



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Εργαστήριο Θαλασσίων Μεταφορών

Διπλωματική Εργασία

«Ανάλυση και μελέτη της ναυλαγοράς των Car Carriers, ανάπτυξη αλγόριθμου βελτιστοποίησης των δρομολογίων πλοίων τύπου PCTC εντός ενός δικτύου ως προς το κόστος και το κέρδος και πρακτική εφαρμογή του με χρήση Γενετικών Αλγορίθμων.»

ΜΕΡΟΣ Β΄

Λεωνίδας – Μάριος Καρέλης

Επιβλέπων: Δημήτριος Λυρίδης, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελής Επιτροπή: Δημήτριος Λυρίδης, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Χαρίλαος Ψαραύτης, Καθηγητής ΕΜΠ

Νικόλαος Βεντικός, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Ιούνιος 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε από καρδιάς όλους όσους μας βοήθησαν και μας υποστήριξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της Διπλωματικής εργασίας.

Πρώτον απ' όλους θέλουμε να εκφράσουμε τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μας στον Επιβλέποντα της Διπλωματικής εργασίας Επίκουρο Καθηγητή κ. Δημήτρη Λυρίδη. Η συνεχής υποστήριξή του, η πολύτιμη καθοδήγησή του αλλά και οι συμβουλές του συντέλεσαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας καθώς χωρίς αυτές ο χρόνος εκπόνησής της θα ήταν τουλάχιστον πολύ μεγαλύτερος.

Επίσης, οφείλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κύριο Μάρκο Βασιλικό, γενικό διευθυντή της Neptune Lines Shipping and Managing Enterprises S.A. καθώς και τον κύριο Γεώργιο Α. Κριεζή, τεχνικό διευθυντή της ίδιας εταιρίας, οι οποίοι αφιέρωσαν σημαντικό μέρος από το πολύτιμο χρόνο τους για να μας επεξηγήσουν και να μας καθοδηγήσουν στην αγορά των Car Carriers και μας τροφοδότησαν με στοιχεία και πληροφορίες απαραίτητες για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μας.

Ιδιαίτερα πολύτιμη ήταν για εμάς και η βοήθεια του κυρίου Παναγιώτη Ζαχαριουδάκη, Μεταδιδακτορικού Συνεργάτη του Εργαστηρίου Θαλασσιών Μεταφορών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ακόμη, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κύριο Χαρίλαο Ψαραύτη και τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Νικόλαο Βεντίκο.

Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας και τους φίλους μας για τη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια της δύσκολης προσπάθειάς μας εκπόνησης της Διπλωματικής μας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΝΟΣ ΣΤΟΛΟΥ ΡΣΤΣ	
6.1 Γενικά στοιχεία – Ο λόγος ανάπτυξης του μοντέλου.....	10
6.2 Διατύπωση και Περιγραφή του Προβλήματος.....	13
6.3 Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τη κατασκευή της αντικειμενικής συνάρτησης του προβλήματος.....	13
6.3.1 Οι λειτουργικές δαπάνες των ναυτιλιακών εταιριών.....	14
6.3.2 Η ζήτηση για μεταφορά αυτοκινήτων και τα έσοδα των ναυτιλιακών εταιριών στην αγορά των Car Carriers.....	18
6.4 Θεωρητικό Μοντέλο.....	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ

7.1 Η Επιλογή των διαδρομών βελτιστοποίησης.....	33
7.2 Το λογισμικό βελτιστοποίησης.....	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

8.1 Η Εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων.....	52
8.2 Επεξεργασία των δεδομένων από το Evolver.....	61
8.3 Τα αποτελέσματα της υπολογιστικής εφαρμογής.....	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....88

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1: ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2: ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3: ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6: ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕΡΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7: ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.10: ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.11: ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.12: ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.13: ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.14: ΡΥΘΜΟΙ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΦΟΡΤΟΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΣΕ ΚΑΘΕ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.15: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.16: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.17: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.18: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.19: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.20: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.21: ΑΡΧΙΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.22: Η ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.23: ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.24: ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.1: Κάλυψη περιορισμών σε ποσοστό των δοκιμών (1^ο Σενάριο)

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8.2: Κάλυψη περιορισμών σε ποσοστό των δοκιμών (2^ο Σενάριο)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκοσμιοποίηση και η διεθνοποίηση των αγορών έχει εντείνει δραματικά τον ανταγωνισμό μεταξύ των επιχειρήσεων της πλειοψηφίας των βιομηχανιών και των επί μέρους αγορών που συνθέτουν τη παγκόσμια οικονομία, καθιστώντας επιτακτική ανάγκη την ουσιαστική βελτίωση της τεχνογνωσίας και των μεθόδων λήψης αποφάσεων των εταιριών καθώς και την αναζήτηση πρόσβασης των τελευταίων σε όσο το δυνατόν πληρέστερες και ουσιαστικές πληροφορίες για τον/τους κλάδο/ους τους οποίους δραστηριοποιούνται. Είναι προφανές, πως ο έντονος ανταγωνισμός όχι μόνο πιέζει αλλά επιτάσσει τις διοικήσεις των επιχειρήσεων να κάνουν όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων τους με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσής τους.

Η επιδίωξη επίτευξης των παραπάνω ζητουμένων είναι απαραίτητη για τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε όλους ανεξαιρέτως τους επί μέρους τομείς της ναυτιλίας και της ναυτιλιακής βιομηχανίας, μιας αγοράς που επηρεάζεται και διαμορφώνεται από ένα πλήθος παραγόντων (πολλές φορές απρόβλεπτων) και η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα τόσο στις αξίες των πλοίων όσο και στις τιμές των ναύλων. Σε αντίθεση όμως με τις κύριες αγορές της ναυτιλίας, όπως είναι αυτές του ξηρού φορτίου χύδιν, του πετρελαίου και των παραγώγων του αλλά και των εμπορευματοκιβωτίων, για τις οποίες πραγματοποιούνται διαρκώς μελέτες και δημοσιεύεται ένα τεράστιο πλήθος δεδομένων και στοιχείων, η αγορά των Car Carriers, εκείνη δηλαδή της μεταφοράς αυτοκινήτων δια θαλάσσης, είναι μια «κλειστή» αγορά, για την οποία η πρόσβαση σε στοιχεία είναι εμφανώς πιο περιορισμένη.

Η αγορά των Car Carriers χαρακτηρίζεται από έντονη εξειδίκευση και από αρκετές ιδιαιτερότητες σε σχέση με τους «κλασσικούς» κλάδους της ναυτιλίας, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στο μικρό μέγεθός της (αναλογικά πολύ μικρός αριθμός πλοίων και πλοιοκτητών) αλλά και στη μεταφορά ενός μόνον αγαθού, των αυτοκινήτων. Μάλιστα, ενώ μπορεί να θεωρηθεί επί της ουσίας ως ναυλαγορά Liner, όπως είναι αυτή των Containerships, μπορούν σπανίως να παρατηρηθούν χαρακτηριστικά της ναυλαγοράς Trump.

Έτσι, με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν, τα βασικά συστατικά της επιτυχίας των εταιριών που δραστηριοποιούνται στην αγορά των Car Carriers είναι αφενός η όσο το δυνατόν πληρέστερη γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συγκεκριμένη αγορά (παγκόσμιος στόλος, παραγωγή και ζήτηση αυτοκινήτων κλπ.) έτσι ώστε να ακολουθείται ορθότερη επενδυτική στρατηγική και αφετέρου η βέλτιστη σχεδίαση του δικτύου των μεταφορών τους έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος λειτουργίας των πλοίων τους και να μεγιστοποιείται το κέρδος τους μεταφέροντας όσο το δυνατόν περισσότερα αυτοκίνητα. Προφανώς, η επίτευξη των δύο παραπάνω στόχων αποτελεί το σημαντικότερο βήμα όχι μόνο για την αισθητή αύξηση της κερδοφορίας των επιχειρήσεων ακόμη και σε περιόδους οικονομικής ύφεσης όπως είναι αυτή που διανύουμε αλλά και την αύξηση της ανταγωνιστικότητας.

Ο πρωταρχικός σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η ανάπτυξη ενός μαθητικού μοντέλου – αλγορίθμου βελτιστοποίησης του δικτύου μεταφορών μιας διαχειρίστριας ναυτιλιακής εταιρίας που δραστηριοποιείται στην αγορά των Car Carriers και η οποία εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο πλήθος λιμανιών με ένα δεδομένο στόλο. Παράλληλα, γίνεται μια εκτενής και αναλυτική παρουσίαση της συγκεκριμένης αγοράς έτσι ώστε να «φωτογραφηθούν» τα κύρια χαρακτηριστικά της και να αξιολογηθούν οι προοπτικές της.

Στο έκτο κεφάλαιο, αναλύονται οι διάφοροι παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του κόστους λειτουργίας των πλοίων τύπου Car Carrier κατά την εξυπηρέτηση κάποιου δρομολογίου – διαδρομής. Στη συνέχεια αναπτύσσεται ο θεωρητικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης τέτοιων δικτύων με τη κατασκευή των αντικειμενικών συναρτήσεων ελαχιστοποίησης του κόστους και αντίστοιχα μεγιστοποίησης του κέρδους και τον ορισμό των απαραίτητων περιορισμών.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται εκτενώς το λογισμικό – προγραμματιστικό περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε για τη πρακτική εφαρμογή του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, και συγκεκριμένα το Evolver της Palisade. Ακόμη, γίνεται η επιλογή των θαλάσσιων διαδρομών που θα βελτιστοποιηθούν.

Το όγδοο κεφάλαιο αναφέρεται στην υλοποίηση – εφαρμογή του αλγορίθμου για ένα δίκτυο τερματικών σταθμών το οποίο εξυπηρετείται από δύο Car Carriers. Γίνεται εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων, παρατίθεται η επεξεργασία των λύσεων και παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα έπειτα από τη βελτιστοποίηση.

Τέλος, στο ένατο κεφάλαιο εξάγονται τα συνολικά συμπεράσματα τόσο για τη ποιότητα των λύσεων που προέκυψαν έπειτα από τη βελτιστοποίηση και την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου βελτιστοποίησης όσο και για την συνολική εικόνα της ναυλαγοράς των Car Carriers.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΝΟΣ ΣΤΟΛΟΥ ΡΟΤΣ

6.1 Γενικά στοιχεία – Ο λόγος ανάπτυξης του μοντέλου

Οι θαλάσσιες μεταφορές αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο τμήμα των παγκόσμιων μεταφορών, περισσότερα από τα δύο τρίτα, ξεπερνώντας προφανώς με τεράστια διαφορά τις ποσότητες αγαθών που διακινούνται είτε μέσω ξηράς είτε από αέρα. Επομένως, οι μεταφορές είναι συνυφασμένες με την ύπαρξη της ανθρώπινης ζωής, πόσο μάλλον εν έτι 2012 όπου η παγκοσμιοποίηση καθιστά δυνατή τη πρόσβαση σε ένα τεράστιο πλήθος αγαθών από κάθε γωνιά της υφηγλίου. Έχει παρατηρηθεί μάλιστα, πως συχνά τα μεταφερόμενα σε ένα προορισμό αγαθά σχετίζονται άμεσα και άρρηκτα με τις ανάγκες, τις συνήθειες, τις επιθυμίες αλλά και την ευρύτερη κουλτούρα εκείνου του πληθυσμού, ενώ λειτουργούν και ως «προφήτες» προδιαγράφοντας έτσι μία πιθανή οικονομική άνθηση στην αγορά που σχετίζεται το αγαθό αυτό.

Η θαλάσσια μεταφορά αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων μια αγορά η οποία όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2 χαρακτηρίστηκε σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας από ιδιαίτερη οικονομική άνθηση ενώ σήμερα παρουσιάζει αξιοσημείωτα σημάδια ανάκαμψης έπειτα από τη σφοδρή παγκόσμια οικονομική ύφεση. Οι κινητήριες δυνάμεις της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι αφενός η αύξηση - βελτίωση του παγκόσμιου βιοτικού επιπέδου, αποτέλεσμα του οποίου είναι η απόκτηση ενός αυτοκινήτου από πολίτες αναπτυσσόμενων κρατών ή η αντικατάσταση ενός παλαιότερου με ένα καινούριο καλύτερων προδιαγραφών από πολίτες ανεπτυγμένων κρατών, και αφετέρου η ζήτηση για εμπορικά οχήματα ειδικού σκοπού. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τη συνήθως μεγάλη γεωγραφική απόσταση μεταξύ των εργοστασίων παραγωγής και των καταναλωτών συνθέτουν την ανάγκη για τη θαλάσσια μεταφορά των αυτοκινήτων.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως η ανάγκη για παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών και για τη βελτιστοποίηση των κερδών μέσω της ορθής διαχείρισης των πόρων , αποτελούν δύο βασικότερα ζητήματα των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον ευρύτερο τομέα της διακίνησης και της διανομής αγαθών για την επίλυση των οποίων έχουν αναπτυχθεί ποικίλα αξιολογικά μαθηματικά μοντέλα. Παρ' όλα αυτά, το τεχνικό υπόβαθρο όσον αφορά την αγορά των Car Carriers είναι μέχρι στιγμής αρκετά περιορισμένο καθώς δεν έχουν προταθεί μέχρι στιγμής τρόποι μοντελοποίησης των δικτύων των PCCs. Συνήθως τακτική στη παρούσα φάση είναι η χρήση μεθοδολογιών που ακολουθούνται στην αγορά των εμπορευματοκιβωτίων, μιας επίσης liner αγοράς που παρά τις σημαντικότερες ομοιότητες παρουσιάζει και θεσμικές διαφορές. Πολλές φορές πάλι, η οργάνωση των δρομολογίων για πλοία τύπου PCC επαφίεται σε εμπειρικές μεθοδολογίες χωρίς αξιόπιστο επιστημονικό υπόβαθρο.

Εξαιτίας λοιπόν των λόγων που μόλις αναφέρθηκαν, προκλήθηκε το ενδιαφέρον ανάπτυξης επιστημονικής μεθοδολογίας η οποία θα προσεγγίζει με ακέραιο τρόπο το πραγματικό πρόβλημα της διαχείρισης ενός στόλου από PCC. Το μαθηματικό πρόβλημα – μοντέλο που θα διατυπωθεί θεωρητικά και θα αξιοποιηθεί πρακτικά στα επόμενα κεφάλαια αφορά τις διαχειρίστριες ναυτιλιακές εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην αγορά των PCCs και επιδιώκουν την εύρεση της βέλτιστης λύσης των δρομολογίων του δικτύου τους με σκοπό τη μεγιστοποίηση του κέρδους του (ή ομοίως την ελαχιστοποίηση του κόστους τους).

6.2 Διατύπωση και περιγραφή του προβλήματος

Το πρόβλημα με το οποίο ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία είναι η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου που να προσεγγίζει τις βέλτιστες από πλευράς κόστους (ή αντίστοιχα κέρδους) διαδρομές των πλοίων ενός στόλου από PCCs όταν μάλιστα είναι δεδομένοι οι λιμένες που εξυπηρετεί το κάθε ένα από αυτά. Συγκεκριμένα, με γνωστή τη ζήτηση για μεταφορά αυτοκινήτων από κάθε λιμάνι προς κάθε προορισμό εντός του δικτύου, επιλέγεται κατάλληλα τόσο η σειρά εξυπηρέτησης των λιμανιών όσο και τα φορτία (ή ποσοστά τους) που θα

φορτωθούν από κάθε πλοίο έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος ενώ παράλληλα θα διακινούνται όσο το δυνατόν περισσότερα φορτία μεγιστοποιώντας έτσι το κέρδος του πλοιοκτήτη.

Προφανώς, προκύπτουν περιορισμοί σχετικά με το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο που μπορεί να μεταφέρεται ανά πάσα στιγμή από κάθε πλοίο, καθώς αυτό δε μπορεί να ξεπερνάει τη μέγιστη μεταφορική ικανότητα του τελευταίου. Ακόμη, ορίζονται χρονικοί περιορισμοί ως προς τη μέγιστο επιτρεπόμενο χρόνο που διαθέτει η εταιρία για τη μεταφορά κάθε φορτίου από το αρχικό λιμάνι φόρτωσής του μέχρι το προορισμό του. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως αποφθέχθηκε το ενδεχόμενο πιθανής αντικατάστασης λιμανιών με κάποιες εναλλακτικές επιλογές οι οποίες πιθανώς να βελτίωναν τη λύση του προβλήματος, αφενός διότι οι πλοιοκτήτριες εταιρείες που έχουν υπό την ιδιοκτησία τους ή διαχειρίζονται πλοία ειδικής κατηγορίας, όπως τα PCC, έχουν αυστηρές συμβάσεις με τους ναυλωτές που τους υποχρεώνουν να περνούν από τα λιμάνια έστω και για πολύ λίγα αυτοκίνητα, αφετέρου η μακροοικονομική μελέτη που συνοδεύει την έρευνα για προορισμούς που είναι κερδοφόροι για την ναύλωση των πλοίων είναι αντικείμενο επιχειρησιακής στρατηγικής και πολυετούς εμπειρίας στον χώρο.

Πρέπει απαραίτητως να επισημανθεί πως κατά τη κατασκευή του μοντέλου έχει ληφθεί υπόψη η ύπαρξη τερματικών σταθμών μεταφόρτωσης. Τα λιμάνια αυτά λειτουργούν ως συνδετικοί κρίκοι του δικτύου καθώς αποτελούν κοινά λιμάνια μεταξύ τουλάχιστον δύο πλοίων μέσω των οποίων θα μπορεί να μεταβιβάζεται το φορτίο που παραλήφθηκε από κάποιο PCC αλλά η παράδοσή του πραγματοποιείται από ένα άλλο το οποίο προφανώς εξυπηρετεί το τελικό προορισμό του. Η ύπαρξη λιμένων μεταφόρτωσης επιτρέπει τη διακίνηση αυτοκινήτων σε κάθε δυνατό συνδυασμό λιμανιού φόρτωσης - προορισμού εντός του δικτύου με αισθητά χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη ταχύτητα καθώς σε αντίθετη περίπτωση κάθε πλοίο θα έπρεπε να προσεγγίζει όλα τα λιμάνια του δικτύου.

Αντιθέτως, περιπτώσεις slow steaming παραβλέπονται αφενός διότι είναι φαινόμενα που εμφανίστηκαν για να βρεθεί λύση στο πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του κόστους αλλά και αφετέρου διότι δεν καθίσταται ελευθέρως

μεταβλητά με απώτερο σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους (κοινώς έχουν ένα εύρος μεταβολής μερικών ναυτικών μιλίων ανά ώρα το οποίο με την σειρά του θα επιβαρύνει την μηχανή κατά τρόπο τέτοιο ώστε θα εμφανιστούν μη προσδοκώμενα και ευκόλως προσδιορίσιμα κόστη).

Προβλήματα προσέγγισης των πλοίων λόγω μεγέθους παραβλέπονται καθώς το πολύ μεγάλο νούμερο των προβλητών που υποδέχονται τέτοιου είδους πλοία σε συνδυασμό με τις μεταβλητές διαστάσεις των πλοίων (μεταβλητό βύθισμα ανάλογα με το φορτίο) καθιστούν το πρόβλημα πολύ δύσκολο υπολογιστικά ακόμη και για έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης, μερικά από τα λιμάνια είναι κοινά ορίζοντάς τα ως λιμάνια μεταφόρτωσης, όπου τα φορτία θα παραμένουν για κάποιο χρονικό διάστημα ορίζοντας και αυτά με την σειρά τους ένα επιπλέον κόστος για την διαχείριση του πλοίου.

Τέλος, είναι απαραίτητο να τονισθεί πως το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύσσεται σε αυτή την εργασία, και κατ' επέκταση η πρακτική εφαρμογή του που θα ακολουθήσει στα επόμενα κεφάλαια λαμβάνει υπόψη οποιαδήποτε στρατηγική επιλογή της αγοράς ή πώλησης ενός πλοίου ούτε και η οικονομική επιβάρυνση που θα μπορούσε να προσφέρει μία λανθασμένη επιλογή. Ο κύριος λόγος είναι πως οι αξίες των πλοίων κατά τις αγοροπωλησίες, πόσο μάλλον όταν αυτά είναι ειδικού τύπου όπως τα PCCs, διαφοροποιούνται σημαντικά βάσει μακροοικονομικών μεγεθών που αγγίζουν την παγκόσμια κλίμακα και διαφοροποιούνται σε βάθος χρόνου θίγοντας την αξιοπιστία της όποιας επιλογής.

6.3 Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τη κατασκευή της αντικειμενικής συνάρτησης του προβλήματος

Παρακάτω, παρατίθενται αναλυτικά όλοι εκείνοι οι παράγοντες οι οποίοι σε συνδυασμό με όσα προαναφέρθηκαν παραπάνω συντελούν στη κατασκευή της αντικειμενικής συνάρτησης του προβλήματος, στη προκειμένη περίπτωση είναι η συνάρτηση του κέρδους και για την όποια επιδιώκεται η βελτιστοποίησή της

(μεγιστοποίηση της συνάρτησης). Βέβαια, είναι προφανές πως η ρεαλιστική αντιμετώπιση του προβλήματος επιβάλλει την ύπαρξη περιορισμών οι οποίοι αφορούν την οριοθέτηση του μέγιστου επιτρεπόμενου φορτίου σε κάθε πλοίο και τους χρονικούς περιορισμούς για τη παράδοση των φορτίων.

6.3.1 Οι λειτουργικές δαπάνες των ναυτιλιακών εταιριών

Οι λειτουργικές δαπάνες των ναυτιλιακών εταιριών, τα έξοδα δηλαδή των τελευταίων τα οποία εξασφαλίζουν τη ασφαλή λειτουργία των πλοίων τους και τη δυνατότητα εξυπηρέτησης των πελατών τους (μεταφορά του εκάστοτε φορτίου), αποτελούν τη βασική κατηγορία εξόδων τα οποία διαδραματίζουν πολλές φορές καθοριστικό ρόλο στη κερδοφορία των ναυτιλιακών εταιριών. Έτσι, δεδομένου ότι το ύψος των ναύλων των πλοίων προσδιορίζεται ουσιαστικά από τους νόμους της αγοράς, ένα από τα βασικά ζητούμενα των ναυτιλιακών εταιριών είναι η μέγιστη κατά δύναμη ελάττωση των εξόδων τους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως σε περιόδους ύφεσης της ναυλαγοράς, όπως είναι αυτή που διανύουμε τα τελευταία χρόνια, οι λειτουργικές δαπάνες είναι αυτές που χαράσσουν τη διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στη κερδοφόρα και τη ζημιογόνα εκμετάλλευση του πλοίου, ο αποτελεσματικός έλεγχος των οποίων επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Προφανώς, η ορθή διαχείριση των δαπανών απαιτεί έναν αρχικό διαχωρισμό τους σε αυτές που προέρχονται από τη **λειτουργία των πλοίων**, σε εκείνες που οφείλονται στους **τερματικούς σταθμούς (λιμένες)** και στο **κόστος κεφαλαίου**. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνιστώσες εκείνες που διαμορφώνουν τις δύο πρώτες κατηγορίες δαπανών έτσι ώστε να μπορεί να εξετασθεί ο τρόπος μείωσής τους. Το κόστος κεφαλαίου, το οποίο ουσιαστικά αφορά τις υποχρεώσεις (κεφάλαια, τόκοι κλπ) της ναυτιλιακής εταιρίας στους δανειστές της (π.χ. τράπεζες) δε λαμβάνεται υπόψη, καθώς δεν επηρεάζει τον αλγόριθμο – μοντέλο βελτιστοποίησης του δικτύου με το οποίο ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία.

Δαπάνες που προέρχονται από τη λειτουργία των πλοίων

Οι δαπάνες των ναυτιλιακών εταιριών που προέρχονται από τη λειτουργία των πλοίων διαμορφώνονται από δύο ομάδες εξόδων.

A. Τα **λειτουργικά έξοδα – κόστη** των πλοίων (**operating expenses** ή **running costs**): Είναι τα έξοδα που διασφαλίζουν τη καθημερινή λειτουργία των πλοίων και δεν εξαρτώνται από το ταξίδι. Εμπειρικά έχει υπολογιστεί πως συνεισφέρουν κατά περίπου 25% στις συνολικές δαπάνες των ναυτιλιακών εταιριών.

Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελούνται τα λειτουργικά έξοδα είναι τα παρακάτω:

- **Έξοδα για Μισθούς του πληρώματος (crew wages)**: Περιλαμβάνουν τους βασικούς μισθούς, τα μπόνους, τη πληρωμή υπερωριών και πραγματοποίησης ειδικών εργασιών και τις άδειες διακοπών.
- **Λοιπά έξοδα πληρώματος (crew expenses)**: Περιλαμβάνουν τα έξοδα μεταφοράς μελών του πληρώματος από και προς το πλοίο (π.χ. λάντζα), τα αεροπορικά εισιτήρια, τις αμοιβές του πράκτορα (agent) που έχουν σχέση με το πλήρωμα, τα έξοδα ιατρικής περίθαλψης του πληρώματος και τις εισφορές στο σωματείο των ναυτικών.
- **Τα έξοδα τροφοδοσίας (victualling expenses)**: Περιλαμβάνουν τα έξοδα για σίτιση των ναυτικών (φρέσκα, κρέας κλπ)
- **Έξοδα για προμήθειες, πόσιμο νερό και ασφάλεια (stores, water and safety expenses)**: Περιλαμβάνουν τα έξοδα για τις προμήθειες υλικών για τις καμπίνες, τη κύρια μηχανή και τα καταστρώματα καθώς και τις δαπάνες για τη μεταφορά τους στο πλοίο, τα έξοδα για γραφική ύλη, βιβλία κλπ., τα έξοδα για παροχή και συντήρηση υπολογιστών και προγραμμάτων λογισμικού, τα έξοδα για πόσιμο νερό και τέλος τις δαπάνες για ασφάλεια.
- **Έξοδα για ανταλλακτικά (spare part expenses)**: Περιλαμβάνουν τα έξοδα για ανταλλακτικά της κύριας μηχανής, της βοηθητικής μηχανής, των βοηθητικών μηχανημάτων του engine room, του μηχανολογικού εξοπλισμού των καταστρωμάτων καθώς και για τα ανταλλακτικά για τα καπάκια των αμπαριών (Hatch Covers) και των μηχανημάτων τους.

Ακόμη, συνυπολογίζονται οι δαπάνες που αφορούν την αποστολή των ανταλλακτικών και οι πιθανές τελωνιακές υποχρεώσεις.

- **Έξοδα για υλικά βαφής, λίπανσης και χημικών (paints, lubricants and chemicals expenses):** Περιλαμβάνουν τα έξοδα των υλικών βαφής, των λιπαντικών και των χημικών που χρησιμοποιούνται συνήθως για καθαρισμούς μηχανημάτων και αμπαριών.
- **Κόστος επισκευών (repair costs):** Περιλαμβάνει τα έξοδα που προκύπτουν από εργασίες επισκευής της κύριας μηχανής, των υπόλοιπων μηχανημάτων, των καταστρωμάτων, της γάστρας καθώς και ραδιοτηλεοπτικού εξοπλισμού πλοήγησης και επικοινωνίας.
- **Έξοδα για ασφάλειες (Insurance expenses):** Περιλαμβάνουν τις δαπάνες που προκύπτουν για τη συμμετοχή στα Protection and Indemnity Clubs που εξασφαλίζει την ασφάλεια προς τρίτους και τις δαπάνες για τις ασφάλειες Hull and Machinery, War Risk και όποιες άλλες πρόσθετες ασφαλίσεις του πλοίου.
- **Έξοδα για δεξαμενισμό και ειδικές επιθεωρήσεις του πλοίου (dry docking and special surveys expenses):** Περιλαμβάνουν τις δαπάνες που προκύπτουν από τις εργασίες και επισκευές που γίνονται κατά το δεξαμενισμό και τις επιθεωρήσεις του πλοίου.
- **Έξοδα σχετικά με το νηογνώμονα και το νηολόγιο (class and registry expenses):** Περιλαμβάνουν τις εισφορές προς το νηογνώμονα και τη σημαία (νηολόγιο) καθώς και τη φορολόγηση του πλοίου ανάλογα με τονάζ του.
- **Έξοδα για επικοινωνία (communication expenses):** Περιλαμβάνουν τα έξοδα που προκύπτουν κατά τη ραδιοτηλεοπτική επικοινωνία (π.χ. τηλεφωνήματα, δορυφορική πρόσβαση στο διαδίκτυο κ.α.) του πλοίου με το γραφείο διοίκησης, με άλλα πλοία, τις αρχές και οποιουδήποτε άλλους τρίτους.
- **Λοιπά έξοδα (miscellaneous expenses):** Η κατηγορία αυτή των δαπανών περιλαμβάνει όλα τα υπόλοιπα έξοδα που προκύπτουν και δε μπορούν να ενταχθούν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες.

B. Τα έξοδα για καύσιμα της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών. Τα έξοδα αυτά αποτελούν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των εξόδων το οποίο μπορεί και να αγγίξει το 40% με 45% επί των συνολικών. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των πλοίων είναι σχεδόν αποκλειστικά τα λεγόμενα **Heavy Fuel Oil (HFO)** και **Marine Diesel Oil (MDO)**. Αξίζει να σημειωθεί πως το MDO κοστίζει περίπου 1,5 φορές πιο ακριβά από το HFO. Στα σύγχρονα πλοία, τόσο η κύρια μηχανή όσο και οι ηλεκτροκινητήρες καταναλώνουν Heavy Fuel Oil κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους για λόγους οικονομίας ενώ κατά τη προσέγγιση και παραμονή σε λιμένες καθώς και κατά τη διάρκεια μανουβρών υποχρεούνται να καταναλώνουν Marine Diesel Oil. Βέβαια, σε αρκετά κράτη της Ασίας και της Αφρικής, οι κανονισμοί δεν είναι τόσο αυστηροί όσο στην Ευρώπη και την Αμερική, και έτσι και πάλι για λόγους οικονομίας τα πλοία επιλέγουν να καταναλώνουν HFO και κατά τη παραμονή τους στα λιμάνια.

Είναι προφανές πως το ύψος των εξόδων αυτών είναι άμεση συνάρτηση της απόστασης που διανύουν τα πλοία στα ταξίδια τους, πράγμα που αποδεικνύει την ανάγκη κατάστρωσης δικτύων – δρομολογίων που να απαιτούν την κάλυψη των συντομότερων διαδρομών μειώνοντας δραστικά τόσο τους χρόνους ταξιδιού όσο και τα έξοδα για καύσιμα.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως άλλος ένας παράγοντας που επιδρά στη διαμόρφωση των καυσίμων είναι η ειδικές καταναλώσεις της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών, στοιχεία που είναι χαρακτηριστικό του πλοίου και για τα οποία δε μπορεί να επέμβει ο διαχειριστής του.

Δαπάνες που οφείλονται στους τερματικούς σταθμούς

Οι δαπάνες των ναυτιλιακών εταιριών που συνδέονται άμεσα με τη προσέγγιση και τη χρήση των τερματικών σταθμών κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες.

A. Δαπάνες για πληρωμή του λιμανιού (port disbursement accounts): Συνήθως αναφέρονται ως «λιμανιάτικα» ή DAs και περιλαμβάνουν έξοδα που προκύπτουν κατά τη πρόσβαση και παραμονή του πλοίου στο λιμάνι. Τέτοιου είδους έξοδα είναι οι εισφορές του λιμανιού, οι πιθανοί φόροι που ορίζονται από το κράτος, οι

δαπάνες για παροχή πιλότων και ρυμουλκών κατά τη προσέγγιση και πρόσδεση του πλοίου, την παροχή προσωπικού του λιμανιού για οποιαδήποτε εργασία ή ακόμα και την έκδοση πιστοποιητικών υγείας για τα μέλη του πληρώματος. Είναι κατανοητό πως το ύψος των συνολικών δαπανών αυτής της κατηγορίας εξαρτάται άμεσα από το χρόνο παραμονής του πλοίου στο εκάστοτε λιμάνι.

Β. Δαπάνες φορτοεκφόρτωσης του φορτίου: Περιλαμβάνουν τα έξοδα που προκύπτουν για τη φόρτωση και την εκφόρτωση των αυτοκινήτων σε κάθε τερματικό σταθμό. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ομάδας εξόδων οφείλεται στη πληρωμή του εξειδικευμένου προσωπικού που αναλαμβάνει τη διεκπεραίωση της φορτοεκφόρτωσης των αυτοκινήτων σε κάθε λιμάνι. Πρέπει δε να σημειωθεί πως γενικά παρατηρούνται μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των λιμανιών όσον αφορά τις χρεώσεις για φόρτωση και εκφόρτωση αυτοκινήτων στη μονάδα του χρόνου.

Γ. Δαπάνες για αποθήκευση του φορτίου: Περιλαμβάνουν τα έξοδα που προκύπτουν για την αποθήκευση του φορτίου (στην εξειδικευμένη περίπτωση μας αυτοκινήτων), φαινόμενο που συναντάται αρκετά συχνά στους σταθμούς μεταφόρτωσης όπου το φορτίο παραμένει στο λιμάνι για ένα χρονικό διάστημα προκειμένου να φορτωθεί εκ νέου από άλλο πλοίο.

6.3.2 Η ζήτηση για μεταφορά αυτοκινήτων και τα έσοδα των ναυτιλιακών εταιριών στην αγορά των Car Carriers

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, τα έσοδα των διαχειριστριών ναυτιλιακών εταιριών στην αγορά των Car Carriers προέρχονται είτε από μακροχρόνια συμβόλαια με τις διάφορες αυτοκινητοβιομηχανίες είτε με μια καθορισμένη χρέωση για τη μεταφορά κάθε οχήματος. Πρέπει όμως να τονισθεί για ακόμη μια φορά πως η πηγή των εσόδων των διαχειριστριών εταιριών είναι παντελώς διαφορετική από εκείνη των πλοιοκτητριών εταιριών καθώς οι τελευταίες παρέχουν απλώς τα πλοία τους στις διαχειρίστριες εταιρίες έναντι συμφωνημένων ποσών σε βάσεις χρονοναύλωσης ή ναύλωσης για συγκεκριμένο αριθμό ταξιδιών.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να υπογραμμιστούν δύο ιδιαίτερης σημασίας στοιχεία. Πρώτον, το ύψος του ναύλου για τη μεταφορά κάθε οχήματος σχετίζεται άμεσα από τους νόμους της ζήτησης καθώς και από τον ανταγωνισμό που επικρατεί σε κάθε εμπορική διαδρομή. Είναι λογικό, σε περιόδους οικονομικής ευμάρειας, κατά τις οποίες η ζήτηση αυτοκινήτων ανέρχεται σε υψηλά επίπεδα, η τιμή των ναύλων να αυξάνεται ενώ είναι εξίσου λογικό να παρατηρείται συμπίεση των ναύλων όταν σε μια εμπορική διαδρομή παρουσιάζονται νέοι παίχτες- ανταγωνιστές. Δεύτερον, είναι κατανοητό πως το ύψος των ναύλων είναι εξαρτώμενο και από την απόστασης που διανύεται για τη μεταφορά των αυτοκινήτων από ένα λιμάνι στο προορισμό του αλλά και από το καθεστώς όσον αφορά τις χρεώσεις που επικρατεί στο εκάστοτε λιμάνι. Είναι για παράδειγμα λογικό η μεταφορά αυτοκινήτων από την Ιαπωνία στην Ευρώπη να κοστολογείται περισσότερο σε σχέση με τη μεταφορά του ίδιου φορτίου μεταξύ κοντινών προορισμών.

Έτσι, τόσο κατά το θεωρητικό μοντέλο όσο και στην πρακτική εφαρμογή του που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, ορίζεται ξεχωριστά η ζήτηση για αυτοκίνητα καθώς και το ύψος των ναύλων για μεταφορά αυτοκινήτων από κάθε λιμάνι προς κάθε προορισμό καθώς είναι ιδιαίτερα σημαντικό να επισημαίνονται οι διακυμάνσεις που υπάρχουν τόσο στη ζήτηση όσο και στο ύψος των ναύλων από λιμάνι σε λιμάνι.

6.4 Θεωρητικό Μοντέλο

Στη συνέχεια ακολουθεί η μαθηματική περιγραφή του προβλήματος που περιγράφηκε παραπάνω, η οποία ουσιαστικά θα χρησιμοποιηθεί και κατά τη πρακτική εφαρμογή του.

Έστω λοιπόν P το σύνολο όλων των λιμανιών που περιλαμβάνονται στο δίκτυο, n το πλήθος των πλοίων που θα χρησιμοποιηθούν και $P_i \subseteq P$, το σύνολο των λιμανιών που προσεγγίζει και εξυπηρετεί κάθε πλοίο i όπου $i=1,2,\dots,n$. Χωρίς βλάβη της γενικότητας μπορούμε να θεωρήσουμε κατ' ελάχιστο ότι: $\forall i \in N : \{P_i \cap P_{i+1} \neq \emptyset\}$, δηλαδή ότι για κάθε δύο πλοία υπάρχει τουλάχιστον ένα κοινό λιμάνι χωρίς να είναι απαγορευτικό να ισχύει ότι :

$$\forall i \in [a, b] \subseteq \mathbb{N} \& j \in [c, d] \subseteq \mathbb{N} : \{P_i \cap P_j \neq \emptyset\}$$

Σκοπός μας είναι να ορίσουμε μια συνάρτηση όπου θα περιγράφει το σύνθετο πρόβλημα της μεταφοράς φορτίων μεταξύ των διάφορων στοιχείων του υποσυνόλου P_i αλλά και των διαφόρων P_i μεταξύ τους.

Στην ακόλουθη ανάλυση, οι ακόλουθοι δείκτες θα περιγράφουν τα εξής: m : τον αριθμό του πλοίου, i, j : τους διάφορους προορισμούς, k : η διάκριση της διαδρομής όπου $k=1$ είναι η μία διαδρομή και $k=2$ η επιστροφή της. Όπως προαναφέρθηκε κάθε πλοίο έχει την δική του χωρητικότητα VCL_m , την δική του ταχύτητα V^m , συγκεκριμένη κατανάλωση βαρέως καυσίμου $HFOC$, συγκεκριμένη κατανάλωση πετρελαίου diesel εν πλω DOC_s^m και σε κατάσταση ελλιμενισμού DOC_p^m . Επιπλέον, δοθέντος της εκάστοτε διαφορετικότητας του πλοίου αλλά και των διαφορετικών P_i λιμανιών, ο χρόνος ταξιδιού διαφοροποιείται και περιγράφεται από το ${}_m^k h_i^j$ και συνεπακόλουθα προκύπτει διαφορετικό συνολικό κόστος κατανάλωσης πετρελαίου diesel DP_S^i και συνολικό κόστος κατανάλωσης βαρέως πετρελαίου $HFOC_S^i$. Εν συνεχεία αντιστοιχεί διαφορετικό συνολικό φορτίο για μεταφορά μεταξύ των προορισμών ${}_m^k Ct_i^j$, διαφορετικό κόστος ελλιμενισμού CT_i^m , και διαφορετικά κόστη για φόρτωμα και ξεφόρτωμα αμαξιών, UNC_i και LOC_i αντίστοιχα.

Στο παρών μαθηματικό μοντέλο γίνανε οι εξής παραδοχές:

1. Τα μεγέθη όπως η ταχύτητα του πλοίου και οι ρυθμοί φορτώματος/ξεφορτώματος είναι απόλυτα μεγέθη και δεν επηρεάζονται από εξωγενείς παράγοντες.
2. Όλα τα οχήματα που θεωρούμε είναι ανηγμένα σε ισοδύναμες μονάδες αυτοκινήτου, ευρέως αποκαλούμενα CEU.
3. Η διάταξη των αυτοκινήτων στα πλοία είναι τέτοια που μπορούμε να εξάγουμε όποιο αυτοκίνητο θέλουμε χωρίς κάποιο χωροταξιακό περιορισμό.

4. Τα κόστη παραμονής στο λιμάνι θα προστεθούν στο τέλος σαν ποσοστό συνολικά.
5. Φορτία μεταφόρτωσης παίρνουν τα πλοία μόνο στην μία διαδρομή

Στην συνέχεια ακολουθεί ο κατάλογος των μεταβλητών-τελεστών, οι συναρτήσεις κόστους, η τελική αντικειμενική συνάρτηση καθώς και οι περιορισμοί όπως προκύπτουν ως επαλληλία των συμβόλων και με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω.

${}^k C_i^j$	Φορτίο από τον προορισμό i για τον προορισμό j στην διαδρομή k από το πλοίο m [cars]
${}_x C_i^j$	Επιπλέον Φορτίο για μεταφορά από τον προορισμό i για τον προορισμό j στην διαδρομή 2 [cars]
${}^k C_t^j$	Συνολικό φορτίο για μεταφορά από τον προορισμό i για τον προορισμό j από το πλοίο m [cars]
${}_m P_i^j$	Ποσοστό Φορτίου από τον προορισμό i για τον προορισμό j στην διαδρομή k από το πλοίο m
${}_m L_c^i$	Φορτίο που φορτώθηκε στον προορισμό i στην διαδρομή k από το πλοίο m
${}_m U C_j^i$	Φορτίο που ξεφορτώθηκε στον προορισμό i από τον προορισμό j στην διαδρομή k από το πλοίο m
${}_m U_t^i$	Χρόνος εκφόρτωσης στον προορισμό i στην διαδρομή k από το πλοίο m
${}_m L_t^i$	Χρόνος φόρτωσης στον προορισμό i στην διαδρομή k από το πλοίο m
${}_m X_p^i$	Επιπλέον χρόνος στο λιμάνι i στην διαδρομή k από το πλοίο m

${}^k T_m^i$	Συνολικός χρόνος στο λιμάνι i στην διαδρομή k από το πλοίο m
${}^k h_m^j$	Χρόνος ταξιδιού από προορισμό i για προορισμό j στην διαδρομή k από το πλοίο m
DOC_s^m	Κατανάλωση πετρελαίου diesel εν ώρα ταξιδιού ανά ώρα $[\frac{tn}{h}]$ από το πλοίο m
$HFOC$	Κατανάλωση βαρέως πετρελαίου εν ώρα ταξιδιού ανά ώρα $[\frac{tn}{h}]$
DOP	Τιμή δολαρίων ανά ώρα κατανάλωσης πετρελαίου diesel $[\frac{\$}{tn}]$
$HFOP$	Τιμή δολαρίων ανά ώρα κατανάλωσης βαρέως πετρελαίου $[\frac{\$}{tn}]$
DOC_p^m	Κατανάλωση πετρελαίου diesel στο λιμάνι ανά ώρα $[\frac{tn}{h}]$ από το πλοίο m
$HFOC_S^i$	Συνολικό Κόστος κατανάλωσης βαρέως πετρελαίου [\\$]
DP_S^i	Συνολικό Κόστος κατανάλωσης πετρελαίου Diesel [\\$]
${}_{i-1}^i D_c^s$	Συνολική κατανάλωση μεταξύ προορισμών i-1, i [tn] $i > 1$
D_c^i	Συνολική κατανάλωση πετρελαίου Diesel στο λιμάνι i [tn]
HFO_S^i	Συνολική κατανάλωση βαρέως πετρελαίου [tn]
p_c^i	Κόστος ελλιμενισμού ανά ώρα $[\frac{\$}{h}]$
CT_i^m	Συνολικό κόστος ελλιμενισμού [\\$] προορισμού i πλοίου m
${}^k TG_m^i$	Έσοδα από την μεταφορά στο λιμάνι i στην διαδρομή k από το πλοίο m

${}_mTC_u^i$	Φορτίο μεταφόρτωσης που ξεφορτώθηκε στο λιμάνι i από το πλοίο m
${}_mTC_l^i$	Φορτίο μεταφόρτωσης που φορτώθηκε στο λιμάνι i από το πλοίο m
VCL_m	Μεγίστη μεταφορική ικανότητα πλοίου m
R_L^i	Ρυθμός φόρτωσης αυτοκινήτων [$\frac{cars}{h}$]
R_U^i	Ρυθμός εκφόρτωσης αυτοκινήτων [$\frac{cars}{h}$]
V^m	Ταχύτητα πλοίου m [knots]
D_i^j	Απόσταση προορισμού i από προορισμό j [sea miles]
$trunc\{x\}$	Ο ακέραιος που είναι μικρότερος ή ίσος του x
Op_c	Λειτουργικά έξοδα [$\frac{\$}{h}$]
TOP_c^i	Συνολικά Λειτουργικά έξοδα [\$]
UNC_i	Κόστος φορτώματος ανά αυτοκίνητο [$\frac{\$}{car}$]
LOC_i	Κόστος ξεφορτώματος ανά αυτοκίνητο [$\frac{\$}{car}$]
${}_kCOB_i^m$	Φορτίο πάνω στο πλοίο m μετά το λιμάνι i στον προορισμό k
OTC_i^j	Χρονικός περιορισμός ιδιοκτήτη για την μεταφορά του φορτίου από τον προορισμό i στον προορισμό j
UP_i^j	Χρέωση μονάδος από την μεταφορά από τον προορισμό i στον προορισμό j

ισχύει:

$${}^k_m U_t^i = \frac{{}^k_m UC_j^i}{R_U^i}$$

$${}^k_m L_t^i = \frac{{}^k_m L_c^i}{R_L^i}$$

$${}^k_m h_i^j = \frac{D_i^j}{V^m}$$

$${}^k_m Ct_i^j = {}^k_m C_i^j + {}_x C_i^j$$

$${}^k_m L_c^i = trunc\{{}^k_m p_i^j \times {}^k_m Ct_i^j\} + {}_m TC_l^i$$

$${}^k_m UC_j^i = trunc\{{}^k_m p_j^i \times {}^k_m Ct_j^i\} + {}_m TC_u^i$$

$${}^k_m T_p^i = {}^k_m L_t^i + {}^k_m X_p^i + {}^k_m U_t^i$$

$${}_{i-1}^i D_c^s = DOC_s \times {}^k_m h_i^j$$

$$D_c^i = {}^k_m T_p^i \times DOC_p$$

$$CT_i^m = p_c^i \times {}^k_m T_p^i$$

$$TOP_c^i = OP_c \times ({}^k_m h_i^j + {}^k_m T_p^i)$$

$${}^k_m TG_i = {}^k_m UC_j^i + {}_m TC_u^i$$

$$HFO_S^i = HFOC \times {}_m^k h_i^j$$

$$HFOC_S^i = HFO_S^i \times HFOP$$

$$DP_S^i = DOP \times ({}_{i-1}^i D_c^s + D_c^i)$$

$${}_k COB_i^m = {}_k COB_{i-1}^m + {}_m^k L_c^i - {}_m^k UC_j^i$$

$${}_m TC_l^i = trunc\{{}_m^k Ct_i^j \times {}_m^k P_i^j\} \times UP_i^j$$

Συνιστώσες Κόστους

❖ Κόστη σχετικά με το λιμάνι

Κόστος φορτώματος/ξεφορτώματος αυτοκινήτων

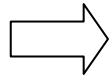


$$\sum_{i=1}^n ({}^k U_t^i \times UNC_i + {}^k L_t^i \times LOC_i) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{{}^k U_c^i}{R_U^i} \times UNC_i + \frac{{}^k L_c^i}{R_L^i} \times LOC_i \right) =$$

$$= \sum_{i=1}^n \left(\frac{trunc\{{}^k P_j^i \times {}^k C_t^i\} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} \times UNC_i + \frac{trunc\{{}^k P_i^j \times {}^k C_t^j\} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} \times LOC_i \right)$$

Σταθερά

Κόστη



$$= \sum_{i=1}^n {}^k T_p^i \times P_c^i = \sum_{i=1}^n ({}^k L_t^i + {}^k X_p^i + {}^k U_t^i) \times P_c^i =$$

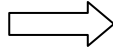
$$= \sum_{i=1}^n \left(\frac{{}^k U_c^i}{R_U^i} + \frac{{}^k L_c^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i \right) \times P_c^i =$$

$$= \sum_{i=1}^n \left(\frac{trunc\{{}^k P_j^i \times {}^k C_t^i\} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} + \frac{trunc\{{}^k P_i^j \times {}^k C_t^j\} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i \right) \times P_c^i =$$

$$= \sum_{i=1}^n \left(\frac{trunc\{{}^k P_j^i \times ({}^k C_j^i + {}_x C_j^i)\} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} + \frac{trunc\{{}^k P_i^j \times ({}^k C_i^j + {}_x C_i^j)\} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i \right) \times P_c^i$$

❖ Κόστη σχετικά με το πλοίο

Κατανάλωση στην θάλασσα



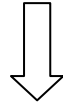
$$\sum_{i=2}^n {}^k h_i^j \times (DOC_s + HFOC) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i^j}{V^m} \times (DOC_s + HFOC) \right)$$

Κατανάλωση στο λιμάνι



$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n {}^k T_p^i \times (DOC_p \times DOP) &= \sum_{i=1}^n ({}^k U_t^i + {}^k L_t^i + {}^k X_p^i) \times (DOC_p \times DOP) = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{trunc}\{{}^k P_j^i \times {}^k C_t^i\} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} + \frac{\text{trunc}\{{}^k P_i^j \times {}^k C_t^j\} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i \right) \times (DOC_p \times DOP) = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{trunc}\{{}^k P_j^i \times ({}^k C_j^i + {}^x C_j^i)\} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} + \frac{\text{trunc}\{{}^k P_i^j \times ({}^k C_i^j + {}^x C_i^j)\} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i \right) \times (DOC_p \times DOP) \end{aligned}$$

Λειτουργικά έξοδα



$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n T O p_c^i &= \sum_{i=1}^n O p_c \times ({}^k T_p^i + {}^k h_i^j) = \sum_{i=1}^n ({}^k U_t^i + {}^k L_t^i + {}^k X_p^i + {}^k h_i^j) \times O p_c = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{trunc}\{{}^k p_j^i \times {}^k C t_j^i\} + {}^m T C_u^i}{R_U^i} + \frac{\text{trunc}\{{}^k p_i^j \times {}^k C t_i^j\} + {}^m T C_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i + \frac{D_i^j}{V^m} \right) \times O p_c = \\ &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{trunc}\{{}^k p_j^i \times ({}^k C_j^i + {}_x C_j^i)\} + {}^m T C_u^i}{R_U^i} + \frac{\text{trunc}\{{}^k p_i^j \times ({}^k C_i^j + {}_x C_i^j)\} + {}^m T C_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i + \frac{D_i^j}{V^m} \right) \times O p_c \end{aligned}$$

Συνδυάζοντας όλα τα ανωτέρω προκύπτει η ακόλουθη αναλυτική μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης κόστους:

CostFunction =

$$= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^t \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\text{trunc}\{ {}^k P_j^i \times {}^k C_t^i \} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} \times UNC_i + \frac{\text{trunc}\{ {}^k P_i^j \times {}^k C_t^j \} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} \times LOC_i \right) + \right. \\ \left. \left(\frac{\text{trunc}\{ {}^k P_j^i \times ({}^k C_j^i + {}_x C_j^i) \} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} + \frac{\text{trunc}\{ {}^k P_i^j \times ({}^k C_i^j + {}_x C_i^j) \} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i \right) \times P_c^i + \right. \\ \left. + \left(\frac{D_i^j}{V^m} \times (DOC_s + HFOC) \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{\text{trunc}\{ {}^k P_j^i \times ({}^k C_j^i + {}_x C_j^i) \} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} + \frac{\text{trunc}\{ {}^k P_i^j \times ({}^k C_i^j + {}_x C_i^j) \} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i \right) \times (DOC_p \times DOP) + \right. \\ \left. \left(\frac{\text{trunc}\{ {}^k P_j^i \times ({}^k C_j^i + {}_x C_j^i) \} + {}^m TC_u^i}{R_U^i} + \frac{\text{trunc}\{ {}^k P_i^j \times ({}^k C_i^j + {}_x C_i^j) \} + {}^m TC_l^i}{R_L^i} + {}^k X_p^i + \frac{D_i^j}{V^m} \right) \times Op_c \right]$$

given{ $m = 1 \Leftrightarrow n = 8, m = 2 \Leftrightarrow n = 12$ }

Και αντίστοιχα μία πιο συμπαγής μορφή της για την ευκολότερη κατανόηση της:

CostFunction =

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^t \sum_{i=1}^n \left[\begin{aligned} & \left({}^k U_m^i \times UNC_i + {}^k L_m^i \times LOC_i \right) + \\ & + \left({}^k T_p^i \times p_c^i \right) + {}^k h_i^j \times \left(DOC_s + HFOC \right) + \\ & + \left({}^k T_p^i \times \left(DOC_p \times DOP \right) \right) + \left(TOP_c^i \right) \end{aligned} \right]$$

given{ $m=1 \Leftrightarrow n=8, m=2 \Leftrightarrow n=12$ }

Συνάρτηση Εσόδων

$$IncomeFunction = {}^kTC_l^i = \sum_{m=1}^l \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^n (trunc\{{}_m^k Ct_i^j \times {}_m^k p_i^j\} \times UP_i^j)$$

Συνάρτηση Κερδών

$$\begin{aligned} GainFunction &= IncomeFunction - CostFunction = {}^kTC_l^i = \\ &= \sum_{m=1}^l \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^n (trunc\{{}_m^k Ct_i^j \times {}_m^k p_i^j\} \times UP_i^j) - \\ &- \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^t \sum_{i=1}^n \left[\begin{aligned} &({}_m^k U_t^i \times UNC_i + {}_m^k L_t^i \times LOC_i) + \\ &+ ({}_m^k T_p^i \times p_c^i) + {}_m^k h_i^j \times (DOC_s + HFOC) + \\ &+ \left({}_m^k T_p^i \times (DOC_p \times DOP) \right) + (TOP_c^i) \end{aligned} \right] \end{aligned}$$

given\{m=1 \Leftrightarrow n=8, m=2 \Leftrightarrow n=12\}

Περιορισμοί

- ❖ Μέγιστο φορτίο πάντοτε μικρότερο ή ίσο της μέγιστης μεταφορικής ικανότητας

$${}^k COB_i^m \leq VCL_m$$

- ❖ Ο χρόνος του φορτίου μεταφόρτωσης είναι πάντοτε μικρότερος ή ίσος του χρονικού περιορισμού του ιδιοκτήτη

Φορτίο μεταφόρτωσης του q πλοίου για παραλαβή από το r πλοίο:

$$\left[\begin{array}{l} \sum_{i=1}^n ({}^k h_i^{i+1} + {}^k L_t^i + {}^k X_p^i + {}^k U_t^i) - \\ - \sum_{i=1}^n ({}^l h_i^{i+1} + {}^l L_t^i + {}^l X_p^i + {}^l U_t^i) + \\ + \sum_{i=n}^p ({}^k h_i^{i+1} + {}^k L_t^i + {}^k X_p^i + {}^k U_t^i) \end{array} \right] \leq OTC_i^p$$

$l \leq k$
 $r \neq q$

- ❖ Ο χρόνος παράδοσης του εκάστοτε φορτίου πρέπει να είναι μικρότερος από την απαίτηση του ιδιοκτήτη

$$\sum_{i=1}^n ({}^k h_i^j + {}^k T_p^i) \leq OTC_i^n$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Περιγραφή του λογισμικού βελτιστοποίησης και η επιλογή των κατάλληλων διαδρομών

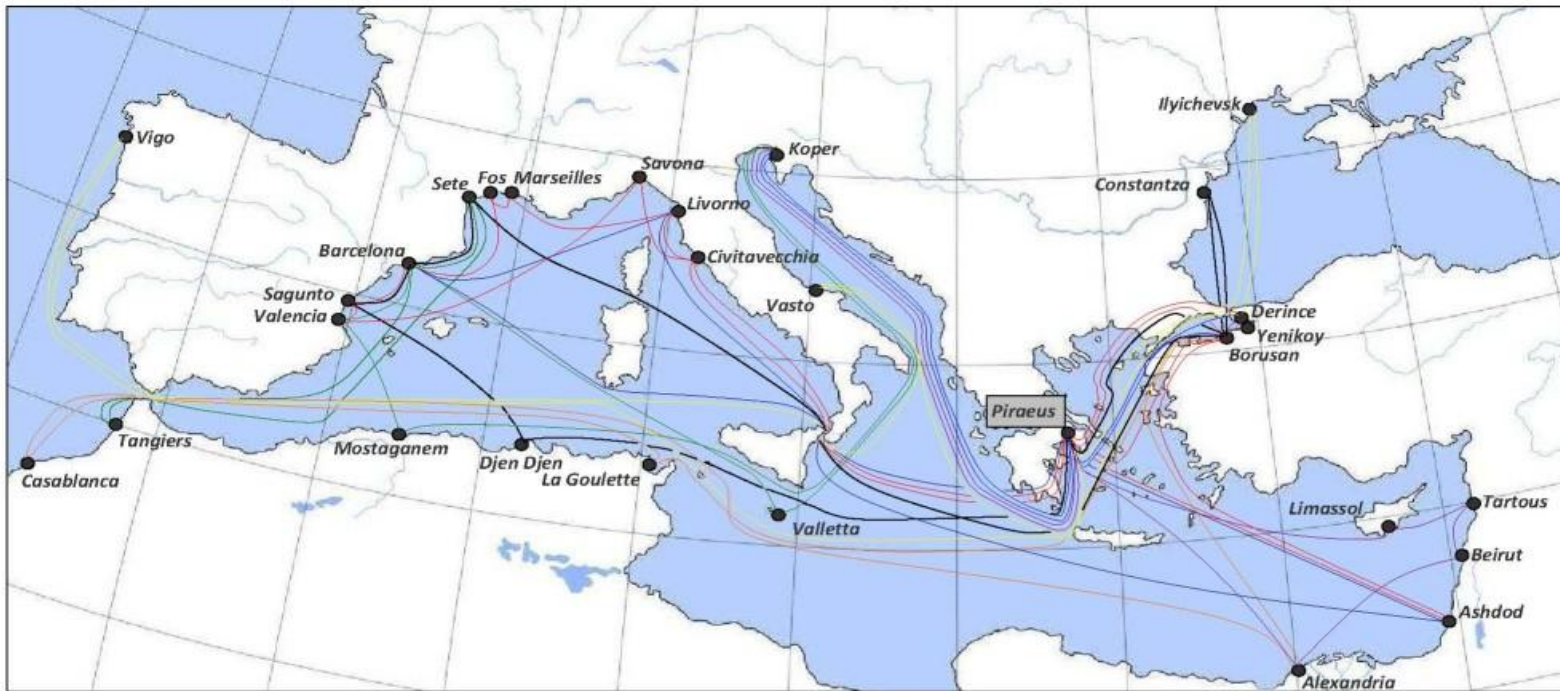
7.1 Η Επιλογή των πλοίων και των διαδρομών βελτιστοποίησης







Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε εφαρμόζοντας το προαναφερθέν μαθηματικό μοντέλο. Αρχικά θα περιγραφεί η ιδιαίτερη περίπτωση της εφαρμογής με τα στοιχεία που την απαρτίζουν, στην συνέχεια θα παρουσιαστεί το λογισμικό και αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του ενώ τελικά θα περιγραφεί το μοντέλο όπως αυτό εφαρμόστηκε στο λογισμικό αυτό.

Για το πρόβλημα αυτό επιλέξαμε δύο διαδρομές της Neptune Lines. Η Neptune είναι μια ναυτιλιακή εταιρεία με βαθιά ιστορία στον χώρο της μεταφοράς οχημάτων. Εδρεύει στον Πειραιά και αποτελεί έναν από τους κύριους ανταγωνιστές της αγοράς των PCC (pure car carriers) και PCTC (pure car and truck carriers) στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας. Εξυπηρετεί περισσότερα από 18 λιμάνια σε 12 χώρες στην Μεσόγειο και Μαύρη Θάλασσα, έχοντας την αποκλειστική χρήση δύο (2) τερματικών σταθμών μεταφοράς αυτοκινήτων στην Έβιαπ (Evgar) της Τουρκίας και στην Κονσταντζα (Constantza) της Ρουμανίας. Στην παρούσα στιγμή ο στόλος της αποτελείται από 11 PCTC με χωρητικότητες που κυμαίνονται από 430 έως 3200 αυτοκίνητα με το μέσο όρο ηλικίας να βρίσκεται στα 5,6 χρόνια. Οι διαδρομές που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε ως αναφορά είναι η γραμμή 1 που περιέχει τα λιμάνια Κονσταντζα, Μπορουσάν, Σέτε, Βαρκελώνη, Σαγκούντο, Τζεν Τζεν, Καζαμπλάνκα, Πειραιάς και η γραμμή 2 με λιμάνια Ντερίνσε, Γενίκου, Μπορουσάν, Πειραιάς, Σιβιταβέτσια, Λιβόρνο, Μαρσέιγ, Φος, Βαρκελώνη, Σαγκούντο, Βαλένθια, Σαβόνα, Λιβόρνο, Σιβιταβέτσια, Πειραιάς. Μεταξύ αυτών των προορισμών υπάρχουν 4 κοινά λιμάνια, ο Πειραιάς, το Σαγκούντο, η Βαρκελώνη και το Μπορουσάν που χρησιμεύουν και ως λιμάνια μεταφόρτωσης για προορισμούς που δεν ανήκουν σε αυτές τις διαδρομές. Σχηματικά φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα οι διαθέσιμες διαδρομές της εταιρείας και η επιλογή μας από αυτές.

Neptune Lines

Service line maps



Line 01	Ports: Constantza - Borusan - Sete - Barcelona - Sagunto - <i>Casablanca (Optional)</i> - Djen Djen (Or Mostaganem) - Piraeus - Borusan	Frequency: Weekly	
Line 02	Ports: Derince - Yenikoy - Borusan - Piraeus - Civitavecchia - Livorno - Marseilles - Fos - Barcelona - Sagunto - Valencia - <i>Mostaganem (Optional)</i> - Savona - Livorno (Optional) - Civitavecchia - Piraeus - <i>Constantza (Optional)</i>	Frequency: Weekly	
Line 03	Ports: Koper - Valletta - Barcelona - Valencia - Mostaganem (Or Djen Djen) - <i>La Goulette (Optional)</i>	Frequency: Every 10 days	
Line 04	Ports: Evyap - Yenikoy - Borusan - Piraeus - Koper - <i>Piraeus (optional)</i>	Frequency: Weekly	
Line 05	Ports: Koper - Piraeus (Port for all shipments ex Spain, France, Italy & Turkey) - Limassol - Tartous - Beirut - Alexandria - Piraeus	Frequency: Every 15 days	
Line 06	Ports: Borusan - La Goulette - Casablanca - Alexandria - <i>Piraeus (Optional)</i>	Frequency: Every 15 days	
Line 07	Ports: Vigo - Vasto - <i>Koper (optional)</i> - Piraeus - Derince - Ilyichevsk / Optional call at any enroute port.	Frequency: Every 10 days	
Line 08	Ports: Tangiers - Barcelona - Sete	Frequency: Weekly	
Line 09	Ports: Derince - Borusan - Piraeus (T/S port) - Ashdod	Frequency: Every 15 days	
Line 10	Ports: Barcelona - Livorno - Piraeus - Ashdod	Frequency: Every 15 days	

7.2 Το Λογισμικό Βελτιστοποίησης

Η πολυπλοκότητα του προβλήματος είναι τέτοια που μας αναγκάζει να χρησιμοποιήσουμε συγκεκριμένο λογισμικό που να διευκολύνει στην εκτέλεση των πράξεων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την βελτιστοποίηση είναι εξελιγμένο από την Palisade Corp. και είναι τμήμα των γενικότερων πακέτων που αναπτύσσει η εταιρεία αυτή με σκοπό την ανάλυση ρίσκου και την υποστήριξη των διάφορων αποφάσεων που λαμβάνονται από μία επιχείρηση. Το μεγαλύτερο μέρος αφορούσε την χρήση του Evolver 5.7 ενώ κατά τμήματα χρησιμοποιήθηκε και το PrecisionTree.

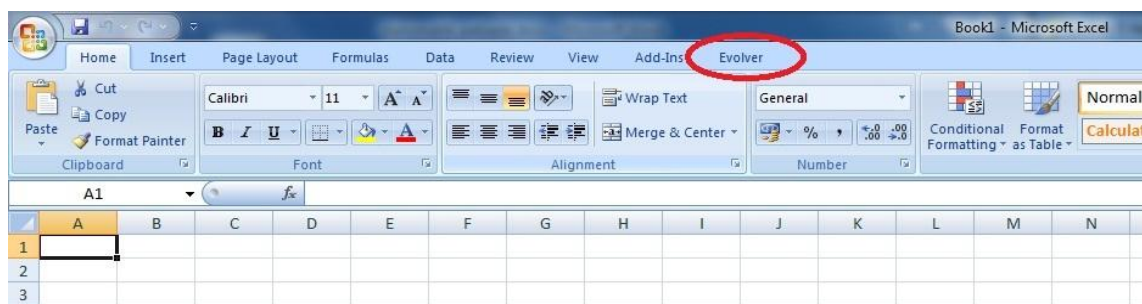
Το Evolver είναι ένα πρόσθετο του Microsoft Excel και χρησιμοποιεί καινοτόμες τεχνολογίες γενετικών αλγορίθμων για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης σε εύρος εφαρμογών όπως σε χρηματοοικονομικές αναλύσεις, κατανομή πόρων, προϋπολογισμό μηχανολογικών μελετών κλπ. Σχεδόν οποιοδήποτε πρόβλημα μπορεί να εκφραστεί στο Excel και εν συνεχεία να λυθεί από το Evolver βρίσκοντας την γενικότερη καλή λύση.

Το PrecisionTree εκτελεί αναλύσεις αποφάσεων στο Microsoft Excel, όμοια με το Evolver, χρησιμοποιώντας δέντρα αποφάσεων και διαγράμματα επιρροής. Έτσι καθίσταται εφικτό να χαράξουμε οπτικά σύνθετες πολυεπίπεδες αποφάσεις σε ένα οργανωμένο τρόπο, εντοπίζοντας έτσι όλες τις πιθανές λύσεις και εναλλακτικές.

Όπως προαναφέρθηκε το Evolver, όντας μέρος ενός συνόλου προϊόντων της Palisade Corporation χρησιμοποιεί πολύ εξελιγμένες τεχνικές γενετικών αλγορίθμων για την βελτιστοποίηση του εκάστοτε μοντέλου. Οι γενετικοί αλγόριθμοι μιμούνται τις Δαρβινικές αρχές της φυσικής επιλογής, δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου εκατοντάδες των πιθανών λύσεων σε ένα πρόβλημα μπορεί να ανταγωνιστεί με ένα άλλο, και μόνο οι "ισχυρότεροι" να επιβιώσουν. Ακριβώς όπως στη βιολογική εξέλιξη, κάθε λύση μπορεί να περάσει μαζί καλά «γονίδια» του μέσα από λύσεις «απόγονους», έτσι ώστε ολόκληρος ο πληθυσμός των λύσεων θα συνεχίσει να εξελίσσεται σε καλύτερες λύσεις. Έτσι χρησιμοποιώντας όλο το φάσμα των τύπων

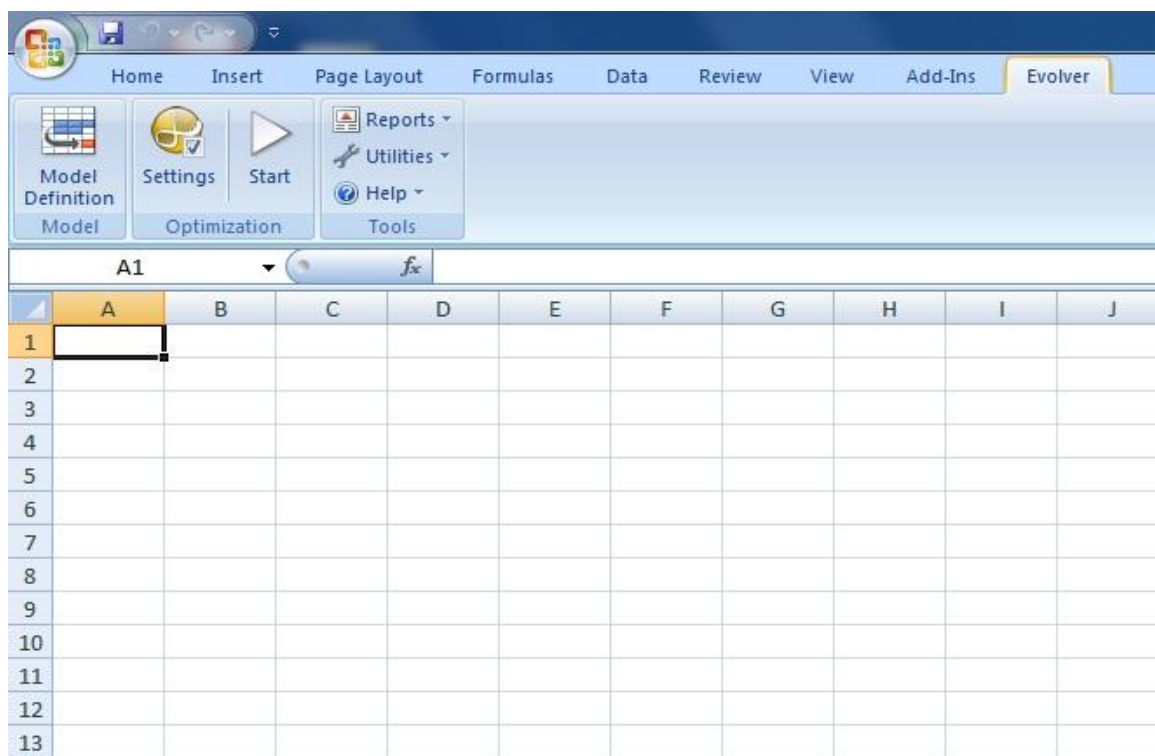
του Excel, των μακροεντολών του αλλά και της υπολογιστικής του δύναμης καταφέρνει κάτι που φαινομενικά είναι ανέφικτο.

- Το γενικότερο περιβάλλον είναι το ακόλουθο διατηρώντας την γενική δομή του Microsoft Excel:



Εικόνα 6. Εκκίνηση του Evolver

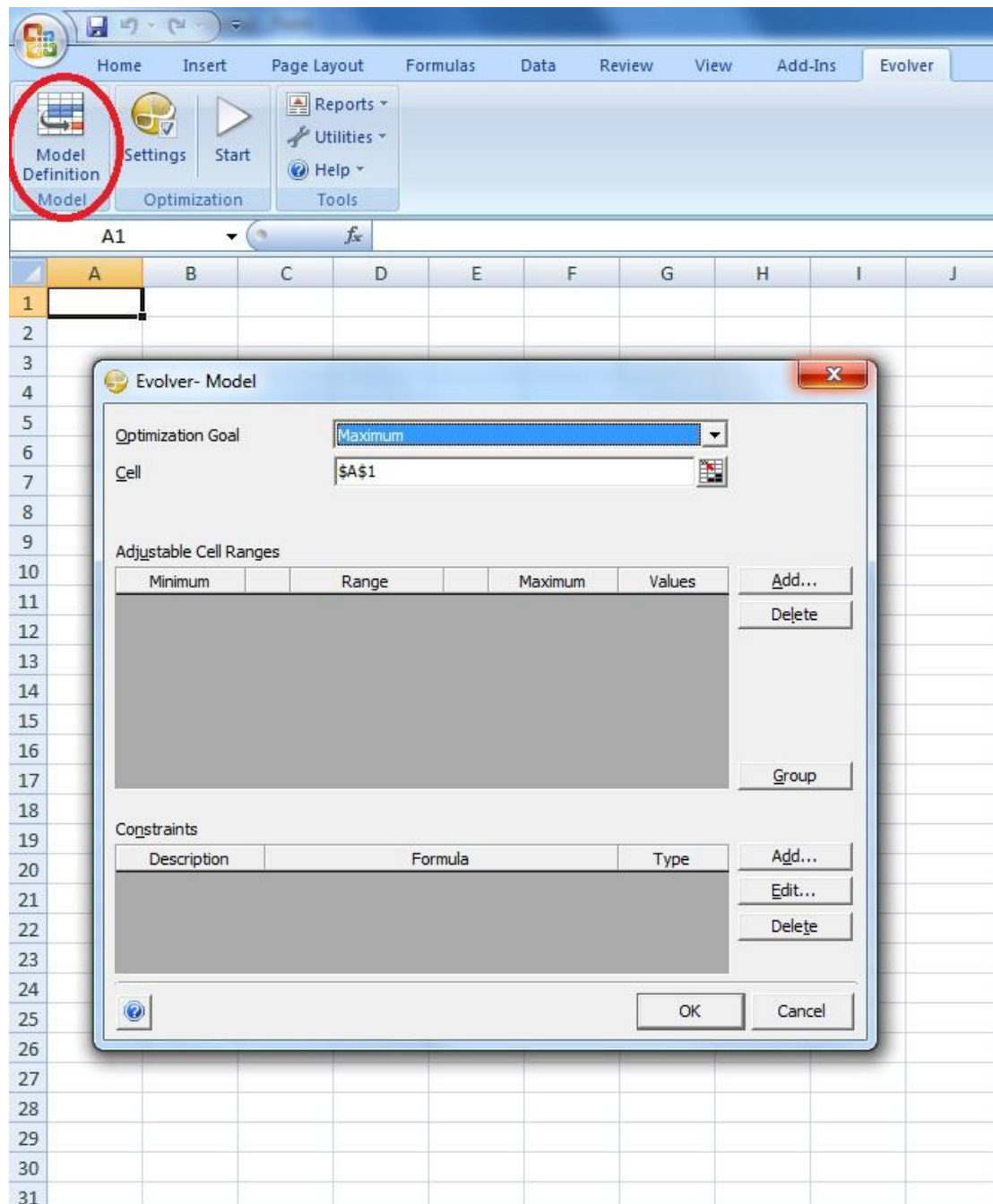
- Πατώντας πάνω στο Evolver εμφανίζεται το μενού του λογισμικού:



Εικόνα 7. Το μενού του λογισμικού Evolver

- Το μοντέλο διαλόγου Evolver.

Πατώντας στο Model Definition ανοίγει ένα νέο παράθυρο όπου περιέχει το μοντέλο διαλόγου όπως φαίνεται στο κάτωθι σχήμα:



Εικόνα 8. Ο ορισμός του μοντέλου

Το μοντέλο διαλόγου Solver χρησιμοποιείται για να καθορίσει ή να περιγράψει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για το Solver. Αυτός ο «διάλογος» ξεκινά με κενό κάθε νέο φύλλο εργασίας του Excel και επίσης αποθηκεύει πληροφορίες με κάθε φύλλο εργασίας. Αυτό σημαίνει ότι όταν το φύλλο ανοίγει και πάλι, θα πρέπει να συμπληρωθεί με τον ίδιο τρόπο. Κάθε στοιχείο του διαλόγου που περιγράφεται στο παρόν τμήμα.

Επιλογές στο παράθυρο του μοντέλου περιλαμβάνουν:

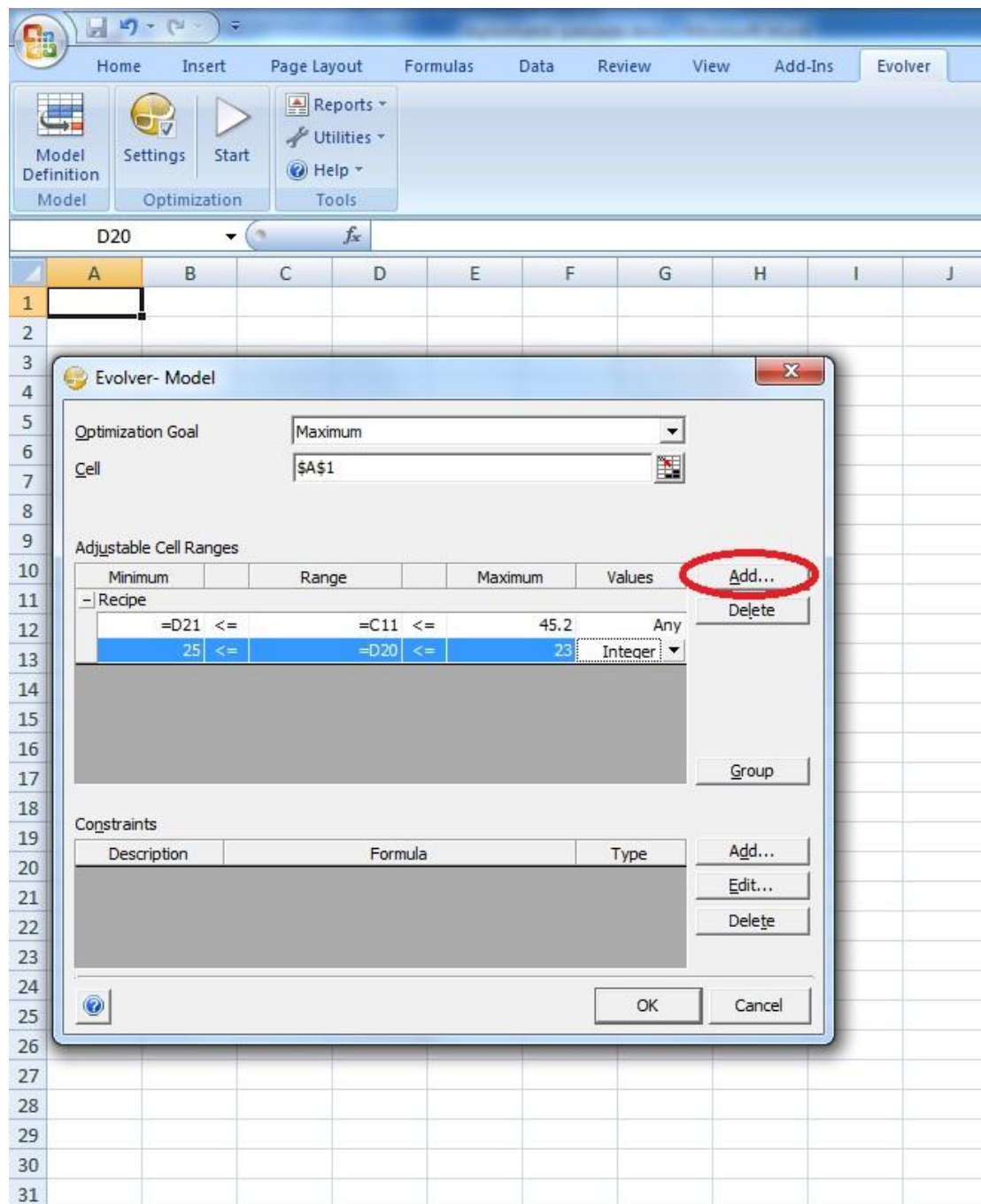
- **Optimization goal** (Στόχος Βελτιστοποίησης): Το Optimization goal καθορίζει τι είδους απάντηση περιμένετε το Solver να αναζητήσει. Εάν έχει επιλεγεί *Minimum* (Ελάχιστη), το Solver θα αναζητήσει τιμές των μεταβλητών που παράγουν την μικρότερη δυνατή τιμή για το κελί προορισμού (μέχρι και 1e300). Εάν είναι επιλεγμένο το *Maximum* (Μέγιστη), το Solver θα ψάξει για τις τιμές των μεταβλητών που έχουν ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή για το κελί προορισμού (όμοια μέχρι και 1e300). Εάν έχει επιλεγεί *Target Value* (τιμή-στόχος), το Solver θα ψάξει για τιμές των μεταβλητών που παράγουν μια τιμή για το κελί προορισμού όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς την τιμή που καθορίζετε. Όταν το Solver βρίσκει μια λύση, η οποία παράγει αυτό το αποτέλεσμα, θα σταματήσει αυτόματα. Για παράδειγμα, αν ορίσετε ότι Solver θα πρέπει να βρουν το αποτέλεσμα που είναι πιο κοντά στο 10, Solver μπορεί να βρει τα σενάρια που οδηγούν σε μια τιμή, όπως 9.5 ή 10.2. Σημειώστε ότι το 10.2 είναι πιο κοντά στο 10 από 9,5 και το Solver δεν ενδιαφέρεται αν η τιμή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τιμή που καθορίζετε, φαίνεται μόνο στο πόσο κοντά είναι η τιμή.

- **Cell** (κελί προορισμού): Το κελί ή κελί προορισμού περιέχει την έξοδο του μοντέλου. Μια τιμή για αυτό το κελί προορισμού θα δημιουργηθεί για κάθε λύση που παράγει το Solver (δηλαδή, κάθε συνδυασμός των πιθανών μεταβλητών κελιών). Το κελί προορισμού πρέπει να περιέχει μια φόρμουλα η οποία εξαρτάται (είτε απευθείας είτε έμμεσα μετά από μια σειρά υπολογισμών) από τα μεταβλητά κελιά. Αυτή η φόρμουλα μπορεί να γίνει είτε με συναρτήσεις του Excel όπως η SUM () είτε μέσα από τη χρήση μακροεντολών VBA.

Καθώς το Enolner αναζητά για μια λύση, χρησιμοποιεί την τιμή του κελιού προορισμού ως εκτίμηση για να αξιολογήσει πόσο καλό κάθε πιθανό σενάριο είναι και να καθορίσει ποιες τιμές των μεταβλητών θα πρέπει να συνεχίσει να διασταυρώνει και ποιες να απορρίψει. Στη βιολογική εξέλιξη, η απόρριψη δεν είναι τίποτα παραπάνω από τον καθορισμό των γονιδίων που θα συνεχίσουν να ανθούν σε όλο τον πληθυσμό.

➤ Εύρος μεταβλητών κελιών

Στο προηγούμενο παράθυρο (εικόνα 3) επιλέγοντας το Add (προσθήκη) οριοθετούμε τις ομάδες κελιών που θέλουμε να το πρόγραμμα να ρυθμίζει στη προσπάθεια του να βρει μία βέλτιστη λύση:



Εικόνα 9. Εύρος Μεταβλητών Κελιών

Ο πίνακας με τα ρυθμιζόμενα κελιά εμφανίζει κάθε περιοχή που περιέχει τα κελιά ή τις τιμές που μπορεί να προσαρμόσει το Evolver, μαζί με την περιγραφή που για αυτά τα κελιά. Κάθε σύνολο των μεταβλητών κελιών αναφέρεται σε μια οριζόντια γραμμή. Ένα ή περισσότερα σύνολα μεταβλητών κελιών μπορούν να συμπεριληφθούν σε μία Ρυθμιζόμενη ομάδα κελιών (Adjustable cell group). Όλα τα

κελιά σε μια ομάδα μεταβλητών κελιών έχουν μια κοινή μέθοδο επίλυσης, κοινό ποσοστό crossover και ρυθμό μετάλλαξης.

Οι ακόλουθες επιλογές είναι διαθέσιμες για την εισαγωγή Μεταβλητών περιοχών κελιών:

- **Add** (Προσθήκη): Μπορείτε να προσθέσετε νέα ρυθμιζόμενα κελιά κάνοντας κλικ στο κουμπί " **Add** " δίπλα στο πλαίσιο λίστας Adjustable cell Ranges. Στον πίνακα, μπορούμε να εισάγουμε μια Ελάχιστη και μία Μέγιστη τιμή για τα κελιά αυτά

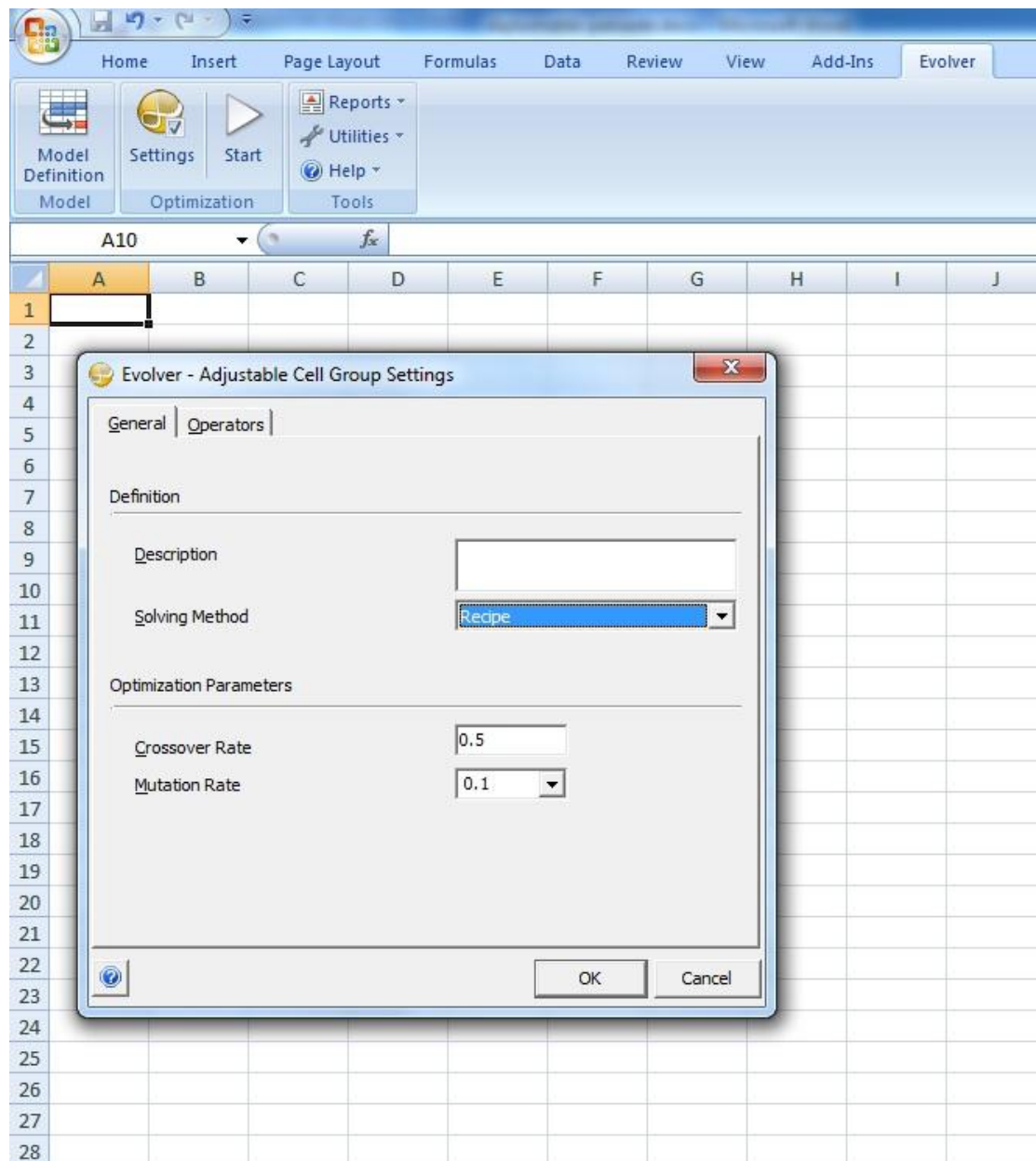
- **Minimum, Maximum** (Ελάχιστη και Μέγιστη): Έχοντας καθορίσει την θέση των μεταβλητών κελιών, οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές μπορούν να είναι είτε άλλα κελιά είτε αριθμοί πραγματικοί (διπλής ακρίβειας)

- **Range** (Εύρος): Εδώ εισάγονται τα κελιά που θέλουμε το πρόγραμμα να μεταβάλλει. Μόνον αυτά και κανένα άλλο κελί δεν θα παραλλαχθεί από το Evolver. Το εύρος μπορεί να είναι μονοσήμαντα ένα κελί ή ένα εύρος κελιών.

- **Values** (Τιμές): Εδώ πρέπει να καθοριστούν οι τιμές που θα πρέπει το πρόγραμμα να μεταβάλλει στο εύρος των κελιών, κοινώς αν θα είναι πραγματικοί η ακέραιοι αριθμοί οι οποίοι βέβαια θα κινούνται πάντα στο εύρος που έχει οριστεί νωρίτερα.

➤ Ομαδικά ρυθμιζόμενα κελιά

Στην Εικόνα 10 λίγο πιο κάτω από το ADD υπάρχει η επιλογή GROUP. Εκεί ορίζονται οι ρυθμίσεις για το νέο σύνολο μεταβλητών, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 10. Ορισμός ιδιοτήτων νέου συνόλου μεταβλητών

·**Solving Method** (μέθοδος επίλυσης): Το Evolver μας προσφέρει τις ακόλουθες μεθόδους με τις οποίες μεταβάλλει τα κελιά στα οποία έχει επιλεγεί η εκάστοτε μέθοδος:

1. Recipe Solving Method: Η “recipe” είναι η πιο εύκολη μέθοδος καθώς δοθέντος ενός εύρους κελιών και ενός σετ μέγιστης-ελάχιστης τιμής δοκιμάζει απλούστατα διάφορες τιμές που ανήκουν στο εύρος.

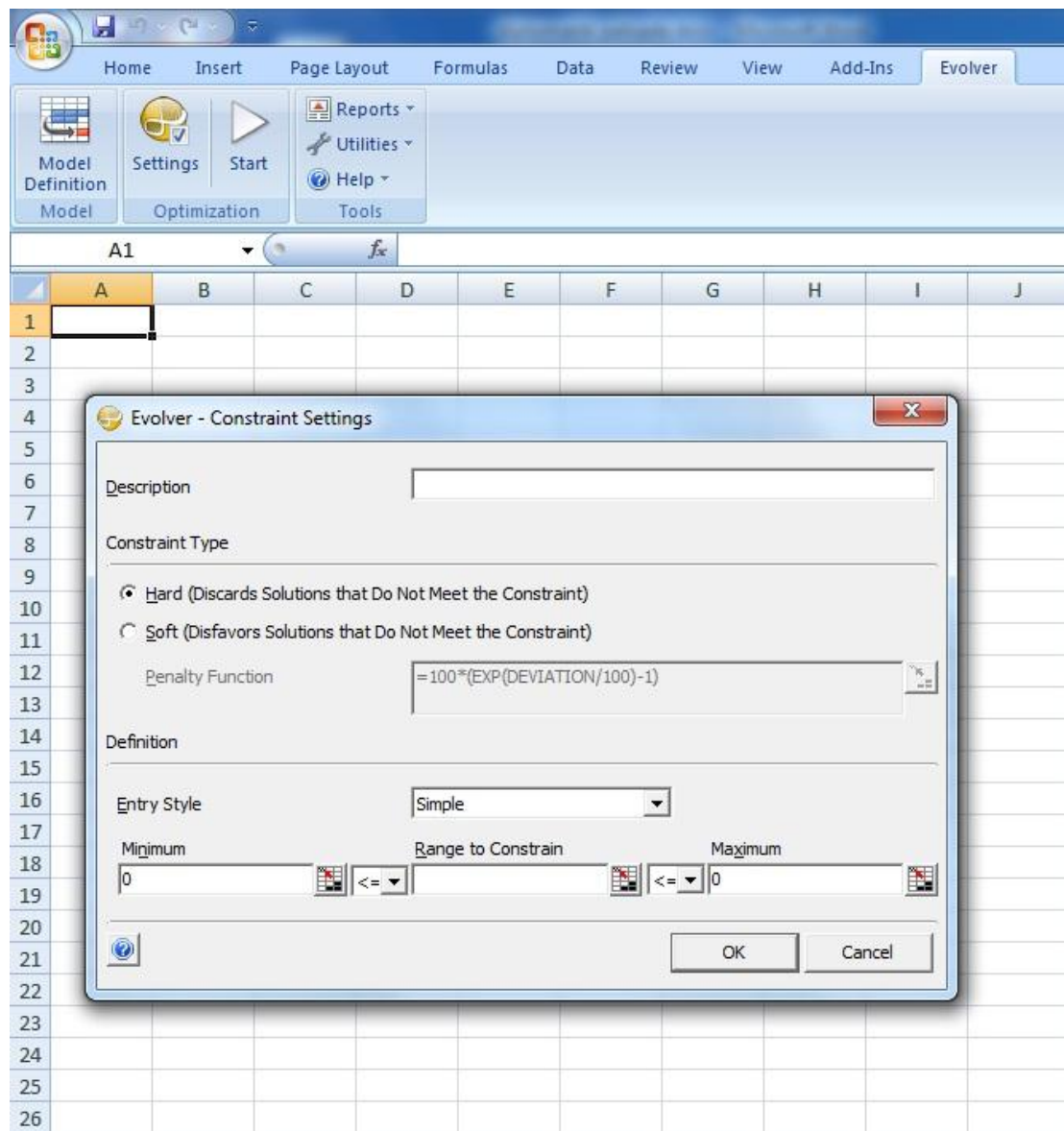
2. Order Solving Method: Η "order" είναι μία εναλλαγή των στοιχείων μίας λίστας έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος που έχει τεθεί. Κοινώς έχοντας το σύνολο {1,2,3,4,5}, η μέθοδος αυτή θα χρησιμοποιήσει διάφορους συνδυασμούς π.χ. {3,1,4,2,5}, {5,1,3,2,4} κλπ και θα επιλέξει εκείνο το σύνολο που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.
3. Grouping Solving Method: Η "grouping" χρησιμοποιείται κυρίως όταν το πρόβλημα απαιτεί την ομαδοποίηση πολλών μεταβλητών που περιέχουν συγκεκριμένες τιμές. Για παράδειγμα αν είχαμε 1000 κελιά και οι τιμές που μπορεί να έπαιρναν ήταν 1,2,3 τότε κάθε κελί με την κάθε μεταβλητή θα μπει σε μια ομάδα (1 ή 2 ή 3).
4. Budget Solving Method: Η "Budget" είναι σαν την 1^η με την μόνη διαφορά ότι όλες οι μεταβλητές πρέπει να αθροίζονται σε έναν αριθμό.
5. Project Solving Method: Η "Project" είναι σαν την 2^η με την μόνη διαφορά ότι κάποια αντικείμενα πρέπει να έρθουν πριν από άλλα, κοινώς η σειρά μετράει.
6. Schedule Solving Method: Η "Schedule" είναι σαν την 3^η με την διαφορά ότι είναι μία ανάθεση «έργων» όπου κάθε ένα από αυτά θεωρείται πως πέρνει τον ίδιο χρόνο, ρυθμίζοντας τα χρονικά όρια.

• **Crossover** (διασταύρωση): Το ποσοστό crossover μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ 0.01 και 1.0 και αντανακλά την πιθανότητα μελλοντικά σενάρια ή "οργανισμοί" να περιλαμβάνουν ένα μείγμα από πληροφορίες από την προηγούμενη γενιά των οργανισμών «γονέα». Με άλλα λόγια, ένα ποσοστό της τάξης του 0.5 σημαίνει ότι ένας «απόγονος» θα περιέχουν περίπου 50% των τιμών των μεταβλητών της από τον ένα «γονέα» και τις υπόλοιπες τιμές από τον άλλο «γονέα». Ένα ποσοστό της τάξης του 0,9 σημαίνει ότι περίπου το 90% των τιμών των απογόνων ενός οργανισμού θα προέλθει από τον πρώτο «γονέα» και 10% θα προέλθει από το δεύτερο γονέα. Ένα ποσοστό Crossover 1 σημαίνει ότι δεν θα συμβεί crossover, έτσι μόνο κλώνοι των γονιών θα πρέπει να αξιολογηθούν.

· **Mutation Rate** (Ρυθμός μετάλλαξης): Ο ρυθμός μετάλλαξης μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ 0,0 και 1,0, και αντανακλά την πιθανότητα ότι μελλοντικά σενάρια θα περιέχουν μερικές τυχαίες τιμές. Ένα υψηλότερο ποσοστό μεταλλάξεων με απλά λόγια σημαίνει ότι περισσότερες μεταλλάξεις ή τυχαία «γονίδια» θα πρέπει να εισαχθούν στον πληθυσμό. Επειδή η μετάλλαξη συμβαίνει μετά από διασταύρωση, τον καθορισμό του βαθμού μετάλλαξης στο 1 (100% τυχαίες τιμές) θα αποτρέψει τη διασταύρωση από το να έχουν κανένα αποτέλεσμα, και το Evolver θα δημιουργήσει εντελώς τυχαία σενάρια. Η μετάλλαξη έχει αποδειχθεί ότι είναι μια ισχυρή δύναμη στον βιολογικό κόσμο για πολλούς από τους ίδιους λόγους που είναι απαραίτητη σε ένα γενετικό αλγόριθμο: είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση ενός διαφορετικού πληθυσμού των μεμονωμένων οργανισμών, εμποδίζοντας έτσι τον πληθυσμό από το να γίνει πάρα πολύ άκαμπτο και συνεπώς να μην μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Για πολλούς λόγους, η ρύθμιση μετάλλαξης μπορεί να γίνεται αυτόματα με την επιλογή Auto από την αναπτυσσόμενη λίστα του πεδίου Mutation Rate . Για πολλά μοντέλα, ιδίως όταν η βέλτιστη συχνότητα μετάλλαξης δεν είναι γνωστή, η επιλογή Auto μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα, πιο γρήγορα.

➤ Εισαγωγή Περιορισμών

Στο κάτω μέρος της εικόνας 11 φαίνεται ένα πλαίσιο που τιτλοφορείται ως Constraints και περιλαμβάνει το σύνολο των αριθμητικών περιορισμών του μοντέλου. Πατώντας το ADD ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο:



Εικόνα 11. Εισαγωγή Περιορισμών

·**Constraint Type** (τύπος περιορισμών): Υπάρχουν δύο είδη περιορισμών

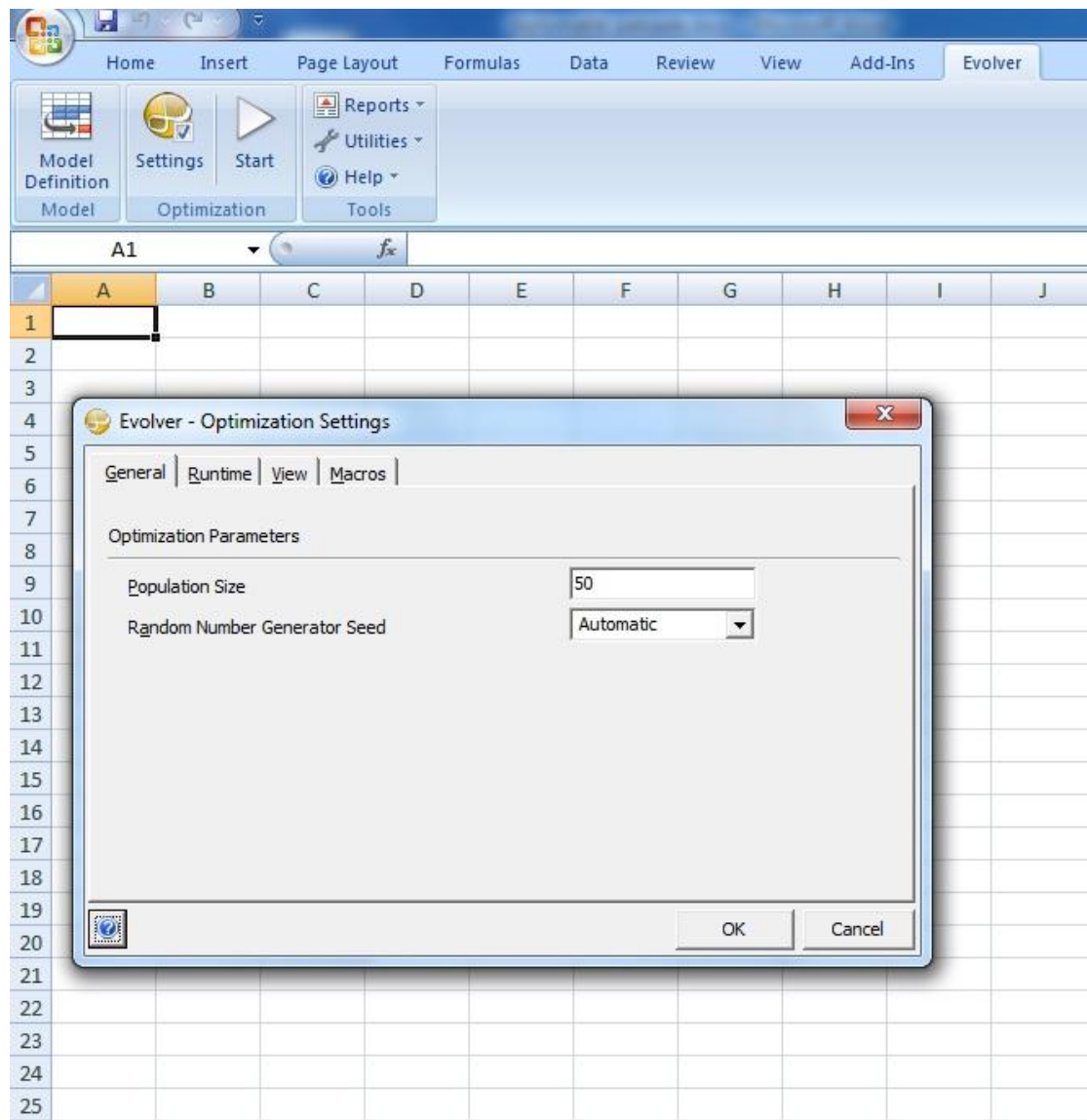
1. Hard (αυστηρές): πρέπει να καλύπτονται οπωσδήποτε οι περιορισμοί
2. Soft (χαλαρές): οι συνθήκες αυτές θα επιθυμούσαμε να καλύπτονται παρολαυτά αν για το γενικότερο καλό της βελτιστοποίησης συμφέρει να παρακαμφθούν τότε να προσπελαστούν. Επιπρόσθετα μπορούν να μπουν ποινές σε περίπτωση όπου δεν καλύπτεται ο περιορισμός και επιδρούν στο βελτιστοποιούμενο κελί (target cell).

·**Entry Style** (τρόπος εισαγωγής δεδομένων): Και εδώ υπάρχουν δύο τρόποι:

1. Simple Format: με αυτή την μορφή τοποθετούμε τις Ελάχιστες (Minimum) και Μέγιστες (Maximum) τιμές είτε με μορφή κελιών είτε με μορφή πραγματικών αριθμών χρησιμοποιώντας ανισοισότητες για να καθορίσουμε την σχέση τους, ενώ το πεδίο Range to Constrain καθορίζει το εύρος των κελιών που θέλουμε να περιορίσουμε.
2. Formula Format: με αυτή την μορφή γράφεται σε ελεύθερη μαθηματική μορφή ο περιορισμός π.χ. $A1 \leq 8 * A2 + 2.4$ (το κελί A1 πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο από το $8 * A2 + 2.4$)

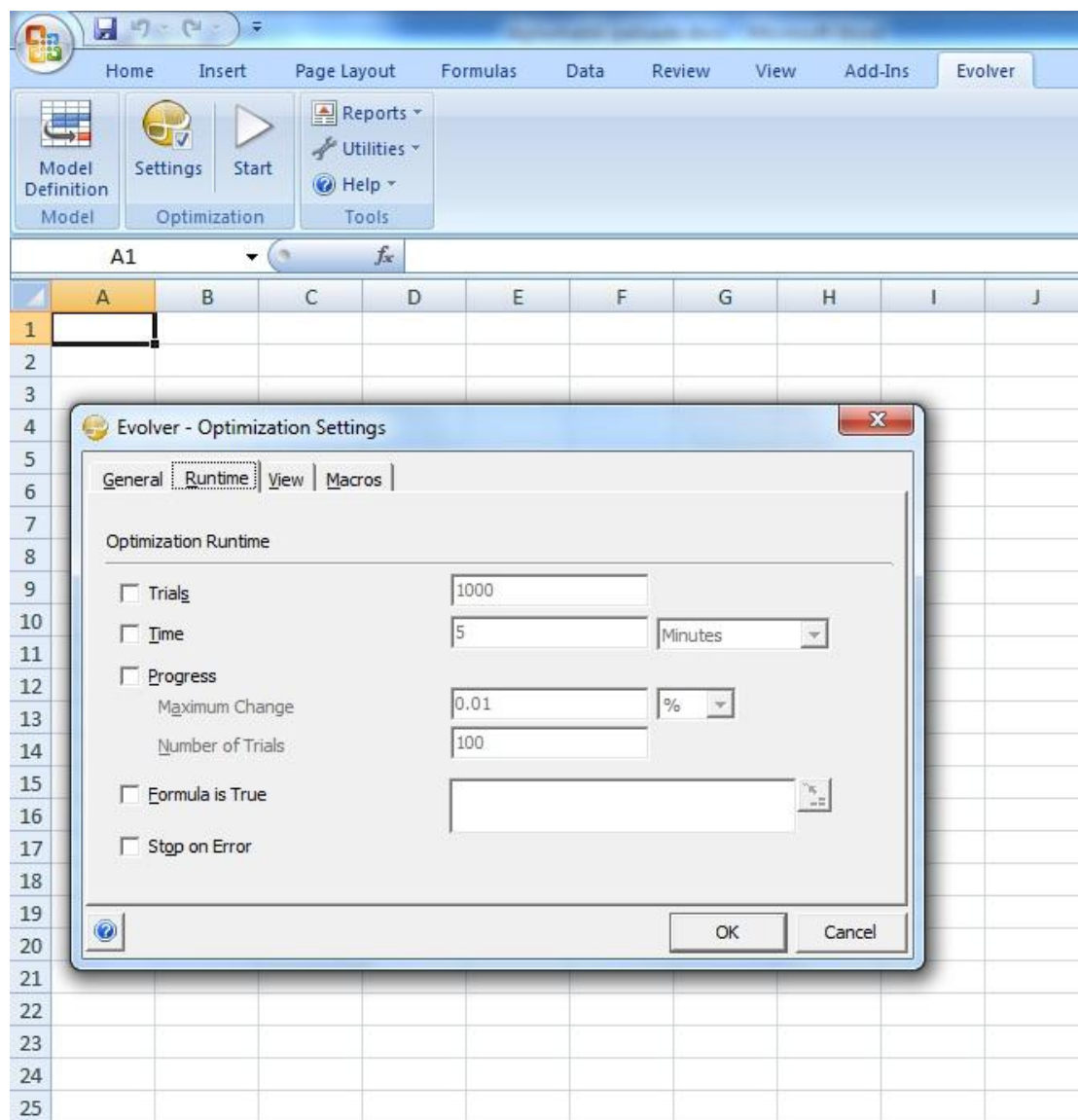
➤ Ρυθμίσεις Evolver

Από το κεντρικό παράθυρο του Evolver, επιλέγοντας την επιλογή Settings μεταβαίνουμε στις ρυθμίσεις του προγράμματος:



Εικόνα 12. Ρυθμίσεις παραγόντων βελτιστοποίησης του Evolver (Επιλογή πληθυσμού)

Στη παραπάνω καρτέλα μπορούμε να επιλέξουμε το μέγεθος του πληθυσμού από τον οποίο θέλουμε να ξεκινήσει η βελτιστοποίηση. Προεπιλεγμένος αριθμός είναι το 50 αλλά είναι στην διακριτική ευχέρεια του χρήστη να το διαμορφώσει.

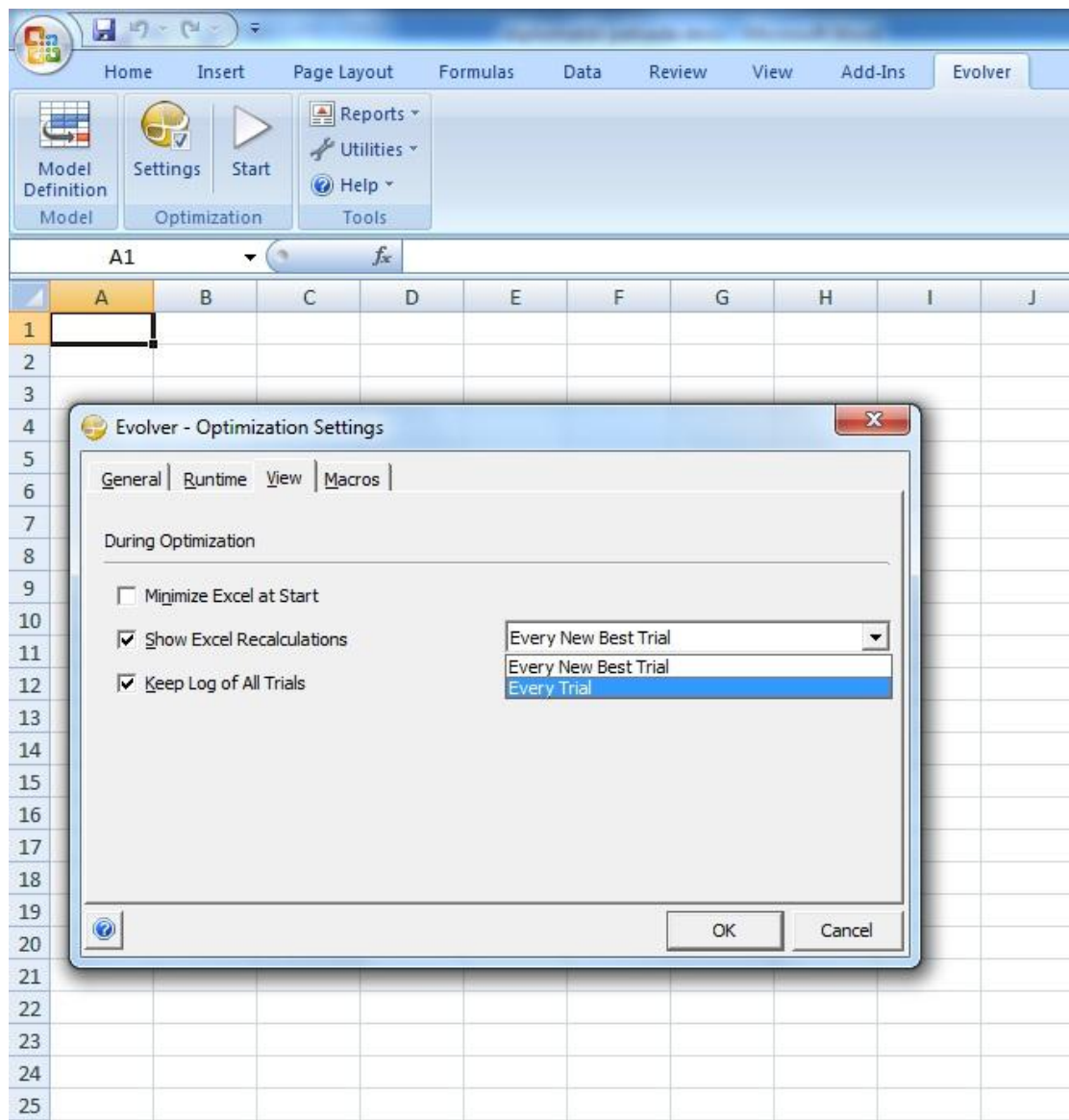


Εικόνα 13. Επιλογή χρόνου βελτιστοποίησης και αριθμού δοκιμών

Στην 2^η καρτέλα έχουμε την δυνατότητα να καθορίσουμε χρόνο της βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα η επιλογή ενός από τα κουτάκια καθορίζει το κριτήριο διακοπής της βελτιστοποίησης:

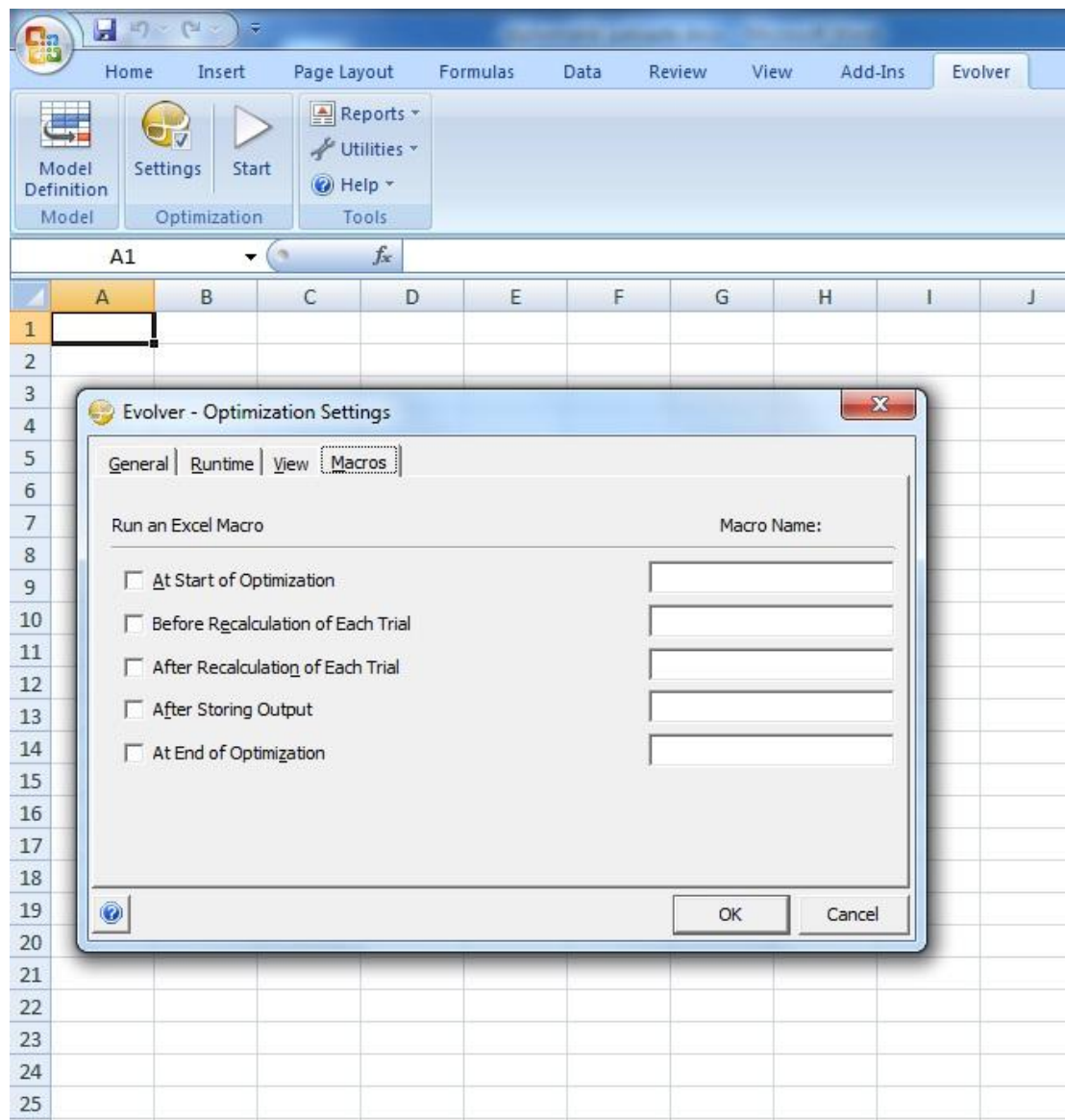
1. Trials: Μέγιστος αριθμός δοκιμών.
2. Time: Μέγιστος Χρόνος εκτέλεσης βελτιστοποίησης.
3. Progress: Μέγιστη ποσοστιαία μεταβολή σε αριθμό επαναλήψεων.
4. Formula is true: Διακοπή Βελτιστοποίησης όταν μία φόρμουλα είναι αληθής.

5. Stop on error: Διακοπή σε περίπτωση λάθους.



Εικόνα 14. Ρυθμίσεις ιδιοτήτων εμφανιζόμενων επαναυπολογισμών

Στην 3^η καρτέλα εμφανίζονται οι ρυθμίσεις ιδιοτήτων των εμφανιζόμενων επαναυπολογισμών και μπορούν είτε να ανανεώνονται τα κελιά με κάθε νέα βέλτιστη δοκιμή (every new best trial) είτε με κάθε δοκιμή (every trial).



Εικόνα 14. Ρυθμίσεις μακροεπιλογών

Στην 4^η καρτέλα διακρίνονται οι ρυθμίσεις των μακροεπιλογών.

Η εκκίνηση της βελτιστοποίησης γίνεται πατώντας το κουμπί Start στην κεντρική σελίδα του Evolver όπως φαίνεται και πιο κάτω στην εικόνα:

Salesman Problem.xls [Read-Only] [Comp...

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Add-Ins Evolver

Model Definition Optimization Tools

Model Settings Start Reports Utilities Help

C5

A B C D E F G H I J

Evolver Example : Salesman Problem
 Find the best way to visit all 20 cities with the least amount of traveling

Evolver uses the "Order" solving method to determine the optimal ordering of cities in cells A3:A22 (highlighted in blue) to minimize the total traveling distance in cell G2 (highlighted in red). A table of distances between each city (below) calls a VBA function named "RouteLength" to compute the overall length of the trip. The salesman must always return back to the first city to form a complete loop. While algorithms do exist to solve this problem for small numbers of cities (<50), Evolver can handle complications those algorithms can not handle. For example, the distances may be non-symmetric; one-way roads, tolls, or headwinds might make it easier (or cheaper) to go from A to B than from B to A.

1
2
3 14 San Francisco CA
4 5 Edmonton AB
5 4 Dawson Creek BC
6 3 Chicago IL
7 8 New York NY
8 13 Saint John NB
9 6 Halifax NS
10 7 Montreal PQ
11 16 Toronto ON
12 19 Windsor ON
13 11 Quebec PQ
14 9 Ottawa ON
15 20 Winnipeg MB
16 10 Prince Rupert BC
17 17 Vancouver BC
18 15 Thunder Bay ON
19 12 Regina SK
20 1 Anchorage AK
21 18 Whitehorse YT
22 2 Calgary AB
23

Total Route Length: 20818

Evolver Progress

Trial: 476 of 2500

Runtime: 00:00:07

Original: 40022

Best: 21918

Distances	Anchorage AK	Calgary AB	Chicago IL	Dawson Creek BC	Edmonton AB	Halifax NS	Montreal PQ	New York NY
1 Anchorage AK	0	2182	3690	1629	1999	5111	4300	449
2 Calgary AB	2182	0	1608	553	183	3175	2332	242
3 Chicago IL	3690	1608	0	2001	1691	1627	847	80
4 Dawson Creek BC	1629	553	2001	0	370	3482	2671	287
5 Edmonton AB	1999	183	1691	370	0	3112	2301	250
6 Halifax NS	5111	3175	1627	3482	3112	0	828	92
7 Montreal PQ	4300	2332	847	2671	2301	828	0	38
8 New York NY	449	2427	809	2870	2500	923	382	

Εικόνα 15. Εκκίνηση της βελτιστοποίησης

Στο παράθυρο φαίνεται η πρόοδος της βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα:

- Trial: Αναγράφει σε ποια δοκιμή βρίσκεται αυτή την στιγμή η βελτιστοποίηση
- Runtime: Ο χρόνος που έχει περάσει από την εκκίνηση της βελτιστοποίησης
- Original: Αναγράφει την αρχική τιμή του προς βελτιστοποίηση κελιού
- Best: Αναγράφει την βέλτιστη τιμή του προς βελτιστοποίηση κελιού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Η Εφαρμογή – Υλοποίηση του Μαθηματικού Μοντέλου και η Εξαγωγή των Αποτελεσμάτων της Βελτιστοποίησης

8.1 Η Εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων

Η όλη διαδικασία της βελτιστοποίησης έλαβε χώρα στο περιβάλλον του Microsoft Excel. Εκεί καταστρώσαμε το μοντέλο όπως έχει περιγραφεί προηγούμενα με αναλυτική/συμβολική μορφή. Εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας του Excel συγκεκριμένες διαδικασίες έπρεπε να ακολουθηθούν έτσι ώστε το μαθηματικό μοντέλο να μπορεί να εκφραστεί εκεί, οι οποίες και θα αναλυθούν στην συνέχεια.

Αρχικά συγκεντρώσαμε τα απαραίτητα στοιχεία τα οποία παραθέτονται με τη μορφή πινάκων στην συνέχεια. Αυτά αφορούν τις επιμέρους συνιστώσες της συνάρτησης κόστους και αποτελούνται από τις αποστάσεις μεταξύ προορισμών, το συνολικό μέσο φορτίο όπως επίσης και το μέσο φορτίο μεταφόρτωσης, τις χρεώσεις ανά CEU και τους ρυθμούς φορτώματος/ξεφορτώματος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των πλοίων (καταναλώσεις, χωρητικότητα, ταχύτητα κλπ.) που χρησιμοποιούνται στις διαδρομές βελτιστοποίησης παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1 – ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ**PCC**

Units [CEU]	4000	6000
LOA [m]	186	200
LBP [m]	181	192
Breadth Moulded [m]	28.2	32.3
Draught [m]	8.5	9.6
Depth [m]	29.4	35.8
GT	41,662	59,217
NT	12,498	17,766
DWT [t]	15	17,5
Engine Output [hp]	15,500	19,400
Service speed [kts]	19.4	19.8

Οι αποστάσεις μεταξύ των τερματικών σταθμών κάθε διαδρομής – δρομολογίου αποτελούν προφανώς καθοριστικό παράγοντα κατά τη βελτιστοποίηση και είναι υπολογισμένες ως ακολούθως:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2 – ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1

Πλοίο 1-Αποστάσεις		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοσταντζα
1	Πειραιάς	0	485.4	161.8	574	500	184.6	76.4	899.8
2	Μπορουσάν	436.4	0	321.6	110.6	36.6	635	466.4	485.4
3	Βαρκελώνη	325.8	110.6	0	400.2	74	696.4	534.2	574
4	Σαγκούντο	399.8	36.6	338.2	0	622.4	622.4	460.2	500
5	Σέτε	738	321.6	400.2	74	0	325.4	169.4	161.8
6	Καζαμπλάνκα	1022.2	635	325.4	696.4	335.2	0	165.6	184.6
7	Τζεν Τζεν	860	466.4	169.4	534.2	460.2	165.6	0	76.4
8	Κοσταντζα	4499	2182	3690	1629	1999	5111	4300	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3 – ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2

Πλοίο 2-Αποστάσεις		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενίκου	Λιβόρνο	Μαρσείγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
9	Πειραιάς	0	616.8	56.6	1725	704	2861	934	248	2886	3447	469	1364
10	Μπορουσάν	616.8	0	672	1393	3789	1896	2150	3018	942	941	2936	1721
11	Βαρκελώνη	56.6	672	0	1962	435	3122	1171	463	3123	3723	700	1597
12	Σαγκούντο	3447	941	3723	1756	4152	2434	2513	3381	1512	0	3299	2087
13	Σιβιταβέτσια	704	3789	435	2386	0	3571	1638	879	3590	4152	1116	2064
14	Γενίκου	2861	1896	3122	1686	3571	0	2223	2627	954	2434	2402	1951
15	Λιβόρνο	934	2150	1171	791	1638	2223	0	868	1952	2513	784	428
16	Μαρσείγ	248	3018	463	1659	879	2627	868	0	2820	3381	237	1296
17	Φος	2886	942	3123	1131	3590	954	1952	2820	0	1512	2480	1526

18	Ντερίνσε	1725	1393	1962	0	2386	1686	791	1659	1131	1756	1427	365
19	Βαλένθια	469	2936	700	1427	1116	2402	784	237	2480	3299	0	1212
20	Σαβόρνα	1364	1721	1597	365	2064	1951	428	1296	1526	2087	1212	0

Το συνολικό διαθέσιμο προς μεταφορά φορτίο από κάθε τερματικό σταθμό προς κάθε προορισμό για κάθε μία από τις δύο διαδρομές φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4 – ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

Πλοίο 1-Προσφορά Φορτίου		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοστάντζα
1	Πειραιάς	0	436.4	738	325.8	399.8	1022.2	860	899.8
2	Μπορουσάν	251	0	321.6	110.6	36.6	635	466.4	485.4
3	Βαρκελώνη	251	321.6	0	400.2	338.2	325.4	169.4	161.8
4	Σαγκούντο	511	110.6	400.2	0	74	696.4	534.2	574
5	Σέτε	245	36.6	338.2	74	0	622.4	460.2	500
6	Καζαμπλάνκα	0.2	635	325.4	696.4	622.4	0	165.6	184.6
7	Τζεν Τζεν	860	466.4	169.4	534.2	460.2	165.6	0	76.4
8	Κοστάντζα	899.8	485.4	161.8	574	500	184.6	76.4	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5 - ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

Πλοίο 2- Προσφορά Φορτίου		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσέιγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
9	Πειραιάς	0	616.8	56.6	1725	704	2861	934	248	2886	3447	469	1364
10	Μπορουσάν	616.8	0	672	1393	3789	1896	2150	3018	942	941	2936	1721
11	Βαρκελώνη	56.6	672	0	1962	435	3122	1171	463	3123	3723	700	1597
12	Σαγκούντο	3447	941	3723	1756	4152	2434	2513	3381	1512	0	3299	2087

13	Σιβιταβέτσια	704	3789	435	2386	0	3571	1638	879	3590	4152	1116	2064
14	Γενικού	2861	1896	3122	1686	3571	0	2223	2627	954	2434	2402	1951
15	Λιβόρνο	934	2150	1171	791	1638	2223	0	868	1952	2513	784	428
16	Μαρσείγ	248	3018	463	1659	879	2627	868	0	2820	3381	237	1296
17	Φος	2886	942	3123	1131	3590	954	1952	2820	0	1512	2480	1526
18	Ντερίνσε	1725	1393	1962	0	2386	1686	791	1659	1131	1756	1427	365
19	Βαλένθια	469	2936	700	1427	1116	2402	784	237	2480	3299	0	1212
20	Σαβόρνα	1364	1721	1597	365	2064	1951	428	1296	1526	2087	1212	0

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαθέσιμα φορτία μεταφόρτωσης για κάθε πλοίο, δηλαδή τα φορτία των οποίων ο προορισμός δεν εξυπηρετείται από το πλοίο από το οποίο παραλήφθηκαν (αλλά προφανώς από το άλλο).

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6 – ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1

Πλοίο 1-Προσφορά Φορτίου Μεταφόρτωσης	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσείγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
0	Πειραιάς	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Μπορουσάν	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Βαρκελώνη	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Σαγκούντο	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0
4	Σέτε	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Καζαμπλάνκα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Τζεν Τζεν	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Κοστάντζα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7 – ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2

Πλοίο 2-Προσφορά Φορτίου Μεταφόρτωσης		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοσταντζα
9	Πειραιάς	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Μπορουσάν	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Βαρκελώνη	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Σαγκούντο	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Σιβιταβέτσια	0	0	0	0	182.2	804.6	642.4	682.2
14	Γενικού	0	0	0	0	2878	259	576	661
15	Λιβόρνο	0	0	0	0	1538	3853	2959	2930
16	Μαρσέιγ	0	0	0	0	1239	1890	1067	1329
17	Φος	0	0	0	0	2107	1199	344	516
18	Ντερίνσε	0	0	0	0	434.6	190.2	25.4	86
19	Βαλένθια	0	0	0	0	2025	1436	540	652
20	Σαβόρνα	0	0	0	0	813	2316	1488	1660

Αντίστοιχα για τις διαδρομές επιστροφής του κάθε πλοίου (διαδρομή 2) υπάρχουν τα ακόλουθα διαθέσιμα φορτία:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8 - ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

Πλοίο 1-Προσφορά Φορτίου		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοσταντζα
1	Πειραιάς	0	434.9722728	672.11664	325.797985	320.072396	989.8106042	813.18774	899.568526
2	Μπορουσάν	250.9371	0	321.498456	110.566881	36.59239745	634.9910527	451.16468	485.338039
3	Βαρκελώνη	250.9528	293.1305435	0	400.194446	318.5918504	325.2684393	169.37948	150.580588
4	Σαγκούντο	510.8896	108.3395273	400.143744	0	73.99438259	696.3885376	480.8808	573.868436
5	Σέτε	233.9756	24.31787766	338.162584	73.9902102	0	613.5467421	429.80449	496.059217
6	Καζαμπλάνκα	0.083812	634.9648713	325.397367	677.802635	622.2571092	0	165.5355	184.21045
7	Τζεν Τζεν	668.921	65.72637232	169.387469	530.813058	411.3961816	164.9818781	0	73.7457053
8	Κοσταντζα	899.743	485.0763717	151.680647	569.27525	499.9272791	184.5971816	76.382424	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9 - ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

Πλοίο 2- Προσφορά Φορτίου	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσείγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
9 Πειραιάς	0	0	0	0	469.9342216	2859.040149	924.85618	247.999204	2881	3102.605	457.57746	1356.63
10 Μπορουσάν	0	0	0	0	3754.990253	1368.548389	1965.7082	2869.93446	932	938.0889	2862.7789	1701.19
11 Βαρκελώνη	0	0	0	0	434.8630833	2519.910483	881.43612	381.39019	3123	3722.506	699.9995	1594.306
12 Σαγκούντο	0	0	0	0	4123.213126	2423.283246	2447.049	3184.18608	1375	0	3283.2225	1911.021
13 Σιβιταβέτσια	703.996	3788.70886	399.869501	2366.78412	0	3570.281321	1581.7116	54.9855262	3579	4114.662	1075.8457	2063.775
14 Γενικού	2535.096	1880.124452	3013.91866	1673.21465	3565.886698	0	2220.8675	2585.05784	954	2432.468	2393.2719	1931.41
15 Λιβόρνο	871.7484	2142.747135	1147.18565	790.842014	1626.201477	2222.892566	0	831.106092	1938	2511.719	783.92963	427.9966
16 Μαρσείγ	247.9515	3017.999824	460.737914	1485.09213	878.7473201	2602.043311	867.25321	0	2818	3044.626	236.98602	1289.905
17 Φος	2748.844	941.9660542	3043.05926	1130.95263	3527.759936	852.5661506	1079.065	2567.83682	0	1511.779	2479.3518	1525.909
18 Ντερίνσε	1718.484	1392.500564	1159.77974	0	2321.922913	1541.995285	782.93995	1577.46281	933	1756	1426.7435	363.4481
19 Βαλένθια	429.7347	2899.770142	647.516594	1426.96708	1110.646299	2401.782113	550.27281	236.638122	2388	1287.48	0	1210.219
20 Σαβόρνα	1363.911	1702.234789	1552.32393	361.060288	1584.723093	1769.354089	422.86246	1295.90569	1315	1976.113	1211.9067	0

Οι χρεώσεις ανά CEU για κάθε ζεύγος τερματικών σταθμών κάθε διαδρομής εισάγονται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.10 – ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

Πλοίο 1-Χρέωση ανά CEU	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοστάντζα
1 Πειραιάς	0	44	122	84	65	87	78	84
2 Μπορουσάν	43	0	22	55	21	87	21	88
3 Βαρκελώνη	73	89	0	32	22	55	55	54
4 Σαγκούντο	32.5	98	36	0	22	54	86	21
5 Σέτε	40	56	58	11	0	32	87	84
6 Καζαμπλάνκα	102	21	96	77	78	0	48	58
7 Τζεν Τζεν	86	84	48	88	21	78	0	25
8 Κοστάντζα	90	55	21	84	23	89	65	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.11 – ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

Πλοίο 2-Χρέωση ανά CEU		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσείγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
9	Πειραιάς	0	87	56.6	1725	704	2861	934	248	2886	3447	469	1364
10	Μπορουσάν	77	0	67.2	1393	3789	1896	2150	3018	942	941	2936	1721
11	Βαρκελώνη	14	32	0	1962	435	3122	1171	463	3123	3723	700	1597
12	Σαγκούντο	1725	1393	1962	0	2386	1686	791	1659	1131	1756	1427	365
13	Σιβιταβέτσια	704	3789	435	2386	0	3571	1638	879	3590	4152	1116	2064
14	Γενικού	2861	1896	3122	1686	3571	0	2223	2627	954	2434	2402	1951
15	Λιβόρνο	934	2150	1171	791	1638	2223	0	868	1952	2513	784	428
16	Μαρσείγ	248	3018	463	1659	879	2627	868	0	2820	3381	237	1296
17	Φος	2886	942	3123	1131	3590	954	1952	2820	0	1512	2480	1526
18	Ντερίνσε	3447	941	3723	1756	4152	2434	2513	3381	1512	0	3299	2087
19	Βαλένθια	469	2936	700	1427	1116	2402	784	237	2480	3299	0	1212
20	Σαβόρνα	1364	1721	1597	365	2064	1951	428	1296	1526	2087	1212	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.12 – ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 1

Πλοίο 1-Χρέωση ανά CEU		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοστάντζα
1	Πειραιάς	0	44	122	84	65	87	78	84
2	Μπορουσάν	43	0	22	55	21	87	21	88
3	Βαρκελώνη	73	89	0	32	22	55	55	54
4	Σαγκούντο	32.5	98	36	0	22	54	86	21
5	Σέτε	40	56	58	11	0	32	87	84
6	Καζαμπλάνκα	102	21	96	77	78	0	48	58
7	Τζεν Τζεν	86	84	48	88	21	78	0	25
8	Κοστάντζα	90	55	21	84	23	89	65	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.13 – ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΑΝΑ CEU ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 2

Πλοίο 2-Χρέωση ανά CEU	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσείγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
9 Πειραιάς	0	87	56.6	1725	704	2861	934	248	2886	3447	469	1364
10 Μπορουσάν	77	0	67.2	1393	3789	1896	2150	3018	942	941	2936	1721
11 Βαρκελώνη	14	32	0	1962	435	3122	1171	463	3123	3723	700	1597
12 Σαγκούντο	1725	1393	1962	0	2386	1686	791	1659	1131	1756	1427	365
13 Σιβιταβέτσια	704	3789	435	2386	0	3571	1638	879	3590	4152	1116	2064
14 Γενικού	2861	1896	3122	1686	3571	0	2223	2627	954	2434	2402	1951
15 Λιβόρνο	934	2150	1171	791	1638	2223	0	868	1952	2513	784	428
16 Μαρσείγ	248	3018	463	1659	879	2627	868	0	2820	3381	237	1296
17 Φος	2886	942	3123	1131	3590	954	1952	2820	0	1512	2480	1526
18 Ντερίνσε	3447	941	3723	1756	4152	2434	2513	3381	1512	0	3299	2087
19 Βαλένθια	469	2936	700	1427	1116	2402	784	237	2480	3299	0	1212
20 Σαβόρνα	1364	1721	1597	365	2064	1951	428	1296	1526	2087	1212	0

Τέλος, προσδιορίζονται τόσο οι ρυθμοί φορτοεκφόρτωσης (CEU/h) όσο και τα αντίστοιχα κόστη (\$/CEU) σε κάθε τερματικό σταθμό καθώς επηρεάζουν σε σεβαστό βαθμό τη διαδικασία της βελτιστοποίησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.14 – ΡΥΘΜΟΙ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΦΟΡΤΟΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΣΕ ΚΑΘΕ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

Τερματικός σταθμός	Φόρτωση [CEU/h]	Εκφόρτωση [CEU/h]	Φόρτωση [\$/CEU]	Εκφόρτωση [\$/CEU]
Πειραιάς	24	28	24	28
Μπορουσάν	25	27.5	25	27.5
Βαρκελώνη	24	26.4	24	26.4
Σαγκούντο	12	13.2	12	13.2
Σέτε	52	57.2	52	57.2
Καζαμπλάνκα	45	49.5	45	49.5
Τζεν Τζεν	21	23.1	21	23.1
Κοσταντζα	126	138.6	126	138.6
Σιβιταβέτσια	21	23.1	21	23.1
Γενικού	32	35.2	32	35.2
Λιβόρνο	12	13.2	12	13.2
Μαρσέιγ	21	23.1	21	23.1
Φος	12	13.2	12	13.2
Ντερίνσε	43	47.3	43	47.3
Βαλένθια	22	24.2	22	24.2
Σαβόρνα	55	60.5	55	60.5

8.2 Επεξεργασία των δεδομένων από το Evolver

Το Microsoft Excel είναι ένα πού δυνατό λογισμικό όσον αφορά την υπολογιστική του ικανότητα αλλά και την δόμηση των στοιχείων που το παρουσιάζει. Για την επίτευξη του τελικού στόχου της βελτιστοποίησης χρησιμοποιήθηκαν πολλές συναρτήσεις του Excel έτσι ώστε να μπορέσει να εκφραστεί με επάρκεια η πολυπλοκότητα του μοντέλου. Αρχικά, χρησιμοποιήσαμε την SUM(), μία συνάρτηση η οποία αθροίζει τα στοιχεία του ορίσματος της. Έπειτα, πολύ συχνά χρησιμοποιήσαμε συναρτήσεις εύρεσης στοιχείων όπως η INDEX() και η VLOOKUP(). Η 1^η έχει την δυνατότητα βάσει

του ορίσματος της να βρίσκει μία τιμή σε κάποια θέση ενός πίνακα και να την επιστρέφει στο κελί. Παρόμοια και η 2^η αυτό που καταφέρνει είναι να βρίσκει την τιμή που της έχουμε ορίσει στο όρισμα σε μία στήλη και να επιστρέφει την τιμή μίας άλλης στήλης, ορισμένη και αυτή στο όρισμά της, αλλά της ίδιας σειράς. Τέλος, χρησιμοποιήσαμε την MIN(), η οποία βρίσκει την ελάχιστη τιμή μέσα σε ένα σύνολο τιμών και την TRUNC() η οποία επιστρέφει τον μικρότερο ή ίσο ακέραιο του ορίσματος της.

Πολλά από τα κελιά του Excel τα διαμόρφωσε το Evolver , αλλάζοντας τις τιμές ανάλογα με την πρόοδο της βελτιστοποίησης. Ειδικότερα χρησιμοποίησε δύο μεθόδους αλλαγής των στοιχείων των κελιών, την μέθοδο RECIPE και την μέθοδο ORDER. Η 1^η χρησίμευσε σε πρώτο επίπεδο στην διαμόρφωση των ποσοστών του φορτίου που θα παραλαμβάνει το κάθε πλοίο. Ακριβώς επειδή τα φορτία είναι ακέραιες μονάδες και τα ποσοστά του συνολικού φορτίου είναι τιμές που κινούνται μεταξύ του 0 και του 1, χρησιμοποιήσαμε την συνάρτηση του excel trunc() για να μπορούμε να παραλάβουμε τον ακέραιο που είναι μικρότερος ή ίσος με το φορτίο. Στην συνέχεια φαίνονται τα ποσοστά όπως αυτά διαμορφώθηκαν από το Evolver.

Τα ποσοστά των διαθέσιμων φορτίων που μεταφέρει το κάθε πλοίο από το κάθε λιμάνι για κάθε μία από τις δύο διαδρομές φαίνεται προκύπτει ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.15 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

Πλοίο 1-Ποσοστά φορτίου	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοστάντζα
1 Πειραιάς	0	0.003271602	0.08927285	6.1851E-06	0.199418719	0.031685967	0.0544329	0.00025725
2 Μπορουσάν	0.000251	0	0.00031574	0.00029945	0.00020772	1.40903E-05	0.0326658	0.00012765
3 Βαρκελώνη	0.000188	0.088524429	0	1.3877E-05	0.05797797	0.000404305	0.0001211	0.06934123
4 Σαγκούντο	0.000216	0.02043827	0.00014057	0	7.59109E-05	1.64595E-05	0.0998113	0.0002292
5 Σέτε	0.044997	0.335577113	0.00011063	0.00013229	0	0.014224386	0.0660485	0.00788157
6 Καζαμπλάνκα	0.580942	5.53207E-05	8.0928E-06	0.026705	0.00022958	0	0.0003895	0.00211024
7 Τζεν Τζεν	0.222185	0.859077246	7.3973E-05	0.00634021	0.106049149	0.00373262	0	0.03474208
8 Κοστάντζα	6.33E-05	0.000666725	0.06254235	0.00823127	0.000145442	1.52676E-05	0.0002301	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.16 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

Πλοίο 2-Αποστάσεις	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσείγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
9 Πειραιάς	0	4.56098E-06	0.0005253	0.46067717	0.332479799	0.000685023	0.00979	3.2077E-06	0	0.099911	0.0243551	0.005403
10 Μπορουσάν	0.000402	0	2.4741E-05	0.0005646	0.008975916	0.278191778	0.0857171	0.04906081	0.01	0.003094	0.0249391	0.011511
11 Βαρκελώνη	0.000925	2.34048E-06	0	0.00462017	0.000314751	0.192853785	0.2472791	0.17626309	0	0.000133	7.211E-07	0.001687
12 Σαγκούντο	1.99E-06	0.695572294	7.161E-05	0	0.006933255	0.004402939	0.0262439	0.05821175	0.09	0.000149	0.0047825	0.084322
13 Σιβιταβέτσια	5.63E-06	7.68383E-05	0.08075977	0.0080536	0	0.000201254	0.0343641	0.93744536	0	0.008993	0.0359806	0.000109
14 Γενικού	0.113913	0.008373179	0.03461926	0.00758325	0.001431896	0	0.0009593	0.0159658	0	0.000629	0.0036337	0.010041
15 Λιβόρνο	0.06665	0.003373426	0.02033676	0.00019973	0.007203006	4.83284E-05	0	0.0425045	0.01	0.00051	8.975E-05	8.04E-06
16 Μαρσείγ	0.000196	5.827E-08	0.00488572	0.10482692	0.000287463	0.009500072	0.0008604	0	0	0.099489	5.9E-05	0.004703
17 Φος	0.047525	3.60359E-05	0.02559742	4.1885E-05	0.017337065	0.10632479	0.4472003	0.08941957	0	0.000146	0.0002614	5.97E-05
18 Ντερίνσε	0.003777	0.000358533	0.40887883	3.4343E-05	0.026855443	0.085412049	0.0101897	0.0491484	0.18	0	0.0001798	0.004252
19 Βαλένθια	0.083721	0.01233987	0.07497629	2.3066E-05	0.004797223	9.07105E-05	0.2981214	0.00152691	0.04	0.609736	0	0.00147

20	Σαβόρνα	6.53E-05	0.010903667	0.02797499	0.01079373	0.232207804	0.093104004	0.0120036	7.2771E-05	0.14	0.053132	7.695E-05	0
----	---------	----------	-------------	------------	------------	-------------	-------------	-----------	------------	------	----------	-----------	---

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.17 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2

Πλοίο 1-Ποσοστά φορτίου	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοσταντζα
1 Πειραιάς	0	0.641693913	0.8834062	0.00506958	0.006923533	0.010345322	2.65E-05	0.00023944
2 Μπορουσάν	0.000192	0	9.4355E-05	0.01041282	0.000117879	1.13058E-05	0.1276667	0.00031498
3 Βαρκελώνη	0.011309	0.04920785	0	0.01035267	0.020025519	1.79804E-07	6.03E-05	0.00436727
4 Σαγκούντο	0.04457	0.367679284	8.7042E-05	0	0.418693666	1.23458E-05	3.808E-07	0.02731019
5 Σέτε	0.0053	3.87121E-06	0.00801878	0.09607442	0	0.010218894	0.3995013	0.16488893
6 Καζαμπλάνκα	0.500246	0.000241515	0.13549978	9.797E-05	0.020902381	0	0.4848471	2.655E-05
7 Τζεν Τζεν	0.000192	3.88436E-06	1.4753E-05	0.00013262	0.00019962	0.000290153	0	0.46720283
8 Κοσταντζα	2.3E-05	0.019807339	0.00073903	0.02792701	0.010830923	0.002078213	0.4981731	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.18 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2

Πλοίο 2-Ποσοστά Φορτίου	Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσέιγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
9 Πειραιάς	0	0.000139501	0.05662529	0.01448435	0.000858785	0.000228681	0.0003335	0.00171139	0	0.000227	0.0002519	0.000211
10 Μπορουσάν	0.019948	0	0.07437671	0.00010658	0.000155559	0.001527729	0.0002925	0.00291493	0	1.35E-05	0.0003778	0.110728
11 Βαρκελώνη	0.007529	0.076233495	0	0.37084363	0.002132228	0.027721237	0.0006015	8.7222E-06	0	0.000386	0.0012369	0.029173
12 Σαγκούντο	0.029787	0.005564997	0.00288637	0	9.75005E-05	0.000321176	0.0001477	0.00030735	0	0.000314	6.454E-05	0.026066
13 Σιβιταβέτσια	1.43E-06	0.006247496	0.00044313	0.08542895	0	0.000413669	0.4251206	0.00062518	0	0.001895	3.23E-05	1.28E-08
14 Γενικού	3.35E-05	0.047330604	0.00031787	0.00040887	0.00568106	0	0.0049787	4.9867E-06	0	6.13E-05	0.2586349	0.001832
15 Λιβόρνο	0.000198	0.03163676	0.07879395	0.0023776	1.84205E-05	0.004801901	0	0.00599795	0.02	0.042207	0.0126839	0.000217
16 Μαρσέιγ	6.19E-05	0.141906008	0.9920033	0.00028922	4.99622E-05	0.000994243	0.0837728	0	0	0.007419	0.0020294	6.93E-05
17 Φος	0.00023	1.66365E-06	0.00159923	0.00044674	0.000403712	0.009973896	0.0002021	2.438E-06	0	0.080188	1.107E-06	5.35E-05
18 Ντερίνσε	0.000284	0.003771531	7.0038E-05	0.02010648	0.082660964	0.34113094	0.0003855	0.00758813	0.58	0	1.41E-06	0.000178

19	Βαλένθια	2.61E-06	5.0719E-05	0.14683163	0.09968534	0.000268624	0.004758408	2.785E-05	0.01126573	0.01	0.015137	0	2.86E-05
20	Σαβόρνα	0.008122	0.328212089	0.00044471	0.00235152	0.000374994	0.09888437	0.0755035	0.00489218	0.04	0.00769	0.0011625	0

Αντίστοιχα για τα φορτία μεταφόρτωσης προκύπτει:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.19 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 1 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

Πλοίο 1-Ποσοστά φορτίου		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σιβιταβέτσια	Γενικού	Λιβόρνο	Μαρσέιγ	Φος	Ντερίνσε	Βαλένθια	Σαβόρνα
1	Πειραιάς	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Μπορουσάν	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Βαρκελώνη	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Σαγκούντο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Σέτε	0	0	0	0	0.019087815	0.000304587	0.0003359	0.07466074	0.02	0.345228	0.000241	0.015764
6	Καζαμπλάνκα	0	0	0	0	8.91519E-05	0.000166869	0.0012003	0.02332155	0.01	0.001313	0.0342148	0.169046
7	Τζεν Τζεν	0	0	0	0	0.005164062	0.00734567	0.00575	0.0084652	0	0.064742	0.1508778	0.310747
8	Κοστάντζα	0	0	0	0	0.000985778	0.005795109	0.9995065	0.00012709	0.06	0.000248	6.156E-05	0.00227

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.20 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΟΙΟ 2 ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1

Πλοίο 2-Ποσοστά Φορτίου		Πειραιάς	Μπορουσάν	Βαρκελώνη	Σαγκούντο	Σέτε	Καζαμπλάνκα	Τζεν Τζεν	Κοστάντζα
9	Πειραιάς	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Μπορουσάν	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Βαρκελώνη	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Σαγκούντο	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Σιβιταβέτσια	0	0	0	0	0.003855227	0.069712214	0.0759038	0.0006724
14	Γενικού	0	0	0	0	4.13138E-06	0.252501239	4.683E-06	0.07322998
15	Λιβόρνο	0	0	0	0	0.371446295	0.081858086	6.089E-06	0.0005319

16	Μαρσέιγ	0	0	0	0	0.006139279	0.443761877	0.1767666	0.0029312
17	Φος	0	0	0	0	0.264105924	0.074946735	8.974E-05	0.08990075
18	Ντερίνσε	0	0	0	0	0.009440503	0.000277051	0.0257301	0.01790314
19	Βαλένθια	0	0	0	0	0.004739548	0.002195987	0.0474159	0.00146626
20	Σαβόρνα	0	0	0	0	0.001944391	0.019310036	0.0002266	9.8029E-05

Είναι εμφανές πως τα ποσοστά των φορτίων λειτουργούν με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια επιβεβαιώνοντας την αξιοπιστία του Excel. Ακόμη, τα διαγώνια στοιχεία της διαδρομής 1 & 2 είναι μηδέν (0), πράγμα φυσιολογικό καθώς δεν νοείται μεταφορά φορτίου από έναν προορισμό προς τον ίδιο προορισμό. Επίσης, στα ποσοστά των φορτίων μεταφόρτωσης παρατηρούμε πως για το πλοίο 1 ορίζεται ένας πίνακας 4x7 μη μηδενικών στοιχείων ενώ για το πλοίο 2 ένας πίνακας 8x4 μη μηδενικών στοιχείων. Τούτο δικαιολογείται από το γεγονός πως προς τους προορισμούς που ορίζουν τα μηδενικά στοιχεία δεν υπάρχει φορτίο μεταφόρτωσης γιατί θα το μετέφεραν είτε το πλοίο 1 είτε το πλοίο 2 στο κανονικό δρομολόγιο τους.

Στην συνέχεια, την μέθοδο αυτή χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε πριν ή μετά από πόσες ώρες πρέπει να ξεκινήσει το πλοίο 2 το δρομολόγιο του έτσι να έχουμε βέλτιστη λύση. Σε αυτό επιδρά ο χρόνος που θα είναι το φορτίο μεταφόρτωσης στο λιμάνι ορίζοντας έτσι ένα επιπλέον κόστος. Οι τιμές των ωρών είναι ακέραιες ξεκινώντας έτσι είτε πριν είτε μετά το 1^ο πλοίο.

Η 2^η μέθοδος χρησιμεύει στην αλλαγή της σειράς των λιμανιών βρίσκοντας έτσι μία βέλτιστη σειρά προορισμών που να βελτιστοποιεί το αντικειμενικό κελί. Συνδυαστικά, το πρόγραμμα καταφέρνει να βρει το βέλτιστο αποτέλεσμα εναλλάσσοντας τα λιμάνια των δύο διαδρομών και των δύο πλοίων και ταυτόχρονα διαφοροποιώντας το ποσοστό των φορτίων που λαμβάνει από κάθε προορισμό.

Στην ακόλουθη εικόνα περιγράφεται μία άποψη του μοντέλου όπως έχει αναπτυχθεί στο τελικό του στάδιο. Δυστυχώς λόγω της πολυπλοκότητας του μοντέλου το μήκος των κελιών που αντιπροσωπεύουν το κάθε πλοίο ξεπερνούν κατά πολύ τα όρια της σελίδας και για αυτό το λόγο θα παρατεθεί κατά τμήματα.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1														
2			Date											
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														

	ALLER												
	Cargo on board	Vessel 1	Total Trip hours	From-To Time (h)	Unloading time	unloaded cargo	Loaded cargo	Loading Time	Extra time @ port (hours)	Total Hours @ Port	D.O cons. @ sea (tn)	D.O Cost @ Sea (\$)	
4	55	3 Sagunto				0	55	4.166666667		4.166666667			
17	278	0 Piraeus	29.61481481	29.615	0	0	223	7.964285714		7.964285714	29.61481481	\$740.37	
18	271	2 Barcelona	41.6	11.985	2.708333333	65	58	2.196969697		4.90530303	11.98518519	\$299.63	
19	237	4 Sete	47.08148148	5.481	1.884615385	98	64	1.118881119		3.003496503	5.481481481	\$137.04	
20	209	1 Borusan	70.9037037	23.822	1.72	43	15	0.545454545		2.265454545	23.82222222	\$595.56	
21	709	6 Djen djen	105.4518519	34.548	6.857142857	144	644	27.87878788		34.73593074	34.54814815	\$863.70	
22	687	5 Casablanca	117.7185185	12.267	0.888888889	40	18	0.363636364		1.252525253	12.26666667	\$306.67	
23	685	7 Constantza	131.3925926	13.674	0.126984127	16	14	0.101010101		0.227994228	13.67407407	\$341.85	
24													
25													
26													
27													
28			D.O cons rate @ sea (tn/h) :	1							Sum	\$3 284.81	
29			D.O cons rate @ port (tn/h) :	2									
30			D.O price (\$/tn) :	25									
31			H.F.O cons. (tn/h)	100									
32			Vessel Speed (kn)	13.5									
33			Vessel's Cargo Limit	4000									

Εικόνα 26. Άποψη α του μοντέλου βελτιστοποίησης

Ακολουθεί η ανάλυση του περιεχομένου των κελιών του μοντέλου όπως αυτό διαφαίνεται στις προηγούμενες δύο φωτογραφίες.

Στα κελιά B16 έως B23, βρίσκεται η αρίθμηση όπως διαμορφώνεται από την μέθοδο ORDER του Evolver. Επειδή οι παραπάνω φωτογραφίες αντιπροσωπεύουν την διαδρομή 1 του 1^{ου} πλοίου η αρίθμηση λαμβάνει τιμές από 1 έως και 8, όσα είναι ακριβώς και τα λιμάνια των προορισμών του. Αυτές οι τιμές ανακατεύονται μεταξύ τους διαφοροποιώντας έτσι την σειρά των λιμανιών και κατ' επέκταση τις αποστάσεις τους και το κόστος λειτουργίας τους. Το ίδιο συμβαίνει και για την επιστροφή του πλοίου 1 καθώς και για τις διαδρομές του πλοίου 2 με την μόνη διαφορά πως η αρίθμηση κινείται μεταξύ των αριθμών 1 έως και 12. Αυτοί οι αριθμοί με την σειρά τους αντιπροσωπεύουν τις αποστάσεις μεταξύ των προορισμών τοποθετημένοι στην σειρά όπως φαίνεται και στην εικόνα 18. Κάθε φορά που αλλάζει ένα νούμερο στην λίστα δημιουργείται και μία διαφορετική διάταξη λιμανιών τα ονόματα των οποίων εμφανίζονται στην στήλη E με την χρήση της συνάρτησης INDEX(). Στην επόμενη στήλη «**Cargo on Board**» περιγράφεται κάθε φορά το φορτίο που έχει το πλοίο φεύγοντας από προορισμό που περιγράφεται δίπλα. Πέρα από το 1^ο κελί όπου φορτώνεται φορτίο, κάθε επόμενο κελί στην στήλη προκύπτει ως το προηγούμενο κελί αυξανόμενο κατά το φορτίο που φορτώθηκε και μειωμένο κατά το φορτίο που ξεφορτώθηκε στον προορισμό αυτό. Αυτό το κελί καθιστά έναν από τους περιορισμούς μας καθώς ανά πάσα στιγμή οφείλει να είναι μικρότερο ή ίσο από την μέγιστη χωρητικότητα.

Στα κελιά D28 έως και F34 αναγράφονται τα στοιχεία του εκάστοτε πλοίου που αφορούν την κατανάλωση πετρελαίου δίζελ στο λιμάνι και στην θάλασσα, την κατανάλωση του βαρέως πετρελαίου, την τιμή του πετρελαίου δίζελ και του βαρέως πετρελαίου ανά τόνο, την ταχύτητα πλεύσης και την μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Τα ανωτέρω είναι απαραίτητα στοιχεία για να περιγράψουμε επαρκώς το περιεχόμενο των πράξεων με αντικειμενικά μεγέθη.

Στην στήλη «**Total trip hours**» περιγράφονται οι ώρες πλεύσης από την αρχή του ταξιδιού μετρούμενες από τον αρχικό προορισμό. Ο υπολογισμός τους προκύπτει με την χρήση του τύπου του Νεύτωνα όπου ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει ένα σώμα κινούμενο με σταθερή ταχύτητα μία απόσταση προκύπτει από $t = \frac{x}{v}$,

όπου t ο χρόνος, x η απόσταση μεταξύ διαδοχικών προορισμών και v η ταχύτητα του πλοίου. Σημειωτέον πως σε κάθε κελί, εκτός του πρώτου προσθέεται ο προηγούμενος χρόνος που έχει διανυθεί. Στην στήλη «From-to time» αναγράφεται ο χρόνος που απαιτείται για να μεταβεί το πλοίο από το προηγούμενο προορισμό στον προορισμό της σειράς εκείνης και προκύπτει σαν διαφορά των συνολικών χρόνων των δύο προορισμών.

Όσον αφορά το φορτίο, υπάρχουν δύο στήλες η «**Loaded Cargo**» και η «**Unloaded Cargo**», δηλαδή το φορτίο που φορτώθηκε και ξεφορτώθηκε αντίστοιχα. Στην στήλη που περιγράφει το φορτίο που φορτώθηκε, σε κάθε σειρά, ήτοι σε κάθε λιμάνι, φορτώνεται το άθροισμα των κλασμάτων του φορτίου που υπάρχει διαθέσιμο για μεταφορά προς κάθε προορισμό. Ειδικότερα περιγράφεται πιο αναλυτικά, χρησιμοποιώντας τους συμβολισμούς που έχουν αναλυθεί πιο πάνω, από τον

$$\text{ακόλουθο τύπο: } {}_m^k L_c^i = \sum_{j=1, i \neq j}^n (\text{trunc}\{{}_m^k P_i^j \times {}_m^k C t_i^j\} + {}_m^k T C_l^i)$$

Αυτό που περιγράφεται είναι πως σε κάθε λιμάνι φορτώνεται ο ακέραιος αριθμός τμήματος φορτίου προς όλους τους υπόλοιπους προορισμούς συν το φορτίο μεταφόρτωσης που είχε αφεθεί σε αυτό το λιμάνι από το άλλο πλοίο για κάποιο προορισμό.

Στην στήλη «**Unloaded Cargo**» περιγράφεται το φορτίο που ξεφορτώνει το πλοίο στο εκάστοτε λιμάνι. Όμοια και εδώ αθροίζει όλα τα προηγούμενα φορτία που έχουν ως προορισμό αυτό το λιμάνι. Όσο προχωράμε λιμάνια τόσο αυξάνει και το άθροισμα εγκαινιάζοντας και νέους όρους από την αύξηση των λιμανιών.

Ο υπολογισμός του λιμανιού μεταφόρτωσης έγινε δυνατός διαμέσου του έτερου πρόσθετου της Palisade για το Microsoft Excel, το PrecisionTree.

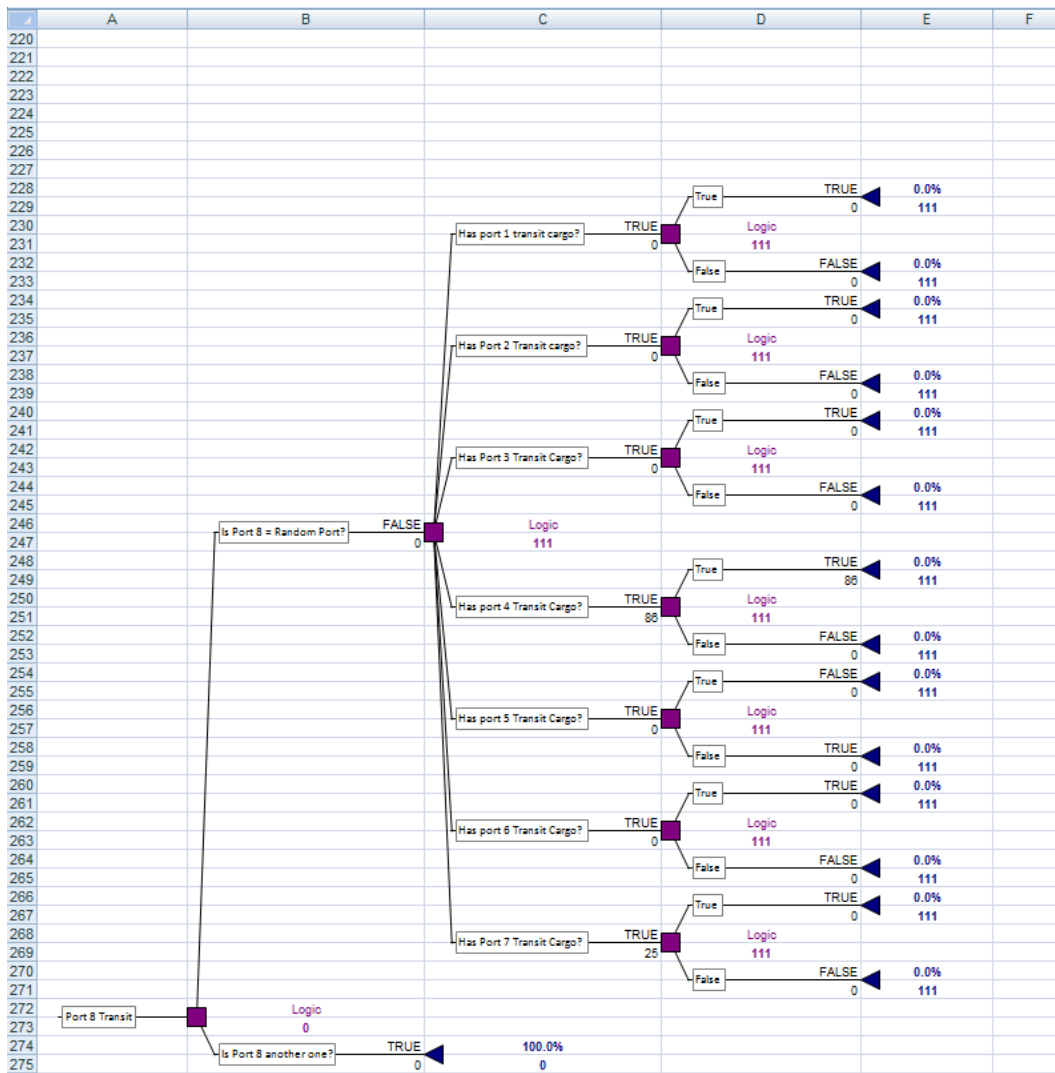
Σε κάθε λιμάνι υπολογίζεται το φορτίο μεταφόρτωσης για τους διάφορους προορισμούς του άλλου πλοίου. Το πρόγραμμα με την σειρά προβαίνει σε λογικές πράξεις για να καθορίσει αν το λιμάνι που βρισκόμαστε είναι κοινό λιμάνι και συμφέρει να προτιμήσει αυτό έναντι των άλλων για λόγους βελτίωσης του αποτελέσματος. Το τελευταίο γίνεται απλά διαμέσου του ελέγχου για το καλύτερο

οικονομικό αποτέλεσμα. Ακόμη τα λιμάνια μεταφόρτωσης έχουν αριθμηθεί από το 1 έως και το 4 παίρνοντας ακέραιες τιμές και κάθε φορά ελέγχει αν το λιμάνι στο κάθε επίπεδο είναι ίσο με το λιμάνι που ορίζεται από την μέθοδο Recipe του Evolver. Παραστατικά φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Random Numbering		1					
2								
3	Port Numbering	Port	Cargo to be transported			Port	Cargo to unload	
4	4	Sagunto	0	1		4	0	
5	1	Piraeus	0	2		1	0	
6	3	Barcelona	0	3		3	0	
7	5	Sete	86	4		5	0	
8	2	Borusan	0	5		2	0	
9	7	Djen djen	0	6		7	0	
10	6	Casablanca	25	7		6	0	
11	8	Constantza	0	8		8	0	
12								
13		Ports with transactional Cargo				Cargo for vsl 2 to load	0	
14			SUM					
15	5	Sete	86					
16	6	Casablanca	25					
17	7	Djen djen	0					
18	8	Constantza	0					
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								

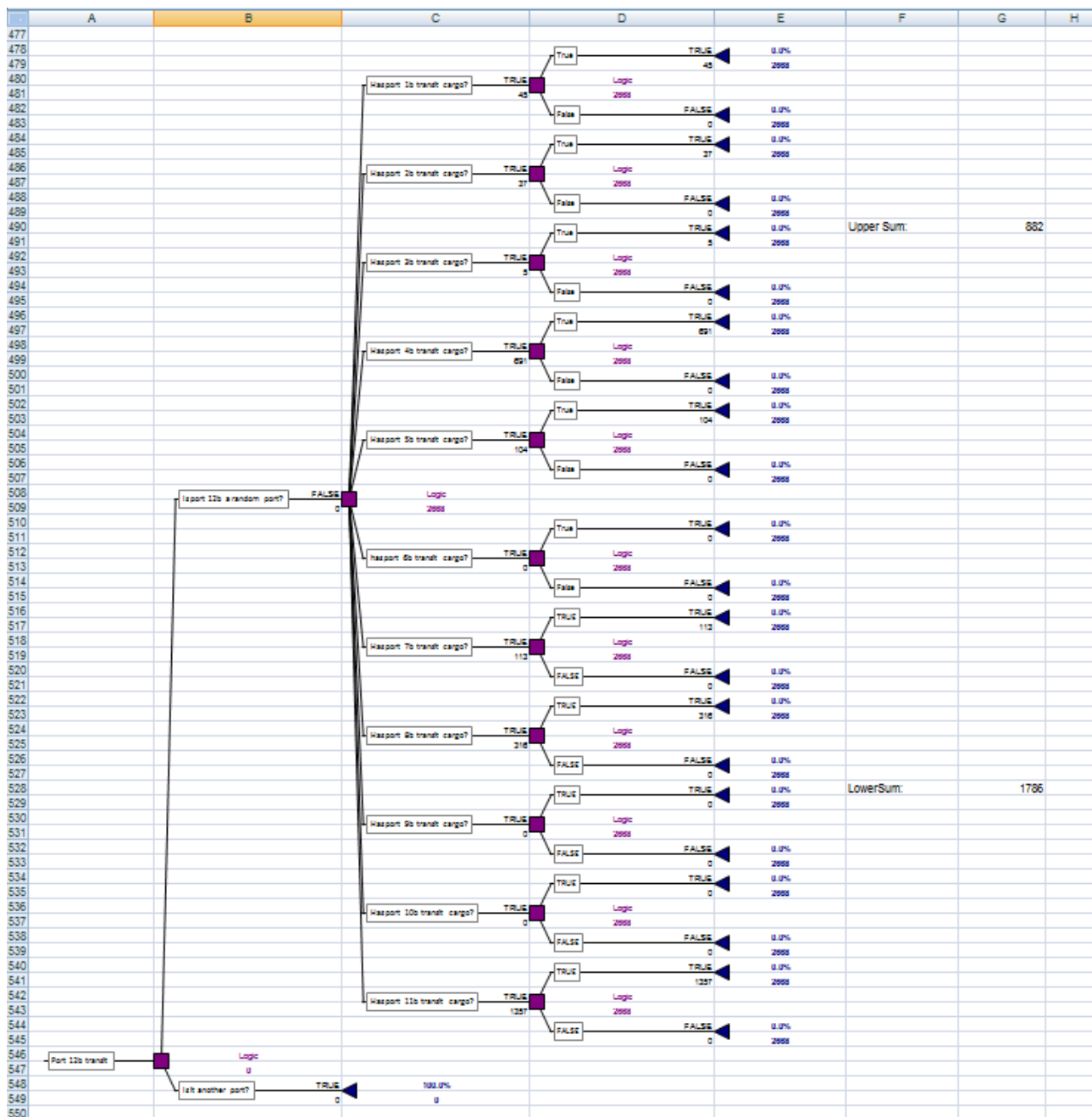
Εικόνα 18. Γενική άποψη του δένδρου απόφασης για την επιλογή των τερματικών σταθμών και της ποσότητας εκφόρτωσης του φορτίου μεταφόρτωσης

Όπως φαίνεται και στην εικόνα το δένδρο ελέγχει (διαβάζοντας από αριστερά προς τα δεξιά) αν το λιμάνι που είναι δεύτερο σε σειρά παρουσίας είναι ίσο με τον αριθμό δίπλα στο “Random Numbering” το οποίο παίρνει τις διάφορες τιμές από 1-4 όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Τα λιμάνια, λόγω της μεθόδου Order αλλάζουν σειρά, γεγονός που επηρεάζει και την σειρά τους εδώ, παρολαυτά το 2 λιμάνι στην σειρά θα ελέγχεται όποιο και αν είναι. Σε περίπτωση που είναι το λιμάνι μεταφόρτωσης το οποίο περιγράφεται στο κελί B1, προχωράει και άλλο στον κλάδο (δεξιότερα) ελέγχοντας αν το 1^ο λιμάνι στην σειρά έχει φορτίο μεταφόρτωσης για κάποιο προορισμό, τότε θα το ξεφορτώνει εκεί πάντα με γνώμονα τα καλύτερα αποτελέσματα. Όσο προχωράμε στα λιμάνι γίνεται όλο και πιο πολύπλοκο το δένδρο με αποκορύφωση τα 12 λιμάνια του πλοίου 2.



Εικόνα 19. Έλεγχος με τη χρήση δένδρων αποφάσεων για την εκφόρτωση των φορτίων από τη διαδρομή 1 στη διαδρομή 2 του πλοίου 1

Άποψη του λογικού δέντρου για τα 12 λιμάνια του 2^{ου} πλοίου. Είναι εμφανές πως το ένα δέντρο απαιτεί περίπου 100 κελιά για να περιγραφεί:



Εικόνα 30. Έλεγχος με τη χρήση δένδρων αποφάσεων για την εκφόρτωση των φορτίων από τη διαδρομή 1 στη διαδρομή 2 του πλοίου 2

Στην συνέχεια οι στήλες «Loading Time» και «Unloading Time» περιγράφουν το χρόνο που απαιτείται για να φορτωθεί και να ξεφορτωθεί το πλοίο αντίστοιχα. Καθώς το φορτίο που φορτώνεται αλλά και ξεφορτώνεται αλλά και ο ρυθμός με τον οποίο φορτώνει και ξεφορτώνει ένα PCC τα οχήματα του διαφέρει, τότε με τη σειρά του θα διαφέρουν και οι

χρόνοι που απαιτούνται για να πραγματοποιηθούν αυτές οι διαδικασίες. Δοθέντος ενός ρυθμού φορτώματος και ξεφορτώματος για το κάθε λιμάνι, ο χρόνος προκύπτει ως το πηλίκο του αριθμού των αυτοκινήτων που φορτώθηκαν/ξεφορτώθηκαν προς τους αντίστοιχους ρυθμούς τους. Επειδή πολύ συχνά παρατηρούνται καθυστερήσεις είτε στην φόρτωση/ξεφόρτωση είτε ανωτέρας βίας, προστέθηκε και η στήλη «**Extra time @ Port**» όπου θα μπαίνουν οι περεταίρω κατά μέσο όρο ώρες που κάθεται στο λιμάνι. Αθροίζοντας τις τρεις συνιστώσες του χρόνου στο λιμάνι χρόνος ξεφορτώματος, χρόνος φορτώματος και έξτρα χρόνος στο λιμάνι προκύπτει η νέα στήλη «**Total hours @ port**» ως επαλληλία των προηγούμενων.

Οι καταναλώσεις καυσίμων χωρίζονται σε αυτές που αφορούν την κατανάλωση στην θάλασσα και την κατανάλωση στο λιμάνι. Οι πρώτες συμπεριλαμβάνουν τις καταναλώσεις βαρέως πετρελαίου και πετρελαίου δίζελ. Και οι δύο προκύπτουν ως γινόμενο του χρόνου που απαιτείται για να μεταβεί το πλοίο σε διαδοχικούς προορισμούς και της κατανάλωσης ανά ώρα βαρέως πετρελαίου ή πετρελαίου δίζελ. Παρόμοια και στο λιμάνι με την μόνη διαφορά ότι έχουμε κατανάλωση πετρελαίου μόνο και το γινόμενο του χρόνου πια εκφυλίζεται σε χρόνο παραμονής στο λιμάνι.

Τα κόστη που προκύπτουν από όλα τα ανωτέρω είναι και το κύριο αντικείμενο μας προσπαθώντας να βελτιστοποιήσουμε έτσι το υπάρχον δίκτυο. Δοθέντος τιμής βαρέως πετρελαίου και πετρελαίου δίζελ ανά τόνο προκύπτουν τα κόστη του δίζελ στην θάλασσα στην στήλη «**D.O Cost @ Sea**», στο λιμάνι στην στήλη «**D.O Cost @ Port**» και του βαρέως πετρελαίου στην στήλη «**H.F.O Cost @ Sea**». Ακόμη, για τον ελλιμενισμό το πλοίο χρεώνεται στο εκάστοτε λιμάνι ένα σταθερό ποσό χρημάτων ανά ώρα που περιγράφεται στην στήλη «**Port Cost per hour**». Όταν πολλαπλασιάσουμε το τελευταίο με τις ώρες παραμονής στο λιμάνι καταλήγουμε στο συνολικό κόστος ελλιμενισμού, ήτοι «**Total Port Costs**». Τέλος τα λειτουργικά έξοδα ανά ώρα είναι ένα σταθερό νούμερο για όλα τα λιμάνια και τοποθετείται στην στήλη «**Opex/hour**» ενώ το συνολικό λειτουργικό κόστος προκύπτει

από το χρόνο ταξιδιού συν το χρόνο παραμονής στο λιμάνι πολλαπλασιασμένο επί τα λειτουργικά έξοδα ανά ώρα.

Τέλος το όφελος του πλοιοκτήτη προκύπτει από το κάθε αυτοκίνητο που ξεφορτώνεται πολλαπλασιασμένο με την αντίστοιχη τιμή μονάδας χρέωσης και φαίνεται στην στήλη «**Transportation Profit**».

8.3 Τα αποτελέσματα της υπολογιστικής εφαρμογής

Με την χρήση του προγράμματος Evolver της Palisade εξετάσαμε την μεταβολή των κερδών που προκύπτουν από την βελτιστοποίηση. Συγκεκριμένα για μία αρχική κατάσταση λιμανιών των δύο πλοίων είχαμε την ακόλουθη διάταξη και για τις δύο διαδρομές η οποία περιγράφεται από τον επόμενο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.21 – ΑΡΧΙΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

ΠΛΟΙΟ 1		ΠΛΟΙΟ 2	
1	Piraeus	1	Piraeus
2	Borusan	2	Borusan
3	Barcelona	3	Barcelona
4	Sagunto	4	Sagunto
5	Sete	5	Civitavechia
6	Casablanca	6	yenikoy
7	Djen djen	7	Livorno
8	Constantza	8	Marseilles
9	-	9	Fos
10	-	10	Derince
11	-	11	Valencia
12	-	12	Savorna

Τρέχοντας το μοντέλο όπως έχει οριστεί παραπάνω συνδυαστικά μεταβάλλοντας τα λιμάνια και τα φορτία από την γενικότερη μέση ζήτηση, όπως αυτή ορίστηκε από έρευνα στον τομέα των ΡCTC των συγκεκριμένων λιμανιών, καταλήξαμε στην ακόλουθη διάταξη λιμανιών για την κάθε διαδρομή. Σημειωτέον πως το μοντέλο είναι έτσι ρυθμισμένο ώστε να προσπερνά τυχόν λιμάνια που δεν έχουν φορτία να ξεφορτώσουν. Οι επιλογές για το πρόγραμμα της βελτιστοποίησης ήταν οι ακόλουθες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.22 – Η ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Adjustable Cells

Description	
Solving Method	Order
Mutation Rate	Automatic
Crossover Rate	0,5
Cell Range	'Route Breakdown'!\$B\$16:\$B\$23
Operators (scores)	Default parent selection (0,2500)
	Default mutation (0,2500)
	Default crossover (0,2500)
	Default backtrack (0,2500)

Description	
Solving Method	Order
Mutation Rate	Automatic
Crossover Rate	0,5
Cell Range	'Route Breakdown'!\$AF\$16:\$AF\$27
Operators (scores)	Default parent selection (0,2500)
	Default mutation (0,2500)
	Default crossover (0,2500)
	Default backtrack (0,2500)

Description Vessel 1	
Solving Method	Recipe
Mutation Rate	Automatic
Crossover Rate	0,5
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$C\$121:\$C\$127;\$D\$122:\$D\$127;\$E\$123:\$E\$127;\$F\$124:\$F\$127;\$G\$126:\$G\$127;\$G\$125;\$H\$126:\$H\$127;\$I\$127 <= 1
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$J\$120:\$J\$126;\$I\$120:\$I\$125;\$H\$120:\$H\$124;\$G\$120:\$G\$123;\$F\$120:\$F\$122;\$E\$120:\$E\$121;\$D\$120 <= 1
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$C\$133:\$C\$139;\$D\$134:\$D\$139;\$E\$135:\$E\$139;\$F\$136:\$F\$139;\$G\$137:\$G\$139;\$H\$138:\$H\$139;\$I\$139 <= 1
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$J\$132:\$J\$138;\$I\$132:\$I\$137;\$H\$132:\$H\$136;\$G\$132:\$G\$135;\$F\$132:\$F\$134;\$E\$132:\$E\$133;\$D\$132 <= 1
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$O\$124:\$V\$127 <= 1
Operators (scores)	Default parent selection (0,2186)
	Default mutation (0,0188)
	Default crossover (0,0168)
	Default backtrack (0,2814)
	Arithmetic crossover (0,1567)
	Heuristic crossover (0,0450)
	Cauchy mutation (0,0150)
	Boundary mutation (0,1352)
	Non-uniform mutation (0,0496)
	Linear (0,0628)
	Local search (0,0001)
Description Vessel 2	
Solving Method	Recipe
Mutation Rate	Automatic
Crossover Rate	0,5
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$AM\$92:\$AP\$99 <= 1
Cell Range	-1000 <= 'Route Breakdown'!\$AI\$2 <= 1000
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$AQ\$89:\$AQ\$99 <= 1
Cell Range	0 <= 'Route Breakdown'!\$AR\$90:\$AR\$99 <= 1

Range	
Cell	0 <= 'Route Breakdown'!\$AS\$91:\$AS\$99;\$AT\$92:\$AT\$99 <= 1
Range	
Cell	0 <= 'Route Breakdown'!\$AU\$93:\$AU\$99;\$AV\$94:\$AV\$99 <= 1
Range	
Cell	0 <= 'Route
Range	Breakdown'!\$BA\$99;\$AZ\$98:\$AZ\$99;\$AY\$97:\$AY\$99;\$AX\$96:\$AX\$99;\$AW\$95:\$AW\$99 <= 1
Cell	0 <= 'Route
Range	Breakdown'!\$BB\$88:\$BB\$98;\$BA\$88:\$BA\$97;\$AZ\$88:\$AZ\$96;\$AY\$88:\$AY\$95;\$AX\$88:\$AX\$94 <= 1
Cell	0 <= 'Route
Range	Breakdown'!\$AR\$88;\$AS\$88:\$AS\$89;\$AT\$88:\$AT\$90;\$AU\$88:\$AU\$91;\$AV\$88:\$AV\$92;\$AW\$88:\$AW\$93 <= 1
Cell	0 <= 'Route
Range	Breakdown'!\$AQ\$110:\$AQ\$120;\$AR\$111:\$AR\$120;\$AS\$112:\$AS\$120;\$AT\$113:\$AT\$120;\$AU\$114:\$AU\$120;\$AV\$115:\$AV\$120 <= 1
Cell	0 <= 'Route
Range	Breakdown'!\$BA\$120;\$AZ\$119:\$AZ\$120;\$AY\$118:\$AY\$120;\$AX\$117:\$AX\$120;\$AW\$116:\$AW\$120 <= 1
Cell	0 <= 'Route
Range	Breakdown'!\$BB\$109:\$BB\$119;\$BA\$109:\$BA\$118;\$AZ\$109:\$AZ\$117;\$AY\$109:\$AY\$116;\$AX\$109:\$AX\$115;\$AW\$109:\$AW\$114 <= 1
Cell	0 <= 'Route
Range	Breakdown'!\$AR\$109;\$AS\$109:\$AS\$110;\$AT\$109:\$AT\$111;\$AU\$109:\$AU\$112;\$AV\$109:\$AV\$113 <= 1
Operators (scores)	Default parent selection (0,1799)
	Default mutation (0,0156)
	Default crossover (0,0169)
	Default backtrack (0,3201)
	Arithmetic crossover (0,1247)
	Heuristic crossover (0,0384)
	Cauchy mutation (0,0138)
	Boundary mutation (0,1082)
	Non-uniform mutation (0,0423)
	Linear (0,1400)
	Local search (0,0001)
Description vs1 1 retour	
Solving Method	Order
Mutation Rate	Automatic
Crossover Rate	0,5
Cell Range	'Route Breakdown'!\$B\$55:\$B\$62
Operators	Default parent selection (0,2500)

rs	
(scores)	
	Default mutation (0,2500)
	Default crossover (0,2500)
	Default backtrack (0,2500)
Description vsl 2 retour	
Solving Method	Order
Mutation Rate	Automatic
Crossover Rate	0,5
Cell Range	'Route Breakdown'!\$AF\$55:\$AF\$66
Operators	Default parent selection (0,2500)
(scores)	
	Default mutation (0,2500)
	Default crossover (0,2500)
	Default backtrack (0,2500)
Optimization Settings	
General	
	50
Population Size	
	40872492 (Chosen Randomly)
Optimization Random Number Seed	

Με την χρήση, λοιπόν, των ανωτέρω καταλήξαμε σε μία βελτιωμένη έκδοση της σειράς των λιμανιών όπως αυτή παρουσιάζεται στην συνέχεια:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.23 – ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

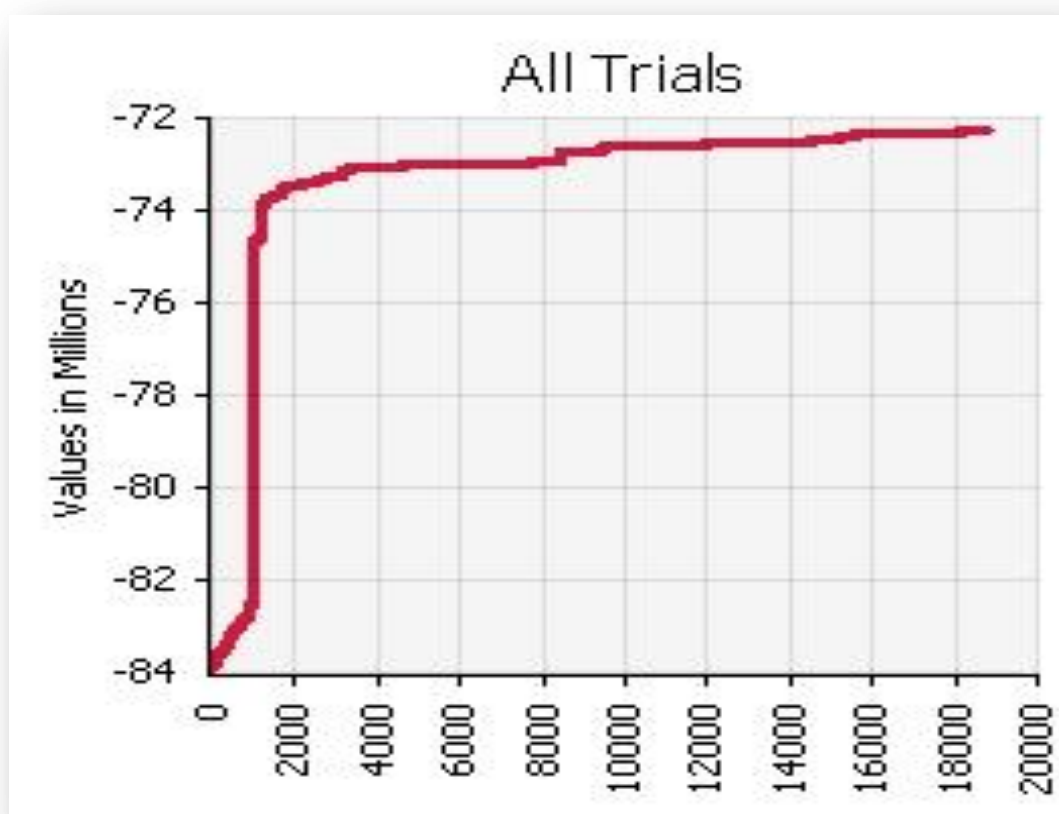
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1 (ALLER)	
ΠΛΟΙΟ 1	ΠΛΟΙΟ 2

2	Borusan	6	yenikoy
5	Sete	4	Sagunto
4	Sagunto	10	Derince
7	Djen djen	9	Fos
3	Barcelona	12	Savorna
1	Piraeus	3	Barcelona
6	Casablanca	1	Piraeus
8	Constantza	7	Livorno
9	-	5	Civitavechia
10	-	2	Borusan
11	-	11	Valencia
12	-	8	Marseilles

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.24 – ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΘΕ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2 (RETOUR)			
ΠΛΟΙΟ 1		ΠΛΟΙΟ 2	
5	Sete	1	Piraeus
8	Constantza	4	Sagunto
6	Casablanca	9	Fos
1	Piraeus	7	Livorno
3	Barcelona	11	Valencia
4	Sagunto	6	yenikoy
7	Djen djen	10	Derince
2	Borusan	3	Barcelona
9	-	8	Marseilles
10	-	5	Civitavechia
11	-	12	Savorna
12	-	2	Borusan

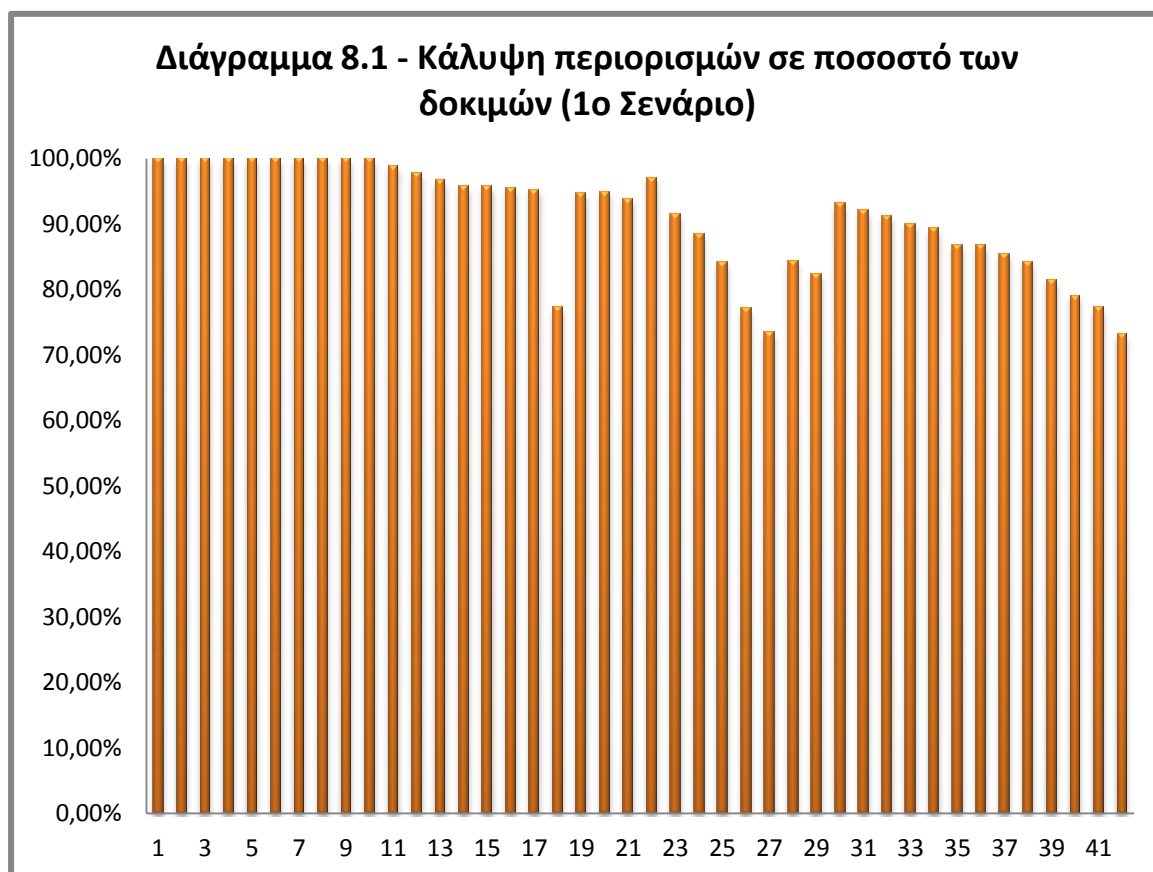
Ιδιαίτερα σημαντική είναι η βελτίωση του αποτελέσματος από ένα τυχαίο σύνολο λιμανιών με το οποίο ξεκίνησε η βελτιστοποίηση και με εκείνο που κατέληξε. Συγκεκριμένα όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα βλέπουμε πως στις πρώτες 2000 δοκιμές έχουμε βελτίωση της τάξεως του 11.9% ενώ έπειτα σε περίπου 18000 δοκιμές η βελτίωση είναι λιγότερη από 2.7 % αγγίζοντας συνολικά σε 19000 δοκιμές 14,28% βελτίωση.



Εικόνα 21. Ταχύτητα – ρυθμός σύγκλισης του μοντέλου σε κάποια βέλτιστη λύση (1^ο Σενάριο)

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα διάγραμμα όπου φαίνεται ξεκάθαρα το ποσοστό των περιορισμών όπου καλύπτονταν σε κάθε νέα δοκιμή διακρίνοντας εύκολα πως υπήρχαν περιορισμοί που είχαν ιδιαίτερη τάση μη κάλυψης τους λόγω της σκληρότητας του προβλήματος. Εναλλακτικά θα μπορούσαν να είναι ελαστικοί οι περιορισμοί που έχουν μια αυξημένη τάση

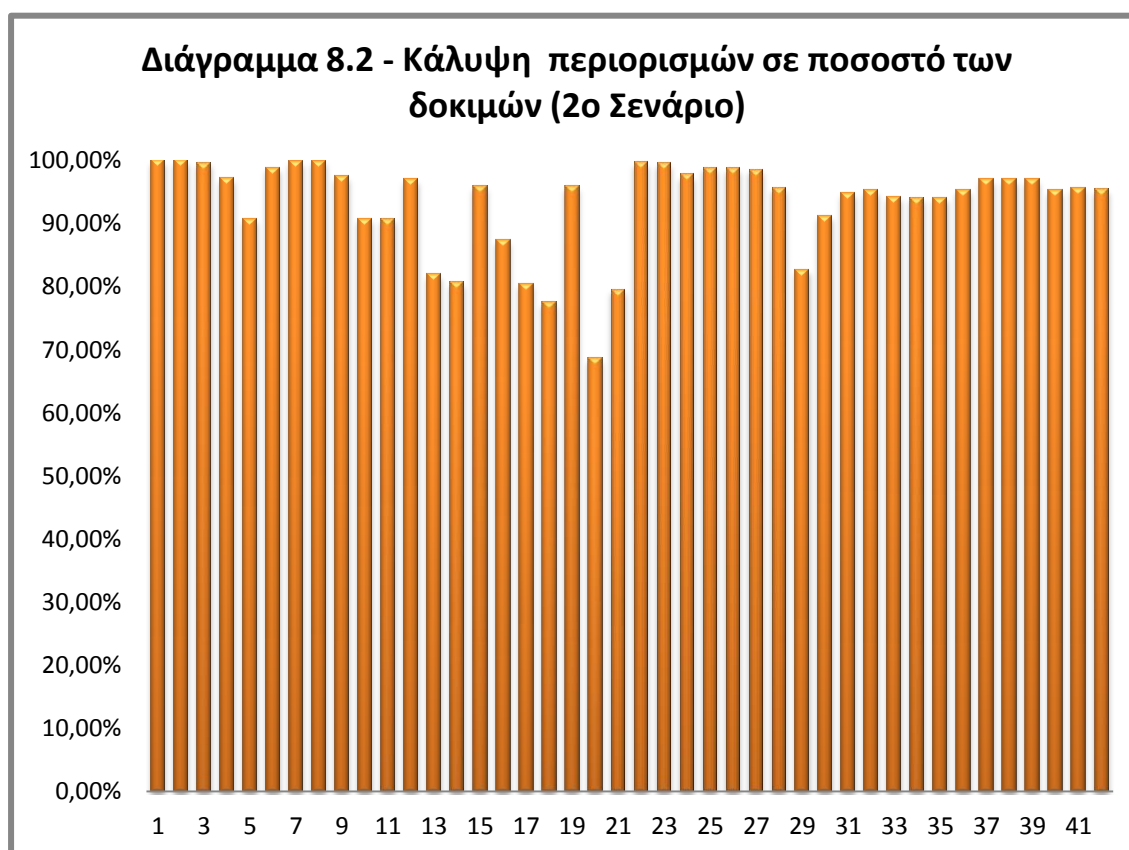
να μην είναι καλυμμένοι έχοντας μία συνάρτηση κόστους που να επιβαρύνει την συνολική συνάρτηση, γεγονός που καθίσταται όμως στο επίπεδο της παρούσης ανάλυσης πολύ δύσκολο καθότι απαιτείται ειδική κρίση για την επιλογή τους. Στον οριζόντιο άξονα φαίνεται η αρίθμηση των περιορισμών όπως αυτές έχουν αριθμηθεί από το πρόγραμμα.

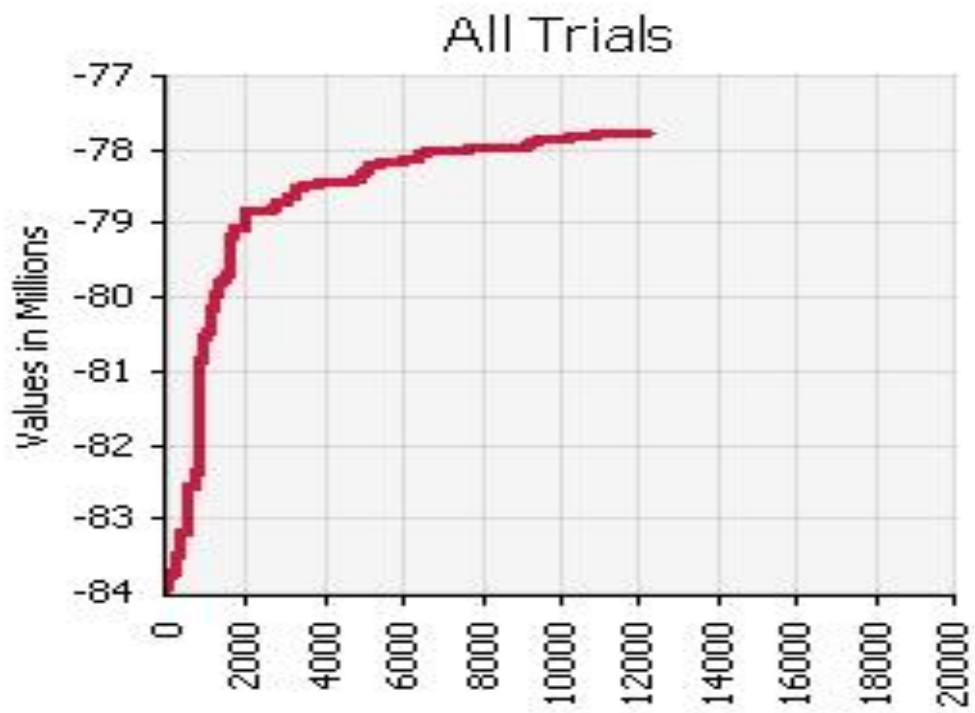


Το 2ο σενάριο μας αποτελείτο από την χρήση της διάταξης των λιμανιών όπως αυτή προέκυψε από την ανωτέρω βελτιστοποίηση και έπειτα με την χρήση των αρχικών τιμών για τα φορτία να βελτιστοποιήσουμε μονάχα τα φορτία που θα πρέπει να πάρει σε κάθε λιμάνι. Έτσι, μπορέσαμε να δούμε την ταχύτητα σύγκλησης της μεθόδου η οποία φαίνεται, σε αντιπαραβολή με την εικόνα 21 να είναι δραματικά μικρότερη σε σχέση με την παράλληλη βελτιστοποίηση και των λιμανιών και των φορτίων που πρέπει να μεταφερθούν. Η συμπεριφορά αυτή πιθανολογικά οφείλεται σε εσωτερικές διαδικασίες του προγράμματος όπου εντέλλει καταφέρνει με τις ευρεστικές

τεχνικές του να συγκλίνει γρηγορότερα σε καλύτερη λύση από ότι με αυτό το σενάριο.

Επιπλέον παρατηρήσαμε, πως η κάλυψη των περιορισμών σε ποσοστό των δοκιμών που θέσαμε στο μοντέλο στο δεύτερο σενάριο διαφοροποιήθηκε στο σύνολό της. Οι περιορισμοί που είχαν μεγαλύτερη τάση να μην καλυφθούν ήταν λιγότεροι, ενώ ο μέσος όρος της κάλυψης των περιορισμών του 2^{ου} σεναρίου σε σχέση με το 1^ο ήταν υψηλότερος παρά τον μικρότερο αριθμό περιορισμών που καλύπτονται πλήρως συνέχεια, καθιστώντας το 1^ο σενάριο πιο «σκληρό» από πλευράς επιλυσιμότητας. Συνεπαγωγικά, η μικρότερη ταχύτητα σύγκλισης του 2^{ου} σεναρίου σε σχέση με το 1^ο παρά το γεγονός ότι κατά μέσο όρο καλύπτονται οι περιορισμοί του 2^{ου} περισσότερο, μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο πληθυσμός που εκλέγεται κάθε φορά έχει καλύτερα αποτελέσματα στο μοντέλο μας, όπως έχει εκφραστεί αυτό στο Microsoft Excel, στο 1^ο σενάριο από ότι στο 2^ο σενάριο.





Εικόνα 22. Ταχύτητα – ρυθμός σύγκλισης του μοντέλου σε κάποια βέλτιστη λύση (2^ο Σενάριο)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποδείχθηκαν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την επίτευξη του σκοπού της παρούσης διπλωματικής. Η δυναμική τους και η υπολογιστική τους προσαρμοστικότητα, τους καθιστούν μια μοναδικά χρήσιμη ευριστική μέθοδο βελτιστοποίησης για σύγχρονα πολύπλοκα προβλήματα.

Πρωτογενώς, με την χρήση των υπολογιστικών πακέτων της Palisade, όπως το Eolver, καταφέραμε να κάνουμε χρήση των γενετικών αλγορίθμων μοντελοποιώντας κατά τρόπον τινά το πρόβλημά μας. Δυστυχώς, το Microsoft Excel, έχει αρκετούς περιορισμούς στην περιγραφή του μοντέλου αφενός διότι πρέπει να παρουσιαστεί σε μορφή όπου το Eolver θα έχει ένα αντικειμενικό κελί βελτιστοποίησης και αφετέρου διότι το Excel δεν έχει επαναληπτικούς βρόχους. Επιπλέον είναι αδύνατο να αλλάξεις ένα άλλο κελί αν ισχύει μία λογική πράξη στο υπό αναφορά κελί (υπολογιστικά αυτό θεωρείται πως σαν πρόγραμμα έχει receiving abilities και όχι sending όπως οι γλώσσες προγραμματισμού) καθιστώντας πολύ δύσκολη την περιγραφή του προγράμματος.

Η σημαντικότερες δυσκολίες προκύπτουν από αυτές τις τελευταίες αδυναμίες του Excel. Ειδικότερα, είναι πολύ δύσκολη και χρονικά ασύμφορη η περιγραφή και ο έλεγχος εκφόρτωσης φορτίου σε κάθε τερματικό σταθμό αφενός γιατί απαιτείται η σειριακή περιγραφή τους αλλά και αφετέρου διότι πρέπει να γίνει ο έλεγχος του φορτίου με την χρήση λογικών πράξεων (PrecisionTree) αντί με τον έλεγχο σε κάποια μεταβλητή όπως θα γινόταν σε οποιοδήποτε προγραμματιστικό περιβάλλον. Έτσι, μέσα στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, καταλήξαμε να αναλύσουμε δύο πλοία σε ένα σύνολο τερματικών σταθμών οκτώ και δώδεκα τερματικών σταθμών αντίστοιχα.

Οι δυσκολίες κατά την εφαρμογή εγείρονται κυρίως στην διατύπωση των συναρτήσεων στο Excel, όπου συχνά σε έκταση καταλάμβαναν τα 2/3 μίας σελίδας A4, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα της περιγραφής του προβλήματος, τον χρόνο διατύπωσης του αλλά και το περιθώριο λάθους. Επιπρόσθετα τα λογικά δέντρα έφταναν στο μέγιστο τους συνολικά να έχουν έκταση περίπου εκατό κελιά. Η αναφορά αυτή για να επιβεβαιώσουμε την δυσκολία περιγραφής του μοντέλου στο Excel αλλά και την αύξησή της σε περίπτωση περισσότερων λιμανιών και προορισμών.

Η παρακολούθηση της σύγκλισης σε κάποια λύση γινόταν σε πραγματικό χρόνο με την επεξεργασία των δεδομένων από τον υπολογιστή. Μετά από πολλές δοκιμές καταλήξαμε στις ρυθμίσεις, όπως αυτές παρουσιάστηκαν παραπάνω, οι οποίες δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το παρών μοντέλο βελτιστοποίησης. Η συγκέντρωση των στοιχείων ήταν αρκετά δύσκολη καθώς επικρατεί ιδιαίτερος σκεπτικισμός στον ναυτιλιακό κλάδο των PCC από την πλευρά των ναυτιλιακών εταιρειών λόγω του υψηλού ανταγωνισμού που προκύπτει από το μικρό αριθμό εταιρειών που εμπλέκονται. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία τα οποία να συμβαδίζουν με την τωρινή πραγματικότητα.

Τα αποτελέσματα μας φανέρωσαν την δυναμική του μοντέλου όπως έχει περιγραφεί. Καταφέραμε δίνοντας του μία τυχαία σειρά λιμανιών και την ελευθερία να επιλέξει μόνο του το φορτίο που θα υπάρχει στο πλοίο μέσα από μια σειρά περιορισμών, να βελτιστοποιήσει το οικονομικό αποτέλεσμα. Η βελτιστοποίηση είχε καλύτερα αποτελέσματα όταν επιλέγαμε μεγιστοποίηση του κέρδους σε αντίθεση με την ελαχιστοποίηση του κόστους. Στην δεύτερη περίπτωση, το πρόγραμμα ώντας ανίκανο να έχει νοημοσύνη έβλεπε την βέλτιστη λύση στην μη φόρτωση αυτοκινήτων ή γενικά στην διατήρηση πολύ χαμηλού αριθμού αυτοκινήτων για μεταφορά.

Συνολικά, από τα αποτελέσματα καταλήγουμε πως η μοντελοποίηση και κατ'επέκταση η βελτιστοποίηση της σειράς των λιμανιών και των φορτίων είναι πολύ ευαίσθητη στα δεδομένα εισαγωγής. Συνεπώς, οποιαδήποτε αλλαγή στο περιεχόμενο των δεδομένων, επιφέρει σημαντικές διαφοροποιήσεις στο οικονομικό

αποτέλεσμα, καθιστώντας τέτοιου είδους βελτιστοποιήσεις, για τις αγορές liner γενικότερα, επιτακτικές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μ.Γ. Καρλαύτης, Ν.Δ. Λαγαρός (2010), Επιχειρησιακή Έρευνα και βελτιστοποίηση για μηχανικούς, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
2. Πραστάκος Γρ. (2006), Διοικητική Επιστήμη-Λήψη Επιχειρησιακών αποφάσεων στην Κοινωνία της Πληροφορίας, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα
3. Ψαράυτης Χ. (2006), Οικονομική Θαλασσίων Μεταφορών I, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
4. Ε.Φ. Γεωργόπουλος, Σ.Δ. Λυκοθανάσης (1999), Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους, Πανεπιστήμιο Πατρών Πολυτεχνική Σχολή, Πάτρα
5. Γεωργαντόπουλος Ελ., Βλάχος Γ.Π. (2003), Ναυτιλιακή Οικονομική, Εκδόσεις Τζεϊ & Τζεϊ Ελλάς, Πειραιάς
6. Bronson R., Naadimuthu G. (1985). "Schaum's Outline of Theory and Problems of OPERATIONS RESEARCH", 2nd edition, McGraw-Hill International Editions
7. M.O. Ball ed., T.L. Magnati ed., C.L. Monna ed., G.L. Nemhauser ed. (1995), "Handbook in Operations Research and Management Science, Network Models", vol.7, Elsevier Science Ltd.
8. B. Render, R.M. Stair, Jr. (1999). "Quantitative Analysis for Management", 7th edition, Prentice-Hall, New Jersey
9. F.S. Hillier, G.J. Lieberman (2001). "Introduction to Operations Research", 7th edition, McGraw-Hill International Editions
10. W.L. Winston (1998). "Operations Research: Applications and Algorithms", 4th revised edition, Brooks/Cole
11. J. Taylor, N. Raden (2007). "Smart (Enough) Systems: How to Deliver Competitive Advantage by Automating Hidden Decisions", Prentice Hall
12. "Car Carrier Trade and Transport 2009" (2009), Clarkson Research Services, London
13. "Car Carrier Trade and Transport 2008" (2008), Clarkson Research Services, London

14. "Car Carrier Trade and Transport 2007" (2007), Clarkson Research Services, London
15. M. Stopford (2009). "Maritime Economics", 3rd edition, Routledge, New York
16. Grammenos C.T. (2010). "The Handbook of Maritime Economics and Business", Maritime Transport Law Library
17. M. Mitchell (1999). "An Introduction to Genetic Algorithms", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts
18. F. Rothlauf, "Representations for Genetic and Evolutionary Algorithms", 2nd edition, Springer publications
19. D. Goldberg (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison Wesley Publishing Company, Inc.
20. J. Holland (1992). "Adaption in Natural and Artificial Systems", The MIT Press
21. L. Davis (1991). "Handbook of Genetic Algorithms", Von Nostrand Reinhold
22. S. Edelkamp, S. Schroedl (2011). "Heuristic search: Theory and Applications", Morgan Kaufmann Publishers
23. E. Alba ed., C. Blum ed., P. Isasi ed., C. León ed., J.A. Gomez ed., "Optimization Techniques for Solving Complex Problems", John Willey & Sons Publication
24. D. Partridge (1998). "Artificial Intelligence and Software Engineering", Glenlake Publishing Company, Ltd.
25. A.N. Perakis, N. Papadakis, "Fleet Deployment Optimization Problems. Part1", Marit. Pol. Mgmt., 1987, vol. 14, No. 2, 127-144
26. A.N. Perakis, N. Papadakis, "Fleet Deployment Optimization Problems. Part2", Marit. Pol. Mgmt., 1987, vol. 14, No. 2, 145-155
27. A.N. Perakis, "A second look at fleet deployment", Marit. Pol. Mgmt., 1985, vol. 12, No. 3, 209-214
28. H.N. Psaraftis, "A Dynamic Programming Solution to the Single vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem", Transportation Science, 1980, vol. 14, No. 2
29. X. Xinlian, W. Tengfei, C. Daisong, "A dynamic model and algorithm for fleet planning", Maritime Policy and Management 27, 53-63

30. Seong-Cheol Cho, A.N. Perakis, "Optimal liner fleet routing strategies", Marit. Pol. Mgmt., 1996, vol. 23, No. 3, 249-259

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. www.clarksons.net
2. www.platou.com
3. www.palisade.com
4. www.oica.net
5. www.lmc-auto.com
6. www.it-weise.de
7. www.hesnes.no
8. www.nykeurope.com/ro-ro.html
9. www.mol.co.jp/carcarrrier.shtml
10. www.raycarcarriers.com
11. www.walleniuslines.com
12. www.eukor.com
13. www.klineurope.com/car-carriers/index.asp