

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**« Εφαρμογή Γενετικών Αλγορίθμων στο πρόβλημα
διανομής μιας εταιρίας αλουμινίου »**

Κούνουπα Χρυσούλα
A.M. 2000010066

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ιωάννης Μαρινάκης

ΧΑΝΙΑ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσοι βοήθησαν στην πραγμάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας και κυρίως τον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Μαρινάκη, για τις απαραίτητες κατευθύνσεις που μου έδωσε και τις πολύτιμες συμβουλές του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

<i>Περίληψη.....</i>	<i>5</i>
<i>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1 Ορισμός των συστημάτων διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2 Εφοδιαστική Αλυσίδα.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3 Πως λειτουργεί ένα σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.1 Προώθηση παραγγελιών.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2 Διαχείριση αποθεμάτων.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.3 Μεταφορά.....</i>	<i>18</i>
<i>1.3.4 Κανάλια Διανομής.....</i>	<i>19</i>
<i>1.3.5 Συγχώνευση φορτίων.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.6 Τρόποι μεταφοράς.....</i>	<i>22</i>
<i>1.4 Διοικητικά Θέματα των συστημάτων διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.....</i>	<i>27</i>
<i>1.5 Αποφάσεις πάνω στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.....</i>	<i>31</i>
<i>1.6 Σύστημα Προγραμματισμού Επιχειρηματικών Πόρων(ERP).....</i>	<i>32</i>
<i>Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP).....</i>	<i>38</i>
<i>2.1 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων.....</i>	<i>38</i>
<i>2.2 Στόχοι της επίλυσης του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP).....</i>	<i>44</i>
<i>Κεφάλαιο 3: Αλγόριθμοι Επίλυσης των Προβλημάτων Διανομής.....</i>	<i>46</i>
<i>3.1 Εισαγωγή.....</i>	<i>46</i>
<i>3.2 Ευρετικοί Αλγόριθμοι.....</i>	<i>47</i>
<i>3.2.1 Αλγόριθμος των Clarke&Wright.....</i>	<i>47</i>
<i>3.2.2 Μέθοδος των δύο φάσεων των Fisher and Jaikumar.....</i>	<i>49</i>
<i>3.3 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι.....</i>	<i>50</i>

3.3.1 Προσομοιωμένη ανόπτηση(Simulated Annealing).....	51
3.3.2 Περιορισμένη αναζήτηση(Tabu search)	53
3.3.3 Ο αλγόριθμος των μυρμηγκιών.....	56
3.3.4 Νευρωνικά Δίκτυα.....	57
3.3.5 Γενετικοί Αλγόριθμοι.....	60
Κεφάλαιο 4: Γενετικοί Αλγόριθμοι.....	63
4.1 Βασικά σημεία των Γενετικών Αλγορίθμων	63
4.1.1 Κωδικοποίηση.....	63
4.1.2 Συνάρτηση Καταλληλότητας.	65
4.1.3 Αρχικοποίηση του πληθυσμού.	65
4.1.4 Επιλογή των τελεστών.	66
4.1.5 Τελεστές αναπαραγωγής	68
4.2 Το εργαλείο «Genetic Algorithm Toolbox».....	72
Κεφάλαιο 5: Η εταιρία ΜΑΛΦΙΝ Α.Ε.Β.Ε.....	77
5.1 Παρουσίαση της εταιρίας ΜΑΛΦΙΝ Α.Ε.Β.Ε.	77
5.2 Διαχείριση των παραγγελιών.....	78
5.3 Παραγωγική Διαδικασία	80
Κεφάλαιο 6: Μοντελοποίηση του προβλήματος.....	84
6.1 Εισαγωγή.....	84
6.2 Μεταβλητές του προβλήματος.....	84
6.3 Αντικειμενική Συνάρτηση και Περιορισμοί.....	85
Κεφάλαιο 7: Παρουσίαση της επεξεργασίας των δεδομένων και των αποτελεσμάτων.....	96
7.1 Επεξεργασία των δεδομένων μέσω του toolbox.....	96
7.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα και συμπεράσματα	111
Βιβλιογραφία	116

Περίληψη Εργασίας

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα πρόβλημα διανομής, το οποίο επιλύεται με τη βοήθεια των Γενετικών Αλγορίθμων. Περιληπτικά:

- στο *Κεφάλαιο 1* γίνεται λεπτομερής εισαγωγή στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- στο *Κεφάλαιο 2* παρουσιάζεται αναλυτικά το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP).
- το *Κεφάλαιο 3* ασχολείται με τους ευρετικούς και μεθευρετικούς αλγόριθμους επίλυσης των προβλημάτων διανομής.
- στο *Κεφάλαιο 4* γίνεται αναλυτική παρουσίαση των Γενετικών Αλγορίθμων.
- το *Κεφάλαιο 5* αφιερώνεται στην παρουσίαση της εταιρίας «ΜΑΛΦΙΝ Α.Ε.Β.Ε.», με την οποία θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή.
- στο *Κεφάλαιο 6* μοντελοποιείται μαθηματικά το πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε και παρατίθενται πίνακες με τα δεδομένα του προβλήματος.
- στο *Κεφάλαιο 7*, τέλος, γίνεται αναλυτική εφαρμογή των Γενετικών Αλγορίθμων, μέσω του λογισμικού προγράμματος Matlab.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

1.1 Ορισμός των συστημάτων διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ο όρος «**συστήματα διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας**» χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από το στρατό, για να περιγράψει τις διαδικασίες που ακολουθούνταν ώστε να διατηρηθεί το στράτευμα στο πεδίο της μάχης. Με το πέρασμα των χρόνων, η έννοια του όρου γενικεύτηκε και σε άλλες επαγγελματικές δραστηριότητες.

Τα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας ασχολούνται με το σχεδιασμό και τον έλεγχο της ροής της ύλης και των συσχετιζόμενων πληροφοριών σε διάφορους οργανισμούς, τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Ο γενικότερος σκοπός τους είναι να πάνε τα κατάλληλα υλικά στο κατάλληλο μέρος την κατάλληλη ώρα, βελτιστοποιώντας παραλλήλως ένα δεδομένο μέτρο απόδοσης (π.χ. ελαχιστοποίηση λειτουργικού κόστους) και ικανοποιώντας ένα δεδομένο σύνολο περιορισμών (π.χ. όριο στον προϋπολογισμό).

Ένα σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας διαμορφώνεται από ένα σύνολο εγκαταστάσεων, οι οποίες ενώνονται με υπηρεσίες μεταφοράς. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι χώροι στους οποίους διάφορα υλικά υπόκεινται σε επεξεργασία (κατασκευάζονται, φυλάσσονται, διαχωρίζονται, πωλούνται ή καταναλώνονται). Σε αυτούς περιλαμβάνονται κέντρα κατασκευής και συναρμολόγησης, αποθήκες, κέντρα διανομής, σημεία μεταφόρτωσης, σταθμοί μεταφοράς, κέντρα ταξινόμησης αλληλογραφίας κλπ.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η μεγάλη γκάμα των δραστηριοτήτων που περικλείουν. Ως εκ τούτου, παρόλο που η διαχείριση προμηθειών,

αποθεμάτων, μεταφορών, αποθήκης και διανομής είναι πολύ σημαντική για όλους αυτούς τους τομείς, τα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας ενοποιούν τα παραπάνω έτσι ώστε να παρέχουν το χώρο και το χρόνο που είναι πιο συμφέροντες για την εταιρία ή το σύστημα.

Ο υπερβολικός παγκόσμιος όγκος διαφορετικών βιομηχανιών έχει προκαλέσει έντονο ανταγωνισμό. Παραλλήλως, η διαθεσιμότητα πολλών εναλλακτικών προϊόντων έχει δημιουργήσει έναν πολύ απαιτητικό τύπο καταναλωτή, ο οποίος επιμένει σε συνεχή ροή νέων μοντέλων. Συνεπώς, ζητείται από ένα σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας να κάνει πιο πολλές συναλλαγές, με μικρότερες ποσότητες, σε λιγότερο χρόνο, με μικρότερο κόστος και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Για να μεγιστοποιηθεί η αξία σ' ένα σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, πρέπει να ληφθεί ένα σύνολο αποφάσεων, που αφορά για παράδειγμα από ποιο αντικείμενο πρέπει να επιλεγεί κι από ποιον όροφο της αποθήκης για να εκπληρωθεί η παραγγελία ενός πελάτη μέχρι το σχεδιασμό μιας καινούριας βιομηχανικής εγκατάστασης. Ο σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας υποστηρίζει όλο το εύρος των αποφάσεων που συσχετίζονται με τη λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης αυτής.

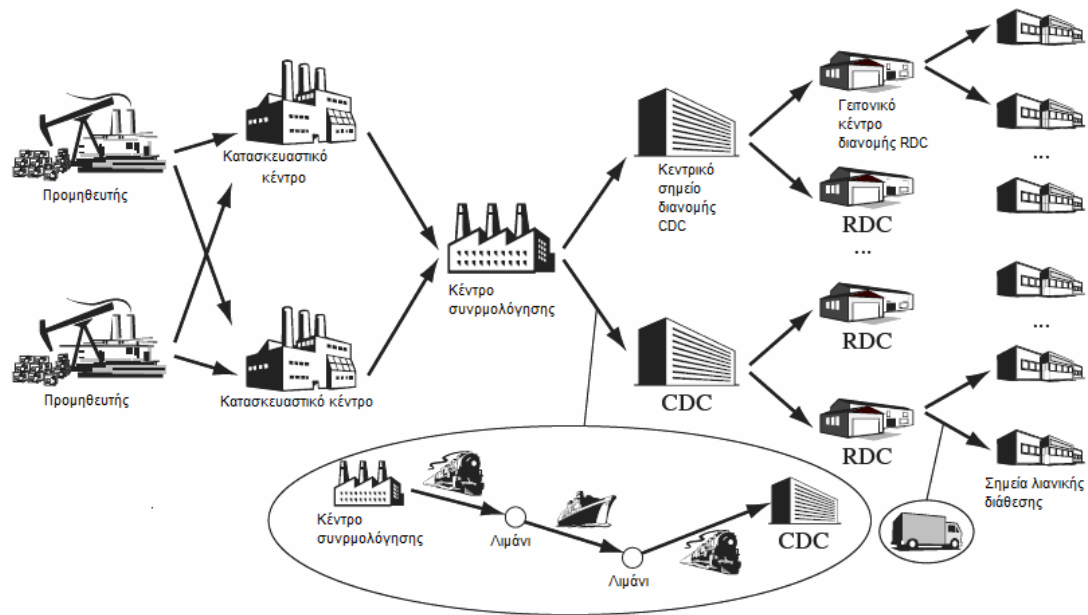
Υπάρχει μία τεράστια ποσότητα βιβλιογραφίας, πακέτων λογισμικού, εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων και σχεδιαστικών αλγορίθμων που επικεντρώνονται σε μεμονωμένες συνιστώσες ενός συστήματος διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας ή σε μεμονωμένο σχεδιασμό αυτού. Τα τελευταία χρόνια, πολλές εταιρίες έχουν αναπτύξει τα *συστήματα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων* (**ERP - enterprise resource planning**), ώστε να μπορέσει να ικανοποιηθεί η παγκόσμια εταιρική ζήτηση για το σχεδιασμό όλης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στην αρχική τους εφαρμογή, τα συστήματα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP) χρησιμοποιούνταν για την καταγραφή των συναλλαγών και όχι για το σχεδιασμό της διαχείρισης των πόρων μιας επιχείρησης. Το κύριο πλεονέκτημά τους ήταν η παροχή συνακόλουθων, επίκαιρων και προσβάσιμων στοιχείων στην επιχείρηση.

Πιο πρόσφατα, τα συστήματα αυτά επεκτάθηκαν σε *εξελιγμένα συστήματα σχεδιασμού*(advanced planning systems **APSs**). Η κυριότερη λειτουργία των εξελιγμένων συστημάτων σχεδιασμού(APSs) είναι για πρώτη φορά ο σχεδιασμός της διαχείρισης των πόρων μιας επιχείρησης.[7]

1.2 Εφοδιαστική Αλυσίδα

Η **εφοδιαστική αλυσίδα** είναι ένα σύνθετο σύστημα, στο οποίο πρώτες ύλες μετατρέπονται σε ολοκληρωμένα προϊόντα και μετά διανέμονται στους τελικούς χρήστες (καταναλωτές ή εταιρίες). Στο **σχήμα 1.1** απεικονίζεται μία κλασσική εφοδιαστική αλυσίδα, στην οποία η παραγωγή και τα συστήματα διανομής είναι το καθένα σχεδιασμένο σε δύο στάδια.



Σχήμα 1.1: Εφοδιαστική Αλυσίδα

Στο σύστημα παραγωγής του σχήματος 1.1, εξαρτήματα και ημιολοκληρωμένα κομμάτια παράγονται σε δύο κατασκευαστικά κέντρα, ενώ τα ολοκληρωμένα κομμάτια συναρμολογούνται σε διαφορετική εγκατάσταση. Το σύστημα διανομής αποτελείται από δύο κεντρικά σημεία διανομής (CDCs), τα οποία ανεφοδιάζονται κατευθείαν από το κέντρο συναρμολόγησης, το οποίο με τη σειρά του εφοδιάζει δύο γειτονικά κέντρα διανομής (RDCs). Αναλόγως βέβαια το προϊόν και τη ζήτηση, μπορεί να είναι καταλληλότερος ο σχεδιασμός μιας εφοδιαστικής αλυσίδας χωρίς ξεχωριστά κέντρα κατασκευής και συναρμολόγησης, χωρίς RDCs και ίσως με διαφορετικές εγκαταστάσεις. Κάθε σύνδεσμος μεταφοράς θα μπορούσε να είναι να είναι μια απλή γραμμή μεταφοράς ή μία πιο σύνθετη διαδικασία μεταφοράς με επιπλέον εγκαταστάσεις.

Οι εφοδιαστικές αλυσίδες συχνά διαχωρίζονται σε συστήματα έλξης (**pull**) ή προώθησης (**push**). Σ' ένα σύστημα έλξης(**pull** ή MTO-make to order), ολοκληρωμένα προϊόντα κατασκευάζονται μόνο κατόπιν ζήτησης.

Γι' αυτό το λόγο, δε χρειάζεται να υπάρχει απόθεμα. Σ' ένα σύστημα προώθησης(**push** ή MTS-make to stock), οι αποφάσεις για παραγωγή και διανομή λαμβάνονται κατόπιν προβλέψεων. Κατά συνέπεια, η παραγωγή αναμένει αποτελεσματική ζήτηση, ενώ υπάρχει απόθεμα στις αποθήκες και στα μαγαζιά.

Ποιο από τα δύο παραπάνω συστήματα είναι καταλληλότερο εξαρτάται από τις προδιαγραφές του προϊόντος, από τη διαδικασία κατασκευής, καθώς και από την ποσότητα και τη μεταβλητότητα της ζήτησης. Τα συστήματα έλξης(MTO) είναι πιο κατάλληλα όταν ο χρόνος υλοποίησης ενός προγράμματος είναι σύντομος, τα προϊόντα έχουν μεγάλο κόστος και η ζήτηση είναι ασταθής.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται μία ενδιάμεση λύση. Για παράδειγμα, σε συστήματα συναρμολόγησης(**make to assembly**-MTA), εξαρτήματα και ημιολοκληρωμένα κομμάτια κατασκευάζονται με σύστημα προώθησης(push), ενώ το τελικό στάδιο συναρμολόγησης γίνεται με σύστημα έλξης(pull).

Μέσω της εφοδιαστικής αλυσίδας, η ροή των προϊόντων γίνεται από τις πηγές των πρώτων υλών προς τους καταναλωτές. Εξαιρούνται παλιά ή ελαττωματικά προϊόντα, τα οποία πρέπει να επιστραφούν για επισκευή ή απόσυρση. Απ' την άλλη μεριά, οι πληροφορίες ρέουν αντίστροφα. Διασχίζουν την αλυσίδα από τους καταναλωτές προς τους προμηθευτές. Σ' ένα σύστημα έλξης(MTO), οι παραγγελίες συγκεντρώνονται από τους πωλητές κι εν συνεχεία μεταβιβάζονται στους κατασκευαστές, οι οποίοι με τη σειρά τους παραγγέλνουν τα απαιτούμενα εξαρτήματα στους προμηθευτές τους. Παρομοίως, σ' ένα σύστημα προώθησης(MTS), χρησιμοποιούνται παλαιότερες πωλήσεις ώστε να προβλεφθεί μελλοντική ζήτηση και να παραγγελθούν τα σχετικά υλικά.

Οι ροές των προϊόντων και των πληροφοριών δε γίνονται ακαριαίως μέσα στο «κανάλι» του ανεφοδιασμού. Κατά πρώτους, η μεταφορά

ανάμεσα στις πηγές πρώτων υλών, τις εγκαταστάσεις της παραγωγής και τα μέρη κατανάλωσης είναι χρονοβόρα. Εν δευτέρους, η κατασκευή μπορεί να διαρκέσει αρκετό χρονικό διάστημα, όχι μόνο ως διαδικασία, αλλά κι επειδή είναι πιθανό να υπάρχει περιορισμένη χωρητικότητα στις εγκαταστάσεις, οπότε να μη μπορούν να κατασκευαστούν αμέσως μεγάλες ποσότητες. Τέλος, η ροή των πληροφοριών μπορεί να γίνεται αργά, επειδή η συγκέντρωση, διαβίβαση κι επεξεργασία των παραγγελιών χρειάζονται χρόνο ή επειδή οι μεταπωλητές δίνουν τις παραγγελίες περιοδικά(π.χ. μία φορά την εβδομάδα) και λειτουργούν με το ίδιο τρόπο και οι διανεμητές(π.χ. ανεφοδιάζονται δύο φορές την εβδομάδα).

Μία εφοδιαστική αλυσίδα χαρακτηρίζεται «κάθετα ολοκληρωμένη», αν οι συνιστώσες της (πηγές πρώτων υλών, εγκαταστάσεις, σύστημα μεταφοράς κλπ.) ανήκουν σε μία εταιρία. Πλήρως κάθετα ολοκληρωμένα συστήματα είναι πολύ σπάνια. Συνήθως, μία αλυσίδα συγκροτείται από διάφορες ανεξάρτητες εταιρίες. Μία αντίστοιχη περίπτωση είναι αυτή των κατασκευαστών που αγοράζουν πρώτες ύλες από εξωτερικούς προμηθευτές ή χρησιμοποιούν εργολάβους, οι οποίοι αναλαμβάνουν τη διεκπεραίωση του έργου, όπως μεταφορά κι εναποθήκευση.

Οι σχέσεις των εταιριών που ανήκουν σε μία εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να είναι πολύ συγκεκριμένες και βασισμένες στις συναλλαγές ή να στηρίζονται σε στρατηγικές συμμαχίες. Οι στρατηγικές συμμαχίες περιλαμβάνουν την «εφοδιαστική τρίτου» (**third-party συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας(3PL)**) και **vendor-managed resupply**). Το 3PL είναι μια μακροχρόνια δέσμευση για τη χρήση μιας εξωτερικής εταιρίας, η οποία θα αναλαμβάνει να εκτελεί όλη ή μέρος της διακίνησης των προϊόντων μιας άλλης εταιρίας. Αυτό διευκολύνει την εταιρία, καθώς επικεντρώνεται στον πυρήνα της δουλειάς της, ενώ αφήνει τη διανομή σ' έναν εξωτερικό παράγοντα.

Το 3PL είναι κατάλληλο όταν μια εταιρία δεν είναι διατεθειμένη να επενδύσει πολλά σε υποδομές μεταφοράς και αποθήκευσης ή δε μπορεί λόγω περιορισμένης ζήτησης. Απ' την άλλη, εξαιτίας του 3PL, μια εταιρία χάνει τον έλεγχο των διανομών της κι έτσι είναι πιθανό να προκληθούν μεγάλα κόστη στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. [8]

1.3 Πως λειτουργεί ένα σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας

Τα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν τρεις κύριες διαδικασίες: προώθηση παραγγελιών, διαχείριση αποθεμάτων και μεταφορά.

1.3.1 Προώθηση παραγγελιών

Η προώθηση μιας παραγγελίας είναι αυστηρά συνδεδεμένη με τη ροή των πληροφοριών μέσα στο σύστημα και περιλαμβάνει ένα σύνολο εργασιών. Ο πελάτης μπορεί να παραγγείλει το προϊόν που τον ενδιαφέρει συμπληρώνοντας μία φόρμα παραγγελίας. Η συγκεκριμένη παραγγελία διαβιβάζεται κι ελέγχεται. Εν συνεχεία, επαληθεύεται η διαθεσιμότητα του προϊόντος, καθώς και η αξιοπιστία του πελάτη. Κατ' επέκταση, το προϊόν ανακτάται από την αποθήκη ή παράγεται, συσκευάζεται κι αποστέλλεται μαζί με τα απαραίτητα χαρτιά δελτία αποστολής. Τέλος, ο πελάτης πρέπει να ενημερώνεται κατά τη διάρκεια για την κατάσταση της παραγγελίας του.

Η όλη παραπάνω διαδικασία συνηθιζόταν να είναι πολύ χρονοβόρα. Τα τελευταία χρόνια όμως, έχει επωφεληθεί αρκετά από την τεχνολογική εξέλιξη. Η σάρωση των γραμμικών κωδικών(barcode) επιτρέπει στους πωλητές να αναγνωρίζουν αμέσως το προϊόν που ζητείται και να ενημερώνουν παραλλήλως την αποθήκη. Οι φορητοί υπολογιστές(laptop) και οι τηλεπικοινωνιακοί διαμορφωτές(modem) δίνουν στους εξωτερικούς πωλητές τη δυνατότητα να ελέγχουν σε πραγματικό χρόνο αν ένα προϊόν είναι διαθέσιμο και να εισέρχονται στιγμιαία στις παραγγελίες.

1.3.2 Διαχείριση αποθεμάτων

Η διαχείριση των αποθεμάτων είναι ένας τομέας «κλειδί» για το σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός συστήματος διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα αποθέματα είναι σωροί αγαθών, που περιμένουν να παρασκευαστούν, να μεταφερθούν ή να πουληθούν. Κάποια κλασσικά παραδείγματα είναι τα εξής:

- Εξαρτήματα και ημιολοκληρωμένα προϊόντα, τα οποία αναμένουν στην εγκατάσταση να κατασκευαστούν ή να συναρμολογηθούν.
- Εμπόρευμα που μεταφέρεται μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα.
- Έτοιμα προϊόντα που τοποθετούνται στην αποθήκη για πώληση με σειρά προτεραιότητας.

- Έτοιμα προϊόντα που αποθηκεύονται από τους τελικούς χρήστες(καταναλωτές, βιομηχανίες κλπ.), ώστε να ικανοποιήσουν μελλοντικές ανάγκες.

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους είναι χρήσιμο να υπάρχει απόθεμα σε ορισμένες εγκαταστάσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας.

- *Βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης.* Η ύπαρξη αποθεμάτων έτοιμων προϊόντων σε αποθήκες κοντά στους πελάτες αποδίδει μικρότερο χρόνο υλοποίησης της παραγγελίας.
- *Μείωση του συνολικού κόστους των συστημάτων διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.* Η μεταφορά των προϊόντων χαρακτηρίζεται από υψηλά κόστη. Αντί λοιπόν να γίνονται διανομές μικρής ποσότητας παραγγελιών σε μακρινές αποστάσεις, είναι προτιμότερο για μια εταιρία να ικανοποιεί τη ζήτηση μέσω τοπικών αποθηκών.
- *Επιτυχής αντιμετώπιση της ζήτησης απρογραμμάτιστα, μέσα στο χρόνο που έχει δοθεί για υλοποίηση παραγγελίας.* Τα αποθέματα βοηθούν στην ικανοποίηση της ζήτησης, ακόμα κι όταν προκύψει απρόσμενη ζήτηση ή καθυστερήσεις στην παράδοση(λόγω π.χ. κακών καιρικών συνθηκών).
- *Διαθεσιμότητα εποχιακών προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.* Τα εποχιακά προϊόντα μπορούν να φυλάσσονται σε αποθήκες μόλις παραχθούν και να πωλούνται τους επακόλουθους μήνες.

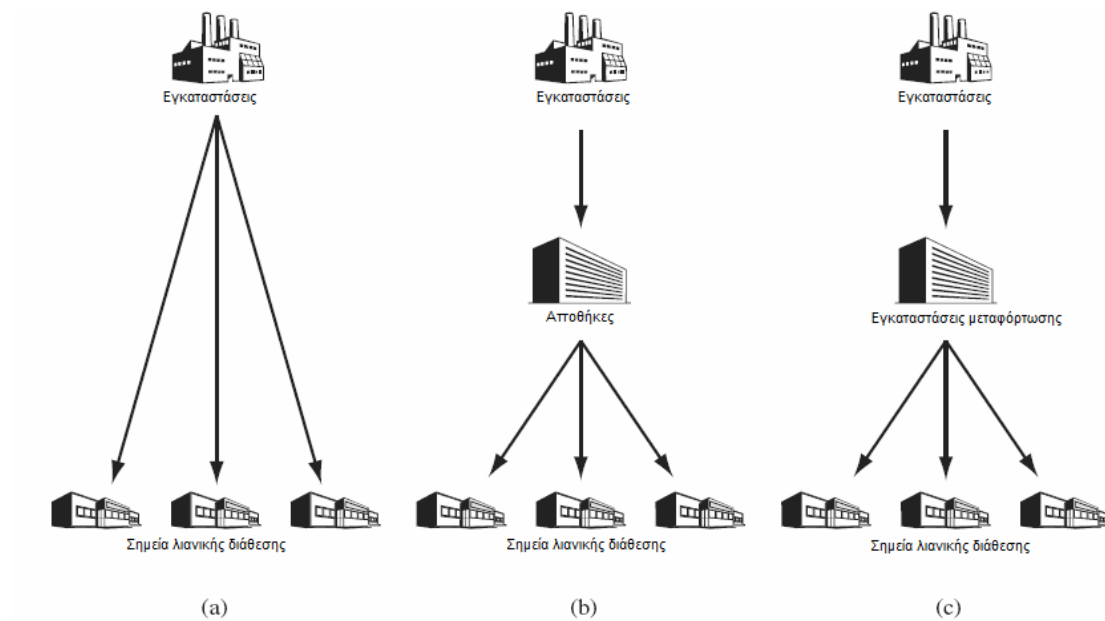
- *Κέρδος μέσω «παιχνιδιού» στις τιμές.* Το εμπόρευμα μπορεί να παρασκευαστεί όταν οι τιμές είναι χαμηλές, να φυλαχθεί και να πουληθεί όταν οι τιμές ανέβουν.
- *Γίνεται δυνατό να ξεπεραστεί η όποια ανικανότητα στη διαχείριση του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας.* Μια εταιρία διανομής κρατάει απόθεμα επειδή δεν έχει την ικανότητα να συντονίσει ανεφοδιασμό και ζήτηση.

Παρόλα ταύτα, η φύλαξη αποθεμάτων μπορεί να έχει υψηλό κόστος για μια εταιρία. Ένας κύριος λόγος είναι η συντήρηση των αποθηκών, είτε αυτές είναι ιδιόκτητες, νοικιασμένες ή δημόσιες.

Στόχος της διαχείρισης αποθεμάτων είναι να καθορίσει τα επίπεδα του αποθέματος(stock), ώστε να μειωθεί το συνολικό λειτουργικό κόστος και να ικανοποιείται η ζήτηση. Στην πράξη, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν πέντε ζητήματα:

1. η βαρύτητα κάθε πελάτη.
2. η οικονομική σημασία των διαφορετικών προϊόντων.
3. η πολιτική που ακολουθείται στις μεταφορές.
4. η ευελιξία της διαδικασίας παραγωγής.
5. η πολιτική που ακολουθούν οι ανταγωνιστές.

Όταν διανέμεται ένα προϊόν, τρεις κύριες στρατηγικές μπορούν να ακολουθηθούν: απευθείας φόρτωση, αποθήκευση, εγκαταστάσεις μεταφόρτωσης(crossdocking) (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2 Στρατηγικές διανομής: (a)απευθείας διάθεση, (b)αποθήκευση, (c)εγκαταστάσεις μεταφόρτωσης

Όταν ακολουθείται στρατηγική απευθείας φόρτωσης, τα προϊόντα διατίθενται άμεσα από τον κατασκευαστή στον τελικό χρήστη (Σχήμα 1.2a). Η άμεση διάθεση εξαλείφει το κόστος λειτουργίας μιας κεντρικής αποθήκης, ενώ μειώνει το χρόνο υλοποίησης της παραγγελίας. Υπάρχει όμως και η περίπτωση η ποσότητα που θα πρέπει να διατεθεί να είναι μικρή και οι πελάτες να είναι διασκορπισμένοι, οπότε να είναι απαραίτητος ένας στόλος μικρών φορτηγών. Συνεπώς, η άμεση διάθεση είναι συνήθης όταν προκύπτουν γεμάτα φορτηγά ή όταν «ευαίσθητα» αγαθά πρέπει να παραδοθούν στην ώρα τους.

Η αποθήκευση είναι μία κλασσική προσέγγιση όταν αγαθά παραλαμβάνονται από αποθήκες και φυλάσσονται σε δεξαμενές, παλέτες ή ράφια(Σχήμα 1.2b). Όταν φθάνει μια παραγγελία, τα αντικείμενα ανακτώνται, συσκευάζονται και αποστέλλονται στον πελάτη. Τέσσερις είναι οι βασικές διαδικασίες της αποθήκευσης:

1. παραλαβή εισερχόμενων προϊόντων
2. αποθήκευση
3. διαχωρισμός παραγγελίας
4. αποστολή

Οι πιο ακριβές από τις παραπάνω διαδικασίες είναι η αποθήκευση και ο διαχωρισμός μιας παραγγελίας, εξαιτίας του κόστους διατήρησης αποθέματος και των εργατικών.

Οι εγκαταστάσεις μεταφόρτωσης(*crossdocking*) είναι μία σχετικώς καινούρια τεχνική στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία έχει επιτυχώς εφαρμοστεί σε διάφορες αλυσίδες λιανικής πώλησης (Σχήμα 1.2c). Πρόκειται για μία εγκατάσταση μεταφόρτωσης, στην οποία εισερχόμενα φορτία ταξινομούνται, συγκεντρώνονται με άλλα προϊόντα και μεταφέρονται απευθείας σε εξερχόμενες νταλίκες, χωρίς ενδιάμεση αποθήκευση ή διαχωρισμό παραγγελιών. Κατά συνέπεια, τα φορτία περνούν μόλις λίγες ώρες στην εγκατάσταση. Για την καλύτερη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος, απαιτείται μεγάλος όγκος και μικρή ποικιλία στη ζήτηση, όπως επίσης και εύκολα στη μετακίνηση προϊόντα.

Αν χρησιμοποιείται *στρατηγική αποθήκευσης*, πρέπει να αποφασιστεί αν το σύστημα θα είναι συγκεντρωτικό ή μη συγκεντρωτικό.

Συγκεντρωτικό Σύστημα	Μη Συγκεντρωτικό Σύστημα
Μία μόνο αποθήκη εξυπηρετεί όλη την αγορά.	Η αγορά χωρίζεται σε διαφορετικές ζώνες, κάθε μία από τις οποίες εξυπηρετείται από μία μικρότερη αποθήκη.
Μικρότερο κόστος λειτουργίας.	Μικρότερος χρόνος υλοποίησης του προγράμματος, αφού οι αποθήκες είναι πιο κοντά στους πελάτες.
Μικρότερο το απόθεμα που απαιτείται, αν οι απαιτήσεις των πελατών είναι ασυσχέτιστες(δεν είναι ίδια η ζήτηση).	Μεγαλύτερο συνολικό απόθεμα, διότι μπορεί μια ζώνη να έχει ζήτηση πάνω απ' το μέσο όρο και μία άλλη κάτω απ' το Μ.Ο.
Χαμηλότερο κόστος μεταφοράς των προϊόντων από τις εγκαταστάσεις κατασκευής στην αποθήκη.	Χαμηλότερο κόστος μεταφοράς των προϊόντων από τις αποθήκες στους πελάτες.

1.3.3 Μεταφορά

Ρόλο «κλειδί» στον οικονομικό τομέα διαδραματίζει η *μεταφορά των φορτίων*. Με τη μεταφορά των φορτίων, διευκολύνεται η παραγωγή και η κατανάλωση σε διάφορες τοποθεσίες, που απέχουν μεταξύ τους αρκετές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες χιλιόμετρα. Κατά συνέπεια, διευρύνεται η αγορά, διεγείροντας έτσι τον ανταγωνισμό ανάμεσα σε κατασκευαστές από διάφορες χώρες. Επιπλέον, εταιρίες που εδρεύουν σε ανεπτυγμένες χώρες μπορούν να εκμεταλλευτούν τους χαμηλούς μισθούς στις αναπτυσσόμενες χώρες. Τέλος, «ευαίσθητα» και «φθαρτά» αγαθά γίνονται διαθέσιμα στην ευρύτερη αγορά.

Η μεταφορά των φορτίων μπορεί να κατέχει ακόμα και τα δύο τρίτα του συνολικού κόστους των συστημάτων διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ έχει μεγάλο αντίκτυπο στο επίπεδο της εξυπηρέτησης των πελατών. [8]

Ένας κατασκευαστής ή ένας διανομέας μπορεί να διαλέξει ανάμεσα σε τρεις εναλλακτικούς τρόπους μεταφοράς των υλικών του:

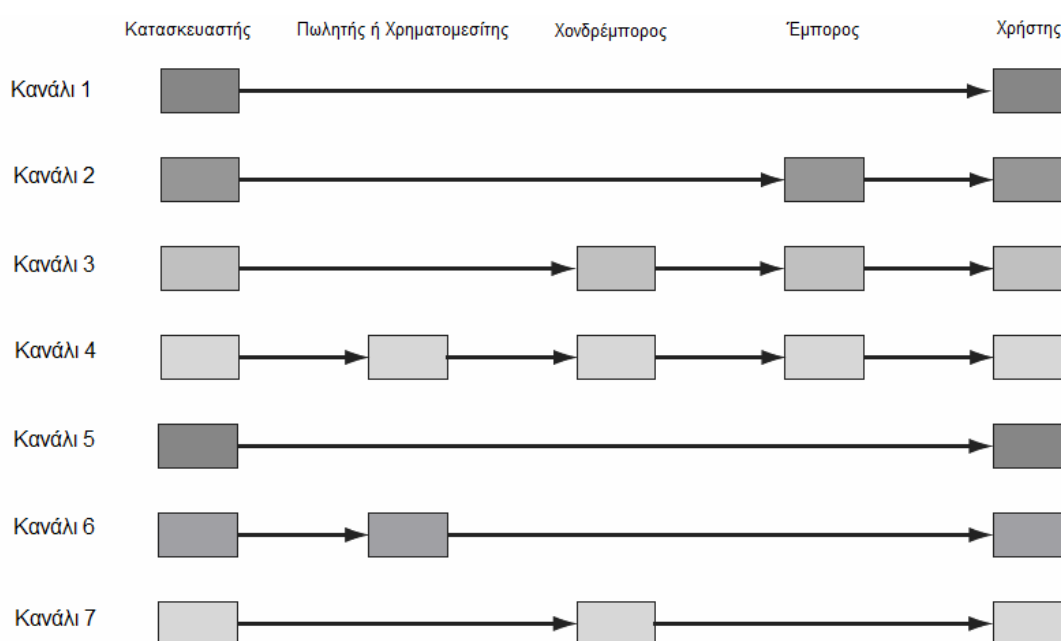
1. **Ιδιωτική μεταφορά.** Η εταιρία μπορεί να διαθέτει ιδιόκτητο ή ενοικιαζόμενο στόλο οχημάτων.
2. **Μεταφορά μέσω συμβολαίου.** Μία μεταφορική εταιρία μπορεί να είναι υπεύθυνη για την απευθείας μεταφορά των φορτίων, έχοντας συμβόλαιο με την κατασκευάστρια εταιρία.
3. **Κοινή μεταφορά.** Η κατασκευάστρια εταιρία μπορεί να καταφύγει σε μία μεταφορική, για να εξυπηρετήσει ορισμένες ανάγκες των πελατών της.

1.3.4 Κανάλια Διανομής

Η διαδικασία που ακολουθείται μέχρι να φτάσουν τα προϊόντα στα καταστήματα ή στους τελικούς χρήστες μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκη. Υπάρχουν κάποιες κατασκευάστριες εταιρίες οι οποίες πωλούν τα προϊόντα τους απευθείας στους τελικούς χρήστες. Στην πλειοψηφία όμως των περιπτώσεων συμμετέχουν **μεσάζοντες** στη διανομή του προϊόντος. Αυτοί μπορεί να είναι *πωλητές* ή *χρηματομεσίτες*, που δρουν για λογαριασμό της κατασκευάστριας εταιρίας, ή *χονδρέμποροι* οι οποίοι αγοράζουν προϊόντα από τις εταιρίες κατασκευής και τα μεταπωλούν στους εμπόρους(π.χ. καταστήματα λιανικής), οι οποίοι με τη σειρά τους τα πωλούν στους τελικούς χρήστες. Οι μεσάζοντες προσθέτουν μία αύξηση στο κόστος ενός προϊόντος, αλλά

στο σύνολο ο καταναλωτής επωφελείται διότι προκύπτει μικρότερο κόστος μεταφοράς από αυτό που θα πετύχαιναν οι κατασκευαστές.

Ένα **κανάλι διανομής** είναι μία διαδρομή που ακολουθείται από ένα προϊόν, μέχρι να φτάσει από τον κατασκευαστή στον τελικό χρήστη. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού των καναλιών διανομής για κάθε προϊόν. Στο σχήμα 1.3 απεικονίζονται τα κύρια κανάλια διανομής.



Σχήμα 1.3 Κανάλια Διανομής

Τα κανάλια 1-4 αφορούν σε καταναλωτικά αγαθά, ενώ τα κανάλια 5-7 αφορούν σε βιομηχανικά αγαθά. Στο *πρώτο κανάλι* παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν μεσάζοντες. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι κατάλληλη για έναν περιορισμένο αριθμό προϊόντων (π.χ. καλλυντικά ή εγκυκλοπαίδειες που πωλούνται από πόρτα σε πόρτα, εργόχειρα που διατίθενται σε τοπικές αγορές κλπ.). Στο *κανάλι 2*, οι παραγωγοί διαθέτουν τα προϊόντα τους μέσω εμπόρων. Το *κανάλι 3* είναι δημοφιλές στους κατασκευαστές

εκείνους που διανείμουν τα προϊόντα τους μόνο σε μεγάλες ποσότητες, τις οποίες οι μικρέμποροι δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα ν' αγοράσουν. Το κανάλι 4 είναι παρόμοιο με το κανάλι 3, με τη διαφορά ότι οι κατασκευαστές εκπροσωπούνται από πωλητές ή χρηματομεσίτες.

Το κανάλι 5 χρησιμοποιείται για τα περισσότερα βιομηχανικά αγαθά(π.χ. πρώτες ύλες, εξοπλισμό κλπ.). Το κανάλι 6 είναι παρόμοιο με το κανάλι 5, μόνο που πωλητές ή χρηματομεσίτες εκπροσωπούν τους κατασκευαστές. Τέλος, το κανάλι 7 επιλέγεται για τη διακίνηση μικρών σε μέγεθος προϊόντων(π.χ. συνδετήρες). [8]

1.3.5 Συγχώνευση φορτίων

Ένας συνήθης τρόπος να επιτευχθεί περιορισμός του κόστους των συστημάτων διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η *συγχώνευση* των μικρών φορτίων σε μεγαλύτερα. Η συγχώνευση αυτή μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

1. Τα μικρά φορτία που πρέπει να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις συγκεντρώνονται, έτσι ώστε να μεταφερθούν μεγάλα φορτία σε μεγάλες αποστάσεις και μικρά φορτία σε μικρές αποστάσεις.
2. Διανομές και παραλαβές, σε διαφορετικές περιοχές, που είναι μικρότερες από τη χωρητικότητα του φορτηγού εξυπηρετούνται από το ίδιο όχημα σε μία διαδρομή πολλαπλών στάσεων.

3. Τα προγράμματα αποστολής των φορτίων προσαρμόζονται χρονικά(προωθούνται ή αναμένουν), έτσι ώστε να προκύψει ένα μεγάλο φορτίο αντί πολλών μικρών.

1.3.6 Τρόποι μεταφοράς

Υπάρχουν πέντε βασικοί τρόποι μεταφοράς, οι οποίοι μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερη εξυπηρέτηση. Αυτοί είναι: μέσω πλοίου, τρένου, αεροπλάνου, φορτηγών και αγωγών μεταφοράς.

Το εμπόρευμα συχνά συγκεντρώνεται σε παλέτες ή εμπορευματοκιβώτια(container), έτσι ώστε το ίδιο να προστατευθεί και να διευκολυνθεί ο χειρισμός του στους τερματικούς σταθμούς. Οι συνήθεις παλέτες έχουν διαστάσεις $100 \times 120 \text{ cm}^2$, $80 \times 100 \text{ cm}^2$, $90 \times 110 \text{ cm}^2$ και $120 \times 120 \text{ cm}^2$. Τα εμπορευματοκιβώτια(container) μπορεί να είναι ψυγεία, αεριζόμενα, κλειστά ή με άνω ανοίγματα κλπ. Αυτά που μεταφέρουν υγρά έχουν χωρητικότητα ανάμεσα σε 14.000lt. και 20.000lt. Τα χαρακτηριστικά των συνήθων εμπορευματοκιβωτίων(container) που μεταφέρουν στέρεα υλικά παρατίθενται στον πίνακα 1.2.

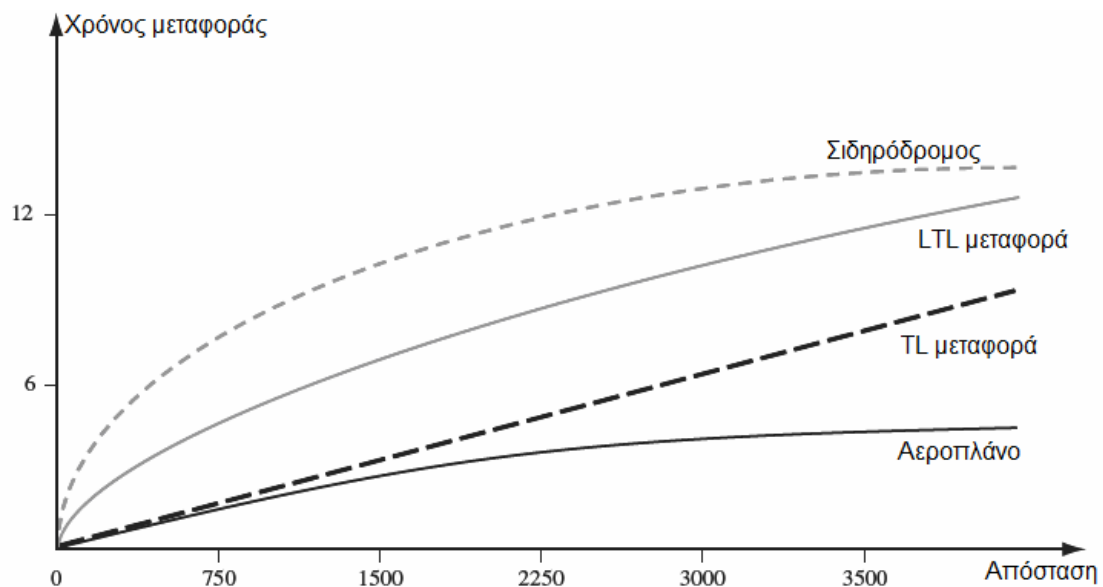
Τύπος	Μέγεθος (m^3)	Απόβαρο (kg)	Χωρητικότητα (kg)	Χωρητικότητα (m^3)
ISO 20	$5.899 \times 2.352 \times 2.388$	2300	21 700	33.13
ISO 40	$12.069 \times 2.373 \times 2.405$	3850	26 630	67.80

Πίνακας 1.2: Κύριες προδιαγραφές εμπορευματοκιβωτίων(container) που μεταφέρουν στέρεα υλικά.

Στην επιλογή του μεταφορικού μέσου, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν δύο βασικές παράμετροι: η τιμή(κόστος) κι ο χρόνος μεταφοράς. Το

κόστος προκύπτει απ' το άθροισμα όλων των εξόδων που σχετίζονται με τη λειτουργία των τερματικών σταθμών και των οχημάτων. Από τον ακριβότερο προς το φθηνότερο, οι τρόποι μεταφοράς κατατάσσονται ως εξής: αεροπλάνο, φορτηγό, τρένο, αγωγοί μεταφοράς και πλοίο. Σύμφωνα με πρόσφατη αξιολόγηση, η μεταφορά μέσω φορτηγού κοστίζει επτά φορές περισσότερο από αυτή με τρένο, η οποία με τη σειρά της κοστίζει τέσσερις φορές περισσότερο από αυτή με πλοίο.

Ο χρόνος μεταφοράς είναι μια τυχαία μεταβλητή, η οποία επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες και την κυκλοφοριακή ροή. Στο σχήμα 1.4, παρατίθεται σύγκριση των μέσων χρόνων μεταφοράς των πέντε παραπάνω τρόπων.



Σχήμα 1.4: Μέσος χρόνος μεταφοράς(σε μέρες) σε σχέση με την απόσταση(σε km.) ανάμεσα στο σημείο εκκίνησης και τον τελικό προορισμό.

Η μεταφορά μέσω τρένου είναι ολιγοέξοδη(ειδικά για μακρινές αποστάσεις), όμως σχετικά αργή και αναξιόπιστη. Το τρένο είναι ένας αργός μεταφορέας πρώτων υλών και χαμηλής αξίας προϊόντων(π.χ.

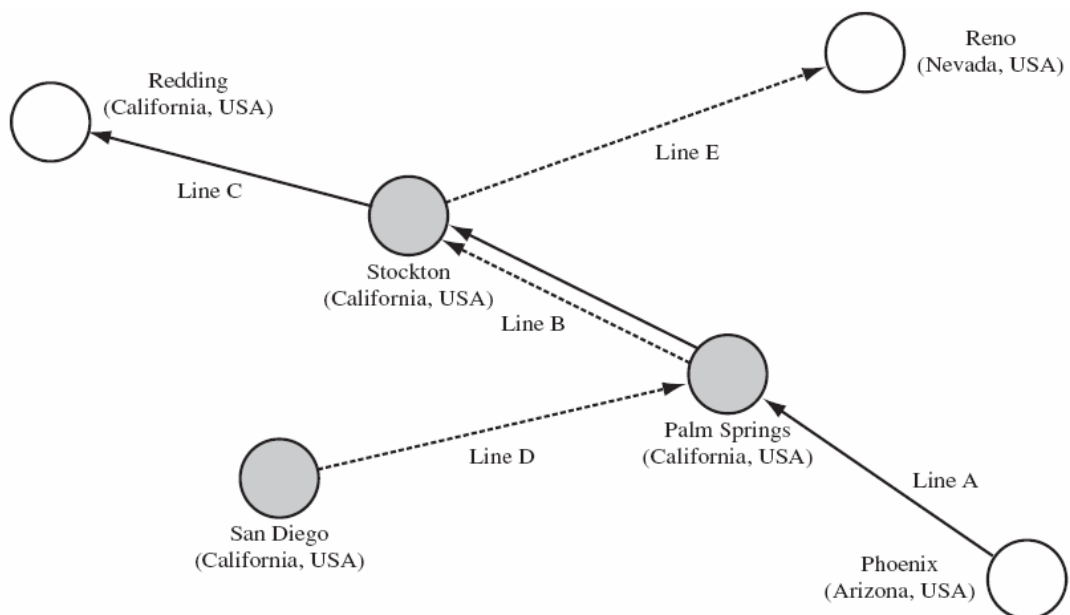
κονσέρβες, χαρτί κλπ.). Η αργοπορία αυτή οφείλεται κυρίως σε τρεις λόγους:

1. Τα τρένα που μεταφέρουν επιβάτες έχουν προτεραιότητα σε σχέση με τις αμαξοστοιχίες που έχουν φορτίο.
2. Άμεση σύνδεση με τρένο είναι σπάνια.
3. Μία αμαξοστοιχία πρέπει να αποτελείται από δεκάδες βαγονιών, ώστε να αξίζει η υλοποίηση της μεταφοράς.

Τα φορτηγά χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μεταφορά ημιολοκληρωμένων και έτοιμων προϊόντων. Η μεταφορά αυτή μπορεί να είναι TL(truckload) ή LTL(less than truckload). Μέσω της TL, γίνεται μεταφορά γεμάτου φορτίου απευθείας από το σημείο εκκίνησης στον τελικό προορισμό, σ' ένα μόνο ταξίδι(Σχήμα 1.5). Αν τα φορτία αθροιστικά καλύπτουν λιγότερη από την πλήρη χωρητικότητα του φορτηγού, τότε είναι προτιμότερο να καταφεύγει μια εταιρία σε υπηρεσίες που συνενώνονται με τερματικούς σταθμούς συγκέντρωσης(LTL, Σχήμα 1.6). Κατά συνέπεια, η LTL μεταφορά είναι πιο αργή από την TL. [8]



Σχήμα 1.5: TL μεταφορά.



Σχήμα 1.6: LTL μεταφορά.

Η μεταφορά μέσω αέρος χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με επίγεια μεταφορά. Ενώ κατά βάση η εναέρια μεταφορά είναι πολύ γρήγορη, καθυστερεί η όλη διαδικασία από το χειρισμό των φορτίων στα αεροδρόμια. Κατά συνέπεια, η μεταφορά με αεροπλάνο δεν είναι τόσο ανταγωνιστική για μικρές ή μεσαίες διαδρομές φορτίων. Αντιθέτως, είναι πολύ δημοφιλής για μεταφορές προϊόντων υψηλής αξίας σε μακρινές αποστάσεις.

Είναι λογικό ότι κάποια μέσα μεταφοράς θα πρέπει να συνεργάζονται με κάποια άλλα, ώστε το φορτίο να φτάσει στον τελικό προορισμό. Παρόλο που είναι εφικτοί αρκετοί συνδυασμοί των πέντε βασικών τρόπων μεταφοράς, λίγοι είναι αυτοί που αποδεικνύονται βολικοί.:

- αεροπλάνο – φορτηγό(birdyback).
- τρένο – φορτηγό(piggyback).
- πλοίο – φορτηγό(fishyback).

Στο συνδυασμό των παραπάνω μέσων, τα container είναι οι συνήθεις μονάδες φόρτωσης και μετακινούνται με δύο τρόπους:

1. φορτώνονται σ' ένα φορτηγό κι εν συνεχεία το φορτηγό σ' ένα τρένο, πλοίο ή αεροπλάνο.
2. φορτώνονται απευθείας σε τρένο, πλοίο ή αεροπλάνο.

1.4 Διοικητικά Θέματα των συστημάτων διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας

Όταν σχεδιάζεται μια στρατηγική πάνω στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, κύριος στόχος είναι η επίτευξη των παρακάτω αντικειμενικών σκοπών:

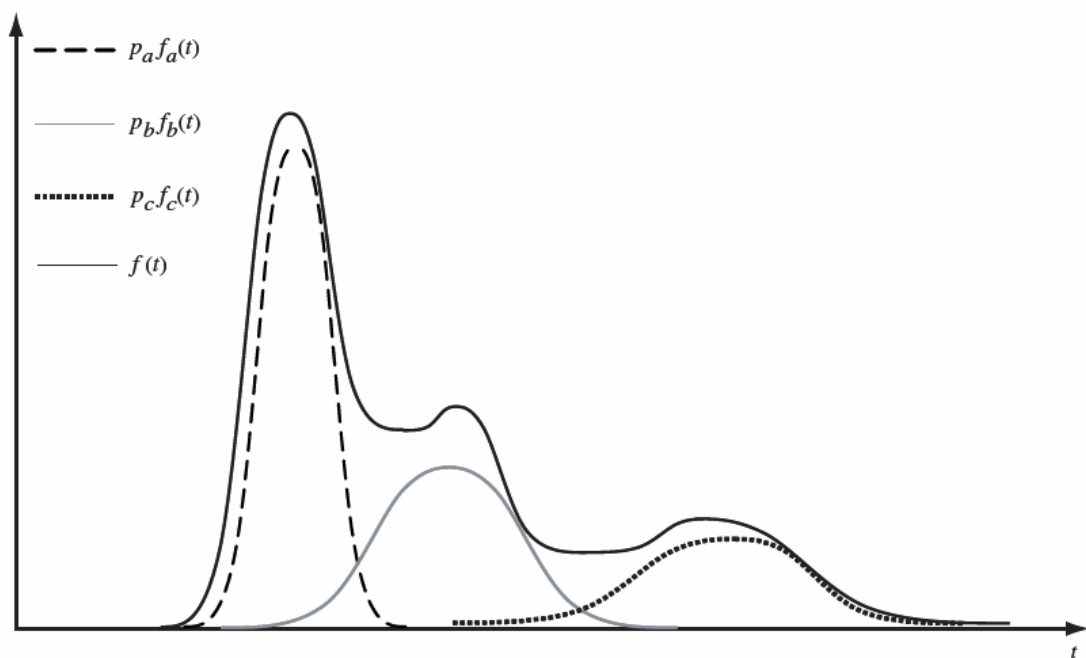
- μείωση κεφαλαίου.
- μείωση κόστους.
- βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης.

Πρώτος αντικειμενικός στόχος είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη **μείωση της επένδυσης** σ' ένα σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, σχετικά με τον ιδιόκτητο εξοπλισμό και τις ιδιόκτητες αποθήκες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς για παράδειγμα είναι η επιλογή άλλων αποθηκών αντί για ιδιόκτητων, καθώς και η μη κατοχή ιδιωτικού στόλου οχημάτων. Η μείωση βέβαια αυτή συνεπάγεται αύξηση του λειτουργικού κόστους.

Δεύτερη σε σειρά έρχεται η **μείωση του συνολικού κόστους** που σχετίζεται με τη μεταφορά και την αποθήκευση. Αν ο όγκος των πωλήσεων είναι αρκετά μεγάλος, τότε συμφέρει η κατοχή ιδιόκτητων αποθηκών και ιδιωτικού στόλου οχημάτων.

Τρίτος στόχος είναι **βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης**, η οποία έχει μεγάλο αντίκτυπο στα έσοδα μιας εταιρίας. Κατά συνέπεια, μπορεί να προκύψει αύξηση των εσόδων, ειδικά σε αγορές με ομοιογενή - χαμηλά σε τιμή- προϊόντα, στις οποίες ο ανταγωνισμός δε βασίζεται στις προδιαγραφές του προϊόντος. [8]

Το επίπεδο της εξυπηρέτησης συνήθως φαίνεται από το χρόνο του κύκλου της παραγγελίας, ο οποίος ορίζεται ως το χρονικό διάστημα ανάμεσα στη στιγμή που δίνεται η παραγγελία έως τη στιγμή που παραλαμβάνεται το προϊόν από τον πελάτη(ή του παρέχεται μια υπηρεσία). Ο χρόνος του κύκλου μιας παραγγελίας είναι μια τυχαία μεταβλητή με πολυωνυμική κατανομή πιθανότητας. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας του σχήματος 1.1 απεικονίζεται στο σχήμα 1.7.



Σχήμα 1.7: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του χρόνου του κύκλου μιας παραγγελίας.

Όταν ένα κατάστημα δίνει μια παραγγελία, λαμβάνουν χώρα τα εξής:

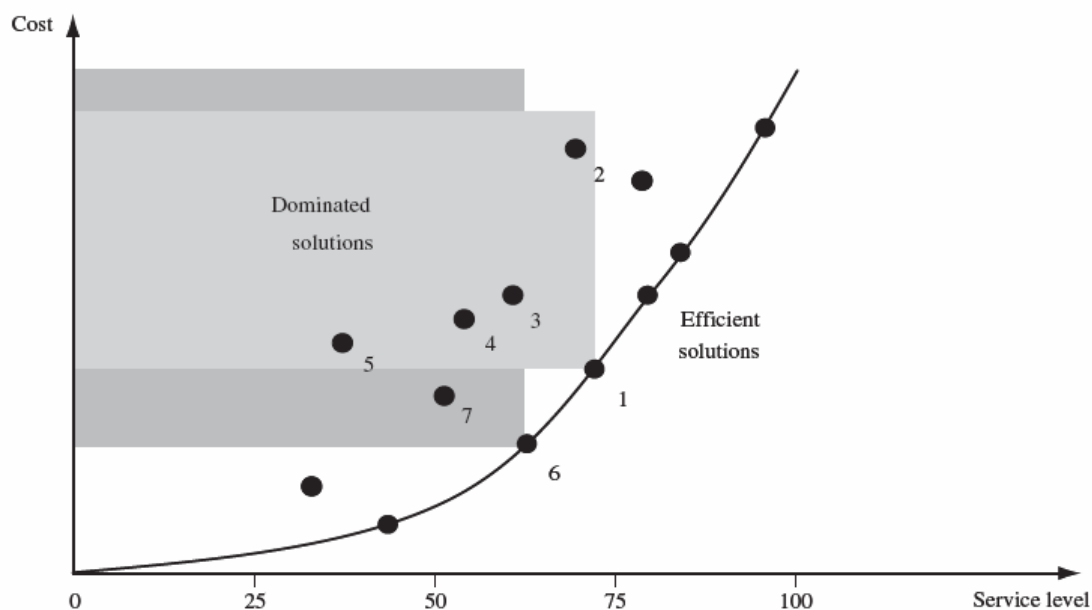
- a. αν τα προϊόντα που ζητούνται είναι διαθέσιμα στο συνεργαζόμενο RDC, τότε το εμπόρευμα αποστέλλεται άμεσα.

- b. αν δεν είναι διαθέσιμα, τότε το RDC πρέπει να ανεφοδιαστεί, δίνοντας σχετική παραγγελία στο CDC, οπότε καθυστερεί η αποστολή του εμπορεύματος.
- c. αν δεν είναι διαθέσιμα ούτε στο CDC, τότε ζητείται από τις εγκαταστάσεις της παραγωγής να προβούν στην ανάλογη παραγωγική διαδικασία.

Έστω p_a , p_b , p_c οι πιθανότητες των γεγονότων a , b , c αντιστοίχως και $f_a(t)$, $f_b(t)$, $f_c(t)$ οι αντίστοιχες συναρτήσεις πιθανότητας. Τότε, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του κύκλου παραγγελίας είναι:

$$f(t) = p_a f_a(t) + p_b f_b(t) + p_c f_c(t)$$

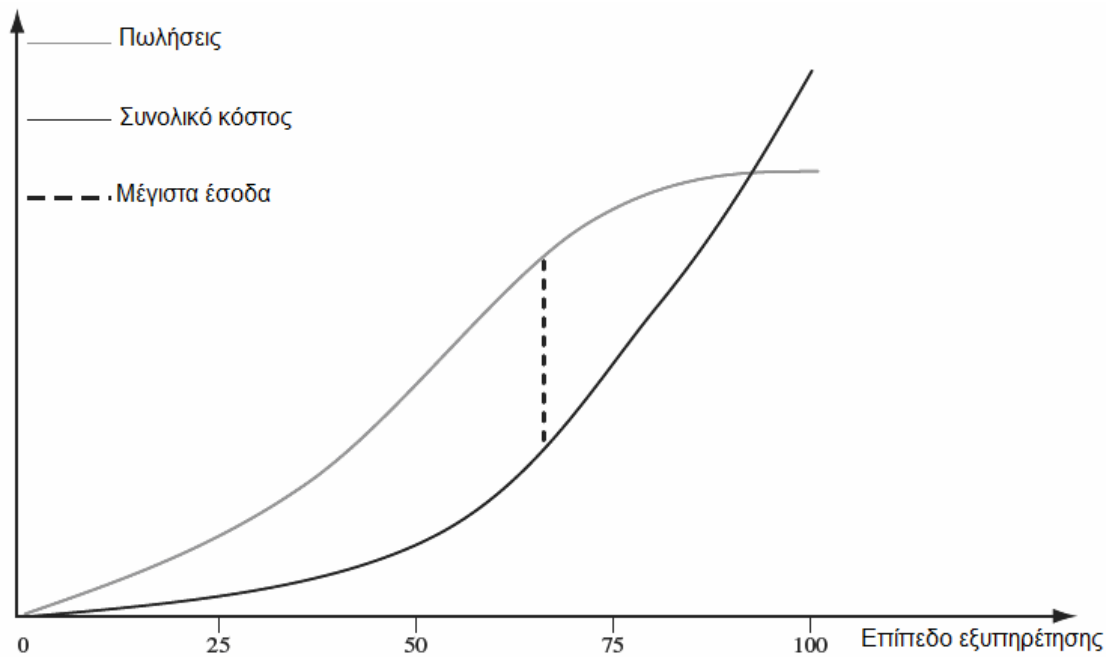
Κάθε σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας χαρακτηρίζεται από ένα επίπεδο επένδυσης, κόστους και εξυπηρέτησης. Ένα σύστημα B κυριαρχεί ενός συστήματος A, αν το κόστος του A είναι μεγαλύτερο ή ίσο του B και το επίπεδο εξυπηρέτησης του A είναι μικρότερο ή ίσο του B. Στο σχήμα 1.8, το τμήμα 1 κυριαρχεί των 2, 3, 4, και 5, ενώ το τμήμα 6 κυριαρχεί των 3, 4, 5 και 7. Τα τμήματα που δεν είναι «υπό κυριαρχία» καλούνται *αποδοτικά* και καθορίζουν την καμπύλη «**κόστος-επίπεδο εξυπηρέτησης**». Το επίπεδο εξυπηρέτησης ορίζεται ως το επί τοις % ποσοστό των παραγγελιών που έχουν χρόνο κύκλου μικρότερο ή ίσο ενός δεδομένου αριθμού εργασιμων ημερών.



Σχήμα 1.8 Καμπύλη κόστους-επιπέδου εξυπηρέτησης

Το επίπεδο της εξυπηρέτησης επηρεάζει άμεσα τον όγκο των πωλήσεων. Αν η εξυπηρέτηση δεν είναι ικανοποιητική, οι πωλήσεις μειώνονται. Αν αγγίζει ή ξεπερνάει αυτή των ανταγωνιστών, τότε οι πωλήσεις αυξάνονται.

Τα παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να καθοριστεί το επίπεδο της εξυπηρέτησης που μεγιστοποιεί τη συμβολή του στη μείωση του κόστους(βλ. *σχήμα 1.9*). Η ευνοϊκότερη οδός είναι συνήθως ανάμεσα στο υψηλότερο και χαμηλότερο άκρο. Στην πράξη, χρησιμοποιείται μια λίγο διαφορετική προσέγγιση. Πρώτα καθορίζεται το επίπεδο εξυπηρέτησης κι εν συνεχεία το σύστημα σχεδιάζεται ώστε να προκύπτει ελάχιστο κόστος. [8]



Σχήμα 1.9 Καθορισμός του αποδοτικότερου επιπέδου εξυπηρέτησης.

1.5 Αποφάσεις πάνω στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας

Όταν σχεδιάζεται κι εφαρμόζεται ένα σύστημα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, ανεγείρονται διάφορα ζητήματα. Ορισμένα από αυτά μπορεί να είναι τα εξής: πρέπει να γίνουν καινούριες εγκαταστάσεις; που πρέπει ν' αποθηκευθούν τα προϊόντα; πως πρέπει να λειτουργούν οι αποθήκες; κάθε πότε πρέπει ν' ανεφοδιάζονται; η εταιρία είναι καλύτερο να έχει ιδιόκτητο στόλο οχημάτων ή να τον νοικιάζει; ποιος τρόπος μεταφοράς είναι προτιμότερος; Οι αποφάσεις πάνω στα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας ταξινομούνται σε *στρατηγικές, τακτικές και λειτουργικές*.

Οι **στρατηγικές αποφάσεις** έχουν μακροχρόνια αποτελέσματα. Αφορούν στο σχεδιασμό ενός συστήματος διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και την απόκτηση κατά βάση δαπανηρών μέσων(τοποθεσία εγκαταστάσεων, χωρητικότητα, διάταξη της παραγωγής και των αποθηκών, μέγεθος στόλου). Επειδή τα δεδομένα είναι συνήθως ανακριβή και ελλειπή, χρησιμοποιούνται για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων προβλέψεις οι οποίες βασίζονται σε συνολικά δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται για παράδειγμα με την ομαδοποίηση κάποιων προϊόντων σε «οικογένειες» και την κατηγοριοποίηση κάποιων πελατών σε «ζώνες».

Οι **τακτικές αποφάσεις** λαμβάνονται με μεσαία συχνότητα(μηνιαίως ή τριμηνιαίως) και αφορούν στο σχεδιασμό της παραγωγής και διανομής, καθώς και στην κατανομή των πόρων(αποθήκευση, τρόπους παραλαβής των παραγγελιών, επιλογή μέσου μεταφοράς). Για τα λήψη τους, χρησιμοποιούνται διαχωρισμένα δεδομένα.

Οι **λειτουργικές αποφάσεις** λαμβάνονται καθημερινά ή ακόμα και σε πραγματικό χρόνο και είναι κοντινής εμβέλειας. Αφορούν στη λήψη των παραγγελιών από τις αποθήκες, καθώς και στον τρόπο μεταφοράς και τη διανομή. Βασίζονται σε πολύ λεπτομερή δεδομένα. [8]

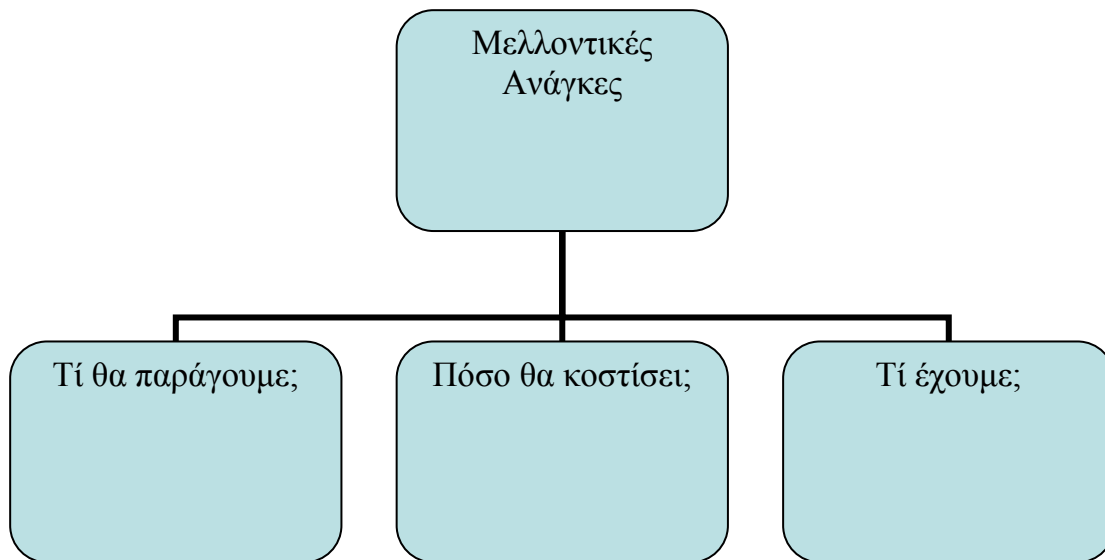
1.6 Σύστημα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP-Enterprise Resource Planning)

Το **σύστημα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP)** είναι ένα σύνολο εργαλείων διαχείρισης, το οποίο βοηθάει στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης, διαθέτοντας επιπλέον τη δυνατότητα να συνδέει προμηθευτές και πελάτες μέσω μίας ολοκληρωμένης εφοδιαστικής αλυσίδας.

Επιπροσθέτως, το σύστημα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP) ενώνει τις επαγγελματικές δραστηριότητες πολλών λειτουργικών τμημάτων μιας εταιρίας, από το σχεδιασμό ενός προϊόντος μέχρι την τελική διακίνησή του(π.χ. τμήμα πωλήσεων, marketing, κατασκευαστικό, συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, οικονομικών, ανθρώπινου δυναμικού κλπ.). Κατά συνέπεια, οι εταιρίες λειτουργούν σε υψηλό επίπεδο παραγωγικότητας και εξυπηρέτησης πελατών, με παραλλήλως μειωμένα κόστη.

Ένας από τους προγόνους του συστήματος προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP) (στη δεκαετία του '60) ήταν το **Σύστημα Διαχείρισης και Ελέγχου Αποθεμάτων (*Inventory Management & Control*)**. Το συγκεκριμένο σύστημα ήταν ένας συνδυασμός τεχνολογίας πληροφοριών και διαδικασιών που απαιτούνται, ώστε να διατηρηθεί το απαραίτητο επίπεδο αποθέματος στην αποθήκη. Στις δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνονται η αναγνώριση των αναγκών σε απόθεμα, ο ορισμός κάποιων στόχων, οι τεχνικές ανεφοδιασμού, η παρακολούθηση των χρήσεων ενός αντικειμένου, η διευθέτηση των αποθεματικών ισορροπιών και η αναφορά της κατάστασης των αποθεμάτων.[4]

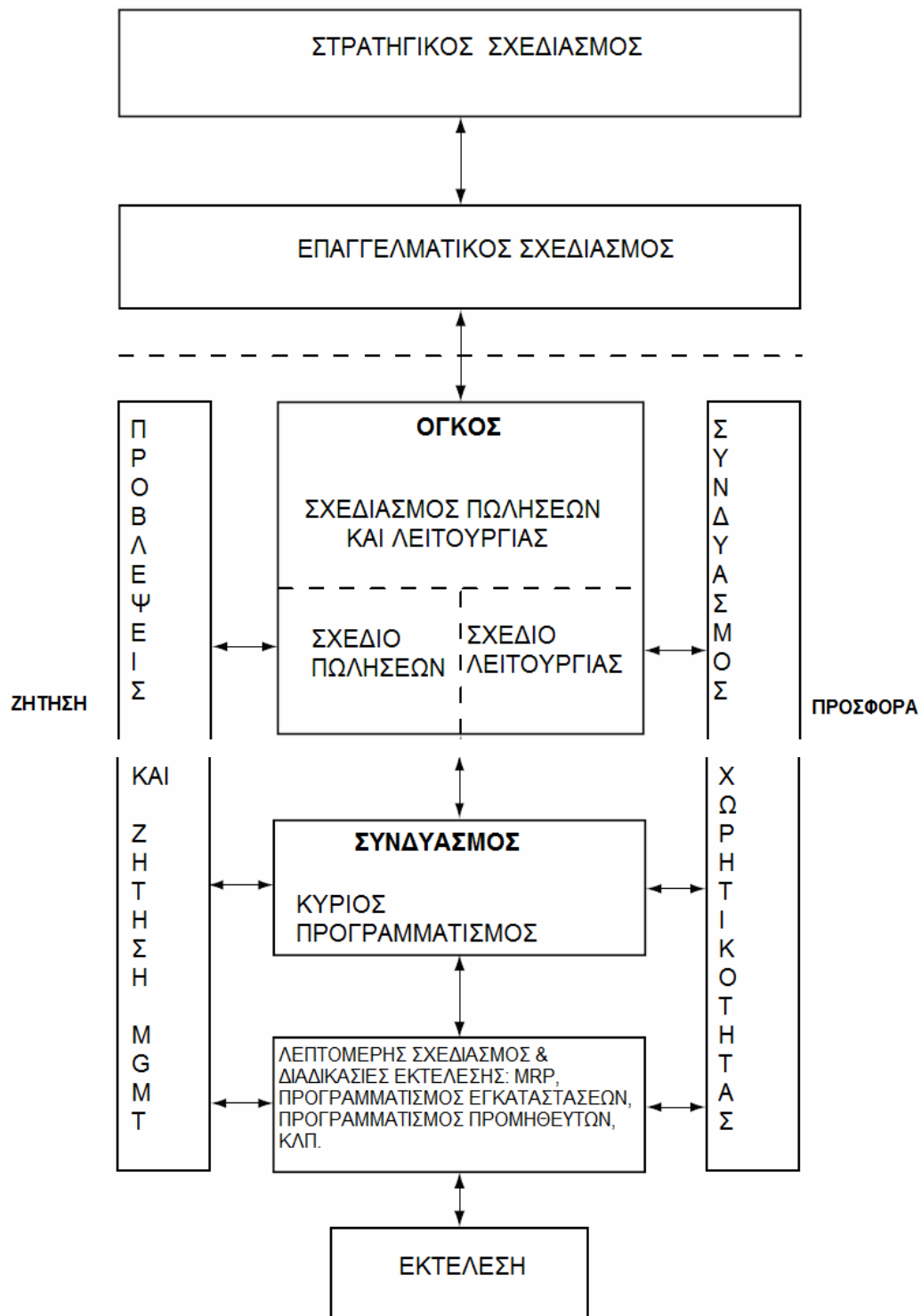
Εξέλιξη του συστήματος διαχείρισης και ελέγχου αποθεμάτων(*Inventory Management & Control*) (στη δεκαετία του '70) ήταν ο **Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών(*MRP-Material Requirements Planning*)**. Ο Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών(MRP) προσομοίωσε το εξής διάγραμμα:



Επόμενο σύστημα(δεκαετία του '80) ήταν ο *Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών ΙΙ(MRP ΙΙ)*. Ο *Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών ΙΙ(MRP ΙΙ)* είχε τρία επιπλέον στοιχεία:

1. Σχεδιασμό λειτουργιών και πωλήσεων. Μία ισχυρή διαδικασία εξισορρόπησης ζήτησης και ανεφοδιασμού, η οποία προσφέρει καλύτερο έλεγχο των λειτουργικών τομέων μιας εταιρίας.
2. Οικονομική αλληλεπίδραση. Η δυνατότητα να μεταφράζονται οι λειτουργικοί όροι(π.χ. κομμάτια, κιλά, μέτρα κλπ.) σε οικονομικούς(€).
3. Προσομοίωση. Η δυνατότητα να τίθενται υποθετικές ερωτήσεις και να δίνονται ρεαλιστικές απαντήσεις.

Τελευταίο βήμα αυτής της εξέλιξης είναι το *σύστημα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP)*. Το παρακάτω σχεδιάγραμμα απεικονίζει το σύστημα αυτό:



Σχήμα 1.10. Σύστημα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP)

Το σύστημα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP) έχει μέχρι τώρα εφαρμοστεί επιτυχώς σε εταιρίες με τα εξής χαρακτηριστικά:

- παρασκευή για αποθήκευση.
- παρασκευή κατά παραγγελία.
- παρασκευή πολύπλοκων ή απλών προϊόντων.
- μία ή πολλαπλές εγκαταστάσεις.
- ιδιόκτητα δίκτυα διανομής ή συνεργασία με διανομείς.
- πώληση απευθείας στον τελικό χρήστη.
- πώληση με μεσάζοντες.
- κατασκευή και συναρμολόγηση.
- μόνο κατασκευή.
- μόνο συναρμολόγηση.

και πολλά άλλα.

Το βασικότερο **πλεονέκτημα** του συστήματος προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP) είναι ότι μέσω αυτού, μειώνονται τα κόστη, ενώ εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος, που υπό άλλες συνθήκες θα είχε χαθεί σε απρόβλεπτες καθυστερήσεις.[5]

<i>Πλεονεκτήματα του συστήματος προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP)</i>
Γρηγορότερη επεξεργασία των πληροφοριών και μείωση της γραφειοκρατίας.
Αποτελεσματική εξυπηρέτηση των πελατών με άμεση ανταπόκριση στις επιθυμίες τους.

Προσαρμογή στις ιδιοτροπίες τις αγοράς.
Φιλική στη χρήση βάση δεδομένων.
Διευκολύνει τις παγκόσμιες συναλλαγές.

Παρόλο όμως που το σύστημα προγραμματισμού επιχειρηματικών πόρων(ERP) διαθέτει εξαιρετικές δυνατότητες, δεν είναι ελεύθερο από τους δικούς του περιορισμούς. Για το στήσιμό του απαιτείται υπερβολική επένδυση σε χρόνο και χρήμα. Το κόστος του είναι αρκετά μεγάλο, ενώ απαιτείται και η κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού μιας εταιρίας, η οποία είναι πολύμηνη.

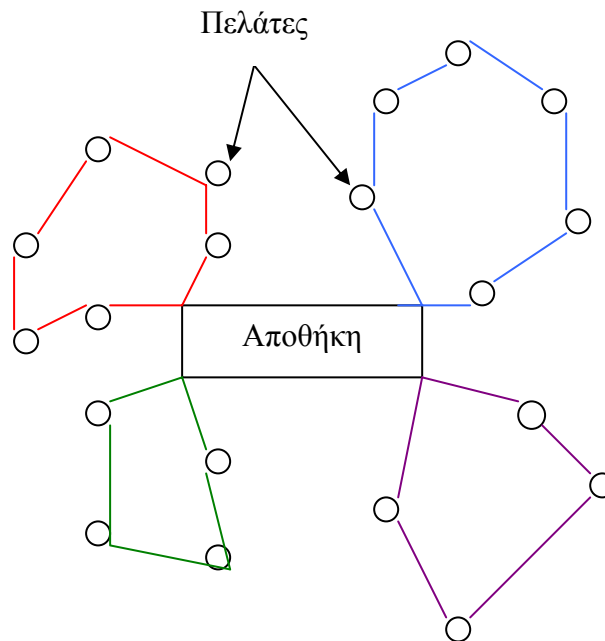
Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP)

2.1 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP-Vehicle Routing Problem) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και πιο μελετημένα προβλήματα διανομής της συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, υπολογίζονται οι βέλτιστες διαδρομές διανομής προϊόντων που πρέπει να εκτελεσθούν από ένα σύνολο οχημάτων, έτσι ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση των πελατών. Ο σκοπός του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP) είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των προϊόντων από ένα στόλο οχημάτων, που ξεκινούν και καταλήγουν σε μία αποθήκη. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα, υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός διαφορετικών πραγματικών περιπτώσεων που έχουν να κάνουν με την ύπαρξη κάποιων περιορισμών ως προς τη διανομή των προϊόντων και σε μερικές περιπτώσεις συσχετίζεται με το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (TSP).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων αφορά στην εξυπηρέτηση ενός αριθμού πελατών σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και από ένα δεδομένο αριθμό οχημάτων. Τα οχήματα αυτά εκκινούν από ένα ή περισσότερα κέντρα διανομής και μεταφέρουν τα εμπορεύματά τους σε ένα κατάλληλο οδικό δίκτυο. Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος, απαιτείται ο υπολογισμός των διαδρομών που θα εκτελέσει κάθε όχημα ξεχωριστά, με αφετηρία και τέλος ένα συγκεκριμένο κέντρο διανομής (αποθήκη). Παρακάτω

ακολουθεί ένα διάγραμμα το οποίο περιγράφει τη φύση του προβλήματος που εξετάζουμε.



Σχήμα 2.1: Αναπαράσταση Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ένα οδικό δίκτυο που έχει ως χαρακτηριστικά τα εξής:

- **Την αποθήκη** που βρίσκεται στο κέντρο του διαγράμματος και από την οποία ξεκινούν τα οχήματα τα δρομολόγια τους. Συχνά συναντάται το φαινόμενο της ύπαρξης περισσότερων του ενός κέντρων διανομής, το καθένα από τα οποία εκτελεί τις διεργασίες του αυτόνομα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το συγκεκριμένο πρόβλημα αντιμετωπίζεται ως ένα σύνθετο πρόβλημα πολλών μεμονωμένων προβλημάτων δρομολόγησης

οχημάτων. Τέλος, όταν υπάρχουν περισσότερες από μια αποθήκες, παρατηρείται και το φαινόμενο τα οχήματα να ξεκινούν και να καταλήγουν σε διαφορετική αποθήκη.

- ο **τις διαδρομές** που εκτελούν τα οχήματα και που παριστάνονται από τα τόξα του γραφήματος. Τα τόξα μπορεί να είναι προσανατολισμένα ή μη, αναλόγως αν μπορούν τα οχήματα να διασχίσουν μία διαδρομή και προς τις δύο κατευθύνσεις ή είναι μονής κατεύθυνσης. Κάθε τόξο έχει ένα συγκεκριμένο κόστος, το οποίο αντιπροσωπεύεται από το μήκος του και χαρακτηρίζεται από ένα δεδομένο χρόνο διαδρομής, που εξαρτάται από την περίοδο διάσχισης του συγκεκριμένου τόξου και τον τύπο των οχημάτων.
- ο Τέλος, **τις κορυφές του γραφήματος**, οι οποίες αντικατοπτρίζουν τους πελάτες στους οποίους καταλήγουν τα οχήματα. Κάθε πελάτης έχει δεδομένες απαιτήσεις ως προς την ποσότητα και το είδος των προϊόντων που περιμένει να του διοχετευθούν από την αποθήκη. Επιπλέον, κάθε πελάτης έχει συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (κατά τη διάρκεια της ημέρας) στις οποίες μπορεί να εξυπηρετηθεί και χρειάζεται ένα δεδομένο χρόνο (ο οποίος εξαρτάται και από τον τύπο του οχήματος) για να συλλέξει ή να διανείμει τα εκάστοτε προϊόντα. Τυπικά χαρακτηριστικά των πελατών αποτελούν τα είδη και οι τεχνικές προδιαγραφές των οχημάτων που χρησιμοποιούνται (πιθανότατα λόγω περιορισμών στο φορτίο ή περιορισμών στην κυκλοφορία). Υπάρχουν ωστόσο αρκετές περιπτώσεις προβλημάτων στις οποίες είναι αδύνατη η ικανοποίηση της ζήτησης όλων των πελατών, οπότε επιλέγεται

είτε η μείωση των ποσοτήτων διανομής ή συλλογής, είτε η μη εξυπηρέτηση ενός μικρού αριθμού πελατών. Η επιλογή της κατάλληλης πολιτικής σε αυτήν την περίπτωση προσδιορίζεται από τις εκάστοτε προτεραιότητες ή και ποινές που σχετίζονται με τη μερική ή ολική έλλειψη εξυπηρέτησης.

Για τη μεταφορά των προϊόντων χρησιμοποιείται ένας αριθμός οχημάτων, των οποίων το μέγεθος εξαρτάται από τις απαιτήσεις των πελατών. Τα *τυπικά χαρακτηριστικά των οχημάτων* είναι:

- Το **κέντρο διανομής** κάθε οχήματος και η πιθανότητα το όχημα να καταλήξει στην ίδια αποθήκη από την οποία ξεκίνησε.
- Η **χωρητικότητα** κάθε οχήματος, η οποία μπορεί να εκφρασθεί ως το μέγιστο βάρος ή ως το μέγιστο όγκο ή ακόμη και ως το μέγιστο αριθμό πακέτων που μπορεί να μεταφέρει.
- Ο **διαχωρισμός του αποθηκευτικού χώρου** του οχήματος σε περιπτώσεις που υπάρχουν περισσότερα από ένα προϊόντα, που χαρακτηρίζεται από τον αριθμό, το είδος και τη χωρητικότητα των διαφορετικών προϊόντων.
- Το **κόστος χρήσης και κίνησης** του οχήματος.
- Οι **μέθοδοι φόρτωσης-εκφόρτωσης** των προϊόντων.

Επιπλέον αναφοράς χρίζουν και οι *περιορισμοί* στους οποίους εμπίπτουν οι οδηγοί των οχημάτων. Οι περιορισμοί αυτοί έχουν να κάνουν με τις εργασιακές συμβάσεις που οι ίδιοι έχουν υπογράψει με την

εταιρία και με τους κανονισμούς της εταιρίας (το ωράριο εργασίας, τις υπερωρίες, τη μέγιστη διάρκεια οδήγησης και άλλα).

Κατά την επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων, θα πρέπει οι διαδρομές που θα προκύψουν να ικανοποιούν ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των πελατών και των οχημάτων, τη φύση και ευπάθεια των προϊόντων, καθώς και από την πολιτική της εταιρίας ως προς το επίπεδο εξυπηρέτησης που έχει επιλέξει να παρέχει. Έτσι λοιπόν, σε κάθε διαδρομή το συνολικό φορτίο εμπορευμάτων δε θα πρέπει να υπερβαίνει τη χωρητικότητα του φορτηγού, οι πελάτες στη συγκεκριμένη διαδρομή θα πρέπει να μπορούν να λαμβάνουν ή ακόμη και να δίνουν προϊόντα για διανομή και παράλληλα να εξυπηρετούνται σε δεδομένα χρονικά διαστήματα.[11]

Παράλληλα, είναι αναγκαίο να ικανοποιούνται και περιορισμοί που έχουν να κάνουν με την προτεραιότητα ορισμένων πελατών έναντι άλλων, είτε αυτοί είναι μεμονωμένοι είτε είναι ένα υποσύνολο πελατών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι και το *πρόβλημα συλλογής και διανομής (VRPPD)*, στο οποίο σε κάθε διαδρομή που κάνει ένα όχημα, πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και διανομές αλλά και συλλογές προϊόντων.

Άλλος ένας σημαντικός περιορισμός προτεραιότητας προκύπτει όταν πρέπει να τηρηθεί μια συγκεκριμένη σειρά κατά την εξυπηρέτηση ορισμένων πελατών που ανήκουν στο ίδιο υποσύνολο, αλλά δεν είναι του ιδίου τύπου (αν για παράδειγμα παραλαμβάνουν ή παραδίδουν προϊόντα). Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι το *πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με παραλαβές (VRPB)*, στο οποίο οι περιορισμοί έχουν να κάνουν με την παραλαβή και παράδοση των προϊόντων ελέγχοντας ωστόσο οι διανομές να γίνονται πριν από τις παραλαβές κατά τη διάρκεια της διαδρομής. [11]

Σημαντικοί περιορισμοί προκύπτουν και από το επίπεδο εξυπηρέτησης που θέλει η εκάστοτε εταιρία να παρέχει στους πελάτες της. Ο χρόνος εξυπηρέτησης των πελατών (το μέτρο εξυπηρέτησης πελατών) αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους κατά την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων. Επειδή οι παραγγελίες των πελατών δεν είναι συνήθως σταθερές ούτε χρονικά, αλλά ούτε και ποσοτικά, κάθε εταιρία θα πρέπει να επιλύσει το πρόβλημα προσεγγιστικά ως προς τις παραγγελίες που δέχεται μια δεδομένη χρονική περίοδο. Οι προσεγγίσεις που επιλέγονται είναι οι παρακάτω:

- **Τυπική περίπτωση:** Μία εταιρία έχει συγκεκριμένους πελάτες με δεδομένες απαιτήσεις (τυπικές) και σε δεδομένες χρονικές περιόδους. Οι πελάτες κάνουν παραγγελίες εμπορευμάτων σταθερά κάθε x μέρες ($x <$ περίοδος που εξετάζουμε) και δέχονται επισκέψεις από την αποθήκη τόσες φορές όσες προκύπτουν από τη διαίρεση της χρονικής περιόδου με το x . Οι διαδρομές που προκύπτουν από την επίλυση γνωστοποιούν το χρόνο επίσκεψης κάθε πελάτη από το κέντρο διανομής.
- **Διακεκομμένου χρόνου:** Οι παραγγελίες που γίνονται σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα x ημερών ικανοποιούνται στο επόμενο χρονικό διάστημα x ημερών. Ωστόσο, σε αυτήν την περίπτωση, δε μπορούν να ικανοποιηθούν πελάτες των οποίων οι παραγγελίες πρέπει να διανεμηθούν την ίδια χρονική περίοδο στην οποία έγιναν κι έτσι ικανοποιούνται την επόμενη. Επομένως, υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η επίλυση με αυτού του είδους την προσέγγιση δεν είναι εφικτή.

- **Αργά μετακινούμενες προτεραιότητες πελατών:** Στη συγκεκριμένη προσέγγιση θέτουμε προτεραιότητα σε κάθε πελάτη, λαμβάνοντας υπ' όψιν το χρόνο που υπολείπεται μέχρι να δεχτεί ο εκάστοτε πελάτης την παραγγελία. Η λογική που ακολουθείται είναι πως όσο λιγότερος χρόνος απομένει, τόσο μεγαλύτερη είναι η προτεραιότητα να εξυπηρετηθεί. Σε κάθε χρονική στιγμή λοιπόν, για την επίλυση του προβλήματος θα επιλέγεται μια πολύπλοκη αντικειμενική συνάρτηση με κόστη δρομολόγησης και προτεραιοτήτων για κάθε πελάτη, ώστε να είναι εφικτή η εξυπηρέτηση των πελατών μέσα σε ένα δεδομένο αριθμό ημερών που ουσιαστικά υποδεικνύει τη μέγιστη καθυστέρηση.[11]

2.2 Στόχοι της επίλυσης του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP).

Οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν κατά την επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων είναι οι εξής:

- Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς, το οποίο εξαρτάται από την ολική απόσταση των δρομολογίων (ή το χρόνο δρομολογίων) και τα κόστη χρήσης των οχημάτων και αμοιβής των οδηγών.
- Ελαχιστοποίηση του συνολικού αριθμού οχημάτων (και παράλληλα οδηγών) που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών των πελατών.

- Ελαχιστοποίηση των ποινών-κυρώσεων που προκύπτουν από τη μερική εξυπηρέτηση των πελατών.
- Εξισορρόπηση των διαδρομών των οχημάτων, με βάση το χρόνο μετάβασης και το φορτίο μεταφοράς.

Κεφάλαιο 3: Αλγόριθμοι Επίλυσης των Προβλημάτων Διανομής

3.1 Εισαγωγή

Για την επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων(VRP), αλλά και των προεκτάσεών του, έχουν προταθεί μέχρι σήμερα πάρα πολλές μέθοδοι. Οι μέθοδοι αυτές διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες αλγορίθμων, οι οποίες είναι:

1. **Ευρετικοί αλγόριθμοι** (heuristics), οι οποίοι αναπτύχθηκαν κυρίως την περίοδο 1960 - 1990.
2. **Μεθευρετικοί αλγόριθμοι** (metaheuristics), που αναπτύχθηκαν την τελευταία εικοσαετία.

Οι κλασσικοί ευρετικοί αλγόριθμοι παρουσιάζουν μια περιορισμένη σχετικά εξερεύνηση του χώρου όπου αναζητούνται οι λύσεις και τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αρκετά καλά και χωρίς μεγάλο χρόνο υπολογισμού. Υπάρχει όμως και η δυνατότητα σε αρκετές από αυτές τις μεθόδους να επεκταθούν με τέτοιο τρόπο, που να είναι δυνατός ο συνυπολογισμός διαφόρων περιορισμών που εμφανίζονται σε διάφορες προεκτάσεις του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων. Οι κυριότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Η σύμπτυξη (merge) των διαδρομών που ήδη υπάρχουν με τη χρήση ενός κριτηρίου εξοικονόμησης.
- Ο βαθμιαίος προσδιορισμός κορυφών σε κάθε διαδρομή, με τη χρήση ενός κριτηρίου παρεμβολής

Οι μεθευρετικές μέθοδοι, από την άλλη δίνουν έμφαση στην παρουσίαση μιας εξερεύνησης σε μεγάλο βάθος των περιοχών, όπου βρίσκεται η λύση και οι οποίες συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα εντοπισμού της βέλτιστης λύσης. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν κανόνες περιορισμένης αναζήτησης στην γειτονιά των λύσεων και επανασυνδυασμό των λύσεων. Τα αποτελέσματα που εξάγονται από τη χρήση μεθευρετικών αλγορίθμων είναι συνήθως καλύτερα ποιοτικά συγκρινόμενα με τα αποτελέσματα των κλασσικών ευρετικών μεθόδων. Ωστόσο, ο χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό της λύσης είναι πάρα πολύ μεγάλος.[12]

3.2 Ευρετικοί Αλγόριθμοι

Οι ευρετικές μέθοδοι χωρίζονται σε:

- Κατασκευαστικές μεθόδους.
- Μεθόδους δύο φάσεων.

3.2.1 Αλγόριθμος των Clarke & Wright

Χαρακτηριστικό παράδειγμα **κατασκευαστικής μεθόδου** είναι ο *αλγόριθμος των εξοικονομήσεων των Clarke & Wright* (The savings algorithm). Εφαρμόζεται σε προβλήματα στα οποία ο αριθμός των οχημάτων θεωρείται μεταβλητή απόφασης και λειτουργεί σωστά τόσο για προσανατολισμένα, όσο και για μη προσανατολισμένα προβλήματα.

Εμφανίζεται με δύο εκδοχές, την *παράλληλη* και την *ακολουθητική* και λειτουργεί ως εξής:

Βήμα 1: Υπολογισμός των εξοικονομήσεων.

Βήμα 2: Κατάταξη των εξοικονομήσεων σε φθίνουσα σειρά.

Τα δύο πρώτα βήματα είναι ίδια και στις δύο εκδοχές του αλγορίθμου. Από εκεί και πέρα ακολουθούνται τα εξής:

- *Παράλληλη εκδοχή*

Βήμα 3: Αν μετά τη δημιουργία ενός δεσμού δημιουργηθεί μια διαδρομή που να ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς του προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων, τότε δεχόμαστε το δεσμό στη λύση ενώ σε αντίθετη περίπτωση τον απορρίπτουμε.

Βήμα 4: Ελέγχουμε τον επόμενο δεσμό στη λίστα και επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο βήμα μέχρι να μην ξαναεπιλεγεί άλλος δεσμός.

- *Ακολουθητική εκδοχή*

Βήμα 3: Βρίσκουμε τον πρώτο εφικτό δεσμό στη λίστα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την προέκταση ενός εκ των δύο άκρων της συγκεκριμένης διαδρομής.

Βήμα 4: Αν η διαδρομή δε μπορεί να επεκταθεί άλλο, την κλείνουμε και βρίσκουμε τον πρώτο εφικτό δεσμό στη λίστα για να ξεκινήσουμε μια νέα διαδρομή.

Βήμα 5: Επανάληψη των δύο προηγούμενων βημάτων μέχρι να μην επιλεγεί ξανά άλλος δεσμός.

Όποια εκδοχή και να επιλεγεί, θα πρέπει κάθε φορά να ελέγχεται κατά πόσο είναι εφικτή η μερική λύση ώστε μην υπάρξει παραβίαση των περιορισμών. Επιπλέον, όταν στην αρχική λύση οι πελάτες είναι σε διαφορετική διαδρομή, η λύση δεν είναι εφικτή. Υπάρχει όμως περίπτωση στο τέλος της διαδικασίας μερικοί πελάτες να μείνουν εκτός διαδρομών.

Όσον αφορά στις **μεθόδους των δύο φάσεων**, στην *πρώτη φάση* γίνεται ομαδοποίηση των πελατών, τοποθετώντας τους σε οχήματα-διαδρομές και στη *δεύτερη φάση* γίνεται η δρομολόγηση των συγκεκριμένων διαδρομών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεθόδου δύο φάσεων αποτελεί ο *αλγόριθμος των Fisher and Jaikumar*. [15]

3.2.2 Μέθοδος των δύο φάσεων των Fisher and Jaikumar

Φάση 1η

Βήμα 1: Επιλέγουμε έναν αριθμό πελατών, έστω m , που είναι οι αρχικοί πελάτες των ομάδων και τοποθετούμε ένα όχημα για κάθε ένα εξ' αυτών.

Βήμα 2: Για κάθε πελάτη, αλλά και για κάθε ομάδα, υπολογίζεται το κόστος εισόδου με βάση τον αρχικό πελάτη.

Βήμα 3: Επίλυση του γενικευμένου προβλήματος εκχώρησης.

Φάση 2η

Βήμα 4: Επίλυση του προβλήματος για όλα τα σύνολα πελατών που έχουν εισαχθεί σε κάποιο όχημα και μορφοποίηση των τελικών διαδρομών.

3.3 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι

Μερικοί από τους πιο γνωστούς μεθευρετικούς αλγόριθμους είναι:

1. Προσομοιωμένη ανόπτηση.
2. Περιορισμένη αναζήτηση.
3. Ο αλγόριθμος των μυρμηγκιών.
4. Νευρωνικά δίκτυα.
5. Γενετικοί αλγόριθμοι.

Οι παραπάνω αλγόριθμοι:

- χρησιμοποιούν ένα μεγάλο αριθμό επαναλήψεων.

- λειτουργούν βάσει ενός μηχανισμού συνεργασίας και ανταγωνισμού.
- περιλαμβάνουν διαδικασίες αυτο-τροποποιήσεων των ευρετικών παραμέτρων ή ακόμα και της αναπαράστασης του προβλήματος.

3.3.1 Προσομοιωμένη ανόπτηση (Simulated Annealing)

Το όνομα του αλγορίθμου ή καλύτερα της στρατηγικής αυτής προέρχεται από την αναλογία ανάμεσα στην προσομοίωση της ανόπτησης των υλικών και τη στρατηγική επίλυσης προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι κινούνται συνεχώς στον εφικτό χώρο αναζήτησης των λύσεων και όταν σταματήσει η κίνηση, έχουμε μια εφικτή λύση. Η προσομοιωμένη ανόπτηση εκκινεί από μια αρχική λύση και προχωρά σε κάθε επανάληψη σε μια καινούρια λύση στη γειτονιά της προηγούμενης λύσης, μέχρι ένα κριτήριο τερματισμού να ικανοποιηθεί. Τα **τρία βασικά κριτήρια τερματισμού** που χρησιμοποιούνται είναι:

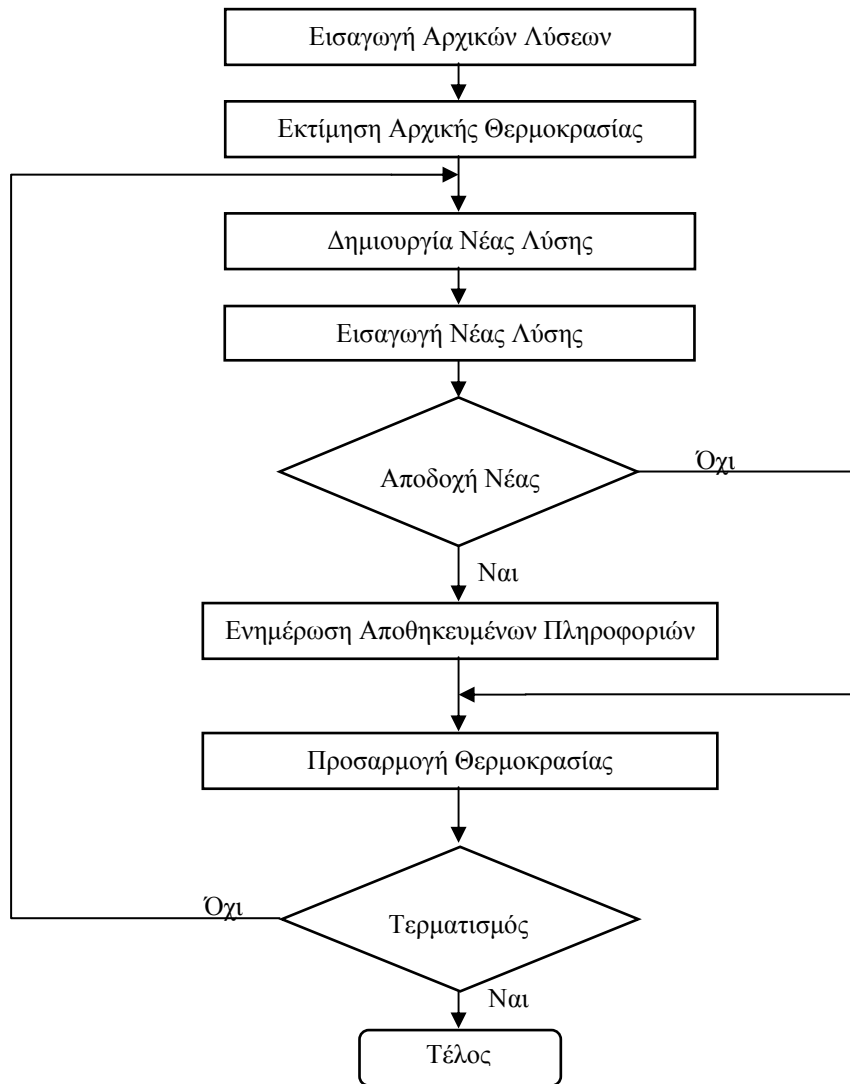
1. Η βέλτιστη τιμή f να μην έχει βελτιωθεί για ένα ποσοστό τουλάχιστον κ_1 συνεχών ανακυκλώσεων από T επαναλήψεις.

2. Ο αριθμός των αποδεχόμενων κινήσεων να είναι μικρότερος από ένα ποσοστό τουλάχιστον κ_2 συνεχών ανακυκλώσεων από T επαναλήψεις.
3. Να έχει εκτελεστεί ένας μεγάλος αριθμός συνεχόμενων ανακυκλώσεων από T επαναλήψεις.

Οι σημαντικότεροι αλγόριθμοι προσομοιωμένης ανόπτησης είναι οι εξής:

- Ο αλγόριθμος των Alfa, Heragu και Chen.
- Ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης του Osman.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.



Σχήμα 3.1: Αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης

3.3.2 Περιορισμένη αναζήτηση (Tabu search)

Η μέθοδος περιορισμένης αναζήτησης χρησιμοποιεί έναν ευρετικό αλγόριθμο για να μετακινηθεί από μια λύση σε μια άλλη. Υπάρχει ωστόσο η περίπτωση ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, όπως και οι υπόλοιποι μεθευρετικοί αλγόριθμοι, να “κολλήσει” σε τοπικό ελάχιστο. Όμως, αντίθετα από την περίπτωση της στρατηγικής της προσομοιωμένης ανόπτησης, η προσπάθεια για να υπερνικηθεί το ρίσκο

του να “κολλήσει” η μέθοδος σε ένα τοπικό ελάχιστο γίνεται όχι τυχαία, αλλά με στρατηγική. Η συγκεκριμένη μέθοδος, λοιπόν, οδηγεί στην αναζήτηση στο χώρο των εφικτών λύσεων με την κίνηση σε συνεχώς καλύτερες λύσεις.

Συνοπτικά, ο αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης λειτουργεί ως εξής. Πρωτίστως κατασκευάζεται μια αρχική λύση, αξιοποιώντας όλα τα ειδικά χαρακτηριστικά του προβλήματος. Στη συνέχεια υπολογίζεται η τιμή της συνάρτησης κόστους για τις υποψήφιας λύσης στη γειτονιά της αρχικής λύσης προσπαθώντας να κινηθεί η μέθοδος στη γειτονιά της καλύτερης λύσης. Συνήθως είναι η καλύτερη τιμή της συνάρτησης κόστους που καθορίζει το πόσο καλή είναι μια λύση. Για τον υπολογισμό του κόστους υπολογίζουμε μια τιμή κίνησης αντί του υπολογισμού του ολικού κόστους. Χρησιμοποιούμε, λοιπόν, μια συνάρτηση υπολογισμού των αλλαγών που σχετίζονται με την κίνηση στη θέση της συνάρτησης κόστους. Για την αποφυγή να “κολλήσει” ο αλγόριθμος σε ένα τοπικό ελάχιστο, χρησιμοποιούνται όλες οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί στις προηγούμενες επαναλήψεις. Το σύνολο των λύσεων που καθορίζονται από τις συγκεκριμένες πληροφορίες κατασκευάζει τη λίστα περιορισμένης αναζήτησης (tabu list). Η λειτουργία αυτή, που ονομάζεται μνήμη μικρής διάρκειας, θυμάται τις κατευθύνσεις που έχουν τελευταία εξερευνηθεί. Αυτές οι απαγορευμένες πια κατευθύνσεις αναζήτησης ονομάζονται περιορισμένες κινήσεις και με κ θέτουμε το μέγεθος της λίστας. Με τη χρήση αυτής της λίστας αποφεύγεται η πιθανότητα λήψης των ίδιων λύσεων ανάμεσα στις λύσεις που προκύπτουν στις διάφορες επαναλήψεις. Επιπρόσθετα, πολλές φορές χρησιμοποιούνται περιορισμοί που βασίζονται στη συχνότητα. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτήν την περίπτωση υπολογίζουμε πόσες φορές εμφανίζεται κάθε κίνηση στη διάρκεια της αναζήτησης και με βάση τους περιορισμούς συχνότητας εμποδίζεται η εμφάνιση επιπλέον λύσεων προς

μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας μνήμης μακράς διάρκειας που βοηθά στην ποικιλομορφία των λύσεων.

Για την πλήρη εκμετάλλευση των περιορισμών συχνότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν κινήσεις με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Μεταβαίνοντας από μια λύση στην επόμενη, ένα χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης κίνησης μπορεί να περικλείει οποιαδήποτε πιθανή λύση που είναι σε θέση να μεταβάλλει την κίνηση. Οι καταγεγραμμένες κινήσεις συνήθως χρησιμοποιούνται για να παρεμποδίσουν κινήσεις που θα αντιστρέψουν τις αλλαγές, που αναπαριστούνται από αυτές από το να μην επιλεγούν. Κάτι που θα σήμαινε ότι αν μια καινούρια λύση που επιτυγχάνεται από μια δεδομένη κίνηση είναι η s' , τότε η επόμενη λύση αποκλείεται να είναι πάλι η s που ήταν ίση με την αρχική. Περιορισμοί δεν έχουν να κάνουν μόνο με τις λύσεις αλλά και με τον αριθμό των επαναλήψεων.

Υπάρχουν όμως και ορισμένες περιπτώσεις που θα ήταν καλύτερα να μη ληφθούν υπόψη οι παραπάνω περιορισμοί. Η “περιφρόνηση” των περιορισμών, που ονομάζεται *κριτήριο ανασκόπησης*, γίνεται επειδή υπάρχει περίπτωση να οδηγηθούμε σε καλύτερη λύση. Εάν όμως η λύση δεν είναι τόσο καλή όσο θα περιμέναμε, τότε εφαρμόζουμε τους περιορισμούς και επιλύουμε ξανά το πρόβλημα. [15]

Επειδή, τέλος, η περιορισμένη αναζήτηση δε συγκλίνει με φυσικό τρόπο, κρίνεται απαραίτητη η χρήση κάποιων κριτηρίων τερματισμού ώστε να σταματήσει ο αλγόριθμος. Συνήθως, το κριτήριο που χρησιμοποιείται είναι ο αριθμός των επαναλήψεων από την τελευταία βελτιστοποίηση της λύσης. Παρακάτω αναγράφονται ορισμένοι από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους αλγορίθμους περιορισμένης αναζήτησης.

➤ Ο αλγόριθμος του Willard.

- Ο αλγόριθμος περιορισμένης αναζήτησης του Osman.
- Ο αλγόριθμος TABUROUTE.
- Ο αλγόριθμος του Tailard.
- Ο αλγόριθμος των Xu και Kelly.
- Ο αλγόριθμος των Rego και Roucairol.
- Ο αλγόριθμος προσαρμοστικής μνήμης των Rochat και Taillard.

3.3.3 Ο αλγόριθμος των μυρμηγκιών

Ο αλγόριθμος των μυρμηγκιών κατασκευάζει λύσεις, με την επιτυχή επιλογή των πόλεων που θα επισκεφτούν μέχρι την ολοκλήρωση των επισκέψεων όλων των πόλεων. Κάθε φορά που επιλέγεται μια πόλη που παραβιάζει τους περιορισμούς, το όχημα γυρίζει αυτόματα στην αποθήκη και στη συνέχεια αρχίζει μια καινούρια διαδρομή. Στην επιλογή μιας πόλης, δύο χαρακτηριστικά λαμβάνονται υπόψη:

1. Πόσο καλή είναι η πόλη που θα επιλεγεί. Μια πληροφορία που αποθηκεύεται στην αίσθηση που έχουν τα μυρμήγκια και που παρουσιάζεται από το διάνυσμα t_{ij} και σχετίζεται με κάθε τόξο.
2. Πόσο ελπιδοφόρα είναι η επιλογή της συγκεκριμένης πόλης.

Παρακάτω, παρουσιάζεται βηματικά ο συγκεκριμένος αλγόριθμος:

Βήμα 1: Αρχικοποίηση.

Βήμα 2: Για ένα δεδομένο, μέγιστο αριθμό επαναλήψεων:

Βήμα 2.1: Δημιουργία μιας καινούριας λύσης για κάθε μυρμήγκι.

Βήμα 2.2: Βελτίωση όλων των διαδρομών.

Βήμα 2.3: Ενημέρωση του πρώτου κριτηρίου.

3.3.4 Νευρωνικά Δίκτυα

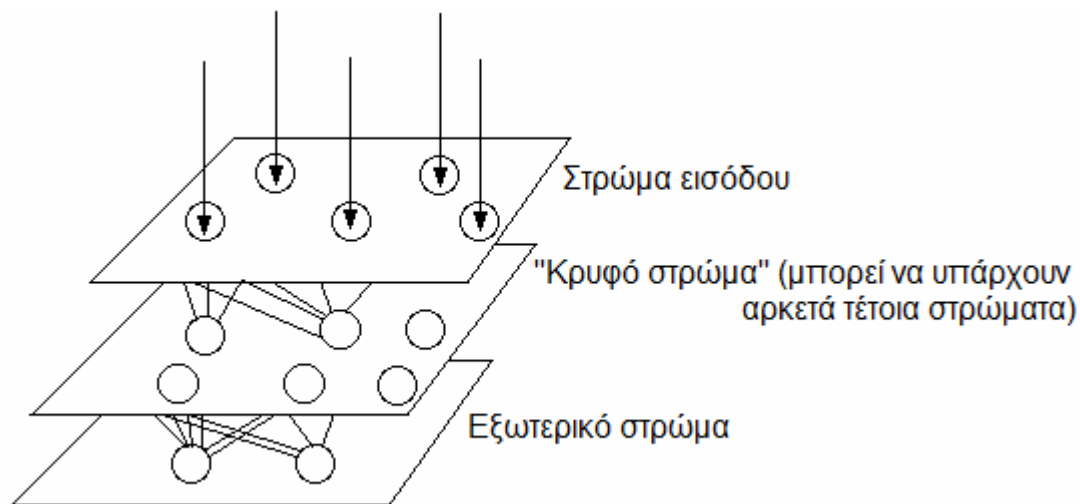
Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν ένα σύστημα το οποίο βασίζεται στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Με τα νευρωνικά δίκτυα, γίνεται μία απόπειρα προσομοίωσης, μέσω εξειδικευμένου λογισμικού και hardware, πολλαπλών στρωμάτων που αποτελούνται από απλά στοιχεία επεξεργασίας, τους λεγόμενους *νευρώνες*. Κάθε νευρώνας συνδέεται με κάποιους από τους γειτονικούς του νευρώνες με διάφορους συντελεστές (βάρη), οι οποίοι αναπαριστούν την ισχύ των δεσμών αυτών. Η εκμάθηση του νευρωνικού δικτύου ολοκληρώνεται ρυθμίζοντας τα βάρη, έτσι ώστε το νευρωνικό δίκτυο να βγάλει καλά αποτελέσματα.

Για να επιτευχθεί η δημιουργία ενός νευρωνικού δικτύου το οποίο θα δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, θα πρέπει να ακολουθηθεί η τακτική *δοκιμής- λάθους* (trial and error), που σημαίνει πως πρέπει να γίνει ένας μεγάλος αριθμός δοκιμών μέχρι το νευρωνικό δίκτυο να εξάγει σωστά αποτελέσματα. [15]

Η σύνθεση ενός νευρωνικού δικτύου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και απαιτεί την εφαρμογή των παρακάτω σταδίων:

- ο τοποθέτηση των νευρώνων σε διάφορα στρώματα (layers).
- ο επιλογή της σύνδεσης των νευρώνων ανάμεσα στα διάφορα στρώματα, αλλά και ανάμεσά τους στο ίδιο στρώμα.
- ο επιλογή του τρόπου με τον οποίο ένας νευρώνας δέχεται δεδομένα, καθώς και του τρόπου με τον οποίο τα εξάγει.
- ο καθορισμός της ισχύος της σύνδεσης, επιτρέποντας στο δίκτυο να μάθει τις τιμές των βαρών, χρησιμοποιώντας μία διαδικασία εκμάθησης

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα σχηματίζονται χρησιμοποιώντας στρώματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Συνήθως, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ακολουθούν τον ίδιο τύπο κατασκευής. Κάποιοι από τους νευρώνες επικοινωνούν με το περιβάλλον για να λάβουν τα δεδομένα εισόδου, ενώ άλλοι νευρώνες εξάγουν στο περιβάλλον τα αποτελέσματα. Οι υπόλοιποι νευρώνες παραμένουν κρυφοί και επεξεργάζονται τα δεδομένα, προκειμένου στη συνέχεια να εξαχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μία απλή κατασκευή τεχνητού νευρωνικού δικτύου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.2: Αναπαράσταση ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου

Στο παραπάνω σχήμα, οι νευρώνες υπάρχουν σε όλα τα στρώματα του δικτύου. Το στρώμα εισαγωγής (input layer) αποτελείται από νευρώνες οι οποίοι δέχονται τα δεδομένα εισόδου από το εξωτερικό περιβάλλον. Το εξωτερικό στρώμα αποτελείται από νευρώνες οι οποίοι επικοινωνούν με το εξωτερικό περιβάλλον για να δώσει τα αποτελέσματα. Μεταξύ των 2 αυτών στρωμάτων υπάρχουν ενδιάμεσα 'κρυφά' στρώματα.

Ο εγκέφαλος μαθαίνει από το παρελθόν. Τα νευρωνικά δίκτυα, με τις εναλλαγές στα βάρη σύνδεσης, προκαλούν την εκμάθηση του δικτύου ώστε να δώσει σωστά αποτελέσματα. Το σύστημα αποκτά νέες γνώσεις κάθε φορά που αλλάζουμε τα βάρη αυτά. Η ικανότητα εκμάθησης ενός νευρωνικού δικτύου εξαρτάται από την αρχιτεκτονική του, καθώς και από τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για την εκμάθησή του. Η εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου γίνεται με 3 μεθόδους:

1. **Εκμάθηση χωρίς επιτήρηση:** Οι ‘κρυφοί’ νευρώνες οργανώνονται μόνοι τους, χωρίς βοήθεια από το εξωτερικό τους περιβάλλον.
2. **Εκμάθηση με ενίσχυση:** Για τη λειτουργία της χρειάζεται βοήθεια από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι κρυφοί νευρώνες ενώνονται τυχαία και οι εναλλαγές στη συνδεσμολογία τους στηρίζονται στο πόσο κοντά βρίσκεται το νευρωνικό δίκτυο στη λύση του προβλήματος.
3. **Εκμάθηση σε βάθος:** Η μέθοδος αυτή λειτουργεί όπως η μέθοδος εκμάθησης με ενίσχυση, με τη διαφορά όμως ότι το δίκτυο επεξεργάζεται και πληροφορίες που αφορούν σε σφάλματα. Επιπλέον, γίνεται φιλτράρισμα των πληροφοριών αυτών, αλλάζοντας έτσι τις συνδέσεις μεταξύ των στρωμάτων του δικτύου, με αποτέλεσμα την εξαγωγή πολύ καλών αποτελεσμάτων.

3.3.5 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι ουσιαστικά στρατηγικές αναζήτησης με τη χρήση τυχειότητας, που έχουν ως κύριο στόχο την προσομοίωση της φυσικής εξέλιξης των πληθυσμών όλων των ειδών. Στους αλγορίθμους αυτούς επιτρέπεται ο συνδυασμός τμημάτων των πληροφοριών που λαμβάνονται από τους γονείς με σκοπό τη δημιουργία απογόνων. Η επιτυχία των γενετικών αλγορίθμων στηρίζεται στο συνδυασμό των κομματιών αυτών, που αποτελούν και το σημαντικότερο παράγοντα.

Για την περιγραφή ενός γενετικού αλγορίθμου, θεωρούμε έναν πληθυσμό X' και μια συνάρτηση f . Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, στόχο αποτελεί η μεγιστοποίηση αυτής της συνάρτησης, όμως στο VRP θέλουμε να επιτύχουμε την ελαχιστοποίησή της. Παρακάτω, περιγράφεται βήμα προς βήμα ένας γενετικός αλγόριθμος, με κ_1 : ο αριθμός των γενεών και κ_2 : ο αριθμός των επιλογών ανά γενιά.[15]

Βήμα 1: Τυχαία επιλογή των δύο γονέων.

Βήμα2: Δημιουργία δύο απογόνων από τους γονείς με ανταλλαγή κάποιων στοιχείων, έπειτα από ένα τυχαίο σημείο όπως φαίνεται και στο παρακάτω παράδειγμα.

Γονέας 1	1	0	1	0	0
Γονέας 2	0	0	1	1	1
Απόγονος 1	1	0	1	1	1
Απόγονος 2	0	0	1	0	0

Βήμα 3: Εφαρμογή μιας τυχαίας μετάλλαξης σε ορισμένα χαρακτηριστικά κάθε απογόνου, που έχουν πολύ μικρή πιθανότητα να συμβούν.

Βήμα 4: Δημιουργία της καινούριας λύσης, με τη διαγραφή των δύο κ_2 χειρότερων λύσεων και την αντικατάστασή τους από δύο κ_2 απογόνους που μόλις δημιουργήθηκαν.

Ορισμένες από τις σημαντικότερες εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων είναι οι εξής:

- Ο αλγόριθμος Gideon.
- Ο αλγόριθμος Generous.

Παρόλα αυτά, η εφαρμογή γενετικών αλγορίθμων στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων εμφανίζει αρκετές *δυσκολίες*:

- Είναι πολύ δύσκολο και περίπλοκο να γίνει αναπαράσταση ενός Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων και ειδικότερα των διαδρομών του.
- Εύκολα δημιουργούνται μη εφικτοί απόγονοι από τους γονείς.

Αναλυτικά οι Γενετικοί Αλγόριθμοι περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4.

Κεφάλαιο 4: Γενετικοί Αλγόριθμοι

4.1 Βασικά σημεία των Γενετικών Αλγορίθμων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, περιγράφηκε συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας ενός γενετικού αλγορίθμου. Στο συγκεκριμένο, θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα βασικά σημεία των αλγορίθμων αυτών.

Οι *αρχικοί βασικοί παράγοντες* που υπάρχουν σε κάθε γενετικό αλγόριθμο είναι οι εξής:

- Κωδικοποίηση. Κωδικοποιούνται οι λύσεις, ώστε να αντιστοιχούν σε κάποιο χρωμόσωμα.
- Μία συνάρτηση, η οποία να εκτιμά την ποιότητα καθενός από τα άτομα του πληθυσμού.
- Αρχικοποίηση του πληθυσμού.
- Επιλογή των τελεστών.
- Τελεστές αναπαραγωγής.

4.1.1 Κωδικοποίηση

Τα χαρακτηριστικά των ατόμων του πληθυσμού αναπαρίστανται από το *χρωμόσωμα*. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν στις μεταβλητές του προβλήματος βελτιστοποίησης. Κάθε μεταβλητή καλείται *γονίδιο* και είναι η μικρότερη ποσότητα πληροφορίας. Η ανάθεση μιας τιμής από την

επιτρεπόμενη περιοχή της αντίστοιχης μεταβλητής αναφέρεται ως αλληλομορφή. [13]

Τα χαρακτηριστικά των ατόμων διαιρούνται σε δύο κλάσεις πληροφοριών: το *γονότυπο* και το *φαινότυπο*. Ο *γονότυπος* περιγράφει τη γενετική σύσταση του οργανισμού των ατόμων, ενώ ο *φαινότυπος* προσδιορίζει την εμφάνιση ενός ατόμου σ' ένα περιβάλλον σε σχέση με κάποια κληρονομικά χαρακτηριστικά. Κάθε γονότυπος αναπαριστά μια υποψήφια λύση του προβλήματος. Πολυσύνθετες σχέσεις υπάρχουν ανάμεσα στο γονότυπο και το φαινότυπο:

- Πλειοτροπία. Ισχύει όταν τυχαίες γονιδιακές τροποποιήσεις προκαλούν απρόσμενες διακυμάνσεις στα φαινοτυπικά γνώρισματα.
- Πολυγενεία. Ισχύει όταν αρκετά γονίδια αλληλεπιδρούν για να παράγουν ένα συγκεκριμένο φαινοτυπικό γνώρισμα.

Η εύρεση της κατάλληλης αναπαράστασης της υποψήφιας λύσης είναι πολύ σημαντική για το σχεδιασμό ενός γενετικού αλγορίθμου. Από αυτήν εξαρτάται η πολυπλοκότητα και η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου.

Ο πιο συνήθης τρόπος αναπαράστασης μιας λύσης είναι ένα δυαδικό διάνυσμα καθορισμένου μήκους, του οποίου κάθε μεταβλητή παίρνει τιμές 0 ή 1. Σε προβλήματα όμως που υπάρχουν συνεχείς τιμές, είναι προτιμότερη η αναπαράσταση πραγματικών τιμών, με μία τιμή να αντιστοιχεί σε κάθε μεταβλητή.[13]

4.1.2 Συνάρτηση Καταλληλότητας

Στο μοντέλο του Δαρβίνου για την εξέλιξη, τα άτομα με τα καλύτερα χαρακτηριστικά έχουν και περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν.

Για να προσδιοριστεί η ικανότητα ενός ατόμου σ' ένα γενετικό αλγόριθμο να επιβιώσει, χρησιμοποιείται μια συνάρτηση, η οποία υπολογίζει πόσο κατάλληλο είναι κάθε μέλος του πληθυσμού (χρωμόσωμα).

Ο συνηθέστερος τρόπος υπολογισμού της συνάρτησης καταλληλότητας είναι αυτή να αντιστοιχεί στη συνάρτηση κόστους του προβλήματος. Αν αφορά σε πρόβλημα μεγιστοποίησης, τότε όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της συνάρτησης, τόσο καλύτερο είναι το συγκεκριμένο άτομο. Αντιθέτως, αν αφορά σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης, ισχύει το ίδιο όσο μικρότερη είναι η τιμή της συνάρτησης.[13]

4.1.3 Αρχικοποίηση του πληθυσμού

Ο πλέον συνήθης τρόπος για να δοθούν τιμές σε κάθε άτομο του πληθυσμού είναι η τυχαία επιλογή τιμών για κάθε μία μεταβλητή του ατόμου. Στόχος της τυχαίας επιλογής είναι να εξασφαλιστεί ότι ο αρχικός πληθυσμός είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος σε όλο το χώρο των λύσεων.

Όσον αφορά στο μέγεθος του πληθυσμού, αν αυτός είναι πολύ μικρός, τότε δεν είναι αντιπροσωπευτικός όλων των δυνατών λύσεων του προβλήματος. Συνεπώς, η αναζήτηση περιορίζεται πολύ και η λύση που προκύπτει δεν είναι ικανοποιητική. Αν ο πληθυσμός είναι πολύ μεγάλος,

καμία μέθοδος βελτιστοποίησης δε μπορεί να ψάξει γρήγορα και αποτελεσματικά μέσα σ' αυτόν.[13]

4.1.4 Επιλογή των τελεστών

Η επιλογή των τελεστών είναι μία απ' τις κυριότερες διαδικασίες των γενετικών αλγορίθμων και σχετίζεται άμεσα με τη θεωρία του Δαρβίνου. Κύριος σκοπός των τελεστών είναι να δώσουν την καλύτερη λύση. Αυτό γίνεται στα εξής δύο βήματα του αλγορίθμου:

1. **Επιλογή του νέου πληθυσμού.** Στο τέλος κάθε γενιάς, επιλέγεται ένας νέος πληθυσμός υποψηφίων λύσεων ως ο πληθυσμός της επόμενης γενιάς. Ο νέος αυτός πληθυσμός μπορεί να επιλεγεί μόνο από τον απόγονο ή απ' τον απόγονο και τους γονείς μαζί.
2. **Αναπαραγωγή.** Δημιουργούνται απόγονοι μέσω των διαδικασιών της διασταύρωσης και της μετάλλαξης.

Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες επιλογής τελεστών. Απλούστερη ήταν η *τυχαία επιλογή* γονέων. Η μέθοδος όμως αυτή εγκαταλείφθηκε, διότι πολλές φορές επιλέγονταν για γονείς τα χειρότερα άτομα του πληθυσμού κι ως αποτέλεσμα, οι απόγονοι είχαν πολύ κακή συνάρτηση ποιότητας. Έτσι, μια πρώτη προσέγγιση που αναπτύχθηκε ήταν η κατάταξη των γονέων από τον καλύτερο στο χειρότερο κι εν συνεχεία επιλογή από τους καλύτερους γονείς.[13]

Μια άλλη διαδικασία επιλογής είναι η *επιλογή από μια ομάδα λύσεων*(*tournament selection*). Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή, επιλέγεται τυχαία ένα σύνολο ατόμων, μικρότερο φυσικά από το συνολικό αριθμό ατόμων στον πληθυσμό. Το μέλος με την καλύτερη συνάρτηση καταλληλότητας επιλέγεται ως ο ένας γονέας. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, ώστε να βρεθεί κι ο δεύτερος γονέας. Πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το μέγεθος του τουρνουά. Αν σε κάθε τουρνουά επιλεγεί πολύ μεγάλος αριθμός ατόμων, είναι πολύ πιθανό ένα αρκετά ισχυρό άτομο να κυριαρχήσει στις επιλογές, οπότε να υπάρχει πολύ γρήγορη σύγκλιση σε όχι τόσο καλή τιμή του αλγορίθμου. Αν επιλεγεί ένα πολύ μικρό μέγεθος, τότε είναι αρκετά πιθανό τα καλά άτομα να μην επιλεγούν ποτέ και να κυριαρχούν μέτριες λύσεις.

Μία επιπλέον διαδικασία είναι αυτή των *εκλεκτών λύσεων*(*elitism*). Πρόκειται για μια διαδικασία εξασφάλισης ότι τα καλύτερα άτομα του υπάρχοντος πληθυσμού επιβιώνουν για την επόμενη γενιά. Αυτό γίνεται μέσω της αντιγραφής των ατόμων αυτών στον καινούριο πληθυσμό, χωρίς να μεταλλάσσονται. Όσο περισσότερα άτομα επιβιώνουν στην επόμενη γενιά, τόσο μικρότερη η ποικιλομορφία του νέου πληθυσμού.

Η πιο εξελιγμένη διαδικασία όμως είναι ο *κανόνας της ρουλέτας*(*roulette wheel selection*). Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή, προστίθενται αρχικά σε μία μεταβλητή οι τιμές όλων των συναρτήσεων ποιότητας των γονέων. Εν συνεχεία, μέσω μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών, επιλέγεται ένας αριθμός από το 1 έως το συνολικό άθροισμα, το οποίο είναι η τιμή της μεταβλητής. Αναλόγως του νούμερου που προκύπτει απ' τη γεννήτρια, επιλέγεται κι ο ένας από τους δύο γονείς.[13]

4.1.5 Τελεστές αναπαραγωγής

Η επόμενη διαδικασία μετά την επιλογή γονέων είναι η δημιουργία απογόνων. Αυτή πραγματοποιείται μέσω της διασταύρωσης, της μετάλλαξης ή και των δύο.

➤ Διασταύρωση

Μέσω της διασταύρωσης, δημιουργούνται δύο ή περισσότεροι απόγονοι, χρησιμοποιώντας γενετικό υλικό τυχαία επιλεγμένο από δύο ή περισσότερους γονείς.

Υπάρχουν τριών ειδών διασταυρώσεις:

- Δημιουργία απογόνου από ένα γονέα.
- Δημιουργία δύο ή περισσότερων απογόνων από δύο γονείς.
- Δημιουργία δύο ή περισσότερων απογόνων από περισσότερους από δύο γονείς.

➤ Μετάλλαξη

Μέσω της μετάλλαξης, επιλέγεται τυχαία ένα υποσύνολο μεταβλητών (γονίδια) και αλλάζουν οι τιμές τους. Στόχος είναι η εισαγωγή νέου γενετικού υλικού στον πληθυσμό.

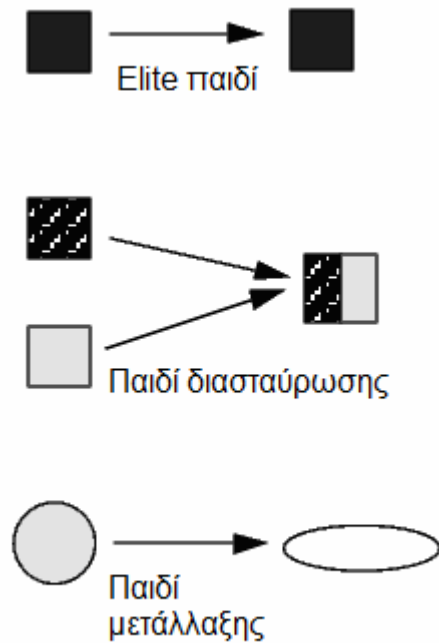
Η μετάλλαξη πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή, ώστε να μην καταστρέφει τις πολύ καλές λύσεις. Γι' αυτό το λόγο και εφαρμόζεται συνήθως σ' ένα μικρό ποσοστό του πληθυσμού. Αυτό όμως δεν είναι

δεδομένο για κάθε εφαρμογή. Κάποιος, για παράδειγμα, μπορεί να ξεκινήσει μ' ένα μεγάλο ποσοστό στον τελεστή μετάλλαξης ώστε να μπορέσει να καλύψει περισσότερα σημεία στο χώρο αναζήτησης κι εν συνεχεία, καθώς οι γενιές αυξάνονται, να μειώνει το ποσοστό. Επιπλέον, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο ποσοστό της μετάλλαξης στην οποία υπόκειται καθένα από τα άτομα που επιλέγονται. [16]

Οι δύο συνηθέστεροι τελεστές μετάλλαξης είναι οι εξής:

- *Ομοιόμορφος τελεστής.* Ο αριθμός και οι θέσεις των γονιδίων που θα γίνει η μετάλλαξη επιλέγονται τυχαία.
- Ο τελεστής κατά τον οποίο επιλέγονται μόνο *δύο γονίδια*, στα οποία θα γίνει τυχαία μετάλλαξη. Στην προκειμένη, ψάχνουμε να βρούμε μόνο τις θέσεις των γονιδίων μέσα στο χρωμόσωμα.

Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι κατηγορίες των απογόνων που προκύπτουν:



Σχήμα 4.1: Οι τρεις τύποι των παιδιών που μπορούν να προκύψουν.

Και οι δύο παραπάνω διαδικασίες είναι πολύ σημαντικές και ουσιαστικές για ένα γενετικό αλγόριθμο. Η διασταύρωση επιτρέπει στον αλγόριθμο να εξαγάγει τα καλύτερα γονίδια από διαφορετικά άτομα και να τα επανασυνδυάσει στα ενδεχομένως ανώτερα παιδιά. Η μετάλλαξη προσθέτει στην ποικιλομορφία ενός πληθυσμού και με αυτόν τον τρόπο αυξάνει την πιθανότητα ο αλγόριθμος να παράγει τα άτομα με τις μεγαλύτερες τιμές προσαρμογής. Χωρίς μετάλλαξη, ο αλγόριθμος θα μπορούσε να παράγει μόνο τα άτομα των οποίων τα γονίδια θα ήταν ένα υποσύνολο των συνδυασμένων γονιδίων στον αρχικό πληθυσμό. [16]

Μετά τις διαδικασίες της διασταύρωσης και της μετάλλαξης, επιλέγεται ο καινούριος πληθυσμός που θα αποτελέσει τη νέα γενιά. Ένα βασικό στοιχείο για την επιλογή είναι ότι δε θα πρέπει να υπάρχουν δύο ή περισσότεροι απόγονοι με τα ίδια ακριβώς χρωμοσώματα, διότι μπορεί να αρχίσουν σιγά σιγά να υπερισχύουν από τους άλλους απογόνους κι εν τέλει να κολλήσουμε σε κάποιο όχι και τόσο καλό τοπικό ελάχιστο.[16]

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι επιλογής νέου πληθυσμού. Ορισμένοι από αυτούς είναι οι εξής:

1. Να μείνουν μόνο οι απόγονοι και να αντικατασταθούν όλοι οι γονείς.
2. Να χρησιμοποιηθεί μια κατάταξη των λύσεων βάσει της συνάρτησης ποιότητας, τόσο των γονέων όσο και των απογόνων, κι από εκεί να επιλεγεί ο νέος πληθυσμός(*επιβίωση των δυνατότερων*).
3. Τα χειρότερα άτομα του τρέχοντος πληθυσμού να αντικαθίστανται από απογόνους(*στρατηγική αντικατάστασης των χειρότερων*).
4. Κάθε απόγονος να αντικαθιστά τυχαία ένα μέλος του τρέχοντος πληθυσμού(*στρατηγική τυχαίας αντικατάστασης*).
5. Να επιλέγεται τυχαία ένα σύνολο από άτομα του πληθυσμού και τα χειρότερα από αυτά να αντικαθίστανται από απογόνους.
6. Να δημιουργείται ένα σύνολο από *εκλεκτές λύσεις*, οι οποίες θα εξαιρούνται από την επιλογή και θα συνεχίζουν πάντα από γενιά σε γενιά.
7. Να επιβιώνουν οι καλύτεροι εκ των γονέων και των απογόνων(*στρατηγική ανταγωνισμού*). [13]

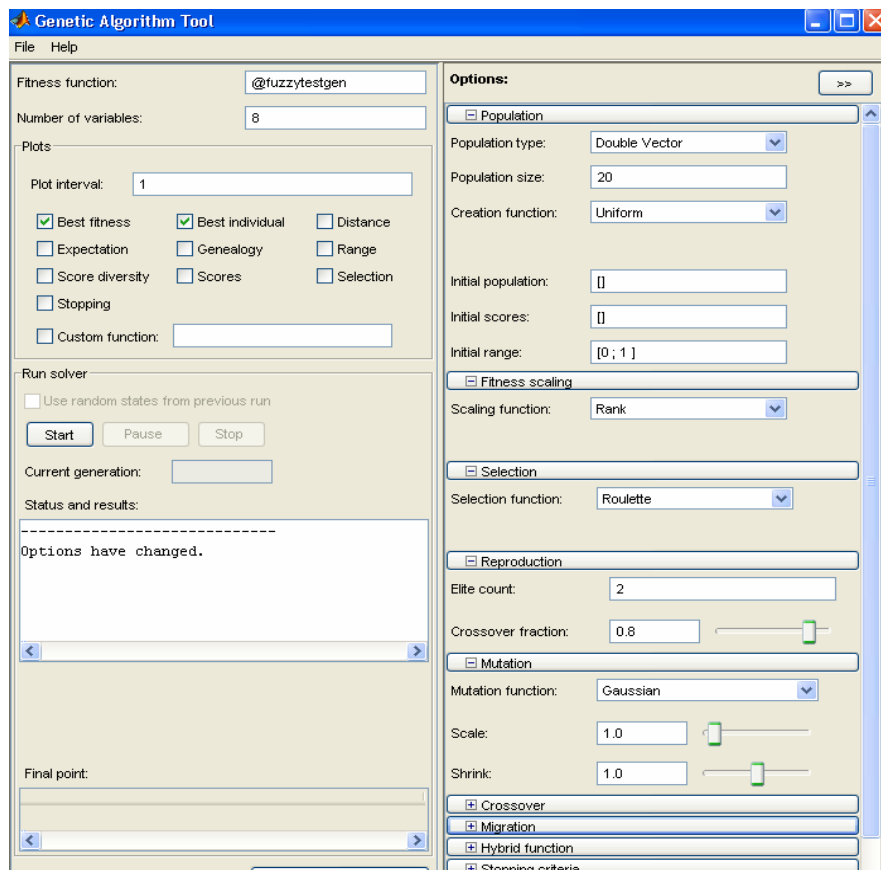
Ένας γενετικός αλγόριθμος **τερματίζει** όταν ισχύσει μία από τις παρακάτω συνθήκες:

- Επιτευχθεί ο μέγιστος αριθμός γενεών(επαναλήψεων).
- Δεν παρουσιαστεί βελτίωση στην καλύτερη λύση του πληθυσμού για ένα συγκεκριμένο αριθμό γενεών.
- Δεν υπάρξει αλλαγή σε κανένα μέλος του πληθυσμού.
- Έχει βρεθεί μία αποδεκτή λύση. [13]

4.2 Το εργαλείο «Genetic Algorithm Toolbox»

Για να εφαρμόσουμε το γενετικό αλγόριθμο, χρησιμοποιήσαμε το *Genetic Algorithm Toolbox* που παρέχει η **Matlab**. Το εργαλείο αυτό είναι μία συλλογή συναρτήσεων, οι οποίες επιφέρουν τη βελτιστοποίηση προβλημάτων, χρησιμοποιώντας σα διεπαφή το περιβάλλον της Matlab. Παρέχει συναρτήσεις για την αρχικοποίηση, την επιλογή τελεστών και τη δημιουργία απογόνων(διασταύρωση και μετάλλαξη), καθώς και παραμέτρους με τις οποίες πειραματιζόμαστε, έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατό καλύτερο αποτέλεσμα. [16]

Το Genetic Algorithm Toolbox «ανοίγει» με την εντολή ‘gatool’ και η μορφή του παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.2: Το Genetic Algorithm Toolbox.

Το Genetic Algorithm Toolbox λειτουργεί ως εξής:

- **Fitness Function:** εισάγουμε το όνομα της αντικειμενικής συνάρτησης που θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε.
- **Number of Variables:** εισάγουμε τις μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται η συνάρτηση αυτή.
- **Best Fitness** και **Best Individual:** είναι οι πιο σημαντικές επιλογές. Η πρώτη αποτυπώνει την καλύτερη τιμή προσαρμογής σε σύγκριση με τη μέση τιμή της σε κάθε γενιά, ενώ η δεύτερη δείχνει τα καλύτερα άτομα στα οποία οφείλεται η τιμή αυτή.

- **Population size:** καθορίζουμε το μέγεθος του πληθυσμού.
- **Selection function:** διαλέγουμε τη διαδικασία επιλογής.
- **Elite count:** ορίζουμε τον αριθμό των ατόμων που θα έχουν την καλύτερη απόδοση και θα επιζήσουν στην επόμενη γενιά.
- **Crossover fraction:** ορίζουμε τον αριθμό των ατόμων τα οποία θα υποστούν τη διαδικασία της διασταύρωσης.

Για την επιλογή ενός νέου πληθυσμού, μία από τις μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η *διαδικασία της ρουλέτας*. Η επιλογή γίνεται με βάση την απόδοση κάθε μέλους του πληθυσμού. Όσο καλύτερο είναι κάθε μέλος, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να επιλεγεί και να περάσει στην επόμενη γενιά. Τα διάφορα μέλη τοποθετούνται στη ρουλέτα βάσει της απόδοσής τους, οπότε όσο μεγαλύτερη απόδοση έχουν, τόσο μεγαλύτερες σχισμές κατέχουν στη ρουλέτα. Για την κατασκευή της ρουλέτας, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Κατά την επιλογή, όλα τα χρωμοσώματα αποτιμώνται και δημιουργείται γι' αυτά μία τιμή προσαρμογής $\pi_i = \text{eval}(v_i)$. Το άθροισμα των τιμών προσαρμογής όλων των αρχικών χρωμοσωμάτων δίνει την ολική προσαρμογή, η οποία είναι η εξής:

$$F_{\text{συνολικό}} = \sum_{i=1}^n \pi_i \quad (\text{I})$$

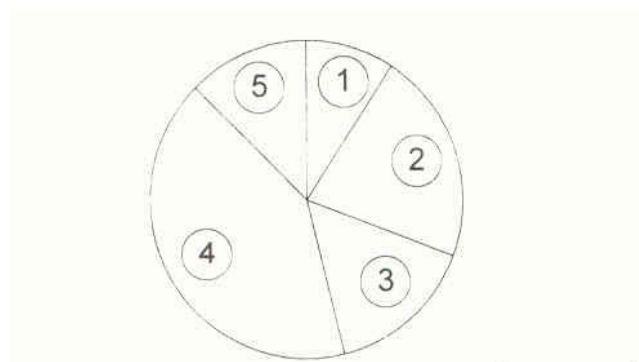
- Η πιθανότητα επιλογής κάθε χρωμοσώματος δίνεται από τον τύπο:

$$p_i = \frac{\pi_i}{F_{\text{συνολικό}}} \quad (\text{II})$$

- Η συσσωρευτική πιθανότητα q_i για κάθε χρωμόσωμα δίνεται από τον τύπο:

$$q_i = \sum_{j=1}^i p_j \quad (\text{III})$$

Στη συνέχεια, δημιουργείται ένας τυχαίος αριθμός r στο διάστημα $[0,1]$. Αν $r < q_1$, τότε επιλέγεται το χρωμόσωμα v_1 , ενώ αν $q_{i-1} < r < q_i$, τότε επιλέγεται το χρωμόσωμα v_i . Η επιλογή χρωμοσωμάτων επαναλαμβάνεται n φορές. Η λογική με την οποία γίνεται η επιλογή ακολουθεί τον κανόνα «τροχού ρουλέτας». Δηλαδή, αναλόγως με την πιθανότητα επιλογής που έχει το κάθε χρωμόσωμα, μπορεί να παρασταθεί σε μία διάταξη με τη μορφή πίτας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3. [16]



Σχήμα 4.3: Επιλογή χρωμοσωμάτων με το μηχανισμό της ρουλέτας.

- **Stopping criteria** : καθορίζεται πότε θα τερματιστεί ο αλγόριθμος, επιλέγοντας αριθμό γενεών ή χρόνο λειτουργίας του.

Κεφάλαιο 5: Η εταιρία ΜΑΛΦΙΝ Α.Ε.Β.Ε.

5.1 Παρουσίαση της εταιρίας ΜΑΛΦΙΝ Α.Ε.Β.Ε.

Η εταιρεία **ΜΑΛΦΙΝ Α.Ε.Β.Ε.** ιδρύθηκε τον Αύγουστο του 2003 και έχει την έδρα της στη θέση Βρύσες Ριτσώνας, στο νομό Βοιωτίας. Στην ίδια θέση, λειτουργεί και το εργοστάσιο βαφής (ηλεκτροστατική βαφή και βαφή σε αποχρώσεις ξύλου) της εταιρείας, σε οικόπεδο είκοσι στρεμμάτων.



Δια μέσου των μετόχων της, η εταιρεία δραστηριοποιείται στο χώρο του αλουμινίου και των εξαρτημάτων πάνω από τριάντα έτη. Σήμερα, κατέχει εξέχουσα θέση στην αγορά, αναλαμβάνοντας υπεύθυνα και με υψηλές ποιοτικές προδιαγραφές τη βαφή φύλλων, προφίλ και εξαρτημάτων αλουμινίου και σιδήρου, παρακολουθώντας συγχρόνως τις τεχνολογικές εξελίξεις στο χώρο.

Η εταιρεία έχει επενδύσει στον τομέα της βαφής αλουμινίου τα τελευταία χρόνια πάνω από τέσσερα εκατομμύρια ευρώ (οικόπεδα, κτίρια, μηχανήματα και λοιπές εγκαταστάσεις ευρωπαϊκών προδιαγραφών). Εξακολουθεί δε να πραγματοποιεί σημαντικές επενδύσεις, που της επιτρέπουν να παρακολουθεί από κοντά τις τεχνολογικές εξελίξεις και να προσαρμόζεται σε αυτές. Επιπροσθέτως, το Τμήμα Ποιοτικού Ελέγχου παρακολουθεί και ελέγχει συνεχώς τις διαδικασίες παραγωγής, ώστε όλα τα προϊόντα να παραδίδονται στον πελάτη εγγυημένα ότι έχουν υποστεί τις απαραίτητες επεξεργασίες που προβλέπονται από τις ισχύουσες προδιαγραφές.

Ως προς τη διαθεσιμότητα και προμήθεια σε πούδρες και φιλμ, η εταιρεία διαθέτει αποθήκη διακοσίων εξήντα χρωμάτων RAL και συνεργάζεται με ορισμένες από τις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές εταιρείες(Akzo Nobel, Neokem, Rohm and Haas, Becker, Decoral, Sublik).

Όσον αφορά στη διαχείριση των αποβλήτων, η εταιρεία έχει εγκαταστήσει μια υπερσύγχρονη μονάδα επεξεργασίας στον ίδιο χώρο, σεβόμενη το περιβάλλον.



5.2 Διαχείριση των παραγγελιών

Το βαφείο του εργοστασίου αποτελείται από **δύο τμήματα**:

- ηλεκτροστατικής βαφής(H/B)
- βαφής σε αποχρώσεις ξύλου.

Οι παραγγελίες δίνονται με **3 τρόπους**:

- με fax
- τηλεφωνικώς
- με απευθείας παράδοση των προς βαφήν προϊόντων στο εργοστάσιο με δελτίο αποστολής.

Αμέσως μετά τη λήψη των παραγγελιών, όταν πρόκειται για **χρώμα H/B**, αυτές διαχωρίζονται αρχικά ανά χρώμα και εν συνεχεία ανά ημερομηνία(παλαιότερες→νεότερες). Τα βασικά χρώματα στα οποία διαχωρίζονται είναι:

- μπλε, κόκκινο, πράσινο, γκρι, καφέ, λευκό και ειδικά.

Οι αποχρώσεις όμως των παραπάνω χρωμάτων ξεπερνούν τις 200.

Όταν πρόκειται για βαφή σε **απόχρωση ξύλου**, τα προϊόντα περνούν πρώτα στην H/B υπόστρωμα και μετά πηγαίνουν στο τμήμα του ξύλου, στο οποίο περνούν film για να αποτυπωθεί η αντίστοιχη απόχρωση. Οι συγκεκριμένες παραγγελίες διαχωρίζονται αρχικά ανά χρώμα υποστρώματος και εν συνεχεία κι αυτές ανά ημερομηνία. Τα βασικά υποστρώματα είναι 10, ενώ υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία στα film.

Μόλις γίνει παραλαβή μιας παραγγελίας:

- ο υπεύθυνος παραγωγής ελέγχει, μέσω Η/Υ, αν υπάρχει επαρκής ποσότητα χρώματος στην αποθήκη. **Αν ναι**, την ταξινομεί. **Διαφορετικά**, παραγγέλλνει το χρώμα που χρειάζεται, στη συνέχεια την ταξινομεί και την προωθεί αναλόγως το χρόνο παράδοσης του χρώματος.
- Εν συνέχεια, ο ίδιος ελέγχει αν κάποια παραγγελία είναι επείγουσα. **Αν ναι**, την προωθεί. **Διαφορετικά**, τσεκάρει σε ποια κατηγορία χρώματος υπάρχουν περισσότερες παραγγελίες και προχωρά.
- Κατά κύριο λόγο, η **σειρά** των χρωμάτων βαφής καθορίζεται από την απόχρωση. Οι διαφορετικές αποχρώσεις των παραγγελιών πρέπει να ταιριάζουν, ώστε να κερδίζουμε χρόνο απ' τον καθαρισμό της καμπίνας βαφής. Συνήθως, βάφονται πρώτα τα «ανοιχτά» χρώματα και μετά τα πιο σκούρα. Όσον αφορά στα υποστρώματα, υπό κανονικές συνθήκες, αφιερώνεται μία συγκεκριμένη μέρα για τη βαφή τους.

5.3 Παραγωγική Διαδικασία

Η παραγωγική διαδικασία δεν είναι ιδιαίτερα περίπλοκη. Από την προηγούμενη μέρα, ξεκινά η *προεργασία* για την παραγωγή της επομένης. Αρχικά, διαχωρίζονται τα αλουμίνια που θα τεθούν σε προεργασία. Εν συνέχεια, τα αλουμίνια αυτά τοποθετούνται σε ειδικά καλάθια, τα οποία

με τη σειρά τους βυθίζονται στα λεγόμενα «μπάνια». Τα μπάνια είναι δεξαμενές χωρητικότητας δεκάδων τόνων νερού, στα οποία γίνεται η χημική επεξεργασία των αλουμινίων. Είναι οχτώ στο σύνολό τους και αντιστοίχως γίνονται οι παρακάτω διεργασίες:

1. **Απολάδωση.** Αφαιρείται το λάδι που έχουν τα αλουμίνια από την παρασκευή τους. Χρόνος παραμονής: 20'.
2. **Ξέπλυμα.** Τα αλουμίνια ξεπλένονται σε καθαρό νερό και στραγγίζονται.
3. **Ενεργοποίηση.** Τα αλουμίνια «ενεργοποιούνται», ώστε να δεχτούν τη χρωμάτωση. Χρόνος παραμονής: 20'.
4. **Ξέπλυμα.** Ομοίως με το στάδιο 2.
5. **Χρωμάτωση.** Τα αλουμίνια περνούν από χρωμάτωση. Χρόνος παραμονής: 2'.
6. **Ξέπλυμα.** Ομοίως με το στάδιο 2.
7. **Ξέπλυμα.** Τα αλουμίνια ξεπλένονται με απιονισμένο νερό.
8. **Στεγνωτήριο.** Τα αλουμίνια στεγνώνουν από το ξέπλυμα. Χρόνος παραμονής: 20' - 30'.

Την επόμενη μέρα της προεργασίας, τα προς βαφίν αλουμίνια κρεμιούνται σε ειδικές μπάρες στον τομέα της H/B και προχωρούν σε βαφή. Στον τομέα της H/B, υπάρχουν τρεις καμπίνες βαφής:

- *Καμπίνα βαφής ειδικών και απλών χρωμάτων.* Διαθέτει τέσσερα ρομποτικά πιστόλια βαφής σε κάθε πλευρά.
- *Καμπίνα βαφής υποστρώματος.* Διαθέτει την ίδια διάταξη με την προηγούμενη καμπίνα.
- *Μικρή καμπίνα βαφής.* Εδώ βάφονται παραγγελίες πολύ μικρής ποσότητας. Διαθέτει ένα χειροκίνητο πιστόλι βαφής.

Αφού τα αλουμίνια βαφτούν ηλεκτροστατικά, τοποθετούνται στο φούρνο για ψήσιμο, ώστε να σταθεροποιηθεί το χρώμα. Οι χρόνοι παραμονής στο φούρνο διαφέρουν από χρώμα σε χρώμα. Μέσος χρόνος παραμονής είναι 14'. Μετά την έξοδό τους από το φούρνο, τα αλουμίνια ξεκρεμιούνται σε καρότσια. Εκείνα που αφορούν σε παραγγελίες χρωμάτων H/B, πηγαίνουν για τύλιγμα, ενώ εκείνα που αφορούν σε παραγγελίες αποχρώσεων ξύλου, πηγαίνουν στον τομέα του ξύλου για περαιτέρω επεξεργασία.

Στον τομέα του ξύλου, τα αλουμίνια τοποθετούνται αρχικά στο συρραπτικό. Το συρραπτικό είναι το μηχάνημα εκείνο το οποίο περνάει στο αλουμίνιο το film της απόχρωσης που πρέπει να αποτυπωθεί και το συρράπτει στις άκρες. Εν συνεχεία, τα περασμένα με film αλουμίνια τοποθετούνται σε ειδικά καρότσια, τα οποία στα σημεία που φτάνουν τα άκρα των αλουμινίων διαθέτουν σύστημα απορρόφησης του αέρα. Ως αποτέλεσμα, το film «κολλάει» πάνω στο αλουμίνιο, έτσι ώστε να γίνει πλήρως και σωστά η αποτύπωση του σχεδίου.

Τα καρότσια αυτά με τη σειρά τους εισέρχονται στο φούρνο, ώστε με το ψήσιμο να τυπωθεί το μοτίβο του ξύλου πάνω στα αλουμίνια. Οι

χρόνοι ψησίματος κι εδώ διαφέρουν από σχέδιο σε σχέδιο. Μέσος όρος παραμονής στο φούρνο είναι 10'. Αφού το ψήσιμο ολοκληρωθεί, αφαιρείται το film και τα αλουμίνια προχωρούν για τύλιγμα.

Τα αλουμίνια, αφού τυλιχθούν, γίνονται δέματα. Κάθε παραγγελία αποτελείται από ένα ή περισσότερα δέματα. Κάθε δέμα είναι καλύτερο να μην ξεπερνά σε βάρος τα 300kg., ώστε να προστατεύονται τα αλουμίνια από πιθανά χτυπήματα. Τα δέματα τοποθετούνται στην αποθήκη, μέχρι να έρθει η στιγμή να παραλειφθούν ή να φορτωθούν σε φορτηγό της εταιρίας και να διανεμηθούν.

Κεφάλαιο 6: Μοντελοποίηση του προβλήματος

6.1 Εισαγωγή.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, θα επεξεργαστούμε τη ζήτηση **44 πελατών** της εταιρίας ΜΑΛΦΙΝ Α.Ε.Β.Ε. για δύο μήνες, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Σκοπός μας είναι να καθορίσουμε την καλύτερη διαδρομή που μπορεί να ακολουθηθεί από φορτηγό της εταιρίας κατά τη διανομή των παραγγελιών, ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος.

Για να προχωρήσουμε στην επίλυση του προβλήματος, πρέπει πρωτίστως να το *μοντελοποιήσουμε μαθηματικά*. Το συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο έχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- Όλα τα οχήματα ξεκινούν από το εργοστάσιο της εταιρίας και καταλήγουν σ' αυτό.
- Ο στόλος των οχημάτων αποτελείται από φορτηγά ίδιας χωρητικότητας.

6.2 Μεταβλητές του προβλήματος.

Για να μοντελοποιήσουμε μαθηματικά το συγκεκριμένο πρόβλημα, πρέπει αρχικά να ορίσουμε τις μεταβλητές του. Αυτές είναι οι εξής:

- c_{ij} : η απόσταση από τον πελάτη i στον πελάτη j , η οποία είναι ίση με την απόσταση από τον πελάτη j στον πελάτη i .

- k : ο αριθμός των οχημάτων.
- C : η χωρητικότητα των οχημάτων.
- d_i : η ζήτηση του πελάτη i .
- u_i : το φορτίο του οχήματος μετά την εξυπηρέτηση του πελάτη i .
- x_{ij} : δυαδική μεταβλητή, η οποία παίρνει την τιμή 1 αν το όχημα πηγαίνει με πορεία από τον πελάτη i στον πελάτη j και 0 σε αντίθετη περίπτωση.
- V : το σύνολο των κόμβων (δηλ. των πελατών).

6.3 Αντικειμενική Συνάρτηση και Περιορισμοί.

Το ζητούμενο στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η ελαχιστοποίηση της παρακάτω αντικειμενικής συνάρτησης:

$$\min \sum_{i,j \in V} C_{ij} x_{ij}$$

υ.π. :

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1, \text{ για όλους τους πελάτες } j \text{ που ανήκουν στο σύνολο } V, \text{ εκτός}$$

του σημείου απ' όπου ξεκινούν οι διανομές. (I)

$$\sum_{j \in V'} x_{ij} = 1, \text{ για όλους τους πελάτες } i \text{ που ανήκουν στο σύνολο } V', \text{ εκτός του σημείου απ' όπου ξεκινούν οι διανομές.} \quad (\text{II})$$

$$\sum_{i \in V'} x_{i0} = k, \text{ για όλους τους πελάτες } i. \quad (\text{III})$$

$$\sum_{j \in V'} x_{0j} = k, \text{ για όλους τους πελάτες } j. \quad (\text{IV})$$

$$u_i - u_j + Cx_{ij} \leq C - d_j, \text{ για όλους τους πελάτες } i, j, \text{ εκτός του σημείου απ' όπου ξεκινούν οι διανομές, καθώς και για } i \neq j, \text{ όταν } d_i + d_j \leq C. \quad (\text{V})$$

$$d_i \leq u_i \leq C, \text{ για όλους τους πελάτες } i, \text{ εκτός του σημείου απ' όπου ξεκινούν οι διανομές.} \quad (\text{VI})$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \text{ για όλους τους πελάτες } i, j. \quad (\text{VII})$$

Οι περιορισμοί **(I)** και **(II)** δηλώνουν ότι ακριβώς ένα τόξο εισέρχεται και εξέρχεται από κάθε πελάτη. Για να οριστούν οι απαιτήσεις σε αριθμό οχημάτων για την εξυπηρέτηση όλων των πελατών τίθενται οι περιορισμοί **(III)** και **(IV)**.

Με τη σειρά τους, οι περιορισμοί **(V)** και **(VI)** θέτουν τα όρια στη χωρητικότητα των οχημάτων. Επιβάλλεται το φορτίο του οχήματος μετά

την εξυπηρέτηση του πελάτη j να είναι ίσο με το άθροισμα του φορτίου μετά τον πελάτη i και της ζήτησης του πελάτη j , δεδομένου ότι ο πελάτης j έπεται του πελάτη i .

Τέλος, κατά τον περιορισμό (VII), το x_{ij} είναι ίσο με 1 όταν το όχημα καλύπτει τη διαδρομή $i \rightarrow j$ και ίσο με 0 σε αντίθετη περίπτωση.

Στο πρόβλημά μας, οι τιμές των παραπάνω μεταβλητών είναι οι εξής:

- c_{ij} : οι τιμές παρατίθενται στον πίνακα 6.2.
- $k = 1$. Στην προκειμένη, χρησιμοποιείται μόνο ένα φορτηγό.
- $C = 12tn$.
- d_i : οι τιμές παρατίθενται στον πίνακα 6.3.
- u_i : υπολογίζεται από τον αλγόριθμο που θα χρησιμοποιήσουμε για την επίλυση του προβλήματος.

Παραθέτουμε επιπλέον τις συντεταγμένες των πελατών, στον πίνακα 6.1. Ως «Π1, Π2,..., Π45» ορίζονται οι πελάτες της εταιρίας, ενώ ως «Ε» ορίζεται το εργοστάσιο, δηλ. η έδρα της εταιρίας.

Πελάτες	X1	Y1	X2	Y2	X	Y
Π1	491437	4202638	491416	4202672	491426,5	4202655
Π2	488821	4203032	488793	4203043	488807	4203038
Π3	473240	4202666	473275	4202664	473257,5	4202665
Π4	477804	4194320	477798	4194430	477801	4194375
Π5	471825	4201047	471689	4201117	471762	4201082
Π6	470832	4201936	470875	4201915	470853,5	4201926
Π7	471825	4201047	471689	4201117	471762	4201082
Π8	492253	4201259	492249	4201267	492251	4201263
Π9	472374	4203605	472343	4203618	472358,5	4203612
Π10	476406	4207842	476568	4207833	476487	4207838
Π11	476766	4195884	476809	4195871	476787,5	4195878
Π12	478813	4213511	478827	4213559	478820	4213535
Π13	473402	4205945	473365	4205968	473383,5	4205957
Π14	472604	4203488	472570	4703509	472587	4453499
Π15	471937	4203708	472044	4203895	471990,5	4203802
Π16	483186	4188727	483185	4188732	483185,5	4188730
Π17	472992	4203954	472947	4204003	472969,5	4203979
Π18	472992	4203954	472947	4204003	472969,5	4203979
Π19	472707	4200348	472635	4200288	472671	4200318
Π20	477452	4211370	477471	4211432	477461,5	4211401
Π21	475081	4198871	475060	4198290	475070,5	4198331
Π22	473720	4214152	473650	4214126	473685	4214139
Π23	479259	4212763			479259	4212763
Π24	472374	4203605	472343	4203618	472358,5	4203612
Π25	473240	4202666	473275	4202664	473257,5	4202665
Π26	487185	4219690	487204	4219694	487194,5	4219692
Π27	472133	4201403	472036	4201279	472084,5	4201341
Π28	472485	4203326	472375	4203204	472430	4203265
Π29	480251	4216143	480297	4216243	480274	4216193
Π30	471937	4203708	472044	4203895	471990,5	4203802
Π31	471937	4203708	472044	4203895	471990,5	4203802
Π32	487185	4219690	487134	4219686	487159,5	4219688
Π33	479092	4191731	479215	4191789	479153,5	4191760
Π34	478310	4195340	478294	4195167	478302	4195254
Π35	470627	4238496	471051	4238202	470839	4238349
Π36	472485	4203326	472375	4203204	472430	4203265
Π37	467643	4203950			467643	4203950
Π38	474627	4209974	474935	4209928	474781	4209951
Π39	472992	4203954	472947	4204003	472969,5	4203979
Π40	469502	4239248	469769	4239069	469635,5	4239159
Π41	473899	4202984	473924	4203082	473911,5	4203033
Π42	479046	4215521	478928	4215564	478987	4215543
Π43	480073	4215860	480186	4216036	480129,5	4215948
Π44	471937	4203708	472044	4203895	471990,5	4203802
Π45	479050	4215166	478950	4215264	479000	4215215
E	468423	4240039	469137	4239521	468780	4239780

Πίνακας 6.1: Συντεταγμένες πελατών.

0	4278,210666	18169,00275	15944,04749	19727,31328	20585,92964	19727,31328	1617,85792
4278,210666	0	15911,02468	16035,77071	17750,74661	18418,37958	17750,74661	5887,018452
18169,00275	15911,02468	0	9453,438118	2177,707338	2515,169229	2177,707338	19045,17383
15944,04749	16035,77071	9453,438118	0	9025,152076	10260,49738	9025,152076	16007,71826
19727,31328	17750,74661	2177,707338	9025,152076	0	1239,703392	0	20489,79946
20585,92964	18418,37958	2515,169229	10260,49738	1239,703392	0	1239,703392	21407,75356
19727,31328	17750,74661	2177,707338	9025,152076	0	1239,703392	0	20489,79946
1617,85792	5887,018452	19045,17383	16007,71826	20489,79946	21407,75356	20489,79946	0
19091,97518	16626,44364	1305,397736	10720,71539	2598,881009	2260,004646	2598,881009	20030,65172
15812,87344	12450,79917	6097,903451	13526,47412	8243,93142	8166,276156	8243,93142	17080,03941
16131,79554	15738,29661	7650,559212	1812,370961	7234,809638	8472,936917	7234,809638	16374,47534
16652,27439	12488,10135	12210,58173	19187,07797	14314,06906	14079,97203	14314,06906	18193,23349
18342,56665	15423,71269	3293,910784	12395,38013	5137,121032	4759,18701	5137,121032	19442,5178
251549,9717	247992,0058	250834,3962	259175,9519	252417,8482	251578,9724	252417,8482	253000,8307
19469,78578	16964,50318	1702,034444	11073,42822	2729,082721	2193,660183	2729,082721	20418,90894
16181,27409	18198,02534	17110,32858	7801,571028	16824,99951	18061,35765	16824,99951	15468,41661
18504,3914	15970,7823	1344,703034	10750,37695	3138,115438	2948,264744	3138,115438	19471,77913
18504,3914	15970,7823	1344,703034	10750,37695	3138,115438	2948,264744	3138,115438	19471,77913
18900,53833	17119,6722	2419,171604	7850,869315	1187,424524	2426,388778	1187,424524	19602,79126
16477,67402	12549,40248	9694,911655	17029,38449	11788,38671	11552,08917	11788,38671	17930,65404
16918,03878	15750,85018	4698,389006	4806,413476	4303,129617	5541,400004	4303,129617	17428,97405
21133,93192	17155,44188	11481,96117	20188,04478	13197,84748	12537,42296	13197,84748	22593,97557
15818,33494	11678,89782	11746,8126	18445,71246	13879,86924	13715,09521	13879,86924	17350,56379
19091,97518	16626,44364	1305,397736	10720,71539	2598,881009	2260,004646	2598,881009	20030,65172
18169,00275	15911,02468	0	9453,438118	2177,707338	2515,169229	2177,707338	19045,17383
17554,74845	13749,38277	22003,60648	27003,48739	24176,31395	24138,69929	24176,31395	19110,10814
19386,58196	17369,48815	1768,871109	9011,300031	413,6269454	1362,718331	413,6269454	20166,65084
19006,29139	16610,02364	1022,133186	10386,51727	2282,917651	2068,722432	2282,917651	19921,84843
17540,11688	13264,47395	15239,35879	21957,706	17343,4848	17096,99905	17343,4848	19140,36126
19469,78578	16964,50318	1702,034444	11073,42822	2729,082721	2193,660183	2729,082721	20418,90894
19469,78578	16964,50318	1702,034444	11073,42822	2729,082721	2193,660183	2729,082721	20418,90894
17559,33877	13749,56023	21978,35601	26987,58031	24150,90562	24112,07254	24150,90562	19115,54334
16411,20209	17234,76337	12396,84803	2944,058636	11896,80446	13123,54336	11896,80446	16181,8267
15067,67077	15054,88894	8965,339508	1011,317581	8760,308913	9999,78681	8760,308913	15188,43939
41205,66457	36971,36806	35765,86359	44521,70392	37278,42832	36423,50289	37278,42832	42823,41813
19006,29139	16610,02364	1022,133186	10386,51727	2282,917651	2068,722432	2282,917651	19921,84843
23818,72997	21266,70055	5759,67319	13959,42653	5019,121935	3795,511889	5019,121935	24754,26495
18174,2754	14561,7361	7443,577651	15866,06996	9368,752425	8934,982177	9368,752425	19511,08003
18504,3914	15970,7823	1344,703034	10750,37695	3138,115438	2948,264744	3138,115438	19471,77913
42513,40609	38269,83374	36673,29982	45522,3247	38136,33348	37253,41657	38136,33348	44131,25487
17519,07843	15195,49079	750,4265454	9491,531713	2902,88671	3252,371481	2902,88671	18424,71602
17983,77926	13736,39054	14186,00284	21300,54347	16254,50046	15947,09727	16254,50046	19562,81463
17444,94362	13172,58579	14955,34931	21698,30042	17059,1035	16812,93199	17059,1035	19041,53322
19469,78578	16964,50318	1702,034444	11073,42822	2729,082721	2193,660183	2729,082721	20418,90894
17668,37577	13431,44651	13801,40595	20874,46289	15878,61244	15587,69619	15878,61244	19241,81138
43487,11979	39238,20887	37384,10399	46292,46662	38812,72379	37911,24599	38812,72379	45104,84597

Πίνακας 6.2: Αποστάσεις μεταξύ πελατών

19091,97518	15812,87344	16131,79554	16652,27439	18342,56665	251549,9717	19469,78578	16181,27409
16626,44364	12450,79917	15738,29661	12488,10135	15423,71269	247992,0058	16964,50318	18198,02534
1305,397736	6097,903451	7650,559212	12210,58173	3293,910784	250834,3962	1702,034444	17110,32858
10720,71539	13526,47412	1812,370961	19187,07797	12395,38013	259175,9519	11073,42822	7801,571028
2598,881009	8243,93142	7234,809638	14314,06906	5137,121032	252417,8482	2729,082721	16824,99951
2260,004646	8166,276156	8472,936917	14079,97203	4759,18701	251578,9724	2193,660183	18061,35765
2598,881009	8243,93142	7234,809638	14314,06906	5137,121032	252417,8482	2729,082721	16824,99951
20030,65172	17080,03941	16374,47534	18193,23349	19442,5178	253000,8307	20418,90894	15468,41661
0	5907,925884	8912,395694	11841,74119	2559,228399	249887,1045	414,1545605	18403,74562
5907,925884	0	11963,7745	6156,65455	3629,031999	245691,9553	6042,169168	20248,10031
8912,395694	11963,7745	0	17774,09245	10638,30142	257655,2422	9262,882111	9593,13859
11841,74119	6156,65455	17774,09245	0	9326,7998	240044,4368	11890,46225	25186,71119
2559,228399	3629,031999	10638,30142	9326,7998	0	247543,2814	2566,022993	19820,41203
249887,1045	245691,9553	257655,2422	240044,4368	247543,2814	0	249697,7125	264981,04
414,1545605	6042,169168	9262,882111	11890,46225	2566,022993	249697,7125	0	18774,8025
18403,74562	20248,10031	9593,13859	25186,71119	19820,41203	264981,04	18774,8025	0
712,7482024	5221,559848	8955,63091	11205,13465	2020,861203	249520,2932	994,871851	18354,79929
712,7482024	5221,559848	8955,63091	11205,13465	2020,861203	249520,2932	994,871851	18354,79929
3308,292384	8432,362436	6055,048513	14577,35538	5683,338675	253180,5139	3549,345362	15647,62099
9312,191968	3694,344664	15538,12499	2529,719006	6802,401359	242146,5677	9363,986397	23382,923
5936,65773	9611,946798	2994,210747	15659,99906	7810,367789	255180,0854	6278,394779	12571,09486
10610,7426	6896,383563	18523,17166	5170,400468	8188,05279	239362,0184	10475,45877	27127,51722
11461,53796	5651,949597	17065,41598	888,0906485	8991,659608	240827,9397	11538,61233	24352,13593
0	5907,925884	8912,395694	11841,74119	2559,228399	249887,1045	414,1545605	18403,74562
1305,397736	6097,903451	7650,559212	12210,58173	3293,910784	250834,3962	1702,034444	17110,32858
21878,9711	15974,34589	25989,15272	10394,27243	19478,39011	234262,3711	21992,48977	31220,9623
2286,973163	7847,70785	7208,88627	13930,56339	4794,813995	252158,0007	2462,294915	16801,25392
353,8000848	6112,855736	8576,885361	12095,66038	2855,404437	250233,5493	693,5362283	18082,07788
14864,36284	9173,644273	20612,50161	3029,699655	12339,56735	237429,9693	14905,22205	27617,39786
414,1545605	6042,169168	9262,882111	11890,46225	2566,022993	249697,7125	0	18774,8025
414,1545605	6042,169168	9262,882111	11890,46225	2566,022993	249697,7125	0	18774,8025
21852,31002	15947,93424	25971,49003	10363,71889	19450,76524	234264,1835	21965,41471	31212,5199
13661,26192	16297,12332	4748,869576	21777,55375	15324,27852	261820,8573	14010,9347	5043,90268
10255,79623	12714,21571	1638,012897	18288,8372	11779,04288	258308,2292	10625,59816	8149,303544
34770,71737	31029,84912	42886,04627	26065,89644	32492,28426	215156,6008	34566,68495	51132,48324
353,8000848	6112,855736	8576,885361	12095,66038	2855,404437	250233,5493	693,5362283	18082,07788
4727,633922	9660,693156	12197,83327	14724,04679	6081,067546	249597,4699	4350,03546	21753,9175
6786,58725	2716,121914	14215,8167	5399,868239	4231,906958	243557,3821	6753,017141	22825,1546
712,7482024	5221,559848	8955,63091	11205,13465	2020,861203	249520,2932	994,871851	18354,79929
35651,64071	32062,11806	43868,43223	27220,2942	33413,37322	214359,8204	35435,84105	52218,16705
1657,248095	5451,27696	7711,845191	11592,47067	2970,797241	250469,0021	2069,01746	17046,9114
13736,15569	8195,610105	19887,00644	2114,106253	11190,07633	237942,0869	13753,55566	27238,51999
14580,04366	8890,895146	20346,84089	2745,425149	12055,64549	237670,2113	14621,24424	27389,52132
414,1545605	6042,169168	9262,882111	11890,46225	2566,022993	249697,7125	0	18774,8025
13369,76943	7793,758737	19463,66005	1689,615341	10828,89166	238369,7819	13394,06856	26814,1776
36345,09671	32859,11069	44626,78078	28099,85098	34135,33894	213752,4046	36121,45862	53044,05698

Πίνακας 6.2: συνέχεια

18504,3914	18504,3914	18900,53833	16477,67402	16918,03878	21133,93192	15818,33494	19091,97518
15970,7823	15970,7823	17119,6722	12549,40248	15750,85018	17155,44188	11678,89782	16626,44364
1344,703034	1344,703034	2419,171604	9694,911655	4698,389006	11481,96117	11746,8126	1305,397736
10750,37695	10750,37695	7850,869315	17029,38449	4806,413476	20188,04478	18445,71246	10720,71539
3138,115438	3138,115438	1187,424524	11788,38671	4303,129617	13197,84748	13879,86924	2598,881009
2948,264744	2948,264744	2426,388778	11552,08917	5541,400004	12537,42296	13715,09521	2260,004646
3138,115438	3138,115438	1187,424524	11788,38671	4303,129617	13197,84748	13879,86924	2598,881009
19471,77913	19471,77913	19602,79126	17930,65404	17428,97405	22593,97557	17350,56379	20030,65172
712,7482024	712,7482024	3308,292384	9312,191968	5936,65773	10610,7426	11461,53796	0
5221,559848	5221,559848	8432,362436	3694,344664	9611,946798	6896,383563	5651,949597	5907,925884
8955,63091	8955,63091	6055,048513	15538,12499	2994,210747	18523,17166	17065,41598	8912,395694
11205,13465	11205,13465	14577,35538	2529,719006	15659,99906	5170,400468	888,0906485	11841,74119
2020,861203	2020,861203	5683,338675	6802,401359	7810,367789	8188,05279	8991,659608	2559,228399
249520,2932	249520,2932	253180,5139	242146,5677	255180,0854	239362,0184	240827,9397	249887,1045
994,871851	994,871851	3549,345362	9363,986397	6278,394779	10475,45877	11538,61233	414,1545605
18354,79929	18354,79929	15647,62099	23382,923	12571,09486	27127,51722	24352,13593	18403,74562
0	0	3672,65061	8675,918986	6026,118568	10185,66152	10803,94606	712,7482024
0	0	3672,65061	8675,918986	6026,118568	10185,66152	10803,94606	712,7482024
3672,65061	3672,65061	0	12074,01256	3115,727283	13858,14695	14081,18493	3308,292384
8675,918986	8675,918986	12074,01256	0	13287,39445	4664,61105	2255,227317	9312,191968
6026,118568	6026,118568	3115,727283	13287,39445	0	15869,09835	15027,9935	5936,65773
10185,66152	10185,66152	13858,14695	4664,61105	15869,09835	0	5741,328418	10610,7426
10803,94606	10803,94606	14081,18493	2255,227317	15027,9935	5741,328418	0	11461,53796
712,7482024	712,7482024	3308,292384	9312,191968	5936,65773	10610,7426	11461,53796	0
1344,703034	1344,703034	2419,171604	9694,911655	4698,389006	11481,96117	11746,8126	1305,397736
21195,86533	21195,86533	24213,30065	12785,61575	24562,269	14606,24521	10534,85649	21878,9711
2782,019276	2782,019276	1179,199411	11406,82817	4240,201204	12897,68988	13488,34809	2286,973163
894,5068474	894,5068474	2956,837838	9566,111449	5596,564169	10946,18203	11698,17272	353,8000848
14231,99672	14231,99672	17601,73952	5556,385538	18604,98101	6901,727103	3577,027397	14864,36284
994,871851	994,871851	3549,345362	9363,986397	6278,394779	10475,45877	11538,61233	414,1545605
994,871851	994,871851	3549,345362	9363,986397	6278,394779	10475,45877	11538,61233	414,1545605
21169,42347	21169,42347	24189,12012	12756,39342	24541,53066	14572,35572	10505,88051	21852,31002
13694,29072	13694,29072	10736,02209	19713,74508	7735,784333	23037,45067	21003,26497	13661,26192
10225,51619	10225,51619	7573,461642	16169,3598	4462,120712	19441,67686	17535,63341	10255,79623
34436,4676	34436,4676	38075,09928	27749,8146	40241,59458	24376,70642	26935,84593	34770,71737
894,5068474	894,5068474	2956,837838	9566,111449	5596,564169	10946,18203	11698,17272	353,8000848
5326,576246	5326,576246	6202,596876	12325,59707	9313,782073	11845,737	14580,82388	4727,633922
6241,176852	6241,176852	9861,378656	3047,553158	11624,10558	4329,036844	5287,705362	6786,58725
0	0	3672,65061	8675,918986	6026,118568	10185,66152	10803,94606	712,7482024
35338,12582	35338,12582	38959,43456	28840,12552	41188,65909	25345,58838	28095,56136	35651,64071
1334,666344	1334,666344	2984,973241	9089,880307	4843,220752	11108,30942	11102,64186	1657,248095
13124,75532	13124,75532	16575,04619	4507,49071	17749,48777	5511,054005	2892,318145	13736,15569
13947,5636	13947,5636	17318,37528	5271,947743	18329,47864	6693,583588	3301,816962	14580,04366
994,871851	994,871851	3549,345362	9363,986397	6278,394779	10475,45877	11538,61233	414,1545605
12752,48456	12752,48456	16185,69893	4112,612096	17335,72354	5422,822236	2465,64089	13369,76943
36045,79466	36045,79466	39653,36461	29677,19804	41924,11526	26105,93622	28978,05601	36345,09671

Πίνακας 6.2: συνέχεια

18169,00275	17554,74845	19386,58196	19006,29139	17540,11688	19469,78578	19469,78578	17559,33877
15911,02468	13749,38277	17369,48815	16610,02364	13264,47395	16964,50318	16964,50318	13749,56023
0	22003,60648	1768,871109	1022,133186	15239,35879	1702,034444	1702,034444	21978,35601
9453,438118	27003,48739	9011,300031	10386,51727	21957,706	11073,42822	11073,42822	26987,58031
2177,707338	24176,31395	413,6269454	2282,917651	17343,4848	2729,082721	2729,082721	24150,90562
2515,169229	24138,69929	1362,718331	2068,722432	17096,99905	2193,660183	2193,660183	24112,07254
2177,707338	24176,31395	413,6269454	2282,917651	17343,4848	2729,082721	2729,082721	24150,90562
19045,17383	19110,10814	20166,65084	19921,84843	19140,36126	20418,90894	20418,90894	19115,54334
1305,397736	21878,9711	2286,973163	353,8000848	14864,36284	414,1545605	414,1545605	21852,31002
6097,903451	15974,34589	7847,70785	6112,855736	9173,644273	6042,169168	6042,169168	15947,93424
7650,559212	25989,15272	7208,88627	8576,885361	20612,50161	9262,882111	9262,882111	25971,49003
12210,58173	10394,27243	13930,56339	12095,66038	3029,699655	11890,46225	11890,46225	10363,71889
3293,910784	19478,39011	4794,813995	2855,404437	12339,56735	2566,022993	2566,022993	19450,76524
250834,3962	234262,3711	252158,0007	250233,5493	237429,9693	249697,7125	249697,7125	234264,1835
1702,034444	21992,48977	2462,294915	693,5362283	14905,22205	0	0	21965,41471
17110,32858	31220,9623	16801,25392	18082,07788	27617,39786	18774,8025	18774,8025	31212,5199
1344,703034	21195,86533	2782,019276	894,5068474	14231,99672	994,871851	994,871851	21169,42347
1344,703034	21195,86533	2782,019276	894,5068474	14231,99672	994,871851	994,871851	21169,42347
2419,171604	24213,30065	1179,199411	2956,837838	17601,73952	3549,345362	3549,345362	24189,12012
9694,911655	12785,61575	11406,82817	9566,111449	5556,385538	9363,986397	9363,986397	12756,39342
4698,389006	24562,269	4240,201204	5596,564169	18604,98101	6278,394779	6278,394779	24541,53066
11481,96117	14606,24521	12897,68988	10946,18203	6901,727103	10475,45877	10475,45877	14572,35572
11746,8126	10534,85649	13488,34809	11698,17272	3577,027397	11538,61233	11538,61233	10505,88051
1305,397736	21878,9711	2286,973163	353,8000848	14864,36284	414,1545605	414,1545605	21852,31002
0	22003,60648	1768,871109	1022,133186	15239,35879	1702,034444	1702,034444	21978,35601
22003,60648	0	23771,22843	22087,02762	7754,761199	21992,48977	21992,48977	35,22782991
1768,871109	23771,22843	0	1954,775243	16960,24216	2462,294915	2462,294915	23745,90563
1022,133186	22087,02762	1954,775243	0	15121,55812	693,5362283	693,5362283	22060,6686
15239,35879	7754,761199	16960,24216	15121,55812	0	14905,22205	14905,22205	7721,731363
1702,034444	21992,48977	2462,294915	693,5362283	14905,22205	0	0	21965,41471
1702,034444	21992,48977	2462,294915	693,5362283	14905,22205	0	0	21965,41471
21978,35601	35,22782991	23745,90563	22060,6686	7721,731363	21965,41471	21965,41471	0
12396,84803	29066,37757	11906,56634	13325,5573	24458,67963	14010,9347	14010,9347	29052,86939
8965,339508	26006,09233	8701,434508	9933,001372	21032,15263	10625,59816	10625,59816	25990,38469
35765,86359	24811,00621	37028,95265	35120,05605	24081,26992	34566,68495	34566,68495	24790,95886
1022,133186	22087,02762	1954,775243	0	15121,55812	693,5362283	693,5362283	22060,6686
5759,67319	25101,22938	5151,097286	4835,761988	17590,71374	4350,03546	4350,03546	25071,46618
7443,577651	15779,16548	9022,372872	7087,298286	8314,782799	6753,017141	6753,017141	15749,1724
1344,703034	21195,86533	2782,019276	894,5068474	14231,99672	994,871851	994,871851	21169,42347
36673,29982	26216,07465	37897,21263	36002,61749	25310,37017	35435,84105	35435,84105	26195,61828
750,4265454	21306,34577	2490,139153	1499,555351	14617,35292	2069,01746	2069,01746	21281,41276
14186,00284	9152,131255	15880,09473	14007,02521	1399,792574	13753,55566	13753,55566	9118,981659
14955,34931	7995,733925	16675,92498	14837,14222	284,4384819	14621,24424	14621,24424	7962,945435
1702,034444	21992,48977	2462,294915	693,5362283	14905,22205	0	0	21965,41471
13801,40595	9337,738444	15502,0004	13636,98647	1606,100869	13394,06856	13394,06856	9305,11522
37384,10399	27251,08354	38580,77813	36696,97161	26238,49472	36121,45862	36121,45862	27230,39633

Πίνακας 6.2: συνέχεια

16411,20209	15067,67077	41205,66457	19006,29139	23818,72997	18174,2754	18504,3914	42513,40609
17234,76337	15054,88894	36971,36806	16610,02364	21266,70055	14561,7361	15970,7823	38269,83374
12396,84803	8955,339508	35765,86359	1022,133186	5759,67319	7443,577651	1344,703034	36673,29982
2944,058636	1011,317581	44521,70392	10386,51727	13959,42653	15866,06996	10750,37695	45522,3247
11896,80446	8760,308913	37278,42832	2282,917651	5019,121935	9368,752425	3138,115438	38136,33348
13123,54336	9999,78681	36423,50289	2068,722432	3795,511889	8934,982177	2948,264744	37253,41657
11896,80446	8760,308913	37278,42832	2282,917651	5019,121935	9368,752425	3138,115438	38136,33348
16181,8267	15188,43939	42823,41813	19921,84843	24754,26495	19511,08003	19471,77913	44131,25487
13661,26192	10255,79623	34770,71737	353,8000848	4727,633922	6786,58725	712,7482024	35551,64071
16297,12332	12714,21571	31029,84912	6112,855736	9660,693156	2716,121914	5221,559848	32062,11806
4748,869576	1638,012897	42886,04627	8576,885361	12197,83327	14215,8167	8955,63091	43868,43223
21777,55375	18288,8372	26065,89644	12095,66038	14724,04679	5399,868239	11205,13465	27220,2942
15324,27852	11779,04288	32492,28426	2855,404437	6081,067546	4231,906958	2020,861203	33413,37322
261820,8573	258308,2292	215156,6008	250233,5493	249597,4699	243557,3821	249520,2932	214359,8204
14010,9347	10625,59816	34566,68495	693,5362283	4350,03546	6753,017141	994,871851	35435,84105
5043,90268	8149,303544	51132,48324	18082,07788	21753,9175	22825,1546	18354,79929	52218,16705
13694,29072	10225,51619	34436,4676	894,5068474	5326,576246	6241,176852	0	35338,12582
13694,29072	10225,51619	34436,4676	894,5068474	5326,576246	6241,176852	0	35338,12582
10736,02209	7573,461642	38075,09928	2956,837838	6202,596876	9861,378656	3672,65061	38959,43456
19713,74508	16169,3598	27749,8146	9566,111449	12325,59707	3047,553158	8675,918986	28840,12552
7735,784333	4462,120712	40241,59458	5596,564169	9313,782073	11624,10558	6026,118568	41188,65909
23037,45067	19441,67686	24376,70642	10946,18203	11845,737	4329,036844	10185,66152	25345,58838
21003,26497	17535,63341	26935,84593	11698,17272	14580,82388	5287,705362	10803,94606	28095,56136
13661,26192	10255,79623	34770,71737	353,8000848	4727,633922	6786,58725	712,7482024	35551,64071
12396,84803	8955,339508	35765,86359	1022,133186	5759,67319	7443,577651	1344,703034	36673,29982
29066,37757	26006,09233	24811,00621	22087,02762	25101,22938	15779,16548	21195,86533	26216,07465
11906,56634	8701,434508	37028,95265	1954,775243	5151,097286	9022,372872	2782,019276	37897,21263
13325,5573	9933,001372	35120,05605	0	4835,761988	7087,298286	894,5068474	36002,61749
24458,67963	21032,15263	24081,26992	15121,55812	17590,71374	8314,782799	14231,99672	25310,37017
14010,9347	10625,59816	34566,68495	693,5362283	4350,03546	6753,017141	994,871851	35435,84105
14010,9347	10625,59816	34566,68495	693,5362283	4350,03546	6753,017141	994,871851	35435,84105
29052,86939	25990,38469	24790,95886	22060,6686	25071,46618	15749,1724	21169,42347	26195,61828
0	3595,774534	47325,10783	13325,5573	16765,67059	18709,12177	13694,29072	48345,19133
3595,774534	0	43736,92364	9933,001372	13755,57636	15113,36982	10225,51619	44752,66643
47325,10783	43736,92364	0	35120,05605	34547,15064	28670,29417	34436,4676	1450,693713
13325,5573	9933,001372	35120,05605	0	4835,761988	7087,298286	894,5068474	36002,61749
16765,67059	13755,57636	34547,15064	4835,761988	0	9325,397847	5326,576246	35265,33336
18709,12177	15113,36982	28670,29417	7087,298286	9325,397847	0	6241,176852	29657,7719
13694,29072	10225,51619	34436,4676	894,5068474	5326,576246	6241,176852	0	35338,12582
48345,19133	44752,66643	1450,693713	36002,61749	35265,33336	29657,7719	35338,12582	0
12432,17974	8932,922842	35449,40214	1499,555351	6335,217538	6972,428146	1334,666344	36378,18099
23883,08038	20400,50357	24124,15897	14007,02521	16291,12925	7076,977339	13124,75532	25307,63372
24207,68308	20775,03517	24251,14825	14837,14222	17316,60146	8035,574731	13947,5636	25473,01625
14010,9347	10625,59816	34566,68495	693,5362283	4350,03546	6753,017141	994,871851	35435,84105
23455,50228	19973,69986	24531,28364	13636,98647	15996,30189	6746,084568	12752,48456	25710,09522
49127,68977	45533,25912	2507,437337	36696,97161	35848,03578	30426,65348	36045,79466	1057,128776

Πίνακας 6.2: συνέχεια

17519,07843	17983,77926	17444,94362	19469,78578	17668,37577	43487,11979
15195,49079	13736,39054	13172,58579	16964,50318	13431,44651	39238,20887
750,4265454	14186,00284	14955,34931	1702,034444	13801,40595	37384,10399
9491,531713	21300,54347	21698,30042	11073,42822	20874,46289	46292,46662
2902,88671	16254,50046	17059,1035	2729,082721	15878,61244	38812,72379
3252,371481	15947,09727	16812,93199	2193,660183	15587,69619	37911,24599
2902,88671	16254,50046	17059,1035	2729,082721	15878,61244	38812,72379
18424,71602	19562,81463	19041,53322	20418,90894	19241,81138	45104,84597
1657,248095	13736,15569	14580,04366	414,1545605	13369,76943	36345,09671
5451,27696	8195,610105	8890,895146	6042,169168	7793,758737	32859,11069
7711,845191	19887,00644	20346,84089	9262,882111	19463,66005	44626,78078
11592,47067	2114,106253	2745,425149	11890,46225	1689,615341	28099,85098
2970,797241	11190,07633	12055,64549	2566,022993	10828,89166	34135,33894
250469,0021	237942,0869	237670,2113	249697,7125	238369,7819	213752,4046
2069,01746	13753,55566	14621,24424	0	13394,06856	36121,45862
17046,9114	27238,51999	27389,52132	18774,8025	26814,1776	53044,05698
1334,666344	13124,75532	13947,5636	994,871851	12752,48456	36045,79466
1334,666344	13124,75532	13947,5636	994,871851	12752,48456	36045,79466
2984,973241	16575,04619	17318,37528	3549,345362	16185,69893	39653,36461
9089,880307	4507,49071	5271,947743	9363,986397	4112,612096	29677,19804
4843,220752	17749,48777	18329,47864	6278,394779	17335,72354	41924,11526
11108,30942	5511,054005	6693,583588	10475,45877	5422,822236	26105,93622
11102,64186	2892,318145	3301,816962	11538,61233	2465,64089	28978,05601
1657,248095	13736,15569	14580,04366	414,1545605	13369,76943	36345,09671
750,4265454	14186,00284	14955,34931	1702,034444	13801,40595	37384,10399
21306,34577	9152,131255	7995,733925	21992,48977	9337,738444	27251,08354
2490,139153	15880,09473	16675,92498	2462,294915	15502,0004	38580,77813
1499,555351	14007,02521	14837,14222	693,5362283	13636,98647	36696,97161
14617,35292	1399,792574	284,4384819	14905,22205	1606,100869	26238,49472
2069,01746	13753,55566	14621,24424	0	13394,06856	36121,45862
2069,01746	13753,55566	14621,24424	0	13394,06856	36121,45862
21281,41276	9118,981659	7962,945435	21965,41471	9305,11522	27230,39633
12432,17974	23883,08038	24207,68308	14010,9347	23455,50228	49127,68977
8932,922842	20400,50357	20775,03517	10625,59816	19973,69986	45533,25912
35449,40214	24124,15897	24251,14825	34566,68495	24531,28364	2507,437337
1499,555351	14007,02521	14837,14222	693,5362283	13636,98647	36696,97161
6335,217538	16291,12925	17316,60146	4350,03546	15996,30189	35848,03578
6972,428146	7076,977339	8035,574731	6753,017141	6746,084568	30426,65348
1334,666344	13124,75532	13947,5636	994,871851	12752,48456	36045,79466
36378,18099	25307,63372	25473,01625	35435,84105	25710,09522	1057,128776
0	13592,65208	14333,90209	2069,01746	13202,04364	37103,56184
13592,65208	0	1182,639632	13753,55566	427,6976151	26206,90282
14333,90209	1182,639632	0	14621,24424	1346,498886	26396,50307
2069,01746	13753,55566	14621,24424	0	13394,06856	36121,45862
13202,04364	427,6976151	1346,498886	13394,06856	0	26606,15765
37103,56184	26206,90282	26396,50307	36121,45862	26606,15765	0

Πίνακας 6.2: συνέχεια

Πελάτες	Ζήτηση(kg.)	
	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος
Π1	452	
Π2	988	1616
Π3	432	
Π4	59	
Π5	1344	590
Π6	24,5	
Π7	136	
Π8	723	6203
Π9	594	62
Π10	3141	1952
Π11	296	
Π12	1290	
Π13	953	
Π14	207	299
Π15	920	3137
Π16	2448	982
Π17		789
Π18	243	
Π19	10,5	
Π20	423	122
Π21	255	932
Π22	471	
Π23	889	51
Π24	15	134
Π25	7	
Π26	866	3581
Π27	28	21
Π28	15	
Π29	1427	
Π30	7	27
Π31	3	
Π32		471
Π33		153
Π34		115
Π35		560
Π36		244
Π37		282
Π38		150
Π39		336
Π40		130
Π41		5
Π42		150
Π43		208
Π44		41
Π45		
Ε		

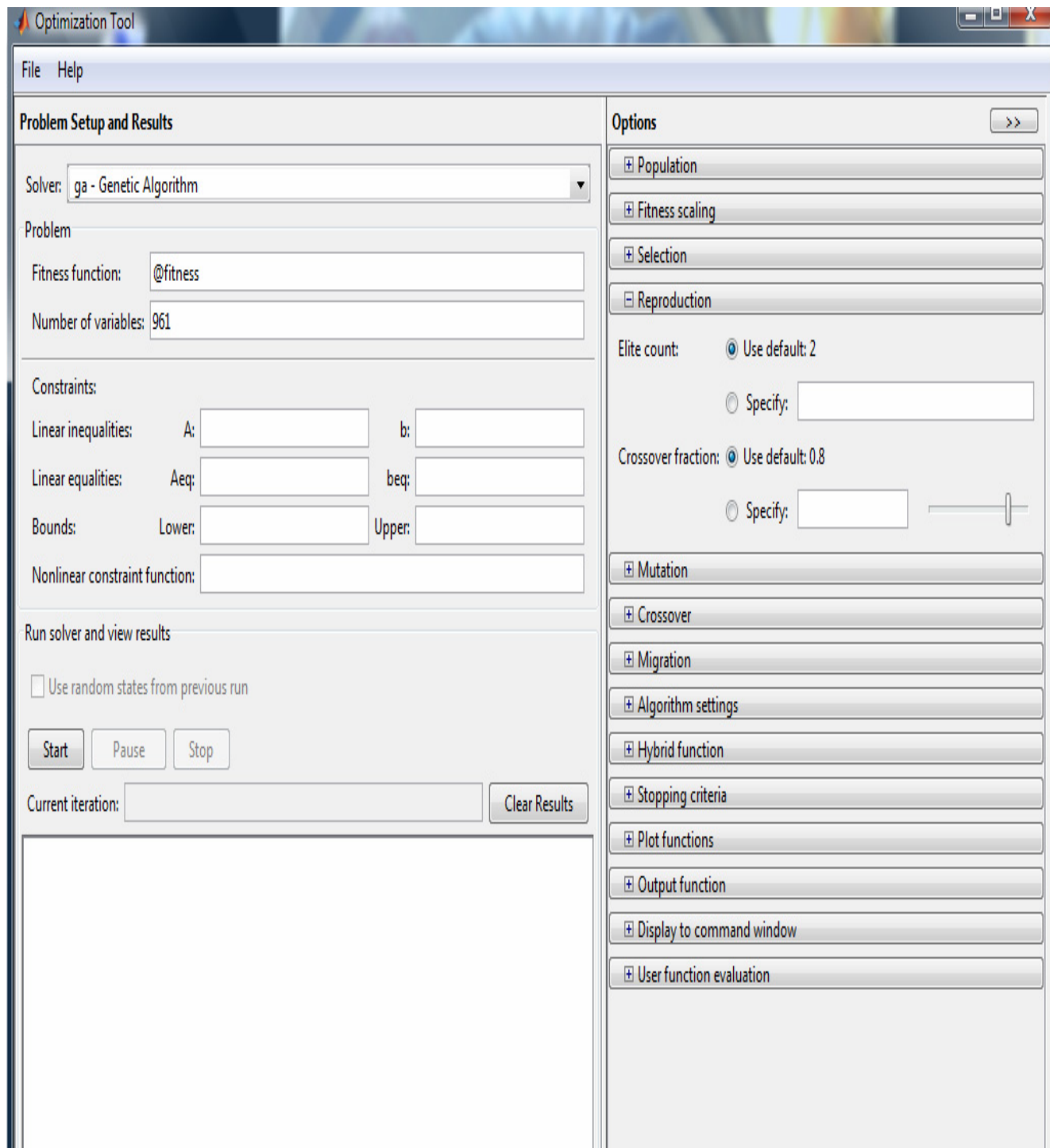
Πίνακας 6.3: Ζήτηση πελατών.

Κεφάλαιο 7: Παρουσίαση της επεξεργασίας των δεδομένων και των αποτελεσμάτων

7.1 Επεξεργασία των δεδομένων μέσω του toolbox.

Για την επεξεργασία των δεδομένων του συγκεκριμένου προβλήματος, χρησιμοποιήσαμε το *Genetic Algorithm Toolbox* της Matlab. Αρχικά, ασχοληθήκαμε με τη ζήτηση του μηνός *Σεπτεμβρίου*. Στο toolbox, θέσαμε το όνομα της συνάρτησης(“fitness”) που έχουμε μοντελοποιήσει μαθηματικά στο κεφ.6, ενώ ορίσαμε τις 100.000 γενιές ως αριθμό επαναλήψεων στις οποίες τερματίζεται ο αλγόριθμος. Στις υπόλοιπες παραμέτρους, επιλέξαμε τις αρχικές τιμές τους.

Πιο αναλυτικά, έχουν ορισθεί Population size: 20, Elite count: 2 και Crossover fraction: 0.8. Αυτό σημαίνει ότι στην επόμενη γενιά θα δημιουργηθούν 2 elite παιδιά-άτομα. Απομένουν άλλα $20 - 2 = 18$ άτομα. Υπολογίζοντας το crossover fraction, τότε τα άτομα που θα διασταυρωθούν είναι: $18 * 0.8 = 14.4$ δηλ. 14 παιδιά-άτομα. Τέλος, απομένουν άλλα $18 - 14 = 4$ άτομα, τα οποία θα μεταλλαχθούν. Στο σχήμα 7.1, παρουσιάζεται η αρχική εικόνα του toolbox που χρησιμοποιούμε για το μήνα Σεπτέμβριο:



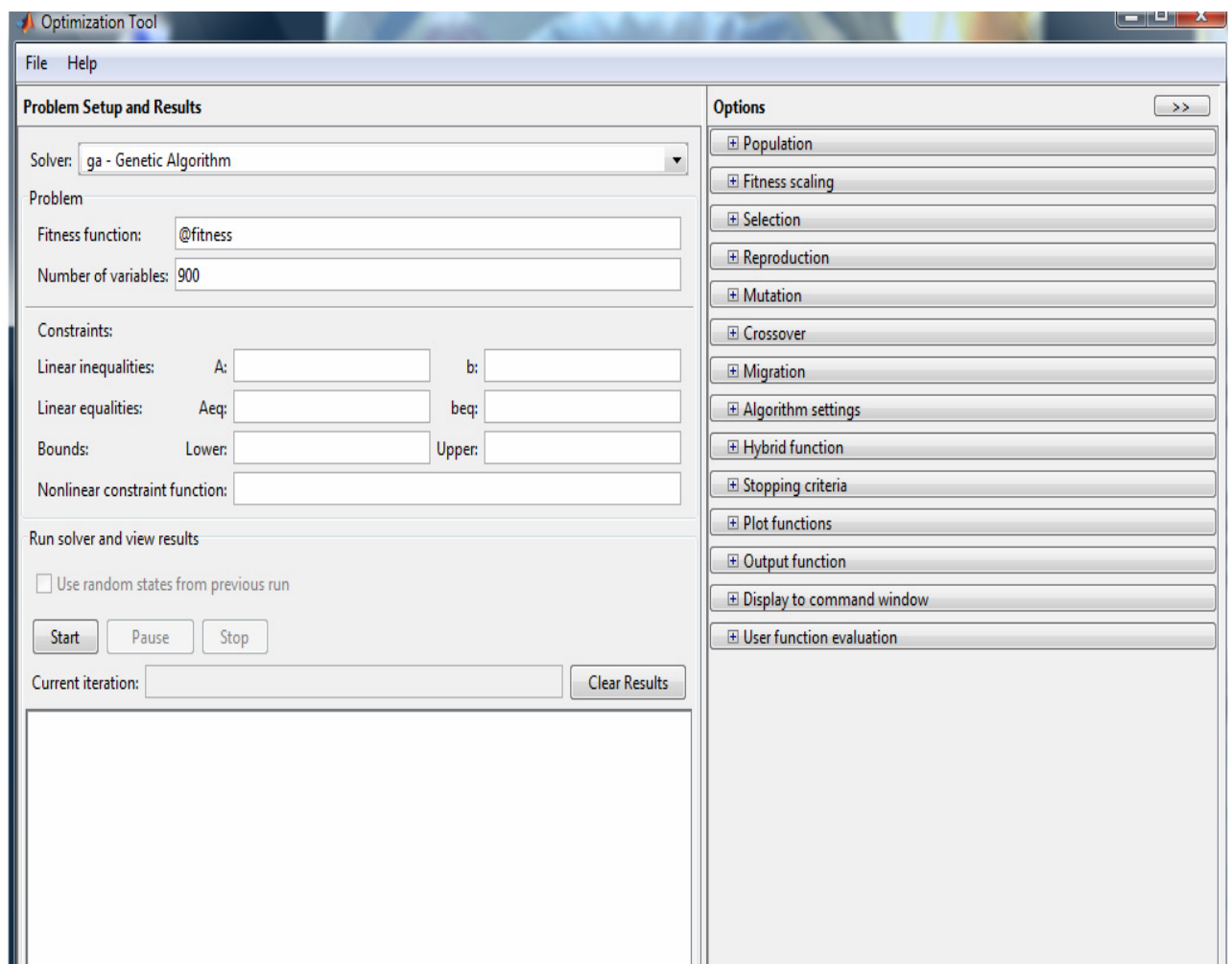
Σχήμα 7.1: Αρχική εικόνα toolbox για το μήνα Σεπτέμβριο.

Κατά την ολοκλήρωση του πρώτου «τρεξίματος» για το μήνα Σεπτέμβριο, προέκυψε η βέλτιστη διαδρομή που απεικονίζεται παρακάτω:

➤ Ζήτηση που εξυπηρετείται: 10.424kg.

**E → Π1 → Π8 → Π2 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27
→ Π7 → Π5 → Π6 → Π31 → Π15 → Π30 → Π24 → Π9 → Π28 →
Π25 → Π3 → Π18 → Π13 → Π22 → E.**

Ομοίως ενεργήσαμε και για το μήνα Οκτώβριο. Στο σχήμα 7.2, απεικονίζεται η αντίστοιχη αρχική εικόνα του toolbox:



Σχήμα 7.2: Αρχική εικόνα toolbox για το μήνα Οκτώβριο.

Μετά την ολοκλήρωση του πρώτου «τρεξίματος» για το μήνα *Οκτώβριο*, προέκυψαν οι παρακάτω δύο διαδρομές:

➤ 1^η Επιλογή – Ζήτηση που εξυπηρετείται: 11.953kg.

E → Π2 → Π8 → Π16 → Π33 → Π34 → Π21 → Π10 → E.

➤ 2^η Επιλογή – Ζήτηση που εξυπηρετείται: 11.390kg.

E → Π40 → Π35 → Π14 → Π26 → Π32 → Π43 → Π42 → Π23 → Π20 → Π38 → Π37 → Π5 → Π27 → Π41 → Π39 → Π17 → Π36 → Π24 → Π9 → Π30 → Π44 → Π15 → E.

Παρατηρούμε ότι στην πρώτη διαδρομή, εξυπηρετούνται λιγότεροι πελάτες σε σχέση με τη δεύτερη, αλλά μεγαλύτερη ζήτηση. Άρα, αφού το φορτίο είναι μεγαλύτερο και οι επισκέψεις λιγότερες, άμεσα είναι μικρότερο το κόστος. Αντιθέτως, στη δεύτερη διαδρομή, εξυπηρετούνται περισσότεροι πελάτες, αλλά λιγότερη ζήτηση. Στην προκειμένη, το κόστος άμεσα είναι μεγαλύτερο, αφού το φορτίο είναι μικρότερο και οι επισκέψεις περισσότερες. Εμμέσως όμως, η επαφή με περισσότερους πελάτες μπορεί να ωφελήσει την εταιρία μακροπρόθεσμα.

Συνεχίζουμε την επεξεργασία, αλλάζοντας την παράμετρο της συνάρτησης επιλογής(selection function), επιλέγοντας αντί της roulette, που είχαμε ως αρχική επιλογή, την ‘tournament’. Η ‘tournament’ διαλέγει κάθε γονέα επιλέγοντας άτομα τυχαία, τον αριθμό των οποίων μπορούμε να καθορίσουμε στο ‘tournament size’ και στη συνέχεια επιλέγει το καλύτερο άτομο από αυτά για να γίνει γονέας.

Για το μήνα *Σεπτέμβριο*, προέκυψε η παρακάτω βέλτιστη διαδρομή:

➤ Ζήτηση που εξυπηρετείται: 11.658kg.

E → Π1 → Π12 → Π18 → Π28 → Π9 → Π25 → Π16 → Π2 → Π11 → Π21 → Π3 → Π31 → Π13 → Π30 → Π15 → Π6 → Π4 → Π19 → Π5 → Π27 → Π20 → Π26 → E.

Ομοίως, για το μήνα *Οκτώβριο*, η βέλτιστη διαδρομή απεικονίζεται παρακάτω:

➤ Ζήτηση που εξυπηρετείται: 11.982kg.

E → Π2 → Π38 → Π20 → Π44 → Π24 → Π30 → Π10 → Π8 → Π16 → Π34 → Π42 → Π37 → Π43 → E.

Παρατηρούμε ότι μέχρι στιγμής η ‘tournament’ δίνει καλύτερα αποτελέσματα, καθώς η ζήτηση που εξυπηρετείται και στους δύο μήνες είναι μεγαλύτερη από αυτή που μας έδωσαν προηγούμενα αποτελέσματα.

Συνεχίζοντας, αλλάζουμε ξανά την παράμετρο της συνάρτησης επιλογής, επιλέγοντας τη “remainder”. Η επιλογή αυτή ορίζει τους γονείς καθοριστικά απ’ το ακέραιο μέρος της αξίας κάθε ατόμου και κατόπιν χρησιμοποιεί την επιλογή “roulette” στο εναπομένον κλασματικό μέρος.

Για το μήνα *Σεπτέμβριο* λοιπόν, καταλήξαμε στην εξής διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.888kg.

E → Π1 → Π8 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27 → Π5 → Π7 → Π6 → Π15 → Π31 → Π30 → Π24 → Π9 → Π28 → Π3 → Π25 → Π18 → Π13 → Π20 → Π29 → Π26 → Π14 → E.

Όσον αφορά το μήνα *Οκτώβριο*, προέκυψε η εξής διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.742kg.

E → Π15 → Π44 → Π30 → Π24 → Π9 → Π17 → Π41 → Π21 → Π27 → Π5 → Π37 → Π38 → Π20 → Π23 → Π42 → Π43 → Π32 → Π26 → Π14 → Π35 → Π40 → E.

Κοιτάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι η “remainder” έχει δώσει μέχρι στιγμής τα καλύτερα αποτελέσματα για το μήνα Σεπτέμβριο. Αντιθέτως, για το μήνα Οκτώβριο, η ίδια συνάρτηση επιλογής έχει δώσει μέχρι στιγμής τα χειρότερα.

Θα κρατήσουμε για κάθε μήνα την επιλογή με το καλύτερο αποτέλεσμα αντιστοίχως και θα κάνουμε κάποιες επιπλέον δοκιμές. Για το μήνα Σεπτέμβριο λοιπόν θα κρατήσουμε την επιλογή “remainder” και θα ορίσουμε την επιλογή “rank” στην παράμετρο scaling function στο fitness scaling του toolbox. Η “rank” τοποθετεί κλιμακωτά τα αποτελέσματα, βασισμένη στη σειρά κάθε ατόμου. Η σειρά κάθε ατόμου είναι η θέση που κατέχει στις ταξινομημένες τιμές. Το “rank” του καλύτερου ατόμου είναι 1, του επόμενου καλύτερου είναι 2, κ.ο.κ. Για το μήνα Οκτώβριο, θα κρατήσουμε την επιλογή “tournament” και θα ορίσουμε κι εκεί την επιλογή “rank”.

Για το μήνα Σεπτέμβριο καταλήξαμε στην παρακάτω διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.214kg.

E → Π15 → Π9 → Π24 → Π28 → Π3 → Π25 → Π10 → Π20 → Π23 → Π12 → Π29 → Π2 → Π26 → Π14 → E.

Όσον αφορά στο μήνα Οκτώβριο, δίνεται η παρακάτω διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.753kg.

E → Π41 → Π21 → Π37 → Π16 → Π5 → Π33 → Π17 → Π43 → Π10 → Π39 → Π44 → Π38 → Π34 → Π30 → Π42 → Π32 → Π26 → Π14 → Π35 → Π40 → E.

Και στις δύο περιπτώσεις, η παραπάνω διαδικασία επέφερε λιγότερο καλά αποτελέσματα, σε σχέση με προηγούμενες διαδικασίες. Συνεχίζουμε κρατώντας την επιλογή “rank” και επιλέγοντας ως selection function την “tournament” για το Σεπτέμβριο και την “remainder” για τον Οκτώβριο.

Για το μήνα Σεπτέμβριο, καταλήξαμε στην παρακάτω διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.480,50kg.

E → Π1 → Π8 → Π12 → Π29 → Π20 → Π13 → Π7 → Π2 → Π9 → Π11 → Π4 → Π21 → Π3 → Π19 → Π15 → Π30 → Π31 → Π18 → Π24 → Π23 → Π26 → Π27 → Π22 → E.

Για το μήνα Οκτώβριο, προέκυψε η εξής διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.691kg.

E → Π41 → Π34 → Π33 → Π16 → Π8 → Π23 → Π32 → Π26 → Π40 → E.

Για μία ακόμη δοκιμή, οι διαδρομές που προέκυψαν καλύπτουν μικρότερη ζήτηση από προηγούμενες δοκιμές. Ας κρατήσουμε την επιλογή “rank” και ας ορίσουμε selection function τη “roulette”.

Για το μήνα Σεπτέμβριο, έχουμε λοιπόν:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.265kg.

**E → Π1 → Π8 → Π2 → Π16 → Π11 → Π4 → Π21 → Π19 → Π27
→ Π7 → Π5 → Π6 → Π3 → Π25 → Π28 → Π9 → Π24 → Π30 →
Π31 → Π15 → Π18 → Π13 → Π20 → Π23 → E.**

Για το μήνα *Οκτώβριο*:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.857kg.

**E → Π2 → Π21 → Π27 → Π5 → Π37 → Π30 → Π44 → Π9 →
Π24 → Π36 → Π39 → Π17 → Π10 → Π38 → Π20 → Π43 → Π32 →
Π26 → Π14 → E.**

Παρατηρούμε ότι και μετά το τέλος της παραπάνω δοκιμής, εξακολουθούν να έχουν δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα οι συνδυασμοί των παραμέτρων “proportional” και “remainder” για το Σεπτέμβριο, καθώς και “proportional” και “tournament” για τον Οκτώβριο.

Συνεχίζουμε, κρατώντας τις καλύτερες μέχρι στιγμής παραμέτρους για τους δύο μήνες, αλλάζοντας όμως το “*crossover fraction*” από 0.8 σε 0.6. Αυτό σημαίνει ότι 10 άτομα ($18 \cdot 0.6 = 10.8$) θα διασταυρωθούν και 8 ($18 - 10 = 8$) άτομα θα μεταλλαχθούν.

Για το μήνα *Σεπτέμβριο*, καταλήγουμε στην εξής διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 10.424kg.

**E → Π1 → Π2 → Π8 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27
→ Π7 → Π5 → Π6 → Π25 → Π3 → Π28 → Π9 → Π24 → Π31 →
Π15 → Π30 → Π18 → Π13 → Π22 → E.**

Όσον αφορά στο μήνα *Οκτώβριο*, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.893 kg.

E → Π2 → Π43 → Π20 → Π38 → Π10 → Π41 → Π17 → Π36 → Π24 → Π30 → Π15 → Π44 → Π9 → Π37 → Π27 → Π5 → Π21 → Π34 → Π16 → Π33 → Π23 → Π42 → Π40 → E.

Ας δοκιμάσουμε να ελαττώσουμε λίγο ακόμα το crossover fraction, από 0.6 σε 0.2. Αρχικά, για το μήνα Σεπτέμβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 9.416kg.

E → Π14 → Π26 → Π29 → Π12 → Π23 → Π20 → Π10 → Π18 → Π31 → Π30 → Π15 → E.

Για το μήνα Οκτώβριο:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.739kg.

E → Π15 → Π44 → Π30 → Π24 → Π9 → Π36 → Π41 → Π17 → Π39 → Π10 → Π20 → Π23 → Π42 → Π43 → Π32 → Π26 → Π14 → Π40 → E.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι όσο μειώνουμε το crossover fraction, τόσο χειρότερα είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Η ζήτηση που ικανοποιείται ελαττώνεται σημαντικά.

Ας αυξήσουμε το crossover από 0.8 σε 1.0. Για το μήνα Σεπτέμβριο έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 9.452,50kg.

E → Π1 → Π12 → Π25 → Π20 → Π26 → Π30 → Π31 → Π6 → Π5 → Π21 → Π3 → Π15 → Π16 → Π27 → Π13 → E.

Για το μήνα Οκτώβριο:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.925kg.

E → Π15 → Π9 → Π5 → Π40 → Π37 → Π44 → Π30 → Π34 → Π8 → Π24 → Π38 → Π39 → Π41 → Π33 → Π35 → E.

Βλέπουμε ότι αυξάνοντας το crossover fraction πάνω απ' το 0.8, οι διαδρομές που προκύπτουν καλύπτουν πάλι μειωμένη ζήτηση. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι το 0.8 ήταν μια ιδανική τιμή, σε συνδυασμό με τις παραπάνω παραμέτρους.

Συνεχίζουμε, κρατώντας τις επιλογές *proportional* και *crossover fraction = 0.8*, αλλά αυξάνουμε το *elite count* και το ορίζουμε ίσο με 4. Αρχικά, θέτουμε selection function τη *roulette*.

Για το μήνα Σεπτέμβριο, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.556kg.

E → Π15 → Π30 → Π31 → Π24 → Π9 → Π28 → Π6 → Π27 → Π7 → Π5 → Π19 → Π11 → Π4 → Π21 → Π25 → Π3 → Π18 → Π13 → Π10 → Π20 → Π23 → Π12 → Π22 → E.

Για το μήνα Οκτώβριο αντιστοίχως, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.981kg.

E → Π15 → Π44 → Π30 → Π37 → Π27 → Π5 → Π24 → Π17 → Π39 → Π10 → Π23 → Π43 → Π32 → Π26 → Π14 → E.

Προχωράμε με τις ίδιες παραμέτρους, αλλάζοντας μόνο τη selection function σε *tournament*. Για το Σεπτέμβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 10.594,50kg.

E → Π14 → Π24 → Π19 → Π13 → Π29 → Π20 → Π10 → Π2 → Π8 → Π5 → Π31 → Π22 → Π23 → E.

Ως προς τον Οκτώβριο, προκύπτουν τα εξής:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 8.957kg.

E → Π41 → Π17 → Π32 → Π43 → Π8 → Π33 → Π30 → Π44 → Π20 → Π9 → Π23 → Π36 → Π27 → Π35 → E.

Εν συνεχεία, αλλάζουμε πάλι μόνο τη selection function σε *remainder*. Για το μήνα Σεπτέμβριο, καταλήξαμε στην εξής ζήτηση και διαδρομή:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 10.424kg.

E → Π1 → Π8 → Π2 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π7 → Π5 → Π6 → Π27 → Π3 → Π25 → Π28 → Π24 → Π9 → Π30 → Π31 → Π15 → Π18 → Π13 → Π22 → E.

Όσον αφορά στο μήνα Οκτώβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.532kg.

E → Π2 → Π8 → Π21 → Π41 → Π39 → Π17 → Π9 → Π24 → Π36 → Π37 → Π38 → Π20 → Π42 → Π43 → Π14 → E.

Συγκρίνοντας τα πρώτα αποτελέσματα που είχαν προκύψει (scaling function=proportional, crossover fraction=0.8, elite count=2 και selection function τις roulette, tournament, remainder) με τα παραπάνω (ίδιες

παράμετροι, αλλά elite count=4), παρατηρούμε ότι παρόλο που αυξάνουμε τα elite παιδιά-άτομα, μόνο η roulette μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα και για τους δύο μήνες.

Όλες οι παραπάνω δοκιμές έγιναν με το ίδιο population size=20. Θα δοκιμάσουμε να το αυξήσουμε λοιπόν, ώστε να δούμε τη συμπεριφορά του αλγορίθμου και κατά συνέπεια τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Ορίζουμε λοιπόν *population size*=50, *scaling function*=proportional, elite=2, *crossover fraction*=0.8 και εναλλάξ *selection function*=roulette, tournament, remainder.

Αρχικά, επιλέγουμε τη *roulette*. Για το μήνα Σεπτέμβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 10.424kg.

**E → Π1 → Π2 → Π8 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27
→ Π7 → Π5 → Π6 → Π15 → Π30 → Π31 → Π9 → Π24 → Π28 →
Π3 → Π25 → Π18 → Π13 → Π22 → E.**

Για τον Οκτώβριο:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.848kg.

**E → Π40 → Π32 → Π26 → Π8 → Π21 → Π20 → Π23 → Π42 →
Π43 → E.**

Συνεχίζουμε με *selection function* = *tournament*. Για το μήνα Σεπτέμβριο, καταλήγουμε στα εξής:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.720kg.

**E → Π40 → Π14 → Π32 → Π42 → Π9 → Π39 → Π8 → Π21 →
Π15 → E.**

Ως προς τον Οκτώβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.791kg.

**E → Π2 → Π9 → Π37 → Π36 → Π30 → Π17 → Π38 → Π34 →
Π16 → Π10 → Π42 → Π23 → Π20 → Π43 → Π26 → Π32 → Π14 →
Π40 → Π35 → E.**

Τέλος, αλλάζουμε τη selection function και την ορίζουμε *remainder*.
Για το Σεπτέμβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.402kg.

**E → Π15 → Π30 → Π31 → Π28 → Π25 → Π3 → Π19 → Π4 →
Π16 → Π11 → Π21 → Π27 → Π7 → Π5 → Π6 → Π9 → Π24 → Π18
→ Π13 → Π10 → Π22 → E.**

Για το μήνα Οκτώβριο, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.949kg.

**E → Π2 → Π16 → Π33 → Π34 → Π21 → Π27 → Π5 → Π37 →
Π30 → Π15 → Π44 → Π9 → Π24 → Π36 → Π17 → Π39 → Π41 →
Π10 → Π38 → Π20 → Π23 → Π43 → E.**

Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα, διαπιστώνουμε ότι δεν έχουν ιδιαίτερες διαφορές από εκείνα με τις ίδιες παραμέτρους, αλλά μικρότερο population size. Ας δοκιμάσουμε να μικρύνουμε το population size, ώστε να δούμε και σε αυτή την περίπτωση τη συμπεριφορά του αλγορίθμου. Ορίζουμε λοιπόν *population size* = 10, *scaling*

function=proportional, elite=2, crossover fraction=0.8 και εναλλάξ selection function=roulette, tournament, remainder.

Ξεκινάμε με τη *roulette*. Όσον αφορά στο μήνα Σεπτέμβριο, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.497kg.

**E → Π1 → Π8 → Π2 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27
→ Π5 → Π7 → Π6 → Π15 → Π31 → Π30 → Π9 → Π24 → Π28 →
Π3 → Π25 → Π18 → Π13 → Π22 → Π26 → Π14 → E.**

Ως προς τον Οκτώβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.830kg.

**E → Π40 → Π35 → Π26 → Π32 → Π43 → Π42 → Π23 → Π20 →
Π38 → Π10 → Π34 → Π16 → Π33 → Π30 → Π44 → Π15 → E.**

Συνεχίζουμε με selection function = *tournament*. Για το Σεπτέμβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.203,50kg.

**E → Π1 → Π4 → Π12 → Π30 → Π24 → Π9 → Π31 → Π28 →
Π15 → Π7 → Π27 → Π6 → Π5 → Π10 → Π18 → Π26 → Π3 → Π29
→ Π14 → E.**

Για το μήνα Οκτώβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.767kg.

E → Π15 → Π24 → Π39 → Π17 → Π37 → Π44 → Π9 → Π41 → Π27 → Π16 → Π5 → Π34 → Π23 → Π43 → Π32 → Π26 → Π42 → Π20 → Π35 → Π40 → E.

Τέλος, ορίζουμε τη *remainder*. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για το μήνα Σεπτέμβριο είναι τα εξής:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.561kg.

E → Π15 → Π30 → Π31 → Π24 → Π9 → Π28 → Π6 → Π27 → Π5 → Π7 → Π19 → Π4 → Π16 → Π11 → Π21 → Π3 → Π25 → Π18 → Π13 → Π10 → Π20 → Π14 → E.

Για το μήνα Οκτώβριο, έχουμε:

➤ Ζήτηση που ικανοποιείται: 11.678kg.

E → Π15 → Π44 → Π30 → Π24 → Π9 → Π36 → Π41 → Π33 → Π16 → Π8 → Π35 → Π40 → E.

Συγκρίνοντας λοιπόν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα με τα προηγούμενα, διαπιστώνουμε ότι η ζήτηση που ικανοποιείται είναι μεν μικρότερη, αλλά χωρίς ιδιαίτερες μεγάλες διαφορές στις τιμές. Αυτό όμως που αξίζει να τονισθεί είναι ότι ο χρόνος που χρειάστηκε ο αλγόριθμος στο μικρότερο population size(=10) για να τερματίσει ήταν εμφανώς λιγότερος από αυτόν των μεγαλύτερων population size(20 και 50).

7.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας παρατίθενται συγκεντρωτικά στους παρακάτω πίνακες:

<i>Σεπτέμβριος</i>		
Επανάληψη	Ζήτηση(kg.)	Διαδρομή
1 ^η	10.424	E → Π1 → Π8 → Π2 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27 → Π7 → Π5 → Π6 → Π31 → Π15 → Π30 → Π24 → Π9 → Π28 → Π25 → Π3 → Π18 → Π13 → Π22 → E.
2 ^η	11.658	E → Π1 → Π12 → Π18 → Π28 → Π9 → Π25 → Π16 → Π2 → Π11 → Π21 → Π3 → Π31 → Π13 → Π30 → Π15 → Π6 → Π4 → Π19 → Π5 → Π27 → Π20 → Π26 → E.
3 ^η	11.888	E → Π1 → Π8 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27 → Π5 → Π7 → Π6 → Π15 → Π31 → Π30 → Π24 → Π9 → Π28 → Π3 → Π25 → Π18 → Π13 → Π20 → Π29 → Π26 → Π14 → E.
4 ^η	11.214	E → Π15 → Π9 → Π24 → Π28 → Π3 → Π25 → Π10 → Π20 → Π23 → Π12 → Π29 → Π2 → Π26 → Π14 → E.
5 ^η	11.480,50	E → Π1 → Π8 → Π12 → Π29 → Π20 → Π13 → Π7 → Π2 → Π9 → Π11 → Π4 → Π21 → Π3 → Π19 → Π15 → Π30 → Π31 → Π18 → Π24 → Π23 → Π26 → Π27 → Π22 → E.
6 ^η	11.265	E → Π1 → Π8 → Π2 → Π16 → Π11 → Π4 → Π21 → Π19 → Π27 → Π7 → Π5 → Π6 → Π3 → Π25 → Π28 → Π9 → Π24 → Π30 → Π31 → Π15 → Π18 → Π13 → Π20 → Π23 → E.
7 ^η	10.424	E → Π1 → Π2 → Π8 → Π16 → Π4 → Π11 → Π21 → Π19 → Π27 → Π7 → Π5 → Π6 → Π25 → Π3 → Π28 → Π9 → Π24 → Π31 → Π15 → Π30 → Π18 → Π13 → Π22 → E.
8 ^η	9.416	E → Π14 → Π26 → Π29 → Π12 → Π23 → Π20 → Π10 → Π18 → Π31 → Π30 → Π15 → E.
9 ^η	9.452,50	E → Π1 → Π12 → Π25 → Π20 → Π26 → Π30 → Π31 → Π6 → Π5 → Π21 → Π3 → Π15 → Π16 → Π27 → Π13 → E.
10 ^η	11.556	E → Π15 → Π30 → Π31 → Π24 → Π9 → Π28 → Π6 → Π27 → Π7 → Π5 → Π19 → Π11 → Π4 → Π21 → Π25 → Π3 → Π18 → Π13 → Π10 → Π20 → Π23 → Π12 → Π22 → E.

11 ^η	10.594,50	$E \rightarrow \Pi 14 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 19 \rightarrow \Pi 13 \rightarrow \Pi 29 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 31 \rightarrow \Pi 22 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow E.$
12 ^η	10.424	$E \rightarrow \Pi 1 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 4 \rightarrow \Pi 11 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 19 \rightarrow \Pi 7 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 6 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 3 \rightarrow \Pi 25 \rightarrow \Pi 28 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 31 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 18 \rightarrow \Pi 13 \rightarrow \Pi 22 \rightarrow E.$
13 ^η	10.424	$E \rightarrow \Pi 1 \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 4 \rightarrow \Pi 11 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 19 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 7 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 6 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 31 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 28 \rightarrow \Pi 3 \rightarrow \Pi 25 \rightarrow \Pi 18 \rightarrow \Pi 13 \rightarrow \Pi 22 \rightarrow E.$
14 ^η	11.720	$E \rightarrow \Pi 40 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow E.$
15 ^η	11.402	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 31 \rightarrow \Pi 28 \rightarrow \Pi 25 \rightarrow \Pi 3 \rightarrow \Pi 19 \rightarrow \Pi 4 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 11 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 7 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 6 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 18 \rightarrow \Pi 13 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 22 \rightarrow E.$
16 ^η	11.497	$E \rightarrow \Pi 1 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 4 \rightarrow \Pi 11 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 19 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 7 \rightarrow \Pi 6 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 31 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 28 \rightarrow \Pi 3 \rightarrow \Pi 25 \rightarrow \Pi 18 \rightarrow \Pi 13 \rightarrow \Pi 22 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow E.$
17 ^η	11.203,50	$E \rightarrow \Pi 1 \rightarrow \Pi 4 \rightarrow \Pi 12 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 31 \rightarrow \Pi 28 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 7 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 6 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 18 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 3 \rightarrow \Pi 29 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow E.$
18 ^η	11.561	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 31 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 28 \rightarrow \Pi 6 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 7 \rightarrow \Pi 19 \rightarrow \Pi 4 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 11 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 3 \rightarrow \Pi 25 \rightarrow \Pi 18 \rightarrow \Pi 13 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow E.$

Πίνακας 7.3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μηνός Σεπτεμβρίου

Οκτώβριος

Επανάληψη	Ζήτηση(kg.)	Διαδρομή
1 ^η	11.953	$E \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow E.$
2 ^η	11.982	$E \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow E.$
3 ^η	11.742	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow E.$
4 ^η	11.753	$E \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow E.$
5 ^η	11.691	$E \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow E.$
6 ^η	11.857	$E \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow E.$
7 ^η	11.893	$E \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow E.$
8 ^η	11.739	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow E.$
9 ^η	11.925	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow E.$
10 ^η	11.981	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow E.$
11 ^η	8.957	$E \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow E.$
12 ^η	11.532	$E \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow E.$
13 ^η	11.848	$E \rightarrow \Pi 40 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow E.$
14 ^η	11.791	$E \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 14 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow E.$

15 ^η	11.949	$E \rightarrow \Pi 2 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 21 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow E.$
16 ^η	11.830	$E \rightarrow \Pi 40 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 38 \rightarrow \Pi 10 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 15 \rightarrow E.$
17 ^η	11.767	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 39 \rightarrow \Pi 17 \rightarrow \Pi 37 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 27 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 5 \rightarrow \Pi 34 \rightarrow \Pi 23 \rightarrow \Pi 43 \rightarrow \Pi 32 \rightarrow \Pi 26 \rightarrow \Pi 42 \rightarrow \Pi 20 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow E.$
18 ^η	11.678	$E \rightarrow \Pi 15 \rightarrow \Pi 44 \rightarrow \Pi 30 \rightarrow \Pi 24 \rightarrow \Pi 9 \rightarrow \Pi 36 \rightarrow \Pi 41 \rightarrow \Pi 33 \rightarrow \Pi 16 \rightarrow \Pi 8 \rightarrow \Pi 35 \rightarrow \Pi 40 \rightarrow E.$

Πίνακας 7.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μηνός Οκτωβρίου

Συνοψίζοντας, διενεργήθηκε μία σειρά επαναλήψεων του γενετικού αλγορίθμου σε δεδομένα που αφορούσαν δύο μήνες(Σεπτέμβριο και Οκτώβριο) του ίδιου έτους, ορίζοντας κάθε φορά διαφορετικές τιμές στις διάφορες παραμέτρους του toolbox. Τα αποτελέσματα που προέκυπταν σε κάθε επανάληψη έδιναν τη βέλτιστη διαδρομή που θα έπρεπε να ακολουθηθεί, καθώς και την αντίστοιχη ικανοποιηθείσα ζήτηση. Σκοπός των διαφοροποιήσεων των τιμών των διαφόρων παραμέτρων ήταν η παρατήρηση της συμπεριφοράς του αλγορίθμου, καθώς και η δημιουργία ενός ικανοποιητικού εύρους τιμών και συνόλου αποτελεσμάτων, ώστε η σύγκριση αυτών να είναι όσο το δυνατόν πιο πλήρης και αξιόπιστη.

Η εταιρεία με την οποία ασχοληθήκαμε ρυθμίζει εμπειρικά τον τομέα της δρομολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, δεν εφαρμόζει ακριβές πρόγραμμα στη διανομή των παραγγελιών, αλλά διανέμει ό,τι ετοιμάζεται από την παραγωγή. Πολλές φορές μάλιστα στέλνει φορτηγό σε διανομή, για να εξυπηρετήσει έναν και μόνο πελάτη με πολύ μικρή σε βάρος παραγγελία. Αποτέλεσμα της τακτικής αυτής, είναι τα διάφορα κόστη της εταιρείας, τα οποία εκείνη τη στιγμή φαίνονται ασήμαντα, να αυξάνονται δραματικά και κατά συνέπεια, μακροπρόθεσμα, να

υπερβαίνουν το κέρδος. Θεωρούμε λοιπόν ότι οι προτάσεις οι οποίες γίνονται στην εργασία αυτή είναι προς όφελος της εταιρείας και θα βοηθήσουν στην αύξηση του κέρδους.

Βασικός στόχος της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, του οποίου η λειτουργία θα είναι εφικτή μέσα στην εταιρεία. Πρώτο βήμα είναι η εξέταση του τομέα της δρομολόγησης και εν συνεχεία, μέσα στην εταιρεία, των υπολοίπων βημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Σε αυτήν τη διπλωματική, γίνεται η αρχή για την υλοποίηση της αυτοματοποίησης των διαδικασιών της εταιρείας, που αποτελεί και την τελική μας επιδίωξη.

Βιβλιογραφία

Άρθρα - Βιβλία

- [1] Rainer Kleber. Dynamic Inventory Management in Reverse Logistics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.
- [2] S.C. Graves, A.H.G. Rinnooy Kan, P.H. Zipkin. Logistics of Production and Inventory Vol.4. S.C. Graves et. al., Eds., Handbooks in OR&MS, Vol.4, Elsevier Science Publishers B.V. 1993.
- [3] David Simchi-Levi, Xin Chen, Julien Bramel. The Logic of Logistics. Theory, Algorithms and Applications for Logistics and Supply Systems Management. Springer.
- [4] Thomas F. Wallace, Michael H. Kremzar. ERP: Making it Happen. The Implementers' Guide to Success with Enterprise Resource Planning. John Wiley and Sons, 2001.
- [5] Bernard Grabot, Anne Mayere, Isabelle Bazet. ERP Systems and Organizational Change. A Socio-technical Insight. Springer-Verlag London Limited, 2008.
- [6] Paolo Brandimarte, Giulio Zotteri. Introduction to Distribution Logistics. John Wiley and Sons, 2007.
- [7] Gianpaolo Chiani, Gilbert Laporte, Roberto Musmanno. Introduction to Logistics Systems Planning and Control. John Wiley and Sons, 2004.
- [8] Andre Langevin, Diane Riopel. Logistics Systems. Design and Optimization. Springer Science +Business Media, Inc., 2005.
- [9] Craig C. Sherbrooke, Ph.D. Optimal Inventory Modeling of Systems. Multi-Echelon Techniques. Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [10] Charu Chandra, Janis Crabis. Supply Chain Configuration. Concepts, Solutions and Applications. Springer Science +Business Media, LLC., 2007.
- [11] Paolo Toth, Daniele Vigo. The Vehicle Routing Problem. Society for Industrial and Applied Mathematics(SIAM), 2002.
- [12] Bruce Golden, S. Raghavan, Edward Wasil. The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges. Springer Science +Business Media, LLC., 2008.
- [13] Andries P. Engelbrecht. Computational Intelligence. An Introduction. John Wiley and Sons, Ltd., 2007.
- [14] Δρ. Γιάννης Μαρινάκης. Σημειώσεις Σεμιναριακών Διαλέξεων Προγραμματισμού H/Y σε Περιβάλλον Matlab(Version 7.0.1-Release 14), 2006.
- [15] Σερελέας Κωνσταντίνος. Διπλωματική Εργασία με θέμα: «Ανάπτυξη Ευρετικού Αλγορίθμου για την επίλυση του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Παράθυρα, Παραλαβές και Παραδόσεις», 2005.
- [16] Παλαιολόγος Χρήστος. Διπλωματική Εργασία με θέμα: «Ταξινόμηση με χρήση αλγορίθμων Data Mining και Ασαφούς Λογικής: Μια Εφαρμογή στο Μετρό του Παρισιού», 2009.

