



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

**Ανάπτυξη Μοντέλου Βελτιστοποίησης της Κατανομής Πόρων
για την Αναβάθμιση των Σημαντικότερων Επιβατικών
Ελληνικών Λιμένων**



Λουκία Ευγενία Χωματά

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Νικόλαος Λαγαρός, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Κεπατσόγλου, Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2015

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας, τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, τον κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και τον κ. Νικόλαο Λαγαρό Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών. Τους ευχαριστώ για την πολύτιμη καθοδήγηση, το χρόνο τους αλλά και τη δημιουργική συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς και τους φίλους μου που είναι δίπλα μου σε κάθε καινούρια δοκιμασία και βήμα μου και με στηρίζουν πάντα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Λουβένια Χωματά

Ανάπτυξη Μοντέλου Βελτιστοποίησης της Κατανομής Πόρων για την Αναβάθμιση των Σημαντικότερων Επιβατικών Ελληνικών Λιμένων

Λουβένια Χωματά

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Νικόλαος Λαγαρός, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Λέκτορας ΕΜΠ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επίτευξη της βέλτιστης κατανομής χρηματικών πόρων για την υλοποίηση λιμενικών έργων υποδομής, με απώτερο επιθυμητό αποτέλεσμα τη μέγιστη δυνατή αναβάθμιση των 12 σπουδαιότερων ελληνικών επιβατικών λιμένων. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν μαθηματικά μοντέλα βελτιστοποίησης, τα οποία στηρίζονται στις αρχές της θεωρίας του γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού. Το μοντέλα αυτά βρίσκουν εφαρμογή μέσω αντικειμενικής συνάρτησης στην οποία εισάγονται οι συντελεστές σημασίας των λιμένων και των επτά έργων υποδομής που επιλέγονται να υλοποιηθούν αντίστοιχα. Κατά τη διαδικασία βελτιστοποίησης επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης με περιορισμό το διαθέσιμο προϋπολογισμό. Σύνολο εφαρμόστηκαν 10 διαφορετικά σενάρια βελτιστοποίησης. Από τα μοντέλα προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν αλλά όχι με γραμμικό τρόπο τη βέλτιστη κατανομή πόρων σε έργα αναβάθμισης είναι το μέγεθος του προϋπολογισμού, το κόστος των έργων, η κλιμάκωση των επενδύσεων στο χρόνο και οι συντελεστές αξιολόγησης λιμένων και ενεργειών έτσι όπως έχουν οριστεί. Επίσης, βρέθηκε ότι η απόδοση που επιφέρει η υλοποίηση των έργων υποδομής στους λιμένες δεν αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση του διαθέσιμου κεφαλαίου

Development of an Integrated Optimization Model for Budget Allocation for the Upgrade of Greek Passenger Ports

Louvenia Chomata

Supervisors:

George Yannis, Professor NTUA

Nikolas Lagaros, Assistant Professor NTUA

Konstatinos Kepaptsoglou, Lecturer NTUA

The present diploma thesis aims to build an optimization model that will allocate in the best possible way a constrained budget for the upgrade of the 12 most important Greek Passenger Ports. On that purpose, mathematical models are developed based on the principles of the linear integral programming. These mathematical models are solved through an objective function, which includes two distinct parameters that depict the importance of those 12 Greek passenger ports and the infrastructure projects, chosen to be implemented for their upgrade. Having as a constraint the initial available budget, the objective function needs to be maximized during the optimization process and 10 different optimization scenarios are solved in total and the results of their solutions are synthesized so that useful conclusions can be drawn. From the models it was derived that the parameters having a non-linear impact to the optimum project budget distribution are the budget size, the projects' cost, the investments' escalation and the ports and activities assessment coefficients. It was found that the return brought to the ports from the projects is not increasing proportionally with the increase of the available funds.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επίτευξη της βέλτιστης κατανομής χρηματικών πόρων για την υλοποίηση λιμενικών έργων υποδομής με στόχο τη μέγιστη δυνατή αναβάθμιση των 12 σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων. Για το σκοπό αυτό προβλέπεται η ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης το οποίο στηρίζεται στις αρχές της θεωρίας του γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού.

Η **συλλογή στοιχείων** έγινε μέσω των δικτυακών τόπων των αντίστοιχων 12 οργανισμών Λιμένων που επιλέχθηκαν ως τα σημαντικότερα, αλλά και από άλλες σχετικές μελέτες. Τα στοιχεία αυτά είναι αντιπροσωπευτικά του μεγέθους, της επισκεψιμότητας και της οικονομικής δυναμικής των λιμένων.

Οι **παράμετροι** που εισάγονται στο μοντέλο είναι ο **συντελεστής σημασίας** που επιλέχθηκε για κάθε λιμένα και ο **συντελεστής μεταβολής της απόδοσης** που επιφέρει η υλοποίησης ενός λιμενικού έργου υποδομής στον κάθε λιμένα.

Το μοντέλο επιλύεται μέσω **αντικειμενικής συνάρτησης** στην οποία εισάγονται οι δύο παραπάνω συντελεστές και η οποία εκφράζει την απόδοση της συνολικής αναβάθμισης των λιμένων. Στόχος μέσω της βελτιστοποίησης είναι η μεγιστοποίηση της.

Βασικός **περιοριστικός παράγοντας** είναι ο προϋπολογισμός που είναι διαθέσιμος για την ενεργοποίηση έργων αναβάθμισης των 12 λιμένων στη διάρκεια τριών ετών.

Επιλέγονται συνολικά **7 έργα υποδομής** τα οποία αφορούν στην επέκταση κρηπιδωμάτων, την επέκταση λιμενικής πλατφόρμας, την εκβάθυνση λιμένα, περιβαλλοντικές υποδομές και αναβάθμιση υπαρχουσών λιμενικών υποδομών.

Συνολικά πραγματοποιούνται **10 σενάρια βελτιστοποίησης** κατανομής του αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους είτε ως προς το μέγεθος του αρχικού προϋπολογισμού είτε ως προς το κόστος υλοποίησης των λιμενικών έργων υποδομής. Αυτά τα σενάρια διαχωρίζονται σε σενάρια χαμηλού, μεσαίου και υψηλού προϋπολογισμού αλλά σε σενάρια για 10% αυξημένο ή μειωμένο αντίστοιχα κόστος υλοποίησης ενεργειών. Κάθε σενάριο εφαρμόζεται και για μετακύλιση προϋπολογισμού, όπου το κεφάλαιο που δεν αξιοποιείται μία χρονιά μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί τις επόμενες.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων δημιουργούνται πίνακες που δείχνουν ποιες ενέργειες ενεργοποιούνται και ποιες όχι σε όλους τους λιμένες για κάθε σενάριο ξεχωριστά.

Από τους πίνακες αυτούς σχηματίζεται **συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων** στον οποίο εισάγονται τα σημαντικότερα στοιχεία που προκύπτουν από την εφαρμογή των 10 διαφορετικών σεναρίων βελτιστοποίησης.

Πίνακας 6 Π1 Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων

Συγκριτικά Στοιχεία Προβλήματα Βελτιστοποίησης	Σύνολο Αρχικού Διαθέσιμου Προυπολογισμού	Μέγιστη Τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών στους 3 Σημαντικότερους Λιμένες	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών στους 4 Λιγότερο Σημαντικούς Λιμένες	Ενεργοποιήσιμες Ενέργειες στους Σημαντικότερους Λιμένες / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Φορές Ενεργοποίησης των Σημαντικότερων Ενεργειών / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Καταμερισμός Ενεργοποίησης Ενεργειών
1.Χαμηλός Προυπολογισμός χωρίς μετακύλιση	30.000.000	29.11	17	13	0	0.76	0.53	ομοιόμορφη
2.Χαμηλός Προυπολογισμός με μετακύλιση	30.000.000	29.31	14	14	0	1.00	0.71	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
3.Μεσαίος Προυπολογισμός με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	75.000.000	55.74	33	14	0	0.40	0.77	ομοιόμορφη
4.Μεσαίος Προυπολογισμός με μετακύλιση με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	75.000.000	55.74	33	14	0	0.43	0.77	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
5. Μεσαίος Προυπολογισμός χωρίς μετακύλιση	75.000.000	58.61	35	14	3	0.42	0.73	ομοιόμορφη
6.Μεσαίος Προυπολογισμός με μετακύλιση	75.000.000	58.92	35	15	3	0.42	0.73	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
7.Μεσαίος Προυπολογισμός με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	75.000.000	63.27	42	16	7	0.38	0.64	ομοιόμορφη
8.Μεσαίος Προυπολογισμός με μετακύλιση με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	75.000.000	63.12	39	15	6	0.38	0.79	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
9. Υψηλός Προυπολογισμός χωρίς μετακύλιση	120.000.000	78.74	54	18	13	0.33	0.69	ομοιόμορφη
10. Υψηλός Προυπολογισμός με μετακύλιση	120.000.000	79.23	55	18	14	0.33	0.67	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος

Με βάση τα αποτελέσματα της διπλωματικής προέκυψαν μια σειρά από χρήσιμα συμπεράσματα

- Οι **παράγοντες που επηρεάζουν αλλά όχι με γραμμικό τρόπο την βέλτιστη κατανομή πόρων** σε έργα αναβάθμισης είναι το μέγεθος του προϋπολογισμού, το κόστος των έργων, η κλιμάκωση των επενδύσεων στο χρόνο και οι συντελεστές αξιολόγησης λιμένων και ενεργειών έτσι όπως έχουν οριστεί.
- Η **απόδοση** που επιφέρει η υλοποίηση των έργων υποδομής στους λιμένες **δεν αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση του διαθέσιμου κεφαλαίου**. Στα πρώτα στάδια αύξησης του κεφαλαίου η απόδοση των λιμένων αυξάνεται περίπου αναλογικά αλλά στη συνέχεια όσο μεγαλώνει ο προϋπολογισμός η αύξηση της απόδοσης επιβραδύνεται. Αυτό φαίνεται λογικό καθώς η μεταβολή του αποτελέσματος είναι πάντα θεαματική στα αρχικά στάδια, όσο εξελίσσεται προς το καλύτερο μία διαδικασία τόσο πιο μεγάλες γίνονται οι απαιτήσεις προκειμένου να σημειωθεί ακόμα καλύτερο αποτέλεσμα.
- Σε όλες τις εφαρμογές προβλημάτων βελτιστοποίησης με **μετακύλιση κεφαλαίου, το σύνολο των ενεργειών ενεργοποιείται στο τρίτο έτος** που είναι και το τελευταίο. Αυτό σημαίνει ότι το βέλτιστο σενάριο επέρχεται όταν πραγματοποιείται **συσσώρευση του κεφαλαίου** και δεν υπάρχουν ενδιάμεσοι περιορισμοί. Καλύτερα αξιοποιείται δηλαδή το κεφάλαιο στο σύνολο του παρά όταν επιμερίζεται. Οι επιμέρους περιορισμοί κεφαλαίου λοιπόν δυσχεραίνουν και δεν ευνοούν την βελτιστοποίηση και μειώνουν την αποτελεσματικότητα της επένδυσης.
- Το **80% των σεναρίων** που εξετάστηκαν **είναι πιο αποδοτικά όταν προβλέπουν μετακύλιση κεφαλαίου**. Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που δηλώνει τη συνολική απόδοση της αναβάθμισης των λιμένων λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή ενώ συνήθως το μέρος του αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου που παραμένει αναξιοποίητο είναι μικρότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται περισσότερα έργα υποδομής. Όταν το αναξιοποίητο κεφάλαιο μιας χρονιά δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί την επόμενη, είναι ενδεχομένως λογικό τις περισσότερες φορές να επενδύεται μικρότερο μέρος του προϋπολογισμού.

- **Μία μεταβολή κόστους ενεργειών κατά 10%** δεν σημαίνει ότι θα επιφέρει αντίστοιχη αύξηση/μείωση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης ή του αριθμού των υλοποιήσιμων ενεργειών. Στη συγκεκριμένη μελέτη παρατηρείται αισθητή μεταβολή της απόδοσης μόνο στην περίπτωση μείωσης του κόστους κατά 10% και όχι τόσο στην περίπτωση αύξησης του κόστους κατά 10%.
- **Η συχνότητα ενεργοποίησης των ενεργειών δεν αυξάνεται το ίδιο** για τις ενέργειες που διαθέτουν τους ίδιους συντελεστές μεταβολής απόδοσης λιμένων (ΔΧ). Τόσο τα διαφορετικά κόστη των ενεργειών αλλά και οι επιμέρους περιορισμοί υλοποίησης ενεργειών που τίθενται παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργοποίηση τους. Για παράδειγμα η συχνότητα ενεργοποίησης μίας ενέργειας με συντελεστή απόδοσης 1.5 μπορεί διπλασιάζεται κατά το υψηλό σενάριο προϋπολογισμού ενώ μία ενέργεια με αντίστοιχο συντελεστή να διπλασιάζεται για το μεσαίο σενάριο προϋπολογισμού.
- **Το μέσο κόστος ανά υλοποιήσιμη ενέργεια** ελαχιστοποιείται για το σενάριο χαμηλού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος δεν μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των έργων που υλοποιούνται, το οποίο επιτυγχάνεται στα σενάρια υψηλού προϋπολογισμού. Το μέσο κόστος ανά υλοποιήσιμη ενέργεια επηρεάζεται από τον προϋπολογισμό που είναι διαθέσιμος.
- **Τα ποσοστά των πιο σημαντικών ενεργειών** που υλοποιούνται και εκείνων που υλοποιούνται **στους πιο σημαντικούς λιμένες ως προς το σύνολο** των υλοποιήσιμων ενεργειών, είναι υψηλότερα για τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού. Συνεπώς, τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού κρίνονται πιο αποδοτικά με βάση αυτούς τους δείκτες.
- **Σε περίπτωση χαμηλού προϋπολογισμού** δίνεται μεγάλη έμφαση και προτεραιότητα στην υλοποίηση έργων στους σημαντικούς λιμένες. Δηλαδή ο αριθμός ενεργοποιήσιμων ενεργειών στους σημαντικούς λιμένες μεταβάλλεται πολύ λιγότερο όσο αυξάνεται ο προϋπολογισμός από ότι ο αριθμός ενεργοποιήσιμων ενεργειών στους μη σημαντικούς λιμένες. Αν λοιπόν επιδιώκεται να αυξηθεί η απόδοση των σημαντικών λιμένων, πιο αποδοτικά από πλευράς συνδυασμού επένδυσης-αποτελέσματος, κρίνονται τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού.

- Η **βελτιστοποίηση** αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη καθώς καθιστά τον μόνο τρόπο με τον οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί βέλτιστα ένα χρηματικό κεφάλαιο ανάλογα με τα κριτήρια που θεωρούνται σημαντικά κάθε φορά. Οδηγεί δηλαδή στην επίτευξη βέλτιστου συνδυασμού απόδοσης και κόστους. Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μπορούν να φανούν χρήσιμα και στην περίπτωση βελτιστοποίησης επενδύσεων και άλλων λιμένων και άλλων έργων (συγκοινωνιακής και μη) υποδομής, μετά βέβαια από τις κατάλληλες προσαρμογές στις ειδικές συνθήκες κάθε περίπτωσης.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	12
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	19
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	19
2.2 ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΈΡΕΥΝΕΣ	20
2.3 ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΟΨΗ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	36
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	36
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	36
3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	36
3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	41
3.4 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	45
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ	45
4.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	46
<i>Πίνακας 4.1 Π1 Μέσος Όρος Ετήσιων Εισερχόμενων και Εξερχόμενων Επιβατών για κάθε Λιμένα</i>	<i>46</i>
<i>Διάγραμμα 4.1 Δ1 Μέσος Όρος Ετήσιου Αριθμού Επιβατών.....</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 4.1 Π2 Μήκος των κρηπιδωμάτων για κάθε Λιμένα</i>	<i>48</i>
<i>Διάγραμμα 4.1 Δ2 Μήκος Κρηπιδωμάτων για κάθε Λιμένα</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 4.1 Π3 Ετήσια Λειτουργικά Έξοδα σε 1000.000 Ευρώ για κάθε Λιμένα</i>	<i>50</i>
4.3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	51
<i>Πίνακας 4.3 Π1 Συντελεστής Απόδοσης Λειτουργικά Έξοδα ανά Επιβάτες</i>	<i>52</i>
<i>Πίνακας 4.2 Π2 Συντελεστής απόδοσης Επιβάτες ανά Μήκος Κρηπιδωμάτων</i>	<i>53</i>
4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ	54
4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	56
<i>Εικόνα 4.1 Ε1 Διαμόρφωση Αντικειμενικής Συνάρτησης.....</i>	<i>60</i>
4.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	62
4.5.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΟΥ ΕΙΣΑΓΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ.....	62
<i>Διάγραμμα 4.5.1 Δ1 Τιμές Συντελεστών Μεταβολής Απόδοσης ΔΧ από 0,7 έως και 2 ...</i>	<i>63</i>

Διάγραμμα 4.5.1 Δ2 Τιμές Συντελεστή Μεγέθους/Σημασίας B από 0.7 έως και 2.....	64
4.5.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	65
Διάγραμμα 4.5.2 Δ1 Τρία διαφορετικά σενάρια Προϋπολογισμού	66
Πίνακας 4.5.2 Π1 Συνολικό κόστος επένδυσης κάθε ενέργειας σε κάθε λιμένα	67
4.5.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ	69
4.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΣΩ EXCEL	70
Εικόνα 4.6 Ε1 Προσθήκη Open Solver στο Microsoft Excel	70
Εικόνα 4.6 Ε2 Μοντέλο Βελτιστοποίησης στο Open Solver	71
Εικόνα 4.6 Ε3 Μοντέλο Βελτιστοποίησης στο Open Solver για το Συγκεκριμένο Πρόβλημα.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	73
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	73
5.1 ΧΑΜΗΛΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	74
Πίνακας 5.1 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Χαμηλό Προϋπολογισμό Χωρίς Μετακύλιση	74
5.2 ΧΑΜΗΛΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	76
Πίνακας 5.2 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Χαμηλό Προϋπολογισμό με Μετακύλιση	76
5.3 ΜΕΣΑΙΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ.....	78
Πίνακας 5.3 Π1 Ενεργοποίησης Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό Χωρίς Μετακύλιση	78
5.4 ΜΕΣΑΙΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	80
Πίνακας 5.4 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση	80
5.5 ΜΕΣΑΙΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ 10% ΑΥΞΗΜΕΝΑ ΚΟΣΤΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ	82
Πίνακας 5.5 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών	82
5.6 ΜΕΣΑΙΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ 10% ΑΥΞΗΜΕΝΑ ΚΟΣΤΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	84
Πίνακας 5.6 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση για 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών	84
5.7 ΜΕΣΑΙΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ 10% ΜΕΙΩΜΕΝΑ ΚΟΣΤΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ	85
Πίνακας 5.7 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση για 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών	85
5.8 ΜΕΣΑΙΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ ΜΕ 10% ΜΕΙΩΜΕΝΑ ΚΟΣΤΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ	86
Πίνακας 5.8 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση για 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών	86
5.9 ΥΨΗΛΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΩΡΙΣ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	87
Πίνακας 5.2 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Υψηλό Προϋπολογισμό χωρίς Μετακύλιση	87
5.10 ΥΨΗΛΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΚΥΛΙΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	88
Πίνακας 5.2 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Υψηλό Προϋπολογισμό με Μετακύλιση	88
5.11 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	89
Πίνακας 5.11. Π1 Συνθετικός Πίνακας Σύγκρισης των Δέκα Προβλημάτων Βελτιστοποίησης	90

<i>Πίνακας 5.11 Π2 Συγκεντρωτικός Πίνακας Σύγκρισης των Δέκα Προβλημάτων Βελτιστοποίησης Ανάλογα με τη Συχνότητα Υλοποίησης των ενεργειών.....</i>	95
<i>Πίνακας 5.11 Π3 Συγκεντρωτικός Πίνακας Σύγκρισης των Δέκα Προβλημάτων Βελτιστοποίησης</i>	97
5.12 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	99
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	99
6.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	99
<i>Πίνακας 6 Π1 Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων.....</i>	100
6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ	101
6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΈΡΕΥΝΑ.....	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105

Κεφάλαιο I

Ε ι σ α γ ω γ ή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Η **ναυτιλία** από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των κοινωνιών πρωταγωνίστησε στην εξάπλωση των πολιτισμών και του εμπορίου. Οι πολιτισμοί εξαπλώθηκαν μέσω της θάλασσας, νέες περιοχές ανακαλύφθηκαν και κατακτήθηκαν, το θαλάσσιο εμπόριο άνθισε και έδωσε την δυνατότητα σε απομονωμένους πολιτισμούς να γνωρίσουν προϊόντα άλλων περιοχών.

Η σημασία των θαλάσσιων μεταφορών αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο μέχρι και σήμερα σε **παγκόσμιο επίπεδο** καθώς οι θαλάσσιες μεταφορές συμβάλλουν κατά μεγάλο ποσοστό στο παγκόσμιο εμπόριο. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Εμπορίου περίπου το 90% του διεθνούς εμπορίου πραγματοποιείται σήμερα δια θαλάσσης. Τα **πλεονεκτήματα του θαλάσσιου εμπορίου** είναι πολλά μεταξύ των οποίων είναι η ταχύτητα, η εξοικονόμηση ενέργειας, το χαμηλότερο κόστος καθώς και η προστασία του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά στο **συνολικό εμπόριο της Ευρώπης** το 2008, το 45,1% της αξίας και το 69,3% του όγκου πραγματοποιήθηκε επίσης δια θαλάσσης (Διεθνής Ελληνικοί Λιμένες Απαιτείται Άμεσα Αλλαγή Πλεύσεως). Σήμερα η παγκοσμιοποίηση τροφοδοτεί ολοένα και περισσότερο τις εξελίξεις στους Ευρωπαϊκούς εμπορευματικούς λιμένες στους οποίους η ανάπτυξη επιβάλλεται από τις εξελίξεις στο διεθνές οικονομικό περιβάλλον. Η ραγδαία ανάπτυξη της Ινδίας και της Κίνας και η αύξηση της αγοραστικής δύναμης των χωρών της Μαύρης Θάλασσας, αυξάνουν την ζήτηση για προϊόντα, ενώ η διεύρυνση και η περεταίρω ενοποίηση της αγοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης διευκολύνει το ενδοκοινοτικό εμπόριο. Η **Ocean Shipping Consultants** εκτιμά ότι η διακίνηση στην Ανατολική Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα θα είναι αυξημένα κατά 136% το 2015 σε σχέση με το 2006 .

Κατά συνέπεια, η **αποτελεσματική και αποδοτική λειτουργία των λιμένων** μιας χώρας αποτελεί βασικό παράγοντα που προσδιορίζει τη διεθνή ανταγωνιστικότητα και την ελκυστικότητα για ξένες επενδύσεις. Για αυτό το λόγο από το 1990 η Ευρωπαϊκή επιτροπή επιδιώκει τον εκσυγχρονισμό της λειτουργίας των Ευρωπαϊκών λιμένων μέσω της θέσπισης κανόνων που αφορούν στην αποτελεσματική χρηματοδότηση της ανάπτυξής τους, στην αύξηση της δυναμικότητας και της παραγωγικότητας τους, στην ενίσχυση του ανταγωνισμού τους στην παροχή λιμενικών υπηρεσιών αλλά και στην ανάπτυξη του δικτύου τους.



Πέρα από όλα τα στατιστικά στοιχεία που επιβεβαιώνουν τη σημασία τόσο του παγκόσμιου όσο και του ευρωπαϊκού θαλάσσιου εμπορίου, η **Ελλάδα** έχει έναν παραπάνω λόγο για να θεωρείται πολύ σημαντική δύναμη στον κλάδο αυτό. Ανήκει στις χώρες που πλεονεκτούν λόγω της **γεωγραφικής τους θέσης**. Η Ελλάδα βρίσκεται στην νοτιοανατολική Ευρώπη, στο νοτιότερο άκρο της Βαλκανικής χερσονήσου. Βρίσκεται στο σημείο συνάντησης τριών ηπείρων, της Ευρώπης, της Ασίας αλλά και της Αφρικής. Ακόμη η θέση της είναι κομβική για τις θαλάσσιες μεταφορές καθώς βρίσκεται στο κέντρο τριών μεγάλων θαλάσσιων δρόμων. Ανατολικά μέσω της θάλασσας του Αιγαίου ενώνεται με τις βαλκανικές χώρες και τις χώρες του Εύξεινου Πόντου (Μαύρη Θάλασσα), δυτικά μέσω της θάλασσας του Ιονίου ενώνεται με την νότια Ευρώπη και νότια ενώνεται με τις χώρες της βορείου Αφρικής, αλλά και τους θαλάσσιους δρόμους που οδηγούν στο κανάλι του Σουέζ. Διαθέτοντας λοιπόν 16.000 χιλιόμετρα ακτογραμμής εκ των οποίων τα 7.500 βρίσκονται γύρω από τα 2.000 νησιά και τις νησίδες του ελληνικού αρχιπελάγους, η Ελλάδα κατατάσσεται ανάμεσα στις χώρες με τη μεγαλύτερη στρατηγική σημασία για το θαλάσσιο εμπόριο. Έτσι η Ελλάδα έχει ένα εκτεταμένο θαλάσσιο δίκτυο μεταφορών που εξυπηρετεί πολλές περιοχές και το οποίο μπορεί να διευρυνθεί ακόμα περισσότερο.

Η Ελλάδα έχει στη διάθεσή της περισσότερα από **140 εμπορικά και επιβατικά λιμάνια**, οι σημαντικότερες κατηγορίες αυτών αναφέρονται παρακάτω.

- **Λιμάνια Ηπειρωτικής Ελλάδος** στα οποία συμπεριλαμβάνονται ο Άγιος Κωνσταντίνος, η Αλεξανδρούπολη, Βόλος, Ερμιόνη, η Ηγουμενίτσα, η Θεσσαλονίκη, η Καλαμάτα, η Καβάλα, η Κυλλήνη, το Λαύριο, η Πάτρα, ο Πειραιάς, το Πόρτο Χέλι και η Ραφήνα.
- **Λιμάνια νησιών Σαρωνικού** στα οποία συμπεριλαμβάνονται η Αίγινα, το Αγκίστρι, ο Πόρος, οι Σπέτσες και η Ύδρα.
- **Λιμάνια των Κυκλάδων** στα οποία συμπεριλαμβάνονται η Αμοργός, η Ανάφη, η Άνδρος, η Αντίπαρος, η Δήλος, η Ίος, η Κέα (Τζιά), η Κίμωλος, η Κύθνος, η Μήλος, η Μύκονος, η Νάξος, η Πάρος, η Σαντορίνη (Θήρα), η Σέριφος, η Σίκινος, η Σίφνος, η Σύρος, η Τήνος, η Φολέγανδρος, καθώς και οι "Μικρές Κυκλάδες" που αποτελούνται από τα νησιά Δονούσα, Ηρακλεία, Κουφονήσια και Σχοινούσα.
- **Λιμάνια της Κρήτης** στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα Χανιά (Σούδα), το Ηράκλειο, το Λασίθι (Άγιος Νικόλαος, Σητεία) αλλά και το Ρέθυμνο.
- **Λιμάνια των Δωδεκανήσων** στα οποία συμπεριλαμβάνονται η Αστυπάλαια, η Χάλκη, η Κάλυμνος, η Κάρπαθος, η Κάσος, η Κως, η Λέρος, η Νίσυρος, η Πάτμος, η Ρόδος, η Σύμη και η Τήλος.
- **Λιμάνια των νησιών του Βορειοανατολικού Αιγαίου** στα οποία συμπεριλαμβάνονται η Θάσος, η Ικαρία, η Λέσβος, η Λήμνος, η Σάμος, η Σαμοθράκη και η Χίος.
- **Λιμάνια των νησιών των Σποράδων** στα οποία συμπεριλαμβάνονται η Αλόνησος, η Σκιάθος, η Σκόπελος και η Σκύρος.
- **Λιμάνια των Ιονίων νησιών** στα οποία συμπεριλαμβάνονται η Κέρκυρα, η Ιθάκη, η Κεφαλονιά, τα Κύθηρα, η Λευκάδα, το Μανδράκι, το Μεγανήσι, οι Παξοί και η Ζάκυνθος.

Με βάση τα παραπάνω εξάγεται εύκολα το συμπέρασμα ότι στην Ελλάδα υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης των πολυάριθμων λιμένων και προς όφελος άλλων οικονομικών

κλάδων πέραν του διεθνούς εμπορίου αγαθών, όπως του τουρισμού καθώς η χώρα μας αποτελεί πόλο έλξης πολλών Ευρωπαίων και όχι μόνο.

Για τον λόγο αυτό στην Ελλάδα εξέχουσας σημασίας είναι οι **επιβατικοί λιμένες** μέσω των οποίων διακινούνται **ετησίως άνω των 90 εκατομμυρίων επιβατών**, κατοίκων αλλά και τουριστών οι οποίοι είναι πολλοί περισσότεροι από εκείνους που διακινούνται σε άλλες χώρες. Ο παρακάτω πίνακας είναι ενδεικτικός για την κατανόηση των μεγεθών.

Επιβάτες ακτοπλοϊκών μεταφορών (εκατ.)

	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Ελλάδα	90,40	86,07	96,74	102,76	101,21	50,15	27,87
Ιταλία	62,25	78,75	83,32	82,58	48,18	86,88	86,38
Δανία	48,15	47,92	48,56	48,65	32,11	47,86	51,38
Σουηδία	32,33	32,62	33,32	32,75	35,62	32,35	36,57
Ην. Βασίλειο	29,90	30,21	32,84	33,71	35,62	34,52	33,85
Γερμανία	29,26	29,49	29,82	32,15	33,22	31,82	31,38
Γαλλία	24,19	25,80	27,07	27,41	29,11	27,72	27,88
Ισπανία	22,17	22,41	21,69	20,04	18,95	18,62	14,58
Φινλανδία	16,74	17,11	16,81	16,34	16,58	16,73	15,96

Πηγή: Eurostat

Η Ελλάδα βρίσκεται στην **πρώτη θέση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη θαλάσσια διακίνηση επιβατών**, κυρίως λόγω των πολυάριθμων νησιωτικών προορισμών της που καθιστά αναγκαστική την ύπαρξη πολλών ακτοπλοϊκών γραμμών για την εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο.

Το πλήθος των νησιών της χώρας συγχρόνως με τα ιστορικά μνημεία που έχει να επιδείξει σε συνδυασμό με της φυσικές ομορφιές της είναι τα χαρακτηριστικά της Ελλάδας που αποτελούν πόλο έλξης των τουριστών.

Εύκολα γίνεται αντιληπτή η σπουδαιότητα των ελληνικών λιμένων για τη χώρα, αλλά και η μεγάλη τους σημασία για την οικονομία. Παρ' όλα αυτά όμως, η ανάπτυξη πολλών ελληνικών λιμένων είναι μέχρι σήμερα μη ικανοποιητική.

Οι **ελλιπείς υποδομές των ελληνικών λιμένων** έχουν επιπτώσεις τόσο στις τοπικές οικονομίες όσο και στην εθνική. Οι υπάρχουσες υποδομές δεν μπορούν να παρέχουν τις απαιτούμενες υπηρεσίες, δεν καθιστούν ασφαλείς τους λιμένες τόσο για τη διακίνηση των πλοίων όσο και για τη διακίνηση των επιβατών και δεν διαθέτουν επαρκή εξοπλισμό.

Ως απόρροια των παραπάνω, η μετακίνηση των επιβατών στους λιμένες γίνεται συχνά δύσκολη και δεν ικανοποιείται πάντα η ζήτηση, ειδικά κατά τους θερινούς μήνες. Προκειμένου να μπορέσουν να αξιοποιηθούν οι λιμένες θα πρέπει **κατασκευαστούν έργα υποδομής**, όπως επιβατικοί σταθμοί αλλά και να επεκταθούν οι υφιστάμενες υποδομές. Η αναβάθμιση του υπάρχοντος εξοπλισμού είναι επίσης απαραίτητη για την ασφάλεια των πλοίων και των επιβατών. Η υφιστάμενη κατάσταση δεν αποτελεί πάντα διαφήμιση της χώρας ως τουριστικό προορισμό και γίνεται κατανοητό ότι είναι αναγκαία η ανάπτυξη σύγχρονων λιμενικών υποδομών συμβατών με την αύξηση της τουριστικής κίνησης αλλά και των νεότευκτων πλοίων.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Με βάση τα παραπάνω, δεδομένης τόσο της σημασίας των ελληνικών λιμένων για τις τοπικές και τη διεθνή οικονομία αλλά και του γεγονότος ότι πολλά ελληνικά λιμάνια στερούνται των απαραίτητων υποδομών ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στην αυξανόμενη ζήτηση των επιβατών αλλά και στον αριθμό των πλοίων που τα επισκέπτονται, επιλέχθηκε ως αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας **η αξιολόγηση της αναβάθμισης των υποδομών των δώδεκα σπουδαιότερων λιμένων της Ελλάδος**. Τα δώδεκα σπουδαιότερα λιμάνια της Ελλάδος είναι εκείνα στα οποία πραγματοποιείται ο μεγαλύτερος όγκος κίνησης επιβατών και εμπορευμάτων αλλά και τα οποία είναι μέγιστης στρατηγικής και εμπορικής σημασίας για την Ελλάδα.

Τα **δώδεκα σπουδαιότερα λιμάνια** της Ελλάδος είναι τα εξής:

- Λιμένας Πειραιά
- Λιμένας Θεσσαλονίκης
- Λιμένας Αλεξανδρούπολης
- Λιμένας Καβάλας
- Λιμένας Βόλου
- Λιμένας Ραφήνας
- Λιμένας Λαυρίου
- Λιμένας Ελευσίνας
- Λιμένας Πάτρας
- Λιμένας Ηγουμενίτσας
- Λιμένας Κερκύρας
- Λιμένας Ηρακλείου

Η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία έχει **στόχο την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μοντέλου βέλτιστης κατανομής προϋπολογισμών για την αναβάθμιση των κύριων επιβατικών λιμένων της Ελλάδας**. Πιο συγκεκριμένα, επιχειρείται η βελτιστοποίηση της κατανομής ενός αρχικού υποθετικού χρηματικού κεφαλαίου προκειμένου να επιτευχθεί η αναβάθμιση των υπαρχουσών υποδομών των δώδεκα σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων.

Για τον λόγο αυτό αναπτύσσεται **μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης** με εφαρμογή στον επιστημονικό κλάδο της επιχειρησιακής έρευνας και βελτιστοποίησης για μηχανικούς. Πιο συγκεκριμένα βασίζεται στο πρόβλημα του αkéραιου προγραμματισμού της μορφής «0-1». Τέτοιου είδους προβλήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ένα σημαντικό τομέα της επιχειρησιακής έρευνας που αφορά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων όπου οι εναλλακτικές επιλογές είναι της μορφής «ναι ή όχι». Αποφάσεις όπως για παράδειγμα αν θα προβεί μια επιχείρηση σε μια συγκεκριμένη επένδυση ή όχι ή και το αν θα κατασκευαστεί ή όχι κάποιο έργο.

Για την επίτευξη του τελικού στόχου χρησιμοποιήθηκαν με ορθολογικό τρόπο μια σειρά από **απαραίτητα στοιχεία** που απαιτούνται για την ανάπτυξη και εφαρμογή του μοντέλου. Τέτοια στοιχεία είναι ο φόρτος κίνησης των επιβατικών λιμένων, οικονομικά στοιχεία που αφορούν στα λειτουργικά έξοδα των λιμένων καθώς και στοιχεία που αφορούν στην μορφολογία των λιμένων. Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και την συνεπακόλουθη ανάλυσή τους, επιχειρήθηκε η διαμόρφωση των κατάλληλων δεικτών για την αξιολόγηση της απόδοσης των επιβατικών λιμένων, η οποία πρέπει να αυξηθεί μέσω της αναβάθμισης των λιμενικών υποδομών. Επίσης θα αξιολογηθούν και θα επιλεγούν οι πιο κατάλληλες ενέργειες αναβάθμισης που θα αποφέρουν την μεγαλύτερη απόδοση στους δώδεκα εξεταζόμενους λιμένες.

Το έναυσμα για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος δόθηκε από το γεγονός ότι παρότι υπάρχει η ανάγκη αναβάθμισης των υφιστάμενων λιμένων προκειμένου να γίνουν ανταγωνιστικοί σε παγκόσμιο επίπεδο και να στηρίξουν την ελληνική οικονομία, **δεν έχει πραγματοποιηθεί ξανά στην Ελλάδα κάποια δράση συνδυασμένης αναβάθμισης των δώδεκα σπουδαιότερων λιμένων** αλλά ούτε και έχει υλοποιηθεί αντίστοιχη έρευνα για το πώς αυτό θα μπορούσε να τεκμηριωθεί και να υλοποιηθεί. Παραδείγματος χάριν, το επενδυτικό πρόγραμμα που πρόσφατα ανακοινώθηκε από τον Οργανισμό Λιμένος Πειραιά για το διάστημα 2012-2016 αναφέρεται στην κατανομή χρηματικών πόρων που αφορούν στην ανάπτυξη υποδομών μόνο στον συγκεκριμένο λιμένα.

Ένας ακόμη λόγος που οδήγησε στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος είναι το γεγονός ότι επειδή τα περισσότερα λιμάνια παγκοσμίως αφορούν στη διακίνηση εμπορευμάτων και οι περισσότερες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί είναι πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο πολύ λίγες μελέτες παρέχουν πληροφορίες για βελτιστοποίηση κατανομής πόρων με στόχο την **αναβάθμιση επιβατικών λιμένων**. Άλλωστε, τα επιβατικά λιμάνια στην Ελλάδα αποτελούν έναν πολύ σημαντικό τομέα, αφού όπως ήδη αναφέρθηκε η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στην Ευρώπη στη θαλάσσια διακίνηση επιβατών.

Κ ε φ ά λ α ι ο 2

Β ι β λ ι ο γ ρ α φ ι κ ή Α ν α σ κ ό π η σ η

2.1 Γενικά

Καθοριστικό ρόλο για την επίτευξη του στόχου της διπλωματικής εργασίας παίζει ο καθορισμός των δεικτών της απόδοσης των λιμένων αλλά και το είδος των έργων υποδομής που υλοποιούνται προκειμένου να βελτιωθεί η υπάρχουσα απόδοση. **Προκειμένου να επιλεχθούν** με τον πιο ορθολογιστικό και τεκμηριωμένο τρόπο τόσο οι **δείκτες της απόδοσης** των λιμένων αλλά και το **είδος των επενδύσεων** που θα επιφέρουν την καλύτερη δυνατή αναβάθμιση, πραγματοποιήθηκε ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση περιλαμβάνει κυρίως δημοσιεύσεις μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί διεθνώς σχετικές με το αντικείμενο της αναβάθμισης λιμενικών υποδομών, τόσο για επιβατικούς όσο και για εμπορευματικούς λιμένες.

2.2 Συναφείς Έρευνες

Η **πρώτη** εργασία που εξετάστηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο **“Determinants of Port Performance and Efficiency”** και έχει συγγραφεί από τον Jose L. Tongzo στο εθνικό Πανεπιστήμιο της Σιγκαπούρης στο τμήμα Οικονομικών επιστημών και Στατιστικής το 1994. Η συγκεκριμένη μελέτη έχει στόχο να προσδιορίσει τους παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση και την αποδοτικότητα των λιμένων αλλά και να ποσοτικοποιήσει τη συνεισφορά συγκεκριμένων παραγόντων στη συνολική αναβάθμιση της επίδοσης των λιμένων. Για το λόγο χρησιμοποιείται ένα δείγμα είκοσι τριών λιμένων και αναπτύσσεται μοντέλο στο οποίο δοκιμάζονται οι διάφοροι συντελεστές που παίζουν ρόλο στον καθορισμό της συνολικής επίδοσης αυτών των λιμένων.

Ο συγγραφέας της συγκεκριμένης εργασίας ισχυρίζεται ότι καθώς τα κράτη πλέον λειτουργούν σε παγκόσμιο επίπεδο και οι υπηρεσίες που παρέχουν σε όλα τα επίπεδα είναι εκτεθειμένες στον παγκόσμιο ανταγωνισμό έτσι και οι υπηρεσίες που παρέχονται από τους λιμένες των κρατών θα πρέπει να αξιολογούνται σε παγκόσμιο επίπεδο. Συνεπώς, η συγκεκριμένη μελέτη είναι αρκετά αντιπροσωπευτική καθώς οι εμπορευματικοί λιμένες που συμπεριλαμβάνονται στο δείγμα βρίσκονται σε τελείως διαφορετικές χώρες και ηπείρους ανά τον κόσμο. Έτσι λοιπόν στο δείγμα συμπεριλαμβάνονται λιμένες χωρών όπως Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία, Ηνωμένες Πολιτείες, Ταϊλάνδη, Ινδία, Αγγλία, Χονγκ Κόνγκ, Ταιβάν, Μαλαισία, Σιγκαπούρη, Φιλιππίνες, Ινδονησία, Καναδάς και Βέλγιο.

Το μοντέλο που αναπτύσσεται στη συγκεκριμένη εργασία μετράει την αποδοτικότητα των παραπάνω **εμπορευματικών λιμένων** με βάση τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται μέσω του κάθε λιμένα. Δηλαδή τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων που φορτώνει και ξεφορτώνει το κάθε πλοίο όση ώρα είναι αγκυροβολημένο. Ο συγκεκριμένος δείκτης επηρεάζει την απόδοση του λιμένα καθώς μέσω της μορφής των εμπορευματοκιβωτίων καθορίζεται και η χρέωση που επωμίζεται ο κάθε πλοιοκτήτης.

Ο τύπος, το μέγεθος, ο αριθμός και ο όγκος των **εμπορευματοκιβωτίων** καθορίζεται κυρίως από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τη γεωγραφική θέση του λιμένα
- Τη συχνότητα των διερχομένων πλοίων στο λιμάνι
- Τις χρεώσεις που προβλέπει ο κάθε λιμένας
- Την οικονομική δραστηριότητα και τις υπηρεσίες που παρέχει ο κάθε λιμένας
- Την απόδοση του λιμένα που υπολογίζεται σε αριθμό εμπορευματοκιβωτίων ανά κρηπίδωμα ανά ώρα

Η **απόδοση του λιμένα** προσδιορίζεται κυρίως από:

- Τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι διάφορες εργασίες (χρόνος εκτέλεσης, καθυστερήσεις)
- Την απόδοση των γερανών
- Το μέγεθος των πλοίων
- Τον αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων ανά πλοίο

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου δείχνουν ότι η απόδοση των λιμένων μπορεί να επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται η γεωγραφική θέση, οι χρεώσεις και η λειτουργικότητα των γερανών. Όμως πιο σημαντικό και καθοριστικό ρόλο στην απόδοση των λιμένων παίζει ο αριθμός των εμπορευματοκιβωτίων που φορτώνεται και ξεφορτώνεται από το πλοία ανά μέτρο κρηπιδώματος ανά ώρα. Σημαντικότερη λοιπόν λιμενική επένδυση κρίνεται η **επέκταση των κρηπιδωμάτων** ώστε να μεγιστοποιείται ο συγκεκριμένος δείκτης.

Η **δεύτερη** εργασία που εξετάστηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο "**Multicriteria and multivariate analysis for port performance evaluation**" και οι συγγραφείς του είναι οι Armando Goncalves Madeira Junior, Moacyr Machado Cardoso Junior, Mishel Carmen Neyra Belderrain, Anderso Ribeiro Correia, Silvia Helena Schwanz. Η συγκεκριμένη μελέτη έγινε στο Πολυτεχνείο της Βραζιλίας στο τμήμα Συγκοινωνιακών και Αεροναυτικής. Η εργασία δημοσιεύτηκε το 2012.

Οι συγγραφείς της συγκεκριμένης δημοσίευσης ισχυρίζονται ότι η **αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών** μίας χώρας είναι πολύ σημαντική καθώς μέσω αυτών πραγματοποιείται το διεθνές εμπόριο και αναβαθμίζεται η εγχώρια οικονομία. Συνεπώς η αναβάθμιση της απόδοσης τους τα καθιστά πιο ανταγωνιστικά σε παγκόσμιο επίπεδο και προτιμητέα από τους διάφορους φορείς του διεθνούς εμπορίου. Τα τελευταία χρόνια ασκείται συνεχής πίεση στους συγκοινωνιακούς φορείς του εμπορίου για βελτίωση των υπηρεσιών τους με ταυτόχρονη μείωση του κόστους. Έτσι, η δημοσίευση αυτή αποτελεί ένα πολύ δυνατό εργαλείο για την αποτελεσματική διαχείριση των λιμένων ώστε να καθίστανται βιώσιμα στον διεθνή ανταγωνισμό.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα **μοντέλο αξιολόγησης της απόδοσης των εμπορευματικών σταθμών**, βάση μιας ανάλυσης που συνυπολογίζει διάφορα κριτήρια. Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται για τους σπουδαιότερους λιμένες της **Βραζιλίας** από το 2006 μέχρι το 2009 αλλά μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τομείς αναβάθμισής λιμενικών υποδομών.

Στο μοντέλο ως **μεταβλητές επιρροής της απόδοσης** των λιμένων εισάγονται οι εξής:

- Η συχνότητα των διερχομένων πλοίων
- Ο αριθμός των εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται
- Η διαθεσιμότητα των κρηπιδωμάτων
- Ο μέσος όρος των εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται ανά πλοίο
- Ο μέσος όρος των εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται ανά ώρα
- Η μέση χρέωση ανά εμπορευματοκιβώτιο
- Ο μέσος χρόνος αναμονής των πλοίων
- Ο λόγος των εξαγωγών προς το σύνολο των διακινήσεων
- Ο λόγος των πλήρων εμπορευματοκιβωτίων προς τα συνολικά

Λαμβάνοντας υπόψιν τους παραπάνω παράγοντες επιρροής της απόδοσης των εμπορευματικών λιμένων οι συγγραφείς παρατηρούν ότι οι λιμένες οι οποίοι επένδυσαν στις λιμενικές υποδομές επεκτείνοντας το **μήκος των κρηπιδωμάτων** είχαν ως αποτέλεσμα τα εξής οφέλη:

- Την επιτάχυνση των λειτουργιών στους λιμένες
- Τη μείωση των χρόνων αναμονής των εμπορευματικών πλοίων
- Την εύκολη διακίνηση περισσότερων και μεγαλύτερων εμπορευματοκιβωτίων
- Την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων πλοίων

Οι λιμένες αυτοί έγιναν πιο επιθυμητοί από τους πλοιοκτήτες και αύξησαν κατακόρυφα τη συχνότητα διακίνησης των εμπορευματικών πλοίων.

Οι συγγραφείς συμπεραίνουν ότι πρέπει να πραγματοποιηθούν προσπάθειες αναβάθμισης της λειτουργικότητας διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων για το διάστημα κατά το οποίο τα πλοία είναι αγκυροβολημένα αλλά και ενέργειες για την αλλαγή της διαρρύθμισης των λιμένων ώστε τα πλοία να μπορούν να φορτώνουν και να ξεφορτώνουν και από τις δύο πλευρές. Γίνεται επίσης προτροπή για μελλοντική έρευνα που θα συμπεριλαμβάνει τόσο περιβαλλοντικούς όσο και κοινωνικούς παράγοντες στην αξιολόγηση της απόδοσης των λιμένων.

Η **τρίτη** εργασία η οποία συμπεριλαμβάνεται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο **"PORT PERFORMANCE: AN ECONOMICS PERSPECTIVE"** και ο συγγραφέας του είναι ο Wayne K. Talley. Η συγκεκριμένη επιστημονική μελέτη έχει πραγματοποιηθεί στα πλαίσια του τομέα των Συγκοινωνιακών Οικονομικών και εξετάζει την απόδοση ενός λιμένα από οικονομική σκοπιά. Η εργασία δημοσιεύτηκε το 2007.

Το αρχικό **δileμμα** το οποίο τίθεται στην εργασία είναι αν θα πρέπει η απόδοση ενός λιμένα να κρίνεται με βάση τα πραγματοποιήσιμα μεγέθη διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων σε σύγκριση με τα ιδανικά που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν στο συγκεκριμένο λιμάνι ή αν θα πρέπει να εξετάζεται σε σύγκριση με την απόδοση λοιπών ανταγωνιστικών διεθνών λιμένων. Παραδοσιακά η απόδοση μετριόταν σε όρους τόνων η αριθμού του πραγματοποιήσιμου και του ιδανικού όγκου των εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνταν από μία καθαρά τεχνική πλευρά. Παρόλα αυτά στη σύγχρονη ανταγωνιστική εποχή που διανύουμε η απόδοση του κάθε λιμένα θα πρέπει να αξιολογείται σε σύγκριση με τους υπόλοιπους και να συγκαταλέγονται στοιχεία όπως τα κόστη και οι χρεώσεις των υπηρεσιών που παρέχει. Έτσι λοιπόν το κάθε λιμάνι γίνεται πιο ανταγωνιστικό όχι μόνο αυξάνοντας τον όγκο/αριθμό των εμπορευματοκιβωτίων αλλά και βελτιώνοντας τις υπηρεσίες που παρέχει.

Έτσι λοιπόν ο συγγραφέας διαχωρίζει την αξιολόγηση της απόδοσης των λιμένων σε **τεχνική και οικονομική**. Στο μοντέλο βελτιστοποίησης της τεχνικής απόδοσης στόχος είναι η μεγιστοποίηση του διακινούμενου φορτίου το οποίο μετράτε είτε σε τόνους είτε σε αριθμό τεμαχίων ενώ στο μοντέλο βελτιστοποίησης της οικονομικής απόδοσης του λιμένα στόχος είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους ή η ελαχιστοποίηση του κόστους αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση οι μεταβλητές της συνάρτησης είναι ο ιδανικός όγκος εμπορεύματος και η δεδομένη παραγωγική δύναμη του λιμένα ενώ στη δεύτερη περίπτωση εισάγεται ως μεταβλητή το κόστος το οποίο επιδιώκεται να ελαχιστοποιηθεί για ένα συγκεκριμένο όγκο εμπορευματοκιβωτίων. Τα κριτήρια αξιολόγησης της απόδοσης εξαρτώνται και από το είδος του οργανισμού του λιμένα, για παράδειγμα σε ένα ιδιωτικό λιμάνι στόχος μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους ενώ σε ένα δημόσιο λιμάνι στόχος μπορεί να είναι η μεγιστοποίηση της διακίνησης των εμπορευματοκιβωτίων.

Από **τεχνικής πλευράς** η απόδοση ενός λιμένα εξαρτάται από τις σχεδιαστικές δυνατότητες που έχουν να κάνουν με τη χωρητικότητα των εγκαταστάσεων για παράδειγμα πόσα εμπορευματοκιβώτια χωράνε μέσα στους αποθηκευτικούς χώρους. Επίσης η απόδοση εξαρτάται και από το όριο των εισερχόμενων και εξερχόμενων πλοίων στο λιμάνι που σχετίζεται με το μήκος των κρηπιδωμάτων. Τέλος από τεχνικής πλευράς η απόδοση ενός λιμένα εξαρτάται από το σύνολο των τόνων που διακινούνται ετησίως.

Από οικονομικής πλευράς η απόδοση ενός λιμένα εξαρτάται από τις χρεώσεις που επιβάλλει αλλά και από την ποικιλία και την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχει.

Δείκτες απόδοσης ενός λιμένα από **οικονομικής σκοπιάς** σύμφωνα με το συγγραφέα ορίζονται οι παρακάτω:

- Ετήσια χρέωση ανά έτος
- Τόνοι εμπορευματοκιβωτίων που φορτώνονται στα πλοία ανά ώρα
- Τόνοι εμπορευματοκιβωτίων που ξεφορτώνονται από τα πλοία ανά ώρα
- Μέσο Ετήσιο ποσοστό χρόνου που τα πλοία είναι προσδεμένα στο λιμάνι
- Μέσο Ετήσιο ποσοστό χρόνου που τα κρηπιδώματα του λιμένα είναι διαθέσιμα για πρόσδεση των πλοίων
- Μέσο Ετήσιο ποσοστό χρόνου που τα πλοία μπορούν να κάνουν ελιγμούς στον λιμένα
- Μέσο Ετήσιο ποσοστό διαθέσιμου χρόνου που τα πλοία μπορούν να εισέλθουν στο λιμάνι
- Μέσο Ετήσιο ημερήσιο ποσοστό διαθέσιμου χρόνου που τα πλοία μπορούν να εξέλθουν από το λιμάνι
- Μέση ετήσια πιθανότητα να πάθει ζημιές το πλοίο όσο βρίσκεται στον λιμένα
- Μέση ετήσια πιθανότητα να πάθουν ζημιά τα εμπορευματοκιβώτια που μεταφέρουν τα πλοία
- Μέση ετήσια πιθανότητα να χαθούν τα εμπορευματοκιβώτια που μεταφέρουν τα πλοία

Δείκτες απόδοσης ενός λιμένα από την πλευρά του **μηχανολογικού εξοπλισμού** σύμφωνα με το συγγραφέα ορίζονται οι παρακάτω:

- Αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που διαχειρίζονται ανά γερανό
- Αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που διαχειρίζονται ανά υπάλληλο

Δείκτες απόδοσης ενός λιμένα από την πλευρά του **ανθρώπινου δυναμικού** σύμφωνα με το συγγραφέα ορίζονται οι παρακάτω:

- Ο αριθμός των υπαλλήλων
- Η μέση ηλικία των υπαλλήλων
- Μέσος αριθμός ωρών εργασίας των υπαλλήλων ανά εβδομάδα
- Ο μέσος χαμένος χρόνος των υπαλλήλων ανά ημέρα

Δείκτες απόδοσης ενός λιμένα από την πλευρά αποδοτικότητας **λειτουργικών διαδικασιών** σύμφωνα με το συγγραφέα ορίζονται οι παρακάτω:

- Μέσος χρόνος χειρισμού εμπορευματοκιβωτίων
- Μέσος χρόνος αναμονής των εμπορευματικών πλοίων στην είσοδο
- Ποσοστό χρήσης των διαθέσιμων εγκαταστάσεων
- Μέσος χρόνος αναμονής των πλοίων όσο είναι προσδεμένα στα κρηπιδώματα

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μελέτη οι παραπάνω δείκτες μας επιτρέπουν να προσδιορίσουμε τον βαθμό απόδοσης του κάθε λιμένα είτε ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους λιμένες είτε στα πλαίσια του παγκόσμιου ανταγωνισμού.

Η **τέταρτη** δημοσίευση που συμπεριλαμβάνεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο **“Measuring Port Effectiveness in User Service Delivery”** και έχει συγγραφεί από τους Mary R. Brooks και Tony Schellinck στο Dalhouse University. Η συγκεκριμένη μελέτη δημοσιεύτηκε το 2012.

Στη συγκεκριμένη έρευνα εξετάζεται από την **σκοπιά των χρηστών** πώς αξιολογείται η αποδοτικότητα και η λειτουργικότητα ενός λιμένα. Πιο συγκεκριμένα μελετάται ποια είναι τα στοιχεία και οι υπηρεσίες που παρέχει ένας λιμένας στα οποία δίνουν μεγαλύτερη βαρύτητα οι χρήστες του. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα είναι χρήσιμα για τους υπευθύνους λειτουργίας και διαχείρισης των λιμένων και μπορούν να οδηγήσουν στη σωστή λειτουργία τους ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των χρηστών.

Οι **χρήστες των εμπορευματικών πλοίων** που μεταφέρουν και μετακινούν τα εμπορευματοκιβώτια αναζητούν τα παρακάτω ώστε να αξιολογήσουν υψηλά την απόδοση ενός λιμένα

- Έγκυρη ενημέρωση σε περιπτώσεις τυχόν καθυστερήσεων
- Άμεση εξυπηρέτηση και ανταπόκριση των υπευθύνων του οργανισμού του λιμένα σε περίπτωση έκτακτων συνθηκών
- Άμεση καταγραφή και ενημέρωση σε περίπτωση ζημιάς των εμπορευματοκιβωτίων
- Γρήγορη διαδικασία ελιγμών για αγκυροβόληση μέσα στον λιμένα
- Εύκολη πρόσβαση στις εγκαταστάσεις του λιμένα
- Γρήγορη ανάκτηση καταστατικών
- Υψηλή ταχύτητα φορτοεκφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων

Οι συγγραφείς συμπεραίνουν ότι καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των λιμένων παίζουν αρχικά ο **αποδοτικός σχεδιασμός** των εγκαταστάσεων ώστε να διευκολύνεται η **γρήγορη εξυπηρέτηση** των χρηστών του λιμένα. Δεύτερον, η γρήγορη πρόσβαση στον λιμένα και ο μειωμένος χρόνος ελιγμών που επιτυγχάνονται με το κατάλληλο μήκος κρηπιδωμάτων και εύρος του λιμένα. Τρίτων η άμεση εξυπηρέτηση και ανταπόκριση σε περιπτώσεις έκτακτων αναγκών που επιτυγχάνεται με την κάλυψη εξόδων υπερωριών του ανθρώπινου δυναμικού.

Η **πέμπτη** δημοσίευση που συμπεριλαμβάνεται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο **“Port Performance Measurement in Practice”** και συγγραφέας του είναι ο Δόκτωρ Θωμάς Βιτσούνης, καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η αξιολόγηση της αποδοτικότητας των λιμένων η οποία κρίνεται καθοριστικής σημασίας στο σύγχρονο ανταγωνιστικό, σύνθετο και δυναμικό περιβάλλον.

Σήμερα οι **παράγοντες** που είναι καθοριστικής σημασίας στη διαχείριση, τη λειτουργικότητα και την **αποδοτικότητα των εμπορευματικών λιμένων** σύμφωνα με το συγγραφέα είναι οι παρακάτω:

- Μέσα έσοδα ανά τόνο εμπορευματοκιβωτίου
- Ρυθμός απόδοσης της επένδυσης
- Επιβαλλόμενες χρεώσεις του οργανισμού του λιμένα
- Μέσος αριθμός εμπορευματικών πλοίων ανά εβδομάδα
- Μέσος χρόνος αναμονής εμπορευματικών πλοίων στο λιμάνι
- Μήκος κρηπιδωμάτων
- Μέσος χρόνος ελιγμών στο λιμάνι
- Μέσος αριθμός φορτοεκφορτώσεων ανά γερανό ανά ώρα
- Μέσος αριθμός εξυπηρετούμενων προορισμών ανά έτος
- Ποσοστό εισαγόμενων εμπορευματοκιβωτίων συγκριτικά με τον συνολικό αριθμό εμπορευματοκιβωτίων

Η αξιολόγηση της αποδοτικότητας ενός εμπορευματικού λιμένα σχετίζεται άμεσα με την παραγωγική του δύναμη και το μέγιστο παραγωγικό αποτέλεσμα που μπορεί να έχει δεδομένων των διαθέσιμων του πόρων.

Οι δείκτες αποδοτικότητας των εμπορευματικών λιμένων προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες για το χρηματοοικονομικό, διοικητικό και το κοινοτικό περιβάλλον και διευκολύνουν τους διαχειριστές να πάρουν σημαντικές αποφάσεις για το μέλλον.

Έτσι λοιπόν οι δείκτες αποδοτικότητας θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών του λιμένα, να είναι εύκολα υπολογίσιμοι, σχετικοί με τη στρατηγική σημασία του κάθε λιμένα και μέσω αυτών να τίθενται ρεαλιστικοί και πραγματοποιήσιμοι στόχοι.

Οι δείκτες μπορεί να αφορούν τον κάθε λιμένα ανεξάρτητα, παρόλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και ο διεθνής ανταγωνισμός και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο σύγκρισης.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω ο συγγραφέας καταλήγει στους παρακάτω **δείκτες μέτρησης της αποδοτικότητας** ενός εμπορευματικού λιμένα τους οποίους υποδεικνύει σε μορφή λόγων:

- Άθροισμα ωρών επίσκεψης των πλοίων προς συνολικές διαθέσιμες ώρες
- Άθροισμα ωρών κατάληψης των κρηπιδωμάτων επί μέτρα κρηπιδώματος προς συνολικές διαθέσιμες ώρες επί συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων
- Άθροισμα ωρών επίσκεψης εμπορευματικών πλοίων επί αριθμό υπαλλήλων που απασχολείτε τις συγκεκριμένες ώρες με τα πλοία προς σύνολο ωρών επί συνολικό αριθμό υπαλλήλων

Ως **μονάδες μέτρησης** της αποδοτικότητας χρησιμοποιούνται οι παρακάτω:

- Τόνοι εμπορευματοκιβωτίων ανά μέτρο ανά έτος
- Δοχεία εμπορευματοκιβωτίων ανά τετραγωνικό μέτρο ανά έτος
- Τόνοι εμπορευματοκιβωτίων ανά πλοίο ανά παραγωγική ώρα
- Τόνοι εμπορευματοκιβωτίων ανά μήκος κρηπιδώματος

Η έκτη εργασία η οποία συμπεριλαμβάνεται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο **‘Evaluation of the operation efficiencies of Turkish Passenger ports with data envelopment analysis’** και οι συγγραφείς του είναι οι Samet Guner, Kamil Taskin και ο Erman Goskun. Η συγκεκριμένη μελέτη εκδόθηκε το 2012 και στόχος της είναι να αναλύσει και να συγκρίνει τη λειτουργική αποδοτικότητα έξι Τουρκικών επιβατικών λιμένων. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ένα γραμμικό προγραμματιστικό μοντέλο (Data Development Analysis).

Οι συγγραφείς της δημοσίευσης για να μπορέσουν να ορίσουν την αποδοτικότητα ενός επιβατικού λιμένα χρησιμοποιούν διάφορους οικονομικούς και λειτουργικούς δείκτες. Τέτοιοι **δείκτες** είναι εισερχόμενα λογιστικά στοιχεία στα οποία συμπεριλαμβάνουν χρηματικές επενδύσεις και λειτουργικά κόστη αλλά και τα εξερχόμενα λογιστικά στοιχεία όπως είναι τα έσοδα, η ικανοποίηση των πελατών αλλά και η συχνότητα επίσκεψης των πλοίων στο λιμάνι.

Η αξιολόγηση των **στοιχείων εισόδου και εξόδου** δείχνει κατά πόσο αξιοποιούνται σωστά και αποδοτικά οι πόροι που διαθέτει το συγκεκριμένο λιμάνι. Συνεπώς στη συγκεκριμένη εργασία η αποδοτικότητα των επιβατικών λιμένων ορίζεται ως ο λόγος του συνόλου των στοιχείων εξόδου προς το σύνολο των στοιχείων εισόδου (**Efficiency=Outputs/Inputs**). Σκοπός του υπολογισμού της αποδοτικότητας είναι ο έλεγχος και η αναβάθμιση των λιμένων καθώς και η παροχή πληροφοριών προς τους υπευθύνους.

Τέλος στην εργασία τονίζεται ότι συνήθως δεν δίνεται η απαιτούμενη προσοχή στην αποδοτικότητα των επιβατικών λιμένων καθώς ο όγκος διακίνησης των επιβατικών λιμένων καταλαμβάνει μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό του παγκόσμιου εμπορίου.

Η **έβδομη** εργασία η οποία συμπεριλαμβάνεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο **‘Traffic Modelling and Performance Evaluation in the Kotor Cruise Port’** και οι συγγραφείς του είναι οι Davorin Kofjac, maja Skunic, Branislav Dragovic και Andrej Skraba. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του πανεπιστημίου του Μοντενέγκο στο τμήμα ναυτιλιακών σπουδών σε συνεργασία με το τμήμα Διοικητικών Επιστημών του Πανεπιστημίου της Σλοβενίας. Η δημοσίευση πραγματοποιήθηκε το 2013.

Ως **αφορμή** δόθηκε η υψηλή συμφόρηση που πραγματοποιείται κατά τους θερινούς μήνες στο λιμάνι του Kotor η οποία προκαλεί συμφόρηση στις εγκαταστάσεις του λιμένα και στα σημεία πρόσδεσης των πλοίων. Ως αποτέλεσμα αυτού δημιουργείται δυσaráσκεια τόσο από την πλευρά των διαχειριστών των κρουαζιερόπλοιων όσο και από την πλευρά των επιβατών.

Έτσι λοιπόν αναπτύσσεται ένα **μοντέλο βελτιστοποίησης** της λειτουργίας του λιμένα στο οποίο εισάγονται ως μεταβλητές η **συχνότητα επίσκεψης** των κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι αλλά και οι **χρεώσεις** που επιβάλλει ο οργανισμός στα εισερχόμενα επιβατικά πλοία.

Μέσω της βελτιστοποίησης στόχος είναι να διαχειριστεί καλύτερα η κίνηση στον λιμένα διατηρώντας παράλληλα αμείωτη την προσφορά προορισμών στους επισκέπτες και να αυξηθούν τα έσοδα. Για αυτό το σκοπό αναπτύσσονται δύο μοντέλα προσομοίωσης ένα βασισμένο στα ήδη υπάρχοντα στοιχεία και ένα βασισμένο στο σενάριο επέκτασης του κρηπιδώματος του λιμένα. Τα αποτελέσματα της μελέτης δηλώνουν ότι με την προβλεπόμενη **επέκταση του κρηπιδώματος** θα υπάρξει αύξηση των εσόδων αλλά και αποσυμφόρηση της κίνησης.

Τέλος οι συγγραφείς προτρέπουν μελλοντική έρευνα στο πλαίσιο δημιουργίας νέου κτιρίου εξυπηρέτησης επιβατών αλλά και καθιέρωσης υπηρεσιών ασφάλειας.

Η **όγδοη** δημοσίευση η οποία συμπεριλαμβάνεται στην βιβλιογραφική μελέτη αφορά στο επενδυτικό σχέδιο που προγραμματίζεται για τον **Οργανισμό Λιμένος Πειραιά** κατά τη διάρκεια των ετών **2012-2016**. Ο λιμένας του Πειραιά αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια της Ευρώπης και συνεπώς κρίνεται δόκιμη η εξασφάλιση του ανάμεσα στους πιο ανταγωνιστικούς λιμένες με νέες επεκτάσεις, έργα υποδομής και συστήματα εξυπηρέτησης.

Ύστερα λοιπόν από μελέτη που πραγματοποιήθηκε για το επενδυτικό πρόγραμμα του Πειραιά, στη συγκεκριμένη δημοσίευση απαριθμούνται τα βασικότερα έργα υποδομής που θα υλοποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί μία ουσιώδης αναβάθμιση του λιμένα.

Τα **επενδυτικά έργα** που θα υλοποιηθούν είναι τα εξής:

- Η επέκταση του Επιβατικού Λιμένα για Κρουαζιερόπλοιων
- Η επέκταση Επιβατικού Λιμένα για χρήση Επιβατικών Πλοίων
- Η κατασκευή νέου Εκθεσιακού Κέντρου
- Η επέκταση Σταθμού Κρουαζιερόπλοιων
- Κατασκευή νέου κρηπιδώματος για Εξυπηρέτηση Κρουαζιερόπλοιων
- Υποθαλάσσια Σύνδεση (Διάβαση Πεζών)
- Κατασκευή και Εξοπλισμός Υπερυψωμένου Κυκλοφοριακού Μέσου Περιφερειακά του Λιμένος
- Λιμενικά Έργα Ανάπτυξης Λιμένος
- Αναβάθμιση Πολιτιστικής Ακτής
- Αναβάθμιση Υποδομών και Εξοπλισμού
- Λειτουργία Ελικοδρομίου
- Εκβάθυνση Κεντρικού Λιμένα
- Αναβάθμιση Περιβαλλοντικών Υποδομών

Τα παραπάνω επενδυτικά έργα αποτελούν τα σημαντικότερα έργα που προγραμματίζεται να υλοποιηθούν για τη μέγιστη δυνατή αναβάθμιση του σημαντικότερου Ελληνικού λιμένα κατά τη διάρκεια των ετών 2012-2016.

Η **ένατη** εργασία η οποία συμπεριλαμβάνεται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει τίτλο **“Challenges and Future Trends: Ports and Passengers in Europe – The Baltic Range (Tallinn, Riga, Klaipeda and Kaliningrad)”** και έχει δημοσιευθεί το 2007.

Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται λόγος για το αυξανόμενο ποσοστό του τουριστών κρουαζιέρας και της δυναμικής που έχει αυτός ο κλάδος. Οι συγγραφείς τονίζουν ότι υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση η οποία δεν καλύπτεται επειδή τα περισσότερα λιμάνια δεν είναι σχεδιασμένα για να φιλοξενούν κρουαζιερόπλοια. Για παράδειγμα στη Μεσόγειο υπάρχουν πολύ λίγα λιμάνια τα οποία μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της αγοράς για τουρισμό κρουαζιέρας και παρόλα αυτά ο αριθμός των κρουαζιερόπλοιων που χτίζονται μεγαλώνει ολοένα και περισσότερο.

Έτσι λοιπόν υπάρχει απαίτηση για αλλαγή των χαρακτηριστικών των λιμένων για κατασκευή μεγαλύτερων σε μήκος κρηπιδωμάτων αλλά και εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης επισκεπτών.

Οι συγγραφείς τονίζουν ότι ο δείκτης ένδειξης της αποδοτικότητας ενός λιμένα μπορεί να αξιολογείται μέσω του λόγου προσφορά προς ζήτηση.

2.3 Κριτική Αξιολόγηση και Σύνοψη Ευρημάτων

Συνοψίζοντας τη σύνθεση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης προκύπτουν τα εξής:

- Έχουν πραγματοποιηθεί ελάχιστες μελέτες για την αξιοποίηση των ελληνικών λιμένων και την αναβάθμιση των λιμενικών τους υποδομών.
- Λόγω της γεωγραφικής της θέσης η Ελλάδα είναι από τις λίγες χώρες παγκοσμίως που διαθέτουν τόσους πολλούς επιβατικούς λιμένες ενώ οι περισσότερες μελέτες σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν πραγματοποιηθεί για εμπορευματικούς λιμένες.
- Δεν έχει πραγματοποιηθεί ποτέ ξανά συνολική προσπάθεια αναβάθμισης των σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων.
- Ενώ έχει προγραμματιστεί σχέδιο αναβάθμισης των λιμενικών υποδομών του λιμένα του Πειραιά, δεν υπάρχει διαθέσιμη μελέτη για την βέλτιστη κατανομή χρηματικών πόρων για τα έργα αυτά και την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση του αρχικού διαθέσιμου προϋπολογισμού.
- Το ζήτημα της αναβάθμισης λιμενικών υποδομών κρίνεται κρίσιμο και έχει απασχολήσει πάρα πολλές χώρες παγκοσμίως καθώς μέσω αυτών πραγματοποιείται το διεθνές εμπόριο και αναβαθμίζεται η εγχώρια οικονομία. Συνεπώς η αναβάθμιση της απόδοσης τους τα καθιστά πιο ανταγωνιστικά σε παγκόσμιο επίπεδο και προτιμητέα από τους διάφορους φορείς του διεθνούς εμπορίου.

Μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης προκύπτουν **περαιτέρω χρήσιμα συμπεράσματα**. Καταρχήν, προσδιορίστηκαν οι πιο σημαντικοί **δείκτες απόδοσης** των λιμένων οι οποίοι θα αξιοποιηθούν στη συνέχεια της διπλωματικής εργασίας προκειμένου να αξιολογηθεί και να ιεραρχηθεί η σημαντικότητά τους. Κατά δεύτερον μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης προσδιορίστηκαν τα σημαντικότερα **έργα υποδομής** που επιφέρουν τη μεγαλύτερη αναβάθμιση στους λιμένες μέσω της υλοποίησής τους.

Οι σημαντικοί δείκτες απόδοσης λιμένων βάση βιβλιογραφίας συνοψίζονται ως εξής:

- Εμπορευματοκιβώτια/Μέτρα Κρηπιδώματος
- Επιβάτες/Μέτρα Κρηπιδώματος
- Συνολικά Έξοδα/Συνολικά Έσοδα
- Έξοδα/ Επιβάτες
- Μήκος Κρηπιδωμάτων και Βάθος Λιμένα
- Μέσος χρόνος Διαθεσιμότητας Κρηπιδωμάτων

Τα σημαντικότερα έργα υποδομής για την αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών συνοψίζονται ως εξής:

- Επέκταση κρηπιδώματος για επιβατικά πλοία και κρουαζιερόπλοια
- Επέκταση Επιβατικής Πλατφόρμας
- Αναβάθμιση Υπαρχουσών Λιμενικών Υποδομών
- Περιβαλλοντικές Υποδομές
- Εκβάθυνση Λιμένα
- Αναβάθμιση εξοπλισμού για μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων

Κ ε φ ά λ α ι ο 3

Θ ε ω ρ η τ ι κ ό Υ π ό β α θ ρ ο

3.1 Γενικά

Για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας, που είναι η βέλτιστη κατανομή προϋπολογισμού για την αναβάθμιση των υποδομών των δώδεκα σημαντικότερων ελληνικών λιμένων, διερευνήθηκε το **θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλων προγραμματισμού** μέσω των οποίων επιλύονται προβλήματα βελτιστοποίησης.

3.2 Θεωρία Μη Γραμμικών Μοντέλων Προγραμματισμού

Η **πρώτη** δημοσίευση που συμπεριλαμβάνεται στο θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλων προγραμματισμού έχει τίτλο **“Fund Allocation for Civil Infrastructure Security Update”** και οι συγγραφείς του είναι οι **Nikos D. Lagaros, Konstantinos Kepaptsoglou, και Matthew G. Karlaftis**. Η μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2013, επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης για την αναβάθμιση της ασφάλειας συγκοινωνιακών υποδομών στην Αθήνα. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται η βέλτιστη κατανομή κεφαλαίου για την αναβάθμιση της ασφάλειας των συγκοινωνιακών υποδομών 52 σταθμών μετρό.

Εφαρμόζεται λοιπόν **μη γραμμικό προγραμματιστικό μοντέλο βελτιστοποίησης** το οποίο εκφράζεται μέσω **αντικειμενικής συνάρτησης** η οποία υπόκειται σε περιορισμό διαθέσιμου κεφαλαίου το οποίο διαφοροποιείται σε κάθε επίλυση του μοντέλου. Η αντικειμενική συνάρτηση και ο περιορισμός προϋπολογισμού παρουσιάζονται παρακάτω.

$$\max \sum_{i=1}^N \sigma_{\text{trans},i} \cdot \sigma_{\text{strategic},i} \cdot (x_{\text{upgrade},i} - x_{\text{initial},i}) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^N K(\text{Size}_i, \text{Age}_i, x_{\text{upgrade},i}, x_{\text{initial},i}) \leq B_{\text{Target}} \quad (2)$$

Κατά την επίλυση του μοντέλου βελτιστοποίησης επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία αφορά το σύνολο των συγκοινωνιακών σταθμών στους οποίους θα πραγματοποιηθεί αναβάθμιση υποδομών ασφαλείας.

Οι **μεταβλητές** που εισάγονται στην **αντικειμενική συνάρτηση** (1) είναι οι παρακάτω:

- Μεταβλητή **i** που αντιπροσωπεύει τον κάθε σταθμό που εισάγεται στο πρόβλημα
- Μεταβλητή **N** που αντιπροσωπεύει το σύνολο των σταθμών για τους οποίους επιδιώκεται αναβάθμιση συγκοινωνιακών υποδομών
- Μεταβλητή **σ_{trans}** που εισάγεται ως δείκτης αξιολόγησης της επιβατικής κίνησης για τους σταθμούς
- Μεταβλητή **σ_{strategic}** που εισάγεται ως δείκτης αξιολόγησης της τοποθεσίας του κάθε σταθμού.
- Οι μεταβλητές **X_{upgrade}** και **X_{initial}** οι οποίες δηλώνουν το επιδιωκόμενο και το αρχικό επίπεδο ασφαλείας των σταθμών που αναβαθμίζονται, και συμπεριλαμβάνονται στην αντικειμενική συνάρτηση ως διαφορά (**X_{upgrade}-X_{initial}**), η οποία εισάγεται τον βαθμό στον οποίο αναβαθμίζονται οι υποδομές ασφαλείας του κάθε σταθμού.

Οι **μεταβλητές** που εισάγονται στην **ανίσωση περιορισμού** προϋπολογισμού (2) είναι οι παρακάτω:

- Η μεταβλητή **K** η οποία δηλώνει το κόστος αναβάθμισης του κάθε σταθμού και η προκύπτει συναρτήσει των μεταβλητών **μεγέθους, ηλικίας** και αρχικής και τελικής κατάστασης των σταθμών
- Η μεταβλητή **Size** η οποία δηλώνει το μέγεθος κάθε σταθμού
- Η μεταβλητή **Age** η οποία δηλώνει την ηλικία κάθε σταθμού
- Οι μεταβλητές **X_{upgrade}** και **X_{initial}** οι οποίες εξηγήθηκαν παραπάνω

- Η μεταβλητή **BTarget** η οποία δηλώνει τον προϋπολογισμό που χρησιμοποιείται ως περιοριστικός παράγοντας κάθε φορά.

Ο συγκεκριμένος τύπος μοντέλου βελτιστοποίησης ονομάζεται **particle swarm optimization** και έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε ρεαλιστικά προβλήματα βελτιστοποίησης αλλά και είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε κάθε είδους προβλήματος βέλτιστου καταμερισμού προϋπολογισμού σε έργα πολιτικού μηχανικού και όχι μόνο.

Η **δεύτερη** δημοσίευση που συμπεριλαμβάνεται στο θεωρητικό υπόβαθρο έχει τίτλο **“Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms”**, και οι συγγραφείς είναι οι **Amr A.Elhadidy, Emad E. Elbeltagi** και **Mohammad A. Ammar**. Η συγκεκριμένη μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2014, αφορά την ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης για την καλύτερη δυνατή κατανομή προϋπολογισμού με στόχο τη συντήρηση πεζοδρομίων στην Αίγυπτο. Ζητούμενο είναι η επίτευξη μέγιστης συντήρησης με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που παρουσιάζεται στην παραπάνω δημοσίευση κατατάσσεται στην κατηγορία προβλημάτων βελτιστοποίησης **πολυκριτηριακού μη γραμμικού προγραμματισμού**. Τα προβλήματα αυτά εμπεριέχουν πολλαπλές συναρτήσεις οι οποίες πρέπει να βελτιστοποιηθούν ταυτόχρονα. Το κόστος σπάνια αντιπροσωπεύει το μόνο παράγοντα ο οποίος καθορίζει το κατά πόσο καλός είναι ένας σχεδιασμός, στην πραγματικότητα υπάρχουν αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση πολλών αντικειμενικών συναρτήσεων παρουσιάστηκε στα τέλη του προηγούμενου αιώνα από τον **Vilfredo Pareto**.

Σύμφωνα με το θεώρημα του Pareto κάθε ποσότητα η οποία έχει την τάση να βελτιώνεται ή να χειροτερεύει με την αλλαγή κάποιων χαρακτηριστικών του προβλήματος δύναται να αποτελέσει κριτήριο. Αντίθετα κάποιες ποσότητες οι οποίες απλά ικανοποιούν κάποιες επιβαλλόμενες απαιτήσεις δεν αποτελούν κριτήρια αλλά μπορούν να αντιμετωπιστούν ως περιορισμοί.

Έτσι λοιπόν, στο μοντέλο εισάγονται **δύο αντικειμενικές συναρτήσεις**, μία που επιδιώκει την ελαχιστοποίηση του κόστους και μία μέσω της οποίας επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της συντήρησης των πεζοδρομίων.

$$\begin{aligned} \text{Min. Cost} &= \sum_{i=1}^n A_i * \%P_i * C_{ik} \quad i = 1, \dots, n; \quad k \\ &= 0, 1, 2, 3. \end{aligned}$$

$$\text{Max. Average Condition} = \sum_{i=1}^n q_i / n$$

Οι **μεταβλητές** που περιλαμβάνονται στις δύο παραπάνω αντικειμενικές συναρτήσεις είναι οι εξής:

- Η μεταβλητή **Ai** που αντιπροσωπεύει τη συνολική έκταση του κάθε πεζοδρομίου σε τετραγωνικά μέτρα
- Η μεταβλητή **Pi** που εκφράζει το ποσοστό της έκτασης το οποίο είναι ελαττωματικό
- Η μεταβλητή **Cik** που εκφράζει το κόστος που απαιτείται για την συντήρηση του εκάστοτε πεζοδρομίου
- Η μεταβλητή **qi** που εκφράζει την κατάσταση του πεζοδρομίου
- Η μεταβλητή **n** που εκφράζει τον αριθμό των πεζοδρομίων που εισάγονται στη δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση και των οποίων η κατάσταση επιδιώκεται να βελτιστοποιηθεί.

3.3 Θεωρία Γραμμικών Μοντέλων Προγραμματισμού

Ως **τρίτη** πηγή στο θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας συμπεριλαμβάνεται κομμάτι της θεωρίας από το βιβλίο με τίτλο **“Επιχειρησιακή έρευνα και βελτιστοποίηση για μηχανικούς”** με συγγραφείς τους **Μ.Γ Καρλαύτη** και **Ν.Δ. Λαγαρό** που εκδόθηκε το 2010. Στο βιβλίο αυτό αναπτύσσονται μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης στηριζόμενες στις αρχές του γραμμικού προγραμματισμού.

Κατά το μαθηματικό πρότυπο **γραμμικού προγραμματισμού** πρέπει να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις της αναλογικότητας, της προσθετικότητας, της διαιρετότητας και της βεβαιότητας. Η ανάλυση Γραμμικού Προγραμματισμού έχει στόχο τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών απόφασης ή άγνωστων μεταβλητών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ που μεγιστοποιούν η ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση.

$$\max / \min (c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n)$$

Ταυτόχρονα οι **μεταβλητές απόφασης** πρέπει να ικανοποιούν τους περιορισμούς

$$a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n \left[\leq, =, \geq \right] b_1$$

$$a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n \left[\leq, =, \geq \right] b_2$$

.....

$$a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots + a_{mn} \cdot x_n \left[\leq, =, \geq \right] b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Όλες οι συναρτήσεις του προβλήματος (αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί) πρέπει να είναι γραμμικές ως προς τις άγνωστες μεταβλητές $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

Ο αλγόριθμος **SIMPLEX** είναι η αλγεβρική διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται για την επίλυση μίας κατηγορίας προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού. Για να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος SIMPLEX πρέπει όλοι οι περιορισμοί να είναι ισότητες. Η αντικειμενική συνάρτηση μετατρέπεται σε ισότητα, θεωρώντας την ίση με το 0. Γενικά ακολουθείται επαναληπτική μέθοδος προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού μέχρις ότου επιτευχθεί βέλτιστη λύση.

Δεύτερη κατηγορία προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού είναι ο **ακέραιος προγραμματισμός** ο οποίος βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού όπου οι τιμές των μεταβλητών που συμμετέχουν επιβάλλεται να είναι ακέραιες.

Ένα **παράδειγμα** προβλήματος **ακέραιου προγραμματισμού** είναι εκείνο επιχειρήσεων που παράγουν προϊόντα σε ακέραιες ποσότητες όπως για παράδειγμα ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Με στόχο την μεγιστοποίηση των κερδών για τις επιχειρήσεις αυτές πρέπει να βρεθεί η ποσότητα παραγόμενων προϊόντων που θα επιφέρει αυτό το βέλτιστο αποτέλεσμα. Όπως είναι λογικό η παραγωγή μη ακέραιου αριθμού αυτών των ειδών δεν έχει καμία φυσική σημασία. Η στρογγυλοποίηση του αποτελέσματος επίσης είναι πολύ πιθανό να μην συμβαδίζει με τυχόν περιορισμούς που έχουν τεθεί όπως για παράδειγμα η διαθεσιμότητα ενός από τα δύο είδη υπολογιστών που η επιχείρηση θέλει να παράγει. Το ωράριο του ανθρώπινου δυναμικού μπορεί να είναι επίσης άλλος ένας περιοριστικός παράγοντας που θα πρέπει να εισαχθεί στο μοντέλο.

Ο ακέραιος προγραμματισμός βρίσκει εφαρμογή σε έναν σημαντικό τομέα της επιχειρησιακής έρευνας, ο οποίος αφορά στη διαδικασία λήψεως αποφάσεων, όπου οι εναλλακτικές επιλογές που παρέχονται είναι της **μορφής «ναι» ή «όχι»**. Συχνά προκύπτει ο προβληματισμός σχετικά με το αν θα πρέπει να εκτελεστεί κάποια διαδικασία, για παράδειγμα για το αν θα προβεί μία επιχείρηση ή όχι σε μία συγκεκριμένη επένδυση, για το αν θα κατασκευαστεί ή όχι κάποιο έργο αλλά και άλλου είδους παρόμοια διλλήματα. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να προσεγγιστούν με τη χρήση του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού της μορφής «0-1».

Στα προβλήματα **ακέραιου προγραμματισμού της μορφής «0-1»** εισάγεται αντικειμενική συνάρτηση η οποία είναι και η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, η οποία είναι ζητούμενο είτε να μεγιστοποιηθεί είτε να ελαχιστοποιηθεί.

Παρακάτω αναφέρονται **δύο παραδείγματα** για την καλύτερη κατανόηση προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού της μορφής «0-1», όπου στο ένα στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της μαθηματικής συνάρτησης και στο άλλο στόχος είναι η μεγιστοποίηση της μαθηματικής συνάρτησης.

Το **πρώτο παράδειγμα** αφορά στην **εύρεση της συντομότερης διαδρομής** ανάμεσα σε δύο δεδομένα κομβικά σημεία ενός δικτύου, για παράδειγμα ανάμεσα σε δύο πόλεις. Όλες οι πιθανές διαδρομές ανάμεσα σε αυτές τις δύο πόλεις απαιτούν την κατασκευή οδικών τμημάτων για τα οποία υπάρχει το αντίστοιχο κόστος κατασκευής.

Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του **ακέραιου προγραμματισμού** και να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή η οποία θα είναι και η συντομότερη. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να γίνει χρήση αντικειμενικής συνάρτησης στην οποία θα εισαχθούν ως μεταβλητές τα δεδομένα κόστη της κατασκευής των οδικών τμημάτων αλλά και ο συντελεστής X_{ij} ο οποίος παίρνει τιμές 0 ή 1, 0 σε περίπτωση που δεν θα κατασκευαστεί το οδικό τμήμα και 1 σε περίπτωση που θα κατασκευαστεί το οδικό τμήμα. Η αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται ως το σύνολο όλων των αθροισμάτων των γινομένων των δύο παραπάνω μεταβλητών, κόστους και X_{ij} . Στόχος είναι η **ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης** δεδομένου ότι η μία μεταβλητή αντιπροσωπεύει κόστη τα οποία πάντα ζητούμενο είναι να ελαχιστοποιηθούν.

Το **δεύτερο πρόβλημα** αφορά στην **επένδυση αρχικού ποσού A σε n διαθέσιμες επενδύσεις**. Εδώ ζητούμενο είναι να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος τοποθέτησης του αρχικού κεφαλαίου στις διάφορες επενδύσεις έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος.

Πάλι το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με τη βοήθεια του ακέραιου προγραμματισμού εισάγοντας και πάλι αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζεται ως το σύνολο των αθροισμάτων των γινομένων δύο μεταβλητών. Η πρώτη μεταβλητή είναι όπως και στο πρώτο πρόβλημα η μεταβλητή X_{ij} η οποία παίρνει τιμές 0 ή 1 ανάλογα με το αν πραγματοποιείται η όχι η επένδυση και η δεύτερη μεταβλητή είναι η μεταβλητή που εκφράζει την απόδοση της επένδυσης. Στόχος στο δεύτερο πρόβλημα σε αντίθεση με το πρώτο είναι η **μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης** καθώς επιζητείται η μέγιστη δυνατή απόδοση των λιμένων.

3.4 Η Εφαρμογή του Μοντέλου της Διπλωματικής Εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψιν την ανάλυση μοντέλων προγραμματισμού έτσι όπως εμφανίζονται στο θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας, προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας, που είναι η βέλτιστη κατανομή πόρων για την αναβάθμιση των υποδομών των δώδεκα σημαντικότερων ελληνικών λιμένων, επιλέχθηκε να αναπτυχθεί και να εφαρμοστεί μοντέλο βελτιστοποίησης που βασίζεται στις αρχές του **ακέрайου προγραμματισμού**.

Στο πρόβλημα λοιπόν εισάγεται **μοναδική αντικειμενική συνάρτηση** για την οποία επιδιώκεται μεγιστοποίηση καθώς εκφράζει την απόδοση που επέρχεται μέσω των έργων αναβάθμισης. Σ' αυτήν εισάγεται και **μεταβλητή X_{ijk}** η οποία παίρνει μόνο τιμές 0 ή 1 ανάλογα με το αν επαρκεί ο αρχικός διαθέσιμος προϋπολογισμός για την ενεργοποίηση του κάθε έργου υποδομής. Σε περίπτωση ενεργοποίησης ενός έργου υποδομής για έναν λιμένα η μεταβλητή παίρνει τιμή 1 ενώ σε περίπτωση μη ενεργοποίησης ενός έργου υποδομής η μεταβλητή παίρνει τιμή 0.

Κεφάλαιο 4

Περιγραφή Προγραμματιστικού Μοντέλου και

Καθώς **στόχος της εργασίας** είναι η αξιολόγηση της αναβάθμισης των υποδομών των δώδεκα σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων, εφαρμόζεται μοντέλο προγραμματισμού προκειμένου να κατανεμηθεί με βέλτιστο τρόπο το υποτιθέμενο αρχικό κεφάλαιο που είναι διαθέσιμο για το σύνολο του έργου.

Σε αυτό το κεφάλαιο **περιλαμβάνονται** τα εξής:

- Το **είδος των δεδομένων** που συλλέχθηκαν και η σημασία τους για το μοντέλο βελτιστοποίησης που εφαρμόστηκε.
- Η περιγραφή των **δεικτών απόδοσης** των λιμένων.
- Η περιγραφή των **έργων αναβάθμισης** των υποδομών των λιμένων και η σημασία τους.
- Η περιγραφή του **μοντέλου** και η διαδικασία εφαρμογής του.
- Η ανάλυση όλων των **παραμέτρων**, των **περιορισμών** και των **υποθέσεων** που χρησιμοποιήθηκαν.
- Περιγραφή μαθηματικής επίλυσης στο excel

4.1 Συλλογή Δεδομένων

Για την ορθότητα των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που εξάγονται μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, συλλέχθηκαν αρχικά πραγματικά **στοιχεία** από τους οργανισμούς των δώδεκα ελληνικών λιμένων. Μέσω των στοιχείων αυτών στόχος ήταν η εξαγωγή συμπερασμάτων για την **επισκεψιμότητα**, το **μέγεθος**, τη **δυναμική** του αλλά και τον **οικονομικό κύκλο** του κάθε λιμένα. Επίσης βάση των στοιχείων αυτών διαμορφώθηκαν οι δείκτες απόδοσης του κάθε λιμένα. Με δεδομένο ότι το χρηματικό κεφάλαιο που είναι διαθέσιμο για την αναβάθμιση όλων των λιμένων είναι περιορισμένο, τα στοιχεία αυτά είναι πολύ χρήσιμα για τον προσδιορισμό των συντελεστών που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βέλτιστη κατανομή του προϋπολογισμού.

Καθώς η εργασία επικεντρώνεται στη αναβάθμιση των **επιβατικών λιμένων**, τα στοιχεία που συλλέχθηκαν αφορούν στην επιβατική δραστηριότητα των λιμένων και όχι στην εμπορευματική.

Αρχικά ως δείκτης της **επισκεψιμότητας** επιλέχθηκε ο μέσος όρος του ετήσιου **συνόλου των επιβατών για τα έτη 2007 έως και 2010**. Με εξαίρεση τα λιμάνια της Αλεξανδρούπολης, της Ραφήνας και της Ελευσίνας για τα υπόλοιπα λιμάνια το ετήσιο σύνολο εισερχόμενων και εξερχόμενων επιβατών αφορά και τους επιβάτες κρουαζιερόπλοιων πέρα από τους επιβάτες των λοιπών επιβατικών πλοίων.

Πίνακας 4.1 Π1 Μέσος Όρος Ετήσιων Εισερχόμενων και Εξερχόμενων Επιβατών για κάθε Λιμένα

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Μέσος όρος ετήσιου αριθμού επιβατών	21,322,584	51,965	162,670	1,831,461	433,826	2,428,397	438,944	635,618	1,538,176	2,735,952	1,980,333	871,164

Διάγραμμα 4.1 Δ1 Μέσος Όρος Ετήσιου Αριθμού Επιβατών



Όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα, η επιβατική κίνηση **στον λιμένα του Πειραιά** είναι πολύ μεγαλύτερη από το σύνολο της επιβατικής κίνησης όλων των υπόλοιπων λιμένων μαζί. Γίνεται λοιπόν εμφανές από την αρχή ότι θα πρέπει να δοθεί **διαφορετική βαρύτητα** στην αναβάθμιση των υποδομών του λιμένα του Πειραιά συγκριτικά με τους υπόλοιπους λιμένες. Ο Πειραιάς δεν είναι μόνο το σημαντικότερο λιμάνι της Ελλάδος αλλά είναι και ένα από τα σημαντικότερα σε παγκόσμιο επίπεδο.

Μετά τον Πειραιά σημαντικοί λιμένες για την επιβατική κίνηση της χώρας είναι οι λιμένες της **Πάτρας**, του **Ηρακλείου**, της **Καβάλας**, της **Ηγουμενίτσας** και της **Κέρκυρας**. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι ενώ ο λιμένας της **Θεσσαλονίκης** είναι ο μεγαλύτερος λιμένας διαμετακομιστικού εμπορίου της χώρας και εξυπηρετεί τις ανάγκες 15 περίπου εκατομμυρίων κατοίκων της διεθνούς ενδοχώρας του αλλά και γενικά βρίσκεται ανάμεσα στα τρία μεγαλύτερα λιμάνια της χώρας, δεν είναι όμως ένα από τα σημαντικότερα επιβατικά λιμάνια (λόγω της απόστασής του από επιβατικούς ακτοπλοϊκούς προορισμούς) για αυτό και

στην συνέχεια δεν θα δοθεί προτεραιότητα στην αναβάθμιση των επιβατικών υποδομών του.

Δεύτερο στοιχείο ενδεικτικό του μεγέθους και της δυναμικής των λιμένων που συλλέχθηκε από τους Οργανισμούς των λιμένων είναι το **μήκος των κρηπιδωμάτων τους**. Το μήκος των κρηπιδωμάτων σε ένα λιμάνι είναι καθοριστικής σημασίας καθώς δηλώνει τον δυνατό αριθμό των πλοίων που μπορούν να εισέλθουν ταυτόχρονα στον λιμένα. Είναι προφανές ότι το παραπάνω στοιχείο είναι σημαντικό και για τη συχνότητα των εισερχομένων και εξερχόμενων επιβατών καθώς όσο περισσότερα πλοία βρίσκονται ταυτόχρονα στο λιμάνι τόσοι περισσότεροι επιβάτες διακινούνται. Το μήκος των κρηπιδωμάτων ενός λιμένα είναι ακόμα καθοριστικής σημασίας για την αξιολόγηση της απόδοσης των λιμένων, αφού οι περισσότεροι δείκτες απόδοσης ενός λιμένα σύμφωνα με τη βιβλιογραφία συμπεριλαμβάνουν το μήκος των κρηπιδωμάτων (π.χ. επιβάτες/κρηπίδωμα, πλοία/κρηπίδωμα).

Πίνακας 4.1 Π2 Μήκος των κρηπιδωμάτων για κάθε Λιμένα

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων(μέτρα)	8,200.00	6,200.00	800.00	2,000.00	500.00	300.00	350.00	1,100.00	3,000.00	800.00	400.00	2,000.00

Διάγραμμα 4.1 Δ2 Μήκος Κρηπιδωμάτων για κάθε Λιμένα

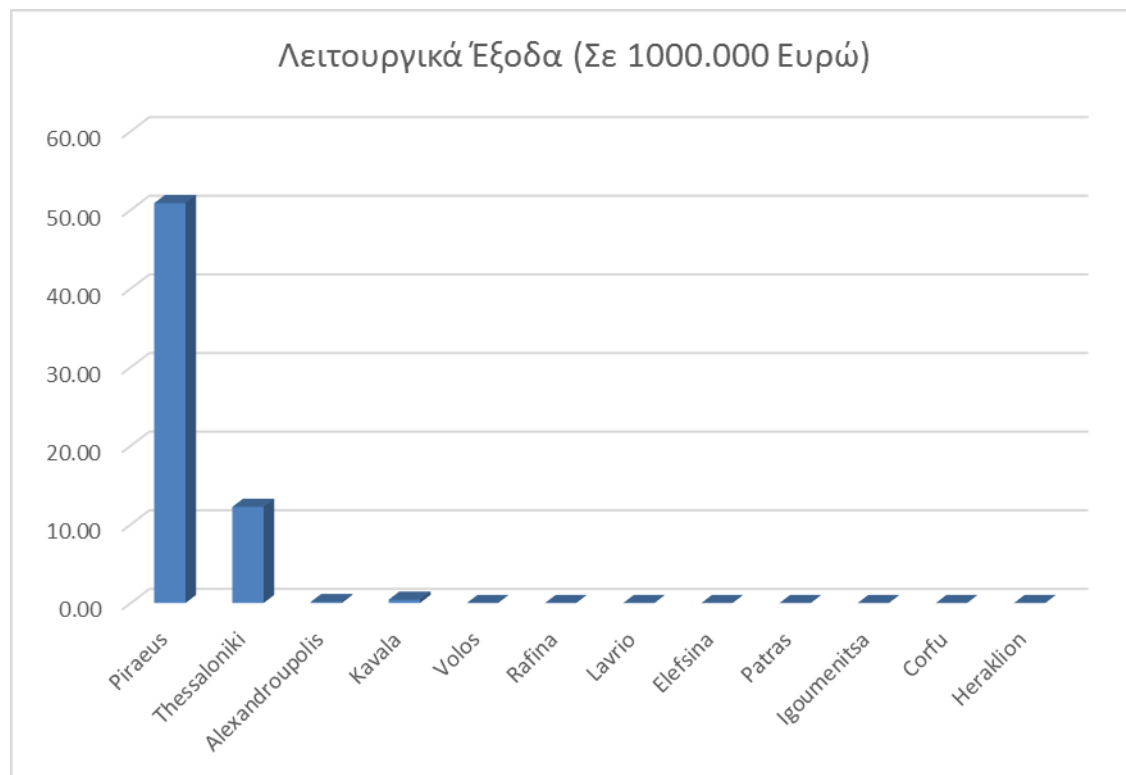


Επισημαίνεται και πάλι ότι ο λιμένας του **Πειραιά** διαθέτει με διαφορά σε μήκος τα μεγαλύτερα κρηπιδώματα, δεύτερο λιμάνι σε μήκος κρηπιδωμάτων είναι η **Θεσσαλονίκη** με το μεγαλύτερο μέρος του λιμένα όμως να είναι εμπορευματικής χρήσης και όχι επιβατικής. Σημαντικοί λιμένες σε μέγεθος είναι και οι λιμένες της **Πάτρας**, του **Ηρακλείου** και της **Καβάλας**.

Στη συνέχεια το μήκος των κρηπιδωμάτων θα ληφθεί υπόψιν και στην επιλογή του συντελεστή που εισάγεται στο μοντέλο βελτιστοποίησης και προσδιορίζει το μέγεθος και τη δυναμική του κάθε λιμένα.

Τρίτο στοιχείο που συλλέχθηκε από τους Οργανισμούς των λιμένων είναι το μέγεθος των ετήσιων λειτουργικών τους εξόδων. Το στοιχείο αυτό συλλέχθηκε από τους ετήσιους ισολογισμούς των λιμένων που αναρτώνται κάθε χρόνο στους δικτυακούς τόπους τους. Στα **λειτουργικά έξοδα** δεν συμπεριλαμβάνονται μακροπρόθεσμες οικονομικές υποχρεώσεις όπως δάνεια προς τρίτους φορείς αλλά και φόροι, συμπεριλαμβάνονται όμως μισθοί προσωπικού και όλα εκείνα τα τρέχοντα έξοδα που απαιτούνται για την καθημερινή λειτουργία των λιμένων.

Πίνακας 4.1 Π3 Ετήσια Λειτουργικά Έξοδα σε 1000.000 Ευρώ για κάθε Λιμένα



Κατανοητό από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται ότι στο λιμάνι του **Πειραιά** τα Λειτουργικά έξοδα είναι πολύ μεγαλύτερα από ότι σε όλους τους υπόλοιπους λιμένες και αυτό είναι λογικό καθώς απασχολούνται και πολύ περισσότεροι υπάλληλοι για την κάλυψη των αναγκών του. Δεύτερο σε λειτουργικά έξοδα είναι το λιμάνι της **Θεσσαλονίκης** και στη συνέχεια είναι τα λιμάνια του **Ηρακλείου** και του **Βόλου**. Το στοιχείο αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα για την απόδοση των λιμένων καθώς βάση της βιβλιογραφίας ο λόγος **έξοδα ανά επιβάτες** είναι αντιπροσωπευτικός της **απόδοσης** των λιμένων.

4.3 Δείκτες Απόδοσης

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε η απόδοση κάθε λιμένα κρίνεται με βάση ορισμένους συντελεστές. Παραδείγματα **συντελεστών απόδοσης** μπορεί να είναι τα παρακάτω:

Σε μορφή λόγων:

- εμπορευματοκιβώτια/μέτρα κρηπιδώματος
- έσοδα/τόνους εμπορευματοκιβωτίων
- εμπορευματοκιβώτια/πλοία
- επιβάτες/πλοίο
- επιβάτες/μέτρα κρηπιδώματος
- έξοδα/επιβάτες
- εξαγωγές/σύνολο διακινήσεων

Σε μορφή απόλυτων μεγεθών:

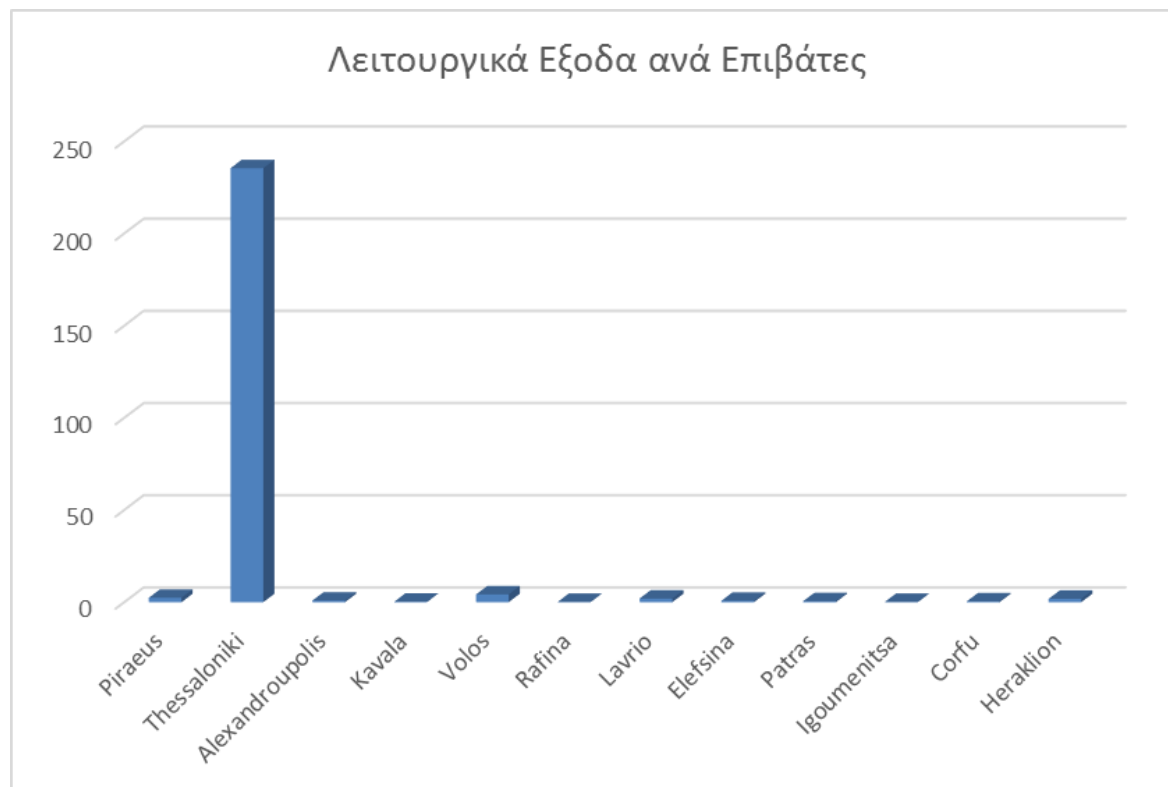
- Διαθεσιμότητα Κρηπιδωμάτων
- Μήκος Κρηπιδωμάτων
- Αριθμός εισερχομένων πλοίων
- Μέσος χρόνος Ελιγμών των πλοίων στο λιμάνι

Αφού μελετήθηκαν τόσο η βαρύτητα όλων των συντελεστών απόδοσης που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία, τα επενδυτικά σχέδια των λιμένων και εξετάστηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία από τους οργανισμούς των λιμένων επιλέχθηκαν ως συντελεστές απόδοσης οι εξής **δείκτες**:

- Λειτουργικά έξοδα/Επιβάτες
- Επιβάτες/Μέτρα κρηπιδώματος

Στα παρακάτω **διαγράμματα** φαίνονται συνολικά οι τιμές των συντελεστών αυτών για τους δώδεκα λιμένες.

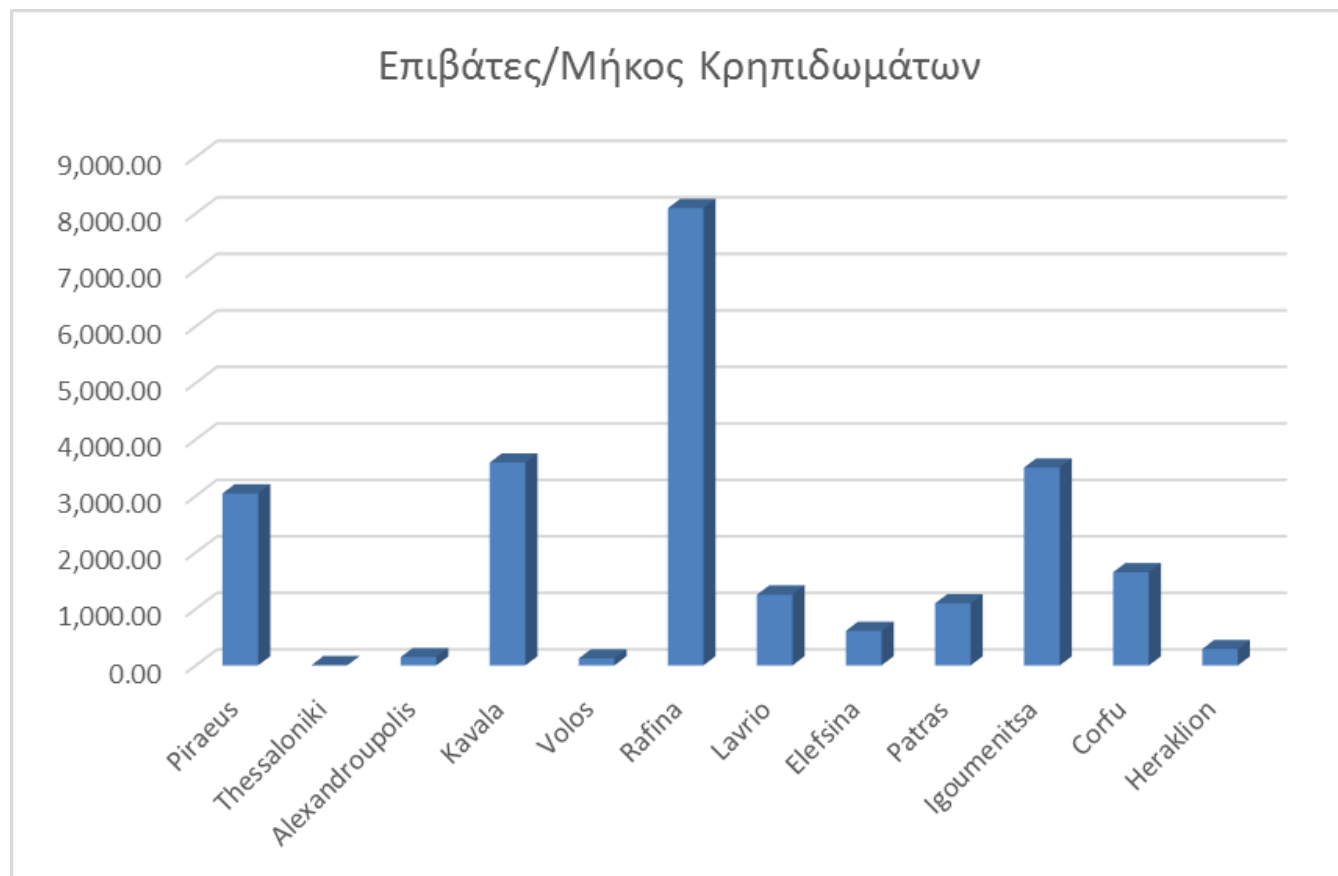
Πίνακας 4.3 Π1 Συντελεστής Απόδοσης Λειτουργικά Έξοδα ανά Επιβάτες



Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής **Λειτουργικά Έξοδα/Επιβάτες** τόσο λιγότερα είναι τα λειτουργικά έξοδα του λιμένα που αντιστοιχούν σε κάθε επιβάτη. Αυτό σημαίνει ότι με τα κατάλληλα έργα υποδομής υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης της δυναμικής του λιμένα. Η απόδοση ενός λιμένα είναι λοιπόν αντιστρόφως ανάλογη αυτού του συντελεστή.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι επειδή τα λειτουργικά έξοδα που καταγράφονται στους ετήσιους ισολογισμούς των λιμένων οι οποίοι και αναρτώνται στους αντίστοιχους δικτυακούς τόπους τους συμπεριλαμβάνουν και τα έξοδα του εμπορευματικού μέρους των λιμένων, όπως έξοδα συντήρησης γερανών, έξοδα προσωπικού που είναι υπεύθυνο για τις εμπορευματικές δραστηριότητες των λιμένων κλπ, οι συντελεστές αυτοί δεν είναι τελείως αντιπροσωπευτικοί και απλά δίνουν μία γενικότερη εικόνα της απόδοσης των δώδεκα λιμένων.

Πίνακας 4.2 Π2 Συντελεστής απόδοσης Επιβάτες ανά Μήκος Κρηπιδωμάτων



Ο λόγος **Επιβάτες/Μήκος Κρηπιδωμάτων** ορίζεται ως συντελεστής απόδοσης λιμένων ο οποίος σε αντίθεση με τον λόγο **Λειτουργικά Έξοδα/Επιβάτες** είναι ευθέως ανάλογος της απόδοσης των λιμένων και όχι αντιστρόφως. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι όσοι περισσότεροι επιβάτες αντιστοιχούν στα μέτρα κρηπιδώματος που διαθέτει το λιμάνι τόσο πιο λειτουργικό είναι και τόσο μεγαλύτερη ζήτηση έχει για τα δεδομένα του. Συνεπώς με τα κατάλληλα έργα υποδομής όπως για παράδειγμα επέκταση των επιβατικών κρηπιδωμάτων ή επέκταση των κρηπιδωμάτων που προορίζονται για τη χρήση κρουαζιερόπλοιων το εκάστοτε λιμάνι που έχει υψηλό αυτό τον συντελεστή μπορεί να βελτιώσει περεταίρω τη δυναμική του.

Οι παραπάνω συντελεστές λαμβάνονται υπόψιν στην υπόθεση του συντελεστή που εισάγεται στο μοντέλο βελτιστοποίησης και εκφράζει τη δυναμική του κάθε λιμένα.

4.3 Περιγραφή και Προσδιορισμός των Έργων Υποδομής των Λιμένων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η βέλτιστη κατανομή προϋπολογισμού για την αναβάθμιση των υποδομών των σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων. Για το λόγο αυτό αρχικά προσδιορίστηκε το είδος αυτών των **έργων υποδομής**. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στο επενδυτικό σχέδιο του Οργανισμού Λιμένος Πειραιά 2012-2016 το οποίο και συμπεριλαμβάνει την υλοποίηση όλων των βασικών έργων υποδομής σε έναν επιβατικό λιμένα αλλά επίσης μελετήθηκαν και όλα τα επενδυτικά σχέδια των υπόλοιπων 11 λιμένων.

Η **μελέτη των επενδυτικών προγραμμάτων των λιμένων** σε συνδυασμό με τη **βιβλιογραφική έρευνα** που έγινε και η οποία και συμπεριλαμβάνει τα έργα υποδομής που αποφέρουν τη μέγιστη αύξηση της απόδοσης ενός λιμένα οδήγησαν στην επιλογή των παρακάτω έργων υποδομής στα οποία και θα κατανεμηθεί το σύνολο του προϋπολογισμού.

- **Επέκταση κρηπιδώματος για επιβατικά πλοία**
- **Επέκταση Επιβατικής Πλατφόρμας**
- **Επέκταση κρηπιδώματος για κρουαζιερόπλοια**
- **Επέκταση πλατφόρμας για κρουαζιερόπλοια**
- **Αναβάθμιση Υπαρχουσών Λιμενικών Υποδομών**
- **Περιβαλλοντικές Υποδομές**
- **Εκβάθυνση Λιμένα**

Η **επέκταση των κρηπιδωμάτων** τόσο για τα επιβατικά πλοία όσο και για τα κρουαζιερόπλοια κρίνεται κρίσιμο έργο υποδομής του επενδυτικού προγράμματος καθώς πάρα πολλοί από τους συντελεστές απόδοσης των λιμένων βάση βιβλιογραφίας εξαρτώνται από το μήκος των κρηπιδωμάτων που διαθέτουν οι λιμένες. Με την επέκταση των κρηπιδωμάτων δημιουργείται νέος χώρος πρόσδεσης των πλοίων και ως εκ τούτου μπορεί να πολλαπλασιαστεί η συχνότητα των εισερχόμενων και εξερχόμενων πλοίων και επιβατών.

Απόρροια της επέκτασης των κρηπιδωμάτων είναι και η επέκταση της **επιβατικής πλατφόρμας**. Έτσι διευκολύνεται η εσωτερική κίνηση στον λιμένα και εξυπηρετούνται καλύτερα οι επιβάτες. Η επέκταση των κρηπιδωμάτων χωρίς την επέκταση της επιβατικής πλατφόρμας θα είχε ως αποτέλεσμα τη συμφόρηση του λιμένα και τη μη σωστή λειτουργία του.

Πέρα όμως από τα επεκτατικά επενδυτικά σχέδια, κρίσιμη είναι και η **αναβάθμιση των υπαρχουσών λιμενικών υποδομών**. Είναι απαραίτητη η εισαγωγή νέων τεχνολογιών ώστε ο λιμένας να χαρακτηρίζεται σύγχρονος και ασφαλής. Οι υπάρχουσες λιμενικές υποδομές θα πρέπει να αναβαθμίζονται και να συντηρούνται με στόχο την άμεση και βέλτιστη εξυπηρέτηση των επιβατικών πλοίων και των επιβατών. Θα πρέπει να διευκολύνονται η προσέλευση των επιβατών στο λιμάνι και να καθίσταται εύκολη η επιβίβασή τους στα πλοία αλλά και αντίστοιχα η αποβίβαση και η έξοδός τους από τους λιμένες με τα οχήματά τους.

Σημαντική είναι και η επένδυση στη δημιουργία **περιβαλλοντικών υποδομών**. Τα νομοθετικά πλαίσια πλέον επιβάλλουν σχεδόν σε όλα τα είδη οργανισμών να είναι φιλικά προσκείμενοι προς το περιβάλλον και να επενδύουν σε περιβαλλοντικά έργα. Έτσι οι σύγχρονοι λιμένες καλούνται να επενδύσουν σε υποδομές αποβλήτων, αξιοποίησης της ενέργειας, οπτικών ινών, πρασίνου αλλά και φωτοβολταϊκών.

Τέλος πολύ σημαντικό έργο αναβάθμισης ενός λιμένα είναι και η **εκβάθυνσή** του με σκοπό την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων πλοίων. Βάση βιβλιογραφίας η εκβάθυνση ενός λιμένα προηγείται ή υλοποιείται ταυτόχρονα με την επέκταση των κρηπιδωμάτων του και είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση του παραπάνω έργου.

4.4 Περιγραφή του Μοντέλου Βελτιστοποίησης

Για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας, που είναι η **βέλτιστη κατανομή των χρηματικών πόρων για την αναβάθμιση των υποδομών των δώδεκα σημαντικότερων ελληνικών λιμένων**, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μοντέλο προγραμματισμού. Το μοντέλο αυτό βελτιστοποίησης βασίζεται στις αρχές του **ακέραιου προγραμματισμού** ο οποίος βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου οι τιμές των μεταβλητών που εισάγονται στο πρόβλημα είναι ακέραιες. Τέτοιες περιπτώσεις προβλημάτων συναντώνται συχνά με αποτέλεσμα η πρακτική σημασία του ακέραιου προγραμματισμού να είναι πολύ μεγάλη.

Ένα **παράδειγμα** προβλήματος **ακέραιου προγραμματισμού** είναι εκείνο επιχειρήσεων που παράγουν προϊόντα σε ακέραιες ποσότητες όπως για παράδειγμα ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Με στόχο την μεγιστοποίηση των κερδών για τις επιχειρήσεις αυτές πρέπει να βρεθεί η ποσότητα παραγόμενων προϊόντων που θα επιφέρει αυτό το βέλτιστο αποτέλεσμα. Όπως είναι λογικό η παραγωγή μη ακέραιου αριθμού αυτών των ειδών δεν έχει καμία φυσική σημασία. Η στρογγυλοποίηση του αποτελέσματος επίσης είναι πολύ πιθανό να μην συμβαδίζει με τυχόν περιορισμούς που έχουν τεθεί όπως για παράδειγμα η διαθεσιμότητα ενός από τα δύο είδη υπολογιστών που η επιχείρηση θέλει να παράγει. Το ωράριο του ανθρώπινου δυναμικού μπορεί να είναι επίσης άλλος ένας περιοριστικός παράγοντας που θα πρέπει να εισαχθεί στο μοντέλο.

Ο ακέραιος προγραμματισμός βρίσκει εφαρμογή σε έναν σημαντικό τομέα της επιχειρησιακής έρευνας, ο οποίος αφορά στη διαδικασία λήψεως αποφάσεων, όπου οι εναλλακτικές επιλογές που παρέχονται είναι της **μορφής «ναι» ή «όχι»**. Συχνά προκύπτει ο προβληματισμός σχετικά με το αν θα πρέπει να εκτελεστεί κάποια διαδικασία, για παράδειγμα για το αν θα προβεί μία επιχείρηση ή όχι σε μία συγκεκριμένη επένδυση, για το αν θα κατασκευαστεί ή όχι κάποιο έργο αλλά και άλλου είδους παρόμοια διλλήματα. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να προσεγγιστούν με τη χρήση του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού της μορφής «0-1».

Στα προβλήματα **ακέραιου προγραμματισμού της μορφής «0-1»** εισάγεται αντικειμενική συνάρτηση η οποία είναι και η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, η οποία είναι ζητούμενο είτε να μεγιστοποιηθεί είτε να ελαχιστοποιηθεί.

Παρακάτω αναφέρονται **δύο παραδείγματα** για την καλύτερη κατανόηση προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού της μορφής «0-1», όπου στο ένα στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της μαθηματικής συνάρτησης και στο άλλο στόχος είναι η μεγιστοποίηση της μαθηματικής συνάρτησης.

Το **πρώτο παράδειγμα** αφορά στην **εύρεση της συντομότερης διαδρομής** ανάμεσα σε δύο δεδομένα κομβικά σημεία ενός δικτύου, για παράδειγμα ανάμεσα σε δύο πόλεις. Όλες οι πιθανές διαδρομές ανάμεσα σε αυτές τις δύο πόλεις απαιτούν την κατασκευή οδικών τμημάτων για τα οποία υπάρχει το αντίστοιχο κόστος κατασκευής.

Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του ακέрайου προγραμματισμού και να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή η οποία θα είναι και η συντομότερη. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να γίνει χρήση **αντικειμενικής συνάρτησης** στην οποία θα εισαχθούν ως μεταβλητές τα δεδομένα **κόστη της κατασκευής** των οδικών τμημάτων αλλά και ο συντελεστής **X_{ij}** ο οποίος παίρνει τιμές **0 ή 1**, 0 σε περίπτωση που δεν θα κατασκευαστεί το οδικό τμήμα και 1 σε περίπτωση που θα κατασκευαστεί το οδικό τμήμα. Η αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται ως το σύνολο όλων των αθροισμάτων των γινομένων των δύο παραπάνω μεταβλητών, κόστους και X_{ij} . Στόχος είναι η **ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης** δεδομένου ότι η μία μεταβλητή αντιπροσωπεύει κόστη τα οποία πάντα ζητούμενο είναι να ελαχιστοποιηθούν.

Το **δεύτερο πρόβλημα** αφορά στην **επένδυση αρχικού ποσού A σε n διαθέσιμες επενδύσεις**. Εδώ ζητούμενο είναι να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος τοποθέτησης του αρχικού κεφαλαίου στις διάφορες επενδύσεις έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος.

Πάλι το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με τη βοήθεια του ακέрайου προγραμματισμού εισάγοντας και πάλι αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζεται ως το σύνολο των αθροισμάτων των γινομένων δύο μεταβλητών. Η πρώτη μεταβλητή είναι όπως και στο πρώτο πρόβλημα η **μεταβλητή X_{ij}** η οποία παίρνει τιμές 0 ή 1 ανάλογα με το αν πραγματοποιείται η όχι η επένδυση και η δεύτερη μεταβλητή είναι η μεταβλητή που εκφράζει την **απόδοση της επένδυσης**. Στόχος στο δεύτερο πρόβλημα σε αντίθεση με το πρώτο είναι η **μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης** καθώς επιζητείται η μέγιστη δυνατή απόδοση των λιμένων.

Το πρόβλημα λοιπόν της βέλτιστης κατανομής αρχικού κεφαλαίου για την αναβάθμιση των υποδομών των δώδεκα σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων βασίζεται στην επίλυση προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού της μορφής «0-1» που περιεγράφηκε πιο πάνω. Πιο συγκεκριμένα ανήκει στη δεύτερη κατηγορία προβλημάτων όπου στόχος είναι η **μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης** η οποία και εισάγεται στο πρόβλημα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί επιλέγονται τα **δώδεκα σπουδαιότερα ελληνικά λιμάνια** τα οποία είναι τα παρακάτω:

- Λιμένας Πειραιά
- Λιμένας Θεσσαλονίκης
- Λιμένας Αλεξανδρούπολης
- Λιμένας Καβάλας
- Λιμένας Βόλου
- Λιμένας Ραφήνας
- Λιμένας Λαυρίου
- Λιμένας Ελευσίνας
- Λιμένας Πάτρας
- Λιμένας Ηγουμενίτσας
- Λιμένας Κερκύρας
- Λιμένας Ηρακλείου

Και οι **εφτά πιο σημαντικές ενέργειες αναβάθμισης** οι οποίες είναι οι παρακάτω:

- Επέκταση κρηπιδώματος για επιβατικά πλοία
- Επέκταση Επιβατικής Πλατφόρμας
- Επέκταση κρηπιδώματος για κρουαζιερόπλοια
- Επέκταση πλατφόρμας για κρουαζιερόπλοια
- Αναβάθμιση Υπαρχουσών Λιμενικών Υποδομών
- Περιβαλλοντικές Υποδομές
- Εκβάθυνση Λιμένα

Θεωρήθηκε, ότι για κάθε ένα από τους δώδεκα λιμένες η κάθε ενέργεια αναβάθμισης μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στη διάρκεια **τριών ετών**. Αυτό συμβαίνει διότι μπορεί για την υλοποίηση μίας ενέργειας να είναι αναγκαίο να προηγηθεί η υλοποίηση μίας άλλης αλλά και γιατί στην πραγματικότητα είναι ανέφικτο να πραγματοποιηθούν τόσο μεγάλα έργα υποδομής στο πλαίσιο μίας μόνο χρονιάς.

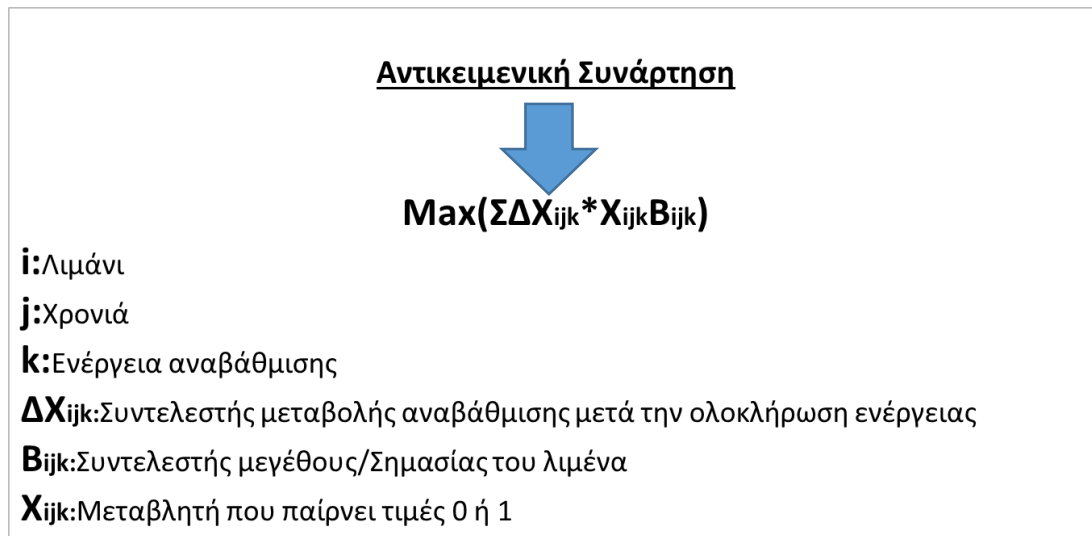
Για κάθε μία από αυτές τις **εφτά ενέργειες** εισάγεται στο πρόβλημα ένας **συντελεστής απόδοσης ΔX** , ο οποίος εκφράζει τη διαφορά της απόδοσης ενός λιμένα πριν και μετά την ολοκλήρωση μιας συγκεκριμένης ενέργειας. Ο συντελεστής αυτός παίρνει τιμές υποθετικές σύμφωνα με λογικές παρατηρήσεις που έχουν προκύψει μέσα από τη μελέτη της βιβλιογραφίας.

Πέρα από αυτό τον συντελεστή απόδοσης που αφορά στην κάθε ενέργεια αναβάθμισης, εισάγεται και δεύτερος συντελεστής ο οποίος είναι **συντελεστής μεγέθους/σημασίας B** του κάθε λιμένα. Ο συντελεστής παίρνει υποθετικές τιμές με βάση το μέγεθος, τη σημασία και την προοπτική αναβάθμισης του κάθε λιμένα. Ο δεύτερος συντελεστής εισάγεται στο πρόβλημα καθώς μία ενέργεια όπως για παράδειγμα η επέκταση επιβατικών κρηπιδωμάτων δεν μπορεί να επιφέρει την ίδια αλλαγή απόδοσης στον Πειραιά και την Καβάλα, αφού προφανώς στον λιμένα του Πειραιά η αλλαγή της απόδοσης θα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Καθώς το μοντέλο βελτιστοποίησης βασίζεται στην επίλυση προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού στο πρόβλημα εισάγεται και η μεταβλητή **X_{ij} η οποία παίρνει τιμές αυστηρά 0 ή 1**, 0 όταν δεν πραγματοποιείται μία ενέργεια σε ένα λιμάνι και 1 όταν πραγματοποιείται μία ενέργεια σε ένα λιμάνι.

Έτσι λοιπόν για την επίλυση του προβλήματος διατυπώνεται αντικειμενική συνάρτηση που ορίζεται ως το σύνολο των αθροισμάτων των επιμέρους γινομένων των συντελεστών απόδοσης **ΔX** , του συντελεστών μεγέθους **B** και της μεταβλητών **X** για όλους τους λιμένες.

Εικόνα 4.1 Ε1 Διαμόρφωση Αντικειμενικής Συνάρτησης



Ο **δείκτης i** παίρνει τιμές από το **1 έως και 12** όσα είναι δηλαδή και τα λιμάνια στα οποία κατανέμεται το αρχικό κεφάλαιο το οποίο είναι διαθέσιμο για την αναβάθμιση των υποδομών τους.

Ο **δείκτης j** παίρνει τιμές από **1 έως και 3** όσες είναι και οι χρονιές στη διάρκεια των οποίων πραγματοποιούνται όλες οι ενέργειες αναβάθμισης. Δηλαδή, παίρνει τιμή 1 όταν μια ενέργεια σε έναν λιμένα πραγματοποιείται την πρώτη χρονιά, 2 όταν πραγματοποιείται τη δεύτερη και 3 όταν πραγματοποιείται την τρίτη. Πρέπει να σημειωθεί ότι γίνεται η υπόθεση ότι μία ενέργεια αναβάθμισης μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο κατά τη διάρκεια μίας από τις τρεις χρονιές στο πλαίσιο της οποίας και ολοκληρώνεται. Οπότε για παράδειγμα εάν η επέκταση επιβατικών κρηπιδωμάτων στον λιμένα της Θεσσαλονίκης πραγματοποιηθεί την πρώτη χρονιά δεν μπορεί να ξανά πραγματοποιηθεί ούτε τη δεύτερη αλλά ούτε και την τρίτη χρονιά.

Ο **δείκτης k** παίρνει τιμές από **1 έως και 7** όσες είναι και οι ενέργειες αναβάθμισης των υποδομών των λιμένων.

Συνεπώς ο συντελεστής **X534** για παράδειγμα μας καταδεικνύει αν πραγματοποιείται ή όχι η τέταρτη ενέργεια κατά σειρά, επέκταση της πλατφόρμας για το μέρος του λιμένα που χρησιμοποιείται για τα κρουαζιερόπλοια, την τρίτη χρονιά στον πέμπτο κατά σειρά λιμένα που είναι ο λιμένας του Βόλου. Εάν πραγματοποιείται παίρνει τιμή 1 ενώ εάν δεν πραγματοποιείται παίρνει τιμή 0.

Κατά συνέπεια προκύπτουν συνολικά για όλους τους λιμένες και όλες τις ενέργειες αναβάθμισης **252 μεταβλητές X** οι οποίες είτε παίρνουν τιμή 1 είτε 0. Αυτός ο αριθμός προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των λιμένων που είναι 12 με τον αριθμό των ενεργειών αναβάθμισης που είναι 7 και τον αριθμό των ετών πραγματοποίησης των ενεργειών που είναι 3 (**$12 \cdot 7 \cdot 3 = 252$**).

Στόχος είναι η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης καθώς σε αυτή εισάγεται ο συντελεστής μεταβολής της απόδοσης των λιμένων μετά την ολοκλήρωση των ενεργειών αναβάθμισης. Έτσι ζητούμενο είναι η μεγιστοποίηση του συνόλου της απόδοσης των λιμένων και όχι το αντίθετο.

4.5 Περιγραφή Παραμέτρων, Περιορισμών και Υποθέσεων του Μοντέλου

4.5.1 Συντελεστές που Εισάγονται στην Αντικειμενική Συνάρτηση

Όπως διευκρινίστηκε και παραπάνω στο πρόβλημα εισάγονται **δύο υποθετικοί συντελεστές**, οι οποίοι παίζουν καθοριστικό ρόλο στην μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης και στον καθορισμό των πραγματοποιησίμων ενεργειών μετά την επίλυση του κάθε σεναρίου. Αυτοί είναι, ο **συντελεστής ένδειξης της μεταβολής της απόδοσης** του κάθε λιμένα μετά την πραγματοποίηση μίας ενέργειας, **ΔX** και ο **συντελεστής μεγέθους/σημασίας** του κάθε λιμένα **B**.

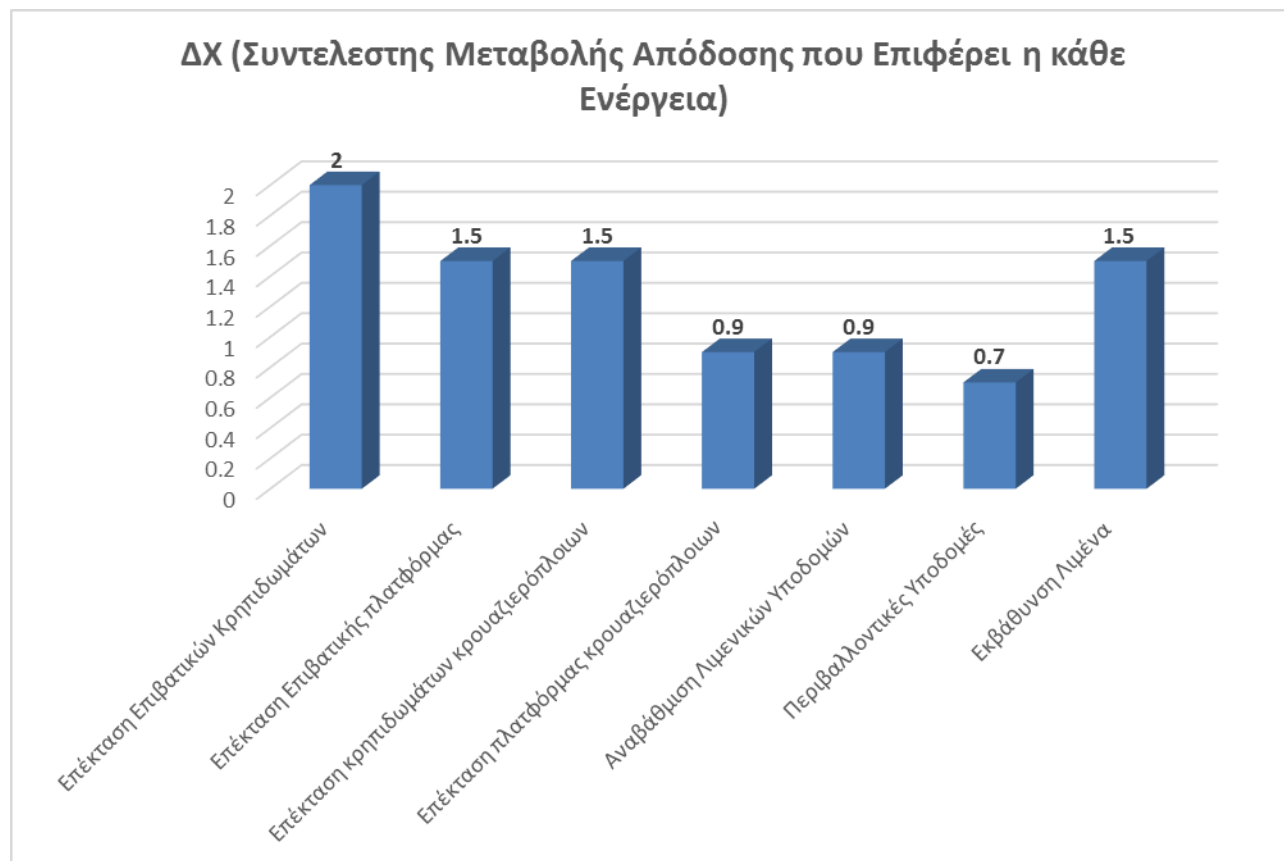
Η υπόθεση για την τιμή του συντελεστή ΔX που αντιστοιχεί σε κάθε ενέργεια, έγινε με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσω της μελέτης της βιβλιογραφίας για την αύξηση της απόδοσης των λιμένων που επέρχεται μέσω κάθε ενέργειας. Όλοι οι **συντελεστές μεταβολής της απόδοσης ΔX** που αντιστοιχούν στις ενέργειες αξιολογούνται με τιμές από **0,7 έως και 2**.

Έτσι καθώς στις περισσότερες μελέτες καθοριστικό ρόλο στην ένδειξη της απόδοσης των λιμένων παίζει η **επέκταση των κρηπιδωμάτων** και μάλιστα αφού το μήκος των κρηπιδωμάτων εισάγεται και ποσοτικά στην διαμόρφωση των λόγων που χρησιμοποιούνται ως συντελεστές απόδοσης των λιμένων, αυτή η ενέργεια αξιολογείται με τη μεγαλύτερη τιμή του **συντελεστή** δηλαδή **2**.

Αμέσως μετά από αυτή την ενέργεια, σημαντικές ενέργειες είναι η **επέκταση της επιβατικής πλατφόρμας, η επέκταση των κρηπιδωμάτων για κρουαζιερόπλοια αλλά και η εκβάθυνση του λιμένα** η οποία πολλές φορές είναι απαραίτητη για την επέκταση των κρηπιδωμάτων. Αυτές οι ενέργειες αξιολογούνται με **συντελεστή 1,5**. Αξιολογείται χαμηλότερα η επέκταση των κρηπιδωμάτων για κρουαζιερόπλοια καθώς τα δρομολόγια των κρουαζιερόπλοιων είναι πιο αραιά αλλά και πολύ λιγότερα. Συνήθως ο χώρος του λιμένα που χρησιμοποιείται για κρουαζιερόπλοια είναι πολύ μικρότερος από εκείνον που χρησιμοποιείται για τα υπόλοιπα επιβατικά πλοία.

Τέλος η **επέκταση της πλατφόρμας για κρουαζιερόπλοια** και η **αναβάθμιση των υπαρχουσών λιμενικών υποδομών** αξιολογούνται με **συντελεστή 0,9** ενώ με τον χαμηλότερο συντελεστή αξιολογούνται οι **περιβαλλοντικές υποδομές** που είναι **0,7**. Η αναβάθμιση των περιβαλλοντικών υποδομών δεν ποσοτικοποιείται ως μέγεθος και συνεπώς δεν εισάγεται άμεσα στη διαμόρφωση των συντελεστών απόδοσης γι' αυτό και παίρνει τον χαμηλότερο συντελεστή.

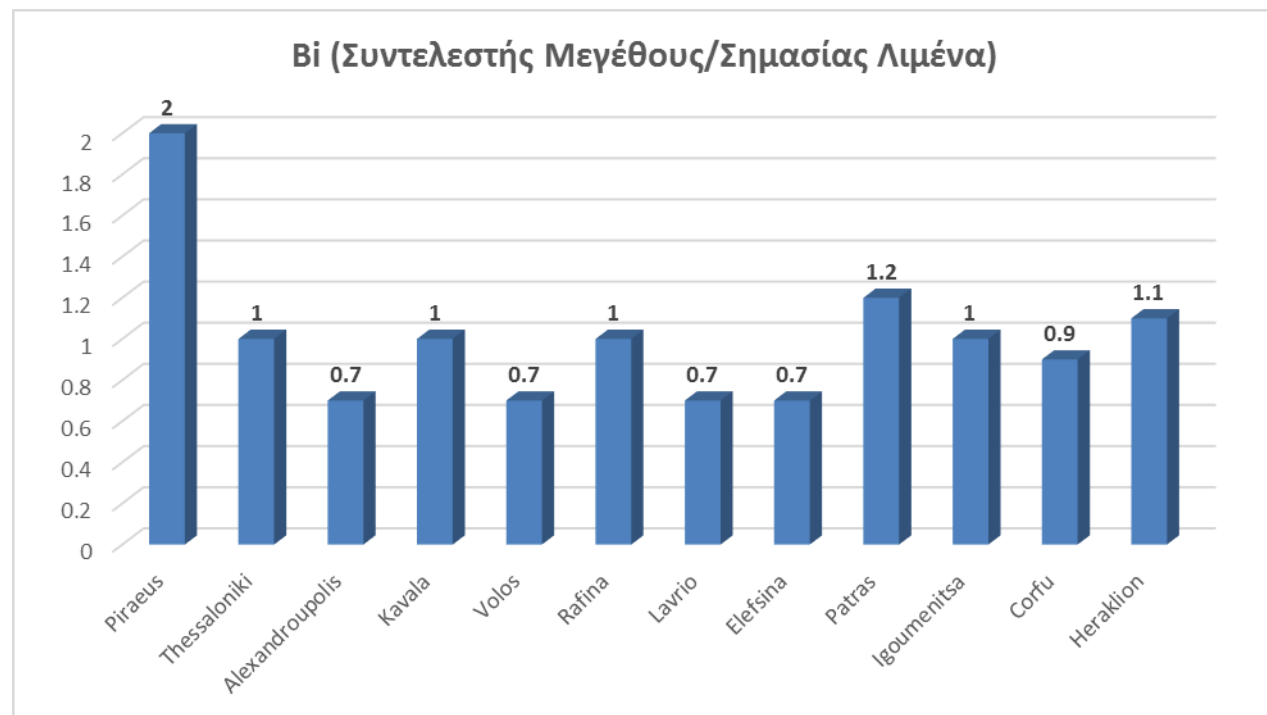
Διάγραμμα 4.5.1 Δ1 Τιμές Συντελεστών Μεταβολής Απόδοσης ΔΧ από 0,7 έως και 2



Ο **δεύτερος συντελεστής** ο οποίος εισάγεται στο μοντέλο βελτιστοποίησης και κατά συνέπεια στην αντικειμενική συνάρτηση είναι ο **συντελεστής μεγέθους/σημασίας των λιμένων που συμβολίζεται με Β**. Αυτός ο συντελεστής χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει διαχωρισμός μεταξύ των λιμένων που επωφελούνται περισσότερο από εκείνων που επωφελούνται λιγότερο από την υλοποίηση της ίδιας ενέργειας. Για παράδειγμα στον λιμένα του Πειραιά ή του Ηρακλείου η αύξηση της απόδοσης είναι μεγαλύτερη μετά την υλοποίησης επέκτασης των κρηπιδωμάτων από ότι στον λιμένα της Καβάλας. Αυτό συμβαίνει διότι είναι πολύ μεγαλύτεροι, στρατηγικά πολύ πιο σημαντικοί αλλά και διότι οι δείκτες υποδηλώνουν ότι έχουν καλύτερες μελλοντικές προοπτικές. Όποτε το ίδιο μέγεθος επένδυσης οδηγεί σε μεγαλύτερη απόδοση.

Έτσι λοιπόν, προκειμένου να προσδιοριστούν συγκεκριμένοι συντελεστές **Β από 0,7 έως και 2** για τον κάθε λιμένα **μελετήθηκαν το μέγεθος** του κάθε λιμένα, εξετάστηκαν **η στρατηγική σημασία και η προοπτική** τους στην επιβατική διακίνηση επιβατών στην χώρα και λήφθηκαν υπόψη οι συντελεστές ένδειξης της απόδοσης **Λειτουργικά Έξοδα/Επιβάτες και Επιβάτες/Μήκος Κρηπιδωμάτων**.

Διάγραμμα 4.5.1 Δ2 Τιμές Συντελεστή Μεγέθους/Σημασίας Β από 0.7 έως και 2



Καθώς ο **λιμένας του Πειραιά** είναι με διαφορά ο μεγαλύτερος (μήκος κρηπιδωμάτων), ο πιο σημαντικός λόγω στρατηγικής θέσης και συχνότητας δρομολογίων, εισερχόμενων και εξερχόμενων επιβατών αλλά και διαθέτει βάση των συντελεστών απόδοσης που έχουν υπολογιστεί πολύ σημαντική προοπτική ανάπτυξης και αύξησης της απόδοσης του αξιολογείται με τον **μεγαλύτερο συντελεστή** που ισούται με **2**.

Αμέσως μετά τον λιμένα του Πειραιά ακολουθούν σε αξιολόγηση οι λιμένες της **Πάτρας** και του **Ηρακλείου** με συντελεστές **1,2** και **1,1** αντίστοιχα. Ο **λιμένας της Θεσσαλονίκης** αν και είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος αξιολογείται με **συντελεστή B ίσο με 1** καθώς είναι κυρίως εμπορευματικής χρήσης. **Τελευταίοι σε μέγεθος, σημασία και προοπτική** θεωρήθηκε ότι είναι οι λιμένες της **Αλεξανδρούπολης, του Βόλου, της Ελευσίνας και του Λαυρίου**.

Συνεπώς στην αντικειμενική συνάρτηση στην οποία και επιδιώκεται η μεγιστοποίηση εισάγονται και οι δύο παραπάνω συντελεστές.

4.5.2 Περιορισμοί

Στο μοντέλο βελτιστοποίησης πέρα από την αντικειμενική συνάρτηση χρησιμοποιούνται και κάποιοι **βασικοί περιορισμοί** οι οποίοι δίνουν ρεαλιστική υπόσταση στο πρόβλημα και διευκολύνουν την επίλυση.

Περιορισμός Διαθέσιμου Κεφαλαίου

Αρχικά υπάρχει ο **περιορισμός του αρχικού κεφαλαίου**. Προκειμένου να έχει νόημα η κατανομή του προϋπολογισμού στα έργα αναβάθμισης των δώδεκα λιμένων πρέπει να μην είναι εφικτή η υλοποίηση του συνόλου των ενεργειών και έτσι να πρέπει να δοθεί προτεραιότητα σε κάποιες ενέργειες και σε κάποιες άλλες όχι. Συνεπώς επιλύεται το πρόβλημα βελτιστοποίησης για **τρία διαφορετικά σενάρια προϋπολογισμού**. Στο πρώτο σενάριο ο προϋπολογισμός είναι χαμηλός, στο δεύτερο μεσαίος και στο τρίτο υψηλός.

Πίνακας 4.5.2 Π1 Περιορισμός προϋπολογισμού έτσι όπως εμφανίζεται στο μοντέλο

Περιορισμός Κεφαλαίου



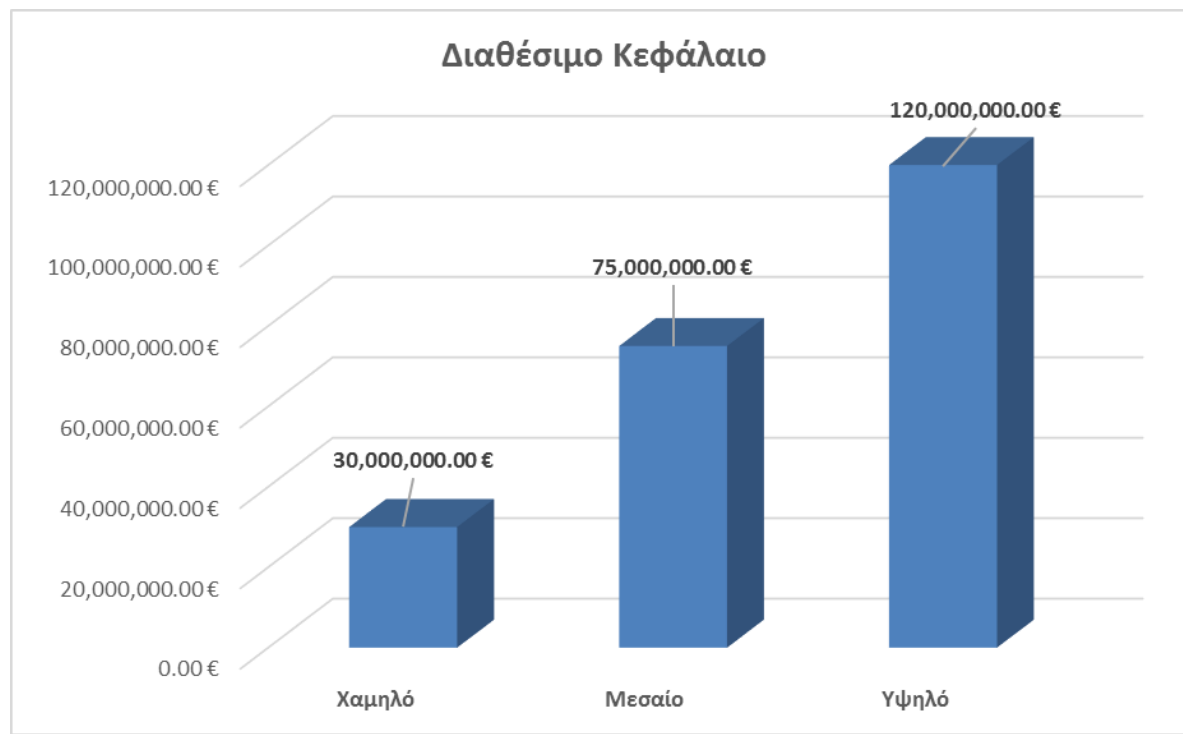
$$\sum (X_{ij} * C_{ijk}) \leq B_k$$

X_{ijk} : Μεταβλητή που παίρνει τιμές 0 ή 1

C_{ijk} : Κόστος Κάθε Ενέργειας που Ενεργοποιείται

B_k : Διαθέσιμος Προϋπολογισμός

Διάγραμμα 4.5.2 Δ1 Τρία διαφορετικά σενάρια προϋπολογισμού



Για κάθε διαφορετικό σενάριο το πρόβλημα επιλύεται ξανά και κάθε φορά οι 252 μεταβλητές του προβλήματος παίρνουν διαφορετικές τιμές. Είναι προφανές ότι όταν διαθέσιμος είναι ο χαμηλός προϋπολογισμός πραγματοποιούνται λιγότερες ενέργειες από ότι όταν ο προϋπολογισμός είναι υψηλός, δηλαδή περισσότερες μεταβλητές X_{ijk} παίρνουν τιμή μηδέν στο πρώτο σενάριο συγκριτικά με το τρίτο.

Προκειμένου να ορισθούν τα μεγέθη των τριών αρχικών διαθέσιμων κεφαλαίων βάση των οποίων επιλύθηκε το πρόβλημα, υπολογίσθηκε το **σύνολο του κεφαλαίου** που θα απαιτούνταν εφόσον πραγματοποιούνταν όλες οι ενέργειες σε όλους τους λιμένες. Βάση αυτού του μεγέθους έγιναν οι τρεις υποθέσεις.

Υστέρα από τη μελέτη της βιβλιογραφίας και πιο συγκεκριμένα του επενδυτικού προγράμματος του λιμένος του Πειραιά 2012-2016, ορίσθηκαν αντιπροσωπευτικές **τιμές κόστους της κάθε ενέργειας αναβάθμισης**. Ενδεικτικά για την επέκταση των επιβατικών **κρηπιδωμάτων** το κόστος αντιστοιχεί σε **17.000 Euro ανά μέτρο επέκτασης** ενώ για την επέκταση της επιβατικής **πλατφόρμας** το κόστος αντιστοιχεί σε **2.000 Euro ανά τετραγωνικό μέτρο επέκτασης**.

Γίνεται επίσης η υπόθεση ότι σε κάθε λιμένα επενδύεται το **ίδιο κεφάλαιο** για την υλοποίηση της κάθε ενέργειας ανεξαρτήτως του μεγέθους του και του μήκους των κρηπιδωμάτων του.

Η υπόθεση σταθερής χρηματικής επένδυσης ανά λιμένα οδηγεί στο ότι το μέγεθος των υλοποιήσιμων έργων αναβάθμισης ανά λιμένα είναι επίσης σταθερό. Συνεπώς επεκτείνουμε σε κάθε λιμένα κατά μέσο όρο 100 μέτρα τα επιβατικά κρηπιδώματα, κατά 70 μέτρα τα κρηπιδώματα προς χρήση κρουαζιερόπλοιων, κατά 2.000 τετραγωνικά μέτρα την επιβατική πλατφόρμα των λιμένων και κατά 1.000 τετραγωνικά μέτρα την πλατφόρμα επιβίβασης και αποβίβασης επιβατών κρουαζιερόπλοιων.

Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν τα ενδεικτικά κόστη ανά μέτρο και ανά τετραγωνικό μέτρο με τα αντίστοιχα μέτρα και τετραγωνικά μέτρα επέκτασης λαμβάνουμε τα παρακάτω επενδυτικά κεφάλαια που αντιστοιχούν στην κάθε ενέργεια αναβάθμισης.

Πίνακας 4.5.2 Π2 Συνολικό κόστος επένδυσης κάθε ενέργειας σε κάθε λιμένα

	Επέκταση κρηπιδώματος για επιβατικά πλοία(euros)	Επέκταση λιμένος που αφορά την επιβατική κίνηση(euros)	Επέκταση κρηπιδώματος για κρουαζιερόπλοια (euros)	Επέκταση σταθμού κρουαζιερόπλοιων (euros)	Αναβάθμιση υπάρχουσων λιμενικών υποδομών(euros)	Περιβαλλοντικές υποδομές (απόβλητων, ενέργειας, οπτικών ινών, φωτοβολταϊκών) (euros)	Εκβάθυνση λιμένα (euros)
Piraeus	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Thessaloniki	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Alexandroupolis	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Kavala	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Volos	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Rafina	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Lavrio	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Elefsina	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Patras	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Igoumenitsa	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Corfu	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €
Heraklion	1,700,000.00 €	4,000,000.00 €	1,200,000.00 €	2,000,000.00 €	10,000,000.00 €	1,000,000.00 €	4,000,000.00 €

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν όλες οι ενέργειες με τα αναγραφόμενα κόστη που φαίνονται στον παραπάνω πίνακα θα έπρεπε το αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο να ήταν περίπου **280.000.000 Euro**. Έτσι έγινε η υπόθεση ότι ο **υψηλός** διαθέσιμος προϋπολογισμός θα ανέρχεται περίπου σε κάτι λιγότερο από το μισό του συνόλου που απαιτείται για την υλοποίηση όλων των ενεργειών, δηλαδή σε **120.000.00 Euro**, ο **μεσαίος** σε κάτι λιγότερο από το 1/3 του συνόλου δηλαδή σε **75.000.000 Euro** και ο **χαμηλός** προϋπολογισμός περίπου στο 1/8 του συνόλου δηλαδή σε **30.000.000 Euro**.

Ο προϋπολογισμός σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια κατανέμεται ομοιόμορφα σε τρία έτη. Στην περίπτωση του υψηλού προϋπολογισμού κάθε χρόνο διαθέσιμα είναι 40.000.000 Euro στην περίπτωση του μεσαίου 25.000.000 Euro και στην περίπτωση του χαμηλού 10.000.000 Euro.

Ο βασικός περιορισμός που εισάγεται στο μοντέλο βελτιστοποίησης είναι ότι το άθροισμα του κόστους όλων των πραγματοποιήσιμων ενεργειών ανά έτος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το αντίστοιχο κεφάλαιο που είναι διαθέσιμο ανά έτος.

Πέραν όμως του σεναρίου ομοιόμορφης κατανομής του αρχικού κεφαλαίου στη διάρκεια τριών ετών, κάθε περίπτωση προϋπολογισμού (υψηλού, μεσαίου, χαμηλού) επιλύεται δύο φορές μία φορά **χωρίς μετακύλιση** προϋπολογισμού, όπου αντιστοιχεί σε σταθερό κεφάλαιο ανά έτος, και μία φορά **με μετακύλιση** προϋπολογισμού.

Στην περίπτωση όπου **δεν υπάρχει μετακύλιση προϋπολογισμού** το κεφάλαιο που αντιστοιχεί σε κάθε ένα από τα τρία χρόνια δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί τον επόμενο χρόνο. Για παράδειγμα, το άθροισμα του κόστους όλων των πραγματοποιήσιμων ενεργειών το πρώτο έτος στην περίπτωση του χαμηλού αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10.000.000 Euro.

Στην περίπτωση όπου υπάρχει **μετακύλιση προϋπολογισμού** το διαθέσιμο χρηματικό κεφάλαιο μεταβιβάζεται τον επόμενο χρόνο, υπάρχει δηλαδή η δυνατότητα να επαναχρησιμοποιηθεί. Έτσι το σύνολο του κόστους των ενεργειών κάθε έτους αθροίζεται με το σύνολο του κόστους των πραγματοποιήσιμων ενεργειών του προηγούμενου έτους και αυτό το ποσό δεν πρέπει να υπερβαίνει το άθροισμα των προϋπολογισμών των αντίστοιχων ετών. Δηλαδή στην περίπτωση του χαμηλού προϋπολογισμού το άθροισμα του κόστους των πραγματοποιήσιμων ενεργειών τα δύο πρώτα έτη θα πρέπει να είναι μικρότερο από 20.000.000 Euro αντί για 10.000.000 Euro.

4.5.3 Περιορισμοί Υλοποίησης Ενεργειών Αναβάθμισης

Ο **δεύτερος** περιορισμός ο οποίος εισάγεται στο πρόβλημα βελτιστοποίησης αφορά στη σειρά **προτεραιότητας δύο βασικών ενεργειών, της επέκτασης των κρηπιδωμάτων και της εκβάθυνσης των λιμένων**. Η ενέργεια εκβάθυνσης των λιμένων θα πρέπει να προηγείται τόσο της επέκτασης των επιβατικών κρηπιδωμάτων όσο και της επέκτασης των κρηπιδωμάτων για χρήση κρουαζιερόπλοιων. Δηλαδή η ενέργεια 7 για κάθε λιμένα θα πρέπει να πραγματοποιείται πριν από τις ενέργειες 1 και 3 και αυτό θα πρέπει να ισχύει για κάθε έτος ξεχωριστά.

Ο **τρίτος** περιορισμός αφορά στον χρονικό περιορισμό υλοποίησης των ενεργειών. Η **κάθε ενέργεια μπορεί να υλοποιηθεί μόνο μία φορά στα τρία χρόνια**, είτε τον πρώτο, είτε τον δεύτερο, είτε τον τρίτο χρόνο. Αυτό εκφράζεται πρακτικά στο μοντέλο βελτιστοποίησης όταν το άθροισμα των τριών μεταβλητών X_{ijk} για κάθε ενέργεια για κάθε λιμάνι που αντιστοιχούν στα τρία έτη είναι μικρότερο ή ίσο της μονάδας, δηλαδή παίρνει είτε τιμή 1 είτε τιμή 0.

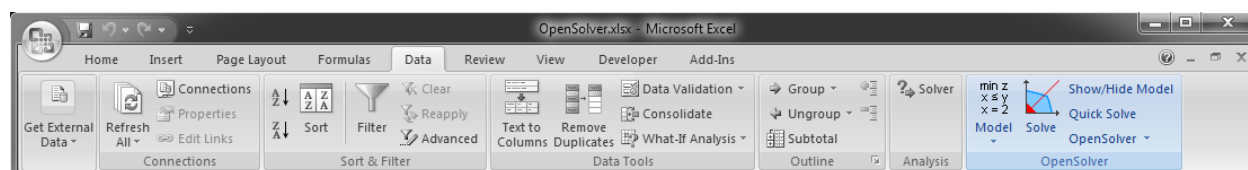
Ο **τέταρτος** περιορισμός αφορά στους λιμένες εκείνους στους οποίους δεν πραγματοποιείται κίνηση κρουαζιερόπλοιων. Δηλαδή τους λιμένες της Αλεξανδρούπολης, της Ραφήνας και της Ελευσίνας. Σε αυτούς τους λιμένες θα πρέπει να υπάρχει ο περιορισμός **μη πραγματοποίησης των ενεργειών που αφορούν στο τμήμα του λιμένα που αξιοποιείται από τα κρουαζιερόπλοια**. Δηλαδή την επέκταση των κρηπιδωμάτων για κρουαζιερόπλοια και της πλατφόρμας για τους επιβάτες των κρουαζιερόπλοιων, οι ενέργειες με αριθμούς 3 και 4. Αυτές οι ενέργειες για κάθε ένα από τα τρία παραπάνω λιμάνια δεν θα πρέπει να πραγματοποιούνται καμία χρονιά και οι αντίστοιχες μεταβλητές X_{ijk} θα πρέπει να παίρνουν τιμή 0.

4.6 Προγραμματιστική Εφαρμογή Μοντέλου Βελτιστοποίησης μέσω Excel

Το μοντέλο βελτιστοποίησης και η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης βρίσκουν εφαρμογή μέσω εργαλείου προγραμματισμού σχεδιασμένο για το **Microsoft Excel**. Το εργαλείο αυτό ονομάζεται **Open Solver** και είναι **βασισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού C++** και είναι σχεδιασμένο για την επίλυση μεγάλων γραμμικών προβλημάτων βελτιστοποίησης και προβλημάτων ακέрайου προγραμματισμού. Δεν υπάρχουν τεχνητοί περιορισμοί στην εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου και συνεπώς ο αριθμός των δεδομένων που εισάγονται στο πρόβλημα μπορεί αν είναι πολύ μεγάλος.

Το εργαλείο Open Solver εισάγεται στο Microsoft Excel ως προσθήκη κάτω από το Data Section. Η προσθήκη του εργαλείου φαίνεται στο παρακάτω εικονίδιο:

Εικόνα 4.6 Ε1 Προσθήκη Open Solver στο Microsoft Excel



Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το μοντέλο βελτιστοποίησης έτσι όπως εμφανίζεται στο Open Solver. Το **Open Solver** επιτρέπει την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, **μεγιστοποιώντας, ελαχιστοποιώντας ή ορίζοντας μια συγκεκριμένη τιμή** την οποία είναι επιθυμητό να πάρει η αντικειμενική συνάρτηση. Οπότε, το **objective cell** αντιστοιχεί στο κελί εκείνο που περιέχει τον τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης. Δίπλα από το objective cell εμφανίζονται τρεις επιλογές μεγιστοποίησης, ελαχιστοποίησης και ορισμού συγκεκριμένης τιμής.

Κάτω από το objective cell υπάρχουν τα **variable cells**. Τα variable cells σε αντίθεση με το objective cell που αντιστοιχεί σε ένα κελί και μπορεί να πάρει μόνο μία τιμή (μέγιστη, ελάχιστη ή καθορισμένη) αντιστοιχούν σε όλα εκείνα τα κελιά στο excel τα οποία περιέχουν τις μεταβλητές του προβλήματος των οποίων οι τιμές μεταβάλλονται ανάλογα με την επίλυση του μοντέλου, δηλαδή τα **Xijk**. Στα προβλήματα ακέрайου προγραμματισμού μετά την επίλυση του μοντέλου οι μεταβλητές αυτές παίρνουν τιμές 0 ή 1. Στο πρόβλημα μας το σύνολο των μεταβλητών των οποίων οι τιμές θα προσδιοριστούν μετά την επίλυση του μοντέλου και εισάγονται ως **variable cells** στο open solver είναι 252.

Τέλος στο μοντέλο εισάγονται οι περιορισμοί κάτω από την υπόδειξη **constraints**. Οι περιορισμοί αντιστοιχούν στα κελιά των μεταβλητών **Xijk** για τα οποία είναι επιθυμητός ο ορισμός μίας διαφορετικής συνθήκης από εκείνη αυτή που ισχύει για όλα τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα είναι επιθυμητό μία συγκεκριμένη ενέργεια να προηγείται μίας άλλης για ένα λιμάνι ή και να μην υλοποιείται καθόλου. Στην περίπτωση λόγου χάρη που είναι επιθυμητό να προηγείται η εκβάθυνση του λιμένα της επέκτασης των κρηπιδωμάτων θα πρέπει να ισχύει για τον λιμένα του Πειραιά $X_{1,1,7} \geq X_{1,1,1}$.

Εικόνα 4.6 Ε2 Μοντέλο Βελτιστοποίησης στο Open Solver

OpenSolver - Model

What is AutoModel? AutoModel

AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by the observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window and solve with OpenSolver or Solver. Note that you don't have to use this feature: the model can still be built manually. Please note that AutoModel will replace the model in this window, but won't save it to the sheet until you click Save Model.

Objective cell: ☐ maximise ☒ minimise ☐ target value:

Variable cells:

Constraints:

<Add new constraint>
\$G\$6:\$G\$7 >= \$I\$6:\$I\$7
\$G\$8 >= \$I\$8
\$G\$9 >= \$I\$9

☒ Make unconstrained variable cells non-negative

Modify a constraint: select, make changes, then click "Update constraint".
 Add a constraint: select "Add new constraint", enter the new constraint's details, then click "Add Constraint"

Shadow Prices: ☐ List constraints and shadow prices in table with top-left cell:

☒ Show model after saving

Στην δεύτερη εικόνα που παρεμβάλλεται φαίνεται πώς στήνεται πρακτικά το μοντέλο στο Open Solver για το **συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης**. Όπως έχει ήδη αναφερθεί επιδιώκεται μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης καθώς σε αυτή εισάγονται οι συντελεστές μεταβολής απόδοσης και σημασίας των λιμένων, οι οποίοι είναι θετικοί δείκτες. Έτσι το objective cell πρέπει να λάβει μετά την επίλυση του excel solver τη μέγιστη δυνατή τιμή.

Εικόνα 4.6 Ε3 Μοντέλο Βελτιστοποίησης στο Open Solver για το Συγκεκριμένο Πρόβλημα

OpenSolver - Model

What is AutoModel? AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window.

Objective cell: ☒ maximise ☐ minimise ☐ target value:

Variable cells:

Constraints:

☒ Make unconstrained variable cells non-negative

☒ Show named ranges

Sensitivity Analysis: ☐ List sensitivity analysis on the same sheet with top left cell:
☐ Output sensitivity analysis: ☒ updating any previous output sheet ☐ on a new sheet

Solver Engine: Current Solver Engine: CBC

☒ Show model after saving

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα Μοντέλου Βελτιστοποίησης

Προκειμένου να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, το **μοντέλο βελτιστοποίησής στο open solver επιλύεται για διάφορα σενάρια** προϋπολογισμού και κόστους υλοποίησης ενεργειών.

Αρχικά εφαρμόζονται **τρία διαφορετικά σενάρια αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου**. Τα τρία σενάρια αναφέρονται σε **χαμηλό, μεσαίο και υψηλό** προϋπολογισμό. Για κάθε ένα από τα τρία αυτά σενάρια το πρόβλημα επιλύεται με τη βοήθεια του Open Solver 2 φορές, μία για προϋπολογισμό χωρίς μετακύλιση και μία με προϋπολογισμό με μετακύλιση. Σε δεύτερο στάδιο το πρόβλημα επιλύεται για την περίπτωση του μεσαίου προϋπολογισμού, για 10% αυξημένα κόστη υλοποίησης ενεργειών και 10% μειωμένα κόστη υλοποίησης ενεργειών με και χωρίς μετακύλιση.

Έτσι λοιπόν συνολικά η διπλωματική εργασία συμπεριλαμβάνει **10 διαφορετικές επιλύσεις**.

Αυτές οι επιλύσεις καθιστούν εφικτή τη **σύγκριση των αποτελεσμάτων** των διαφορετικών σεναρίων και την **εξαγωγή** χρήσιμων **συμπερασμάτων** όπως για παράδειγμα ποιο σενάριο είναι πιο αποδοτικό. Λογικό είναι στόχος κάθε φορά να είναι η υλοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων ενεργειών με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Καθώς μεταβάλλονται τόσο το μέγεθος του προϋπολογισμού όσο και το κόστος υλοποίησης των ενεργειών παρατηρούνται διαφορές στην ενεργοποίηση των επενδύσεων και αξιολογείται ο βαθμός στον οποίο επηρεάζονται. Υπάρχει περίπτωση για παράδειγμα να απαιτείται η συνεισφορά πολύ μεγαλύτερου κεφαλαίου από το μεσαίο σενάριο προϋπολογισμού για την ενεργοποίηση αρκετά περισσότερων ενεργειών. Ή ακόμα να μην σημειώνεται πολύ μεγαλύτερη διαφορά στην ενεργοποίηση ενεργειών για αντίστοιχο διπλασιασμό του διαθέσιμου κεφαλαίου.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των 10 διαφορετικών σεναρίων επίλυσης του μοντέλου βελτιστοποίησης για την καλύτερη δυνατή κατανομή του προϋπολογισμού για την αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών των 12 σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων.

5.1 Χαμηλό Σενάριο Προϋπολογισμού Χωρίς Μετακύλιση Κεφαλαίου

Ο χαμηλός διαθέσιμος προϋπολογισμός ορίζεται σε **30.000.000 Ευρώ**. Αυτό σημαίνει ότι κάθε χρόνο το συνολικό κόστος υλοποιήσιμων ενεργειών για όλους τους λιμένες δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα **10.000.000 Ευρώ**. Το αρχικό κεφάλαιο αυτού του μεγέθους ανέρχεται περίπου στο 1/8 του κόστους υλοποίησης όλων των ενεργειών σε όλους τους λιμένες.

Παρακάτω παρεμβάλλεται ο πίνακας ενεργοποίησης των ενεργειών στους λιμένες όταν επιλύεται το μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης για το συγκεκριμένο σενάριο προϋπολογισμού. Η τιμή 1 δηλώνει ενεργοποίηση ενέργειας και η τιμή 0 μη ενεργοποίηση ενέργειας.

Πίνακας 5.1 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Χαμηλό Προϋπολογισμό Χωρίς Μετακύλιση

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρηπιδωμάτων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρηπιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Παρατηρείται ότι και σε αυτό το σενάριο ο μεγαλύτερος αριθμός ενεργειών ενεργοποιείται για τον λιμένα του **Πειραιά**, ο οποίος και εξ ορισμού είναι ο σημαντικότερος και έχει το μεγαλύτερο συντελεστή μεγέθους/σημασίας Β ίσο με 2. Συνεπώς, στον λιμένα του Πειραιά ενεργοποιούνται **πέντε από τις επτά ενέργειες αναβάθμισης**.

Οι αμέσως επόμενοι λιμένες σε σειρά αριθμού ενεργοποιήσιμων ενεργειών είναι οι λιμένες του **Ηρακλείου** και της **Πάτρας** στους οποίους ενεργοποιούνται **οι τέσσερις από τις επτά ενέργειες**. Οι λιμένες αυτοί είναι οι αμέσως λιγότερο σημαντικοί λιμένες μετά τον λιμένα του Πειραιά και αξιολογούνται με συντελεστή μεγέθους/σημασίας Β, 1.1 και 1.2 αντίστοιχα. Παρατηρείται λοιπόν ότι προτεραιότητα μέσω της επίλυσης του μοντέλου για χαμηλό αρχικό κεφάλαιο χωρίς μετακύλιση προϋπολογισμού δίνεται στους τρεις πιο σημαντικούς λιμένες, του Πειραιά, της Πάτρας και του Ηρακλείου ενώ προφανώς ο διαθέσιμος προϋπολογισμός δεν επαρκεί για την ενεργοποίηση πολλών ακόμα ενεργειών.

Στους τρεις αυτούς λιμένες στους οποίους ενεργοποιούνται οι περισσότερες ενέργειες, υλοποιούνται σε όλους οι ενέργειες επέκτασης κρηπιδωμάτων για χρήση τόσο επιβατικών πλοίων όσο και κρουαζιερόπλοιων, η ενέργεια εκβάθυνσης λιμένα και η ενέργεια αναβάθμισης περιβαλλοντικών υποδομών, δηλαδή οι ενέργειες 1,3, 6 και 7.

Σε κανέναν δεν ενεργοποιούνται οι ενέργειες 2 και 5, επέκτασης επιβατικής πλατφόρμας και η ενέργεια αναβάθμισης λιμενικών υποδομών. Η υλοποίηση αυτών των ενεργειών ανέρχεται και στο μεγαλύτερο κόστος καθώς για την πρώτη απαιτούνται 4.000.000 Euro και για τη δεύτερη 10.000.000 Euro.

Ενέργειες ενεργοποιούνται σε εφτά από τους δώδεκα λιμένες και έτσι λοιπόν στους λιμένες της Αλεξανδρούπολης, του Βόλου, του Λαυρίου, της Ελευσίνας και της Κέρκυρας δεν ενεργοποιείται καμία ενέργεια. Πέρα από τους τρεις πρώτους λιμένες στους υπόλοιπους τέσσερις λιμένες που υλοποιούνται ενέργειες και είναι οι λιμένες της Θεσσαλονίκης, της Καβάλας, της Ραφήνας και της Ηγουμενίτσας υλοποιείται μόνο η ενέργεια αναβάθμισης περιβαλλοντικών υποδομών η οποία αν και είναι η λιγότερο σημαντική ενέργεια από πλευράς συνεισφοράς στην βελτίωση της απόδοσης των λιμένων έχει αξιολογηθεί με το χαμηλότερο κόστος.

Συνολικά υλοποιούνται **17 από τις 86 ενέργειες** αναβάθμισης.

5.2 Χαμηλό Σενάριο Προϋπολογισμού με Μετακύλιση Κεφαλαίου

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης για χαμηλό αρχικό κεφάλαιο με μετακύλιση προϋπολογισμού περιορίζεται και πάλι στα **30.000.000 Ευρώ** αλλά σε αυτό το σενάριο όπως προηγουμένως έχει επεξηγηθεί το άθροισμα κόστους των επιμέρους ενεργειών για τη δεύτερη και την πρώτη χρονιά για παράδειγμα θα πρέπει να μικρότερο από το άθροισμα των κεφαλαίων που αντιστοιχούν στις πρώτες δύο χρονιές, δηλαδή μικρότερο από 20.000.000 Ευρώ αντί για 10.000.000 Ευρώ.

Παρακάτω παρεμβάλλεται ο πίνακας ενεργοποίησης ενεργειών για όλους τους λιμένες στους οποίους ενεργοποιούνται ενέργειες μετά την μαθηματική επίλυση του μοντέλου βελτιστοποίησης.

Πίνακας 5.2 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Χαμηλό Προϋπολογισμό με Μετακύλιση

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρητιδωμάτων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρητιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Παρατηρούνται κάποιες **ουσιαστικές διαφορές** σε σύγκριση με την επίλυση του μοντέλου για χαμηλό προϋπολογισμό χωρίς μετακύλιση κεφαλαίου. Αρχικά **ενέργειες ενεργοποιούνται μόνο σε τρεις λιμένες** από τους δώδεκα οι οποίοι είναι όμως και οι πιο σημαντικοί. Αυτοί είναι οι λιμένες του **Πειραιά**, της **Πάτρας** και του **Ηρακλείου**.

Στους λιμένες της Πάτρας και του Ηρακλείου υλοποιούνται ακριβώς οι ίδιες ενέργειες που υλοποιούνται και στο σενάριο χαμηλού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση. Στο λιμένα του **Πειραιά** όμως **ενεργοποιείται επιπλέον μία ενέργεια** συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο. Αυτή είναι η ενέργεια 2 η οποία αντιστοιχεί στην επέκταση της πλατφόρμας προς χρήση των επιβατών των επιβατικών πλοίων. Συνεπώς δεν υλοποιείται η ενέργεια αναβάθμισης περιβαλλοντικών υποδομών για τέσσερις λιμένες όπως γίνεται στην άλλη

περίπτωση χαμηλού προϋπολογισμού παρόλα αυτά ενεργοποιείται μία πιο σημαντική ενέργεια με πολύ μεγαλύτερο κόστος σε έναν πολύ πιο σημαντικό λιμένα.

Το **συνολικό κεφάλαιο επένδυσης** παραμένει **σταθερό** και στην περίπτωση χαμηλού προϋπολογισμού με μετακύλιση και στην περίπτωση χαμηλού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση. Το άθροισμα του κόστους των υλοποιήσιμων ενεργειών είναι λοιπόν ίδιο. Ο αριθμός των έργων αναβάθμισης που υλοποιούνται όμως διαφοροποιείται, στη δεύτερη περίπτωση υλοποιούνται **14 από τις 86** συνολικά ενέργειες τρεις λιγότερες από την προηγούμενη περίπτωση. Παρόλα αυτά υλοποιείται μία πολύ σημαντική ενέργεια με υψηλό κόστος στον πιο σημαντικό λιμένα και βάση αυτού η εκδοχή του προβλήματος χαμηλού προϋπολογισμού με μετακύλιση κρίνεται πιο αποδοτική από αυτή χωρίς μετακύλιση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι και σε αυτή όπως και στην προηγούμενη περίπτωση όπου εφαρμόστηκε το μοντέλο μετακύλισης κεφαλαίου, προκειμένου να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης **όλες οι ενέργειες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος** και καμία τα δύο προηγούμενα.

5.3 Μεσαίο Σενάριο Προϋπολογισμού Χωρίς Μετακύλιση

Ο μεσαίος αρχικός διαθέσιμος προϋπολογισμός ορίζεται για **75.000.000 Ευρώ** και η πρώτη επίλυση του μοντέλου με περιοριστικό παράγοντα το συγκεκριμένο μέγεθος επιλύεται **χωρίς μετακύλιση** προϋπολογισμού. Συνεπώς, το σύνολο του κόστους των υλοποιήσιμων ενεργειών για κάθε έτος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 25.000.000 Euro.

Παρακάτω παρεμβάλλονται όλοι ο πίνακας που δείχνει ποιες ενέργειες ενεργοποιούνται σε κάθε λιμένα ξεχωριστά όταν επιλύεται η συγκεκριμένη εκδοχή προβλήματος βελτιστοποίησης για μεσαίο προϋπολογισμό χωρίς μετακύλιση.

Πίνακα 5.3 Π1 Ενεργοποίησης Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό Χωρίς Μετακύλιση

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρηπιδωμάτων	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρηπιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

Κατά την επίλυση της συγκεκριμένης εκδοχής του προβλήματος βελτιστοποίησης ο **μέγιστος αριθμός ενεργειών υλοποιείται** στον λιμένα του Πειραιά και αυτός είναι οι έξι από τις επτά ενέργειες αναβάθμισης. Ο λιμένας του Πειραιά εξορισμού έχει ορισθεί βάση του συντελεστή σημασίας και μεγέθους Β ως ο σημαντικότερος λιμένας και έχει αξιολογηθεί με τιμή 2 στην κλίμακα 0.7-2. Είναι λοιπόν αναμενόμενο σε κάθε επίλυση να ενεργοποιούνται οι περισσότερες ενέργειες στον συγκεκριμένο λιμένα.

Παρατηρείται επίσης ότι στους λιμένες της **Αλεξανδρούπολης**, του **Λαυρίου** και της **Ελευσίνας δεν ενεργοποιείται καμία ενέργεια**. Αυτοί οι τρεις λιμένες έχουν αξιολογηθεί με τη χαμηλότερη τιμή συντελεστή μεγέθους/σημασίας 0.7. Παρόλα αυτά στο λιμένα του Βόλου που έχει αξιολογηθεί με εξίσου χαμηλό συντελεστή ενεργοποιούνται τρεις ενέργειες.

Σε όλους τους λιμένες στους οποίους ενεργοποιούνται ενέργειες αναβάθμισης ενεργοποιούνται οι ενέργειες 1 και 7 όπου η μία είναι προϋπόθεση της άλλης. Υπενθυμίζεται ότι προκειμένου να ενεργοποιηθεί η ενέργεια 1 που είναι η επέκταση των επιβατικών κρηπιδωμάτων έχει τεθεί ως προϋπόθεση, βάση βιβλιογραφίας, να πραγματοποιείται αρχικά η ενέργεια 7 που είναι η εκβάθυνση του λιμένα. Στην ενέργεια 1 έχει προσδοθεί ο μεγαλύτερος συντελεστής μεταβολής της απόδοσης λιμένα καθώς αξιολογείται με ΔΧ ίσο με 2 στην κλίμακα 1.5-2. Η ενέργεια 7 που αντιστοιχεί στην εκβάθυνση του λιμένα αξιολογείται με χαμηλότερο ΔΧ ίσο με 1.5. Βάση λογικής μέσω της μαθηματικής επίλυσης του προβλήματος βελτιστοποίησης δίνεται προτεραιότητα στην ενεργοποίηση της ενέργειας επέκτασης των επιβατικών κρηπιδωμάτων και συνεπώς σε κάθε λιμένα στον οποίο υλοποιούνται ενέργειες, υλοποιούνται οι 6 και 1 μαζί.

Ακόμη σε οχτώ από τους εννιά λιμένες στους οποίους ενεργοποιούνται ενέργειες, ενεργοποιείται η ενέργεια 3 που είναι η επέκταση των κρηπιδωμάτων για την εξυπηρέτηση των κρουαζιερόπλοιων. Παρόλο που οι ενέργειες 2 και 3 αξιολογούνται με την ίδια βαρύτητα ως προς τη συνεισφορά τους στην μεταβολή της απόδοσης των λιμένων και παίρνουν τιμή συντελεστή ΔΧ ίση με 1.5 γίνεται η παρατήρηση ότι μόνο στον έναν από αυτούς τους εννέα λιμένες ενεργοποιείται η ενέργεια 2, στον λιμένα του Πειραιά. Καθοριστικό ρόλο σε αυτό το αποτέλεσμα της μαθηματικής επίλυσης του μοντέλου παίζει η διαφορά στο κόστος της υλοποίησης αυτών των ενεργειών καθώς κατά μέσο όρο για την υλοποίηση της επέκτασης της της επιβατικής πλατφόρμας, ενέργεια 2, απαιτείται κεφάλαιο ίσο με 4.000.000 Euro ενώ για την υλοποίηση της επέκτασης των κρηπιδωμάτων για χρήση κρουαζιερόπλοιων απαιτείται αρχικό κεφάλαιο ίσο με 1.700.000 Euro.

Σε πέντε λιμένες επίσης ενεργοποιείται η ενέργεια της αναβάθμισης των περιβαλλοντικών υποδομών, ενέργεια 6, παρόλο που αξιολογείται με το χαμηλότερο συντελεστή μεταβολής αναβάθμισης ΔΧ. Αυτό εξηγείται καθώς το κόστος υλοποίησης της συγκεκριμένης ενέργειας είναι το χαμηλότερο συγκριτικά με τις υπόλοιπες ενέργειες. Επίσης σε κανέναν λιμένα δεν ενεργοποιείται η ενέργεια αναβάθμισης λιμενικών υποδομών η οποία μπορεί να είναι πιο σημαντική από την αναβάθμιση των περιβαλλοντικών υποδομών αλλά το κόστος υλοποίησης της είναι πολύ μεγαλύτερο καθώς απαιτούνται 10.000.000 Euro για την υλοποίηση αυτής της ενέργειας.

Συνολικά στο μεσαίο σενάριο προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση υλοποιούνται 35 από τις 84 ενέργειες αναβάθμισης των λιμένων.

5.4 Μεσαίο Σενάριο Προϋπολογισμού με Μετακύλιση Προϋπολογισμού

Η δεύτερη εκδοχή του μοντέλου βελτιστοποίησης έχει ως περιοριστικό παράγοντα το ίδιο μέγεθος αρχικού διαθέσιμου προϋπολογισμού, δηλαδή **75.000.000 Ευρώ**. Η **διαφορά** τώρα είναι ότι κάθε έτος το συνολικό κόστος των υλοποιήσιμων ενεργειών μέχρι εκείνη τη χρονική στιγμή μπορεί να είναι μικρότερο ή ίσο του συνόλου των καταμερισμένων προϋπολογισμών των ετών που έχουν περάσει μέχρι τότε.

Παρακάτω παρεμβάλλεται ο πίνακας με τις ενέργειες που ενεργοποιούνται σε κάθε λιμένα για το συγκεκριμένη επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης.

Πίνακας 5.4 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρηπιδωμάτων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρηπιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Παρατηρείται ξανά ότι στον λιμένα του Πειραιά ενεργοποιείται ο μεγαλύτερος αριθμός ενεργειών, έξι από τις επτά ενέργειες. Σε τρεις λιμένες πάλι, της Αλεξανδρούπολης, της Ελευσίνας και του Λαυρίου δεν ενεργοποιούνται καθόλου ενέργειες. Σε όλους τους λιμένες που ενεργοποιούνται ενέργειες, ενεργοποιούνται οι ενέργειες με αριθμούς 1 και 7, δηλαδή η επέκταση των επιβατικών κρηπιδωμάτων και η εκβάθυνση του λιμένα. Στο σύνολο υλοποιούνται **35 από τις 86 ενέργειες** οι ίδιες με αυτές που ενεργοποιούνται στο σενάριο μεσαίου προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση κεφαλαίου.

Παρόλα αυτά σημειώνονται κάποιες **διαφορές** σε ορισμένες από τις ενέργειες που υλοποιούνται **συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο**. Στην Καβάλα και στην Ηγουμενίτσα ενεργοποιούνται κατά μία λιγότερες ενέργειες, καθώς δεν ενεργοποιείται η ενέργεια αναβάθμισης των περιβαλλοντικών υποδομών, ενώ στους λιμένες της Πάτρας και της Κέρκυρας ενεργοποιούνται κατά μία περισσότερες ενέργειες. Στον λιμένα της Πάτρας η ενέργεια επέκτασης πλατφόρμας για χρήση κρουαζιερόπλοιων και στον λιμένα της Κέρκυρας η ενέργεια αναβάθμισης περιβαλλοντικών υποδομών.

Αν και οι διαφορές των δύο σεναρίων με μία πρώτη ματιά φαίνονται μηδαμινές, αξίζει να τονιστεί ότι ο λιμένας της **Πάτρας** έχει αξιολογηθεί με μεγαλύτερο συντελεστή μεγέθους/σημασίας από ότι οι λιμένες της Καβάλας και της Ηγουμενίτσας και είναι βάση βαρύτητας συντελεστή Β ο δεύτερος πιο σημαντικός λιμένας που εισάγεται στο πρόβλημα. Σε αυτόν τον λιμένα ενεργοποιείται μία παραπάνω ενέργεια με την επίλυση μεσαίου προϋπολογισμού με μετακύλιση η οποία κοστίζει **1.000.000 Euro παραπάνω** από την ενέργεια αναβάθμισης Περιβαλλοντικών υποδομών που ενεργοποιείται στην πρώτη εκδοχή του προβλήματος στους λιμένες της Καβάλας και της Ηγουμενίτσας. Επίσης η ενέργεια επέκτασης της πλατφόρμας του λιμένα για χρήση κρουαζιερόπλοιων έχει θεωρηθεί ότι επιφέρει μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης των λιμένων συγκριτικά με την ενέργεια αναβάθμισης περιβαλλοντικών υποδομών, καθώς η πρώτη αξιολογείται με συντελεστή ΔΧ ίσο με 0.9 και η άλλη με συντελεστή ΔΧ ίσο με 0.7.

Μπορεί να εξαχθεί βάση των παραπάνω ότι το σενάριο μεσαίου προϋπολογισμού με μετακύλιση κεφαλαίου είναι **περισσότερο αποδοτικό** καθώς μπορεί ο αριθμός ενεργοποιήσιμων ενεργειών να μην μεταβάλλεται, αλλά **το κεφάλαιο που επενδύεται αυξάνεται κατά 1.000.000 Euro** και υλοποιούνται περισσότερες ενέργειες στον δεύτερο πιο σημαντικό λιμένα από αυτούς που εισάγονται στο πρόβλημα. Ο αντίλογος όμως στο παραπάνω πόρισμα είναι ότι στην περίπτωση μετακύλισης κεφαλαίου **όλες οι ενέργειες ενεργοποιούνται τον τρίτο χρόνο** και καμία τα δύο προηγούμενα έτη με αποτέλεσμα σε ρεαλιστικές συνθήκες αυτό πιθανόν να μην είναι δόκιμο και αποδοτικό.

5.5 Μεσαίο Σενάριο Προϋπολογισμού με 10% αυξημένα κόστη Υλοποίησης Ενεργειών

Το συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης εφαρμόζεται με περιορισμό αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου **75.000.000 Ευρώ**. Η διαφορά με το απλό σενάριο μεσαίου προϋπολογισμού είναι ότι όλα τα κόστη ενεργοποίησης των έργων αναβάθμισης λιμενικών υποδομών είναι προσαυξημένα κατά 10%. Βάση λογικής το σύνολο του κόστους της κάθε ετήσιας επένδυσης είναι υψηλότερο σε αυτό το σενάριο και έτσι θα πρέπει να υλοποιούνται λιγότερες ενέργειες.

Πίνακας 5.5 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρηπιδωμάτων	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρηπιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1

Ο αριθμός των ενεργοποιήσιμων ενεργειών δεν διαφέρει πάρα πολύ από αυτόν του προβλήματος μεσαίου κεφαλαίου για τα αρχικά κόστη ενεργειών. Ενώ στη πρώτη περίπτωση υλοποιούνται 35 από τις 86 ενέργειες, στην περίπτωση όπου τα κόστη προσαυξάνονται υλοποιούνται **33 από τις 86 ενέργειες, μόλις δύο λιγότερες ενέργειες**.

Πιο συγκεκριμένα στο σενάριο όπου τα κόστη αυξάνονται κατά 10% δεν ενεργοποιούνται καθόλου ενέργειες στον λιμένα του Βόλου σε αντίθεση με την πρώτη πρόβλημα όπου ενεργοποιούνται τρεις ενώ ενεργοποιείται μία παραπάνω ενέργεια στον λιμένα της Κέρκυρας αυτή της αναβάθμισης των περιβαλλοντικών υποδομών. Ο λιμένας του Βόλου είναι χαμηλής σημασίας σε σύγκριση με τους υπόλοιπους λιμένες που εισάγονται στο πρόβλημα βελτιστοποίησης και αξιολογείται με συντελεστή μεγέθους/σημασίας μόλις 0.7 στην κλίμακα 0.7-2. Ενώ ο λιμένας της Κέρκυρας στον οποίο ενεργοποιείται μία επιπρόσθετη

ενέργεια βαθμολογείται με συντελεστή 0.9 και κρίνεται μεγαλύτερης σημασίας συγκριτικά με του Βόλου.

Όταν τα κόστη των έργων υποδομής έχουν τις αρχικές τιμές και όχι τις προσαυξημένες υλοποιούνται **παραπάνω έργα υποδομής** συνολικού κόστους **5.900.000 Euro** βάση κανονικής κοστολόγησης. Παρόλα αυτά στην περίπτωση όπου το κόστος των έργων υποδομής δεν προσαυξάνεται το συνολικό κεφάλαιο που εν τέλει επενδύεται είναι 73.900.00 Euro ενώ στην περίπτωση προσαυξημένου κόστους το συνολικό κεφάλαιο που αξιοποιείται είναι 74.800.000 Euro. Παρατηρείται δηλαδή ότι θα έπρεπε το πρώτο σενάριο όπου το κόστος είναι μειωμένο να είναι πιο αποδοτικό και να υπάρχουν μεγαλύτερες διαφορές στον αριθμό και το είδος των υλοποιήσιμων ενεργειών.

5.6 Μεσαίο Σενάριο Προϋπολογισμού με 10% αυξημένα κόστη Υλοποίησης Ενεργειών με Μετακύλιση Προϋπολογισμού

Όπως και στην περίπτωση των προηγούμενων προβλημάτων με μετακύλιση κεφαλαίου, έτσι και τώρα το συνολικό διαθέσιμο κεφάλαιο είναι **75.000.000 Ευρώ** αλλά αυτό δεν καταμερίζεται σε κάθε έτος ξεχωριστά αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί και τα υπόλοιπα.

Πίνακας 5.6 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση για 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρηπιδωμάτων	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρηπιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1

Στο σενάριο αυτό δεν παρατηρείται **καμία απολύτως διαφορά σε σύγκρισή με το προηγούμενο σενάριο** στο οποίο δεν προβλεπόταν μετακύλιση κεφαλαίου. Ενεργοποιείται ο ίδιος ακριβώς αριθμός ενεργειών στους ίδιους λιμένες και αξιοποιείται το ίδιο μέρος του κεφαλαίου που είναι διαθέσιμο.

Το μόνο το οποίο παρατηρείται όπως και όπως και στα προηγούμενα προβλήματα με μετακύλιση είναι ότι όλες οι ενέργειες ενεργοποιούνται κατά το τρίτο έτος.

5.7 Μεσαίο Σενάριο Προϋπολογισμού με 10% Μειωμένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών

Για αυτή την εκδοχή προβλήματος το αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο και πάλι είναι **75.000.000 Ευρώ**, σε αυτή την περίπτωση όμως σε αντίθεση με την προηγούμενη τα κόστη των έργων υποδομής μειώνονται κατά 10% σε σύγκριση με αυτά που έχουν οριστεί αρχικά. Βάση λογικής ενεργοποιούνται περισσότερες ενέργειες από το πρόβλημα μεσαίου προϋπολογισμού με τα αρχικά ορισμένα κόστη ενεργειών.

Πίνακας 5.7 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση για 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρητιδωμάτων	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρητιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1

Ως απόρροια του μειωμένου κόστους ενεργοποιούνται **δέκα παραπάνω ενέργειες** συγκριτικά με το πρώτη εκδοχή του προβλήματος ενώ **παραλείπεται η ενεργοποίηση μόνο μίας ενέργειας** στον λιμένα του Βόλου ο οποίος δεν είναι ανάμεσα στους πιο σημαντικούς λιμένες που εισάγονται στο πρόβλημα.

Το συνολικό κόστος των **παραπάνω υλοποιήσιμων ενεργειών** ανέρχεται στα **10.200.000 Ευρώ** βάση κανονικής κοστολόγησης. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης μειωμένου κόστους κατά 10% κρίνεται **πολύ αποδοτικό** όχι μόνο για τους παραπάνω λόγους αλλά και επειδή με την επίλυση του μαθηματικού μοντέλου και τη μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης επενδύονται εν τέλει 74.610.000 Ευρώ συνολικά από το σύνολο των 75.000.000 Ευρώ που είναι το μέγεθος του κεφαλαίου που είναι διαθέσιμο που είναι ποσό μεγαλύτερο από τα 73.900.000 Ευρώ που επενδύονται στην περίπτωση όπου το πρόβλημα επιλύεται για τα αρχικά κόστη ενεργειών που έχουν οριστεί και όχι τα μειωμένα.

5.8 Μεσαίο Σενάριο Προϋπολογισμού με Μετακύλιση με 10% Μειωμένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών

Για αυτή την εκδοχή προβλήματος το αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο και πάλι είναι **75.000.000 Ευρώ** αλλά εφαρμόζεται ξανά μετακύλιση κεφαλαίου.

Πίνακας 5.8 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Μεσαίο Προϋπολογισμό με Μετακύλιση για 10% αυξημένα Κόστη Υλοποίησης Ενεργειών

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρητιδωμάτων	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρητιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1

Η εκδοχή αυτή του προβλήματος συγκριτικά με την προηγούμενη είναι ελαφρώς χειρότερη καθώς ενεργοποιούνται λιγότερες ενέργειες και αξιοποιείται μικρότερο μέρος του διαθέσιμου κεφαλαίου. Είναι η πρώτη φορά που σενάριο μετακύλισης προϋπολογισμού έχει χειρότερα αποτελέσματα σε σύγκριση με σενάριο όπου δεν προβλέπεται προϋπολογισμός.

5.9 Υψηλό Σενάριο Προϋπολογισμού χωρίς Μετακύλιση Κεφαλαίου

Ο υψηλός προϋπολογισμός ορίζεται για **120.000.000 Euro**, κεφάλαιο το οποίο καταμερίζεται ομοιόμορφα στα τρία έτη που είναι ο χρονικός ορίζοντας του συνολικού έργου. Αυτό το ποσό αντιστοιχεί σε κάτι λιγότερο από το μισό κόστος υλοποίησης του συνόλου των ενεργειών για όλους τους λιμένες.

Πίνακας 5.2 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Υψηλό Προϋπολογισμό χωρίς Μετακύλιση

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρηπιδωμάτων	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση κρηπιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Το σενάριο υψηλού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση είναι το πρώτο από όσα παρουσιάστηκαν μέχρι στιγμής στο οποίο **ενεργοποιούνται ενέργειες σε όλους τους λιμένες**. Στους λιμένες του **Πειραιά, της Θεσσαλονίκης, της Πάτρας και του Ηρακλείου** ενεργοποιούνται **έξι από τις επτά** προβλεπόμενες ενέργειες. Όπως και στα προηγούμενα σενάρια δεν ενεργοποιείται σε κανέναν λιμένα η ενέργεια αναβάθμισης λιμενικών υποδομών με αριθμό 5. Σε όλους τους λιμένες ενεργοποιείται η ενέργεια εκβάθυνσης λιμένα και σε όλους εκτός από τον λιμένα του Λαυρίου ενεργοποιούνται οι ενέργειες 1 και 6 που αντιστοιχούν στην επέκταση των επιβατικών κρηπιδωμάτων και στην αναβάθμιση των περιβαλλοντικών υποδομών.

Στους τέσσερις λιμένες που αξιολογούνται με τους υψηλότερους συντελεστές μεγέθους/σημασίας υλοποιούνται οι έξι από τις επτά ενέργειες πιο σημαντικές ενέργειες αναβάθμισης που είναι σημαντικό αποτέλεσμα. Ενώ στους αμέσως επόμενους σε σημασία λιμένες της Κέρκυρας, της Ηγουμενίτσας, της Καβάλας και του Βόλου ενεργοποιούνται κατά ελάχιστο πέντε ενέργειες.

Συνολικά πραγματοποιούνται **54 από τις 86** ενέργειες αναβάθμισης.

5.10 Υψηλό Σενάριο Προϋπολογισμού με Μετακύλιση Κεφαλαίου

Στο υψηλό σενάριο προϋπολογισμού με μετακύλιση κεφαλαίου, ξανά το αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο είναι **120.000.000 Euro** αλλά αυτή τη φορά τόσο τα ετήσια κόστη των ενεργειών όσο και το ετήσιο διαθέσιμο κεφάλαιο συσσωρεύονται στο πέρασμα των ετών.

Πίνακας 5.2 Π1 Ενεργοποίηση Ενεργειών για Υψηλό Προϋπολογισμό με Μετακύλιση

	Piraeus	Thessaloniki	Alexandroupolis	Kavala	Volos	Rafina	Lavrio	Elefsina	Patras	Igoumenitsa	Corfu	Heraklion
Επέκταση Επιβατικών Κρητιδωμάτων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση Επιβατικής πλατφόρμας	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Επέκταση κρητιδωμάτων κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Επέκταση πλατφόρμας κρουαζιερόπλοιων	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Περιβαλλοντικές Υποδομές	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
Εκβάθυνση Λιμένα	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Ο **αριθμός των ενεργοποιήσιμων ενεργειών** για την περίπτωση υψηλού κεφαλαίου με μετακύλιση δεν διαφοροποιείται πάρα πολύ καθώς σε αυτή την περίπτωση ενεργοποιούνται **55 αντί για 54 ενέργειες**, μόλις μία παραπάνω. Παρόλα αυτά αξιοποιείται με καλύτερο τρόπο ο προϋπολογισμός αφού το συνολικό κεφάλαιο που επενδύεται εν τέλει στα έργα αναβάθμισης των λιμένων είναι κατά 1.000.000 Euro μεγαλύτερο. Η διαφορά αυτή εντοπίζεται στην ενεργοποίηση της ενέργειας αναβάθμισης περιβαλλοντικών υποδομών για τον λιμένα του Λαυρίου η οποία δεν ενεργοποιείται κατά την επίλυση του μοντέλου υψηλού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση.

Η δεύτερη αλλά μη σημαντική διαφοροποίηση των δύο περιπτώσεων εντοπίζεται στην ενεργοποίηση της ενέργειας επέκτασης της πλατφόρμας προς εξυπηρέτηση των επιβατών των επιβατικών πλοίων όπου στην περίπτωση προβλήματος χωρίς μετακύλιση ενεργοποιείται για τον λιμένα της Θεσσαλονίκης ενώ στην περίπτωση προβλήματος με μετακύλιση ενεργοποιείται για τον λιμένα της Καβάλας. Η διαφορά δεν είναι όμως σημαντική καθώς και οι δύο αυτοί λιμένες αξιολογούνται με τον ίδιο συντελεστή μεγέθους/σημασίας B, 1 στην κλίμακα 0.7-2 και η ενέργεια δεν αλλάζει συντελεστή βαρύτητας καθώς παραμένει η ίδια. Τέλος όπως και στην επίλυση των προηγούμενων προβλημάτων με μετακύλιση προϋπολογισμού, όλες οι ενέργειες υλοποιούνται το τρίτο έτος και καμία από αυτές δεν υλοποιείται το προηγούμενο.

5.11 Σύνθεση και Συνολικός Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Προκειμένου να γίνει εφικτή η **σύγκριση των αποτελεσμάτων** που προέκυψαν μετά την επίλυση των δέκα διαφορετικών προβλημάτων βελτιστοποίησης και να εξαχθούν στη συνέχεια χρήσιμα συμπεράσματα παρατίθενται τρεις συλλογικοί πίνακες αποτελεσμάτων.

Στον **πρώτο πίνακα** συμπεριλαμβάνονται σε μία στήλη αριθμημένα όλα τα σενάρια προβλημάτων που επιλύθηκαν, ξεκινώντας από τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού και καταλήγοντας στα σενάρια υψηλού προϋπολογισμού και σε μία σειρά στοιχεία που συντελούν στη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Τα **στοιχεία που συλλέγονται** από την παραπάνω ανάλυση και παρατίθενται σε σειρά στον πρώτο πίνακα για **κάθε πρόβλημα** βελτιστοποίησης είναι:

- Ο συνολικός αριθμός υλοποιήσιμων ενεργειών
- Ο συνολικός αριθμός υλοποιήσιμων ενεργειών στους τρεις σημαντικότερους λιμένες (Πειραιάς, Πάτρα, Ηράκλειο)
- Ο συνολικός αριθμός υλοποιήσιμων ενεργειών στους τέσσερις λιγότερο σημαντικούς λιμένες (Αλεξανδρούπολη, Βόλος, Λαύριο, Ελευσίνα)
- Αριθμός ενεργοποίησης της πιο σημαντικής ενέργειας για όλους τους λιμένες
- Σύνολο μη αξιοποιήσιμου κεφαλαίου σε ευρώ
- Μέγιστη τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση κατά την επίλυση του μοντέλου βελτιστοποίησης στο excel με open solver
- Τρόπος με τον οποίο καταμερίζονται οι ενέργειες που ενεργοποιούνται για κάθε σενάριο

Πίνακας 5.11. Π1 Συγκεντρωτικός Πίνακας Σύγκρισης των Δέκα Προβλημάτων Βελτιστοποίησης

Συγκριτικά Στοιχεία Προβλήματα Βελτιστοποίησης	Σύνολο Αρχικού Διαθέσιμου Προϋπολογισμού	Μέγιστη Τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών στους 3 Σημαντικότερους Λιμένες	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών στους 4 Λιγότερο Σημαντικούς Λιμένες	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποίησης της πιο Σημαντικής Ενέργειας για όλους τους Λιμένες	Σύνολο μη Αξιοποιήσιμου Κεφαλαίου(Ευρώ)	Καταμερισμός Ενεργοποίησης Ενεργειών
1.Χαμηλός Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	30.000.000	29.11	17	13	0	3	300.000	ομοιόμορφη
2.Χαμηλός Προϋπολογισμός με μετακύλιση	30.000.000	29.31	14	14	0	3	300.000	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
3.Μεσαίος Προϋπολογισμός με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	75.000.000	55.74	33	14	0	8	200.000	ομοιόμορφη
4.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	75.000.000	55.74	33	14	0	8	200.000	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
5. Μεσαίος Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	75.000.000	58.61	35	14	3	9	1.100.000	ομοιόμορφη
6.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση	75.000.000	58.92	35	15	3	9	100.000	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
7.Μεσαίος Προϋπολογισμός με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	75.000.000	63.27	42	16	7	9	390.000	ομοιόμορφη
8.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	75.000.000	63.12	39	15	6	10	480.000	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
9. Υψηλός Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	120.000.000	78.74	54	18	13	12	1.800.000	ομοιόμορφη
10. Υψηλός Προϋπολογισμός με μετακύλιση	120.000.000	79.23	55	18	14	12	300.000	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος

Η προτελευταία στήλη του πίνακα χρησιμοποιείται ως δείκτης σύγκρισης των διαφορετικών προβλημάτων βελτιστοποίησης, καθώς **η τιμή της αντικειμενική συνάρτησης** εκφράζει την αποδοτικότητα των σεναρίων. Η αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται ως το γινόμενο της μεταβλητής X_{ijk} που εκφράζει κατά πόσο ενεργοποιείται ή όχι μία ενέργεια λαμβάνοντας είτε τιμή 1 σε περίπτωση ενεργοποίησης είτε τιμή 0 σε περίπτωση μη ενεργοποίησης, του συντελεστή ΔX που εκφράζει τη μεταβολή απόδοσης των λιμένων με το πέρας της υλοποίησης κάθε ενέργειας και του συντελεστή B που υποδεικνύει την σημασία του κάθε λιμένα. Συνεπώς όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση τόσο πιο αποδοτικό είναι και το αντίστοιχο σενάριο.

Όσον αφορά τα δύο σενάρια **χαμηλού προϋπολογισμού**, στο σενάριο που δεν προβλέπεται μετακύλιση κεφαλαίου ενεργοποιούνται περισσότερες ενέργειες στο σύνολο από ότι στο σενάριο χαμηλού προϋπολογισμού με μετακύλιση. Παρόλα αυτά κρίνεται **ελαφρώς πιο αποδοτικό** το **σενάριο μετακύλισης** καθώς μέσω της βελτιστοποίησης η αντικειμενική συνάρτηση παίρνει μεγαλύτερη τιμή, 29.31 έναντι 29.11, αλλά και γιατί ενεργοποιούνται κατά μία περισσότερες ενέργειες στους τρεις σημαντικότερους λιμένες έτσι όπως έχουν οριστεί βάση των συντελεστών B . Το ποσό όμως του μη αξιοποιήσιμου κεφαλαίου και στις δύο περιπτώσεις παραμένει σταθερό.

Το **πρόβλημα μεσαίου προϋπολογισμού** είναι το μόνο για το οποίο επιλύονται έξι διαφορετικά σενάρια αντί για δύο καθώς συμπεριλαμβάνονται δύο σενάρια για 10% αυξημένα κόστη έργων υποδομής και αντίστοιχα δύο για 10% μειωμένα κόστη έργων υποδομής. Για τα αρχικά δύο σενάρια μεσαίου προϋπολογισμού που συμπεριλαμβάνουν τα κόστη ενεργειών έτσι όπως έχουν οριστεί αρχικά, παρατηρείται και πάλι ότι το **σενάριο μετακύλισης είναι ελαφρώς πιο αποδοτικό** όπως και στην περίπτωση χαμηλού προϋπολογισμού, καθώς αξιοποιείται μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου κεφαλαίου κατά 1.000.000 Ευρώ, η αντικειμενική συνάρτηση παίρνει ελαφρώς μεγαλύτερη τιμή 58.92 έναντι 58.61, και υλοποιείται κατά μία παραπάνω ενέργεια για τους τρεις πιο σημαντικούς λιμένες.

Στην περίπτωση όπου επιλύεται το μοντέλο βελτιστοποίησης για **μεσαίο προϋπολογισμό με 10% αυξημένα κόστη** υλοποίησης έργων υποδομής αξίζει να σημειωθεί ότι οι **μεταβολές που παρατηρούνται δεν είναι τόσο σημαντικές** όπως λογικό είναι να αναμενόταν. Το σύνολο των ενεργειών που υλοποιούνται δεν μεταβάλλεται ιδιαιτέρως, καθώς υλοποιούνται κατά δύο λιγότερες ενέργειες ενώ και ο αριθμός υλοποιήσιμων ενεργειών στα τρία σημαντικότερα λιμάνια παραμένει επίσης σταθερός. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι δεν είναι αισθητά πιο αποδοτικό το σενάριο μεσαίου προϋπολογισμού στην πρώτη περίπτωση όπου τα κόστη των ενεργειών δεν είναι αυξημένα κατά 10%.

Στην περίπτωση όπου το σενάριο μεσαίου προϋπολογισμού επιλύεται για **10% μειωμένα κόστη** ενεργοποίησης ενεργειών οι **μεταβολές** που παρατηρούνται είναι **μεγαλύτερες**.

Ενεργοποιούνται **τέσσερις έως επτά περισσότερες ενέργειες** στο σύνολό τους, οι περισσότερες για τους λιγότερο σημαντικούς λιμένες. Παρόλα αυτά παρατηρείται διαφορά στην ενεργοποίηση ενεργειών στους πιο σημαντικούς λιμένες αλλά και στις φορές που ενεργοποιείται η πιο σημαντική ενέργεια που είναι η επέκταση των επιβατικών κρηπιδωμάτων.

Η απόδοση του κάθε σεναρίου λοιπόν **δεν μεταβάλλεται ανάλογα με την μείωση ή την αύξηση του κόστους των ενεργειών**. Αυτό εκφράζεται και μέσω της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης που δηλώνει την απόδοση του κάθε σεναρίου. Στην περίπτωση όπου πραγματοποιείται 10% αύξηση του κόστους η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι σχεδόν η ίδια με το σενάριο όπου δεν υπάρχει αύξηση των τιμών και έτσι δεν σημειώνονται μεγάλες διαφορές ενώ στη περίπτωση όπου πραγματοποιείται 10% μείωση σημειώνονται μεγαλύτερες διαφορές και η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης παρουσιάζει συγκριτικά μεγαλύτερη μεταβολή. Γενικά παρόλα αυτά δεν πραγματοποιούνται μεγάλες μεταβολές απόδοσης και υλοποίησης ενεργειών με την μεταβολή του κόστους των ενεργειών της τάξης του 10%.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, το σενάρια υψηλού προϋπολογισμού είναι τα πιο αποδοτικά. Πιο συγκεκριμένα το σενάριο **υψηλού προϋπολογισμού με μετακύλιση** είναι **το πιο αποδοτικό σενάριο** σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δέκα σενάρια που εφαρμόζονται καθώς λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή που έχει παρατηρηθεί η αντικειμενική συνάρτηση και ενεργοποιούνται οι περισσότερες ενέργειες τόσο στο σύνολό τους όσο και στους τρεις πιο σημαντικούς λιμένες. Επίσης η πιο σημαντική ενέργεια ενεργοποιείται τις περισσότερες δυνατές φορές καθώς ενεργοποιείται και στους δώδεκα λιμένες.

Συνολικά παρατηρείται μία **αισθητή διαφορά** ανάμεσα στα σενάρια **χαμηλού, μεσαίου και υψηλού** αρχικού διαθέσιμου **προϋπολογισμού**. Υπενθυμίζεται ότι ο χαμηλός προϋπολογισμός αντιστοιχεί σε 30.000.000 Ευρώ, ο μεσαίος σε 75.000.000 Ευρώ και ο υψηλός σε 120.000.000 Ευρώ.

Αυτό σημαίνει ότι ο **μεσαίος προϋπολογισμός** είναι **2.5 φορές μεγαλύτερος** του **χαμηλού** προϋπολογισμού ενώ ο **υψηλός** προϋπολογισμός είναι **4 φορές μεγαλύτερος** από τον **χαμηλό** προϋπολογισμό και **1.6 φορές μεγαλύτερος** του **μεσαίου**. Όταν επιλύονται τα προβλήματα βελτιστοποίησης για χαμηλό προϋπολογισμό ενεργοποιούνται κατά μέσο όρο 16 ενέργειες, όταν επιλύονται τα προβλήματα μεσαίου προϋπολογισμού υλοποιούνται κατά μέσο όρο 35-36 ενέργειες ενώ όταν επιλύονται τα προβλήματα υψηλού προϋπολογισμού ενεργοποιούνται κατά μέσο όρο 54-55 ενέργειες.

Παρατηρείται λοιπόν ότι ο **λόγος του αριθμού των υλοποιήσιμων ενεργειών** από σενάριο σε σενάριο είναι **σχεδόν ο ίδιος** με το **λόγο των αρχικών διαθέσιμων κεφαλαίων** από σενάριο σε σενάριο. Ανάλογα δηλαδή με το μέγεθος του κεφαλαίου που είναι διαθέσιμο για την αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών ενεργοποιούνται και τα έργα αναβάθμισης, όσο αυξάνεται το κεφάλαιο τόσο αυξάνεται και ο αριθμός των ενεργειών που υλοποιούνται και αντίστροφα.

Όταν σχηματίζονται όμως οι **λόγοι των μέγιστων τιμών που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση** κατά την επίλυση των διαφορετικών σεναρίων βελτιστοποίησης **δεν σημειώνεται η ίδια αναλογική σχέση**. Τα προβλήματα μεσαίου προϋπολογισμού είναι περίπου 2 φορές πιο αποδοτικά από τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού ενώ τα σενάρια υψηλού προϋπολογισμού είναι 1.4 φορές πιο αποδοτικά από τα σενάρια μεσαίου προϋπολογισμού και 2.72 φορές πιο αποδοτικά από τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού.

Οι λόγοι αυτοί δεν είναι ίδιοι με τους λόγους των αρχικών διαθέσιμων κεφαλαίων και συνεπώς με τους λόγους του συνολικού αριθμού υλοποιήσιμων ενεργειών από σενάριο σε σενάριο. Η απόδοση του σεναρίου υψηλού προϋπολογισμού για παράδειγμα δεν είναι τόσες φορές μεγαλύτερη του σεναρίου χαμηλού προϋπολογισμού όσες και οι φορές που είναι μεγαλύτερο το αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο. Το τρίτο σενάριο είναι μόλις 2.7 φορές πιο αποδοτικό ενώ το αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο είναι 4 φορές πιο μεγάλο σε σύγκριση με το πρώτο σενάριο. Η διαφορά αντίστοιχα του μεσαίου από τον χαμηλό προϋπολογισμό δεν είναι τόσο μεγάλη αφού η απόδοση του δεύτερου σεναρίου σύμφωνα με την τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση είναι περίπου 2 φορές μεγαλύτερη από την απόδοση του πρώτου ενώ το αντίστοιχο κεφάλαιο είναι 2.5 φορές μεγαλύτερο. Αυτό σημαίνει ότι **η απόδοση δεν αυξάνεται επ' αόριστο αναλογικά με την αύξηση κεφάλαιο**. Η **αναλογική σχέση προσομοιώνεται καλύτερα στα αρχικά στάδια** αύξησης του κεφαλαίου, ενώ όσο

συνεχίζεται η αύξηση του προϋπολογισμού η απόδοση σταματά να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό και **επιβραδύνεται**.

Ένα τελευταίο συμπέρασμα που εξάγεται μέσω του πρώτου πίνακα συγκριτικών αποτελεσμάτων είναι ότι κάθε φορά που εφαρμόζεται **πρόβλημα βελτιστοποίησης με μετακύλιση**, όλες οι **ενέργειες υλοποιούνται το τρίτο έτος** που είναι και το τελευταίο έτος διεξαγωγής έργων υποδομής και καμία τα δύο προηγούμενα. Αυτό σημαίνει ότι η **βελτιστοποίηση** των προβλημάτων **επέρχεται** όταν το **σύνολο του κεφαλαίου συσσωρεύεται** και δεν υπάρχουν μεμονωμένοι περιορισμοί κεφαλαίου για την κάθε χρονιά ξεχωριστά. Δηλαδή η μέγιστη απόδοση των λιμένων επιτυγχάνεται όταν το κεφάλαιο μπορεί να αξιοποιηθεί όλο μαζί και δεν χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα στη διάρκεια των τριών ετών. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη διαφοροποίηση της τιμής που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση όταν επιλύονται τα προβλήματα βελτιστοποίησης για μετακύλιση κεφαλαίου. Τις περισσότερες φορές είναι πιο αποδοτικά από τα προβλήματα βελτιστοποίησης χωρίς μετακύλιση κεφαλαίου.

Στον **δεύτερο πίνακα** συμπεριλαμβάνονται και πάλι αριθμημένα σε μία στήλη τα δέκα διαφορετικά σενάρια προβλημάτων που επιλύονται και σε μία σειρά **όλες οι ενέργειες αναβάθμισης λιμενικών υποδομών** μαζί με τον συντελεστή αξιολόγησής της σημασίας τους ως προς τη μεταβολή της απόδοσης που επιφέρουν στους λιμένες ΔΧ έτσι όπως έχει οριστεί εξ αρχής. Ο δεύτερος πίνακας συμβάλλει στην άμεση σύγκριση όλων των ενεργειών ανάλογα με τα διάφορα σενάρια προϋπολογισμού και κόστους ενεργοποίησης ενεργειών. Είναι δυνατή δηλαδή η σύγκρισή του συνολικού αριθμού ενεργοποίησης κάθε ενέργειας για κάθε σενάριο βελτιστοποίησης.

Πίνακας 5.11 Π2 Συγκεντρωτικός Πίνακας Σύγκρισής των Δέκα Προβλημάτων Βελτιστοποίησης
Ανάλογα με τη Συχνότητα Υλοποίησης των ενεργειών

Συνολικός Αριθμός Ενεργειών που Υλοποιούνται Προβλήματα Βελτιστοποίησης	Επέκταση Επιβατικών Κρητιδωμάτων (ΔΧ1=2)	Επέκταση Επιβατικής Πλατφόρμας(ΔΧ2=1.5)	Επέκταση Κρητιδωμάτων για Χρήση Κρουαζιερόπλοιων (ΔΧ3=1.5)	Επέκταση Πλατφόρμας για Χρήση Κρουαζιερόπλοιων (ΔΧ4=0.9)	Αναβάθμιση Λιμενικών Υποδομών(ΔΧ5=0.9)	Αναβάθμιση Περιβαλλοντικών Υποδομών(ΔΧ6=0.7)	Εκβάθυνση Λιμένα(ΔΧ8=1.5)	Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών
1.Χαμηλός Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	3	0	3	1	0	7	3	17
2.Χαμηλός Προϋπολογισμός με μετακύλιση	3	1	3	1	0	3	3	14
5.Μεσαίος Προϋπολογισμός με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	8	1	7	1	0	8	8	33
6.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	8	1	7	1	0	8	8	33
3. Μεσαίος Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	9	1	8	1	0	7	9	35
4.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση	9	1	8	2	0	6	9	35
7.Μεσαίος Προϋπολογισμός με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	9	1	8	3	0	12	9	42
8.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	10	1	9	1	0	7	10	38
9. Υψηλός Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	12	4	9	6	0	11	12	54
10. Υψηλός Προϋπολογισμός με μετακύλιση	12	4	9	6	0	12	12	55

Σε αυτό τον πίνακα μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι ενέργειες 1,3 και 7 που αξιολογούνται με συντελεστές μεταβολής της απόδοσης, ΔΧ 2, 1.5 και 1.5 αντίστοιχα αυξάνονται ραγδαία στα σενάρια μεσαίου και υψηλού προϋπολογισμού, ενώ για παράδειγμα η ενέργεια 2 που αξιολογείται επίσης με συντελεστή 1.5 αυξάνεται μόνο για το σενάριο υψηλού προϋπολογισμού και για τα υπόλοιπα παραμένει στην ίδια συχνότητα εμφάνισης. Αυτό οφείλεται στον περιορισμό που συνδέει τις ενέργειες 1 και 7 όπου η 1 δεν μπορεί να υλοποιηθεί χωρίς την υλοποίηση της 7. Μέσω της βελτιστοποίησης δίνεται προτεραιότητα στην ενεργοποίηση της ενέργειας 1 παρόλο που οι ενέργειες 7 και 2 έχουν το ίδιο κόστος.

Στον **Τρίτο Πίνακα** που παρεμβάλλεται, συμπεριλαμβάνονται σε μορφή **λόγων** στοιχεία από τους δύο παραπάνω πίνακες. Τα συγκριτικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε μορφή λόγων είναι τα εξής:

- Ο λόγος του συνόλου του αρχικού διαθέσιμου προϋπολογισμού προς το σύνολο των υλοποιήσιμων ενεργειών που δίνει μία αίσθηση του μέσου κόστους ενέργειας.
- Ο λόγος του συνόλου των υλοποιήσιμων ενεργειών στους σημαντικότερους λιμένες προς το σύνολο όλων των ενεργοποιήσιμων ενεργειών.
- Ο λόγος του συνόλου των υλοποιήσιμων ενεργειών στους λιγότερο σημαντικότερους λιμένες προς το σύνολο όλων των ενεργοποιήσιμων ενεργειών
- Ο λόγος της συχνότητας ενεργοποίησης των σημαντικότερων ενεργειών προς το σύνολο των ενεργειών που ενεργοποιούνται για κάθε σενάριο
- Ο λόγος της συχνότητας ενεργοποίησης των λιγότερο σημαντικότερων ενεργειών προς το σύνολο των ενεργειών που ενεργοποιούνται για κάθε σενάριο

Πίνακας 5.11 Π3 Συγκεντρωτικός Πίνακας Σύγκρισης των Δέκα Προβλημάτων Βελτιστοποίησης

Συγκριτικά Στοιχεία Προβλήματα Βελτιστοποίησης	Συνόλου Προϋπολογισμού / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Ενεργοποιήσιμες Ενέργειες στους Σημαντικότερους Λιμένες / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Ενεργοποιήσιμες Ενέργειες στους Λιγότερο Σημαντικούς Λιμένες / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Φορές Ενεργοποίησης των Σημαντικότερων Ενεργειών / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Φορές Ενεργοποίησης των Λιγότερο Σημαντικών Ενεργειών/Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών
1.Χαμηλός Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	1,764,705.88	0.76	0.00	0.53	0.47
2.Χαμηλός Προϋπολογισμός με μετακύλιση	2,142,857.14	1.00	0.00	0.71	0.29
3. Μεσαίος Προϋπολογισμός χωρίς μετακύλιση	2,142,857.14	0.40	0.09	0.77	0.23
4.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση	2,142,857.14	0.43	0.09	0.77	0.23
5.Μεσαίος Προϋπολογισμός με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	2,272,727.27	0.42	0.00	0.73	0.27
6.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση με 10%αυξημένα κόστη ενεργειών	2,272,727.27	0.42	0.00	0.73	0.27
7.Μεσαίος Προϋπολογισμός με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	1,785,714.29	0.38	0.17	0.64	0.36
8.Μεσαίος Προϋπολογισμός με μετακύλιση με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	1,923,076.92	0.38	0.15	0.79	0.21
9. Υψηλός Προϋπολογισμος χωρίς μετακύλιση	2,222,222.22	0.33	0.24	0.69	0.31
10. Υψηλός Προϋπολογισμος με μετακύλιση	2,181,818.18	0.33	0.25	0.67	0.33

Ο παραπάνω πίνακας επιβεβαιώνει ότι παρόλο που ως απόλυτο μέγεθος τα πιο αποδοτικά σενάρια είναι και λογικό είναι να είναι, τα σενάρια υψηλού προϋπολογισμού καθώς σε αυτά υλοποιούνται οι περισσότερες ενέργειες και σημειώνεται η μεγαλύτερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, παρατηρείται ότι συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια οι **λόγοι και η απόδοσή τους δεν αυξάνονται ανάλογα με την αύξηση του κεφαλαίου**. Οι δύο σημαντικότεροι λόγοι από αυτούς που συμπεριλαμβάνονται στον παραπάνω πίνακα που δείχνουν το ποσοστό των ενεργειών που υλοποιούνται στους σημαντικότερους λιμένες και

το ποσοστό των σημαντικότερων ενεργειών που ενεργοποιούνται ως προς το σύνολο των ενεργειών είτε μειώνονται είτε παραμένουν σταθεροί.

5.12 Συνοπτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

- Η **απόδοση** που επιφέρει η υλοποίηση των έργων υποδομής στους λιμένες **δεν αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση του διαθέσιμου κεφαλαίου**. Στο πρώτο στάδιο αύξησης του κεφαλαίου αυξάνεται σχεδόν αναλογικά αλλά στη συνέχεια επιβραδύνεται.
- Σε όλες τις εφαρμογές προβλημάτων βελτιστοποίησης με **μετακύλιση κεφαλαίου, το σύνολο των ενεργειών ενεργοποιείται το τρίτο έτος** που είναι και το τελευταίο. Αυτό σημαίνει ότι το βέλτιστο σενάριο επέρχεται όταν πραγματοποιείται **συσσώρευση του κεφαλαίου** και δεν υπάρχουν ενδιάμεσοι περιορισμοί. Καλύτερα αξιοποιείται δηλαδή το κεφάλαιο στο σύνολο του παρά όταν επιμερίζεται.
- Το **80% των σεναρίων** που εξετάστηκαν **είναι πιο αποδοτικά όταν προβλέπουν μετακύλιση κεφαλαίου**. Επισημαίνεται πάντως ότι οι διαφορές μεταξύ των σεναρίων που προβλέπουν μετακύλιση κεφαλαίου και εκείνων που δεν προβλέπουν είναι περιορισμένες.
- Μία **μεταβολή κόστους ενεργειών κατά 10%** δεν σημαίνει ότι θα επιφέρει αντίστοιχη αύξηση/μείωση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης ή του αριθμού των υλοποιήσιμων ενεργειών.
- Η **συχνότητα ενεργοποίησης των ενεργειών δεν αυξάνεται το ίδιο** για τις ενέργειες που διαθέτουν τους ίδιους συντελεστές μεταβολής απόδοσης λιμένων (ΔΧ). Τόσο οι **περιορισμοί** όσο και το **κόστος** των ενεργειών επηρεάζουν αισθητά τη συχνότητα.
- Το **μέσο κόστος ανά υλοποιήσιμη ενέργεια** ελαχιστοποιείται για το σενάριο χαμηλού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση. Επιπλέον επισημαίνεται ότι το κόστος δεν μειώνεται με την αύξηση του αριθμού των υλοποιήσιμων ενεργειών αλλά επηρεάζεται περισσότερο από τον προϋπολογισμό που είναι διαθέσιμος.
- Τα **ποσοστά των πιο σημαντικών ενεργειών** που υλοποιούνται και αυτών που υλοποιούνται **στους πιο σημαντικούς λιμένες ως προς το σύνολο** των υλοποιήσιμων ενεργειών, είναι μεγαλύτερα για τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού. Συνεπώς αν η απόδοση κρίνεται από αυτούς τους δείκτες είναι πιο αποδοτικά τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού.

Κ ε φ ά λ α ι ο 6

Σ υ μ π ε ρ ά σ μ α τ α

6.1 Ανασκόπηση Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επίτευξη της βέλτιστης κατανομής χρηματικών πόρων για την υλοποίηση λιμενικών έργων υποδομής με στόχο τη μέγιστη δυνατή αναβάθμιση των 12 σπουδαιότερων ελληνικών λιμένων. Για το σκοπό αυτό προβλέπεται η ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης το οποίο στηρίζεται στις αρχές της θεωρίας του γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού.

Η **συλλογή στοιχείων** έγινε μέσω των δικτυακών τόπων των αντίστοιχων 12 οργανισμών Λιμένων που επιλέχθηκαν ως τα σημαντικότερα, αλλά και από άλλες σχετικές μελέτες. Τα στοιχεία αυτά είναι αντιπροσωπευτικά του μεγέθους, της επισκεψιμότητας και της οικονομικής δυναμικής των λιμένων.

Οι **παράμετροι** που εισάγονται στο μοντέλο είναι ο **συντελεστής σημασίας** που επιλέχθηκε για κάθε λιμένα και ο **συντελεστής μεταβολής της απόδοσης** που επιφέρει η υλοποίησης ενός λιμενικού έργου υποδομής στον κάθε λιμένα.

Το μοντέλο επιλύεται μέσω **αντικειμενικής συνάρτησης** στην οποία εισάγονται οι δύο παραπάνω συντελεστές και η οποία εκφράζει την απόδοση της συνολικής αναβάθμισης των λιμένων. Στόχος μέσω της βελτιστοποίησης είναι η μεγιστοποίηση της.

Βασικός **περιοριστικός παράγοντας** είναι ο προϋπολογισμός που είναι διαθέσιμος για την ενεργοποίηση έργων αναβάθμισης των 12 λιμένων στη διάρκεια τριών ετών.

Επιλέγονται συνολικά **7 έργα υποδομής** τα οποία αφορούν στην επέκταση κρηπιδωμάτων, την επέκταση λιμενικής πλατφόρμας, την εκβάθυνση λιμένα, περιβαλλοντικές υποδομές και αναβάθμιση υπαρχουσών λιμενικών υποδομών.

Συνολικά πραγματοποιούνται **10 σενάρια βελτιστοποίησης** κατανομής του αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους είτε ως προς το μέγεθος του αρχικού προϋπολογισμού είτε ως προς το κόστος υλοποίησης των λιμενικών έργων υποδομής. Αυτά τα σενάρια διαχωρίζονται σε σενάρια χαμηλού, μεσαίου και υψηλού

προϋπολογισμού αλλά σε σενάρια για 10% αυξημένο ή μειωμένο αντίστοιχα κόστος υλοποίησης ενεργειών. Κάθε σενάριο εφαρμόζεται και για μετακύλιση προϋπολογισμού, όπου το κεφάλαιο που δεν αξιοποιείται μία χρονιά μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί τις επόμενες.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων δημιουργούνται πίνακες που δείχνουν ποιες ενέργειες ενεργοποιούνται και ποιες όχι σε όλους τους λιμένες για κάθε σενάριο ξεχωριστά.

Από τους πίνακες αυτούς σχηματίζεται **συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων** στον οποίο εισάγονται τα σημαντικότερα στοιχεία που προκύπτουν από την εφαρμογή των 10 διαφορετικών σεναρίων βελτιστοποίησης.

Πίνακας 6 Π1 Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων

Συγκριτικά Στοιχεία Προβλήματα Βελτιστοποίησης	Σύνολο Αρχικού Διαθέσιμου Προυπολογισμού	Μέγιστη Τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών στους 3 Σημαντικότερους Λιμένες	Συνολικός Αριθμός Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών στους 4 Λιγότερο Σημαντικούς Λιμένες	Ενεργοποιήσιμες Ενέργειες στους Σημαντικότερους Λιμένες / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Φορές Ενεργοποίησης των Σημαντικότερων Ενεργειών / Σύνολο Ενεργοποιήσιμων Ενεργειών	Καταμερισμός Ενεργοποίησης Ενεργειών
1. Χαμηλός Προυπολογισμός χωρίς μετακύλιση	30.000.000	29.11	17	13	0	0.76	0.53	ομοιόμορφη
2. Χαμηλός Προυπολογισμός με μετακύλιση	30.000.000	29.31	14	14	0	1.00	0.71	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
3. Μεσαίος Προυπολογισμός με 10% αυξημένα κόστη ενεργειών	75.000.000	55.74	33	14	0	0.40	0.77	ομοιόμορφη
4. Μεσαίος Προυπολογισμός με μετακύλιση με 10% αυξημένα κόστη ενεργειών	75.000.000	55.74	33	14	0	0.43	0.77	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
5. Μεσαίος Προυπολογισμός χωρίς μετακύλιση	75.000.000	58.61	35	14	3	0.42	0.73	ομοιόμορφη
6. Μεσαίος Προυπολογισμός με μετακύλιση	75.000.000	58.92	35	15	3	0.42	0.73	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
7. Μεσαίος Προυπολογισμός με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	75.000.000	63.27	42	16	7	0.38	0.64	ομοιόμορφη
8. Μεσαίος Προυπολογισμός με μετακύλιση με 10% μειωμένα κόστη ενεργειών	75.000.000	63.12	39	15	6	0.38	0.79	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος
9. Υψηλός Προυπολογισμός χωρίς μετακύλιση	120.000.000	78.74	54	18	13	0.33	0.69	ομοιόμορφη
10. Υψηλός Προυπολογισμός με μετακύλιση	120.000.000	79.23	55	18	14	0.33	0.67	όλες ενεργοποιούνται το τρίτο έτος

6.2 Ανάλυση Συμπερασμάτων

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι τα εξής:

- Οι **παράγοντες που επηρεάζουν αλλά όχι με γραμμικό τρόπο την βέλτιστη κατανομή πόρων** σε έργα αναβάθμισης είναι το μέγεθος του προϋπολογισμού, το κόστος των έργων, η κλιμάκωση των επενδύσεων στο χρόνο και οι συντελεστές αξιολόγησης λιμένων και ενεργειών έτσι όπως έχουν οριστεί.
- Η **απόδοση** που επιφέρει η υλοποίηση των έργων υποδομής στους λιμένες **δεν αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση του διαθέσιμου κεφαλαίου**. Στα πρώτα στάδια αύξησης του κεφαλαίου η απόδοση των λιμένων αυξάνεται περίπου αναλογικά αλλά στη συνέχεια όσο μεγαλώνει ο προϋπολογισμός η αύξηση της απόδοσης επιβραδύνεται. Αυτό φαίνεται λογικό καθώς η μεταβολή του αποτελέσματος είναι πάντα θεαματική στα αρχικά στάδια, όσο εξελίσσεται προς το καλύτερο μία διαδικασία τόσο πιο μεγάλες γίνονται οι απαιτήσεις προκειμένου να σημειωθεί ακόμα καλύτερο αποτέλεσμα.
- Σε όλες τις εφαρμογές προβλημάτων βελτιστοποίησης με **μετακύλιση κεφαλαίου, το σύνολο των ενεργειών ενεργοποιείται στο τρίτο έτος** που είναι και το τελευταίο. Αυτό σημαίνει ότι το βέλτιστο σενάριο επέρχεται όταν πραγματοποιείται **συσσώρευση του κεφαλαίου** και δεν υπάρχουν ενδιάμεσοι περιορισμοί. Καλύτερα αξιοποιείται δηλαδή το κεφάλαιο στο σύνολο του παρά όταν επιμερίζεται. Οι επιμέρους περιορισμοί κεφαλαίου λοιπόν δυσχεραίνουν και δεν ευνοούν την βελτιστοποίηση και μειώνουν την αποτελεσματικότητα της επένδυσης.
- Το **80% των σεναρίων** που εξετάστηκαν **είναι πιο αποδοτικά όταν προβλέπουν μετακύλιση κεφαλαίου**. Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που δηλώνει τη συνολική απόδοση της αναβάθμισης των λιμένων λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή ενώ συνήθως το μέρος του αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου που παραμένει αναξιοποίητο είναι μικρότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται περισσότερα έργα υποδομής. Όταν το αναξιοποίητο κεφάλαιο μιας χρονιά δεν μπορεί να

επαναχρησιμοποιηθεί την επόμενη, είναι ενδεχομένως λογικό τις περισσότερες φορές να επενδύεται μικρότερο μέρος του προϋπολογισμού.

- **Μία μεταβολή κόστους ενεργειών κατά 10%** δεν σημαίνει ότι θα επιφέρει αντίστοιχη αύξηση/μείωση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης ή του αριθμού των υλοποιήσιμων ενεργειών. Στη συγκεκριμένη μελέτη παρατηρείται αισθητή μεταβολή της απόδοσης μόνο στην περίπτωση μείωσης του κόστους κατά 10% και όχι τόσο στην περίπτωση αύξησης του κόστους κατά 10%.
- **Η συχνότητα ενεργοποίησης των ενεργειών δεν αυξάνεται το ίδιο** για τις ενέργειες που διαθέτουν τους ίδιους συντελεστές μεταβολής απόδοσης λιμένων (ΔΧ). Τόσο τα διαφορετικά κόστη των ενεργειών αλλά και οι επιμέρους περιορισμοί υλοποίησης ενεργειών που τίθενται παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργοποίηση τους. Για παράδειγμα η συχνότητα ενεργοποίησης μίας ενέργειας με συντελεστή απόδοσης 1.5 μπορεί διπλασιάζεται κατά το υψηλό σενάριο προϋπολογισμού ενώ μία ενέργεια με αντίστοιχο συντελεστή να διπλασιάζεται για το μεσαίο σενάριο προϋπολογισμού.
- **Το μέσο κόστος ανά υλοποιήσιμη ενέργεια** ελαχιστοποιείται για το σενάριο χαμηλού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος δεν μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των έργων που υλοποιούνται, το οποίο επιτυγχάνεται στα σενάρια υψηλού προϋπολογισμού. Το μέσο κόστος ανά υλοποιήσιμη ενέργεια επηρεάζεται από τον προϋπολογισμό που είναι διαθέσιμος.
- **Τα ποσοστά των πιο σημαντικών ενεργειών** που υλοποιούνται και εκείνων που υλοποιούνται **στους πιο σημαντικούς λιμένες ως προς το σύνολο** των υλοποιήσιμων ενεργειών, είναι υψηλότερα για τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού. Συνεπώς, τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού κρίνονται πιο αποδοτικά με βάση αυτούς τους δείκτες.
- **Σε περίπτωση χαμηλού προϋπολογισμού** δίνεται μεγάλη έμφαση και προτεραιότητα στην υλοποίηση έργων στους σημαντικούς λιμένες. Δηλαδή ο αριθμός ενεργοποιήσιμων ενεργειών στους σημαντικούς λιμένες μεταβάλλεται πολύ λιγότερο όσο αυξάνεται ο προϋπολογισμός από ότι ο αριθμός ενεργοποιήσιμων ενεργειών στους μη σημαντικούς λιμένες. Αν λοιπόν επιδιώκεται να αυξηθεί η απόδοση των

σημαντικών λιμένων, πιο αποδοτικά από πλευράς συνδυασμού επένδυσης-αποτελέσματος, κρίνονται τα σενάρια χαμηλού προϋπολογισμού.

- Η **βελτιστοποίηση** αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη καθώς καθιστά τον μόνο τρόπο με τον οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί βέλτιστα ένα χρηματικό κεφάλαιο ανάλογα με τα κριτήρια που θεωρούνται σημαντικά κάθε φορά. Οδηγεί δηλαδή στην επίτευξη βέλτιστου συνδυασμού απόδοσης και κόστους. Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μπορούν να φανούν χρήσιμα και στην περίπτωση βελτιστοποίησης επενδύσεων και άλλων λιμένων και άλλων έργων (συγκοινωνιακής και μη) υποδομής, μετά βέβαια από τις κατάλληλες προσαρμογές στις ειδικές συνθήκες κάθε περίπτωσης.

6.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Για την περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας ενδιαφέρον θα παρουσίαζαν τα παρακάτω:

- Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάζονται μόνο τρία σενάρια προϋπολογισμού και βάση αυτών εξάγεται το συμπέρασμα ότι η απόδοση των λιμένων δεν αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση του κεφαλαίου αλλά επιβραδύνεται όσο ο αρχικός διαθέσιμος προϋπολογισμός γίνεται μεγαλύτερος. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε μία **ανάλυση ευαισθησίας για τον εντοπισμό του σημείου μετά το οποίο η απόδοση σταματά να αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση του αρχικού διαθέσιμου προϋπολογισμού.**
- Για την ανάπτυξη του μοντέλου βελτιστοποίησης γίνεται η υπόθεση ότι το κόστος υλοποίησης των έργων υποδομής σε κάθε λιμένα είναι σταθερό. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε μία διαφορετική προσέγγιση στην οποία το **κόστος επένδυσης για κάθε λιμένα διαφοροποιείται ανάλογα με τις μελλοντικές απαιτήσεις, τις δυνατότητες αλλά και τα χαρακτηριστικά του κάθε λιμένα όπως η ηλικία του.**
- Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται η υπόθεση ότι κάθε έργο υποδομής υλοποιείται σε κάθε λιμένα κατά τον ίδιο τρόπο. Για παράδειγμα τα επιβατικά κρηπιδώματα επεκτείνονται κατά τα ίδια μέτρα σε όλους τους λιμένες, η επιβατική πλατφόρμα κατά τα ίδια τετραγωνικά μέτρα σε όλους τους λιμένες και ούτω καθ' εξής. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε μία προσέγγιση όπου τα **έργα υποδομής θα αναβαθμίζονταν ανάλογα με το μέγεθος, τη δυναμική αλλά και την προοπτική του κάθε λιμένα.**

Κεφάλαιο 7

Βι β λ ι ο γ ρ α φ ί α

1. Amr. A Elhadidy, Emad E. Elbeltagi and Mohammad A. Ammar. (ed) (21 Feb 2014). *Optimum Analysis of Pavement Maintenance using multi-objective genetic Algorithms*. HBRC Journal. Housing and Building National Research Center. <http://ees.elsevier.com/hbrcj>
2. Armando Goncalves Madeira Junior, Moacyr Machado Cardoso Junior, Mishel Carmen Neyra Belderrain, Anderson Ribeiro Correia, Silvia Helena Schwanz. (ed) (2012). *Multicriteria and multivariate analysis for port performance evaluation*. Transportation Department, Aeronautics Institute of Technology, Sao Jose dos Campos SP. Brazil
3. Davorin Kofjac, Maja Skuvic, Branislav Dragovic and Andrej Skraba. (ed) (2013). *Traffic Modelling and Performance Evaluation in the Kotor Cruise Port*. p.1-10. Journal of Mechanical Engineering. University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Slovenia
4. Jose L. Tongzo. (ed) (14 June 1994) *Determinants of Port Performance and Efficiency*. p. 245-252. Department of Economics and Statistics, National University of Singapore.
5. Kastelanos G. (ed) (20 Feb 2012). *Shipping in Future*. WORLD SHIPPING CONGRESS
6. Karlaftis Matthew G, Lagaros Nikos. (ed) (2010). *Operations Research and Optimization for engineers*. Symmetria Editions. Athens
7. Lagaros Nikos D, Ph.D., M.ASCE1; Kepaptsoglou Konstantinos, Ph.D., M.ASCE2; and Karlaftis Matthew G, Ph.D., M.ASCE3. (ed) (2013). *Fund Allocation for Civil Infrastructure Security Upgrade*. p 172-182. JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING

8. Mary R. Brooks and Tony Schellinck. (ed) (2012) *Measuring Port Effectiveness in User Service Delivery*. Dalhouse University
9. Samet Guner, Kamil Taskin and Erman Goskun. (ed) (2012) *Evaluation of the operation efficiencies of Turkish Passenger ports with data envelopment analysis*. Turkey
10. Unkown. (ed) (2007). *Challenges and Future Trends: Ports and Passengers in Europe – The Baltic Range (Tallinn, Riga, Klaipeda and Kaliningrad)*
11. Unknown. *Diethneis Ellinikoi Limenes: Apaiteitai Amesa Allagi Pleusis*. p.42-59
12. Vitsounis T. *Port Performance Measurement in Practice*. University of the Aegean. Greece
13. Wayne K. Talley. (ed) (2007). *PORT PERFORMANCE: AN ECONOMICS PERSPECTIVE*. p.500-516 Chapter 22
14. ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΛΠ Α.Ε. 2012 - 2016

Ακόμη συλλέχθηκαν στοιχεία από τους οικονομικούς ισολογισμούς, τα μορφολογικά δεδομένα και του πίνακες εισερχόμενων και εξερχόμενων επιβατών, τα οποία βρέθηκαν τον Ιανουάριο του 2015 **στους δικτυακούς τόπους των οργανισμών των λιμένων** στους παρακάτω συνδέσμους.

- Οργανισμός Λιμένος Πειραιά <http://www.olp.gr/el/>
- Οργανισμός Λιμένος Θεσσαλονίκης <https://www.thpa.gr/index.php?lang=el>
- Οργανισμός Λιμένος Πάτρας <http://www.patrasport.gr/>
- Οργανισμός Λιμένος Ηρακλείου
<http://www.porthera.klion.gr/index.php/el/organization/news/organismos-limenos-hrakleioy/>
- Οργανισμός Λιμένος Καβάλας <http://www.portkavala.gr/>
- Οργανισμός Λιμένος Αλεξανδρούπολης <http://www.ola-sa.gr/>
- Οργανισμός Λιμένος Ηγουμενίτσας <http://www.olig.gr/>
- Οργανισμός Λιμένος Λαυρίου <http://www.oll.gr/index.php/en/>
- Οργανισμός Λιμένος Κέρκυρας <http://corfuport.gr/>
- Οργανισμός Λιμένος Βόλου
<http://www.port-volos.gr/cgi-bin/pages/index.pl?arlang=Greek>
- Οργανισμός Λιμένος Ραφήνας <http://www.rafinaport.gr/>
- Οργανισμός Λιμένος Ελευσίνας <http://life-ole.gr/>