



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης για το Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (DVRP)



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Σφηναρολάκης

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Ιωάννης Μαρινάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Χανιά, Φεβρουάριος 2021

Σφηναρολάκης Γ. (2021). Αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης για το
Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (DVRP).

Διπλωματική Εργασία

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης,

Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Μαρινάκη, για την πολύτιμη βοήθειά του καθώς και την καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Αφιερώνω την εργασία μου σε όλη την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με υποστήριξαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Περιεχόμενα	
Περίληψη.....	8
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή στην εφοδιαστική αλυσίδα.....	9
1.1 Έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας	9
1.2 Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management).....	10
1.3 Λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας	12
1.4 Στόχοι της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	14
1.5 Οφέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	15
1.6 Προβλήματα που αντιμετωπίζει η εφοδιαστική αλυσίδα.....	16
Κεφάλαιο 2 Το δυναμικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων.....	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem)	17
2.2.1 Τα βασικά χαρακτηριστικά των διαδρομών	18
2.2.2 Τα δεδομένα του προβλήματος	18
2.2.3 Οι περιορισμοί του προβλήματος.....	19
2.2.4 Το κόστος των διαδρομών.....	19
2.2.5 Στόχοι για την επίλυση του προβλήματος.....	20
2.3 Βασικά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων	20
2.3.1 Το περιορισμένης χωρητικότητας Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Capacitated Vehicle Routing Problem).....	20
2.3.2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές επιστροφές στην αποθήκη (Multitrip Vehicle Routing Problem)	21
2.3.3 Το ανοιχτό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Open Vehicle Routing Problem)	22
2.3.4 Το ανοιχτό κλειστό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Close-Open Vehicle Routing Problem)	23
2.3.5 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με μόνο περιορισμό τον χρόνο μετάβασης	23
2.3.6 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμούς χωρητικότητας και χρονικά παράθυρα (Vehicle Routing Problem with Time Windows).....	24

2.3.7 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της διαδρομής (Vehicle Routing Problem with Backhauls and Linehauls)	25
2.3.8 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά τη διάρκεια της διαδρομής (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery)	26
2.3.9 Το στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands).....	27
2.3.10 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ύπαρξη πολλαπλών αποθηκών (Multidepot Vehicle Routing).....	27
2.4 Το Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Dynamic Vehicle Routing Problem)	29
2.5 Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος.....	32
2.5.1 Ορισμός μεταβλητών.....	32
2.5.2 Διατύπωση των περιορισμών	32
2.5.3 Μοντελοποίηση δυναμικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων	34
Κεφάλαιο 3 Εισαγωγή στους αλγορίθμους επίλυσης.....	36
3.1 Εισαγωγή	36
3.2 Ευρετικοί αλγόριθμοι	36
3.2.1 Αλγόριθμοι απληστίας.....	37
3.2.2 Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι.....	39
3.2.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης.....	39
3.3 Μεθευρετικοί αλγόριθμοι.....	40
3.4 Εξελικτικοί και εμπνευσμένοι από την φύση αλγόριθμοι.....	41
3.4.1 Εξελικτικοί αλγόριθμοι	41
3.4.2 Αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από την φύση	42
3.5 Παρουσίαση των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν για να λυθεί το πρόβλημα του δυναμικού προγραμματισμού	43
3.5.1 Αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα (Nearest Neighborhood Algorithm)	43
3.5.2 Αλγόριθμος 2-opt και 3-opt.....	44
3.5.3 Αλγόριθμος 1-1 exchange	46
3.5.4 Αλγόριθμος προσομοιωμένης απόπτησης	47

Κεφάλαιο 4 Επίλυση του δυναμικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και ανάλυση αποτελεσμάτων	50
4.1 Δεδομένα και περιορισμοί του προβλήματος.....	50
4.2 Ιδέα και τρόπος λύσης του προβλήματος	51
4.3 Περιπτώσεις και ανάλυση αποτελεσμάτων	53
4.3.1 Περίπτωση 1: Λύση με 100% στις αρχικές διαδρομές.....	55
4.3.2 Περίπτωση 2: Λύση με 66% στις αρχικές διαδρομές (1) 9 οχήματα	56
4.3.3 Περίπτωση 3: Λύση με 66% στις αρχικές διαδρομές (2) 8 οχήματα	59
4.3.4 Περίπτωση 4: 10 οχήματα	61
4.3.5 Περίπτωση 5: 11 οχήματα	66
4.3.6 Περίπτωση 6: 11 οχήματα (2)	69
4.3.7 Περίπτωση 7: 12 οχήματα	71
4.3.8 Περίπτωση 8: 13 οχήματα	73
4.3.9 Περίπτωση 9: 14 οχήματα	76
4.3.10 Περίπτωση 10: 15 οχήματα	81
4.3.11 Περίπτωση 11: Λύση με 60% στις αρχικές διαδρομές	84
4.3.12 Περίπτωση 12: Λύση με 70% στις αρχικές διαδρομές	87
4.3.13 Περίπτωση 13: Λύση με 75% στις αρχικές διαδρομές	89
4.3.14 Περίπτωση 14: Λύση με 80% στις αρχικές διαδρομές	93
4.4 Συμπεράσματα	95
Βιβλιογραφία	97

Αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης για το Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (DVRP).

Σφηναρολάκης Γ.
(Επιβλέπων: Δρ. Μαρινάκης Ι.)

Περίληψη

Η διαδρομή που θα ακολουθήσει ένα όχημα για την εξυπηρέτηση των εκάστοτε πελατών είναι απαραίτητο να είναι η βέλτιστη, και για τον εξυπηρετούμενο αλλά και τον εξυπηρετητή. Όσο αφορά τον εξυπηρετούμενο, η βέλτιστη διαδρομή θεωρείται η πιο σύντομη και γρήγορη ενώ για τον εξυπηρετητή θεωρείται η πιο οικονομική. Για αυτόν τον λόγο έχουν δημιουργηθεί διάφορες μέθοδοι βελτιστοποίησης διαδρομών που συνδυάζουν τις παραπάνω απαιτήσεις για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την βέλτιστη δρομολόγηση οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, με περιορισμό όμως την χωρητικότητα του οχήματος αλλά και του χρόνου που το όχημα διαθέτει για να εξυπηρετήσει. Στόχος είναι η δημιουργία διαδρομών που να μην καταπατούν τους περιορισμούς αλλά ταυτόχρονα να αποφέρουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Αρχικά γίνεται χρήση αλγορίθμου αρχικής λύσης ο οποίος έχει σκοπό την δημιουργία μιας αρχικής διαδρομής χωρίς όμως αυτή να είναι η βέλτιστη. Η διαδρομή αυτή είναι απαραίτητη καθώς οι επόμενοι αλγόριθμοι θα την χρησιμοποιήσουν ως δεδομένο με στόχο να την φέρουν στην βέλτιστη κατάσταση. Έπειτα, χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι τοπικής αναζήτησης με σκοπό την βελτιστοποίηση της αρχικής λύσης.

Στην συνέχεια, οι ήδη δημιουργημένες διαδρομές ανακατασκευάζονται καθώς υπάρχει ζήτηση σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή νέοι πελάτες απαιτείται να εξυπηρετηθούν (έκτακτη εξυπηρέτηση) ενώ το όχημα βρίσκεται ήδη στην διαδρομή.

Τέλος, γίνεται βελτίωση της παραπάνω λύσης με την μέθοδο της προσομοιωμένης ανόπτησης με σκοπό την εύρεση μιας νέας διαδρομής με το ελάχιστο δυνατό κόστος η οποία θα είναι και η τελική διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα οχήματα.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία είναι ο πλησιέστερος γείτονας, ο 2-opt, ο 1-1 exchange καθώς και η μέθοδος προσομοιωμένης ανόπτησης. Με αυτές τις προσεγγίσεις ο φόρτος εργασίας και ο υπολογιστικός φόρτος μειώνονται σημαντικά, καθιστώντας τον αλγόριθμο που δημιουργήθηκε ικανό να εφαρμοσθεί σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή ικανό να επεξεργάζεται τα δεδομένα προκειμένου να ληφθεί η λύση/διαδρομή μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στην εφοδιαστική αλυσίδα

1.1 Έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα (Supply Chain) είναι ένα σύνολο από οργανώσεις που συνδέονται άμεσα με μία ή περισσότερες ανοδικές (upstream) και καθοδικές (downstream) ροές προϊόντων, υπηρεσιών, χρηματοοικονομικών υπηρεσιών και πληροφοριών από μια πηγή σε έναν πελάτη. Αυτό το σύστημα οργάνωσης αποτελείται από τους προμηθευτές, τις μονάδες παραγωγής των προϊόντων, τις αποθήκες των προϊόντων, τα κέντρα διανομής, τους πωλητές καθώς και τους καταναλωτές.

Οι Sunil και Meindl (2001) έδωσαν τον ορισμό «η εφοδιαστική αλυσίδα είναι δυναμική και περιλαμβάνει την συνεχή ροή πληροφορίας, προϊόντων και κεφαλαίου μεταξύ διαφόρων σταδίων. Κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας εκτελεί διαφορετικές διεργασίες και αλληλοεπιδρά με τα υπόλοιπα στάδια της».

Σε στρατηγικό επίπεδο οι Fandel and Stammen (2004) ορίζουν την εφοδιαστική αλυσίδα ως την διαδικασία επανεξέτασης, από μία επιχείρηση (κυρίως διεθνούς εμβέλειας) των σχέσεων της με τους προμηθευτές και τους πελάτες της, με σκοπό την εκκίνηση νέων επιχειρηματικών πεδίων.

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 Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management)

Η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας (ΔΕΑ) είναι η διαχείριση ενός δικτύου εσωτερικά συνδεδεμένων επιχειρήσεων που συμμετέχουν στην απώτερη παροχή πακέτων προϊόντων και υπηρεσιών, τα οποία απευθύνονται στους τελικούς καταναλωτές (Harland, 1996). Η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας εκτείνεται σε όλη τη διαδικασία μεταφοράς και αποθήκευσης των πρώτων υλών, και ολοκληρωμένων αγαθών από τα σημεία προέλευσης προς τα σημεία κατανάλωσης.

Η Διοίκηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία και αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας επικεντρώνοντας (α) στην λήψη αποφάσεων σχετικά με την δομή της εφοδιαστικής αλυσίδας, (β) στον συντονισμό της κυκλοφορίας των αγαθών και την παροχή των υπηρεσιών και (γ) στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών της αλυσίδας εφοδιασμού.

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 επιχείρηση¹⁰.

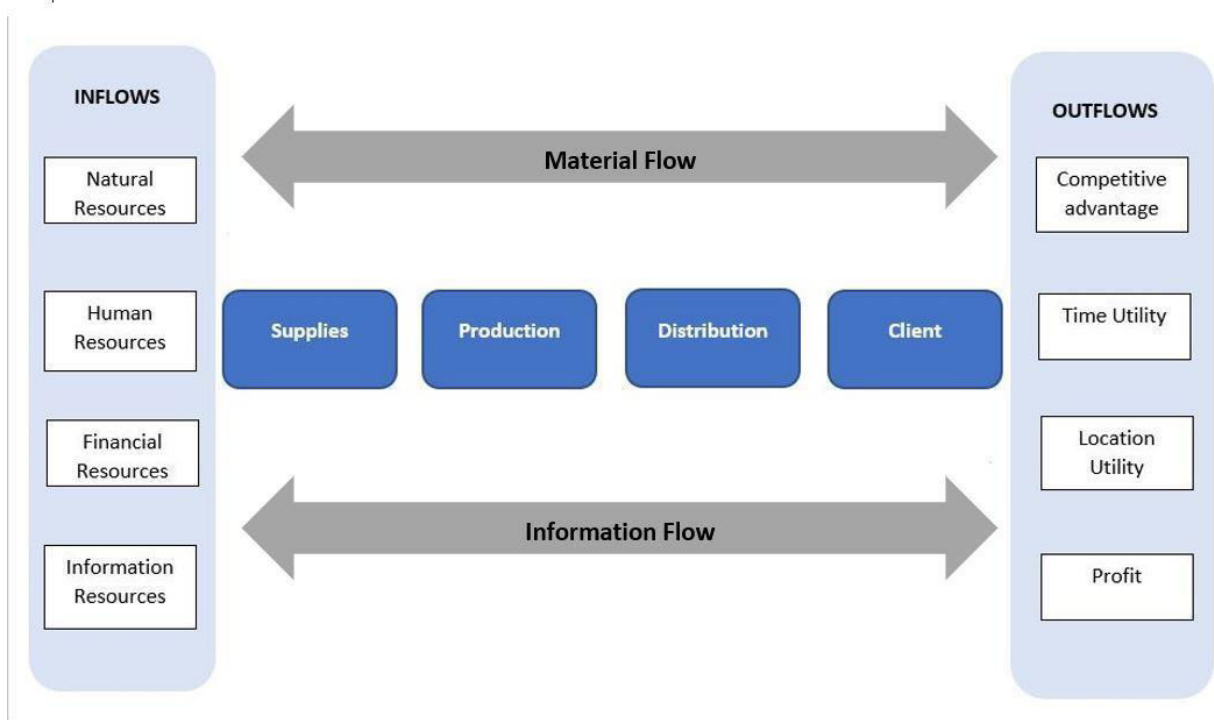
Για να συμβούν τα παραπάνω είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα δυναμικό και αλληλεξαρτώμενο σύστημα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τις εισερχόμενες ροές, τις εξερχόμενες ροές καθώς και τις διαδικασίες που εκτελούνται με σκοπό την παράδοση του προϊόντος στον πελάτη.

Οι εισερχόμενες ροές αποτελούνται από:

- Φυσικούς πόρους.
- Ανθρώπινο δυναμικό.
- Οικονομικούς πόρους.
- Πληροφοριακούς πόρους.

Οι εξερχόμενες ροές αποτελούνται από:

- Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.
- Χρησιμότητα χρόνου.
- Χρησιμότητα τόπου.
- Κερδοφορία.



1.2.1 Ανάλυση διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας

Ο βέλτιστος σχεδιασμός και η σωστή διαχείριση μια αποδοτικής εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί οργάνωση πληροφοριών, συνεχή και επαρκή παρακολούθηση των διαδικασιών παραγωγής καθώς και συνεχή και ασφαλή επικοινωνία με το εξωτερικό περιβάλλον.

Η ορθολογική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί κρίσιμο κομμάτι της επιχείρησης καθώς την καθιστά ανταγωνιστική. Η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αποτελείται από πολλά επίπεδα. Τα δύο κυριότερα είναι αυτό του προγραμματισμού και της εκτέλεσης.

- Προγραμματισμός: Πρόβλεψη ζήτησης βασιζόμενη σε παλαιότερα δεδομένα πωλήσεων και προμηθειών.
- Εκτέλεση: Εφαρμογή του σχεδίου που έχει δημιουργηθεί με βάση τον προγραμματισμό που έχει γίνει, το οποίο παρακολουθείται και ελέγχεται καθ' όλη την διάρκεια της εκτέλεσης.

1.3 Λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας

Οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις κύριες και τις υποστηρικτικές.

Οι κύριες λειτουργίες: είναι οι διεργασίες οι οποίες δαπανούν περισσότερο χρόνο για την επιχείρηση αλλά είναι και αυτές που έχουν την μεγαλύτερη βαρύτητα στην απόδοση της αλυσίδας. Αυτές είναι:

- Οι μεταφορές
- Η επεξεργασία των παραγγελιών
- Η διαχείριση των αποθεμάτων

Οι υποστηρικτικές λειτουργίες: είναι οι διεργασίες που είναι απαραίτητες για την ολοκλήρωση των κύριων λειτουργιών ενώ παράλληλα στηρίζει η μία την άλλη. Αυτές είναι:

- Διακίνηση υλικών
- Προγραμματισμός παραγωγής
- Πληροφοριακή υποστήριξη
- Αποθήκευση
- Προμήθειες
- Προστατευτική συσκευασία

Οι λειτουργίες αλληλεξαρτούνται με σκοπό την αποδοτική λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Εικόνα 1.3.1 Λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας².

Αναλυτικότερα, η εύρεση του βέλτιστου μονοπατιού μεταφοράς προϊόντων από την αποθήκη προς του πελάτες με βάση το ελάχιστο κόστος και τους περιορισμούς που έχει το όχημα είναι μια από τις κύριες αποφάσεις που πρέπει να παρθούν για να λειτουργήσει σωστά και αποδοτικά η εφοδιαστική αλυσίδα. Επίσης, πολύ σημαντική είναι και η συνεχής παρακολούθηση των αποθεμάτων σε συνδυασμό με την επεξεργασία των παραγγελιών έτσι ώστε να μην δημιουργηθεί καμία έλλειψη στην αποθήκη και ταυτόχρονα να ικανοποιηθούν οι πελάτες.

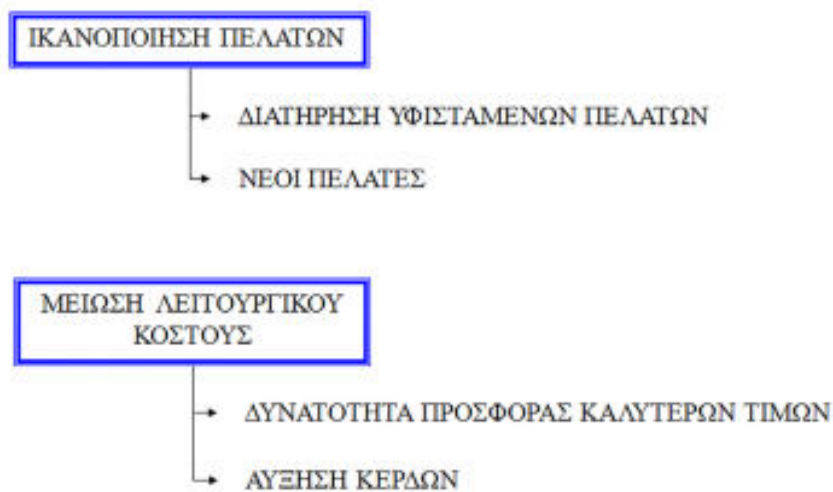
Ο σημαντικότερος στόχος της επιχείρησης είναι η ικανοποίηση των πελατών της, οπότε μια ορθολογική και αξιόπιστη εφοδιαστική αλυσίδα επιφέρει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, ελαχιστοποιεί το κόστος ενώ παράλληλα συνεισφέρει στην κερδοφορία της επιχείρησης.

1.4 Στόχοι της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα επιδιώκει της ικανοποίηση των επιχειρησιακών στόχων με το μικρότερο δυνατό κόστος. Όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα βασικός επιχειρησιακός στόχος είναι η ικανοποίηση των πελατών. Όπως έχει αναφέρει και ο Gattorna το 1997, «η εφοδιαστική αλυσίδα επιδιώκει να βρίσκεται το «σωστό προϊόν, στη σωστή ποσότητα και ποιότητα, στον σωστό τόπο, στον σωστό χρόνο, με το σωστό (ελάχιστο δυνατό) κόστος».

Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι οι βασικοί στόχοι της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι:

1. Η ικανοποίηση των πελατών
2. Η μείωση του κόστους



Εικόνα 1.4.1 Οι βασικοί στόχοι της εφοδιαστικής αλυσίδας

Πέρα από τους βασικούς στόχους της εφοδιαστικής αλυσίδας υπάρχουν και οι επιμέρους στόχοι.

Ένας από αυτούς είναι η επίτευξη υψηλού επιπέδου εξυπηρέτησης σε συνδυασμό με την σωστή διαχείριση αποθεμάτων. Τα αποθέματα είναι αναγκαία για την εξυπηρέτηση των πελατών αλλά ταυτόχρονα τα υψηλά αποθέματα ισοδυναμούν με μεγάλο κόστος συντήρησης ενώ παράλληλα τα χαμηλά αποθέματα επιφέρουν υψηλό κίνδυνο έλλειψης. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την χρήση τεχνικών έγκυρης και έγκαιρης πρόβλεψης της ζήτησης.

Επιπλέον στόχος είναι η διασφάλιση και ο έλεγχος της ποιότητας των υπηρεσιών. Έχοντας δεδομένη ποιότητα από την διαδικασία παραγωγής ο

στόχος της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να διατηρηθεί η ποιότητα αυτή μέχρι την παράδοση στον πελάτη. Η ποιότητα του προϊόντος είναι ένα από τα κρίσιμα ζητήματα που επηρεάζουν την ακεραιότητα της επιχείρησης, υπάρχουν στοιχεία στην εφοδιαστική αλυσίδα που έχουν ως στόχο την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας στις υπηρεσίες της επιχείρησης. Αυτές είναι:

- Διαθεσιμότητα. Η ικανότητα της επιχείρησης να έχει πάντα το σωστό απόθεμα του κάθε προϊόντος.
- Δυναμικότητα. Η ικανότητα της επιχείρησης να μεταφέρει, μέσα στα χρονικά περιθώρια που διαθέτει, το προϊόν.
- Συνέπεια. Η δυνατότητα να γίνονται τα παραπάνω επί καθημερινής βάσεως χωρίς λάθη.

1.5 Οφέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας

Όπως έχει γίνει γνωστό μέχρι στιγμής, η εφοδιαστική αλυσίδα είναι αναπόσπαστο κομμάτι της επιχείρησης και είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων της. Μερικά από τα οφέλη της είναι⁴:

- Μείωση λειτουργικών εξόδων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ένας από τους στόχους της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η μείωση του λειτουργικού κόστους. Αυτό επιτυγχάνεται με την έγκαιρη παράδοση των προϊόντων καθώς και με την σωστή διαχείριση των αποθεμάτων. Παράλληλα μειώνει και το κόστος παραγωγής με την αγορά κατάλληλων ποσοτήτων πρώτων υλών.
- Δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Η βελτίωση της χρηματοοικονομικής θέσης της επιχείρησης με την μείωση των εξόδων δημιουργείται ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.
- Ενθάρρυνση εξυπηρέτησης πελατών. Κύριος στόχος την εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η ικανοποίηση των πελατών. Αυτό επιτυγχάνεται με την σωστή διανομή των προϊόντων και την κατάλληλη ποιότητα.

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δυναμικό σύστημα το οποίο εξελίσσεται και αλλάζει συνεχώς έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του περιβάλλοντος. Οι στόχοι της και κυρίως η αποτελεσματικότητα της είναι ο λόγος που έχει διαδοθεί τόσο. Με την ορθολογική διαχείριση και την

ολοκληρωμένη εφαρμογή της εφοδιαστικής αλυσίδας η επιχείρηση έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στο ανταγωνιστικό περιβάλλον.

1.6 Προβλήματα που αντιμετωπίζει η εφοδιαστική αλυσίδα

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα η εφοδιαστική αλυσίδα εξελίσσεται συνεχώς με τις αλλαγές που γίνονται στο περιβάλλον. Η τεχνολογική πρόοδος έχει επιβάλλει νέες τάσεις στην αγορά αναγκάζοντας και την εφοδιαστική αλυσίδα να εξελιχθεί αναλόγως. Οι τιμές των προϊόντων έχουν σημειώσει αύξηση έχοντας σαν αποτέλεσμα για τις επιχειρήσεις την έκκληση για μείωση των λειτουργικών εξόδων. Δημιουργείται έτσι μια ανάγκη για μια παγκόσμια δημιουργία καναλιών τα οποία θα έχουν ως αποτέλεσμα την ταυτόχρονη μείωση των εξόδων αλλά και την αύξηση της ποιότητας παραγωγής. Μερικές τέτοιες υπηρεσίες είναι οι διανομές κατ' οίκων, η δυνατότητα παρακολούθησης της παραγγελίας (tracking), καθώς και η δυνατότητα επιστροφής των προϊόντων (reverse supply chain).

Ένας δεύτερος τομέας που απασχολεί την εφοδιαστική αλυσίδα είναι η βιωσιμότητα και η προστασία του περιβάλλοντος. Τέτοια προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με χρήση μέσων με χαμηλή κατανάλωση καθώς και χρήση ανακυκλωμένων υλικών.

Τέλος, ένας παράγοντας που επηρέασε πολύ την εφοδιαστική αλυσίδα ήταν και είναι ο κορονοϊός και ο τρόπος που αντιμετωπίστηκε στις περισσότερες χώρες. Η επιβολή των lockdown είχε τεράστιο αντίκτυπο στην αποδοτική λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστόν αγοράς προϊόντων γινόταν διαδικτυακά με αποτέλεσμα οι διανομές των προϊόντων να υποστούν καθυστερήσεις. Όμως, όλα τα παραπάνω συνέβησαν πολύ πρόσφατα και δεν έχουν συγκροτηθεί αρκετά δεδομένα για να γίνει εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων. Το σίγουρο είναι ότι η εφοδιαστική αλυσίδα εξελίσσεται συνεχώς για να αντιμετωπίζει τέτοιου είδους προβλήματα.

Κεφάλαιο 2

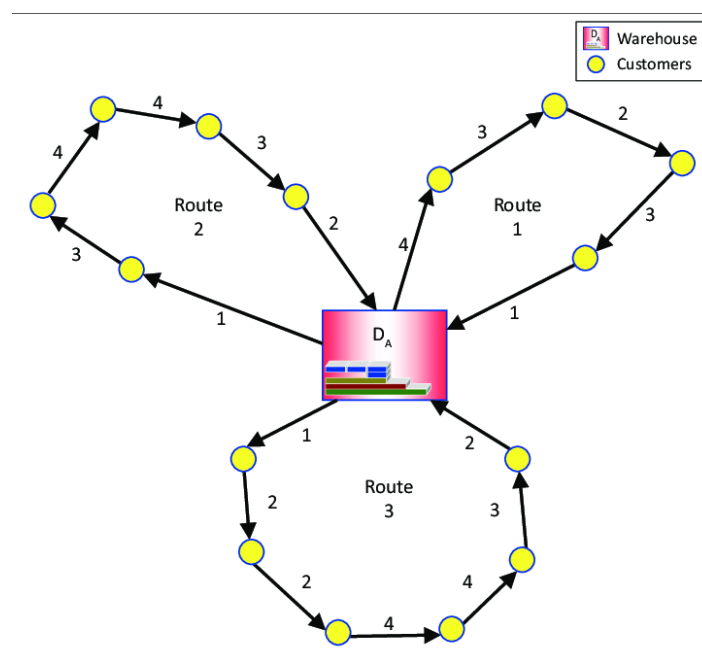
Το δυναμικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν περιγραφικά, διάφορα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων και θα αναλυθούν τα κυριότερα από αυτά. Μέσα σε αυτά θα αναφερθεί και το δυναμικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, το οποίο θα αναλυθεί πολύ πιο αναλυτικά στην συνέχεια μαζί με τους περιορισμούς που πάρθηκαν τα δεδομένα που υπήρχαν αλλά και τα αποτελέσματα που δημιουργήθηκαν.

2.2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem)

Η δρομολόγηση οχημάτων παρουσιάζεται ως το πρόβλημα ανάθεσης συγκεκριμένων διαδρομών σε συγκεκριμένο αριθμό οχημάτων, με στόχο την παράδοση των προϊόντων από την αποθήκη στους πελάτες. Το πρόβλημα έχει ως δεδομένα συνήθως τους πελάτες, τα οχήματα και τις αποθήκες. Η διανομή των προϊόντων γίνονται μέσω οδικών δικτύων τα οποία είναι γνωστά.



Εικόνα 2.2.1 Αναπαράσταση διαδρομών

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2.1, οι πελάτες αναφέρονται σαν κόμβοι και τα τόξα αναπαριστούν την κίνηση του οχήματος. Για παράδειγμα η διαδρομή 1 (route 1) ξεκινάει από την αποθήκη επισκέπτεται 4 πελάτες και επιστρέφει στην αποθήκη. Τα νούμερα πάνω από τα τόξα αναφέρονται στο κόστους της εκάστοτε διαδρομής.

2.2.1 Τα βασικά χαρακτηριστικά των διαδρομών

Οι διαδρομές θα πρέπει να πληρούν ορισμένα χαρακτηριστικά. Αυτά είναι:

- Η κάθε διαδρομή πρέπει να έχει ως αφετηρία την αποθήκη.
- Το σύνολο των διαδρομών θα πρέπει να καλύπτει πλήρως την ζήτηση των πελατών.
- Η κάθε διαδρομή θα πρέπει να τηρεί τους περιορισμούς, οι οποίοι αναλύονται αργότερα.
- Στόχος είναι η εύρεση διαδρομών που να καλύπτει τις παραπάνω προϋποθέσεις με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

2.2.2 Τα δεδομένα του προβλήματος

Για να μπορέσει να λυθεί το παραπάνω πρόβλημα χρειάζεται να υπάρχουν πληροφορίες που αφορούν τους πελάτες, τις αποθήκες καθώς και τα οχήματα. Αυτές είναι:

- Για τους πελάτες:
 - Η τοποθεσία του πελάτη.
 - Η ζήτηση που έχει ο πελάτης, δηλαδή η ποσότητα αγαθών που χρειάζεται.
 - Τα χρονικά διαστήματα που μπορεί να εξυπηρετηθεί (time windows).
 - Ο χρόνος εξυπηρέτησης του πελάτη.
- Για τις αποθήκες:
 - Η τοποθεσία της αποθήκης.
 - Η χωρητικότητα της αποθήκης.
 - Τα οχήματα που μπορεί να φιλοξενήσει.

- Για τα οχήματα:
 - Η χωρητικότητα του οχήματος.
 - Το πλήθος των διαθέσιμων οχημάτων.
 - Το λειτουργικό τους κόστος.

Γνωρίζοντας τις παραπάνω πληροφορίες μπορεί να λυθεί το πρόβλημα με μεγάλη επιτυχία, καθώς είναι βασικές παράμετροι που είναι απαραίτητοι για την δημιουργία των βέλτιστων διαδρομών.

2.2.3 Οι περιορισμοί του προβλήματος

Οι περιορισμοί που θέτονται είναι κι αυτοί που καθορίζουν το πρόβλημα και το αναθέτουν στις κατηγορίες που θα αναλυθούν αργότερα. Οι περιορισμοί μπορούν να αναφέρονται είτε στους πελάτες, είτε στα προϊόντα αλλά και στα οχήματα. Μερικές κατηγορίες που μπορεί να σχετίζονται οι περιορισμοί είναι:

- Περιορισμός σχετικά με το είδος εξυπηρέτησης.
- Περιορισμός σχετικά με τον αριθμό των οχημάτων που είναι διαθέσιμα.
- Χρονικοί περιορισμοί.
- Η σειρά επίσκεψης των πελατών.
- Περιορισμός σχετικά με την χωρητικότητα των οχημάτων.

Οι περιορισμοί που μπορούν να τεθούν είναι πολλοί αλλά μία ορθολογική διαχείρισή τους μπορεί να φέρει εις πέρας το πρόβλημα σε συνδυασμό με τις απαραίτητες προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.

2.2.4 Το κόστος των διαδρομών

Το κόστος της κάθε διαδρομής υπολογίζεται συνήθως με το άθροισμα δύο επιμέρους κοστών. Το ένα είναι το κόστος της διαδρομής από τον κόμβο i στον κόμβο j , δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταφερθεί το όχημα από τον έναν πελάτη στον άλλο. Το δεύτερο κόστος που υπολογίζεται είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να εξυπηρετηθεί ο πελάτης. Ο χρόνος δηλαδή που

κάνει ο οδηγός από την στιγμή που θα φτάσει στον πελάτη μέχρι την στιγμή που θα αναχωρήσει για τον επόμενο. Το άθροισμα αυτών των κοστών μας δίνει το συνολικό κόστος της διαδρομής. Πολλές φορές υπολογίζουμε και το λειτουργικό κόστος του οχήματος.

2.2.5 Στόχοι για την επίλυση του προβλήματος

Όπως έχει προαναφερθεί, κυριότερος στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους σε συνδυασμό με την πλήρη ικανοποίηση των πελατών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιλογή βέλτιστων αριθμό οχημάτων έτσι ώστε να επιτευχθούν οι παραπάνω προϋποθέσεις. Επίσης, θεωρείται σημαντική η εξομάλυνση της λύσης. Δηλαδή, οι διαδρομές να έχουν κοινά στοιχεία, να έχουν δηλαδή παρόμοιο κόστος και να μεταφέρουν παρόμοιες ποσότητες προϊόντων.

2.3 Βασικά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων

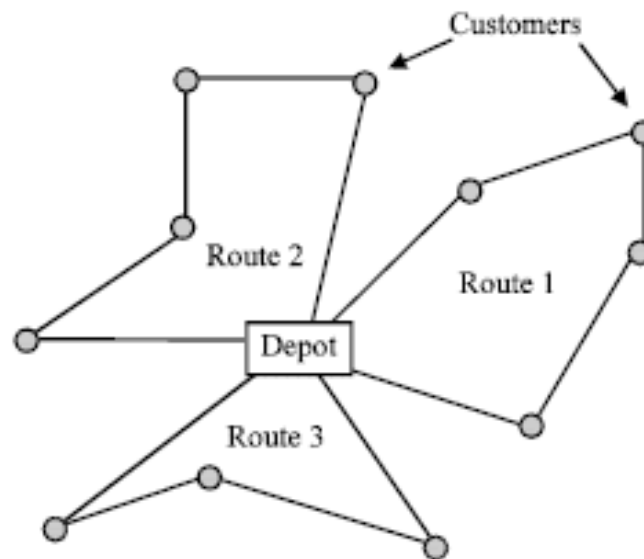
2.3.1 Το περιορισμένης χωρητικότητας Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Capacitated Vehicle Routing Problem)

Το περιορισμένης χωρητικότητας πρόβλημα περιέχει όλες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι απαραίτητη η χρήση πολλών οχημάτων. Αυτό συμβαίνει για λόγους όπως:

1. Η συνολική ζήτηση των πελατών υπερβαίνει την δυναμικότητα του οχήματος.
2. Η ζήτηση πρέπει να ικανοποιηθεί μέσα σε ορισμένα χρονικά περιθώρια που είναι αδύνατον να επιτευχθούν με ένα όχημα.
3. Η ζήτηση διαφόρων πελατών αφορά διαφορετικά προϊόντα τα οποία δεν γίνεται να αναμειχθούν.

Για τους παραπάνω λόγους δημιουργούνται πολλαπλές διαδρομές που θα καλύψουν την συνολική ζήτηση με επιτυχία. Οι διαδρομές αυτές έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

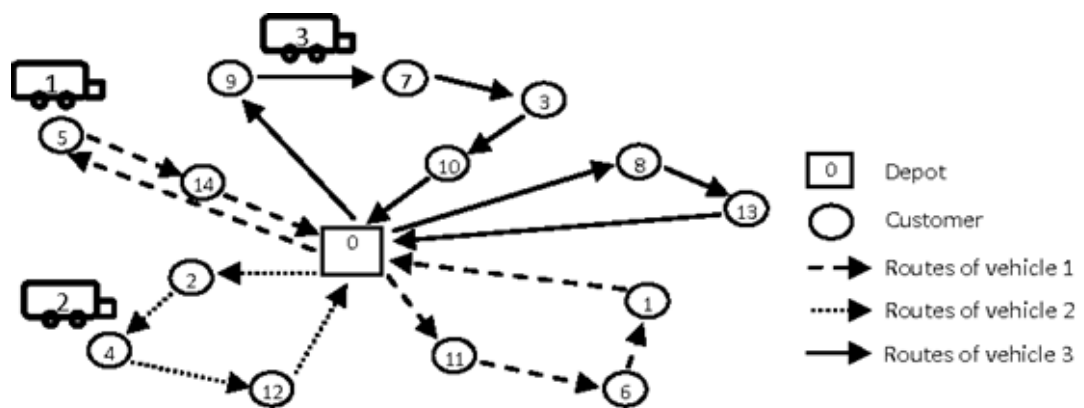
- Κάθε διαδρομή ξεκινά από την αποθήκη και γυρνάει σε αυτή μετά την ολοκλήρωσή της.
- Η ζήτηση της κάθε διαδρομής δεν μπορεί να ξεπερνάει την χωρητικότητα του οχήματος.
- Κάθε πελάτης εξυπηρετείται μία φορά.
- Πρέπει να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες.



Εικόνα 2.3.1.1 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων περιορισμένης χωρητικότητας

2.3.2 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές επιστροφές στην αποθήκη (Multitrip Vehicle Routing Problem)

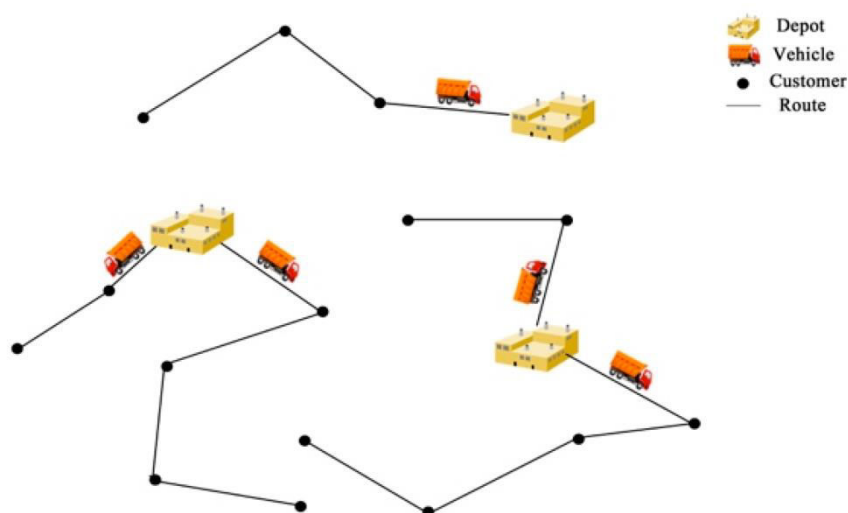
Στα περισσότερα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων, στα οχήματα επιτρέπεται μία μόνο διαδρομή. Αυτό συμβαίνει διότι η φόρτωση των οχημάτων και οι αποστάσεις που διανύουν συνήθως καλύπτουν ολόκληρο τον χρόνο που έχει στην διάθεσή του το όχημα σε μια εργάσιμη μέρα. Όμως όταν ο χρονικός ορίζοντας είναι πολύ μεγάλος υπάρχει δυνατότητα χρήσης οχήματος για πάνω από μία διαδρομές.



Εικόνα 2.3.2.1 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές επιστροφές στην αποθήκη (Multitrip Vehicle Routing Problem)

2.3.3 Το ανοιχτό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Open Vehicle Routing Problem)

Το πρόβλημα ονομάζεται ανοιχτό καθώς τα οχήματα δεν επιστρέφουν στην αποθήκη. Όταν η ζήτηση είναι υπερβολικά μεγάλη και η επιχείρηση δεν μπορεί να καλύψει την ζήτηση με τα δικά της οχήματα αναγκάζεται να νοικιάσει οχήματα από έναν εξωτερικό συνεργάτη. Έτσι μετά την εξυπηρέτηση των πελατών τα όχημα δεν χρειάζεται να επιστρέψουν στην αποθήκη. Με την απεικόνιση του προβλήματος γίνεται κατανοητό και το όνομα που του έχει δοθεί.

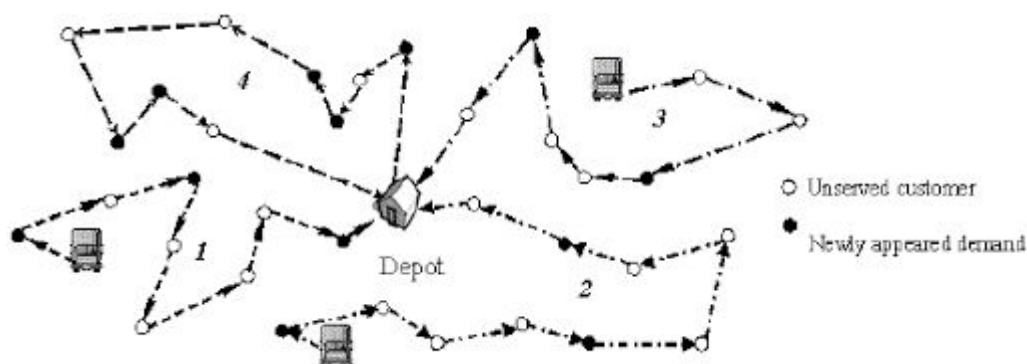


Εικόνα 2.3.3.1 Το ανοιχτό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων

2.3.4 Το ανοιχτό κλειστό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Close-Open Vehicle Routing Problem)

Το πρόβλημα αυτό αποτελεί μια παραλλαγή του ανοιχτού προβλήματος δρομολόγησης οχήματος που αναλύθηκε προηγούμενα. Εδώ υπολογίζεται η περίπτωση το όχημα να έχει χρόνο να επιστρέψει στην αποθήκη, να ξεφορτώσει και έπειτα να γυρίσει στον συνεργάτη από τον οποίο νοικιάστηκε.

Επίσης μια δεύτερη περίπτωση, και πολύ ενδιαφέρουσα, είναι η περίπτωση να υπάρχουν τόσο νοικιαστικά οχήματα όσο και ιδιόκτητα. Στην περίπτωση αυτή τα οχήματα που είναι ιδιόκτητα επιστρέφουν στην αποθήκη της επιχείρησης ενώ τα ενοικιαζόμενα επιστρέφουν στην επιχείρησή τους.



Εικόνα 2.3.4.1 Το ανοιχτό κλειστό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων

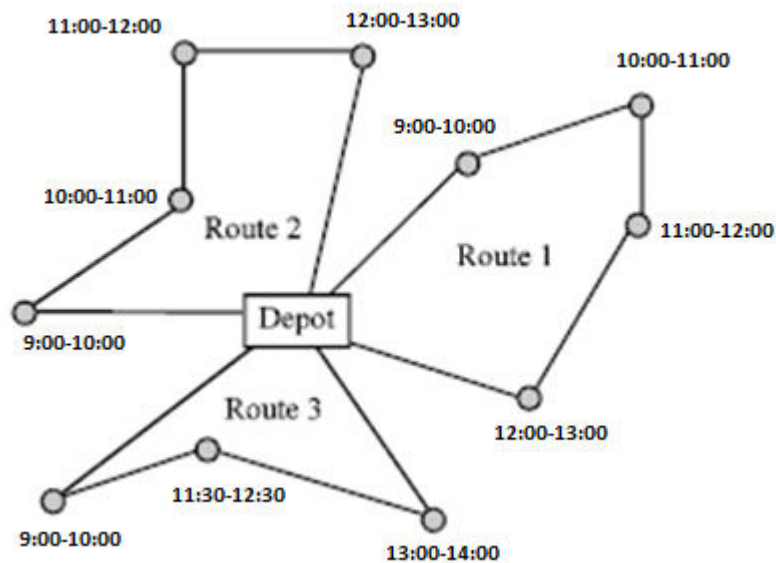
2.3.5 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με μόνο περιορισμό τον χρόνο μετάβασης

Το πρόβλημα αυτό έχει σαν μοναδικό περιορισμό τον χρόνο μετάβασης από τον έναν πελάτη στον άλλον ή από την αποθήκη στον πελάτη. Στην πράξη αυτά τα προβλήματα μοντελοποιούν την εξυπηρέτηση από τεχνικούς, όπως ηλεκτρολόγους κτλ..

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

Το πρόβλημα αυτό είναι συνδυασμός δύο προβλημάτων που αναπτύχθηκαν νωρίτερα. Το περιορισμένης χωρητικότητας και το πρόβλημα δρομολόγησης με μόνο περιορισμό τον χρόνο μετάβασης. Στην περίπτωση αυτή προστίθεται άλλος ένας περιορισμός, αυτός που θέτει είτε ο πελάτης είτε η επιχείρηση και αφορά την χρονική περίοδο που θα μπορεί να γίνει η εξυπηρέτηση. Με αυτόν τον τρόπο η εξυπηρέτηση πρέπει να γίνει μέσα στα χρονικά περιθώρια που έχουν τεθεί.

Τα χρονικά περιθώρια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα χαλαρά και τα σκληρά. Στην πρώτη περίπτωση όταν το όχημα φτάσει πιο νωρίς στον πελάτη έχει την δυνατότητα να τον εξυπηρετήσει, ενώ αντίθετα στην δεύτερη περίπτωση πρέπει να περιμένει να έρθει η χρονική στιγμή που έχει τεθεί για να ξεκινήσει την εξυπηρέτηση.



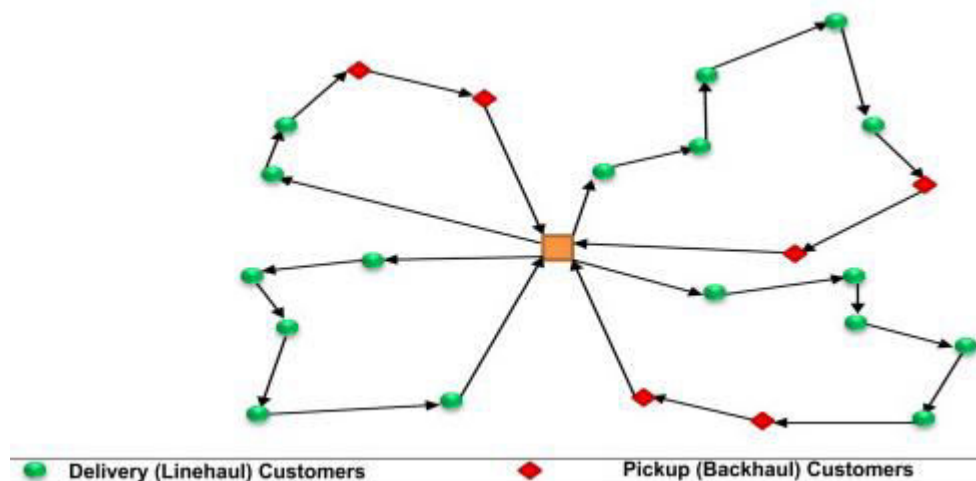
Εικόνα 2.3.6.1 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμούς χωρητικότητας και χρονικά παράθυρα

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

Στο πρόβλημα αυτό οι πελάτες χωρίζονται σε δύο υποσύνολα. Στους πελάτες που απαιτούν την διανομή προϊόντων και στους πελάτες όπου ο καθένας εξ' αυτών απαιτεί μια ποσότητα του προϊόντος να περισυλλεχθεί από αυτόν.

Το πρόβλημα πρέπει να καθορίσει ένα σύνολο από διαδρομές για ένα δεδομένο σύνολο οχημάτων που πρέπει να επισκεφθούν όλους τους πελάτες. Για αυτό το πρόβλημα πέρα από τους περιορισμούς που έχουν αναφερθεί παραπάνω που ισχύουν για όλα τα προβλήματα ισχύουν επίσης και τα εξής:

- Κάθε πελάτης επισκέπτεται από έναν μόνο κύκλο.
- Πρώτα εξυπηρετούνται οι πελάτες που απαιτούν διανομή και έπειτα οι πελάτες που απαιτούν περισυλλογή.
- Δεν επιτρέπονται διαδρομές μόνο με πελάτες περισυλλογής.



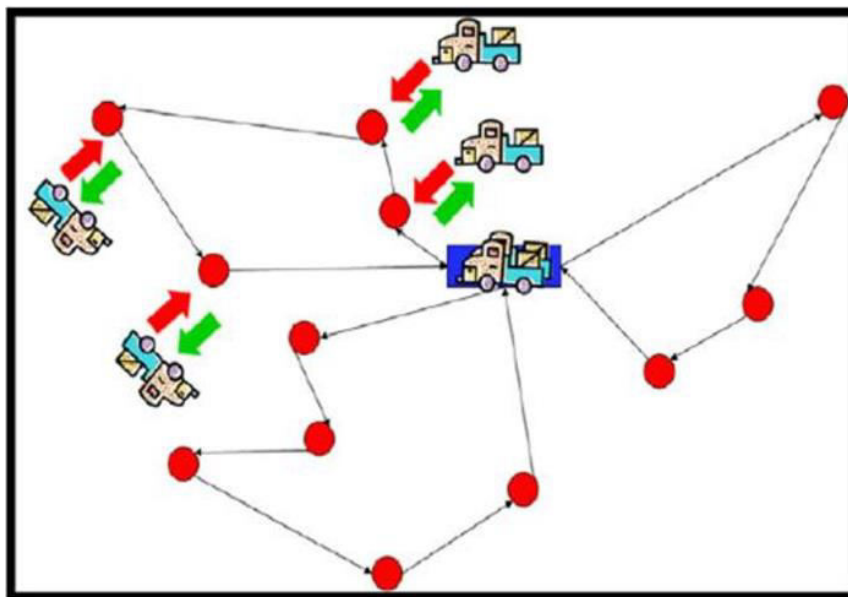
Εικόνα 2.3.7.1 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της διαδρομής

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

Το πρόβλημα περιλαμβάνει διαδρομές και παραλαβές από τους πελάτες κατά την διάρκεια της διαδρομής. Η διαφορά από το προηγούμενο πρόβλημα είναι ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση ένας πελάτης μπορεί να χρειάζεται και διανομή αλλά και παραλαβή ενός προϊόντος, κάτι που στο προηγούμενο πρόβλημα απαγορευόταν από τους περιορισμούς.

Ένας πολύ βασικός περιορισμός στο πρόβλημα αυτό είναι ότι σε κάθε πελάτη η διανομή των προϊόντων γίνεται πριν την παραλαβή για να αποφευχθεί η υπέρβαση του περιορισμού της χωρητικότητας τους οχήματος.

Προφανώς με αυτήν την αλλαγή το πρόβλημα γίνεται πιο περίπλοκο σε σχέση με το προηγούμενο. Για αυτόν τον λόγο ένας τρόπος να απλοποιηθεί η λύση του είναι να θεωρηθεί ότι όλοι οι πελάτες έχουν και διανομή και παραλαβή και στην περίπτωση που δεν έχει μία από τις δύο απαιτήσεις η αντίστοιχη μεταβλητή γίνεται μηδέν.



Εικόνα 2.3.8.1 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά τη διάρκεια της διαδρομής

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

Σε πραγματικές συνθήκες οι πληροφορίες που είναι γνωστές είναι πιθανό να μεταβάλλονται με τον χρόνο ή να είναι ελλιπής. Για παράδειγμα, κατά την διάρκεια της διαδρομής να γίνει αλλαγή στην τοποθεσία παράδοσης ή στον χρονικά παράθυρα λόγω απροόπτου του πελάτη. Επίσης, τις περισσότερες φορές οι πληροφορίες για την ζήτηση είναι εκτιμήσεις μέσω μαθηματικών μοντέλων με βάση προηγούμενα δεδομένα. Αυτό αυτόματα ορίζει τις πληροφορίες ως αναμφίβολες.

Το στοχαστικό πρόβλημα αντιμετωπίζει τα δεδομένα ως στοχαστικές μεταβλητές, δηλαδή σαν μεταβλητές μεταβαλλόμενες με το χρόνο, των οποίων οι κατανομές είναι γνωστές. Όταν υπάρχει στοχαστική ζήτηση, η ζήτηση αυτή γίνεται γνωστή μόνο κατά την εξυπηρέτηση του πελάτη. Όπως και στο πρόβλημα δρομολόγησης με στοχαστικούς χρόνους, η διάρκεια της διαδρομής είναι άγνωστη καθώς επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες αλλά και κυκλοφοριακές συμφορήσεις.

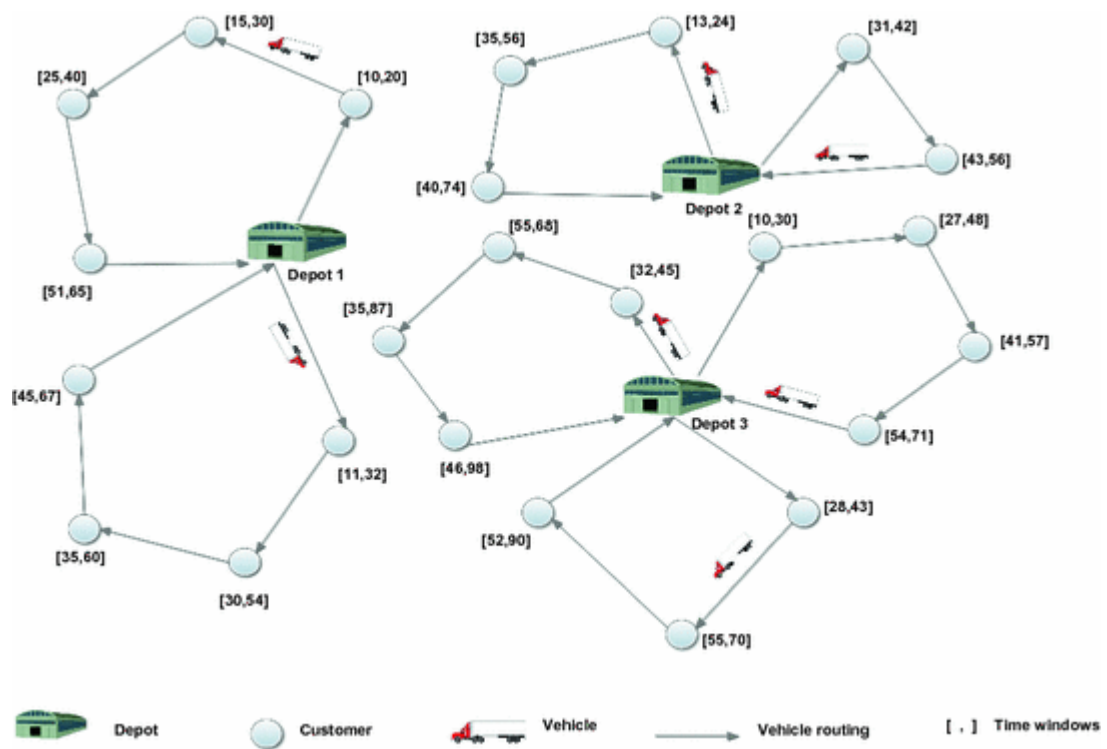
2.3.10 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ύπαρξη πολλαπλών αποθηκών (Multidepot Vehicle Routing)

Μια πολύ ενδιαφέρουσα παραλλαγή του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων είναι η παραλλαγή που χρησιμοποιεί παραπάνω από μία αποθήκες. Υπάρχουν δύο τρόποι για την επίλυση του προβλήματος:

1. Η κάθε μία από τις αποθήκες έχει το δικό της αριθμό οχημάτων και τους δικούς της πελάτες για εξυπηρέτηση. Ουσιαστικά το πρόβλημα έτσι χωρίζεται σε πολλά μικρά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με μία αποθήκη.
2. Τα οχήματα ξεκινάνε από οποιαδήποτε αποθήκη και μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιαδήποτε αποθήκη είτε για ανεφοδιασμό είτε για να κλείσουν την διαδρομή τους.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να θεωρηθεί ως πρόβλημα ομαδοποίησης αφού ο στόχος είναι να βρεθούν οι διαδρομές των οχημάτων που ανήκουν σε μία αποθήκη. Το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί σε δύο φάσεις. Η μία φάση περιέχει την ανάθεση των πελατών

στις αποθήκες και στην δεύτερη φάση δημιουργούνται τα δρομολόγια για την κάθε μία αποθήκη και για κάθε ένα όχημα.



Εικόνα 2.3.10.1 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ύπαρξη πολλαπλών αποθηκών και με χρονικά παράθυρα

2.4 Το Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Dynamic Vehicle Routing Problem)

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, έχουν μελετηθεί προβλήματα με αβεβαιότητα σε μία ή περισσότερες βασικές παραμέτρους. Ένα από αυτά τα προβλήματα είναι και το Δυναμικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. Στα προβλήματα αυτά, οι διαδρομές επανακαθορίζονται με έναν συνεχόμενο τρόπο, ο οποίος απαιτεί τεχνολογική υποστήριξη και συνεχόμενη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των οχημάτων, του πελάτη και της αποθήκης. Στα δυναμικά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων νέες πληροφορίες και νέα δεδομένα καταφθάνουν σε πραγματικό χρόνο. Σκοπός είναι, οι αποφάσεις που θα παρθούν στο μεταβαλλόμενο αυτό περιβάλλον να είναι οι βέλτιστες, καθώς και ο αποφασίζοντας να λαμβάνει υπόψιν του τα νέα δεδομένα και να προσαρμόζει τις διαδρομές με βάση αυτά.

Όπως όλα τα προβλήματα, έτσι και το δυναμικό πρόβλημα έχει πολλές υποκατηγορίες. Η πιο κοινή είναι η άφιξη απαιτήσεων πελατών κατά την διάρκεια της εκτέλεσης της διαδρομής, δηλαδή σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, οι απαιτήσεις μπορεί να είναι απαιτήσεις αγαθών είτε υπηρεσιών. Επίσης, άλλη μια γνωστή κατηγορία δυναμικού προβλήματος είναι αυτή που θεωρεί τον χρόνο της διαδρομής ως στοχαστική μεταβλητή, καθώς μπορεί να υπάρχει κίνηση στον δρόμο ή μπορεί το όχημα να εμφανίσει κάποια βλάβη.

Στο δυναμικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, η ικανότητα επαναπροσδιορισμού της διαδρομής και κατ' επέκταση του κινούμενου οχήματος οδηγεί σε επιπλέον εξοικονομήσεις. Για να επιτευχθεί όμως, απαιτείται συνεχής πληροφόρηση για την θέση του οχήματος σε πραγματικό χρόνο, καθώς και ικανότητα γρήγορης και αποτελεσματικής επικοινωνίας με τους οδηγούς, για την ανάθεση των νέων διαδρομών.

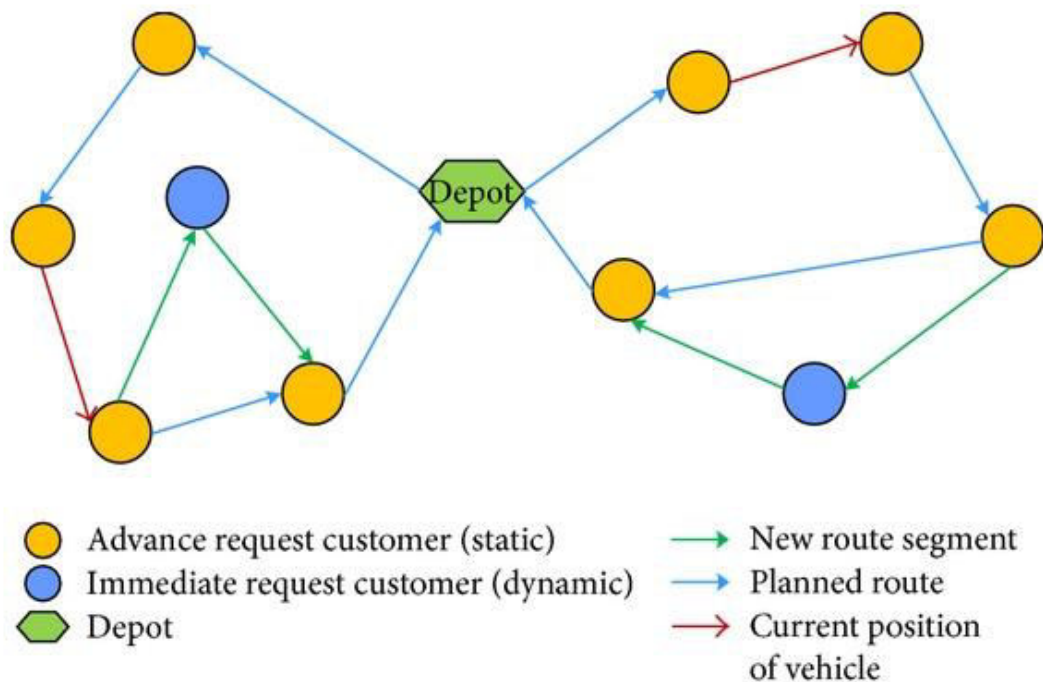
Διαφορετικές προβλήματα έχουν και διαφορετικά επίπεδα δυναμικότητας. Το επίπεδο αυτό, μπορεί να χαρακτηριστεί με δύο διαστάσεις:

1. Την συχνότητα των αλλαγών η οποία είναι ο ρυθμός με τον οποίο η πληροφορία γίνεται διαθέσιμη.
2. Το επείγον των απαιτήσεων, δηλαδή το χρονικό διάστημα μεταξύ την εμφάνισης της νέας απαίτησης και του χρόνου εξυπηρέτησης.

Με βάση τις παραπάνω διαστάσεις έχουν δημιουργηθεί τρεις βαθμοί για την μέτρηση της δυναμικότητας του εκάστοτε προβλήματος.

1. Ο **βαθμός δυναμικότητας**, δ , ο οποίος είναι ο λόγος μεταξύ του αριθμού των δυναμικών απαιτήσεων n_d και του συνολικού αριθμού απαιτήσεων n_{tot} : $\delta = n_d / n_{tot}$
2. Ο **ενεργός βαθμός δυναμικότητας**, δ^* , ο οποίος θεωρείται ως ο κανονικοποιημένος μέσος όρος των χρόνων εμφάνισης των απαιτήσεων. $\delta^* = (1 / n_{tot}) \sum (t_i / T)$ όπου T είναι το μήκος του ορίζοντα σχεδιασμού και t_i είναι ο χρόνος εμφάνισης της απαίτησης i . Οι απαιτήσεις που είναι γνωστές από πριν έχουν χρόνο εμφάνισης ίσο με μηδέν.
3. Ο **ενεργός βαθμός δυναμικότητας για προβλήματα με χρονικά παράθυρα**, δ_{TW}^* . Καθορίζεται ο χρόνος αντίδρασης ως την διαφορά μεταξύ του χρόνου εμφάνισης t_i και του τέλους του αντίστοιχου χρονικού παραθύρου l_i . Μεγαλύτεροι χρόνοι αντίδρασης σημαίνουν περισσότερη ευελιξία για την εισαγωγή μιας απαίτησης στις τρέχουσες διαδρομές. $\delta_{TW}^* = (1 / n_{tot}) \sum (1 - (l_i - t_i) / T)$.

Οι βαθμοί αυτοί παίρνουν τιμές στο διάστημα $[0,1]$ και όσο πιο μεγάλο είναι του επίπεδο δυναμικότητας τόσο πιο μεγάλος είναι και ο βαθμός δυναμικότητας. Ανάλογα, λοιπόν, με τον βαθμό ονομάζεται και ένα πρόβλημα ως ελαφρώς, μεσαίο και ισχυρό δυναμικό πρόβλημα με τις τιμές του δ να είναι μικρότερες του 0,3, μεταξύ 0,3 και 0,8 και 0,8 έως 1 αντίστοιχα.



Εικόνα 2.4.1 Απεικόνιση του δυναμικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων.

Η εικόνα 2.4.1 απεικονίζει ένα απλό παράδειγμα δυναμικού προβλήματος. Ο πράσινος κόμβος είναι η αποθήκη από την οποία ξεκινάνε και γυρνάνε στο τέλος της διαδρομής, τα οχήματα. Οι κίτρινοι κόμβοι απεικονίζουν του πελάτες που θα εξυπηρετούσαν τα οχήματα αρχικά ενώ οι μπλε κόμβοι είναι οι πελάτες που έχουν δυναμική ζήτηση. Η αρχική διαδρομή ορίζεται από τα μπλε βελάκια ενώ τα πράσινα βελάκια καθορίζουν την διαδρομή που δημιουργήθηκε με την δυναμική ζήτηση των νέων πελατών. Τέλος το κόκκινο βελάκι δείχνει την θέση του οχήματος την στιγμή που δέχθηκε την ενημέρωση της διαδρομής από τον αποφασίζοντα.

Μέσα από την εικόνα γίνεται κατανοητό ότι οι διαδρομές μπορούν να αναπροσδιοριστούν ανά πάσα χρονική στιγμή. Επίσης, παρόλο που έχουμε δυναμική ζήτηση αυτό δεν αλλάζει τον κύριο στόχο των προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων, ο οποίος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Φαίνεται στην εικόνα ότι οι πελάτες που έχουν δυναμική ζήτηση δεν εξυπηρετούνται αμέσως. Γίνεται εκ νέου υπολογισμός των διαδρομών και ακολουθείται η διαδρομή με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

2.5 Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος

2.5.1 Ορισμός μεταβλητών

Όνομα Μεταβλητής	Ορισμός Μεταβλητής
$S = \{ 1, 2, \dots, m \}$	Το σύνολο των αποθηκών.
$T = \{ 1, 2, \dots, n \}$	Το σύνολο των πελατών.
c_{ij}	Το κόστος τόξου (i, j) .
$t \in T$	Ο πελάτης.
d_t	Η ζήτηση του πελάτη t .
K	Το σύνολο των οχημάτων.
Q	Η χωρητικότητα του κάθε οχήματος.
F_t	Το κόστος εξυπηρέτησης του πελάτη t .
R	Ο μέγιστος χρόνος παραμονής του οχήματος στην διαδρομή.
A	Το σύνολο των τόξων που ανήκουν στις διαδρομές.
$x_{ij} = 1$	Το όχημα έχει περάσει από το τόξο (i, j)
P_t	Η έκτακτη εξυπηρέτηση που ζητάει ο πελάτης t .

Πίνακας 2.5.1.1. Ανάλυση μεταβλητών δυναμικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων

2.5.2 Διατύπωση των περιορισμών

Όπως έχει αναφερθεί και προηγούμενα οι περιορισμοί διαφέρουν από πρόβλημα σε πρόβλημα. Στον παρακάτω πίνακα θα παρουσιαστούν οι περιορισμοί που υπήρχαν και στο δυναμικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Μαθηματική αποτύπωση περιορισμού	Εξήγηση περιορισμού
$\sum_{i \in S_{UA}} \sum_{j \in K} x_{ij} = n, \forall t \in T$	Εξασφάλιση της επίσκεψης όλων των πελατών.
$\sum_{t \in T} \sum_{j \in S_{UT}} d_t * x_{tj} \leq Q$	Η ζήτηση των πελατών d_t που θα εξυπηρετηθούν από το όχημα t δεν μπορεί να ξεπερνάει την μέγιστη τιμή χωρητικότητας του οχήματος Q .
$\sum_{j \in S_{UT}} x_{ij} = \sum_{j \in S_{UT}} x_{ji}$	Διασφάλιση της εκκίνησης όλων των οχημάτων από μια αποθήκη και επιστροφή σε αυτήν.
$\sum_{i \in S_{UA}} \sum_{j \in S_{UT}} c_{ij} + F_t \leq R$	Το άθροισμα των τόξων της κάθε διαδρομής θα πρέπει να είναι μικρότερο από τον μέγιστο χρόνο παραμονής του οχήματος στην διαδρομή R .
$\sum_{i \in S_{UA}} \sum_{t \in T} c_{it} + F_t \geq P_t$	Η χρονική στιγμή εξυπηρέτησης του πελάτη με έκτακτη εξυπηρέτηση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την χρονική στιγμή που καλεί για έκτακτη εξυπηρέτηση.
$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall (i, j) \in A$	Ακέραια μεταβλητή με τιμές 0 ή 1.
$S \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.
$T \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.
$K \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.
$Q \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.
$R \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.
$A \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.
$P_t \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.
$F_t \in \mathbb{Z}$	Ακέραια μεταβλητή.

Πίνακας 2.5.2.1 Ανάλυση περιορισμών δυναμικού προβλήματος

2.5.3 Μοντελοποίηση δυναμικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων

Το βασικό στοιχείο μιας μοντελοποίησης είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να μεγιστοποιηθεί, σε περίπτωση κέρδους, ενώ αντίστοιχα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί, σε περίπτωση κόστους.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους σε συνδυασμό με την ικανοποίηση των πελατών. Για αυτόν το λόγο η αντικειμενική συνάρτηση είναι ως εξής:

$$\min \sum_{i,j \in A} \sum_{t \in T} cij * x_{ij} + Ft$$

Υπό τους παρακάτω περιορισμούς:

$$\sum_{i \in SUA} \sum_{j \in K} x_{ij} = n, \forall t \in T$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in SUT} dt * x_{tj} \leq Q$$

$$\sum_{j \in SUT} x_{ij} = \sum_{j \in SUT} x_{ji}$$

$$\sum_{i \in SUA} \sum_{j \in SUT} cij + Ft \leq R$$

$$\sum_{i \in SUA} \sum_{t \in T} cit + Ft \geq Pt$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A$$

$$S \in Z$$

$$T \in Z$$

$$K \in Z$$

$$Q \in Z$$

$$R \in Z$$

$$A \in Z$$

$$Pt \in Z$$

Η αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από το άθροισμα των κοστών όλων των διαδρομών καθώς και το άθροισμα του χρόνου εξυπηρέτησης. Έχει στόχο, λοιπόν, την ελαχιστοποίηση του παραπάνω κόστους ενώ παράλληλα ικανοποιεί του περιορισμούς οι οποίοι έχουν τεθεί στο πρόβλημα.

Η αντικειμενική συνάρτηση διαφέρει από πρόβλημα σε πρόβλημα καθώς το κάθε πρόβλημα έχει διαφορετικούς περιορισμούς, διαφορετικές μεταβλητές αλλά και διαφορετικό στόχο, ο οποίος καθορίζεται από την ίδια την επιχείρηση.

Κεφάλαιο 3

Εισαγωγή στους αλγορίθμους επίλυσης

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν περιληπτικά οι κατηγορίες αλγορίθμων που υπάρχουν για την επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων αλλά και οι αλγόριθμοι που υπάγονται στις κατηγορίες αυτές. Ο αριθμός των αλγορίθμων είναι αρκετά μεγάλο, έτσι θα αναφερθούν οι κυριότεροι από αυτούς. Στην συνέχεια, θα αναλυθούν σε μεγάλο βαθμό, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

3.2 Ευρετικοί αλγόριθμοι

Στην σύγχρονη εποχή όπου υπάρχει μεγάλος όγκος πληροφοριών και δεδομένων η προσπάθεια να βρεθεί το ολικό ελάχιστο ενός προβλήματος σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα είναι σχεδόν αδύνατο. Για αυτόν τον λόγο δημιουργήθηκε αυτή η ομάδα αλγορίθμων που έχει ως στόχο την εύρεση ενός τοπικού ελάχιστου, και όχι του ολικού, το οποίο θα πρέπει, για να γίνει αποδεκτό, να είναι μέσα στα αποδεκτά όρια που θέτει ο ίδιος ο αλγόριθμος. Τα όρια αυτά μπορεί να είναι η αποδοτικότητα της λύσης, δηλαδή η απόκλισή της από την βέλτιστη, καθώς και ο χρόνος και η ευκολία απόκτησής της. Οι Ευρετικοί αλγόριθμοι υπάγονται στις παρακάτω κατηγορίες⁵:

- Αλγόριθμοι απληστίας (Greedy algorithms)
- Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι (Approximation algorithms)
- Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης (Local search algorithms)

Η πρώτη κατηγορία αλγορίθμων χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί η αρχική λύση του προβλήματος ενώ η τρίτη κατηγορία χρησιμοποιείται για την βελτίωση μιας ήδη υπάρχουσας λύσης. Οι κατηγορίες αυτές αναλύονται στην συνέχεια.

3.2.1 Αλγόριθμοι απληστίας

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα οι αλγόριθμοι απληστίας έχουν σκοπό την δημιουργία μιας αρχικής λύσης. Έχοντας τα δεδομένα του προβλήματος ως είσοδο, παράγει μια λύση η οποία απέχει, συνήθως, από την βέλτιστη κατά πολύ αλλά στην συνέχεια χρησιμοποιείται ως είσοδος σε άλλους αλγορίθμους με σκοπό να την βελτιστοποιήσουν.

Η λογική των αλγορίθμων απληστίας είναι σχετικά απλή, ξεκινάει ο αλγόριθμος με μία μερική μη εφικτή λύση και σε κάθε βήμα καθορίζει μία ή περισσότερες μεταβλητές μέχρι να βρεθεί μία λύση που να είναι εφικτή. Οι αλγόριθμοι απληστίας χρησιμοποιούν την αρχή ανάπτυξης μυωπικών αλγορίθμων, δηλαδή επιλέγουν την καλύτερη εναλλακτική από τις διαθέσιμες. Εφικτή λύση ονομάζεται η λύση η οποία ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς του προβλήματος, οπότε είναι αρκετά εύκολο να βρεθεί μια εφικτή λύση, καθώς η μέθοδος δεν δίνει βάση καθόλου στην βελτιστοποίησή της. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι παράγει μια λύση σε μικρό χρονικό διάστημα, όμως το μειονέκτημα είναι η λύση αυτή απέχει από το ολικό ελάχιστο.

Οι αλγόριθμοί αυτοί χρησιμοποιούν διάφορες στρατηγικές οι οποίες στοχεύουν στην αποτελεσματικότητα των μεθόδων. Οι στρατηγικές είναι⁵:

1. Ομαδοποίηση πρώτα – δρομολόγηση έπειτα (Cluster first – route second)

Στην συγκεκριμένη στρατηγική γίνεται αρχικά ομαδοποίηση των κόμβων και στην συνέχεια δημιουργούνται οι διαδρομές.

2. Δρομολόγηση πρώτα – ομαδοποίηση έπειτα (Route first – cluster second)

Αντίθετα από την παραπάνω στρατηγική, εδώ δημιουργείται μία μεγάλη διαδρομή η οποία ικανοποιεί την συνολική ζήτηση, και στην συνέχεια διαχωρίζεται σε περισσότερες μικρές διαδρομές.

3. Εξοικονομήσεις / καταχώρηση (Savings / Insertion)

Η στρατηγική αυτή έχει ως στόχο την βελτιστοποίηση του κόστους. Γίνεται σύγκριση δύο διαδρομών, οι οποίες μπορεί να είναι και μη εφικτές, και γίνεται καταχώρηση αυτής με την μεγαλύτερη εξοικονόμηση, δηλαδή αυτή με το μικρότερο κόστος. Η επανάληψη τελειώνει με μία εφικτή λύση.

4. Βελτίωση ή ανταλλαγή (Improvement or exchange)

Αντίθετα από την προηγούμενη στρατηγική, η συγκεκριμένη χρησιμοποιεί μόνο εφικτές λύσεις και τις συγκρίνει ως προς το κόστος. Στο τέλος παραμένει η εφικτή λύση με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

5. Προσέγγιση μαθηματικού προγραμματισμού (Mathematical programming approach)

Γίνεται χρήση μαθηματικών μοντέλων και μαθηματικού προγραμματισμού που περιλαμβάνει αλγορίθμους που βασίζονται στην μορφοποίηση του εκάστοτε προβλήματος δρομολόγησής οχημάτων.

6. Αλληλοεπιδρών βελτιστοποίηση (Interactive optimization)

Στην συγκεκριμένη διαδικασία ενσωματώνονται έμπειροι αποφασίζοντες οι οποίοι εκφέρουν την άποψη τους. Η ιδέα είναι ότι η εμπειρία του αποφασίζοντα και η διορατικότητά του θα αποτελέσουν βασικό παράγοντα για την λύση του προβλήματος.

7. Ακριβής διαδικασία (Exact procedure)

Οι ακριβείς διαδικασίες για την επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων περιλαμβάνουν εξειδικευμένους αλγορίθμους όπως ο αλγόριθμος διακλάδωσης και οριοθέτησης (branch and bound) και ο αλγόριθμος τομής επιπέδων (cutting planes).

Οι κυριότεροι αλγόριθμοι απληστίας είναι⁵:

- Αλγόριθμος Πλησιέστερου Γείτονα (Nearest Neighborhood Algorithm).
- Αλγόριθμος της διαδικασίας εισαγωγής κόμβων (Nearest Insertion Algorithm).
- Αλγόριθμος εγγύτερης συγχώνευσης.
- Αλγόριθμος εγγύτερης πρόσθεσης
- Ο αλγόριθμος εξοικονομήσεων των Clarke and Wright (The savings Algorithm)

3.2.2 Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι

Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι λειτουργούν όπως και οι αλγόριθμοι απληστίας με την μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιούν παραπάνω πληροφορίες. Ουσιαστικά οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι υπολογίζουν σε πολυωνμικό χρόνο μία λύση η οποία είναι εγγυημένα κοντά στην βέλτιστη. Η χρήση τους, γίνεται είτε όταν δεν μπορεί να βρεθεί λύση στο πρόβλημα με κάποια άλλη μέθοδο είτε όταν η λύση των υπόλοιπων μεθόδων δεν είναι αρκετά αποδοτική και χρονοβόρα. Με τους προσεγγιστικούς αλγόριθμους ενσωματώνεται και ο όρος της προσέγγισης. Ουσιαστικά, είναι ο λόγος της απόκλισης της λύσης του προσεγγιστικού αλγορίθμου σε σχέση με την βέλτιστη δυνατή λύση.

3.2.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης

Οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης χρησιμοποιούν την αρχαιότερη μέθοδο βελτιστοποίησης λύσεων, τη δοκιμή και σφάλμα. Η ιδέα είναι πολύ απλή αλλά και πολύ αποδοτική. Οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης χρησιμοποιούνται διαχρονικά λόγω της απλότητας τους και της αποδοτικότητάς τους.

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης είναι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης μιας ήδη υπάρχουσας λύσης. Αυτό προϋποθέτει την χρήση είτε αλγορίθμων απληστίας είτε προσεγγιστικών αλγορίθμων για την δημιουργία της αρχικής λύσης.

Η μέθοδος της τοπικής αναζήτησης είναι πολύ απλή. Αρχικά επιλέγεται μια γειτονιά λύσεων από το ευρύτερο σύνολο που είναι διαθέσιμο και από εκεί χρησιμοποιώντας μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία, ανάλογα με τον αλγόριθμο, παράγεται μια εφικτή λύση. Σε κάθε επανάληψη βρίσκεται μια διαφορετική λύση από την αρχική και συγκρίνοντας τις δύο λύσεις επιλέγεται αυτή με το ελάχιστο κόστος. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν περαστεί το σημείο τερματισμού. Ένα σημείο τερματισμού μπορεί να είναι ένας αριθμός επαναλήψεων ή ένας αριθμός επαναλήψεων όπου η λύση δεν βελτιώνεται άλλο.

Τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά την χρήση των αλγορίθμων τοπικής αναζήτησης είναι:

- Η αρχική γειτονιά αναζήτησης.
- Η ποιότητα της αρχικής λύσης.
- Η μέθοδος βελτιστοποίησης της αρχικής λύσης.

Οι κυριότεροι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης είναι:

- 2-opt
- 3opt
- Swap
- Or-opt
- 1-1 exchange
- 1-0 Relocate

3.3 Μεθευρετικοί αλγόριθμοι

Το κυριότερο μειονέκτημα των ευρετικών αλγορίθμων είναι ότι βασίζονται στην αρχική λύση που τους δίνεται. Δηλαδή, αν η αρχική λύση, που δίνεται ως είσοδος, είναι κοντά σε ένα τοπικό ελάχιστο ο αλγόριθμος πολύ άμεσα θα ανακαλύψει το ελάχιστο αυτό αλλά θα «παγιδευτεί» σε αυτό, με την έννοια ότι δεν θα βρει το ολικό ελάχιστο θεωρώντας το τοπικό ως την βέλτιστη λύση. Για αυτόν τον λόγο δημιουργήθηκαν οι Μεθευρετικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι μπορούν να ξεφύγουν από το τοπικό ελάχιστο με διάφορες τεχνικές.

Οι Μεθευρετικοί αλγόριθμοι χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το πόσες αρχικές λύσεις δέχονται. Υπάρχουν οι αλγόριθμοι που δέχονται μία αρχική λύση και με βάση αυτή βρίσκουν το ολικό ελάχιστο και υπάρχουν και οι αλγόριθμοι που δέχονται πολλαπλές λύσεις ως αρχικές. Αυτοί που χρησιμοποιούν μία λύση κάνουν εξερεύνηση στην γειτονιά της λύσης. Αντίστοιχα οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν πληθυσμό λύσεων, έχουν ισχυρές δυνατότητες διάχυσης της πληροφορίας γύρω από πολλά σημεία στο χώρο λύσεων. Υπάρχουν και στρατηγικές που συνδυάζουν και τους δύο τύπους αλγορίθμων για καλύτερο αποτέλεσμα.

Οι Μεθευρετικοί αλγόριθμοι χωρίζονται σε επιπλέον κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούν για να αποφύγουν το τοπικό ελάχιστο. Αυτοί είναι⁵:

- Επαναληπτικές διαδικασίες που αρχίζουν από διαφορετικές αρχικές λύσεις. Μερικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν αυτόν τον τρόπο είναι οι αλγόριθμοι πολυεναρκτήριας τοπικής αναζήτησης (multistart local

search) και αλγόριθμοι επαναληπτικής τοπικής αναζήτησης (iterated local search).

- Αλγόριθμοι που δέχονται γειτονικές κινήσεις που δεν βελτιώνουν την λύση. Σε αυτές τις μεθόδους γίνεται δεκτή μία λύση η οποία δεν είναι καλύτερη από την προηγούμενη σε περίπτωση που ικανοποιεί μερικούς περιορισμούς που θέτονται. Η λογική είναι ότι με την αποδοχή της λύσης αυτής ο αλγόριθμος θα ξεφύγει από το τοπικό ελάχιστο και θα μπορέσει να βρει την βέλτιστη λύση σε επόμενη επανάληψη. Μερικοί αλγόριθμοι που εκφράζουν την κατηγορία αυτή είναι η προσομοιωμένη ανόπτηση (simulated annealing) και περιορισμένη αναζήτηση (tabu search).
- Αλγόριθμοι που αλλάζουν την γειτονιά αναζήτησης. Στην κατηγορία αυτή, οι αλγόριθμοι όταν θεωρήσουν ότι έχουν πετύχει ένα τοπικό ελάχιστο, για να το αποφύγουν αλλάζουν τον αλγόριθμο που χρησιμοποιούν για την αναζήτηση των λύσεων. Μερικοί αλγόριθμοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι ο αλγόριθμος μεταβλητής γειτονιάς αναζήτησης (variable neighborhood search VNS) και ο αλγόριθμος επέκτασης της γειτονιάς αναζήτησης (expanding neighborhood search ENS).
- Αλγόριθμοι που αλλάζουν την αντικειμενική συνάρτηση ή κάποια από τα δεδομένα του προβλήματος. Στην κατηγορία αυτή ο αλγόριθμος όταν θεωρήσει ότι βρήκε ένα τοπικό ελάχιστο αλλάζει είτε την αντικειμενική συνάρτηση είτε τους περιορισμούς του προβλήματος για να βρει το ολικό ελάχιστο. Η πιο χαρακτηριστική μέθοδος αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος καθοδηγούμενης τοπικής αναζήτησης (guided local search).

3.4 Εξελικτικοί και εμπνευσμένοι από την φύση αλγόριθμοι

3.4.1 Εξελικτικοί αλγόριθμοι

Το 1859 ο Κάρολος Δαρβίνος είχε προσδιορίσει τις αρχές της φυσικής επιλογής αλλά και της επιβίωσης του ικανότερου. Αυτές τις αρχές ακολουθούν οι εξελικτικοί αλγόριθμοι. Ουσιαστικά επιλέγεται η καλύτερη δυνατή λύση (επιβίωση του ικανότερου) η οποία συνδυάζεται με τις αλλαγές που έχουν γίνει

στην αρχική λύση (μεταλλάξεις). Με άλλα λόγια οι εξελικτικοί αλγόριθμοι μιμούνται την φυσικές διαδικασίες της φύσης και τις χρησιμοποιούν ως τελεστές αναζήτησης για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Οι σημαντικότεροι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι:

- Γενετικοί αλγόριθμοι πολλαπλών πληθυσμών - νησιών (Island genetic algorithms IGA)
- Μιμητικοί αλγόριθμοι (Memetic algorithms MAs)
- Αλγόριθμος της διαφορικής εξέλιξης (Differential evolution DE)

3.4.2 Αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από την φύση

Οι αλγόριθμοι που υπάγονται σε αυτήν την κατηγορία έχουν δημιουργηθεί αναλύοντας συμπεριφορές που υπάρχουν στην καθημερινότητα των ανθρώπων και έχουν βάση φυσικά φαινόμενα. Οι αλγόριθμοι στις προηγούμενες κατηγορίες είχαν μερικά κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους όσο αφορά την λειτουργία τους. Οι αλγόριθμοι αυτοί, όμως, έχουν τεράστια ποικιλομορφία και διαφέρουν κατά πολύ ο ένας με τον άλλον.

Σε μία έρευνα που δημοσίευσε ο Iztok Fister jr. και ο Xin-She Yang το 2013, αναφέρουν ότι οι αλγόριθμοι που είναι εμπνευσμένοι από την φύση μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις υποκατηγορίες¹³. Αυτές είναι:

- Αλγόριθμοι σμήνους (Swarm intelligence): Οι αλγόριθμοι αυτοί προσομοιώνουν την λειτουργία του σμήνους.
- Βιο-εμπνευσμένοι αλγόριθμοι (bio-inspired algorithms): Αλγόριθμοι βασισμένοι σε βιολογικές διαδικασίες.
- Φυσικο-χημικοί αλγόριθμοι (Physical Phenomena and laws of science): Οι αλγόριθμοι της κατηγορίας αυτής είναι εμπνευσμένοι από βασικούς νόμους φυσικής και χημείας.
- Άλλοι (Others): Οι αλγόριθμοι που δεν ανήκουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες.

Οι κυριότεροι αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από την φύση είναι:

- Αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας των μυρμηγκιών (Ant colony optimization).
- Αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Particle swarm optimization).
- Αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μυρμηγκιών (Artificial bee colony optimization algorithm).
- Αλγόριθμος της πυγολαμπίδας (Fire-fly algorithm).
- Αλγόριθμος αναζήτησης κούκων (Cuckoo search algorithm).

3.5 Παρουσίαση των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν για να λυθεί το δυναμικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων

Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιήσει ο καθένας για να λύσει το πρόβλημά του είναι καθαρά προσωπική επιλογή, καθώς πολλές διαφορετικές μέθοδοι λύνουν πολλούς διαφορετικούς τύπους προβλημάτων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικοί αλγόριθμοι. Για την αρχική λύση χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα. Στη συνέχεια για την βελτιστοποίηση της λύσης έγινε χρήση του 2-opt, 3-opt, 1-1 exchange καθώς και της προσομοιωμένης ανόπτησης. Στη συνέχεια αναλύονται οι αλγόριθμοι αυτοί λεπτομερώς.

3.5.1 Αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα (Nearest Neighborhood Algorithm)

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, ο αλγόριθμος του πλησιέστερου γείτονα ανήκει στην οικογένεια των αλγορίθμων απληστίας. Η λογική του αλγορίθμου είναι πολύ απλή. Έχοντας ως αρχικό κόμβο την αποθήκη, γίνεται εύρεση του πλησιέστερου πελάτη σε αυτήν. Δηλαδή του πελάτη που έχει το μικρότερο κόστος με βάση το κόστος του προηγούμενου κόμβου. Στην συνέχεια, σαν σημείο αναφοράς είναι ο κόμβος που τοποθετήθηκε μετά την αποθήκη και αναζητείται ο κόμβος που είναι πλησιέστερος σε αυτόν. Η επανάληψη τελειώνει είτε όταν παραβιαστεί ένας από τους περιορισμούς που έχουν τεθεί είτε όταν τοποθετηθούν όλοι οι πελάτες.

Ο αλγόριθμος σε βήματα:

Βήμα 1: Τοποθέτηση της αποθήκης ως κόμβο νούμερο 1 ($n=1$).

Βήμα 2: Αναζήτηση και τοποθέτηση του πελάτη με το μικρότερο κόστος (με σημείο αναφοράς τον κόμβο n), ως κόμβο νούμερο $n=n+1$.

Βήμα 3: Επανάληψη του βήματος 2 έως ότου παραβιαστεί κάποιος περιορισμός ή τοποθετηθούν όλοι οι πελάτες.

Βήμα 4: Τοποθέτηση ως τελευταίου κόμβου την αποθήκη.

Επανα- λήψεις	Κόμβοι										
1η	1										
2η	1	8									
3η	1	8	7								
4η	1	8	7	6							
5η	1	8	7	6	4						
6η	1	8	7	6	4	5					
7η	1	8	7	6	4	5	9				
8η	1	8	7	6	4	5	9	10			
9η	1	8	7	6	4	5	9	10	2		
10η	1	8	7	6	4	5	9	10	2	3	
11η	1	8	7	6	4	5	9	10	2	3	1

Εικόνα 3.5.1.1 Εικονική αναπαράσταση του πλησιέστερου γείτονα

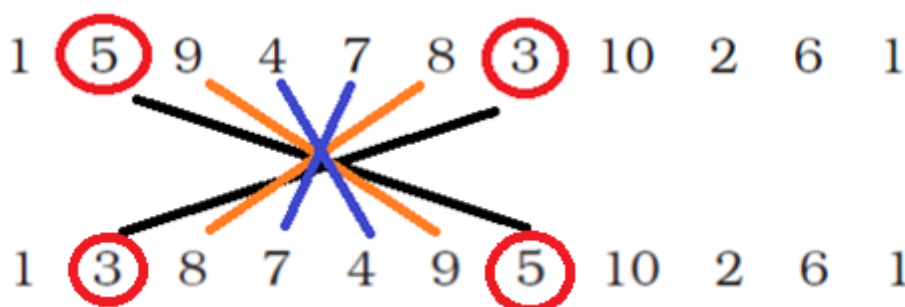
3.5.2 Αλγόριθμος 2-opt και 3-opt

Οι αλγόριθμοι αυτοί υπάγονται στην οικογένεια των αλγορίθμων τοπικής αναζήτησης. Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης έχουν ως στόχο την βελτιστοποίηση μιας ήδη υπάρχουσας λύσης. Οπότε, οι αλγόριθμοι δέχονται σαν είσοδο την λύση που έχει παραχθεί με την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα και προσπαθούν να την βελτιστοποιήσουν όσο το δυνατό περισσότερο.

Η λύση που δέχονται από την προηγούμενη μέθοδο είναι χωρισμένη σε διαδρομές. Πιο αναλυτικά, το πιο συνηθισμένο ενδεχόμενο είναι να μην μπορούν όλοι οι πελάτες να ικανοποιηθούν σε μία μόνο διαδρομή. Έτσι η αρχική λύση είναι διαχωρισμένη σε όλες τις διαδρομές που έχουν

δημιουργηθεί. Οι αλγόριθμοι 2-opt και 3-opt εκτελούνται σε κάθε διαδρομή ξεχωριστά και όχι στην συνολική λύση.

Ο αλγόριθμος 2-opt επιλέγει τυχαία 2 κόμβους από την διαδρομή και αντιστρέφει τους κόμβους που βρίσκονται ανάμεσα σε αυτούς τους κόμβους. Στην συνέχεια υπολογίζεται το κόστος της διαδρομής και αν είναι μικρότερο της αρχικής τότε η αλλαγή γίνεται αποδεκτή. Η μέθοδος σταματάει είτε με ένα κριτήριο τερματισμού όπως ένας αριθμός επαναλήψεων είτε όταν δεν βελτιστοποιείται η λύση περαιτέρω. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα βήμα της μεθόδου.



Εικόνα 3.5.2.1 Ένα βήμα του αλγορίθμου 2-opt

Τα βήματα του αλγορίθμου είναι:

Βήμα 1: Επιλογή δύο κόμβων.

Βήμα 2: Αντιστροφή των κόμβων και των επιμέρους κόμβων (με τον παραπάνω τρόπο).

Βήμα 3: Υπολογισμός του κόστους της νέας διαδρομής. Σε περίπτωση μείωσης του κόστους επιλέγεται η διαδρομή αυτή ως το σημείο αναφοράς.

Βήμα 4: Επανάληψη της διαδικασίας έως ότου ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού.

Ο αλγόριθμος 3-opt είναι παρόμοιος με τον 2-opt, με την διαφορά ότι επιλέγονται τρεις κόμβοι αντί για δύο. Έτσι δημιουργούνται τρεις διαφορετικές εκδοχές της αρχικής διαδρομής. Δημιουργούνται και οι τρεις εκδοχές, υπολογίζεται το κόστος της κάθε μίας και επιλέγεται αυτή με το μικρότερο κόστος. Στην περίπτωση που το κόστος των διαδρομών ξεπερνάει αυτό της αρχικής διαδρομής τότε η αρχική διαδρομή δεν αλλάζει. Όπως και πριν, ο

αλγόριθμος τερματίζει είτε με κριτήριο τερματισμού είτε όταν η λύση δεν μπορεί να βελτιστοποιηθεί παραπάνω.

3.5.3 Αλγόριθμος 1-1 exchange

Ο αλγόριθμος 1-1 exchange ανήκει και αυτός στην κατηγορία των αλγορίθμων τοπικής αναζήτησης. Έχοντας, λοιπόν, ως είσοδο μια αρχική λύση από προηγούμενη μέθοδο, προσπαθεί να την βελτιστοποιήσει.

Η ιδέα του αλγορίθμου είναι σχετικά απλή. Σε αντίθεση με τους 2-opt και 3-opt, ο αλγόριθμος λειτουργεί σε όλη την λύση και όχι στις διαδρομές ξεχωριστά. Επιλέγει έναν κόμβο από μία διαδρομή και του αλλάζει θέση με έναν άλλον κόμβο. Οι υπόλοιποι κόμβοι παραμένουν στις θέσεις τους. Η επιλογή του κόμβου μπορεί να γίνει τυχαία, αλλά είναι πιο αποδοτική όταν λειτουργεί στοχευμένα. Επιλέγεται ο κόμβος που επιφέρει το μεγαλύτερο κόστος στην διαδρομή και αλλάζει θέση, με την λογική ότι η νέα του θέση θα προκαλέσει μείωση του κόστους. Στην συνέχεια, υπολογίζεται το κόστος των δύο διαδρομών που τροποποιήθηκαν και σε περίπτωση που είναι μικρότερο από το αρχικό τότε η αλλαγή παραμένει. Όπως και στις προηγούμενους αλγόριθμους η επανάληψη τερματίζεται όταν ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού.

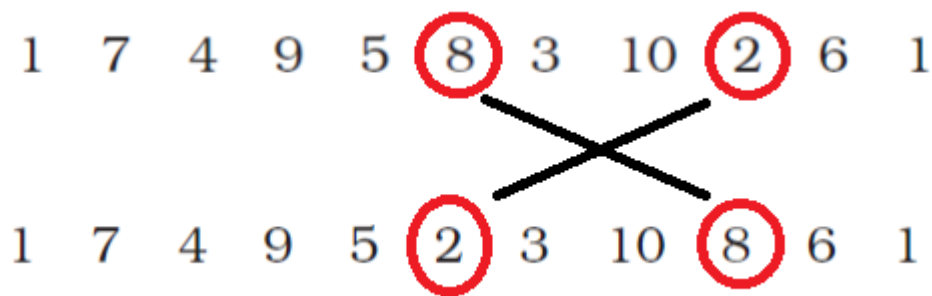
Ο αλγόριθμος σε βήματα:

Βήμα 1: Επιλογή δύο κόμβων (Είτε τυχαία είτε επιλέγεται ο κόμβος με το μεγαλύτερο κόστος).

Βήμα 2: Ανταλλαγή των θέσεων των δύο αυτών κόμβων.

Βήμα 3: Υπολογισμός του κόστους των δύο διαδρομών. Σε περίπτωση μείωσης του κόστους η αλλαγή παραμένει.

Βήμα 4: Επανάληψη της διαδικασίας έως ότου ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού.



Εικόνα 3.5.3.1 Ένα βήμα του αλγορίθμου 1-1 exchange

3.5.4 Αλγόριθμος προσομοιωμένης ανόπτησης

Ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης ανήκει στην οικογένεια των μεθευρετικών αλγορίθμων. Από τις κατηγορίες που αναλύθηκαν προηγούμενα, ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης περιλαμβάνεται στην κατηγορία που δέχεται λύσεις οι οποίες δεν βελτιώνουν την ήδη υπάρχουσα.

Πιο αναλυτικά, ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης δέχεται μία λύση που αυξάνει το κόστος της διαδρομής με μία πιθανότητα. Η ιδέα είναι ότι, η αποδοχή της «χειρότερης» λύσης θα βοηθήσει τον αλγόριθμο να ξεφύγει από κάποιο τοπικό ελάχιστο και θα μπορέσει να βρει την βέλτιστη λύση.

Αρχικά, ο αλγόριθμος δέχεται ως είσοδο μια αρχική λύση η οποία έχει δημιουργηθεί από κάποιον άλλον αλγόριθμο. Στην συνέχεια γίνεται μια μετατροπή στην λύση, χρησιμοποιώντας οποιονδήποτε αλγόριθμο (στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ο 2-opt). Στην συνέχεια, συγκρίνονται οι δύο λύσεις ως προς το κόστος τους. Σε περίπτωση που η λύση έχει μικρότερο κόστος από την αρχική τότε η αρχική λύση αντικαθίσταται. Στους υπόλοιπους αλγορίθμους, σε περίπτωση που η λύση επιφέρει χειρότερο αποτέλεσμα από το αρχικό, η λύση απορρίπτεται και επιλέγεται η αρχική. Στην προσομοιωμένη ανόπτηση, η καινούρια λύση έχει μία πιθανότητα να γίνει αποδεκτή ακόμα και αν δεν έχει καλύτερο αποτέλεσμα. Υπολογίζεται η μεταβλητή δ , η οποία ορίζεται ως την διαφορά του κόστους την καινούριας λύσης με την αρχική. Έπειτα, υπολογίζεται μία πιθανότητα, η οποία ορίζεται ως:

$$p(\delta) = e^{-\delta/T}$$

Η μεταβλητή T που υπάρχει μέσα στην πιθανότητα, ορίζεται στην αρχή της επαναληπτικής διαδικασίας και μειώνεται κατά την διάρκεια του αλγορίθμου. Η λογική είναι ότι, όσο μικραίνει το T τόσο μικραίνει και η πιθανότητα αποδοχής μίας μη βέλτιστης λύσης. Ουσιαστικά, η αρχική τιμή του T είναι μεγάλη έτσι ώστε να αποδεχθεί η «χειρότερη» λύση σχετικά σίγουρα τουλάχιστον μία φορά, με αποτέλεσμα την αποφυγή του τοπικού ελάχιστου.

Πρακτικά, μετά τον υπολογισμό της πιθανότητας, ο αλγόριθμος επιλέγει τυχαία μια τιμή από το 0 έως το 1, και αν ο αριθμός που επιλέχθηκε είναι μεγαλύτερος από την πιθανότητα, τότε η λύση γίνεται αποδεκτή. Σε αντίθετη περίπτωση η λύση απορρίπτεται.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας ψευδκώδικας του αλγορίθμου⁶:

Αλγόριθμος Προσομοιωμένη Ανόπτηση*Αρχικοποίηση***Επέλεξε** μια αρχική λύση s_0 **Επέλεξε** μια αρχική θερμοκρασία t_0 **Επέλεξε** μια συνάρτηση μείωσης της θερμοκρασίας $\alpha(t)$ **repeat****repeat**τυχαία επιλογή μιας γειτονιάς $s \in N(s_0)$ $\delta = f(s) - f(s_0)$ **if** $\delta < 0$ **then** $s_0 = s$ **else**δημιουργούμε τυχαία x , ομοιόμορφα κατανεμημένα
στην ακτίνα $(0, 1)$ **if** $x < e^{-\frac{\delta}{t}}$ **then** $s_0 = s$ **endif****endif****until** ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ολοκληρωθεί $t = \alpha(t)$ **until** κάποιο κριτήριο τερματισμού να ικανοποιηθεί**Επέστρεψε** τη βέλτιστη λύση.*Εικόνα 3.5.4.1 Ψευδκώδικας του αλγορίθμου προσομοιωμένης
ανόπτησης*

Βασικό στοιχείο του αλγορίθμου είναι η σωστή αρχή επιλογή του T καθώς και ο τρόπος μείωσής του. Η αρχική τιμή του T επηρεάζει τον αλγόριθμο σημαντικά, καθώς μια κακή επιλογή τιμής θα είχε ως αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να μην αποδεχθεί ποτέ καμία λύση με χειρότερο κόστος, με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό σε ένα τοπικό ελάχιστο. Αντίστοιχα η μείωση της τιμής T επηρεάζει την αποδοτικότητα του αλγορίθμου. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μείωσης, οι σημαντικότεροι είναι η γραμμική μείωση αλλά και η εκθετική μείωση. Η επιλογή του τρόπου μείωσης γίνεται με βάση το πρόβλημα.

Κεφάλαιο 4

Επίλυση του δυναμικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων και ανάλυση αποτελεσμάτων

4.1 Δεδομένα και περιορισμοί του προβλήματος

Το δυναμικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, λύθηκε χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους που αναλύθηκαν παραπάνω. Η χρήση των αλγορίθμων έγινε στοχευμένα για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος. Η λύση του προβλήματος έγινε με χρήση του προγράμματος Matlab, το οποίο είναι ένα προγραμματιστικό περιβάλλον εύχρηστο για μαθηματικά προβλήματα όπως το συγκεκριμένο.

Το πρόβλημα έχει ως δεδομένα, 1 αποθήκη εμπορευμάτων, 50 πελάτες, την τοποθεσία της αποθήκης και των πελατών καθώς και τον χρόνο εξυπηρέτησης και την ζήτηση του κάθε πελάτη. Επιπλέον, δίνεται ο χρόνος έκτακτης εξυπηρέτησης του κάθε πελάτη, δηλαδή την χρονική στιγμή που καλεί ο πελάτης και ζητάει να εξυπηρετηθεί.

Ως περιορισμοί του προβλήματος ορίζεται ο μέγιστος χρόνος παραμονής του οχήματος στην διαδρομή, ο οποίος είναι 200 χρονικές μονάδες, αλλά και η μέγιστη χωρητικότητα του οχήματος, η οποία είναι 160. Ο αριθμός των οχημάτων δεν θεωρείται ως περιορισμός, το οποίο σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν όσα οχήματα θεωρηθούν ότι χρειάζονται.

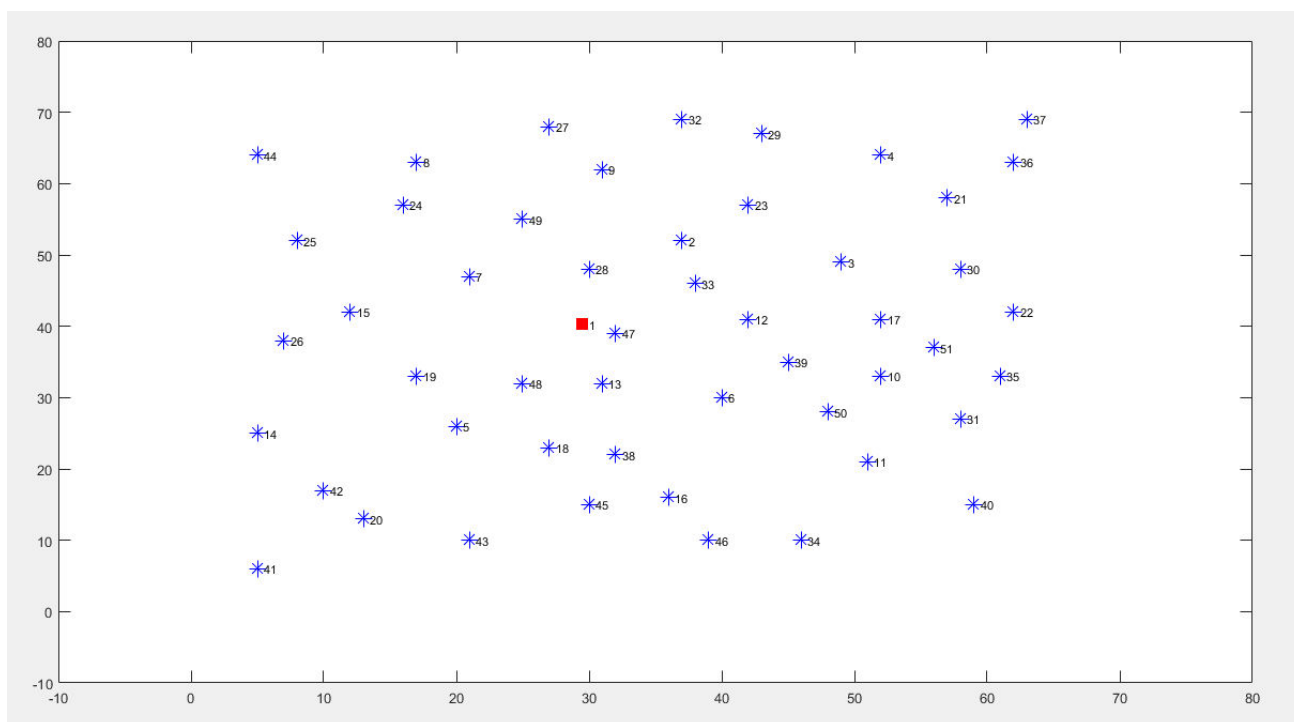
Δεδομένα	Περιορισμοί
Αριθμός αποθηκών	Χωρητικότητα του οχήματος
Αριθμός πελατών	Μέγιστος χρόνος παραμονής του οχήματος στην διαδρομή
Τοποθεσία πελατών και αποθήκης	
Χρόνος εξυπηρέτησης του κάθε πελάτη	
Ζήτηση του κάθε πελάτη	
Χρονική στιγμή έκτακτης εξυπηρέτησης	

Πίνακας 4.1.1 Δεδομένα και περιορισμοί του προβλήματος

Η τοποθεσία των πελατών και της αποθήκης έχει δοθεί με συντεταγμένες X και Y . Με την χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων οι συντεταγμένες μετατράπηκαν σε απόσταση του κάθε κόμβου από τον άλλον. Ο τύπος των ελαχίστων τετραγώνων είναι:

$$\text{Απόσταση } (i, j) = \sqrt{(X(i) - X(j))^2 + (Y(i) - Y(j))^2}$$

Η παρακάτω εικόνα είναι μια εικονική αναπαράσταση της τοποθεσίας του κάθε κόμβου. Ο κόμβος 1 είναι η αποθήκη.



Εικόνα 4.1.1 Γραφική απεικόνιση των κόμβων

4.2 Ιδέα και τρόπος λύσης του προβλήματος

Λόγω της έλλειψης περιορισμού ως προς τον αριθμό των οχημάτων, η ιδέα του προβλήματος στράφηκε στο να βρεθεί ο βέλτιστος αριθμός οχημάτων ο οποίος θα ικανοποιήσει τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό πελατών με το ελάχιστο κόστος. Επομένως, το πρόβλημα λύθηκε επανειλημμένα με διαφορετικές μεθόδους.

Υπάρχει ένας βασικός κορμός λύσης ο οποίος διατηρείται σε όλες τις διαφορετικές λύσεις που δημιουργήθηκαν. Κάθε λύση, όμως, δημιουργήθηκε με ένα διαφορετικό σκεπτικό, οπότε υπάρχουν μικρές αλλαγές σε κάθε περίπτωση. Όλες οι περιπτώσεις αναλύονται στην συνέχεια.

Ο βασικός κορμός της λύσης αποτελείται από την δημιουργία αρχικών λύσεων με την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα. Οι αρχικές λύσεις, λαμβάνουν υπόψιν του πελάτες που έχουν έκτακτη εξυπηρέτηση ίση με μηδέν. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι, δημιουργούνται διαδρομές με τους πελάτες που έχουν ενημερώσει έγκαιρα για την ενδεχόμενη εξυπηρέτηση που ζητούν. Οι πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση μεγαλύτερη του μηδενός, την χρονική στιγμή που δημιουργούνται οι αρχικές διαδρομές, είναι άγνωστοι και ως προς την τοποθεσία τους αλλά και την ζήτησή τους.

Στην συνέχεια, επειδή η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα προσδίδει μεν μια γρήγορη και εφικτή λύση αλλά δεν είναι βελτιστοποιημένη δε, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης, με στόχο την βελτιστοποίηση της αρχικής λύσης. Οι αλγόριθμοι αυτοί διαφέρουν σε κάθε περίπτωση αλλά κυρίως χρησιμοποιήθηκαν ο 1-1exchange και ο 2-opt.

Έπειτα, θα πρέπει να εισαχθούν στις υπάρχουσες διαδρομές οι πελάτες που έχουν έκτακτη εξυπηρέτηση. Πριν γίνει αυτό, έχουν οριστεί τρεις χρονικές στιγμές, στις οποίες το σύστημα εισχωρεί τους πελάτες αυτούς. Οι χρονικές στιγμές αυτές είναι η 50, η 100 και η 150. Πρακτικά, την χρονική στιγμή 50 το σύστημα κοιτάζει ποιοι πελάτες έχουν ζητήσει εξυπηρέτηση, και στην συνέχεια ενημερώνουν τις διαδρομές με τους πελάτες αυτούς. Αντίστοιχα το ίδιο συμβαίνει και τις χρονικές στιγμές 100 και 150. Οι χρονικές στιγμές επιλέχθηκαν με βάση τα δεδομένα και όχι τυχαία.

Πρακτικά, η τοποθέτηση των πελατών γίνεται ως εξής: στις ήδη υπάρχουσες διαδρομές βρίσκεται το χρονικό σημείο 50. Δηλαδή βρίσκεται η τοποθεσία του οδηγού την χρονική στιγμή που ενημερώνεται το σύστημα για τους καινούριους πελάτες. Έτσι, γίνεται τοποθέτηση των νέων πελατών μετά από τον πελάτη που βρέθηκε μόλις. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να τοποθετηθούν όλοι οι πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση μικρότερη, ίση του 50. Το ίδιο συμβαίνει και τις χρονικές στιγμές 100 και 150.

Υπάρχει η πιθανότητα να τοποθετηθεί ένας πελάτης με έκτακτη εξυπηρέτηση σε μια διαδρομή χωρίς η διαδρομή να έχει φτάσει στην χρονική στιγμή που ο πελάτης καλεί. Για παράδειγμα, έστω ότι ένας πελάτης καλεί την χρονική στιγμή 165 και η διαδρομή έχει μέγιστο κόστος 140. Αν τοποθετηθεί ο πελάτης στην διαδρομή, τότε ο οδηγός θα χρειαστεί να περιμένει μέχρι την στιγμή 165 έτσι ώστε να τον εξυπηρετήσει. Έτσι δημιουργείται ένα επιπλέον κόστος το οποίο είναι ίσο με $165-140=25$ χρονικές μονάδες, οι οποίες προστίθενται στο κόστος της διαδρομής.

4.3 Περιπτώσεις και ανάλυση αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, η λύση του συγκεκριμένου προβλήματος έγινε πολλαπλές φορές. Οι διαφορές ανάμεσα στις περιπτώσεις αφορούν, είτε τον τρόπο εύρεσης των αρχικών λύσεων, είτε με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθεί η λύση αυτή, καθώς και με τον τρόπο που τοποθετήθηκαν οι πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση. Οι περιπτώσεις παρουσιάζονται στην συνέχεια.

4.3.1 Περίπτωση 1: Λύση με 100% στις αρχικές διαδρομές

Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε στο έπακρο το χρονικό όριο διαμονής στην διαδρομή που διαθέτουν τα οχήματα. Δηλαδή οι αρχικές διαδρομές είχαν το μέγιστο αριθμό πελατών που μπορούν να εξυπηρετηθούν με βάση τους περιορισμούς που έχουν τεθεί. Οι διαδρομές που δημιουργήθηκαν με την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα είναι οι εξής:

Διαδρομές											Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	50	31	35	51	30	36	1	211	128
1	48	38	45	43	42	41	46	1			199	107
1	49	32	29	37	40	1					203	62
1	34	44	1								156	34
Σύνολο											769	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.1.1

Είναι φανερό ότι δημιουργήθηκε ο ελάχιστος δυνατός αριθμός διαδρομών. Στην συνέχεια έγινε χρήση των αλγορίθμων 2-opt και 3-opt για βελτιστοποίηση των λύσεων. Τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω:

Διαδρομές											Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	36	30	51	35	31	50	39	1	204	128
1	48	38	45	43	42	41	46	1			199	107
1	40	37	29	32	49	1					203	62
1	34	44	1								156	34
Σύνολο											762	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.1.2

Παρατηρείται ότι το κόστος ξεπερνάει το όριο που έχει τεθεί από το πρόβλημα το οποίο είναι 200 χρονικές μονάδες. Οπότε η λύση θα έπρεπε να είχε απορριφθεί εξ αρχής.

Για εκπαιδευτικούς λόγους, η διαδικασία συνεχίστηκε κανονικά. Συνεπώς, προστέθηκαν οι πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση στις διαδρομές:

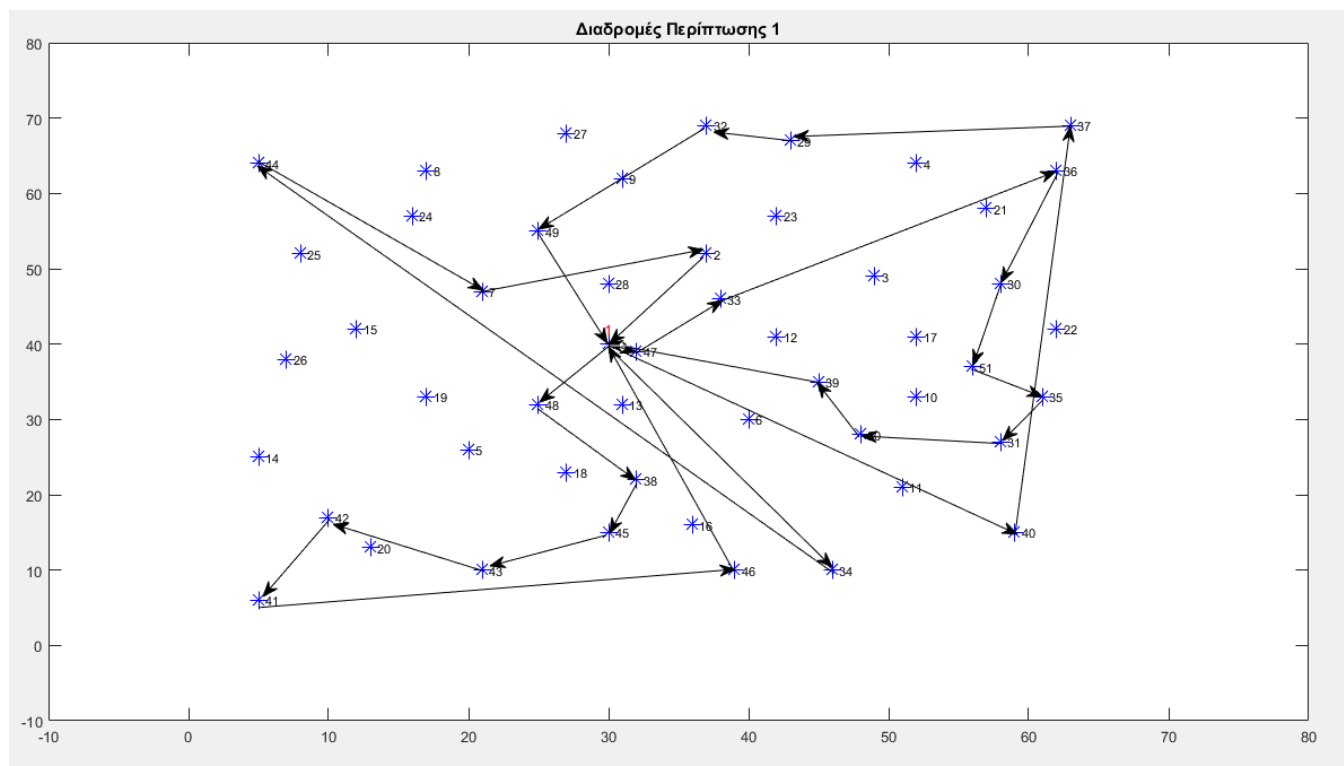
Διαδρομές											Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	36	30	51	35	31	50	39	1	204	128
1	48	38	45	43	42	41	46	1			199	107
1	40	37	29	32	49	1					203	62
1	34	44	7	2	1						195	56
Σύνολο											801	353

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.1.3

Όπως φαίνεται στο παραπάνω πίνακα, προστέθηκαν μόνο 2 πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση. Ο πελάτης 7 και ο πελάτης 2 και οι δύο πελάτες ανήκουν στο πρώτο update των διαδρομών. Αυτό συνέβη διότι οι διαδρομές είχαν ήδη φτάσει κοντά στο όριο των 200 χρονικών μονάδων που θέτει το πρόβλημα, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η εκχώρηση των πελατών με έκτακτη εξυπηρέτηση.

Το συνολικό κόστος των διαδρομών είναι 801 και θεωρείται σχετικά μικρό σε σχέση με τις επόμενες λύσεις. Αυτό όμως συμβαίνει καθώς μόνο 2 πελάτες με έκτακτη ζήτηση εξυπηρετήθηκαν από τους 27. Αυτομάτως, η λύση δεν θεωρείται αρκετά αποτελεσματική.

Η εικονική αναπαράσταση των διαδρομών παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.3.1.1 Διαδρομές περίπτωσης 1

Οι 25 πελάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν εισέρχονται σε διαδρομές οι οποίες θα εκπληρωθούν την επόμενη εργάσιμη ημέρα. Οι τέσσερις διαδρομές αυτές είναι:

Αυριανές διαδρομές									
1	28	12	17	10	11	6	13	18	1
1	19	5	20	14	26	15	25	1	
1	23	3	21	4	9	27	8	1	
1	24	16	22	1					

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.1.4

4.3.2 Περίπτωση 2: Λύση με 66% στις αρχικές διαδρομές (1) 9 οχήματα

Βλέποντας τα αποτελέσματα της προηγούμενης περίπτωσης, διαπιστώθηκε ότι η εκχώρηση των πελατών στις αρχικές διαδρομές στο 100% της διαδρομής, δεν έχει αποδοτικά αποτελέσματα καθώς δεν παραμένει ελεύθερος χώρος για τους πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση. Για αυτόν τον λόγο, οι αρχικές διαδρομές δημιουργήθηκαν στο 66% της μέγιστης χωρητικότητας. Δηλαδή τα 2/3 των 200 χρονικών μονάδων ισούται με 166,6 χρονικές μονάδες και τα 2/3 του 160 που είναι η μέγιστη χωρητικότητα και ισούται με 106,6.

Με αυτόν τον τρόπο, τα οχήματα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι πιο πολλά αλλά και οι πελάτες που θα εξυπηρετηθούν θα αυξηθούν αναλόγως. Χρησιμοποιώντας ένα ποσοστό της συνολικής ζήτησης και του συνολικού χρονικού περιθωρίου για τις αρχικές διαδρομές, υπάρχει μεγάλη δυνατότητα εκχώρησης των πελατών με έκτακτη ζήτηση.

Οι αρχικές διαδρομές που δημιουργήθηκαν είναι οι εξής:

Διαδρομές					Κόστος	Ζήτηση
1	47	30	36	1	114	28
1	48	42	41	1	114	59
1	33	29	37	1	125	32
1	39	31	34	1	115	57
1	49	32	44	1	131	39
1	38	46	1		83	19
1	50	35	1		87	44
1	45	43	1		86	29
1	51	40	1		106	24
Σύνολο					961	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.2.1

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπως φαίνεται και από τον πίνακα χρησιμοποιήθηκαν 9 οχήματα για την ικανοποίηση της ζήτησης. Το συνολικό κόστος των διαδρομών είναι 961 χρονικές μονάδες και 331 μονάδες ζήτησης ικανοποιήθηκε. Στην συνέχεια με την χρήση των μεθόδων 2-opt και 3-opt έγινε προσπάθεια για βελτιστοποίηση της λύσης, η οποία όμως παρέμεινε ίδια.

Έπειτα, προστέθηκαν οι πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση και οι διαδρομές διαμορφώθηκαν ως εξής:

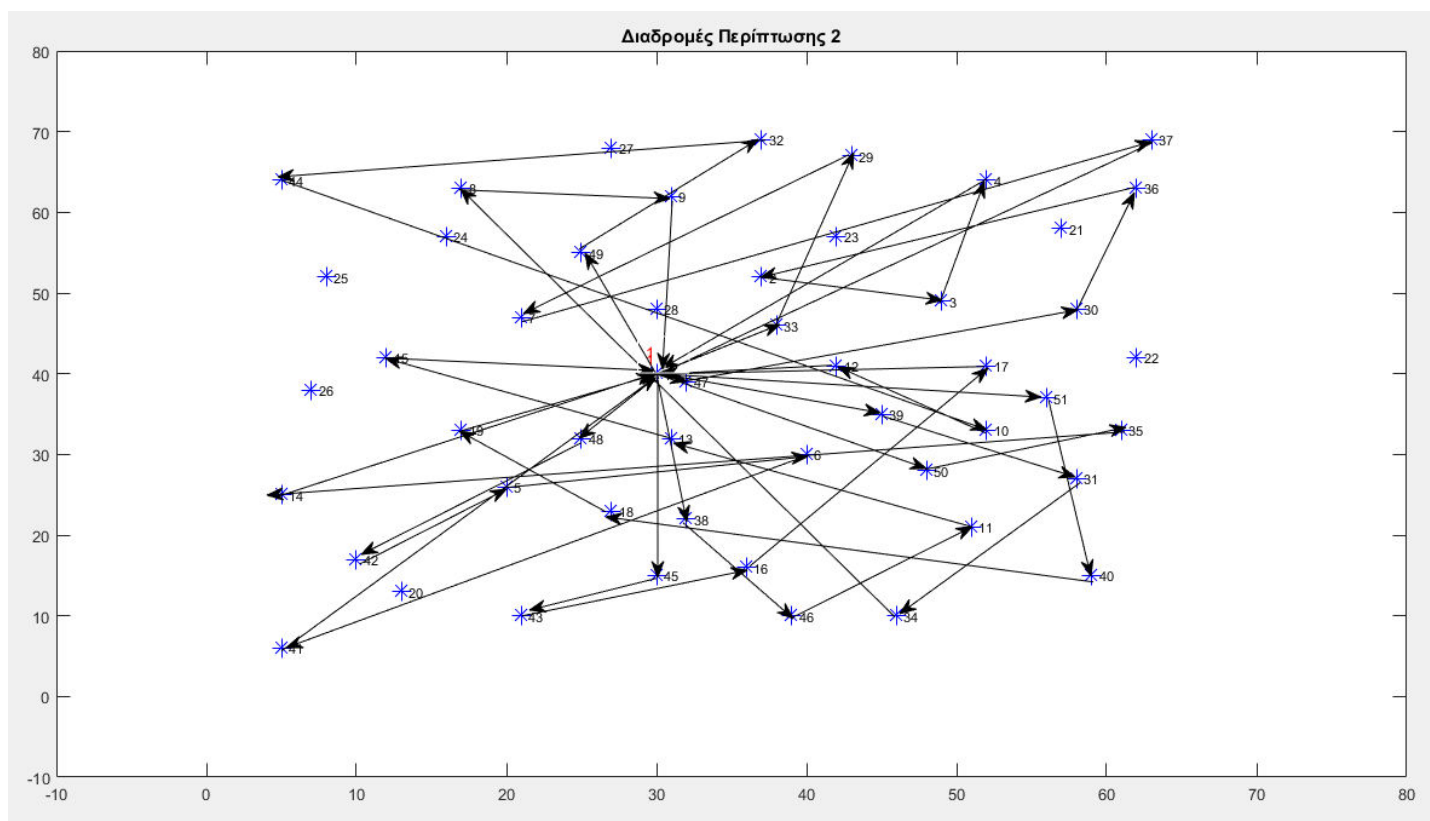
Διαδρομές								Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	30	36	2	3	4	1	192	0	192	81
1	48	42	5	6	41	1		199	0	199	89
1	33	29	7	37	1			192	0	192	47
1	39	31	34	8	9	1		198	0	198	99
1	49	32	44	10	12	1		197	0	197	69
1	38	46	11	13	15	1		160	32	192	74
1	50	35	14	1				151	44	195	67
1	45	43	16	17	1			143	54	197	54
1	51	40	18	19	1			150	49	199	68
Σύνολο										1761	648

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.2.2

Όπως έχει αναφερθεί και προηγούμενα, έχουν καθοριστεί τρεις χρονικές στιγμές στις οποίες γίνεται η ενημέρωση των διαδρομών (updates). Οι χρονικές στιγμές είναι 50χρονικές μονάδες, 100 και 150. Οι πελάτες με το κόκκινο χρώμα ανήκουν στην κατηγορία του 1^{ου} update, αυτοί με το πορτοκαλί χρώμα στο 2^ο και τέλος αυτοί με το πράσινο στο 3^ο update.

Είναι σαφές ότι το κόστος αυξήθηκε σημαντικά, αλλά είναι φυσικό καθώς ο αριθμός των πελατών που εξυπηρετήθηκαν είναι πολύ μεγαλύτερος. Παρατηρούνται επίσης, δύο επιπλέον στήλες στον παραπάνω πίνακα. Το κόστος της διαδρομής, είναι το καθαρό κόστος που έχει η διαδρομή χωρίς τις καθυστερήσεις που υπάρχουν από αναμονές. Ενώ, το κόστος αναμονής είναι ο χρόνος που περιμένει ο οδηγός χωρίς να εξυπηρετεί κανέναν πελάτη, περιμένοντας τις νέες διαδρομές να δημιουργηθούν. Το συνολικό κόστος ισούται με το άθροισμα των δύο προηγούμενων κοστών.

Φαίνεται ότι οι αρχικές διαδρομές δεν έχουν κανένα κόστος αναμονής. Αυτό συμβαίνει διότι οι πελάτες 2 έως 12 ενημερώνουν αρκετά νωρίς για την εξυπηρέτηση που χρειάζονται οπότε μπορούν να εξυπηρετηθούν αμέσως. Αντίθετα, οι πελάτες 15 έως και 27 αργούν να ενημερώσουν, που πρακτικά σημαίνει ότι το όχημα θα αναγκαστεί να περιμένει μέχρι να ενημερώσει ο πελάτης.



Εικόνα 4.3.2.1 Διαδρομές περίπτωσης 2

Το συνολικό κόστος των διαδρομών είναι 1761 χρονικές μονάδες, ενώ η ζήτηση που ικανοποιήθηκε είναι 648 μονάδες. Οι πελάτες που δεν ικανοποιήθηκαν εισέρχονται στις αυριανές διαδρομές, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

Αυριανές διαδρομές						
1	28	23	21	22	27	1
1	25	24	26	20	1	

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.2.3

4.3.3 Περίπτωση 3: Λύση με 66% στις αρχικές διαδρομές (2) 8 οχήματα

Στην παρούσα περίπτωση οι αρχικές λύσεις δημιουργήθηκαν και αυτές με όριο 66% των 200 χρονικών μονάδων αλλά επειδή παρατηρήθηκε σχετικά ανόμοια κατανομή ως προς την ζήτησή τους, έγινε προσπάθεια η ζήτηση να είναι πιο ομοιόμορφη. Επιλέχθηκαν 8 οχήματα για την συγκεκριμένη περίπτωση και τα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω:

Διαδρομές					Κόστος	Ζήτηση
1	47	51	40	1	116	29
1	48	42	41	1	114	59
1	33	30	36	1	115	35
1	39	31	34	1	115	57
1	49	32	29	1	100	42
1	38	46	37	1	169	25
1	50	35	44	1	164	55
1	45	43	1		86	29
Σύνολο					979	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.3.1

Προφανώς η ζήτηση των αρχικών διαδρομών δεν μπορεί να είναι διαφορετική, καθώς εξυπηρετούνται οι ίδιοι ακριβώς πελάτες. Το κόστος των διαδρομών αυξήθηκε σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση αλλά μειώθηκαν τα οχήματα που θα χρησιμοποιηθούν. Το οποίο είναι αρκετά σημαντικό.

Έπειτα από χρήση 2-opt και 3-opt για βελτιστοποίηση της λύσης διαμορφώθηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Διαδρομές					Κόστος	Ζήτηση
1	40	51	47	1	106	29
1	48	42	41	1	114	59
1	33	30	36	1	115	35
1	39	31	34	1	115	57
1	49	32	29	1	100	42
1	38	46	37	1	169	25
1	50	35	44	1	164	55
1	45	43	1		86	29
Σύνολο					969	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.3.2

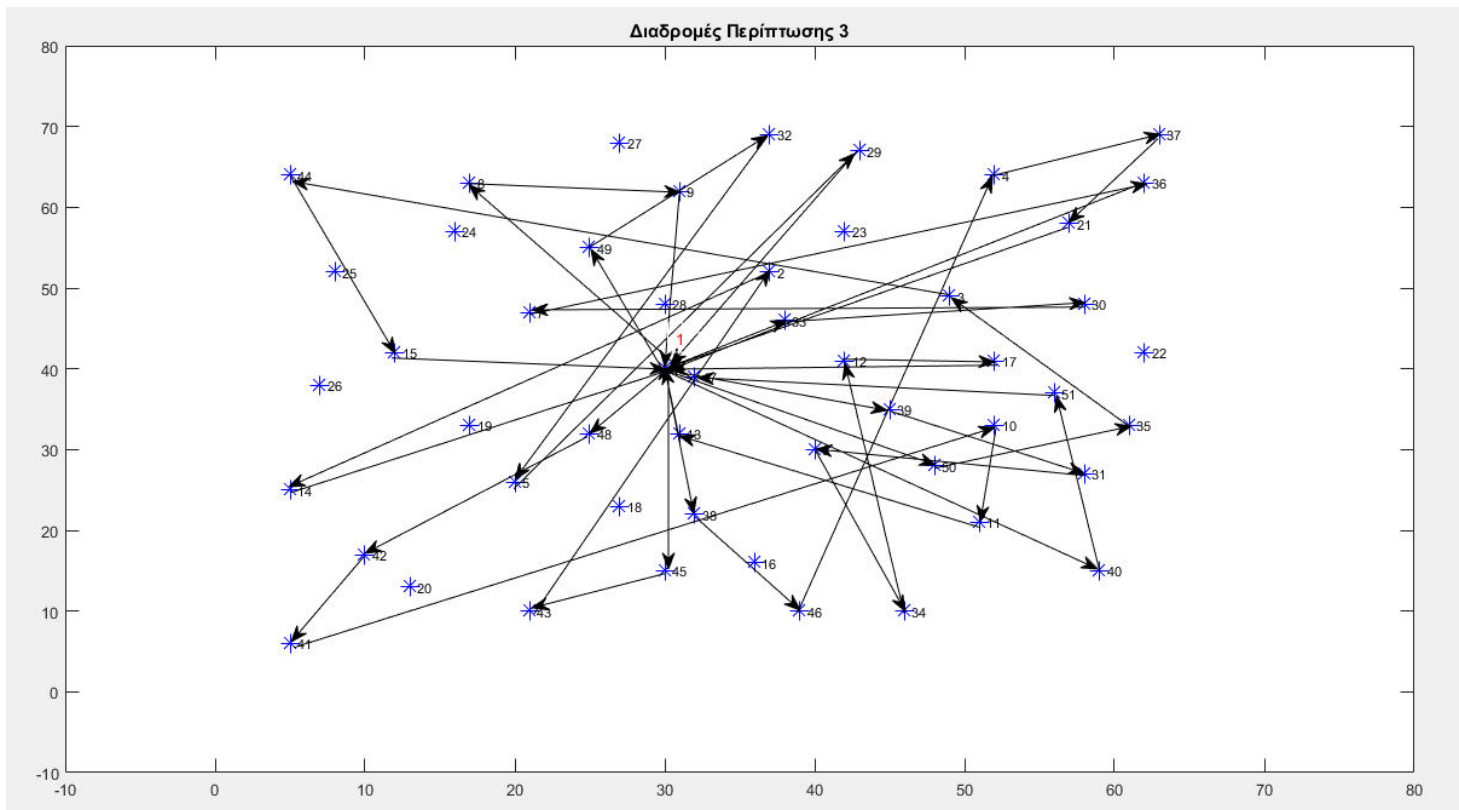
Έγινε αλλαγή της θέσης, 2 κόμβων στην πρώτη διαδρομή μειώνοντας το συνολικό κόστος της διαδρομής κατά 10 χρονικές μονάδες. Σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση υπάρχει αύξηση 8 μονάδων στις διαδρομές αλλά ένα λιγότερο όχημα.

Η τοποθέτηση των πελατών με έκτακτη εξυπηρέτηση έγινε με διαφορετικό τρόπο σε αυτήν την περίπτωση. Για να αποφευχθεί το κόστος αναμονής στις τελευταίες διαδρομές, προστέθηκαν οι πρώτοι πελάτες που κάλεσαν στις διαδρομές αυτές. Πιο αναλυτικά, όπως φάνηκε στην προηγούμενη λύση του προβλήματος, οι τελευταίες διαδρομές είχαν κόστος αναμονής καθώς εξυπηρετούσαν τους πελάτες και περίμεναν να ανανεωθεί η διαδρομή. Για την αποφυγή του κόστους αυτού, προστέθηκαν οι πελάτες που καλούσαν πρώτοι στις διαδρομές αυτές, έτσι ώστε να εξυπηρετούν τα οχήματα ενώ οι διαδρομές ανανεώνονται. Τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω:

Διαδρομές								Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	40	51	47	8	9	1		198	0	198	71
1	48	42	41	10	11	13	1	199	0	199	104
1	33	30	7	36	1			190	0	190	50
1	39	31	6	34	12	17	1	193	0	193	112
1	49	32	5	29	1			197	0	197	51
1	38	46	4	37	21	1		194	0	194	69
1	50	35	3	44	15	1		193	0	193	106
1	45	43	2	14	1			191	0	191	59
Σύνολο										1555	622

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.3.3

Εξυπηρετήθηκαν 16 πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση ενώ στην προηγούμενη περίπτωση 18. Το συνολικό κόστος των διαδρομών είναι σαφώς μικρότερο και λόγω των λιγότερων εξυπηρετούμενων πελατών αλλά και λόγω μη δημιουργίας κόστους αναμονής, το οποίο επιτεύχθηκε με την τοποθέτηση όλων των κόμβων του αρχικού update στις διαδρομές που παρατηρείται ότι υπάρχει κόστος αναμονής.



Εικόνα 4.3.3.1 Διαδρομές περίπτωσης 2

Οι πελάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν, τοποθετούνται στις αυριανές διαδρομές αναλόγως.

Αυριανές διαδρομές							
1	19	26	25	24	27	23	1
1	22	18	16	20	17	1	

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.3.4

4.3.4 Περίπτωση 4: 10 οχήματα

Όπως έχει αναφερθεί και προηγούμενα, το πρόβλημα δεν εμπεριέχει περιορισμό ως προς τον αριθμό των οχημάτων. Οι αλλαγές στην περίπτωση αυτή αλλά και στις επόμενες διαδρομές αφορούν κυρίως τον αριθμό των οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Στην παρούσα περίπτωση επιλέχθηκαν 10 οχήματα, καθώς οι περιπτώσεις των 8 και 9 οχημάτων έχουν ήδη καλυφθεί. Οι αρχικές διαδρομές έπειτα από τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα:

Διαδρομές					Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	34	1	115	47
1	48	42	41	1	114	59
1	33	29	44	1	134	37
1	39	35	1		83	41
1	49	32	1		84	28
1	38	46	1		83	19
1	50	40	1		96	32
1	45	43	1		86	29
1	51	36	1		112	27
1	30	37	1		114	12
Σύνολο					1021	331

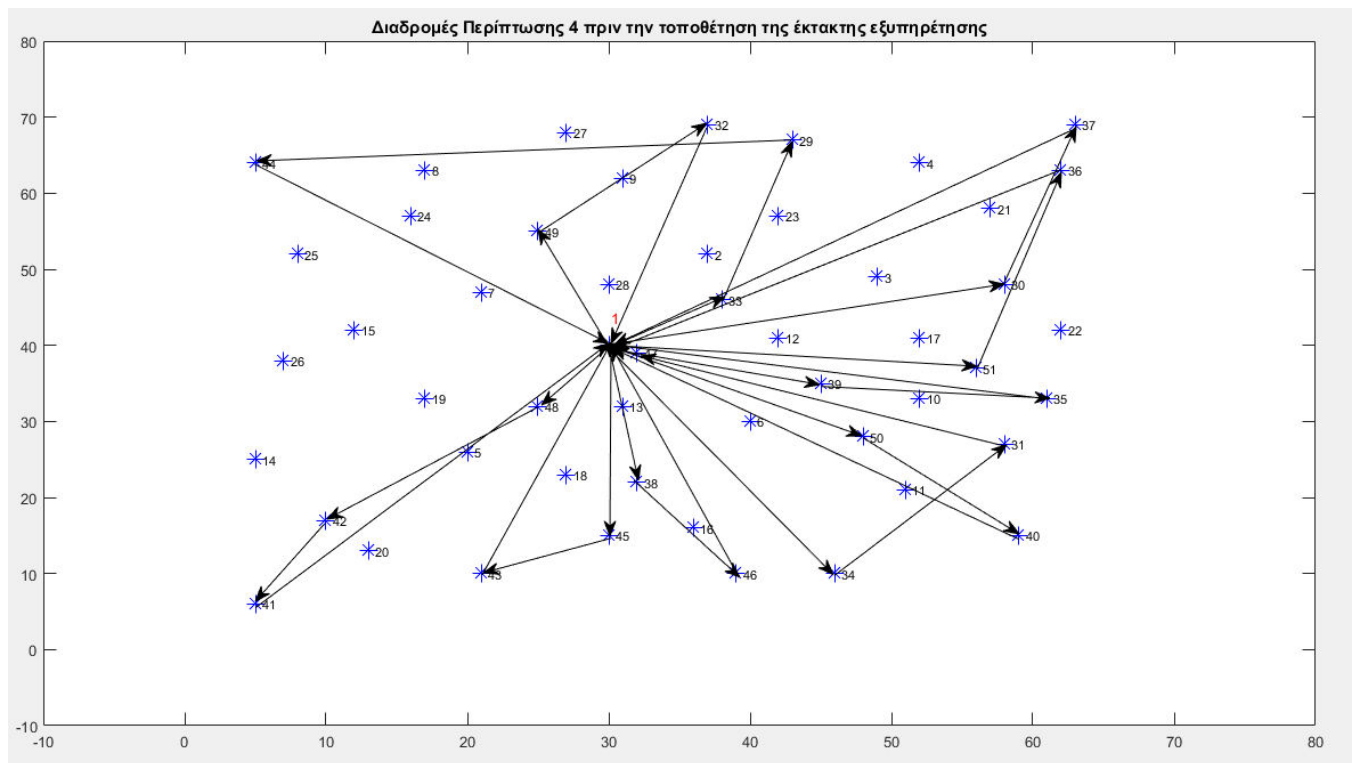
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.4.1

Αυξάνοντας τα οχήματα είναι φυσικό να αυξηθεί και το κόστος των διαδρομών, όσο αφορά τις αρχικές διαδρομές. Αλλά το κόστος που ενδιαφέρει την επιχείρηση είναι το τελικό.

Όσο αυξάνονται οι διαδρομές, τόσο θα μειώνονται οι κόμβοι που θα βρίσκονται στις διαδρομές. Οι παραπάνω διαδρομές καθιστούν τον αλγόριθμο 3-opt μη αποτελεσματικό, καθώς και ο 2-opt μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στην πρώτη και την δεύτερη διαδρομή. Έτσι, στην περίπτωση αυτή αλλά και στις επόμενες χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος 1-1 exchange ο οποίος ανταλλάζει κόμβους ανάμεσα από τις διαδρομές. Τα αποτελέσματα έπειτα από χρήση του 2-opt αλλά και του 1-1 exchange είναι:

Διαδρομές					Κόστος	Ζήτηση
1	34	31	47	1	115	47
1	48	42	41	1	114	59
1	33	29	44	1	134	37
1	39	35	1		83	41
1	49	32	1		84	28
1	38	46	1		83	19
1	50	40	1		96	32
1	45	43	1		86	29
1	51	36	1		112	27
1	30	37	1		114	12
Σύνολο					1021	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.4.2



Εικόνα 4.3.4.1 Διαδρομές περίπτωσης 4 πριν την τοποθέτηση της έκτακτης εξυπηρέτησης

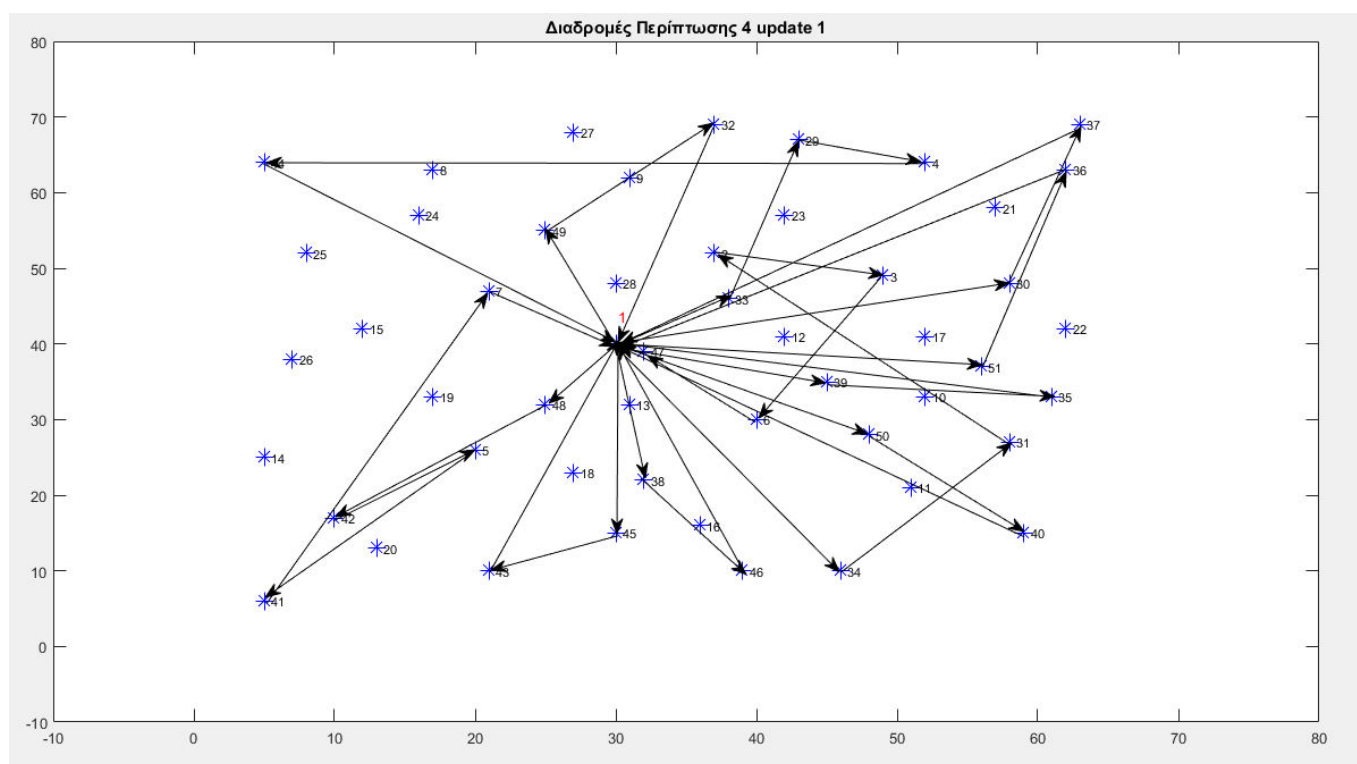
Έγιναν αλλαγές οι οποίες όμως δεν επέφεραν κάποια σημαντική μείωση στο κόστος των διαδρομών. Παρόλα αυτά διατηρήθηκαν καθώς επηρεάζουν το επόμενο βήμα που είναι η τοποθέτηση των πελατών με έκτακτη εξυπηρέτηση.

Διαδρομές								Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	34	31	2	3	6	47	1	195	0	195	105
1	48	42	5	41	7	13	1	199	0	199	112
1	33	29	4	44	8	9	1	196	0	196	105
1	39	35	10	11	12	17	1	166	28	194	81
1	49	32	14	1				147	45	192	51
1	38	46	15	19	1			138	52	190	81
1	50	40	16	18	1			130	51	181	45
1	45	43	20	1				105	68	173	38
1	51	36	21	23	1			135	55	190	63
1	30	37	22	1				139	59	198	20
Σύνολο										1908	701

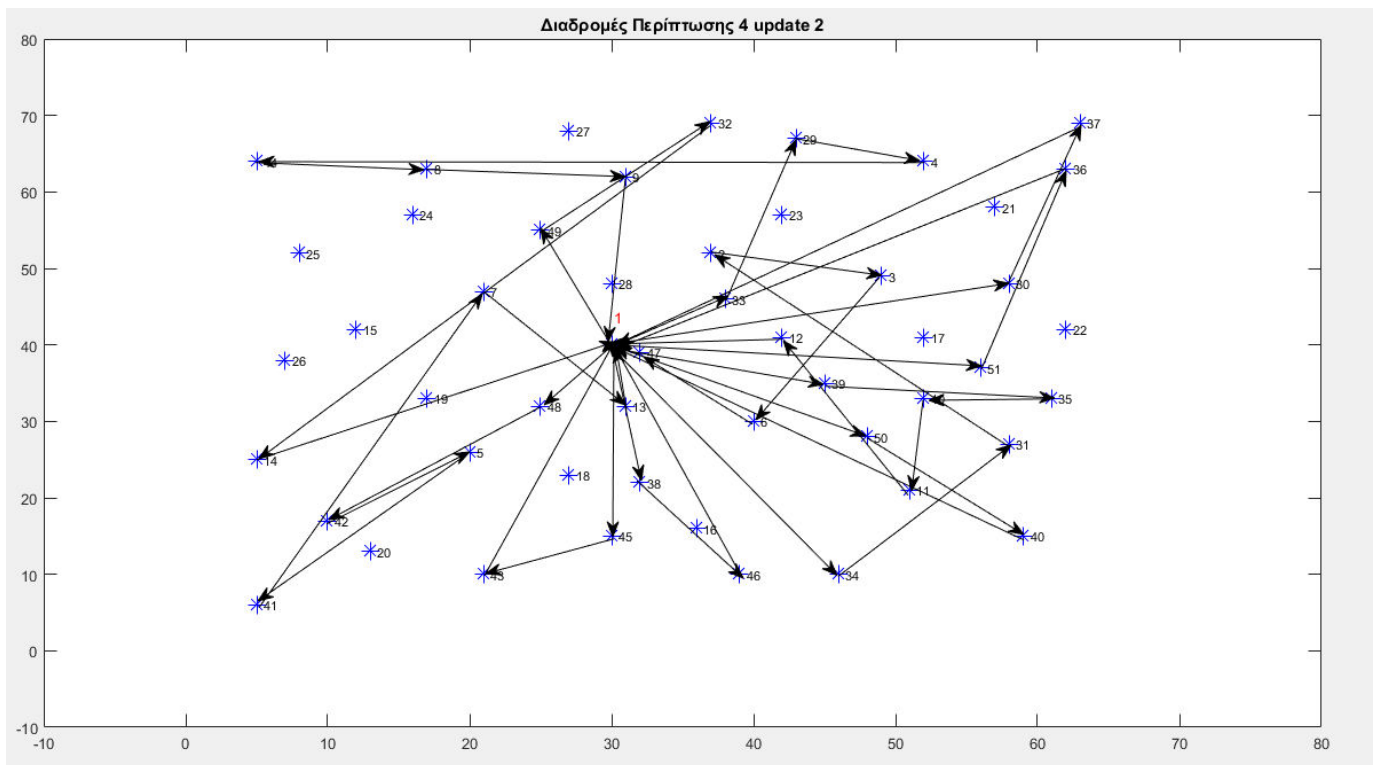
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.4.3

Είναι προφανές ότι το συνολικό κόστος έχει αυξηθεί κατά πολύ, αυτό συνέβη διότι εξυπηρετείται ο μεγαλύτερος αριθμός πελατών που έχει επιτευχθεί μέχρι τώρα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ικανοποιήθηκαν 22 πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση, κάτι που σημαίνει ότι μόνο 5 πελάτες θα εξυπηρετηθούν την επόμενη ημέρα. Στις αρχικές διαδρομές τοποθετούνται οι πελάτες τους πρώτου update, ενώ στην συνέχεια τοποθετούνται οι υπόλοιποι. Για αυτόν τον λόγο, οι τελευταίες διαδρομές έχουν κόστος αναμονής, καθώς οι πελάτες έκτακτης εξυπηρέτησης που τοποθετούνται είναι εκείνοι του τελευταίου update, δηλαδή αυτοί που ενημερώνουν μετά την χρονική στιγμή 100 και μέχρι την χρονική στιγμή 150.

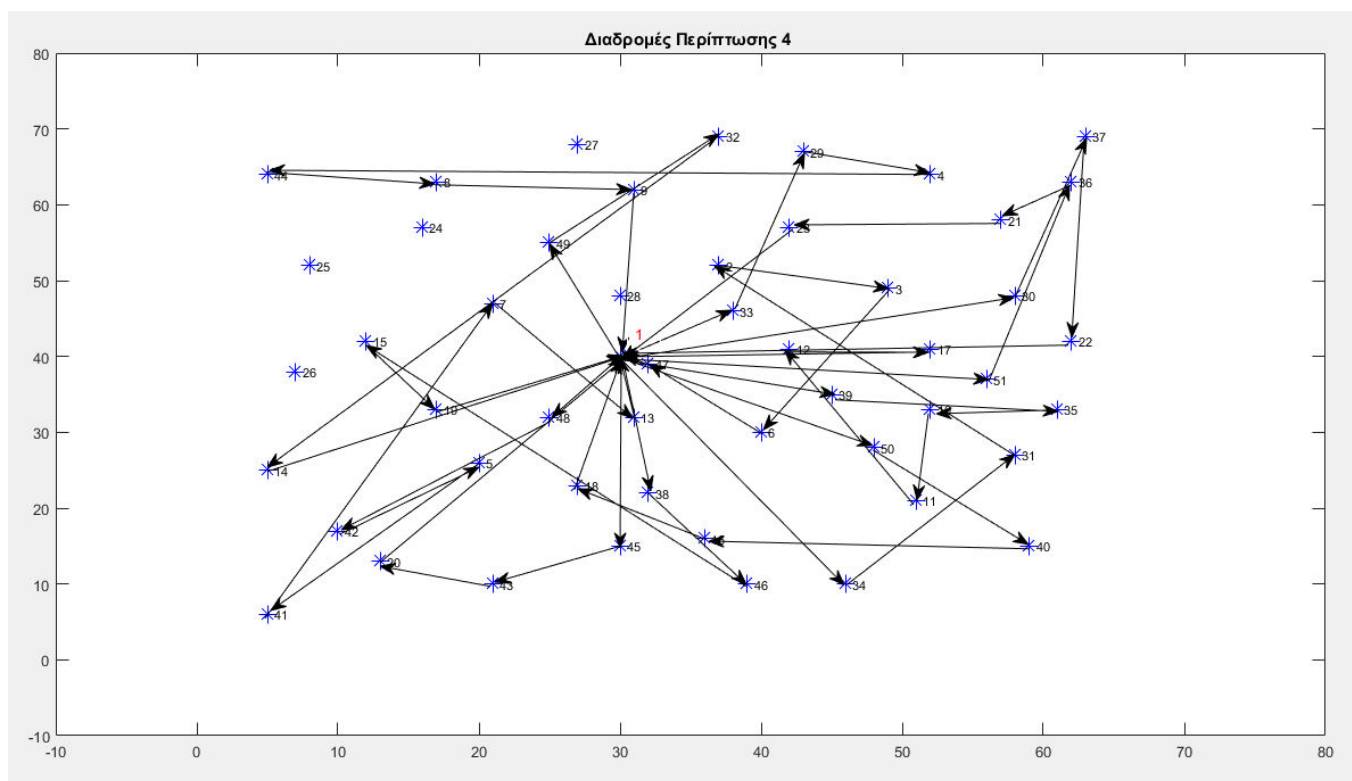
Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαδρομές και ο τρόπος που δημιουργήθηκαν, ανά update.



Εικόνα 4.3.4.2 Διαδρομές περίπτωσης 4 έπειτα από update 1



Εικόνα 4.3.4.3 Διαδρομές περίπτωσης 4 έπειτα από update 2



Εικόνα 4.3.4.4 Τελικές Διαδρομές Περίπτωσης 4

Οι 5 πελάτες που μέινανε θα τοποθετηθούν σε αυριανή διαδρομή. Επίσης, αρκετά σημαντικό είναι το γεγονός ότι δημιουργείται μόνο μία διαδρομή για την επόμενη ημέρα, κάτι που δεν συνέβαινε στις προηγούμενες περιπτώσεις. Με αποτέλεσμα, να υπάρχει μεγαλύτερο περιθώριο για του πελάτες που θα καλέσουν την επόμενη ημέρα. Η αυριανή διαδρομή είναι η εξής:

Αυριανή διαδρομή						
1	28	24	25	26	27	1

Πίνακας αυριανής διαδρομής 4.3.4.4

4.3.5 Περίπτωση 5: 11 οχήματα

Συνεχίζοντας την διερεύνηση για το καλύτερο αποτέλεσμα, ο επόμενος τρόπος που αναλύθηκε είναι τα 11 οχήματα. Οι αρχικές διαδρομές αναλύονται παρακάτω:

Διαδρομές					Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	41	1	160	31
1	48	42	1		81	52
1	33	29	1		81	26
1	39	35	1		83	41
1	49	44	1		92	28
1	38	46	1		83	19
1	50	40	1		96	32
1	45	43	1		86	29
1	51	36	1		112	27
1	30	37	1		114	12
1	32	34	1		143	34
Σύνολο					1131	331

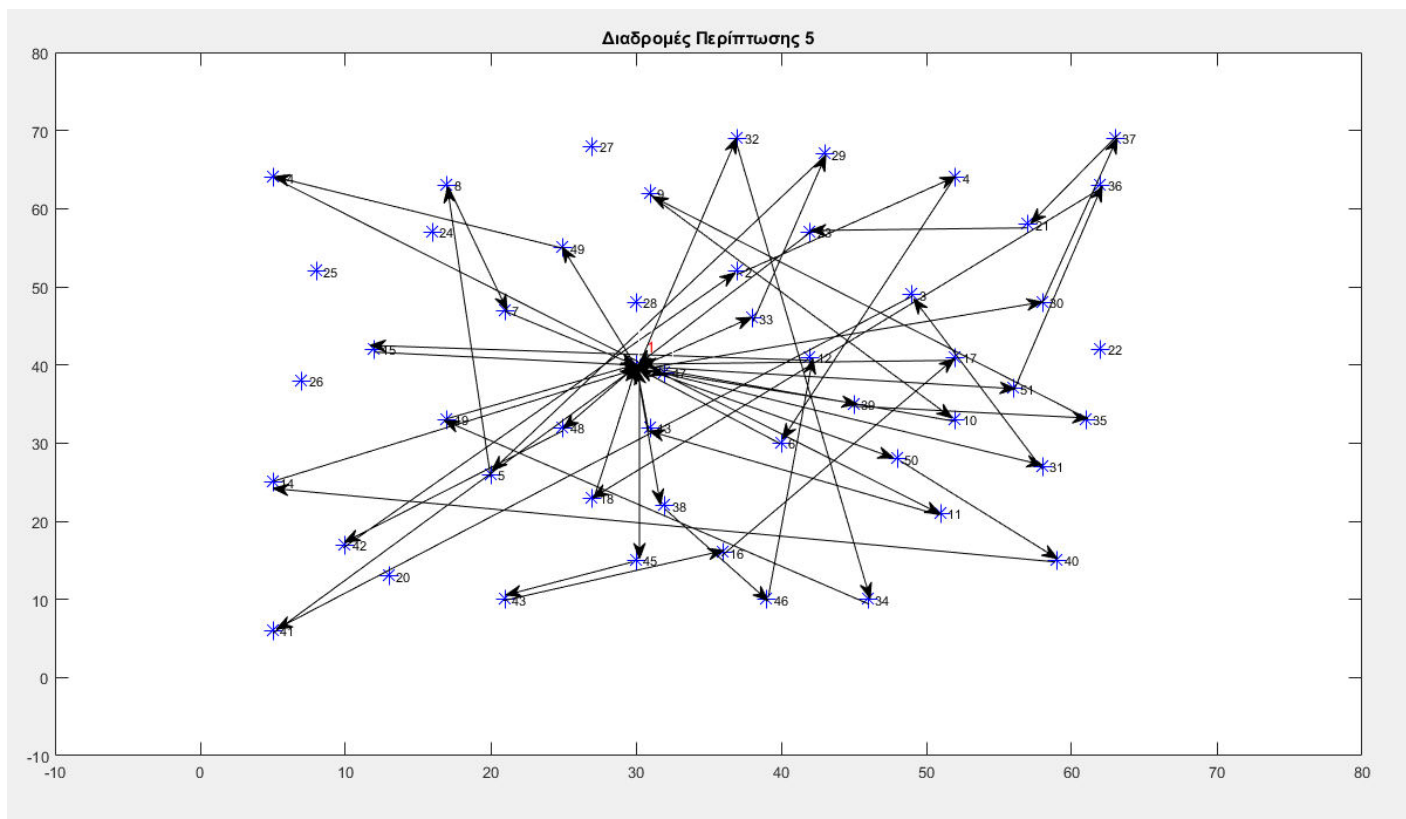
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.5.1

Η μορφή των διαδρομών καθιστά και τον 2-opt αλλά και τον 3-opt μη αποδοτική λύση για βελτιστοποίηση των διαδρομών. Συνεπώς έγινε χρήση του αλγορίθμου 1-1 exchange ο οποίος όμως δεν βρήκε κάποια καλύτερη εναλλακτική. Οι παραπάνω διαδρομές, λοιπόν, είναι και αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκχώρηση των πελατών με έκτακτη ζήτηση.

Διαδρομές							Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	3	41	1		198	0	198	61
1	48	42	2	4	6	1	194	0	194	96
1	33	29	5	8	7	1	193	0	193	69
1	39	35	9	10	1		172	18	190	75
1	49	44	11	13	1		171	27	198	62
1	38	46	12	15	1		151	37	188	59
1	50	40	14	1			152	41	193	55
1	45	43	16	17	1		143	54	197	54
1	51	36	18	1			153	45	198	30
1	30	37	21	23	1		139	57	196	48
1	32	34	19	1			171	10	181	75
Σύνολο									2126	684

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.5.2

Το κόστος των διαδρομών ισούται με 2126 χρονικές μονάδες. Είναι φανερό, ότι η προηγούμενη περίπτωση είχε σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Οι πελάτες με έκτακτη εξυπηρέτηση που εξυπηρετήθηκαν στην περίπτωση αυτή είναι ίσοι με 20, 2 λιγότεροι από την προηγούμενη λύση. Θα μπορούσε να θεωρηθεί αποδεκτό το αποτέλεσμα, αλλά η χρήση ενός παραπάνω οχήματος θα έπρεπε να είχε παραπάνω εξυπηρετούντες και όχι λιγότερους σε συνδυασμό με μεγαλύτερο κόστος. Όσο αφορά την σύγκριση με την προηγούμενη λύση, η συγκεκριμένη υστερεί σε μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 4.3.5.1 Διαδρομές περίπτωσης 5

Οι εναπομείναντες πελάτες τοποθετούνται στις αυριανές διαδρομές.

Αυριανές διαδρομές					
1	28	24	25	26	1
1	27	20	22	1	

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.5.3

4.3.6 Περίπτωση 6: 11 οχήματα (2)

Τα αποτελέσματα της προηγούμενης περίπτωσης ήταν πολύ κατώτερα από τα αναμενόμενα, οπότε έγινε προσπάθεια να λυθεί το πρόβλημα διαφορετικά έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι αποδεκτά. Ο τρόπος εκχώρησης των πελατών με έκτακτη εξυπηρέτηση είναι η μόνη διαφορά ανάμεσα στις δύο λύσεις. Συνεπώς οι αρχικές διαδρομές αλλά και οι λύσεις μετά από τον 1-exchange αλγόριθμο είναι οι ίδιες με της προηγούμενης μεθόδου:

Διαδρομές					Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	41	1	160	31
1	48	42	1		81	52
1	33	29	1		81	26
1	39	35	1		83	41
1	49	44	1		92	28
1	38	46	1		83	19
1	50	40	1		96	32
1	45	43	1		86	29
1	51	36	1		112	27
1	30	37	1		114	12
1	32	34	1		143	34
Σύνολο					1131	331

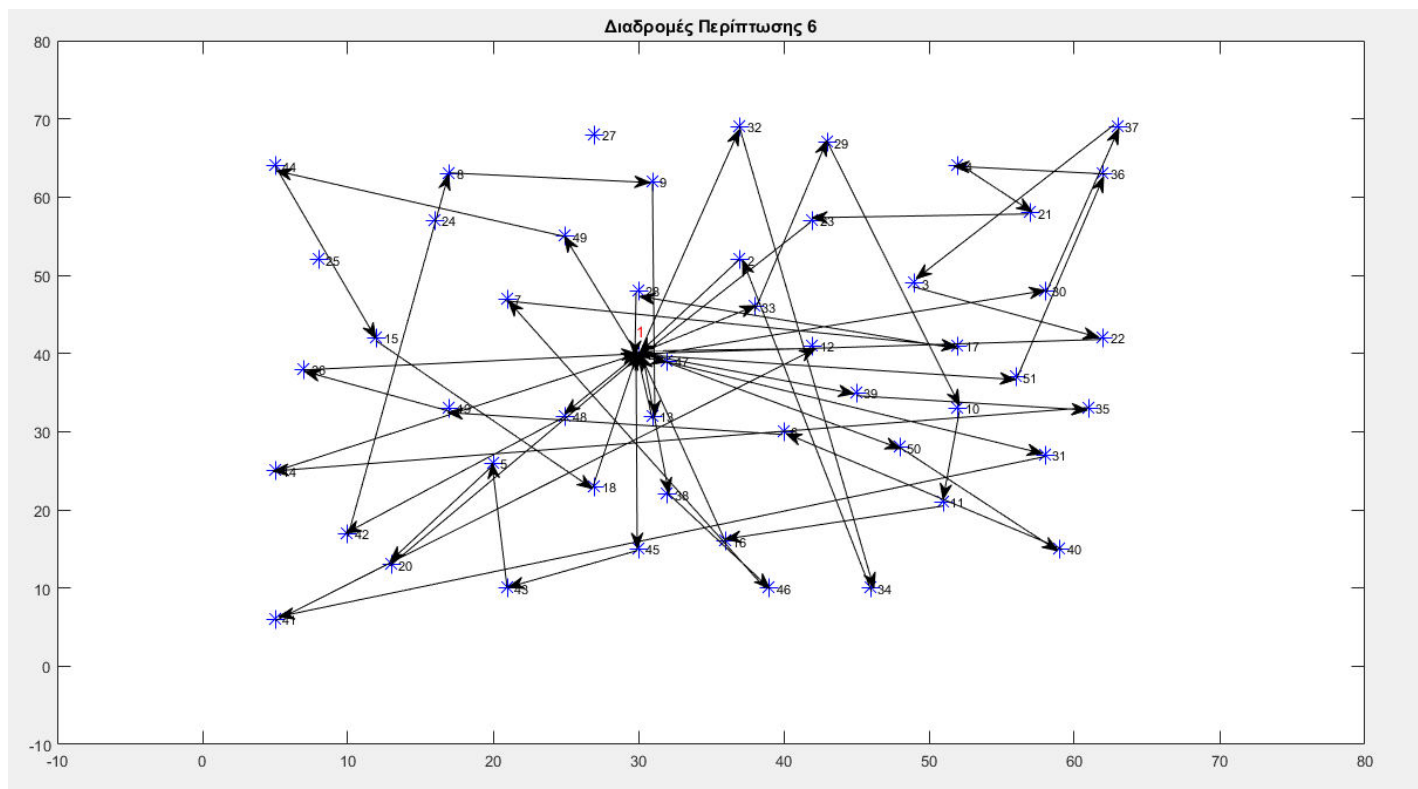
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.6.1

Παρατηρήθηκε στην προηγούμενη περίπτωση ότι οι χρόνοι αναμονής στις τελευταίες διαδρομές ήταν αρκετά μεγάλοι. Συνεπώς, χρησιμοποιήθηκε το τέχνασμα που είχε χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενη μέθοδο, στο οποίο τοποθετούνται οι πελάτες του πρώτου update (κόκκινο χρώμα) στις διαδρομές όπου επιβεβαιωμένα υπάρχει μεγάλη αναμονή. Οι διαδρομές που δημιουργήθηκαν:

Διαδρομές							Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	41	12	1		190	0	190	50
1	48	42	8	9	13	1	179	9	188	123
1	33	29	10	11	16	1	169	28	197	52
1	39	35	14	1			147	48	195	64
1	49	44	15	18	1		142	47	189	52
1	38	46	7	17	28	1	185	11	196	64
1	50	40	6	19	26	1	170	27	197	122
1	45	43	5	20	1		137	42	179	47
1	51	36	4	21	23	1	156	35	191	79
1	30	37	3	22	1		161	24	185	50
1	32	34	2	1			176	0	176	41
Σύνολο									2083	744

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.6.2

Τα αποτελέσματα του τεχνάσματος είναι εξαιρετικά. Με τον ίδιο αριθμό οχημάτων, μειώθηκε το συνολικό κόστος ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκαν οι πελάτες που εξυπηρετήθηκαν. Το κόστος μειώθηκε κατά 43 χρονικές μονάδες και οι εξυπηρετήθηκαν 4 πελάτες επιπλέον. Συνεπώς, είναι φανερό ότι ο τρόπος εκχώρησης των έκτακτων πελατών έχει σημαντικό αντίκτυπο στο κόστος των διαδρομών.



Εικόνα 4.3.6.1 Διαδρομές περίπτωσης 6

Οι τρεις πελάτες που δεν μπόρεσαν να εξυπηρετηθούν τοποθετούνται στην αυριανή διαδρομή.

Αυριανή διαδρομή				
1	24	25	27	1

Πίνακας αυριανής διαδρομής 4.3.6.3

4.3.7 Περίπτωση 7: 12 οχήματα

Συνεχίζοντας την διερεύνηση για την βέλτιστη λύση, επόμενη επιλογή οχημάτων είναι τα 12 οχήματα. Οι αρχικές διαδρομές έπειτα από χρήση του αλγορίθμου του πλησιέστερου γείτονα είναι:

Διαδρομές				Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	1	81	24
1	48	42	1	81	52
1	33	35	1	88	38
1	39	40	1	98	29
1	49	44	1	92	28
1	38	46	1	83	19
1	50	34	1	93	41
1	45	43	1	86	29
1	51	36	1	112	27
1	30	37	1	114	12
1	32	41	1	162	18
1	29	1	0	69	14
Σύνολο				1159	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.7.1

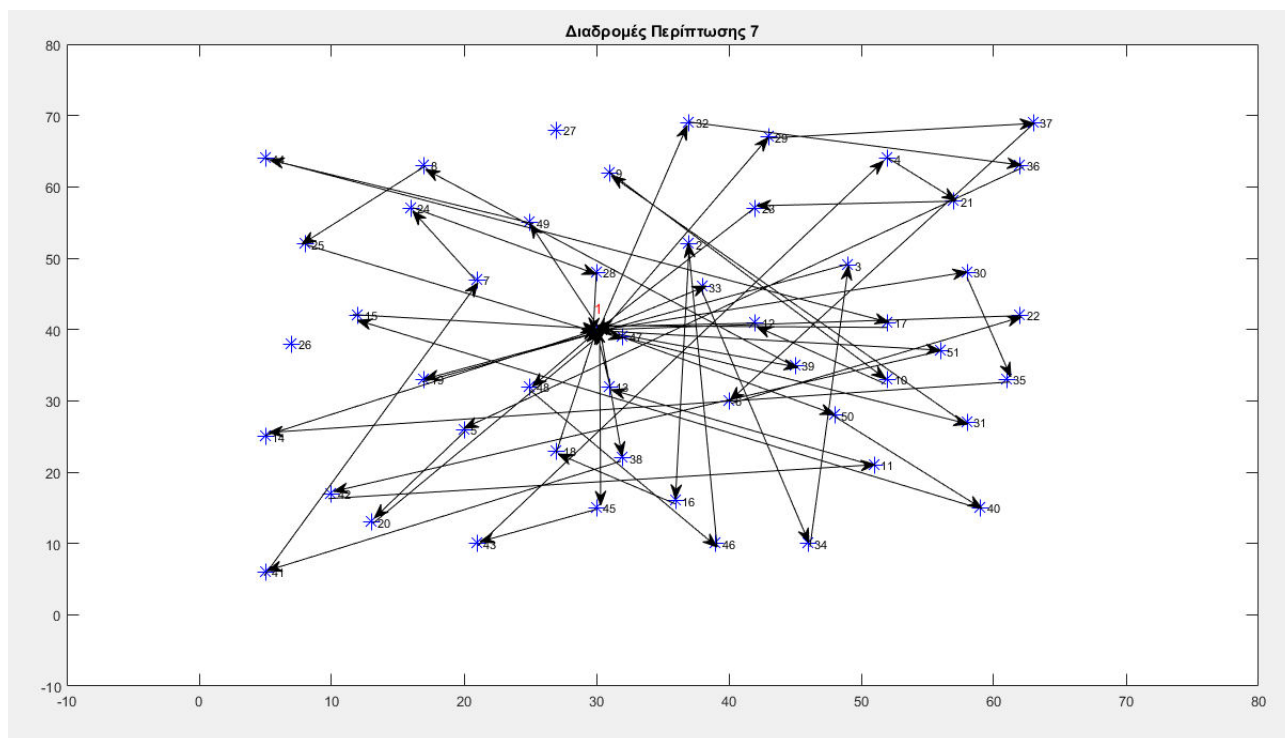
Όπως γίνεται κατανοητό, οι μέθοδοι 2-opt και 3-opt δεν είναι εφικτοί στις παραπάνω διαδρομές, οπότε μόνο ο αλγόριθμος 1-exchange μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ο οποίος, όμως δεν επέφερε καμία αλλαγή στις διαδρομές, καθώς το βέλτιστο είχε επιτευχθεί εξαρχής από την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα.

Στις παραπάνω διαδρομές εκχωρήθηκαν οι έκτακτοι πελάτες, οι οποίοι έπειτα από πολλές δοκιμές, επιφέρουν το βέλτιστο αποτέλεσμα αν εκχωρηθούν με βοήθεια του τεχνάσματος.

Διαδρομές							Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	9	10	12	1	185	0	185	77
1	51	42	11	13	1		188	0	188	71
1	30	35	14	1			160	35	195	55
1	50	40	15	1			140	46	186	53
1	49	44	17	1			142	57	199	43
1	48	46	2	16	18	1	192	2	194	55
1	33	34	3	19	1		176	4	180	106
1	45	43	4	21	23	1	191	0	191	81
1	32	36	5	20	1		198	0	198	46
1	29	37	6	22	1		192	4	196	49
1	38	41	7	24	28	1	179	11	190	62
1	39	8	25	1			124	61	185	44
Σύνολο									2287	742

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.7.2

Το συνολικό κόστος ανέρχεται στις 2287 χρονικές μονάδες, ενώ παράλληλα οι πελάτες με έκτακτη ζήτηση που εξυπηρετήθηκαν είναι 25. Αυξάνοντας λοιπόν τα οχήματα, ταυτόχρονα αυξάνονται και οι πελάτες που εξυπηρετούνται όπως είναι φυσικό. Η παραπάνω λύση μπορεί να θεωρηθεί η πιο αποτελεσματική προς το παρόν, καθώς εξυπηρετεί το μέγιστο αριθμό πελατών μέχρι τώρα ενώ παράλληλα δεν αυξάνει το κόστος σε απαγορευτικό νούμερο.



Εικόνα 4.3.7.1 Διαδρομές Περίπτωσης 7

Οι εναπομείναντες πελάτες τοποθετούνται στην αυριανή διαδρομή.

Αυριανή διαδρομή			
1	26	27	1

Πίνακας αυριανής διαδρομής 4.3.7.3

4.3.8 Περίπτωση 8: 13 οχήματα

Στην παρούσα περίπτωση, το πρόβλημα λύθηκε με την χρήση 13 οχημάτων συνεπώς δημιουργήθηκαν 13 διαδρομές. Έπειτα από χρήση του αλγορίθμου πλησιέστερου γείτονα, οι αρχικές διαδρομές διαμορφώθηκαν ως εξής:

Διαδρομές				Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	1	81	24
1	48	43	1	83	38
1	33	35	1	88	38
1	39	40	1	98	29
1	49	44	1	92	28
1	38	46	1	83	19
1	50	34	1	93	41
1	45	41	1	113	23
1	51	36	1	112	27
1	30	37	1	114	12
1	32	1		69	11
1	29	1		69	14
1	42	1		70	27
Σύνολο				1165	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.8.1

Έπειτα από χρήση του 1-lexchange αλγορίθμου οι διαδρομές αναδιαμορφώθηκαν και το κόστος ελαχιστοποιήθηκε. Οι διαδρομές παρουσιάζονται παρακάτω:

Διαδρομές				Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	1	81	24
1	45	43	1	86	38
1	33	35	1	88	38
1	32	40	1	146	29
1	49	44	1	92	28
1	50	46	1	93	19
1	38	34	1	90	41
1	42	41	1	104	23
1	51	36	1	112	27
1	29	37	1	113	12
1	39	1		41	11
1	48	1		28	14
1	30	1		68	27
Σύνολο				1137	331

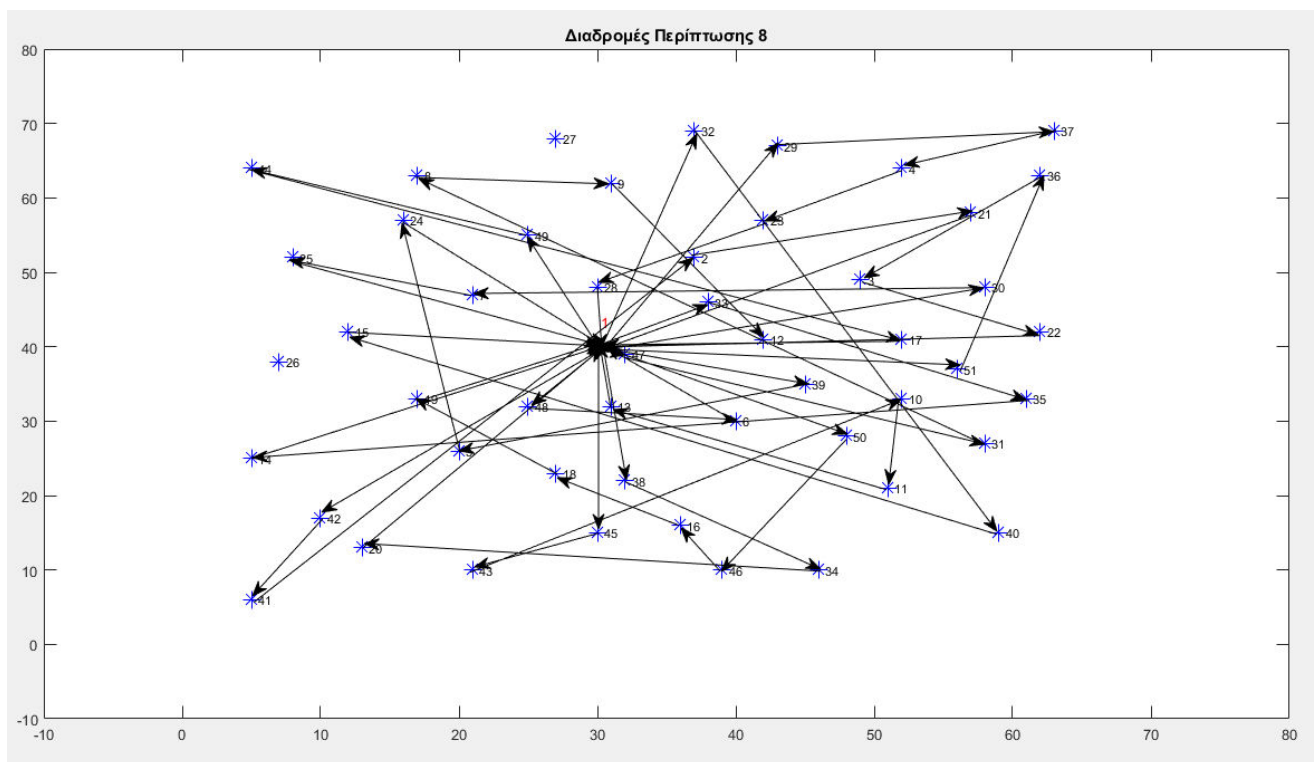
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.8.2

Ως αποτέλεσμα του αλγορίθμου 1-1exchange, μειώθηκε το συνολικό κόστος κατά 28 χρονικές μονάδες. Μπορεί η μείωση να φαντάζει μικρή, αλλά ο ρόλος της είναι σημαντικός για την βέλτιστη τοποθέτηση των πελατών με έκτακτη ζήτηση. Η εκχώρηση των οποίων έγινε στο επόμενο βήμα σε συνδυασμό με την χρήση του τεχνάσματος που έχει αναλυθεί.

Διαδρομές							Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	31	8	9	12	1	185	9	194	85
1	45	43	10	11	13	1	166	24	190	74
1	33	35	14	1			152	43	195	61
1	32	40	15	1			190	0	190	46
1	49	44	17	1			142	57	199	43
1	50	46	16	18	19	1	138	48	186	82
1	38	34	20	1			131	67	198	41
1	42	41	2	21	1		191	0	191	69
1	51	36	3	22	1		158	28	186	65
1	29	37	4	23	28	1	147	40	187	59
1	39	5	24	1			125	72	197	40
1	48	6	1				58	0	58	46
1	30	7	25	1			135	50	185	31
Σύνολο									2356	742

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.8.3

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, εξυπηρετήθηκαν 25 πελάτες έκτακτης ζήτησης. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι οι πελάτες που εξυπηρετήθηκαν είναι οι ίδιοι με αυτούς της προηγούμενης περίπτωσης ενώ παράλληλα, το συνολικό κόστος έχει αυξηθεί κατά 69 μονάδες. Επίσης αυξήθηκαν τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ ταυτόχρονα ο αριθμός πελατών που εξυπηρετήθηκαν παρέμεινε σταθερός. Επομένως, η λύση αυτή είναι κατώτερη της προηγούμενης.



Εικόνα 4.3.8.1 Διαδρομές Περίπτωσης 8

Οι πελάτες που δεν κατάφεραν να εξυπηρετηθούν, εκχωρούνται στην αυριανή διαδρομή.

Αυριανή διαδρομή			
1	26	27	1

Πίνακας αυριανής διαδρομής 4.3.8.4

4.3.9 Περίπτωση 9: 14 οχήματα

Στην προσπάθεια διερεύνησης της βέλτιστης λύσης και του βέλτιστου συνδυασμού των διαδρομών, αναλύθηκε η περίπτωση των 14 οχημάτων. Τα αποτελέσματα των διαδρομών έπειτα από χρήση του αλγορίθμου του πλησιέστερου γείτονα είναι τα παρακάτω:

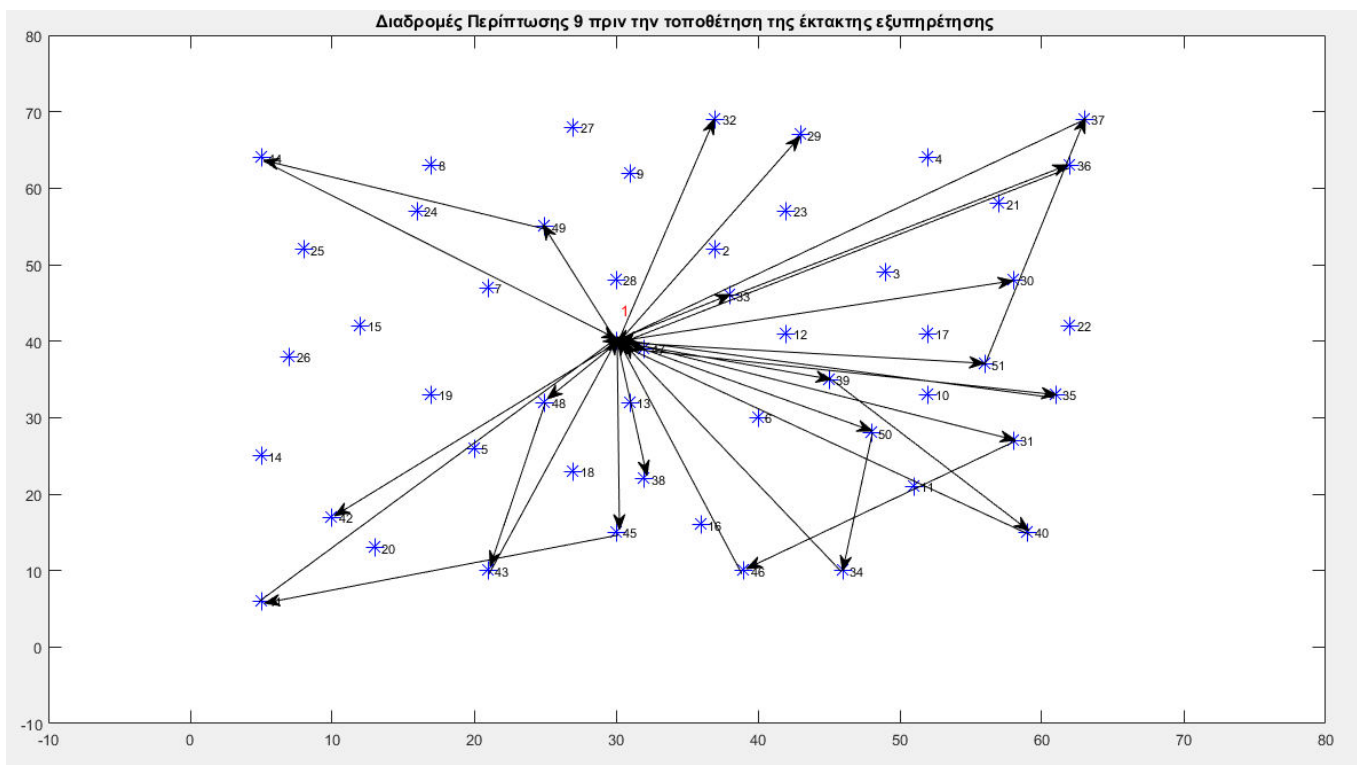
Διαδρομές				Κόστος	Ζήτηση
1	47	35	1	83	31
1	48	43	1	83	38
1	33	36	1	98	29
1	39	40	1	98	29
1	49	44	1	92	28
1	38	46	1	83	19
1	50	34	1	93	41
1	45	41	1	113	23
1	51	37	1	122	16
1	30	1	0	68	6
1	32	1	0	69	11
1	29	1	0	69	14
1	42	1	0	70	27
1	31	1	0	71	19
Σύνολο				1212	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.9.1

Όπως και στις προηγούμενες πρόσφατες περιπτώσεις, οι διαδρομές δεν ενδείκνυται για χρήση του 2-opt και του 3-opt, οπότε έγινε χρήση μόνο του αλγορίθμου 1-exchange. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Διαδρομές				Κόστος	Ζήτηση
1	47	35	1	83	31
1	48	43	1	83	38
1	33	36	1	98	29
1	39	40	1	98	29
1	49	44	1	92	28
1	31	46	1	107	29
1	50	34	1	93	41
1	45	41	1	113	23
1	51	37	1	122	16
1	30	1	0	68	6
1	32	1	0	69	11
1	29	1	0	69	14
1	42	1	0	70	27
1	38	1	0	46	9
Σύνολο				1211	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.9.2



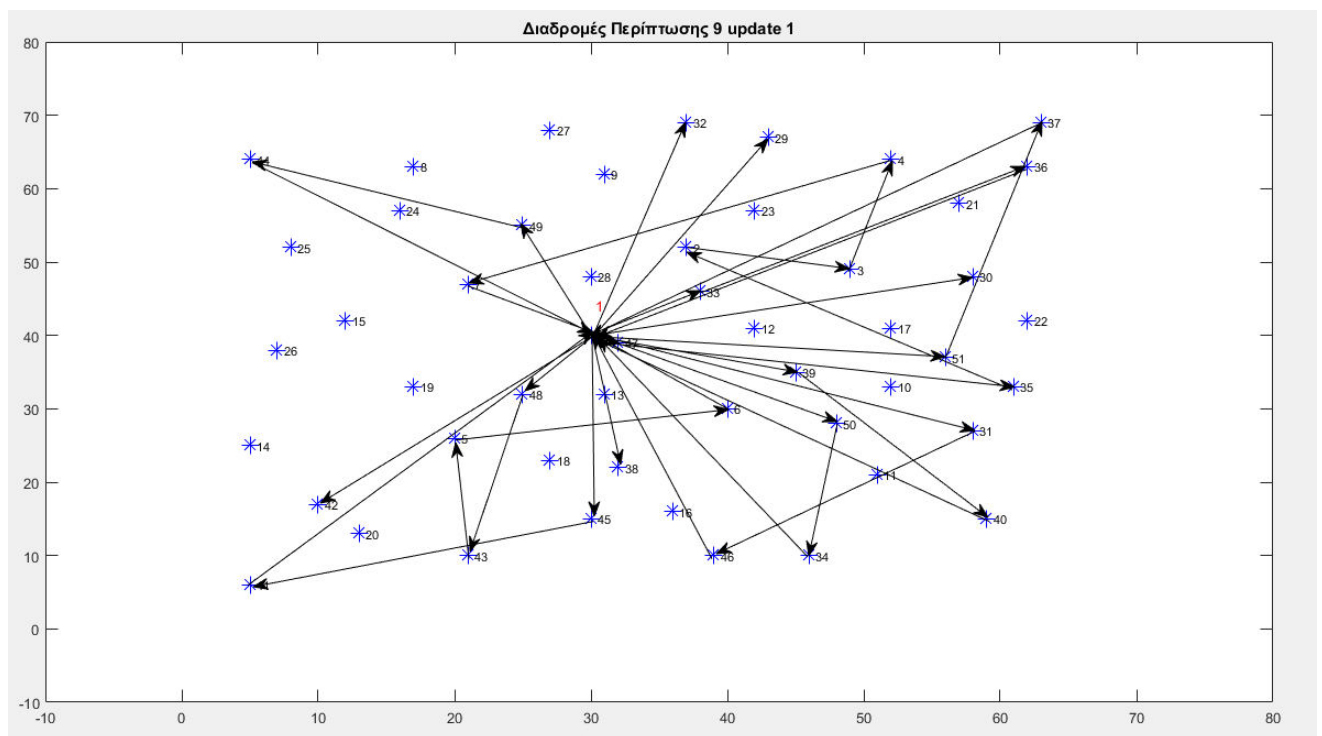
Εικόνα 4.3.9.1 Διαδρομές περίπτωσης 9 πριν την τοποθέτηση της έκτακτης εξυπηρέτησης

Έπειτα από χρήση του 1-1 exchange το κόστος μειώθηκε κατά 1 χρονική μονάδα. Το σημαντικότερο όμως είναι η ομοιόμορφη κατανομή ζήτησης που δημιουργήθηκε στην διαδρομή. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν οι πελάτες με την έκτακτη εξυπηρέτηση. Τα αποτελέσματα:

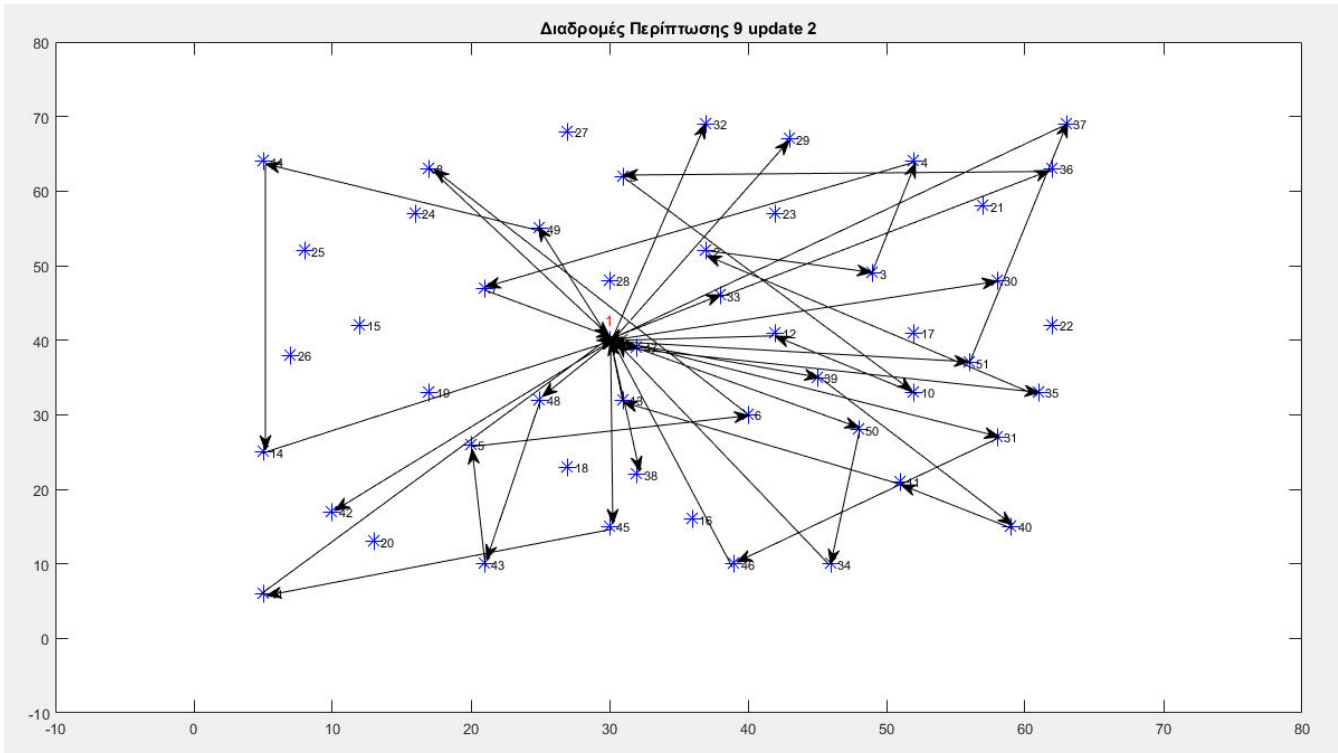
Διαδρομές								Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	35	2	3	4	7	1	196	0	196	99
1	48	43	5	6	8	24	1	196	0	196	103
1	33	36	9	10	12	1		181	10	191	82
1	39	40	11	13	15	1		162	24	186	84
1	49	44	14	18	1			156	42	198	54
1	31	46	16	17	1			154	33	187	54
1	50	34	19	1				121	60	181	82
1	45	41	20	1				124	52	176	32
1	51	37	21	23	1			147	49	196	52
1	30	22	1					88	90	178	14
1	32	27	1					88	105	193	18
1	29	28	1					80	108	188	29
1	42	26	1					94	99	193	55
1	38	1						46	0	46	9
Σύνολο										2505	767

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.9.3

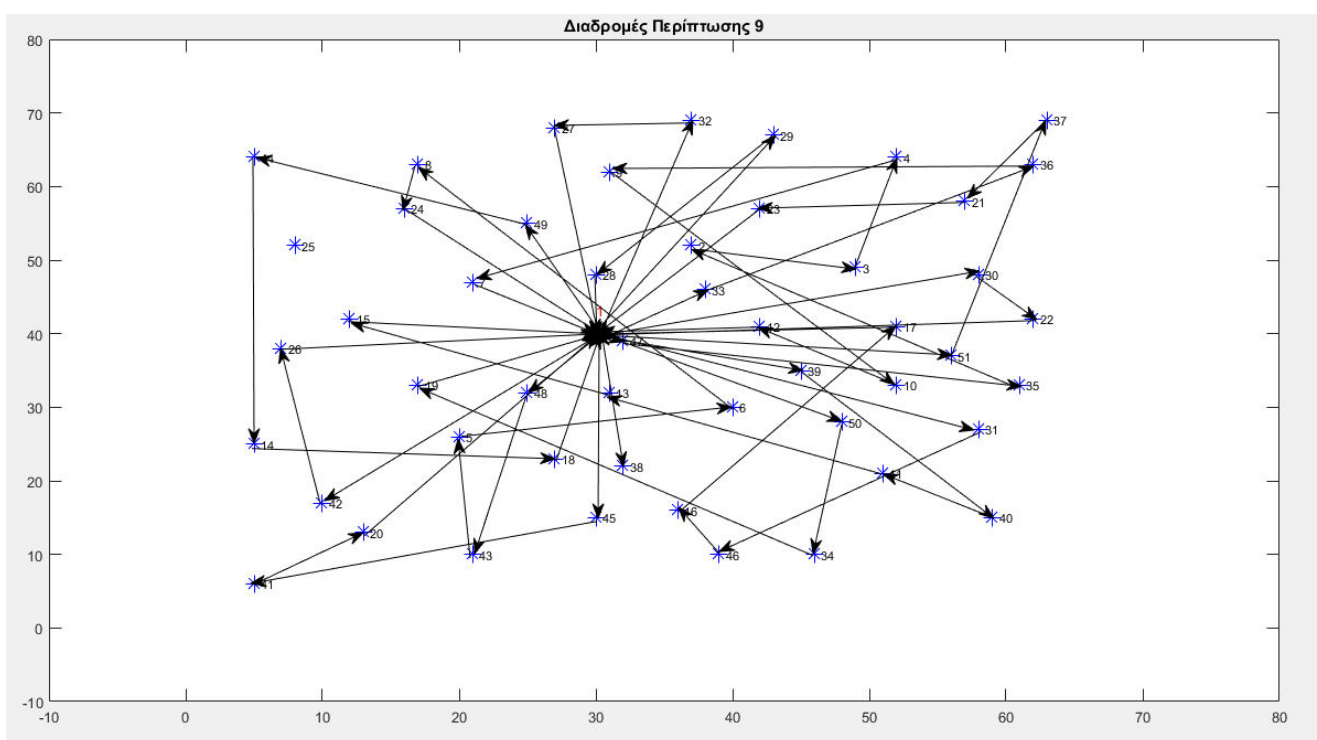
Η καλύτερη λύση μέχρι στιγμής είναι η παραπάνω, ως προς την εξυπηρέτηση των πελατών αλλά και ως το συνολικό κόστος. Η παραπάνω λύση, εξυπηρετεί όλους τους πελάτες εκτός από έναν. Επίσης, παρατηρείται ότι κανείς πελάτης δεν εκχωρείται στην τελευταία διαδρομή. Έπειτα από διερεύνηση, βρέθηκε ότι η τοποθέτηση του τελευταίου πελάτη στην συγκεκριμένη διαδρομή, παραβιάζει τον περιορισμό της μέγιστης παραμονής των οχημάτων στην διαδρομή. Η τοποθέτηση του πελάτη, εμφανίζει 210 κόστος στην διαδρομή 14, δηλαδή 10 χρονικές μονάδες παραπάνω από τον περιορισμό.



Εικόνα 4.3.9.2 Διαδρομές περίπτωσης 9 έπειτα από update 1



Εικόνα 4.3.9.3 Διαδρομές περίπτωσης 9 έπειτα από update 2



Εικόνα 4.3.9.4 Τελικές Διαδρομές Περίπτωσης 9

Ο πελάτης που δεν κατάφερε να εξυπηρετηθεί θα τοποθετηθεί στην αυριανή διαδρομή, και θα είναι ο πελάτης που θα εξυπηρετηθεί πρώτος ασχέτως τις αυριανές ζητούμενες εξυπηρετήσεις.

Αυριανή διαδρομή		
1	25	1

Πίνακας αυριανής διαδρομής 4.3.9.4

4.3.10 Περίπτωση 10: 15 οχήματα

Έπειτα από την προηγούμενη λύση που ήταν πολύ κοντά στην εξυπηρέτηση όλων των πελατών χρησιμοποιήθηκε 1 ακόμα όχημα για την βελτιστοποίηση της προηγούμενης λύσης. Οι αρχικές διαδρομές διαμορφώθηκαν ως εξής:

Διαδρομές				Κόστος	Ζήτηση
1	47	35	1	83	31
1	48	46	1	86	35
1	33	36	1	98	29
1	39	40	1	98	29
1	49	44	1	92	28
1	38	34	1	90	32
1	50	37	1	129	24
1	45	41	1	113	23
1	51	1	0	62	10
1	30	1	0	68	6
1	32	1	0	69	11
1	29	1	0	69	14
1	42	1	0	70	27
1	31	1	0	71	19
1	43	1	0	72	13
Σύνολο				1270	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.10.1

Έπειτα από χρήση του 1-1 exchange οι διαδρομές αναδιαμορφώθηκαν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Διαδρομές				Κόστος	Ζήτηση
1	47	35	1	83	31
1	48	46	1	86	35
1	33	36	1	98	29
1	39	40	1	98	29
1	32	44	1	111	22
1	38	34	1	90	32
1	50	37	1	129	24
1	43	41	1	110	20
1	51	22	1	86	18
1	30	1	0	68	6
1	49	1	0	41	17
1	29	1	0	69	14
1	42	1	0	70	27
1	31	1	0	71	19
1	45	1	0	60	16
Σύνολο				1270	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.10.2

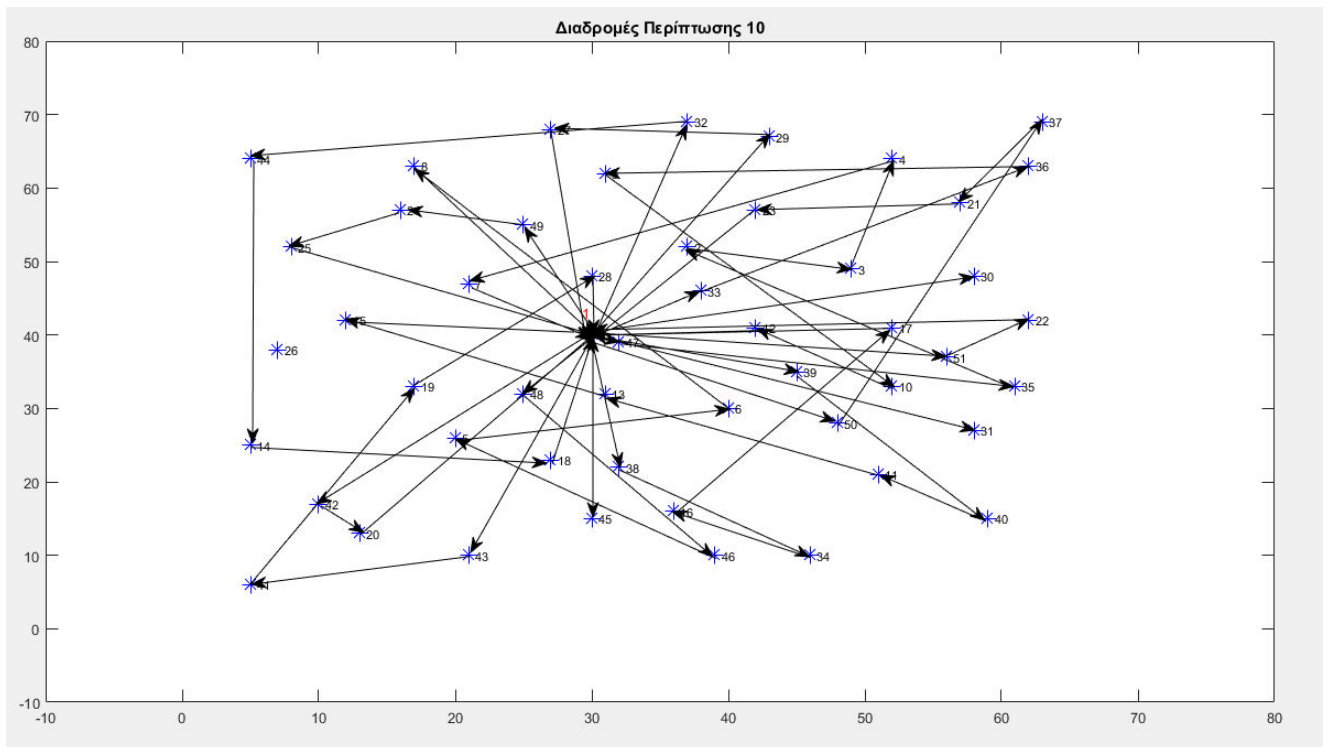
Οι αλλαγές έγιναν, αλλά δεν επέφεραν καμία αλλαγή στο συνολικό κόστων των διαδρομών. Στις παραπάνω διαδρομές έγινε εκχώρηση των υπολοίπων πελατών.

Διαδρομές								Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	35	2	3	4	7	1	196	0	196	99
1	48	46	5	6	8	1		197	0	197	84
1	33	36	9	10	12	1		181	10	191	82
1	39	40	11	13	15	1		162	24	186	84
1	32	44	14	18	1			180	17	197	48
1	38	34	16	17	1			139	53	192	57
1	50	37	21	23	1			153	42	195	60
1	43	41	19	28	1			145	52	197	76
1	51	22	1					86	93	179	18
1	30	1						68	0	68	6
1	49	24	25	1				89	109	198	43
1	29	27	1					94	105	199	21
1	42	20	1					87	83	170	36
1	31	1						71	0	71	19
1	45	1						60	0	60	16
Σύνολο										2496	749

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.10.3

Το σύνολο των πελατών που εξυπηρετήθηκε είναι το ίδιο με την προηγούμενη περίπτωση. Δεν επιτεύχθηκε το βέλτιστο αποτέλεσμα, δηλαδή η

εξυπηρέτηση όλου του συνόλου των πελατών. Επιτεύχθηκε, όμως, μείωση του συνολικού κόστους κατά 9 χρονικές μονάδες. Παράλληλα όμως, αυξήθηκε ο αριθμός των οχημάτων, οπότε η προηγούμενη λύση είναι πιο πρακτική. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι τρεις διαδρομές εξυπηρετούν μόνο έναν πελάτη ενώ στην προηγούμενη περίπτωση αυτό συνέβη μόνο σε μία διαδρομή. Στην πράξη δεν είναι ιδιαίτερα πρακτικό, οπότε για τους παραπάνω λόγους η προηγούμενη λύση θεωρείται πιο αποδοτική.



Εικόνα 4.3.10.1 Διαδρομές Περίπτωσης 10

Ο πελάτης που δεν εξυπηρετήθηκε τοποθετείται στην αυριανή διαδρομή.

Αυριανή διαδρομή		
1	26	1

Πίνακας αυριανής διαδρομής 4.3.10.4

4.3.11 Περίπτωση 11: Λύση με 60% στις αρχικές διαδρομές

Έπειτα από τις παραπάνω δοκιμές, ο προσανατολισμός για την εύρεση των λύσεων άλλαξε. Καθώς, η χρήση τόσο μεγάλου αριθμού οχημάτων δεν είναι πολύ πρακτική λύση, έγινε χρήση της προηγούμενης λογικής, της δημιουργίας διαδρομών με ένα ποσοστό της μέγιστης διαδρομής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση για τις αρχικές διαδρομές χρησιμοποιήθηκε το 60% του συνολικού χρόνου δηλαδή 120χρονικές μονάδες. Οι διαδρομές που δημιουργήθηκαν έπειτα από τον πλησιέστερο γείτονα είναι οι εξής:

Διαδρομές							Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	50	31	1	123	69
1	48	38	45	43	1		110	63
1	49	32	29	36	1		139	59
1	51	35	30	1			106	42
1	42	41	1				104	34
1	46	34	1				92	33
1	44	1					79	11
1	40	1					86	14
1	37	1					97	6
Σύνολο							936	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.11.1

Όπως φαίνεται δημιουργήθηκαν 9 διαδρομές, άρα θα χρησιμοποιηθούν 9 οχήματα για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης περίπτωσης. Οι παραπάνω διαδρομές επιτρέπουν την χρήση και του 2-opt αλλά και του 3-opt. Συνεπώς, χρησιμοποιήθηκαν οι δύο παραπάνω αλγόριθμοι επιπλέον από τον 1-1 exchange που δεν έχει κάποιον περιορισμό για την χρήση του. Οι διαδρομές που αναπροσαρμόστηκαν είναι οι εξής:

Διαδρομές							Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	50	31	1	123	69
1	45	38	48	43	1		110	63
1	49	32	29	36	1		139	59
1	51	35	30	1			106	42
1	42	41	1				104	34
1	46	34	1				92	33
1	44	1					79	11
1	40	1					86	14
1	37	1					97	6
Σύνολο							936	331

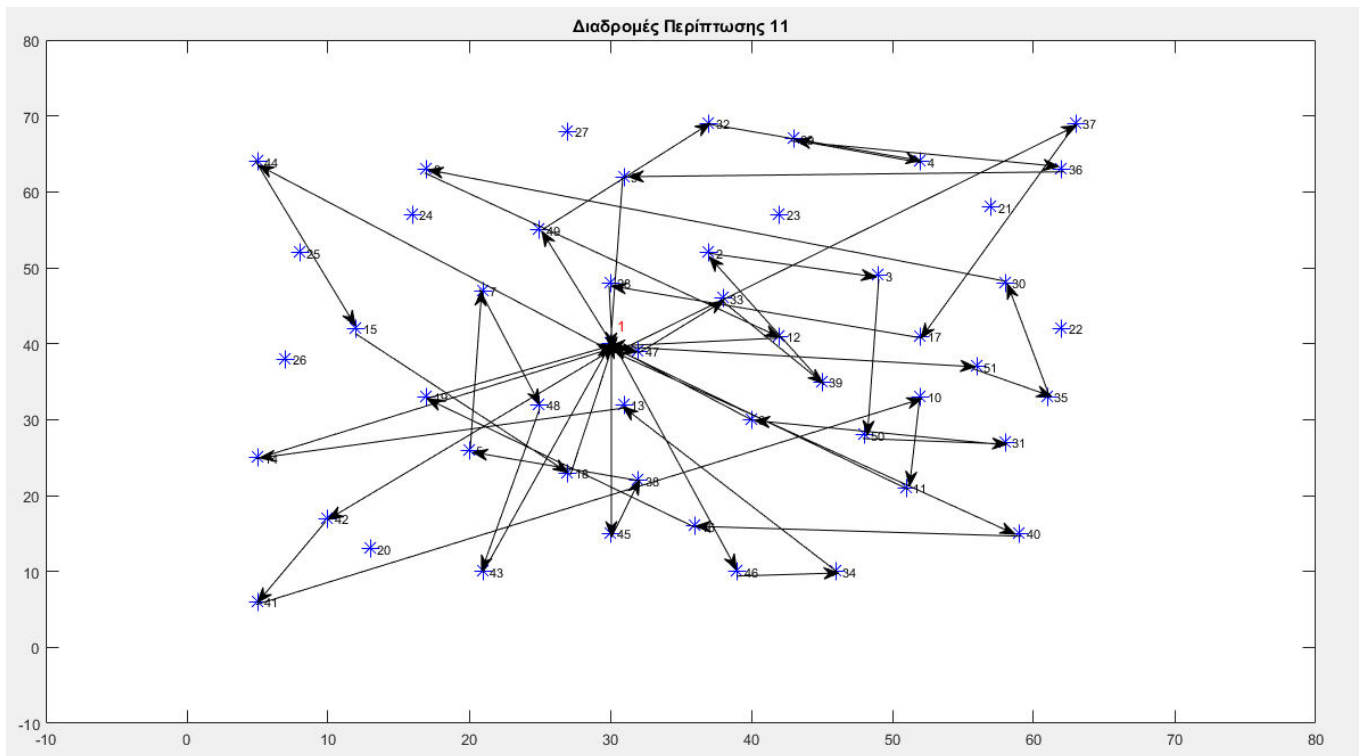
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.11.2

Έγινε αλλαγή στην δεύτερη διαδρομή, η οποία όμως δεν επέφερε μείωση του συνολικού κόστους, αλλά ούτε μείωση. Στις παραπάνω διαδρομές έγινε η εκχώρηση των υπολοίπων πελατών.

Διαδρομές										Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	2	3	50	31	6	1	199	0	199	127
1	45	38	5	7	48	43	1			195	0	195	87
1	49	32	4	29	36	9	1			192	0	192	98
1	51	35	30	8	12	1				186	0	186	80
1	42	41	10	11	1					177	17	194	50
1	46	34	13	14	1					161	36	197	85
1	44	15	18	1						129	60	189	35
1	40	16	19	1						131	61	192	65
1	37	17	28	1						135	61	196	36
Σύνολο												1740	663

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.11.3

Συγκρίνοντας την λύση αυτή, με την αντίστοιχη όπου χρησιμοποιήθηκε το 66% του μέγιστου χρόνου (βλέπε περίπτωση 2), η παραπάνω λύση μπορεί να χαρακτηριστεί σαφώς καλύτερη. Χρησιμοποιήθηκε ίδιος αριθμός οχημάτων και παράχθηκε μικρότερο συνολικό κόστος ενώ παράλληλα ικανοποιήθηκαν περισσότεροι πελάτες. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ικανοποιήθηκαν 19 πελάτες με έκτακτη ζήτηση ενώ στην προηγούμενη λύση ικανοποιήθηκαν 18 πελάτες. Συνεπώς η συγκεκριμένη περίπτωση, υπερέχει της προηγούμενης.



Εικόνα 4.3.11.1 Διαδρομές περίπτωσης 11

Οι πελάτες που δεν ικανοποιήθηκαν εκχωρούνται στις αυριανές διαδρομές:

Αυριανές διαδρομές					
1	23	21	22	27	1
1	25	24	26	20	1

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.11.4

4.3.12 Περίπτωση 12: Λύση με 70% στις αρχικές διαδρομές

Η επόμενη περίπτωση που αναλύθηκε είναι η περίπτωση να χρησιμοποιηθεί το 70% του μέγιστου χρόνου στις αρχικές διαδρομές, δηλαδή 140 χρονικές μονάδες. Οι διαδρομές που δημιουργήθηκαν εμφανίζονται παρακάτω:

Διαδρομές								Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	50	31	35	1	140	95
1	48	38	45	43	42	1		132	90
1	49	32	29	36	1			139	59
1	51	30	1					86	16
1	46	34	1					92	33
1	44	1						79	11
1	40	1						86	14
1	41	1						94	7
1	37	1						97	6
Σύνολο								945	331

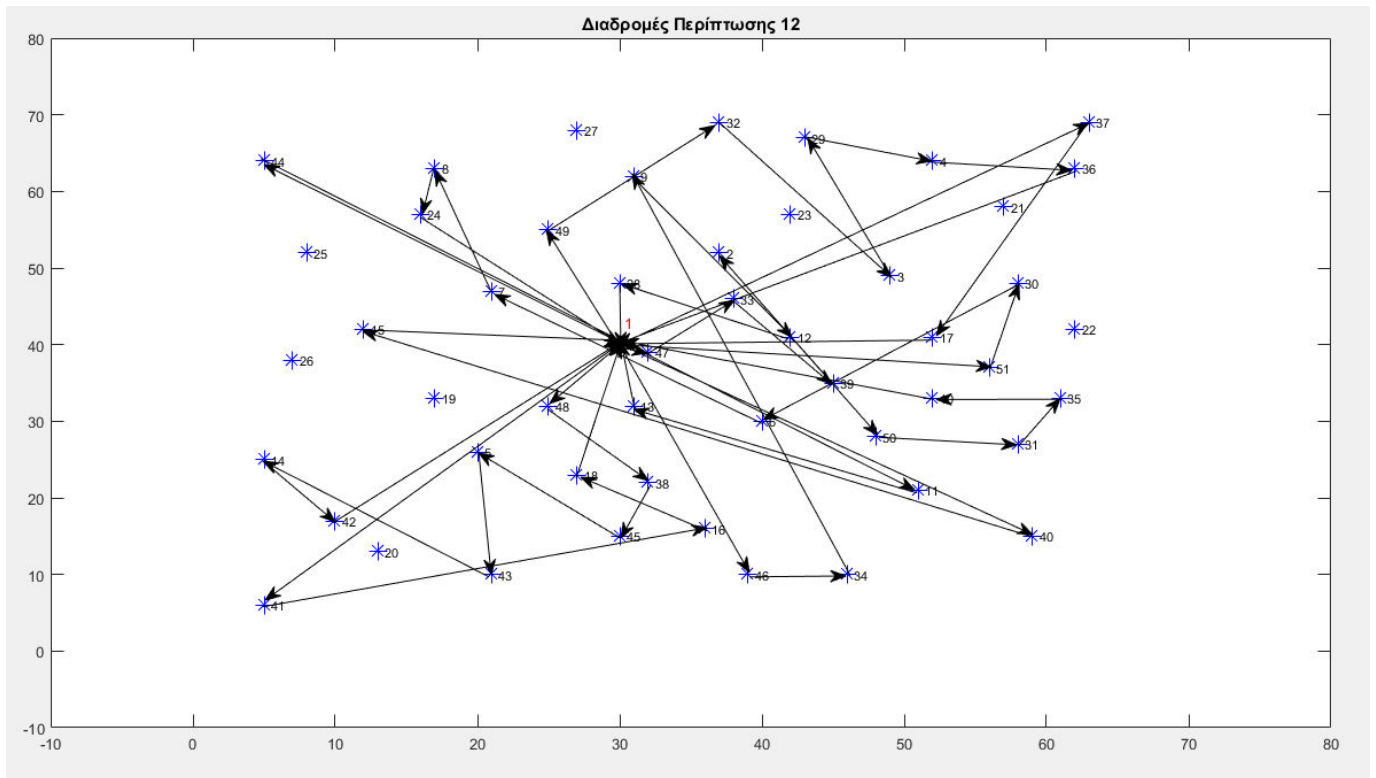
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.12.1

Παρατηρείται ότι και σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται 9 οχήματα. Το κόστος αυξήθηκε κατά 9 χρονικές μονάδες. Έπειτα από χρήση του 2-opt, 3-opt και 1-1 exchange οι διαδρομές δεν αναδιαμορφώθηκαν περαιτέρω. Συνεπώς, στις παραπάνω διαδρομές θα εκχωρηθούν οι υπόλοιποι πελάτες.

Διαδρομές										Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	2	50	31	35	10	1	198	0	198	113
1	48	38	45	5	43	14	42	1		191	0	191	122
1	49	32	3	29	4	36	1			195	0	195	105
1	51	30	6	7	8	24	1			192	0	192	87
1	46	34	9	12	28	1				188	11	199	90
1	44	11	13	1						158	40	198	45
1	40	15	1							130	56	186	35
1	41	16	18	1						133	57	190	20
1	37	17	1							116	61	177	21
Σύνολο												1726	638

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.12.2

Παρατηρείται μείωση του κόστους σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση κατά 14 χρονικές μονάδες. Ταυτόχρονα, ικανοποιήθηκε ο ίδιος αριθμός πελατών, δηλαδή 19 πελάτες με έκτακτη ζήτηση. Συνεπώς, η παρούσα λύση θεωρείται πιο αποτελεσματική.



Εικόνα 4.3.12.1 Διαδρομές Περίπτωσης 12

Οι υπόλοιποι πελάτες τοποθετούνται στις αυριανές διαδρομές.

Αυριανές διαδρομές						
1	19	26	25	27	23	1
1	22	21	20	1		

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.12.3

4.3.13 Περίπτωση 13: Λύση με 75% στις αρχικές διαδρομές

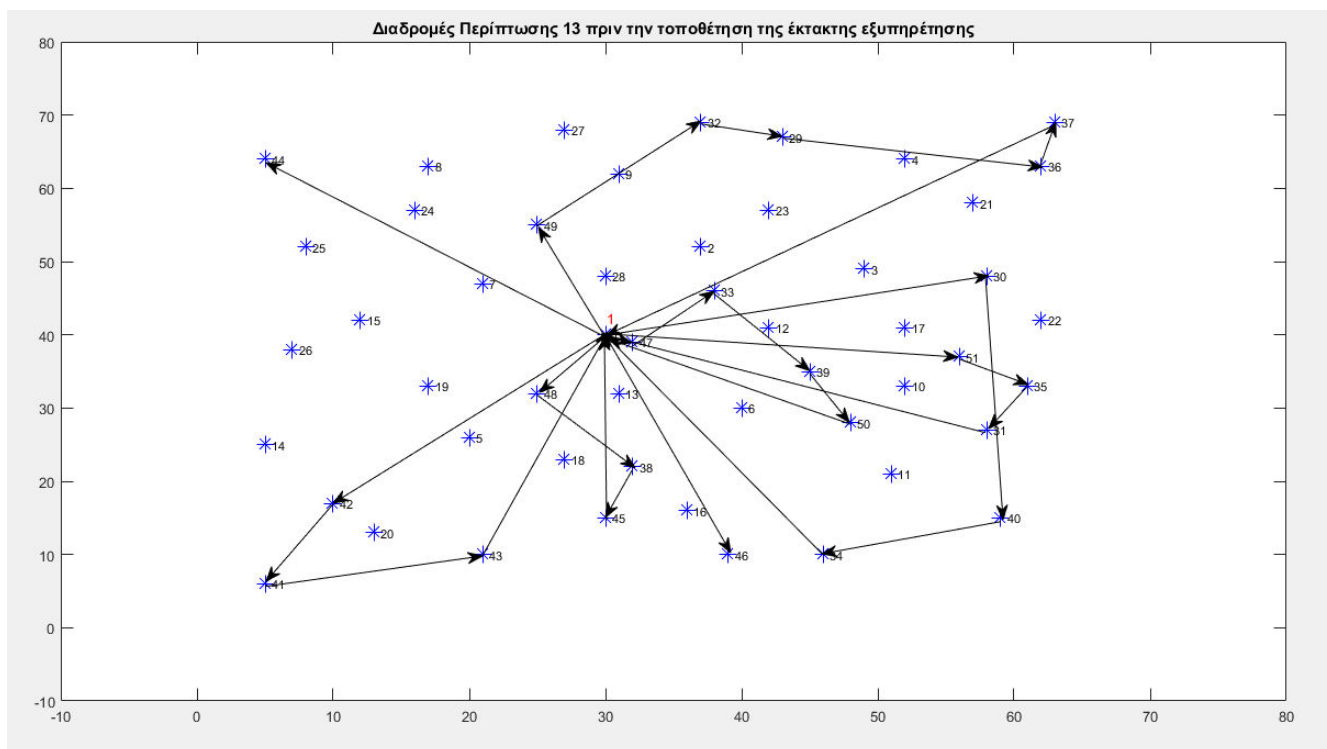
Συνεχίζοντας την ανάλυση του προβλήματος με διάφορες εναλλακτικές λύσεις, η επόμενη περίπτωση που αναλύθηκε είναι η λύση στην οποία μόνο το 75% του μέγιστου χρόνου διαδρομής είναι διαθέσιμο να καλυφθεί από τους αρχικούς πελάτες. Το οποίο ισοδυναμεί με 150χρονικές μονάδες ανά διαδρομή. Έπειτα από χρήση του πλησιέστερου γείτονα τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Διαδρομές							Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	50	1		93	50
1	48	38	45	1			83	50
1	49	32	29	36	37	1	160	65
1	51	35	31	1			100	55
1	30	40	34	1			140	43
1	42	41	43	1			120	47
1	46	1					72	10
1	44	1					79	11
Σύνολο							847	331

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.13.1

Στην περίπτωση αυτή μειώθηκαν τα οχήματα που χρησιμοποιούνται καθώς ο αριθμός των πελατών που ικανοποιείται σε κάθε διαδρομή είναι μεγαλύτερος αφού έχει αυξηθεί και ο χρόνος που επιτρέπεται να χρησιμοποιείσαι η κάθε διαδρομή. Σαφώς, μειώνοντας τις διαδρομές μειώνεται και το συνολικό κόστος των διαδρομών, το οποίο μειώθηκε σημαντικά σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

Μετά από χρήση των αλγορίθμων 2-opt, 3-opt και 1-exchange, οι διαδρομές δεν υπέστησαν καμία αλλαγή. Επομένως, οι παραπάνω διαδρομές είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκχώρηση των υπόλοιπων πελατών.

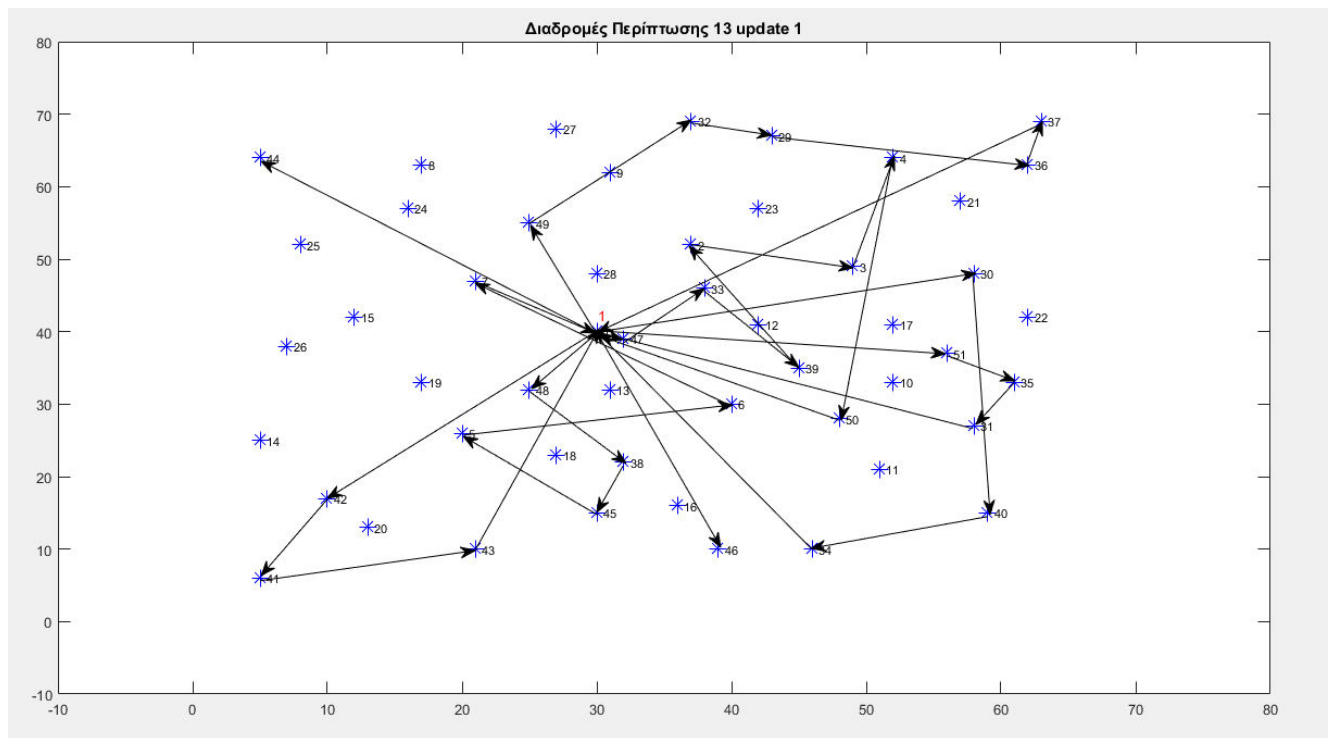


Εικόνα 4.3.13.1 Διαδρομές περίπτωσης 13 πριν την τοποθέτηση της έκτακτης εξυπηρέτησης

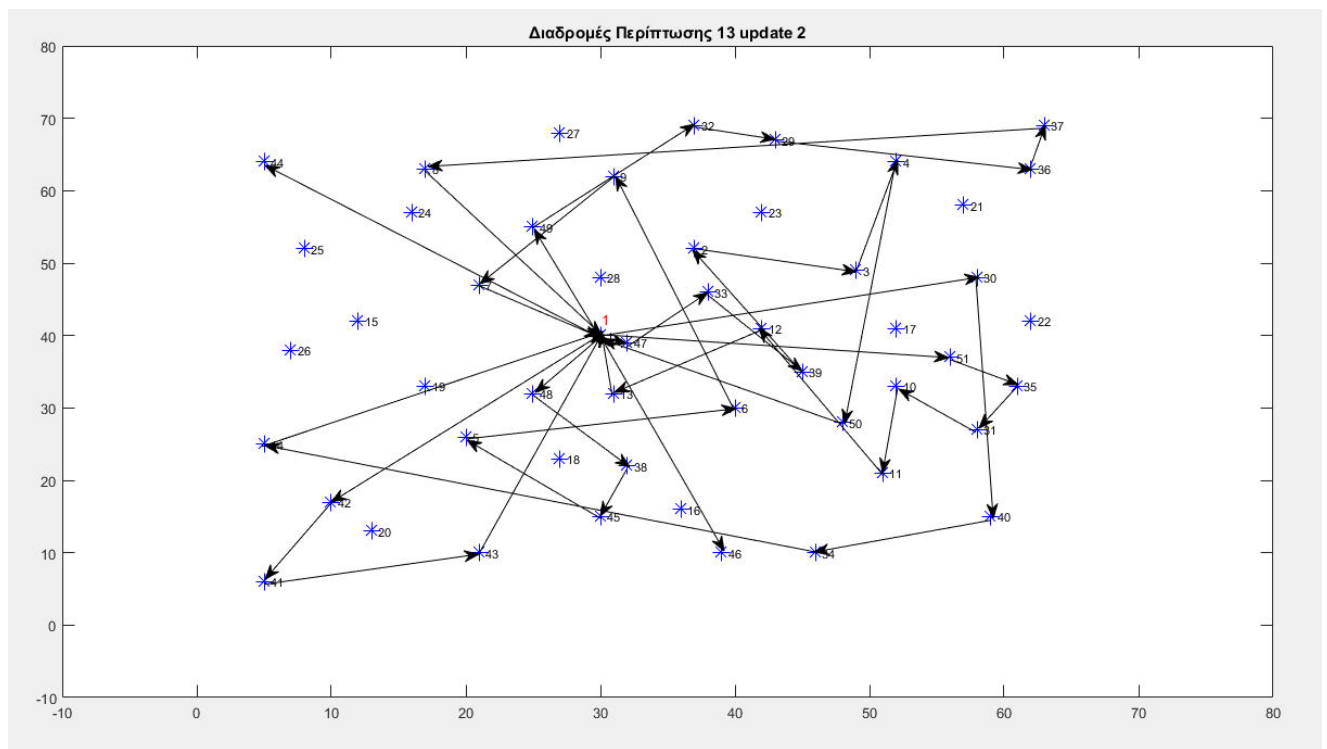
Διαδρομές									Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	2	3	4	50	1	198	0	198	103
1	48	38	45	5	6	9	7	1	196	0	196	118
1	49	32	29	36	37	8	1		198	0	198	84
1	51	35	31	10	11	12	13	1	174	10	184	119
1	30	40	34	14	19	1			198	0	198	107
1	43	41	42	15	18	1			176	15	191	71
1	46	16	17	1					119	68	187	35
1	44	24	28	1					102	90	192	42
Σύνολο											1544	679

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.13.2

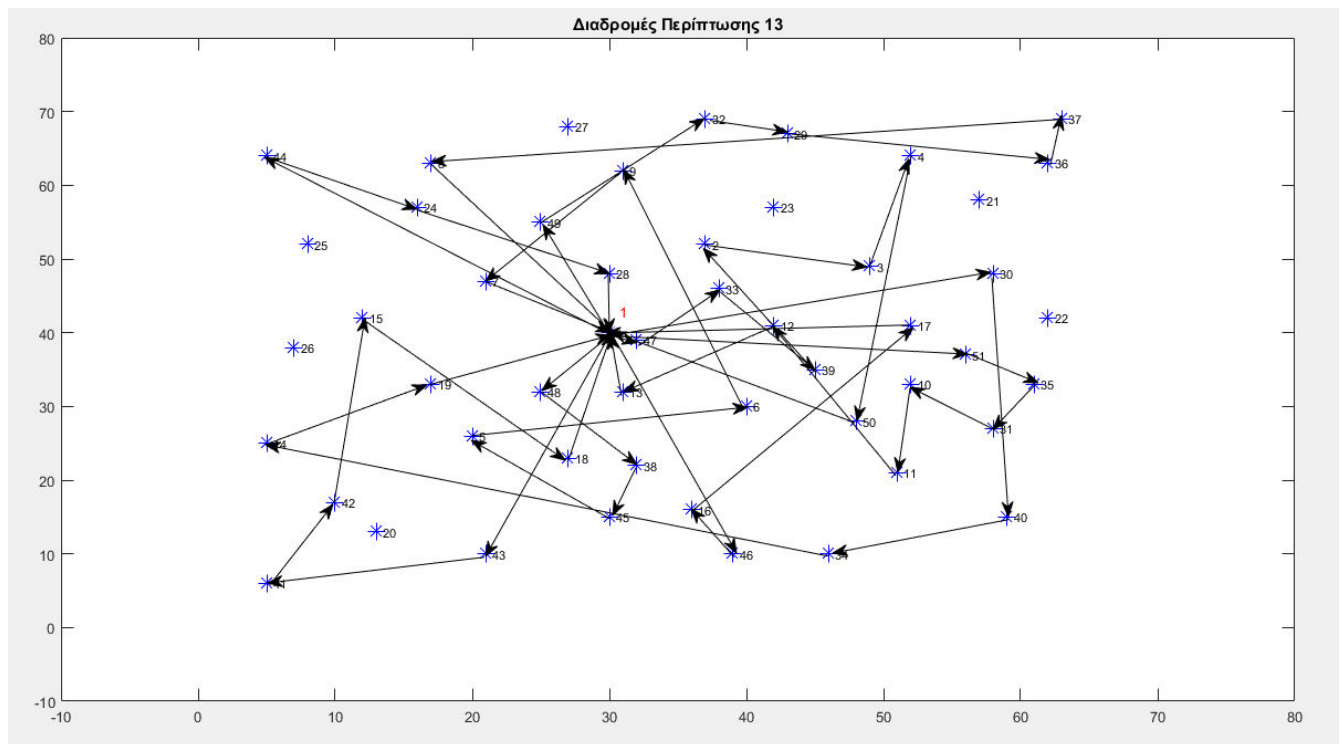
Συγκρίνοντας με την προηγούμενη λύση, παρατηρήθηκε πως το συνολικό κόστος μειώθηκε σημαντικά, σε συνδυασμό με την μείωση των οχημάτων, ενώ παράλληλα αυξήθηκαν οι πελάτες που εξυπηρετήθηκαν. Εξυπηρετούνται 20 πελάτες με έκτακτη ζήτηση ενώ στις προηγούμενες περιπτώσεις ικανοποιούνταν 19 πελάτες. Επομένως, η συγκεκριμένη λύση είναι πολύ πιο αποδοτική και αποτελεσματική από τις προηγούμενες δύο.



Εικόνα 4.3.13.2 Διδρομές περίπτωσης 13 έπειτα από update 1



Εικόνα 4.3.13.3 Διαδρομές περίπτωσης 13 έπειτα από update 2



Εικόνα 4.3.14.4 Τελικές διαδρομές περίπτωσης 13

Οι υπόλοιποι 6 πελάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν τοποθετούνται στις αυριανές διαδρομές.

Αυριανές διαδρομές					
1	23	21	22	27	1
1	26	25	20	1	

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.13.3

4.3.14 Περίπτωση 14: Λύση με 80% στις αρχικές διαδρομές

Η τελευταία περίπτωση που αναλύθηκε είναι η χρήση μόνο του 80% από τον συνολικό χρόνο στις αρχικές διαδρομές, δηλαδή 160 χρονικές μονάδες ανά διαδρομή. Οι αρχικές διαδρομές που δημιουργήθηκαν έπειτα από χρήση του αλγορίθμου του πλησιέστερου γείτονα είναι:

Διαδρομές							Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	50	31	1	123	69
1	48	38	45	43	1		110	63
1	49	32	29	36	37	1	160	65
1	51	35	30	40	1		159	56
1	42	41	46	1			138	44
1	34	1					78	23
1	44	1					79	11
Σύνολο							847	331

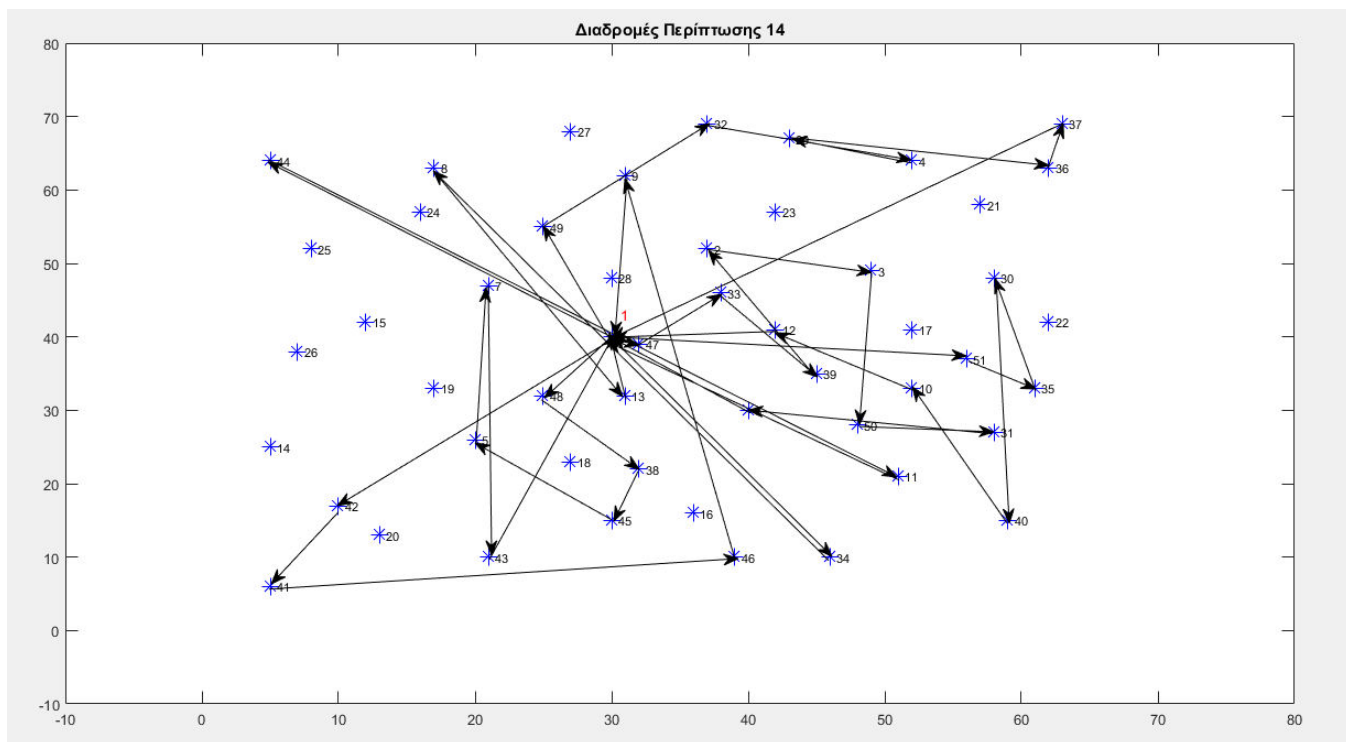
Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.14.1

Παρατηρείται μείωση των οχημάτων κατά 1 όχημα και παράλληλα μείωση του συνολικού κόστους των διαδρομών. Οι διαδρομές επιτρέπουν την χρήση και των τριών αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στο πρόβλημα για βελτιστοποίηση των διαδρομών. Παρόλα αυτά, όμως οι διαδρομές δεν βελτιώθηκαν περαιτέρω. Έτσι, η εκχώρηση του υπολοίπων διαδρομών έγινε στις παραπάνω διαδρομές.

Διαδρομές										Κόστος Διαδρομής	Κόστος Αναμονής	Συνολικό Κόστος	Ζήτηση
1	47	33	39	2	3	50	31	6	1	199	0	199	127
1	48	38	45	5	7	43	1			193	0	193	87
1	49	32	4	29	36	37	1			188	0	188	81
1	51	35	30	40	10	12	1			185	0	185	86
1	42	41	46	9	1					191	0	191	67
1	34	8	13	1						166	16	182	71
1	44	11	1							145	40	185	16
Σύνολο												1267	535

Πίνακας αποτελεσμάτων 4.3.14.2

Παρατηρείται πολύ μικρό κόστος, αλλά είναι αναμενόμενο καθώς εξυπηρετήθηκαν μόνο 12 πελάτες έκτακτης ζήτησης, από τις πιο χαμηλές επιδόσεις της παρούσας ανάλυσης. Χρησιμοποιήθηκαν, βέβαια, μόνο 7 οχήματα, για αυτόν τον λόγο ικανοποιήθηκαν λίγοι πελάτες, αλλά σε σύγκριση με άλλες περιπτώσεις η συγκεκριμένη είναι πολύ κατώτερη.



Εικόνα 4.3.14.1 Διαδρομές περίπτωσης 14

Οι υπόλοιποι πελάτες τοποθετήθηκαν στις αυριανές διαδρομές.

Αυριανές διαδρομές							
1	28	23	21	22	17	1	
1	18	19	15	26	14	20	1
1	25	24	27	1			
1	16	1					

Πίνακας αυριανών διαδρομών 4.3.14.3

4.4 Συμπεράσματα

Αρχικά να σημειωθεί, ότι σε όλους τους αλγόριθμους που χρησιμοποιήθηκαν σε όλες τις περιπτώσεις έγινε χρήση της προσομοιωμένης ανόπτησης με σκοπό την αποφυγή των τοπικών ελαχίστων και την εύρεση του ολικού. Το αποτελέσματα που παρουσιάζει ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης είναι δύσκολο να παρουσιαστούν, αλλά σίγουρα η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί αποδοτική και αποτελεσματική.

Όλες οι παραπάνω περιπτώσεις αναφέρονται περιληπτικά στον παρακάτω πίνακα με σκοπό την σύγκρισή τους.

Περίπτωση	Διαδρομές/Οχήματα	Συνολικό Κόστος	Συνολική Ζήτηση	Πελάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν
1	4	801	353	25
2	9	1761	648	9
3	8	1555	622	11
4	10	1908	701	5
5	11	2126	684	7
6	11	2083	744	3
7	12	2287	742	2
8	13	2356	742	2
9	14	2505	767	1
10	15	2496	749	1
11	9	1740	663	8
12	9	1720	638	8
13	8	1544	679	7
14	7	1267	535	15

Πίνακας 4.4.1 Παρουσίαση όλων των λύσεων

Έγινε αντιληπτό, έπειτα από πολλές δοκιμές, ότι τα δεδομένα του συγκεκριμένου προβλήματος δεν επιτρέπουν περιθώριο ικανοποίησης όλων των πελατών. Αυτό παρατηρήθηκε διότι, οι πελάτες που παραμένουν ανικανοποίητοι, ενημερώνουν για την έκτακτη εξυπηρέτησή τους, πολύ αργά, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εξυπηρετηθούν μέσα στην ίδια ημέρα. Συνεπώς, όσα οχήματα και να χρησιμοποιηθούν 1 πελάτης θα μένει μόνιμα χωρίς εξυπηρέτηση, με βάση τους περιορισμούς που έχουν τεθεί.

Η λύση που θα επιλεγεί εξαρτάται από το κριτήριο που θέλει να δώσει έμφαση η επιχείρηση που θα εκτελέσει τις αντίστοιχες διαδρομές. Βέβαια, δεν είναι όλες οι επιλογές εξίσου αποτελεσματικές. Μερικές λύσεις ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες, ασχέτως κριτηρίου. Οι περιπτώσεις που ξεχωρίζουν εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περίπτωση	Διαδρομές/Οχήματα	Συνολικό Κόστος	Συνολική Ζήτηση	Πελάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν
4	10	1908	701	5
6	11	2083	744	3
7	12	2287	742	2
9	14	2505	767	1
13	8	1544	679	7

Πίνακας 4.4.2 Παρουσίαση καλύτερων λύσεων

Οι παραπάνω περιπτώσεις είναι οι καλύτερες δυνατές για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Η επιχείρηση που έχει ως κύριο στόχο την ικανοποίηση των πελατών, θα επέλεγε την περίπτωση 9, η οποία με μία υπερωρία 10 χρονικών μονάδων σε μία διαδρομή μπορεί να εξυπηρετήσει ολόκληρο το σύνολο των πελατών. Στην περίπτωση που η επιχείρηση ενδιαφέρεται μόνο για το κόστος των διαδρομών, τότε η ιδανική λύση είναι η 13, η οποία έχει το μικρότερο δυνατό κόστος ενώ παράλληλα αφήνει ανικανοποίητους μόνο 7 πελάτες. Τέλος, αν το μοντέλο που επιλέγει η επιχείρηση είναι πιο σφαιρικό και όχι τόσο απόλυτο όπως τα προηγούμενα μοντέλα, τότε θα μπορούσε να επιλέξει ανάμεσα στις περιπτώσεις 4, 6 ή 7. Οι περιπτώσεις αυτές, δίνουν ένα πιο ολοκληρωμένο αποτέλεσμα καθώς λαμβάνουν υπόψιν το κόστος αλλά και των αριθμό των πελατών που δεν ικανοποιούνται.

Συνοψίζοντας, η τελική επιλογή της λύσης που θα ακολουθηθεί είναι στο χέρι της επιχείρησης και στον τρόπο που θέλει να προσεγγίσει το πρόβλημα.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Γκουντή Α. (2013). Εξελικτικοί αλγόριθμοι: Ο αλγόριθμος της Διαφορικής Εξέλιξης. Μεταπτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μυγδαλάς Αθανάσιος, Τμήμα Μαθηματικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
2. Ζωγράφος Κ. (2015), Διαλέξεις από το μάθημα: ``Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Logistics)``, Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
3. Κυριακάκης Ν. (2015). Επίλυση του Σωρευτικού Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων με αυτοπροσδιοριζόμενο αλγόριθμο της αποικίας μυρμηγκιών, Μεταπτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μαρινάκης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.
4. Λαλούσης Κ. (2019). Αλγόριθμοι περιορισμένης αναζήτησης για το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με παραλαβές και διανομές, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μαρινάκης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.
5. Μαρινάκης Ιωάννης | Μαρινάκη Μαγδαληνή | Μυγδαλάς Αθανάσιος (2019). Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων στη Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
6. Μαρινάκης Ι. (2020), Διαλέξεις από το μάθημα: ``Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας``, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

7. Μουρατίδης Ι. (2006). Ανασκόπηση σύγχρονων μοντέλων για την ολοκληρωμένη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Κουϊκόγλου Βασίλειος, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.
8. Παπαδομαρκάκης Γ. (2018). Αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης για προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων. Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μαρινάκης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.
9. Πετρίδης, Δ., 2015. Ανάλυση πολυμεταβλητών τεχνικών. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2126>
10. Τσιφτσόγλου Μ. (2020). Αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών για το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων και Χωροθέτησης Εγκαταστάσεων Δύο Επιπέδων, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής: Μαρινάκης Ιωάννης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Διεθνής Βιβλιογραφία

11. Croxton, Keely L. (2001). The Supply Chain Management Processes. The International Journal of Logistics Management, 12:2, pp. 13-36.
12. Douglas M. Lambert (2000). Issues in Supply Chain Management, Industrial Marketing Management, 29:1, pp. 65-83.
13. Iztok Fister jr. (2013). A Brief Review of Nature-Inspired Algorithms for Optimization. Article. University of Maribor.
14. 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.