέντρων όσο και στις περιοχές εξυπηρέτησης.

2.4.1 Το μοντέλο p-κέντρα (p-centers)

Ενώ το μοντέλο p-διάμεσος έχει σαν στόχο την ελαχιστοποίηση κάποιου συνολικού κόστους (χρήμα, απόσταση, χρόνος), στην κατηγορία μοντέλων p-centers ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση μέγιστων αποστάσεων ή την μεγιστοποίηση των ελάχιστων αποστάσεων που πρέπει να καλυφθούν από τους χρήστες. Στην περίπτωση που

σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση των μεγίστων αποστάσεων, το κριτήριο ονομάζεται minmax και η αντικειμενική συνάρτηση δίνεται από την σχέση:

$$\min Z = \max a_{ij} w_i d_{ij}, i = 1,...., n, j \in L \qquad (2.2)$$

$$\text{Όπου } a_{ij} \begin{cases} 1, \text{αν ο j κόμβος είναι κέντρο} \\ 0, \textit{διαφορετικ ά} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{αν ο πληθυσμός του i κόμβου εξυπηρέτησ ης εξυπηρετεί ται από το j κέντρο} \\ 0, \textit{αν} \text{ δεν εξυπηρετεί ται} \end{cases}$$

$$a_{ij} = 0 \text{ αν } \mathrm{j} \in \mathrm{L} \text{ και}$$

$$\sum a_{jj} = p$$

Το minmax κριτήριο χρησιμοποιείται και για χωροθέτηση υπηρεσιών που καλύπτουν επείγονται περιστατικά όταν είναι γνωστός ο αριθμός p των προς χωροθέτηση κέντρων, όπως για παράδειγμα σταθμοί πρώτων βοηθειών, σταθμοί πυροσβεστικής υπηρεσίας, σταθμοί άμεσης δράσης.

Εκτός όμως από το προηγούμενο είδος χρήσης του p-center, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες κάθε χρήστης της επιθυμεί να βρίσκονται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση από αυτόν. Τέτοια παραδείγματα είναι οι χώροι αποθήκευσης σκουπιδιών, αποθήκες επικίνδυνων ουσιών ή και βιομηχανικές μονάδες που παράγουν ρύπους. Σε αυτές τις περιπτώσει σκοπός του προβλήματος είναι η μεγιστοποίηση των ελάχιστων αποστάσεων των κέντρων από τους χρήστες και το κριτήριο ονομάζεται maxmin. Η αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζει τα προηγούμενα παίρνει την μορφή:

$$\max Z = \min a_{ij} w_i d_{ij} N_j = \{ j : t_{ij} \le \bar{t}_j \} \qquad (2.3)$$

2.4.2 Το πρόβλημα των p-μέσων (p-median problem)

Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται να γίνει η χωροθέτηση ενός κέντρου παροχής υπηρεσιών σε κάποια συγκεκριμένη κορυφή ενός δοσμένου γραφήματος με σκοπό

την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος όλων των συντομότερων αποστάσεων των κορυφών του γραφήματος από το συγκεκριμένο κέντρο. Τα προβλήματα αυτά ονομάζονται minsum προβλήματα χωροθέτησης (minsum location problems). Τα προβλήματα αυτά βρίσκουν εφαρμογές σε τηλεφωνικά δίκτυα, σε αποθήκες διανομής και αλλού.

Στο πρόβλημα p-Διάμεσος, δίνεται σαν είσοδος ένα κλειστό γράφημα (δίκτυο) και η κάθε κορυφή ισούται με έναν πελάτη (σημείο ζήτησης) και ο οποίος έχει κάποια απαίτηση. Η ζήτηση του πελάτη είναι η απόσταση του από την εγκατάσταση που εξυπηρετείται και βρίσκεται αθροίζοντας τα βάρη που βρίσκονται στις ακμές της κάθε διαδρομής.

Τα P-κέντρα παροχής υπηρεσιών μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιεσδήποτε από τις P-κορυφές (κόμβους) του γραφήματος και οι οποίες θα πρέπει να εξυπηρετήσουν όλους τους πελάτες. Το ζητούμενο είναι σε ποιες κορυφές πρέπει να τοποθετηθούν οι εγκαταστάσεις έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος των διαδρομών των πελατών προς αυτά.

Η γενικότερη διατύπωση του προβλήματος είναι «Η χωροθέτηση ενός δοσμένου αριθμού εγκαταστάσεων (P) κατά τέτοιο τρόπο ώστε το άθροισμα των συντομότερων αποστάσεων των κόμβων (όπου βρίσκονται οι πελάτες) από τις πλησιέστερες εγκαταστάσεις να είναι ελάχιστο».

Η μαθηματική μοντελοποίηση του προγράμματος είναι η εξής:

$$\min \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \qquad (2.4)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \text{ για } \forall \mathrm{i} \qquad (2.5)$$

$$\sum_j X_i = P \qquad (2.6)$$

$$Y_{ij} - X_{ij} \le 0 \text{ για } \forall \mathrm{i, j} \qquad (2.7)$$

$$X_j = 0,1 \ \forall \mathrm{j} \qquad (2.8)$$

$$Y_{i,j} = 0,1 \ \forall \mathrm{i, j} \qquad (2.9)$$

Οι μεταβλητές απόφασης για την επίλυση του προβλήματος είναι οι εξής:

$$X_j = \begin{cases} 1, \text{αν τοποθετήσο υμε το κέντρο παροχής υπηρεσιών στην πιθανή θέση } j \\ 0, \text{διαφορετικ ά} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, \text{αν η ζήτηση στον κόμβο } i \text{ οφείλεται στο κέντρο παροχής υπηρεσιών του κόμβου } j \\ 0, \text{διαφορετικ ά} \end{cases}$$

όπου

i: κόμβοι ζήτησης/πελάτες

j: ενδεχόμενες θέσεις εγκαταστάσεων

h_i: ζήτηση πελάτη (demand)

d_{ij}: απόσταση κόμβων i (σημείων ζήτησης) από τις πιθανές θέσεις των εγκαταστάσεων j

P: αριθμός εγκαταστάσεων που θα τοποθετηθούν.

Η σχέση (2.4) μας δίνει την ελαχιστοποίηση της ολικής απαιτούμενης απόστασης ανάμεσα στους πελάτες και τις εγκαταστάσεις. Ο περιορισμός (2.5) μας δείχνει ότι κάθε ζήτηση εξυπηρετείται από συγκεκριμένη εγκατάσταση. Ο περιορισμός (2.6) απαιτεί να τοποθετηθούν ακριβώς P εγκαταστάσεις και ο περιορισμός (2.7) μας επιτρέπει διαδρομές μόνο προς σημεία όπου είναι εγκατεστημένες οι εγκαταστάσεις. Τέλος οι περιορισμοί (2.8), (2.9) είναι οι μεταβλητές απόφασης όπως δηλώθηκαν από πριν. Η τυποποίηση του προβλήματος επιτρέπει στις εγκαταστάσεις να είναι τοποθετημένες σε πεπερασμένο αριθμό ενδεχομένων θέσεων (potential sites). Οι θέσεις αυτές είναι μόνο οι κόμβοι του δικτύου.

2.4.3 Το Capacitated πρόβλημα p-μέσων (p-median)

Το «Capacitated p-median problem» επιλύει το πρόβλημα της βέλτιστης χωροθέτησης p εγκαταστάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις των εγκαταστάσεων από τους πελάτες και την χωρητικότητα της κάθε εγκατάστασης. Στον υπολογισμό του κόστους ουσιαστικά λαμβάνεται υπόψη μόνο η απόσταση πελάτη-εγκατάστασης, με την προϋπόθεση ότι δεν παραβιάζεται η χωρητικότητα της εγκατάστασης. Η μορφοποίηση του προβλήματος είναι η εξής:

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij} \qquad (2.10)$$

υπό τους περιορισμο ύς

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1, i \in N \qquad (2.11)$$

$$\sum_{j \in N} x_{jj} = p \qquad (2.12)$$

$$\sum q_{ij} x_{ij} \le Q x_{jj}, \quad j \in N \qquad (2.13)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\},\ i \in N,\ j \in N \qquad (2.14)$$

Όπου ο d_{ij} είναι ένας πίνακας αποστάσεων όλων των εγκαταστάσεων-πελατών, το $x_{ij}=1$, εάν ο πελάτης i αντιστοιχηθεί στην εγκατάσταση j ή $x_{ij}=0$ εάν δεν υπάρχει αντιστοίχηση πελάτη i με εγκατάσταση j. Οι περιορισμοί (2.11) και (2.12) δηλώνουν ότι ο κάθε πελάτης θα αντιστοιχηθεί σε μία μόνο αποθήκη. Ο περιορισμός (2.13) δηλώνει ότι δεν πρέπει να παραβιάζεται η χωρητικότητα της κάθε εγκατάστασης.

2.4.4 Το μοντέλο σύνολο-κάλυψης

Το μοντέλο αυτό δημιουργεί για όλα τα σημεία ζήτησης ένα σύνολο από κέντρα παροχής, τα οποία είναι χωροθετημένα μέσα σε ένα όριο, απόστασης ή χρόνου από το κάθε σημείο ζήτησης έτσι ώστε να καλύπτονται όλα. Στο μοντέλο αυτό, οι οικονομικοί περιορισμοί αποτελούν δευτερεύουσα σημασία και το σημαντικότερο είναι το πόσο προσιτό είναι κάποιο κέντρο παροχής. Η διατύπωση του προβλήματος είναι η εξής: Να βρεθεί ο ελάχιστος αριθμός κέντρων παροχής υπηρεσιών και οι θέσεις τους στο χώρο έτσι ώστε για κάθε σημείο ζήτησης να υπάρχει ένα κέντρο μέσα σε απόσταση t μονάδων απόστασης ή χρόνου και η μαθηματική έκφραση είναι η εξής:

$$\min F(y) = \sum_{j=1}^{n} a_i \qquad (2.15)$$

Με τους περιορισμούς

$$\sum_{j \in N_j}^{n} a_i \ge 1 \text{ για } \mathrm{i} = 1,..., \mathrm{m}$$

$$y_j \in \{0,1\} \text{ για } \mathrm{j} = 1,...., \mathrm{n} \qquad (2.16)$$

$$\mathrm{N_j} = \{ j : t_{ij} \le \bar{t}_j \}$$

2.4.5 Το μοντέλο Μέγιστης-κάλυψης

Το μοντέλο μέγιστης κάλυψης δημιουργήθηκε από την αδυναμία του μοντέλου συνόλου-κάλυψης για ορισμένες τιμές κατωφλίων να δώσει πραγματικά αποτελέσματα. Σε πολλές περιπτώσεις το παραπάνω μοντέλο έδινε ως αποτέλεσμα μη προσιτές λύσεις που αποτελούνταν από περισσότερα κέντρα από ότι μπορούμε αν δημιουργήσουμε. Το μοντέλο μέγιστης-κάλυψης εκφράζεται ως εξής: Να χωροθετηθούν p-κέντρα προσφοράς υπηρεσιών σε θέσεις ενός δικτύου έτσι ώστε το μέγιστο μέρος του πληθυσμού να βρίσκεται μέσα σε ένα ορισμένο όριο απόστασης/χρόνου. Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου είναι η εξής:

$$\max F(X,Y) = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} n_{ij} x_{ij} \quad (2.17)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \le 1 \quad \text{για } i = 1,....,m \\
&0 \le a_{ij} \le y \quad \text{για } i = 1,.....,m \text{ και } j = 1,....,n \\
&y_i \in \{0,1\} \quad \text{για } j = 1,.....,n \\
&\sum_{j=1}^{n} \alpha_j = p \\
&\text{όπου} \\
&w_{ij} = w \quad \text{αν } t_{ij} = \bar{t}_i
\end{aligned} \quad (2.18)$$

2.4.6 Πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων περιορισμένης χωρητικότητας (Capacitated Facility Location Problem)

Το πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων περιορισμένης χωρητικότητας αποτελεί ένα γνωστό πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης με εφαρμογές στην παραγωγή και διανομή προϊόντων. Το πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων περιορισμένης χωρητικότητας καθορίζει ποιες εγκαταστάσεις πρέπει να χρησιμοποιηθούν από ένα προσφερόμενο σύνολο εγκαταστάσεων και πως θα γίνει η χωροθέτηση των πελατών σε αυτές τις εγκαταστάσεις. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος εγκατάστασης και το κόστος μεταφοράς των προϊόντων. Οι περιορισμοί είναι ότι η ζήτηση του κάθε πελάτη πρέπει να ικανοποιείται και κάθε εγκατάσταση δεν μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερα από ότι από την χωρητικότητα της εάν είναι ανοιχτή. Εφαρμογές του προβλήματος αυτού αποτελεί η χωροθέτηση και η κατανομή

των εγκαταστάσεων, στον σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακού δικτύου και αλλού. Η μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος είναι η εξής:

$$Z = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} f_j y_j \qquad (2.19)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \text{ για } \forall i \in I \qquad (2.20)$$

$$\sum_{i \in I} d_i x_{ij} \le s_j y_j \quad \forall j \in J \qquad (2.21)$$

$$0 \le x_{ij} \le 1,\ 0 \le y_j \le 1 \text{ για } \forall i \in I, \forall j \in J \qquad (2.22)$$

$$y_j \in \{0,1\} \text{ για } \forall j \in J \qquad (2.23)$$

όπου I είναι το σύνολο των πελατών, J είναι το σύνολο των υποψήφιων τοποθεσιών των εγκαταστάσεων, c_{ij} είναι το κόστος εξυπηρέτησης της ζήτησης d_i του πελάτη i από την εγκατάσταση j, f_j είναι το σταθερό κόστος της εγκατάστασης j η οποία έχει ανοίξει, και s_j η χωρητικότητα της αν είναι ανοιχτή. Η δυαδική μεταβλητή y_j είναι ίση με 1 εάν η εγκατάσταση είναι ανοιχτή και 0 εάν διαφορετικά. Το x_{ij} καθορίζει το κλάσμα της ζήτησης του πελάτη i που εξυπηρετείται από την εγκατάσταση j. Ο περιορισμός (2.20) είναι ο περιορισμός ζήτησης και ο περιορισμός (2.21) δηλώνει την περιορισμένη χωρητικότητα της εγκατάστασης.

Κεφάλαιο 3 : Χρήση του μεθευρετικού αλγόριθμου "Artificial Bee Colony" για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης p-median και Capacitated Facility Location Problem

3.1 Μεθευρετικοί αλγόριθμοι

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι είναι μέθοδοι επίλυσης που συνδυάζουν διαδικασίες τοπικής αναζήτησης και υψηλότερου επιπέδου τεχνικές με σκοπό μία διαδικασία να ξεφύγει από κάποιο πιθανόν τοπικό ελάχιστο. Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι συνήθως χρησιμοποιούν σαν υποδιαδικασίες παραδοσιακούς ευρετικούς αλγόριθμους ενώ σε πολλές περιπτώσεις επιτρέπουν σε κάποιον μεθευρετικό αλγόριθμο και βήματα που οδηγούν σε μη εφικτές λύσεις. Αυτό συμβαίνει για να ξεπεραστεί ως λύση κάποιο τοπικό ελάχιστο και η λύση που θα εξαχθεί να είναι πραγματικά η καλύτερη λύση του προβλήματος. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των αλγόριθμων είναι ότι προσομοιάζουν μια διαδικασία που έχει εφαρμογή στην φύση, όπως για παράδειγμα το σμήνος μυρμηγκιών, μελισσών. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτών των αλγορίθμων είναι ότι μοντελοποιούν ένα φαινόμενο που υπάρχει τη φύση, μεταφέρονται εύκολα σε παράλληλη μορφή ενώ είναι και προσαρμοστικοί αλγόριθμοι. Ορισμένα παραδείγματα μεθευρετικών αλγόριθμων είναι η περιορισμένη αναζήτηση (tabu search), ο γενετικός αλγόριθμος (genetic algorithm), τα νευρωνικά δίκτυα (neural nets), αλγόριθμο τεχνητής αποικίας μελισσών (artificial bee colony). Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στους εξελικτικούς αλγόριθμους (evolutionary algorithms) και στους swarm intelligence-based αλγόριθμους.

Οι *εξελικτικοί αλγόριθμοι (evolutionary algorithms)* αποτελούν τεχνικές αναζήτησης και βελτιστοποίησης και έχουν προέλευση από τον χώρο της βιολογίας. Χρησιμοποιούν την ιδέα της φυσικής επιλογής και της επιβίωσης του καλύτερου,

σύμφωνα με τον Δαρβίνο. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι μιμούνται τις φυσικές διαδικασίες της επιλογής ή της αναπαραγωγής (selection, reproduction), της μετάλλαξης (mutation) και της διασταύρωσης (crossover) και τους χρησιμοποιούν ως μηχανισμό για την εύρεση καλύτερων λύσεων σε προβλήματα βελτιστοποίησης (optimization problems). Οι μεθοδολογίες των «εξελικτικών αλγόριθμων» είναι οι Γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic Algorithms), ο Γενετικός προγραμματισμός (Genetic Programming), ο Εξελικτικός προγραμματισμός (Evolutionary Programming) και η Εξελικτική Στρατηγική (Evolution Strategy). Αναμφίβολα, οι *γενετικοί αλγόριθμοι* αποτελούν την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική.

Οι αλγόριθμοι *swarm intelligence (νοημοσύνη σμήνους)* είναι εμπνευσμένοι από την φύση και πιο συγκεκριμένα από τον τρόπο κίνησης των πουλιών σε κοπάδια. Το *swarm intelligence* είναι ένα υπολογιστικό πρότυπο εμπνευσμένο από την φύση και πιο συγκεκριμένα από την συμπεριφορά διαφόρων συνεργατικών οργανισμών όπως τα μυρμήγκια, οι μέλισσες, τα ψάρια, τα πουλιά. Μιμείται αυτούς τους οργανισμούς αφού ο τρόπος ζωής τους μπορεί να δώσει λύσεις σε διάφορα υπολογιστικά προβλήματα. Οι διάφορες κοινωνίες οργανισμών συνεργάζονται μεταξύ τους για την ολοκλήρωση κοινών σκοπών, όπως της συλλογής της τροφής τους, κατασκευής της φωλιάς τους. Μπορεί να είναι αυτόνομες οντότητες και να έχουν περιορισμένο πεδίο αντίληψης του περιβάλλοντος, αλλά από την άλλη ακολουθούν ένα σύνολο κανόνων συμπεριφοράς. Οι οργανισμοί αυτοί αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, μεταβάλλουν το περιβάλλον μέσα στο οποίο διαμένουν και επικοινωνούν με τον δικό τους ξεχωριστό τρόπο. Παραδείγματα αλγορίθμων της κατηγορίας αυτής είναι ο *Particle swarm optimization algorithm* (PSO), *ant colony algorithm* (αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών), *virtual bee algorithm* (αλγόριθμος εικονικών μελισσών), *artificial bee colony algorithm* (αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών).

Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκε μία καινούρια ομάδα αλγορίθμων νοημοσύνης σμήνους (swarm intelligence) που βασίζονται στην συμπεριφορά μελισσών στη φύση. Οι αλγόριθμοι αυτοί χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες με κριτήριο τις διαδικασίες που ακολουθούν οι μέλισσες κατά την διάρκεια του βίου τους. Η πρώτη κατηγορία είναι η διαδικασία κατά την διάρκεια της αναζήτησης τροφής (*foraging behavior*) και η δεύτερη κατηγορία είναι η συμπεριφορά των μελισσών κατά την διάρκεια του ζευγαρώματος (*mating behavior*). Παραδείγματα της πρώτης κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος Τεχνητής Αποικίας Μελισσών (Artificial Bee

Colony), ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μελισσών (Bee Colony Optimization), ο αλγόριθμος της κυψέλης μελισσών (BeeHive), ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Μελισσών (Bee Swarm Optimization) και ο αλγόριθμος των εικονικών μελισσών (Virtual Bee Algorithm). Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος μελισσών (Honey Bees Mating Optimization) και ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μπουμπούρων (Bumble Bees Mating Optimization).

Στην εργασία μας μελετήσαμε και υλοποιήσαμε τον μεθευρετικό αλγόριθμο «Artificial Bee Colony», τον οποίο αναλύουμε εκτενώς τα βήματα του και τον τρόπο λειτουργίας του στην επόμενη ενότητα.

3.2 Εισαγωγή στον αλγόριθμο «Artificial Bee colony»

Ο Artificial Bee Colony αλγόριθμος είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης που βασίζεται στην συμπεριφορά ενός σμήνους μελισσών. Αυτό που συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι ότι οι μέλισσες φεύγουν από την κυψέλη για την αναζήτηση τροφής και όταν βρουν την τροφή, επειδή δεν μπορούν να την συλλέξουν και να την μεταφέρουν μόνες τους στην κυψέλη, επιστρέφουν στην κυψέλη, ξεφορτώνουν το νέκταρ που πήραν μαζί τους και ενημερώνουν τις υπόλοιπες μέλισσες για την πηγή τροφής που βρήκαν. Η ενημέρωση γίνεται με ειδικές κινήσεις, οι οποίες επιστημονικά ονομάζονται «χορός» εντός της κερήθρας, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους. Οι κυριότερες πληροφορίες είναι το πόσο πλούσια σε τροφή (νέκταρ) είναι η πηγή τροφής και πόσο απέχει από την κυψέλη. Σκοπός του «χορού» είναι να ενημερώσουν και να πείσουν όσο το δυνατόν περισσότερες μέλισσες να τις ακολουθήσουν στις πηγές τροφής. Η κάθε μέλισσα χορεύει σε όσο το δυνατόν περισσότερους χώρους της κυψέλης για να πείσει όσο περισσότερες μέλισσες μπορεί. Επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι όταν οι μέλισσες χορεύουν, η κατεύθυνση που έχουν δείχνει την κατεύθυνση της πηγής τροφής σε σχέση με τον ήλιο, η ένταση των κινήσεων δείχνει την απόσταση της πηγής τροφής ενώ η χρονική διάρκεια του χορού δείχνει την ποσότητα της τροφής της πηγής.

Στον «Artificial Bee Colony» αλγόριθμο, η αποικία των μελισσών αποτελείται από 3 ομάδες: τις *employed bees* (εργαζόμενες μέλισσες), τις *onlookers bees*, και τις *scouts bees*. Το πρώτο μισό της αποικίας αποτελείται από τις employed bees και το δεύτερο μισό περιλαμβάνει τις onlookers. Για κάθε πηγή τροφής, υπάρχει

μία μόνο employed bee, δηλαδή ο αριθμός των employed bees είναι ίσος με τον αριθμό των πηγών τροφής γύρω από την κυψέλη. Η employed bee της οποίας η πηγή τροφής έχει εγκαταλειφθεί από τις μέλισσες γίνεται scout. Στον αλγόριθμο αυτόν, η θέση της πηγής τροφής αναπαριστά μία πιθανή λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης και το ποσό του νέκταρ της πηγής αντιστοιχεί στην ποιότητα (fitness) της σχετιζόμενης λύσης. Ο αριθμός των employed bees είναι ίσος με των αριθμό των λύσεων του πληθυσμού.

Αρχικά ο ABC παράγει μία τυχαία κατανομή αρχικού πληθυσμού P των SN λύσεων (θέσεις πηγών τροφής), όπου SN ορίζει το μέγεθος του πληθυσμού. Κάθε λύση x_i (ι=1,2,….,SN) είναι ένα διάνυσμα D-διαστάσεων. Μετά την αρχικοποίηση, ο πληθυσμός των θέσεων (λύσεις) υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενους κύκλους, C=1,2,…, MCN και στην διαδικασία αναζήτησης μέσω των employed bees, των onlookers bees, και των scout bees. Μία employed bee παράγει ένα μετασχηματισμό της θέσης (solution) στην μνήμη της, ο οποίος εξαρτάται από τοπική πληροφορία (οπτική πληροφορία) και εξετάζει το ποσό του νέκταρ (fitness value) της νέας πηγής (νέα λύση). Υπό την προϋπόθεση ότι το ποσό του νέκταρ της καινούριας θέσης είναι υψηλότερο από το προηγούμενο, η μέλισσα απομνημονεύει την καινούρια θέση και ξεχνάει την παλιά. Διαφορετικά, αυτή διατηρεί την προηγούμενη στην μνήμη της. Μετά που όλες οι employed bees συμπληρώσουν την διαδικασία αναζήτησης, αυτές μοιράζονται τις πληροφορίες για το νέκταρ των πηγών τροφής και την πληροφορία για την θέση τους με τις onlooker bees στην ονομαζόμενη περιοχή «dance area». Μία onlooker bee αποτιμά την πληροφορία για το νέκταρ της πηγής που πάρθηκε από όλες τις employed bees και επιλέγει μία πηγή τροφής με πιθανότητα που σχετίζεται με το ποσό του νέκταρ. Όπως στην περίπτωση της employed bee, αυτή παράγει έναν μετασχηματισμό της θέσης στην μνήμη της και ελέγχει το ποσό του νέκταρ στην υποψήφια θέση. Εάν το ποσό του νέκταρ είναι υψηλότερο από το προηγούμενο, η μέλισσα απομνημονεύει την καινούρια θέση και ξεχνάει την παλιά. Τα κύρια βήματα του αλγορίθμου είναι τα εξής:

1. Αρχικοποίηση πληθυσμού
2. επανάληψη
3. Τοποθέτησε τις employed bees στις πηγές τροφής τους
4. Τοποθέτησε τις onlooker bees στις πηγές τροφής σύμφωνα με τα ποσά του νέκταρ

5. Στείλε τις scouts στην περιοχή έρευνας για την ανακάλυψη νέων πηγών τροφής
6. Απομνημόνευσε τις καλύτερες πηγές τροφής που βρέθηκαν έως τώρα.

Κάθε κύκλος αναζήτησης αποτελείται από 3 βήματα: Αποστολή των employed bees στις πηγές τροφής και αποτίμηση του νέκταρ που περιέχουν. Έπειτα μοίρασμα της πληροφορίας για το νέκταρ για τις πηγές, επιλογή των περιοχών πηγών τροφής από τις onlookers και αποτίμηση του ποσού του νέκταρ των πηγών. Καθορισμός των scouts bees και αποστολή αυτών τυχαία σε νέες πηγές τροφής. Στο στάδιο της αρχικοποίησης, ένα σύνολο από τυχαία επιλεγμένες πηγές τροφής από τις μέλισσες και τα ποσά νέκταρ αυτών καθορίζονται.

Στο *πρώτο βήμα* του κύκλου, οι μέλισσες αυτές ανταλλάζουν τις πληροφορίες για το νέκταρ των τροφών εντός της κυψέλης με τις μέλισσες που περιμένουν στην dancing area. Μία μέλισσα περιμένοντας στην dance area για να πάρει κάποια απόφαση για την επιλογή κάποια πηγής καλείται onlooker bee και η μέλισσα που πρόκειται να πάει στην πηγή που έχει ήδη επισκεφθεί από πριν ονομάζεται employed bee. Μετά το μοίρασμα των πληροφοριών με τις onlookers bees, κάθε employed bee πηγαίνει στην περιοχή της πηγής που επισκέφτηκε στην προηγούμενη επανάληψη αφού αυτή η πηγή υπάρχει την μνήμη της και έπειτα επιλέγει μια καινούρια πηγή τροφής δια μέσου της οπτικής πληροφορίας στην γειτονιά και αποτιμά το ποσό του νέκταρ.

Στο *δεύτερο βήμα* του κύκλου, μία onlooker bee προτιμά μία πηγή ανάλογα με την πληροφορία για το ποσό του νέκταρ η οποία είναι μοιρασμένη από τις employed bees στην dance area. Όσο το ποσό του νέκταρ για μία πηγή αυξάνεται (δηλαδή η ποιότητα της λύσης είναι καλύτερη), τόσο η πιθανότητα επιλογής της αυξάνεται. Έπειτα φτάνοντας στην επιλεγόμενη περιοχή, αυτή επιλέγει μία καινούρια πηγή τροφής γειτονική, μία από αυτές που υπάρχουν αποθηκευμένες στην μνήμη.

Στο *τρίτο βήμα* του κύκλου, όταν το νέκταρ της πηγής εγκαταλειφθεί από τις μέλισσες (ουσιαστικά αν μία λύση δεν βελτιώνεται παραπέρα), μία νέα πηγή τροφής επιλέγεται τυχαία από μία scout bee και αντικαθιστά την εγκαταλειμμένη. Εάν μία θέση δεν μπορεί να βελτιωθεί περεταίρω σε έναν προκαθορισμένο αριθμό κύκλων, τότε η πηγή τροφής θεωρείται εγκαταλειμμένη. Στον «Artificial Bee Colony» αλγόριθμο αυτό αναπαρίσταται με την παραγωγή μίας θέσης (λύσης) τυχαία και αντικαθιστώντας αυτή με την εγκαταλειμμένη. Η προκαθορισμένη τιμή του αριθμού

των αποτυχημένων προσπαθειών βελτίωσης της λύσης είναι μία σημαντική παράμετρο ελέγχου του αλγόριθμου, η οποία καλείται "όριο" για εγκατάλειψη. Μετά που κάθε υποψήφια θέση πηγής τροφής παράγεται, αποτιμάται και η απόδοση της συγκρίνεται με την παλαιότερη. Εάν η νέα πηγή τροφής έχει ίσο ή καλύτερο νέκταρ από την παλαιότερη πηγή, αυτή αντικαθιστά την παλαιότερη στην μνήμη. Διαφορετικά, η παλαιότερη παραμένει στην μνήμη. Ένας μηχανισμός επιλογής Greedy εφαρμόζεται στην επιλογή συνάρτησης ανάμεσα στην παλαιά και στην υποψήφια. Τα τρία αυτά βήματα επαναλαμβάνονται για έναν προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων που καλείται Μέγιστος Αριθμός Επαναλήψεων ή έως το κριτήριο τερματισμού ικανοποιηθεί.

3.3 Τα βήματα υλοποίησης του αλγόριθμου "Artificial Bee Colony" για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης αποθηκών p-median και CFLP

Τα βήματα του αλγορίθμου «*Artificial Bee Colony*», που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον matlab για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης εγκαταστάσεων p-median και Capacitated Facility Location Problems (CFLP), είναι τα εξής:

<u>Βήματα επίλυσης</u>

Βήμα 1: Αρχικοποίηση παραμέτρων

n= αριθμός employed bees

m=αριθμός onlookers bees (m=10*n)

Αριθμός scout bees= 0.1*employed bees

Iteration=μέγιστος αριθμός επαναλήψεων

Ejection Chain Length: Μήκος του Ejection Chain Neighbourhood

Allowable failures= μέγιστος αριθμός επιτρεπόμενων αποτυχημένων προσπαθειών

Stepsizedec=Παράμετρος μείωσης της ποινής παραβίασης των περιορισμών χωρητικότητας

Stepsizeinc=Παράμετρος αύξησης της ποινής παραβίασης των περιορισμών χωρητικότητας

InitialCapacityViolationPenaltyCoefficient- α_j = αρχική τιμή της παραμέτρου τιμωρίας για την i_{th} αποθήκη

Βήμα 2: Κατασκευάζουμε αρχικές τυχαίες λύσεις (Employed Bee Colony) χρησιμοποιώντας τον GRAH (Greedy Randomized Adaptive Search Heuristic). Δηλαδή αντιστοιχίζουμε όλους τους πελάτες στις διαθέσιμες αποθήκες.

Στην συνέχεια για κάθε λύση (για κάθε employed bee) υπολογίζουμε μία τιμή καταλληλότητας (fitness value), χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$\sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} a_i p_i(\sigma) \qquad (3.1)$$

Όπου

$$p_i(\sigma) = \max\left\{0, \left(\sum_{j \in J, \sigma(j)=i} a_{ij}\right) - b_i\right\} \quad (3.2)$$

Το $i \in I$ εκφράζει το σύνολο των αποθηκών (agents), ενώ το $j \in J$ εκφράζει τον αριθμό των πελατών (tasks). Ο όρος $p_i(\sigma)$ εκφράζει την υπερχείλιση της εκάστοτε αποθήκης. Ο όρος b_i εκφράζει την χωρητικότητα της αποθήκης i, και ο όρος α_{ij} εκφράζει την ζήτηση του πελάτη j από την αποθήκη i.

Βήμα 3: Επανάληψη

Για επανάληψη=1

Για κάθε αρχική λύση (employed bee) εφαρμόζομε τα παρακάτω:

1. Αριθμός των scout bees=0.1*n
2. Για κάθε employed bee (για κάθε αρχική λύση):

   Εφαρμόζουμε την τεχνική *Shift Neighborhood* και εάν η νέα λύση που προκύπτει είναι καλύτερη από την προηγούμενη, την αντικαθιστούμε ως την καλύτερη λύση (best solution) έως τώρα.
3. Στην συνέχεια εφαρμόζουμε την τεχνική *Double Shift Neighborhood* (ουσιαστικά Long Chain Neighborhood για l=2), στην καλύτερη έως τώρα αποθηκευμένη λύση από το προηγούμενο βήμα, και συγκρίνοντας την νέα λύση που προκύπτει με αυτήν, κρατάμε την καλύτερη λύση (best solution).
4. Για την κάθε λύση που έχει προκύψει μετά τα βήματα 2 και 3, υπολογίζουμε την πιθανότητα της κάθε λύσης με χρήση της σχέσης:

   Solution fitness= -Values+ max(Values)+0.01

   Mutationpropabilities=solutionFitness/sum(solutionFitness)

5. Με βάση τις προηγούμενες πιθανότητες για την κάθε λύση, υπολογίζεται ο αριθμός των onlooker bees που θα αντιστοιχηθούν σε κάθε employed bee (σε κάθε λύση δηλαδή).
6. Σε κάθε onlooker bee που προκύπτει μετά το βήμα 5, εφαρμόζεται η τεχνική *Long Chain Neighborhood* για l=3. Όσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχει μία λύση, τόσες περισσότερες onlooker bees θα αντιστοιχηθούν στην λύση αυτή και όσες είναι ο αριθμός των onlookers bees τόσες φορές εφαρμόζεται η τεχνική *Long Chain Neighborhood* (για l=3), δηλαδή μία φορά σε κάθε onlooker bee. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η τεχνική *Long Chain Neighborhood* (για l=3) για την onlooker 2, εφαρμόζεται στο αποτέλεσμα την λύσης που προήλθε από την εφαρμογή του *Long Chain Neighborhood* (*l=3*) στην onlooker1. Όμοια, η τεχνική *Long Chain Neighborhood* (για l=3) για την onlooker 3, εφαρμόζεται στο αποτέλεσμα την λύσης που προήλθε από την εφαρμογή του *Long Chain Neighborhood* (*l=3*) στην onlooker2 και ούτω κάθε εξής.
7. Μετά την εφαρμογή της τεχνικής *Long Chain Neighborhood(l=3)* σε κάθε onlooker bee solution, υπολογίζεται για κάθε μία το fitness value.

Βήμα 4: Από το σύγκριση των λύσεων που έχουν προκύψει, δηλαδή την employed bee (στην οποία έχει εφαρμοστεί ο *Shift Neighborhood* και ο *Double Shift Neighborhood* και έχουμε κρατήσει την καλύτερη λύση) και τις onlookers bees (στις οποίες έχει εφαρμοστεί ο *Ejection Chain Neighborhood*), επιλέγεται η λύση με το καλύτερο fitness value (best solution), δηλαδή με την μικρότερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης προς ελαχιστοποίηση.

Στο βήμα αυτό γίνεται έλεγχος αν η λύση που προκύπτει είναι εφικτή ή όχι. Αν ναι, γίνεται σύγκριση με την καλύτερη εφικτή λύση που έχουμε αποθηκεύσει ως τώρα και αν είναι και καλύτερη, τότε αποθηκεύεται. Αν όχι, τότε κρατάμε την παλαιά εφικτή λύση. Στην συνέχεια ο συντελεστής τιμωρίας α_j ανανεώνεται, σύμφωνα με τις σχέσεις που παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα της εργασίας. Από την παραπάνω διαδικασία, αν προκύψει εφικτή λύση, τότε ο συντελεστής τιμωρίας μειώνεται, ενώ αν η προκύπτουσα λύση είναι μη εφικτή, τότε ο συντελεστής τιμωρίας αυξάνεται. Τα βήματα 3 και 4 εφαρμόζονται για όλες τις employed bees (για όλες τις λύσεις).

Βήμα 5: Scout Bees

Ο ρόλος των Scout Bees στον αλγόριθμο μας είναι:

I. Μετά την εφαρμογή των τεχνικών βελτιστοποίησης μίας λύσης, συγκρίνονται οι χειρότερες λύσεις (employed bees or onlookers bees solutions), οι οποίες σε αριθμό είναι όσες οι scout bees λύσεις (0.1*n), με τις scout bees solutions, που είναι τυχαίες λύσεις που έχουν παραχθεί. Εάν η scout solution είναι καλύτερη (χαμηλότερο κόστος) από την αντίστοιχη λύση, τότε αντικαθίστανται από την scout bee solution. Αλλιώς η λύση μεταφέρεται στην επόμενη επανάληψη. Στα παραδείγματα μας χρησιμοποιούμε 200 employed bees solutions (τόσες είναι οι αρχικές μας λύσεις) και άρα και 20 scout bees solutions, με αποτέλεσμα στο βήμα αυτό να γίνεται σύγκριση μεταξύ των 20 χειρότερων employed bees solutions και των scout bees solutions.
II. Στην περίπτωση που μία λύση (Employed Bee solution), ξεπεράσει των αριθμό αποτυχημένων προσπαθειών που έχουμε θεωρήσει αρχικά (allowableFailures), τότε η λύση αυτή αντικαθίσταται από μία καινούρια λύση Scout bee solution. Η καινούρια λύση προέρχεται από την παλαιά λύση αντικαθιστώντας μία μόνο αποθήκη από τις χρησιμοποιούμενες με μία από αυτές που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί έως τώρα.

Βήμα 6: Επανάληψη=Επανάληψη+1 έως τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων που έχουμε εισάγει αρχικά.

3.3.1 Η τεχνική "Long Chain Neighborhood" για την παραγωγή γειτονικών λύσεων

Η τεχνική «*Long chain neighborhood*» χρησιμοποιείται για την εύρεση γειτονικών λύσεων. Έστω $j \in J$ το σύνολο των αποθηκών και $\sigma(j) = i$ η αποθήκη (agent) στην οποία αντιστοιχίζεται ο πελάτης i, όπου $i \in I$ το σύνολο των πελατών (tasks). Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται τα βήματα της τεχνικής *Long chain neighborhood.*

Στο πρώτο βήμα αφαιρείται ένας πελάτη (task) j_o από την αποθήκη (agent) $\sigma(j_o)$ στην οποία ανήκει (ορίζεται ως ejection move), το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας στην αποθήκη (agent) $\sigma(j_o)$. Ο πελάτης (task)

j_o ,ο οποίος επιλέγεται σταθμισμένα τυχαία από όλους τους πελάτες, σύμφωνα με τον υπολογισμό βαρών (weights) τα οποία καλούνται στον κώδικα μας ως *taskweights*, παραμένει ελεύθερος και καλείται ως *taskfree*. Στην συνέχεια υπολογίζουμε για τον πελάτη *taskfree* σε ποια από τις χρησιμοποιούμενες αποθήκες έχει το λιγότερο κόστος και την αποθήκη αυτήν την ονομάζουμε *depot_star*. Στο τελευταίο βήμα θα επιλέξουμε σε ποια αποθήκη θα αντιστοιχήσουμε τον πελάτη *taskfree*.

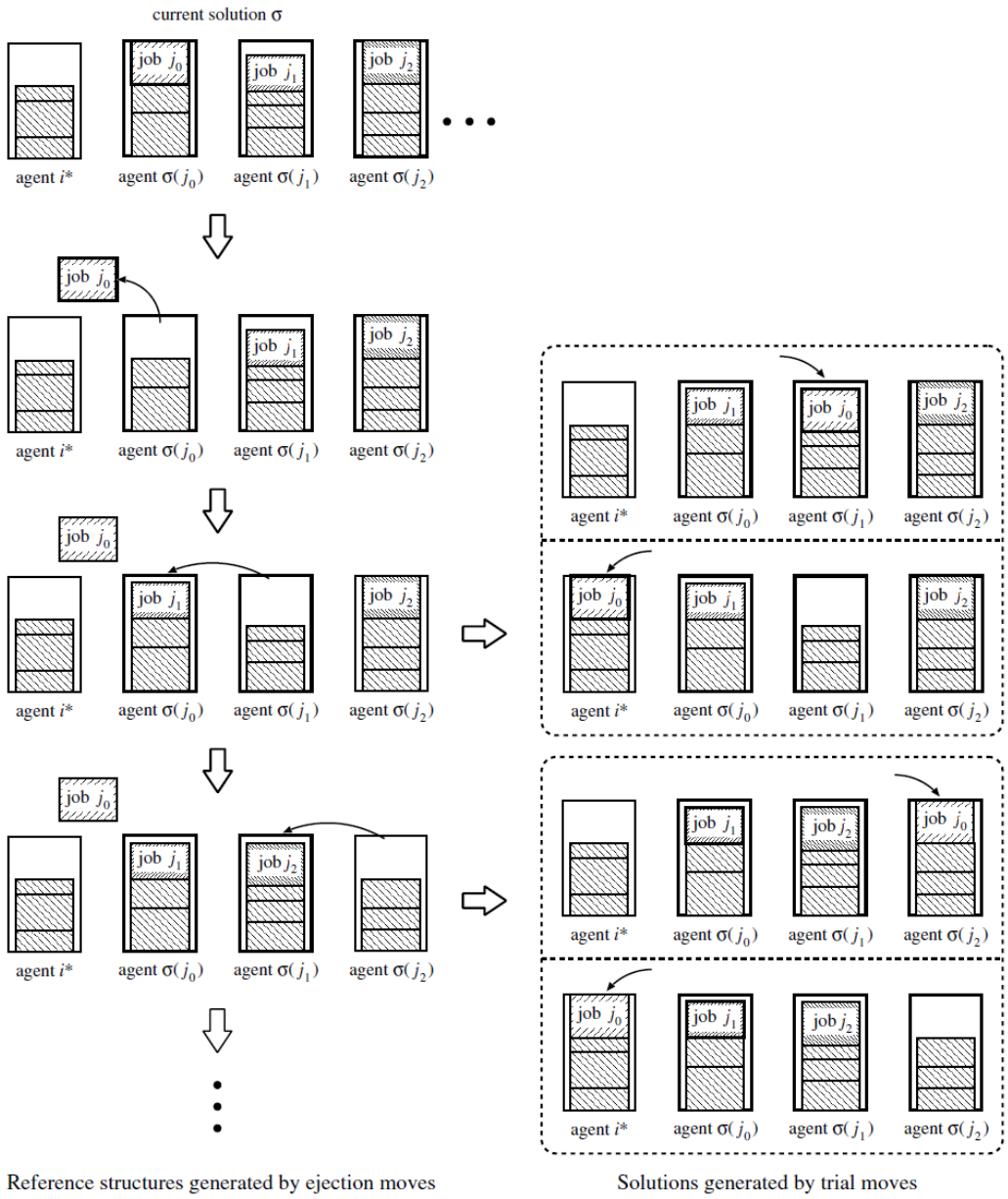
Στο δεύτερο βήμα ερευνούμε ποιος πελάτης θα πάει στην αποθήκη από την οποία έφυγε ο j_o, δηλαδή στην $\sigma(j_o)$. Από τους ενεργούς πελάτες (δηλαδή όλοι οι πελάτες εκτός του j_o που ήδη έχει χρησιμοποιηθεί και εκτός τους πελάτες που αντιστοιχούν σε γεμάτες ή υπερφορτωμένες αποθήκες) και για κάθε έναν ξεχωριστά, υπολογίζουμε το *taskWeights* αν αντιστοιχιζόταν στην αποθήκη $\sigma(j_o)$ και η επιλογή του πελάτη γίνεται σταθμισμένα τυχαία (συνάρτηση randomWeightedSelect). Δηλαδή κάποιος πελάτης που έχει μικρότερο *taskweights* έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεχθεί για να αντιστοιχηθεί στην αποθήκη $\sigma(j_o)$. Έστω j_1 ο πελάτης (tasks), του οποίου η μετακίνηση στην αποθήκη (agent) $\sigma(j_o)$ είναι η περισσότερο επικερδής ανάμεσα σε όλους τους πελάτες (tasks). Ο πελάτης j_1 μετακινείται στην αποθήκη $\sigma(j_o)$.

Το τρίτο βήμα είναι όμοιο με το δεύτερο βήμα, δηλαδή ερευνούμε ποιος πελάτης θα πάει στην αποθήκη από την οποία έφυγε ο j_1, δηλαδή στην $\sigma(j_1)$. Από τους ενεργούς πελάτες (δηλαδή όλοι οι πελάτες εκτός του j_o, j_1, που ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί και εκτός τους πελάτες που αντιστοιχούν σε γεμάτες ή υπερφορτωμένες αποθήκες) και για κάθε έναν ξεχωριστά, υπολογίζουμε το *taskWeights* αν αντιστοιχιζόταν στην αποθήκη $\sigma(j_1)$ και η επιλογή του πελάτη γίνεται σταθμισμένα τυχαία (συνάρτηση *randomWeightedSelect*). Δηλαδή κάποιος πελάτης που έχει μικρότερο taskweights έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεχθεί για να αντιστοιχηθεί στην αποθήκη $\sigma(j_1)$. Έστω j_2 ο πελάτης (task), του οποίου η μετακίνηση στην αποθήκη (agent) $\sigma(j_1)$ είναι η περισσότερο επικερδής ανάμεσα σε όλους τους πελάτες (tasks). Ο πελάτης j_2 εγκαταλείπει την αποθήκη $\sigma(j_2)$ και μετακινείται στην αποθήκη $\sigma(j_1)$.

Στο βήμα αυτό, λαμβάνουν χώρα τα λεγόμενα trial moves, στα οποία ερευνούμε σε ποια αποθήκη θα αντιστοιχηθεί ο πρώτος πελάτης (task) j_o που εγκατέλειψε την αποθήκη του, ο καλούμενος ως και *taskfree*. Αυτή θα είναι είτε η αποθήκη (agent) $\sigma(j_2)$, την οποία εγκατέλειψε στο τελευταίο βήμα ο πελάτης j_2 (trial 1), είτε θα αντιστοιχηθεί στην αποθήκη(agent) *depot_star*, την οποία έχουμε

υπολογίσει σε προηγούμενο βήμα (trial 2). Η αποθήκη που δίνει το μικρότερο κόστος θα είναι και αυτή που θα επιλεχθεί από τις δύο.

Τα βήματα αυτά επαναλαμβάνονται μέχρι το κριτήριο διακοπής ενεργοποιηθεί. Αυτό συμβαίνει όταν οι πελάτες που έχουν απομείνει για να συμμετέχουν στο ejection chain είναι λιγότεροι από τρεις και άρα δεν μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική *ejection chain neighborhood*.



Σχήμα 2 Παράδειγμα αναπαράστασης των βημάτων του Long Chain Neighborhood

3.4 Υπολογιστική Μελέτη

Ο παραπάνω αλγόριθμος υλοποιήθηκε σε περιβάλλον matlab και δοκιμάστηκε σε ένα 20 προβλήματα P-median και 20 προβλήματα CFLP, των οποίων οι ελάχιστες τιμές κόστους είναι γνωστές.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον αλγόριθμο μας είναι οι εξής:

- Αριθμός employed bees (n)
- Αριθμός onlookers bees (m=10*n)
- Αριθμός scout bees (0.1*n)
- Αριθμός επαναλήψεων
- Αρχική τιμή του συντελεστή τιμωρίας (α_j)
- Μήκος της αλυσίδας της μεθόδου Ejection chain neighborhood (EC-Length)

Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των προβλημάτων p-median και CFLP παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 1:

Παράμετροι	P-median	CFLP
Αριθμός επαναλήψεων	800	500
Αριθμός employed bees	200	200
Αριθμός onlookers bees	2000	2000
Αριθμός Scout bees	20	20
Αρχική τιμή συντελεστή τιμωρίας α_j	1	0.5
Βήμα αύξησης συντελεστή τιμωρίας α_j	0.5	0.001
Βήμα μείωσης συντελεστή τιμωρίας α_j	0.5	0.001
Μήκος αλυσίδας EC-Length	3	3

Πίνακας 1. Τιμές παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των προβλημάτων p-median και CFLP με χρήση του αλγόριθμου Artificial Bee Colony

Μία συνάρτηση τιμωρίας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνάρτησης καταλληλότητας (fitness function). Ενώ για την κατασκευή αρχικών λύσεων

χρησιμοποιώντας τον GRAH αλγόριθμο και παράγοντας γειτονικές λύσεις χρησιμοποιώντας τον *Ejection chain Neighborhood* αλγόριθμο, η προτεινόμενη προσέγγιση επιτρέπει την παραγωγή και μη εφικτών λύσεων. Συνεπώς, υπάρχει ένα πρόσθετος όρος στην αντικειμενική συνάρτηση που καθορίζει τιμωρώντας τις ανέφικτες λύσεις με έναν συντελεστή α_j ($\alpha_j>0$). Η συνάρτηση καταλληλότητας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$fit(\sigma_i) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} c_{ij}x_{ij} + \left(\sum_{j=1}^{m} a_j \max\left\{0, \sum_{j=1}^{n} \alpha_{ij}x_{ij} - b_j\right\}\right) \quad (3.3)$$

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης ορίζει το συνολικό κόστος της αντιστοίχησης του πελάτη στην αποθήκη. Ο δεύτερος όρος ορίζεται ως συνάρτηση πρόσθετης τιμωρίας της συνάρτησης προς ελαχιστοποίηση, ο α_j αναπαριστά το κόστος χρησιμοποίησης μίας μονάδας υπερφόρτωσης της χωρητικότητας της j^{th} αποθήκης. Αρχικές τιμές του a'_j καθορίζονται από τον χρήστη. Εάν η λύση είναι μη εφικτή, ο δεύτερος όρος είναι θετικός και η αναζήτηση θα κατευθυνθεί προς εφικτές λύσεις. Εάν η χωρητικότητα δεν υπερβαίνεται, ο όρος αυτός θα πάρει την τιμή 0 και έτσι δεν τιμωρείται η συνάρτηση ελαχιστοποίησης. Η παράμετρος αυτή α_j μπορεί να αυξάνεται κατά την διάρκεια του τρεξίματος του αλγόριθμου για να τιμωρεί τις ανέφικτες λύσεις και να οδηγεί την αναζήτηση σε εφικτές λύσεις, το οποίο σημαίνει τον προσαρμοστικό έλεγχο της τιμωρίας του κόστους.

Οι αρχικές τιμές της παραμέτρου a'_j δίνονται από τον χρήστη. Ένα στάδιο ανανέωσης της τιμής του α_j , το οποίο δημιουργήθηκε από τον Yagiura (2004) και χρησιμοποιήθηκε και στον αλγόριθμο μας, δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

I. Εάν δεν βρεθεί εφικτή λύση στην γειτονιά των onlooker bees solutions, τότε το α_j αυξάνεται για όλα τα $j \in J$, δηλαδή για όλες τις αποθήκες (agents), σύμφωνα με την σχέση

$$a_j = \begin{cases} a_j\left(1 + \Delta q_j^{inc}(\sigma)\right), & a_j > 0 \\ \Delta q_j^{inc}(\sigma)\min_{h\in J}\left\{b_h a_h \middle| b_h a_h > 0 / b_j\right\}, & otherwise \end{cases} \quad (3.4)$$

όπου

$$\Delta = \begin{cases} \dfrac{stepsizein\,c}{\max_{j\in J}\left|q_j^{inc}(\sigma)\right|}, & if \quad \max_{j\in J}\left|q_j^{inc}(\sigma)\right| > 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \tag{3.5}$$

και

$$q_j^{inc}(\sigma) = p_j(\sigma)/b_j \tag{3.6}$$

$$q_j^{dec}(\sigma) = \begin{cases} -1, & if \;\; p_j(\sigma) = 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \tag{3.7}$$

II. Στην περίπτωση που βρεθεί έστω και μία εφικτή λύση εντός της γειτονιάς της onlooker bee solution, όλα τα α_j ελαττώνονται χρησιμοποιώντας τις ίδιες εξισώσεις όπως παραπάνω, αλλά αντί για $q^{inc}(\sigma)$ και stepsizeinc χρησιμοποιούνται τα $q^{dec}(\sigma)$ και stepsizedec.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα εφαρμογής του αλγόριθμου Artificial Bee Colony στα προβλήματα CFLP και P-Median

4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προβλήματος P-median

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζουμε παρακάτω είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής του Artificial Bee Colony αλγόριθμου για την επίλυση του προβλήματος p-median. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου μας σε σύγκριση με τις βέλτιστες τιμές για κάθε παράδειγμα, οι οποίες είναι από πριν γνωστές. Συνολικά εφαρμόσαμε τον αλγόριθμο μας σε 20 παραδείγματα. Στα πρώτα 10 παραδείγματα, ο αριθμός των πελατών είναι n=50 και ο αριθμός των αποθηκών-πελατών που επιλέγονται είναι p=5. Στα υπόλοιπα παραδείγματα, δηλαδή από το 10 έως το 20, ο αριθμός των πελατών είναι n=100 και ο αριθμός των αποθηκών-πελατών που επιλέγονται είναι p=10.

Παράδειγμα	*Βέλτιστη τιμή*	*Αποτέλεσμα αλγορίθμου μας*	*Ποσοστιαία Διαφορά %*	*P αποθήκες που Χρησιμ.*
1	713	737	3,36%	12,19,21,45,48
2	740	759	2,56%	16,22,33,43,47
3	751	779	3,72%	20,24,26,35,46
4	651	684	5,06%	3,8,9,16,50
5	664	689	3,76%	13,24,29,36,40
6	778	799	2,69%	17,20,24,42,46
7	787	817	3,81%	13,20,36,42,49
8	820	857	4,50%	10,16,27,40,47
9	715	742	3,77%	7,9,12,22,23

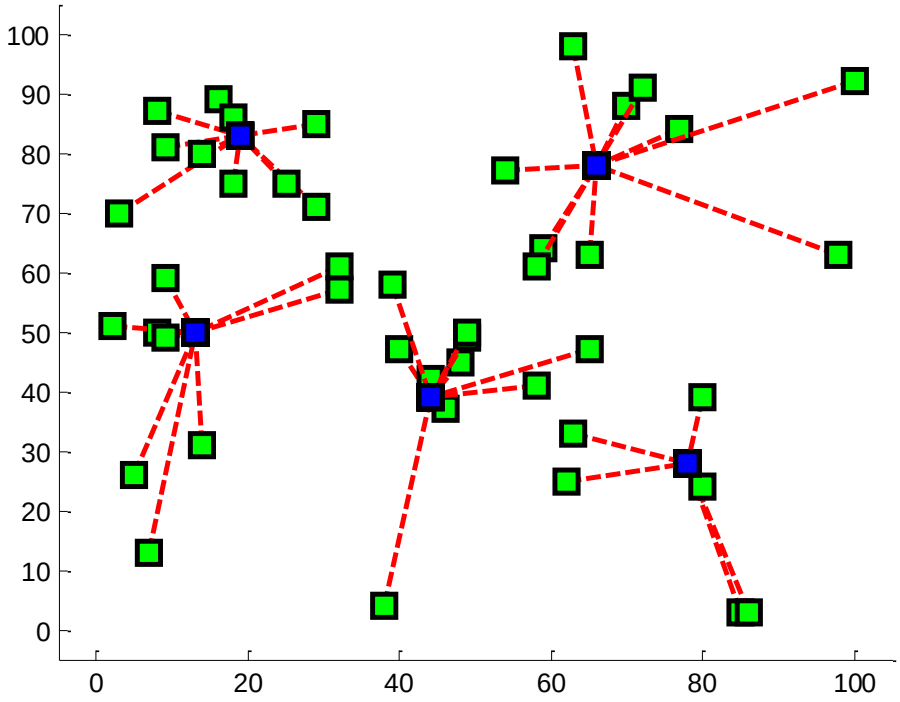
10	829	860	3,70%	6,8,16,20,37
11	1006	1088	8,15%	8,22,27,45,51, 53,57,61,68,75
12	966	1016	5,17%	5,13,31,32,60, 71,85,91,93,100
13	1026	1073	4,58%	6,7,30,54,59,64, 74,85,92,97
14	982	1046	6,51%	3,12,23,35,37, 48,50,83,95,99
15	1091	1159	6,23%	8,13,22,29,31, 35,39,63,82,92
16	954	1026	7,54%	4,23,40,49,62, 63,71,82,85,98
17	1034	1073	3,77%	15,21,25,32,38, 46,56,57,71,81
18	1043	1105	5,94%	3,7,31,52,58, 60,66,84,95,96
19	1031	1125	9,10%	7,9,13,39,66,68, 75,77,79,98
20	1005	1107	10,14%	3,4,14,17,25,31, 33,44,87,92

Πίνακας 2 Αποτελέσματα αλγορίθμου για την επίλυση προβλημάτων p-median

Παρακάτω παρουσιάζουμε 5 παραδείγματα του παραπάνω πίνακα, στα οποία για κάθε παράδειγμα παρουσιάζεται ποιοι πελάτες αντιστοιχούν σε κάθε αποθήκη, καθώς και το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται και σχηματικά οι πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες.

Παράδειγμα 4	**Αποθ 3**	**Αποθ 8**	**Αποθ 9**	**Αποθ 16**	**Αποθ 50**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	3	1	4	11	10
	5	2	7	16	17
	6	8	9	19	18
	15	12	28	20	22
	24	13	32	25	23
	31	14	35	27	26
	34	21	37	29	
	36	42	39	30	
	38	43	40	33	
			44	41	
				45	

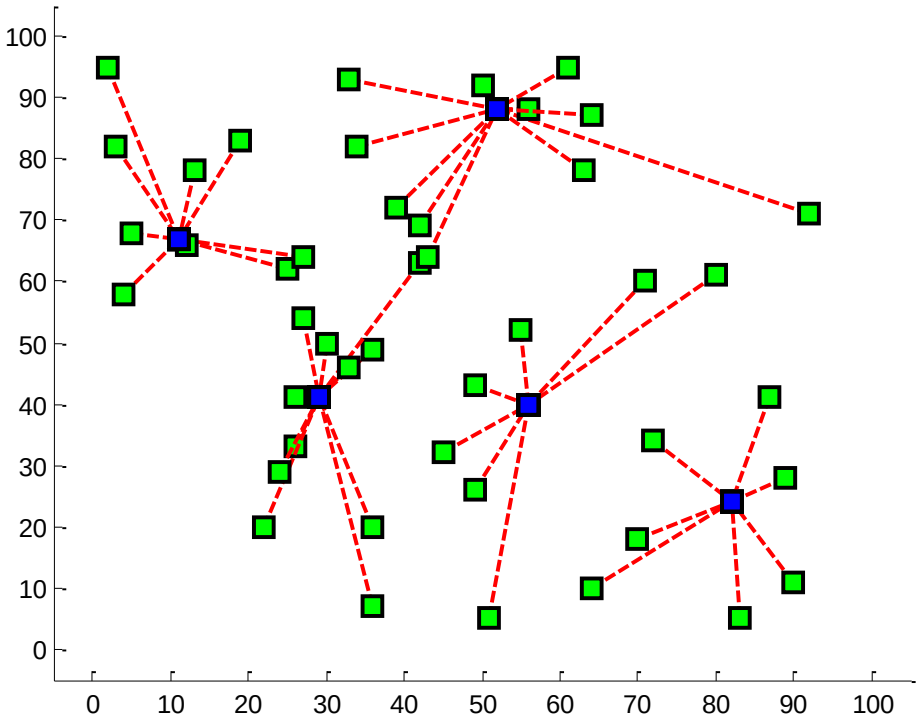
Πίνακας 3 Παράδειγμα 4-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 3 Παράδειγμα 4- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 9	**Αποθ 7**	**Αποθ 9**	**Αποθ 12**	**Αποθ 22**	**Αποθ 23**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	3	9	1	2	4
	5	28	12	15	6
	7	30	13	16	11
	8	36	14	20	17
	10	37	24	21	18
	19	41	26	22	23
	39	43	29	27	25
	42	45	31	35	32
			44	47	33
			46	48	34
			49		38
			50		40

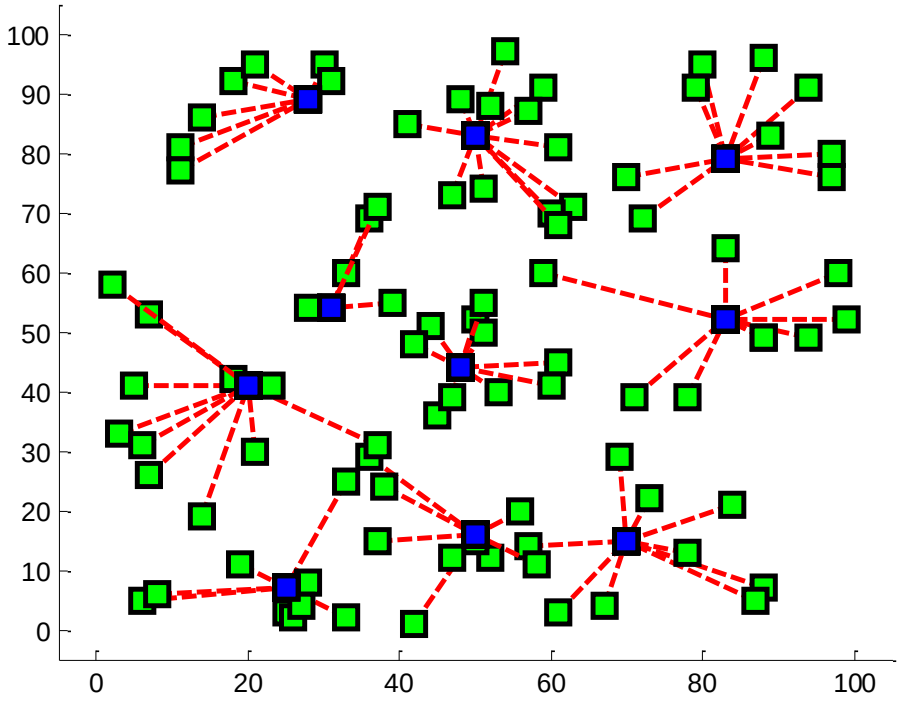
Πίνακας 4 Παράδειγμα 9-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 4 Παράδειγμα 9- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 11	Αποθ 8	Αποθ 22	Αποθ 27	Αποθ 45	Αποθ 51	Αποθ 53	Αποθ 57	Αποθ 61	Αποθ 68	**Αποθ 75**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	6	1	27	3	12	4	2	11	10	5
	7	9	36	29	13	19	24	14	15	16
	8	22	49	43	17	33	34	18	35	25
	21	23	74	45	28	38	42	20	44	50
	31	26	92	47	37	40	52	30	58	56
	59	32	97	48	39	46	57	41	63	64
	81	72		60	51	53	77	55	68	67
	89	82		65	54	62	84	61	70	75
		88		85	76	80	87	66	71	78
		96		86	100	99	94	69	73	79
				90				93		83
								95		91
										98

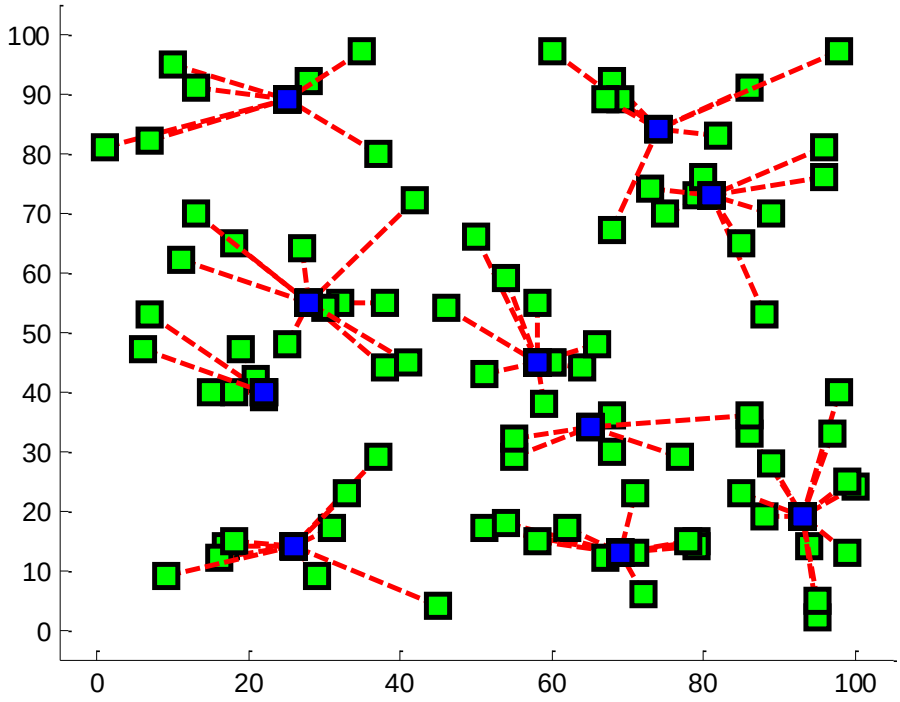
Πίνακας 5 Παράδειγμα 11-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 5 Παράδειγμα 11- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 12	Αποθ 5	Αποθ 13	Αποθ 31	Αποθ 32	Αποθ 60	Αποθ 71	Αποθ 85	Αποθ 91	Αποθ 93	**Αποθ 100**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	3	1	4	24	14	20	15	8	48	2
	5	11	9	32	27	30	19	16	50	6
	12	13	10	37	28	40	23	43	62	7
	22	21	17	47	34	66	29	46	73	18
	39	26	31	52	42	71	38	56	81	25
	63	33	41	55	53	79	45	59	82	54
	70	35	44	57	60	87	67	91	93	58
	78	36	49	68	84	95	74		97	61
	80	51	65	83		98	75			64
	92	69	86	99			76			72
	96	90	94				85			77
							89			88
										100

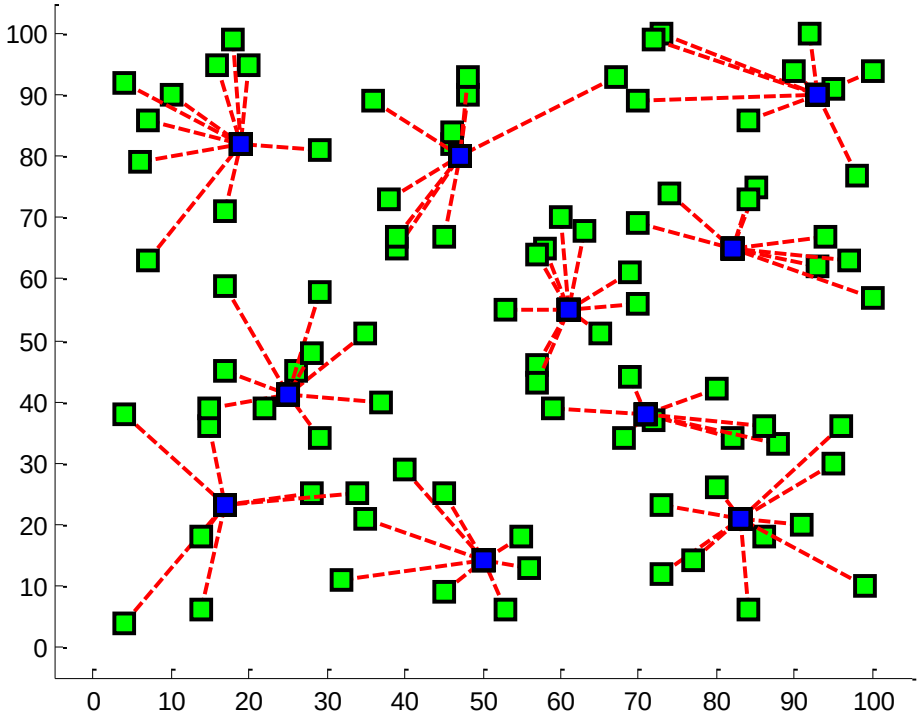
Πίνακας 6 Παράδειγμα 12-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 6 Παράδειγμα 12- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 13	Αποθ 6	Αποθ 7	Αποθ 30	Αποθ 54	Αποθ 59	Αποθ 64	Αποθ 74	Αποθ 85	Αποθ 92	**Αποθ 97**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	6	7	18	8	2	11	19	1	25	13
	16	9	27	20	3	12	34	15	33	14
	24	10	30	21	4	22	46	17	36	45
	37	26	40	23	5	31	56	29	41	53
	42	39	68	28	32	52	62	43	44	58
	50	48	75	35	55	63	74	61	49	79
	66	51	84	38	59	64	95	69	65	81
	76	57	90	47	60	72	100	70	67	86
	82	77	91	54	71	73		85	80	97
		87	98	78		93		88	83	
		89		96		94		99	92	

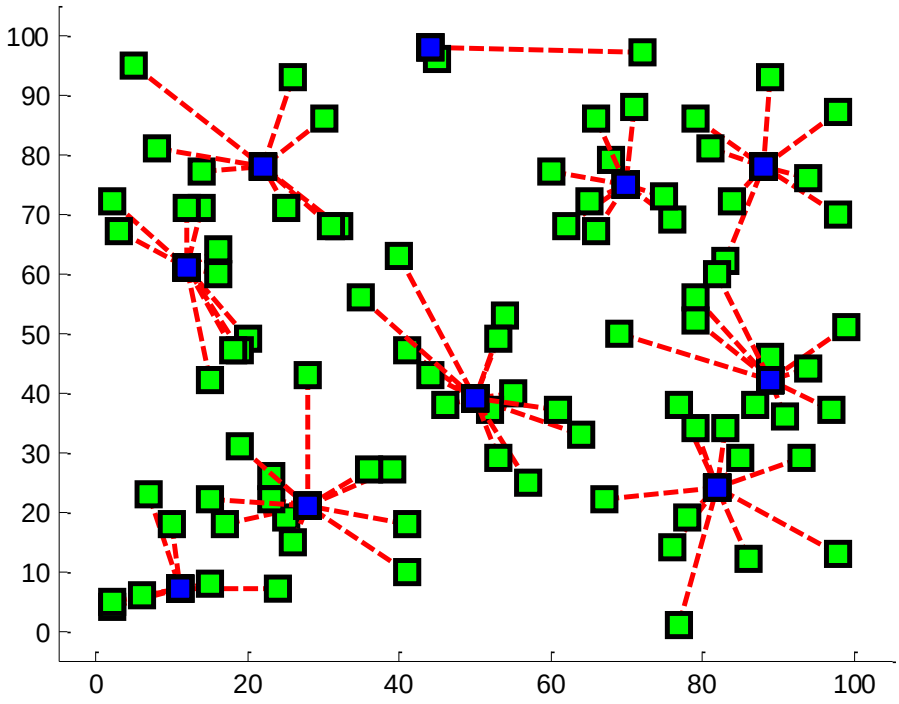
Πίνακας 7 Παράδειγμα 13-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 7 Παράδειγμα 13- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 14	Αποθ 3	Αποθ 12	Αποθ 23	Αποθ 35	Αποθ 37	Αποθ 48	Αποθ 50	Αποθ 83	Αποθ 95	**Αποθ 99**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	2	12	1	7	36	4	27	5	8	24
	3	26	18	9	37	6	32	25	10	34
	28	73	19	17	39	13	40	30	11	46
	38		22	20	42	16	43	55	14	58
	41		23	35	45	48	47	68	15	63
	54		31	51	49	57	50	72	21	67
	59		65	53	61	64	52	80	29	78
	70		90	56	69	71	75	83	33	79
	82			74	81	84	77	89	44	87
				76	85	88	93		60	91
				86	98	92			62	96
				100					66	97
									94	99
									95	

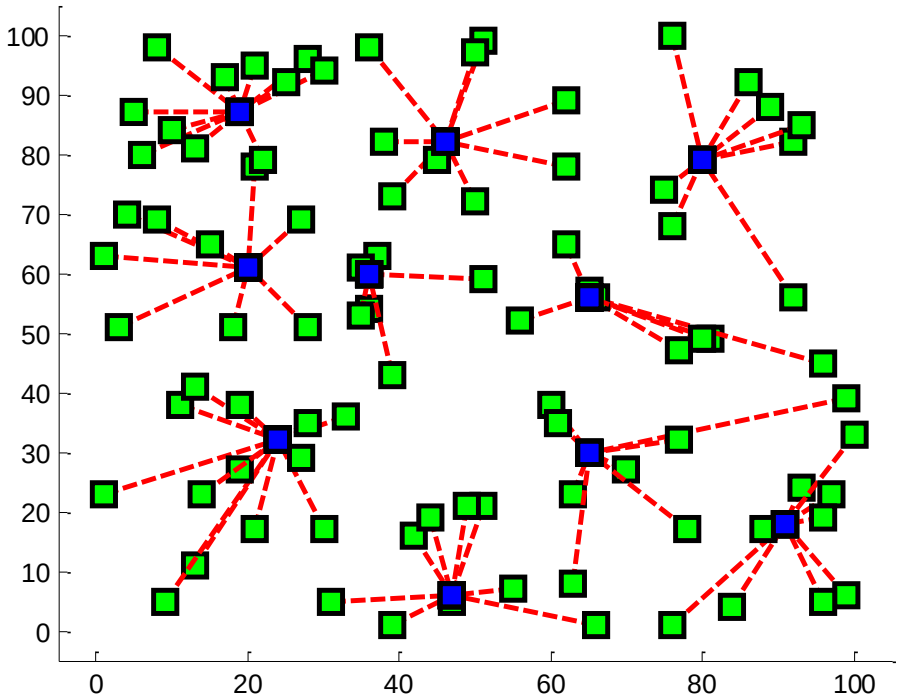
Πίνακας 8 Παράδειγμα 14-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 8 Παράδειγμα 14- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 15	Αποθ 8	Αποθ 13	Αποθ 22	Αποθ 29	Αποθ 31	Αποθ 35	Αποθ 39	Αποθ 63	Αποθ 82	**Αποθ 92**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	2	5	4	25	1	35	15	16	3	7
	8	10	14	26	6	41	39	30	9	23
	17	13	20	29	11	48	60	32	12	24
	21	42	22	53	18	58	61	38	19	44
	50	52	34	65	27	62	70	46	40	54
	66	56	36	73	28	67	80	51	43	69
	72	68	37	86	31	77	87	63	47	78
	74	91	64		33	79	88	85	59	81
	76	94	71		45	83	93	97	82	84
	95		89		49		100		96	92
	98		90		55					99
					57					
					75					

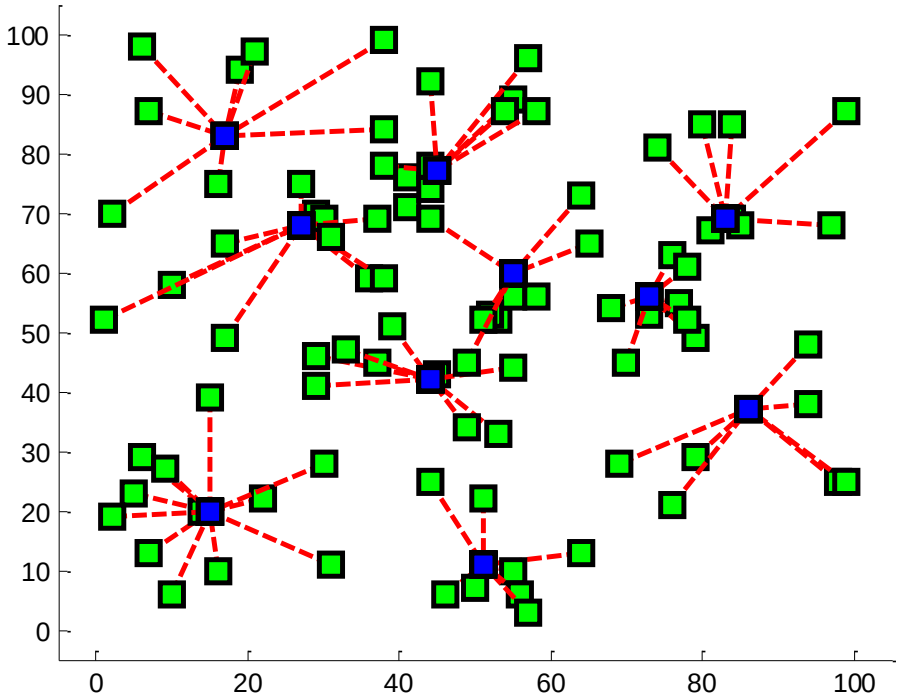
Πίνακας 9 Παράδειγμα 15-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 9 Παράδειγμα 15- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 16	Αποθ 4	Αποθ 23	Αποθ 40	Αποθ 49	Αποθ 62	Αποθ 63	Αποθ 71	Αποθ 82	Αποθ 85	**Αποθ 98**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	4	7	3	15	1	16	2	5	19	6
	14	9	13	24	11	27	8	10	21	26
	18	23	30	48	17	29	12	22	25	31
	20	51	40	49	33	43	61	28	41	32
	37	57	46	55	34	44	64	38	45	35
	47	67	50	74	36	54	71	69	59	42
	52	83	65	77	39	63	73	82	70	58
	53	89	66	78	56	91	75	87	85	60
	72	94	76	88	62		93	90	99	80
	79	97			68			92		98
	86				81					100
	96				84					
					95					

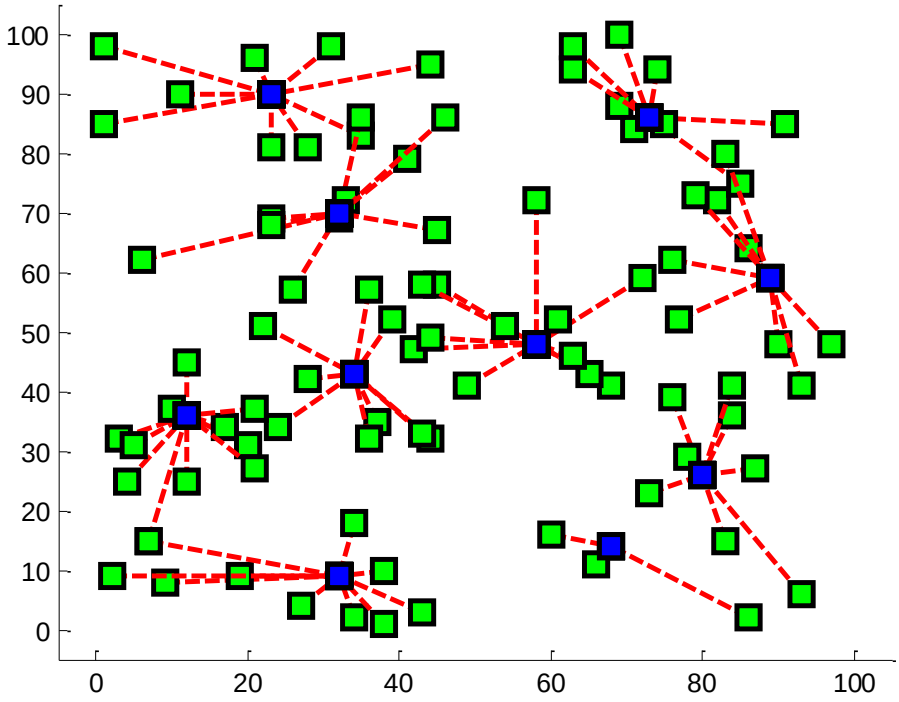
Πίνακας 10 Παράδειγμα 16-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 10 Παράδειγμα 16- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 19	Αποθ 7	Αποθ 9	Αποθ 13	Αποθ 39	Αποθ 66	Αποθ 68	Αποθ 75	Αποθ 77	Αποθ 79	**Αποθ 98**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	5	9	8	37	1	21	2	43	4	17
	7	12	13	39	14	29	3	53	6	28
	11	24	15	47	31	45	38	77	10	34
	18	26	19	49	40	48	46	87	16	41
	25	27	20	57	62	60	51		23	52
	35	33	22	69	64	68	59		30	55
	44	36	58	70	66	72	63		32	83
	50	42	65	74	80	92	75		54	85
	56	82	81	93	84	100	76		67	96
	61	94	90	95	88		78		73	98
	71			99	89				79	
	91								86	
									97	

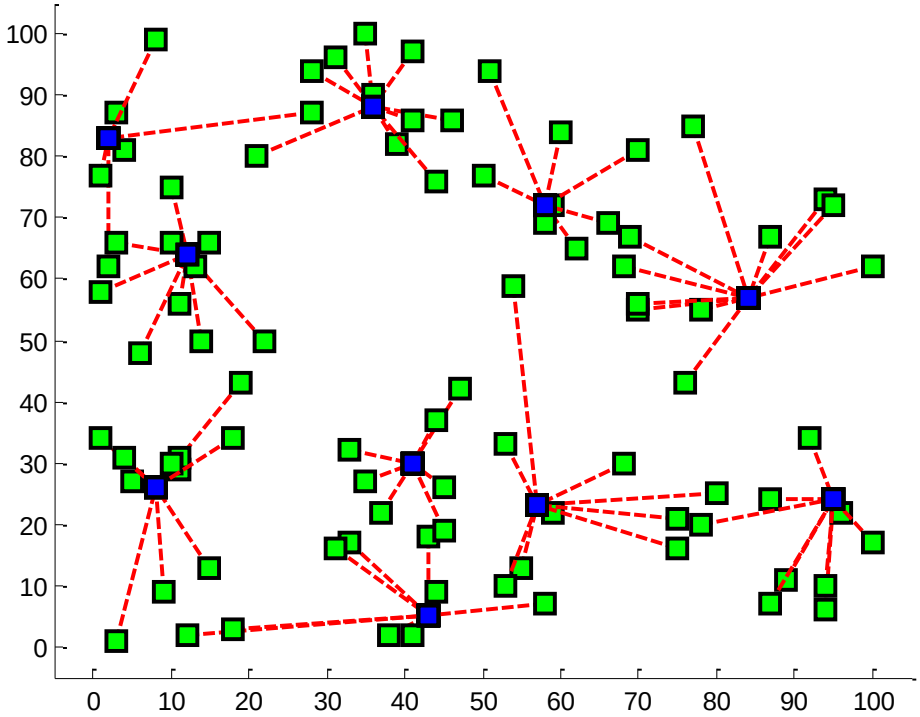
Πίνακας 11 Παράδειγμα 19-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 11 Παράδειγμα 19- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα 20	Αποθ 3	Αποθ 4	Αποθ 14	Αποθ 17	Αποθ 25	Αποθ 31	Αποθ 33	Αποθ 44	Αποθ 87	**Αποθ 92**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	3	2	1	10	6	5	15	18	29	8
	11	4	14	17	7	19	16	21	55	9
	13	24	27	23	25	22	33	32	69	12
	42	37	28	38	30	26	34	36	73	20
	46	40	41	45	59	31	48	39	77	35
	56	49	70	62	60	47	57	44	84	43
	63	54	79	65	68	72	64	50	87	53
	71	61	80	67	81	75	66	51	96	58
	83		88	93	85	76	74	52		92
	86				89	78	90	82		94
	97				95		98	91		
					99		100			

Πίνακας 12 Παράδειγμα 20-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 12 Παράδειγμα 20- Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προβλήματος CFLP

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζουμε παρακάτω είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής του *Artificial Bee Colony* αλγόριθμου για την επίλυση του προβλήματος Capacitated Facility Location Problem(CFLP). Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου μας σε σύγκριση με τις βέλτιστες τιμές για κάθε παράδειγμα, οι οποίες είναι από πριν γνωστές. Συνολικά εφαρμόσαμε τον αλγόριθμο μας σε 20 παραδείγματα. Τα παρακάτω παραδείγματα ποικίλουν, ανάλογα με τον αριθμό των υποψήφιων αποθηκών και τον αριθμό των πελατών. Στο πρόβλημα αυτό επιλέγονται σε κάθε παράδειγμα μόνο ορισμένες αποθήκες από τις εφικτές και σε αυτές αντιστοιχίζονται οι πελάτες που αναφέρονται στο κάθε παράδειγμα. Τον αλγόριθμο "Artificial Bee Colony" τον τρέξαμε για παραδείγματα με 10 υποψήφιες αποθήκες και 25 πελάτες, για παραδείγματα με 25 υποψήφιες αποθήκες και 50 πελάτες και 25 υποψήφιες αποθήκες και 100 πελάτες.

Παράδειγμα	*Βέλτιστη τιμή*	*Αποτέλεσμα αλγορίθμου μας*	*Ποσοστιαία Διαφορά %*	*P αποθήκες που Χρησιμ.*	*Αριθμός Αποθηκών-Πελατών*
t132	9.774,14	10.338,0	5,70%	3,5,10,18,19,21	25 αποθ.-100 πελ.
t111	7.124,37	7.269,5	2,03%	1,2,7,8,9	10 αποθ.-25 πελ.
t122	8.634,39	8.855,4	2,55%	2,3,9,16,20	25 αποθ.-50 πελ.
t223	6.666,96	6.694,1	0,42%	5,18,23	25 αποθ.-50 πελ.
t311	6.654,38	7.771,5	1,75%	3,4,5,7,8	10 αποθ.-25 πελ.
t323	7.247,30	7.441,0	2,67%	2,6,16,22	25 αποθ.-50 πελ.
t412	5.245,97	5.337,9	1,75%	6,7,10	10 αποθ.-25 πελ.
t422	9.204,98	9.706,0	5,45%	1,12,14,17,19,21	25 αποθ.-50 πελ.
t511	6.265,93	6.379,3	1,80%	1,3,5,6,9	10 αποθ.-25 πελ.
t513	3.062,82	3.093,0	1,01%	5,8	10 αποθ.-25 πελ.
t523	6.192,00	6.478,3	4,61%	1,12,17,21	25 αποθ.-50 πελ.
t533	8.902,75	9.080,7	1,99%	1,3,13,16	25 αποθ.-100 πελ.
t112	4.473,85	4.701,6	5,09%	1,7	10 αποθ.-25 πελ.
t113	3.962,19	3.970,3	0,20%	2,5	10 αποθ.-25 πελ.
t123	6.171,10	6.172,30	0,01%	3,9,16	25 αποθ.-50 πελ.
t153	11.710,99	12.324,00	5,24%	3,4,9,19,23,24,38	50 αποθ.-100 πελ.

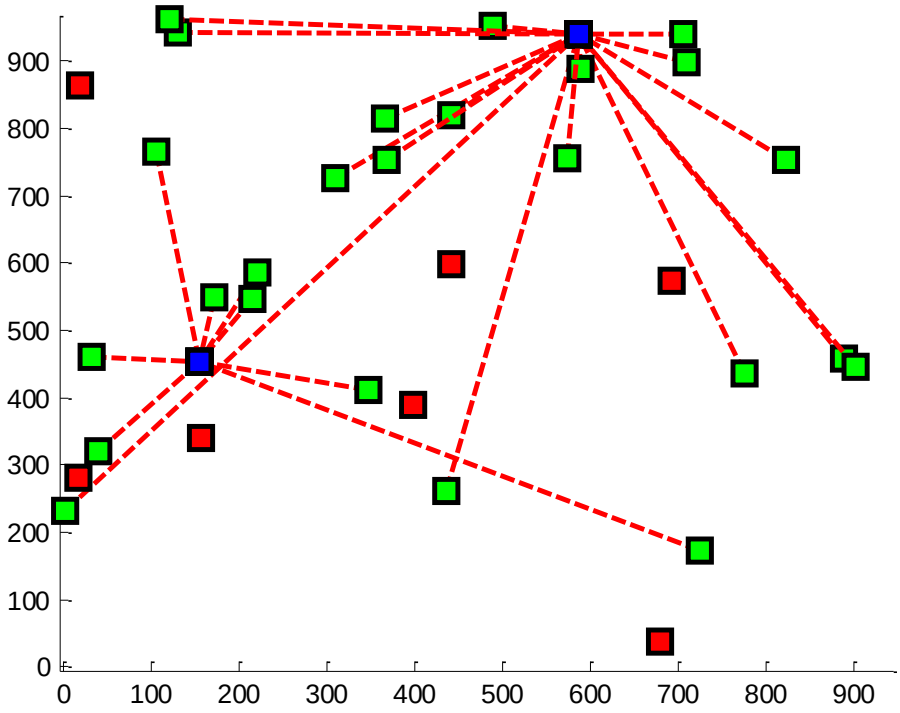
t133	8.123,64	8.451,81	4,00%	6,8,10,19	25 αποθ.-100 πελ.
t433	9.144,89	9.561,50	4,55%	3,14,19,20,22	25 αποθ.-100 πελ.
t521	14.913,96	15.203,00	1,94%	1,2,8,10,12,13,14, 17,21,22,23	25 αποθ.-50 πελ.
t241	34.246,43	36.172,00	5,63%	2,6,9,10,11,14,15, 17,19,20,21,24,25 27,30,33,34,36, 42,43,45,47,48,49 50	50 αποθ.-100 πελ.

Πίνακας 13 Αποτελέσματα αλγορίθμου για την επίλυση προβλημάτων Capacitated Facility Location Problems

Παρακάτω παρουσιάζουμε 10 παραδείγματα του παραπάνω πίνακα, στα οποία για κάθε παράδειγμα παρουσιάζεται ποιοι πελάτες αντιστοιχούν σε κάθε αποθήκη, καθώς και το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται και σχηματικά οι πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες. Με κόκκινο απεικονίζονται οι αποθήκες που τελικά δεν χρησιμοποιήθηκαν, με μπλε οι αποθήκες που χρησιμοποιήθηκαν και με πράσινο απεικονίζονται οι πελάτες.

Παράδειγμα t513	**Αποθήκη 5**	**Αποθήκη 8**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	1	2
	5	3
	8	4
	9	6
	10	7
	11	16
	12	20
	13	24
	14	
	15	
	17	
	18	
	19	
	21	
	22	
	23	
	25	

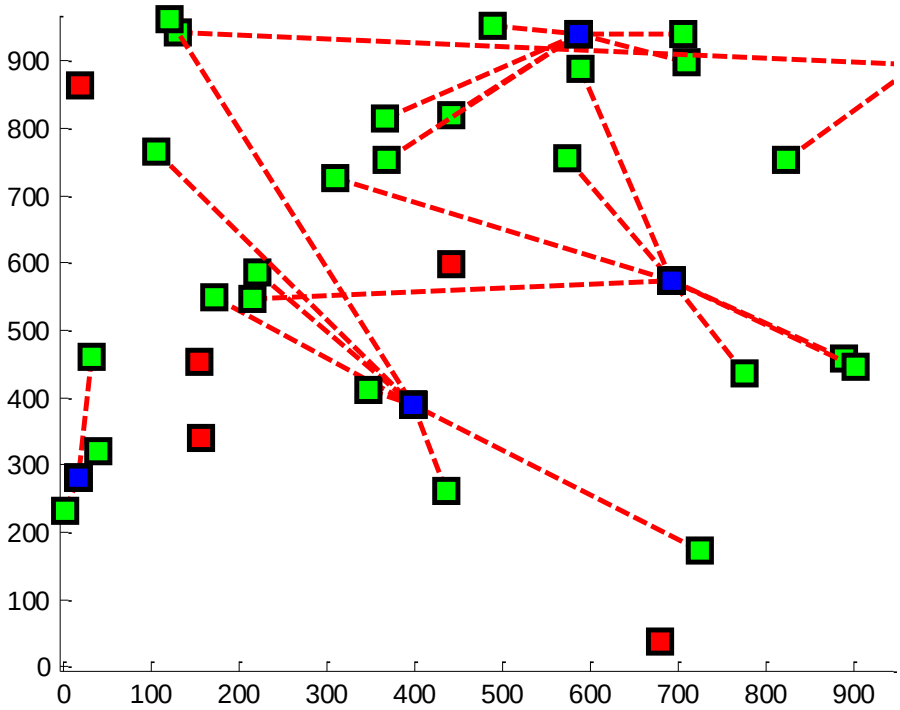
Πίνακας 14 Παράδειγμα t513-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 13 Παράδειγμα t513-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t511	**Αποθήκη 1**	**Αποθήκη 3**	**Αποθήκη 5**	**Αποθήκη 6**	**Αποθήκη 9**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	12	2	5	3	1
	17	4	10	24	6
		7	13	25	9
		8	15		11
		16	18		14
		19	21		22
		20			23

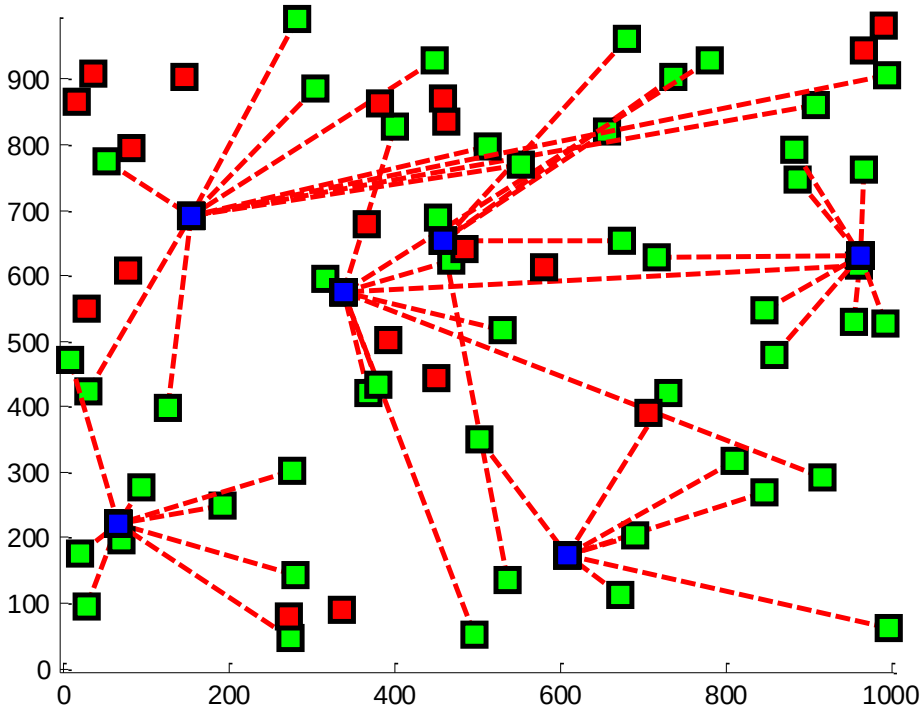
Πίνακας 15 Παράδειγμα t511-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 14 Παράδειγμα t511-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t422	**Αποθήκη 1**	**Αποθήκη 12**	**Αποθήκη 14**	**Αποθήκη 17**	**Αποθήκη 19**	**Αποθήκη 21**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	12	5	2	4	6	1
	19	9	14	13	16	3
	26	10	18	22	20	7
	28	11	27	24	23	8
	30	21	40	35	36	15
	37	25	41	46	38	17
	39	31	43		42	29
		33	48		44	32
		34			47	44
		50				

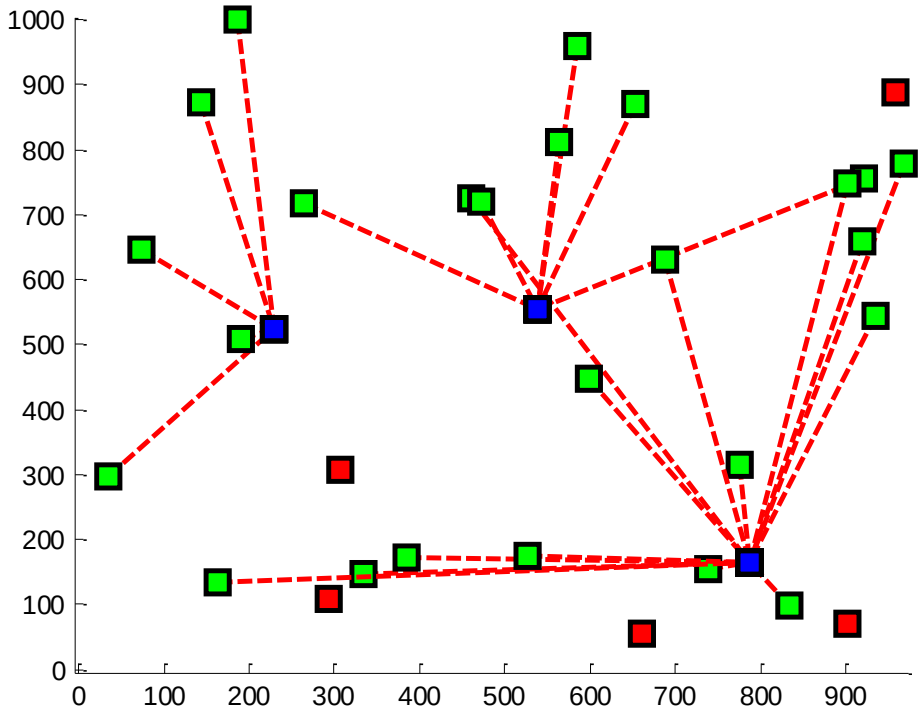
Πίνακας 16 Παράδειγμα t422-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 15 Παράδειγμα t422-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t412	**Αποθήκη 6**	**Αποθήκη 7**	**Αποθήκη 10**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	5	1	3
	11	2	4
	13	7	6
	17	8	9
	18	21	10
	20		12
			14
			15
			16
			19
			22
			23
			24
			25

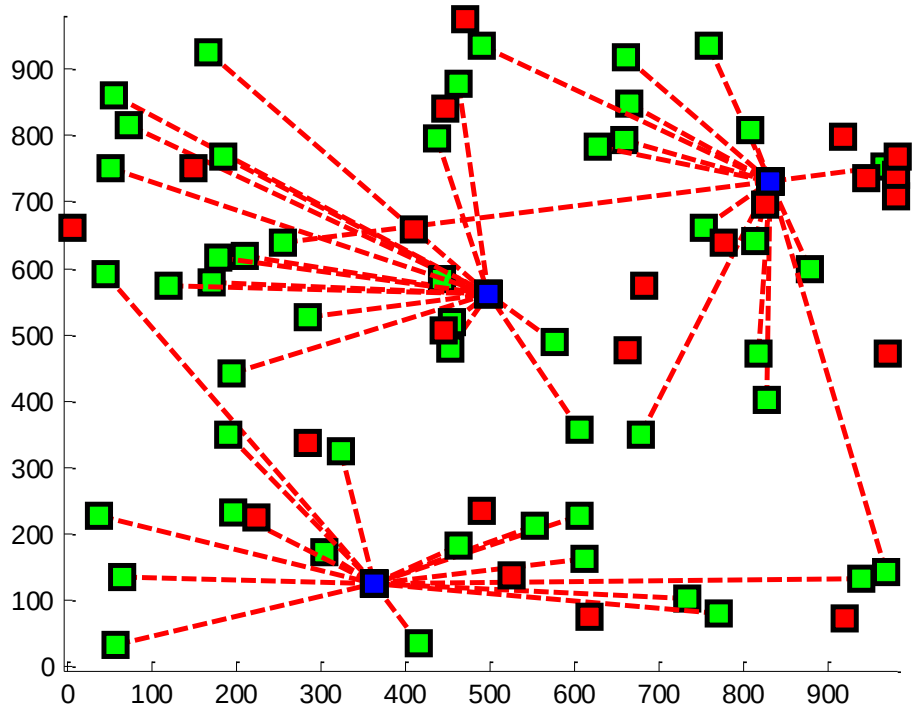
Πίνακας 17 Παράδειγμα t412-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 16 Παράδειγμα t412-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t223	**Αποθήκη 5**	**Αποθήκη 18**	**Αποθήκη 23**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	2	4	1
	5	6	3
	15	7	9
	16	8	11
	20	10	13
	21	12	14
	23	17	18
	24	26	19
	25	28	22
	38	30	27
	40	32	29
	42	33	31
	43	34	35
	45	36	37
	48	41	39
	50	44	47
		46	
		49	

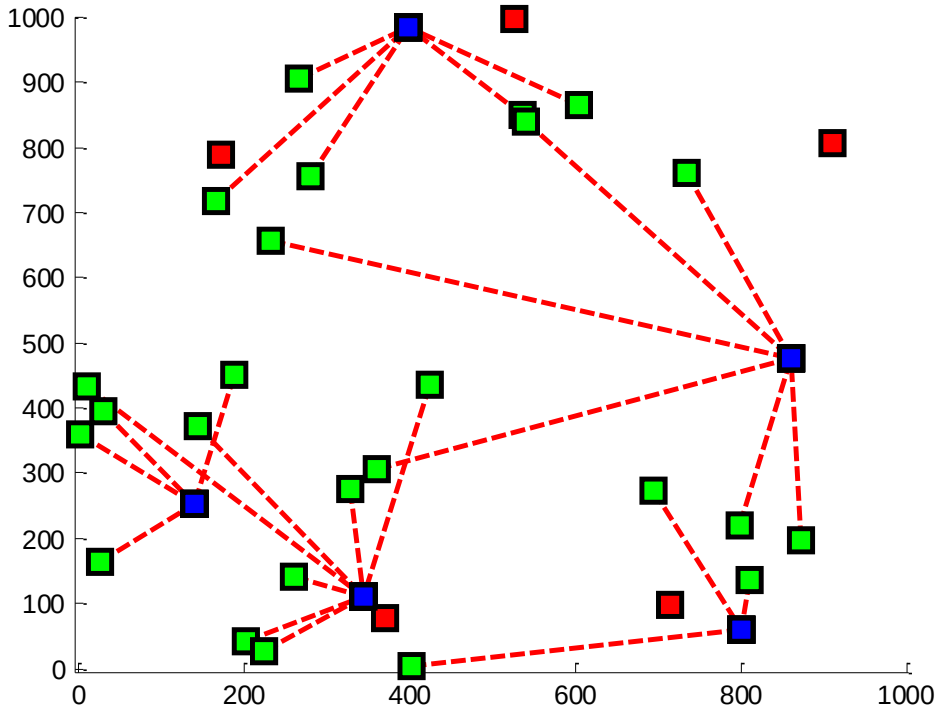
Πίνακας 18 Παράδειγμα t223-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 17 Παράδειγμα t223-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t111	**Αποθήκη 1**	**Αποθήκη 2**	**Αποθήκη 7**	**Αποθήκη 8**	**Αποθήκη 9**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	1	5	10	9	3
	2	7	15	11	8
	4	19	18	12	13
	6	21	20		14
	17		24		16
	22		25		
	23				

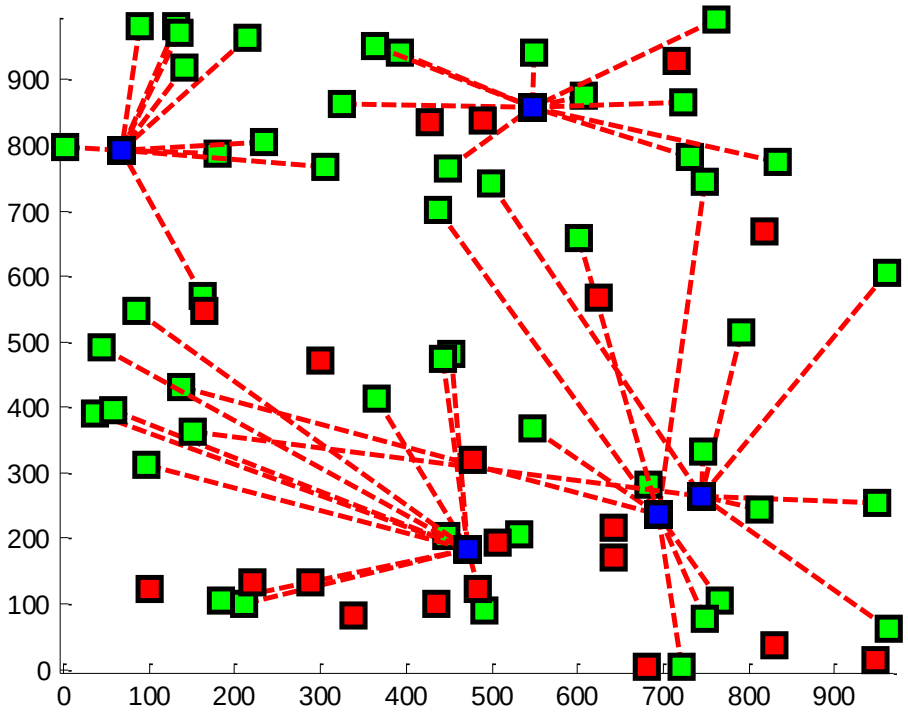
Πίνακας 19 Παράδειγμα t111-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 18 Παράδειγμα t111-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t122	**Αποθήκη 2**	**Αποθήκη 3**	**Αποθήκη 9**	**Αποθήκη 16**	**Αποθήκη 20**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	2	7	1	3	4
	12	11	5	8	6
	16	15	10	9	13
	19	17	26	21	14
	22	24	27	25	18
	29	34	37	33	20
	45	35	38	36	23
	50	41	43	40	28
		48	44	46	30
		49		47	31
					32
					39
					42

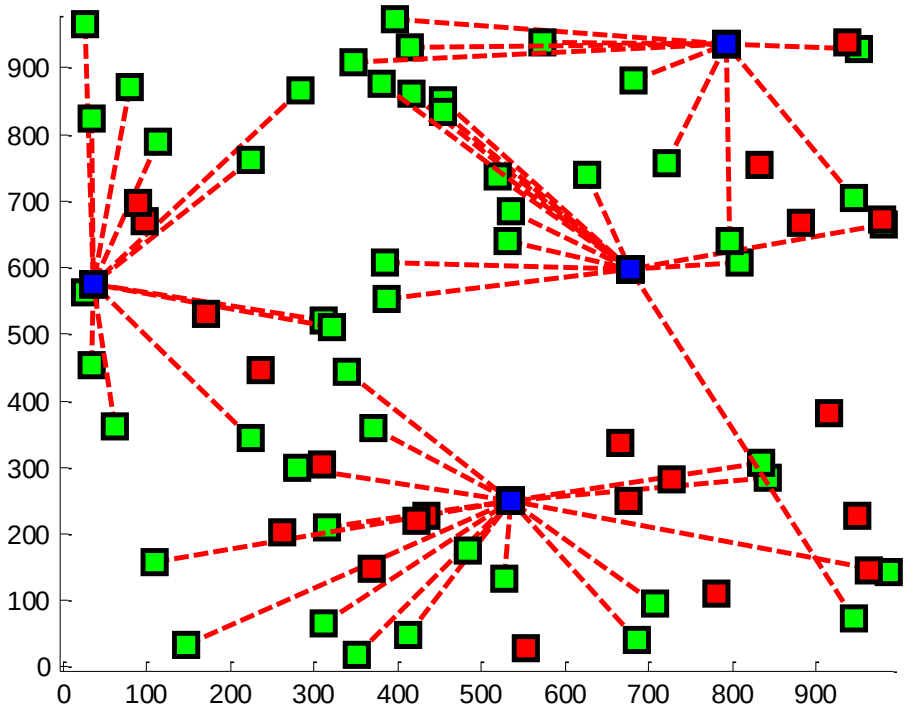
Πίνακας 20 Παράδειγμα t122-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 19 Παράδειγμα t122-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t323	**Αποθήκη 2**	**Αποθήκη 6**	**Αποθήκη 16**	**Αποθήκη 22**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	6	7	1	2
	9	11	3	4
	12	14	9	5
	13	17	11	16
	15	22	20	21
	18	23	25	30
	19	27	27	32
	25	29	31	35
	28	34	49	37
	33	36		39
	43	38		41
	47	40		42
	50			44
				45
				46
				48

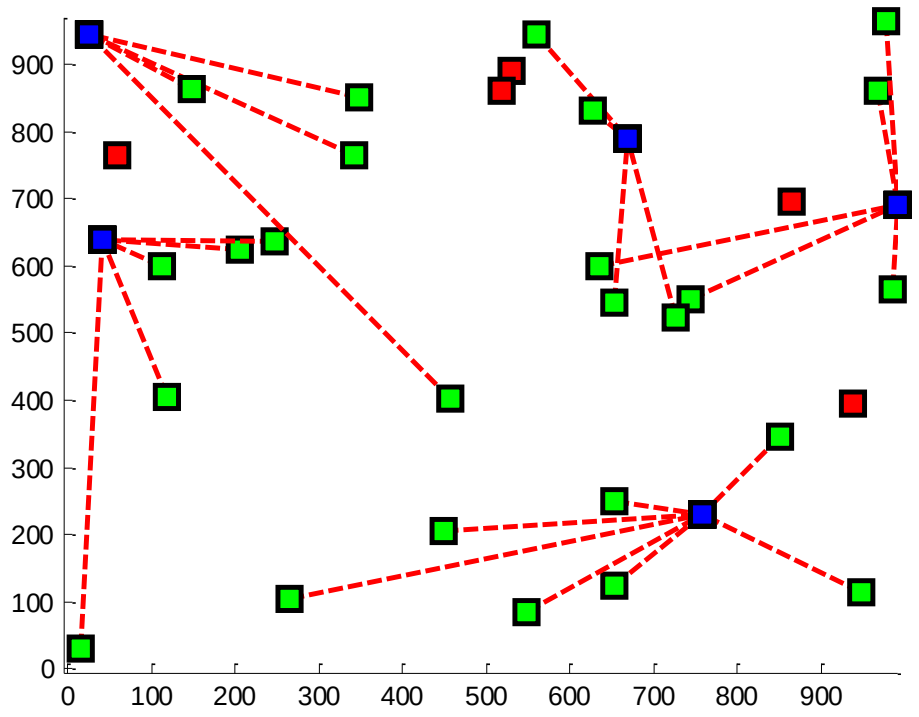
Πίνακας 21 Παράδειγμα t323-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 20 Παράδειγμα t323-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t311	**Αποθήκη 3**	**Αποθήκη 4**	**Αποθήκη 5**	**Αποθήκη 7**	**Αποθήκη 8**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	1	9	3	5	15
	2	10	6	8	16
	4	13	7	11	17
	12	18	25	14	20
	19			21	23
	22				
	24				

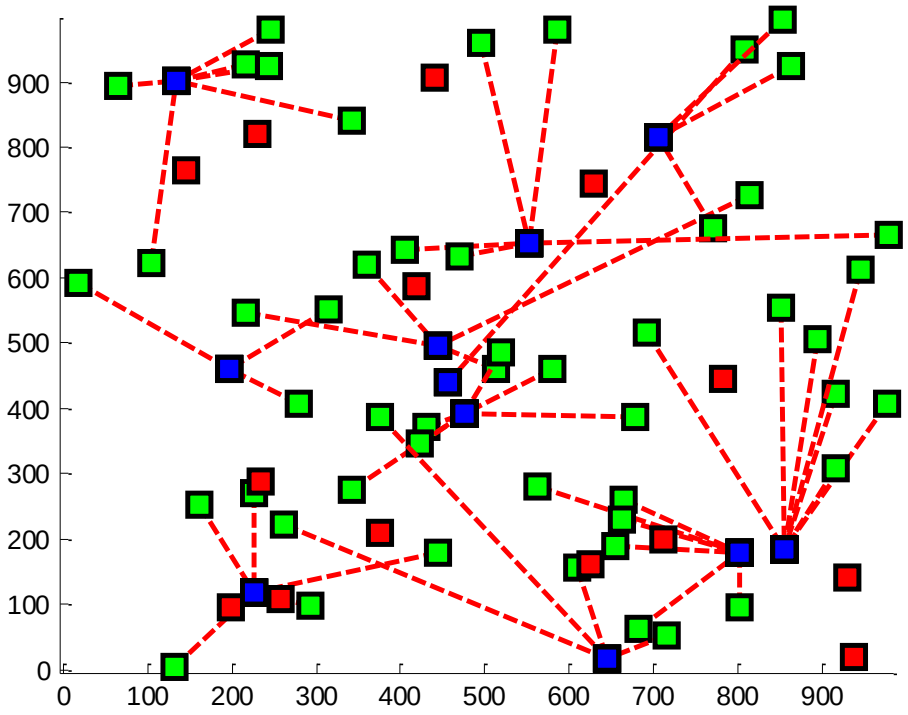
Πίνακας 22 Παράδειγμα t311-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 21 Παράδειγμα t311-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Παράδειγμα t521	**Απο. 1**	**Απο. 2**	**Απο. 8**	**Απο. 10**	**Απο. 12**	**Απο. 13**	**Απο. 14**	**Απο. 17**	**Απο. 21**	**Απο. 22**	**Απο. 23**
Πελάτες που αντιστοιχούν στις αποθήκες	26	8	4	23	14	1	3	12	15	7	2
	27	22	10	37	29	9	6		19	13	5
	43	24	11	40	47	16	25		30	17	32
		35	41	45		18	28		31	21	50
		36	46	48		20			33	39	
			49			38			34	42	
										44	

Πίνακας 23 Παράδειγμα t521-Αντιστοίχηση πελατών-αποθηκών



Σχήμα 22 Παράδειγμα t521-Θέση πελατών στο χώρο και η αντιστοίχηση τους στις αποθήκες

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Από την εφαρμογή της μεθόδου “Artificial Bee colony”, η οποία υλοποιήθηκε σε περιβάλλον matlab, συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα στα περισσότερα παραδείγματα του προβλήματος p-median κυμαίνονται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα 10 παραδείγματα του p-median, στα οποία από τις n=50 πελάτες πρέπει να επιλεγούν p=5 αποθήκες, η απόκλιση από την βέλτιστη τιμή δεν υπερβαίνει το 5%. Στα παραδείγματα 10 έως 20, η απόκλιση από την βέλτιστη τιμή είναι μεγαλύτερη και κυμαίνεται από 5% έως 10%, κάτι το οποίο πηγάζει από το γεγονός ότι τα προβλήματα αυτά είναι πιο σύνθετα, αφού από τους n=100 πελάτες πρέπει να επιλεχθούν p=10 αποθήκες-εγκαταστάσεις. Αποτέλεσμα αυτού να δημιουργούνται μεγαλύτερες αποκλίσεις, που πιθανόν όμως αν αυξήσουμε τον αριθμό των επαναλήψεων, οι αποκλίσεις αυτές είναι πιθανόν να ελαττωθούν ακόμα περισσότερο. Όσον αφορά τα προβλήματα CFLP, τα αποτελέσματα είναι σαφώς καλύτερα, σε σχέση με αυτά του p-median. Σε όλα τα παραδείγματα στα οποία τρέξαμε τον αλγόριθμο μας, οι αποκλίσεις από την ελάχιστη τιμή κυμαίνεται από 0% έως το 6%, με τις περισσότερες φορές να κυμαίνεται γύρω από το 3%, ενώ υπάρχουν και περίπου 9 παραδείγματα, από τα 20 συνολικά, στα οποία η απόκλιση είναι μικρότερη του 2%.

Συμπερασματικά, «φαίνεται» ο αλγόριθμος Artificial Bee Colony, με χρήση της μεθόδου “Ejection Chain Neighborhood” να δουλεύει καλύτερα στα προβλήματα Capacitated Facilities Location Problems (CFLP) σε σχέση με αυτά του προβλήματος p-median, παρόλο που και αυτά κυμαίνονται σε πολύ καλά επίπεδα. Εδώ είναι σημαντικό να τονιστεί ότι για τον υπολογισμό του κόστους στο CFLP, παίζει ρόλο και το σταθερό κόστος κάθε εγκατάστασης, ενώ στα προβλήματα p-median αυτό δεν υφίσταται, με αποτέλεσμα αυτό να οδηγεί σε μεγαλύτερες συγκλίσεις με τα ελάχιστα, τα προβλήματα CFLP. Επίσης, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι αρχικές λύσεις του αλγόριθμου Artificial Bee Colony, και στα δύο προβλήματα, δίνονται με τυχαίο τρόπο, με αποτέλεσμα η σπουδαιότητα της αρχικής λύσης να είναι μεγάλη και να

παίζει τον δικό της ρόλο στην διαμόρφωση του αποτελέσματος. Μία καλή αρχική λύση είναι πολύ πιθανόν να οδηγήσει σε ικανοποιητικό αποτέλεσμα, ενώ μία κακή αρχική λύση μπορεί να μην συγκλίνει στο ελάχιστο κόστος σχεδόν καθόλου ή να χρειαστεί πολύ μεγάλο υπολογιστικό χρόνο για να επιτευχθεί.

Μελλοντικά, με βάση το πλαίσιο της εργασίας αυτής και των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν στον «Artificial Bee Colony» αλγόριθμο, θα μπορούσε να γίνει μία σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλους αλγορίθμους άλλων κατηγοριών, όπως για παράδειγμα της κατηγορίας «swarm intelligence», είτε για τα ίδια προβλήματα που επιλύθηκαν παραπάνω είτε για διαφορετικά προβλήματα. Επίσης, οι παράμετροι του προβλήματος (allowableFailures, initialCapacityViolationPenaltyCoefficient, stepsizedec, stepsizeinc), θα μπορούσαν να διερευνηθούν και σε διαφορετικά εύρη τιμών ή να διερευνηθούν διαφορετικοί συνδυασμοί μεταξύ τους, που πιθανόν να οδηγήσουν σε ακόμα μεγαλύτερη σύγκλιση στις ελάχιστες τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

Ιωάννης Μαρινάκης, Μαγδαληνή Μαρινάκη, Νικόλαος Φ.Ματσατσίνης, Κωνσταντίνος Ζοπουνίδης, *"Μεθευρετικοί και εξελικτικοί αλγόριθμοι σε προβλήματα Διοικητικής Επιστήμης",* Εκδόσεις Κλειδάριθμος, (2011).

Διαμαντίδης Γεώργιος, Διπλωματική Εργασία, "*Χωροθέτηση κάδων ανακύκλωσης στον Δήμο Ηλιούπολης*", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, (2008).

Παπαστεφάνου Ευάγγελος, Διπλωματική Εργασία, *"Ανάπτυξη αλγορίθμου για την επίλυση του προβλήματος p-μέσων (p-median) και p-κέντρων (p-center)",* Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, (2010).

Ιωάννης Μαρινάκης, Αθανάσιος Μυγδαλάς, *"Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής αλυσίδας"*, Εκδόσεις Σοφία, (2008).

Ξενόγλωσση

Andreas Klose, Andreas Drexl, *"Lower Bounds for the Capacitated Facility Location Problem Based on Column Generation",* University of Zurich, (2005).

Dervis Karaboga, Celal Ozturk, "*A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm"*, Erciyes University, Turkey, (2009).

Dervis Karaboga, Behriye Basturk, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm", Springer Science+Business Media, Erciyes University, Turkey, (2007).

Dervis Karaboga, Bahriye Akay, A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm, Journal, Erciyes University, Turkey, (2009).

Adil Baykasoglu, Lale Ozbakir and Pinar Tapkan, *"Artificial Bee colony Algorithm and Its Application to Generalized Assignment Problem",* University of Gaziantep, Department of Industrial Engineering, (2007).

Dervis Karaboga, Bahriye Basturk, "Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for solving Constrained Optimization Problems", Erciyes University, (2007).

Pei-Wei Tsai et al, "Enhanced Artificial Bee Colony Optimization", Department of Electronic Engineering, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan, (2009).

D.Karaboga, B.Akay, “Artificial bee Colony (ABC), Harmony Search and Bees Algorithms on Numerical Optimization”, Erciyes University, (2009).

J.Fathali, “*A genetic algorithm for the p-median problem with pos/neg weights”*, Elsevier, (2006).
Jeffrey R.Miller, Second Lieutenant, *“A Capacitated Facility Location approach for the tanker problem”*, Thesis, Air Force Institute of technology, (2005).

J.E.Beasley*, “An algorithm for solving large capacitated warehouse location problems”*, Imperial College, (1988).

Edward Frazelle, “*The Logistics of Supply Chain Management”*, Mc Graw Hill, (2002).

Gattorna J.L. and Walters D.W, “*Managing the Supply Chain: a strategic Perspective, London”*, McMillan Press, (1996)