



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Πολυτεχνείο Κρήτης

Διπλωματική Εργασία

«Επίλυση του Συσσωρευτικού Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων
με τον Μιμητικό Αλγόριθμο»

«Solving the Cumulative Vehicle Routing Problem using the Memetic
Algorithm»

Καμπέρη Αγγελική

AM 2017010018

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Μαρινάκης Ιωάννης

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής : Δρ. Μαρινάκη Μαγδαληνή
Δρ. Ματσατσίνης Νικόλαος

Χανιά 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στο τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, κατά το έτος 2022-2023. Η ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την υποστήριξη του καθηγητή μου κ. Ιωάννη Μαρινάκη, γι' αυτό και θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά. Χρωστάω, επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δρ. Νικόλαο Αντώνιο Κυριακάκη για την άριστη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια εκπόνησης αυτής της εργασίας, τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε, αλλά και για την ακούραστη προθυμία του και τη βοήθεια.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται στην οικογένεια μου και στους φίλους μου που συντέλεσαν ενεργά όλα αυτά τα χρόνια για την επιτυχή λήψη του πτυχίου μου. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για την στήριξη και την ενθάρρυνση καθ' όλη την διαδρομή των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ (SUPPLY CHAIN)	7
1.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	7
1.1.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)	10
1.2 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ (LOGISTICS)	15
1.3 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ	16
1.4 COVID-19 ΚΑΙ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ	19
1.5 ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ (HUMANITARIAN SUPPLY CHAIN)	20
1.5.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ	25
2.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΠΛΑΝΟΔΙΟΥ ΠΩΛΗΤΗ (TSP)	25
2.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	25
2.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΛΑΝΟΔΙΟΥ ΠΩΛΗΤΗ	27
2.2 ΑΠΛΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (VRP)	28
2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	28
2.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	29
2.3 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	31
2.3.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	31
2.3.2 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΑΠΛΟΥ VRP	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	34
3.1 ΕΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ (HEURISTIC ALGORITHMS)	34
3.1.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΛΗΣΤΙΑΣ	35
3.1.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ	37
3.2 ΜΕΘΕΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	39
3.3 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ - ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	41
3.3.1 ΜΙΜΗΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4-ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (CumVRP)	50
4.1 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (CumVRP)	50
4.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	50
4.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ Cum-VRP	51
4.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (CCVRP)	52
4.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	52

4.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ CCVRP	53
4.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ CCVRP ΜΕ ΤΟΝ ΜΙΜΗΤΙΚΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	71
6.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ 7 ΣΕΤ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	72
6.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ 27 ΣΕΤ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	88

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα είναι η διαδικασία κατά την οποία σχεδιάζεται και υλοποιείται η μεταφορά και αποθήκευση αγαθών, υλικών και πληροφοριών, από το σημείο προέλευσης έως το σημείο κατανάλωσης με σκοπό την ανακούφιση των πληγέντων και ευάλωτων ανθρώπων. Υιοθετεί την ανάγκη για γρήγορη εξυπηρέτηση και παράδοση κρίσιμων αγαθών μετά από κάποια καταστροφή και ελαχιστοποίηση των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και ζημιές. Η πανδημία ανέδειξε όλες τις αδυναμίες της εφοδιαστικής αλυσίδας και έγινε προφανής η ανάγκη για γρήγορη εξυπηρέτηση και παράδοση κρίσιμων αγαθών μετά από κάποια καταστροφή. Έτσι, η παρούσα διπλωματική εργασία καταπιάνεται με το Συσσωρευτικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αφορούν την διανομή αγαθών στην ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα. Αποτελεί ένα πρόβλημα μεταφοράς που προκύπτει όταν ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των χρόνων άφιξης στους πελάτες, αντί του κλασικού μήκους διαδρομής, με περιορισμούς χωρητικότητας. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ένας εξελικτικός αλγόριθμος, ο υβριδικός γενετικός ή αλλιώς μιμητικός. Ο αλγόριθμος ενσωματώνει μια διαδικασία τοπικής αναζήτησης για να εντατικοποιήσει την αναζήτηση των λύσεων και υλοποιείται στο περιβάλλον της MATLAB. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του προβλήματος, τα οποία αφορούν 2 παραλλαγές του αλγορίθμου σε 34 παραδείγματα αναφοράς.

ABSTRACT

A humanitarian supply chain is the process of planning and implementing the transport and storage of goods, materials and information from the point of origin to the point of consumption in order to bring relief to affected and vulnerable people. It adopts the need for rapid service and delivery of critical goods after a disaster and minimizing loss of life and damage. The pandemic highlighted all the weaknesses in the supply chain and the need for rapid service and delivery of critical goods after a disaster became evident. Thus, this thesis deals with the Cumulative Capacitated Vehicle Routing Problem which is one of the most important problems related to the distribution of goods in humanitarian supply chain. It is a transportation problem that arises when the objective is to minimize the sum of arrival times to customers, instead of the classical path length, with capacity constraints. An evolutionary algorithm, hybrid genetic or memetic, was used to solve the problem. The algorithm incorporates a local search procedure to intensify the search for solutions and is implemented in the MATLAB environment. Finally, the results of the problem are presented in detail, which involve 2 variations of the algorithm on 34 datasets.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα αναλύσουμε κάποιες βασικές έννοιες που αφορούν την εφοδιαστική αλυσίδα. Θα περιγράψουμε κάποιες από τις πτυχές της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, τα logistics και την ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα. Θα ορίσουμε όλες τις παραπάνω έννοιες, θα δώσουμε παραδείγματα, θα περιγράψουμε την σημαντικότητα τους, τους στόχους τους, τα διάφορα στάδια του κάθε ενός, αλλά και θα τα συγκρίνουμε μεταξύ τους.



Εικόνα 1. Εφοδιαστική αλυσίδα

1.1 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ (SUPPLY CHAIN)

1.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η ολοένα και αυξανόμενη ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην αύξηση των απαιτήσεων που έχει η κοινωνία μας. Μία από τις σημαντικότερες απαιτήσεις είναι η ανάγκη για αποδοτικές μεθόδους παραγωγής και διακίνησης προϊόντων/υπηρεσιών που όμως θα είναι ταυτόχρονα οικονομικές και γρήγορες. Η ανάγκη ύπαρξης δυναμικών

διεργασιών είναι απαραίτητη, έτσι ώστε να καλύπτονται οι ολοένα και αυξανόμενες αυτές ανάγκες με ταυτόχρονη ενίσχυση των παραγωγικών διαδικασιών.

Η εφοδιαστική αλυσίδα ορίζεται ως μια στρατηγική και υλικοτεχνική διαδικασία που περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες που είναι απαραίτητες για ένα εμπόρευμα να φτάσει στον τελικό πελάτη σε βέλτιστες συνθήκες. Η εφοδιαστική αλυσίδα δεν είναι μια αλυσίδα επιχειρήσεων με σχέσεις ένας προς έναν, επιχείρηση προς επιχείρηση αλλά είναι το δίκτυο όλων των ατόμων, των οργανισμών, των πόρων, των δραστηριοτήτων, των εγκαταστάσεων, των μέσων διανομής και της τεχνολογίας που εμπλέκονται στη δημιουργία και την πώληση ενός προϊόντος στον καταναλωτή, δηλαδή είναι ένα δίκτυο επιχειρήσεων και σχέσεων. Μια εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει κρίκους που ξεκινούν από την αναζήτηση και παράδοση των αρχικών υλικών από τον προμηθευτή στον κατασκευαστή, την επακόλουθη μετατροπή τους και την κατασκευή τους, μέχρι την τελική μεταφορά και παράδοσή τους στον τελικό χρήστη.

Στόχος της είναι να μεγιστοποιείται η ικανοποίηση του καταναλωτή με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, αλλά παράλληλα να ελαχιστοποιούνται και τα λειτουργικά κόστη όλων των κρίκων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον στόχοι θεωρούνται και :

- Έγκαιρη παράδοση αγαθών και υπηρεσιών
- Αποφυγή περιττών απωλειών
- Βελτιστοποίηση του χρόνου διανομής
- Άρτια διαχείριση αποθεμάτων και αποθήκης
- Καθιέρωση επαρκών καναλιών επικοινωνίας και συντονισμού
- Διαχείριση απρόβλεπτων αλλαγών στη ζήτηση και την προσφορά

Όταν η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι αποτελεσματική, μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος μιας επιχείρησης και να ενισχύσει την κερδοφορία της. Εάν ένας κρίκος σπάσει, αυτό μπορεί να επηρεάσει την υπόλοιπη αλυσίδα και μπορεί να είναι δαπανηρό. Καταλαβαίνουμε ότι η αποτελεσματική εφοδιαστική αλυσίδα δεν είναι απλή υπόθεση. Απαιτεί την προμήθεια του κατάλληλου προϊόντος, στη σωστή ποσότητα, σε άρτια κατάσταση, στο ζητούμενο μέρος, στην κατάλληλη στιγμή και φυσικά στο σωστό κόστος.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ένα απλό παράδειγμα κατανόησης της λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η παραγωγή γάλακτος. Πρώτο στάδιο της παραγωγής γάλακτος είναι η αγορά της πρώτης ύλης, των απαραίτητων μηχανών και εργαλείων για το άρμεγμα αλλά και την σωστή εκτροφή των ζώων. Σε δεύτερο στάδιο έχουμε την διαδικασία φροντίδας του στάβλου και των ζώων έτσι ώστε να φτάσουμε στη φυσική συλλογή των πρωτογενών προϊόντων από τις μονάδες εντατικής εκτροφής. Η γαλακτοβιομηχανία παρέχει ένα ειδικό δοχείο στους αγρότες, οι οποίοι με τη σειρά τους αποθηκεύουν το γάλα και το μεταφέρουν σε σταθμούς συλλογής/ψυγεία. Το γάλα μεταφέρεται και διατίθεται σε εταιρείες γαλακτοκομικών προϊόντων και υφίσταται επεξεργασία ανάλογα με την διαδικασία παραγωγής. Έπειτα συσκευάζεται, έτσι ώστε να μεταβεί σε καταστήματα λιανικής πώλησης. Η μεταφορά του γίνεται από κάποια εταιρία διακίνησης αγαθών η οποία το μεταβαίνει στα καταστήματα έτσι ώστε με τις υπηρεσίες που παρέχουν αυτά να έχουμε ως τελευταίο στάδιο την αγορά από τους τελικούς καταναλωτές.



dreamstime.com

ID 134338247 © Hhurzhi

Σχήμα 1.1.1 Γαλακτοκομική αλυσίδα εφοδιασμού-Στάδια παραγωγής, επεξεργασίας και διακίνησης γάλακτος

Όπως μπορούμε να δούμε, οι παράγοντες σε διαφορετικά επίπεδα παραγωγής σχετίζονται με την εφοδιαστική αλυσίδα. Για ορισμένους, η πώληση του προϊόντος τους αποτελεί την είσοδο άλλου σε συνεχή αλυσίδα έως ότου φτάσει στον τελικό καταναλωτή. Λέγεται τότε ότι η εφοδιαστική αλυσίδα ξεκινά με τους προμηθευτές των προμηθευτών και τελειώνει με τους πελάτες των πελατών.

1.1.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM/ΔΕΑ) είναι η διαχείριση της ροής αγαθών και υπηρεσιών καθώς κινούνται σε μια διαδικασία από τον προμηθευτή στον κατασκευαστή, στον χονδρέμπορο, στον λιανοπωλητή και στη συνέχεια στον καταναλωτή, δηλαδή περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που μετατρέπουν τις πρώτες ύλες σε τελικά προϊόντα.

Οι τρεις κύριες ροές της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η ροή των προϊόντων, η ροή των πληροφοριών και η ροή των οικονομικών. Αυτά συμβαίνουν σε τρία κύρια στάδια: στρατηγική, σχεδιασμός και λειτουργία. Η ΔΕΑ μπορεί να συντονίζει και να ενσωματώνει αυτές τις ροές εντός και μεταξύ των εταιρειών. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια σημαντική διαδικασία, διότι μια βελτιστοποιημένη αλυσίδα εφοδιασμού έχει ως στόχο χαμηλότερο κόστος και αποτελεσματικότερο κύκλο παραγωγής. Οι εταιρείες δηλαδή προσδοκούν να βελτιώσουν τις αλυσίδες εφοδιασμού τους, για να μπορούν να μειώσουν το κόστος τους και να παραμείνουν ανταγωνιστικές.

Όπως προ είπαμε απώτερος ιστορικά στόχος της ΔΕΑ είναι η αύξηση της αποτελεσματικότητας και η μείωση του κόστους. Αν και οι στόχοι αυτοί δεν έχουν αλλάξει, αυτό που έχει αλλάξει είναι ότι πλέον πρωταγωνιστικό ρόλο στον καθορισμό των προτεραιοτήτων της ΔΕΑ είναι ο πελάτης. Έχει ειπωθεί ότι "οι εμπειρίες των πελατών ζουν και πεθαίνουν στην αλυσίδα εφοδιασμού". Η αφοσίωση των πελατών βασίζεται στην ικανότητα μιας επιχείρησης να ικανοποιεί γρήγορα και με ακρίβεια τις προσδοκίες των πελατών. Η παραλαβή του προϊόντος από τον πελάτη σε εύλογο χρονικό διάστημα σημαίνει ότι πρέπει να συντονίζονται οι πρώτες ύλες, η παραγωγή, η εφοδιαστική και η διαχείριση του εμπορίου. Παράλληλα, εκτός της έγκαιρης παράδοσης στον πελάτη πρέπει και να γίνουν τα πάντα τη σωστή στιγμή πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την παράδοση της παραγγελίας.

ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

Ο διαχειριστής της αλυσίδας εφοδιασμού προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τις ελλείψεις και να διατηρήσει το κόστος χαμηλό. Η δουλειά του δεν αφορά μόνο την εφοδιαστική και την αγορά αποθεμάτων. Οι διευθυντές εφοδιαστικής αλυσίδας επιβλέπουν και διαχειρίζονται τη συνολική εφοδιαστική αλυσίδα και τις υλικοτεχνικές λειτουργίες για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και την ελαχιστοποίηση του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας του οργανισμού.

Στη ΔΕΑ, ο διαχειριστής της εφοδιαστικής αλυσίδας συντονίζει την εφοδιαστική όλων των πτυχών της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία αποτελείται από τα ακόλουθα πέντε μέρη.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Η διαδικασία αρχίζει με τον προγραμματισμό για την αντιστοίχιση της προσφοράς με τις απαιτήσεις των πελατών και της παραγωγής. Οι επιχειρήσεις είναι απαραίτητο να προβλέπουν ποιες θα είναι οι μελλοντικές τους ανάγκες και να ενεργούν αναλόγως. Αυτό περιλαμβάνει τις πρώτες ύλες που χρειάζονται σε κάθε στάδιο της παραγωγής, τη χωρητικότητα και τους περιορισμούς του εξοπλισμού και τις ανάγκες σε προσωπικό κατά μήκος της διαδικασίας ΔΕΑ.

ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ

Πολύ σημαντικό ρόλο για μία αποτελεσματική διαδικασία ΔΕΑ είναι οι ισχυρές σχέσεις με τους προμηθευτές. Η προμήθεια συνεπάγεται τη συνεργασία με τους προμηθευτές για την προμήθεια των πρώτων υλών που απαιτούνται καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Μια εταιρεία μπορεί να είναι σε θέση να σχεδιάσει και να συνεργαστεί με έναν προμηθευτή για την προμήθεια αγαθών εκ των προτέρων. Σε γενικές γραμμές, η προμήθεια περιλαμβάνει τη διασφάλιση ότι:

- οι πρώτες ύλες ακολουθούν τις προδιαγραφές κατασκευής που απαιτούνται για την παραγωγή των αγαθών
- οι τιμές που καταβάλλονται για τα αγαθά είναι σύμφωνες με τις προσδοκίες της αγοράς

- ο πωλητής έχει την δυνατότητα να παραδίδει υλικά έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση απρόβλεπτου γεγονότος
- ο πωλητής έχει αποδεδειγμένο ιστορικό έγκαιρης και ποιοτικής παράδοσης των αγαθών

ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Στο επίκεντρο της διαδικασίας ΔΕΑ, η εταιρεία μετατρέπει τις πρώτες ύλες με τη χρήση μηχανημάτων, εργασίας ή άλλων εξωτερικών δυνάμεων για να φτιάξει κάτι καινούριο. Παρόλο που δεν αποτελεί το τελικό στάδιο της ΔΕΑ, το τελικό προϊόν είναι ο απώτερος στόχος της διαδικασίας παραγωγής.

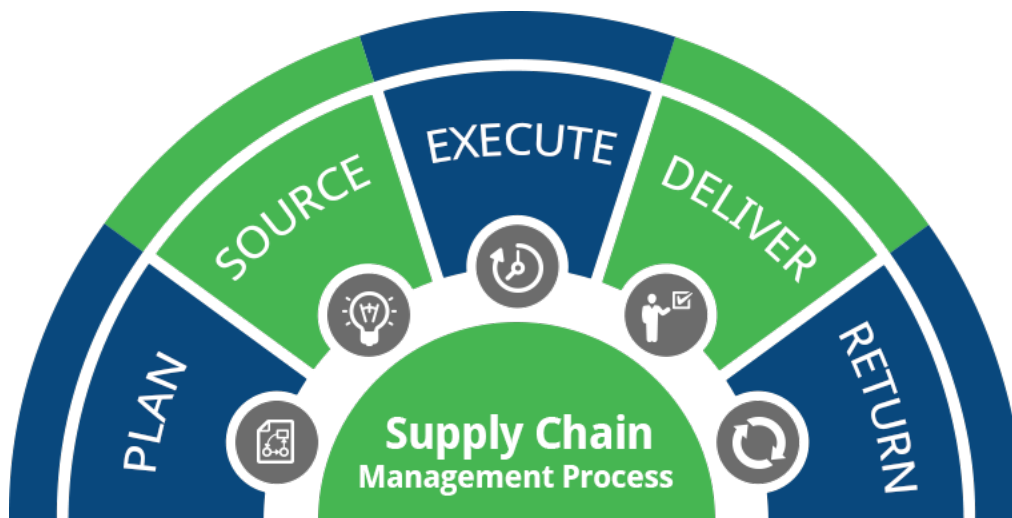
Η παραγωγική διαδικασία μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε επιμέρους εργασίες, όπως η συναρμολόγηση, η δοκιμή, η επιθεώρηση ή η συσκευασία. Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, μια επιχείρηση πρέπει να προσέχει τη σπατάλη ή άλλους ελεγχόμενους παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν αποκλίσεις από τα αρχικά σχέδια.

ΠΑΡΑΔΟΣΗ

Μόλις παραχθούν τα προϊόντα και οριστικοποιηθούν οι πωλήσεις, μια εταιρεία πρέπει να παραδώσει τα προϊόντα στα χέρια των πελατών της. Η διαδικασία διανομής θεωρείται συχνά ως συντελεστής της εικόνας του εμπορικού σήματος, καθώς μέχρι αυτό το σημείο ο πελάτης δεν έχει ακόμη αλληλεπιδράσει με το προϊόν. Απαραίτητη είναι η έγκαιρη, ασφαλή και φθηνή παράδοση των προϊόντων.

ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ

Η διαδικασία διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας ολοκληρώνεται με την υποστήριξη των επιστροφών προϊόντων και πελατών. Αυτή η διαδικασία επιστροφής ονομάζεται συχνά αντίστροφη εφοδιαστική και η εταιρεία πρέπει να διασφαλίσει ότι έχει τις δυνατότητες να παραλαμβάνει τα επιστρεφόμενα προϊόντα και να αποδίδει σωστά τις επιστροφές για τις επιστροφές που λαμβάνει. Είτε μια εταιρεία πραγματοποιεί ανάκληση προϊόντος είτε ένας πελάτης δεν είναι απλώς ικανοποιημένος με το προϊόν, η συναλλαγή με τον πελάτη πρέπει να διορθωθεί.



Σχήμα 1.1.2 Στάδια της Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Εφόσον τα παραπάνω στάδια πραγματοποιούνται αποτελεσματικά, μία βελτιστοποιημένη ΔΕΑ θα επιτρέψει στις επιχειρήσεις να βελτιστοποιήσουν τις τρεις βασικές ροές στην εφοδιαστική αλυσίδα: ροή προϊόντων, ροή πληροφοριών και χρηματοοικονομική ροή.

Αναλυτικότερα:

ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΡΟΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ

Αποτελεσματική ροή προϊόντων σημαίνει όσο το δυνατό λιγότερος χρόνος παράδοσης προϊόντος στον τελικό πελάτη. Βέβαια, υπάρχουν πολλοί άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως για παράδειγμα η ποιότητα των αγαθών που φτάνουν στους πελάτες, η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης, οι επιλογές και το κόστος αποστολής αλλά και τα αποθέματα. Η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ροής των προϊόντων μέσω της ακριβούς πρόβλεψης της ζήτησης και των πωλήσεων και τη βελτίωση της διαχείρισης των αποθεμάτων για αποφυγή υποπαραγωγής. Επίσης οι καθυστερήσεις θα ελαχιστοποιηθούν και θα υπάρχει πλήρης ανιχνευσιμότητα των κινήσεων των αγαθών από τον προμηθευτή στον πελάτη.

ΑΠΡΟΣΚΟΠΤΗ ΡΟΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Σήμερα, με τους πελάτες να απαιτούν συνεχώς ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο και εύκολη πρόσβαση σε προϊόντα, η ροή πληροφοριών θα πρέπει να είναι αδιάλειπτη. Η διακοπτόμενη και ανεπαρκής ροή πληροφοριών λόγω μιας κατακερματισμένης εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να οδηγήσει σε κακές σχέσεις με προμηθευτές και πελάτες και σε τεράστιο κόστος. Οι εταιρείες με αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να εξαλείψουν τα σημεία συμφόρησης στη ροή πληροφοριών της εφοδιαστικής αλυσίδας, εφόσον αξιολογήσουν την ποιότητα της ανταλλαγής πληροφοριών και στη συνέχεια εφαρμόσουν λύσεις για την καλύτερη δυνατή κάλυψη των κενών.

ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΡΟΗ

Οι απρόβλεπτες και μεταβλητές χρηματοοικονομικές εισροές και εκροές μπορούν και περιπλέκουν την ήδη πολύπλοκη χρηματοοικονομική ροή της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας με την αξιολόγηση των τρεχόντων διαδικασιών, τον εντοπισμό των αδύναμων κρίκων που επιβραδύνουν και παρεμποδίζουν την οικονομική ροή και τελικά το καθορισμό των κατάλληλων λύσεων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων μπορούν να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση όλων των προκλήσεων της ταμειακής ροής.

Με ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας όπου οι ροές προϊόντων, πληροφοριών και χρηματοοικονομικών ροών είναι βέλτιστες, οι επιχειρήσεις μπορούν:

- να αξιολογούν συνολικά και συνεχώς τις διαδικασίες τους,
- να εκμεταλλεύονται προληπτικά νέες ευκαιρίες στην αγορά,
- να εντοπίζουν και να καλύπτουν όλα τα κενά,
- να μειώνουν το κόστος και να μετριάζουν τους κινδύνους,
- να εξελίσσονται με επάρκεια με τις συνεχώς εξελισσόμενες εφοδιαστικές αλυσίδες και
- να επιτρέπουν την ταχύτερη λήψη αποφάσεων.

1.2 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ (LOGISTICS)

Εφοδιαστική είναι η διαδικασία η οποία σχεδιάζει, υλοποιεί και ελέγχει την αποδοτική, αποτελεσματική προς τα εμπρός και αντίστροφη ροή και αποθήκευση αγαθών, υπηρεσιών και σχετικών πληροφοριών μεταξύ του σημείου προέλευσης και του σημείου κατανάλωσης, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του πελάτη. Είναι δηλαδή μία συνολική διαδικασία διαχείρισης του τρόπου με τον οποίο οι πόροι αποκτώνται, αποθηκεύονται και μεταφέρονται στον τελικό προορισμό τους. Η διαχείριση της εφοδιαστικής περιλαμβάνει τον εντοπισμό μελλοντικών διανομέων και προμηθευτών και τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας και της προσβασιμότητάς τους.

Ο όρος εφοδιαστική χρησιμοποιήθηκε αρχικά στον στρατό για να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο το στρατιωτικό προσωπικό αποκτούσε, αποθήκευε και διακινούσε εξοπλισμό και προμήθειες. Πλέον, ο όρος υιοθετήθηκε στον επιχειρηματικό τομέα, για να αναφερθεί στον τρόπο χειρισμού και μετακίνησης των πόρων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στόχος της εφοδιαστικής είναι να διασφαλιστεί ότι ο πελάτης θα λάβει το επιθυμητό προϊόν στον σωστό χρόνο και τόπο με τη σωστή ποιότητα και τιμή. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χωριστεί σε δύο υποκατηγορίες: τα εισερχόμενα logistics και τα εξερχόμενα logistics. Η εισερχόμενη εφοδιαστική καλύπτει τις δραστηριότητες που αφορούν την απόκτηση, τη διαχείριση, αποθήκευση και μεταφορά των υλικών. Η εξερχόμενη εφοδιαστική καλύπτει τις δραστηριότητες που αφορούν τη συλλογή, τη συντήρηση και τη διανομή στον πελάτη. Δραστηριότητες που περιλαμβάνονται στην εφοδιαστική είναι η συσκευασία και η εκπλήρωση παραγγελιών, η αποθήκευση, η διαχείριση αποθεμάτων και η διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Γιατί η εφοδιαστική είναι τόσο σημαντική για την εφοδιαστική αλυσίδα;

Αποτελεί ένα κρίσιμο κομμάτι των εφοδιαστικών αλυσίδων καθώς είναι υπεύθυνη για την διαχείριση και παρακολούθηση των απαιτούμενων ανθρώπων και των πόρων στην αποθήκευση και μεταφορά αγαθών και υπηρεσιών. Η εφοδιαστική θα διασφαλίσει ότι τα υλικά και τα προϊόντα μετακινούνται αξιόπιστα στον σωστό χρόνο και εντός του προϋπολογισμού.

Για την υποστήριξη της εφοδιαστικής αλυσίδας, η εφοδιαστική περιλαμβάνει τα εξής:

- Τα σωστά προϊόντα παραδίδονται στον σωστό χρόνο
- Μειώνεται το κόστος και αυξάνεται η αποδοτικότητα
- Συμβάλλει στη διατήρηση των πελατών και στην αύξηση της αφοσίωσης
- Για ορισμένες επιχειρήσεις, προσφέρεται μια ξεχωριστή πρόταση αξίας
- Τη δυνατότητα μεταφοράς αντικειμένων στην τοποθεσία του πελάτη από την περιοχή όπου η παραγωγή είναι πιο προσιτή



Σχήμα 1.2 Δραστηριότητες της Εφοδιαστικής

1.3 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

Πολύ συχνά υπάρχει σύγχυση μεταξύ των όρων εφοδιαστική και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας. Παρόλο που υπάρχουν ομοιότητες, στην πραγματικότητα έχουν διαφορετικές έννοιες με διαφορετικές

σημασίες. Η βασική εξήγηση είναι ότι τα logistics λειτουργούν στο πλαίσιο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι ένας πολύ ευρύς όρος που φέρνει σε επαφή πολλαπλές διαδικασίες με στόχο την επίτευξη ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Περιλαμβάνει τον προγραμματισμό και τη συνεχή ανάλυση των διαδικασιών για αναποτελεσματικότητα. Οι βασικές αποφάσεις γύρω από την προμήθεια πρώτων υλών, εργατικού δυναμικού και εγκαταστάσεων εμπίπτουν στη ΔΕΑ. Διασφαλίζει ότι η επιχείρηση διαθέτει τους πόρους για να χειριστεί τις πρώτες ύλες, να τις μετατρέψει σε αγαθά και να τα διανείμει.

Παράλληλα, η εφοδιαστική παραπέμπει στη διακίνηση, αποθήκευση και ροή αγαθών, υπηρεσιών και πληροφοριών εντός της συνολικής εφοδιαστικής αλυσίδας. Η εφοδιαστική είναι μια πτυχή της εφοδιαστικής αλυσίδας που αποθηκεύει ή παραδίδει τελικά προϊόντα ή υπηρεσίες στον πελάτη, είτε αυτός είναι κατασκευαστής, διανομέας ή καταναλωτής. Η έγκαιρη παράδοση των αγαθών και των υπηρεσιών στον πελάτη σε ανταγωνιστική τιμή είναι ο απώτερος σκοπός της εφοδιαστικής.

Για την καλύτερη κατανόηση των διαφορών της ΔΕΑ και των logistics παρατίθεται το εξής παράδειγμα μίας εταιρείας κατασκευής στυλό.

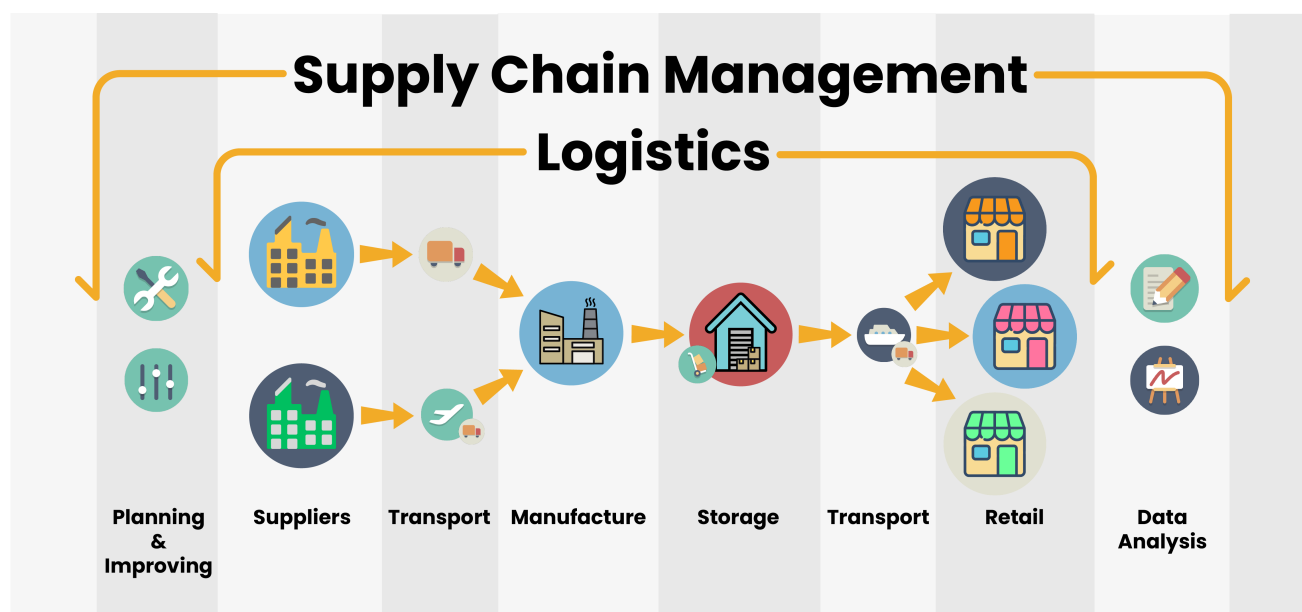
Για την εταιρία κατασκευής στυλό η εφοδιαστική θα ήταν υπεύθυνη για τα εξής :

- Οργάνωση της αποστολής του μελανιού και του πλαστικού από τους προμηθευτές στο εργοστάσιο παραγωγής,
- Αντιμετώπιση πιθανών διαταραχών κατά μήκος των διαδρομών,
- Διασφάλιση της αδιάλειπτης ροής των πρώτων υλών στο εργοστάσιο,
- Διασφάλιση ότι το προσωπικό βρίσκεται στο σωστό μέρος τη σωστή στιγμή για να φορτώσει, να ξεφορτώσει και να κατασκευάσει,
- Κράτηση χώρου στην αποθήκη για την τοποθέτηση των τελικών στυλό.
- Διευθέτηση της διανομής τους στις επιλεγμένες αγορές πωλήσεων και διευθέτηση των τελωνειακών εγγράφων.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας εκτός του ότι θα κάλυπτε όλα τα παραπάνω ζητήματα, θα είχε και πρόσθετες κρίσιμες επιχειρηματικές

αποφάσεις. Για παράδειγμα, μία κρίσιμη επιχειρηματική απόφαση είναι από πού θα προμηθευτεί το μελάνι και το πλαστικό για την κατασκευή του στυλό. Επίσης, πως θα διασφαλίσει ότι η εταιρεία διαθέτει αρκετό εξειδικευμένο προσωπικό και κατάλληλα μηχανήματα στο χώρο. Απόφαση για την συσκευασία και την επιλογή του τόπου αποθήκευσης των τελικών στυλό μέχρι τη διακίνηση στην αγορά.

Η συνεχής αυτή ανάλυση για πιθανές ανεπάρκειες και γενικά αποφάσεις για όλα αυτά τα βήματα είναι το σημείο στο οποίο η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας διαφέρει από την εφοδιαστική. Όλες οι μεγάλες, αναλυτικές αποφάσεις εμπίπτουν στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ η εφοδιαστική είναι μόνο η καθημερινή διαχείριση.



Σχήμα 1.3 Διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έναντι της εφοδιαστικής

Τελικά, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι κάτι που περιλαμβάνει τα πάντα, δηλαδή όλα όσα συμβαίνουν στο φάσμα των logistics, αλλά επιπλέον τον προγραμματισμό, την ανάλυση και τη βελτίωση κάθε σταδίου. Και οι δύο στοχεύουν στη μείωση του κόστους, ικανοποιώντας παράλληλα τις προσδοκίες των πελατών. Απλώς η ΔΕΑ είναι μία έννοια με μεγαλύτερη εικόνα.

1.4 COVID-19 ΚΑΙ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

Τον Δεκέμβριο του 2019, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) έμαθε για αρκετά κρούσματα ενός σοβαρού τύπου πνευμονίας στο Wuhan της Κίνας. Ο τύπος της πνευμονίας, που ονομάστηκε COVID-19, δεν έχει αφήσει καμία χώρα άθικτη. Όταν ο COVID-19 εμφανίστηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 2019, υπήρξε τεράστιο πρόβλημα στην κατανόηση αυτής της νέας ασθένειας, το μέγεθός της και τις απαιτήσεις για την οργάνωση μιας αποτελεσματικής αντίδρασης.

Η πανδημία είχε σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η πανδημία COVID-19 προκάλεσε παγκόσμια διαταραχή στο εμπόριο, τα χρηματοοικονομικά, τα συστήματα υγείας και εκπαίδευσης, τις επιχειρήσεις και τις κοινωνίες. Κάθε μέρα ερχόντουσαν ειδήσεις για ασφυκτικά λιμάνια, εμπορευματοκιβώτια που δεν βρίσκονταν στη θέση τους, τιμές ρεκόρ στους ναύλους μεταφοράς εμπορευμάτων και άλλα προβλήματα που προκάλεσαν μεγάλη αναστάτωση.

Τα κενά πληροφόρησης, η πολυπλοκότητα και η πίεση στις λήψεις αποφάσεων προσέθεσαν περαιτέρω στην αβεβαιότητα, με αποτέλεσμα να προκαλέσουν ζημιά σε περισσότερους ανθρώπους.

Το μεγαλύτερο και σημαντικότερο βέβαια πρόβλημα ξεκίνησε όταν οι χώρες δεν μπορούσαν να παράσχουν τις απαραίτητες ποσότητες ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού, εξετάσεων, αναπνευστήρων, δοκιμαστικών κιτ, αλλά κυρίως νοσοκομειακής χωρητικότητας και εμβολίων. Έτσι, ο COVID-19 έγινε θέμα ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας.



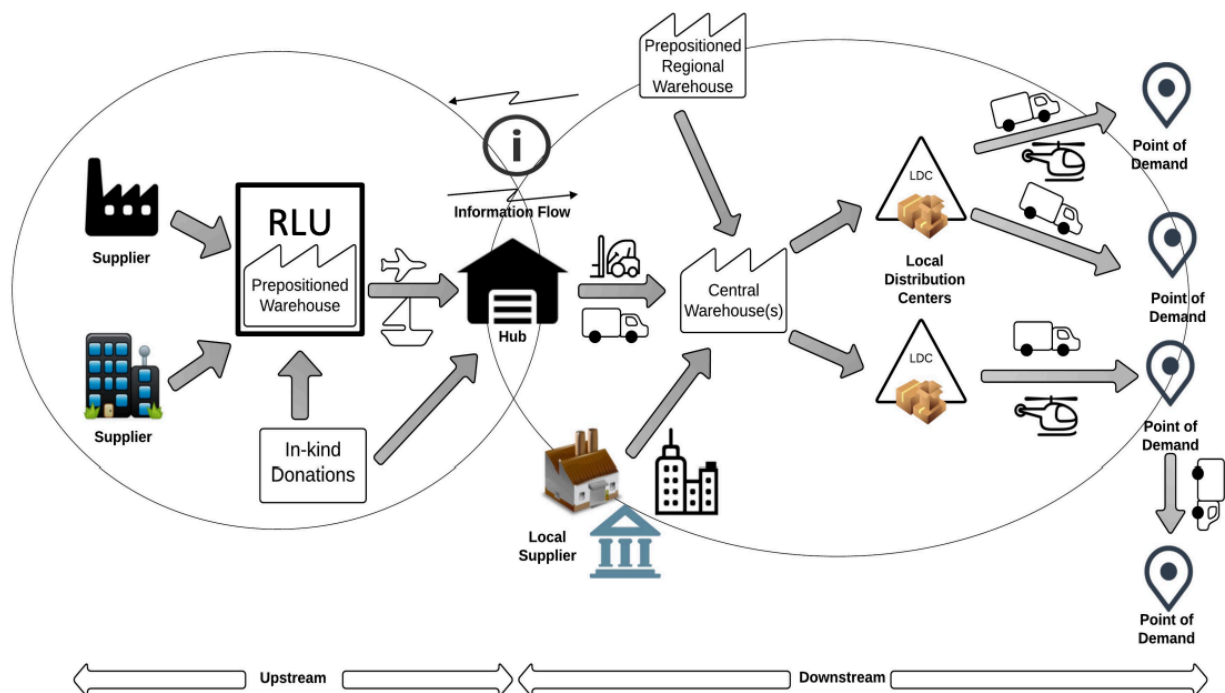
Εικόνα 1.4 Ανθρωπιστική βοήθεια

1.5 ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ (HUMANITARIAN SUPPLY CHAIN)

Η ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα είναι η διαδικασία κατά την οποία σχεδιάζεται και υλοποιείται η μεταφορά και αποθήκευση αγαθών, υλικών και πληροφοριών, από το σημείο προέλευσης έως το σημείο κατανάλωσης με σκοπό την ανακούφιση πληγέντων και ευάλωτων ανθρώπων. Περιλαμβάνει δηλαδή τη διαδικασία κινητοποίησης ανθρώπων, πόρων, δεξιοτήτων και γνώσεων για τη βοήθεια των θυμάτων μίας καταστροφής. Υιοθετεί την ανάγκη για γρήγορη εξυπηρέτηση και παράδοση κρίσιμων αγαθών μετά από κάποια καταστροφή και ελαχιστοποίηση των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και ζημιές. Μία καταστροφή ορίζεται ως ένα απροσδόκητο γεγονός που διαταράσσει την κανονική λειτουργία του συστήματος, που οφείλεται σε φυσικά ή τεχνολογικά αίτια, και έχει ως αποτέλεσμα ανθρώπινες, οικονομικές, υλικές και περιβαλλοντικές απώλειες.

Η ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα ξεκινά από τους προμηθευτές και τους δωρητές και καταλήγει στους παραλήπτες δηλαδή τους πληγέντες.

Η οικονομική ροή στην η ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα προορίζεται για τους προμηθευτές και τους παραλήπτες και προέρχεται από δωρητές και οργανισμούς, ενώ η ροή των αγαθών είναι από τους προμηθευτές στις μονάδες διανομής και στη συνέχεια στους παραλήπτες. Στόχος είναι να σωθούν ζωές και να διατεθούν οι πόροι βάσει των αναγκών που καθορίζονται με βάση του τύπου και του βαθμού επίπτωσης της καταστροφής, τις αναμενόμενες υπηρεσίες, τις συνθήκες ασφάλειας και προστασίας.



Σχήμα 1.5 Σχέδιο μίας τυπικής διανομής στην ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα

Οι ανθρωπιστικές εφοδιαστικές αλυσίδες έχουν κύριο ρόλο σε διάφορες φάσεις της έννοιας της ανακούφισης από καταστροφές, όπως η ετοιμότητα, η άμεση ανταπόκριση, η ανοικοδόμηση και η ανάκαμψη. Περιλαμβάνει επίσης το συντονισμό και τη συνεργασία με τα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας, τρίτους παρόχους υπηρεσιών και μεταξύ ανθρωπιστικών οργανώσεων, απαραίτητη διαδικασία στις διάφορες φάσεις. Ο λόγος είναι ότι κάθε μία από αυτές τις φάσεις απαιτεί υλική και τεχνική υποστήριξη, με κάθε φάση να έχει τις δικές της απαιτήσεις όσον αφορά τη διάρκεια, τον όγκο, την απαιτούμενη ποσότητα και ποικιλία των προμηθειών, τον επείγοντα χαρακτήρα και τον τόπο προμήθειας. Για παράδειγμα, σε ευαίσθητες φάσεις όπως η ετοιμότητα και η φάση της

ανταπόκρισης, παρατηρείται μεγάλη ανάγκη συνεργασίας και συνεννόησης.

Ποιοι είναι οι λόγοι που η ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα βρίσκεται στο κέντρο όσον αφορά την παροχή βοήθειας σε καταστροφές;

- Συνδέει την ετοιμότητα με αυτούς που χρειάζονται βοήθεια για να φτάσουν τα αγαθά σε αυτούς που τα χρειάζονται, αλλά και βοηθά να διασφαλιστεί ότι οι σωστές προμήθειες είναι διαθέσιμες όταν οι άνθρωποι τις έχουν περισσότερο ανάγκη.
- Η ανταπόκριση σε μεγάλα ανθρωπιστικά προγράμματα, όπως η υγεία, τα τρόφιμα, η στέγαση, το νερό και η υγιεινή εξαρτώνται από την αποτελεσματικότητα και την ταχύτητα της αλλά είναι παράλληλα και πολύ δαπανηρή.
- Μπορεί και αξιολογεί τις επιδόσεις για τη διευκόλυνση της μάθησης μετά από ένα περιστατικό.
- Είναι το πιο δαπανηρό στοιχείο κάθε προσπάθειας αρωγής και το στοιχείο που καθορίζει αν η προσπάθεια είναι αποτελεσματική ή όχι.

Παρόλη τη βοήθεια που μπορεί να προσφέρει η ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα, τείνει να είναι ασταθής αφού είναι επιρρεπής σε πολιτικές και στρατιωτικές επιρροές και αναποτελεσματική λόγω έλλειψης κοινού σχεδιασμού και διοργανωτικής συνεργασίας. Οι κυβερνήσεις έχοντας την κύρια εξουσία και τον έλεγχο στις πολιτικές και οικονομικές συνθήκες μπορούν και επηρεάζουν άμεσα τις διαδικασίες της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας με τις αποφάσεις τους. Έτσι, δημιουργείται υλικότεχνική ανεπάρκεια, μαζί με απροειδοποίητη μετατόπιση των προορισμών των προμηθειών. Παράλληλα, οι δωρητές δυσχεραίνουν την κατάσταση βάζοντας φραγμούς στο που θα δαπανηθούν τα κονδύλια τους. Για παράδειγμα, δεν επιτρέπουν την δαπάνη τους σε έμμεσες αλλά ζωτικές υπηρεσίες, όπως η εκπαίδευση του προσωπικού, αλλά μόνο σε άμεσα υλικά και τρόφιμα, και μάλιστα σε συγκεκριμένη τοποθεσία καταστροφής. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να επισημανθούν οι παράγοντες που αν καλλιεργηθούν και συντηρηθούν θα μπορούσαν να ενισχύσουν την απόδοση της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας. Συγκεκριμένα,

- Αξιολόγηση κινδύνων και αναγκών
- Διαχείριση προμηθειών και δωρεών
- Συντονισμός και συνεργασία με άλλους οργανισμούς αρωγής

- Ανάπτυξη ικανοτήτων των θεσμικών οργάνων και των ανθρώπων
- Ισχυρή τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών
- Διαχείριση αποθεμάτων
- Στρατηγικός σχεδιασμός για το σύστημα εφοδιασμού έκτακτης βοήθειας
- Ευέλικτη ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα
- Κυβερνητικές πολιτικές και οργανωτική δομή
- Βελτιωμένο σύστημα πρόβλεψης και έγκαιρης προειδοποίησης
- Ανθεκτικές στις καταστροφές υποδομές και εγκαταστάσεις μεταφορών
- Συνεχής βελτίωση της ετοιμότητας και της ανταπόκρισης

Η εφοδιαστική αλυσίδα δε θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις ανάγκες που θα προέκυπταν σε περιόδους καταστροφών καθώς δεν έχει ανθρωποκεντρικούς στόχους, αλλά οικονομικούς. Κατανοούμε επομένως, πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας σε περιόδους απρόσμενων γεγονότων που πρωταρχικός στόχος είναι η ανακούφιση των πληγέντων.

1.5.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

Εφόσον έχουν αναλυθεί παραπάνω και οι δύο έννοιες, παρατίθενται σε μορφή πίνακα οι διαφορές τους.

	ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ	ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ
Τι είναι η "ζήτηση";	Προϊόντα	Προμήθειες και άνθρωποι
Ορισμός πελάτη	Τελικός χρήστης=Αγοραστής	Τελικός χρήστης(Δικαιούχος)≠Αγοραστής (Δωρητής)
Σχέδιο ζήτησης	Σταθερό και προβλέψιμο.	Τυχαία και απρόβλεπτα γεγονότα δημιουργούν την ζήτηση. Οι ανάγκες εκτιμώνται μετά το γεγονός, με βάση μιας εκτίμησης των χαρακτηριστικών της καταστροφής.
Έλεγχος αποθεμάτων	Χρησιμοποιεί σαφώς καθορισμένες μεθόδους για τον προσδιορισμό των επιπέδων αποθεμάτων με βάση τον χρόνο παράδοσης, τη ζήτηση και τα επίπεδα εξυπηρέτησης πελατών.	Δυσκολία στον έλεγχο των αποθεμάτων λόγω υψηλών διακυμάνσεων στους χρόνους παράδοσης, στις απαιτήσεις και στις τοποθεσίες ζήτησης.
Χρόνος παράδοσης	Ο χρόνος παράδοσης καθορίζεται από την αλυσίδα Προμηθευτής- Παραγωγός- Κατασκευαστής- Διανομέας- Λιανοπωλητής.	Μηδενικός χρόνος μεταξύ της εμφάνισης της ζήτησης και της ανάγκης για αυτήν. Καθορισμός από την αλυσίδα της ροής των υλικών.
Διαμόρφωση δικτύου	Υπάρχουν μέθοδοι για το σχεδιασμό δικτύων εφοδιαστικής αλυσίδας.	Προκλήσεις λόγω της φύσης των αγνώστων (τοποθεσίες, είδος και μέγεθος των εκδηλώσεων, πολιτική, κουλτούρα).

Συστήματα πληροφοριών	Τυπικά, σαφώς καθορισμένα, με χρήση προηγμένης τεχνολογίας	Οι πληροφορίες είναι συχνά αναξιόπιστες, ελλιπείς, ή ανύπαρκτες.
Σύστημα μέτρησης επιδόσεων	Μέτρα απόδοσης πόρων, δηλαδή μεγιστοποίηση κέρδους ή ελαχιστοποίηση κόστους.	Πρωταρχική εστίαση σε μέτρα απόδοσης εκροών, όπως ο χρόνος που απαιτείται για την ανταπόκριση σε μια καταστροφή ή η ικανότητα κάλυψης των αναγκών των θυμάτων της καταστροφής.
Στρατηγικοί στόχοι	Παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας με χαμηλό κόστος, με στόχο τη μεγιστοποίηση της κερδοφορίας και την ικανοποίηση των πελατών.	Ελαχιστοποίηση της απώλειας ζωής και ανακούφιση πληγέντων.

Πίνακας 1. Διαφορές εφοδιαστικής αλυσίδας και ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα αναλύσουμε το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων. Θα παρουσιάσουμε αρχικά το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (TSP), καθώς αποτελεί το πιο απλό πρόβλημα δρομολόγησης. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε εκτενώς το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP), τα βασικά χαρακτηριστικά του, καθώς και τις πολυάριθμες παραλλαγές του, οι οποίες δημιουργούνται από τους διάφορους περιορισμούς που θέτονται στο κάθε πρόβλημα.

2.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΠΛΑΝΟΔΙΟΥ ΠΩΛΗΤΗ (TSP)

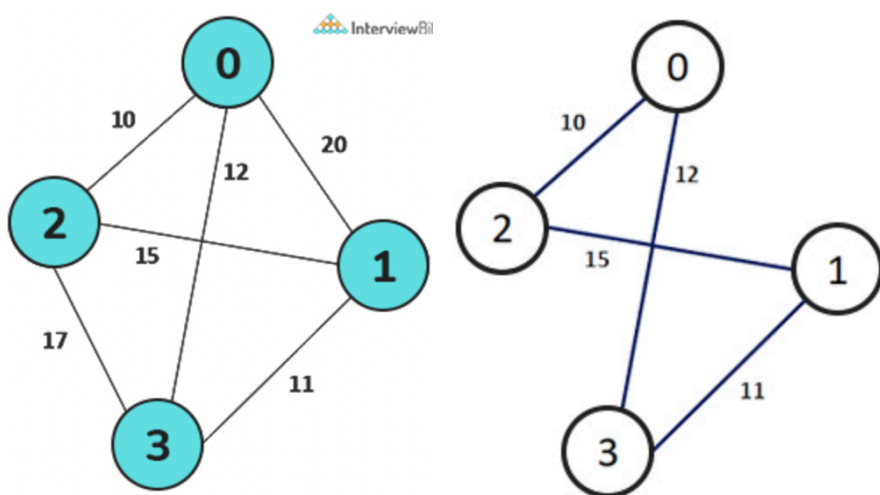
2.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η εύρεση της συντομότερης διαδρομής μεταξύ ενός αριθμού συνδεδεμένων σημείων/τόπων που πρέπει να επισκεφτεί ένας πωλητής

είναι ο στόχος του αλγοριθμικού προβλήματος που είναι γνωστό ως "Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή" (TSP). Ο πωλητής θέλει να ταξιδέψει όσο το δυνατόν λιγότερο όσον αφορά την απόσταση και να επιστρέψει στο σημείο εκκίνησης έχοντας επισκεφτεί όλες τις πόλεις/σημεία από μία φορά. Αποτελεί ένα γνωστό αλγοριθμικό πρόβλημα στα πεδία της επιστήμης των υπολογιστών και της επιχειρησιακής έρευνας και έχει σημαντικές εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο για τις επιχειρήσεις εφοδιαστικής και παράδοσης.

Ποια είναι λοιπόν η συντομότερη δυνατή διαδρομή ώστε να επισκεφθεί κάθε πόλη ακριβώς μία φορά και να επιστρέψει στην πόλη προέλευσης;

Για να λυθεί ένα τέτοιο πρόβλημα θα πρέπει να γίνει σύγκριση όλων των πιθανών διαδρομών μεταξύ τους έτσι ώστε να εντοπιστεί η καλύτερη δυνατή, δηλαδή να χρησιμοποιηθεί η προσέγγιση brute-force. Ο τρόπος αυτός είναι οικονομικός και γρήγορος όταν το πρόβλημα είναι μικρό. Όταν το πρόβλημα είναι μεγάλο με εκατοντάδες συνδεδεμένα σημεία, τότε η σύγκριση όλων των πιθανών διαδρομών απαιτεί πολύ χρόνο που στην πραγματικότητα δεν μπορεί να διατεθεί, διότι το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή ανήκει στην κατηγορία των NP-Hard προβλημάτων και άρα όσο αυξάνεται ο αριθμός των πόλεων, τόσο αυξάνεται εκθετικά και ο χρόνος που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος. Για n αριθμό σημείων υπάρχει $(n-1)!$ αριθμός δυνατοτήτων.



Σχήμα 2.1.1 Παράδειγμα προβλήματος πλανόδιου πωλητή με αριστερά το αρχικό πρόβλημα 4 κόμβων και δεξιά την λύση του

2.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΛΑΝΟΔΙΟΥ ΠΩΛΗΤΗ

Με δεδομένο ότι έχουμε γνωστές συντεταγμένες σημείων, γνωστά κόστη, απαγόρευση διπλότυπων κινήσεων αλλά και απαγόρευση επίσκεψης σημείου πάνω από μία φορά, το πρόβλημα μοντελοποιείται ως εξής:

Για n αριθμό κόμβων έχουμε την μεταβλητή απόφασης:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο πωλητής μετακινηθεί από τον κόμβο } i \text{ στον } j \\ 0 & \forall i, j \text{ με } i \neq j \end{cases}$$

Και το κόστος της διαδρομής από το i στο j : $c_{ij} > 0$

Έτσι, έχουμε το μοντέλο:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

υπό τους περιορισμούς,

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad , \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad , \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{j \in C} x_{ij} \geq 1, \forall C \subset \{1, \dots, n\}, C \neq \emptyset \quad (2.4)$$

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

Η αντικειμενική συνάρτηση (2.1) αντιπροσωπεύει την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μετακίνησης. Ο περιορισμός (2.2) δείχνει ότι όταν ο πωλητής επισκέπτεται μια πόλη, πρέπει να έχει έρθει από μία μόνο πόλη. Ο περιορισμός (2.3) δείχνει ότι ο πωλητής αφού επισκεφθεί μια πόλη i , πρέπει να επισκεφθεί μόνο μια πόλη ως επόμενη. Τέλος, ο περιορισμός (2.4) διαβεβαιώνει ότι μια διαδρομή είναι πλήρως συνδεδεμένη. Το C είναι το σύνολο όλων των διαδρομών.

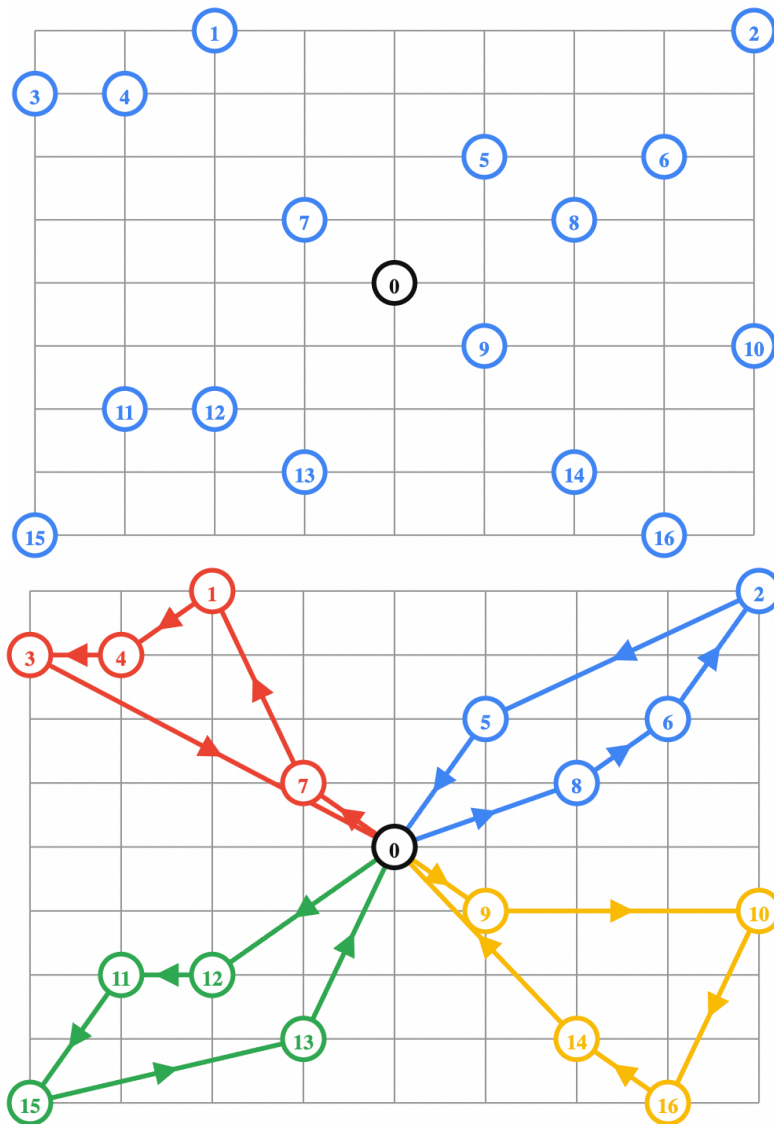
2.2 ΑΠΛΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (VRP)

2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Το κλασικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP) είναι μια γενική ονομασία που δίνεται σε μια ολόκληρη κατηγορία προβλημάτων που στόχο έχει να προσδιορίσει τις βέλτιστες διαδρομές για ένα στόλο οχημάτων που εδρεύει σε μία αποθήκη για να εξυπηρετηθεί ένας αριθμός πελατών. Οι απαιτήσεις είναι γνωστές και σκοπός είναι η μέγιστη αποδοτικότητα, στο ελάχιστο δυνατό κόστος και χρόνο, με το ελάχιστο δυνατό πλήθος οχημάτων, με αφετηρία και τερματισμό στην αποθήκη. Προτάθηκε από τους Dantzig και Ramser το 1959 και αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στους τομείς των μεταφορών, της διανομής και της εφοδιαστικής.

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων είναι ένα πρόβλημα ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού το οποίο ανήκει στην κατηγορία των μη-πολυωνυμικών δύσκολων προβλημάτων (NP-Hard) και μπορεί να θεωρηθεί ως πολλαπλά Προβλήματα Πλανόδιου Πωλητή (TSP) συνδυασμένα μεταξύ τους. Η επίλυση ενός TSP όπως προ είπαμε είναι ένα δύσκολο πρόβλημα όταν υπάρχουν πολλοί κόμβοι και ένας μόνο οδηγός/πωλητής, διότι η υπολογιστική προσπάθεια που απαιτείται αυξάνει εκθετικά με το μέγεθος του προβλήματος, οπότε μπορούμε να καταλάβουμε πόσο περίπλοκο μπορεί να γίνει το πρόβλημα όταν πολλαπλασιαστεί ο αριθμός των οδηγών.

Μεθευρετικοί και εξελικτικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων έτσι ώστε να βρεθεί η καλύτερη δυνατή λύση. Τις περισσότερες φορές, αυτοί οι αλγόριθμοι δεν στοχεύουν στην "επίλυση" του προβλήματος, αλλά προσπαθούν να πλησιάσουν τη λύση σε ένα λογικό χρονικό διάστημα υπολογισμού. Έτσι, δεν είναι όλοι οι αλγόριθμοι φτιαγμένοι το ίδιο. Ορισμένοι χρειάζονται σκόπιμα περισσότερο χρόνο επεξεργασίας, για να παραδώσουν μια πιο βέλτιστη λύση, ενώ άλλοι δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στον γρήγορο χρόνο επεξεργασίας, παρέχοντας μια λύση που δεν είναι βέλτιστη, αλλά εξακολουθεί να είναι πολύ καλή.



Σχήμα 2.2.1 Ένα απλό παράδειγμα VRP για την ελαχιστοποίηση του κόστους των διαδρομών, πριν και μετά την λύση

2.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Με δεδομένο ότι έχουμε:

- γνωστές συντεταγμένες σημείων/πελατών,
- γνωστά κόστη,
- απαγόρευση διπλότυπων κινήσεων,
- απαγόρευση επίσκεψης σημείου/πελάτη πάνω από μία φορά,
- περιορισμό χωρητικότητας των οχημάτων,

- κάθε σημείο/πελάτης εξυπηρετείται από ένα μόνο όχημα

Το πρόβλημα μοντελοποιείται ως εξής:

Για n αριθμό κόμβων έχουμε τις μεταβλητές απόφασης:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{εάν το όχημα } k \text{ επισκέπτεται τον πελάτη } j \text{ αμέσως μετά τον πελάτη } i \\ 0 & \text{αλλιώς, } \forall i, j, k, i \neq j \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{εάν ο πελάτης } i \text{ επισκέπτεται από το όχημα } k \\ 0, & \text{αλλιώς, } \forall i, k \end{cases}$$

Έτσι, έχουμε το μοντέλο:

$$\min \sum_{i,j}^n c_{ij} \sum_k x_{ijk} \quad (2.5)$$

υπό τους περιορισμούς,

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} 1, & i = 2, \dots, n \\ m, & i = 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$\sum_i q_i y_{ij} \leq Q_k, \quad k=1, \dots, m \quad (2.7)$$

$$\sum_j x_{ijk} = \sum_j x_{jik} = y_{ik} \quad i = 1, \dots, n \text{ και } k = 1, \dots, m \quad (2.8)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \text{ για όλα τα } \forall S \subset \{2, \dots, n\}, k = 1, \dots, m \quad (2.9)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\}, \quad \forall i, k \quad (2.10)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k \quad (2.11)$$

Εφόσον το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων αποτελεί μία γενίκευση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή, η αντικειμενική συνάρτηση (2.5) έχει προσαρμοστεί για το απλό VRP όπως και οι περιορισμοί (2.9), (2.10), (2.11). Ο περιορισμός (2.6) δηλώνει ότι κάθε πελάτης εκχωρείται μονάχα μία φορά δηλαδή σε ένα μόνο όχημα, αλλά όλα τα οχήματα επισκέπτονται την αποθήκη. Ο περιορισμός (2.7) είναι ο περιορισμός χωρητικότητας των οχημάτων η οποία δεν γίνεται να παραβιαστεί για ένα

σύνολο πελατών και τέλος, ο περιορισμός (2.8) δηλώνει ότι ένα όχημα που εξυπηρετεί ένα πελάτη φεύγει και από τον πελάτη.

2.3 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων έχει πολλές παραλλαγές καθώς μπορεί να περιλαμβάνει αρκετούς περιορισμούς. Μερικοί περιορισμοί αφορούν:

2.3.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΝΤΡΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ-ΑΠΟΘΗΚΕΣ

Η πιο απλή μορφή του προβλήματος θα ήταν να υπάρχει μία μόνο αποθήκη από την οποία θα ξεκινούν όλα τα οχήματα και στην οποία θα πρέπει να επιστρέφουν, εξυπηρετώντας έτσι όλους τους πελάτες. Όμως, στην πραγματικότητα θα μπορούσαν να υπάρχουν παραπάνω από ένα κέντρο διάθεσης και έτσι τα προϊόντα θα διανεμηθούν σε περισσότερες από μία αποθήκες. Έτσι, κάθε όχημα μπορεί να ξεκινάει και να επιστρέφει σε διαφορετικό κέντρο.

ΣΤΟΛΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Ένας ακόμα σημαντικός περιορισμός αφορά τη χωρητικότητα των οχημάτων. Είναι δυνατό να υπάρχει ανομοιογένεια στην χωρητικότητα κάθε οχήματος. Επίσης, ο τρόπος κοστολόγησης θα μπορούσε να είναι διαφορετικός, ανάλογα αν το όχημα είναι ιδιόκτητο ή μισθωμένο. Μπορεί ακόμα τα οχήματα να είναι χωρισμένα σε τμήματα και άρα να πρέπει να γίνει σχεδιασμός στο πώς θα φορτωθούν.

ΧΡΟΝΟΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ

Ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής του οχήματος σε κάθε πελάτη ενώ συνήθως είναι σταθερός, θα μπορούσε και να μην είναι, λόγω της εκάστοτε ποσότητας παραγγελίας, δηλαδή χρόνος φορτο-εκφόρτωσης.

ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ

Κάθε πελάτης μπορεί να παραλαμβάνει το πακέτο του εντός δεδομένων χρονικών ορίων μέσα στη μέρα. Αντίθετα, οι προμηθευτές δεν μπορούν να είναι ευέλικτοι στην παράδοση των προϊόντων στους πελάτες, αλλά βέβαια οι οδηγοί των οχημάτων μπορεί να δουλεύουν συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Εκτός της παράδοσης παραγγελιών στους πελάτες, υπάρχει και η περίπτωση παραλαβής επιστρεφόμενων προϊόντων. Αν ο αριθμός των επιστρεφόμενων προϊόντων δεν είναι απόλυτα γνωστός τότε ο προγραμματισμός του προβλήματος δυσκολεύει.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΛΑΤΩΝ

Κάθε επιχείρηση μπορεί να βρεθεί στη δυσμενή θέση να μην έχει αρκετό διαθέσιμο απόθεμα ή ακόμα να μην υπάρχουν αρκετοί οδηγοί ή/και οχήματα. Έτσι, θα πρέπει να επιλέξει με βάση κάποια κριτήρια ποιος πελάτης θα εξυπηρετηθεί και ποιος όχι. Συνήθως επιλέγονται εκείνοι οι οποίοι είναι έμπιστοι πελάτες και συνεισφέρουν περισσότερο στο τζίρο της επιχείρησης.

Εφόσον έχουν αναφερθεί μερικά είδη περιορισμών, μπορούμε να επισημάνουμε και μερικές παραλλαγές του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων.

2.3.2 ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΑΠΛΟΥ VRP

Παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές παραλλαγές του κλασικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΠΙΣΤΡΟΦΕΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΗ

Κάθε όχημα συνήθως πραγματοποιεί μία μόνο διαδρομή, διότι οι εκάστοτε απαιτούμενες αποστάσεις καλύπτουν ολόκληρο το χρόνο που έχει στη

διάθεση του το όχημα σε μία εργάσιμη μέρα. Βέβαια, όταν ο χρονικός ορίζοντας είναι μεγαλύτερος από τη διάρκεια της απαιτούμενης διαδρομής τότε κάθε όχημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραπάνω από μία φορά, άρα να έχει πολλαπλές επιστροφές στην αποθήκη, ξαναφορτώνοντας το όχημα και κάνοντας μία καινούρια διαδρομή.

ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Όταν μία επιχείρηση δεν έχει επαρκές ή κανένα πλήθος οχημάτων τότε είναι αναγκασμένη να μισθώσει οχήματα για να εξυπηρετηθούν στην ώρα τους οι πελάτες. Επειδή μετά το πέρας της εκφόρτωσης τα οχήματα δεν επιστρέφουν στην αποθήκη, έχουμε έτσι ελαχιστοποίηση του μήκους διαδρομών των οχημάτων.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΠΕΛΑΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ

Σε αυτήν την εκδοχή του προβλήματος πρέπει να καλυφθεί ο περιορισμός κατά τον οποίο η επίσκεψη σε κάθε πελάτη πρέπει να γίνει μέσα στα πλαίσια ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος. Ο πελάτης δηλαδή έχει καθορίσει ένα χρονικό παράθυρο (time window) στο οποίο η φόρτωση πρέπει να πραγματοποιηθεί. Έχουμε βέβαια και τον περιορισμό χωρητικότητας του οχήματος, οπότε στόχος είναι η εξυπηρέτηση ενός υποσυνόλου πελατών, με τέτοιο τρόπο που να μην παραβιάζονται οι δύο περιορισμοί και ταυτόχρονα να ελαχιστοποιείται το συνολικό μήκος των διαδρομών.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΠΕΛΑΤΩΝ

Όταν υπάρχει το πρόβλημα στο οποίο δεν γίνεται να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες, λόγω έλλειψης χρόνου ή/και οχημάτων, τότε η επιχείρηση θα πρέπει να επιλέξει τους πιο σημαντικούς της πελάτες και να εξυπηρετήσει αυτούς πρώτα. Η επιλογή των πιο σημαντικών πελατών γίνεται με βάση το κέρδος τους. Η κατηγορία αυτών των προβλημάτων ονομάζεται ως προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με κέρδη και στόχος είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους στο δοθέντα χρόνο, αγνοώντας τον

περιορισμό χωρητικότητας και υπολογίζοντας το μέγιστο κέρδος από τον πελάτη και όχι το κόστος διαδρομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Για να λυθούν τα Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP) που συζητήσαμε στο δεύτερο κεφάλαιο, θα πρέπει να αναλύσουμε τις διάφορες κατηγορίες αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται. Όπως είναι ήδη γνωστό, τα VRP ανήκουν στην κατηγορία των NP-hard προβλημάτων, με αποτέλεσμα την πολύ δύσκολη επίλυση τους όταν το δίκτυο έχει μεγάλο πλήθος κόμβων. Οι κατηγορίες αλγορίθμων που θα παρουσιάσουμε σε αυτό το κεφάλαιο δεν μπορούν να υπολογίσουν με ακρίβεια τη βέλτιστη λύση, αλλά συμβάλλουν στο να την προσεγγίσουν, άρα να βρεθούν ικανοποιητικές διαδρομές.

3.1 ΕΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ (HEURISTIC ALGORITHMS)

Η ανάπτυξη των ευρετικών αλγορίθμων έδωσε τη λύση στην ανάγκη για μειωμένο χρόνο επίλυσης, δηλαδή στην εύρεση εφικτών λύσεων σε γρήγορο χρονικό διάστημα. Βέβαια, η απόλυτη βελτιστοποίηση έχει θυσιαστεί για χάρη της ταχύτητας και δεν μπορεί να επιτευχθεί καθώς οι αλγόριθμοι αυτοί πραγματοποιούν περιορισμένη αναζήτηση στο διάστημα των πιθανών λύσεων. Έχουμε όμως καλής ποιότητας λύσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα. Χαρακτηριστικό των αλγορίθμων αυτών είναι ότι για το ίδιο πρόβλημα γίνεται να παράγονται καλύτερες λύσεις από παραπάνω από ένα ευρετικό αλγόριθμο, ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων που δίνονται, δηλαδή για ορισμένες τιμές να δίνονται καλύτερες λύσεις από έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο, ενώ για άλλες τιμές από έναν άλλο. Η καταλληλότητα ενός ευρετικού αλγορίθμου καθορίζεται από τον αν η λύση συγκλίνει στην βέλτιστη, αν προκύπτει εύκολα και γρήγορα και αν τίθενται λογικοί κανόνες που οδηγούν στη λύση.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες ευρετικών αλγορίθμων:

- Αλγόριθμοι Απληστίας (Greedy Algorithms)

Στόχος τους είναι η εύρεση εφικτών λύσεων, όμως επειδή είναι μυωπικοί αλγόριθμοι (κοιτούν μόνο μπροστά), απαιτείται αρκετά μεγάλος χρόνος.

- Προσεγγιστικοί Αλγόριθμοι (Approximation Algorithms)

Λύνουν το πρόβλημα χρησιμοποιώντας περισσότερες πληροφορίες.

- Αλγόριθμοι Τοπικής Αναζήτησης (Local Search Algorithms)

Προσπαθούν να βελτιώσουν μία αρχική εφικτή λύση με κάποια μέθοδο αναζήτησης στη γειτονιά της λύσης.

3.1.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΛΗΣΤΙΑΣ

Οι αλγόριθμοι απληστίας χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μίας αρχικής εφικτής λύσης. Το πρόβλημα διαιρείται σε ορισμένα στάδια και στόχος είναι η επίτευξη ενός βέλτιστου αποτελέσματος σε κάθε στάδιο, έτσι ώστε να χρησιμοποιούμε τη λύση κάθε σταδίου ως είσοδο για το επόμενο στάδιο και να βρούμε έτσι τη συνολικά βέλτιστη λύση. Είναι δύσκολο βέβαια κάθε λύση ενός σταδίου να είναι βέλτιστη, γιατί από το εκάστοτε στάδιο που βρισκόμαστε επιλέγεται η πιο προφανής συμφέρουσα κίνηση δίχως τον έλεγχο άλλων πιθανών κόμβων, οι οποίοι πιθανώς να έδιναν καλύτερο αποτέλεσμα. Ακόμη και αν η αρχική απόφαση είναι λανθασμένη, ο αλγόριθμος δεν την αντιστρέφει ποτέ. Παρόλο που είναι πολύ γρήγοροι δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα, πολλές φορές η λύση που προκύπτει αποκλίνει πολύ από τη βέλτιστη και ο χρόνος επίλυσης είναι πολύ αργός.

Μερικοί αλγόριθμοι απληστίας είναι:

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟΥ ΓΕΙΤΟΝΑ

Ο αλγόριθμος αυτός είναι μία απλή περίπτωση άπληστου αλγορίθμου, δίνοντας συνήθως μία καλή λύση σχετικά γρήγορα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται χρήση του αλγορίθμου αυτού για την κατασκευή αρχικών εφικτών λύσεων.

Τα βήματα που ακολουθεί είναι:

Βήμα 1: Επιλέγεται η αποθήκη ως ο αρχικός κόμβος της διαδρομής.

Βήμα 2: Ψάχνουμε τον πλησιέστερο κόμβο/πελάτη ο οποίος δεν ανήκει σε καμία άλλη διαδρομή, δηλαδή δεν έχει εξυπηρετηθεί. Αν αυτός ο κόμβος δεν παραβιάζει τους περιορισμούς του προβλήματος, τότε ο κόμβος προστίθεται στη διαδρομή και γίνεται ο τρέχον κόμβος για να προχωρήσουμε στο τρίτο βήμα. Αντίθετα, αν παραβιάζεται έστω και ένας περιορισμός τότε ψάχνουμε τον αμέσως επόμενο κοντινότερο κόμβο που δεν έχει εξυπηρετηθεί και ταυτόχρονα δεν παραβιάζει τους περιορισμούς. Αν δεν υπάρχει κανένας κατάλληλος κόμβος τότε κλείνει η διαδρομή επιστρέφοντας στην αποθήκη και επιστρέφουμε στο πρώτο βήμα για τη δημιουργία νέας διαδρομής.

Βήμα 3: Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία του δεύτερου βήματος μέχρι όλοι οι κόμβοι να προστεθούν σε κάποια διαδρομή, δηλαδή να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες .

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΓΓΥΤΕΡΗΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ

Η διαδικασία ξεκινάει θεωρώντας μερικές κυκλικές διαδρομές αποτελούμενες από έναν μόνο κόμβο. Το πλήθος των μερικών αυτών κυκλικών διαδρομών είναι n , όσοι δηλαδή και οι κόμβοι του προβλήματος. Σε κάθε βήμα συγχωνεύονται ζευγάρια κυκλικών διαδρομών μεταξύ τους που ελαχιστοποιούν το κόστος διαδρομών μέχρι να σχηματιστεί μία τελική κυκλική διαδρομή που θα περιλαμβάνει όλους τους n κόμβους.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΓΓΥΤΕΡΗΣ ΠΡΟΣΘΕΣΗΣ

Η διαδικασία ξεκινάει θεωρώντας μία μόνο μερική κυκλική διαδρομή που αποτελείται από έναν κόμβο. Έστω ο κόμβος j της κυκλικής διαδρομής. Αναζητάμε τον επόμενο κόμβο k εκτός διαδρομής που ελαχιστοποιεί το κόστος c_{jk} . Έπειτα, το τόξο (i, j) της διαδρομής (ένα από τα δύο τόξα που πρόσκεινται στο j) αντικαθίσταται από τα τόξα (i, k) και (k, j) . Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν προστεθούν όλοι οι κόμβοι στην κυκλική διαδρομή.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΟΜΒΩΝ

Η διαδικασία ξεκινάει θεωρώντας έναν στοιχειώδη κύκλο που αποτελείται από έναν μόνο κόμβο. Προσπαθούμε να βρούμε τον κόμβο που θα εισάγουμε αμέσως μετά στην διαδρομή με βάση κάποιο κριτήριο επιλογής όπως η απόσταση και έπειτα να καθορίσουμε που θα τοποθετηθεί.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΩΝ CLARKE & WRIGHT

Κάθε βήμα αποτελείται υπολογίζοντας όλες τις εξοικονομήσεις όλων των πελατών και έπειτα με βάση την καλύτερη εξοικονόμηση δημιουργείται η διαδρομή η οποία πρέπει να είναι εφικτή και να μην παραβιάζεται κάποιος περιορισμός. Υπολογίζονται οι εξοικονομήσεις για όλα τα ζεύγη πελατών που ισούνται με $s_{ij} = c_{1i} - c_{ij} + c_{j1}$.

3.1.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ

Η τοπική αναζήτηση βασίζεται στην μέθοδο δοκιμής και σφάλματος, μία αρχαία μέθοδος βελτιστοποίησης πολύ απλή και αποτελεσματική. Ένας αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης ξεκινά με μία αρχική εφικτή λύση, η οποία έχει παραχθεί από ένα αλγόριθμο απληστίας ή από έναν προσεγγιστικό αλγόριθμο. Χρησιμοποιώντας την εφικτή λύση, μετακινείται επαναληπτικά σε μία γειτονική, έτσι ώστε να τις συγκρίνει με βάση το ελάχιστο κόστος. Γειτονική λύση είναι αυτή που διαφέρει από την τρέχουσα στο ελάχιστο δυνατό βαθμό, δηλαδή πραγματοποιούνται τοπικές αλλαγές. Αν η γειτονική είναι καλύτερη από την τρέχουσα τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία με την καλύτερη μέχρι είτε να βρεθεί η

βέλτιστη, είτε να μην βελτιώνεται άλλο, είτε με το πέρας συγκεκριμένου αριθμού επαναλήψεων. Η μέθοδος που θα επιλεγεί είναι το σημαντικότερο στοιχείο επιτυχίας.

Μέθοδοι τοπικής αναζήτησης οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι :

2-opt

Αυτή η μέθοδος διαγράφει 2 ακμές και επανασυνδέει δύο μονοπάτια με διαφορετικό τρόπο έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια καινούρια καλύτερη εφικτή διαδρομή.

1-0 επανατοποθέτηση (1-0 relocate)

Αυτή η μέθοδος διαγράφει έναν κόμβο από μία διαδρομή και μετακινεί/επανατοποθετεί σε ένα άλλο σημείο εφόσον δώσει καλύτερο συνολικό κόστος.

1-1 ανταλλαγή (1-1 exchange)

Αυτή η μέθοδος ανταλλάσσει θέσεις ανάμεσα σε δύο πελάτες.

2-2 ανταλλαγή (2-2 exchange)

Αυτή η μέθοδος ανταλλάσσει θέσεις μεταξύ δύο γειτονικών πελατών με άλλους δύο διαφορετικούς γειτονικούς πελάτες.

3-3 ανταλλαγή (3-3 exchange)

Αυτή η μέθοδος ανταλλάσσει θέσεις μεταξύ τριών γειτονικών πελατών με άλλους τρεις διαφορετικούς γειτονικούς πελάτες.

Swap

Αυτή η μέθοδος ανταλλάσσει σειριακά τις θέσεις δύο γειτονικών πελατών.

3.2 ΜΕΘΕΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι αποτελούν ισχυρά εργαλεία για τη μοντελοποίηση και τη βελτιστοποίηση και είναι γενικά αποτελεσματικότεροι από τους ευρετικούς, εξού και το όνομα μεθευρετικός, όπου μετα- σημαίνει "πέραν" ή "ανώτερο επίπεδο". Η ανάπτυξη των μεθευρετικών αλγορίθμων έδωσε λύση στο πρόβλημα που προκαλούν οι μέθοδοι τοπικής αναζήτησης. Καθώς οι μέθοδοι τοπικής αναζήτησης είναι ευαίσθητοι στην αρχική λύση, αν βρεθεί μία καλή αρχική λύση κοντά στο τοπικό ελάχιστο, τότε η τοπική αναζήτηση θα βρει εύκολα το τοπικό ελάχιστο, χωρίς όμως να γνωρίζουμε αν παγιδευτήκαμε σε αυτό και δεν μπορούμε να βελτιώσουμε άλλο τη λύση.

Υπάρχουν 2 κατηγορίες μεθευρετικών αλγορίθμων:

1. Αυτοί που χρησιμοποιούν μία λύση και κάνουν αναζήτηση στη γειτονιά αυτής της λύσης, δηλαδή επικεντρώνονται στην τροποποίηση και βελτίωση μιας μόνο υποψήφιας λύσης.
2. Αυτοί που έχουν ένα πληθυσμό λύσεων και προσπαθούν να κάνουν αναζήτηση σε όλο το χώρο λύσεων, βελτιώνουν δηλαδή πολλαπλές υποψήφιες λύσεις, συχνά χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού για να καθοδηγήσουν την αναζήτηση.

Με τη σειρά της, η πρώτη κατηγορία χωρίζεται σε:

1. Επαναληπτικές διαδικασίες που ξεκινούν από διαφορετικές αρχικές λύσεις.
2. Αλγόριθμοι που δέχονται γειτονικές κινήσεις χωρίς να βελτιώνουν τη λύση, αλλά κάποια επόμενη κίνηση μπορεί να απεγκλωβίσει από το τοπικό ελάχιστο.
3. Αλγόριθμοι που αλλάζουν τη γειτονιά αναζήτησης εφόσον παγιδευτούν σε κάποιο τοπικό ελάχιστο.
4. Αλγόριθμοι που αλλάζουν την αντικειμενική συνάρτηση ή κάποια από τα δεδομένα του προβλήματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένοι από τους σημαντικότερους αλγόριθμους των παραπάνω κατηγοριών.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΛΗΣΤΗΣ ΤΥΧΑΙΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ (GRASP)

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελείται από δύο φάσεις, την φάση κατασκευής μιας αρχικής λύσης (construction phase) και την διαδικασία τοπικής αναζήτησης (local search phase). Η διαδικασία είναι επαναληπτική και στην πρώτη φάση χρησιμοποιείται μια τυχαίοποιημένη συνάρτηση απληστίας για την κατασκευή της αρχικής λύσης, έτσι ώστε να περάσει στην δεύτερη φάση βελτιστοποίησης μέσω μεθόδων τοπικής αναζήτησης.

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ (TABU SEARCH)

Ο αλγόριθμος Περιορισμένης Αναζήτησης κάνει χρήση ενός αλγόριθμου τοπικής αναζήτησης για την μετακίνηση από μία λύση στην άλλη. Βέβαια, η λύση αυτή μπορεί να έχει παγιδευτεί σε ένα τοπικό ελάχιστο, γι' αυτό γίνεται χρήση της μνήμης των προηγούμενων πραγματοποιηθέντων κινήσεων. Πραγματοποιείται δηλαδή, η διαδικασία 'μνήμη μικρής περιόδου', όπου σε μία λίστα 'περιορισμένων κινήσεων' αποθηκεύονται οι τελευταίες κινήσεις, έτσι ώστε να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ορισμένο αριθμό επαναλήψεων. Αποφεύγονται έτσι οι κύκλοι γύρω από ένα τοπικό ελάχιστο. Αν βέβαια κάποια κίνηση που βρίσκεται μέσα στη λίστα μπορεί να δώσει καλύτερη συνάρτηση κόστους, τότε προφανώς αγνοείται η λίστα.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΓΕΙΤΟΝΙΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ (VNS)

Στον αλγόριθμο αυτό πραγματοποιείται αναζήτηση, με τυχαίο ή πιο συστηματικό τρόπο, ενός συνόλου από γειτονιές για να επιτευχθούν καλύτερα ελάχιστα άρα και καλύτερες λύσεις. Στόχος της αναζήτησης είναι η αποφυγή από κάποιο τοπικό ελάχιστο και έτσι χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι τοπικής αναζήτησης. Αν N είναι η γειτονιά που εξετάζεται και βρεθεί κάποια καλύτερη λύση τότε η διαδικασία ξεκινάει πάλι από την αρχή μέχρι να μην υπάρχει άλλο περιθώριο βελτίωσης. Αν δεν βρεθεί στην N γειτονιά καλύτερη λύση τότε συνεχίζουμε την εξέταση στην $N+1$ που είναι συμπληρωματικής της.

3.3 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ - ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι εξελικτικοί ή αλλιώς γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μία κατηγορία μεθευρετικών αλγορίθμων οι οποίοι μιμούνται τη διαδικασία εξέλιξης στη φύση, με την υλοποίηση των ιδεών της φυσικής επιλογής και της επικράτησης του ισχυρότερου, και στόχο έχουν την αναζήτηση καλύτερων λύσεων. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης δημιουργούνται νέοι και καλύτεροι πληθυσμοί. Διαφέρει από τους προηγούμενους αλγορίθμους, διότι η αναζήτηση βέλτιστων λύσεων πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός πληθυσμού λύσεων (άτομα) και όχι μία λύσης μεμονωμένα.

Κάθε επανάληψη που πραγματοποιείται ονομάζεται γενιά και το μέγεθος του πληθυσμού παραμένει σταθερό. Κάθε γενιά αποτελείται από έναν πληθυσμό ατόμων και κάθε άτομο αντιπροσωπεύει ένα σημείο στο χώρο αναζήτησης και μια πιθανή λύση. Ένα άτομο χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο παραμέτρων (μεταβλητών) γνωστών ως γονίδια. Τα γονίδια ενώνονται σε μια συμβολοσειρά για να σχηματίσουν ένα χρωμόσωμα (λύση).

Η δημιουργία μίας νέας λύσης απαιτεί το ταίριασμα δύο λύσεων και για να γίνει αυτό εφαρμόζονται δύο τελεστές, ένας δυαδικός τελεστής που ονομάζεται διασταύρωση (crossover) και ένας μοναδιαίος τελεστής που ονομάζεται μετάλλαξη (mutation).

Κεντρική ιδέα των γενετικών αλγορίθμων είναι ότι η εξέλιξη ενός πληθυσμού θα γίνει σταδιακά, από γενιά σε γενιά, με αποτέλεσμα να έχουν διαμορφωθεί τα ιδανικά χαρακτηριστικά για το περιβάλλον. Ο βασικός εξελικτικός μηχανισμός είναι η επιβίωση του ισχυρότερου, συνοδευόμενος από τις αρχές φυσικής επιλογής και γενετικής. Για να περιγραφεί η διαδικασία αναπαραγωγής σε έναν κύκλο ζωής του πληθυσμού, υπάρχουν τρεις βασικοί γενετικοί τελεστές. Αυτοί οι τελεστές είναι:

ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ-ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Κατά την διασταύρωση δύο λύσεις (γονείς) ανταλλάσσουν τμήματα τους, δηλαδή συνδυάζονται μεταξύ τους, ανταλλάσσουν πληροφορία και παράγουν δύο νέες λύσεις (απόγονοι). Η μέθοδος έχει στόχο να

παράγει όλο και καλύτερους πληθυσμούς σε κάθε γενιά. Σύμφωνα με αυτή την λογική, επιδίωξη της διασταύρωσης είναι η παραγωγή απογόνων που έχουν λάβει θετικά χαρακτηριστικά από μέρη των γονέων τους. Οι γονείς που δεν διασταυρώθηκαν, δηλαδή δεν έδωσαν ένα καλύτερο αποτέλεσμα θα συνεχίσουν ως έχει στην επόμενη γενιά.

ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Έστω ότι έχουμε δύο γονείς και ότι και οι δύο έχουν από έξι μεταβλητές και οι τιμές των μεταβλητών είναι οι ακόλουθες:

Σημείο διασταύρωσης

0	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	1

Χρωμοσώματα γονέων

Το σημείο διασταύρωσης επιλέγεται τυχαία κάπου στη σειρά των γονιδίων. Όλο το γενετικό υλικό μετά από το σημείο διασταύρωσης λαμβάνεται από τον ένα γονέα και όλο το υλικό μετά το σημείο διασταύρωσης λαμβάνεται από τον άλλο.

0	0	1	1	1	1
1	0	0	1	0	0

Χρωμοσώματα απογόνων

ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Έστω ότι έχουμε δύο γονείς και ότι και οι δύο έχουν από έξι μεταβλητές και οι τιμές των μεταβλητών είναι οι ακόλουθες:

Σημεία διασταύρωσης

0	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	1

Χρωμοσώματα γονέων

Τα σημεία διασταύρωσης είναι δύο τυχαίες θέσεις . Στους απογόνους αντιγράφονται από τον ένα γονέα τα αλληλόμορφα πριν και μετά τα σημεία διασταύρωσης, και από τον άλλο γονέα αυτά που είναι ανάμεσα στα σημεία διασταύρωσης.

0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1

Χρωμοσώματα απογόνων

ΜΕΤΑΛΛΑΞΗ

Κατά την μετάλλαξη, πραγματοποιούνται τυχαίες αλλαγές στα άτομα και έτσι δημιουργούνται νέες διαφορετικές λύσεις, οι οποίες αυξάνουν τις πιθανότητες να βρούμε καλύτερο αποτέλεσμα. Αυτές οι τυχαίες αλλαγές των τιμών πραγματοποιούνται σε ένα υποσύνολο μεταβλητών (γονιδίων). Ο ρόλος της μετάλλαξης, η οποία διαταράσσει περαιτέρω τους απογόνους και εισάγει νέο υλικό στον πληθυσμό, είναι σημαντικός για την βελτιστοποίηση του προβλήματος καθώς βοηθάει στο να διατηρείται η ποικιλία στον πληθυσμό και προστατεύει από εγκλεισμούς σε τοπικά ακρότατα. Βέβαια, η εφαρμογή του τελεστή μετάλλαξης πρέπει να γίνεται με προσοχή και σε πολύ μικρό ποσοστό του πληθυσμού, γιατί έτσι μπορεί να καταστραφούν καλές λύσεις.

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΛΛΑΞΗ

Στην ομοιόμορφη μετάλλαξη θα πρέπει να επιλεχθεί το χρωμόσωμα που θα υποστεί μετάλλαξη και ένα δεύτερο χρωμόσωμα που θα οδηγήσει τη μετάλλαξη. Από το πρώτο χρωμόσωμα θα κρατήσουμε κάποια γονίδια στις θέσεις τους με τυχαίο τρόπο και τα υπόλοιπα θα ταξινομηθούν βάσει της θέσης τους στο δεύτερο χρωμόσωμα. Μπορεί να γίνει και σε ζεύγη χρωμοσωμάτων, κρατώντας κάποια γονίδια και από τα δυο χρωμοσώματα στη θέση τους και ταξινομώντας τα υπόλοιπα με βάση τη θέση τους στο άλλο χρωμόσωμα.

Ομοιόμορφη μετάλλαξη ενός χρωμοσώματος	Ομοιόμορφη μετάλλαξη ζεύγους χρωμοσωμάτων
<p>Πριν από την μετάλλαξη</p> <p>x_1 1 2 3 4 5 6 7 8</p> <p>x_2 8 6 4 2 7 5 3 1</p>	<p>Πριν από την μετάλλαξη</p> <p>x_1 1 2 3 4 5 6 7 8</p> <p>x_2 8 6 4 2 7 5 3 1</p>
<p>Μετά την μετάλλαξη</p> <p>x_1 8 2 3 4 5 6 7 1</p>	<p>Μετά την μετάλλαξη</p> <p>x_1 8 2 3 4 5 6 7 1</p> <p>x_2 8 4 5 2 6 7 3 1</p>

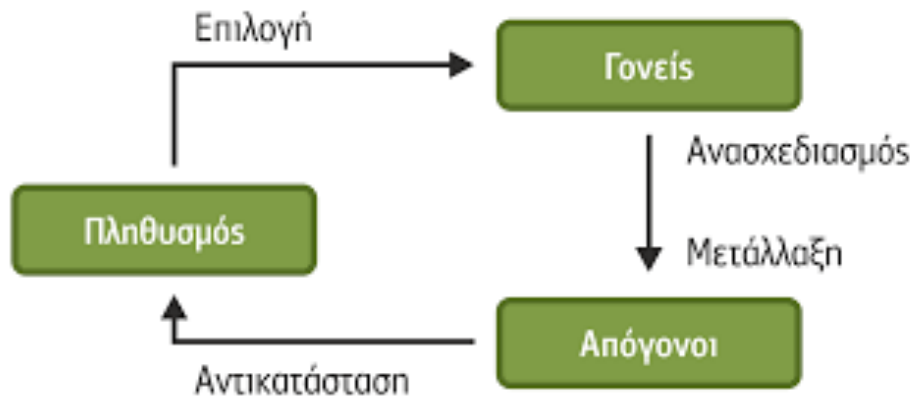
ΕΠΙΛΟΓΗ

Από κάθε γενιά επιλέγονται κάποιες λύσεις και απορρίπτονται οι υπόλοιπες, έτσι ώστε στην επόμενη γενιά να αξιοποιηθούν ως γονείς.

Μερικοί τρόποι επιλογής των λύσεων που θα μεταφερθούν στην επόμενη γενιά είναι:

- Η επιλογή μόνο των απογόνων και η αντικατάσταση όλων των γονέων.
- Η στρατηγική επιβίωσης των καλύτερων, όπου οι λύσεις κατατάσσονται βάσει της συνάρτησης ποιότητας της λύσης τόσο των γονέων όσο και των απογόνων.

- Αντικατάσταση των χειρότερων ατόμων από τους απογόνους.
- Τυχαία αντικατάσταση των μελών του τρέχοντος πληθυσμού από τους απογόνους.



Σχήμα 3.3 Εξελικτικός κύκλος των Γενετικών Αλγορίθμων

Ο αλγόριθμος μπορεί να τερματιστεί σε περίπτωση αποδεκτής λύσης με ικανοποιητική τιμή απόδοσης, ή όταν δεν παράγεται καλύτερη ή διαφορετική λύση μετά από μεγάλο αριθμών γενεών, ή εάν το πλήθος των γενεών φτάσει σε έναν προκαθορισμένο αριθμό.

Ο ψευδοκώδικας ενός γενετικού αλγορίθμου είναι [4] :

Αλγόριθμος Γενετικοί Αλγόριθμοι

Αρχικοποίηση

Επιλογή του τελεστή διασταύρωσης

Επιλογή του τελεστή μετάλλαξης

Επιλογή του τελεστή επιλογής

Επιλογή του ποσοστού του πληθυσμού πάνω στο οποίο
θα γίνει διασταύρωση

Επιλογή του ποσοστού του πληθυσμού πάνω στο οποίο
θα γίνει μετάλλαξη

Δημιουργία του αρχικού πληθυσμού

Υπολογισμός της αρχικής συνάρτησης ποιότητας
(καταλληλότητας) για κάθε μέλος του πληθυσμού

Κύρια Φάση

Do while κριτήρια τερματισμού δεν ικανοποιούνται

Επιλογή ατόμων από τον πληθυσμό για να γίνουν γονείς

Call τελεστή διασταύρωσης για να παραχθούν οι απόγονοι

Call τελεστή μετάλλαξης

 Υπολογισμός της συνάρτησης ποιότητας

 (καταλληλότητας) για κάθε μέλος του πληθυσμού

Αντικατέστησε τον πληθυσμό της προηγούμενης γενιάς
 με τους καταλληλότερους από ολόκληρο τον πληθυσμό

Enddo

Return το καλύτερο άτομο (καλύτερη λύση).

Ορισμένα πλεονεκτήματα των γενετικών αλγορίθμων είναι:

- Ασχέτως αν οι μεταβλητές είναι συνεχείς ή διακριτές, οι γενετικοί αλγόριθμοι λύνουν εξίσου αποτελεσματικά το πρόβλημα.
- Οι πληροφορίες από παραγώγους δεν είναι απαραίτητες.
- Πραγματοποιούν ταυτόχρονη αναζήτηση σε ένα πολύ μεγάλο μέρος του χώρου των λύσεων.
- Γρήγορη επίλυση προβλήματος ανεξάρτητα από το μέγεθος του.
- Μπορούν να εφαρμοστούν σε παράλληλα υπολογιστικά συστήματα.
- Μπορούν εύκολα να ξεφύγουν από κάποιο τοπικό ελάχιστο.

- Μπορεί να προκύψουν παραπάνω από μία τοπικά βέλτιστες λύσεις.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΙΚΙΑΣ ΜΥΡΜΗΓΚΙΩΝ (ANT COLONY OPTIMIZATION)

Ο αλγόριθμος αυτός είναι εμπνευσμένος από τον τρόπο που τα μυρμήγκια δημιουργούν ένα βέλτιστο μονοπάτι στη διαδικασία εύρεσης τροφής. Για να βρουν τα μυρμήγκια τη συντομότερη διαδρομή από τη φωλιά στην τροφή, ξεκινούν να κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις τυχαία και αφήνουν μία ουσία ονόματι φερομόνη για να μαρκάρουν το διανυόμενο μονοπάτι. Η ποσότητα της φερομόνης σε ένα μονοπάτι εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα της τροφής που έχει βρεθεί εκεί. Τα υπόλοιπα μυρμήγκια που θα αναζητήσουν τροφή, είναι λογικό να κατευθυνθούν προς τα μονοπάτια με την μεγαλύτερη ποσότητα φερομόνης αφήνοντας και αυτά την ποσότητα τους. Έτσι, όλα τα μυρμήγκια θα κατευθυνθούν αργά ή γρήγορα στο βέλτιστο ή σχεδόν βέλτιστο μονοπάτι.

Η κύρια ιδέα του αλγορίθμου είναι να μοντελοποιηθεί το πρόβλημα ως πρόβλημα εύρεσης μονοπατιού ελαχίστου κόστους σε ένα γράφημα. Θα πρέπει να ορίσουμε την φερομόνη για κάθε τόξο, καθώς και την επιθυμία ενός οχήματος να πάει από έναν κόμβο i σε έναν γειτονικό j μέσω μίας συνάρτησης. Θα χρησιμοποιηθεί μία συνάρτηση υπολογισμού πιθανότητας για όλες τις πιθανές μεταβάσεις του γραφήματος και η επόμενη κίνηση επιλέγεται πιθανολογικά με τη διαδικασία να επαναλαμβάνεται έως ότου ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION)

Ο αλγόριθμος αυτός είναι εμπνευσμένος από την κίνηση σμήνους πουλιών και την ομαδική κίνηση των ψαριών στην θάλασσα. Ξεκινάμε με την δημιουργία ενός πληθυσμού από σωματίδια, τα οποία αποτελούν ενδεχόμενες λύσεις, με συγκεκριμένη θέση στο χώρο λύσεων και συγκεκριμένη ταχύτητα. Πραγματοποιείται τυχαία τοποθέτηση των σωματιδίων σε μία θέση και τους δίδεται μία ταχύτητα κίνησης. Ως επόμενο βήμα κάθε ένα σωματίδιο θα πρέπει να κινηθεί προς νέες λύσεις. Οι κινήσεις που μπορεί να κάνει είναι είτε να σχηματίσει ένα δικό του μονοπάτι, είτε να κατευθυνθεί προς την καλύτερη λύση που είχε εντοπίσει

σε κάποιο βήμα, είτε να κατευθυνθεί προς την θέση της καλύτερης συνολικά λύσης που βρήκε κάποιο από τα σωματίδια. Συχνά τα σωματίδια μετά την ολοκλήρωση των επαναλήψεων συγκλίνουν στην ίδια θέση, δηλαδή στην καλύτερη λύση.

3.3.1 ΜΙΜΗΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι μιμητικοί ή υβριδικοί γενετικοί αλγόριθμοι είναι μία κατηγορία αλγορίθμων που συνδυάζουν ένα γενετικό αλγόριθμο με ένα αλγόριθμο τοπικής αναζήτησης. Χρησιμοποιείται έτσι μία διαδικασία ολικής αναζήτησης, η οποία βοηθάει στο να εντοπίζεται η περιοχή που πιθανότατα βρίσκεται το βέλτιστο, συνδυαστικά με μία τοπική αναζήτηση, η οποία εντατικοποιεί την αναζήτηση και προσεγγίζει όσο γίνεται το βέλτιστο. Ο συνδυασμός της δύναμης του γενετικού με την ταχύτητα της τοπικής αναζήτησης αυξάνει τις ικανότητες διασποράς της αναζήτησης σε όλο το χώρο λύσεων και η αναζήτηση εντατικοποιείται σε σημεία που βρίσκονται καλές λύσεις.

Μερικοί τρόποι εφαρμογής ενός μιμητικού αλγορίθμου είναι:

- Εύρεση μίας πολύ καλής τιμής από τον γενετικό αλγόριθμο και στη συνέχεια εφαρμογή μίας μεθόδου τοπικής αναζήτησης στη βέλτιστη λύση.
- Αρχικοποίηση του γενετικού αλγορίθμου με λύσεις κάποιας μεθόδου τοπικής αναζήτησης.
- Συνεχή παροχή λύσεων στο γενετικό, που προέρχονται από μία παράλληλη τοπική αναζήτηση, που πραγματοποιείται σε κάθε επανάληψη του γενετικού.
- Χρήση του γενετικού αλγορίθμου για συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων και στη συνέχεια εφαρμογή της διαδικασίας τοπικής αναζήτησης στην καλύτερη λύση ή στις εκλεκτές (elite).
- Εφαρμογή της διαδικασίας τοπικής αναζήτησης στην καλύτερη, στις εκλεκτές ή σε όλες τις λύσεις σε κάθε γενιά.
- Συνδυασμός των παραπάνω.

Ψευδοκώδικας μιμητικού αλγορίθμου [4] :

Αρχικοποίηση

Επιλογή του τελεστή διασταύρωσης

Επιλογή του τελεστή μετάλλαξης

Επιλογή του τελεστή επιλογής

Επιλογή του ποσοστού του πληθυσμού πάνω στον οποίο
θα γίνει διασταύρωση

Επιλογή του ποσοστού του πληθυσμού πάνω στον οποίο
θα γίνει μετάλλαξη

Δημιουργία του αρχικού πληθυσμού

Υπολογισμός της αρχικής συνάρτησης ποιότητας
(καταλληλότητας) για κάθε μέλος του πληθυσμού

Κύρια Φάση

Do while κριτήρια τερματισμού δεν ικανοποιούνται

Επιλογή ατόμων από τον πληθυσμό για να γίνουν γονείς

Call τελεστή διασταύρωσης για να παραχθούν οι απόγονοι

Call τελεστή μετάλλαξης

Call Διαδικασία τοπικής αναζήτησης για κάθε απόγονο

 Υπολογισμός της συνάρτησης ποιότητας

 (καταλληλότητας) για κάθε μέλος του πληθυσμού

Αντικατέστησε τον πληθυσμό της προηγούμενης γενιάς

 με τους καταλληλότερους από ολόκληρο τον πληθυσμό

Enddo

Return το καλύτερο άτομο (καλύτερη λύση).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4-ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (CumVRP)

4.1 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

4.1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Τα συσσωρευτικά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων είναι μια επέκταση του κλασικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (VRP) που προτάθηκαν το 2008 από τους [1] ως ένας τρόπος ενσωμάτωσης της ροής των φορτίων σε όλες τις διαδρομές. Αποσκοπούν στον εντοπισμό ενός συνόλου διαδρομών, που βελτιστοποιεί μία αντικειμενική συνάρτηση εφόσον λάβουν υπόψη τη συσσώρευση κόστους κατά τη διάρκεια των διαδικασιών σχεδιασμού και υλοποίησης. Στόχος δηλαδή είναι η ελαχιστοποίηση του συσσωρευτικού κόστους. Η αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται ως το γινόμενο του φορτίου του οχήματος και του κόστους του διασχιζόμενου τόξου, δηλαδή το συσσωρευτικό κόστος ανά μονάδα απόστασης είναι ανάλογο του συνολικού βάρους του οχήματος (βάρος οχήματος άδειο συν βάρος φορτίου). Έτσι, προτιμάται η διάσχιση των πιο απομακρυσμένων τόξων καθώς το όχημα γίνεται ελαφρύτερο.

Η παραπάνω προσέγγιση επεκτάθηκε στο συσσωρευτικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χωρητικότητας (CCVRP), όταν υπάρχει ανάγκη οι πελάτες να περιμένουν τον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Η ανάγκη αυτή εντοπίζεται στην υγειονομική περίθαλψη, και μετά από κάποια καταστροφή. Έτσι, βασική διαφορά του CumVRP και του CCVRP είναι η συσσωρευτική συνιστώσα, όπου στο CCVRP είναι η άφιξη των πελατών στον κόμβο και υπολογίζεται ως τη συνολική απόσταση που διανύθηκε για να φθάσουμε στον κόμβο. Το άθροισμα δηλαδή των τόξων που διανύθηκαν για να φτάσουν στον εν ενεργεία κόμβο.

4.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ Cum-VRP

Το Cum-VRP ορίζεται σε ένα γράφημα $G = (V, A)$ [1] όπου:

- $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ είναι το σύνολο των κόμβων, ο κόμβος 0 αντιστοιχεί στην αποθήκη,
- $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ αντιπροσωπεύει το σύνολο των τόξων,
- $|K|$ ο στόλος οχημάτων με K το σύνολο των διαθέσιμων οχημάτων, όλα με την ίδια χωρητικότητα,
- q_i η ζήτηση κάθε πελάτη $i \in V \setminus \{0\}$,
- c_{ij} ο χρόνος ταξιδιού ή η απόσταση για κάθε τόξο κόμβων (i, j) ,
- Q_0 υποδηλώνει την τελική τιμή της ροής από τον τελευταίο κόμβο της διαδρομής προς την αφετηρία,
- M η παράμετρος για την χωρητικότητα ροής των τόξων του δικτύου,
- x_{ij} μια δυαδική μεταβλητή ίση με 1 εάν το όχημα επισκέπτεται τον πελάτη j αμέσως μετά τον i , μηδέν αλλιώς,
- y_{ij} μια μεταβλητή που δηλώνει το τόξο ροής (i, j) εάν το όχημα ταξιδεύει από το i στο j , μηδέν αλλιώς. Υποδηλώνει το συσσωρευτικό φορτίο του οχήματος μετά την αναχώρηση από τον κόμβο i .

Στόχος του Cum-VRP είναι η εύρεση ενός συνόλου διαδρομών έτσι ώστε να έχουμε ελαχιστοποίηση του κόστους και εξυπηρέτηση όλων των πελάτων, οι οποίοι εξυπηρετούνται μία φορά από ένα όχημα.

Έχοντας τα παραπάνω δεδομένα έχουμε το μοντέλο με αντικειμενική συνάρτηση:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} y_{ij} \quad (4.1)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{i=1}^n x_{0i} = |K| \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0} = |K| \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \forall j = \{0, 1, 2, \dots, n\} \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i = \{0, 1, 2, \dots, n\} \quad (4.5)$$

$$\sum_{j=0, i \neq j}^n y_{ji} - \sum_{j=0, i \neq j}^n y_{ij} = q_i, \forall i = \{0, 1, 2, \dots, n\} \quad (4.6)$$

$$y_{i0} = Q_0 x_{i0} \quad \forall i = \{0, 1, 2, \dots, n\} \quad (4.7)$$

$$y_{ij} \leq (M - q_i) x_{ij}, \quad \forall (i, j) \in A \quad (4.8)$$

$$y_{ij} \geq (Q_0 + q_j) x_{ij}, \quad \forall (i, j) \in A \quad (4.9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A \quad (4.10)$$

$$y_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A \quad (4.11)$$

Η συνάρτηση συσσωρευτικού κόστους ορίζεται από την αντικειμενική συνάρτηση (4.1) με βάση την απόσταση τόξου και τη ροή. Με τους περιορισμούς (4.2) και (4.3) εξασφαλίζουμε ότι χρησιμοποιούνται Κ οχήματα. Αν θέλουμε την χρήση των πολύ Κ οχημάτων τότε απλά αλλάζουμε το '=' σε '≤'. Οι (4.4) και (4.5) είναι οι περιορισμοί βαθμού για κάθε κόμβο. Ο περιορισμός (6) αφορά τη ροή διατήρησης, ενώ η τελική τιμή ροής στον τελευταίο κόμβο της διαδρομής ορίζεται από τον περιορισμό (4.7). Τέλος, οι περιορισμοί (4.8) και (4.9) καθορίζουν τους περιορισμούς χωρητικότητας. Οι μεταβλητές απόφασης ορίζονται στα (4.10) και (4.11).

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το συσσωρευτικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμένη χωρητικότητα (CCVRP) και την επίλυση του με τον μιμητικό αλγόριθμο. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε το πρόβλημα, ποιος είναι ο σκοπός, τι δεδομένα και περιορισμοί απαιτούνται.

4.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (CCVRP)

4.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία καταπιάνεται με το συσσωρευτικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμένη χωρητικότητα (CCVRP). Είναι ένα πρόβλημα μεταφοράς [3] που προκύπτει όταν στόχος

είναι η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των χρόνων άφιξης στους πελάτες, δηλαδή νωρίτερη εξυπηρέτηση, αντί της συνολικής διανυόμενης απόστασης, με περιορισμούς χωρητικότητας των οχημάτων. Αυτός ο τύπος προβλημάτων χρησιμοποιείται για την παροχή ανθρωπιστικής βοήθειας όταν προτεραιότητα δίνεται στην ικανοποίηση της ανάγκης του πελάτη, όπως για παράδειγμα προμήθεια ζωτικών αγαθών, διάσωση μετά από μια φυσική καταστροφή [2]. Εξαιτίας της γρήγορης αντίδρασης που απαιτείται μετά από μία καταστροφή, πρέπει να παραμεριστεί ο σύνηθες στόχος της ελαχιστοποίησης του κόστους.

Η ανάγκη για γρήγορη εξυπηρέτηση που απαιτείται για τη μεταφορά κρίσιμων προμηθειών μετά από μια μεγάλη καταστροφή δεν μπορεί να αντικατοπτριστεί από τα κλασικά προβλήματα ελαχιστοποίησης του κόστους. Ενώ στόχος των εμπορικών εφοδιαστικών αλυσίδων είναι η κερδοφορία, οι ανθρωπιστικές εφοδιαστικές αλυσίδες στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των απωλειών ζωής και των ζημιών και άρα απαιτείται ο ορισμός πιο πελατοκεντρικών αντικειμενικών συναρτήσεων.

4.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ CCVRP

Έχοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το πρόβλημα, θα παρουσιάσουμε την μοντελοποίηση του με βάση τους [3].

Το CCVRP ορίζεται σε ένα μη κατευθυνόμενο πλήρες γράφημα $G=(V,E,W)$ όπου:

- $V = \{0, \dots, n, n+1\}$ το σύνολο των κόμβων με 0 και $n+1$ η αποθήκη,
- $V' = V \setminus \{0, n+1\}$ το σύνολο των πελατών,
- E το σύνολο των τόξων,
- Ένα βάρος $w_{ij} = w_{ji} \in W$ συνδέεται με κάθε τόξο $(i,j) \in E$ για να αντιπροσωπεύει την απόσταση $i \rightarrow j$,
- Q η χωρητικότητα των οχημάτων, όπου αποτελεί και περιορισμό, καθώς η συνολική εξυπηρετούμενη ζήτηση δεν υπερβαίνει το Q ,
- R το μέγεθος του στόλου οχημάτων,
- a_i η ζήτηση κάθε πελάτη $i \in V'$,
- t_{ik} ο χρόνος άφιξης του οχήματος k στον πελάτη i ,
- x_{kij} μια δυαδική μεταβλητή ίση με 1 εάν το όχημα k διασχίζει το τόξο (i, j) από το i στο j ,

- Κάθε διαδρομή είναι ένα κύκλωμα με αφετηρία και τερματισμό την αποθήκη,
- Κάθε πελάτης εξυπηρετείται μία μόνο φορά από ένα μόνο όχημα.

Έχοντας τα παραπάνω δεδομένα, αλλά και το γεγονός ότι στόχος του CCVRP είναι η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των χρόνων άφιξης στους πελάτες, έχουμε το μοντέλο με αντικειμενική συνάρτηση:

$$\min F = \sum_{k=1}^R \sum_{i \in V'} t_i^k \quad (4.2.1)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^k = \sum_{i \in V} x_{ji}^k, \forall j \in V', \forall k \in [1, \dots, R] \quad (4.2.2)$$

$$\sum_{k=1}^R \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1, \forall i \in V' \quad (4.2.3)$$

$$\sum_{i \in V'} \sum_{j \in V} x_{ij}^k q_i \leq Q, \forall k \in [1, \dots, R] \quad (4.2.4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j}^k = 1, \forall k \in [1, \dots, R] \quad (4.2.5)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i,n+1}^k = 1, \forall k \in [1, \dots, R] \quad (4.2.6)$$

$$t_i^k + w_{ij} - (1 - x_{ij}^k)T \leq t_j^k, \forall i \in V \setminus \{n+1\}, \forall j \in V, \forall k \in [1, \dots, R] \quad (4.2.7)$$

$$t_i^k \geq 0, \forall i \in V, \forall k \in [1, \dots, R] \quad (4.2.8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \forall i \in V, \forall j \in V, i \neq j, \forall k \in [1, \dots, R] \quad (4.2.9)$$

Αρχικά, έχουμε την αντικειμενική συνάρτηση (4.2.1) η οποία δείχνει ότι το άθροισμα των χρόνων άφιξης στους πελάτες πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Έπειτα, έχουμε τον περιορισμό (4.2.2) που δείχνει ότι όταν ένα όχημα φθάνει σε έναν πελάτη i θα πρέπει και να φεύγει από αυτόν. Ο περιορισμός (4.2.3) δηλώνει ότι κάθε πελάτης εξυπηρετείται από ένα μόνο δρομολόγιο. Επίσης, έχουμε τον περιορισμό χωρητικότητας (4.2.4), που δείχνει ότι το συνολικό φορτίο κάθε διαδρομής δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από τη χωρητικότητα των οχημάτων. Οι περιορισμοί (4.2.5)

και (4.2.6) εξασφαλίζουν ότι κάθε όχημα κάθε διαδρομής αρχίζει από την αποθήκη αλλά και επιστρέφει σε αυτήν στο τέλος. Ο περιορισμός (4.2.7), υπολογίζει τους χρόνους άφιξης σε κάθε κόμβο και αποκλείει τις υποδιαδρομές με τη χρήση μιας μεγάλης θετικής σταθεράς T . Ο περιορισμός (4.2.8) δείχνει το προφανές, δηλαδή ότι ο χρόνος άφιξης του οχήματος k στον πελάτη i πρέπει να είναι θετικός ή μηδέν. Τέλος, ο (4.2.9) είναι η μεταβλητή απόφασης όπου ισούται με 1 όταν το όχημα k επισκέπτεται τον πελάτη j αμέσως μετά τον i .

4.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σκοπός του προβλήματος CCVRP, είναι να βρούμε τις βέλτιστες διαδρομές, έτσι ώστε να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες με τον ελάχιστο δυνατό χρόνο άφιξης. Τα οχήματα του στόλου έχουν ίδια πεπερασμένη χωρητικότητα και κάθε πελάτης έχει μία πεπερασμένη ζήτηση που πρέπει να ικανοποιηθεί. Θεωρούμε ότι το κόστος της διαδρομής προκύπτει αθροιστικά από τους χρόνους άφιξης στους πελάτες, αντί του κλασσικού μήκους διαδρομής.

Σημαντικό είναι να σημειώσουμε ότι όλα τα οχήματα του στόλου είναι ίδια, δηλαδή έχουν την ίδια χωρητικότητα και για κάθε πρόβλημα που θα εξετάσουμε είναι και άλλη η τιμή τους. Επίσης, όλα τα οχήματα θα πρέπει να ξεκινούν και να επιστρέφουν στην ίδια αποθήκη, την οποία και έχουμε ονομάσει με τον αριθμό 1. Κάθε πελάτης έχει μία συγκεκριμένη ζήτηση, την οποία θα πρέπει και να ικανοποιήσουμε, χωρίς όμως να ξεπερνάει την χωρητικότητα του εκάστοτε οχήματος. Αν και το πλήθος των οχημάτων που θα χρησιμοποιηθούν δεν αποτελεί περιορισμό, καλό θα ήταν να είναι όσο το δυνατό μικρότερο.

Έτσι, συνοπτικά οι περιορισμοί του προβλήματος είναι:

1. Η εξυπηρέτηση κάθε πελάτη πραγματοποιείται μόνο μία φορά και από μόνο ένα φορτηγό. Έτσι δεν γίνεται για παράδειγμα δύο φορτηγά να εξυπηρετήσουν τον ίδιο πελάτη.
2. Ο βασικός μας περιορισμός είναι ότι το σύνολο των διανομών κάθε διαδρομής, δηλαδή η εκάστοτε ζήτηση, δεν πρέπει να ξεπερνάει την χωρητικότητα του οχήματος.

3. Όλα τα οχήματα ξεκινάνε και τερματίζουν στην ίδια αποθήκη. Στο πρόβλημα μας έχουμε μία αποθήκη την οποία ονομάζουμε με τον αριθμό 1.
4. Η συνολική μεταφερόμενη ποσότητα ενός οχήματος, πρέπει να είναι μη αρνητική και να μην ξεπερνάει την χωρητικότητα του οχήματος.

Με βάση τους παραπάνω περιορισμούς, καταλαβαίνουμε ότι αν ένας περιορισμός δεν ικανοποιείται τότε θα πρέπει το όχημα να επιστρέψει στην αποθήκη. Βέβαια, επιστροφή στην αποθήκη πραγματοποιείται και αν έχουν εξυπηρετηθεί όλοι οι πελάτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ CCVRP ΜΕ ΤΟΝ ΜΙΜΗΤΙΚΟ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ

Για την επίλυση του συσσωρευτικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμένη χωρητικότητα αναπτύχθηκε ένας μιμητικός αλγόριθμος στον περιβάλλον της Matlab. Ο αλγόριθμος χωρίζεται σε 3 φάσεις και εξηγείται αναλυτικά παρακάτω.

Η μέθοδος χωρίζεται σε τρεις φάσεις:

- Εύρεση 10 αρχικών εφικτών λύσεων με τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα (Nearest Neighbor Algorithm),
- Έπειτα βελτίωση τους με εφαρμογή τοπικής αναζήτησης (Local Search/2opt, 1-0 relocate, swap, 1-1,2-2,3-3 exchange)
- Βελτίωση με την εφαρμογή ενός μιμητικού αλγορίθμου, ο οποίος περιλαμβάνει 4 τεχνικές βελτίωσης (crossover, mutation, local search,selection).

Για την επίλυση του προβλήματος και την ανάπτυξη του αλγορίθμου χρειαζόμαστε τα παρακάτω δεδομένα:

- το πλήθος των πελατών
- τη ζήτηση του κάθε πελάτη
- τη γεωγραφική τους θέση
- τη χωρητικότητα των οχημάτων

Τα δεδομένα αυτά θα τα παραλάβουμε από ένα αρχείο excel. Στο πρώτο φύλλο του excel, έχουμε τον αριθμό πελατών και την μέγιστη χωρητικότητα του φορτηγού. Στο δεύτερο φύλλο τις συντεταγμένες x,y για κάθε πελάτη και στο τρίτο φύλλο έχουμε τη ζήτηση κάθε πελάτη. Τα δεδομένα αυτά θα τα εισάγουμε στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Matlab.

Διαβάζοντας από το αρχείο τα δεδομένα έχουμε:

- Πίνακας A, οι συντεταγμένες των πελατών
- Μεταβλητή `max_vehicle_capacity`, η μέγιστη χωρητικότητα των οχημάτων
- Μεταβλητή N, το πλήθος των πελατών
- Διάνυσμα `zifisi`, η ζήτηση των πελατών

Χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες κάθε πελάτη θα φτιάξουμε έναν πίνακα `distance`, ο οποίος θα περιλαμβάνει τις αποστάσεις για να πάμε από τον πελάτη *i* στον *j*. Η απόσταση που υπολογίζεται είναι ευκλείδεια και ο πίνακας είναι συμμετρικός, δηλαδή η απόσταση για να πάμε από έναν πελάτη *i* στον *j*, ισούται με την απόσταση από τον *j* στον *i*.

Οι αποστάσεις αυτές υπολογίζονται από τον τύπο :

$$distance(i,j) = \sqrt{(A(j,1) - A(i,1))^2 + (A(j,2) - A(i,2))^2}$$

Έχοντας συγκεντρώσει όλα λοιπόν τα δεδομένα, συνεχίζουμε για να περιγράψουμε τις 3 φάσεις για να επιλύσουμε το συσσωρευτικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με τον μιμητικό αλγόριθμο. Πρώτα όμως θα περιγράψουμε τον υπολογισμό του κόστους, καθώς χρησιμοποιείται σε κάθε φάση για να παράγουμε και να βελτιστοποιήσουμε τις λύσεις μας.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Το κόστος αποτελεί το αντικειμενικό κριτήριο το οποίο θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε και συγκεκριμένα αφορά την ελαχιστοποίηση του

αθροίσματος των χρόνων άφιξης στους πελάτες, αντί του κλασικού μήκους διαδρομής, διότι στόχος είναι η εξυπηρέτηση των πελατών όσο το δυνατό γρηγορότερα. Για τον υπολογισμό του κόστους μίας λύσης αναπτύχθηκε μία συνάρτηση, κατά την οποία υπολογίζεται το συσσωρευτικό κόστος της λύσης, αθροίζοντας τις αποστάσεις κάθε τόξου $i-j$ πολλαπλασιασμένες από έναν συντελεστή, ο οποίος έχει αρχική τιμή το πλήθος των πελατών μίας διαδρομής και σε κάθε εξυπηρέτηση μειώνεται κατά ένα, μέχρι που μηδενίζει όταν επιστρέφουμε στην αποθήκη. Για παράδειγμα, αν είχαμε τρεις πελάτες σε μία διαδρομή, όπου οι χρόνοι άφιξης σε αυτούς ήταν 10 11 20 αντίστοιχα, τότε το συσσωρευτικό κόστος υπολογίζεται ως εξής: $10*3+(11-10)*2+(20-11)*1=30+2+9=41$.

Πρώτη φάση είναι η εύρεση 10 εφικτών λύσεων με τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟΥ ΓΕΙΤΟΝΑ

Με την εφαρμογή του πλησιέστερου γείτονα που βασίζεται στην ένωση κόμβων που είναι πλησιέστερα οικονομικά, παράγουμε 10 εφικτές λύσεις, οι οποίες υπακούν σε όλους του περιορισμούς του προβλήματος. Βέβαια, οι παραγόμενες λύσεις πιθανότατα δεν είναι βέλτιστες, όμως επειδή είναι αιτιοκρατικές και όχι τυχαίες, έχουμε μία πρώτη ιδέα για το ποιες λύσεις είναι καλύτερες έναντι άλλων.

Τα βήματα που ακολουθεί είναι:

Βήμα 1: Επιλέγεται η αποθήκη ως ο αρχικός κόμβος της διαδρομής.

Βήμα 2: Ψάχνουμε τον πλησιέστερο κόμβο/πελάτη ο οποίος δεν ανήκει σε καμία άλλη διαδρομή, δηλαδή δεν έχει εξυπηρετηθεί. Αν αυτός ο κόμβος δεν παραβιάζει τους περιορισμούς, τότε ο κόμβος προστίθεται στη διαδρομή και γίνεται ο τρέχον κόμβος για να προχωρήσουμε στο τρίτο βήμα. Αντίθετα, αν παραβιάζεται ο περιορισμός της χωρητικότητας ή οποιοσδήποτε άλλος περιορισμός τότε ψάχνουμε τον αμέσως επόμενο κοντινότερο κόμβο που δεν έχει εξυπηρετηθεί και ταυτόχρονα δεν παραβιάζει τους περιορισμούς. Αν δεν υπάρχει κανένας κατάλληλος κόμβος τότε κλείνει η διαδρομή επιστρέφοντας στην αποθήκη και επιστρέφουμε στο πρώτο βήμα για τη δημιουργία νέας διαδρομής.

Βήμα 3: Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία του δεύτερου βήματος μέχρι όλοι οι κόμβοι να προστεθούν σε κάποια διαδρομή, δηλαδή να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες .

Μέχρι εδώ θα επιλέξουμε από τις 10 αυτές λύσεις την καλύτερη και θα την αποθηκεύσουμε ως `best_solution` με το `best_cost` της, έτσι ώστε στη συνέχεια να μπορούμε να αποθηκεύουμε την μέχρι στιγμής καλύτερη από όλες, κάνοντας συγκρίσεις της `best_solution` με κάποια άλλη υποψήφια καλύτερη.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ (LOCAL SEARCH)

Έχοντας παράξει τις 10 εφικτές λύσεις από τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα, θα συνεχίσουμε με αυτές και θα τους εφαρμόσουμε μεθόδους τοπικής αναζήτησης.

Χρησιμοποιώντας κάθε εφικτή λύση, μετακινιόμαστε επαναληπτικά σε μία γειτονική, έτσι ώστε να τις συγκρίνουμε με βάση το ελάχιστο κόστος. Γειτονική λύση είναι αυτή που διαφέρει από την τρέχουσα στο ελάχιστο δυνατό βαθμό, δηλαδή πραγματοποιούνται τοπικές αλλαγές. Αν η γειτονική είναι καλύτερη από την τρέχουσα τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία με την καλύτερη μέχρι να μην μπορούν να πραγματοποιηθούν άλλες τοπικές αλλαγές, δηλαδή ελέγχονται όλες οι δυνατές μετακινήσεις κόμβων για κάθε μέθοδο.

Μέθοδοι τοπικής αναζήτησης οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι :

2-opt

Σε αυτήν την μέθοδο, παίρνουμε την κάθε εφικτή λύση που παρήγαμε από τον πλησιέστερο γείτονα και για κάθε λύση και κάθε διαδρομή αυτής αντιστρέφουμε μονοπάτια i έως j όπου $i=2,...,size(solution,2)-2$ και $j=i+1,...,size(solution,2)-1$. Αν η αλλαγή είναι εφικτή, δηλαδή δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί και δίνει καλύτερο κόστος τότε την κρατάμε και συνεχίζουμε την επόμενη επανάληψη με βάση αυτή την λύση.

Πχ ...1 3 5 6 8 2 9 1...

Έστω ότι κάνω αντιστροφή στο μονοπάτι 5-6-8-2. Αν η κίνηση είναι εφικτή και με καλύτερο κόστος τότε έχω νέα λύση την:

...1 3 2 8 6 5 9 1...

1-0 επανατοποθέτηση (1-0 relocate)

Σε αυτήν την μέθοδο, παίρνουμε την κάθε εφικτή λύση που παρήγαμε από το 2-opt και για κάθε κόμβο θέσης i ($\text{solution}[i] \neq 1$) $i=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-1$, τον διαγράφουμε από την θέση του και τον μετακινούμε/επανατοποθετούμε σε κάθε δυνατή θέση j ($\text{solution}[j] \neq 1$) $j=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-1$. Αν η αλλαγή είναι εφικτή, δηλαδή δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί και δίνει καλύτερο κόστος τότε την κρατάμε, σταματάμε την αναζήτηση για την θέση i και συνεχίζουμε την επόμενη επανάληψη με βάση αυτή την λύση. Λειτουργούμε δηλαδή με first acceptance για κάθε πελάτη θέσης i .

Πχ ...1 3 5 6 8 2 9 1...

Έστω ότι κάνω επανατοποθέτηση του πελάτη 5 θέσης $i=3$ σε μία θέση $j=7$. Αν η κίνηση είναι εφικτή και με καλύτερο κόστος τότε έχω νέα λύση την:

...1 3 6 8 2 5 9 1...

1-1 ανταλλαγή (1-1 exchange)

Σε αυτή τη μέθοδο, παίρνουμε τις λύσεις που έδωσε η 1-0 επανατοποθέτηση και για κάθε μία, παίρνουμε κάθε κόμβο θέσης i ($\text{solution}[i] \neq 1$) $i=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-1$ και τον ανταλλάζουμε θέση με κάθε κόμβο θέσης j ($\text{solution}[j] \neq 1$) $j=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-1$. Εφόσον η αλλαγή είναι εφικτή και καλύτερη με βάση το κόστος, τότε την κρατάμε και συνεχίζουμε την επόμενη επανάληψη με βάση αυτήν.

Πχ ...1 3 5 6 8 2 9 1...

Έστω ότι κάνω ανταλλαγή του πελάτη 5 θέσης $i=3$ με τον πελάτη 2 θέσης $j=6$. Αν η ανταλλαγή είναι εφικτή και με καλύτερο κόστος τότε έχω νέα λύση την:

...1 3 2 6 8 5 9 1...

2-2 ανταλλαγή (2-2 exchange)

Σε αυτή τη μέθοδο, παίρνουμε τις λύσεις που έδωσε η 1-1 ανταλλαγή και για κάθε μία, παίρνουμε δύο γειτονικούς κόμβους θέσης i και $i+1$ ($\text{solution}[i] \neq 1$ και $\text{solution}[i+1] \neq 1$) $i=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-2$ και τους ανταλλάζουμε θέσεις με δύο άλλους γειτονικούς κόμβους θέσης j και $j+1$ ($\text{solution}[j] \neq 1$ και $\text{solution}[j+1] \neq 1$) $j=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-2$. Εφόσον η αλλαγή είναι εφικτή και καλύτερη με βάση το κόστος, τότε την κρατάμε και συνεχίζουμε την επόμενη επανάληψη με βάση αυτήν.

Πχ ...1 3 5 6 8 4 7 2 9 1...

Έστω ότι κάνω ανταλλαγή των γειτονικών πελατών 5-6 με τους γειτονικούς πελάτες 2-9. Αν η ανταλλαγή είναι εφικτή και με καλύτερο κόστος τότε έχω νέα λύση την:

...1 3 2 9 8 4 7 5 6 1...

3-3 ανταλλαγή (3-3 exchange)

Σε αυτή τη μέθοδο, παίρνουμε τις λύσεις που έδωσε η 2-2 ανταλλαγή και για κάθε μία, παίρνουμε τρεις γειτονικούς κόμβους θέσης i , $i+1$, $i+2$ ($\text{solution}[i] \neq 1, \text{solution}[i+1] \neq 1$ και $\text{solution}[i+2] \neq 1$) $i=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-3$ και τους ανταλλάζουμε θέσεις με τρεις άλλους γειτονικούς κόμβους θέσης j , $j+1$, $j+2$ ($\text{solution}[j] \neq 1, \text{solution}[j+1] \neq 1$ και $\text{solution}[j+2] \neq 1$) $j=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-2$. Εφόσον η αλλαγή είναι εφικτή και καλύτερη με βάση το κόστος, τότε την κρατάμε και συνεχίζουμε την επόμενη επανάληψη με βάση αυτήν.

Πχ ...1 3 5 6 8 4 7 2 9 10 1...

Έστω ότι κάνω ανταλλαγή των γειτονικών πελατών 5-6-8 με τους γειτονικούς πελάτες 2-9-10. Αν η ανταλλαγή είναι εφικτή και με καλύτερο κόστος τότε έχω νέα λύση την:

...1 3 **2 9 10** 4 7 **5 6 8** 1...

Swap

Σε αυτή τη μέθοδο, παίρνουμε τις λύσεις που έδωσε η 3-3 ανταλλαγή και για κάθε μία, παίρνουμε δύο γειτονικούς κόμβους θέσης i , $i+1$ ($\text{solution}[i] \neq 1$ και $\text{solution}[i+1] \neq 1$) $i=2, \dots, \text{size}(\text{solution}, 2)-1$ και τους ανταλλάζουμε θέση. Κάνουμε δηλαδή σειριακές ανταλλαγές κόμβων. Εφόσον η αλλαγή είναι εφικτή και καλύτερη με βάση το κόστος, τότε την κρατάμε και συνεχίζουμε την επόμενη επανάληψη με βάση αυτήν.

Πχ ...1 3 **5 6** 8 4 7 2 9 10 1...

Έστω ότι κάνω ανταλλαγή των γειτονικών πελατών 5-6 μεταξύ τους. Αν η ανταλλαγή είναι εφικτή και με καλύτερο κόστος τότε έχω νέα λύση την:

...1 3 **6 5** 8 4 7 2 9 10 1...

Θα επιλέξουμε από τις 10 αυτές λύσεις της τοπικής αναζήτησης (πληθυσμό) την καλύτερη και θα την συγκρίνουμε με την τρέχουσα *best_solution*, έτσι ώστε αν είναι καλύτερη να γίνει αυτή η τρέχουσα *solution*.

Συνεχίζουμε την βελτίωση των 10 εφικτών λύσεων που μας έδωσε η τοπική αναζήτηση, με τον μιμητικό αλγόριθμο, ο οποίος χωρίζεται σε 4 φάσεις, *crossover* (με δυο παραλλαγές), *mutation*, *local search* και *selection*.

ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ (CROSSOVER)

Έχοντας τις 10 εφικτές λύσεις από τη μέθοδο τοπικής αναζήτησης συνεχίζουμε με δύο παραλλαγές του *crossover*.

Οι δύο παραλλαγές στην μέθοδο της διασταύρωσης αφορά σε ποιες δύο λύσεις θα κάνουμε τη διασταύρωση. Στην μία παραλλαγή θα επιλεγούν δύο τυχαίες λύσεις από τον πληθυσμό για να γίνει η διασταύρωση, ενώ

στην άλλη παραλλαγή θα επιλεγεί η καλύτερη του πληθυσμού και μία τυχαία για να γίνει η διασταύρωση.

Ασχέτως ποιας παραλλαγής έχουμε, η διαδικασία αυτής της μεθόδου είναι ότι παίρνουμε τις δύο λύσεις και ανταλλάσσουμε μεταξύ τους τμήματα κόμβων, οπότε γεννιούνται δύο νέες λύσεις ασχέτως αν δίνουν καλύτερο ή χειρότερο κόστος. Όμως, λόγω αυτής της ανταλλαγής είναι προφανές ότι οι περιορισμοί έχουν παραβιαστεί. Βασική προϋπόθεση είναι ότι κάθε πελάτης πρέπει να εξυπηρετηθεί μία μόνο φορά από ένα μόνο όχημα. Για να συμβεί αυτό, ο τρόπος εφαρμογής της διασταύρωσης γίνεται με τον παρακάτω εφικτό τρόπο. Από την πρώτη λύση έχουμε ένα τόξο $i \rightarrow i+1$ και έστω ότι στην i θέση βρίσκεται ο πελάτης A, ενώ στην επόμενη θέση ο πελάτης B. Στην δεύτερη λύση πάμε και βρίσκουμε σε ποια θέση βρίσκεται ο A, έστω j και βρίσκουμε με ποιον σχηματίζει τόξο στην θέση $j+1$, έστω πελάτης Γ. Στην δεύτερη λύση ψάχνουμε τη θέση του B πελάτη, έστω k και στην πρώτη λύση ψάχνουμε την θέση του Γ πελάτη, έστω q . Όταν βρούμε λοιπόν όλες αυτές τις θέσεις πάμε στην δεύτερη λύση και επανατοποθετούμε τον πελάτη B από την θέση k δίπλα στη θέση που βρίσκεται ο A δηλαδή στην $j+1$. Συνεχίζουμε με την πρώτη λύση όπου επανατοποθετούμε τον πελάτη Γ από την θέση q στην θέση $i+1$, δηλαδή δίπλα από τον A. Με λίγα λόγια ανταλλάσσουμε τόξα μεταξύ των δύο διαδρομών, έτσι ώστε σε κάθε λύση να υπάρχει κάθε πελάτης από μία φορά. Αν μία ή καμία από τις δύο αυτές λύσεις δεν είναι εφικτή, τότε προχωράμε στην επόμενη επανάληψη χωρίς να γίνουν η αλλαγές της εκάστοτε λύσης. Εάν κάποια ή και οι δύο είναι εφικτή/οί, την/τις κρατάμε και συνεχίζουμε με βάση αυτήν/αυτές την επόμενη επανάληψη. Η διασταύρωση πραγματοποιείται χωρίς να ελέγχονται τα κόστη, αλλά μόνο με βάση τους περιορισμούς. Σημαντικό είναι το τόξο που θα επιλεγεί να μην περιλαμβάνει την αποθήκη δηλαδή τον κόμβο 1, αλλά και η θέση του πρώτου κόμβου του τόξου στην άλλη λύση να μην έχει γείτονα την αποθήκη δηλαδή τον κόμβο 1. Αυτά διότι δεν θέλουμε να μετακινήσουμε τις αποθήκες από τις θέσεις που ήδη βρίσκονται.

Πχ. Λύση 1 : ...1 3 4 6 2 7 8 1...

Λύση 2 : ...1 5 6 8 4 2 9 1...

Έστω ότι είμαστε στον τόξο 6-2 στην πρώτη λύση θέσης $i=4$ και $i+1=5$. Πάμε στην δεύτερη λύση και βρίσκουμε τον πελάτη 6 σε ποια θέση είναι ($j=3$) και ποιον έχει ως γείτονα (τον πελάτη 8 στην θέση ($j+1=4$)). Επίσης, ψάχνουμε

στην δεύτερη λύση που βρίσκεται ο πελάτης 2 (θέση $q=6$). Αφού βρήκαμε τις θέσεις των τριών πελατών στην δεύτερη θέση, πάμε στην πρώτη λύση να βρούμε που βρίσκεται ο πελάτης 8 (θέση $k=7$). Τελικά, στην πρώτη λύση επανατοποθετούμε τον πελάτη 8 από την θέση του στην θέση $i+1$, δηλαδή φτιάχνουμε το τόξο 6-8 της δεύτερης λύσης στην πρώτη. Πάμε και στην δεύτερη λύση και επανατοποθετούμε τον πελάτη 2 στην θέση $j+1$, δηλαδή φτιάχνουμε το τόξο 6-2 της πρώτης λύσης στην δεύτερη.

Τελικά έχουμε,

Λύση 1 : ...1 3 4 **6 8** 2 7 1...

Λύση 2 : ...1 5 **6 2** 8 4 9 1...

ΜΕΤΑΛΛΑΞΗ (MUTATION)

Με τις δύο λύσεις που έδωσε η διασταύρωση, συνεχίζουμε να τους κάνουμε μία τυχαία μετάλλαξη. Συγκεκριμένα, σε κάθε λύση, για κάθε θέση i ($i=2, \dots, \text{size}(\text{solution})-1$) και για μία τυχαία θέση r , θα ανταλλάξουμε τους πελάτες αυτών των θέσεων μεταξύ τους. Αν η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος, τότε συνεχίζουμε την επόμενη ανταλλαγή με βάση αυτήν την λύση, ενώ αν είναι ανέφικτη ή με χειρότερο κόστος, τότε συνεχίζουμε χωρίς την ανταλλαγή.

Η διαδικασία αυτή υλοποιείται και για τις δύο λύσεις που έδωσε η διασταύρωση. Εφόσον πραγματοποιηθεί, επιλέγεται η καλύτερη βάση κόστους και συνεχίζουμε για να της κάνουμε τοπική αναζήτηση. Βέβαια, ελέγχω μήπως η καλύτερη από τις δύο λύσεις είναι καλύτερη από την *best_solution*. Αν είναι, τότε γίνεται αυτή η *best_solution*.

Πχ ...1 3 **5** 6 8 4 7 2 9 **10** 1...

Έστω ότι κάνω ανταλλαγή του πελάτη 5 με έναν τυχαίο έστω 10 μεταξύ τους. Αν η ανταλλαγή είναι εφικτή και με καλύτερο κόστος τότε έχω νέα λύση την:

...1 3 **10** 6 8 4 7 2 9 **5** 1...

ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΜΙΜΗΤΙΚΟΥ (LOCAL SEARCH)

Η τοπική αναζήτηση πραγματοποιείται με ακριβώς τον ίδιο τρόπο όπως περιεγράφηκε πριν, με την μόνη διαφορά ότι γίνεται σε μία λύση και όχι σε όλον τον πληθυσμό λύσεων. Με το που τελειώσει η τοπική αναζήτηση ελέγχω μήπως αυτή η λύση είναι καλύτερη από την `best_solution`. Αν είναι, τότε γίνεται αυτή η `best_solution`.

ΕΠΙΛΟΓΗ (SELECTION)

Έχοντας λοιπόν τις 10 λύσεις από τη διασταύρωση συν την μία λύση που έδωσε η τοπική αναζήτηση, τις ενώνουμε σε ένα πίνακα και τις ταξινομούμε με βάση το κόστος από το μικρότερο στο μεγαλύτερο. Εφόσον ταξινομηθούν, η λύση στη θέση 11, δηλαδή αυτή με το χειρότερο κόστος, διαγράφεται και συνεχίζουμε την επόμενη επανάληψη του μιμητικού με τις 10 καλύτερες λύσεις.

ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ

ΑΡΧΗ

Εισαγωγή των δεδομένων του προβλήματος από φύλλα Excel

Αρχικοποίηση μεταβλητών, διανυσμάτων και πινάκων

ΓΙΑ παραγωγή 10 εφικτών λύσεων

ΟΣΟ υπάρχουν πελάτες που δεν έχουν εξυπηρετηθεί

Εφαρμογή του αλγορίθμου πλησιέστερου γείτονα

Εύρεση του πελάτη με το μικρότερο κόστος, εφόσον δεν παραβιάζονται οι περιορισμοί

ΑΝ υπάρχει πελάτης προς τοποθέτηση ΤΟΤΕ

Τοποθέτηση του πελάτη στη διαδρομή

ΑΛΛΙΩΣ_ΑΝ δεν υπάρχει κατάλληλος πελάτης

Ολοκλήρωση διαδρομής με τοποθέτηση της αποθήκης

ΤΕΛΟΣ_ΑΝ

Ενημέρωση μεταβλητών

Επαναφορά των μεταβλητών για την επόμενη εύρεση πελάτη

ΑΝ έχουν εξυπηρετηθεί όλοι οι πελάτες ΤΟΤΕ

Ολοκλήρωση της λύσης

BREAK

ΤΕΛΟΣ_ΑΝ

ΤΕΛΟΣ_ΟΣΟ

Υπολογισμός κόστους δημιουργημένης λύσης

Επαναφορά μεταβλητών για την δημιουργία της επόμενης λύσης

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

Ταξινόμηση των λύσεων και επιλογή αυτής με το μικρότερο κόστος ως τρέχων best_solution με best_cost

Εφαρμογή αλγορίθμου τοπικής αναζήτησης

ΓΙΑ συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων

ΓΙΑ όλες τις δημιουργημένες λύσεις

Εφαρμογή 2-opt

ΓΙΑ κάθε διαδρομή της λύσης

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{diadromis})-2$

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης j της διαδρομής όπου $j=i+1:\text{size}(\text{diadromis})-1$

Flip το μονοπάτι i:j

Αντικατάσταση της υπάρχουσας διαδρομής με την καινούρια αν η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

Υπολογισμός κόστους κάθε λύσης

ΓΙΑ όλες τις δημιουργημένες λύσεις

Εφαρμογή 1-0 επανατοποθέτηση

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{solution})-1$

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης j της διαδρομής όπου $j=2:\text{size}(\text{solution})-1$

Επανατοποθέτηση του πελάτη θέσης i στην θέση j

ΑΝ η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος από την υπάρχουσα λύση

Αντικατάσταση της υπάρχουσας λύσης με την καινούρια

Break

ΑΛΛΙΩΣ

Συνέχιση των αλλαγών με βάση την υπάρχουσα λύση

ΤΕΛΟΣ_ΑΝ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΓΙΑ όλες τις δημιουργημένες λύσεις

Εφαρμογή 1-1 ανταλλαγή

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{solution})-1$

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης j της διαδρομής όπου $j=2:\text{size}(\text{solution})-1$

Ανταλλαγή θέσεων των πελατών στις θέσεις i και j

Αντικατάσταση της υπάρχουσας λύσης με την καινούρια αν η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΓΙΑ όλες τις δημιουργημένες λύσεις

Εφαρμογή 2-2 ανταλλαγή

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{solution})-2$

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης j της διαδρομής όπου $j=2:\text{size}(\text{solution})-2$

Ανταλλαγή θέσεων των γειτονικών πελατών θέσεων i και $i+1$ με τους γειτονικούς πελάτες θέσεων j και $j+1$

Αντικατάσταση της υπάρχουσας λύσης με την καινούρια αν η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΓΙΑ όλες τις δημιουργημένες λύσεις

Εφαρμογή 3-3 ανταλλαγή

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{solution})-3$

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης j της διαδρομής όπου $j=2:\text{size}(\text{solution})-3$

Ανταλλαγή θέσεων των γειτονικών πελατών θέσεων $i, i+1$ και $i+2$ με τους γειτονικούς πελάτες θέσεων j και $j+1$ και $j+2$

Αντικατάσταση της υπάρχουσας λύσης με την καινούρια αν η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΓΙΑ όλες τις δημιουργημένες λύσεις

Εφαρμογή σειριακών Swap

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{solution})-1$

Ανταλλαγή των γειτονικών πελατών θέσεων i και $i+1$

Αντικατάσταση της υπάρχουσας λύσης με την καινούρια αν η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

Ταξινόμηση των λύσεων που έδωσε η τοπική αναζήτηση

ΑΝ $\text{best_cost} \leq$ κόστος καλύτερης λύσης τοπικής αναζήτησης ΤΟΤΕ

best_cost = κόστος καλύτερης λύσης τοπικής αναζήτησης

best_solution = καλύτερη λύση που έδωσε η τοπική αναζήτηση

ΤΕΛΟΣ_ΑΝ

Εφαρμογή Μιμητικού Αλγορίθμου

ΓΙΑ συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων

Εφαρμογή μεθόδου Διασταύρωσης με 2 παραλλαγές που αφορούν την επιλογή λύσεων

1^η παραλλαγή: Επιλογή δύο τυχαίων λύσεων από τον πληθυσμό

2^η παραλλαγή: Επιλογή μίας τυχαίας λύσης και της καλύτερης από τον πληθυσμό

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{solution}_1)-1$

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης j της διαδρομής όπου $j=2:\text{size}(\text{solution}_2)-1$

ΑΝ $\text{solution}_1(i) == \text{solution}_2(j)$ ΤΟΤΕ

Επανατοποθέτηση του πελάτη $\text{solution}_2(j+1)$ από την θέση του στην λύση_1 στην θέση $i+1$

Επανατοποθέτηση του πελάτη $\text{solution}_1(i+1)$ από την θέση του στην λύση_2 στην θέση $j+1$

ΤΕΛΟΣ_ΑΝ

Αντικατάσταση της υπάρχουσας διαδρομής με την καινούρια αν η αλλαγή είναι εφικτή

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

Υπολογισμός κόστους των δύο λύσεων της διασταύρωσης

Εφαρμογή μεθόδου μετάλλαξης

ΓΙΑ κάθε μία από τις δύο λύσεις της διασταύρωσης

ΓΙΑ κάθε πελάτη θέσης i της διαδρομής όπου $i=2:\text{size}(\text{solution}_1)-1$

Επιλογή ενός τυχαίου πελάτη

Ανταλλαγή πελάτη θέσης i με τον πελάτη τυχαίας θέσης j

Αντικατάσταση της υπάρχουσας λύσης με την καινούρια αν η αλλαγή είναι εφικτή με καλύτερο κόστος

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

Έλεγχος αν η καλύτερη λύση από την μετάλλαξη είναι καλύτερη από την `best_solution`

Εφαρμογή ακριβώς της ίδιας τοπικής αναζήτησης όπως πριν με την μόνη διαφορά ότι πραγματοποιείται στην καλύτερη λύση που έδωσε η μετάλλαξη και όχι σε όλον τον πληθυσμό

Έλεγχος αν η λύση από την τοπική αναζήτηση είναι καλύτερη από την `best_solution`

Ένωση πίνακα διασταύρωσης με λύση από την τοπική αναζήτηση σε έναν πίνακα

Ταξινόμηση πίνακα με βάση το ελάχιστο κόστος

Διαγραφή χειρότερης λύσης από τον πίνακα

Επιστροφή πίνακα/πληθυσμού ως είσοδο για την επόμενη επανάληψη

ΤΕΛΟΣ_ΓΙΑ

Εκτύπωση `best_solution` και `best_cost`

ΤΕΛΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από την υλοποίηση του κώδικα που δημιουργήσαμε στο περιβάλλον της Matlab, για την επίλυση του Συσσωρευτικού Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας με τον Μιμητικό Αλγόριθμο.

Η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε σε 34 παραδείγματα αναφοράς για τις 2 παραλλαγές της μεθόδου επίλυσης, με δεδομένα που αφορούν το πλήθος των κόμβων και τη μέγιστη χωρητικότητα του οχήματος. Παραλλαγές που αφορούν όπως εξηγήσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην επιλογή λύσεων για την υλοποίηση της μεθόδου της Διασταύρωσης. Στην πρώτη παραλλαγή, η επιλογή των δύο λύσεων για την διασταύρωση πραγματοποιείται με τυχαίο τρόπο, ενώ στην δεύτερη παραλλαγή η επιλογή πραγματοποιείται με τυχαίο τρόπο για την μία λύση, ενώ για την άλλη επιλέγεται η καλύτερη λύση του πληθυσμού.

Τα αποτελέσματα θα φανερώσουν ποια παραλλαγή είναι καλύτερη, δηλαδή ποια δίνει καλύτερο κόστος, υπολογίζοντας την απόκλιση από το ελάχιστο κόστος, αλλά και την απόκλιση από το μέσο κόστος μετά από 5 επαναλήψεις.

Κάθε ένα σετ για κάθε παραλλαγή εκτελείται 5 φορές και παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τα δεδομένα για κάθε σετ, δηλαδή το ελάχιστο γνωστό κόστος από τους [5].

6.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ 7 ΣΕΤ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας 6.1 - 51 κόμβοι με μέγιστη χωρητικότητα οχήματος 160

	Παραλλαγή 1(τυχαία+τυχαία)			Παραλλαγή 2 (τυχαία+καλύτερη)				
	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Ελάχιστο Κόστος	Ελάχιστο Πλήθος Οχημάτων
Par1	2259.44	5	1,30%	2257.96	5	1,24%	2230.35	5
Μέσος Όρος μετά από 5 Επαναλήψεις	2268.11	5	1,69%	2267.25	5	1,65%		

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση των 51 κόμβων είναι πολύ ικανοποιητικά καθώς η απόκλιση από το ελάχιστο κόστος 2230 είναι κάτω από 1.5% και για τις δύο παραλλαγές του αλγορίθμου. Συνολικά, μετά από τις 5 επαναλήψεις, ο μέσος όρος των κοστών είναι επίσης πολύ ικανοποιητικός καθώς και στις δύο παραλλαγές έχουμε απόκλιση από το ελάχιστο κάτω από 1,7%. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 παραλλαγών, βλέπουμε ότι η παραλλαγή 2, έδωσε και καλύτερο αποτέλεσμα 2258 , με απόκλιση μόνο 1,24% από το ελάχιστο, αλλά και καλύτερο συνολικό μέσο όρο 1,65%. Οι παραλλαγές έδωσαν και οι δύο, το καλύτερο δυνατό πλήθος οχημάτων, δηλαδή 5 οχήματα.

Πίνακας 6.2 - 76 κόμβοι με μέγιστη χωρητικότητα οχήματος 140

	Παραλλαγή 1(τυχαία+τυχαία)			Παραλλαγή 2 (τυχαία+καλύτερη)			Ελάχιστο Κόστος	Ελάχιστο Πλήθος Οχημάτων
	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο		
Par2	2698.2	10	12,82%	2678.2	10	11,98%	2391.63	10
Μέσος Όρος μετά από 5 Επαναλήψεις	2718.8	10	13,68%	2715.5	10	13,54%		

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση των 76 κόμβων είναι επαρκώς ικανοποιητικά καθώς η απόκλιση από το ελάχιστο κόστος 2390 είναι γύρω στο 12% και για τις δύο παραλλαγές του αλγορίθμου. Συνολικά, μετά από τις 5 επαναλήψεις, ο μέσος όρος των κοστών είναι επίσης επαρκώς ικανοποιητικός καθώς και στις δύο παραλλαγές έχουμε απόκλιση από το ελάχιστο γύρω στο 13.5%. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 παραλλαγών, βλέπουμε ότι η παραλλαγή 2, έδωσε και καλύτερο αποτέλεσμα 2680 , με απόκλιση 11,98% από το ελάχιστο, αλλά και καλύτερο συνολικό μέσο όρο 13.54%. Οι παραλλαγές έδωσαν και οι δύο, το καλύτερο δυνατό πλήθος οχημάτων, δηλαδή 10 οχήματα.

Πίνακας 6.3 - 101 κόμβοι με μέγιστη χωρητικότητα οχήματος 200

	Παραλλαγή 1(τυχαία+τυχαία)			Παραλλαγή 2 (τυχαία+καλύτερη)			Ελάχιστο Κόστος	Ελάχιστο Πλήθος Οχημάτων
	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο		
Par3	4169.87	8	3,08%	4183.52	8	3,42%	4045.42	8
Μέσος Όρος μετά από 5 Επαναλήψεις	4232.54	8	4,63%	4238.71	8	4,78%		

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση των 101 κόμβων είναι αρκετά ικανοποιητικά καθώς η απόκλιση από το ελάχιστο κόστος 4050 είναι κάτω από 3.5% και για τις δύο παραλλαγές του αλγορίθμου. Συνολικά, μετά από τις 5 επαναλήψεις, ο μέσος όρος των κοστών είναι επίσης ικανοποιητικός

καθώς και στις δύο παραλλαγές έχουμε απόκλιση από το ελάχιστο κάτω από 5%. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 παραλλαγών, βλέπουμε ότι η παραλλαγή 1, έδωσε και καλύτερο αποτέλεσμα 2170 , με απόκλιση 3,08% από το ελάχιστο, αλλά και καλύτερο συνολικό μέσο όρο 4,63%. Οι παραλλαγές έδωσαν και οι δύο, το καλύτερο δυνατό πλήθος οχημάτων, δηλαδή 8 οχήματα.

Πίνακας 6.4 - 151 κόμβοι με μέγιστη χωρητικότητα οχήματος 200

	Παραλλαγή 1(τυχαία+τυχαία)			Παραλλαγή 2 (τυχαία+καλύτερη)				
	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Ελάχιστο Κόστος	Ελάχιστο Πλήθος Οχημάτων
Par4	5260.3	12	5,47%	5257.1	12	5,40%	4987.52	12
Μέσος Όρος μετά από 5 Επαναλήψεις	5410.7	12	8,48%	5271.4	12	5,69%		

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση των 151 κόμβων είναι ικανοποιητικά καθώς η απόκλιση από το ελάχιστο κόστος 4990 είναι κάτω από 5.5% και για τις δύο παραλλαγές του αλγορίθμου. Συνολικά, μετά από τις 5 επαναλήψεις, ο μέσος όρος των κοστών είναι ικανοποιητικός για την παραλλαγή 2 καθώς είναι κάτω από 6%, ενώ για την παραλλαγή 1 όχι τόσο ικανοποιητικό στο 8,48%. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 παραλλαγών, βλέπουμε ότι η παραλλαγή 2, έδωσε και καλύτερο αποτέλεσμα 5260 , με απόκλιση 5,4% από το ελάχιστο, αλλά και καλύτερο συνολικό μέσο όρο 5,69%. Οι παραλλαγές έδωσαν και οι δύο, το καλύτερο δυνατό πλήθος οχημάτων, δηλαδή 12 οχήματα.

Πίνακας 6.5 - 200 κόμβοι με μέγιστη χωρητικότητα οχήματος 200

	Παραλλαγή 1(τυχαία+τυχαία)			Παραλλαγή 2 (τυχαία+καλύτερη)			Ελάχιστο Κόστος	Ελάχιστο Πλήθος Οχημάτων
	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο		
Par5	6585.62	17	13,43%	6373.3	17	9,77%	5806.02	17
Μέσος Όρος μετά από 5 Επαναλήψεις	6640.51	17	14,37%	6470.67	17	11,45%		

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση των 200 κόμβων είναι επαρκώς ικανοποιητικά καθώς η απόκλιση από το ελάχιστο κόστος 5810 είναι γύρω στο 9-13% και για τις δύο παραλλαγές του αλγορίθμου. Συνολικά, μετά από τις 5 επαναλήψεις, ο μέσος όρος των κοστών είναι επίσης επαρκώς ικανοποιητικός καθώς και στις δύο παραλλαγές έχουμε απόκλιση από το ελάχιστο γύρω στο 11-14%. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 παραλλαγών, βλέπουμε ότι η παραλλαγή 2, έδωσε και καλύτερο αποτέλεσμα 6370 , με απόκλιση 9,77% από το ελάχιστο, αλλά και καλύτερο συνολικό μέσο όρο 11,45%. Οι παραλλαγές έδωσαν και οι δύο, το καλύτερο δυνατό πλήθος οχημάτων, δηλαδή 17 οχήματα.

Πίνακας 6.6 - 121 κόμβοι με μέγιστη χωρητικότητα οχήματος 200

	Παραλλαγή 1(τυχαία+τυχαία)			Παραλλαγή 2 (τυχαία+καλύτερη)			Ελάχιστο Κόστος	Ελάχιστο Πλήθος Οχημάτων
	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο		
Par11	7912.1	7	8,17%	7828.2	7	7,02%	7314.55	7
Μέσος Όρος μετά από 5 Επαναλήψεις	8000.8	7	9,38%	7921.3	7	8,30%		

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση των 121 κόμβων είναι επαρκώς ικανοποιητικά καθώς η απόκλιση από το ελάχιστο κόστος 7310 είναι γύρω στο 7-8% και για τις δύο παραλλαγές του αλγορίθμου. Συνολικά, μετά από

τις 5 επαναλήψεις, ο μέσος όρος των κοστών είναι επίσης επαρκώς ικανοποιητικός καθώς και στις δύο παραλλαγές έχουμε απόκλιση από το ελάχιστο γύρω στο 8-9%. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 παραλλαγών, βλέπουμε ότι η παραλλαγή 2, έδωσε και καλύτερο αποτέλεσμα 7830 , με απόκλιση 7,02% από το ελάχιστο, αλλά και καλύτερο συνολικό μέσο όρο 8,3%. Οι παραλλαγές έδωσαν και οι δύο, το καλύτερο δυνατό πλήθος οχημάτων, δηλαδή 7 οχήματα.

Πίνακας 6.7 - 101 κόμβοι με μέγιστη χωρητικότητα οχήματος 200

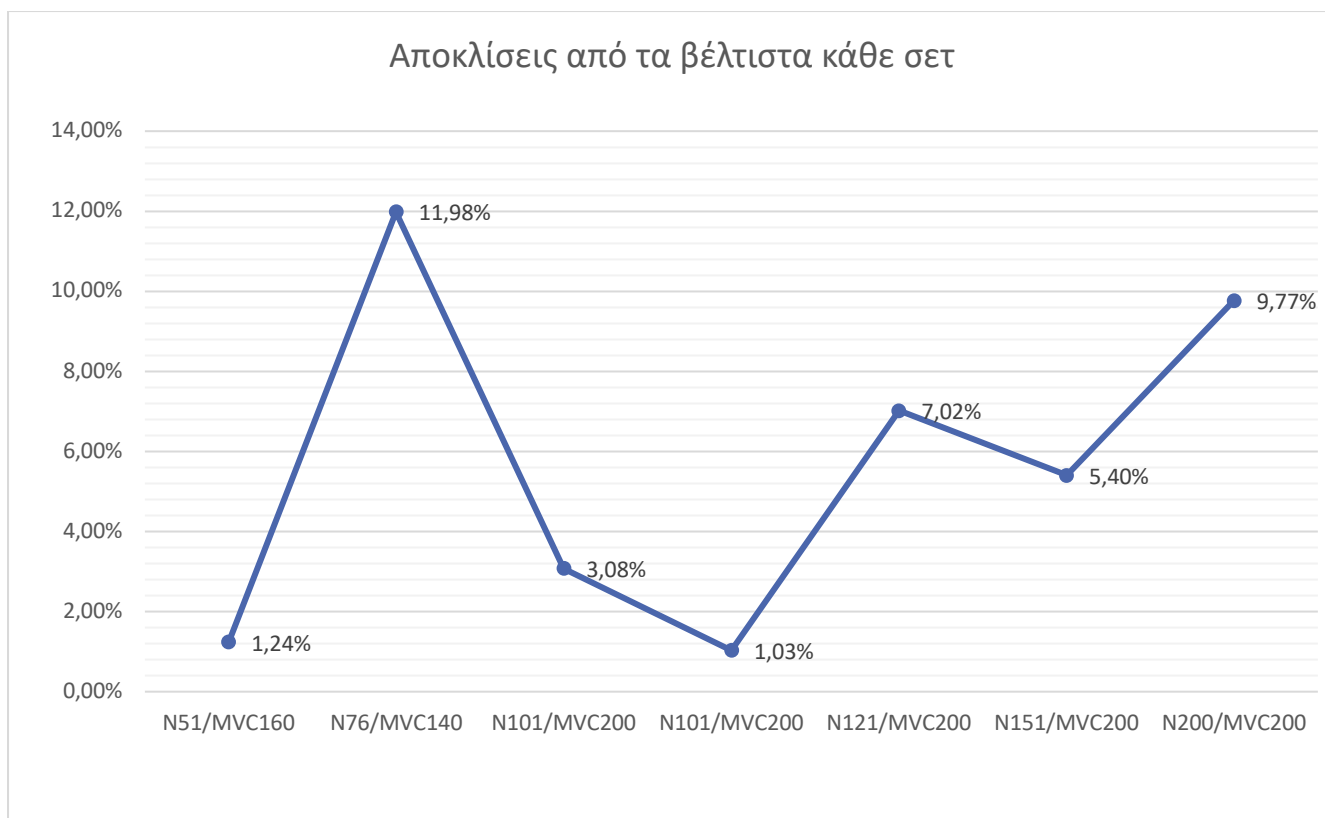
	Παραλλαγή 1(τυχαία+τυχαία)			Παραλλαγή 2 (τυχαία+καλύτερη)				
	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Κόστος	Πλήθος Οχημάτων	Απόκλιση από το Ελάχιστο	Ελάχιστο Κόστος	Ελάχιστο Πλήθος Οχημάτων
Par12	3605.81	10	1,32%	3595.55	10	1,03%	3558.92	10
Μέσος Όρος μετά από 5 Επαναλήψεις	3622.28	10	1,78%	3619.72	10	1,71%		

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση των 101 κόμβων είναι πολύ ικανοποιητικά καθώς η απόκλιση από το ελάχιστο κόστος 3560 είναι κάτω από 1.5% και για τις δύο παραλλαγές του αλγορίθμου. Συνολικά, μετά από τις 5 επαναλήψεις, ο μέσος όρος των κοστών είναι επίσης πολύ ικανοποιητικός καθώς και στις δύο παραλλαγές έχουμε απόκλιση από το ελάχιστο κάτω από 1,8%. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 παραλλαγών, βλέπουμε ότι η παραλλαγή 2, έδωσε και καλύτερο αποτέλεσμα 3600 , με απόκλιση μόνο 1,03% από το ελάχιστο, αλλά και καλύτερο συνολικό μέσο όρο 1,71%. Οι παραλλαγές έδωσαν και οι δύο, το καλύτερο δυνατό πλήθος οχημάτων, δηλαδή 10 οχήματα.

Για τα παραπάνω 7 σετ δεδομένων έχουμε τον παρακάτω πίνακα με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

Πίνακας 6.8 - Συγκεντρωτικά αποτελέσματα (N - Nodes και MVC - Max Vehicle Capacity)						
	Κόστος	Ελάχιστο Κόστος	Απόκλιση	Οχήματα	Ελάχιστα Οχήματα	Καλύτερη Παραλλαγή
Par1/N51/MVC160	2257.96	2230.35	1,24%	5	5	2
Par2/N76/MVC140	2678.2	2391.63	11,98%	10	10	2
Par3/N101/MVC200	4169.87	4045.42	3,08%	8	8	1
Par4/N151/MVC200	5257.1	4987.52	5,40%	12	12	2
Par5/N200/MVC200	6373.3	5806.02	9,77%	17	17	2
Par11/N121/MVC200	7828.2	7314.55	7,02%	7	7	2
Par12/N101/MVC200	3595.55	3558.92	1,03%	10	10	2

Από τα παραπάνω σετ δεδομένων μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο αλγόριθμος μας λειτουργεί πολύ πιο αποτελεσματικά για αριθμό κόμβων 51, 101, 151 με αποκλίσεις γύρω και πολύ κάτω του 5%. Για τα σετ δεδομένων με αριθμό κόμβων 76, 121 και 200 παρατηρούμε αποκλίσεις πάνω από 7% μέχρι 12%. Σε όλα τα 7 σετ δεδομένων, ο αλγόριθμος παρήγαγε το βέλτιστο αριθμό οχημάτων. Επίσης, σε όλα τα σετ εκτός ενός, έχουμε την παραλλαγή 2 να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με τα μικρότερα κόστη. Παραλλαγή η οποία όπως έχουμε αναφέρει ξανά, αφορά στην επιλογή των δύο λύσεων της διασταύρωσης, με τυχαίο τρόπο για τη μία και επιλογή της καλύτερης για την άλλη. Τέλος, μία ακόμη παρατήρηση για αυτά τα 7 σετ δεδομένων είναι ότι η παραλλαγή 2, όχι μόνο έβγαλε καλύτερο αποτέλεσμα κοστών όπως προ είπαμε, αλλά έβγαλε και καλύτερο αποτέλεσμα στα μέση κόστη. Με άλλα λόγια, η παραλλαγή 2 παρήγαγε καλύτερα αποτελέσματα κατά μέσο όρο στις 5 επαναλήψεις και σε μία από αυτές παράχθηκε και το καλύτερο κόστος.



Γράφημα 1. Συσχέτιση αύξησης κόμβων με απόκλιση από το ελάχιστο κόστος

Από το γράφημα (1) συσχέτισης του αριθμού των κόμβων με την απόκλιση από το ελάχιστο κόστος, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη συσχέτιση της αύξησης των κόμβων με την αύξηση των αποκλίσεων διότι ενώ τα μικρότερα πλήθη κόμβων έχουν και μικρότερη απόκλιση, αν τα συγκρίνουμε διαδοχικά βλέπουμε ότι υπάρχουν αυξομειώσεις. Για παράδειγμα το πλήθος 51 δίνει πολύ χαμηλότερη απόκλιση από το πλήθος 76, όμως το πλήθος 76 έχει πολύ μεγαλύτερη απόκλιση από τα υπόλοιπα μεγαλύτερα πλήθη. Επίσης, ενώ το πλήθος 121 δίνει μεγαλύτερη απόκλιση από το πλήθος 101, το πλήθος 151 δίνει μικρότερη απόκλιση από το πλήθος 121. Ενώ θα περιμέναμε ότι το πλήθος 200 θα έδινε τη μεγαλύτερη απόκλιση λόγω της αύξησης της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου, κάτι τέτοιο δεν ισχύει, καθώς το πλήθος 76 έχει την μεγαλύτερη απόκλιση, 12% περίπου, από όλους, με τα υπόλοιπα να πέφτουν κάτω του 10%.

6.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ 27 ΣΕΤ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Συνεχίζουμε με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για 27 μικρότερα προβλήματα με μικρό αριθμό κόμβων και αντλούμε τα δεδομένα μας από τους [5].

Πίνακας 6.9 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα (Μέγιστη Χωρητικότητα Οχημάτων 100)

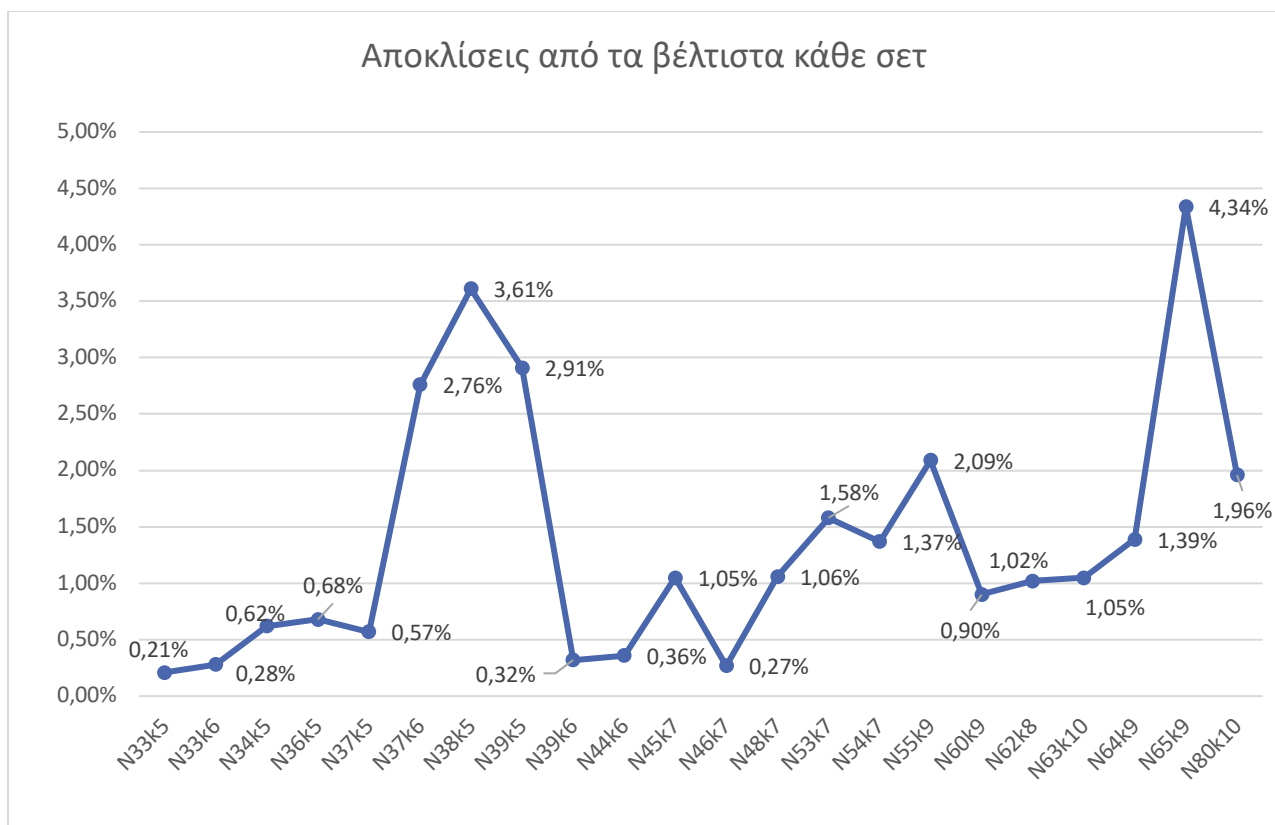
Δεδομένα	Κόστος	Απόκλιση	Μέσο Κόστος (5 επαναλήψεις)	Μέση Απόκλιση	Ελάχιστο Κόστος	Οχήματα	Ελάχιστα Οχήματα	Καλύτερη Παραλλαγή με βάση το Κόστος	Καλύτερη Παραλλαγή με βάση το Μέσο Κόστος
n32k5	1477.3	-32,60%	1490	-32,02%	2192	6	5	1 και 2	2
n33k5	1728.6	0,21%	1741.4	0,95%	1725	5	5	2	1
n33k6	1616.58	0,28%	1646.1	2,12%	1612	6	6	1 και 2	2
n34k5	2117.1	0,62%	2143.2	1,86%	2104	5	5	1 και 2	2
n36k5	2294.4	0,68%	2309.8	1,35%	2279	5	5	2	2
n37k5	1981.1	0,57%	1996.7	1,36%	1970	5	5	2	2
n37k6	2302.9	2,76%	2316	3,35%	2241	6	6	2	2
n38k5	2159.2	3,61%	2174	4,32%	2084	5	5	1 και 2	1
n39k5	2379.4	2,91%	2389.42	3,35%	2312	5	5	2	1
n39k6	2223.2	0,32%	2226.6	0,48%	2216	6	6	2	2
N44k6	2572.18	0,36%	2591.38	1,11%	2563	6	6	1	1
N45k6	2556	-10,25%	2602.2	-8,63%	2848	7	6	2	2

N45k7	2860.66	1,05%	2877.95	1,66%	2831	7	7	1	1
N46k7	2379.5	0,27%	2391.5	0,78%	2373	7	7	2	2
N48k7	3134	1,06%	3158.2	1,84%	3101	7	7	2	2
N53k7	3164.2	1,58%	3225.2	3,54%	3115	7	7	1	1
N54k7	34028.7	1,37%	3494.2	4,09%	3357	7	7	1	2
N55k9	2642.2	2,09%	2656.1	2,63%	2588	9	9	2	2
N60k9	3476.85	0,90%	3507.41	1,78%	3446	9	9	1	1
N61k9	2707.5	-5,60%	2779.9	-3,07%	2868	10	9	2	2
N62k8	3965.1	1,02%	4029.9	2,67%	3925	8	8	2	2
N63k9	4527.7	-2,21%	4552.4	-1,68%	4630	10	9	2	2
N63k10	3290.3	1,05%	3315.6	1,83%	3256	10	10	2	2
N64k9	4192.5	1,39%	4212.8	1,88%	4135	9	9	1	1
N65k9	3638.31	4,34%	3791.9	8,74%	3487	9	9	1	1
N69k9	3365.5	-4,61%	3427.7	-2,84%	3528	10	9	1	2
N80k10	6045.3	1,96%	6089.6	2,71%	5929	10	10	2	2

Η υλοποίηση του αλγορίθμου για τα 27 σετ δεδομένων έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα με πολύ μικρές αποκλίσεις από το ελάχιστο κόστος. Ακόμη, έχουμε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα για το μέσο κόστος μετά τις 5 επαναλήψεις καθώς οι μέσες αποκλίσεις είναι συνολικά πολύ μικρές. Με άλλα λόγια, όλες οι 5 επαναλήψεις κατάφεραν να δώσουν μία λύση αρκετά κοντά στην γνωστή καλύτερη.

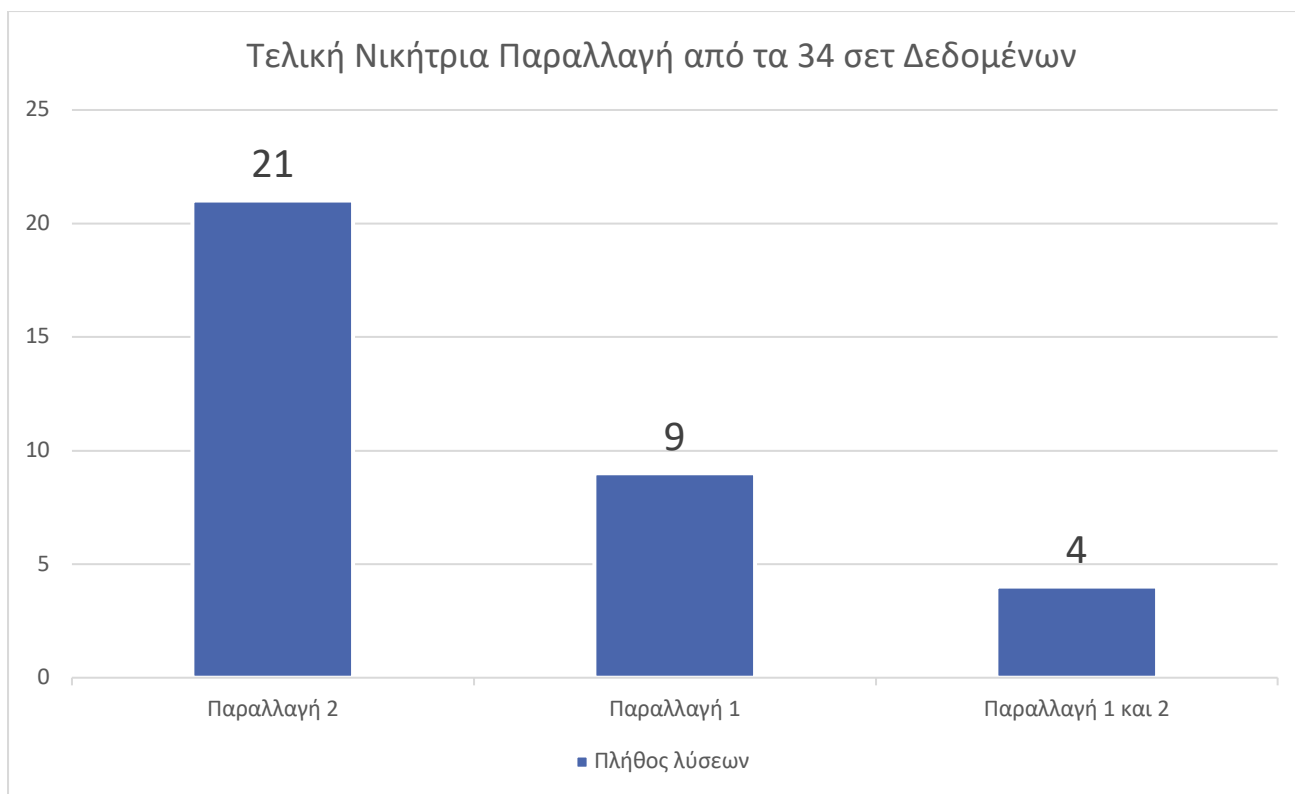
Ενώ τα περισσότερα σετ κατάφεραν να παράγουν το βέλτιστο πλήθος οχημάτων, υπάρχουν 5 σετ δεδομένων που δεν κατάφεραν να δώσουν τον ελάχιστο αριθμό οχημάτων, αλλά έδωσαν πολύ καλύτερο κόστος από το γνωστό ελάχιστο με ένα φορτηγό παραπάνω. Βέβαια, προτιμώνται οι λύσεις με ένα μεγαλύτερο κόστος και βέλτιστο αριθμό οχημάτων, από ότι μικρότερο κόστος και μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων.

Όσο αφορά τις παραλλαγές που εξετάστηκαν, παρατηρούμε ότι 4 σετ δεδομένων κατάφεραν να βρουν ακριβώς την ίδια καλύτερη λύση και στις 2 παραλλαγές, με τη παραλλαγή 2 όμως να βρίσκει κατά μέσο όρο τις καλύτερες λύσεις με τα μικρότερα κόστη. Επίσης, από τα 27 σετ, τα 15 έδωσαν την καλύτερη λύση μέσω της παραλλαγής 2, ενώ τα υπόλοιπα 8 από την παραλλαγή 1. Μόνο 4 από τα 27 σετ έδωσαν καλύτερη λύση από τη μία παραλλαγή και καλύτερα μέσα κόστη από την άλλη παραλλαγή. Με άλλα λόγια, αν μία παραλλαγή παρήγαγε κατά μέσο όρο καλύτερες λύσεις, τότε κατά μεγάλη πιθανότητα έδωσε και την λύση με το χαμηλότερο κόστος.



Γράφημα 2. Συσχέτιση αύξησης κόμβων με απόκλιση από το ελάχιστο κόστος

Από το γράφημα (2) των αποκλίσεων από το ελάχιστο κόστος, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη συσχέτιση της αύξησης των κόμβων με την αύξηση των αποκλίσεων διότι ενώ τα μικρότερα πλήθη κόμβων έχουν και μικρότερη απόκλιση, αν τα συγκρίνουμε διαδοχικά βλέπουμε ότι υπάρχουν αυξομειώσεις. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι όλα τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά καθώς όλες οι αποκλίσεις είναι κάτω του 5%, με τις περισσότερες κάτω του 1.5%. Παρατηρούμε ότι μέχρι και 37 κόμβους έχουμε εξαιρετικά αποτελέσματα με αποκλίσεις κάτω του 0.7%. Για κόμβους 37 με 39 έχουμε αποκλίσεις άνω του 2.5% μέχρι 3.6%. Από 39 έως και 80 κόμβους έχουμε εξαιρετικά αποτελέσματα με αποκλίσεις κάτω από 2%, με εξαίρεση τη μεγαλύτερη μας απόκλιση στα 4.3% στους 65 κόμβους.



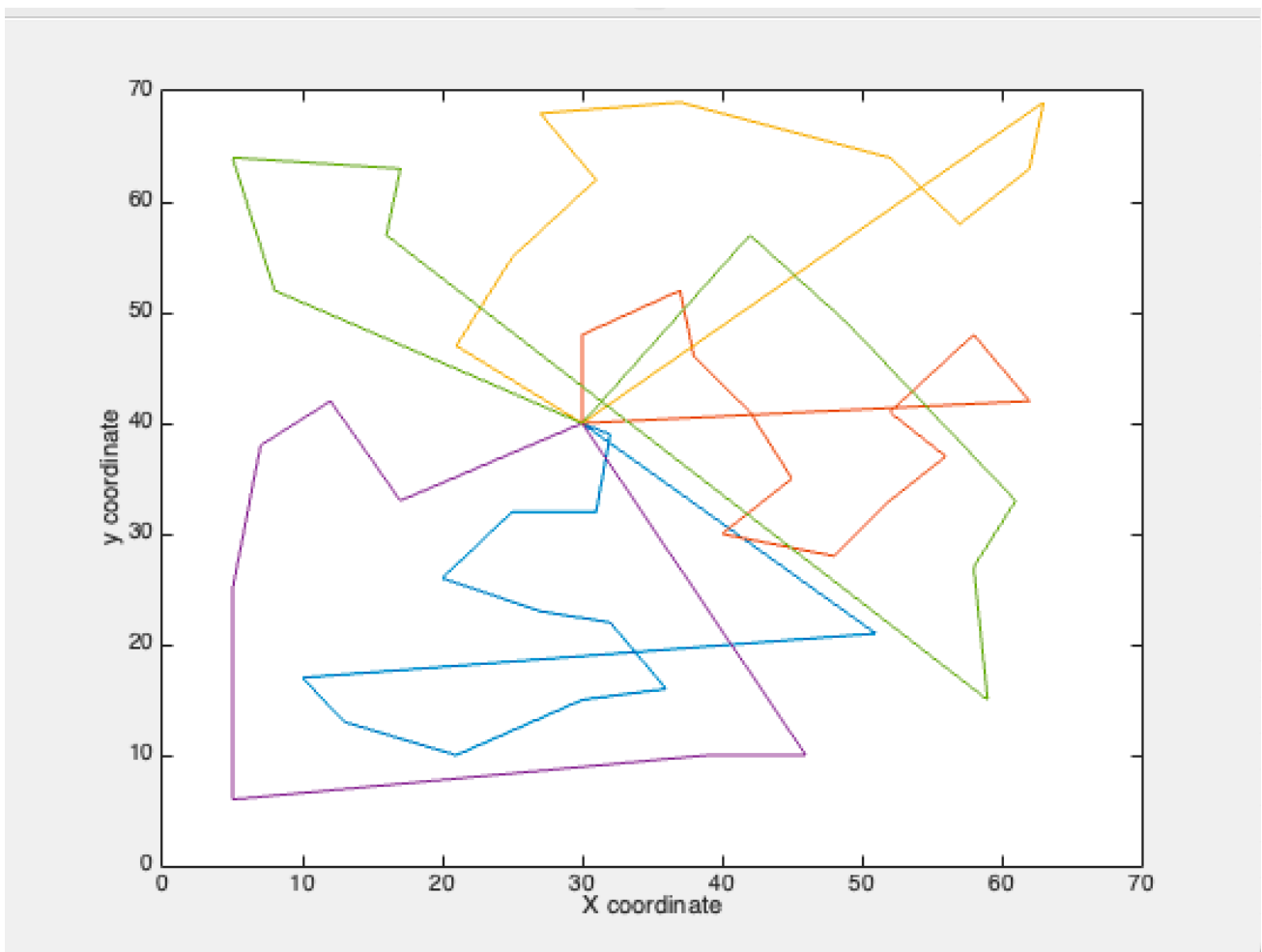
Γράφημα 3. Νικήτρια παραλλαγή που παρήγαγε τις καλύτερες λύσεις

Από το γράφημα (3) βλέπουμε ότι η παραλλαγή 2, κατά την οποία επιλέγεται μία τυχαία και η καλύτερη λύση του πληθυσμού για Διασταύρωση, είναι αυτή που έδωσε τις καλύτερες λύσεις στα 34 σετ δεδομένων που τρέξαμε στον αλγόριθμο. Η παραλλαγή 1, κατά την οποία επιλέγονται δύο τυχαίες λύσεις προς Διασταύρωση, έδωσε και αυτή σε 9 σετ δεδομένων τις καλύτερες λύσεις. Βέβαια, υπήρξαν και περιπτώσεις, 4 συγκεκριμένα, όπου και οι δύο παραλλαγές βρήκαν ακριβώς την ίδια καλύτερη λύση.

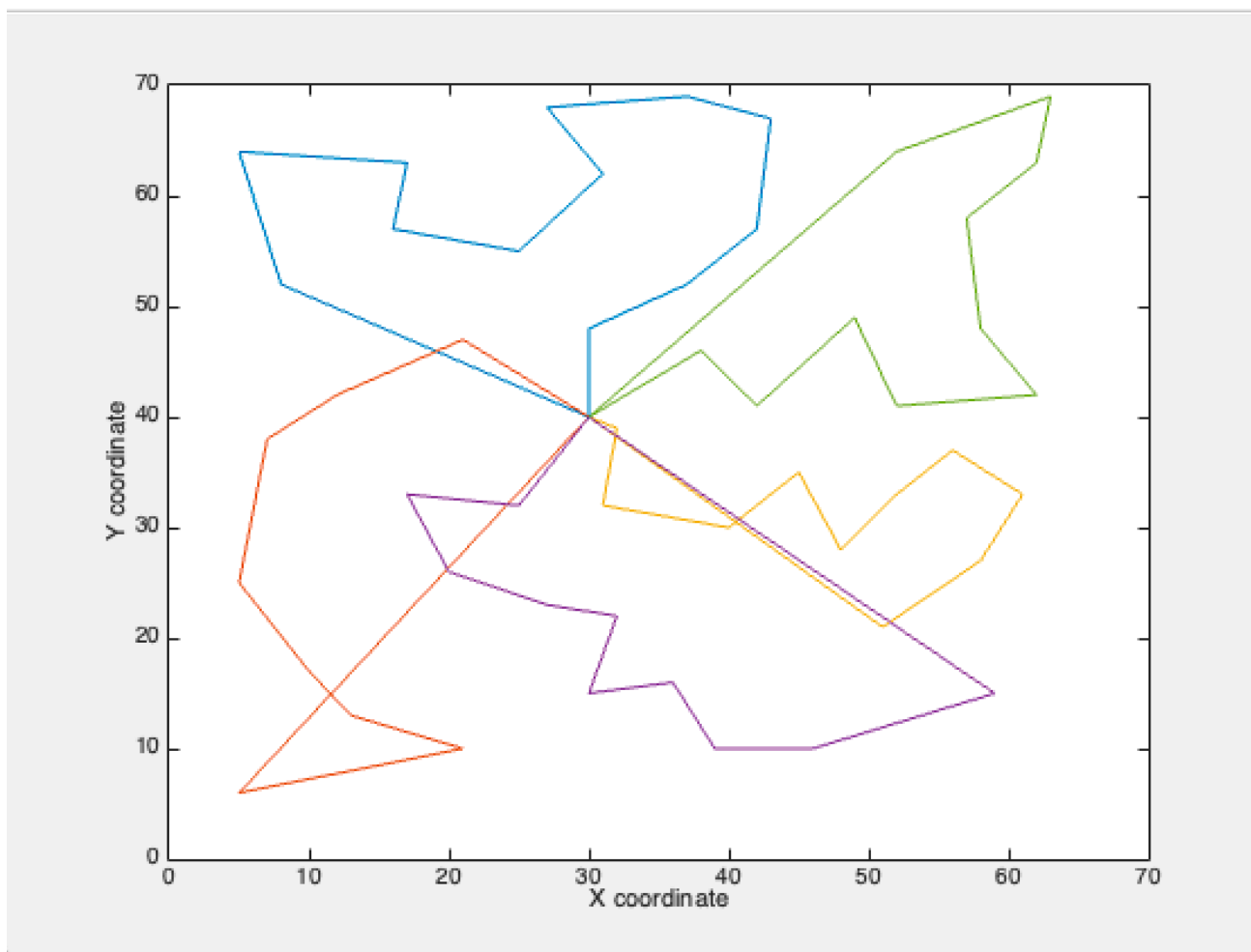
Σε γενικές γραμμές, οι λύσεις που προέκυψαν είναι αρκετά ικανοποιητικές, με μικρές αποκλίσεις από το γνωστό βέλτιστο και έτσι επιβεβαιώνεται η αποτελεσματικότητα του υβριδικού γενετικού αλγορίθμου.

Ένα μειονέκτημα ωστόσο, το οποίο θα μπορούσε να βελτιωθεί για την ταχύτερη εξυπηρέτηση των πελατών, είναι ότι βασιζόμαστε σε μία μόνο αποθήκη για την φορτοεκφόρτωση. Έτσι, δημιουργείται μεγάλη εξάρτηση από τις σχέσεις και τις θέσεις των πελατών. Μία ενδεχόμενη αύξηση των αποθηκών θα οδηγούσε πιθανότατα σε καλύτερα αποτελέσματα.

Τέλος, κλείνοντας το παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα 50 κόμβων μίας αρχικής και τελικής λύσης που εντοπίστηκε με την εφαρμογή του μιμητικού αλγορίθμου. Η αρχική λύση παράχθηκε από τη μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα και εξυπηρετεί όλους τους κόμβους με το βέλτιστο αριθμό οχημάτων, 5 σε πλήθος, και κόστος 2758. Με τη βελτίωση της λύσης με τον μιμητικό αλγόριθμο έχουμε τελική λύση να εξυπηρετεί όλους τους κόμβους με το βέλτιστο αριθμό οχημάτων, 5 σε πλήθος, και κόστος 2257,96.



Εικόνα 6.1 Γράφημα αρχικής λύσης για 50 κόμβους



Εικόνα 6.2 Γράφημα τελικής καλύτερης λύσης για 50 κόμβους

Συγκρίνοντας τα δύο γραφήματα βλέπουμε πόσο καλά λειτούργησε ο αλγόριθμος μας. Στην αρχική λύση, οι διαδρομές διασταυρώνονται, κάτι που δείχνει ότι υπάρχουν πολύ καλύτερες διαδρομές που δεν έχουν βρεθεί. Με την υλοποίηση του αλγορίθμου βλέπουμε ότι οι διαδρομές ξεμπέρδεψαν και υπάρχουν ελάχιστες διασταυρώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάστηκε το Συσσωρευτικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων Περιορισμένης Χωρητικότητας, για ένα δίκτυο πελατών συνδεδεμένων μεταξύ τους. Το πρόβλημα αυτό εκτείνει περαιτέρω την κατηγορία των VRP προβλημάτων, όταν υπάρχει ανάγκη για άμεση εξυπηρέτηση των πελατών, δηλαδή ελαχιστοποίηση των χρόνων άφιξης στους πελάτες, αντί του κλασσικού μήκους διαδρομής. Είναι δηλαδή ένα πρόβλημα της Ανθρωπιστικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας, που στόχος είναι η γρήγορη ανταπόκριση για την ανακούφιση των πληγέντων μετά από κάποια καταστροφή και η παραμέληση του σύνηθες στόχου της ελαχιστοποίησης του κόστους.

Για την επίλυση του προβλήματος, αναπτύχθηκε ένας Υβριδικός Γενετικός ή αλλιώς Μιμητικός Αλγόριθμος, ο οποίος συνδυάζει ένα γενετικό αλγόριθμο με ένα αλγόριθμο τοπικής αναζήτησης για την εντατικοποίηση της αναζήτησης των λύσεων. Για την αρχικοποίηση του πληθυσμού των λύσεων αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος με τη μέθοδο του Πλησιέστερου Γείτονα και με έναν αλγόριθμο Τοπικής Αναζήτησης βελτιώσαμε τις λύσεις. Για την εντατικοποίηση της αναζήτησης υλοποιήθηκε ο Μιμητικός αλγόριθμος με δύο παραλλαγές. Παραλλαγές που αφορούν στην επιλογή λύσεων για την υλοποίηση της μεθόδου της Διασταύρωσης. Στην πρώτη παραλλαγή, η επιλογή των δύο λύσεων για την Διασταύρωση πραγματοποιείται με τυχαίο τρόπο, ενώ στην δεύτερη παραλλαγή η επιλογή πραγματοποιείται με τυχαίο τρόπο για την μία λύση, ενώ για την άλλη επιλέγεται η καλύτερη λύση του πληθυσμού.

Για την εφαρμογή των αλγορίθμων, χρησιμοποιήθηκαν 34 σετ δεδομένων τα οποία έτρεξαν στο περιβάλλον της MATLAB πέντε φορές για κάθε παραλλαγή και εξήγαμε τα αποτελέσματα μας.

Από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν συμπεραίνεται ότι οι αλγόριθμοι εφαρμόστηκαν με επιτυχία και κατάφεραν να επιτεύξουν σε ικανοποιητικό βαθμό το σκοπό της ελαχιστοποίησης των χρόνων άφιξης/κοστών. Οι περισσότερες αποκλίσεις από τα ελάχιστα κόστη κάθε σετ δεδομένων, ήταν πολύ μικρές, κάτω από 5%, με τις περισσότερες περιπτώσεις κάτω από 1.5%. Η παραλλαγή η οποία έδωσε και τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν η δεύτερη για την πλειοψηφία των σετ δεδομένων, με την παραλλαγή 1 να δίνει όμως και αυτή πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα της ίδιας τάξης .

Τέλος, για μελλοντική έρευνα πάνω στα προβλήματα που αφορούν το πεδίο της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας με στόχο την γρήγορη ανταπόκριση και εξυπηρέτηση, θα μπορούσαν να εξετασθούν διάφορες οπτικές και μεταβλητές του προβλήματος, όπως η προσθήκη περισσότερων αποθηκών, οι πολλαπλές επιστροφές σε κοντινές αποθήκες, αλλά και η χρησιμοποίηση πολλών και διάφορων ειδών οχημάτων ταυτόχρονα, όπως ιπτάμενων, για μεγαλύτερη ανταπόκριση σε περίοδο ανάγκης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Kara, mdat, Yeti, B., & Kadri, M. (2008). Cumulative Vehicle Routing Problems. In Vehicle Routing Problem. InTech. <https://doi.org/10.5772/5812>
- [2] Corona-Gutiérrez, K., Nucamendi-Guillén, S., & Lalla-Ruiz, E. (2022). Vehicle routing with cumulative objectives: A state of the art and analysis. In Computers and Industrial Engineering (Vol. 169). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108054>
- [3] Ngueveu, S. U., Prins, C., & Wolfler Calvo, R. (2010). An effective memetic algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 37(11), 1877–1885. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.014>
- [4] Μαρινάκης Ιωάννης, Μαρινάκη Μαγδαληνή & Μυγδαλάς, Αθανάσιος (2019). Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων στη Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (2^η έκδοση). Χανιά: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- [5] Kyriakakis, N. A., Marinaki, M., & Marinakis, Y. (2021). A hybrid ant colony optimization-variable neighborhood descent approach for the cumulative capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 134, 105397. <https://doi.org/10.1016/J.COR.2021.105397>
- [6] Raillani, H., Hammadi, L., Altimari Samed, M. M., el Ballouti, A., & Barbu, V. S. (2020). Humanitarian logistics in the disaster relief supply chain: State of the art. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 129, 181–193. <https://doi.org/10.2495/RISK200161>
- [7] Das, L. (2016). Role of Humanitarian Supply Chain Management in Various Disaster Situations Across the Globe. *Springer Proceedings in Business and Economics*, 253–271. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_18
- [8] Agárdi, A., Kovács, L., & Bányai, T. (2022). Mathematical Model for the Generalized VRP Model. *Sustainability* (Switzerland), 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811639>

[9] Kamau, C. W. (2013). HUMANITARIAN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN KENYA.

[10] Paciarotti, C., Piotrowicz, W. D., & Fenton, G. (2021). Humanitarian logistics and supply chain standards. Literature review and view from practice. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, 11(3), 550–573. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-11-2020-0101>

[11] Abidi, H., & Klumpp, M. (n.d.). Measuring Success in Humanitarian Supply Chains.

[12] Yadav, D. K., & Barve, A. (2015). Analysis of critical success factors of humanitarian supply chain: An application of Interpretive Structural Modeling. International Journal of Disaster Risk Reduction, 12, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.01.008>

[13] Thompson, D. D. P., & Anderson, R. (2021). The COVID-19 response: considerations for future humanitarian supply chain and logistics management research. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, 11(2), 157–175. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-01-2021-0006>

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<https://sourcemap.com/news/what-is-supply-chain-mapping>

<https://www.shutterstock.com/th/image-vector/production-stages-processing-milk-dairy-supply-1153616539>

<https://www.linkedin.com/pulse/iot-supply-chain-management-harpalsinh-vala>

<https://sancagalpoes.com.br/quais-sao-os-tipos-de-layout-de-estoque/>

<https://www.wtagroup.com/shipping-resources/the-difference-between-logistics-and-supply-chain-management-scm>

<https://tampabay.ascm.org/events/may-pdm-save-the-date>

<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Study-on-the-Sub-Regionalization-of-Humanitarian-Salvad%C3%B3-Lauras/188da89707b3be016847538f130bb8848595ce98>

<https://www.interviewbit.com/blog/travelling-salesman-problem/>

<https://developers.google.com/optimization/routing/vrp>

http://repfiles.kallipos.gr/html_books/93/04a-main.html