



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών για το Πρόβλημα
Δρομολόγησης Οχημάτων και Χωροθέτησης
Εγκαταστάσεων Δύο Επιπέδων.



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Γ. Τσιφτσόγλου

Επιβλέπων: Δρ. Ιωάννης Μαρινάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Χανιά, Οκτώβριος 2020

Τσιφτσόγλου Μ. (2020). Αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών για την επίλυση του προβλήματος
Δρομολόγησης Οχημάτων κα Χωροθέτησης Εγκαταστάσεων Δύο Επιπέδων.

Διπλωματική Εργασία

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης,

Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Tsiftoglou M. (2020). Ant Colony Optimization Algorithm for solving the Two Echelon
Location Routing Problem.

Diploma Thesis School of Production Engineering & Management,

Technical University of Crete, Greece.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέπων καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Μαρινάκη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του.

Αφιερώνω την εργασία μου, σε όλους όσους κουράστηκαν μαζί μου και με υποστήριξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα.

Περιεχόμενα.....	iv
Ευρετήριο Πινάκων	viii
Ευρετήριο Εικόνων	x
Περίληψη	1
Abstract.....	2
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή στην εφοδιαστική αλυσίδα.....	3
1.1 Η έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας.	3
1.2 Η προσθήκη αξίας στο προϊόν.....	4
1.3 Ο ρόλος της εφοδιαστικής αλυσίδας για την στρατηγική μίας επιχείρησης.	5
1.4 Οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η εφοδιαστική αλυσίδα σήμερα.....	5
1.5 Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management).	6
1.6 Οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας.	9
1.7 Μεταφορές.	11
1.8 Το δίκτυο μεταφορών.	12
1.9 Η αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.	12
1.10 Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζει η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.	13
1.11 Η εφοδιαστική υποστήριξη ή αλλιώς logistics.	14
1.12 Η μεθοδολογία για την βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας.	15

Κεφάλαιο 2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.....	17
2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Το Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem).	17
2.2.1 Τα βασικά χαρακτηρίστηκα που πρέπει να διαθέτουν οι διαδρομές.	18
2.2.2 Οι βασικές παράμετροι του προβλήματος δρομολόγησης και τα χαρακτηρίστηκα τους.	19
2.2.3 Ανάλυση των περιορισμών.	20
2.2.4 Οι στόχοι που τίθενται κατά την επίλυση των προβλημάτων δρομολόγησης.	21
2.3 Βασικά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων.	21
2.3.1 Το περιορισμένης χωρητικότητας πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Capacitated Vehicle Routing Problem).	21
2.3.2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων μόνο με περιορισμό μετάβασης.....	22
2.3.3 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμούς χωρητικότητας και χρονικά παράθυρα (Vehicle Routing Problem with Time Windows).	22
2.3.4 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές επιστροφές στην αποθήκη.	23
2.3.5 Δρομολόγηση οχημάτων με ύπαρξη πολλαπλών αποθηκών (Multidepot Vehicle Routing Problem).	23
2.3.6 Το ανοιχτό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων.....	24
2.3.7 Το ανοιχτό κλειστό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων.	24
2.3.8 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της δρομολόγησης (Vehicle Routing Problem with Backhauls and Linehauls).	24
2.3.9 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά την διάρκεια της διαδρομής. (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery).	25
2.3.10 Το στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands).	25
2.3.11 Το ετερογενούς στόλου πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem).	26
2.3.12 Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλά διαμερίσματα στα οχήματα (Multicompartment Vehicle Routing Problem).	26

2.3.13 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ρυμουλκούμενα (Truck and Trailer Routing Problem).....	26
2.4 Το πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων (Facility location problem).....	27
2.5 Το 2-βαθμίδων πρόβλημα ταυτόχρονης δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων (Two echelon location routing problem).	28
2.6 Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος.	29
2.6.1 Ορισμός μεταβλητών των μεταβλητών.	29
2.6.2 Διατύπωση των περιορισμών.....	31
2.7 Μοντελοποίηση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.....	33
Κεφάλαιο 3 Εισαγωγή στους αλγορίθμους επίλυσης.....	35
3.1 Εισαγωγή.....	35
3.2 Ευρετικοί αλγόριθμοι.....	35
3.2.1 Οι αλγόριθμοι απληστίας.....	36
3.2.2 Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι.	38
3.2.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης.	38
3.3 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι.	39
3.4 Εξελικτικοί και εμπνευσμένοι από την φύση αλγόριθμοι.....	40
3.4.1 Εξελικτικοί αλγόριθμοι.....	40
3.4.2 Αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από την φύση.	41
3.5 Περιγραφή των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των 2-επιπέδων πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων.	42
3.5.1 Ο αλγόριθμος της πλησιέστερης εισαγωγής κόμβων.	43
3.5.2 Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (ACO).	44

3.5.3 Αλγόριθμοι βελτίωσης της λύσης.	50
Κεφάλαιο 4.....	54
Εισαγωγή.....	54
4.1 Ανάλυση των δεδομένων.....	54
4.2 Πίνακες αποτελεσμάτων.	56
4.2.1 Ομάδα Πρώτη: 20 Πελάτες - 5 Διαθέσιμες Περιφερειακές Αποθήκες.	56
4.2.2 Ομάδα Δεύτερη: 50 Πελάτες - 5 Διαθέσιμες Περιφερειακές Αποθήκες.....	61
4.2.3 Ομάδα Τρίτη : 100 Πελάτες - 5 Διαθέσιμες Περιφερειακές Αποθήκες.	69
4.2.4 Ομάδα Τέταρτη : 100 Πελάτες - 10 Διαθέσιμες Περιφερικές αποθήκες.....	75
4.2.5 Σενάριο 100-10-1	75
4.2.6 Ομάδα Πέμπτη : 200 Πελάτες – 10 Διαθέσιμες Περιφερειακές αποθήκες.	81
Συμπεράσματα.....	87
Βιβλιογραφία	93

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.6.1 : Ορισμός των μεταβλητών του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.	30
Πίνακας 2.6.2 : Διατύπωση των περιορισμών του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.	32
Πίνακας 4.2.1: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-1.	57
Πίνακας 4.2.2: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-1b.	58
Πίνακας 4.2.3: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-2.	59
Πίνακας 4.2.4: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-2b.	60
Πίνακας 4.2.5 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-1	61
Πίνακας 4.2.6 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-1b.	62
Πίνακας 4.2.7 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2.	63
Πίνακας 4.2.8 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2b.	64
Πίνακας 4.2.9 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-3.	65
Πίνακας 4.2.10 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-3b.	66
Πίνακας 4.2.11 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2bBIS.	67
Πίνακας 4.2.12: Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2BIS.	68
Πίνακας 4.2.13: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-1.	69
Πίνακας 4.2.14 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-1b.	70
Πίνακας 4.2.15: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-2.	71
Πίνακας 4.2.16 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-2b.	72
Πίνακας 4.2.17: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-3.	73
Πίνακας 4.2.18: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-3b.	74
Πίνακας 4.2.19 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-1.	75
Πίνακας 4.2.20 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-1b.	76
Πίνακας 4.2.21 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-2.	77
Πίνακας 4.2.22 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-2b.	78
Πίνακας 4.2.23 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-3.	79
Πίνακας 4.2.24 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-3b.	80
Πίνακας 4.2.25 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-1.	81

Πίνακας 4.2.26 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-1b.	82
Πίνακας 4.2.27 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-2.	83
Πίνακας 4.2.28 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-2b.	84
Πίνακας 4.2.29 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-3.	85
Πίνακας 4.2.30 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-3b.	86
Πίνακας 4.2.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των σεναρίων.	90
Πίνακας 4.2.2 : Παρουσίαση της ευστάθειας του αλγορίθμου ACO για κάθε σενάριο.	92

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1.1 : Σχηματική αναπαράσταση της εφοδιαστικής αλυσίδας.	4
Εικόνα 1.5.1 : Η συστημική ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας.	8
Εικόνα 1.6.1 : Οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας.	10
Εικόνα 2.2.1 : Αναπαράσταση του δικτύου εφοδιασμού.	18
Εικόνα 3.5.1 : Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών.	48
Εικόνα 4.2.1 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-1.	57
Εικόνα 4.2.2 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-1b.	58
Εικόνα 4.2.3 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-2.	59
Εικόνα 4.2.4 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-2b.	60
Εικόνα 4.2.5 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 50-5-1.	61
Εικόνα 4.2.6 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 50-5-1b.	62
Εικόνα 4.2.7 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 50-5-2.	63
Εικόνα 4.2.8 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-2b.	64
Εικόνα 4.2.9 : : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-3.	65
Εικόνα 4.2.10 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-3b.	66
Εικόνα 4.2.11 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-2bBIS.	67
Εικόνα 4.2.12 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-2BIS.	68
Εικόνα 4.2.13 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-1.	69
Εικόνα 4.2.14 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-1b.	70
Εικόνα 4.2.15 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-2.	71
Εικόνα 4.2.16 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-2b.	72
Εικόνα 4.2.17 : : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-3.	73
Εικόνα 4.2.18 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-3b.	74
Εικόνα 4.2.19 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-1.	75
Εικόνα 4.2.20 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 100-10-1b.	76
Εικόνα 4.2.21 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 100-10-2.	77
Εικόνα 4.2.22 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-2b.	78
Εικόνα 4.2.23 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-3.	79

Εικόνα 4.2.24 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-3b.....	80
Εικόνα 4.2.25 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 200-10-1b.....	81
Εικόνα 4.2.26 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-1b.....	82
Εικόνα 4.2.27 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 200-10-2.....	83
Εικόνα 4.2.28 : Διάγραμμα των διαδρομών 200-10-2b.	84
Εικόνα 4.2.29 : Διάγραμμα των διαδρομών 200-10-3.	85
Εικόνα 4.2.30 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 200-10-3b.....	86

**Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών για την
επίλυση του προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων και
Χωροθέτησης Εγκαταστάσεων Δύο Επιπέδων.**

Τσιφτσόγλου Μ.

(Επιβλέπων: Δρ. Μαρινάκης Ι.)

Περίληψη

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδα αποτελεί ένα ραγδαία εξελισσόμενο κλάδο που ασχολείται με τις μεταφορές και την αποθήκευση εμπορευμάτων. Η παρούσα διπλωματική εργασία, ασχολείται με το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων (Two Echelon Location Routing Problem). Το πρώτο επίπεδο αποτελείται από την κεντρική αποθήκη και τις ενδιάμεσες, μικρότερες σε χωρητικότητα αποθήκες, που ονομάζονται και δορυφόροι (satellites). Στο δεύτερο επίπεδο, πραγματοποιείται η σύνδεση των δορυφόρων με τα τελικά σημεία παράδοσης ή αλλιώς τους πελάτες. Σκοπός είναι η εύρεση βέλτιστων διαδρομών μεταξύ των πελατών, των ενδιάμεσων αποθηκών και της κεντρικής αποθήκης χωρίς όμως να παραβιάζονται οι περιορισμοί. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της αρχικής λύσης είναι ο ευρετικός αλγόριθμος της πλησιέστερης εισαγωγής κόμβων (Nearest Insertion), για τη βελτιστοποίηση της λύσης είναι οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης 1-0 επανατοποθέτηση (1-0 relocate), 2-opt και 1-1 ανταλλαγή (1-1 exchange) καθώς και ο μεθευρετικός αλγόριθμος, βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization Algorithm). Η υλοποίηση των αλγορίθμων αυτών πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Matlab. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία θα εφαρμοστεί σε 30 διαφορετικά παραδείγματα αναφοράς από τη βιβλιογραφία, αξιολογώντας εν τέλει, την αποδοτικότητα των αλγορίθμων για κάθε υποπερίπτωση καθώς και στο σύνολο αυτών.

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE SCHOOL OF PRODUCTION ENGINEERING &
MANAGEMENT
DIPLOMA THESIS

**Ant Colony Optimization Algorithm for solving the Two Echelon
Location Routing Problem.**

Tsiftoglou M.

(supervised by Dr. Marinakis I.)

Abstract

The supply chain management is a rapidly developing sector which deals with the transportation and storage of freight. This thesis, occupies with the Two Echelon Location Routing Problem (2-E LRP). The first echelon is composed of the main depot and the intermediate, smaller in capacity, warehouses, also referred as satellites. In the second echelon, takes places the connection between the satellites and final distribution locations or the clients. The objective is to find the optimum routes between the clients, the satellites and the main depot without violating any constraints. The tools that will be used are the Nearest Insertion algorithm, in order to create an initial solution to the problem, the local search algorithms 1-0 relocate, 1-1 exchange and 2-opt for optimizing that solution and the metaheuristic algorithm Ant Colony Optimization (ACO). The implementation of the aforementioned algorithms was held in Matlab. This methodology will be implemented in 30 different cases taken from literature. Finally, the effectiveness of the algorithms will be evaluated for every single case.

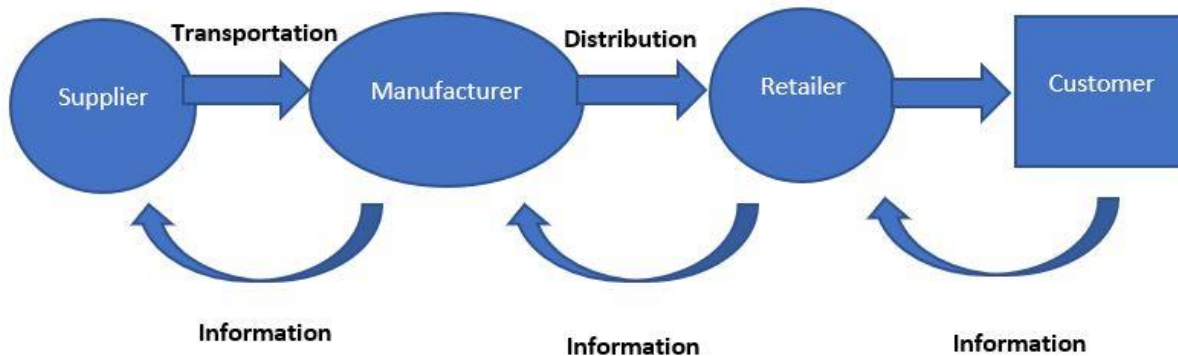
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή στην εφοδιαστική αλυσίδα

1.1 Η έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η εφοδιαστική αλυσίδα (Supply Chain) είναι ένα δίκτυο πολλών επιπέδων από συνεργαζόμενες οργανώσεις ή επιχειρήσεις – κόμβους, που στοχεύουν στην βελτίωση ροής των υλικών και πληροφορίας από τους προμηθευτές στους τελικούς πελάτες. Αυτό το σύστημα δικτύωσης περιλαμβάνει τους προμηθευτές, τις μονάδες παραγωγής, τις αποθήκες πρώτων υλικών ή έτοιμων προϊόντων, τα κέντρα διανομής, τους πωλητές, προϊόντα υπό κατασκευή και τέλος, τους καταναλωτές.

Ένας διαφορετικός ορισμός από τον Quinn (1997) εξηγεί ότι “ η εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες και τις διαδικασίες που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών , τη διανομή και την εξυπηρέτηση πελατών που εκτελούνται από δύο ή περισσότερες επιχειρήσεις με σκοπό τη ικανοποίηση των αναγκών του πελάτη”.

Ενώ σύμφωνα με τους Jespersen και Larsen (2005) η εφοδιαστική αλυσίδα είναι: “ένα σύστημα του οποίου τα συστατικά αποτελούνται από προμηθευτές υλικών, εγκαταστάσεις παραγωγής, υπηρεσίες διανομής και πελάτες, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω της ροής υλικών προς τα εμπρός και τη ροή πληροφοριών προς τα πίσω”.



Εικόνα 1.1.1 : Σχηματική αναπαράσταση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

1.2 Η προσθήκη αξίας στο προϊόν.

Σε αυτό το σημείο θεωρείται χρήσιμο να αποσαφηνιστεί η έννοια του προϊόντος. Ένας ορισμός θα μπορούσε να περιγράψει το προϊόν ως το αποτέλεσμα της μετατροπής των πρώτων υλών από τους συντελεστές παραγωγής. Η διαδικασία αυτή, που ονομάζεται συγκεκριμένα παραγωγική διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την προσθήκη αξίας στο τελικό προϊόν. Για τον πελάτη ωστόσο, σημασία έχει και η έγκαιρη παραλαβή του. Η ολική αξία (overall value) ενός προϊόντος αντικατοπτρίζει την διαφορά στην αξία που αντιλαμβάνεται ο πελάτης μεταξύ του αρχικού σταδίου παραγωγής και της τελικής του μορφής. Μεγάλο μέρος της μεταβολής της αξίας του προϊόντος, οφείλεται στις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας που έλαβαν χώρα μέχρι την παράδοση του.

1.3 Ο ρόλος της εφοδιαστικής αλυσίδας για την στρατηγική μίας επιχείρησης.

Παρατηρώντας τον επιχειρηματικό κόσμο, αντιλαμβάνεται κανείς, πως η εφοδιαστική αλυσίδα διακατέχει έναν κρίσιμο ρόλο, τόσο σε οικονομικό όσο και σε στρατηγικό επίπεδο. Νέες τάσεις της αγοράς, όπως το ηλεκτρονικό επιχειρείν, καθιστούν τον τρόπο διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδα ως βασικό άξονα της στρατηγικής των επιχειρήσεων. Τι είναι όμως στρατηγική; Σύμφωνα με τον Chandler (1990), *“η στρατηγική είναι ο ορισμός των μακροπρόθεσμων στόχων μίας επιχείρησης, η υιοθέτηση ενός τρόπου δράσης και ο επιμερισμός των μέσων που είναι απαραίτητα για την επίτευξη αυτών των στόχων”*. Η αποτελεσματική διαχείριση, μίας αλυσίδας εφοδιασμού αποσκοπεί στην ικανοποίηση των πελατών με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Παράλληλα, αυξάνεται το μερίδιο της αγοράς και η κερδοφορία ενώ ενθαρρύνεται η ανάπτυξη νέων προϊόντων. Με άλλα λόγια, η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμβάλλει στην δημιουργία αξίας και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος για την επιχείρηση. Για τον λόγο αυτό, η ανάπτυξη επιστημονικών μεθόδων για την βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν παύει να αποτελεί αντικείμενο έρευνας.

1.4 Οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η εφοδιαστική αλυσίδα σήμερα.

Οι επιχειρήσεις, δίνουν μεγάλη βαρύτητα στην διαμόρφωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς αποτελεί σημαντικό κομμάτι της στρατηγικής τους. Η τεχνολογική πρόοδος, επιβάλλοντας νέες τάσεις στην αγορά, όπως είναι το ηλεκτρονικό εμπόριο (e-commerce), αναγκάζει τις επιχειρήσεις να προσαρμοστούν σε δεδομένα παγκόσμιου ανταγωνισμού. Καθώς οι τιμές των εμπορευμάτων, σε παγκόσμιο επίπεδο σημειώνουν αύξηση, ασκούνται μεγάλες πιέσεις για την μείωση των λειτουργικών εξόδων. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη δημιουργίας ενός ευρύτερου δικτύου καναλιών

που ταυτόχρονα θα παρέχει χαμηλό κόστος και υψηλή ποιότητα παροχής υπηρεσιών. Μερικές τέτοιες υπηρεσίες είναι η διανομή κατ' οίκων, η επιστροφή του προϊόντος (reversed supply chain) κ.α. Η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών είναι μία πρόκληση αλλά και δύναται να δώσει λύσεις στα περισσότερα προβλήματα που αφορούν τον κλάδο. Μερικά τέτοια παραδείγματα που εφαρμόζονται ήδη είναι οι τεχνολογίες εντοπισμού και παρακολούθησης φορτίου (track and trace), οι τεχνολογίες επικοινωνιών και διαδικτύου (web platforms, web services), τα έξυπνα συστήματα μεταφορών, οι τεχνολογίες αναγνώρισης (RFID, OCR) κ.α. Επιπρόσθετα, τα τελευταία χρόνια ο χώρος των logistics ασχολείται με θέματα βιωσιμότητας καθώς και προστασίας τους περιβάλλοντος (πράσινη εφοδιαστική αλυσίδα), όπως η πολιτική πακεταρίσματος και την χρήση μέσων μεταφοράς χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου ή κατανάλωσης καυσίμου, εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Η αποτελεσματικότητα των σύγχρονων εφοδιαστικών αλυσίδων βασίζεται στην πρακτική “just in time” η οποία μελλοντικά ίσως να μην αποτελεί την βέλτιστη επιλογή καθώς αναμένεται η επιβολή κόστους για την εκπομπή ρύπων. Συμπερασματικά, οι επιχειρήσεις οφείλουν να επενδύσουν στην έρευνα και να επιδιώξουν την καινοτομία στον σχεδιασμό της εφοδιαστικής τους αλυσίδας προκειμένου να επιβιώσουν σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο, ανταγωνιστικό περιβάλλον.

1.5 Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management).

Η αποτελεσματική διαχείριση αποσκοπεί στην διασφάλιση των κύριων στόχων μίας επιχείρησης όσο αφορά το κομμάτι του εφοδιασμού, δηλαδή *“να παραδοθεί η σωστή ποσότητα, του σωστού προϊόντος, στον σωστό πελάτη, στον σωστό τόπο και χρόνο σε σωστή τιμή.”* Το γεγονός αυτό προϋποθέτει ότι οι πρώτες ύλες, τα αποθέματα και τα έτοιμα προϊόντα, είναι διαθέσιμα σε σωστές

ποσότητες, την σωστή στιγμή και στο σωστό τόπο. Με άλλα λόγια, ο συντονισμός μίας σειράς λειτουργιών καθορίζει το επίπεδο βιωσιμότητας μίας επιχείρησης.

Σύμφωνα με τους Robinson και Malhotra (2005), *“η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας εμπεριέχει προκλήσεις, όπως την ανάπτυξης εμπιστοσύνης και συνεργασίας μεταξύ των μελών της, την αναγνώριση των βέλτιστων πρακτικών, οι οποίες συμβάλλουν στην ευθυγράμμιση και ολοκλήρωση των διαδικασιών αυτής, και την επιτυχή εφαρμογή των τεχνολογιών πληροφορικής, που κατευθύνουν την αποδοτικότητα και την ποιότητα σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα”*.

Προκειμένου να εφαρμοστεί ένας ορθός τρόπος διαχείρισης πρέπει πρώτα να αναλυθούν οι παράμετροι και οι μεταβλητές που συνθέτουν μία εφοδιαστική αλυσίδα. Κρίνεται σκόπιμο λοιπόν να παρουσιαστεί ένα συστημικό μοντέλο, του οποίου τα χαρακτηριστικά θα εξηγηθούν παρακάτω.

Αρχικά, πρόκειται για ένα δυναμικό σύστημα όπου κάθε στάδιο αλληλοεπιδρά με τα υπόλοιπα και την ροή υλικών και πληροφορίας να κινείται αμφίπλευρα.

Η είσοδο τους συστήματος είναι :

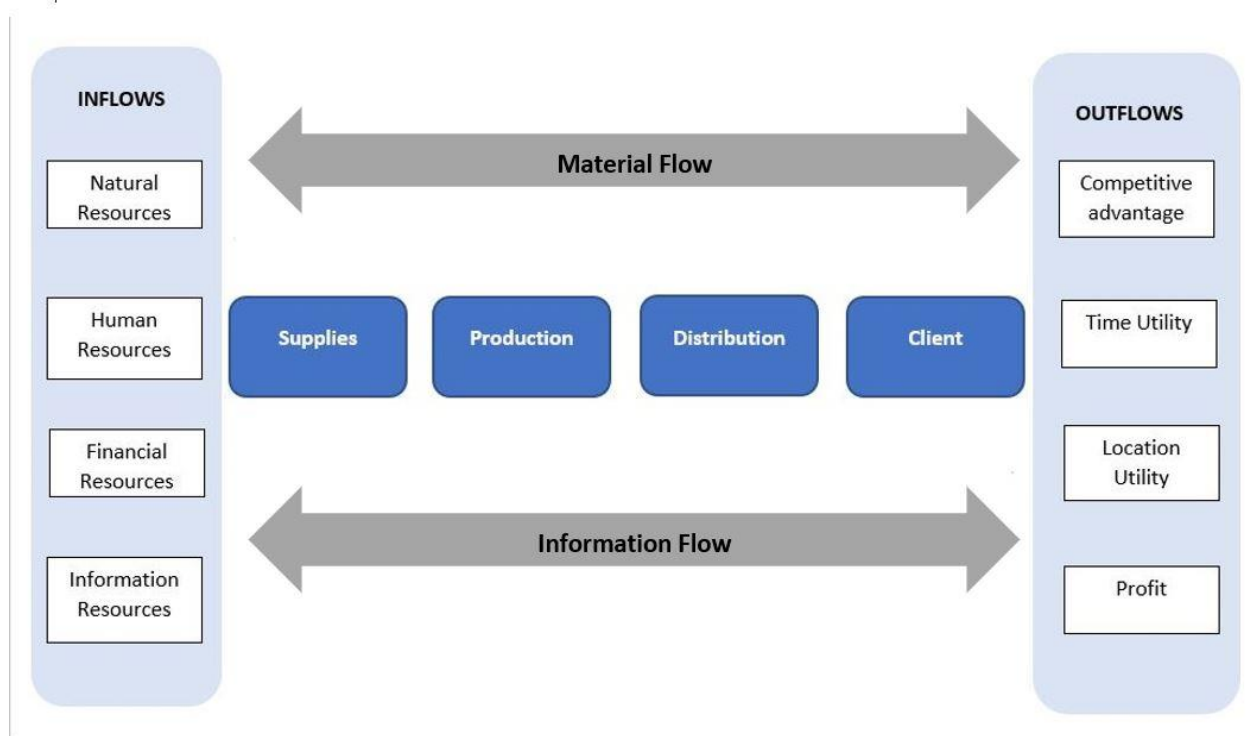
- Φυσικοί Πόροι.
- Ανθρώπινο Δυναμικό.
- Οικονομικοί Πόροι.
- Πληροφοριακοί Πόροι.

Εντός του συστήματος τώρα, εκτελούνται διάφορες διαδικασίες, οι οποίες θα παρουσιαστούν σε επόμενη ενότητα, και σαν αποτέλεσμα έχουν την παράδοση του προϊόντος, στον πελάτη.

Η έξοδος του συστήματος είναι :

- Η απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.
- Χρησιμότητα χρόνου.
- Χρησιμότητα τόπου.
- Η κερδοφορία.

Η ολοκληρωμένη διαχείριση στηρίζεται στην δημιουργία ενός ενιαίου σχεδίου δράσης, που θα λαμβάνει υπόψιν του το σύνολο των λειτουργιών, τους περιορισμούς, και την ζήτηση, συλλέγοντας την απαραίτητη πληροφορία από το ίδιο το σύστημα.



Εικόνα 1.5.1 : Η συστημική ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η ορθολογική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι κρίσιμη για μία επιχείρηση καθώς την καθιστά ανταγωνιστική και παράλληλα αποτελεί μέρος της στρατηγικής της. Ο τομέας της επιχειρησιακής έρευνας (Operational Research) ανταποκρίνεται στην επίλυση του πολύπλοκου προβλήματος της βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρέχοντας κατάλληλα εργαλεία μοντελοποίησης και τεχνικών λήψης αποφάσεων σε συνδυασμό με την χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας.

Περιλαμβάνει δύο επίπεδα. Αυτό του προγραμματισμού και αυτό της εκτέλεσης.

Προγραμματισμός: Πρόβλεψη ζήτησης η οποία βασίζεται σε παλαιότερα δεδομένα προμηθειών και πωλήσεων.

Εκτέλεση: Το σχέδιο που έχει καθοριστεί στο προηγούμενο στάδιο τίθεται σε εφαρμογή και η εξέλιξη του ελέγχεται βάσει πληροφοριών που συλλέγονται από ολόκληρο το εύρος της εφοδιαστικής αλυσίδας.

1.6 Οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Όπως προαναφέρθηκε, οι λειτουργίες για την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες: τις κύριες και τις υποστηρικτικές.

Οι κύριες λειτουργίες: Ανήκουν οι πρωτεύουσες δραστηριότητες που απορροφούν το περισσότερο χρόνο αλλά και κόστος ενώ ο προσεκτικός σχεδιασμός και προγραμματισμός τους επηρεάζει την συνολική απόδοση καταλυτικά. Αυτές είναι :

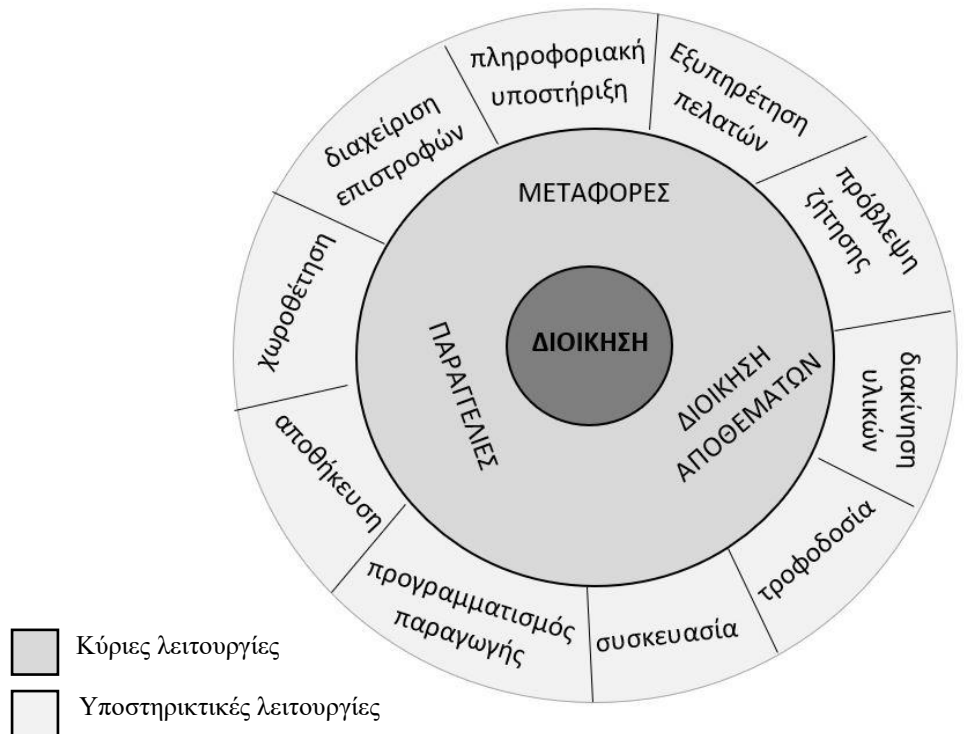
- οι μεταφορές
- η διοίκηση αποθεμάτων
- η επεξεργασία παραγγελιών

Οι υποστηρικτικές λειτουργίες: παρέχουν την απαραίτητη υποδομή για τη διασφάλιση των κύριων δραστηριοτήτων, ενώ ταυτόχρονα κάθε μία υποστηρίζει ξεχωριστά, όλες άλλες.

- η εξυπηρέτηση πελατών
- η πρόβλεψη της ζήτησης
- η διακίνηση υλικών
- η τροφοδοσία
- η συσκευασία
- ο προγραμματισμός παραγωγής
- η αποθήκευση
- η χωροθέτηση μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης

- η διάθεση αποβλήτων
- η διαχείριση επιστροφών
- η πληροφοριακή υποστήριξη

Οι κύριες λειτουργίες αλληλοεπιδρούν με τις δευτερεύουσες για τη δημιουργία μίας ολοκληρωμένης εφοδιαστικής αλυσίδας



Εικόνα 1.6.1 : Οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Οι λειτουργίες που σχετίζονται στενότερα με την αύξηση του κόστους στο σύστημα είναι η μεταφορά και τα αποθέματα. Συγκεκριμένα, οι δαπάνες για την μεταφορά υλικών ή προϊόντων αποτελεί έως και τα δύο τρίτα του ολικού κόστους.

Σε τελική ανάλυση, το σημαντικότερο για την επιχείρηση είναι η ικανοποίηση του πελάτη. Μία εφοδιαστική αλυσίδα όπου η διαχείριση της πραγματοποιείται ορθολογικά, επιφέρει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, ελαχιστοποιεί τους χρόνους παράδοσης και το κόστος ενώ συμβάλλει στην κερδοφορία της επιχείρησης. Οι στόχοι της επιχείρησης, με βάση τις αρχές της

διαχείρισης πρέπει να επιτυγχάνονται με το δυνατότερο χαμηλό κόστος, γεγονός που περιλαμβάνει την ανάλυση των δαπανών ολόκληρου του κύκλου ζωής του προϊόντος. Οι δαπάνες αυτές, όπως προαναφέρθηκε συνίστανται στο μεγαλύτερο μέρος τους από τα έξοδα μεταφορών, διανομών και το κόστος αποθήκευσης. Επομένως, η περαιτέρω μελέτη των συγκεκριμένων λειτουργιών θεωρείται απαραίτητη και θα παρουσιαστεί σε επόμενη ενότητα.

1.7 Μεταφορές.

Κάθε στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού, επωμίζεται με ένα κόστος ενώ μοναδική πηγή εσόδων συνιστά ο πελάτης. Ο ρόλος των μεταφορών στο σύστημα είναι πολύ σημαντικός καθώς διαμέσου της διεργασίας επιτελείται ο απώτερος σκοπός της επιχείρησης, δηλαδή η κάλυψη της ζήτησης.

Οι μεταφορές μπορεί να αναλυθούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες, τις εσωτερικές και τις εξωτερικές. Οι πρώτες περιλαμβάνουν τις μεταφορές των προμήθειών στα εργοστάσια της εταιρίας, τις μεταφορές προϊόντων μεταξύ των εργοστασίων καθώς επίσης και τις μεταφορές τελικών προϊόντων από το εργοστάσιο τις αποθήκες ή στα σημεία πώλησης. Οι εξωτερικές μεταφορές αφορούν την διανομή των τελικών προϊόντων, από τα σημεία παραγωγής ή αποθήκευσης της στον πελάτη.

Το κόστος και οι χρόνοι μεταφοράς και διανομής δύναται να ελαχιστοποιηθούν εφόσον παρθούν βέλτιστες αποφάσεις σε μία σειρά ζητημάτων της :

1. Την επιλογή του στόλου, όσον αφορά το μέγεθος και τον τύπο οχημάτων που θα χρησιμοποιηθούν.
2. Την εύρεση βέλτιστων διαδρομών, λαμβάνοντας υπόψιν της περιορισμούς της χωρητικότητας των οχημάτων και τα χρονικά όρια.
3. Την σχεδίαση του δικτύου διανομής, δηλαδή την επιλογή ενδιάμεσων αποθηκών και την χρονοπρογραμματισμό των δρομολογίων.
4. Το ανθρώπινο δυναμικό, δηλαδή συνεργασία με άτομα κατάλληλα καταρτισμένα.

1.8 Το δίκτυο μεταφορών.

Το δίκτυο μεταφοράς της θα οριστεί σε αυτήν την ενότητα, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της μοντελοποίησης και επίλυσης του προβλήματος. Αρχικά, αποτελείται από κόμβους και τόξα. Οι κόμβοι του δικτύου αντιπροσωπεύουν πόλεις, στάσεις, πελάτες ή κι αεροδρόμια, λιμάνια κ.ο.κ. ενώ τα τόξα αναπαριστούν τις δυνατές συνδέσεις μεταξύ αυτών. Απώτερος σκοπός είναι η εύρεση διαδρομών τέτοιων ώστε να σέβονται τους περιορισμούς, (χωρητικότητας ή χρόνου) με το ελάχιστο κόστος, εξυπηρετώντας παράλληλα όλη την ζήτηση.

1.9 Η αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η αποδοτικότητα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας δύναται να αναλυθεί βάσει των ακόλουθων παραμέτρων :

- 1 ολικό κόστος (overall cost)
- 2 ολικό κέρδος (overall profitability)
- 3 χρονικός κύκλος (circle time)

Το ολικό κόστος περιλαμβάνει τις δαπάνες από ολόκληρο το σύστημα εφοδιασμού. Το κόστος αυτό αναλύεται τις επιμέρους κατηγορίες :

- Κόστος πρώτων υλών
- Κόστος παραγωγής
- Κόστος αποθήκευσης
- Ενδιάμεσα κόστη μεταφοράς
- Ενδιάμεσα κόστη διανομής

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος, πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ κάθε σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας και να διατυπωθεί μαθηματικά

μία αντικειμενική συνάρτηση που περιλαμβάνει όλα τα κόστη προς ελαχιστοποίηση καθώς και όλους τους περιορισμούς του προβλήματος. Η μέθοδος αυτή παράγει καλύτερα αποτελέσματα από την ελαχιστοποίηση του κόστους σε κάθε στάδιο ξεχωριστά. Παρόμοια, η απόδοση του συνολικού κέρδους πρέπει να αναλυθεί στα επιμέρους κέρδη κάθε σταδίου. Η μεγιστοποίηση όλων των κερδών ταυτόχρονα, σε κάθε βήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας επιφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Η επόμενη σημαντική παράμετρος που καθορίζει την απόδοση είναι ο χρονικός κύκλος. Ως χρονικό κύκλο, ορίζεται η χρονική διάρκεια που μεσολαβεί από την στιγμή της παραγγελίας των πρώτων υλών μέχρι την παράδοση του τελικού προϊόντος στον πελάτη. Σκοπός της διαχείρισης είναι η ελαχιστοποίηση αυτού του παράγοντα.

1.10 Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζει η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η επικρατούσα νόρμα στον τομέα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η συνολική προσέγγιση του συστήματος και όχι η προσπάθεια βελτίωσης μεμονωμένων παραγόντων. Στην πράξη σημειώνονται αρκετές δυσκολίες καθώς η πολυπλοκότητα ενός τέτοιου προβλήματος είναι εξαιρετικά μεγάλη. Τα κυριότερα αίτια που οδηγούν σε αστοχία της ολικής προσέγγισης ή την καθιστούν περίπλοκη είναι κατά βάση δύο :

- *Αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα των διαφόρων στοιχείων της εφοδιαστικής αλυσίδας.*

Όπως αναφέρθηκε στον ορισμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, αποτελείται από διάφορες επιχειρήσεις και οργανισμούς που αλληλεξαρτώνται και βρίσκονται σε συνεργασία. Ωστόσο, πολλές φορές συμβαίνει το οικονομικό συμφέρον μίας επιχείρησης να έρχεται σε σύγκρουση με αυτό μίας άλλης. Ένα κοινό παράδειγμα αποτελεί η επιθυμία των κατασκευαστών για την πραγματοποίηση ευέλικτων παραγγελιών πρώτων υλών “just in time” που αντιτίθεται στην προτίμηση των προμηθευτών για σταθερή ζήτηση, μεγάλων ποσοτήτων.

- *Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δυναμικό σύστημα.*

Το γεγονός αυτό αυξάνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος βελτιστοποίησης καθώς διακυμάνσεις μπορούν εμφανιστούν σε όλα τα στάδια, από την ζήτηση, το επίπεδο αποθεμάτων, των επιστροφών κ.α.

1.11 Η εφοδιαστική υποστήριξη ή αλλιώς logistics.

Τα logistics αποτελούν μία υποστηρικτική λειτουργία της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι η διαχείριση της εφοδιαστικής είναι μία ευρύτερη έννοια που περιλαμβάνει ένα σύνολο δραστηριοτήτων, τον στρατηγικό σχεδιασμό αυτών, καθώς και μέρος του προγραμματισμού παραγωγής ενώ τα logistics σχετίζονται με την ανάλυση καθορισμένων θεμάτων της διαχείρισης.

Ο ορισμός της εφοδιαστικής υποστήριξης (Logistics) από την CLM (Council of Logistics Management, 1990): εξηγεί ότι *“η ολοκλήρωση δύο ή και περισσότερων δραστηριοτήτων με σκοπό το σχεδιασμό, την εφαρμογή και τον έλεγχο της αποδοτικής ροής των πρώτων υλών, προϊόντων υπό κατασκευή και τελικών προϊόντων από το σημείο προέλευσης στο σημείο κατανάλωσης με σκοπό την πλήρη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του πελάτη, ορίζεται ως Logistics”*.

“Logistics είναι η διαδικασία της στρατηγικής διαχείρισης των προμηθειών, της κίνησης και αποθήκευσης πρώτων υλών, εξαρτημάτων και τελικών αποθεμάτων (και σχετικών πληροφοριών για τις ροές τους) μέσα στη επιχείρηση και τα κανάλια του Marketing με τέτοιο τρόπο, ώστε η τρέχουσα και η μελλοντική κερδοφορία να μεγιστοποιούνται με την εκπλήρωση των παραγγελιών σύμφωνα με τις αρχές της αποτελεσματικότητας του κόστους”.(Martin Christopher, 2006).

Με βάση τους δύο παραπάνω ορισμούς γίνεται αντιληπτό πως η διαχείριση και τα logistics έχουν κοινή στοχοθεσία. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι τα logistics ασχολούνται στην ουσία, με τη διαχείριση αποθεμάτων σε κίνηση, αποθήκευση και υπό κατεργασία.

1.12 Η μεθοδολογία για την βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας περιγράφεται σε βήματα :

Βήμα 1: Εντοπισμός και ανάλυση του προβλήματος.

Το πρώτο βήμα, έγκειται στον προσδιορισμό του προβλήματος, τους περιορισμούς του και τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιχείρηση.

Βήμα 2: Μαθηματική ή συστημική διατύπωση .

Σε αυτό το στάδιο, το πρόβλημα, διατυπώνεται σε μία μορφή που επιτρέπει την εφαρμογή μεθόδων επίλυσης, όπως γραμμικός ή ακέραιος προγραμματισμός ή διαφορετικά, πραγματοποιείται προσομοίωση του προβλήματος με την χρήση H/Y.

Βήμα 3: Επιλογή τεχνικών επίλυσης.

Σκοπός είναι η εύρεση μίας εφικτής λύσης ή ακόμη και της βέλτιστης εφόσον αυτό είναι δυνατό. Υπάρχει πληθώρα μεθόδων και τεχνικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, παραδείγματος χάριν μέσω μαθηματικού προγραμματισμού, ευρετικών αλγορίθμων ή άλλων υπολογιστικών μεθόδων.

Βήμα 4: Υλοποίηση των τεχνικών επίλυσης.

Το κομμάτι αυτό αφορά την χρήση λογισμικού, κυρίως συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Σ.Υ.Α.) για την εφαρμογή των μεθόδων επίλυσης. Ιδιαίτερη σημασία οφείλεται να δοθεί στην

αποτελεσματικότητα, την ευχρηστία και τον χρόνο παραγωγής εφικτών λύσεων που προσφέρει το συγκεκριμένο λογισμικό.

Βήμα 5: Λήψη τελικής απόφασης.

Ο μάνατζερ που αποτελεί και τον χρήστη του Σ.Υ.Α. καλείται να λάβει την τελική απόφαση, βασιζόμενος στα αποτελέσματα που παρήγαγε το σύστημα.

Στα επόμενα κεφάλαια, θα εφαρμοστεί η παραπάνω μεθοδολογία για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.

Κεφάλαιο 2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.

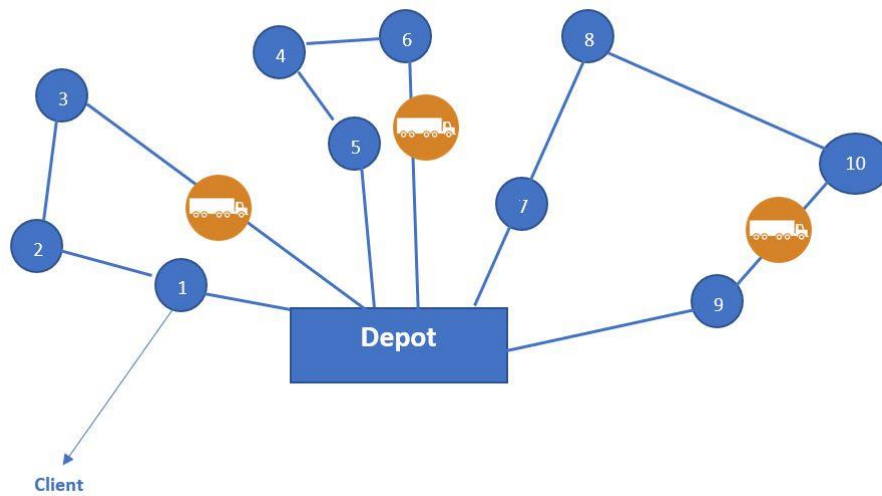
2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιείται ανασκόπηση των διάφορων προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων και παρουσιάζονται τα σημαντικότερα από αυτά. Στο τέλος αυτής της ενότητας, παρατίθεται η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων. Όπως θα αναλυθεί και στην συνέχεια, περιλαμβάνει μεταφορές αγαθών ανάμεσα σε κόμβους που ανήκουν σε δύο διαφορετικά στρώματα. Οι κόμβοι του πρώτου στρώματος αποτελούν τις ενδιάμεσες αποθήκες ή μονάδες παραγωγής ενώ οι κόμβοι του δεύτερου στρώματος αποτελούν τους πελάτες.

2.2 Το Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem).

Η δρομολόγηση οχημάτων ορίζεται ως το πρόβλημα εύρεσης συντομότερων διαδρομών για την διανομή τελικών προϊόντων στον πελάτη, χρησιμοποιώντας έναν ορισμένο στόλο οχημάτων που ξεκινούν από μία συγκεκριμένη αποθήκη και μπορούν να κινηθούν στα πλαίσια ενός προκαθορισμένου δικτύου.

Οι βασικές παράμετροι του προβλήματος είναι οι πελάτες, οι αποθήκες και τα οχήματα. Η διανομή των προϊόντων πραγματοποιείται μέσω ενός οδικού δικτύου. Η αναπαράσταση του δικτύου πραγματοποιείται μέσω ενός γραφήματος, τόξων και κόμβων, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Οι πελάτες αναπαρίστανται με την μορφή αριθμημένων των κόμβων. Επίσης, τα τόξα που αναπαριστούν τις διαδρομές, μπορεί να είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης.

2.2.1 Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν οι διαδρομές.

Οι διαδρομές που δημιουργούνται πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

1. Κάθε διαδρομή πρέπει να έχει σαν αφετηρία μία αποθήκη.
2. Οι διαδρομές πρέπει να καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις των πελατών. Επομένως, να γίνεται κάλυψη όλης της ζήτησης.
3. Η δρομολόγηση των οχημάτων οφείλει να τηρεί τους περιορισμούς, οι οποίοι ποικίλουν ανάλογα με την υποκατηγορία του προβλήματος κι θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα.
4. Τέλος, βασική επιδίωξη αποτελεί η εύρεση διαδρομών τέτοιων ώστε να ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις και ταυτόχρονα να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος.

2.2.2 Οι βασικές παράμετροι του προβλήματος δρομολόγησης και τα χαρακτηριστικά τους.

Για την αποτελεσματική επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση των βασικών παραμέτρων που διαμορφώνουν την φύση του. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι πελάτες, οι αποθήκες και τα οχήματα.

Για τους πελάτες πρέπει να καθοριστούν τα εξής :

- Η ακριβής τοποθεσία.
- Η ποσότητα αγαθών που πρέπει να παραδοθεί, δηλαδή το επίπεδο ζήτησης.
- Το είδος της απαιτούμενης εξυπηρέτησης, διανομή, παραλαβή ή και τα δύο.
- Τα χρονικά διαστήματα που ο πελάτης μπορεί να εξυπηρετηθεί (time windows).
- Ο απαιτούμενος χρόνος εξυπηρέτησης του πελάτη.
- Ανάλογα με την τοποθεσία, η πρόσβαση μπορεί να είναι δυνατή μόνο από συγκεκριμένο τύπο οχήματος.

Για τις αποθήκες πρέπει να διαπιστωθούν τα εξής :

- Η τοποθεσία της αποθήκης.
- Η χωρητικότητα της αποθήκης.
- Ο αριθμός οχημάτων που μπορεί να φιλοξενήσει.

Για τα οχήματα πρέπει να προσδιοριστούν τα εξής :

- Η αποθήκη από την οποία ξεκινούν και η δυνατότητα επιστροφής τους στην ίδια ή άλλη αποθήκη αν πρόκειται για κλειστές διαδρομές.
- Η χωρητικότητα του οχήματος.

- Το πλήθος των διαθέσιμων οχημάτων.
- Η ομαδοποίηση των οχημάτων ανάλογα με τον τρόπο φόρτωσης, την χωρητικότητα και το είδος του φορτίου.
- Το λειτουργικό τους κόστος.
- Την διαθεσιμότητα μηχανημάτων φορτοεκφόρτωσης.
- Την προσβασιμότητα του οχήματος.

2.2.3 Ανάλυση των περιορισμών.

Ανάλογα με τη φύση των περιορισμών, διαμορφώνεται και το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. Οι περιορισμοί σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηρίστηκα των οχημάτων και των πελατών, την εξυπηρέτηση και είδος των προϊόντων που μεταφέρονται. Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν οι περιορισμοί που θέτουν οι πελάτες και αυτοί που υπαγορεύουν τα οχήματα.

Είδη Περιορισμών :

- Περιορισμοί που σχετίζονται με το είδος εξυπηρέτησης, δηλαδή μόνο διανομή ή παραλαβή ή και τα δύο.
- Οι πελάτες που θέλουν μόνο διανομή εξυπηρετούνται πρώτοι κι οι παραλαβές γίνονται στο τέλος.
- Χρονικοί περιορισμοί ή αλλιώς χρονικά παράθυρα. Σχετίζονται με τις ώρες που μπορεί να εξυπηρετηθεί ο συγκεκριμένος πελάτης.
- Το ωράριο εργασίας των οδηγών.
- Τα οχήματα μπορεί να μεταφέρουν διαφορετικά προϊόντα.
- Η σειρά επίσκεψης των πελατών.

- Περιορισμοί σχετικοί με την φόρτωση και εκφόρτωση των οχημάτων.

2.2.4 Οι στόχοι που τίθενται κατά την επίλυση των προβλημάτων δρομολόγησης.

Ο κύριος στόχος της βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Η ανάλυση του κόστους διαφέρει ανάλογα με το είδος του προβλήματος. Η διέλευση από έναν κόμβο του δικτύου (εικόνα 2 σε έναν άλλο απαιτεί την διάνυση μίας απόστασης ίσης με το μήκος του τόξου που τους συνδέει αλλά και μία χρονική διάρκεια μετάβασης. Το κόστος μετάβασης ή ταξιδιού ορίζεται ως η απόσταση μετάβασης από το κόμβο i στον κόμβο j ενώ το κόστος χρόνου αφορά την χρονική διάρκεια διέλευσης ανάμεσα τους. Προστίθενται ακόμη και λειτουργικά κόστη των οχημάτων. Για τον λόγο αυτό, μέσα στους κύριους στόχους, συμπεριλαμβάνεται και η ελαχιστοποίηση του αριθμού των οχημάτων ή των οδηγών. Πολύ σημαντική θεωρείται επίσης η εξομάλυνση της τελικής λύσης που θα προκύψει. Πιο συγκεκριμένα, οι διαδρομές να είναι πανομοιότυπες ως προς τον χρόνο διάρκειας και ως προς το φορτίο που μεταφέρεται σε αυτές. Τέλος, είναι απαραίτητη η ελαχιστοποίηση των ποινών που επιβάλλουν οι πελάτες από την μερική ικανοποίηση της ζήτησης.

2.3 Βασικά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων.

2.3.1 Το περιορισμένης χωρητικότητας πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Capacitated Vehicle Routing Problem).

Το περιορισμένης χωρητικότητας πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων αφορά τις περιπτώσεις όπου η κάλυψη της ζήτησης των πελατών δεν είναι εφικτή από ένα μόνο όχημα. Για το λόγο αυτό κατασκευάζονται πολλές διαδρομές με τα εξής χαρακτηριστικά :

- 1) Κάθε όχημα ξεκινάει από την αποθήκη και επιστρέφει σε αυτήν μετά την ολοκλήρωση της διαδρομής.
- 2) Σε μία διαδρομή δεν επιτρέπεται η ικανοποίηση της ζήτησης να ξεπεράσει την χωρητικότητα του οχήματος.
- 3) Κάθε πελάτης θα εξυπηρετηθεί από το όχημα μία και μόνο φορά.
- 4) Πρέπει να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες.

2.3.2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων μόνο με περιορισμό μετάβασης.

Μοναδικό περιορισμό αποτελεί ο χρόνος μετάβασης από έναν κόμβο του οδικού δίκτυο σε έναν άλλο (σχήμα 2.2.1). Ο αριθμός των οχημάτων που εξυπηρετούν είναι προκαθορισμένος. Στην πράξη τέτοια προβλήματα μοντελοποιούν την εξυπηρέτηση πελατών από τεχνικούς.

2.3.3 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμούς χωρητικότητας και χρονικά παράθυρα (Vehicle Routing Problem with Time Windows).

Το πρόβλημα αυτό αποτελεί συνδυασμό των δύο παραπάνω περιπτώσεων. Πέρα από τους περιορισμούς του προβλήματος περιορισμένης χωρητικότητας έρχεται να προστεθεί ακόμη ένας που αφορά την χρονική περίοδο που επιλέγει ο πελάτης να εξυπηρετηθεί. Οι περιορισμοί αυτοί αναφέρονται στην βιβλιογραφία ως χρονικά παράθυρα. Τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται για την επίλυση είναι οι χρόνοι μετάβασης από κόμβο σε κόμβο καθώς και οι χρόνοι εξυπηρέτησης κάθε πελάτη. Η εξυπηρέτηση κάθε πελάτη πρέπει να ξεκινήσει μέσα στο χρονικό παράθυρο και αν το όχημα καταφτάσει νωρίτερα μπορεί να περιμένει.

Τα χρονικά παράθυρα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τα χαλαρά και τα σκληρά χρονικά παράθυρα.

Στην πρώτη περίπτωση το όχημα ακόμη και αν φτάσει κάποια χρονική στιγμή εκτός του χρονικού

παραθύρου μπορεί να εξυπηρετήσει τον πελάτη. Αντίθετα στην δεύτερη περίπτωση, η εξυπηρέτηση εκτός χρονικού παραθύρου δεν γίνεται δεκτή.

2.3.4 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές επιστροφές στην αποθήκη.

Συνήθως τα οχήματα εκτελούν μία διαδρομή καθώς εξαντλείται ο διαθέσιμος χρόνος μίας εργάσιμης ημέρας. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις, όπως το πρόβλημα δρομολόγησης πολλαπλών επιστροφών στην αποθήκη, όπου τα οχήματα εκτελούν παραπάνω από ένα δρομολόγια. Τα οχήματα επιστέφουν στην αποθήκη, ξαναφορτώνονται και πραγματοποιούν νέα διαδρομή. Το πρόβλημα αυτό θεωρείται επέκταση του προβλήματος δρομολόγησης με περιορισμό χωρητικότητας.

2.3.5 Δρομολόγηση οχημάτων με ύπαρξη πολλαπλών αποθηκών (Multidepot Vehicle Routing Problem).

Υπάρχουν δύο μέθοδοι προσέγγισης αυτής της κατηγορίας προβλημάτων. Στην πρώτη και ευκολότερη περίπτωση, σε κάθε αποθήκη έχει ανατεθεί συγκεκριμένος αριθμός οχημάτων και πελατών. Στην δεύτερη περίπτωση, ένα όχημα μπορεί να ξεκινήσει από μία αποθήκη και είτε να τερματίσει σε μία άλλη είτε να σταματήσει για ανεφοδιασμό και να επιστρέψει στο σημείο αφετηρίας του, με την ολοκλήρωση της διανομής.

2.3.6 Το ανοιχτό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων.

Σε αυτό το πρόβλημα τα οχήματα δεν επιστρέφουν στην αποθήκη απ' όπου ξεκίνησαν. Η παραλλαγή αυτή βρίσκει εφαρμογή όταν τα οχήματα που εκτελούν την διανομή ενοικιάζονται από εξωτερικό συνεργάτη της εταιρίας.

2.3.7 Το ανοιχτό κλειστό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων.

Αποτελεί μια επέκταση του παραπάνω προβλήματος. Δύο είναι οι περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί. Αρχικά, ο στόλος των οχημάτων μπορεί να είναι νοικιασμένος από άλλη εταιρεία αλλά εάν ο χρόνος το επιτρέπει κάποιο όχημα μπορεί να επιστρέψει για ανεφοδιασμό και έπειτα να ξεκινήσει νέα διαδρομή. Η επόμενη παραλλαγή αφορά την περίπτωση που ο αριθμός των φορτηγών της εταιρίας δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης και αναγκάζεται να προχωρήσει σε δανεισμό κάποιων επιπλέον οχημάτων.

2.3.8 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της δρομολόγησης (Vehicle Routing Problem with Backhauls and Linehauls).

Οι πελάτες χωρίζονται σε δύο ομάδες, αυτούς που απαιτούν την παραλαβή μίας ποσότητας προϊόντος και σε εκείνους που επιθυμούν να παραδώσουν μία ποσότητα. Τα δύο είδη πελατών μπορούν να συνυπάρξουν σε μία διαδρομή υπό τους εξής όρους :

- Οι πελάτες πρέπει να ανήκουν σε μία μόνο ομάδα, δηλαδή να απαιτούν μόνο διανομή ή μόνο παραλαβή.
- Η διανομή πραγματοποιείται πάντα πρώτη.

- Δεν επιτρέπεται η δημιουργία διαδρομών που να εξυπηρετούν μόνο παράλαβες.

2.3.9 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά την διάρκεια της διαδρομής. (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery).

Σε αντίθεση με το προηγούμενο πρόβλημα, επιτρέπεται η ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων από τον ίδιο πελάτη. Κάθε πελάτης πρέπει να εξυπηρετηθεί και σε αυτήν την περίπτωση από ένα όχημα. Ουσιαστικά αποτελεί μια πιο ευέλικτη μορφή του προβλήματος δρομολόγησης με δύο είδη πελατών.

2.3.10 Το στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands).

Στις πραγματικές εφαρμογές η διαθέσιμη πληροφορία μπορεί να εξελίσσεται με τον χρόνο και σε πολλές περιπτώσεις να είναι ελλιπής. Συγκεκριμένα, κατά την διανομή υπάρχει πιθανότητα τα δεδομένα, όπως η ζήτηση ή οι απαιτήσεις των πελατών να μεταβληθούν. Επιπρόσθετα, η ποιότητα της πληροφορίας να θεωρείται αναμφίβολη, δηλαδή τα δεδομένα για την ζήτηση, επί παραδείγματι, να αποτελούν μία εκτίμηση της πραγματικής. Τα στοχαστικά προβλήματα αντιμετωπίζουν μερικά δεδομένα, όπως η ζήτηση και οι χρόνοι ταξιδιού ως στοχαστικές μεταβλητές των οποίων οι κατανομές είναι γνωστές. Στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με στοχαστική ζήτηση, η ακριβής ποσότητα που επιθυμεί να παραλάβει κάθε πελάτης γίνεται γνωστή μόνο κατά την εξυπηρέτηση του. Επίσης, στο πρόβλημα δρομολόγησης με στοχαστικούς χρόνους ταξιδιού, η χρονική διάρκεια μετάβασης από έναν κόμβο του δικτύου σε έναν άλλο είναι

στοχαστική μεταβλητή και εξαρτάται από την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τις καιρικές συνθήκες και την κατάσταση του οδικού δικτύου.

2.3.11 Το ετερογενούς στόλου πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem).

Όπως υποδεικνύεται από την ονομασία του, χρησιμοποιείται ένας στόλος οχημάτων, διαφορετικής χωρητικότητας. Ο στόλος αυτός μπορεί να είναι περιορισμένος ή απεριόριστος. Επιπλέον το κόστος των οχημάτων μπορεί να λαμβάνεται υπόψιν ή και να αγνοείται. Τέλος, το κόστος δρομολόγησης μπορεί να εξαρτάται από το όχημα ή να είναι ανεξάρτητο.

2.3.12 Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλά διαμερίσματα στα οχήματα (Multicompartment Vehicle Routing Problem).

Στο συγκεκριμένο είδος προβλημάτων τα οχήματα διαθέτουν πολλά διαμερίσματα, άλλης χωρητικότητας, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν ταυτόχρονα προϊόντα διαφορετικού είδους. Με αυτόν των τρόπο επιτρέπεται η διαφύλαξη της ποιότητας των προϊόντων που πρέπει να κρατηθούν ξεχωριστά και να μεταφερθούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

2.3.13 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ρυμουλκούμενα (Truck and Trailer Routing Problem).

Το τελευταίο πρόβλημα που παρουσιάζεται σε αυτήν την ενότητα, αφορά τα οχήματα με ένα κύριο και ένα ρυμουλκούμενο μέρος. Η χρήση τους εντός πόλης, ειδικότερα στις ώρες αιχμής καλό θα ήταν να αποφεύγεται. Υπάρχουν πελάτες που πρέπει να εξυπηρετηθούν μόνο από το φορτηγό,

χωρίς το ρυμουλκούμενο μέρος του, καθώς η πρόσβαση είναι περιορισμένη. Επίσης, υπάρχουν και οι πελάτες, που μπορούν να εξυπηρετηθούν από το πλήρες όχημα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται δύο υποσύνολα πελάτων.

2.4 Το πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων (Facility location problem).

Το πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων, αφορά την εύρεση της βέλτιστης τοποθεσίας για την ανέγερση εγκαταστάσεων, προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι απαιτήσεις των πελάτων, οι οποίοι είναι διασκορπισμένοι στο χώρο. Το βασικό κριτήριο για την επιλογή τοποθεσίας αποτελεί η δυνατότητα κάλυψης της ζήτησης με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Πολλές φορές, δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στην ελαχιστοποίηση του χρόνου ταξιδιού. Αυτό εξαρτάται από τις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν τα συγκεκριμένα κτήρια. Οι αποφάσεις που υποστηρίζονται από την πρακτική εφαρμογή αυτού του προβλήματος είναι η ένταξη νέων εγκαταστάσεων σε ένα δίκτυο, η αναδιάταξη του ή ο σχεδιασμός ενός νέου.

Στην πράξη, η χωροθέτηση αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία καθώς ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης τίθενται διαφορετικοί περιορισμοί και απαιτήσεις. Επί παραδείγματι, η ίδρυση ενός νοσοκομείου και η μίας χωματερής διαφέρουν ριζικά ως προς τα κριτήρια εύρεσης αρμόζουσας τοποθεσίας.

Στην πιο απλή περίπτωση, τα προβλήματα χωροθέτησης μπορούν να περιγράφουν από ένα δίκτυο στο οποίο ένα εργοστάσιο διανέμει έτοιμα προϊόντα σε μία ή περισσότερες αποθήκες και κάθε αποθήκη καλείται να εξυπηρετήσει τους πελάτες.

Οι αποφάσεις που σχετίζονται με την χωροθέτηση των αποθηκών αφορούν :

- Το αριθμό των αποθηκών που πρέπει να δημιουργηθούν.

- Την τοποθεσία τους.
- Την χωρητικότητα.
- Την ανάθεση πελατών σε κάθε αποθήκη.

Όπως προαναφέρθηκε, απώτερος σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Ωστόσο, το κόστος αυτό μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους κατηγορίες. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τα σταθερά κόστη που είναι ανεξάρτητα της ποσότητας προϊόντων που βρίσκονται στην αποθήκη και συνήθως είναι έξοδα ενοικίασης ή κατασκευής. Επίσης, υπάρχουν τα μεταβλητά κόστη που είναι συνάρτηση των προϊόντων που υπάρχουν στην αποθήκη και τέλος, τα κόστη μεταφοράς που σχετίζονται με την απόσταση μεταξύ του σημείου διανομής και παραλαβής.

2.5 Το 2-βαθμίδων πρόβλημα ταυτόχρονης δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων (Two echelon location routing problem).

Οι μεταφορές προϊόντων από μεγάλα οχήματα, κυρίως στα αστικά κέντρα, συναντούν πολλές δυσκολίες. Για τον λόγο αυτό, πολλές εταιρίες αποφασίζουν να φτιάξουν ενδιάμεσες εγκαταστάσεις όπου τα ογκώδη οχήματα θα μεταφέρουν τα προϊόντα από τη κεντρική μονάδα παραγωγής εκεί και έπειτα μικρότερα οχήματα θα τα παραλαμβάνουν για να τα διανέμουν στους πελάτες.

Το 2-βαθμίδων πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων αφορά τον σχεδιασμό δικτύων διανομής σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο πρέπει να δημιουργηθούν δρομολόγια που να συνδέουν την κεντρική αποθήκη με ένα σύνολο από ενδιάμεσες αποθήκες. Οι ενδιάμεσες αποθήκες που θα χρησιμοποιηθούν δεν έχουν προκαθοριστεί αλλά αποτελούν κομμάτι

της επίλυσης. Επιπλέον, στο δεύτερο επίπεδο, πρέπει να δημιουργηθούν συνδέσεις μεταξύ των ενδιάμεσων αποθηκών και των πελατών.

Μια εφικτή λύση περιλαμβάνει έναν αριθμό που ανοιχτές ενδιάμεσες αποθήκες, ένα σύνολο διαδρομών για το πρώτο επίπεδο και ένα σύνολο διαδρομών για το δεύτερο επίπεδο. Επιπρόσθετα, πρέπει να ισχύουν μία σειρά περιορισμών όπως :

1. Οι πελάτες πρέπει να εξυπηρετηθούν μόνο από ένα όχημα δευτέρου επιπέδου.
2. Κάθε ανοιχτή ενδιάμεση εγκατάσταση μπορεί να εφοδιαστεί μόνο από ένα όχημα πρώτου επιπέδου.
3. Η συνολική ζήτηση που θα εξυπηρετήσει ένα όχημα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την χωρητικότητά του.
4. Τα δρομολόγια του δευτέρου επιπέδου πρέπει να ξεκινούν και να τερματίζουν στην ίδιο ανοιχτή ενδιάμεση εγκατάσταση.
5. Η συνολική ποσότητα προϊόντων που μεταφέρεται στις ενδιάμεσες εγκαταστάσεις πρέπει να διανεμηθεί στους πελάτες.

2.6 Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος.

2.6.1 Ορισμός μεταβλητών των μεταβλητών.

$S = \{ 1,2,\dots,m\}$	Το σύνολο από πιθανές ενδιάμεσες αποθήκες.
$T = \{ m+1, m+2,\dots,m+n\}$	Το σύνολο από n πελάτες.
c_{ij}	Το κόστος του τόξου (i,j) .

$s \in S$	Η ενδιάμεση εγκατάσταση.
W_s	Η χωρητικότητα της ενδιάμεσης εγκατάστασης s .
O_s	Το κόστος ανοίγματος της ενδιάμεσης εγκατάστασης s .
$t \in T$	Ο πελάτης.
d_t	Η ζήτηση του πελάτη t .
K	Ο στόλος οχημάτων πρώτου επιπέδου. Το όχημα πρώτου επιπέδου συμβολίζεται με k .
Q	Η χωρητικότητα των οχημάτων του πρώτου επιπέδου.
F	Το κόστος του οχήματος του πρώτου επιπέδου.
L	Ο στόλος οχημάτων του δεύτερου επιπέδου. Το όχημα δεύτερου επιπέδου συμβολίζεται με l .
R	Η χωρητικότητα των οχημάτων του δεύτερου επιπέδου.
G	Το κόστος του οχήματος του δεύτερου επιπέδου.
A_1	Το σύνολο τόξων που ανήκουν σε διαδρομές πρώτου επιπέδου.
A_2	Το σύνολο τόξων που ανήκουν σε διαδρομές δεύτερου επιπέδου.
$x_{ij}^k = 1$	Το όχημα του πρώτου επιπέδου k έχει περάσει από το τόξο (i,j) .
$y_{ij}^k = 1$	Το όχημα του πρώτου επιπέδου k έχει περάσει από το τόξο (i,j) .
$z_s = 1$	Η ενδιάμεση αποθήκη s είναι ανοιχτή.
$u_{st} = 1$	Η ενδιάμεση αποθήκη s εξυπηρετεί τον πελάτη t .
$b_s^k = 1$	Η ποσότητα προϊόντων που θα διανεμηθεί στην ενδιάμεση αποθήκη s από το όχημα k .

Πίνακας 2.6.1 : Ορισμός των μεταβλητών του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.

2.6.2 Διατύπωση των περιορισμών.

$\sum_{i \in S \cup A_1} \sum_{l \in L} y_{ij}^l = 1, \forall t \in T$	Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι όλοι οι πελάτες θα εξυπηρετηθούν από ένα όχημα.
$\sum_{j \in S \cup T} y_{ji}^l = \sum_{j \in S \cup T} y_{ij}^l, \forall i \in S \cup T, l \in L$	Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι κάθε όχημα του δεύτερου θα ξεκινήσει από μία ενδιάμεση αποθήκη και θα καταλήξει σε αυτήν.
$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} y_{st}^l \leq 1, \forall l \in L$	Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι κάθε όχημα δεύτερου επιπέδου έχει ανατεθεί σε μία μόνο αποθήκη.
$\sum_{t \in T} \sum_{j \in S \cup T} d_t y_{tj}^l \leq R, \forall l \in L$	Είναι περιορισμός χωρητικότητας για τα οχήματα του δεύτερου επιπέδου.
$\sum_{i \in T'} \sum_{j \in T'} y_{ij}^l \leq T' - 1, \forall l \in L, T' \subseteq T, T' \geq 2$	Ο περιορισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την εξάλειψη υπόκυκλων στο δεύτερο επίπεδο.
$\sum_{i \in T} y_{si}^l + \sum_{i \in S \cup T} y_{it}^l \leq 1 + u_{st}, \forall s \in S, t \in T, l \in L$	Με αυτόν τον περιορισμό εξασφαλίζεται ότι η ενδιάμεση αποθήκη s εξυπηρετεί τους πελάτες t ($u_{st} = 1$) αν υπάρχει όχημα l που φεύγει από την αποθήκη s και περνάει από τον πελάτη t .
$\sum_{s \in S} u_{st} = 1, \forall t \in T$	Ο περιορισμός αυτός χρησιμοποιείται για να αντιστοιχίσει κάθε πελάτη σε μία ενδιάμεση αποθήκη.
$\sum_{t \in T} d_t u_{st} \leq W_s z_s, \forall s \in S$	Αν η αποθήκη s είναι κλειστή τότε κανείς πελάτης δεν θα ανατεθεί σε αυτήν, αν είναι όμως ανοιχτή τότε η συνολική ζήτηση των πελατών που εξυπηρετεί δεν μπορεί να ξεπεράσει την χωρητικότητα της.

$\sum_{i \in S \cup \{0\}} \sum_{k \in K} x_{si}^k = z_s, \forall s \in S$	Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι κάθε ανοιχτή αποθήκη μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα μόνο όχημα του πρώτου επιπέδου.
$\sum_{j \in S \cup \{0\}} x_{ji}^k = \sum_{j \in S \cup \{0\}} x_{ij}^k, \forall k \in K, i \in S \cup \{0\}$	Ο περιορισμός αυτός δεν επιτρέπει την δημιουργία υποδιαδρομών στο πρώτο επίπεδο.
$\sum_{i \in S'} \sum_{j \in S'} x_{ij}^k \leq S' - 1, \forall k \in K, S' \subseteq S, S' \geq 2$	Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι η συνολική ποσότητα των προϊόντων που θα μεταφερθούν στις αποθήκες ισούται με την συνολική ζήτηση των πελατών που τους έχουν ανατεθεί.
$\sum_{k \in K} b_s^k = \sum_{t \in T} d_t u_{st}, \forall s \in S$	Περιορισμός χωρητικότητας των οχημάτων του πρώτου επιπέδου.
$\sum_{k \in K} b_s^k \leq Q, \forall k \in K$	Ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι ένα το όχημα k δεν εξυπηρετεί την αποθήκη s, τότε η ποσότητα μεταφέρει το όχημα k στην αποθήκη s ισούται με το μηδέν.
$b_s^k \leq Q x \sum_{i \in S \cup \{0\}} x_{si}^k \forall s \in S, k \in K$	Καθορισμός πεδίου τιμών της μεταβλητής.
$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A_1, k \in K$	Ακέραια μεταβλητή.
$y_{ij}^l \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A_2, l \in L$	Ακέραια μεταβλητή.
$z_s \in \{0,1\}, \forall s \in S$	Ακέραια μεταβλητή.
$u_{st} \in \{0,1\}, \forall s \in S, t \in T$	Ακέραια μεταβλητή.
$b_s^k \geq 0, \forall s \in S, k \in K$	Περιορισμός θετικότητας.

Πίνακας 2.6.2 : Διατύπωση των περιορισμών του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.

2.7 Μοντελοποίηση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.

Αντικειμενική συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση :

$$\min \sum_{s \in S} O_s z_s + \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} F x_{0s}^k + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} G y_{st}^l + \sum_{(i,j) \in A_1} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A_2} \sum_{l \in L} c_{ij} y_{ij}^l \quad (2.5.1)$$

Υπό :

$$\sum_{i \in S \cup A_1} \sum_{l \in L} y_{ij}^l = 1, \forall t \in T \quad (2.5.2)$$

$$\sum_{i \in S \cup A_1} \sum_{l \in L} y_{ij}^l = 1, \forall t \in T \quad (2.5.3)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} y_{st}^l \leq 1, \forall l \in L \quad (2.5.4)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in S \cup T} d_t y_{tj}^l \leq R, \forall l \in L \quad (2.5.5)$$

$$\sum_{i \in T'} \sum_{j \in T'} y_{ij}^l \leq |T'| - 1, \forall l \in L, T' \subseteq T, |T'| \geq 2 \quad (2.5.6)$$

$$\sum_{i \in T} y_{si}^l + \sum_{i \in S \cup T} y_{it}^l \leq 1 + u_{st}, \forall s \in S, t \in T, l \in L \quad (2.5.7)$$

$$\sum_{s \in S} u_{st} = 1, \forall t \in T \quad (2.5.8)$$

$$\sum_{t \in T} d_t u_{st} \leq W_s z_s, \forall s \in S \quad (2.5.9)$$

$$\sum_{i \in S \cup \{0\}} \sum_{k \in K} x_{si}^k = z_s, \forall s \in S \quad (2.5.10)$$

$$\sum_{j \in S \cup \{0\}} x_{ji}^k = \sum_{j \in S \cup \{0\}} x_{ij}^k, \forall k \in K, i \in S \cup \{0\} \quad (2.5.11)$$

$$\sum_{i \in S'} \sum_{j \in S'} x_{ij}^k \leq |S'| - 1, \forall k \in K, S' \subseteq S, |S'| \geq 2 \quad (2.5.12)$$

$$\sum_{k \in K} b_s^k = \sum_{t \in T} d_t u_{st}, \forall s \in S \quad (2.5.13)$$

$$\sum_{k \in K} b_s^k \leq Q, \forall s \in S \quad (2.5.14)$$

$$b_s^k \leq Q \times \sum_{i \in S \cup \{0\}} x_{si}^k, \forall s \in S, k \in K \quad (2.5.15)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A_1, k \in K \quad (2.5.16)$$

$$y_{ij}^l \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A_2, l \in L \quad (2.5.17)$$

$$z_s \in \{0,1\}, \forall s \in S \quad (2.5.18)$$

$$u_{st} \in \{0,1\}, \forall s \in S, t \in T \quad (2.5.19)$$

$$b_s^k \geq 0, \forall s \in S, k \in K \quad (2.5.10)$$

Κεφάλαιο 3 Εισαγωγή στους αλγορίθμους επίλυσης.

3.1 Εισαγωγή.

Στον κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι κατηγορίες αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση και την βελτίωση λύσεων για τα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων. Επιπρόσθετα, αναλύονται συγκεκριμένα οι αλγόριθμοι που εφαρμόστηκαν για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.

3.2 Ευρετικοί αλγόριθμοι.

Η αναζήτηση βέλτιστων λύσεων αποτελεί μία δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία. Στην πράξη, η εύρεση του ολικού ελαχίστου μπορεί να είναι απαγορευτική ή και αδύνατη. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του προβλήματος προς επίλυση. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των ευρετικών αλγορίθμων οι οποίοι παράγουν καλές λύσεις σε σύντομο υπολογιστικό χρόνο. Εφαρμόζονται σε NP-hard προβλήματα και γενικά αποτελούν μία μέθοδο κατασκευής αρχικής λύσης. Μία λύση ενός ευρετικού αλγορίθμου γίνεται αποδεκτή όταν η απόκλιση από την βέλτιστη λύση είναι μικρή. Οι Ευρετικοί αλγόριθμοι χωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την λογική στην οποία στηρίζονται, τους αλγόριθμους απληστίας (greedy algorithms), τους προσεγγιστικούς αλγόριθμους (approximation algorithms) και στους αλγορίθμους τοπικής αναζήτησης (local search algorithms).

3.2.1 Οι αλγόριθμοι απληστίας.

Οι αλγόριθμοι αυτοί προσπαθούν να φτάσουν σε μία εφικτή λύση, ξεκινώντας από ένα σημείο του χώρου των λύσεων και σε κάθε βήμα καθορίζουν μία παράμετρο, τηρώντας παράλληλα τους περιορισμούς. Το βασικό πλεονέκτημα τους είναι ότι σε πολυωνυμικό χρόνο παράγουν αποτελέσματα. Απεναντίας, ανήκουν στην κατηγορία των *μυωπικών αλγορίθμων*, δηλαδή επιλέγουν την καλύτερη εναλλακτική από τις διαθέσιμες επιλογές σε κάθε βήμα. Το μειονέκτημα αυτής της λογικής είναι η αδυναμία εύρεσης του ολικού ελαχίστου.

Οι αλγόριθμοι απληστίας στηρίζονται σε διάφορες στρατηγικές για την επίλυση προβλημάτων. Οι στρατηγικές αυτές μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω ομάδες.

1. Ομαδοποίηση πρώτα – δρομολόγηση έπειτα.

Η στρατηγική αυτή στηρίζεται στην ομαδοποίηση των κόμβων βάσει των αποστάσεων και στην συνέχεια σχεδιάζονται δρομολόγια με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

2. Δρομολόγηση πρώτα – ομαδοποίηση έπειτα.

Η λογική αυτή προϋποθέτει την κατασκευή ενός κύκλου που να περιλαμβάνει όλους τους κόμβους τους προβλήματος. Σε επόμενο βήμα, η διαδρομή αυτή διαμελίζεται σε επιμέρους διαδρομές καταλήγοντας σε ένα σύνολο εφικτών κύκλων με όσο το δυνατόν λιγότερο κόστος.

3. Εξοικονομήσεις / καταχώρηση.

Σε αυτήν την κατηγορία αλγορίθμων σε κάθε βήμα, μία κίνηση που μπορεί να μην είναι εφικτή συγκρίνεται με μία εναλλακτική που μπορεί επίσης να μην είναι εφικτή. Στην συνέχεια, καταχωρείται η κίνηση που προσδίδει την μεγαλύτερη εξοικονόμηση σε κάποιο

κριτήριο προς βελτιστοποίηση , όπως το ολικό κόστος. Ο αλγόριθμος τερματίζει επιστρέφοντας μία εφικτή λύση.

4. Βελτίωση η ανταλλαγή.

Σε αυτούς τους αλγορίθμους, πραγματοποιούνται σε κάθε βήμα αλλαγές, όπως η ανταλλαγή ακμών, με σκοπό την παραγωγή μιας εφικτής λύσης με ελάχιστο κόστος.

5. Προσέγγιση μαθηματικού προγραμματισμού.

Η προσέγγιση μαθηματικού προγραμματισμού αφορά την επίλυση των προβλημάτων VRP μέσω αλγορίθμων που βασίζονται στην λογική αυτή.

6. Αλληλοεπιδρών βελτιστοποίηση.

Μέσω αυτής της διαδικασίας ο αποφασίζον μπορεί να συμμετέχει ενεργά στην κατασκευή της λύσης, καθορίζοντας ο ίδιος κάποιες παραμέτρους, βασιζόμενος στις γνώσεις και στην εμπειρία τους.

7. Ακριβής διαδικασία.

Η ακριβής διαδικασία αφορά την επίλυση προβλημάτων μέσω της αναζήτησης σε ολόκληρο το χώρο λύσεων. Οι αλγόριθμοι που πραγματοποιούν αυτήν την μέθοδο είναι οι branch and bound και cutting planes.

Οι σημαντικότεροι αλγόριθμοι απληστίας είναι :

- Αλγόριθμοι Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest Neighborhood Algorithm).
- Αλγόριθμος της διαδικασίας εισαγωγής κόμβων (Nearest Insertion Algorithm).
- Αλγόριθμος του Christofides για το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή.
- Ο αλγόριθμος εξοικονομήσεων των Clarke and Write.
- Ο αλγόριθμος σαρώματος των Gillet & Miller

- Ο αλγόριθμος των δύο φάσεων των Fisher & Jaikumar.

3.2.2 Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι.

Οι ευρετικές τεχνικές στην πράξη είναι πολύ εύχρηστες όμως δεν παρέχουν κανένα μέτρο για την εξακρίβωση της ποιότητας της λύσης. Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι από την άλλη παρέχουν τέτοιες εγγυήσεις αν και μπορεί να μην είναι πάντα εξίσου αποδοτικοί. Με τους προσεγγιστικούς αλγορίθμους εισάγεται παράλληλα και η έννοια του λόγου προσέγγισης. Ο λόγος αυτός ορίζεται ως το κόστος της λύσης που παράχθηκε μέσω του συγκεκριμένου αλγόριθμου προς το κόστος της βέλτιστης λύσης.

3.2.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης.

Η τοπική αναζήτηση αποτελεί μία εξαιρετικά απλή μέθοδο και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της είναι πολύ ικανοποιητικά. Η λογική πίσω από αυτούς τους αλγορίθμους είναι η εξής: Αρχικά επιλέγεται μία γειτονία λύσεων από ένα ευρύτερο σύνολο και εφαρμόζεται μία μέθοδος αναζήτησης. Επειτα, εφόσον το κόστος κάποιας καινούριας, εφικτής λύσης είναι μικρότερο της αρχικής, γίνεται αντικατάσταση της. Η διαδικασία σταματάει με ένα κριτήριο τερματισμού. Ένα τέτοιο κριτήριο θα μπορούσε να είναι η συνέχιση της επαναληπτικής διαδικασίας έως ότου η λύση να μην βελτιώνεται άλλο. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ο γενικός αλγόριθμος της τοπικής αναζήτησης.

Local search

```
begin  
t έστω μία αρχική λύση  
do while βελτιώνεται η λύση,  
improved(t)  
t = improved(t)  
return t  
end
```

Η αποτελεσματικότητα της τοπικής αναζήτησης βασίζεται στους εξής παράγοντες: στην επιλογή των αρχικών σημείων για την εφαρμογή της καθώς και την γειτονία της αναζήτησης και τέλος στην επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί. Οι πιο γνωστοί αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης είναι:

- 2 - Opt
- 3 - Opt
- Swap
- 1-0 Relocate

3.3 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι.

Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των ευρετικών αλγορίθμων είναι ευαισθησία τους στις αρχικές συνθήκες. Με άλλα λόγια, “παγιδεύονται” σε τοπικά ελάχιστα με αποτέλεσμα η λύση να μην μπορεί να βελτιωθεί άλλο. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι οι οποίοι συνδυάζουν πληθώρα στρατηγικών για την αποφυγή τοπικών ελαχίστων. Κάποιοι μεθευρετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν μία αρχική λύση ενώ άλλοι έναν πληθυσμό λύσεων. Και στις δύο περιπτώσεις πραγματοποιείται αναζήτηση προς εύρεση καλύτερων αποτελεσμάτων σε ολόκληρο το χώρο λύσεων. Οι αλγόριθμοι που πραγματοποιούν αναζήτηση στην γειτονία μίας

μόνο λύσης μπορούν να εκμεταλλεύονται καλύτερα την περιοχή και να εντατικοποιήσουν την προσπάθεια αναζήτησης. Από την άλλη, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν πληθυσμό λύσεων επιτυγχάνουν μεγαλύτερη διάχυση κι παράλληλα έχουν το πλεονέκτημα της εξερεύνησης. Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι λειτουργούν ως εξής: πρώτα κατασκευάζεται μία αρχική λύσης (ή ένας αρχικός πληθυσμός) και στη συνέχεια, μέσω τοπικής αναζήτησης, γίνεται προσπάθεια βελτίωσης αυτής της λύσης. Η τυχαιότητα που επικρατεί σε αυτές τις διαδικασίες είναι η αιτία της αποτελεσματικότητας τους.

Μερικοί από τους κυριότερους μεθευρετικούς αλγορίθμους είναι :

- Η περιορισμένη αναζήτηση (Tabu search).
- Ο αλγόριθμος της διασκορπισμένης αναζήτησης (Scatter search) .
- Η προσομοιωμένη ανόπτηση (Simulated annealing).
- Η διαδικασία άπληστης τυχαιοποιημένης προσαρμοστικής αναζήτησης (Greedy randomized adaptive search procedure).
- Τα νευρωνικά δίκτυα (Neural nets).
- Η μεταβλητή αναζήτηση γειτονιάς (Variable neighborhood search).
-

3.4 Εξελικτικοί και εμπνευσμένοι από την φύση αλγόριθμοι.

3.4.1 Εξελικτικοί αλγόριθμοι.

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι βασίζουν τα υπολογιστικά τους μοντέλα σε φυσικές εξελικτικές διαδικασίες με σκοπό την επίλυση προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιούν την έννοια της φυσικής επιλογής και της φυσικής γενετικής. Έτσι, η επιβίωση του ικανότερου (δηλαδή της

καλύτερης λύσης μέσα σε ένα πληθυσμό) συνδυάζεται με την οργανωμένη ανταλλαγή πληροφοριών (γονιδίων ή μετάλλαξη) με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι με άλλα λόγια, μιμούνται τις διαδικασίες βιολογικής εξέλιξης παρέχοντας αποτελεσματικές λύσεις σε προβλήματα αναζήτησης και βελτιστοποίησης.

Οι κυριότεροι αλγόριθμοι που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία είναι :

- Οι γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms).
- Γενετικοί αλγόριθμοι πολλαπλών πληθυσμών – νησιών (Island genetic algorithms).
- Υβριδικοί γενετικοί αλγόριθμοι ή μιμητικοί. (Hybrid genetic algorithms or memetic algorithms).
- Η διαφορική εξέλιξη (Differential evolution).

3.4.2 Αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από την φύση.

Οι εμπνευσμένοι από την φύση αλγόριθμοι αποτελούν μία ευρύ κατηγορία μεθευρετικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Προέκυψαν ύστερα από μοντελοποίηση της συμπεριφοράς ορισμένων ζωντανών οργανισμών και κάποιων φυσικών φαινομένων. Οι αλγόριθμοι αυτού του είδους παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία. Ορισμένοι μπορεί να αποτελούν ιδανική επιλογή για κάποιες εφαρμογές.

Σύμφωνα με τον Fister Jr. et al. (Fister 2013) οι εμπνευσμένοι από την φύση αλγόριθμοι χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι:

- Βιο-εμπνευσμένοι αλγόριθμοι (bio-inspired algorithms): Αλγόριθμοι βασισμένοι σε βιολογικές διαδικασίες.

- Φυσικο-χημικοί αλγόριθμοι (Physical Phenomena and laws of science: Αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από νόμους φυσικής και χημείας.
- Αλγόριθμοι σμήνους (Swarm intelligence): Αλγόριθμοι που προσομοιώνουν την νοημοσύνη σμήνους
- Άλλοι (Others): Αλγόριθμοι που δεν υπάγονται σε καμία από της προηγούμενες κατηγορίες.

Οι πιο αντιπροσωπευτικοί αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από τη φύση είναι :

- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (Ant colony optimization).
- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Particle swarm optimization).
- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών (Honey bees mating optimization).
- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μπάμπουρων (Bumble bees mating optimization).
- Ο αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών (Artificial bee colony optimization algorithm).
- Ο αλγόριθμος της πυγολαμπίδας (Fire-fly algorithm).
- Ο αλγόριθμος της νυχτερίδας (Bat algorithm).
- Αλγόριθμος αναζήτησης κούκων (Cuckoo search algorithm).

3.5 Περιγραφή των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των 2-επιπέδων πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων.

Για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων, εφαρμόστηκαν ο ευρετικός αλγόριθμος της πλησιέστερης εισαγωγής κόμβων (Nearest

insertion), οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης, 1-0 επανατοποθέτηση (1-0 relocate), 1-1 ανταλλαγή (swap ή 1-1 exchange) και ο 2-opt, καθώς και ο μεθυρετικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization Algorithm). Ο αλγόριθμος της πλησιέστερης εισαγωγής κόμβων χρησιμοποιείται αφενός σε συνδυασμό με τον αλγόριθμό βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών και αφετέρου για την κατασκευή της αρχικής λύσης του δεύτερου επιπέδου αλλά και για την εύρεση των διαδρομών στο πρώτο επίπεδο. Ο αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης 1-0 relocate χρησιμοποιήθηκε για την βελτίωση της αρχικής λύσης αλλά και σαν μέρος του αλγορίθμου ACO. Τέλος, οι αλγόριθμοι swap και 2-opt εφαρμόστηκαν στην λύση που προέκυψε μέσω του ACO για την περαιτέρω βελτίωση της. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας των παραπάνω αλγορίθμων.

3.5.1 Ο αλγόριθμος της πλησιέστερης εισαγωγής κόμβων.

Είναι μία σχετικά απλή διαδικασία κατά την οποία γίνεται προσπάθεια εύρεσης και εισαγωγής ενός νέου κόμβου σε έναν κύκλο. Επιλέγονται υποψήφιοι κόμβοι τέτοιοι ώστε η εισαγωγή τους σε έναν κύκλο να μην παραβιάζει τους περιορισμούς. Ο κόμβος που θα επιλεγεί θα είναι εκείνος που αυξάνει το κόστος της διαδρομής στο ελάχιστο. Το κόστος εισαγωγής συγκρίνεται με το κόστος δημιουργίας ενός νέου κύκλου. Η οικονομικότερη κίνηση είναι αυτή που θα διατηρηθεί. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου όλοι οι κόμβοι να έχουν ενταχθεί σε μία διαδρομή. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα βήματα για την εκτέλεση του αλγορίθμου.

Βήμα 1 : Αρχικά, κατασκευάζεται ο αρχικός κύκλος που θα περιλαμβάνει την αποθήκη s.

Βήμα 2 : Σε αυτό το βήμα, βρίσκεται ένας κόμβος i που έχει το ελάχιστο κόστος σύνδεσης c_{is} .

Έτσι δημιουργείται ο κύκλος s-i-s.

Βήμα 3 : Βρίσκεται ένας κόμβος k που δεν παραβιάζει κανέναν περιορισμό εάν εισαχθεί στον κύκλο και έχει το ελάχιστο κόστος σύνδεσης με έναν οποιοδήποτε κόμβο μίας υπάρχουσας διαδρομής.

Βήμα 4 : Βρίσκεται ένα τόξο (i, j) στη διαδρομή που να ελαχιστοποιεί το κόστος $c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$. Ο κόμβος k εισάγεται ανάμεσα στα i και j .

3.5.2 Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (ACO).

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών παρουσιάστηκε από τον Marco Dorigo το 1992, στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής. Ο ACO μιμείται την συμπεριφορά των μυρμηγκιών κατά την αναζήτηση της τροφής τους. Τα μυρμήγκια έχουν αναπτύξει μία τεχνική προκειμένου να βρίσκουν την βέλτιστη διαδρομή από την αποικία του προς την πηγή της τροφής τους. Αρχικά, τα μυρμήγκια αναζητούν την πηγή της τροφής με τυχαίο τρόπο, αφήνοντας πίσω τους μία ορμόνη που ονομάζεται φερομόνη. Με αυτόν το τρόπο σημαδεύουν τα μονοπάτια που έχουν επισκεφτεί. Η ποσότητα φερομόνης σε μία διαδρομή αυξάνεται αναλογικά με τον αριθμό μυρμηγκιών που έχουν διέλθει από αυτή. Γενικότερα, η φερομόνη αποτελεί έναν τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των μυρμηγκιών για την ανταλλαγή χρήσιμων πληροφοριών. Όση περισσότερη φερομόνη υπάρχει σε ένα μονοπάτι τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες το επόμενο μυρμήγκι που θα βγει για αναζήτηση τροφής, να το επιλέξει. Καθώς ο χρόνος περνάει, η φερομόνη εξατμίζεται με αποτέλεσμα στα μονοπάτια με μικρή επισκεψιμότητα η φερομόνη να εξαντλείται. Τελικά, τα συντομότερα μονοπάτια για την πηγή τροφής θα είναι τα μόνα με ποσότητα φερομόνης και επομένως όλα τα μυρμήγκια θα ακολουθούν αυτά. Με άλλα λόγια ο

αλγόριθμος θα έχει συγκλίνει στην βέλτιστη ή σχεδόν βέλτιστη λύση. Στην συνέχεια, ακολουθεί η μαθηματική διατύπωση του αλγορίθμου.

Αρχικά, η φερομόνη ορίζεται σαν μία μεταβλητή t_{ij} για κάθε τόξο (i, j) . Ουσιαστικά, τιμή της μεταβλητής αυτής καθορίζει την επιθυμία του οχήματος να επισκεφτεί τον πελάτη j αμέσως μετά τον πελάτη i .

Ορίζεται επίσης και η ευρετική συνάρτηση :

$$n_{ij} = \frac{1}{c_{ij}} \quad (3.4.1)$$

όπου c_{ij} είναι η απόσταση μεταξύ των κόμβων i και j . Με βάση την ευρετική συνάρτηση, η επιθυμία του οχήματος να επισκεφτεί τον κόμβο j μετά τον i είναι αντιστρόφως ανάλογη της μεταξύ τους απόστασης.

Η φερομόνη αρχικοποιείται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση :

$$\tau_{ij} = \frac{m}{TC} \quad (3.4.2)$$

Όπου m είναι ο αριθμός των μυρμηγκιών και TC είναι το κόστος κατασκευής κύκλου, με μία απλούστερη μέθοδο – εδώ με τον αλγόριθμο πλησιέστερης εισαγωγής κόμβων.

Σε κάθε βήμα, η επιλογή του επόμενου κόμβου στηρίζεται στην εφαρμογή ενός πιθανοτικού κανόνα. Η πιθανότητα επιλογής κάθε κόμβου δίνεται από την σχέση :

$$p_{ij} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [n_{ij}]^\beta}{\sum_{l=1}^M [\tau_{il}]^\alpha [n_{il}]^\beta} \quad (3.4.3)$$

Όπου το M είναι ο συνολικός αριθμός των πελατών και τα α, β είναι παράμετροι που τον μέγεθος επιρροής της φερομόνης και της ευρετικής πληροφορίας.

- Αν το α είναι μηδέν, τότε η επιλογή του επόμενου κόμβου στηρίζεται εξολοκλήρου στην απόσταση μεταξύ των κόμβων και ο κοντινότερος θα έχει πάντα περισσότερες πιθανότητες να επιλεγεί.
- Αν το β είναι μηδέν τότε τα τόξα με την περισσότερη η φερομόνη είναι αυτά που θα επιλεγούν τις περισσότερες φορές. Ο αλγόριθμος με αυτό τον τρόπο μετατρέπεται σε μία εντελώς πιθανοτική διαδικασία χωρίς να λαμβάνεται καθόλου υπόψιν η ευρετική πληροφορία.

Με την ολοκλήρωση κάθε επανάληψης, και τα m - μυρμήγκια έχουν δημιουργήσει μία λύση. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται ενημέρωση της φερομόνης στα τόξα του γραφήματος. Αρχικά η φερομόνη, όπως ήδη έχει αναφερθεί εξατμίζεται. Η μείωση της φερομόνης στα τόξα πραγματοποιείται μέσω της σχέσης :

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} \quad (3.4.4)$$

Όπου ρ είναι ο ρυθμός εξάτμισης και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Με αυτήν την στρατηγική οι λιγότερο αποδοτικές λύσεις θα εκλείψουν από την μνήμη του αλγορίθμου καθώς η φερομόνη που υπάρχει σε αυτά τα τόξα θα τείνει στο μηδέν.

Το καλύτερο μυρμήγκι θεωρείται αυτό που έχει το ελάχιστο κόστος. Σύμφωνα με τη λύση του βέλτιστου μυρμηγκιού ανανεώνεται η φερομόνη των τόξων που έχει χρησιμοποιήσει με βάση τον τύπο :

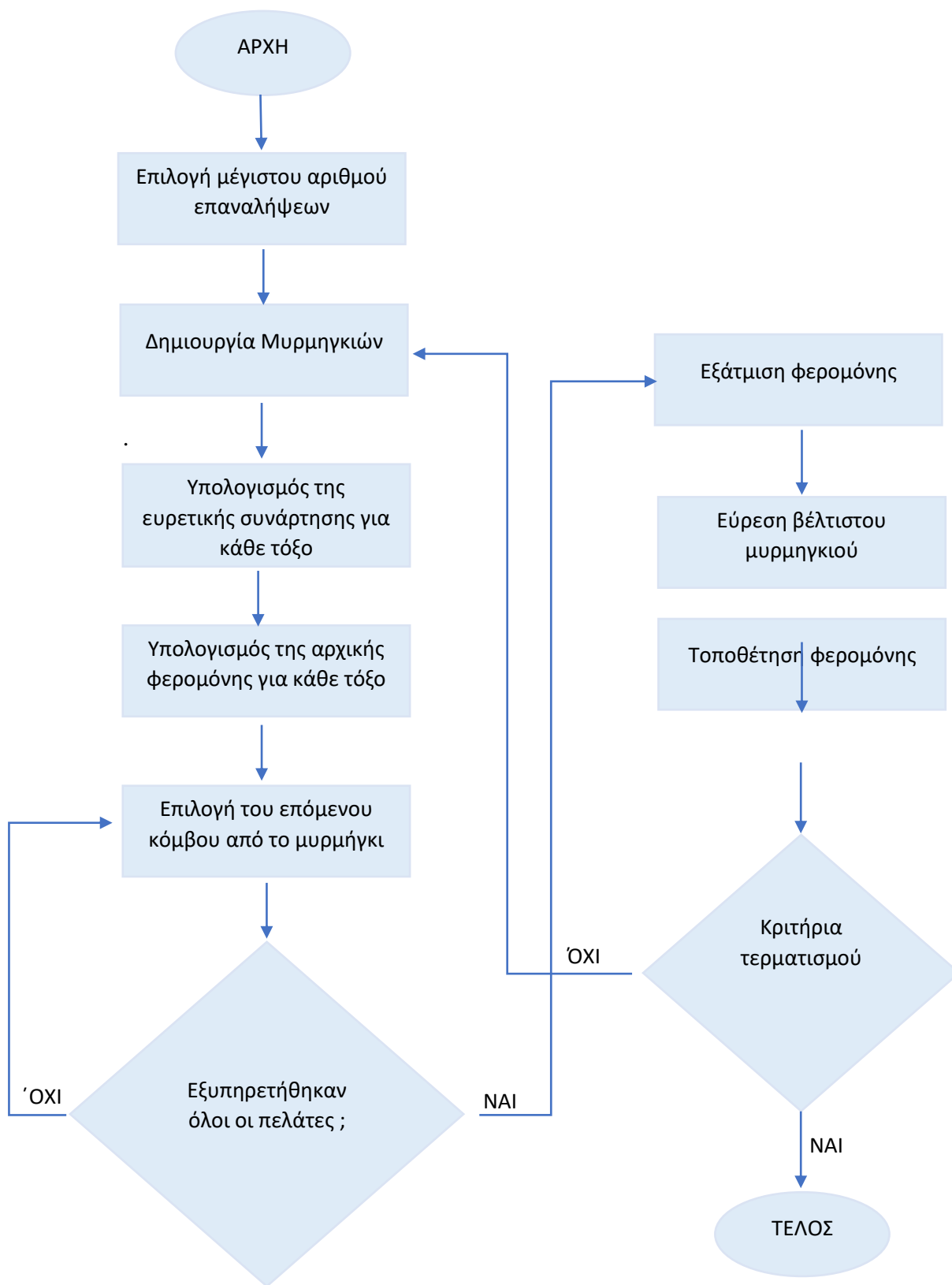
$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (3.4.5)$$

Όπου το $\Delta\tau_{ij}^k$ είναι η ποσότητα φερομόνης που αφήνει το μυρμήγκι k στα τόξα που επισκέφτηκε και ορίζεται ως :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1}{C^k}, & \text{εάν το τόξο έχει επιλεγεί από το μυρμήγκι } k \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (3.4.6)$$

Όπου C^k είναι το κόστος του κύκλου που δημιουργήθηκε από το μυρμήγκι k .

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του ACO.



Εικόνα 3.5.1 : Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών.

Με την μορφή ψευδοκώδικα :

Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών.

Αρχικοποίηση

Αρχικός υπολογισμός n_{ij} για όλους τους πελάτες i προς όλους τους πελάτες j

Αρχικός υπολογισμός t_{ij} για όλους τους πελάτες i προς όλους τους πελάτες j

Επιλογή Αριθμού επαναλήψεων

Κύρια Φάση

Do until αριθμό επαναλήψεων

Τυχαία επιλογή αποθήκης εκκίνησης του μυρμηγκιού.

For κάθε μυρμήγκι

Do while τα κριτήρια τερματισμού δεν πληρούνται.

Επιλογή επόμενου κόμβου βάσει του πιθανοτηκού κανόνας ρουλέτας.

Υπολογισμός συνάρτησης ποιότητας.

Enddo

EndFor

Ενημέρωση Φερομόνης σε όλα τα τόξα βάσει του βέλτιστου μυρμηγκιού.

Τοπική Αναζήτηση 1-0 Relocate

Enddo

Επέστρεψε το βέλτιστο μυρμήγκι.

3.5.3 Αλγόριθμοι βελτίωσης της λύσης.

3.5.3.1 Αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης 1-0 επανατοποθέτηση (1-0 relocate).

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για την βελτίωση της αρχικής λύσης και ως αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης που ενσωματώνεται στο αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών. Με τον 1-0 relocate διαγράφεται ενός κόμβος από μία διαδρομή και επανατοποθετείται σε μία άλλη όταν το συνολικό κόστος από αυτήν την αλλαγή ελαχιστοποιείται.

Η επανατοποθέτηση ενός κόμβου μπορεί να γίνεται με τυχαίο τρόπο ή είτε στοχευμένα με τον αλγόριθμο πλησιέστερης εκχώρησης, όπως συμβαίνει στην συγκεκριμένη περίπτωση.

Ο αλγόριθμος πλησιέστερης εκχώρησης περιλαμβάνει τα εξής βήματα :

Βήμα 1 : Έλεγχος των διαδρομών για τις οποίες είναι εφικτή η εισαγωγή του νέου κόμβου βάσει των περιορισμών.

Βήμα 2 : Για κάθε διαδρομή, βρίσκεται η θέση επανατοποθέτησης του νέου κόμβου με το ελάχιστο κόστος εισαγωγής.

Βήμα 3 : Από το σύνολο των διαδρομών επιλέγεται αυτή με το ελάχιστο κόστος εισαγωγής.

Βήμα 4 : Υπολογίζεται το συνολικό κόστος των δύο αλλαγμένων διαδρομών και εφόσον είναι μικρότερο από το αρχικό τους, διατηρείται η λύση.

Επιπλέον, η επιλογή του κόμβου θα μεταφερθεί μπορεί επίσης να γίνεται με τυχαίο τρόπο ή βάσει ορισμένων κριτηρίων.

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής δημιουργήθηκαν τρεις παραλλαγές του 1-0 relocate.

Πρώτη παραλλαγή : Στην περίπτωση που έχουν δημιουργηθεί μονές διαδρομές, περιλαμβάνουν δηλαδή έναν πελάτη, επιλέγονται για επανατοποθέτηση με αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού

των διαδρομών. Η διαδικασία επανατοποθέτησης πραγματοποιείται με τον αλγόριθμο πλησιέστερης εκχώρησης.

Δεύτερη παραλλαγή : Επιλέγονται οι διαδρομές με το μεγαλύτερο κόστος. Για κάθε μία από αυτές ελέγχεται η δυνατότητα διαγραφής κάποιου κόμβου και επανατοποθέτησης του σε κάποια άλλη διαδρομή. Το αποτέλεσμα αυτής της στρατηγικής είναι αφενός η μείωση του συνολικού κόστους και αφενός η εξομάλυνση του. Πάλι χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος πλησιέστερης εκχώρησης για καλύτερη απόδοση.

Τρίτη παραλλαγή : Πραγματοποιείται μια τυχαιοποιημένη διαδικασία εύρεσης μίας διαδρομής και ενός κόμβου μέσα αυτήν για την επανατοποθέτηση του σε κάποια άλλη. Ο αλγόριθμος θα πραγματοποιήσει είκοσι επαναλήψεις. Εάν γίνει κάποια επανατοποθέτηση στο μεταξύ, ο αλγόριθμος θα πραγματοποιήσει ξανά άλλες είκοσι μέχρι να μην γίνονται αλλαγές και ο αριθμός των επαναλήψεων να φτάσει το μέγιστο.

3.5.3.2 Αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης 1-1 ανταλλαγή (1-1 exchange ή swap).

Ο αλγόριθμος αυτός ανταλλάσσει ταυτόχρονα δύο πελάτες που βρίσκονται σε διαφορετικές διαδρομές. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η επιλογή των κόμβων μπορεί να γίνεται τυχαία ή βάσει κάποιων κριτηρίων. Η επιλογή των κόμβων γίνεται με βάση το κόστος του τόξου. Αρχικά, εντοπίζονται τα ακριβότερα τόξα σε κάθε διαδρομή. Έστω οι κόμβος i και j , οι οποίοι σχηματίζουν το τόξο (i,j) που είναι και το ακριβότερο για αυτήν την διαδρομή. Έστω ακόμα οι κόμβοι m και n μίας άλλης διαδρομής που δημιουργούν το (m,n) τόξο με το μεγαλύτερο κόστος.

Ο swap πραγματοποιεί τις εξής αλλαγές :

- Ταυτόχρονη αλλαγή i και m .

- Ταυτόχρονη αλλαγή i και n .
- Ταυτόχρονη αλλαγή j και m .
- Ταυτόχρονη αλλαγή j και n .

Για κάθε περίπτωση υπολογίζεται το συνολικό κόστος των νέων διαδρομών και συγκρίνεται με το προηγούμενο. Εάν το νέο κόστος είναι μικρότερο τότε οι αλλαγές διατηρούνται.

Ο αλγόριθμος *swar* αφού εκτελέσει την προηγούμενη διαδικασία για το σύνολο των διαδρομών επιλέγει για κάθε μία διαδρομή έναν κόμβο τυχαία και τον ανταλλάσσει με έναν άλλο αφού πραγματοποιήσει αναζήτηση στο σύνολο των λύσεων. Διατηρείται η αλλαγή που επιφέρει την μεγαλύτερη μείωση του συνολικού κόστους.

3.5.3.3 Αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης 2-Opt.

Αυτή η μέθοδος αποτελείται γενικά από τη διαγραφή 2 ακμών και την επανασύνδεση δύο μονοπατιών με διαφορετικό τρόπο, δημιουργώντας έτσι μία καινούρια διαδρομή. Η επανασύνδεση πραγματοποιείται μετά από αντιστροφή του μονοπατιού και σύνδεσης του στα σημεία διαγραφής. Τα τόξα που διαγράφονται είναι αυτά με το μεγαλύτερο κόστος.

Έστω η διαδρομή 2-6-8-12-4-6-7-10-13-24-9.

Τα ακριβότερα τόξα έστω ότι είναι τα 6-8 και 10-13.

Το μονοπάτι -8-12-4-6-7-10- αφαιρείται από την αρχική διαδρομή, αντιστρέφεται -10-7-6-4-12-8- και επανατοποθετείται.

Η καινούργια διαδρομή είναι η : 2-10-7-6-4-12-8-13-24-9.

Εάν με αυτό τον τρόπο μειώνεται το κόστος της διαδρομής, η αλλαγή διατηρείται.

Στην περίπτωση που η προηγούμενη εφαρμογή του 2-Opt δεν παρήγαγε καλύτερη λύση, επιλέγεται ένα από τα τόξα με το χειρότερο κόστος και για κάθε έναν κόμβο της διαδρομής

δοκιμάζεται η μέθοδος 2-Opt όπως περιεγράφηκε ήδη. Εάν το αποτέλεσμα οδηγεί σε μείωση του κόστους η λύση γίνεται αποδεκτή.

Κεφάλαιο 4

Εισαγωγή

Οι αλγόριθμοι επίλυσης προκειμένου να αξιολογηθούν ως προς την απόδοση, εφαρμόστηκαν στα σενάρια προβλημάτων του Prodhon. Για ευκολία τα σενάρια αυτά, ομαδοποιούνται βάσει τον αριθμό πελατών και το πλήθος των περιφερειακών αποθηκών. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν πέντε ομάδες όπου στις πρώτες τρεις υπάγονται τα σενάρια με 5 περιφερειακές αποθήκες και αριθμό πελατών 20, 50 και 100 αντίστοιχα. Ενώ στις τελευταίες δύο ομάδες ανήκουν τα σενάρια με 10 περιφερειακές αποθήκες και πλήθος πελατών 100 ή 200. Κάθε σενάριο αποτελεί μία μοναδική περίπτωση καθώς οι θέσεις των πελατών, των αποθηκών και η ζήτηση διαφέρουν. Καθώς ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (ACO) , παράγει λύσεις βάσει πιθανοτήτων το αποτέλεσμα διαφέρει σε κάθε εκτέλεση. Για το λόγο αυτό, ο ACO εκτελέστηκε 20 φορές για όλα τα σενάρια και η λύση με το μικρότερο κόστος θεωρήθηκε η καλύτερη. Επιπλέον, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου προκειμένου να διαπιστωθεί η ευστάθεια του αλγορίθμου. Τέλος, σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται οι πίνακες των αποτελεσμάτων καθώς και τα γραφήματα των λύσεων κάθε σεναρίου.

4.1 Ανάλυση των δεδομένων

Για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των αλγορίθμων χρησιμοποιήθηκαν τα σενάρια Euclidean CLRP (Capacitated Location Routing Problem) του Prodhon. Τα σενάρια αυτά δημιουργήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος Χωροθέτησης και Δρομολόγησης Περιορισμένης Χωρητικότητας (Capacitated Location Routing Problem) ενός επιπέδου. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίθηκε αναγκαία η τροποποίηση των δεδομένων Euclidean CLRP του Prodhon προκειμένου να εφαρμοστούν στο πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων και Χωροθέτησης Εγκαταστάσεων δύο επιπέδων.

Τα προβλήματα του Prodhon αποτελούνται από 30 σενάρια CLRP που μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες ανάλογα με το πλήθος των πελατών, των ενδιάμεσων αποθηκών, την χωρητικότητα των οχημάτων του δεύτερου επιπέδου καθώς και βάσει της κατανομής των πελατών.

- Το πλήθος των πελατών είναι n , με $n \in [20,50,100,200]$.
- Το πλήθος των ενδιάμεσων αποθηκών είναι m , με $m \in [5,10]$.
- Το πλήθος των ομάδων στις οποίες θα χωριστούν τα δεδομένα του σεναρίου είναι β , με $\beta \in [1,2,3]$.
- Η χωρητικότητα των οχημάτων είναι Q , με $Q \in [70,150]$.

Η ονομασία κάθε σεναρίου προκύπτει από συνδυασμό των παραπάνω χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα έχουν την μορφή $n - m - \beta$, με την κατάληξη “b” όταν $Q = 150$ δηλαδή $n-m-\beta b$. Η τροποποίηση των σεναρίων πραγματοποιείται εύκολα εάν οι αποθήκες μετατραπούν σε ενδιάμεσες (satellites) και τοποθετηθεί μία κεντρική αποθήκη στο σημείο με συντεταγμένες (0,0). Επιπλέον, απαιτείται και η ύπαρξη στόλου οχημάτων μεγαλύτερης χωρητικότητας για την εξυπηρέτηση των διανομών του πρώτου επιπέδου. Η χωρητικότητα των οχημάτων του πρώτου επιπέδου υπολογίζεται ως την χωρητικότητα της μεγαλύτερης αποθήκης πολλαπλασιασμένης επί 1,5.

Κάθε αρχείο περιλαμβάνει επιπλέον χαρακτηριστικά εκτός από τις συντεταγμένες των πελατών και των περιφερειακών αποθηκών και αφορούν κατά κύριο λόγο τα σταθερά κόστη.

Αναλυτικότερα :

- Για τους πελάτες : Δίδεται ένα πεπερασμένο πλήθος πελατών n , με συγκεκριμένες θέσεις και ποσότητες ζήτησης προϊόντων, ομοιόμορφα κατανεμημένης στο διάστημα $[11,20]$.
- Για τις περιφερειακές αποθήκες : Παρέχεται ένα πεπερασμένο πλήθος διαθέσιμων περιφερειακών αποθηκών m , με συγκεκριμένες θέσεις, χωρητικότητα και σταθερό κόστος λειτουργίας.
- Για τα οχήματα δεύτερου επιπέδου : Δίδεται η σταθερή χωρητικότητα $Q2$.

- Για τις διαδρομές : Κάθε διαδρομή που εκτελείται έχει σταθερό κόστος (στην ουσία πρόκειται για το σταθερό κόστος χρήσης οχήματος).

Υπολογισμός του κόστους.

Το συνολικό κόστος προκύπτει από συνδυασμό του μεταβλητού και σταθερού κόστους.

Τα μεταβλητά κόστη αφορούν τις συνδέσεις σε κάθε επίπεδο.

Το κόστος σύνδεσης c_{ij} ανάμεσα στους πελάτες και τις περιφερειακές αποθήκες, αντιστοιχεί στις ευκλείδειες αποστάσεις και πολλαπλασιάζεται επί 100.

Ο υπολογισμός του κόστους για τα δρομολόγια του πρώτου επιπέδου υπολογίζεται ως το κόστος σύνδεσης μεταξύ της κεντρικής αποθήκης και των περιφερειακών, πολλαπλασιασμένο επί 2.

Τα σταθερά κόστη, όπως προαναφέρθηκε αποτελούνται από :

- Το κόστος από την χρήση οχημάτων.
- Το κόστος λειτουργίας ενδιάμεσων αποθηκών.

4.2 Πίνακες αποτελεσμάτων.

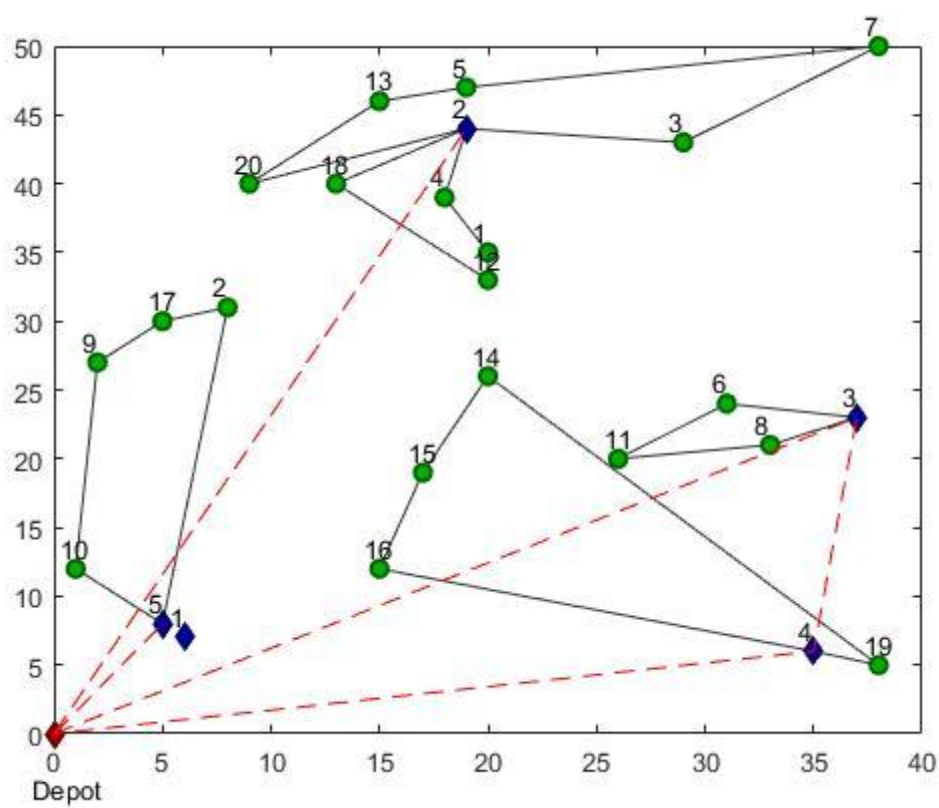
4.2.1 Ομάδα Πρώτη: 20 Πελάτες - 5 Διαθέσιμες Περιφερειακές Αποθήκες.

Η πρώτη ομάδα προβλημάτων περιέχει τέσσερα διαφορετικά σενάρια, όλα με 20 πελάτες προς εξυπηρέτηση και 5 διαθέσιμες περιφερειακές αποθήκες. Τα σενάρια όμως αυτά διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τη χωρητικότητα των οχημάτων του δεύτερου επιπέδου και το πλήθος των υποομάδων στις οποίες χωρίζονται οι πελάτες.

4.2.1.1 Σενάριο 20-5-1

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
41565	33119	234.66	234.66	8000	8	41733

Πίνακας 4.2.1: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-1.

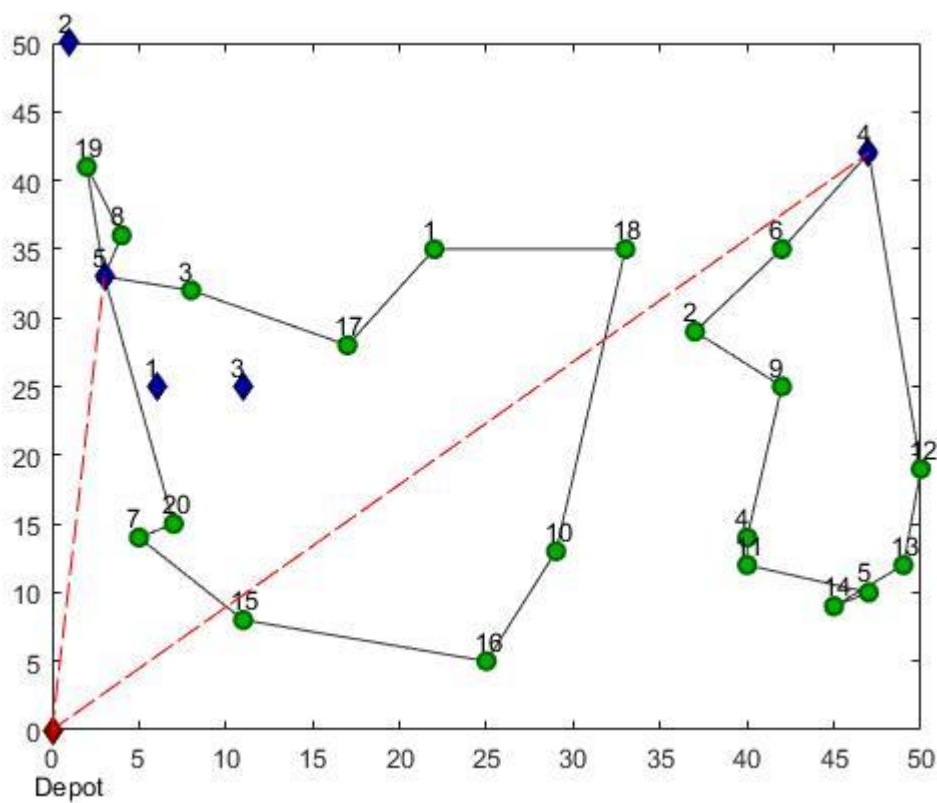


Εικόνα 4.2.1 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-1.

4.2.1.2 Σενάριο 20-5-1b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
26691	21292	206.72	192.34	5000	5	35370,6

Πίνακας 4.2.2: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-1b.

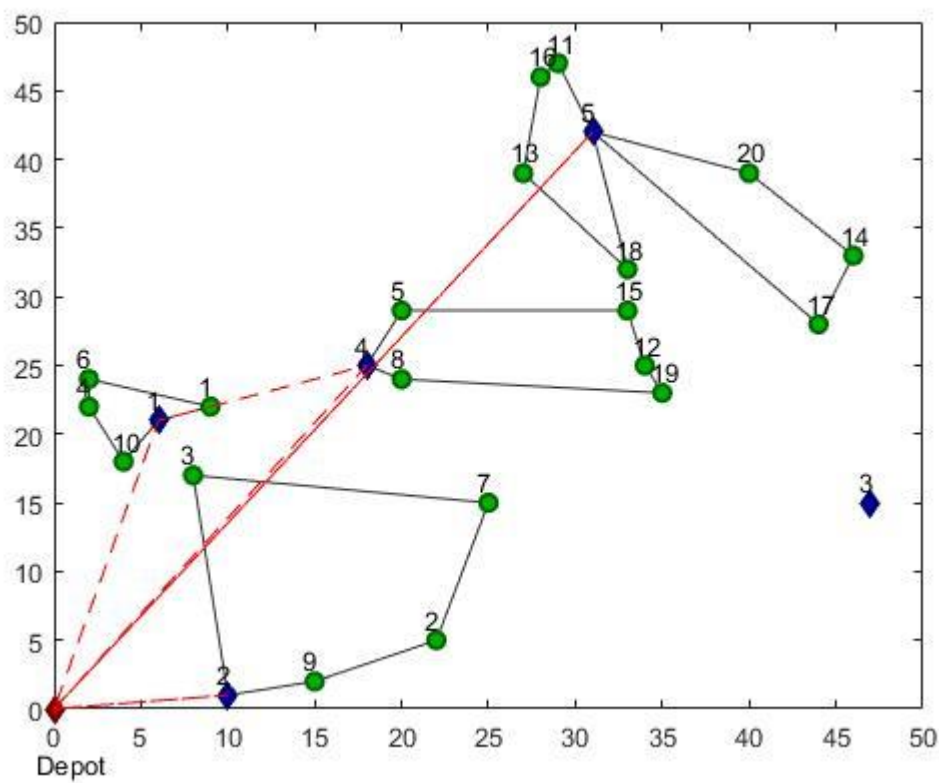


Εικόνα 4.2.2 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-1b.

4.2.1.3 Σενάριο 20-5-2

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
40729	32345	193.77	189.8	8000	8	40729

Πίνακας 4.2.3: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-2.

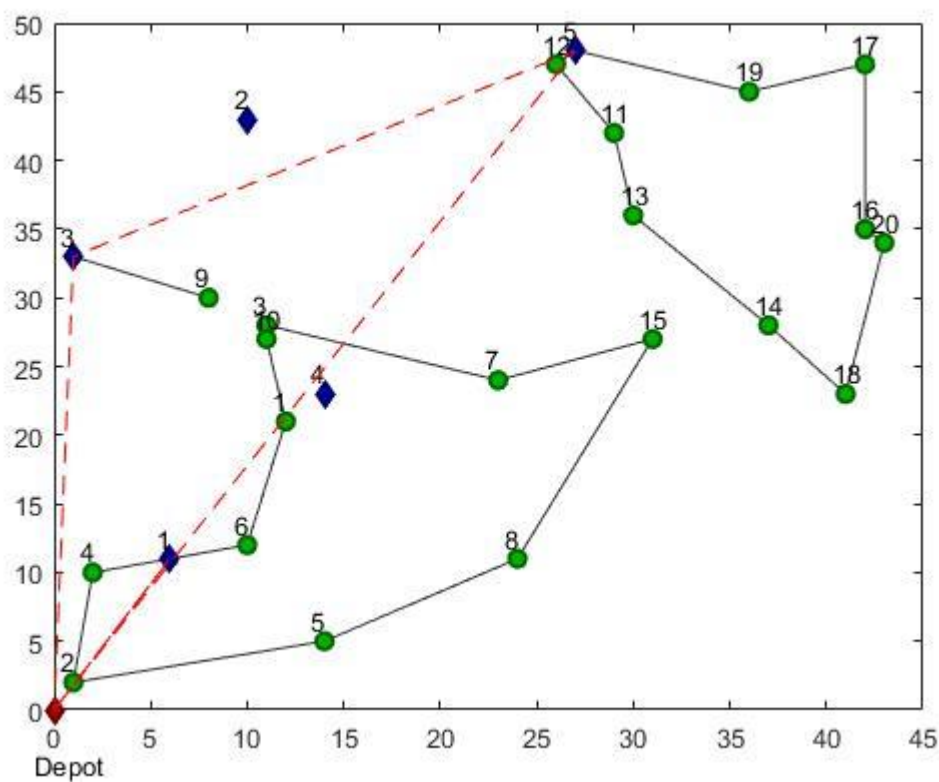


Εικόνα 4.2.3 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-2.

4.2.1.4 Σενάριο 20-5-2b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
35088	30776	193.55	118.14	4000	4	41320,7

Πίνακας 4.2.4: Αποτελέσματα για το σενάριο 20-5-2b.



Εικόνα 4.2.4 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 20-5-2b.

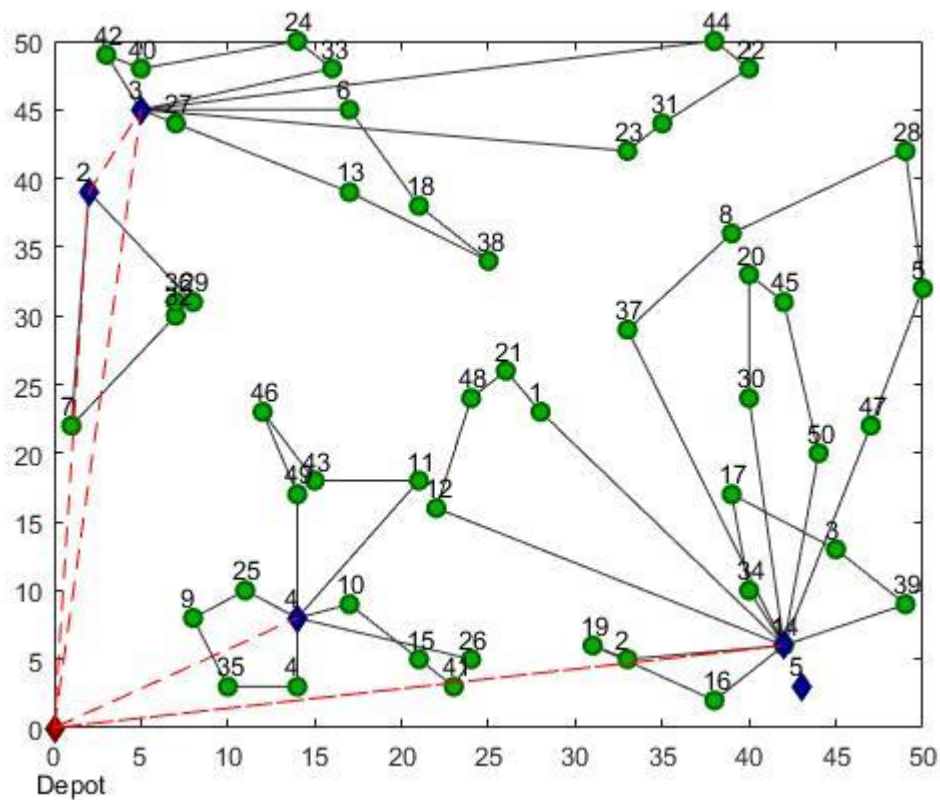
4.2.2 Ομάδα Δεύτερη: 50 Πελάτες - 5 Διαθέσιμες Περιφερειακές Αποθήκες

Η δεύτερη ομάδα προβλημάτων περιέχει οκτώ διαφορετικά σενάρια, όλα με 50 πελάτες προς εξυπηρέτηση και 5 διαθέσιμες περιφερειακές αποθήκες. Τα σενάρια αυτά διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη χωρητικότητα των οχημάτων του δευτέρου επιπέδου και το πλήθος των υποομάδων στις οποίες χωρίζονται οι πελάτες.

4.2.2.1 Σενάριο 50-5-1

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
50925	35186	530,83	208,14	15000	15	50928,15

Πίνακας 4.2.5 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-1

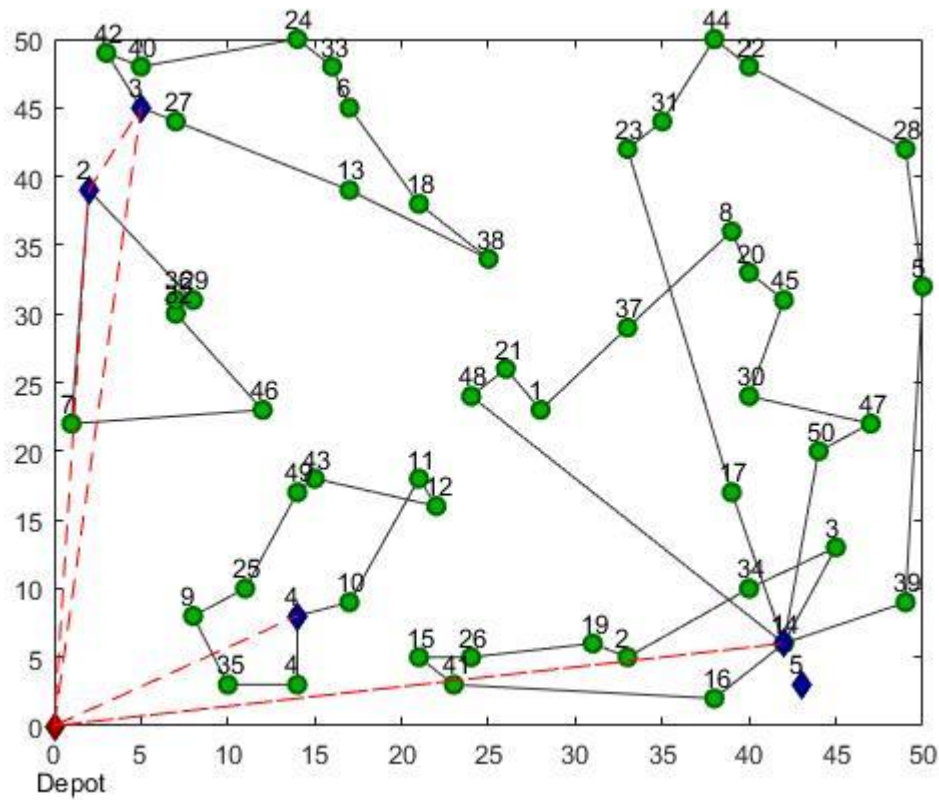


Εικόνα 4.2.5 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 50-5-1.

4.2.2.2 Σενάριο 50-5-1b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
44797	35186	402.79	208.14	9000	9	56596,8

Πίνακας 4.2.6 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-1b.

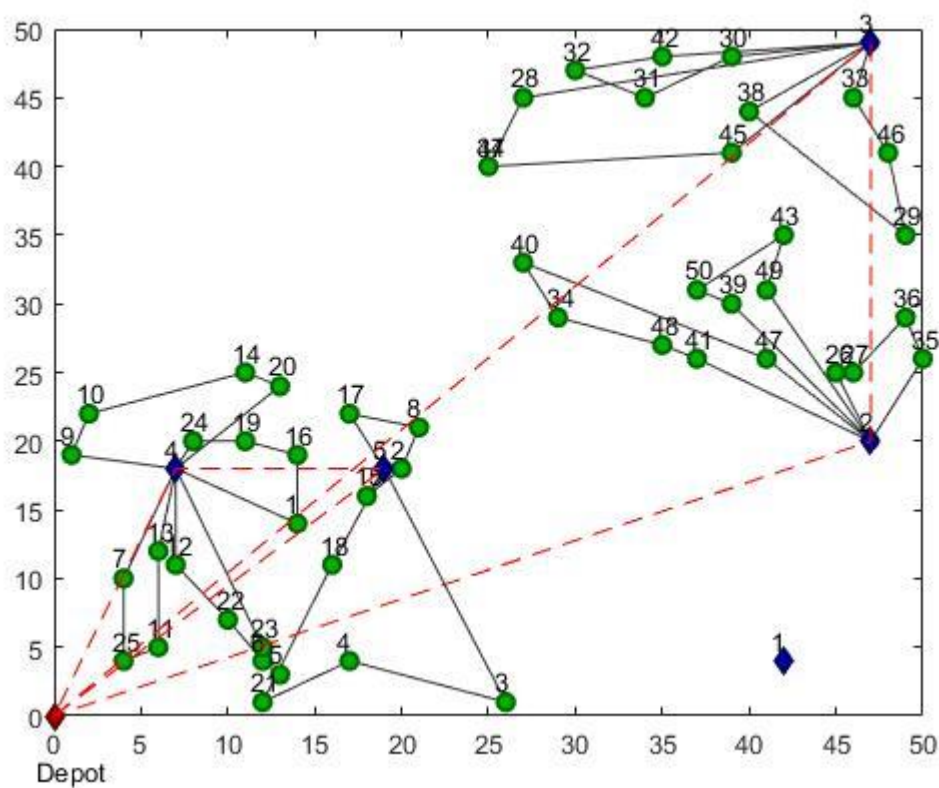


Εικόνα 4.2.6 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 50-5-1b.

4.2.2.3 Σενάριο 50-5-2

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
58641	44022	413,7	205,46	14000	14	58649,9

Πίνακας 4.2.7 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2.

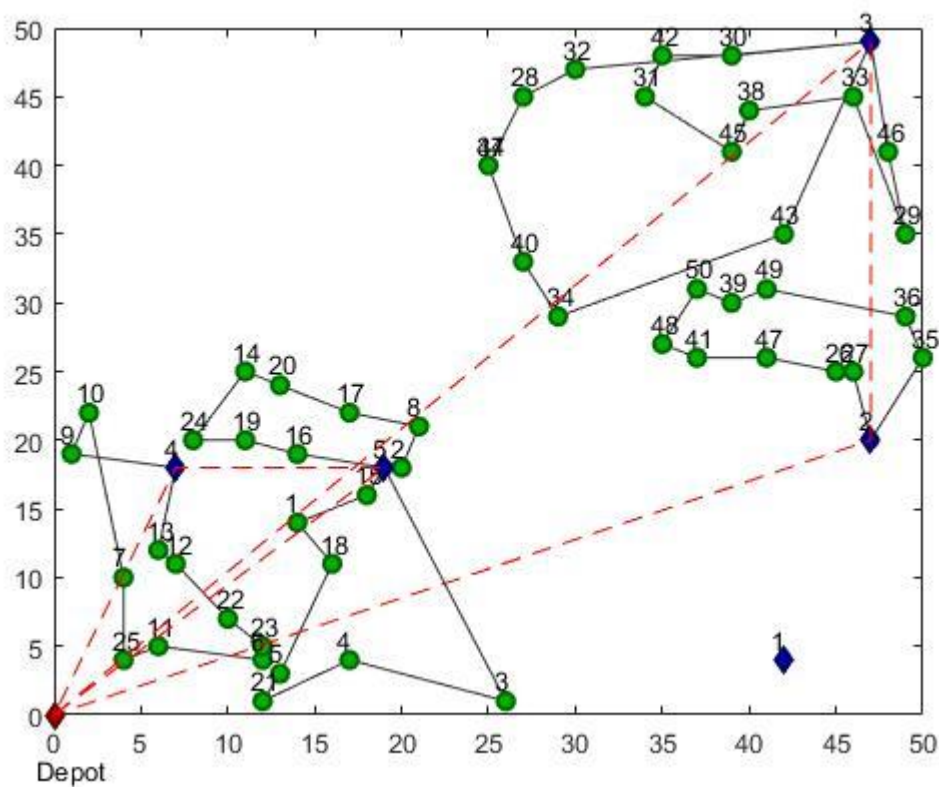


Εικόνα 4.2.7 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 50-5-2.

4.2.2.4 Σενάριο 50-5-2b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
52534	44022	306.6	205.46	8000	8	52537,85

Πίνακας 4.2.8 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2b.

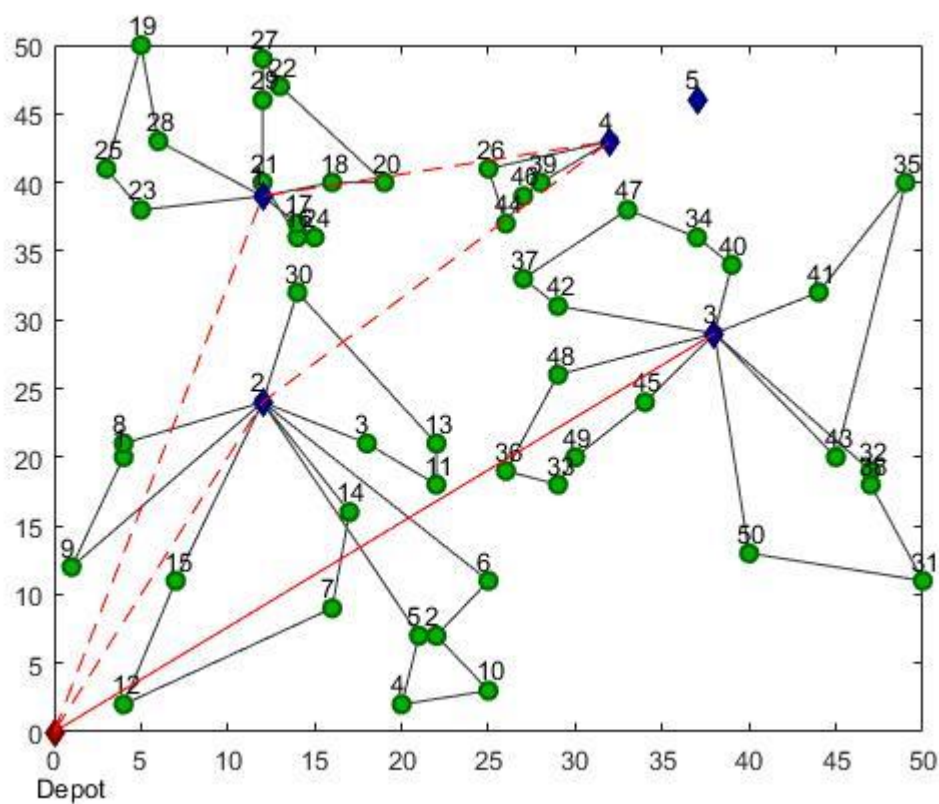


Εικόνα 4.2.8 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-2b.

4.2.2.5 Σενάριο 50-5-3

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
57732	43082	439,23	211,22	14000	14	57737,15

Πίνακας 4.2.9 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-3.

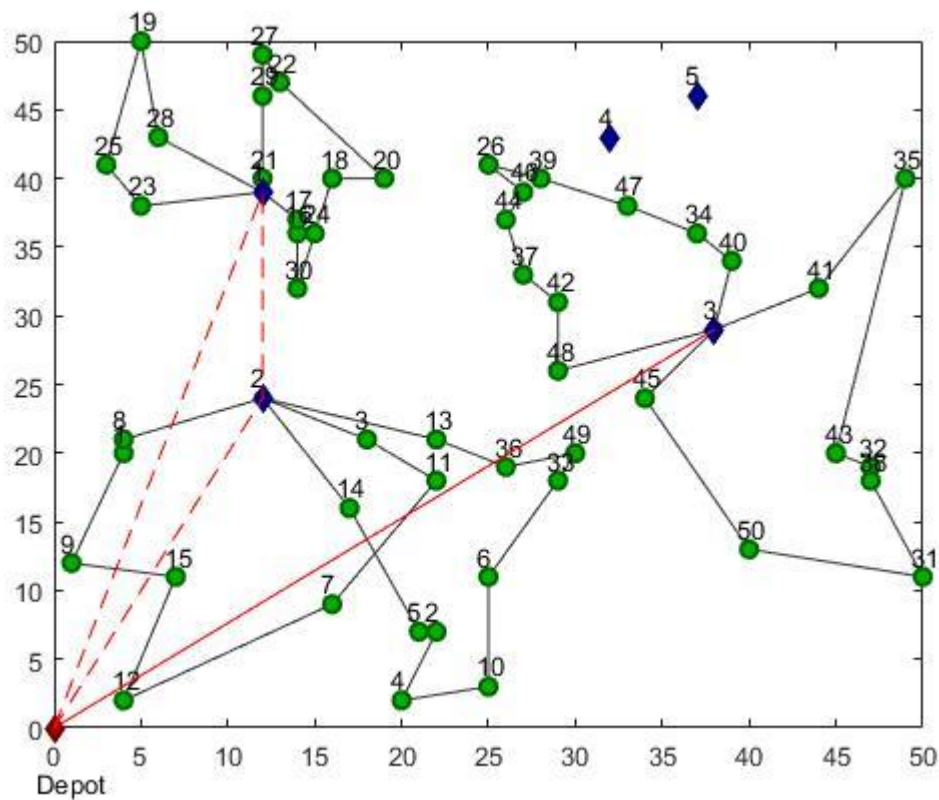


Εικόνα 4.2.9 : : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-3.

4.2.2.6 Σενάριο 50-5-3b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost.	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
46469	37954	336,86	178,24	8000	8	48028,05

Πίνακας 4.2.10 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-3b.

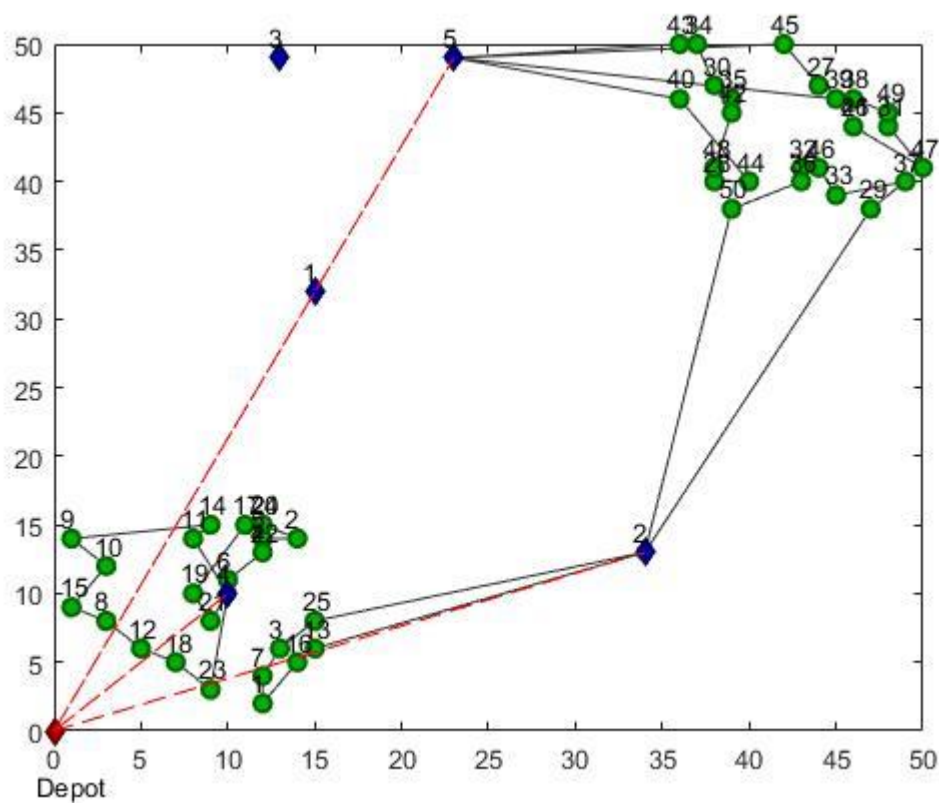


Εικόνα 4.2.10 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-3b.

4.2.2.7 Σενάριο 50-5-2bBIS

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
28260	18763	287.7	209.34	9000	9	34786,1

Πίνακας 4.2.11 : Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2bBIS.

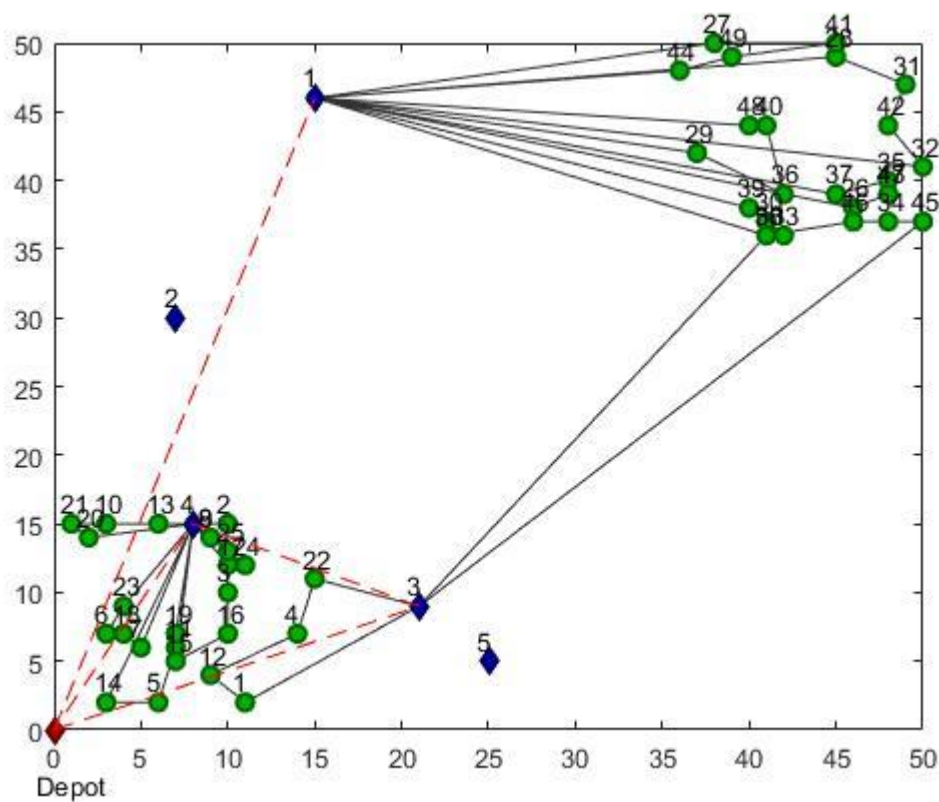


Εικόνα 4.2.11 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-2bBIS.

4.2.2.8 Σενάριο 50-5-2BIS

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
34473	19785	536.74	150.93	14000	14	36691,4

Πίνακας 4.2.12: Αποτελέσματα για το σενάριο 50-5-2BIS.



Εικόνα 4.2.12 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 50-5-2BIS.

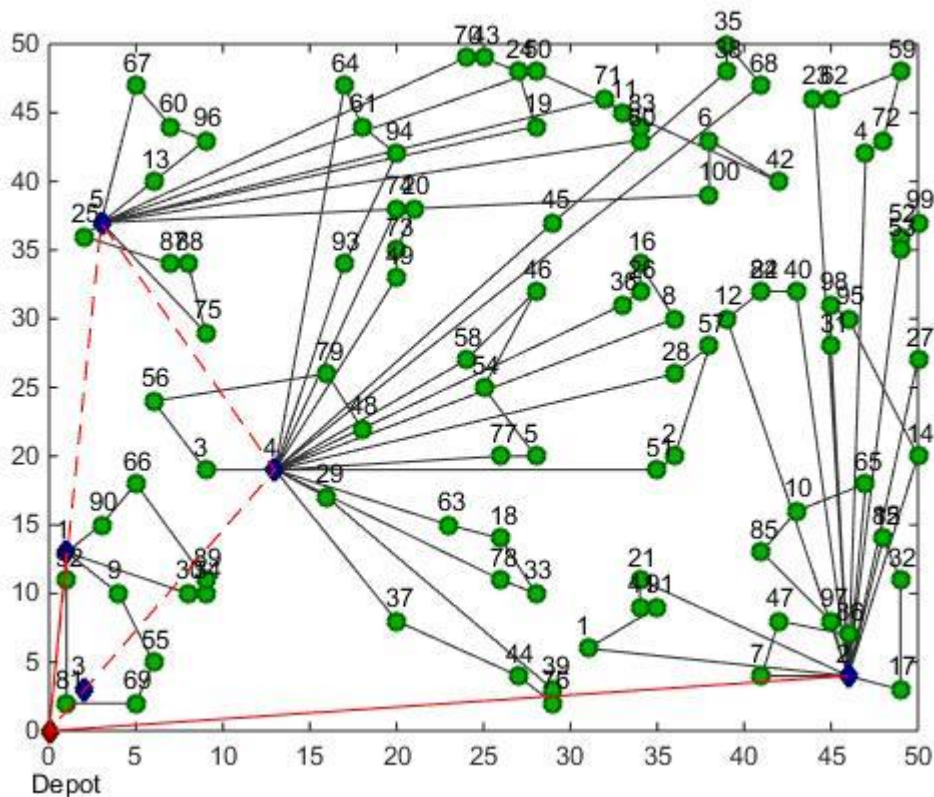
4.2.3 Ομάδα Τρίτη : 100 Πελάτες - 5 Διαθέσιμες Περιφερειακές Αποθήκες.

Η τρίτη ομάδα προβλημάτων περιέχει έξι διαφορετικά σενάρια, όλα με 100 πελάτες προς εξυπηρέτηση και 5 διαθέσιμες περιφερειακές αποθήκες. Τα σενάρια όμως αυτά διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τη χωρητικότητα των οχημάτων του δευτέρου επιπέδου και το πλήθος των υποομάδων στις οποίες χωρίζονται οι πελάτες.

4.2.3.1 Σενάριο 100-5-1.

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
214060	188700	1157,3	199,16	24000	24	258811,5

Πίνακας 4.2.13: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-1.

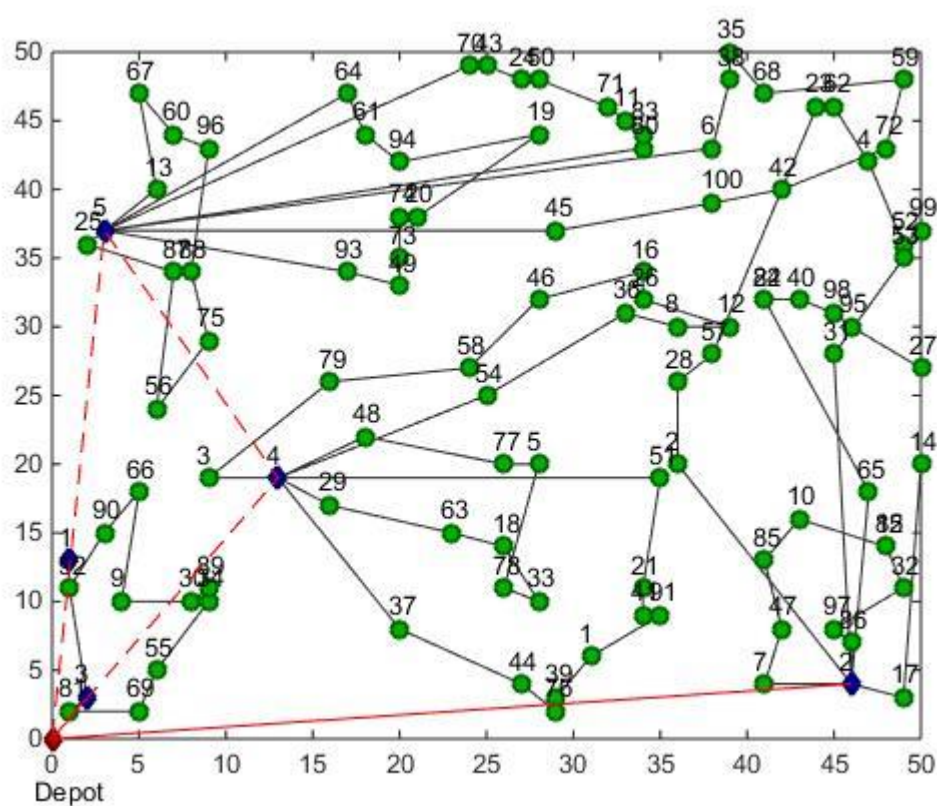


Εικόνα 4.2.13 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-1.

4.2.3.2 Σενάριο 100-5-1b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
200489	189990	718,28	180,29	13000	13	204887,45

Πίνακας 4.2.14 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-1b.

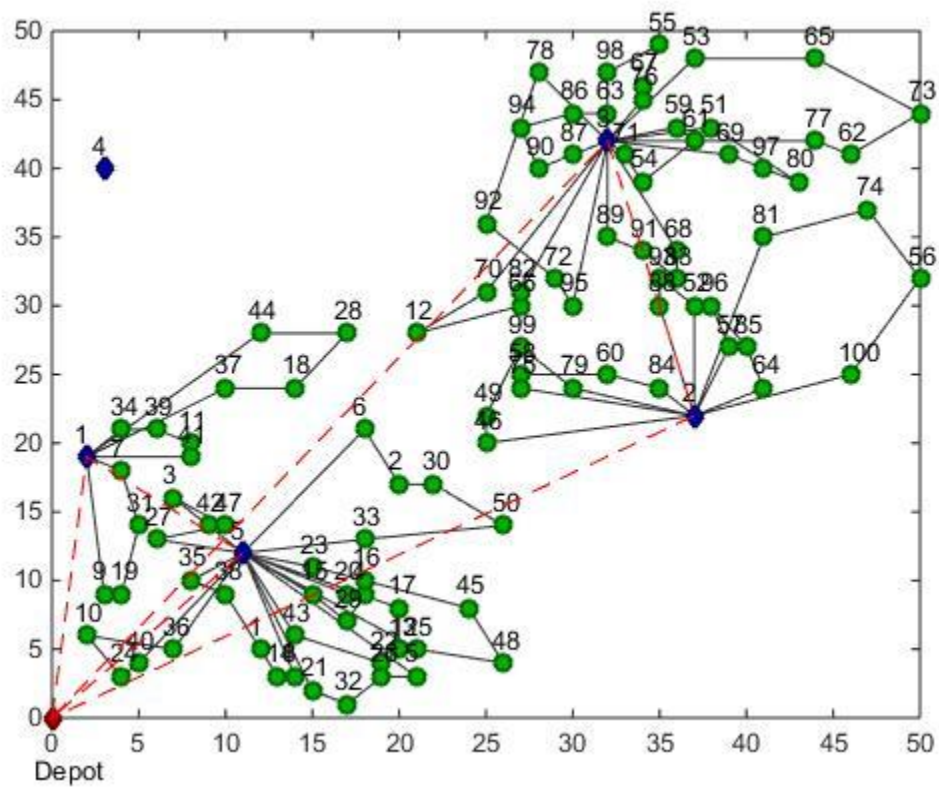


Εικόνα 4.2.14 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-1b.

4.2.3.3 Σενάριο 100-5-2

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
231700	204900	631,61	163,25	26000	26	231767

Πίνακας 4.2.15: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-2.

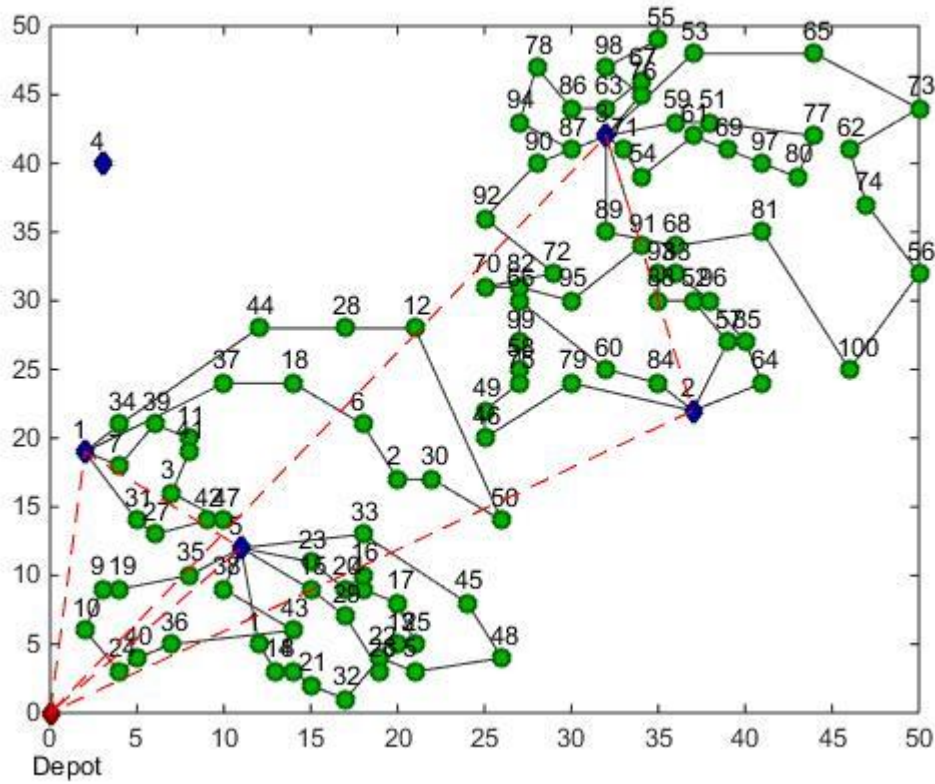


Εικόνα 4.2.15 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-2.

4.2.3.4 Σενάριο 100-5-2b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
218500	204900	441,38	163,25	13000	13	218513

Πίνακας 4.2.16 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-2b.

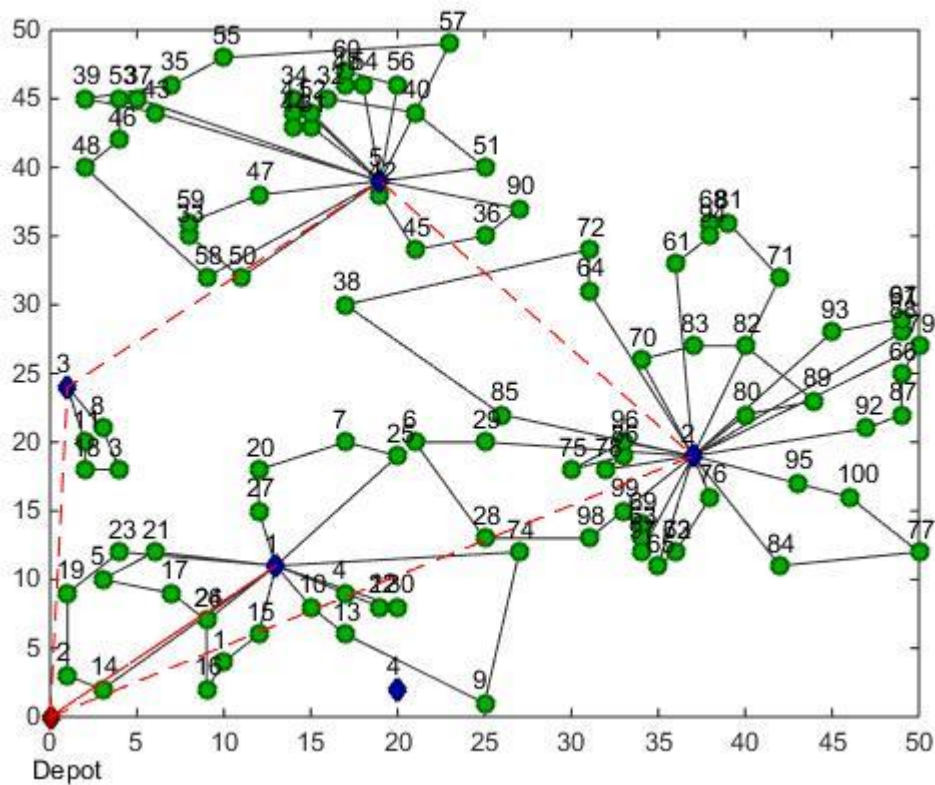


Εικόνα 4.2.16 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-2b.

4.2.3.5 Σενάριο 100-5-3

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
219760	192920	688,39	150,01	26000	26	256021,25

Πίνακας 4.2.17: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-3.

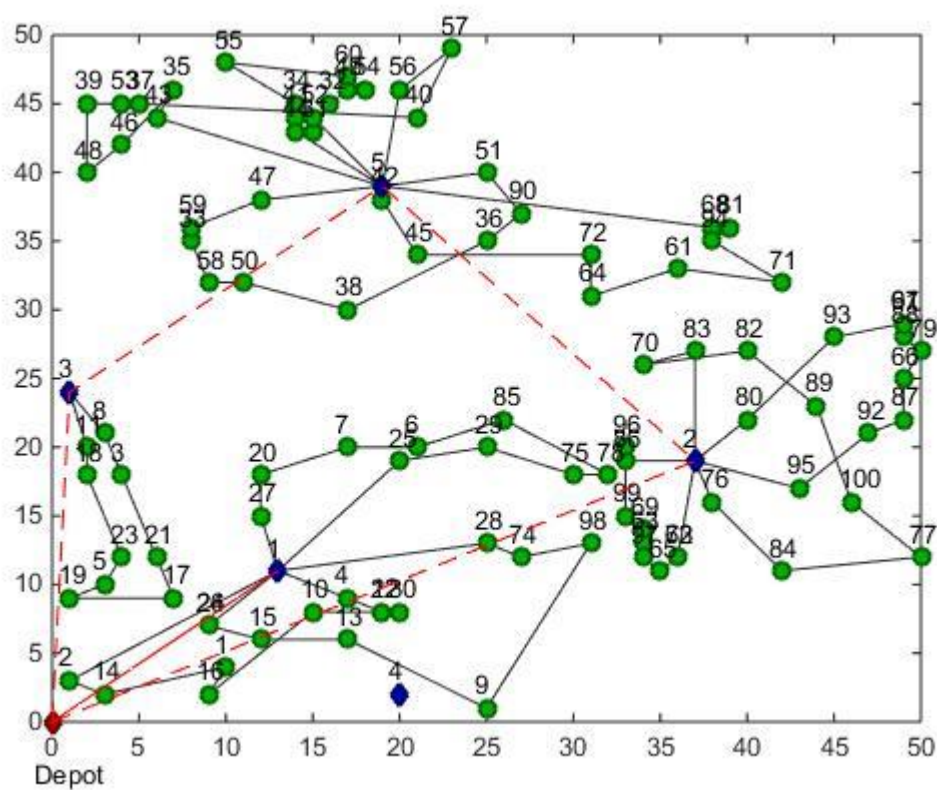


Εικόνα 4.2.17 : : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-3.

4.2.3.6 Σενάριο 100-5-3b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
206580	192920	510,01	150,01	13000	13	228300,25

Πίνακας 4.2.18: Αποτελέσματα για το σενάριο 100-5-3b.



Εικόνα 4.2.18 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-5-3b.

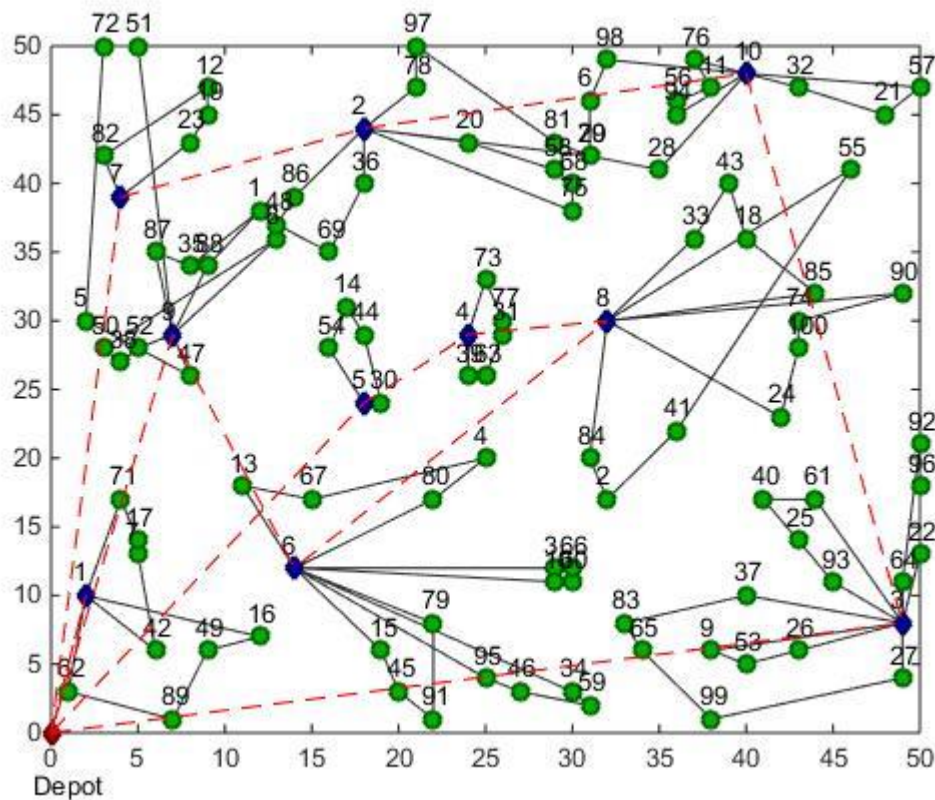
4.2.4 Ομάδα Τέταρτη : 100 Πελάτες - 10 Διαθέσιμες Περιφερικές αποθήκες.

Η τέταρτη ομάδα προβλημάτων περιέχει έξι διαφορετικά σενάρια, όλα με 100 πελάτες προς εξυπηρέτηση και 10 διαθέσιμες περιφερειακές αποθήκες. Τα σενάρια όμως αυτά διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τη χωρητικότητα των οχημάτων του δευτέρου επιπέδου και το πλήθος των υποομάδων στις οποίες χωρίζονται οι πελάτες.

4.2.5 Σενάριο 100-10-1

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
561200	532150	748,41	307,02	28000	28	558667,5

Πίνακας 4.2.19 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-1.

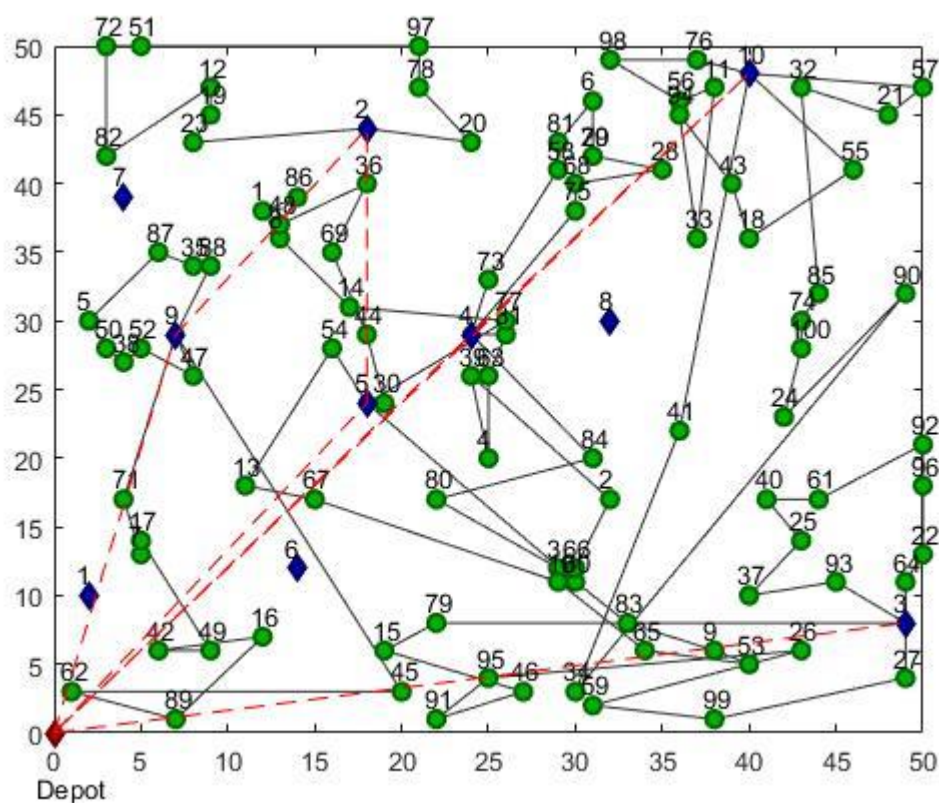


Εικόνα 4.2.19 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-1.

4.2.5.1 Σενάριο 100-10-1b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
326110	311020	771,74	322,7	14000	14	387962,2

Πίνακας 4.2.20 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-1b.

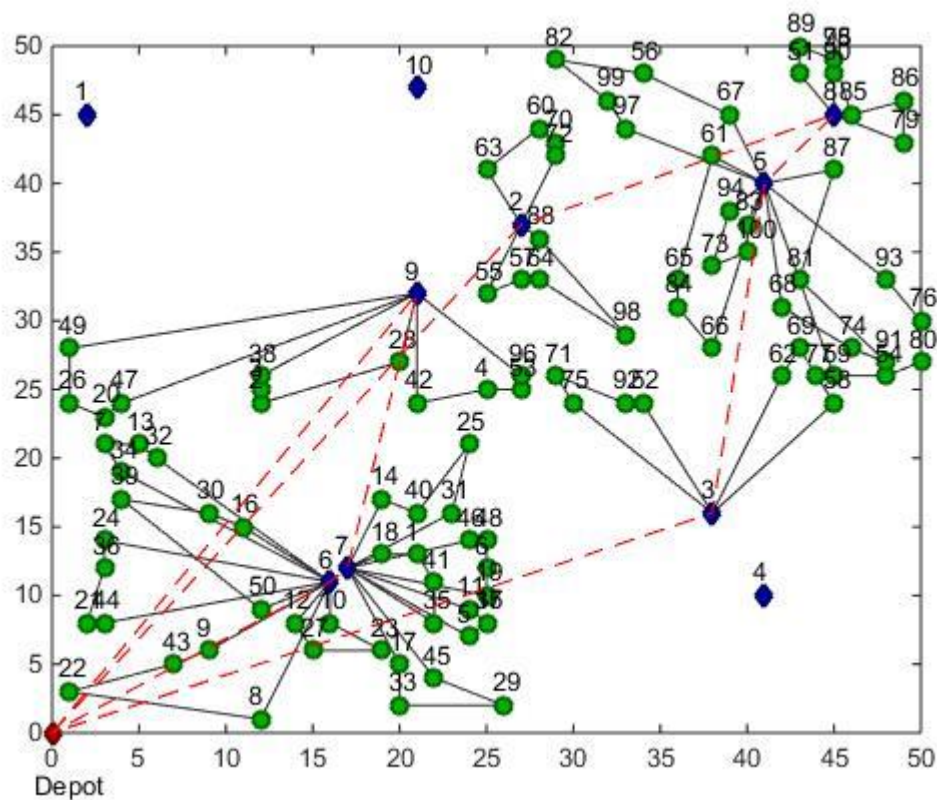


Εικόνα 4.2.20 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 100-10-1b.

4.2.5.2 Σενάριο 100-10-2

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
384240	357380	638,94	216,82	26000	26	405200,8

Πίνακας 4.2.21 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-2.

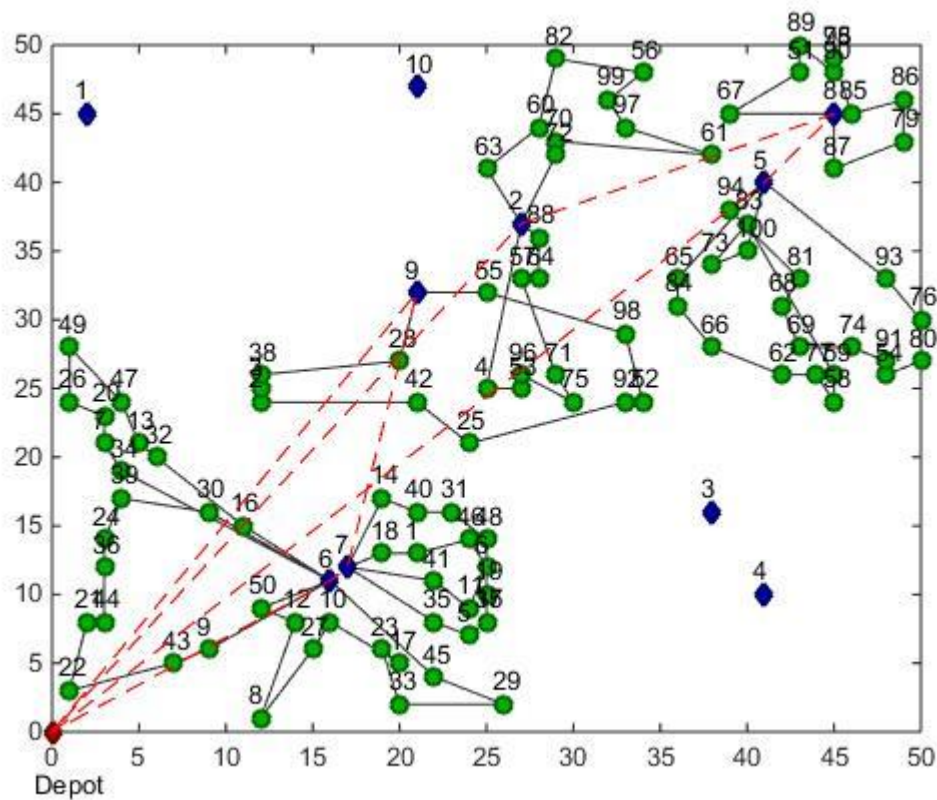


Εικόνα 4.2.21 : Διάγραμμα διαδρομών για το σενάριο 100-10-2.

4.2.5.3 Σενάριο 100-10-2b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
319760	306090	453,75	208,69	13000	13	350782,4

Πίνακας 4.2.22 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-2b.

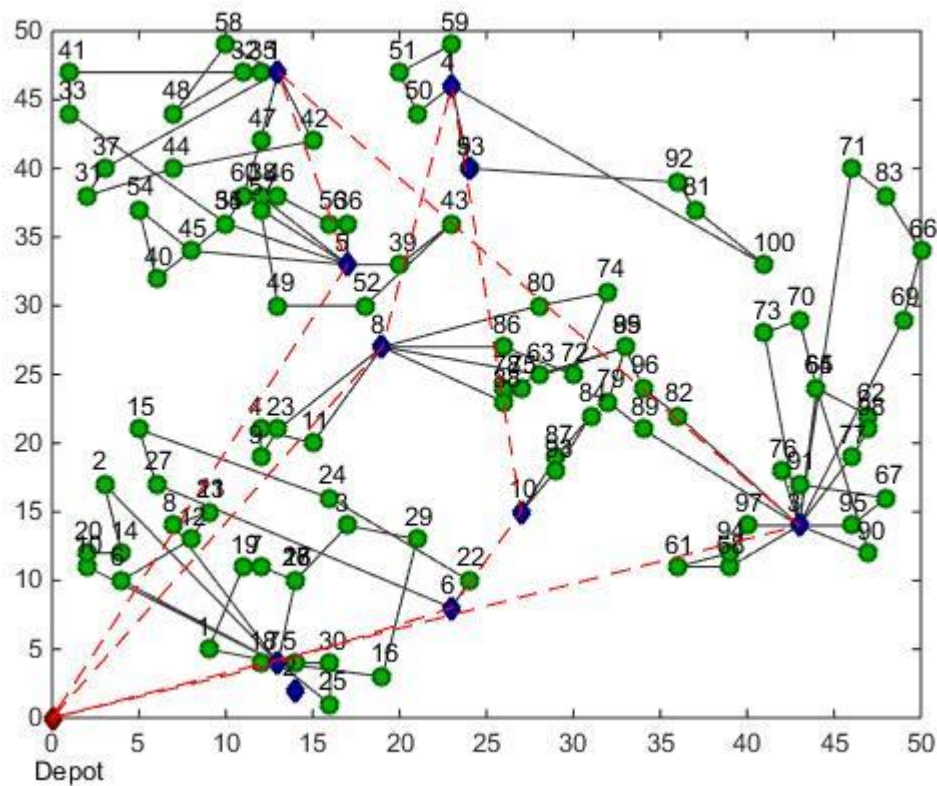


Εικόνα 4.2.22 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-2b.

4.2.5.4 Σενάριο 100-10-3

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
429770	402810	698,56	257,62	26000	26	474872

Πίνακας 4.2.23 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-3.

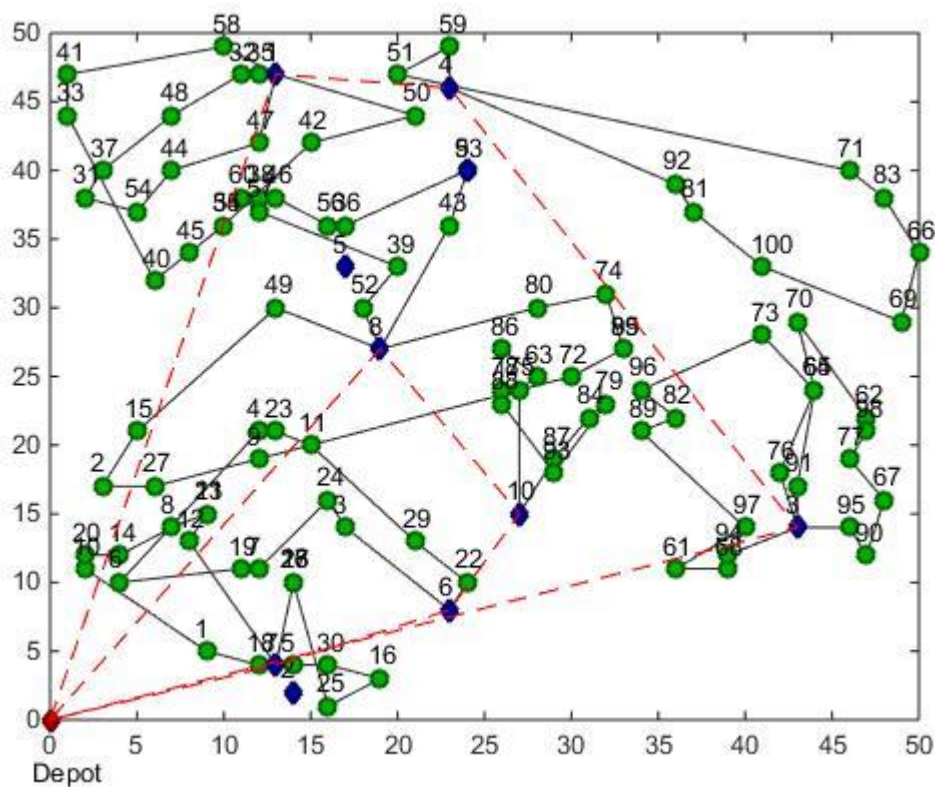


Εικόνα 4.2.23 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-3.

4.2.5.5 Σενάριο 100-10-3b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
356840	343090	532,12	221,64	13000	13	393153,5

Πίνακας 4.2.24 : Αποτελέσματα για το σενάριο 100-10-3b.



Εικόνα 4.2.24 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-3b.

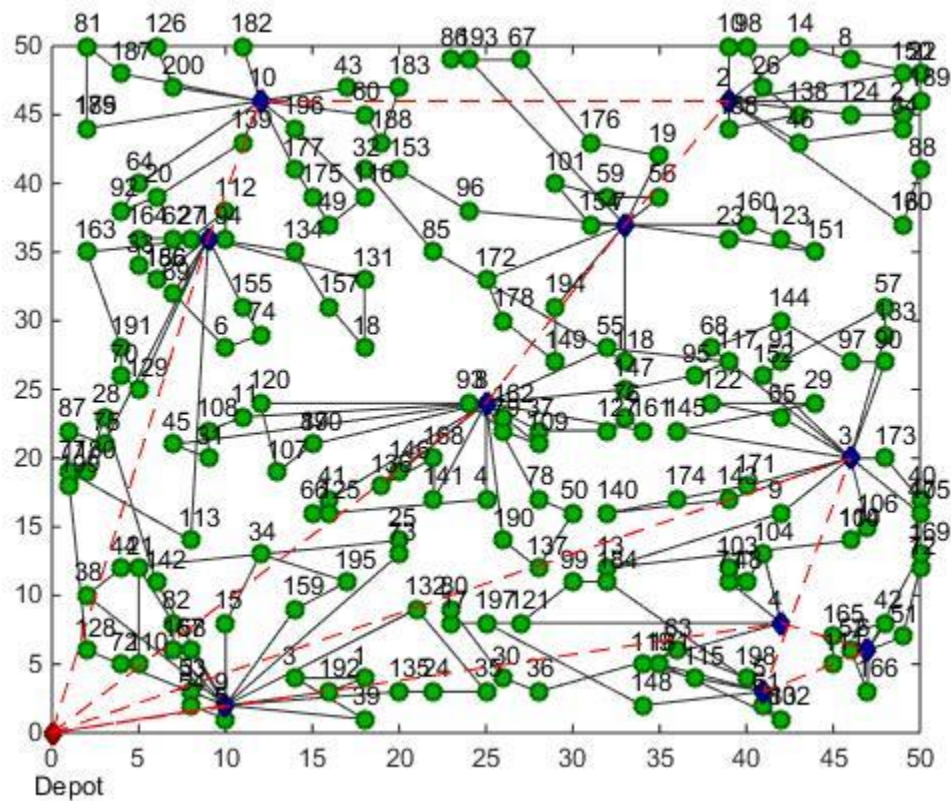
4.2.6 Ομάδα Πέμπτη : 200 Πελάτες – 10 Διαθέσιμες Περιφερειακές αποθήκες.

Η πέμπτη και τελευταία ομάδα προβλημάτων περιέχει έξι διαφορετικά σενάρια, όλα με 200 πελάτες προς εξυπηρέτηση και 10 διαθέσιμες περιφερειακές αποθήκες. Τα σενάρια όμως αυτά διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς τη χωρητικότητα των οχημάτων του δευτέρου επιπέδου και το πλήθος των υποομάδων στις οποίες χωρίζονται οι πελάτες.

4.2.6.1 Σενάριο 200-10-1

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
947160	895580	1308,7	267,69	50000	50	956640

Πίνακας 4.2.25 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-1.

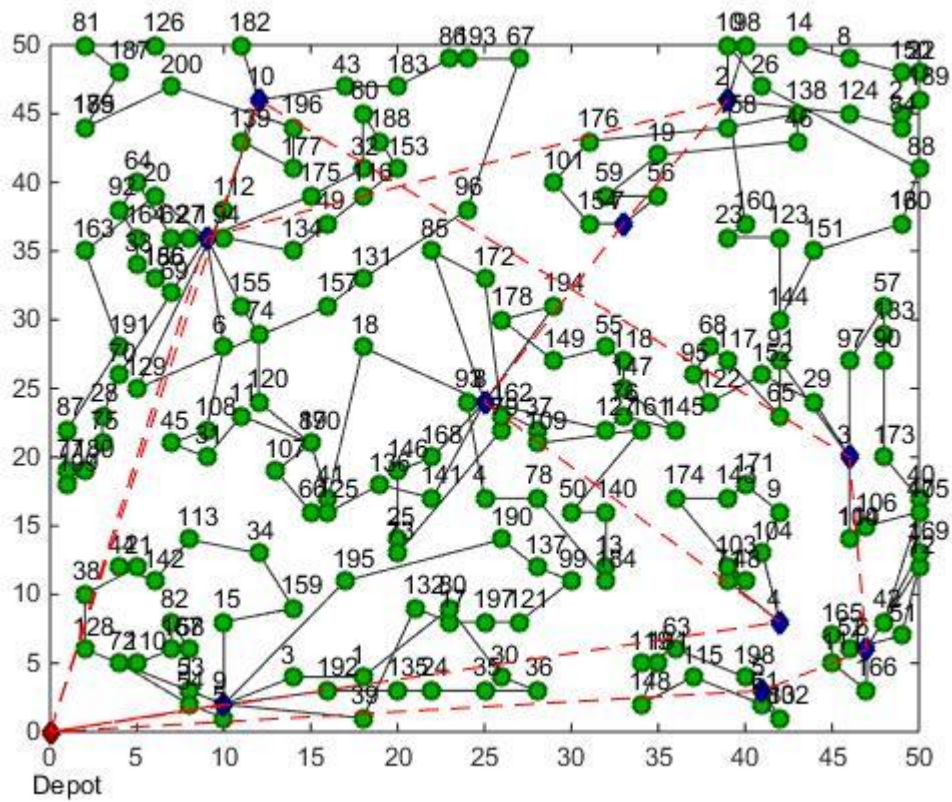


Εικόνα 4.2.25 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 200-10-1b.

4.2.6.2 Σενάριο 200-10-1b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
716040	689730	994,42	315,26	25000	25	891964

Πίνακας 4.2.26 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-1b.

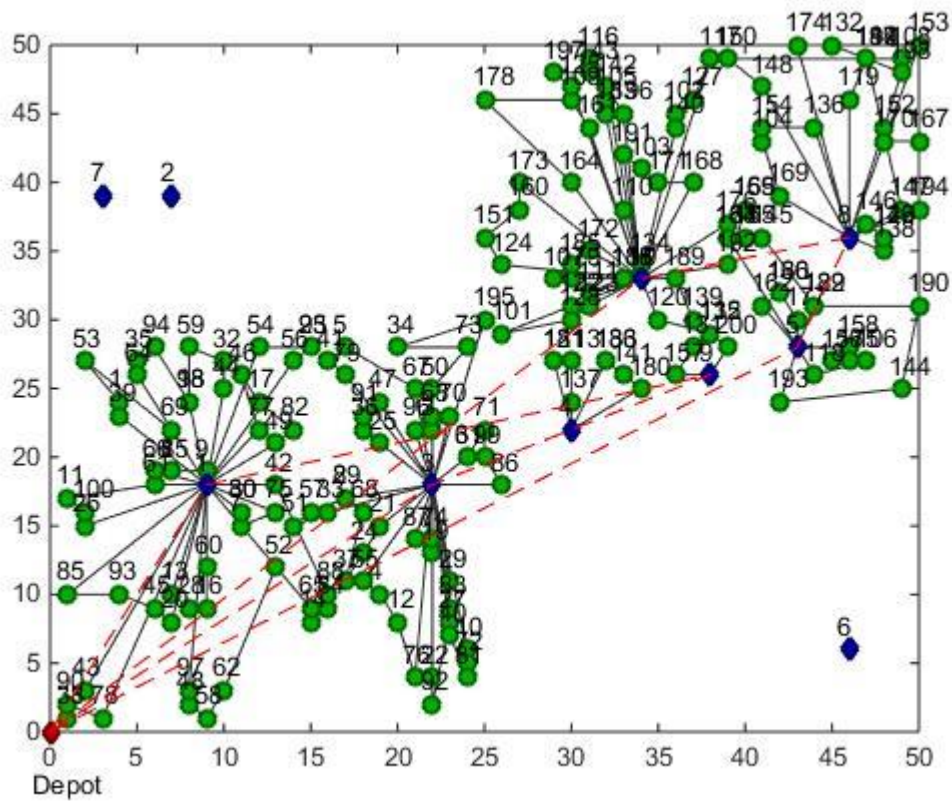


Εικόνα 4.2.26 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 100-10-1b.

4.2.6.3 Σενάριο 200-10-2

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
799460	749140	1099,8	216,13	49000	49	873874,4

Πίνακας 4.2.27 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-2.

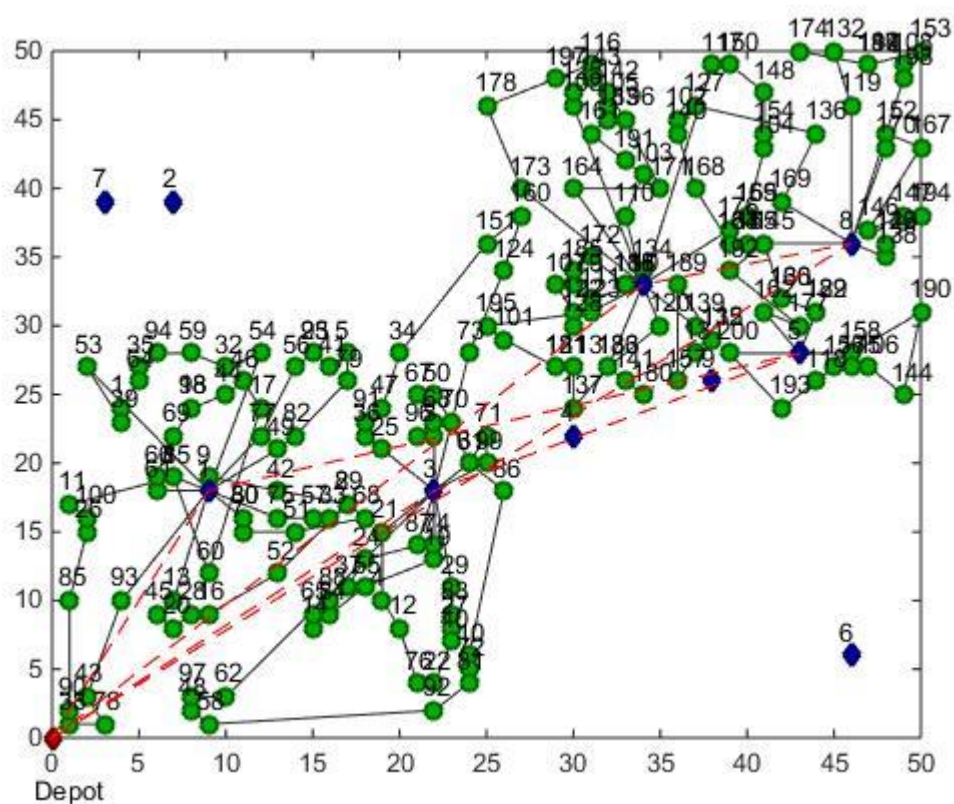


Εικόνα 4.2.27 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 200-10-2.

4.2.6.4 Σενάριο 200-10-2b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
575600	550580	842,71	181,16	24000	24	657439,8

Πίνακας 4.2.28 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-2b.

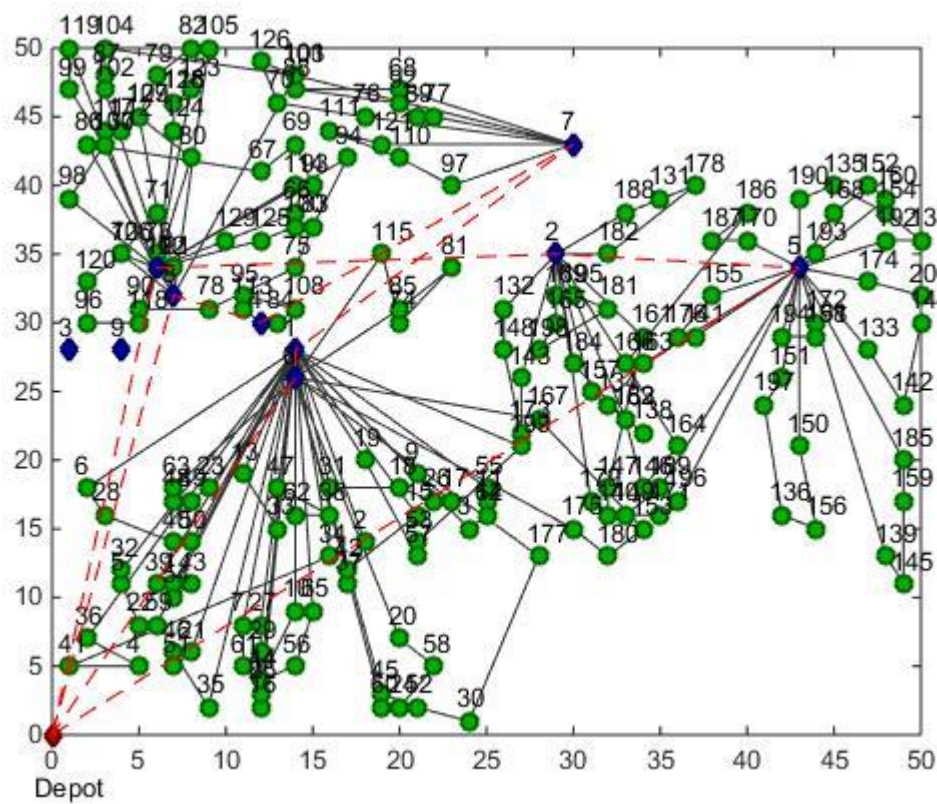


Εικόνα 4.2.28 : Διάγραμμα των διαδρομών 200-10-2b.

4.2.6.5 Σενάριο 200-10-3

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
451290	400250	1845,6	190,14	49000	49	568934

Πίνακας 4.2.29 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-3.

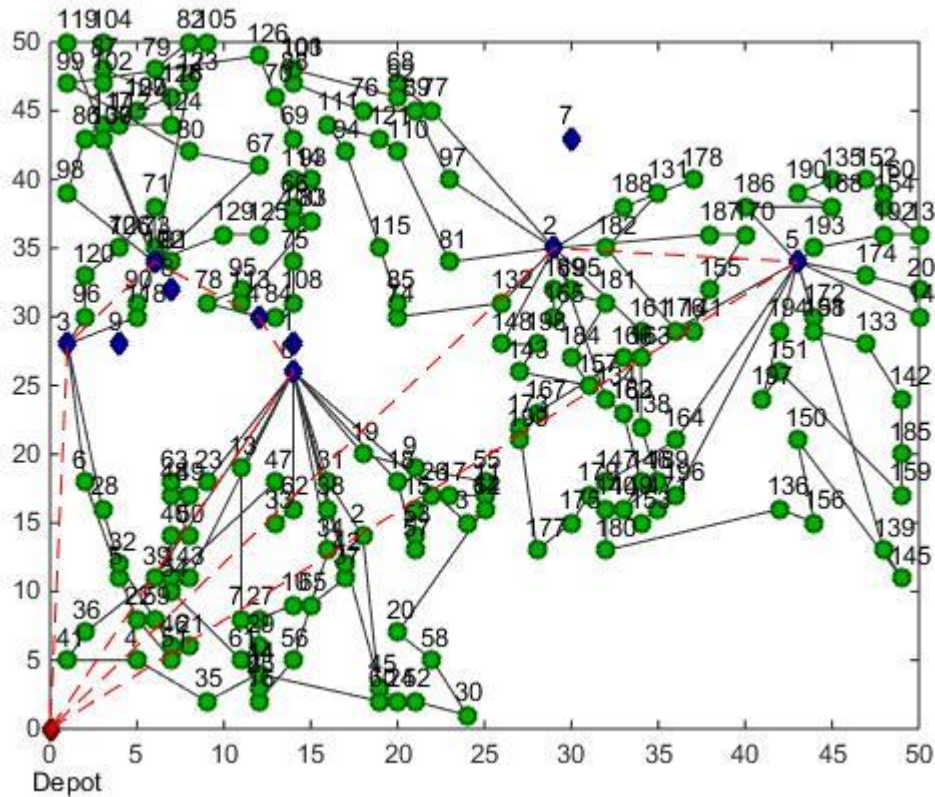


Εικόνα 4.2.29 : Διάγραμμα των διαδρομών 200-10-3.

4.2.6.6 Σενάριο 200-10-3b

Total Cost	Satellite Cost	Second Level Cost	First Level Cost	Route Cost	Number of Routes	Average
425600	400250	1156,1	190,14	24000	24	564327,5

Πίνακας 4.2.30 : Αποτελέσματα για το σενάριο 200-10-3b.



Εικόνα 4.2.30 : Διάγραμμα των διαδρομών για το σενάριο 200-10-3b.

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και χωροθέτησης εγκαταστάσεων δύο επιπέδων, με τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization Algorithm), σε συνδυασμό με τον ευρετικό αλγόριθμο πλησιέστερης εισαγωγής κόμβων για την κατασκευή της αρχικής λύσης καθώς και τους αλγόριθμους βελτίωσης της λύσης, 1-0 ανταλλαγή, 1-0 επανατοποθέτηση και 2-Opt.

Ο ACO είναι ένας τυχαιοποιημένος αλγόριθμος που παράγει ένα αρκετά μεγάλο πλήθος λύσεων (σε αυτήν την εργασία σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου-συνολικά 20, παράγονται 50 διαφορετικές λύσεις), γεγονός που επιτρέπει την αποφυγή από τα τοπικά ελάχιστα, αυξάνοντας παράλληλα την πιθανότητα εύρεσης του ολικού ελαχίστου ένα υπάρχει.

Λόγω της τυχειότητας των αποτελεσμάτων που παράγει ο αλγόριθμος κάθε σενάριο εκτελέστηκε 20 φορές. Από το σύνολο των λύσεων παρουσιάζεται η καλύτερη καθώς επίσης και ο μέσος όρος. Στον πίνακα 5.1.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αλγορίθμων επίλυσης για τα 30 διαφορετικά σενάρια. Παρατηρείται ότι η ποιότητα των λύσεων είναι πολύ καλή για τις πρώτες δύο ομάδες, δηλαδή για 20 και 50 πελάτες, με 5 διαθέσιμες ενδιάμεσες αποθήκες αντιστοίχως. Ικανοποιητικά επίσης θεωρούνται τα αποτελέσματα για τις ομάδες τρία και τέσσερα με αριθμού πελατών 100 εκάστη και αριθμό διαθέσιμων περιφερειακών αποθηκών 5 και 10. Το κόστος φαίνεται ότι αυξάνεται σημαντικά όταν πρόκειται για την επίλυση προβλημάτων μεγαλύτερης κλίμακας όπως συμβαίνει με την πέμπτη ομάδα των 200 πελατών. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων για τα σενάρια με 200 πελάτες και 10 ενδιάμεσες αποθήκες θεωρείται χαμηλότερη σε σύγκριση με τα προηγούμενα σενάρια.

Συνεπώς , ο ACO επιτρέπει την εύρεση πολύ ικανοποιητικών λύσεων για μικρά προβλήματα αλλά φαίνεται να χάνει την αποδοτικότητα του καθώς αυξάνεται ο αριθμός των μεταβλητών. Η αδυναμία του εντοπίζεται στο κομμάτι της χωροθέτησης κυρίως. Αδιαμφισβήτητα λοιπόν θα μπορούσαν να υπάρξουν βελτιώσεις στο κώδικα, αποκαθιστώντας έτσι την αποδοτικότητα του αλγορίθμου.

Στον πίνακα των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων εμφανίζονται με έντονα γράμματα τα αποτελέσματα των σεναρίων κάθε ομάδας με το χειρότερο κόστος. Επιπρόσθετα, για κάθε ομάδα έχει υπολογιστεί ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων για την καλύτερη αντίληψη της τάξης μεγέθους του κόστους ανά ομάδα.

Instances	Total Cost
FIRST GROUP	
20-5-1	41.565
20-5-1b	26.691
20-5-2	40.729
20-5-2b	35.088
AVERAGE	36.018
SECOND GROUP	
50-5-1	50.925
50-5-1b	44.797
50-5-2	58.641
50-5-2b	52.534

50-5-2bBIS	28.260
50-5-2BIS	34.473
50-5-3	57.732
50-5-3b	46.469
AVERAGE	46.766
THIRD GROUP	
100-5-1	214.060
100-5-1b	200.489
100-5-2	230.810
100-5-2b	218.500
100-5-3	219.760
100-5-3b	206.580
AVERAGE	215.033,17
FORTH GROUP	
100-10-1	454.580
100-10-1b	326.110
100-10-2	283.350
100-10-2b	263.710
100-10-3	223.190
100-10-3b	209.860
AVERAGE	293.466,67
FIFTH GROUP	

200-10-1	947.160
200-10-1b	716.040
200-10-2	799.460
200-10-2b	575.600
200-10-3	451.290
200-10-3b	425.600
AVERAGE	652.525

Πίνακας 4.2.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των σεναρίων.

Η διακύμανση των καλύτερων λύσεων από τον μέσο όρο επιτρέπει την μέτρηση της ευστάθειας του αλγορίθμου. Όσο μικρότερη είναι απόκλιση της καλύτερης λύσης από το μέσο όρο τόσο καλύτερη είναι η ευστάθεια το αλγορίθμου. Στον ακόλουθο πίνακα και στην στήλη stability παρουσιάζεται η ποσοστιαία απόκλιση των καλύτερων λύσεων για κάθε σενάριο. Όπως φαίνεται, η ευστάθεια του αλγορίθμου είναι ικανοποιητική καθώς το εύρος της κυμαίνεται από 0 έως 24,58%. Με έντονα γράμματα παρατίθενται τα σεναριο για τα οποία η τιμές της ευστάθειας ήταν υψηλότερες.

Instances	Total Cost	Average	Stability
20-5-1	41.565	41.733	0,40%
20-5-1b	26.691	35.370,6	24,54%
20-5-2	40.729	40.729	0,00%
20-5-2b	35.088	41.320,7	15,08%

50-5-1	50.925	50.928,15	0,01%
50-5-1b	44.797	56.596,8	20,85%
50-5-2	58641	58.649,9	0,02%
50-5-2b	52.534	52.537,85	0,01%
50-5-2bBIS	28.260	34.786,1	18,76%
50-5-2BIS	34.473	36.691,4	6,05%
50-5-3	57.732	57.737,15	0,01%
50-5-3b	46.469	480.28,05	3,25%
100-5-1	214.060	258.811,5	17,29%
100-5-1b	200.489	204.887,45	2,15%
100-5-2	230.810	231.767	0,41%
100-5-2b	218.500	218.513	0,01%
100-5-3	219.760	256.021,25	14,16%
100-5-3b	206.580	228.300,25	9,51%
100-10-1	454.580	558.667,5	18,63%
100-10-1b	326.110	387.962,2	15,94%
100-10-2	283.350	295.200,8	4,01%
100-10-2b	263.710	268.782,4	1,89%
100-10-3	223.190	274.872	18,80%
100-10-3b	209.860	213.153,5	1,55%
200-10-1	947.160	956.640	0,99%
200-10-1b	716.040	891.964	19,72%

200-10-2	799.460	873.874,4	8,52%
200-10-2b	575.600	657.439,8	12,45%
200-10-3	451.290	568.934	20,68%
200-10-3b	425.600	564.327,5	24,58%

Πίνακας 4.2.2 : Παρουσίαση της ευστάθειας του αλγορίθμου ACO για κάθε σενάριο.

Κλείνοντας, θεωρείται βέβαιο πως ο κώδικας επιδέχεται βελτίωση ιδιαίτερα στο κομμάτι της χωροθέτησης προκειμένου να παράγει οικονομικότερες λύσεις.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

Βερανούδης Α. Μηχαήλ, (2014), *Βιωσιμότητα στην Εφοδιαστική Αλυσίδα: Μέτρηση Απόδοσης- Προϋποθέσεις Εφαρμογής- Σύγχρονες και Μελλοντικές Προκλήσεις*, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Γκοτζαμάνη Αικατερίνη, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Βουτσαδάκης Β. (2017), *Νοήμονες Μέθοδοι Εμπνευσμένες από τον Φυσικό Κόσμο για την Επίλυση Προβλημάτων Βελτιστοποίησης από τον Χώρο Οικονομίας και Διοίκησης*, Διπλωματική Εργασία Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Δούνιας, Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας & Διοίκησης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Βλάχος Δ. (2012), *Διαλέξεις από το μάθημα : "Ποσοτική Ανάλυση, Logistics και Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας"*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Α.Π.Θ.

Γραμματοπούλου Ι. Μαρία (2017), *Επίλυση του Προβλήματος Εγκατάστασης και Δρομολόγησης Δύο Επιπέδων με Χρήση Άπληστης Τυχαιοποιημένης Προσαρμοστικής Διαδικασίας Αναζήτησης*, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μαρινάκης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Κονσόλας Κ. Νικόλαος (2014), *Η Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας στην Βιομηχανία Φαρμάκων, Μελέτη της Εταιρίας «Κοπερ Φαρμακοβιομηχανία Α.Ε.»*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μοσχούρης Σωκράτης, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

Μαρακουδάκης Α. (2013), *Εφαρμογή του αλγορίθμου βελτιστοποίησης αποικίας μελισσών σε προβλήματα δρομολόγησης*, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μαρινάκης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μπαμπάτση Δ. (2017), *Εφαρμογές της εφοδιαστικής αλυσίδας*, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Γεροντίδης Ιωάννης, Τμήμα Διαχείρισης Πληροφοριών, Τ.Ε.Ι. Καβάλλας.

Σαρτζετάκη Κ. (2013), *Logistics και Εφοδιαστική Αλυσίδα σε μια επιχείρηση*, Πτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Γιαννακόπουλου Ελένη, Τμήμα Λογιστικής, Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Τιμοθέατος Π. (2013), *Επίλυση του Περιορισμένης Χωρητικότητας Προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων για την εξυπηρέτηση πελατών μέσα σε δεδομένα χρονικά παράθυρα με χρήση του Αλγορίθμου Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής : Μαρινάκης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Χατζίκος Ε. (2010), *MATLAB για επιστήμονες και μηχανικούς*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Διεθνής βιβλιογραφία

- Crainic, T., Perboli, G., Mancini, S., & Tadei, R. (2010). Two-Echelon Vehicle Routing Problem: A satellite location analysis. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 2(3), 5944-5955.
- Crainic, T., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2004). Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(2), 119-137. doi: 10.1016/j.trc.2004.07.002
- Cuda, R., Guastaroba, G., & Speranza, M. (2015). A survey on two-echelon routing problems. *Computers & Operations Research*, 55, 185-199.
- Marinelli, M., Colovic, A., & Dell'Orco, M. (2018). A novel Dynamic programming approach for Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem in City Logistics with Environmental considerations. *Transportation Research Procedia*, 30, 147-156.
- Nguyen, V., Prins, C., & Prodhon, C. (2012). Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking. *European Journal Of Operational Research*, 216(1), 113-126.
- Nguyen, V., Prins, C., & Prodhon, C. (2012). A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 25(1), 56-71.
- Othman, W., Abd Wahab, A., Alhady, S., & Wong, H. (2018). Solving Vehicle Routing Problem using Ant Colony Optimisation (ACO) Algorithm. *International Journal Of Research And Engineering*, 5(9), 500-507.
- Prins, Christian & Prodhon, Caroline & Ruiz, Angel & Soriano, Patrick & Calvo, Roberto. (2007). Solving the Capacitated Location-Routing Problem by a Cooperative Lagrangean Relaxation-Granular Tabu Search Heuristic. *Transportation Science*. 41. 470-483.
- Rosenkrantz, D., Stearns, R., & Lewis, II, P. (1977). An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem. *SIAM Journal On Computing*, 6(3), 563-581.
- Yalian, T. (2016). An Improved Ant Colony Optimization for Multi-Depot Vehicle Routing Problem. *International Journal Of Engineering And Technology*, 8(5), 385-388.