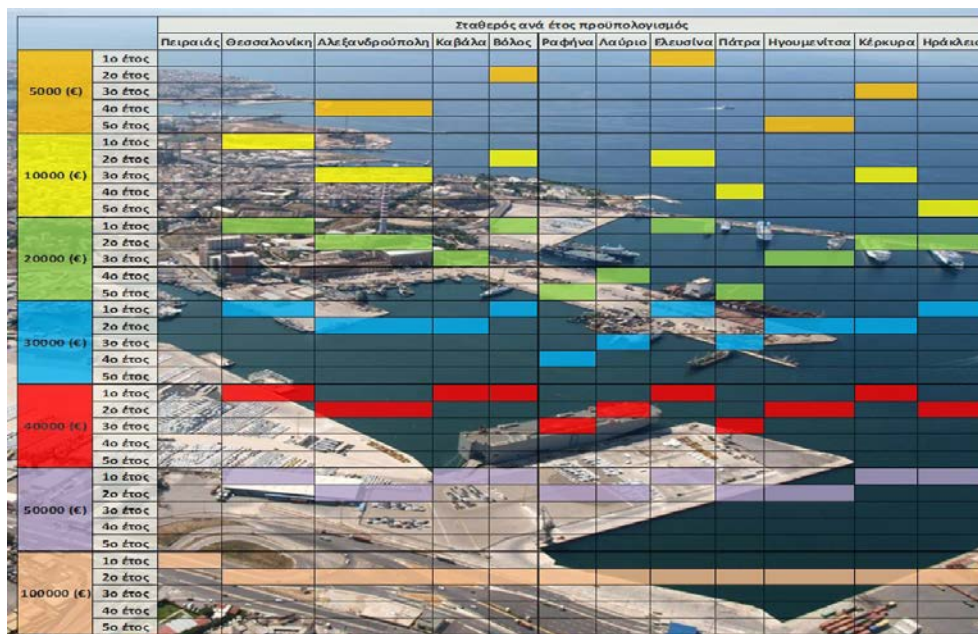




ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**



ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΧΑΡΙΖΟΠΟΥΛΟΣ

Επίβλεψη:

Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Νικόλαος Δ. Λαγαρός Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Κεπατσόγλου, Λέκτορας ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015



ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ
ΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**DEVELOPMENT OF AN OPTIMISATION MODEL FOR THE
MAINTENANCE RESOURCES' ALLOCATION OF THE GREEK PORTS**

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένων ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με τη Διπλωματική Εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Θα ήθελα λοιπόν, με την αφορμή αυτή, να ευχαριστήσω όλους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μου, σε ολόκληρη τη φοιτητική μου πορεία.

Καταρχήν ευχαριστώ θερμά τον κ. Γ. Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, τον κ. Ν. Λαγαρό, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και τον κ. Κ. Κεπατσόγλου, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η πραγματοποίηση και η ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας δεν θα είχε επιτευχθεί χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη και καθοδήγησή τους σε όλα τα στάδια εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που αποδέχθηκε όλες τις επιλογές μου και μου παρείχε στήριξη όλο αυτό το διάστημα, χωρίς την οποία τίποτα από όσα έχω καταφέρει μέχρι σήμερα δε θα ήταν πραγματικότητα.

Σε αυτό το σημείο θέλω να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου για τις ωραίες, αλλά και τις δύσκολες στιγμές που περάσαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια. Ελπίζω να είναι δίπλα μου και στο μέλλον, ανέξαρτητα της απόστασης που μπορεί να μας χωρίζει.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον κ. Ι. Βουλγαράκη, ο οποίος με στήριξε ποικιλοτρόπως όλα αυτά τα χρόνια που συνεργαζόμαστε. Η εμπιστοσύνη του προς το πρόσωπό μου αποτέλεσε σημαντικό πυλώνα για την μέχρι τώρα πορεία μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

Στους γονείς και τον αδερφό μου

ΣΥΝΟΨΗ

Τίτλος: «Ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης της κατανομής πόρων για τη συντήρηση των λιμένων της Ελλάδος.»

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης, η εφαρμογή του οποίου θα επιτρέψει τη συντήρηση των δώδεκα βασικών λιμένων της Ελλάδας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού αξιοποιήθηκαν διάφορες πηγές στατιστικών δεδομένων. Επιλέχθηκε η βέλτιστη κατανομή πόρων να καθορίζεται ως ένα γραμμικό ακέραιο πρόβλημα. Η αντικειμενική συνάρτηση, η οποία βελτιστοποιείται, περιλαμβάνει τη μεγιστοποίηση του αριθμού των λιμένων προς συντήρηση με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των πόρων που θα διατεθούν για αυτή τη συντήρηση. Για τη βελτιστοποίηση αυτή λήφθηκαν υπόψη ως απαραίτητοι περιορισμοί όπως ο διατιθέμενος προϋπολογισμός, η συχνότητα συντήρησης και η χρήση δυαδικών επιλογών. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου καταδεικνύουν όχι μόνο ότι όσο αυξάνεται ο προϋπολογισμός αυξάνεται και ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται αλλά και προσδιορίστηκε η προτεραιότητα των επενδύσεων στους λιμένες με τους υψηλότερους συντελεστές βαρύτητας. Επιπλέον, προσδιορίστηκε η βέλτιστη χρονική κατανομή της συντήρησης ανάμεσα στους λιμένες κατά την εξεταζόμενη πενταετή περίοδο. Τέλος, εντοπίστηκε η κατάλληλη χρονική μετακύλιση του προϋπολογισμού ώστε να αξιοποιούνται αποδοτικότερα οι διαθέσιμοι πόροι.

Λέξεις κλειδιά: κατανομή πόρων, συντήρηση λιμένων, περιορισμένος προϋπολογισμός, γραμμικός ακέραιος προγραμματισμός

ABSTRACT

Title: Development of an optimization model for the maintenance resources' allocation of the Greek ports."

This Diploma Thesis aims to create an optimization algorithm, whose application will propose the maintenance of the twelve main ports of Greece. Statistical data were collected so as to achieve this objective. It was selected that optimal fund allocation to be defined as a linear integer problem. The objective function which is optimized includes the maximization of the number of ports maintained, while minimizing the resources allocated for ports' maintenance. All the above require restrictions which should be taken into consideration. Firstly, the available budget should not be exceeded and secondly, each port can be conserved within the planning horizon only once. The results from the application of this algorithm indicate that the increase of the budget leads to the increase of the number of ports maintained and a premium is given to those ports with increased importance. What is more, the available resources are exploited more efficiently, when the remaining budget is swift to the next years of the planning horizon.

Keywords: resource allocation, ports maintenance, limited budget, linear integer programming

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης, για την κατανομή των διαθέσιμων πόρων για τη συντήρηση των βασικών λιμένων στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, με βασικό περιορισμό αυτόν της διάθεσης των ελαχίστων πόρων επιχειρήθηκε η ανάπτυξη ενός προγράμματος βέλτιστης συντήρησης των λιμένων της Ελλάδος σε χρονικό ορίζοντα 5 ετών. Οι βασικοί λιμένες της Ελλάδας που εξετάστηκαν ήταν οι: 1) Πειραιάς, 2) Θεσσαλονίκη, 3) Αλεξανδρούπολη, 4) Καβάλα, 5) Βόλος, 6) Ραφήνα, 7) Λαύριο, 8) Ελευσίνα, 9) Πάτρα, 10) Ηγουμενίτσα, 11) Κέρκυρα, 12) Ηράκλειο. Η επιλογή τους έγινε με βάση τον συνολικό αριθμό των διακινούμενων επιβατών και φορτίων.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών και μεθοδολογιών παρόμοιων με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων για τα λιμάνια επιτεύχθηκε κυρίως μέσω της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) και της μελέτης για τη στρατηγική των λιμένων. Τα **στοιχεία** οργανώθηκαν και ομαδοποιήθηκαν κατάλληλα από τα οποία προέκυψαν οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας για τα λιμάνια, οι οποίοι σχετίζονται με τη συνολική επιβατική και εμπορευματική κίνηση σε αυτά, όπως επίσης με το μέγεθος και την ηλικία τους.

Ακολούθως αναπτύχθηκε η **αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου βελτιστοποίησης**, η οποία μεγιστοποιείται με γραμμικό ακέραιο δυαδικό προγραμματισμό μέσω του βοηθήματος του Excel (Excel Solver). Αναπτύχθηκαν διάφορα σενάρια τόσο για σταθερό όσο και για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό. Σε αυτά επιχειρήθηκαν μεταβολές στους συντελεστές βαρύτητας των λιμανιών, στην αρχική κατάσταση των λιμανιών και στο χρονικό ορίζοντα της συντήρησης. Τέλος, εξετάστηκε και το σενάριο της μετακύλισης του διατιθέμενου προϋπολογισμού σε επόμενο έτος, εφόσον αυτός δεν αξιοποιείται στο τρέχον έτος που παρέχεται. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σταθερός προϋπολογισμός										Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός										Μετακύλιση προϋπολογισμού						
Σενάρια		1. Αρχικές συνθήκες		2. Αύξηση wι		3. Διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων		4. Διπλασιασμός συντελεστών βαρύτητας		Σενάρια		1. Αρχικές συνθήκες		2. Αύξηση wι		3. Διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων		4. Διπλασιασμός συντελεστών βαρύτητας		Σταθερός προϋπολογισμός				Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός		
Έτος	Προ/μιο	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Έτος	Προ/μιο	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Έτος	Προ/μιο	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια
1ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	1ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	1ο	5,000	0	0	5,000	0	0
2ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	2ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	2ο	10,000	0	0	15,000	1	15,000
3ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	3ο	15,000	2	15,000	2	15,000	1	15,000	1	15,000	3ο	15,000	1	15,000	15,000	2	12,000
4ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	4ο	20,000	2	20,000	2	20,000	3	18,000	2	20,000	4ο	5,000	0	0	23,000	2	22,000
5ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	5ο	25,000	3	25,000	3	25,000	2	22,000	4	25,000	5ο	10,000	1	6,000	26,000	2	21,000
Συν.	25,000	5	25,000	5	25,000	0	0	5	25,000	Συν.	75,000	9	75,000	9	75,000	7	61,000	9	75,000	Συν.	45,000	2	21,000	84,000	7	70,000
1ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	1ο	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	1ο	10,000	0	0	1,000	0	0
2ο	10,000	2	10,000	2	10,000	1	6,000	2	10,000	2ο	2,000	0	0	0	0	0	0	0	0	2ο	20,000	1	15,000	3,000	0	0
3ο	10,000	2	10,000	2	10,000	1	6,000	2	10,000	3ο	3,000	0	0	0	0	0	0	0	0	3ο	13,000	2	12,000	6,000	0	0
4ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	4ο	4,000	0	0	0	0	0	0	0	0	4ο	15,000	1	6,000	10,000	0	0
5ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	5ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	5ο	17,000	1	16,000	15,000	1	15,000
Συν.	50,000	7	50,000	7	50,000	5	30,000	7	50,000	Συν.	15,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	Συν.	75,000	5	49,000	35,000	1	15,000
1ο	20,000	3	20,000	3	20,000	1	15,000	3	20,000	1ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	1ο	20,000	1	15,000	10,000	1	6,000
2ο	20,000	3	20,000	3	20,000	3	18,000	2	20,000	2ο	15,000	3	15,000	3	15,000	1	15,000	3	15,000	2ο	25,000	4	24,000	19,000	1	15,000
3ο	20,000	2	20,000	2	20,000	1	16,000	2	20,000	3ο	20,000	2	20,000	2	20,000	3	18,000	2	20,000	3ο	21,000	1	16,000	24,000	2	21,000
4ο	20,000	1	15,000	1	15,000	1	15,000	2	20,000	4ο	25,000	2	25,000	2	25,000	2	22,000	2	25,000	4ο	25,000	2	21,000	28,000	3	28,000
5ο	20,000	2	20,000	2	20,000	2	12,000	2	15,000	5ο	30,000	3	25,000	3	25,000	2	30,000	3	25,000	5ο	24,000	1	16,000	30,000	2	22,000
Συν.	100,000	11	95,000	11	95,000	8	76,000	11	95,000	Συν.	100,000	11	95,000	11	95,000	9	91,000	11	95,000	Συν.	115,000	92,009	92,000	111,000	9	92,000
1ο	30,000	4	30,000	5	30,000	3	27,000	5	30,000	1ο	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	1ο	30,000	1	15,000	1,000	0	0
2ο	30,000	4	30,000	3	30,000	3	28,000	2	30,000	2ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	2ο	45,000	0	0	11,000	1	6,000
3ο	30,000	2	25,000	2	25,000	2	30,000	3	25,000	3ο	20,000	4	20,000	4	20,000	3	18,000	4	20,000	3ο	75,000	0	0	25,000	2	210,000
4ο	30,000	1	10,000	1	10,000	2	22,000	1	10,000	4ο	30,000	3	30,000	3	30,000	2	30,000	2	30,000	4ο	105,000	1	105,000	34,000	3	27,000
5ο	30,000	0	0	0	0	1	15,000	0	0	5ο	40,000	3	35,000	3	35,000	3	38,000	4	35,000	5ο	30,000	5	30,000	47,000	3	47,000
Συν.	150,000	11	95,000	11	95,000	11	122,000	11	95,000	Συν.	101,000	11	95,000	11	95,000	9	92,000	11	95,000	Συν.	285,000	7	268,000	118,000	9	290,000
1ο	40,000	5	40,000	6	40,000	5	39,000	5	40,000	1ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000	1ο	40,000	1	15,000	5,000	0	0
2ο	40,000	4	35,000	3	35,000	3	37,000	4	40,000	2ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	2ο	65,000	0	0	15,000	1	15,000
3ο	40,000	2	20,000	2	20,000	2	31,000	2	15,000	3ο	20,000	3	20,000	3	20,000	1	15,000	2	20,000	3ο	105,000	1	105,000	20,000	3	18,000
4ο	40,000	0	0	0	0	1	15,000	0	0	4ο	50,000	5	50,000	5	50,000	5	49,000	6	50,000	4ο	40,000	5	40,000	52,000	4	43,000
5ο	40,000	0	0	0	0	0	0	0	0	5ο	100,000	1	100,000	1	100,000	4	52,000	1	100,000	5ο	40,000	3	37,000	109,000	1	105,000
Συν.	200,000	11	95,000	11	95,000	11	122,000	11	95,000	Συν.	185,000	11	185,000	11	185,000	11	122,000	11	185,000	Συν.	290,000	10	197,000	201,000	9	181,000
1ο	50,000	6	50,000	6	50,000	5	49,000	5	50,000	1ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000	1ο	50,000	6	45,000	10,000	1	6,000
2ο	50,000	5	45,000	5	45,000	4	43,000	6	45,000	2ο	20,000	4	20,000	4	20,000	1	15,000	2	20,000	2ο	55,000	0	0	24,000	2	21,000
3ο	50,000	0	0	0	0	2	30,000	0	0	3ο	40,000	3	40,000	3	40,000	5	40,000	5	40,000	3ο	105,000	1	105,000	43,000	3	18,000
4ο	50,000	0	0	0	0	0	0	0	0	4ο	80,000	4	25,000	3	25,000	4	61,000	3	25,000	4ο	50,000	3	50,000	105,000	1	105,000
5ο	50,000	0	0	0	0	0	0	0	0	5ο	160,000	0	100,000	1	100,000	1	105,000	1	100,000	5ο	53,000	2	53,000	160,000	5	77,000
Συν.	250,000	11	95,000	11	95,000	11	122,000	11	95,000	Συν.	310,000	12	195,000	12	195,000	12	227,000	12	195,000	Συν.	313,000	12	253,000	342,000	12	227,000
1ο	100,000	1	100,000	1	100,000	9	92,000	1	100,000	1ο	50,000	6	50,000	6	50,000	5	49,000	6	50,000	1ο	100,000	9	92,000			
2ο	100,000	11	95,000	11	95,000	2	30,000	11	95,000	2ο	100,000	1	100,000	1	100,000	6	73,000	1	100,000	2ο	108,000	1	105,000			
3ο	100,000	0	0	0	0	0	0	0	0	3ο	150,000	5	45,000	5	45,000	1	105,000	5	45,000	3ο	103,000	2	30,000			
4ο	100,000	0	0	0	0	0	0	0	0	4ο	200,000	0	0	0	0	0	0	0	0	4ο	173,000	0	0			
5ο	100,000	0	0	0	0	0	0	0	0	5ο	250,000	0	0	0	0	0	0	0	0	5ο	273,000	0	0			
Συν.	500,000	12	195,000	12	195,000	11	122,000	12	195,000	Συν.	750,000	12	195,000	12	195,000	12	227,000	12	195,000	Συν.	757,000	12	227,000			

Σχήμα 1: Συνολικά αποτελέσματα για σταθερό, μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό και για μετακύλιση προϋπολογισμού

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν επιμέρους χρήσιμα αποτελέσματα, τα οποία είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον κύριο στόχο που τέθηκε αρχικά. Στο παρόν υποκεφάλαιο, επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα που τέθηκαν αρχικά με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα συνολικά συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας συνοψίζονται παρακάτω:

1. Με βάση την εκτενή ανασκόπηση των βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με την κατανομή πόρων για τη συντήρηση των συστημάτων υποδομής, φαίνεται ότι για πρώτη φορά πραγματοποιείται ανάπτυξη ενός μοντέλου βέλτιστης κατανομής πόρων για τη **συντήρηση των λιμένων** μιας χώρας.
2. Η επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης που αναπτύχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του **γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού** που αποδείχθηκε κατάλληλη για τέτοιου είδους πρόβλημα, διότι επιτρέπει στον εκάστοτε διαχειριστή συντήρησης να διερευνήσει με αποτελεσματικό τρόπο το σύνολο όλων των πιθανών στρατηγικών διαχείρισης. Επιπλέον, η μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού που επιλέχθηκε διαθέτει μια καλά ανεπτυγμένη θεωρία για την ανάλυση ευαισθησίας, έτσι ώστε να καθοριστεί η επίδραση των παραμέτρων εισόδου σε μια δεδομένη λύση του προβλήματος.
3. Ένα σημαντικό μέρος της μεθοδολογίας αποτελεί η **πρόβλεψη της χειροτέρευσης της κατάστασης των λιμένων** εξαιτίας του χρόνου και της χρήσης. Σε αντίθεση με τις αναφερθείσες βιβλιογραφικές αναφορές, επιλέχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία να μην χρησιμοποιείται η αλυσίδα Μαρκόφ, διότι αυτή απαιτεί πληθώρα δεδομένων εισόδου που για τα λιμάνια της Ελλάδος δεν υπάρχει. Γι' αυτό, έγινε η υπόθεση για γραμμική χειροτέρευση της κατάστασης των λιμένων της Ελλάδος.
4. Η αντικειμενική συνάρτηση που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει **συντελεστές βαρύτητας** για το κάθε λιμάνι που σχετίζονται με την επιβατική και την εμπορευματική του κίνηση, καθώς και με την ηλικία και το μέγεθός του. Λαμβάνοντας υπόψιν και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της Εθνικής Στρατηγικής των Λιμένων, οι παράμετροι αυτές βρέθηκαν ως οι κρισιμότερες για το πλαίσιο συντήρησης των λιμένων.
5. Καθοριστικός παράγοντας για τη συντήρηση ενός λιμένα αποτελεί η **επάρκεια του προϋπολογισμού**. Ωστόσο, εφόσον ο διατιθέμενος προϋπολογισμός επαρκεί, προτεραιότητα στη συντήρηση αποκτά εκείνος ο λιμένας με τους υψηλότερους συντελεστές βαρύτητας,

6. Η **αύξηση του προϋπολογισμού** συνεπάγεται πέρα από την αύξηση του αριθμού των λιμένων που συντηρούνται και τη μείωση του χρονικού ορίζοντα συντήρησης, με εμπροσθοβαρή κατανομή τα πρώτα χρόνια με άμεσα πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα στην περαιτέρω ανάπτυξη και λειτουργία του λιμένα.
7. Η **μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας** της αντικειμενικής συνάρτησης, δηλαδή ο διπλασιασμός που έγινε στους συντελεστές βαρύτητας επιβατικής κίνησης *spass*, εμπορευματικής κίνησης *scargo*, ηλικίας *sage* και μεγέθους *ssize* και η αύξηση των μειωτικού συντελεστή *wi* δεν διαφοροποίησε τα αποτελέσματα της συντήρησης σε σχέση με τις αρχικές συνθήκες επίλυσης. Τόσο για την επίλυση με σταθερό ετήσιο προϋπολογισμό όσο και για μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό, ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται και τα ποσοστά εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού παραμένουν ίδια και μετά τη μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας.
8. Τα αποτελέσματα από τη συντήρηση των λιμένων για σταθερό και μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό δεν διαφοροποιούνται αισθητά. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για **ίσους διατιθέμενους συνολικούς προϋπολογισμούς** στις δύο παραπάνω περιπτώσεις παρατηρείται ότι:
 - ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται είναι ίδιος τόσο για σταθερό όσο και για μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό,
 - το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού στην περίπτωση του μεταβαλλόμενου ετήσιου προϋπολογισμού είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με εκείνο του σταθερού ετήσιου προϋπολογισμού.
9. Ο **διπλασιασμός του χρονικού ορίζοντα** της συντήρησης δεν οδήγησε σε αύξηση του αριθμού των λιμένων που συντηρούνται ούτε σε αύξηση του ποσοστού εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού τόσο για το σταθερό όσο και για το μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό.
10. Η **μετακύλιση του προϋπολογισμού** σε επόμενα έτη είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των λιμένων που συντηρούνται στην περίπτωση χαμηλών προϋπολογισμών, διότι τότε γίνεται η βέλτιστη δυνατή εκμετάλλευση του διατιθέμενου προϋπολογισμού.
11. Υπό προϋποθέσεις, μπορεί να καταστεί **δυνατή η γενίκευση των αποτελεσμάτων** της Διπλωματικής αυτής Εργασίας και για περιοχές εκτός από την περιοχή έρευνας, ώστε να αξιοποιηθούν και σε επόμενες συναφείς έρευνες.

Πίνακας Περιεχομένων

1.Εισαγωγή	1
1.1 Γενική ανασκόπηση	1
1.1.1 Η ελληνική πραγματικότητα	2
1.1.2 Η σημασία των ελληνικών λιμένων	3
1.1.3 Διοικητική Οργάνωση Λιμενικού Συστήματος	4
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας	5
1.3 Μεθοδολογία	5
1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	6
2.Βιβλιογραφική Επισκόπηση	9
2.1 Γενικά	9
2.2 Εφαρμογές βελτιστοποίησης	10
2.2.1 Συντήρηση οδοστρωμάτων	11
2.2.2 Συντήρηση γεφυρών	15
2.2.3 Αναβάθμιση ασφάλειας μεταφορών	15
2.2.4 Μελέτες για λιμάνια	16
2.3 Κριτική αξιολόγηση	19
3.Θεωρητικό υπόβαθρο βελτιστοποίησης	21
3.1 Γενικά	21
3.2 Γραμμικός Προγραμματισμός	21
3.2.1 Εισαγωγή	21
3.2.2 Τι είναι ο Γραμμικός Προγραμματισμός	22
3.2.3 Μαθηματικό μοντέλο Γραμμικού Προγραμματισμού	23
3.2.4 Υποθέσεις Γραμμικού Προγραμματισμού	24
3.2.5 Είδη λύσεων Γραμμικού Προγραμματισμού	26
3.3 Η μέθοδος Simplex	27
3.4 Ακέραιος Προγραμματισμός	29
3.5 Διαδικός Ακέραιος Προγραμματισμός	30
3.6 Ο αλγόριθμος του Excel Solver για Ακέραιο Προγραμματισμό	30
3.6.1 Αλγόριθμοι τυφλής αναζήτησης	30

3.6.2	Αλγόριθμοι Επέκτασης και Οριοθέτησης	31
4.	Στατιστικά δεδομένα-Ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης	33
4.1	Γενικά	33
4.2	Εισαγωγικά στοιχεία για τα λιμάνια	33
4.2.1	Ο ρόλος των λιμένων	34
4.2.2	Κρίσιμοι παράγοντες για τη συντήρηση των λιμένων	35
4.3	Στατιστικά δεδομένα λιμένων	43
4.3.1	Επιβατική κίνηση	43
4.3.2	Εμπορευματική κίνηση	45
4.4	Λοιπά δεδομένα λιμένων	46
4.4.1	Ηλικία λιμένων	46
4.4.2	Μήκος κρηπιδωμάτων λιμένων	48
4.5	Συμπεράσματα	49
4.6	Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης	49
4.6.1	Γενικά	49
4.6.2	Μαθηματικό μοντέλο	50
5.	Εφαρμογή μεθοδολογίας-Αποτελέσματα	61
5.1	Εισαγωγή	61
5.2	Εφαρμογή μεθοδολογίας	61
5.3	Αποτελέσματα για σταθερό προϋπολογισμό	66
5.3.1	Αποτελέσματα για τις αρχικές υποθέσεις	66
5.3.2	Αποτελέσματα για διαφορετικό μειωτικό συντελεστή w_i	74
5.3.3	Αποτελέσματα για διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων	80
5.3.4	Αποτελέσματα για διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας	87
5.3.5	Αποτελέσματα για διπλασιασμό του χρονικού ορίζοντα συντήρησης	94
5.4	Αποτελέσματα για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό	99
5.4.1	Αποτελέσματα για τις αρχικές συνθήκες	99
5.4.2	Αποτελέσματα για διαφορετικό μειωτικό συντελεστή w_i	107
5.4.3	Αποτελέσματα για διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων	114
5.4.4	Αποτελέσματα για διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας	120
5.4.5	Αποτελέσματα για διπλασιασμό του χρονικού ορίζοντα συντήρησης	127
5.5	Αποτελέσματα για μετακύλιση προϋπολογισμού	130

5.5.1	Αποτελέσματα για σταθερό προϋπολογισμό	131
5.5.2	Αποτελέσματα για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό	138
6.	Συμπεράσματα	145
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων	145
6.2	Συνολικά Συμπεράσματα	149
6.3	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	151
7.	Βιβλιογραφία	153

Πίνακες

Πίνακας 2.1:	Συγκεντρωτικός πίνακας των βιβλιογραφικών αναφορών κατά αύξουσα χρονολογική σειρά	18
Πίνακας 3.2.1:	Σύγκριση των δύο μορφών Γραμμικού Προγραμματισμού	24
Πίνακας 3.2:	Είδη αλγορίθμων τυφλής αναζήτησης	31
Πίνακας 4.1:	Η επιβατική κίνηση στα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος για την περίοδο 2007-2010	44
Πίνακας 4.2:	Η εμπορευματική κίνηση (σε μετρικούς τόνους) στα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος για την περίοδο 2007-2010	45
Πίνακας 4.3:	Ηλικία των 12 βασικών λιμένων σε έτη	47
Πίνακας 4.4:	Συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων για τα 12 βασικά λιμάνια	48
Πίνακας 4.5:	Εύρος συντελεστή βαρύτητας επιβατικής κίνησης spass	52
Πίνακας 4.6:	Συντελεστής βαρύτητας επιβατικής κίνησης spass για τα 12 βασικά λιμάνια	53
Πίνακας 4.7:	Εύρος συντελεστή βαρύτητας εμπορευματικής κίνησης scargo	54
Πίνακας 4.8:	Συντελεστής βαρύτητας εμπορευματικής κίνησης scargo για τα 12 βασικά λιμάνια	54
Πίνακας 4.9:	Εύρος συντελεστή βαρύτητας μεγέθους ssize	55
Πίνακας 4.10:	Συντελεστής βαρύτητας μεγέθους ssize για τα 12 βασικά λιμάνια	56
Πίνακας 4.11:	Εύρος συντελεστή βαρύτητας ηλικίας sage	56
Πίνακας 4.12:	Συντελεστής βαρύτητας ηλικίας για τα 12 βασικά λιμάνια	57
Πίνακας 4.13:	Τιμές του συντελεστή χειροτέρευσης της κατάστασης wi	58
Πίνακας 4.14:	Χαρακτηρισμός κατάστασης λιμένα	58
Πίνακας 4.15:	Αρχική-τελική κατάσταση για τα 12 βασικά λιμάνια	59
Πίνακας 4.16:	Κόστος συντήρησης (σε €) ανάλογα με τη μεταβολή κατάστασης λιμένα	60
Πίνακας 5.1:	Νέες τιμές του μειωτικού συντελεστή wi	74

Σχήματα

Σχήμα 1.1:	Διάγραμμα των σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας	6
Σχήμα 2.1:	Τα 12 ελληνικά λιμάνια εθνικού ενδιαφέροντος	17
Σχήμα 4.1:	Το λιμάνι του Πειραιά	35
Σχήμα 4.2:	Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης	36
Σχήμα 4.3:	Το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης	37
Σχήμα 4.4:	Το λιμάνι της Καβάλας	37
Σχήμα 4.5:	Το λιμάνι του Βόλου	38
Σχήμα 4.6:	Το λιμάνι της Ραφήνας	38
Σχήμα 4.7:	Το λιμάνι του Λαυρίου	39
Σχήμα 4.8:	Το λιμάνι της Ελευσίνας	40
Σχήμα 4.9:	Το λιμάνι της Πάτρας	40
Σχήμα 4.10:	Το λιμάνι της Ηγουμενίτσας	41
Σχήμα 4.11:	Το λιμάνι της Κέρκυρας	42
Σχήμα 4.12:	Το λιμάνι του Ηρακλείου	42
Σχήμα 4.13:	Μέσος όρος της επιβατικής κίνησης του κάθε λιμένα για την περίοδο 2007-2010	44
Σχήμα 4.14:	Μέσος όρος της εμπορευματικής κίνησης (σε μετρικούς τόνους) του κάθε λιμένα για την περίοδο 2007-2010	46
Σχήμα 4.15:	Ηλικία των 12 βασικών λιμένων σε έτη	47
Σχήμα 4.16:	Συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων για τα 12 βασικά λιμάνια σε μέτρα	48
Σχήμα 4.17:	Συντελεστής βαρύτητας επιβατικής κίνησης spass για τα 12 βασικά λιμάνια	53
Σχήμα 4.18:	Συντελεστής βαρύτητας εμπορευματικής κίνησης scargo για τα 12 βασικά λιμάνια	55
Σχήμα 4.19:	Συντελεστής βαρύτητας μεγέθους size για τα 12 βασικά λιμάνια	56
Σχήμα 4.20:	Συντελεστής βαρύτητας ηλικίας για τα 12 βασικά λιμάνια	57
Σχήμα 4.21:	Αρχική-τελική κατάσταση για τα 12 βασικά λιμάνια	59
Σχήμα 5.1:	Το πλαίσιο διαλόγου του Solver για το πρόβλημα της κατανομής πόρων	62
Σχήμα 5.2:	Το πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής περιορισμών	63
Σχήμα 5.3:	Το πλαίσιο διαλόγου των παραμέτρων του Excel Solver	63
Σχήμα 5.4:	Το μήνυμα του εργαλείου εργαλείου Solver για την εξεύρεση της βέλτιστης λύσης	65
Σχήμα 5.5:	Η τελική μορφή του φύλλου εργασίας με τη βέλτιστη λύση του προβλήματος κατανομής πόρων	66
Σχήμα 5.6:	Σταθερός προϋπολογισμός 5000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού	67
Σχήμα 5.7:	Σταθερός προϋπολογισμός 10000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού	67
Σχήμα 5.8:	Σταθερός προϋπολογισμός 20000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού	68
Σχήμα 5.9:	Σταθερός προϋπολογισμός 30000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού	68
Σχήμα 5.10:	Σταθερός προϋπολογισμός 40000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού	69

Σχήμα 5.109: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού	140
Σχήμα 5.110: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού	141
Σχήμα 5.111: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών	142
Σχήμα 5.112: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού	143
Σχήμα 6.1: Σύνοψη αποτελεσμάτων για σταθερό ανά έτος προϋπολογισμό	146
Σχήμα 6.2: Σύνοψη αποτελεσμάτων για μεταβαλλόμενο ανά έτος προϋπολογισμό	147
Σχήμα 6.3: Σύνοψη αποτελεσμάτων για μετακύλιση προϋπολογισμού	148

1

Εισαγωγή

1.1 Γενική ανασκόπηση

Στη σύγχρονη εποχή ιδιαίτερα της παγκόσμιας οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης, της άνθισης του διεθνούς εμπορίου και της ελεύθερης διακίνησης αγαθών και ατόμων, τα συστήματα υποδομών διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο, αφού συνιστούν βασικό μοχλό ανάπτυξης του ανθρώπου και της κοινωνίας. Με τη βοήθεια αυτών αίρονται οι γεωγραφικοί περιορισμοί και καθίστανται εφικτές οι μετακινήσεις. Απαραίτητη προϋπόθεση για ομαλή και ισόρροπη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη συνιστά η καλή και οικονομική λειτουργία των υποδομών, η οποία βασίζεται στην σωστή διαχείριση των υποδομών αυτών, τόσο στο σύνολό τους όσο και των επιμέρους στοιχείων τους. **Ως διαχείριση υποδομών νοείται το σύνολο των δραστηριοτήτων (επιθεωρήσεις, επισκευές, συντήρηση, κατανομή πόρων κ.α.) που απαιτούνται κατά τη διάρκεια ζωής των υποδομών, με τις οποίες επιτυγχάνεται η αποδοτική, οικονομική και ασφαλής λειτουργία τους.** Η πολυπλοκότητα των συστημάτων υποδομής και οι αυξημένες απαιτήσεις για αποδοτικότητα, αξιοπιστία και ασφάλεια των υποδομών οδήγησαν στη γένεση διαδικασιών, προτύπων και μεθόδων, με σκοπό την ορθολογικά συντεταγμένη διαχείριση των υποδομών. Βασικό επιμέρους στοιχείο αυτών των συστημάτων αποτελούν τα λιμάνια. Τα λιμάνια αποτελούν διαχρονικό δείκτη ανάπτυξης και πολιτισμικού επιπέδου των κοινωνιών. Αποτελούν από τις πλέον ευαίσθητες υποδομές.

Η διαχείριση των λιμένων εστιάζεται κυρίως στην πρόβλεψη των μελλοντικών αναγκών που θα κληθεί να καλύψει, αλλά και της μελλοντικής του καταστασης, ως αποτέλεσμα της χρήσης στην οποία υπόκειται και των φθορών που αναμένεται να υποστεί.

Βασικό στόχο αποτελεί ο καθορισμός του γενικού προγραμματισμού επιδιορθώσεων και της κατανομής των αναγκαίων πόρων ώστε το λιμάνι να επιτελεί τους σκοπούς του. Για τον σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί πλήθος προτύπων και μεθόδων με τα οποία είναι δυνατή η πραγματοποίηση ικανοποιητικών προβλέψεων της μελλοντικής κατάστασης του λιμένα, ο έλεγχος και η βελτίωση της αξιοπιστίας και η ορθολογική διαχείριση των οικονομικών πόρων για την συντήρηση των λιμένων.

1.1.1 Η ελληνική πραγματικότητα

Στα πλαίσια της εξέλιξης, η Ελλάδα έχει προχωρήσει κατά τις τελευταίες δεκαετίες στην κατασκευή πλήθους σημαντικών έργων υποδομής τα οποία πέρα από την ανάπτυξη οικονομίας και κοινωνίας, την οποία προάγουν, αναβαθμίζουν ταυτόχρονα και το ρόλο της χώρας στα Βαλκάνια και κατ' επέκταση στην Ευρώπη. Η σύλληψη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μεγάλων έργων γεννούν, όμως, νέες συνθήκες, αλλά και νέες ανάγκες. Ιδιαίτερη βαρύτητα οφείλει να δοθεί στον τομέα της συντήρησης, ώστε να διασφαλιστεί η λειτουργικότητα, η ασφάλεια και η αξιοπιστία σε βάθος χρόνου. Άλλωστε, τα συστήματα υποδομών αποτέλεσαν και αποτελούν δαπανηρές επενδύσεις, οι οποίες πρέπει να διαφυλαχτούν σε βάθος χρόνου.

Η ανάπτυξη διαδικασιών και συστημάτων διαχείρισης των ελληνικών υποδομών κρίνεται επιτακτική. Οι ιδιαίτερες συνθήκες επιβάλλουν την ανάπτυξη προτύπων, διαδικασιών και εργαλείων, προσαρμοσμένων στις εγχώριες συνθήκες.

Η διαχείριση των λιμένων περιλαμβάνει το σύνολο των ενεργειών που αφορούν το λιμάνι κατά τη διάρκεια ζωής του, από το σχεδιασμό μέχρι την αντικατάστασή του και στοχεύει στη διασφάλιση της ασφάλειας και της λειτουργικότητάς του. Αυτό απαιτεί διαδικασίες που εξασφαλίζουν την περιοδική επιθεώρηση και αξιολόγηση της λειτουργίας των λιμένων, την διεξαγωγή κατάλληλων επισκευών και συντήρησης, προκειμένου να επιτευχθεί ένα απαιτούμενο όριο κατάστασης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, και τη διαχείριση των αναγκαίων πόρων για τις εργασίες αυτές.

Επομένως, τίθεται η ανάγκη για την βέλτιστη δυνατή συντήρηση των λιμένων με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Αυτή έχει ως στόχο την εγγυήση της ασφάλειας των χρηστών καθώς και τρίτων, την μακροπρόθεσμη διασφάλιση της διατήρησης της επένδυσης που αποτελούν οι κατασκευές και την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας της γέφυρας για τους χρήστες και την υπερεσία. Βασικοί στόχοι της συντήρησης αποτελούν οι:

- Η δυνατότητα πρόβλεψης της μελλοντικής κατάστασης του λιμανιού
- Ο προσδιορισμός των απαιτούμενων ενεργειών συντήρησης
- Ο προσδιορισμός και η κατανομή των ενεργειών αυτών

1.1.2 Η σημασία των ελληνικών λιμένων

Τα ελληνικά λιμάνια παρέχουν την άμεση σύνδεση μεταξύ των διεθνών και των τοπικών συστημάτων μεταφοράς. Επομένως, συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην επιτυχή ενσωμάτωση της χώρας στα παγκόσμια δίκτυα εμπορίου και παραγωγής. Επιπρόσθετα, τα ελληνικά λιμάνια είναι κυρίαρχης σημασίας για την διατήρηση της εδαφικής ακεραιότητας και συνοχής, καθώς επιτρέπουν την παροχή αγαθών και υπηρεσιών σε όλα τα κατοικημένα νησιά της χώρας. Παράλληλα, ο λιμενικός τομέας έχει καθοριστική κοινωνική και οικονομική συμβολή, παρέχοντας άμεσες ευκαιρίες εργασιακής απασχόλησης. Η γεωγραφική θέση της Ελλάδος είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τις διεθνείς γραμμές μεταφοράς. Η θέση της Ελλάδας στην είσοδο της Μαύρης Θάλασσας και ως κομβικό μέρος στην Μεσόγειο αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό πλεονέκτημα από την άποψη των θαλάσσιων μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, τα λιμάνια στο βόρειο τμήμα της Ελλάδος έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν ως πύλες προς την νοτιανατολική Ευρώπη (δηλαδή προς την ΠΓΔΜ, Σερβία και Βουλγαρία). Για τον λόγο αυτό, ένα υγιές ρυθμιστικό πλαίσιο σχετικά με τα λιμάνια αποτελεί την βάση για ένα ανταγωνιστικό αποτελεσματικό λιμενικό τομέα. Στην πρόσφατη ιστορία, τα ελληνικά λιμάνια έχουν διοικηθεί από σώματα διαφορετικής μορφής, συνδυάζοντας εμπορικές και λειτουργικές λειτουργίες και ακολουθώντας το μοντέλο του ενιαίου φορέα για όλες τις δραστηριότητες ανά τοποθεσία λιμάνι. Ωστόσο, η μείωση στα επίπεδα σχεδιασμού, συντονισμού και εκτέλεσης σε πολλούς τομείς της λειτουργίας των λιμένων δεν επέτρεψαν στην χώρα να επωφεληθεί πλήρως από τις δυνατότητες των λιμένων.

Συμπερασματικά, λοιπόν, η σημασία των λιμένων για την Ελλάδα σε συνδυασμό με την περιορισμένη διαθεσιμότητα σε οικονομικούς πόρους και την οικονομική κρίση καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη ενός προγράμματος κατανομής πόρων για την βέλτιστη συντήρηση των λιμένων.

1.1.3 Διοικητική Οργάνωση Λιμενικού Συστήματος

Σύμφωνα με τη Γενική Γραμματεία Λιμένων και Λιμενικής Πολιτικής του Υπουργείου Ναυτιλίας και Αιγαίου, η διοικητική οργάνωση, ο τρόπος διοίκησης και η εποπτεία της λειτουργίας των ελληνικών λιμένων διαφέρει αναλόγως του μεγέθους, των χρήσεων και της σημασίας τους στο Εθνικό Λιμενικό Σύστημα. Συγκεκριμένα σήμερα λειτουργούν:

- **Δώδεκα (12) Λιμένες Διεθνούς Σημασίας**, οι οποίοι λειτουργούν ως Ανώνυμες εταιρίες. Οι λιμένες αυτοί είναι οι λιμένες του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης, της Αλεξανδρούπολης, του Βόλου, της Ελευσίνας, του Ηρακλείου, της Ηγουμενίτσας, της Καβάλας, της Κέρκυρας, του Λαυρίου, της Πάτρας και της Ραφήνας. Από αυτούς και σύμφωνα με τους Ν. 2688/1999, Ν. 2881/2001, Ν. 2892/2001 και Ν. 2932/2001 οι Οργανισμοί Λιμένων Πειραιώς και Θεσσαλονίκης είναι εισηγμένοι στο Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών με κύριο μέτοχο το Ελληνικό Δημόσιο.
- **Είκοσι τρία (23) κρατικά Λιμενικά Ταμεία** που αφορούν Λιμένες εθνικής ή μείζονος σημασίας (εποπτεία από το Υπουργείο Ναυτιλίας και Αιγαίου).
- **Εξήντα έξι (66) Δημοτικά Λιμενικά Ταμεία** που αφορούν Λιμένες διεθνούς, εθνικής ή μείζονος σημασίας.
- **Δύο (2) Νομαρχιακά Λιμενικά Γραφεία** που λειτουργούν ως Δημοτικά Λιμενικά Ταμεία.
- 1.250 περιφερειακοί λιμένες, μαρίνες, αλιευτικά καταφύγια και λιμενίσκοι, καταχωρημένα σε 188 Κεντρικά Λιμεναρχεία, Λιμεναρχεία, Υπολιμεναρχεία και Λιμενικούς Σταθμούς.

Οι λιμένες της Χώρας κατατάσσονται σύμφωνα με την Κοινή Υπουργική Απόφαση αριθ. 8315.2/02/07 (ΦΕΚ 202/16-02/2007) των Υπουργών Εθνικής Οικονομίας, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων, Εξωτερικών και Εμπορικής Ναυτιλίας, στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Λιμένες εθνικής σημασίας** (Κατηγορία **K1:16** λιμένες): Πειραιά, Θεσσαλονίκης, Αλεξανδρούπολης, Βόλου, Ελευσίνας, Ηρακλείου, Ηγουμενίτσας, Καβάλας, Κέρκυρας, Λαυρίου, Πάτρας, Ραφήνας, Μυκόνου, Μυτιλήνης, Ρόδου και Σούδας Χανίων)
- **Λιμένες Εθνικής Σημασίας** (Κατηγορία **K2: 16** λιμένες): Αργοστολίου, Ζακύνθου, Θήρας, Καλαμάτας, Κατάκολου, Κορίνθου, Κυλλήνης, Κω, Λάγος, Πάρου, Πρέβεζας, Ρεθύμνου, Βαθέως Σάμου, Σύρου, Χαλκίδος και Χίου
- **Λιμένες Μείζονος Ενδιαφέροντος** (Κατηγορία **K3: 25** λιμένες): Αγ. Κηρύκου Ικαρίας, Αγ. Κωνσταντίνου Φθιώτιδας, Αγ. Νικολάου Λασιθίου, Αίγινας, Αιγίου, Γυθείου, Θάσου, Ιτέας, Κύμης, Λευκάδας, Μεσολλογίου, Μύρινας Λήμνου, Νάξου, Ναυπλίου, Ν. Μουδανιών,

Πάτμου, Σαμοθράκης, Πόρου Κεφαλληνίας, Σκιάθου, Σκοπέλου, Σητείας, Στυλίδας, Τήνου και Ύδρας.

- **Λιμένες τοπικής σημασίας**

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης, για την κατανομή των διαθέσιμων πόρων για τη συντήρηση των βασικών λιμένων στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, με βασικό περιορισμό αυτόν της διάθεσης των ελαχίστων πόρων θα επιχειρηθεί να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα βέλτιστης συντήρησης των λιμένων της Ελλάδος σε χρονικό ορίζοντα 5 ετών.

Οι εξεταζόμενοι βασικοί λιμένες της Ελλάδας είναι οι παρακάτω: 1) Πειραιάς, 2) Θεσσαλονίκη, 3) Αλεξανδρούπολη, 4) Καβάλα, 5) Βόλος, 6) Ραφήνα, 7) Λαύριο, 8) Ελευσίνα, 9) Πάτρα, 10) Ηγουμενίτσα, 11) Κέρκυρα, 12) Ηράκλειο. Η επιλογή τους έγινε με βάση τον συνολικό αριθμό των διακινούμενων επιβατών και φορτίων.

1.3 Μεθοδολογία

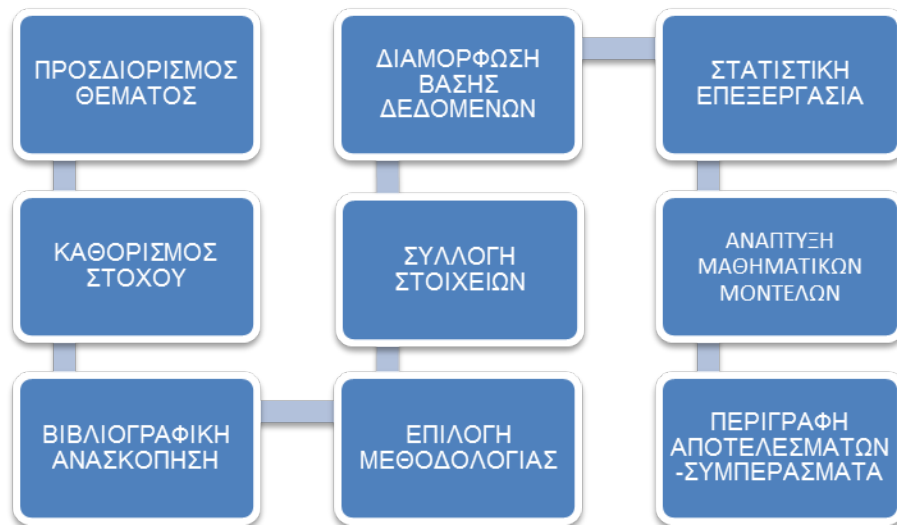
Πιο συγκεκριμένα, στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η συγκεκριμένη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά καθορίστηκε το αντικείμενο που θα εξέταζε η παρούσα Διπλωματική Εργασία καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος. Για την υλοποίηση του στόχου πραγματοποιήθηκε ευρεία **βιβλιογραφική ανασκόπηση** τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Αναζητήθηκαν, δηλαδή, έρευνες με θέμα συναφές με εκείνο της Διπλωματικής Εργασίας τόσο σε ελληνικό, όσο και σε διεθνές επίπεδο. Στη φάση αυτή πραγματοποιήθηκε αναζήτηση παρεμφερών ερευνών, επιστημονικών άρθρων, καθώς επίσης και γενικών πληροφοριών σχετικά με το θέμα που θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες για τη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία. Μέσω των παρεμφερών ερευνών καταβλήθηκε προσπάθεια να αποκτηθεί μία σχετική εμπειρία στην επεξεργασία τέτοιων θεμάτων, καθώς και να αποφασιστεί η μέθοδος με βάση την οποία θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των στοιχείων και θα επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος στόχος.

Μετά την ολοκλήρωση της αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών, σειρά είχε η εύρεση του τρόπου **συλλογής των στοιχείων**. Πηγή της προέλευσης των στοιχείων αποτέλεσε κατά κύριο λόγο η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ., www.statistics.gr), ενώ χρήσιμη αποδείχτηκε και η μελέτη για τη στρατηγική λιμένων. Στη συνέχεια, τα στοιχεία καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων, η οποία βελτιώθηκε σταδιακά, έως ότου αποκτήσει την τελική της μορφή. Ακολούθησε η **επιλογή της μεθόδου** στατιστικής επεξεργασίας των στοιχείων. Την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διαδέχτηκε η ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων, η

εφαρμογή τους και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τέλος, προέκυψαν τα συμπεράσματα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Στο **Σχήμα 1.1**, παρουσιάζονται, υπό μορφή διαγράμματος ροής, τα διαδοχικά στάδια που ακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας.



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα των σταδίων εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής εργασίας, μέσω της συνοπτικής αναφοράς στο περιεχόμενο των κεφαλαίων της.

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια **εισαγωγή** στο αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας, προκειμένου να προσδιοριστεί ο στόχος της. Αποτελεί τη βάση για την κατανόηση του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, γίνεται μια γενική ανασκόπηση, όπου επισημαίνεται η αναγκαιότητα της διαχείρισης των συστημάτων υποδομών και δίνεται ένας ορισμός αυτής. Ύστερα, γίνεται αναφορά στους ελληνικούς λιμένες και στην σημασία συντήρησης αυτών. Ακόμη, αναφέρεται η σημασία των ελληνικών λιμένων για την χώρα. Εν συνεχεία, καταγράφεται με μεγαλύτερη σαφήνεια ο στόχος που πρόκειται να επιτευχθεί μέσα από την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Τέλος, περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αντιμετώπιση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Για την καλύτερη αντίληψη αυτής, παρατίθεται και ένα διάγραμμα ροής, που απεικονίζει την αλληλουχία των ενεργειών που πραγματοποιήθηκαν με μεγαλύτερη σαφήνεια.

Στο **Κεφάλαιο 2**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της **βιβλιογραφικής ανασκόπησης**, όπως αυτά προέκυψαν από την αναζήτηση ερευνών με παρεμφερές αντικείμενο. Παρατίθενται

εργασίες από την Ελλάδα και το εξωτερικό, οι οποίες έχουν δημοσιευτεί σε συνέδρια, επιστημονικά περιοδικά, άρθρα ή συγγράματα. Πραγματοποιείται σύνοψη της κάθε εργασίας που περιλαμβάνει το πλαίσιο της έρευνας, τη μεθοδολογία και τα βασικά αποτελέσματα, με έμφαση στα στοιχεία που παρουσιάζουν συνάφεια με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας. Στο τέλος του κεφαλαίου, συνοψίζονται οι μεθοδολογίες όλων των ερευνών που εξετάστηκαν, καταγράφονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματά τους και γίνεται μια συγκριτική αξιολόγησή τους, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσον κάποιες από αυτές είναι ικανές να συμβάλλουν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Στο **Κεφάλαιο 3**, που αφορά το **θεωρητικό υπόβαθρο**, αναλύεται η επιλεγείσα μεθοδολογία και περιγράφεται η οικογένεια στην οποία ανήκει. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται η μεθοδολογία και οι προϋπόθεσεις εφαρμογής του γραμμικού προγραμματισμού και του ακέραιου προγραμματισμού αντίστοιχα.

Στο **Κεφάλαιο 4**, γίνεται η παρουσίαση των διαδικασιών της **συλλογής και επεξεργασίας των στατιστικών στοιχείων**, στα οποία στηρίχθηκε η Διπλωματική Εργασία, ενώ περιγράφεται και το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε.

Στο **Κεφάλαιο 5** πραγματοποιείται η αναλυτική **περιγραφή της μεθόδου** που εφαρμόστηκε ως την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον τρόπο εισαγωγής των στατιστικών στοιχείων παραθέτοντας διαδοχικές οθόνες εκτέλεσης της επεξεργασίας των στοιχείων, ενώ επισημαίνονται τα κρίσιμα σημεία στη λειτουργία του λογισμικού. Έπειτα, περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης μαθηματικού μοντέλου. Καταγράφονται, δηλαδή, τα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η εφαρμογή διαφορετικών σεναρίων της μεθοδολογίας, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η σύγκριση των επιμέρους σεναρίων.

Στο **Κεφάλαιο 6**, το οποίο αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας περιλαμβάνονται τα **συνολικά συμπεράσματα** που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Επιπρόσθετα, καταγράφονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας είτε με άλλες μεθόδους, είτε με εξέταση πρόσθετων παραμέτρων και μεταβλητών.

Στο **Κεφάλαιο 7**, παρατίθεται ο **κατάλογος των βιβλιογραφικών αναφορών**, που αφορούν έρευνες παρεμφερείς με αυτή της Διπλωματικής Εργασίας που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

2

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Γενικά

Το κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης περιλαμβάνει την παρουσίαση και ανασκόπηση αφενός των αποτελεσμάτων από έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας και αφετέρου μεθοδολογιών συναφών με τη μεθοδολογία της Διπλωματικής Εργασίας. Και στις δύο περιπτώσεις εξετάζονται εργασίες από την Ελλάδα και το εξωτερικό. Και στα δύο μέρη της βιβλιογραφικής ανασκόπησης παρατίθεται σύνοψη της κάθε εξεταζόμενης εργασίας που περιλαμβάνει το πλαίσιο της έρευνας, τη μεθοδολογία και τα βασικά αποτελέσματα με έμφαση στα στοιχεία με συνάφεια με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας. Στο τέλος παρατίθεται σύνθεση των βασικών σημείων όλων των εργασιών που εξετάστηκαν με στόχο αφενός να προκύπτει η αναγκαιότητα εξέτασης του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας και αφετέρου να αιτιολογείται η επιλογή της υιοθετηθείσας μεθοδολογίας.

Ο στόχος της ανασκόπησης αποτελεσμάτων από έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας είναι να προσδιοριστούν όλες οι συναφείς έρευνες επιτρέποντας τον προσδιορισμό ενός αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας, το οποίο δεν έχει καλυφθεί πλήρως (τουλάχιστον στην Ελλάδα), συμπληρώνοντας έτσι τις υπάρχουσες εργασίες. Επιπλέον, η ανασκόπηση συναφών ερευνών επιτρέπει τον έλεγχο εάν τα αποτελέσματα της Διπλωματικής Εργασίας συμφωνούν με εκείνα της διεθνούς βιβλιογραφίας, διευκολύνοντας έτσι την ερμηνεία τους.

Ο στόχος της ανασκόπησης μεθοδολογιών συναφών με τη μεθοδολογία της Διπλωματικής Εργασίας είναι να προσδιοριστούν οι μεθοδολογίες από τις οποίες θα επιλεγεί η καταλληλότερη για την αντιμετώπιση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Επιπλέον, η ανασκόπηση των συναφών μεθοδολογιών επιτρέπει την αναλυτική εξέταση των χαρακτηριστικών της επιλεγείσας μεθοδολογίας, διευκολύνοντας την εφαρμογή της κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας.

2.2 Εφαρμογές βελτιστοποίησης

Τα συστήματα υποδομών είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη διατήρηση και τη βελτίωση της οικονομικής ανάπτυξης. Τυχόν φτωχή κατάσταση των συστημάτων υποδομής επιφέρει χαμηλή παραγωγικότητα και μειώνει την οικονομική δραστηριότητα και κατά συνέπεια και την ποιότητα της ζωής. Η σημερινή παγκόσμια οικονομία καθιστά επιτακτική την ανάγκη στις κυβερνήσεις να διατηρήσουν και να ανανεώσουν τα συστήματα υποδομής έτσι ώστε να παραμείνουν ανταγωνιστικές και παραγωγικές. Επομένως, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον σχετικά με τη γενικότερη ποιότητα των αυτοκινητόδρομων, των γεφυρών, των λιμανιών και των άλλων συγκοινωνιακών υποδομών παγκοσμίως. Τα μεταφορικά δίκτυα αποτελούν απαραίτητα μέρη των συστημάτων υποδομής. Η αλλοίωσή τους εξαιτίας του χρόνου και της χρήσης αποτελεί την κύρια απειλή για το επίπεδο των υπηρεσιών που βασίζονται τα μεταφορικά δίκτυα. Κατά συνέπεια, οι προσπάθειες στρέφονται στην συντήρηση, επισκευή και ανανέωση των συστημάτων. Η μελλοντική ευημερία σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από την κατάσταση των αυτοκινητόδρομων, των σιδηρόδρομων, των αεροδρομίων και των λιμανιών.

Ταυτόχρονα, το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής πόρων είναι ένα θέμα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα εδώ και χρόνια.

Οι **Zanakis et al. (1995)** στη δημοσίευσή τους παρέχουν μία λεπτομερή ανάλυση των ήδη υπάρχουσων παλαιότερων ερευνών που σχετίζονται με την κατανομή των πόρων και τις κατατάσσουν με βάση τα διαφορετικά μοντέλα στα οποία στηρίχθηκαν, τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, τον σκοπό κάθε έρευνας και τα επιστημονικά πεδία στα οποία βρίσκουν εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, επισημαίνεται ότι οι διάφοροι φορείς αντιμετωπίζουν τακτικά την ανάγκη να καταναείμουν τα περιορισμένα κεφάλαιά τους στα διαφορετικά προγράμματα/έργα ικανοποιώντας αντικρουόμενους στόχους και ενδιαφέροντα. Το πρόβλημα της κατανομής πόρων στην δημοσίευση των Zanakis et al. (1995) τίθεται θεωρώντας ένα σύνολο προγραμμάτων/έργων με ένα ποσοτικοποιημένο όφελος που ανατίθεται σε κάθε πρόγραμμα/έργο. Κρίσιμη θεωρείται η απόφαση σχετικά με το ποιο πρόγραμμα θα χρηματοδοτηθεί και με ποιο ποσό. Η εκάστοτε απόφαση υπόκειται στους περιορισμούς και υπαγορεύεται από τους αντικρουόμενους στόχους και ενδιαφέροντα.

Κατά την επίλυση προβλημάτων κατανομής πόρων, ένα από τα σημαντικότερα βήματα είναι η επιλογή της μεθόδου βελτιστοποίησης, ώστε να βρεθεί η όσο το δυνατόν καλύτερη λύση ικανοποιώντας ταυτόχρονα τους περιορισμούς. Τα τελευταία χρόνια ποικίλες προσεγγίσεις έχουν προταθεί για τη βέλτιστη συντήρηση και αποκατάσταση των δικτύων. Κοινό συστατικό στοιχείο όλων αυτών των προσεγγίσεων αποτελούν τα παρακάτω:

- Προσδιορισμός του συστήματος πληροφοριών των δικτύων
- Αξιολόγηση των τρεχουσών αναγκών
- Καθορισμός των στρατηγικών επεξεργασίας
- Πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης των στοιχείων
- Ανάπτυξη ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης
- Επιλογή των κατάλληλων επεξεργασιών

2.2.1 Συντήρηση οδοστρωμάτων

Οι μέχρι πρότινος προσεγγίσεις βελτιστοποίησης της συντήρησης και της αποκατάστασης των οδοστρωμάτων έχουν δύο απαραίτητα στοιχεία: τους αλγορίθμους βελτιστοποίησης και τα μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης. Η έρευνα σχετικά με τα μοντέλα πρόβλεψης της κατάστασης αποκτά αυξανόμενη προσοχή. Το μοντέλο του Markon τείνει να αποτελεί την πιο ενδεδειγμένη λύση για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης του δικτύου (**Abaza και Ashur, 2004**).

Πιο συγκεκριμένα, οι Abaza και Ashur (2004) εφάρμοσαν ένα μοντέλο Markon για να προβλέψουν τη μελλοντική κατάσταση του οδοστρώματος και ανέπτυξαν μία μη γραμμική μέθοδο βελτιστοποίησης ώστε να επιτύχουν βέλτιστη κατάσταση οδοστρώματος με βάση και τους περιορισμούς του προϋπολογισμού. Το μοντέλο Markon που χρησιμοποιήθηκε από τους Abaza και Ashur αποτελείται από τρία κύρια συστατικά στοιχεία:

- Πέντε δείκτες κατάστασης, a , b , c , d , e οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την τέλεια, καλή, μέτρια, πτωχή και κακή κατάσταση, αντίστοιχα.
- Πιθανότητες χειροτέρευσης P_{ij} , οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα που έχει το οδόστρωμα να χειροτερεύσει από την κατάσταση i στην κατάσταση j σε ένα μεμονωμένο χρονικό διάστημα
- Πιθανότητες συντήρησης f_{ij} , οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα που έχει ένα οδόστρωμα να βελτιωθεί από την κατάσταση i στην κατάσταση j σε ένα μεμονωμένο χρονικό διάστημα, ως αποτέλεσμα των ενεργειών συντήρησης.

Ο κύριος στόχος από την έρευνα που έγινε από τους Abaza και Ashur ήταν να καθοριστεί το βέλτιστο μελλοντικό πρόγραμμα συντήρησης και βελτιστοποίησης, το οποίο και θα εφαρμοστεί. Το προτεινόμενο μοντέλο ήταν σε θέση να παρέχει το ποσό επένδυσης που απαιτήθηκε για κάθε στρατηγική συντήρησης και αποκατάστασης έτσι ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Οι **Mbwana και Turnquist (1996)** περιέγραψαν ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρώματος χρησιμοποιώντας έναν μεγάλης κλίμακας γραμμικό αλγόριθμο. Οι πιθανότητες μετάβασης Markov χρησιμοποιούνται στο μοντέλο για να προβλέψουν την μελλοντική κατάσταση του οδοστρώματος.

Οι **Sceinberg και Anastasopoulos (2010)** δημιούργησαν ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων που έχει ως στόχο την επιλογή της βέλτιστης λύσης για τη συντήρηση του οδοστρώματος που θα διατηρεί το οδόστρωμα στην καλύτερη δυνατή κατάσταση και ταυτόχρονα θα δαπανά λιγότερους πόρους. Για να το επιτύχει αυτό χρησιμοποιεί τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού σε συνδυασμό με δέντρα αποφάσεων. Τα δεδομένα του συστήματος είναι οι εναλλακτικές παρεμβάσεις συντήρησης και η κατάσταση του οδοστρώματος.

Μια άλλη προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στην βελτιστοποίηση των προβλημάτων είναι ο προγραμματισμός στόχου. Οι **Ravirala et al. (1997)** προτίμησαν αυτή την προσέγγιση εξαιτίας της δυνατότητάς της στην εξέταση προβλημάτων που περιλαμβάνουν αντικρουόμενους στόχους με διαφορετικούς βαθμούς σπουδαιότητας.

Προηγούμενες εργασίες που δημοσιεύτηκαν από τους **Ravirala και Γρίβα (1994)** δείχνουν ότι ο προγραμματισμός στόχου είναι ευεργετικός για την επίτευξη αντικρουόμενων στόχων ταυτόχρονα. Παρολαυτά, ο προγραμματισμός στόχου παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολο να ενσωματώσει τις πιθανότητες μετάβασης κατά Markov στη διαδικασία της βελτιστοποίησης. Επιπρόσθετα, ο ακέραιος προγραμματισμός που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την προσέγγιση είναι μη εφαρμόσιμος σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα οδοστρωμάτων εξαιτίας των υψηλών υπολογιστικών απαιτήσεων. Έτσι, το μοντέλο που προτάθηκε από τον Ravirala χρησιμοποιεί γραμμικό προγραμματισμό αντί του ακεραίου για να αναπτύξει ένα βέλτιστο πολυετές πρόγραμμα συντήρησης.

Οι **Liu και Wang (1996)** πρότειναν ένα νέο σύστημα βελτιστοποίησης δικτύου, όπου ο διαθέσιμος ετήσιος προϋπολογισμός για τη συντήρηση και την αποκατάσταση του δικτύου εισάχθηκε ως περιορισμός. Ο στόχος του προτεινόμενου μοντέλου ήταν να μεγιστοποιήσει την ποιότητα του οδοστρώματος χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά τον διαθέσιμο προϋπολογισμό. Οι Liu και Wang (1996) χρησιμοποίησαν γραμμικό προγραμματισμό για να εκτελέσουν την βελτιστοποίηση του δικτύου. Η αντικειμενική συνάρτηση του προτεινόμενου μοντέλου περιλαμβάνει τους συντελεστές w_i, k και f_i , όπου ο συντελεστής w_i, k υποδηλώνει την αναλογία των οδοστρωμάτων που βρίσκονται στην κατάσταση i στην αρχή της l -περιόδου του χρονικού ορίζοντα T σε σχέση με εκείνα που εφαρμόζει η διαδικασία συντήρησης, ενώ ο συντελεστής f_i υποδηλώνει την βαθμονόμηση των επιδόσεων για την κατάσταση i . Ο συντελεστής f_i χρησιμοποιείται στο μοντέλο ως μια χρηστική αξία για να εξεταστεί η επίδραση της κάθε κατάστασης στη συνολική «επίδοση» του οδοστρώματος. Η αντικειμενική συνάρτηση

μεγιστοποιεί την ολική «επίδοση» του οδοστρώματος για τον χρονικό ορίζοντα T. Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου μοντέλου βελτιστοποίησης ήταν:

- Η κατανομή του ετήσιου προϋπολογισμού για διαφορετικές δράσεις βελτιστοποίησης,
- Τα ποσοστά των οδοστρωμάτων τα οποία αναμένεται να είναι στην κάθε κατάσταση στην αρχή του κάθε έτους.

Ένα ακόμη πρόγραμμα βελτιστοποίησης δικτύου εφαρμόστηκε στην **πολιτεία της Αριζόνα (2006)**. Αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προσπάθειες κατασκευής συστήματος διαχείρισης οδοστρωμάτων. Το μοντέλο βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκε είχε ως στόχο να ελαχιστοποιήσει το ετήσιο κόστος συντήρησης και αποκατάστασης για την περίοδο προγραμματισμού. Το σύστημα που κατασκευάστηκε λαμβάνει δεδομένα δεδομένα για την περιοχή από την οποία προέρχονται τα τμήματα του οδοστρώματος, το είδος των τμημάτων αυτών, στοιχεία για κυκλοφοριακούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιδρούν στα τμήματα κ.α. Για να ληφθεί υπόψη η επίδραση εξωτερικών παραγόντων στο οδόστρωμα χρησιμοποιείται ο δείκτης PDI (Pavement Distress Index) και τα οδοστρώματα ταξινομούνται ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται. Το σύστημα διαθέτει μια λίστα με τις διαθέσιμες τεχνικές συντήρησης και τη βελτίωση που προσφέρει η κάθε μία στο οδόστρωμα. Η εύρεση της καλύτερης λύσης γίνεται με δέντρα αποφάσεων.

Ο γενετικός προγραμματισμός έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών που προσπαθούν να βελτιώσουν τα υπάρχοντα μοντέλα βελτιστοποίησης, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό συντήρησης και αποκατάστασης δικτύων. Οι **Tak και Chou (2002)** έδειξαν ότι ένας γενετικός αλγόριθμος βασισμένος στη βελτιστοποίηση αποδείχτηκε κατάλληλος στον καθορισμό πολυετών προγραμμάτων συντήρησης. Ο στόχος του μοντέλου ήταν να επιτύχει την υψηλότερη κατάσταση του πεζοδρομίου για το οδικό δίκτυο. Ο βαθμός της ευελιξίας και της επεκτασιμότητας που ενυπάρχει στον γενετικό αλγόριθμο έχει το συγκριτικό πλεονέκτημα ότι για κάθε τύπο πεζοδρομίου απαιτούνται διαφορετικά μοντέλα χειροτέρευσης της κατάστασης και τύπους επισκευής. Από την άλλη πλευρά ο δυναμικός προγραμματισμός στερείται τέτοιων χαρακτηριστικών όπως είναι η ευελιξία και η επεκτασιμότητα. Επομένως, οι Tak και Chou συμπέραναν ότι ο δυναμικός προγραμματισμός είναι ανεπιτυχής για το συγκεκριμένο μοντέλο. Επιπρόσθετα, οι Chou et al. υποστήριξαν την παραπάνω άποψη ισχυριζόμενοι πως ο γενετικός αλγόριθμος είναι κατάλληλος για προβλήματα με ένα σημαντικό αριθμό μεταβλητών και περιορισμών, επειδή η κωδικοποίηση των αντικειμενικών συναρτήσεων στον γενετικό αλγόριθμο είναι ευέλικτη.

Οι **Bosurgi και Trifilo (2007)** κατασκεύασαν ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων βασισμένο σε γενετικό αλγόριθμο που με βάση έναν αρχικό προϋπολογισμό αναζητά τον καλύτερο συνδυασμό λύσεων ώστε η κατάσταση του οδοστρώματος να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Τα δεδομένα του συστήματος είναι η κατάσταση του οδοστρώματος και τα

κυκλοφορικά και περιβαλλοντικά δεδομένα της περιοχής. Το μοντέλο φθοράς που χρησιμοποιεί το σύστημα βασίζεται στο δείκτη PSI (Present Serviceability Index) και είναι γραμμικό. Το σύστημα λαμβάνει περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών συντηρήσεων και δεν υπολογίζει όλες τις παραμέτρους του κόστους του χρήστη.

Οι **Herabat και Tangphaisankun (2005)** χρησιμοποιούν γενετικό αλγόριθμο για την κατασκευή ενός συστήματος διαχείρισης οδοστρωμάτων για το οδικό δίκτυο της Ταϊλάνδης. Το σύστημα χρησιμοποιεί γραμμικά μοντέλα φθοράς που βασίζονται στο δείκτη IRI (International Roughness Index) και διαθέτει πέντε εναλλακτικές τεχνικές συντήρησης. Το μοντέλο θεωρεί ότι η καταπόνηση του οδοστρώματος οφείλεται αποκλειστικά σε κυκλοφοριακούς παράγοντες και προσπαθεί να βρει τη βέλτιστη τεχνική συντήρησης που ελαχιστοποιεί το κόστος του χρήστη εξαιτίας της χρήσης του οχήματος (Vehicle Operation Cost).

Οι **Elhadidy et al. (2014)** περιέγραψαν ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα βελτιστοποίησης για τη συντήρηση και την αποκατάσταση οδοστρωμάτων στην Αίγυπτο. Πιο συγκεκριμένα, το προτεινόμενο πρόβλημα βελτιστοποίησης στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του κόστους και στην μεγιστοποίηση της κατάστασης για το οδικό δίκτυο. Στην προτεινόμενη προσέγγιση, η αλυσίδα Markov χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της κατάστασης του οδοστρώματος και τον υπολογισμό της αναμενόμενης επιδείνωσής της στις διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ένας γενετικός αλγόριθμος αναπτύχθηκε για την επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος βελτιστοποίησης. Το μοντέλο αναζήτησε τις βέλτιστες δράσεις βελτιστοποίησης που έπρεπε να εφαρμοστούν στον κατάλληλο χρόνο σε ένα πεζοδρόμιο.

Οι **Chootinan et al. (2005)** εισήγαγαν ένα πολυετές πρόγραμμα συντήρησης οδοστρωμάτων το οποίο μπορεί να υπολογίσει με ακρίβεια την αβεβαιότητα στη χειροτέρευση της κατάστασης του οδοστρώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη ενός γενετικού αλγορίθμου, ο οποίος είναι ικανός να προγραμματίσει τις δραστηριότητες συντήρησης για μία πολυετή περίοδο προγραμματισμού. Χρησιμοποιείται μια στοχαστική προσομοίωση της αβεβαιότητας της μελλοντικής κατάστασης των οδοστρωμάτων και στη συνέχεια αναλύθηκαν τα αποτελέσματα της αβεβαιότητας της επιδείνωσης της κατάστασης των οδοστρωμάτων στο πρόγραμμα συντήρησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι προγραμματίζοντας τις δραστηριότητες συντήρησης χρησιμοποιώντας μόνο τις αναμενόμενες καταστάσεις των οδοστρωμάτων είναι πιθανό να υποεκτιμηθεί ο απαιτούμενος προϋπολογισμός και να υπερεκτιμηθεί η επίδοση του δικτύου οδοστρωμάτων.

Το **Υπουργείο Μεταφορών του Τέξας (2010)** σε συνδυασμό με το Πανεπιστήμιο του Τέξας παρουσίασαν μια διαδικτυακή εφαρμογή που έχει ως στόχο τον προσδιορισμό των απαραίτητων κονδυλίων για τη συντήρηση του οδοστρώματος. Το σύστημα εμπεριέχει ιστορικά δεδομένα και μπορεί να καθορίζει την κατάσταση του οδοστρώματος μέσω της βαθμολογίας που το κάθε τμήμα συγκεντρώνει σε τρεις παραμέτρους: την κατάσταση στην

επιφάνεια του οδοστρώματος, την καταπόνηση και την οδηγική άνεση. Η εφαρμογή είναι πολύ εύχρηστη στη διαχείριση οδοστρωμάτων, αλλά είναι απαραίτητη η περαιτέρω εξέλιξη της εφαρμογής για την προσθήκη της επιλογής εναλλακτικών παρεμβάσεων συντήρησης.

2.2.2 Συντήρηση γεφυρών

Μια ακόμα δημοσίευση προήλθε από τους **Jiang και Sinha (1989)** οι οποίοι μελέτησαν το θέμα της συντήρησης των γεφυρών. Οι τεχνικές που χρησιμοποίησαν για να αναπτύξουν ένα κατανοητό σύστημα διαχείρισης των γεφυρών για το τμήμα «Indiana Department of Highways (IDOH)» στηρίζονταν σε συνδυασμό του δυναμικού προγραμματισμού με ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό και την αλυσίδα Μαρκόφ/Μαρκοβιανή αλυσίδα (Markov chain). Πιο συγκεκριμένα, η Μαρκοβιανή αλυσίδα χρησιμοποιήθηκε για να κατασκευαστεί ένα μοντέλο το οποίο θα προβλέπει την επιδείνωση της κατάστασης των γεφυρών τα επόμενα χρόνια. Επιπρόσθετα, το πρόβλημα του ακέραιου (γραμμικού) προγραμματισμού της μορφής «0-1» (Zero-one integer linear programming) χρησιμοποιήθηκε για να επιτύχει την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος των γεφυρών με το μικρότερο δυνατό κόστος. Λήφθηκαν υπόψιν τρεις βασικές ενέργειες συντήρησης: ανοικοδόμηση καταστρώματος, αντικατάσταση καταστρώματος και αντικατάσταση γέφυρας. Κάθε μία από τις παραπάνω δραστηριότητες αντιστοιχούσε στον αριθμό ένα ή μηδέν. Ο αριθμός ένα σήμαινε ότι η αντίστοιχη δραστηριότητα εκτελούνταν, ενώ ο αριθμός μηδέν ότι η αντίστοιχη δραστηριότητα δεν εκτελούνταν. Τέλος, η χρήση του δυναμικού προγραμματισμού έγινε για να βρεθεί η βέλτιστη κατανομή των πόρων, λαμβάνοντας υπόψιν περιορισμούς ανάλογα με τον προϋπολογισμό της επένδυσης. Ουσιαστικά, σε αυτό το σημείο η μέθοδος διαιρούνταν σε στάδια στα οποία αντιστοιχούσαν δύο μεταβλητές: κατάσταση γέφυρας και διαθέσιμοι πόροι. Οι αποφάσεις που πάρθηκαν σε κάθε στάδιο είχαν σκοπό την καλύτερη λειτουργία του συστήματος των γεφυρών.

2.2.3 Αναβάθμιση ασφάλειας μεταφορών

Μια ενδιαφέρουσα δημοσίευση προήλθε από τους **N.Lagaros et al. (2013)**. Αυτή αφορά στην ασφάλεια της υποδομής των μεταφορών, η οποία είναι βασικής σημασίας τα τελευταία χρόνια. Οι αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια οδηγούν τις αρχές μεταφορών στο να βελτιώσουν, να αναβαθμίσουν και να ενισχύσουν την επιτήρηση, την πρόληψη και τον εξοπλισμό στις εγκαταστάσεις, συχνά κάτω από τους σφιχτούς δημοσιονομικούς και λειτουργικούς περιορισμούς. Σε αυτό το πλαίσιο, στην παρούσα μελέτη, προτείνεται ένα μοντέλο κατανομής πόρων για την αναβάθμιση της ασφάλειας των μεταφορών. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι μη γραμμικός προγραμματισμός. Η συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποίησε τα μετρό της Αττικής και έγιναν διάφορες δοκιμές με διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς. Στο τέλος σχολιάστηκαν τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.

2.2.4 Μελέτες για λιμάνια

Η Εθνική Στρατηγική των Λιμένων (2012) αναφέρεται στα λιμάνια της Ελλάδος και πιο συγκεκριμένα στα 12 βασικά, τα οποία αναφέρονται ως εθνικού ενδιαφέροντος. Ο πρωταρχικός στόχος του Εθνικού Εγγράφου Λιμένων είναι να σκιαγραφηθεί ένα επαρκές ρυθμιστικό πλαίσιο τόσο για την προσέλκυση ιδιωτικών επενδύσεων στο σύστημα υποδομής των λιμανιών όσο και για την αξιοποίηση της τεχνογνωσίας του ιδιωτικού τομέα, προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγικότητα και η ανταγωνιστικότητα των ελληνικών λιμανιών. Η Εθνική Στρατηγική των Λιμένων είναι ένα έγγραφο στρατηγικής και πολιτικής και ως εκ τούτου θα αποτελέσει την βάση μελλοντικών αποφάσεων όσον αφορά τα λιμάνια. Πιο συγκεκριμένα, το ρυθμιστικό πλαίσιο που καθορίζεται έχει στόχο να διασφαλίσει μια χωρίς διακρίσεις πρόσβαση στα λιμάνια, υψηλής ποιότητας λιμενικές υπηρεσίες σε όλα τα επίπεδα, αποτελεσματικές διοικητικές διαδικασίες και την συμμετοχή των ιδιωτικών επενδύσεων για την περαιτέρω ανάπτυξη των λιμανιών. Το καινούργιο ρυθμιστικό πλαίσιο επικεντρώνεται στον διαχωρισμό των διοικητικών λειτουργιών από την μία πλευρά και των εμπορικών από την άλλη. Επιπρόσθετα, σκοπός του είναι η πλήρης συμμόρφωσή με τη λιμενική πολιτική που έχει υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στο πλαίσιο αυτό, παρέχεται μία αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης των δώδεκα λιμένων και των αντίστοιχων δραστηριοτήτων σε αυτούς, όπως επίσης και τις προοπτικές τους και τις δυνατότητες ανάπτυξής τους. Επιπλέον, περιγράφεται το υπάρχον ρυθμιστικό πλαίσιο των λιμένων και προτείνονται νέοι κανόνες και δομές. Τελικά, η Εθνική Στρατηγική των Λιμένων σκοπεύει να σκιαγραφήσει λύσεις αναφορικά με τον εξορθολογισμό των λιμένων και των δραστηριοτήτων σε αυτούς.



Σχήμα 2.1: Τα 12 ελληνικά λιμάνια εθνικού ενδιαφέροντος

Σχέδον όλοι οι δώδεκα μεγαλύτεροι ελληνικοί λιμένες έχουν αναπτύξει τα ρυθμιστικά σχέδια κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους είναι το γεγονός ότι ο καταρισμός αυτών των σχεδίων δεν ενσωματώθηκε σε μία συνεκτική και αποτελεσματική στρατηγική ανάπτυξης των λιμένων, το οποίο θα μπορούσε να παρέχει παγκόσμια κατεύθυνση και καθοδήγηση για την ανάπτυξη των ελληνικών λιμανιών σαν σύνολο. Αντίθετα, το κάθε λιμάνι ανέπτυξε το δικό του ρυθμιστικό σχέδιο, χωρίς να λαμβάνει υπόψιν στις περισσότερες περιπτώσεις τις εξελίξεις στα υπόλοιπα λιμάνια. Επιπρόσθετα, σε πολλές περιπτώσεις, ο προγραμματισμός και η ιεράρχηση των έργων στα λιμάνια οδήγησε σε μη βέλτιστη κατανομή των πόρων και ως εκ τούτου, σε μια μη ισορροπημένη ανάπτυξη του τομέα των λιμανιών. Έτσι, διάφορες περιπτώσεις των λιμενικών υποδομών δεν ευθυγραμμίστηκαν με την πραγματική ζήτηση. Αυτό αποτελεί μία καθαρή απόδειξη μη αποδοτικής χρήσης της χρηματοδότησης από τα διαρθρωτικά ταμεία της Ε.Ε.

Ο ακόλουθος **Πίνακας 2.1** παρουσιάζονται πινακοποιημένα και συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της παραπάνω βιβλιογραφίας με τα χαρακτηριστικά που αφορούν το ζητούμενο αποτέλεσμα της κάθε εργασίας και τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε:

Πίνακας 2.1: Συγκεντρωτικός πίνακας των βιβλιογραφικών αναφορών κατά αύξουσα χρονολογική σειρά

Εργασία	Ζητούμενο αποτέλεσμα	Μέθοδος μόρφωσης προτύπου και επίλυσης
Jiang και Sinha (1989)	Κατανομή πόρων για επισκευή γεφυρών	Δυναμικός προγραμματισμός, ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός (της μορφής «0-1») και αλυσίδα Μαρκόφ/Μαρκοβιανή αλυσίδα
Zanakis et al. (1995)	Ανάλυση και κατάταξη παλαιότερων ερευνών που σχετίζονται με την κατανομή πόρων ανάλογα με το μοντέλο στο οποίο στηρίχτηκαν	Γραμμικός και μη γραμμικός προγραμματισμός ανάλογα με την έρευνα που αναλύεται κάθε φορά
Mbwana και Turnquist (1996)	Κατανομή πόρων για την συντήρηση πεζοδρομίων	Γραμμικός προγραμματισμός
Liu και Wang (1996)	Κατανομή πόρων για την συντήρηση πεζοδρομίων	Γραμμικός προγραμματισμός
Ravirala et al. (1997)	Εξέταση προβλημάτων που περιλαμβάνουν αντικρουόμενους στόχους με διαφορετικούς βαθμούς σπουδαιότητας	Προγραμματισμός στόχου
Tak και Chou (2002)	Κατανομή πόρων για την συντήρηση πεζοδρομίων	Γενετικός προγραμματισμός
Abaza και Ashur (2004)	Κατανομή πόρων για την συντήρηση πεζοδρομίων	Μη γραμμικός προγραμματισμός και αλυσίδα Μαρκόφ/Μαρκοβιανή αλυσίδα
Chootiman et al. (2005)	Κατανομή πόρων για την συντήρηση πεζοδρομίων	Γενετικός προγραμματισμός και στοχαστική προσομοίωση
Herabat και Tangphaisankun (2005)	Επιλογή τεχνικής συντήρησης με ελαχιστοποίηση κόστους χρήστη εξαιτίας χρήσης οχήματος	Γεντικός Αλγόριθμος
Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων στην Αριζόνα (2006)	Επιλογή τεχνικής συντήρησης για εύκαμπτα ή δύσκαμπτα οδοστρώματα	Δέντρα αποφάσεων
Bosurgi και Trifiro (2007)	Επιλογή τεχνικής συντήρησης για εύκαμπτα ή δύσκαμπτα οδοστρώματα	Γενετικός προγραμματισμός
Υπουργείο Μεταφορών του Τέξας (2010)	Προσδιορισμός κονδυλίων συντήρησης οδοστρώματος	Διαδικτυακή εφαρμογή
Steinberg και Anastasopoulos (2010)	Επιλογή τεχνικής συντήρησης οδοστρώματος με ελαχιστοποίηση κόστους συντήρησης και διατήρηση καλής κατάστασης οδοστρώματος	Γραμμικός προγραμματισμός και δέντρα αποφάσεων
Εθνική Στρατηγική των Λιμένων (2012)	Αξιολόγηση των δώδεκα βασικών λιμένων και καθορισμός ενός νέου ρυθμιστικού πλαισίου	Δεν εφαρμόζεται κάποια μέθοδος προγραμματισμού.
Lagaros, Keraptsoglou και Karlaftis (2013)	Κατανομή πόρων για βελτίωση της συγκοινωνιακής υποδομής από άποψη ασφάλειας	Μη γραμμικός προγραμματισμός
Elhadidy et al. (2014)	Κατανομή πόρων για την συντήρηση πεζοδρομίων	Γενετικός προγραμματισμός και αλυσίδα Μαρκόφ/Μαρκοβιανή αλυσίδα

2.3 Κριτική αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Καταβλήθηκε προσπάθεια παράθεσης και ανάλυσης διαφόρων ερευνών βέλτιστης κατανομής πόρων για την συντήρηση διάφορων ειδών συστημάτων υποδομής. Από την σύνθεση των βασικών τους σημείων προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Στις περισσότερες προαναφερθείσες μελέτες χρησιμοποιήθηκε η **αλυσίδα Μαρκόφ/Μαρκοβιανή Αλυσίδα**, ώστε να εκτιμηθεί η μελλοντική κατάσταση των συστημάτων υποδομής λόγω του χρόνου και της χρήσης. Ωστόσο, η χρήση της αλυσίδας Μαρκόφ απαιτεί την ύπαρξη πολλών δεδομένων για το εκάστοτε σύστημα υποδομής.
- Η **μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού** που χρησιμοποιήθηκε σε κάποιες μελέτες παρουσιάζει το πλεονέκτημα της καλύτερης δυνατής χρήσης των διαθέσιμων παραγωγικών πόρων, ενώ βασικό του μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι εφαρμόζεται μόνο σε προβλήματα, όπου οι περιορισμοί και η αντικειμενική συνάρτηση είναι γραμμικοί όροι.
- Η **μέθοδος του ακέραιου προγραμματισμού** προέρχεται από εκείνη του γραμμικού, ενώ προστίθενται και κάποιοι επιπλέον περιορισμοί που απαιτούν μέρος από τις μεταβλητές να είναι ακέραιες. Ωστόσο, ο επιπλέον αυτός περιορισμός καθιστά ορισμένες φορές πιο δύσκολη την επίλυση των εκάστοτε μοντέλων.
- Η **μέθοδος του γενετικού προγραμματισμού** από την άλλη πλευρά είναι μία μέθοδος που μπορεί να την κατανοήσει κάποιος εύκολα, δεν απαιτεί ιδιαίτερη γνώση μαθηματικών και είναι ευέλικτη, αλλά δεν έχει εφαρμοστεί αρκετά σε προβλήματα συντήρησης συστημάτων υποδομής.
- Η **μέθοδος του προγραμματισμού στόχου** είναι ευεργετική στο να συμπεριλαμβάνει αντικροόμενους στόχους ταυτόχρονα. Παρολαυτά, ο προγραμματισμός στόχου έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να ενσωματώσει την αλυσίδα Μαρκόφ στην διαδικασία βελτιστοποίησης.
- Τα **δέντρα απόφασης (decision trees)** αναπαριστούν μια διαδικασία λήψης απόφασης, όπου κάθε πιθανό σημείο απόφασης ή κατάσταση αναπαρίσταται από έναν κόμβο, ενώ κάθε πιθανή επιλογή που μπορεί να γίνει σε ένα σημείο απόφασης αναπαρίσταται μια ακμή προς έναν κόμβο. Βασικό μειονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός ότι παρουσιάζονται προβλήματα, όταν δεν υπάρχει πληθώρα δεδομένων.

- **Συνοπτικά**, στη βιβλιογραφία υπάρχει ένα ισχυρό σύνολο από γραμμικές και μη γραμμικές προσεγγίσεις για προβλήματα συντήρησης-επισκευής και αποκατάστασης. Κάθε ένα από αυτά έχει κατασκευαστεί με στόχο την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης του συστήματος υποδομής, αφού εφαρμοστεί η συντήρηση. Κάθε μία από τις παραπάνω μελέτες έχει βασιστεί σε μία σειρά από παραδοχές και συγκεκριμένα διαθέσιμα δεδομένα, πληροφορίες και γνώση.
- **Η βασική παρατήρηση**, ωστόσο που εξάγεται από τις παραπάνω μελέτες είναι το γεγονός πως δεν υπάρχει διαθέσιμο κάποιο μοντέλο βέλτιστης κατανομής πόρων για τη συντήρηση λιμένων. Επίσης, ένα άλλο βασικό ερώτημα είναι η δυνατότητα χρήσης της αλυσίδας Μαρκόφ για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης των λιμανιών εξαιτίας της απουσίας πληθώρας στατιστικών δεδομένων για τα ελληνικά λιμάνια. Παράλληλα, η Εθνική Στρατηγική των Λιμένων αναφέρεται μόνο στο ρυθμιστικό πλαίσιο που πρέπει να εφαρμοστεί στα λιμάνια. Ωστόσο, δεν γίνεται λόγος σε αυτό για κάποιο μοντέλο κατανομής πόρων για την συντήρηση των λιμένων. Τέλος, η Εθνική Στρατηγική των Λιμένων επισημαίνει ότι τα μέχρι τώρα ρυθμιστικά πλαίσια στα λιμάνια δεν λάμβαναν υπόψιν στον προγραμματισμό τους την κατανομή πόρων. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι υπάρχει **ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση** του προβλήματος της συντήρησης των ελληνικών λιμένων.

3

Θεωρητικό υπόβαθρο βελτιστοποίησης

3.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο, που αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο, επιδιώκεται η περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου πάνω στο οποίο θα βασιστεί η ανάλυση του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται έμφαση στη σημασία του γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού για την επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια θα αναλυθεί ο τρόπος επίλυσης του προβλήματος βελτιστοποίησης της κατανομής πόρων για το πρόγραμμα συντήρησης των λιμένων της Ελλάδος με τη βοήθεια του εργαλείου επίλυσης του Excel (Excel Solver).

3.2 Γραμμικός Προγραμματισμός

3.2.1 Εισαγωγή

Ο γραμμικός προγραμματισμός είναι ένας από τους πιο εφαρμοσμένους κλάδους της επιστήμης των μαθηματικών με πληθώρα εφαρμογών στην επιστήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και ασχολείται με την επίλυση του γραμμικού μοντέλου στην Επιχειρησιακή Έρευνα. Για το σκοπό αυτό μελετάει τις ιδιότητες του γραμμικού προβλήματος, κατασκευάζει τρόπους επίλυσης και εξετάζει τρόπους εφαρμογής των αποτελεσμάτων στη λήψη πολύπλοκων αποφάσεων. Από την οικονομική σκοπιά, ο Γραμμικός Προγραμματισμός είναι μια τεχνική που ασχολείται με το πρόβλημα της **βέλτιστης κατανομής των περιορισμένων πόρων** ενός συστήματος σε ανταγωνιζόμενες δραστηριότητες κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ακόμη, χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων ενέργειας, διοίκησης προσωπικού, προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς επίσης και προβλημάτων που αφορούν την ανάθεση πεπερασμένων πόρων σε ανταγωνιστικές απαιτήσεις (π.χ. κατανομή εργατικού δυναμικού, πρώτων υλών και τεχνολογικού εξοπλισμού).

Η αρχική μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, καθώς και μια συστηματική διαδικασία λύσης του, η μέθοδος Simplex, οφείλεται στον G. B. Dantzig στα 1947. Νωρίτερα διάφορα προβλήματα τύπου Γραμμικού Προγραμματισμού. Τα σημαντικότερα από αυτά αφορούν το πρόβλημα μεταφοράς (Hitchcock 1941, Koormans 1949) και το πρόβλημα της διαίτας (Stigler

1945). Ο Dantzig ήταν όμως ο άνθρωπος που κατασκεύασε το γενικό πλαίσιο και ταυτόχρονα υπέδειξε τη μέθοδο επίλυσής του.

Θεωρείται ως μια από τις πιο σπουδαίες μαθηματικές ανακαλύψεις των μέσων χρόνων του εικοστού αιώνα και στις μέρες μας αποτελεί ένα μοντέλο ευρείας χρήσης για καθημερινά ζητήματα των περισσότερων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους εμπορικών-βιομηχανικών εταιρειών.

3.2.2 Τι είναι ο Γραμμικός Προγραμματισμός

Τα γραμμικά μοντέλα επιδιώκουν να **βελτιστοποιήσουν** (ελαχιστοποιήσουν ή μεγιστοποιήσουν) μια γραμμική συνάρτηση κάτω από κάποιους γραμμικούς περιορισμούς. Όπως υποδηλώνει το όνομά του, το μοντέλο του **Γραμμικού Προγραμματισμού** αποτελείται από γραμμικές συναρτήσεις και περιορισμούς. Ο όρος «**Γραμμικός**» χρησιμοποιείται για να περιγράψει το γεγονός ότι η σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών είναι γραμμική σχέση.

Επίσης, συχνά χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βέλτιστου σχεδίου λειτουργίας μιας παραγωγικής διαδικασίας. Δηλαδή προβλήματα καθορισμού των ποσοτήτων που πρέπει να παραχθούν από κάθε προϊόν σε σχέση με ότι βρίσκεται στις αποθήκες με σκοπό τη μεγιστοποίηση του κέρδους.

Ο όρος «**προγραμματισμός**» δεν έχει την έννοια του «προγραμματισμού ηλεκτρονικών υπολογιστών», αλλά αυτήν του «σχεδιασμού». Ο **Γραμμικός Προγραμματισμός** ασχολείται με τη σχεδίαση των δραστηριοτήτων του συστήματος που περιγράφει για να προκύψει το άριστο αποτέλεσμα. Σκοπός, δηλαδή, του Γραμμικού Προγραμματισμού είναι από όλους τους συνδυασμούς των πηγών να επιλέξουμε εκείνον που μεγιστοποιεί το κέρδος ή ελαχιστοποιεί το κόστος μιας δραστηριότητας.

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός παροσιάζει επίσης ενδιαφέρον για τη θεωρητική πληροφορική. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση και την επίλυση πολλών συνδυαστικών προβλημάτων τα οποία εκ πρώτης όψεως δεν σχετίζονται με το γραμμικό μοντέλο.

Για την διατύπωση του θεωρητικού υποβάθρου της Simplex το μοντέλο μετατρέπεται, ανάλογα, στην τυπική (standard) ή στην κανονική (canonical) μορφή.

Πίνακας 3.2.1: Σύγκριση των δύο μορφών Γραμμικού Προγραμματισμού

	Πρόβλημα Ελαχιστοποίησης	Πρόβλημα Μεγιστοποίησης
Τυπική Μορφή	$\min(c_j \cdot x_j)$ $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, j = 1, \dots, n$	$\max(c_j \cdot x_j)$ $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, j = 1, \dots, n$
Κανονική Μορφή	$\min(c_j \cdot x_j)$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} = b_i, i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, j = 1, \dots, n$	$\max(c_j \cdot x_j)$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} = b_i, i = 1, \dots, m$ $x_j \geq 0, j = 1, \dots, n$

3.2.4 Υποθέσεις Γραμμικού Προγραμματισμού

Κάθε μαθηματική τεχνική μοντελοποίησης λειτουργεί κάτω από ορισμένες βασικές υποθέσεις και ο γραμμικός προγραμματισμός δεν αποτελεί εξαίρεση. Υπάρχουν τέσσερα βασικά αξιώματα που διασφαλίζουν ότι μια πραγματική κατάσταση μπορεί να αναπαρασταθεί ως πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού:

- **Προσδιοριστικότητα:** Συνεπάγεται πως οι παράμετροι του μοντέλου είναι γνωστές και σταθερές ποσότητες. Σε πραγματικά προβλήματα, όμως, η υπόθεση αυτή μπορεί να μην ικανοποιείται. Οι παράμετροι του μοντέλου συχνά βασίζονται σε προβλέψεις μελλοντικών καταστάσεων, οι οποίες αναπόφευκτα έχουν κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Έτσι, είναι πολύ σημαντικό μετά την εύρεση της άριστης τιμής να γίνει ανάλυση ευαισθησίας στις τιμές των παραμέτρων.
- **Αναλογικότητα:** Η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί του προβλήματος πρέπει να είναι γραμμικές συναρτήσεις. Αυτό συνεπάγεται ότι η μέση τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και η χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων είναι ποσά ανάλογα προς τις ποσότητες κάθε δραστηριότητας. Αυτή η υπόθεση, γενικά ισχύει, όμως υπάρχουν αρκετές

περιπτώσεις που δεν ισχύει, όπως σε καταστάσεις όπου η τιμή πώλησης του προϊόντος εξαρτάται από τον αριθμό μονάδων του προϊόντος που παράγεται κ.α.

- **Προσθετικότητα:** Προϋποθέτει ότι η αντικειμενική συνάρτηση είναι το άθροισμα των συνεισφορών των διαφόρων μεταβλητών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που υπάρχουν δύο ανταγωνιστικά προϊόντα, όπου η αύξηση του ενός συνεπάγεται μείωση του άλλου, τα δύο προϊόντα δεν ικανοποιούν την ιδιότητα της προσθετικότητας. Η ιδιότητα της προσθετικότητας ορίζει ότι π.χ. το κέρδος από τις δραστηριότητες (x_1, x_2, \dots, x_n) ισούται με το άθροισμα των επί μέρους κερδών $F(x_1), F(x_2), \dots, F(x_n)$.
- **Διαιρετότητα:** Εκφράζει την ικανότητα κατανομής των δραστηριοτήτων σε ποσοστιαία επίπεδα έτσι ώστε να είναι παραδεκτές μη ακέραιες τιμές (κλασματικές) των μεταβλητών απόφασης. Η γενική έκφραση της αντικειμενικής συνάρτησης του γραμμικού προγραμματισμού θεωρεί ότι όλες οι μεταβλητές είναι συνεχείς και διαιρετές γεγονός που συνεπάγεται ότι μπορούν να πάρουν κλασματικές και ακέραιες τιμές.

Αν και οι εφαρμογές του γραμμικού προγραμματισμού είναι ποικίλες, εν τούτοις όλα τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού έχουν μερικά κοινά χαρακτηριστικά. Αυτά είναι τα παρακάτω:

Σε όλα τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού αποβλέπουμε στη μεγιστοποίηση του κέρδους ή ελαχιστοποίηση του κόστους αντίστοιχα. Το κέρδος ή το κόστος δίνεται από μια γραμμική συνάρτηση των μεταβλητών του προβλήματος η οποία καλείται γραμμική συνάρτηση.

Σε όλα τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού υπάρχουν περιορισμοί, οι οποίοι περιορίζουν τη δυνατότητα της απεριόριστης αύξησης της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης. Όταν πρόκειται για ελαχιστοποίηση κόστους οι περιορισμοί του προβλήματος περιορίζουν το βαθμό στον οποίο η ελάττωση του κόστους είναι εφικτή.

Σε όλα τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις, εκ των οποίων θα επιλεγεί η βέλτιστη. Βασικός σκοπός του γραμμικού προγραμματισμού είναι η επιλογή της βέλτιστης λύσης.

3.2.5 Είδη λύσεων Γραμμικού Προγραμματισμού

Λύση (solution) ενός προβλήματος γενικά, καλούμε κάθε διάνυσμα x τιμών των μεταβλητών απόφασης, ανεξάρτητα αν ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί ή αν έχουμε 'επιθυμητές' ή όχι τιμές. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να ορίσουμε ακριβέστερα τον όρο λύση στα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού. Οπότε έχουμε τα εξής είδη λύσεων:

Εφικτή λύση (feasible solution):

Είναι η λύση (ή ένα διάνυσμα x) για την οποία ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί του προβλήματος, συμπεραλαμβανομένου και της μη αρνητικότητας.

Βέλτιστη λύση (optimal feasible solution)

Είναι εκείνη η εφικτή λύση που επιπλέον βελτιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος. Η λύση αυτή είναι ουσιαστικά αυτή που αναζητείται και έτσι (αν υπάρχει) έχει επιτευχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό ο στόχος που έχει τεθεί.

Επαυξημένη λύση (augmented solution)

Είναι η λύση του προβλήματος Γ.Π., το οποίο έχει κατασκευαστεί στην πρότυπη μορφή του, δηλαδή έχει επαυξηθεί με μεταβλητές έτσι ώστε οι περιορισμοί να εκφράζονται με ισότητες. Η λύση του επαυξημένου προβλήματος καλείται επαυξημένη λύση.

Μη-εφικτή λύση (infeasible solution)

Μια μη-εφικτή λύση δεν ικανοποιεί τουλάχιστον έναν περιορισμό από αυτούς που έχουν τεθεί. Γενικά, είναι αρκετά πιθανό για ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού να έχει μη-εφικτές λύσεις.

3.3 Η μέθοδος Simplex

Η μέθοδος Simplex είναι η γενική διαδικασία επίλυσης των προβλημάτων του γραμμικού προγραμματισμού. Είναι μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος, που χρησιμοποιείται για την επίλυση μεγάλων προβλημάτων στους σημερινούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Ειδικότερα, είναι ένας αλγόριθμος (algorithm). Ως αλγόριθμο θεωρούμε κάθε επαναληπτική διαδικασία για την επίλυση ενός προγράμματος, δηλαδή μια συστηματική διαδικασία που επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Κάθε φορά που επαναλαμβάνεται η διαδικασία ονομάζεται επανάληψη (iteration). Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει κανόνες για να αρχίσει η διαδικασία και κριτήρια που προσδιορίζουν πότε αυτή θα τελειώσει.

Συνεπώς, η μέθοδος Simplex είναι μια επαναληπτική μέθοδος επίλυσης προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού μέχρις ότου επιτευχθεί μια βέλτιστη λύση. Βρίσκεται στη συστηματική δημιουργία βασικών δυνατών λύσεων και στον έλεγχο της αριστότητάς τους. Με αυτή την επαναληπτική διαδικασία επιτυγχάνονται εφικτές λύσεις με έναν συστηματικό τρόπο. Η μέθοδος στηρίζεται σε δύο έννοιες. Στην έννοια της εφικτής λύσης και στην έννοια της άριστης λύσης. Επίσης βασίζεται και στην ιδιότητα ότι η άριστη λύση ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού, αν υπάρχει, μπορεί πάντοτε να βρεθεί σε μια από τις βασικές εφικτές λύσεις.

Η μέθοδος Simplex εξετάζει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης μόνο στα ακραία σημεία της περιοχής των εφικτών λύσεων, με ένα συστηματικό αλγεβρικό τρόπο. Η διαδοχική εξέταση των ακραίων σημείων γίνεται με επαναληπτικό τρόπο, δηλαδή επαναλαμβάνεται το ίδιο σύνολο των διαδικασιών και αλγεβρικών πράξεων σε διαδοχικά βήματα έως ότου επιτευχθεί ο εντοπισμός της βέλτιστης λύσης. Κάθε βήμα της μεθόδου Simplex αντιστοιχεί στην επιλογή ενός ακραίου σημείου της περιοχής των εφικτών λύσεων. Σε κάθε νέο βήμα, το επόμενο ακραίο σημείο της περιοχής των εφικτών λύσεων επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης να αυξάνεται (ή αντίστοιχα μειώνεται αν η αντικειμενική συνάρτηση αφορά την ελαχιστοποίηση του κόστους) και επομένως σταδιακά προκύπτει η βέλτιστη/άριστη λύση.

Επομένως, στη μέθοδο Simplex το πρώτο στάδιο αποτελεί πάντοτε η εξεύρεση μιας βασικής εφικτής λύσης. Κατόπιν αυτή η λύση εξετάζεται για αριστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης και την επίδραση που έχει η εισαγωγή μιας μη βασικής μεταβλητής για την αντικατάσταση τουλάχιστον μιας από τις βασικές μεταβλητές που ήδη υπάρχει σαν λύση. Εάν σημειώνεται βελτίωση ή αντικατάσταση γίνεται πάντοτε με την εισαγωγή μόνο μιας μη βασικής μεταβλητής κάθε φορά, η οποία δίνει πάντοτε μια νέα εφικτή λύση.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί άλλο ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της μεθόδου, το οποίο είναι ότι για κάθε νέα λύση η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι τουλάχιστον το ίδιο βέλτιστη όσο και η προηγούμενη λύση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε κάθε βήμα της επαναληπτικής διαδικασίας να γίνεται καλύτερη προσέγγιση της λύσης. Τέλος, η μέθοδος καθορίζει που έχει βρεθεί η βέλτιστη λύση.

Εκτός από τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης, δηλαδή της τιμές των μεταβλητών και το αντίστοιχο βέλτιστο κέρδος ή κόστος, η μέθοδος Simplex, παρέχει επίσης ένα πλήθος άλλων πληροφοριών οικονομικής φύσεως, οι οποίες δεν είναι δυνατό να παραχθούν με άλλο τρόπο.

Για να μπορέσουν να αναπτυχθούν οι βασικές ιδέες της μεθόδου στη λύση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, θα πρέπει να μελετηθεί πρώτα το γενικό πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Επιπλέον, το πρόβλημα πρέπει να είναι σε κανονική μορφή και, όπως προαναφέρθηκε, να είναι γνωστή μια (αρχική) μη εκφυλισμένη βασική εφικτή λύση. Λύνοντας ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού είναι απαραίτητο να βρούμε την λύση του συστήματος γραμμικών εξισώσεων που συσχετίζονται με το πρόβλημα και το οποίο προκύπτει από τους περιορισμούς. Έτσι, εάν έχουμε ένα σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους είναι γνωστό ότι αυτό θα έχει μια μοναδική λύση. Για κάθε τιμή του x_1 (ή του x_2), υπάρχει μια αντίστοιχη τιμή x_2 (ή του x_1).

Εάν επιπλέον θεωρηθεί και η συνθήκη μη αρνητικότητας των μεταβλητών, δηλαδή $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$, τότε περιορίζεται το πεδίο τιμών των μεταβλητών. Η συνθήκη της μη αρνητικότητας των μεταβλητών είναι μια σημαντική απαίτηση των προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού. Συστήματα στα οποία οι άγνωστοι είναι περισσότεροι από τις εξισώσεις ονομάζονται απροσδιόριστα συστήματα. Γενικά, τα απροσδιόριστα συστήματα μπορεί να μην έχουν λύση ή να έχουν άπειρες λύσεις.

3.4 Ακέραιος Προγραμματισμός

Ο Ακέραιος Προγραμματισμός (Integer Programming-IP) είναι μια ιδιαίτερη τεχνική της επιχειρησιακής έρευνας και αποτελεί μια ειδική περίπτωση των προβλημάτων του γραμμικού προγραμματισμού. Όταν δεν ικανοποιείται η υπόθεση της **διαιρερότητας (divisibility)** χρησιμοποιείται ο ακέραιος προγραμματισμός. Η ιδιαιτερότητα αυτών των προβλημάτων έγκειται στο γεγονός ότι οι μεταβλητές δεν παίρνουν συνεχείς τιμές αλλά ακέραιες. Επομένως τίθεται η ανάγκη ύπαρξης ακέραιων μεταβλητών απόφασης. Για παράδειγμα, όταν γίνεται ανάθεση εργασιών σε ένα σύνολο ανθρώπων, μηχανών ή οχημάτων, οι δραστηριότητες αυτές (μεταβλητές απόφασης) πρέπει να μετρούνται σε ακέραιες ποσότητες. Συχνά γίνεται αναφορά στον Α.Π. με την πλήρη ονομασία **Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (Integer Linear Programming-ILP)**.

Το μαθηματικό μοντέλο του Ακέραιου Προγραμματισμού είναι το ίδιο με αυτό του γραμμικού προγραμματισμού με τον επιπλέον περιορισμό των ακέραιων μεταβλητών (όλων ή μερικών από αυτές). Στην περίπτωση που κάποιες, αλλά όχι όλες οι μεταβλητές ικανοποιούν αυτό τον περιορισμό, έχουμε πρόβλημα **Μεικτού Ακέραιου Προγραμματισμού (Mixed Integer Programming)**. Όταν όμως όλες οι μεταβλητές επιτρέπεται να λαμβάνουν μόνο ακέραιες τιμές, το πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως πρόβλημα **Καθαρού Ακέραιου Προγραμματισμού (Pure Integer Programming)**.

Ο ακέραιος προγραμματισμός προκαλεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς βρίσκει εφαρμογή σε πολλές περιπτώσεις και έχει μεγάλη πρακτική σημασία. Η μεγάλη συνεισφορά του ακέραιου προγραμματισμού είναι η χρήση 0-1 μεταβλητών. Είναι λογικές μεταβλητές που παίρνουν την τιμή '0' ή '1'. Συνήθως δεν έχουν φυσική σημασία αλλά λογικό νόημα. Διευρύνουν σημαντικά το πεδίο εφαρμογής του Γ.Π. Προβλήματα που δεν θα μπορούσαν να λυθούν με συμβατικό Γ.Π., με χρήση 0-1 μεταβλητών και την κατάλληλη μοντελοποίηση μπορούν να λυθούν. Παραδείγματα αποτελούν οι λογικές συνθήκες, τα σταθερά κόστη, οι οικονομίες κλίμακας, τα μη γραμμικά μοντέλα και οι διαζευκτικοί περιορισμοί κ.α.

3.5 Δυαδικός Ακέραιος Προγραμματισμός

Το παραπάνω πρόβλημα, στο οποίο οι μεταβλητές λαμβάνουν αποκλειστικά τις τιμές 0,1 ονομάζεται πρόβλημα **Δυαδικού Ακέραιου Προγραμματισμού (Binary Integer Programming)**, ενώ οι μεταβλητές ονομάζονται **δυαδικές μεταβλητές (binary variables)**.

Υπάρχουν κάποιες περιοχές, όπου ο ακέραιος προγραμματισμός έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη των διοικητικών αποφάσεων. Μια από αυτές είναι ο **προϋπολογισμός κεφαλαίου (capital budgeting)**. Σε ένα τυπικό πρόβλημα προϋπολογισμού του κεφαλαίου, οι αποφάσεις περιλαμβάνουν την επιλογή ενός αριθμού από πιθανές επενδύσεις. Σε ένα τέτοιου πρόβλημα λαμβάνονται οι μεταβλητές απόφασης με τιμές '0' ή '1', υποδεικνύοντας την απόρριψη ή την αποδοχή της εκάστοτε επένδυσης.

3.6 Ο αλγόριθμος του Excel Solver για Ακέραιο Προγραμματισμό

Στην παρούσα μελέτη θα επιλυθεί το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής πόρων αρκετές φορές με την βοήθεια του Ακέραιου Προγραμματισμού. Πιο συγκεκριμένα, η βελτιστοποίηση της συντήρησης θα πραγματοποιηθεί με βάση το εργαλείο επίλυσης του Excel (Excel Solver).

Στο παρόν υποκεφάλαιο, θα αποσαφηνιστεί ο αλγόριθμος, στον οποίο στηρίζεται το Excel Solver για τα προβλήματα Ακέραιου Προγραμματισμού. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ανήκει στην κατηγορία των **αλγορίθμων τυφλής αναζήτησης (Blind Search Algorithms)** και ονομάζεται **αλγόριθμος επέκτασης και οριοθέτησης (Branch and Bound algorithm)**.

3.6.1 Αλγόριθμοι τυφλής αναζήτησης

Οι αλγόριθμοι τυφλής αναζήτησης (Blind Search Algorithms) εφαρμόζονται σε προβλήματα στα οποία δεν υπάρχει πληροφορία που να επιτρέπει αξιολόγηση των καταστάσεων.

Στους αλγορίθμους τυφλής αναζήτησης έχει σημασία η χρονική σειρά με την οποία παράγονται οι καταστάσεις από το μηχανισμό επέκτασης.

Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται διάφορα είδη αλγορίθμων τυφλής αναζήτησης.

Πίνακας 3.2: Είδη αλγορίθμων τυφλής αναζήτησης

Όνομα Αλγορίθμου	Συντομογραφία	Ελληνική Ορολογία
Depth-First Search	DFS	Αναζήτηση Πρώτα σε Βάθος
Breadth-First Search	BFS	Αναζήτηση Πρώτα σε Πλάτος
Iterative Deepening	ID	Επαναληπτική Εκβάθυνση
Bi-directional Search	BiS	Αναζήτηση Διπλής Κατεύθυνσης
Branch and Bound	B&B	Επέκταση και Οριοθέτηση
Beam Search	BS	Ακτινωτή Αναζήτηση

3.6.2 Αλγόριθμοι Επέκτασης και Οριοθέτησης

Οι αλγόριθμοι επέκτασης και οριοθέτησης (Branch and Bound-B&B) εφαρμόζονται σε προβλήματα όπου αναζητείται η βέλτιστη λύση (ελάχιστο κόστος). Αναζητούν τον πλήρη χώρο λύσεων για ένα δεδομένο πρόβλημα για την βέλτιστη λύση. Ωστόσο, η ακριβής απαρίθμηση είναι συνήθως αδύνατη εξαιτίας του εκθετικά αυξανόμενου αριθμού των πιθανών λύσεων. Η χρήση των ορίων για τη συνάρτηση που βελτιστοποιείται συνδυασμένη με την υπάρχουσα τιμή της καλύτερης λύσης επιτρέπει στον αλγόριθμο να αναζητήσει μέρη του χώρου λύσεων έμμεσα.

Σε οποιαδήποτε σημείο της διαδικασίας επίλυσης, η κατάσταση της λύσης αναφορικά με την αναζήτηση του χώρου λύσεων περιγράφεται από ανεξερεύνητο υποσύνολο αυτού και τη βέλτιστη λύση που έχει βρεθεί μέχρι τώρα. Αρχικά, υπάρχει μόνο ένα υποσύνολο, δηλαδή ο πλήρης χώρος λύσεων και η βέλτιστη λύση που έχει βρεθεί μέχρι τώρα είναι το ∞ . Τα ανεξερεύνητα υποσύνολα αντιπροσωπεύονται ως κόμβοι σε ένα δυναμικά παραγόμενο δέντρο αναζήτησης, το οποίο αρχικά περιέχει μόνο την ρίζα και κάθε επανάληψη του αλγορίθμου επέκτασης και οριοθέτησης επεξεργάζεται ένα τέτοιο κόμβο. Η επανάληψη έχει τρεις βασικές συνιστώσες: επιλογή του κόμβου προς επεξεργασία, δεσμευμένος υπολογισμός και διακλάδωση.

Η αλληλουχία αυτών μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την επιλεγείσα στρατηγική για την επιλογή του επόμενου κόμβου προς επεξεργασία. Αν η επιλογή του επόμενου υποπροβλήματος βασίζεται στη δεσμευμένη αξία των υποπροβλημάτων, τότε η πρώτη λειτουργία της επανάληψης μετά την επιλογή του κόμβου είναι η διακλάδωση, δηλαδή η υποδιαίρεση του χώρου λύσεων του κόμβου σε δύο ή περισσότερους υπόχωρους. Για κάθε έναν από τους δύο, ελέγχεται εάν ο υπόχωρος αποτελείται από μια μοναδική λύση. Σε αυτή την περίπτωση, συγκρίνεται με την υπάρχουσα βέλτιστη λύση, κράτωντας την καλύτερη εξ' αυτών. Διαφορετικά, υπολογίζεται η δεσμευμένη συνάρτηση για τον υπόχωρο και συγκρίνεται

με την υπάρχουσα βέλτιστη λύση. Εάν μπορεί να αποδειχτεί ότι ο υπόχωρος δεν μπορεί να περιέχει τη βέλτιστη λύση, ο συνολικός υπόχωρος απορρίπτεται, διαφορετικά αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή από ζωντανούς κόμβους μαζί με τα όρια αυτών.

Η εναλλακτική είναι να ξεκινήσει υπολογίζοντας το όριο του επιλεγμένου κόμβου. Οι κόμβοι που δημιουργούνται, έπειτα, αποθηκεύονται μαζί με το όριο του επεξεργασμένου κόμβου. Αυτή η στρατηγική ονομάζεται «νωθρή» και συχνά χρησιμοποιείται όταν ο επόμενος κόμβος προς επεξεργασία επιλέγεται να είναι ένας ζωντανός κόμβος του μέγιστου βάθους του δέντρου αναζήτησης.

Η έρευνα τερματίζεται, όταν δεν υπάρχουν ανερεύνητα κομμάτια του χώρου λύσεων και η βέλτιστη λύση είναι, τότε, η καλύτερη δυνατή. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ουσιαστικά «κλαδεύει» καταστάσεις (pruning) και μειώνει το χώρο αναζήτησης.

4

Στατιστικά δεδομένα-Ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης

4.1 Γενικά

Ύστερα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση των αποτελεσμάτων και των μεθοδολογιών από έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας ακολούθησε η παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου πάνω στο οποίο στηρίχτηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία. Το παρόν κεφάλαιο περιέχει τα στατιστικά δεδομένα, τα οποία θεωρήθηκαν κρίσιμα σχετικά με τα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος, ύστερα επεξεργάστηκαν αυτά, ώστε να προκύψουν οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας για το κάθε λιμάνι, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο, το οποίο αναπτύσσεται στο πλαίσιο της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας.

4.2 Εισαγωγικά στοιχεία για τα λιμάνια

Η λέξη λιμένας στα λατινικά είναι porta και σημαίνει την πόρτα, την πύλη, την είσοδο. Ένας θαλάσσιος λιμένας χρησιμεύει σαν πύλη της αμέσου χερσαίας περιοχής. Χώρος όπου τακτικά, συστηματικά και με πληρωμή παρέχονται διευκολύνσεις για τη **μεταφορά επιβατών και αγαθών** από και προς τα μέσα μεταφορών. Η περιοχή αυτή της θαλάσσιας ή ποτάμιας όχθης, είναι προστατευμένη φυσικώς ή τεχνικώς από τις δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η προσόρμιση, η αγκυροβολία και η παραμονή των πλοίων χωρίς τον κίνδυνο κυμάτων ή δυνατών ανέμων και η ευχέρεια διακινήσεων και φορτοεκφορτώσεώς τους.

Με τη λέξη λιμένας σήμερα εννοούμε όχι μονάχα τον φυσικό ή τεχνητό λιμένα, δηλαδή την υδάτινη λεκάνη, όπου εισπλέουν και εκπλέουν πλοία, με τα ανάλογα βάθη υδάτων, αλλά και τις **εγκαταστάσεις του** που είναι το σημαντικότερο μέρος της σημερινής του συνθέσεως: αποβάθρες, προβλήτες, κρηπιδώματα, αποθήκες, γερανοί ξηράς και πλωτοί, γερανογέφυρες, σιδηροδρομικές γραμμές στην «ποδιά» των κρηπιδωμάτων για απευθείας φόρτωση και εκφόρτωση, μηχανουργεία, δεξαμενές, μηχανικός εξοπλισμός κ.α.

Το εμπόριο και οι μεταφορές είναι εκείνα που γεννούν δραστηριότητες στα λιμάνια, αλλά επίσης και με τη σειρά τους τα λιμάνια σήμερα αποτελούν **κύριο συστατικό της διεθνούς αλυσίδας των μεταφορών και του διεθνούς εμπορίου**. Η έμφαση στην προώθηση των εξαγωγών έχει προκαλέσει μια σημαντική αύξηση στο εξωτερικό εμπόριο μερικών περιοχών, ενώ ταυτόχρονα έκανε πολύ σημαντική τη στρατηγική σημασία των λιμένων και καθοριστικό τον ρόλο τους στην επίτευξη των εθνικών οικονομικών στόχων.

4.2.1 Ο ρόλος των λιμένων

Οι στόχοι των λιμανιών είναι πολλοί και διαφορετικοί μεταξύ τους. Μερικοί από αυτούς είναι η αύξηση του μεριδίου της αγοράς (κυρίως στις μεταφορτώσεις), η επιδίωξη του κέρδους, η ποιότητα της υπηρεσίας, η αύξηση του αριθμού των εργαζομένων (καταπολέμηση της ανεργίας), η κοινωνική ευθύνη (προστασία του περιβάλλοντος, ποιότητα εργασιακής ζωής, εθνικά θέματα κ.α.), η αποτελεσματικότητα, η υψηλή παραγωγικότητα κτλ.

Τα λιμάνια είναι οι κρίκοι που συνδέουν τις θαλάσσιες με τις χερσαίες μεταφορές και αντίστροφα. Αρχικά, σαν κρίκος της μεταφορικής αλυσίδας, το λιμάνι έπαιξε τον ρόλο του «μεταφορικού κέντρου», στη συνέχεια πήρε τον ρόλο του «κέντρου διανομής», ενώ στις μέρες μας εξελίσσεται σε «κέντρο προηγμένων λειτουργιών».

Για την πραγματοποίηση αυτού του σύνθετου ρόλου που πρέπει να καλύψουν τα λιμάνια στις μέρες μας είναι κρίσιμη η **τακτική συντήρηση αυτών**, κάτι που αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά για την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Κρίσιμη, ωστόσο, θεωρείται η **βέλτιστη κατανομή πόρων** για την συντήρηση των λιμένων, ώστε να επιτευχθεί **η βαθμιαία μείωση του κόστους με την υψηλότερη απόδοση του κεφαλαίου**. Αποτέλεσμα των παραπάνω ενεργειών θα είναι βελτίωση της ανταγωνιστικής θέσης των λιμένων.

4.2.2 Κρίσιμοι παράγοντες για τη συντήρηση των λιμένων

Το παρόν υποκεφάλαιο έχει στόχο να αποσαφηνίσει τους κρίσιμους παράγοντες για την συντήρηση των 12 βασικών λιμένων της Ελλάδος, δηλαδή τους παράγοντες που ουσιαστικά σκιαγραφούν τη σημασία του κάθε λιμένα. Παράκατω, εξετάζεται το κάθε λιμάνι ξεχωριστά και επισημαίνονται τα κρίσιμα χαρακτηριστικά του καθενός σύμφωνα με τα στοιχεία που παρέχονται από την υπάρχουσα αξιολόγηση του **Εθνικού Εγγράφου Λιμένων**.

4.2.2.1 Λιμάνι Πειραιά

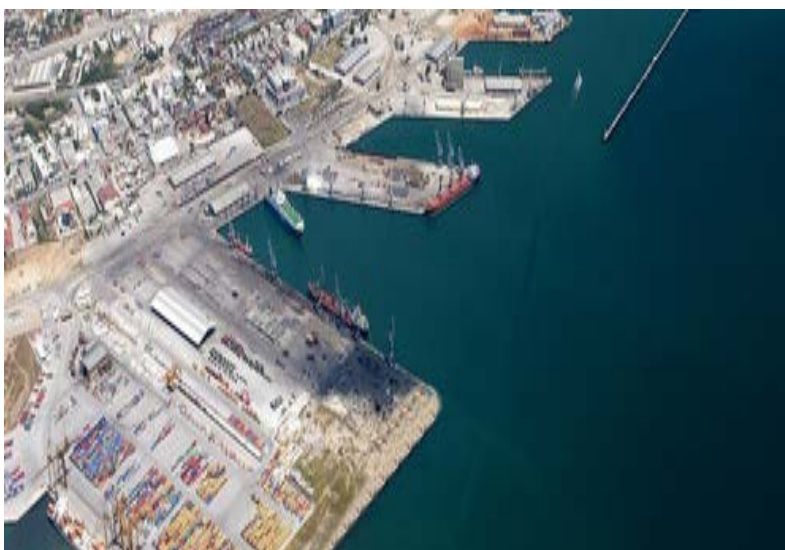
Το λιμάνι του Πειραιά βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Ελλάδας και ανήκει στη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας. Είναι το μεγαλύτερο και το πιο σημαντικό λιμάνι στην Ελλάδα και αποτελεί ουσιαστικό κόμβο για τη ροή της κυκλοφορίας στη Μεσόγειο. Οι κύριες επιχειρηματικές δραστηριότητες του λιμένα είναι η διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων από τη μία πλευρά και η διακίνηση επιβατών από την άλλη. Το λιμάνι του Πειραιά αποτελεί ένα οργανωμένο λιμάνι εξυπηρέτησης κρουαζιερόπλοιων, ενώ λειτουργούν Σταθμοί Εμπορευματοκιβωτίων και αυτοκινήτων. Διακινεί το μεγαλύτερο ποσοστό των θαλάσσιων εμπορευματικών και επιβατικών ροών της χώρας, τόσο από και προς το εξωτερικό, όσο από και προς το εσωτερικό. Στο λιμάνι του Πειραιά λειτουργούν δυο σταθμοί Εμπορευματοκιβωτίων, σταθμός διακίνησης αυτοκινήτων, σταθμός κρουαζιέρας και 4 σταθμοί ακτοπλοΐας



Σχήμα 4.1: Το λιμάνι του Πειραιά

4.2.2.2 Λιμάνι Θεσσαλονίκης

Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης βρίσκεται στο Βόρειο Αιγαίο στην Κεντρική Μακεδονία, την δεύτερη μεγαλύτερη πληθυσμιακά περιοχή της Ελλάδας. Η Θεσσαλονίκη διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στον εφοδιασμό της τοπικής αγοράς και έναν αυξανόμενα σημαντικό ρόλο στον εφοδιασμό της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Οι κύριες επιχειρηματικές δραστηριότητες του λιμένα είναι και πάλι η διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων από τη μία πλευρά και η διακίνηση επιβατών από την άλλη. Ακόμη, το συγκεκριμένο λιμάνι αποτελεί πόλο έλξης κρουαζιερόπλοιων, ενώ εξυπηρετεί και ξηρά χύδην φορτία.



Σχήμα 4.2: Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης

4.2.2.3 Λιμάνι Αλεξανδρούπολης

Το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης βρίσκεται στη βόρεια ακτή του Αιγαίου κοντά στα Ελληνοτουρκικά σύνορα και εξυπηρετεί κυρίως την τοπική οικονομία. Οι επιχειρηματικές γραμμές στο λιμάνι περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο την κίνηση επιβατών και εμπορευματοκιβωτίων. Ωστόσο, τα μεγέθη αυτά είναι μειωμένα εξαιτίας του ανταγωνισμού με το λιμάνι της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 4.3: Το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης

4.2.2.4 Λιμάνι Καβάλας

Το λιμάνι της Καβάλας βρίσκεται στο Βόρειο Αιγαίο, περίπου 150 χιλιόμετρα ανατολικά της Θεσσαλονίκης. Το λιμάνι αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα. Το χύδην ξηρό φορτίο και το γενικό φορτίο συναντώνται στο Νέο Λιμάνι, ενώ το Παλιό Λιμάνι εξυπηρετεί κυρίως την επιβατική κίνηση και τις κρουαζιέρες.



Σχήμα 4.4: Το λιμάνι της Καβάλας

4.2.2.5 Λιμάνι Βόλου

Το λιμάνι του Βόλου βρίσκεται στην ανατολική ακτή της Κεντρικής Ελλάδας. Οι επιχειρηματικές δραστηριότητες του λιμανιού περιλαμβάνουν εμπορευματοκιβώτια, γενικό φορτίο, χύδην ξηρό φορτίο και επιβάτες.



Σχήμα 4.5: Το λιμάνι του Βόλου

4.2.2.6 Λιμάνι Ραφήνας

Το λιμάνι της Ραφήνας βρίσκεται στην ανατολική περιοχή της Αττικής. Το μόνο πεδίο επιχειρηματικής δραστηριότητας στη Ραφήνα αποτελεί η επιβατική κίνηση κυρίως προς τα νησιά των Κυκλάδων.



Σχήμα 4.6: Το λιμάνι της Ραφήνας

4.2.2.7 Λιμάνι Λαυρίου

Το λιμάνι του Λαυρίου βρίσκεται στην ανατολική περιοχή της Αττικής. Η κύρια επιχειρηματική δραστηριότητα στο λιμάνι χαρακτηρίζεται από την λειτουργία των επιβατηγών οχηματαγωγών πλοίων και των πορθμείων (ro-ro/ferry operations). Επιπρόσθετα, η περιφερειακή οικονομία χειρίζεται ορισμένα φορτία συμβατικού τύπου. Στο παρελθόν, το λιμάνι του Λαυρίου χρησιμοποιούνταν για τον χειρισμό των εμπορευματοκιβωτίων, ωστόσο, τέτοιες εργασίες έχουν παύσει τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 4.7: Το λιμάνι του Λαυρίου

4.2.2.8 Λιμάνι Ελευσίνας

Το λιμάνι της Ελευσίνας βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, δυτικά του Πειραιά. Η Ελευσίνα χρησιμοποιούνταν ως ένα βιομηχανικό κέντρο και επομένως το λιμάνι της αποτελούσε ένα σημαντικό κόμβο για μια ποικιλία εμπορευμάτων. Σήμερα, το λιμάνι της Ελευσίνας παίζει μικρό ρόλο εξαιτίας της μετανάστευσης και της παύσης της βιομηχανικής δραστηριότητας. Οι επιχειρηματικές δραστηριότητες περιλαμβάνουν κάποιες γενικό φορτίο συμβατικού τύπου, χύδην ξηρό φορτίο, καθώς και χειρισμό πλοίων.



Σχήμα 4.8: Το λιμάνι της Ελευσίνας

4.2.2.9 Λιμάνι Πάτρας

Το λιμάνι της Πάτρας, το οποίο περιλαμβάνει ένα παλιό τμήμα και ένα νέο τμήμα, βρίσκεται στη βορειοδυτική ακτή της χερσονήσου της Πελοποννήσου. Η κύρια επιχειρηματική δραστηριότητα του λιμένα χαρακτηρίζεται από τα εγχώρια και τα διεθνή πορθμεία-επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία. Το λιμάνι της Πάτρας περιλαμβάνει, ακόμη, περιορισμένες δραστηριότητες γενικού φορτίου και ξηρού χύδην, οι οποίες σχετίζονται με την περιφερική οικονομία. Αναφορικά με τις μελλοντικές ροές φορτίου, θεωρείται ότι η κυκλοφορία οχημάτων και επιβατών θα μειωθεί, διότι όλο και περισσότερες διεθνείς μεταφορές επιβατηγών οχηματαγωγών πλοίων αναμένεται να δρομολογούνται μέσω της Ηγουμενίτσας εξαιτίας της σημαντικά βελτιωμένης προσβασιμότητας που προσφέρει η Εγνατία Οδός.



Σχήμα 4.9: Το λιμάνι της Πάτρας

4.2.2.10 Λιμάνι Ηγουμενίτσας

Το λιμάνι της Ηγουμενίτσας βρίσκεται στην Βορειοδυτική ακτή της Ελλάδος απέναντι από το νησί της Κέρκυρας. Βρίσκεται στο δυτικό άκρο της Εγνατίας Οδού. Η Ηγουμενίτσα είναι μια μεγάλη πύλη εισόδου για τις διεθνείς συνδέσεις πορθμείων και επιβατηγών οχηματαγωγών πλοίων. Οι επιχειρηματικοί τομείς που καλύπτονται από την Ηγουμενίτσα περιλαμβάνουν πορθμεία-επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Λόγω της προβλεπόμενης μετεγκατάστασης των διεθνών μεταφορών για τα πορθμεία από την Πάτρα προς την Ηγουμενίτσα, αναμένεται συγκριτική ανάπτυξη. Ακόμη, προβλέπεται ότι η Ηγουμενίτσα θα είναι σε θέση να καθιερωθεί ως προορισμός κρουαζιέρας στη Δυτική Ελλάδα.



Σχήμα 4.10: Το λιμάνι της Ηγουμενίτσας

4.2.2.11 Λιμάνι Κέρκυρας

Το λιμάνι της Κέρκυρας βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από το κέντρο της πόλης, της πρωτεύουσας του νησιού. Το λιμάνι της Κέρκυρας εξυπηρετεί τόσο διεθνή και εγχώρια επιβατηγά πλοία όσο και κρουαζιερόπλοια. Η ανάπτυξη και στα δύο τμήματα αναμένεται να είναι μετρια τα επόμενα χρόνια.



Σχήμα 4.11: Το λιμάνι της Κέρκυρας

4.2.2.12 Λιμάνι Ηρακλείου

Το λιμάνι του Ηρακλείου βρίσκεται στη βόρεια ακτή της Κρήτης και αποτελεί το κύριο λιμάνι του νησιού και επομένως, μια σημαντική σύνδεση με την ελληνική ηπειρωτική χώρα. Οι μεγάλες επιχειρηματικές γραμμές του λιμανιού είναι οι δραστηριότητες κρουαζιέρας και πορθμείου. Άλλες υπάρχουσες γραμμές του λιμανιού περιλαμβάνουν τα εμπορευματοκιβώτια και το ξηρό χύδην φορτίο που σχετίζονται με την οικονομία του νησιού. Ο τομέας της κρουαζιέρας αναμένεται να είναι το βασικό στοιχείο της ανάπτυξης για το συγκεκριμένο λιμάνι.



Σχήμα 4.12: Το λιμάνι του Ηρακλείου

4.2.2.13 Συμπεράσματα

Τα διάφορα λιμάνια στην Ελλάδα αντιμετωπίζουν διαφορετικές προοπτικές ανάπτυξης, ανάλογα με την ενδοχώρα τους (λαμβάνοντας υπόψιν ανταγωνιστικούς λιμένες), τις επιχειρηματικές γραμμές που στεγάζονται σε αυτά και τη λειτουργία τους στο ελληνικό σύστημα λιμένων. Από τα προαναφερθέντα, οι δύο κυριότεροι παράγοντες, οι οποίοι ορίζουν τη σημασία ενός λιμένα είναι **ο αριθμός των διακινούμενων επιβατών και φορτίων** αντίστοιχα. Επομένως, αυτά τα δύο μεγέθη είναι θεμελιώδη για να οριστεί η σημασία του κάθε λιμένα και για το σκοπό της παρούσας Διπλωματικής αναζητήθηκαν τα στατιστικά στοιχεία που αφορούσαν τα μεγέθη αυτά, καθώς είναι κρίσιμα και για το πρόγραμμα συντήρησης των λιμένων. Ακόμη, **η ηλικία του κάθε λιμένα** παίζει ουσιαστικό ρόλο στο πρόγραμμα συντήρησης, διότι έχει άμεση σχέση με την εξεταζόμενη τωρινή κατάσταση των λιμένων, ενώ ένα ακόμα μέγεθος, το οποίο εξετάστηκε στα πλαίσια της Διπλωματικής Εργασίας ήταν **το μήκος των κρηπιδωμάτων** του κάθε λιμένα και κατ' επέκταση του αριθμού των πλοίων που μπορούν να «δέσουν» σε ένα λιμάνι ταυτόχρονα.

4.3 Στατιστικά δεδομένα λιμένων

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν υπό μορφή πινάκων και διαγραμμάτων τα στατιστικά στοιχεία των λιμένων που αφορούν το μέγεθος της επιβατικής κίνησης και των εμπορευματοκιβωτίων σε αυτά. Τα στοιχεία συγκεντρώθηκαν από τη Βάση Δεδομένων της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής και ομαδοποιήθηκαν ανά έτος και λιμάνι. Τα λιμάνια που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, όπως έχει προαναφερθεί, είναι τα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος, ενώ τα στατιστικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν αναφέρονται στο χρονικό διάστημα 2007-2010.

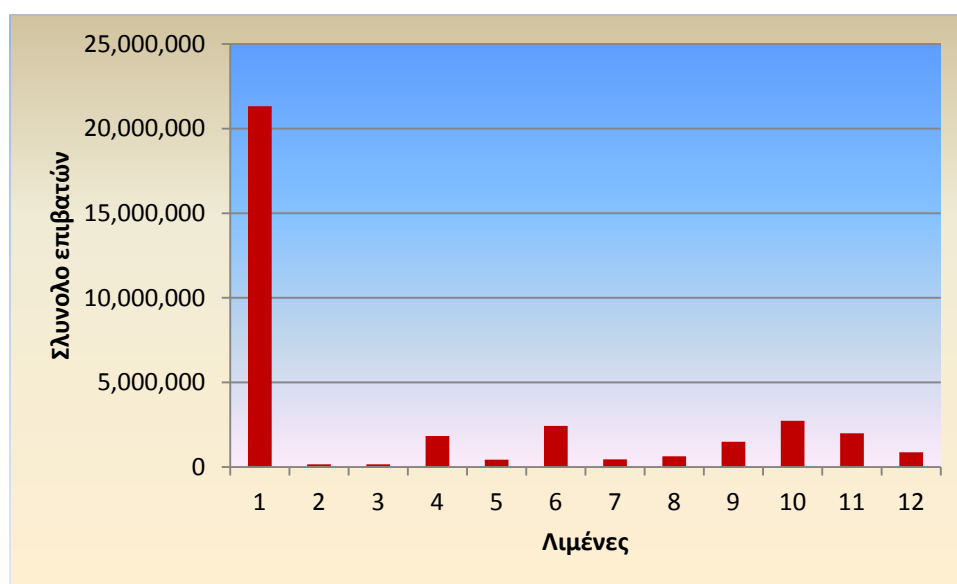
4.3.1 Επιβατική κίνηση

Ο **Πίνακας 4.1** περιλαμβάνει τα μεγέθη της συνολικής επιβατικής κίνησης στα 12 βασικά λιμάνια ομαδοποιημένα ανά έτος από το 2007 έως το 2010. Ακόμη, στον ακόλουθο πίνακα υπάρχει στην τελευταία στήλη αυτού ο μέσος όρος της επιβατικής κίνησης για το κάθε λιμάνι για την εξεταζόμενη περίοδο.

Πίνακας 4.1: Η επιβατική κίνηση στα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος για την περίοδο 2007-2010

α/α	Όνομα λιμένα	Σύνολο επιβατών 2007	Σύνολο επιβατών 2008	Σύνολο επιβατών 2009	Σύνολο επιβατών 2010	Μέσος όρος
1	Πειραιάς	21,522,917	21,984,057	21,446,943	20,336,418	21,322,584
2	Θεσσαλονίκη	150,202	163,502	158,179	157,564	157,362
3	Αλεξανδρούπολη	158,645	163,304	164,366	163,567	162,471
4	Καβάλα	1,869,815	1,905,377	1,842,742	1,707,910	1,831,461
5	Βόλος	440,441	434,935	450,935	409,572	433,971
6	Ραφήνα	2,491,956	2,552,302	2,438,055	2,231,273	2,428,397
7	Λαύριο	478,254	466,516	453,432	435,829	458,508
8	Ελευσίνα	977,000	544,247	489,225	532,000	635,618
9	Πάτρα	1,607,115	1,575,137	1,432,275	1,345,567	1,490,024
10	Ηγουμενίτσα	2,620,643	2,687,297	2,805,482	2,830,384	2,735,952
11	Κέρκυρα	2,054,953	1,976,921	2,032,779	1,931,299	1,998,988
12	Ηράκλειο	774,060	833,414	958,992	918,190	871,164

Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή



Σχήμα 4.13: Μέσος όρος της επιβατικής κίνησης του κάθε λιμένα για την περίοδο 2007-2010

Το παραπάνω **Σχήμα 4.13** απεικονίζει με ιδιαίτερη σαφήνεια την διαφορά της επιβατικής κίνησης στο λιμάνι του Πειραιά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα λιμάνια της Ελλάδος.

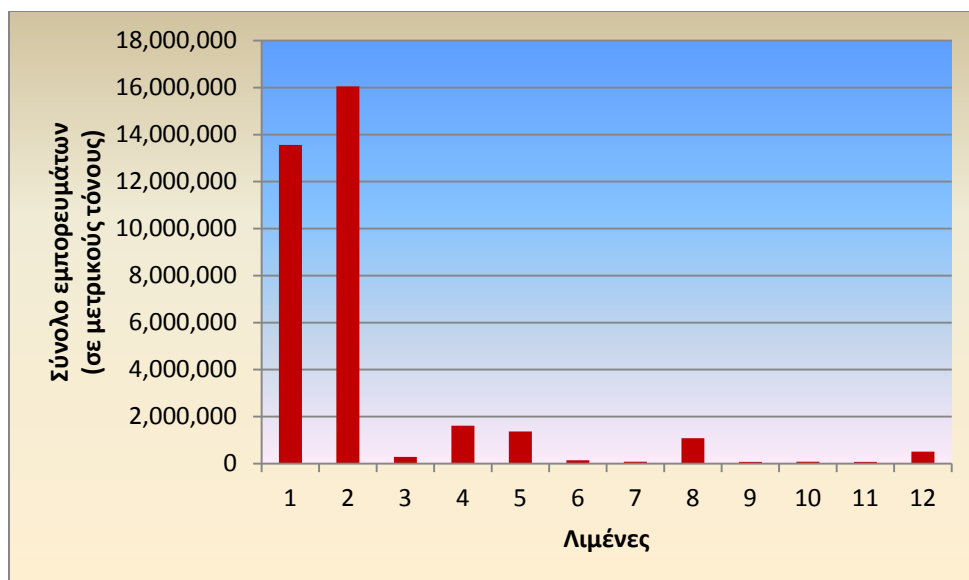
4.3.2 Εμπορευματική κίνηση

Ο **Πίνακας 4.2** περιλαμβάνει τα μεγέθη της συνολικής εμπορευματικής κίνησης στα 12 βασικά λιμάνια ομαδοποιημένα ανά έτος από το 2007 έως το 2010. Ακόμη, στον ακόλουθο πίνακα υπάρχει στην τελευταία στήλη αυτού ο μέσος όρος της επιβατικής κίνησης για το κάθε λιμάνι για την εξεταζόμενη περίοδο.

Πίνακας 4.2: Η εμπορευματική κίνηση (σε μετρικούς τόνους) στα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος για την περίοδο 2007-2010

α/α	Όνομα λιμένα	Σύνολο επιβατών 2007	Σύνολο επιβατών 2008	Σύνολο επιβατών 2009	Σύνολο επιβατών 2010	Μέσος όρος
1	Πειραιάς	20,121,916	10,477,433	11,939,985	11,706,205	13,561,385
2	Θεσσαλονίκη	18,827,651	16,041,842	14,963,214	14,369,843	16,050,638
3	Αλεξανδρούπολη	451,016	376,912	159,945	161,751	287,406
4	Καβάλα	1,479,004	1,615,753	1,859,965	1,499,662	1,613,596
5	Βόλος	1,407,047	1,615,244	1,343,908	1,099,655	1,366,464
6	Ραφήνα	130,224	135,154	152,314	143,215	140,227
7	Λαύριο	87,015	125,215	78,146	26,033	79,102
8	Ελευσίνα	1,280,000	1,596,000	978,000	487,160	1,085,290
9	Πάτρα	88,095	54,678	89,906	67,789	75,117
10	Ηγουμενίτσα	97,876	67,876	87,689	65,467	79,727
11	Κέρκυρα	67,899	76,589	76,567	87,658	77,178
12	Ηράκλειο	609,313	572,940	476,778	377,628	509,165

Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή



Σχήμα 4.14: Μέσος όρος της εμπορευματικής κίνησης (σε μετρικούς τόνους) του κάθε λιμένα για την περίοδο 2007-2010

Το παραπάνω **Σχήμα 4.14** απεικονίζει με ιδιαίτερη σαφήνεια την διαφορά της εμπορευματικής κίνησης στα λιμάνια της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα λιμάνια της Ελλάδος. Μάλιστα, σε κάποια λιμάνια εμπορευματική είναι τόσο περιορισμένη που στο παραπάνω σχήμα δεν απεικονίζεται.

4.4 Λοιπά δεδομένα λιμένων

Κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θεωρήθηκε κρίσιμη για τη συντήρηση του κάθε λιμένα η εύρεση της ηλικίας του και του συνολικού μήκους κρηπιδωμάτων αυτού.

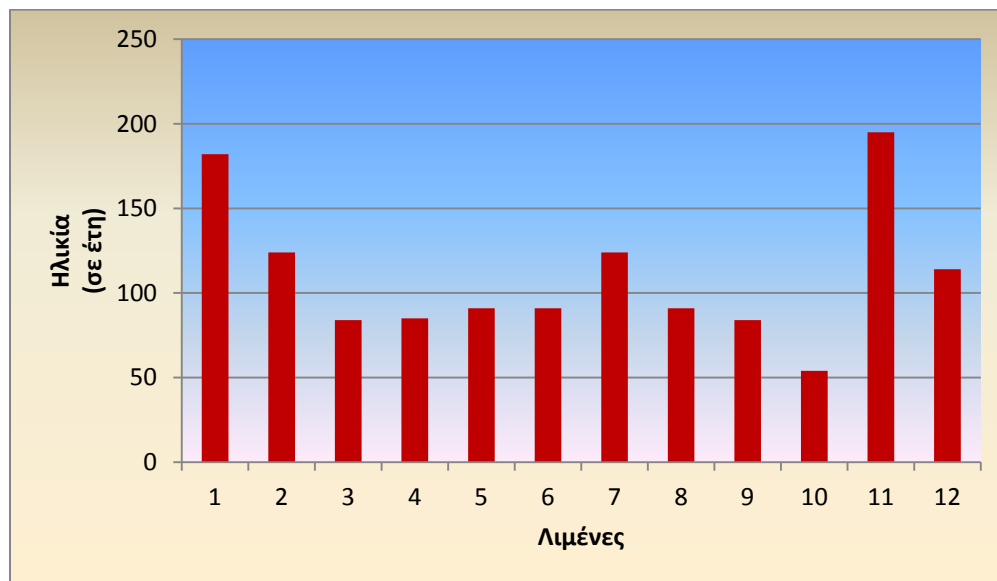
4.4.1 Ηλικία λιμένων

Ο Πίνακας 4.3 αναφέρεται στην ηλικία του κάθε λιμένα.

Πίνακας 4.3: Ηλικία των 12 βασικών λιμένων σε έτη

α/α	Όνομα λιμένα	Ηλικία λιμένα
1	Πειραιάς	182
2	Θεσσαλονίκη	124
3	Αλεξανδρούπολη	84
4	Καβάλα	85
5	Βόλος	91
6	Ραφήνα	91
7	Λαύριο	124
8	Ελευσίνα	91
9	Πάτρα	84
10	Ηγουμενίτσα	54
11	Κέρκυρα	195
12	Ηράκλειο	114

Πηγή: Βικιπαίδεια



Σχήμα 4.15: Ηλικία των 12 βασικών λιμένων σε έτη

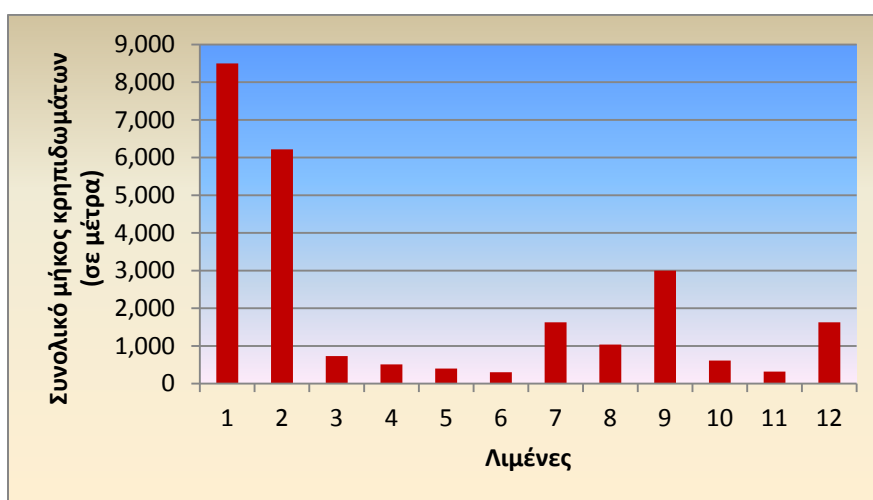
4.4.2 Μήκος κρηπιδωμάτων λιμένων

Ο Πίνακας 4.4 αναφέρεται στο συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων του κάθε λιμένα, μέγεθος το οποίο έχει σχέση με το συνολικό αριθμό πλοίων που μπορούν να δέσουν ταυτόχρονα στο κάθε λιμάνι.

Πίνακας 4.4: Συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων για τα 12 βασικά λιμάνια

α/α	Όνομα λιμένα	Μήκος κρηπιδωμάτων (μέτρα)
1	Πειραιάς	8,500
2	Θεσσαλονίκη	6,220
3	Αλεξανδρούπολη	730
4	Καβάλα	510
5	Βόλος	400
6	Ραφήνα	300
7	Λαύριο	1,629
8	Ελευσίνα	1,037
9	Πάτρα	3,000
10	Ηγουμενίτσα	610
11	Κέρκυρα	320
12	Ηράκλειο	1,629

Πηγή: Βικιπαίδεια



Σχήμα 4.16: Συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων για τα 12 βασικά λιμάνια σε μέτρα

4.5 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τους πίνακες και τα αντίστοιχα σχήματα για την επιβατική κίνηση, την εμπορευματική κίνηση, την ηλικία των λιμένων και το μήκος κρηπιδωμάτων μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το λιμάνι του Πειραιά παρουσιάζει την υψηλότερη **επιβατική κίνηση**, απέχοντας σημαντικά από τα υπόλοιπα λιμάνια. Ύστερα, ακολουθεί το λιμάνι της Ηγουμενίτσας, ενώ τρίτο σε επιβατική κίνηση βρίσκεται το λιμάνι της Ραφήνας.
- Τα λιμάνια του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης παρουσιάζουν την υψηλότερη **εμπορευματική κίνηση**, με το λιμάνι της Θεσσαλονίκης να κατέχει την πρώτη θέση. Στην τρίτη θέση βρίσκεται το λιμάνι της Καβάλας, απέχοντας αισθητά, όμως, από τα δύο πρώτα λιμάνια.
- Τα λιμάνια της Κέρκυρας και του Πειραιά είναι τα μεγαλύτερα σε **ηλικία**. Ακολουθούν, ύστερα, τα λιμάνια της Θεσσαλονίκης και του Λαυρίου, ενώ το μικρότερο σε ηλικία λιμάνι είναι αυτό της Ηγουμενίτσας.
- Όσον αφορά το **συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων**, το λιμάνι του Πειραιά βρίσκεται στην πρώτη θέση και ακολουθεί το λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Ύστερα, ακολουθεί το λιμάνι της Πάτρας.

4.6 Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης

Ύστερα από την επισκόπηση των βιβλιογραφικών αναφορών, την περιγραφή του θεωρητικού υποβάθρου πάνω στο οποίο βασίστηκε η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία και την περιγραφή των στατιστικών δεδομένων εκείνων για τα λιμάνια που θεωρήθηκαν σημαντικά για τη συντήρησή τους, στο παρόν υποκεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία. Πιο συγκεκριμένα, εξηγείται ο τρόπος με τον οποίο προέκυψε η αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου βελτιστοποίησης της κατανομής πόρων για τη συντήρηση των 12 βασικών λιμένων της Ελλάδος, περιγράφονται οι περιορισμοί, οι συντελεστές βαρύτητας και το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα του συγκεκριμένου μοντέλου.

4.6.1 Γενικά

Οι κύριοι στρατηγικοί στόχοι για τους λιμένες της Ελλάδος είναι η μεγιστοποίηση των κερδών τους και η μείωση της ανταποδοτικότητας της εκάστοτε επένδυσης για την Κυβέρνηση (Return on Investment). Ένα λιμάνι που αντιμετωπίζει το διεθνή ανταγωνισμό, χρειάζεται να είναι ικανό να **βελτιστοποιήσει τους αντικειμενικούς του σκοπούς**, που είναι η **μεγιστοποίηση των κερδών**, η **μεγιστοποίηση της διακίνησης φορτίων** με ταυτόχρονη

ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας. Ένα λιμάνι, για να βελτιστοποιήσει τη συνολική του λειτουργία πρέπει να είναι αποτελεσματικό. Για να γίνει, όμως, αποτελεσματικό, πρέπει να γίνει αποδοτικό (Vitsounis, 2011).

Η αποδοτικότητα ενός λιμένα περιλαμβάνει την τεχνική αποτελεσματικότητά του, δηλαδή τη μεγιστοποίηση των συναλλαγών του (τη διακίνηση φορτίων) με ένα δεδομένο επίπεδο πόρων (εργασία, τεχνικές υποδομές) και την αποτελεσματικότητα του κόστους, δηλαδή την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους για την παροχή δεδομένων υπηρεσιών.

4.6.2 Μαθηματικό μοντέλο

Περνώντας, πλέον, στη συντήρηση των λιμένων και λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμη η **βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων**, η οποία με τη σειρά της θα οδηγήσει και στη βέλτιστη συντήρηση των 12 βασικών λιμένων της Ελλάδας. Με βάση, λοιπόν αυτή τη σκέψη, έγινε η προσπάθεια **ανάπτυξης ενός μαθηματικού μοντέλου** με το οποίο θα επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατανομή πόρων για τον σκοπό της συντήρησης των λιμένων.

Το μοντέλο κατανομής πόρων που αναπτύσσεται περιγράφει ένα **πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού** και πιο συγκεκριμένα **ακέραιου δυαδικού**, στο οποίο οι μεταβλητές απόφασης λαμβάνουν τις τιμές '0' ή '1', όπως θα εξηγηθεί παρακάτω.

Η **αντικειμενική συνάρτηση** που αναπτύχθηκε είναι η παρακάτω:

$$\max \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^N \sigma_{pass} \cdot \sigma_{cargo} \cdot \sigma_{size} \cdot \sigma_{age} \cdot W_i \cdot k_{ij} \cdot \Delta X_{max}^{int e} \quad (4.1)$$

με τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^N k_{ij} \cdot c_{ij} \leq B_i \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^N k_{ij} \leq 1 \quad (4.3)$$

$$k_{ij} \in Z \quad (4.4)$$

- P: ο χρονικός ορίζοντας που εφαρμόζεται το πρόγραμμα της συντήρησης (<εδώ> είναι 5 έτη)
- N: ο συνολικός αριθμός των λιμένων προς συντήρηση (<εδώ> είναι 12 λιμένες)
- spass: συντελεστής βαρύτητας, ο οποίος σχετίζεται με την επιβατική κίνηση του κάθε λιμένα για την περίοδο 2007-2010
- scargo: συντελεστής βαρύτητας, ο οποίος σχετίζεται με την εμπορευματική κίνηση του κάθε λιμένα για την περίοδο 2007-2010
- ssize: συντελεστής βαρύτητας, ο οποίος σχετίζεται με το μέγεθος του κάθε λιμένα με βάση το συνολικό μήκος των κρηπιδωμάτων του
- sage: συντελεστής βαρύτητας, ο οποίος σχετίζεται με την ηλικία του κάθε λιμένα
- wi: συντελεστής χειροτέρευσης της κατάστασης ενός λιμανιού ανάλογα με το πότε πραγματοποιείται η συντήρηση σε αυτό
- kij: μεταβλητή απόφασης που παίρνει την τιμή '1', αν το j-λιμάνι συντηρείται μέσα στον χρονικό ορίζοντα των P-ετών και την τιμή '0', αν το το j-λιμάνι δεν συντηρείται μέσα στον χρονικό ορίζοντα των P-ετών
- Δxmainte: χητελικό-χιαρχικό, όπου χητελικό η τελική κατάσταση του λιμανιού και χιαρχικό η αρχική κατάσταση του λιμανιού

Η **μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (4.1)** στοχεύει στη **βέλτιστη κατανομή των πόρων** στους 12 βασικούς λιμένες της Ελλάδος, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί (4.2), (4.3) και (4.4). Πιο συγκεκριμένα, το αποτέλεσμα του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου είναι οι τιμές της μεταβλητής απόφασης kij. Σε κάθε επανάληψη, δηλαδή, η μεταβλητή αυτή παίρνει για κάθε λιμάνι είτε την τιμή '1' είτε την τιμή '0' ανάλογα με το αν συντηρείται ή όχι το j-λιμάνι την i-χρονοιά αντίστοιχα. Ο **περιορισμός (4.2)** αναφέρει ότι η συνολική ποσότητα των χρημάτων για τη συντήρηση 12 βασικών λιμένων την i-χρονοιά πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από τον **συνολικό διαθέσιμο προϋπολογισμό της i-χρονοιάς**. Ο **περιορισμός (4.3)** αναφέρει ότι το κάθε λιμάνι j έχει τη **δυνατότητα συντήρησης μία φορά** μόνο μέσα στο χρονικό ορίζοντα των P-ετών. Τέλος, ο **περιορισμός (4.4)** αναφέρει, ότι η τιμή της μεταβλητής απόφασης kij είναι **ακέραιος αριθμός** και πιο συγκεκριμένα, μπορεί να πάρει είτε την τιμή '1' είτε την τιμή '0'.

Οι συντελεστές βαρύτητας spass, scargo, sage και ssize εισάγονται στην αντικειμενική συνάρτηση για να ληφθεί υπόψιν η επιρροή της επιβατικής κίνησης, της εμπορευματικής

κίνησης, της ηλικίας και του συνολικού μήκους των κρηπιδωμάτων για τη συντήρηση του κάθε λιμένα αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, όπως έγινε κατανοητό και από το υποκεφάλαιο **4.2.2 Κρίσιμοι παράγοντες για τη συντήρηση των λιμένων** οι κύριες επιχειρηματικές δραστηριότητες στους 12 βασικούς λιμένες της Ελλάδας χαρακτηρίζονται από την επιβατική και την εμπορευματική τους κίνηση. Επομένως, τα δύο αυτά μεγέθη πρέπει να ληφθούν υπόψιν και στο μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για τη συντήρησή τους. Ακόμη, η ηλικία ενός λιμένα είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται αυτός, διότι με το πέρασμα του χρόνου, αυξάνεται η χρήση, άρα και η καταπόνηση για τον λιμένα. Όσον αφορά το συντελεστή βαρύτητας που σχετίζεται με το συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων, αυτός έχει σχέση με το μέγεθος του κάθε λιμένα και ειδικότερα σχετίζεται με τον αριθμό των πλοίων που μπορούν να «δέσουν» ταυτόχρονα σε ένα λιμάνι. Όσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό μήκος των κρηπιδωμάτων, τόσο περισσότερα πλοία μπορούν να δέσουν στο λιμάνι, άρα αυξάνεται και η οικονομική εκμετάλλευση αυτού. Τέλος, ο συντελεστής βαρύτητας w_i αναφέρεται στη χειροτέρευση της κατάστασης του λιμένα λόγω της χρήσης και του χρόνου και ουσιαστικά λαμβάνει υπόψιν του την χρονική περίοδο που πραγματοποιείται η συντήρηση στο κάθε λιμάνι.

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με το εύρος των τιμών που μπορούν να λάβουν οι προαναφερθήσαντες συντελεστές βαρύτητας.

Ο **Πίνακας 4.5** περιλαμβάνει το εύρος τιμών που μπορεί να λάβει ο **συντελεστής βαρύτητας σ_{pass}** . Σε αυτόν μπορούν να διακριθούν **5 δυνατές τιμές** αυτού ανάλογα με το **μέγεθος της επιβατικής κίνησης** του λιμανιού. Έτσι:

Πίνακας 4.5: Εύρος συντελεστή βαρύτητας επιβατικής κίνησης σ_{pass}

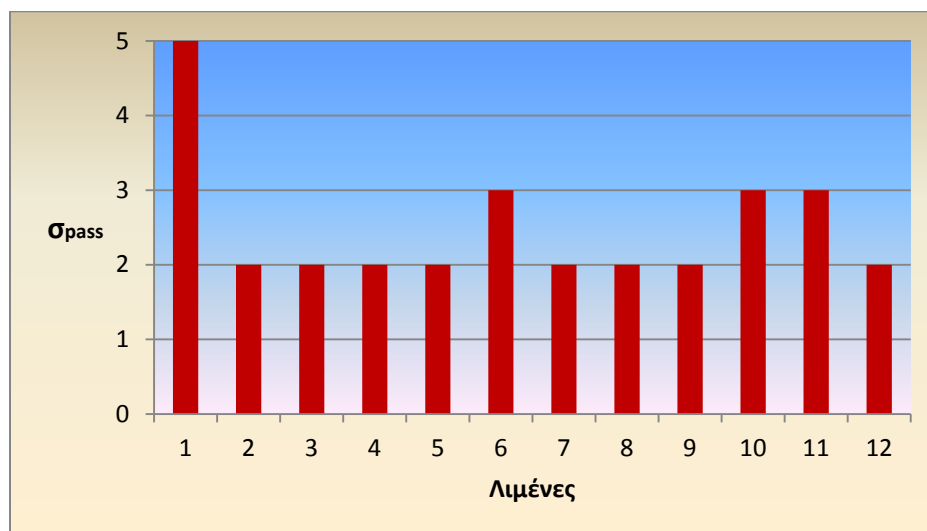
Επιβατική κίνηση	σ_{pass}
$\geq 20,000,000$	5
$< 20,000,000$ και $\geq 10,000,000$	4
$< 10,000,000$ και $\geq 1,000,000$	3
$< 1,000,000$ και $\geq 100,000$	2
$< 100,000$	1

Με βάση τον πίνακα 4.5 προκύπτει ο **Πίνακας 4.6**, ο οποίος αναφέρεται στην τιμή του συντελεστή βαρύτητας σ_{pass} για τα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος. Η επιβατική κίνηση για

τον κάθε λιμένα προκύπτει από τον **Πίνακα 4.1** και πιο συγκεκριμένα από την τελευταία στήλη αυτού που αναφέρεται στο μέσο όρο της επιβατικής κίνησης για το κάθε λιμάνι. Έτσι:

Πίνακας 4.6: Συντελεστής βαρύτητας επιβατικής κίνησης σpass για τα 12 βασικά λιμάνια

α/α	Όνομα λιμένα	Μέσος όρος επιβατικής κίνησης	σpass
1	Πειραιάς	21,322,584	5
2	Θεσσαλονίκη	157,362	2
3	Αλεξανδρούπολη	162,471	2
4	Καβάλα	1,831,461	2
5	Βόλος	433,971	2
6	Ραφήνα	2,428,397	3
7	Λαύριο	458,508	2
8	Ελευσίνα	635,618	2
9	Πάτρα	1,490,024	2
10	Ηγουμενίτσα	2,735,952	3
11	Κέρκυρα	1,998,988	3
12	Ηράκλειο	871,164	2



Σχήμα 4.17: Συντελεστής βαρύτητας επιβατικής κίνησης σpass για τα 12 βασικά λιμάνια

Ο Πίνακας 4.7 περιλαμβάνει το εύρος τιμών που μπορεί να λάβει ο **συντελεστής βαρύτητας cargo**. Σε αυτόν μπορούν να διακριθούν **5 δυνατές τιμές** αυτού ανάλογα με το **μέγεθος της εμπορευματικής κίνησης** του λιμανιού. Έτσι:

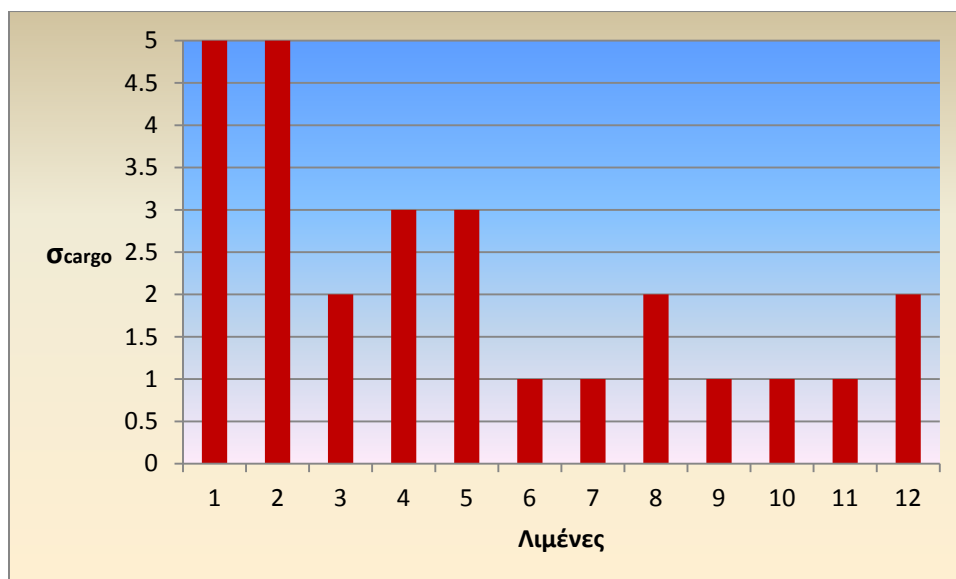
Πίνακας 4.7: Εύρος συντελεστή βαρύτητας εμπορευματικής κίνησης cargo

Εμπορευματική κίνηση	σcargo
≥20,000,000	5
<20,000,000 και ≥10,000,000	4
<10,000,000 και ≥1,000,000	3
<1,000,000 και ≥100,000	2
<100,000	1

Με βάση τον πίνακα 4.7 προκύπτει ο **Πίνακας 4.8** οποίος αναφέρεται στην τιμή του συντελεστή βαρύτητας cargo για τα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος. Η εμπορευματική κίνηση για τον κάθε λιμένα προκύπτει από τον **Πίνακα 4.2** και πιο συγκεκριμένα από την τελευταία στήλη αυτού που αναφέρεται στο μέσο όρο της εμπορευματικής κίνησης για το κάθε λιμάνι. Έτσι:

Πίνακας 4.8: Συντελεστής βαρύτητας εμπορευματικής κίνησης cargo για τα 12 βασικά λιμάνια

α/α	Όνομα λιμένα	Μέσος όρος επιβατικής κίνησης	σcargo
1	Πειραιάς	13,561,385	5
2	Θεσσαλονίκη	16,050,638	5
3	Αλεξανδρούπολη	287,406	2
4	Καβάλα	1,613,596	3
5	Βόλος	1,366,464	3
6	Ραφήνα	140,227	1
7	Λαύριο	79,102	1
8	Ελευσίνα	1,085,290	2
9	Πάτρα	75,117	1
10	Ηγουμενίτσα	79,727	1
11	Κέρκυρα	77,178	1
12	Ηράκλειο	509,165	2



Σχήμα 4.18: Συντελεστής βαρύτητας εμπορευματικής κίνησης σcargo για τα 12 βασικά λιμάνια

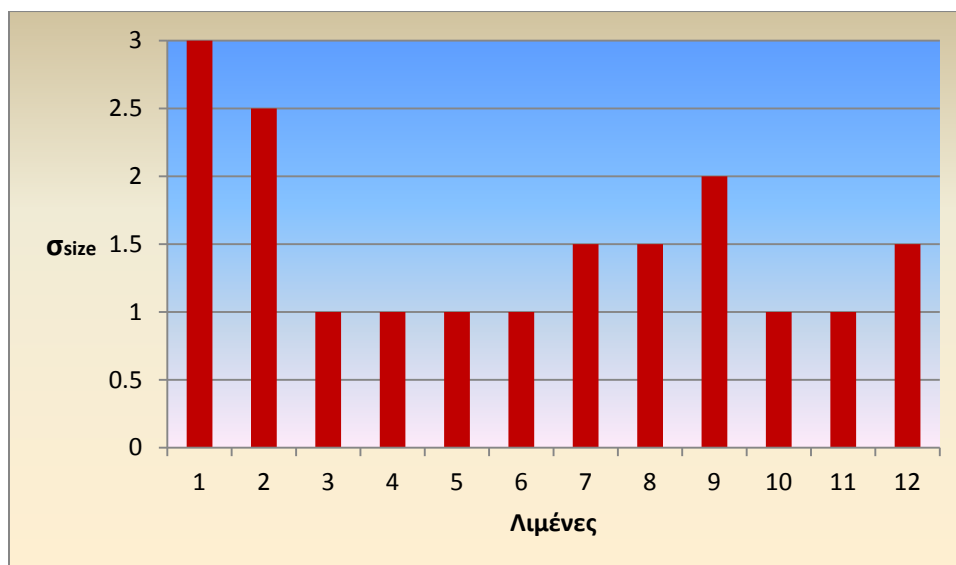
Ο Πίνακας 4.9 περιλαμβάνει το εύρος τιμών που μπορεί να λάβει ο **συντελεστής βαρύτητας σsize**. Σε αυτόν μπορούν να διακριθούν **5 δυνατές τιμές** αυτού ανάλογα με το **συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων** του κάθε λιμανιού. Έτσι:

Πίνακας 4.9: Εύρος συντεστή βαρύτητας μεγέθους σsize

Συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων (μέτρα)	σsize
≥8,000	3
≥6,000	2,5
≥3,000	2
≥1,000	1,5
<1,000	1

Με βάση τον πίνακα 4.9 προκύπτει ο **Πίνακας 4.10**, ο οποίος αναφέρεται στην τιμή του συντελεστή βαρύτητας σsize για τα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος. Το συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων για τον κάθε λιμένα προκύπτει από τον **Πίνακα 4.4**. Έτσι:

Πίνακας 4.10: Συντελεστής βαρύτητας μεγέθους size για τα 12 βασικά λιμάνια



Σχήμα 4.19: Συντελεστής βαρύτητας μεγέθους size για τα 12 βασικά λιμάνια

Ο Πίνακας 4.11 περιλαμβάνει το εύρος τιμών που μπορεί να λάβει ο **συντελεστής sage**. Σε αυτόν μπορούν να διακριθούν **3 δυνατές τιμές** αυτού ανάλογα με την **ηλικία** του κάθε λιμανιού. Έτσι:

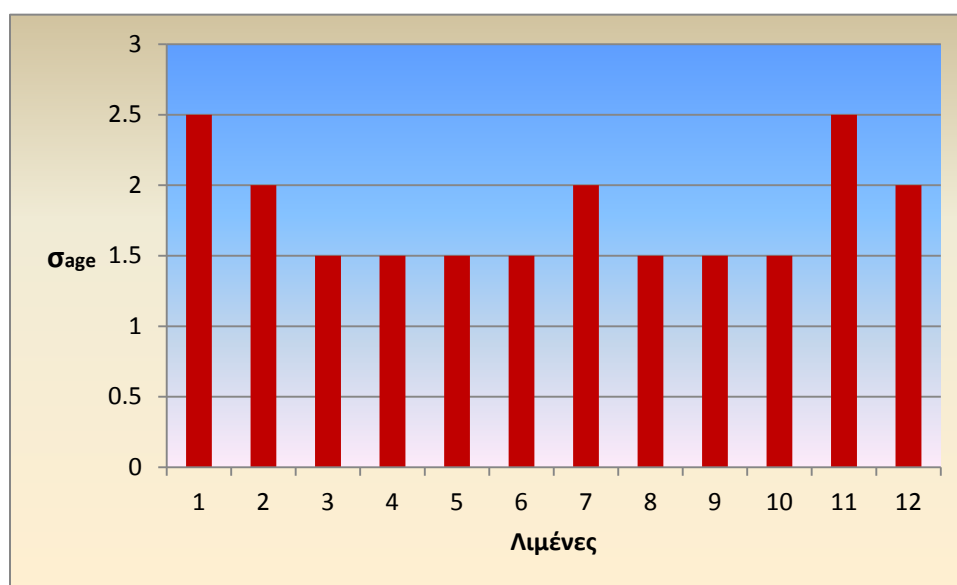
Πίνακας 4.11: Εύρος συντελεστή βαρύτητας ηλικίας sage

Ηλικία (έτη)	sage
150 έως 200	2.5
100 έως 150	2
50 έως 100	1.5

Με βάση τον πίνακα 4.11 προκύπτει ο Πίνακας 4.12, ο οποίος αναφέρεται στην τιμή του συντελεστή βαρύτητας sage για τα 12 βασικά λιμάνια της Ελλάδος. Η ηλικία για τον κάθε λιμένα προκύπτει από τον Πίνακα 4.3. Έτσι:

Πίνακας 4.12: Συντελεστής βαρύτητας ηλικίας για τα 12 βασικά λιμάνια

α/α	Όνομα λιμένα	Ηλικία λιμένα	σ_{age}
1	Πειραιάς	182	2.5
2	Θεσσαλονίκη	124	2
3	Αλεξανδρούπολη	84	1.5
4	Καβάλα	85	1.5
5	Βόλος	91	1.5
6	Ραφήνα	91	1.5
7	Λαύριο	124	2
8	Ελευσίνα	91	1.5
9	Πάτρα	84	1.5
10	Ηγουμενίτσα	54	1.5
11	Κέρκυρα	195	2.5
12	Ηράκλειο	114	2



Σχήμα 4.20: Συντελεστής βαρύτητας ηλικίας για τα 12 βασικά λιμάνια

Ο Πίνακας 4.12 περιλαμβάνει το εύρος των τιμών του συντελεστή χειροτέρευσης της κατάστασης του λιμανιού ανάλογα με το πότε πραγματοποιείται η συντήρηση στο λιμάνι μέσα στον χρονικό ορίζοντα των 5 έτων. Αν η συντήρηση πραγματοποιείται την πρώτη χρονιά, τότε ο συντελεστής χειροτέρευσης λαμβάνει την τιμή 1, δηλαδή δεν χειροτερεύει η κατάσταση του

λιμανιού. Όταν η συντήρηση πραγματοποιείται μετά την πρώτη χρονιά, τότε ο συντελεστής w_i λαμβάνει τιμή μικρότερη του 1, ώστε να ληφθεί υπόψιν η επιδείνωση της κατάστασης του λιμανιού λόγω χρόνου και χρήσης. Πρέπει να επισημανθεί ότι η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία **διαφοροποιείται από τις προαναφερθείσες βιβλιογραφικές αναφορές** αναφορικά με τον τρόπο που λαμβάνεται η χειροτέρευση της κατάστασης του λιμανιού. Πιο συγκεκριμένα, δεν χρησιμοποιείται η αλυσίδα Μαρκόφ, διότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία απαιτεί πληθώρα δεδομένων, η οποία δεν υπάρχει στην περίπτωση των λιμένων. Έτσι:

Πίνακας 4.13: Τιμές του συντελεστή χειροτέρευσης της κατάστασης w_i

Έτος συντήρησης	Συντελεστής w_i
1	1
2	0.9
3	0.8
4	0.7
5	0.6

Η κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι λιμένες αποτυπώνεται στον **Πίνακα 4.14**. Ένας λιμένας είναι δυνατό να βρίσκεται σε μία από τις παρακάτω 5 καταστάσεις:

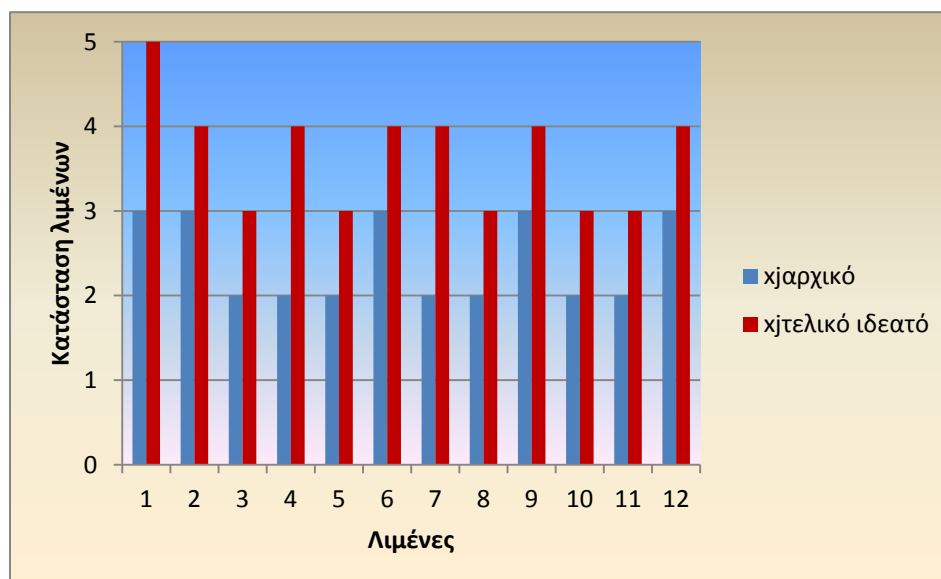
Πίνακας 4.14: Χαρακτηρισμός κατάστασης λιμένα

Κατάσταση λιμένα	Δείκτης κατάστασης
Εξαιρετική	5
Καλή	4
Μέτρια	3
Φτωχή	2
Πολύ φτωχή	1

Στο πρόβλημα που περιγράφεται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία τόσο η αρχική κατάσταση των λιμένων χιραχικό όσο και η τελική επιθυμητή κατάσταση των λιμένων χιτελικό ορίζονται εξ' αρχής.

Πίνακας 4.15: Αρχική-τελική κατάσταση για τα 12 βασικά λιμάνια

α/α	Όνομα λιμένα	Αρχική κατάσταση χjarρχικό	Τελική κατάσταση χjτελικό	ΔΧ
1	Πειραιάς	3	5	2
2	Θεσσαλονίκη	3	4	1
3	Αλεξανδρούπολη	2	3	1
4	Καβάλα	2	4	2
5	Βόλος	2	3	1
6	Ραφήνα	3	4	1
7	Λαύριο	2	4	2
8	Ελευσίνα	2	3	1
9	Πάτρα	3	4	1
10	Ηγουμενίτσα	2	3	1
11	Κέρκυρα	2	3	1
12	Ηράκλειο	3	4	1



Σχήμα 4.21: Αρχική-τελική κατάσταση για τα 12 βασικά λιμάνια

Τέλος, παρακάτω παρατίθενται τα οικονομικά στοιχεία του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται τα χρήματα που απαιτούνται κατά τη μετάβαση ενός λιμανιού από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική. Στο επόμενο κεφάλαιο παρατίθεται ο διαθέσιμος προϋπολογισμός

ανά έτος για το πρόγραμμα συντήρησης. Αυτός θα διαφοροποιείται ανάλογα με το σενάριο που διεξάγεται κάθε φορά.

Πίνακας 4.16: Κόστος συντήρησης (σε €) ανάλογα με τη μεταβολή κατάστασης λιμένα

Μεταβολή κατάστασης		Κόστος συντήρησης (σε €)
χιαρικό	χιτελικό	
1	2	1,000
1	3	6,000
1	4	16,000
1	5	106,000
2	3	5,000
2	4	15,000
2	5	105,000
3	4	10,000
3	5	100,000
4	5	90,000

5

Εφαρμογή μεθοδολογίας-Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της μεθοδολογίας, καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας. Σημαντικό τμήμα του κεφαλαίου καταλαμβάνει το εδάφιο που αφορά στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων και διακρίνεται στις τρεις ακόλουθες φάσεις:

- Παρουσίαση των εξαγόμενων στοιχείων
- Περιγραφή των αποτελεσμάτων
- Εξήγηση των αποτελεσμάτων

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με τη βοήθεια πινάκων, αλλά και σχετικών διαγραμμάτων που επιτρέπουν τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Το μοντέλο εφαρμόζεται για (α) σταθερό και για (β) μεταβαλλόμενο ανά έτος προϋπολογισμό. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται διάφορα μεγέθη προϋπολογισμών και μελετάται η επίδρασή τους στα αποτελέσματα του προγράμματος συντήρησης. Εξετάζεται η περίπτωση στην οποία και για τις δύο περιπτώσεις προϋπολογισμών:

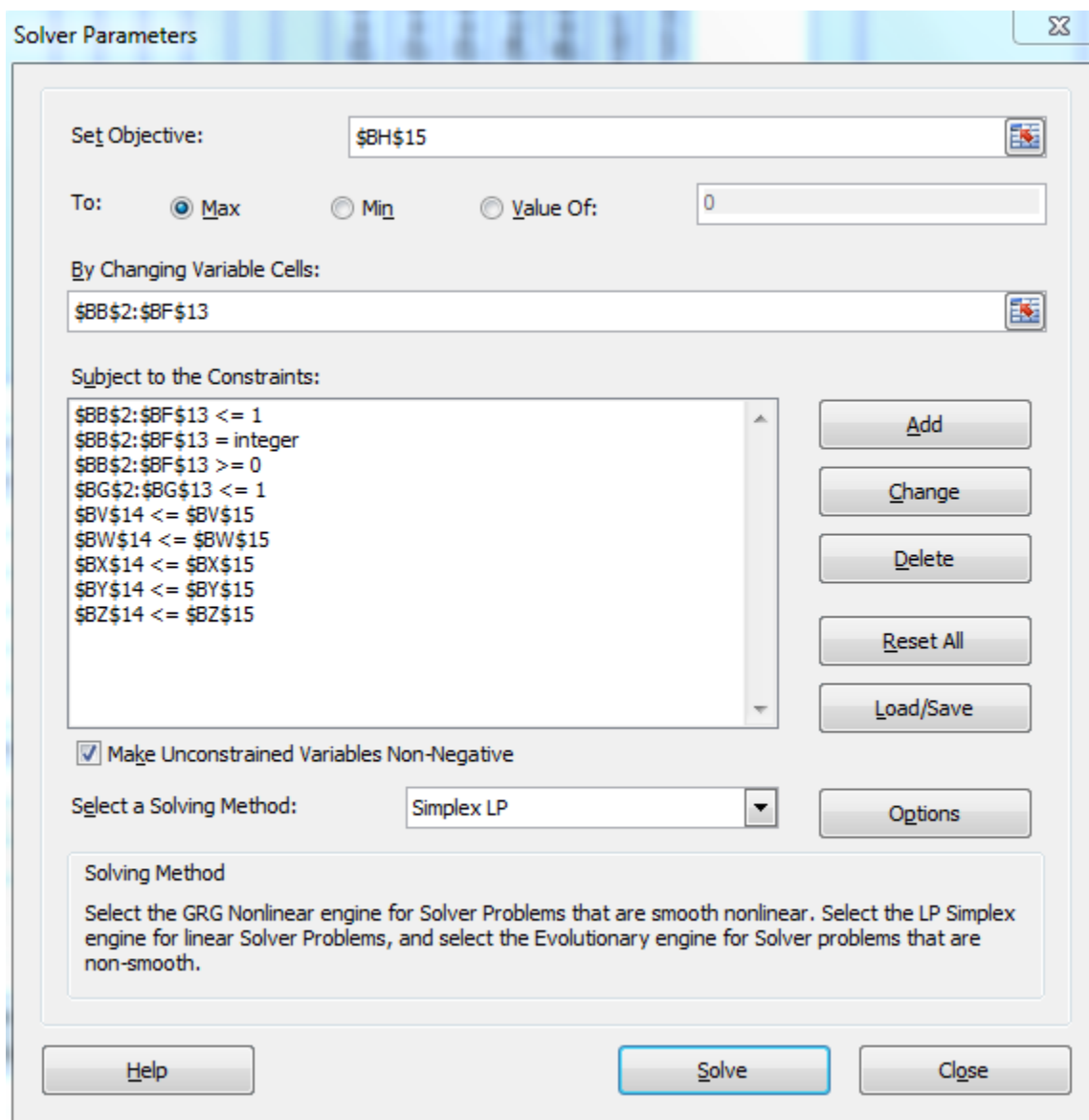
- μεταβάλλεται η αρχική κατάσταση των λιμανιών
- μεταβάλλονται οι συντελεστές βαρύτητας της αντικειμενικής συνάρτησης
- μεταβάλλεται ο χρονικός ορίζοντας της συντήρησης

Ακόμη, το μοντέλο εφαρμόζεται και (γ) για μετακύλιση του προϋπολογισμού στα επόμενα έτη.

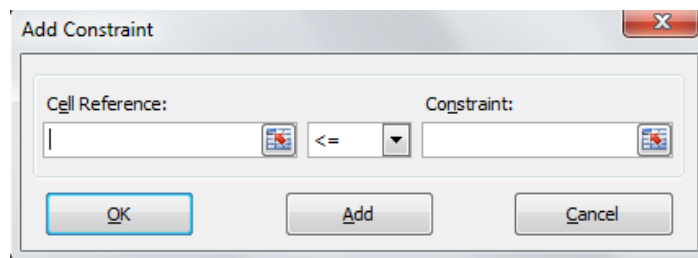
5.2 Εφαρμογή μεθοδολογίας

Όπως προαναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια η επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης της κατανομής πόρων για το πρόγραμμα συντήρησης των λιμένων θα γίνει με τη βοήθεια του εργαλείου επίλυσης του Excel (Excel Solver). Στο παρόν υποκεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται το Solver. Προτού γίνει η επίλυση με τη βοήθεια του Solver θα πρέπει να έχει οριστεί το κελί, το οποίο αντιπροσωπεύει

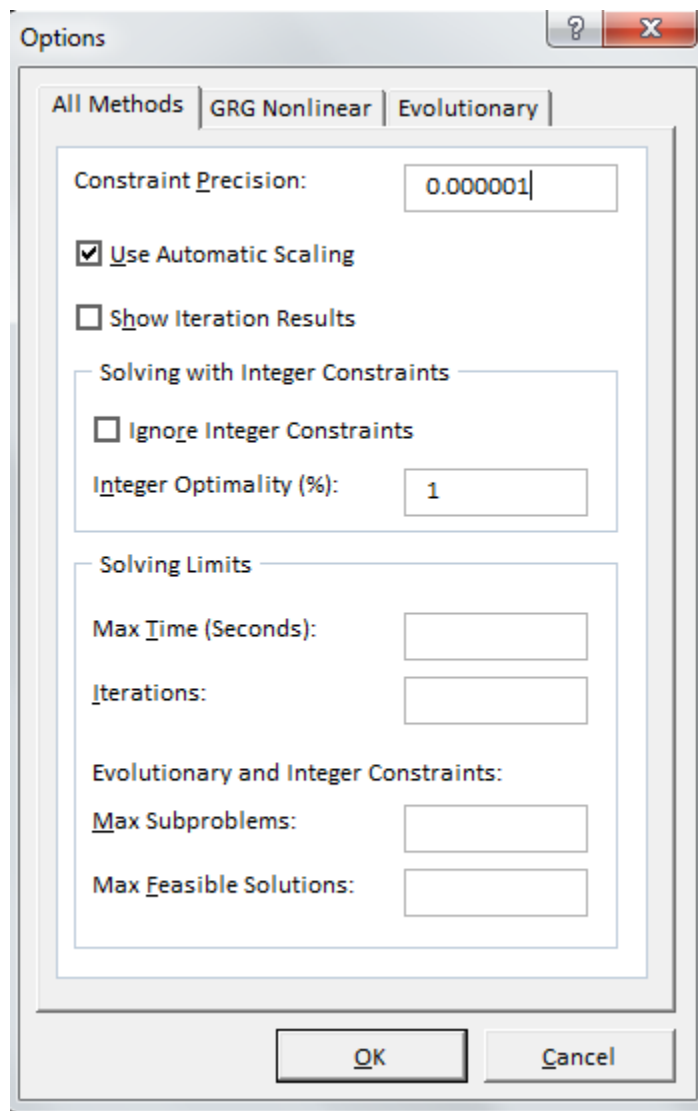
την αντικειμενική συνάρτηση, όπως επίσης και τα κελιά, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές απόφασης του προβλήματος. Ύστερα, ακολουθεί η χρήση του Excel Solver. Η ενεργοποίησή του γίνεται από το μενού Tools και την επιλογή Solver. Το βασικό πλαίσιο διαλόγου του εργαλείου παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5.1**.



Σχήμα 5.1: Το πλαίσιο διαλόγου του Solver για το πρόβλημα της κατανομής πόρων



Σχήμα 5.2: Το πλαίσιο διαλόγου εισαγωγής περιορισμών



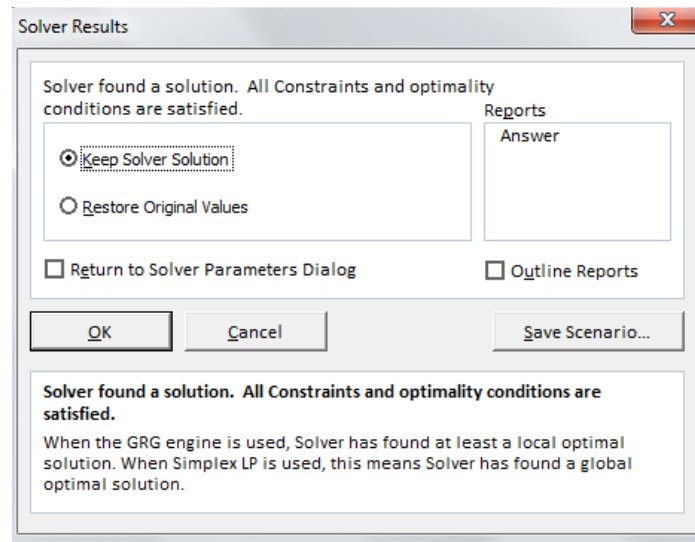
Σχήμα 5.3: Το πλαίσιο διαλόγου των παραμέτρων του Excel Solver

Για την ανεύρεση της άριστης λύσης στο συγκεκριμένο πρόβλημα εισάγονται οι ακόλουθες πληροφορίες:

- **Set objective:** Εισάγεται το κελί που αντιστοιχεί στην αντικειμενική συνάρτηση, η τιμή του οποίου πρόκειται να μεγιστοποιηθεί: **BH15**
- **To:** Επιλέγεται το είδος της αριστοποίησης (μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση). Στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία μεγιστοποιείται η αντικειμενική συνάρτηση και για το λόγο αυτό ενεργοποιείται η επιλογή Max.
- **By changing variable cells:** Εισάγονται τα κελιά που αντιστοιχούν στις μεταβλητές απόφασης. Αυτές αντιπροσωπεύουν τα λιμάνια που θα συντηρηθούν: **BB2:BF13**
- **Subject to the Constraints:** Εισάγονται οι περιορισμοί του προβλήματος. Πατώντας το κουμπί Add εμφανίζεται ο διάλογος εισαγωγής περιορισμών, με τη βοήθεια του οποίου καταστρώνονται οι περιορισμοί του προβλήματος. (Σχήμα 5.2)
- **Options:** Με το κουμπί αυτό εμφανίζεται ένα πλαίσιο διαλόγου μέσω του οποίου ορίζονται οι παράμετροι επίλυσης. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα δεν αγνοούνται οι ακέραιοι περιορισμοί, διότι το πρόβλημα αναφέρεται σε ακέραιες μεταβλητές. (Σχήμα 5.3)

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, το πρόβλημα βελτιστοποίησης θα επιλυθεί με Simplex LP κατ' επέκταση ακέραιο προγραμματισμό, αφού οι τιμές των μεταβλητών είναι ακέραιες.

Μετά την εισαγωγή των απαραίτητων πληροφοριών και πατώντας το κουμπί Solve, το Excel Solver επιλύει το πρόβλημα εφαρμόζοντας μια επαναληπτική μαθηματική διαδικασία και εμφανίζει το ακόλουθο μήνυμα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.4:



Σχήμα 5.4: Το μήνυμα του εργαλείου εργαλείου Solver για την εξεύρεση της βέλτιστης λύσης

Ενεργοποιώντας την επιλογή Keep Solver Solution, τα κελιά που αντιστοιχούν στις μεταβλητές απόφασης παίρνουν τις βέλτιστες τιμές. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο **Σχήμα 5.5:**

α/α	Όνομα λιμένα	k _{1j}	k _{2j}	k _{3j}	k _{4j}	k _{5j}	Σk _{ij}	Αντικειμενική συνάρτηση (1ο έτος)	Αντικειμενική συνάρτηση (2ο έτος)	Αντικειμενική συνάρτηση (3ο έτος)	Αντικειμενική συνάρτηση (4ο έτος)	Αντικειμενική συνάρτηση (5ο έτος)	Αρχική κατάσταση x _{1(αρχικό)}	Τελική κατάσταση x _{1(τελικό προγραμματικό)}
1	Πειραιάς	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
2	Θεσσαλονίκη	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
3	Αλεξανδρούπολη	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4.2	0	2	3
4	Καβάλα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
5	Βόλος	0	1	0	0	0	1	0	8.1	0	0	0	2	3
6	Ραφήνα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
7	Λαύριο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
8	Ελευσίνα	1	0	0	0	0	1	9	0	0	0	0	2	3
9	Πάτρα	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
10	Ηγουμενίτσα	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2.7	2	3
11	Κέρκυρα	0	0	1	0	0	1	0	0	6	0	0	2	3
12	Ηράκλειο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
ΣΥΝΟΛΟ		1	1	1	1	1	5	ΣΥΝΟΛΟ						
								30.00						

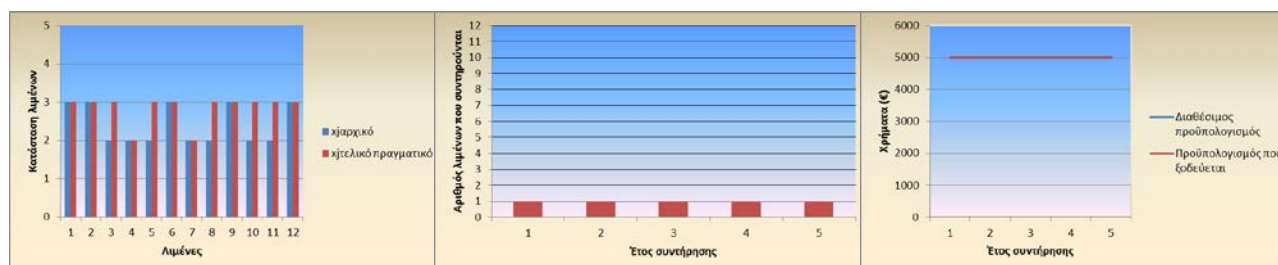
Σχήμα 5.5: Η τελική μορφή του φύλλου εργασίας με τη βέλτιστη λύση του προβλήματος κατανομής πόρων

5.3 Αποτελέσματα για σταθερό προϋπολογισμό

5.3.1 Αποτελέσματα για τις αρχικές υποθέσεις

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για σταθερό ετήσιο προϋπολογισμό 5000€, 10000€, 20000€, 30000€, 40000€, 50000€ και 100000€. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Σταθερός προϋπολογισμός 5000 €



(α)

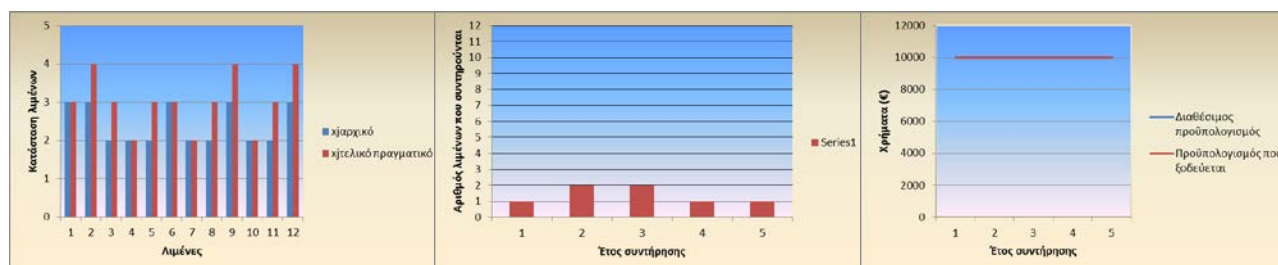
(β)

(γ)

Σχήμα 5.6: Σταθερός προϋπολογισμός 5000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 5000 €**: (α) συντηρούνται 5 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) συντηρείται ένα λιμάνι κάθε έτος, ενώ (γ) καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού.

β) Σταθερός προϋπολογισμός 10000 €



(α)

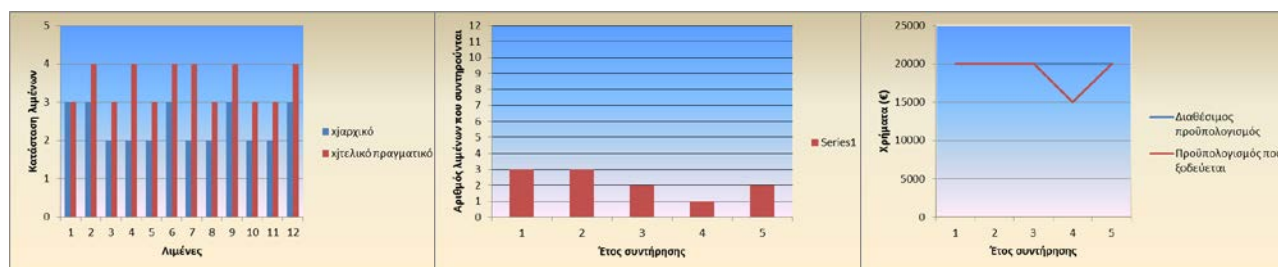
(β)

(γ)

Σχήμα 5.7: Σταθερός προϋπολογισμός 10000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 10000 €**: (α) συντηρούνται 7 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) σε σχέση με πριν η κατανομή της συντήρησης διαφοροποιείται στο γεγονός ότι συντηρούνται δύο λιμάνια το δεύτερο και το τρίτο έτος αντίστοιχα, ενώ (γ) καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού.

γ) Σταθερός προϋπολογισμός 20000 €



(α)

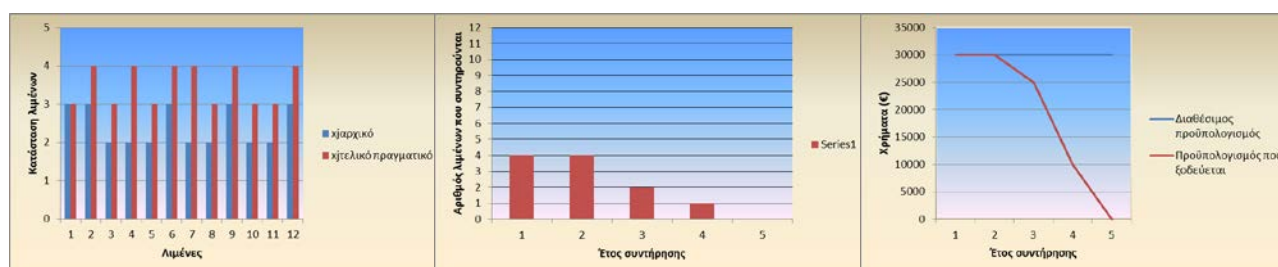
(β)

(γ)

Σχήμα 5.8: Σταθερός προϋπολογισμός 20000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 20000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια (εξαιρείται δηλαδή μόνο το λιμάνι του Πειραιά), (β) η συντήρηση πραγματοποιείται και στα πέντε χρόνια, δηλαδή συντηρούνται τρία λιμάνια το πρώτο και το δεύτερο έτος αντίστοιχα, δύο λιμάνια το τρίτο έτος, ένα λιμάνι το τέταρτο και δύο λιμάνια το πέμπτο έτος, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού την τέταρτη χρονιά περισσεύουν 5000 €.

δ) Σταθερός προϋπολογισμός 30000 €



(α)

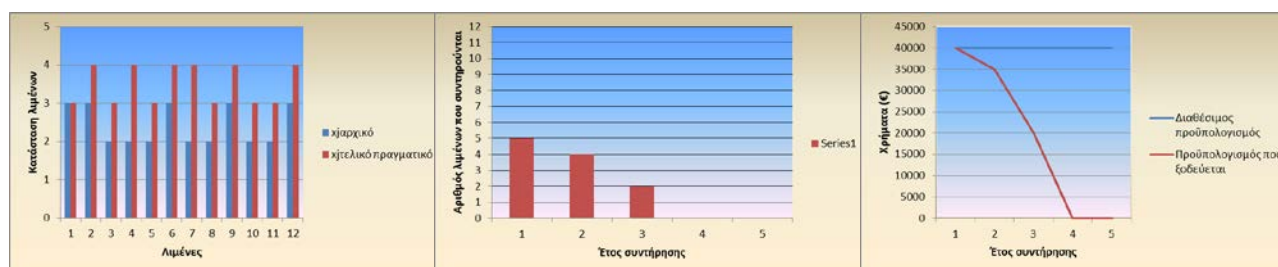
(β)

(γ)

Σχήμα 5.9: Σταθερός προϋπολογισμός 30000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 30000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια (εξαιρείται δηλαδή μόνο το λιμάνι του Πειραιά), (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τέσσερα πρώτα χρόνια και πιο συγκεκριμένα συντηρούνται τρία λιμάνια το πρώτο και το δεύτερο έτος αντίστοιχα, δύο λιμάνια το τρίτο έτος και ένα λιμάνι το τέταρτο έτος, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού την τρίτη χρονιά περισσεύουν 5000 €, την τέταρτη χρονιά περισσεύουν 20000 €, ενώ την πέμπτη χρονιά δεν καταναλώνεται καθόλου ο προβλεπόμενος προϋπολογισμός.

ε) Σταθερός προϋπολογισμός 40000 €



(α)

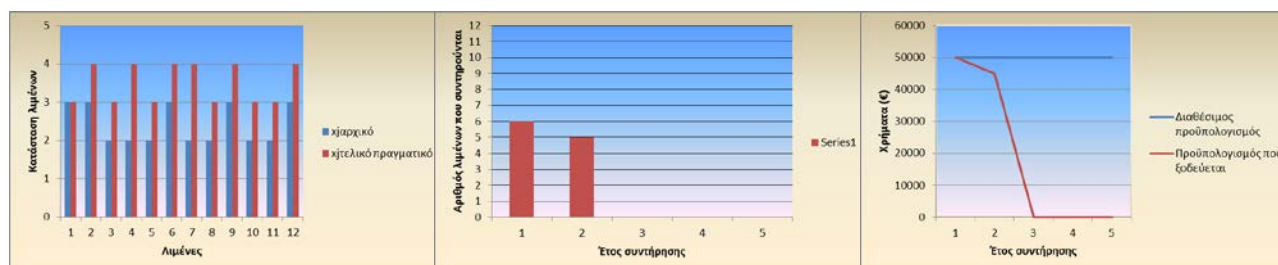
(β)

(γ)

Σχήμα 5.10: Σταθερός προϋπολογισμός 40000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 40000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια (εξαιρείται δηλαδή μόνο το λιμάνι του Πειραιά), (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τρία πρώτα χρόνια και πιο συγκεκριμένα συντηρούνται πέντε λιμάνια το πρώτο έτος, τέσσερα λιμάνια το δεύτερο έτος και δύο λιμάνια το τρίτο έτος, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού τη δεύτερη χρονιά περισσεύουν 5000 €, την τρίτη χρονιά περισσεύουν 20000 €, ενώ την τέταρτη και την πέμπτη χρονιά δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

στ) Σταθερός προϋπολογισμός 50000 €



(a)

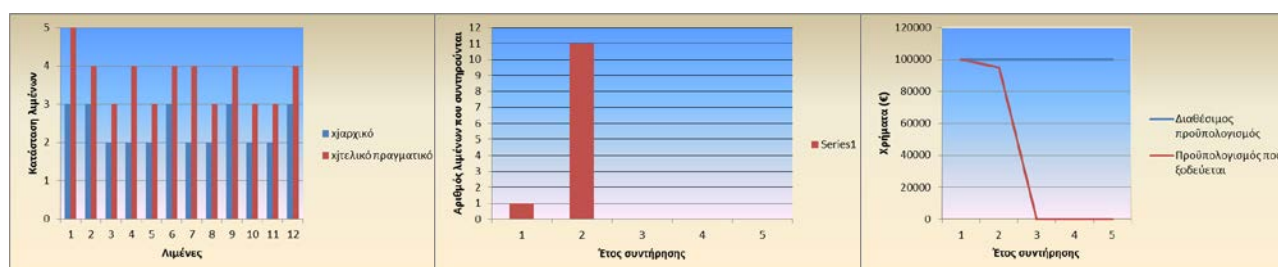
(β)

(γ)

Σχήμα 5.11: Σταθερός προϋπολογισμός 50000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 50000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια (εξαιρείται δηλαδή μόνο το λιμάνι του Πειραιά), (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα δύο πρώτα χρόνια και πιο συγκεκριμένα συντηρούνται έξι λιμάνια το πρώτο έτος και πέντε λιμάνια το δεύτερο έτος, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού τη δεύτερη χρονιά περισσεύουν 5000 €, ενώ δεν καταναλώνεται καθόλου ο προβλεπόμενος προϋπολογισμός τα τρία τελευταία έτη.

ζ) Σταθερός προϋπολογισμός 100000 €



(a)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.12: Σταθερός προϋπολογισμός 100000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό των 100000 €: (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα δύο πρώτα χρόνια και πιο συγκεκριμένα συντηρείται το λιμάνι του Πειραιά το πρώτο έτος και τα υπόλοιπα 11 λιμάνια το δεύτερο έτος, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού τη δεύτερη χρονιά περισσεύουν 5000 €, ενώ δεν καταναλώνεται καθόλου ο προβλεπόμενος προϋπολογισμός τα τρία τελευταία έτη.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω Σχήμα 5.13 παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν.

		Σταθερός ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
20000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
30000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
40000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
100000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												

Σχήμα 5.13: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούνται τα εξής:

- Καθώς αυξάνεται ο ετήσιος προϋπολογισμός, αυξάνεται και ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται. Πιο συγκεκριμένα, για ετήσιο προϋπολογισμό 5000 € συντηρούνται 5 λιμάνια, για ετήσιο προϋπολογισμό 10000 € 7 λιμάνια, για ετήσιο προϋπολογισμό 20000 € 11 λιμάνια, ενώ για για ετήσιο προϋπολογισμό 100000 € συντηρούνται και τα 12 λιμάνια.
- Καθώς αυξάνεται ο ετήσιος προϋπολογισμός, η συντήρηση γίνεται τα πρώτα χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, για ετήσιο προϋπολογισμό 5000 €, 10000 € και 20000€ η συντήρηση γίνεται και τα 5 χρόνια. Για ετήσιο προϋπολογισμό 30000 € η συντήρηση περιορίζεται στα 4 πρώτα χρόνια, για ετήσιο προϋπολογισμό 40000 € η συντήρηση περιορίζεται στα 3 πρώτα χρόνια, ενώ για ετήσιο προϋπολογισμό 50000 € και 100000 € η συντήρηση περιορίζεται στα 2 πρώτα χρόνια.
- Το λιμάνι του Πειραιά συντηρείται μόνο για ετήσιο προϋπολογισμό 100000 €, ενώ τα λιμάνια της Αλεξανδρούπολης, του Βόλου, της Ελευσίνας, της Ηγουμενίτσας και της Κέρκυρας συντηρούνται και με τον ετήσιο προϋπολογισμό των 5000 €.
- Καθώς αυξάνεται ο ετήσιος προϋπολογισμός, η συντήρηση γίνεται πρώτα στα λιμάνια με αυξημένους συντελεστές βαρύτητας, εφόσον ο προϋπολογισμός επαρκεί για τη συντήρησή τους. Πιο συγκεκριμένα, για ετήσιο προϋπολογισμό 10000 € το λιμάνι της Θεσσαλονίκης συντηρείται την πρώτη χρονιά. Για για ετήσιο προϋπολογισμό 20000 €, τα λιμάνια της Θεσσαλονίκης, του Βόλου και της Ελευσίνας συντηρούνται την πρώτη χρονιά. Για ετήσιο προϋπολογισμό 100000 € συντηρείται μόνο το λιμάνι του Πειραιά την πρώτη χρονιά.

Στο παράκατω σχήμα **Σχήμα 5.14** παρουσιάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού. Έτσι:

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης (%)	
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
	2ο έτος	5000	0		100.00	
	3ο έτος	5000	0		100.00	
	4ο έτος	5000	0		100.00	
	5ο έτος	5000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	0	100.00	100.00
	2ο έτος	10000	0		100.00	
	3ο έτος	10000	0		100.00	
	4ο έτος	10000	0		100.00	
	5ο έτος	10000	0		100.00	
20000	1ο έτος	20000	0	5000	100.00	95.00
	2ο έτος	20000	0		100.00	
	3ο έτος	20000	0		100.00	
	4ο έτος	15000	5000		75.00	
	5ο έτος	20000	0		100.00	
30000	1ο έτος	30000	0	55000	100.00	63.33
	2ο έτος	30000	0		100.00	
	3ο έτος	25000	5000		83.33	
	4ο έτος	10000	20000		33.33	
	5ο έτος	0	30000		0.00	
40000	1ο έτος	40000	0	105000	100.00	47.50
	2ο έτος	35000	5000		87.50	
	3ο έτος	20000	20000		50.00	
	4ο έτος	0	40000		0.00	
	5ο έτος	0	40000		0.00	
50000	1ο έτος	50000	0	155000	100.00	38.00
	2ο έτος	45000	5000		90.00	
	3ο έτος	0	50000		0.00	
	4ο έτος	0	50000		0.00	
	5ο έτος	0	50000		0.00	
100000	1ο έτος	100000	0	305000	100.00	39.00
	2ο έτος	95000	5000		95.00	
	3ο έτος	0	100000		0.00	
	4ο έτος	0	100000		0.00	
	5ο έτος	0	100000		0.00	

Σχήμα 5.14: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται ο προϋπολογισμός, αυξάνεται το συνολικό ανεκμετάλλευτο υπόλοιπο, δηλαδή το ανεκμετάλλευτο μέρος του διατιθέμενου προϋπολογισμού, μειώνεται το ποσοστό εκμετάλλευσης ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης.

5.3.2 Αποτελέσματα για διαφορετικό μειωτικό συντελεστή w_i

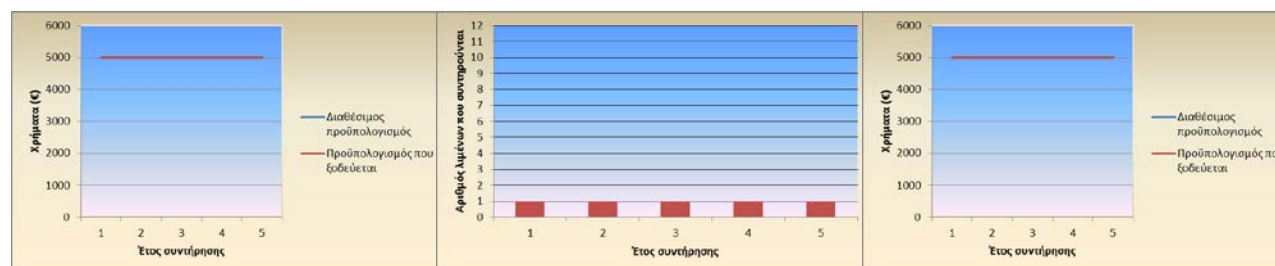
Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για σταθερό ετήσιο προϋπολογισμό 5000€, 10000€, 20000€, 30000€, 40000€, 50000€ και 100000€ με την υπόθεση **διαφορετικού μειωτικού συντελεστή w_i** . Πιο συγκεκριμένα, πλέον οι τιμές του μειωτικού συντελεστή είναι:

Έτος συντήρησης	1	2	3	4	5
W_{inew}	1	0.95	0.9	0.85	0.8
W_{old}	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Πίνακας 5.1: Νέες τιμές του μειωτικού συντελεστή w_i

Ακολούθως, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Σταθερός προϋπολογισμός 5000 €



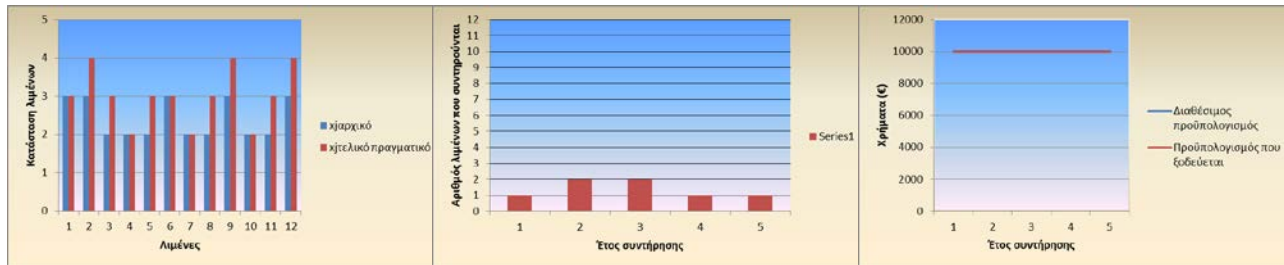
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.15: Σταθερός προϋπολογισμός 5000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

β) Σταθερός προϋπολογισμός 10000 €



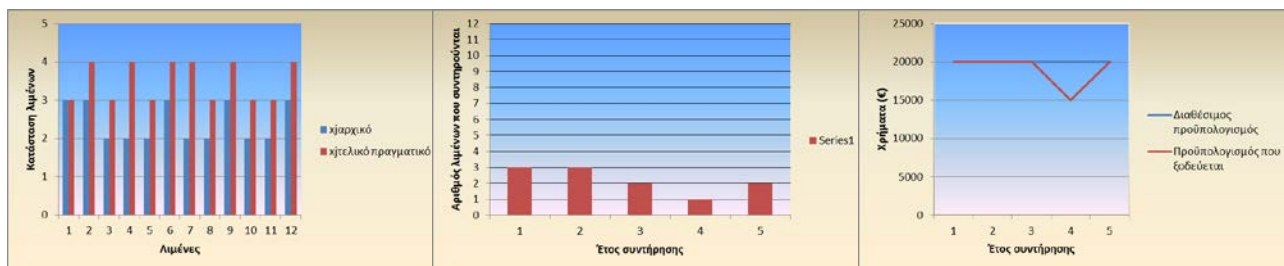
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.16: Σταθερός προϋπολογισμός 10000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

γ) Σταθερός προϋπολογισμός 20000 €



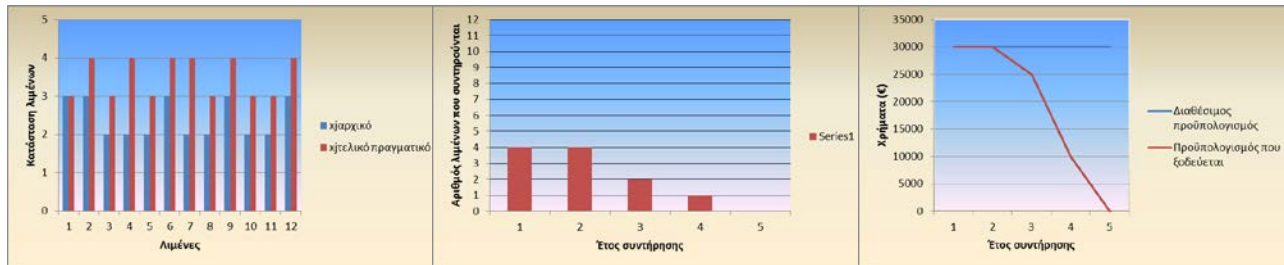
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.17: Σταθερός προϋπολογισμός 20000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

δ) Σταθερός προϋπολογισμός 30000 €



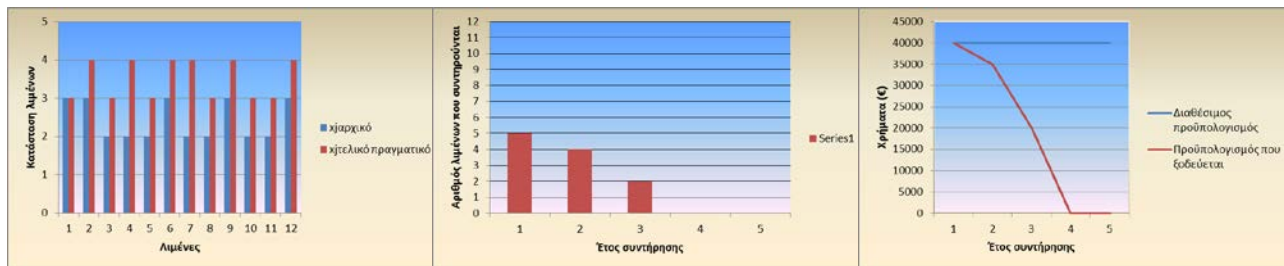
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.18: Σταθερός προϋπολογισμός 30000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

ε) Σταθερός προϋπολογισμός 40000 €



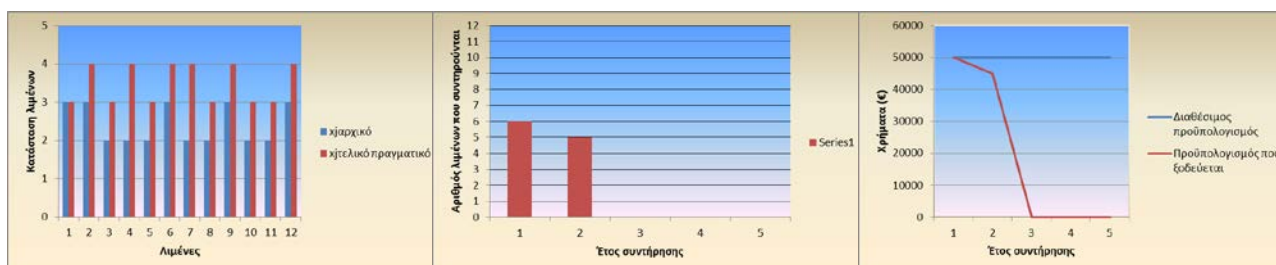
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.19: Σταθερός προϋπολογισμός 40000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

στ) Σταθερός προϋπολογισμός 50000 €



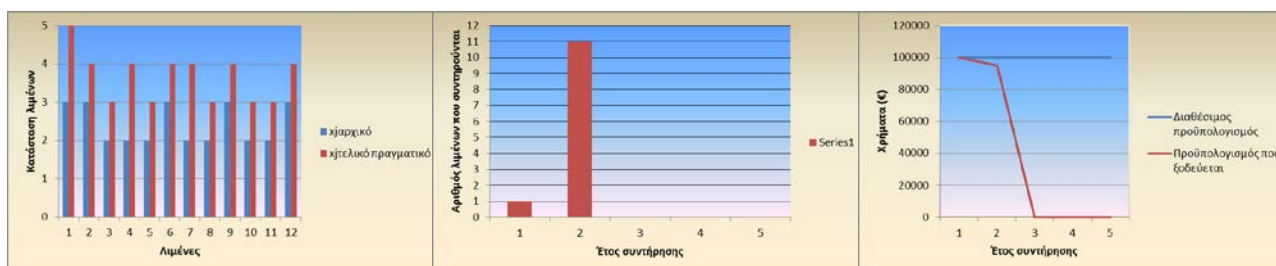
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.20: Σταθερός προϋπολογισμός 50000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

ζ) Σταθερός προϋπολογισμός 100000 €



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.21: Σταθερός προϋπολογισμός 50000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω σχήματα, γίνεται αντιληπτό ότι τα αποτελεσμάτα από την εφαρμογή του μοντέλου για διαφορετικό μειωτικό συντελεστή w_i είναι **τα ίδια με την περίπτωση των αρχικών συνθηκών**. Στα παρακάτω σχήματα **Σχήμα 5.22** και **Σχήμα 5.23** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης και η κατανομή του προϋπολογισμού αντίστοιχα.

		Σταθερός ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
20000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
30000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
40000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
100000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												

Σχήμα 5.22: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλευσης (%)	
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
	2ο έτος	5000	0		100.00	
	3ο έτος	5000	0		100.00	
	4ο έτος	5000	0		100.00	
	5ο έτος	5000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	0	100.00	100.00
	2ο έτος	10000	0		100.00	
	3ο έτος	10000	0		100.00	
	4ο έτος	10000	0		100.00	
	5ο έτος	10000	0		100.00	
20000	1ο έτος	20000	0	5000	100.00	95.00
	2ο έτος	20000	0		100.00	
	3ο έτος	20000	0		100.00	
	4ο έτος	15000	5000		75.00	
	5ο έτος	20000	0		100.00	
30000	1ο έτος	30000	0	55000	100.00	63.33
	2ο έτος	30000	0		100.00	
	3ο έτος	25000	5000		83.33	
	4ο έτος	10000	20000		33.33	
	5ο έτος	0	30000		0.00	
40000	1ο έτος	40000	0	105000	100.00	47.50
	2ο έτος	35000	5000		87.50	
	3ο έτος	20000	20000		50.00	
	4ο έτος	0	40000		0.00	
	5ο έτος	0	40000		0.00	
50000	1ο έτος	50000	0	155000	100.00	38.00
	2ο έτος	45000	5000		90.00	
	3ο έτος	0	50000		0.00	
	4ο έτος	0	50000		0.00	
	5ο έτος	0	50000		0.00	
100000	1ο έτος	100000	0	305000	100.00	39.00
	2ο έτος	95000	5000		95.00	
	3ο έτος	0	100000		0.00	
	4ο έτος	0	100000		0.00	
	5ο έτος	0	100000		0.00	

Σχήμα 5.23: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

5.3.3 Αποτελέσματα για διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για σταθερό ετήσιο προϋπολογισμό 5000€, 10000€, 20000€, 30000€, 40000€, 50000€ και 100000€ με την υπόθεση **διαφορετικής αρχικής κατάστασης των λιμένων**. Πιο συγκεκριμένα, πλέον η αρχική κατάσταση των λιμένων θεωρείται χειρότερη σε σχέση με πριν:

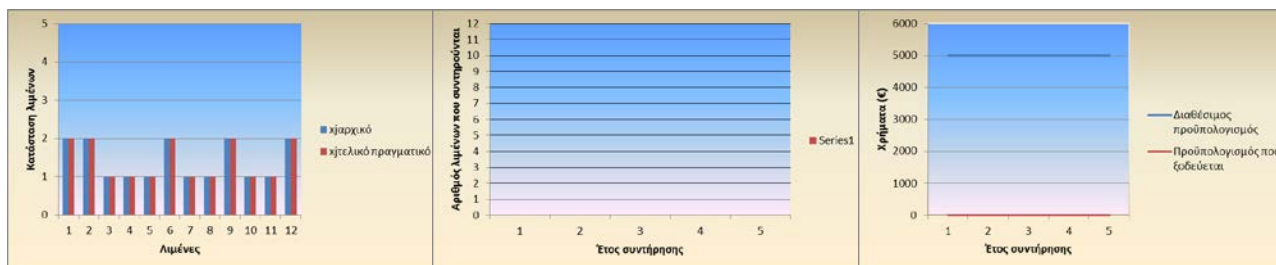
α/α	Όνομα λιμένα	Αρχική κατάσταση χιρσικό	Τελική κατάσταση χιρσικό ιδεατό	ΔΧ
1	Πειραιάς	2	5	3
2	Θεσσαλονίκη	2	4	2
3	Αλεξανδρούπολη	1	3	2
4	Καβάλα	1	4	3
5	Βόλος	1	3	2
6	Ραφήνα	2	4	2
7	Λαύριο	1	4	3
8	Ελευσίνα	1	3	2
9	Πάτρα	2	4	2
10	Ηγουμενίτσα	1	3	2
11	Κέρκυρα	1	3	2
12	Ηράκλειο	2	4	2

Σχήμα 5.24: Νέα αρχική κατάσταση λιμένων

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται περισσότερα χρήματα για τη συντήρηση του κάθε λιμένα.

Ακολούθως, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Σταθερός προϋπολογισμός 5000 €



(α)

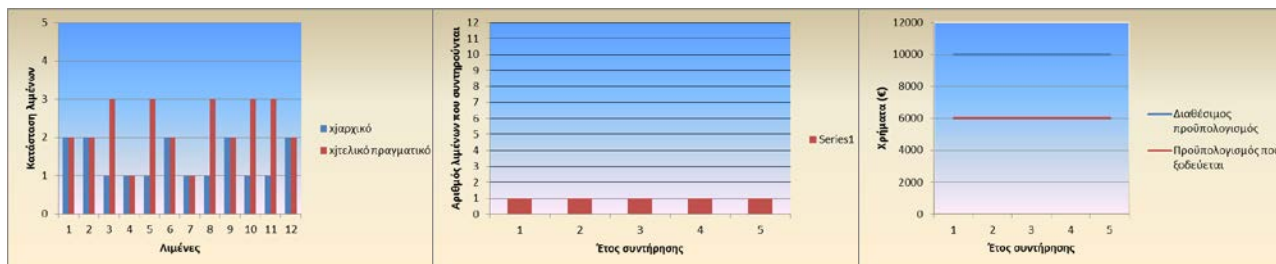
(β)

(γ)

Σχήμα 5.25: Σταθερός προϋπολογισμός 5000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 5000 €**, δε συντηρείται κανένα λιμάνι.

β) Σταθερός προϋπολογισμός 10000 €



(α)

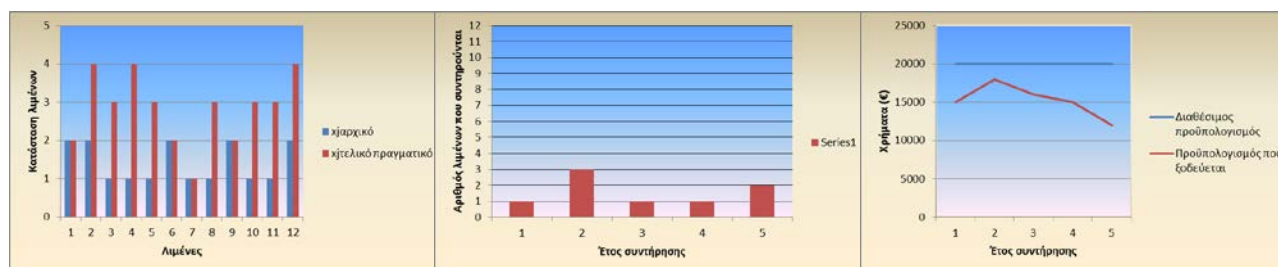
(β)

(γ)

Σχήμα 5.26: Σταθερός προϋπολογισμός 10000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 10000 €**: (α) συντηρούνται 5 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) σε κάθε έτος συντηρείται ένα λιμάνι, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού περισσεύουν 4000 € ανά έτος.

γ) Σταθερός προϋπολογισμός 20000 €



(α)

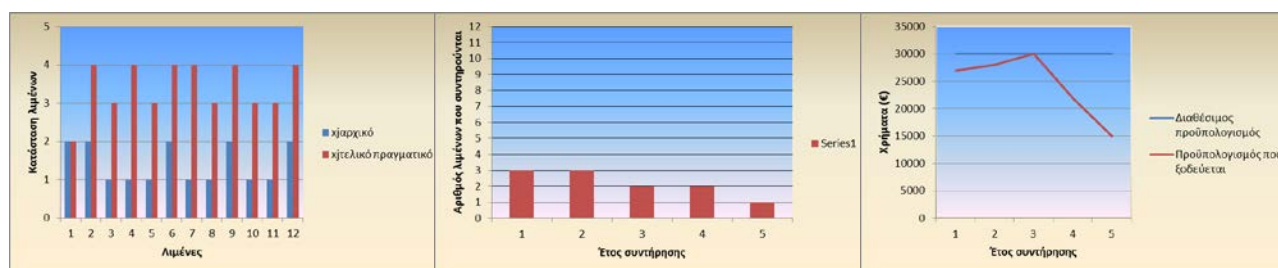
(β)

(γ)

Σχήμα 5.27: Σταθερός προϋπολογισμός 20000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 20000 €**: (α) συντηρούνται 8 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) σε κάθε έτος συντηρείται ένα λιμάνι, εκτός από το δεύτερο έτος που συντηρούνται 3 λιμάνια και το πέμπτο έτος που συντηρούνται δύο λιμάνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού περισσεύουν σε κάθε έτος χρήματα.

δ) Σταθερός προϋπολογισμός 30000 €



(α)

(β)

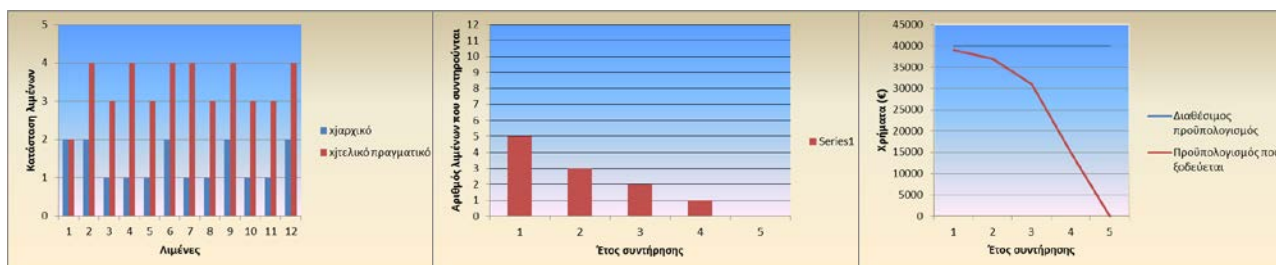
(γ)

Σχήμα 5.28: Σταθερός προϋπολογισμός 30000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 30000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το πρώτο και το δεύτερο έτος συντηρούνται 3 λιμάνια για κάθε χρονιά, το τρίτο και το τέταρτο συντηρούνται 2 λιμάνια για κάθε χρονιά και τον πέμπτο χρόνο 1 λιμάνι, ενώ (γ)

δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού περισσεύουν σε κάθε έτος χρήματα, εκτός από το τρίτο έτος που καταναλώνεται όλος ο προϋπολογισμός.

ε) Σταθερός προϋπολογισμός 40000 €



(α)

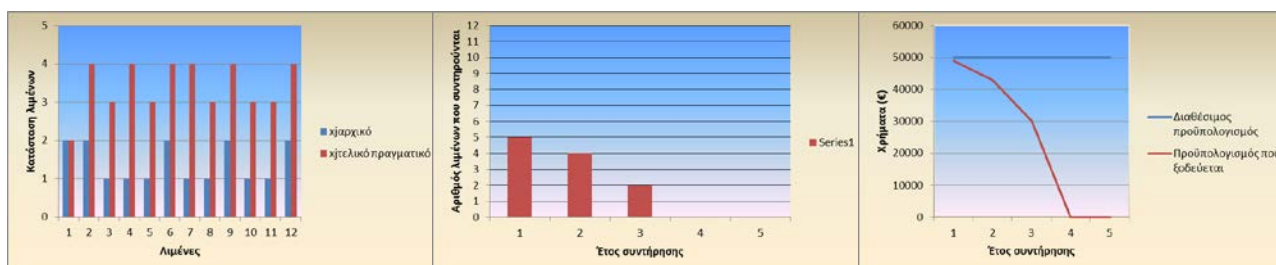
(β)

(γ)

Σχήμα 5.29: Σταθερός προϋπολογισμός 40000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 40000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το πρώτο έτος συντηρούνται πέντε λιμάνια, το δεύτερο έτος τρία λιμάνια, το τρίτο έτος συντηρούνται δύο λιμάνια και το τέταρτο έτος συντηρείται ένα λιμάνι, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού περισσεύουν σε κάθε έτος χρήματα, ενώ το πέμπτο έτος δεν καταναλώνεται καθόλου ο προϋπολογισμός.

στ) Σταθερός προϋπολογισμός 50000 €



(α)

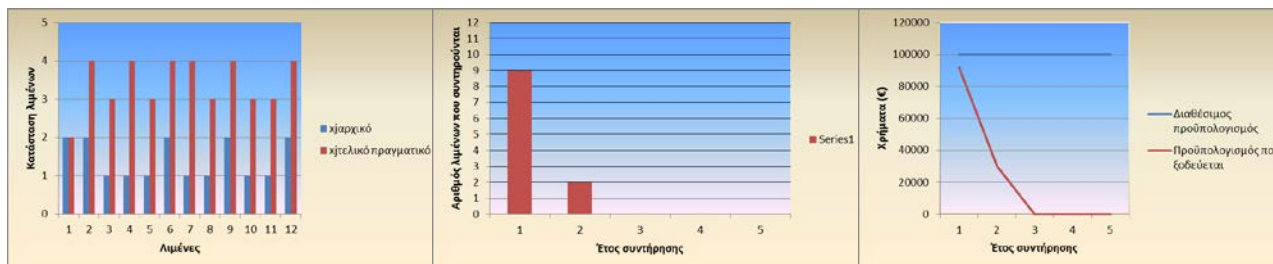
(β)

(γ)

Σχήμα 5.30: Σταθερός προϋπολογισμός 50000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 50000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το πρώτο έτος συντηρούνται πέντε λιμάνια, το δεύτερο έτος τέσσερα λιμάνια και το τρίτο έτος συντηρούνται δύο λιμάνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού περισσεύουν σε κάθε έτος χρήματα, ενώ τα δύο τελευταία χρόνια δεν καταναλώνεται καθόλου ο προϋπολογισμός.

στ) Σταθερός προϋπολογισμός 100000 €



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.31: Σταθερός προϋπολογισμός 100000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 100000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το πρώτο έτος συντηρούνται εννιά λιμάνια και το δεύτερο έτος δύο λιμάνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού περισσεύουν σε κάθε έτος χρήματα, ενώ τα τρία τελευταία χρόνια δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.32** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν.

Από αυτό κανείς παρατηρεί τα εξής:

- Καθώς αυξάνεται ο ετήσιος προϋπολογισμός, αυξάνεται και ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται.
- Καθώς αυξάνεται ο ετήσιος προϋπολογισμός, η συντήρηση γίνεται τα πρώτα χρόνια.
- Το λιμάνι του Πειραιά δε συντηρείται, καθώς απαιτεί χρήματα, τα οποία δεν διατίθενται σε κανένα ετήσιο προϋπολογισμό.

- Καθώς στο συγκεκριμένο σενάριο χειροτέρευσε η αρχική κατάσταση των λιμένων, το πρώτο πρόγραμμα συντήρησης με ετήσιο προϋπολογισμό 5000 € δεν οδήγησε στη συντήρηση κανενός λιμένα.

		Σταθερός ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
20000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
30000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
40000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
100000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												

Σχήμα 5.32: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.33** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του

διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού. Από αυτό μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι ο ετήσιος προϋπολογισμός των 5000 € παραμένει ανεκμετάλετος διότι είναι πολύ μικρός για να συντηρήσει κάποιο λιμάνι, ενώ σταδιακά με την αύξηση του ετήσιου προϋπολογισμού αυξάνεται το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης. Από τον προϋπολογισμό των 40000 € το ποσοστό εκμετάλλευσης μειώνεται.

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης (%)	
5000	1ο έτος	0	5000	25000	0.00	0.00
	2ο έτος	0	5000		0.00	
	3ο έτος	0	5000		0.00	
	4ο έτος	0	5000		0.00	
	5ο έτος	0	5000		0.00	
10000	1ο έτος	6000	4000	20000	60.00	60.00
	2ο έτος	6000	4000		60.00	
	3ο έτος	6000	4000		60.00	
	4ο έτος	6000	4000		60.00	
	5ο έτος	6000	4000		60.00	
20000	1ο έτος	15000	5000	24000	75.00	76.00
	2ο έτος	18000	2000		90.00	
	3ο έτος	16000	4000		80.00	
	4ο έτος	15000	5000		75.00	
	5ο έτος	12000	8000		60.00	
30000	1ο έτος	27000	3000	58000	90.00	81.33
	2ο έτος	28000	2000		93.33	
	3ο έτος	30000	30000		100.00	
	4ο έτος	22000	8000		73.33	
	5ο έτος	15000	15000		50.00	
40000	1ο έτος	39000	1000	78000	97.50	61.00
	2ο έτος	37000	3000		92.50	
	3ο έτος	31000	9000		77.50	
	4ο έτος	15000	25000		37.50	
	5ο έτος	0	40000		0.00	
50000	1ο έτος	49000	1000	128000	98.00	48.80
	2ο έτος	43000	7000		86.00	
	3ο έτος	30000	20000		60.00	
	4ο έτος	0	50000		0.00	
	5ο έτος	0	50000		0.00	
100000	1ο έτος	92000	8000	378000	92.00	24.40
	2ο έτος	30000	70000		30.00	
	3ο έτος	0	100000		0.00	
	4ο έτος	0	100000		0.00	
	5ο έτος	0	100000		0.00	

Σχήμα 5.33: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

5.3.4 Αποτελέσματα για διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για σταθερό ετήσιο προϋπολογισμό 5000€, 10000€, 20000€, 30000€, 40000€, 50000€ και 100000€, 200000 € και 300000 € με την υπόθεση **διαφορετικών συντελεστών βαρύτητας**. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας διπλασιάζονται σε σχέση με τις αρχικές τους τιμές. Πλέον έχουμε:

Επιβατική κίνηση	σ_{pass}
≥ 20000000	10
< 20000000 και ≥ 10000000	8
< 10000000 και ≥ 1000000	6
< 1000000 και ≥ 100000	4
< 100000	2

Σχήμα 5.34: Νέος συντελεστής επιβατικής κίνησης σ_{pass}

Εμπορευματική κίνηση	σ_{cargo}
≥ 20000000	10
< 20000000 και ≥ 10000000	8
< 10000000 και ≥ 1000000	6
< 1000000 και ≥ 100000	4
< 100000	2

Σχήμα 5.35: Νέος συντελεστής εμπορευματικής κίνησης σ_{cargo}

Συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων	σ_{size}
≥ 8000	6
≥ 6000	5
≥ 3000	4
≥ 1000	3
< 1000	2

Σχήμα 5.36: Νέος συντελεστής μεγέθους σ_{size}

Ηλικία (έτη)	σ _{age}
150 έως 200	5
100 έως 150	4
50 έως 100	3

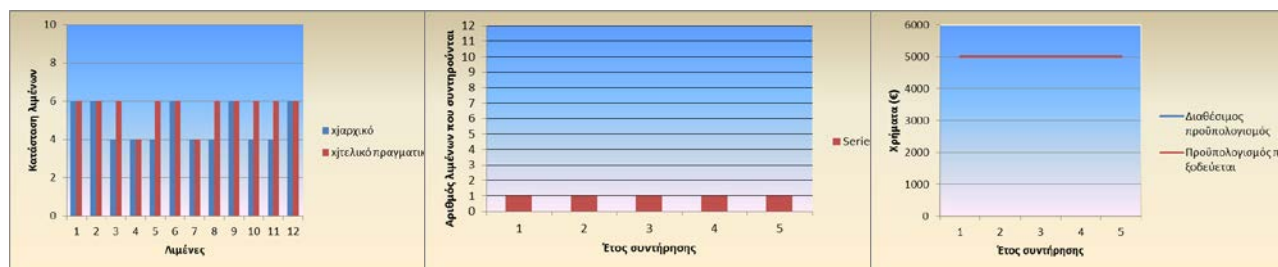
Σχήμα 5.37: Νέος συντελεστής ηλικίας σ_{age}

Κατάσταση λιμένα	Δείκτης κατάστασης
Εξαιρετική	10
Καλή	8
Μέτρια	6
Φτωχή	4
Πολύ φτωχή	2

Σχήμα 5.38: Νέος δείκτης κατάστασης για τα λιμάνια

Ακολούθως, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Σταθερός προϋπολογισμός 5000 €



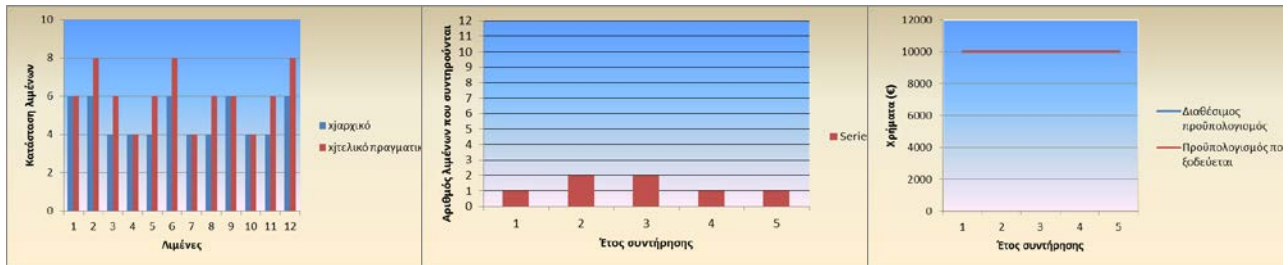
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.39: Σταθερός προϋπολογισμός 5000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

β) Σταθερός προϋπολογισμός 10000 €



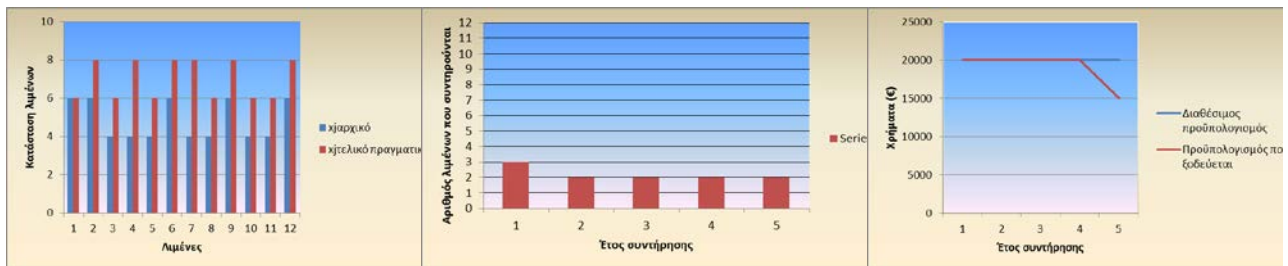
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.40: Σταθερός προϋπολογισμός 10000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

γ) Σταθερός προϋπολογισμός 20000 €



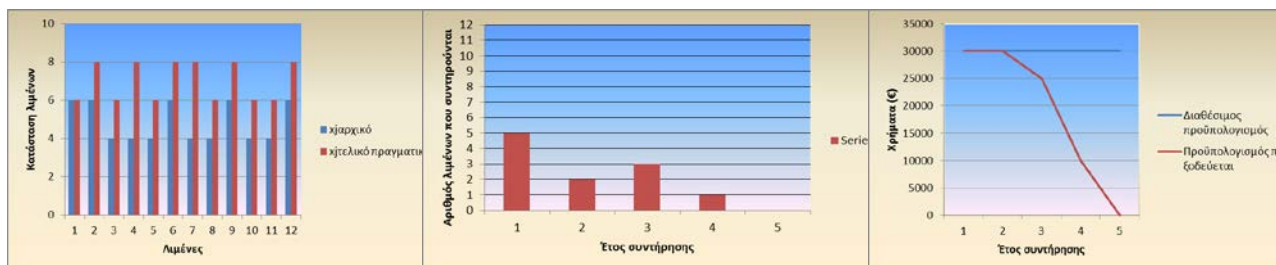
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.41: Σταθερός προϋπολογισμός 20000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

δ) Σταθερός προϋπολογισμός 30000 €



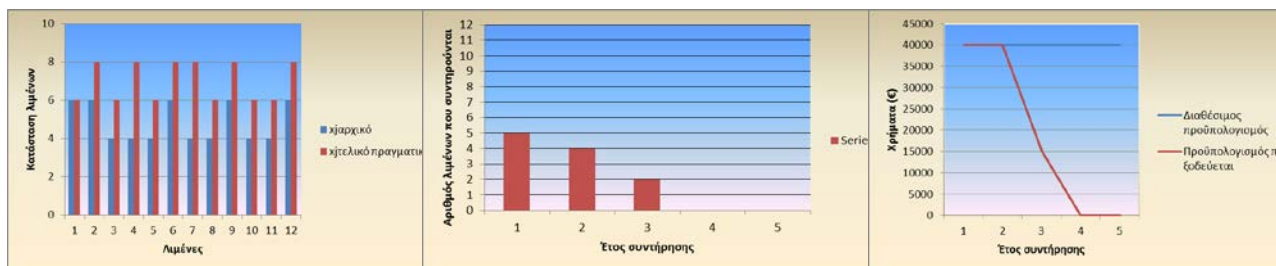
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.42: Σταθερός προϋπολογισμός 30000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

ε) Σταθερός προϋπολογισμός 40000 €



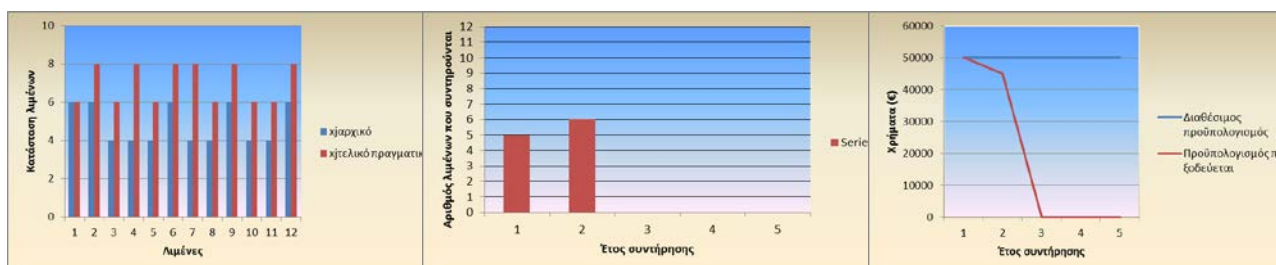
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.43: Σταθερός προϋπολογισμός 40000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

στ) Σταθερός προϋπολογισμός 50000 €



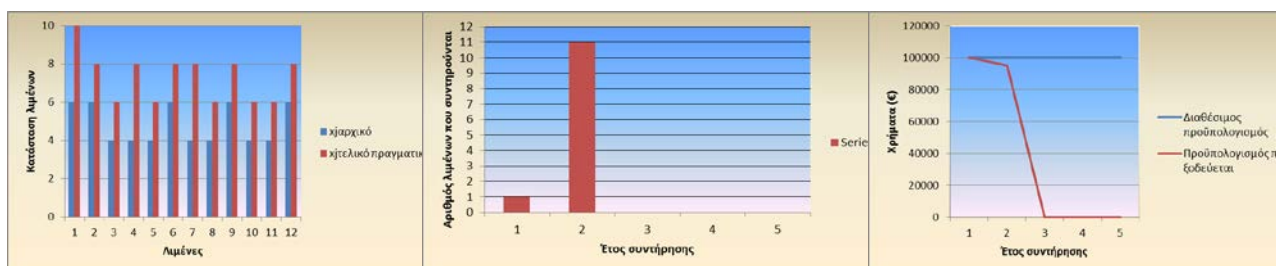
(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.44: Σταθερός προϋπολογισμός 50000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

ζ) Σταθερός προϋπολογισμός 100000 €



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.45: Σταθερός προϋπολογισμός 100000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.48** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμνών για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν. Από αυτό παρατηρεί κανείς ότι η κατανομή της συντήρησης για τους διάφορους προϋπολογισμούς είναι **παρόμοια με αυτή των αρχικών συνθηκών**.

		Σταθερός ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
20000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
30000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
40000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
100000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												

Σχήμα 5.46: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.49** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού.

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης (%)	
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
	2ο έτος	5000	0		100.00	
	3ο έτος	5000	0		100.00	
	4ο έτος	5000	0		100.00	
	5ο έτος	5000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	0	100.00	100.00
	2ο έτος	10000	0		100.00	
	3ο έτος	10000	0		100.00	
	4ο έτος	10000	0		100.00	
	5ο έτος	10000	0		100.00	
20000	1ο έτος	20000	0	5000	100.00	95.00
	2ο έτος	20000	0		100.00	
	3ο έτος	20000	0		100.00	
	4ο έτος	20000	0		100.00	
	5ο έτος	15000	5000		75.00	
30000	1ο έτος	30000	0	55000	100.00	63.33
	2ο έτος	30000	0		100.00	
	3ο έτος	25000	5000		83.33	
	4ο έτος	10000	20000		33.33	
	5ο έτος	0	30000		0.00	
40000	1ο έτος	40000	0	105000	100.00	47.50
	2ο έτος	40000	0		100.00	
	3ο έτος	15000	25000		37.50	
	4ο έτος	0	40000		0.00	
	5ο έτος	0	40000		0.00	
50000	1ο έτος	50000	0	155000	100.00	38.00
	2ο έτος	45000	5000		90.00	
	3ο έτος	0	50000		0.00	
	4ο έτος	0	50000		0.00	
	5ο έτος	0	50000		0.00	
100000	1ο έτος	100000	0	305000	100.00	39.00
	2ο έτος	95000	5000		95.00	
	3ο έτος	0	100000		0.00	
	4ο έτος	0	100000		0.00	
	5ο έτος	0	100000		0.00	

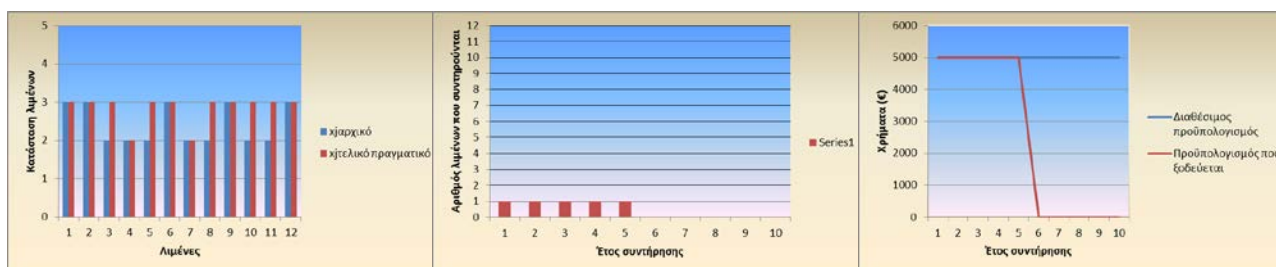
Σχήμα 5.47: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

Πιο συγκεκριμένα, στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού. Από αυτό μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι τα αποτελέσματα είναι **παρόμοια με αυτά για τις αρχικές συνθήκες**.

5.3.5 Αποτελέσματα για διπλασιασμό του χρονικού ορίζοντα συντήρησης

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για σταθερό ετήσιο προϋπολογισμό 5000€, 10000€, 20000€, 30000€ με την υπόθεση **διπλασιασμού του χρονικού ορίζοντα συντήρησης**, δηλαδή από 5 σε 10 χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Σταθερός προϋπολογισμός 5000 €



(α)

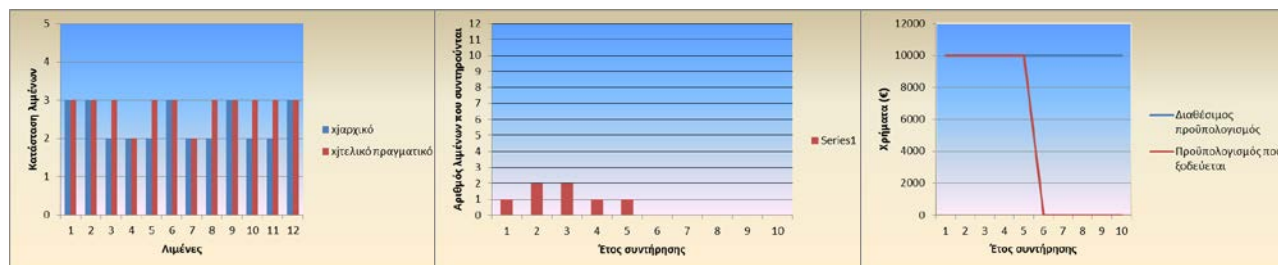
(β)

(γ)

Σχήμα 5.48: Σταθερός προϋπολογισμός 5000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 5000 €**: (α) συντηρούνται 5 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) σε κάθε έτος συντηρείται ένα λιμάνι, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού τα πέντε τελευταία χρόνια δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Σταθερός προϋπολογισμός 10000 €



(α)

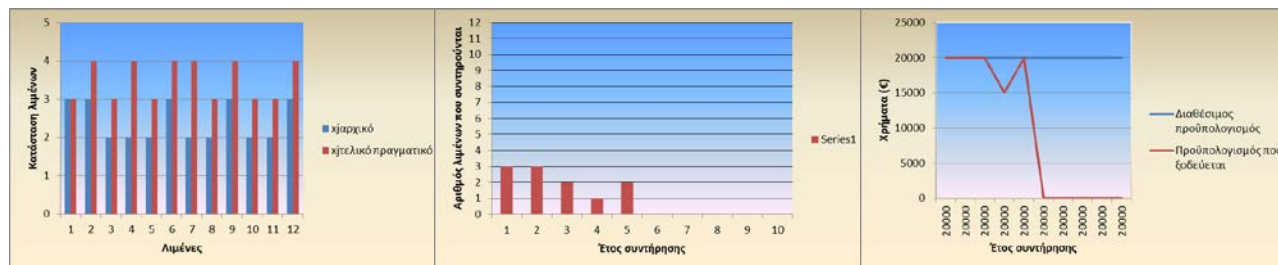
(β)

(γ)

Σχήμα 5.49: Σταθερός προϋπολογισμός 10000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 10000 €**: (α) συντηρούνται 7 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) συντηρείται ένα λιμάνι κάθε έτος, εκτός από τη δεύτερη και την τρίτη χρονιά, όπου συντηρούνται 2 λιμάνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού τα πέντε τελευταία χρόνια δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

γ) Σταθερός προϋπολογισμός 20000 €



(α)

(β)

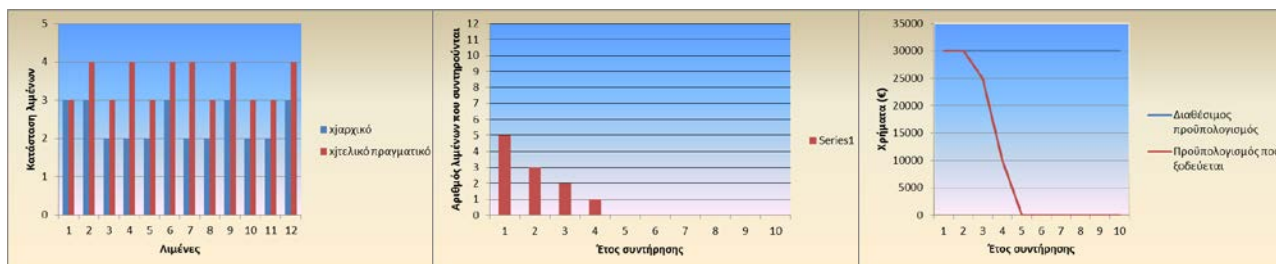
(γ)

Σχήμα 5.50: Σταθερός προϋπολογισμός 20000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 20000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το πρώτο και το δεύτερο έτος συντηρούνται τρία λιμάνια, το τρίτο έτος δύο

λιμάνια, το τέταρτο 1 λιμάνι και το πέμπτο έτος δύο λιμάνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού τα πέντε τελευταία χρόνια δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

δ) Σταθερός προϋπολογισμός 30000 €



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.51: Σταθερός προϋπολογισμός 30000 € (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό των 30000 €**: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το πρώτο έτος συντηρούνται πέντε λιμάνια, το δεύτερο έτος συντηρούνται τρία λιμάνια, το τρίτο έτος δύο λιμάνια και το τέταρτο 1 λιμάνι, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού, αφού τα έξι τελευταία χρόνια δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.54** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν. Από αυτό μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι με το διπλασιασμό του χρονικού ορίζοντα συντήρησης **δε διαφοροποιούνται τα αποτελέσματα** σε σχέση αυτά του αρχικού χρονικού ορίζοντα συντήρησης.

		Σταθερός ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
	6ο έτος												
	7ο έτος												
	8ο έτος												
	9ο έτος												
	10ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
	6ο έτος												
	7ο έτος												
	8ο έτος												
	9ο έτος												
	10ο έτος												
20000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
	6ο έτος												
	7ο έτος												
	8ο έτος												
	9ο έτος												
	10ο έτος												
30000 (€)	1ο έτος												
	2ο έτος												
	3ο έτος												
	4ο έτος												
	5ο έτος												
	6ο έτος												
	7ο έτος												
	8ο έτος												
	9ο έτος												
	10ο έτος												

Σχήμα 5.52: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα και για την κατανομή του προϋπολογισμού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα **Σχήμα 5.55:**

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλευσης (%)	
5000	1ο έτος	5000	0	25000	100.00	50.00
	2ο έτος	5000	0		100.00	
	3ο έτος	5000	0		100.00	
	4ο έτος	5000	0		100.00	
	5ο έτος	5000	0		100.00	
	6ο έτος	0	5000		0.00	
	7ο έτος	0	5000		0.00	
	8ο έτος	0	5000		0.00	
	9ο έτος	0	5000		0.00	
	10ο έτος	0	5000		0.00	
10000	1ο έτος	10000	0	50000	100.00	50.00
	2ο έτος	10000	0		100.00	
	3ο έτος	10000	0		100.00	
	4ο έτος	10000	0		100.00	
	5ο έτος	10000	0		100.00	
	6ο έτος	0	10000		0.00	
	7ο έτος	0	10000		0.00	
	8ο έτος	0	10000		0.00	
	9ο έτος	0	10000		0.00	
	10ο έτος	0	10000		0.00	
20000	1ο έτος	20000	0	105000	100.00	47.50
	2ο έτος	20000	0		100.00	
	3ο έτος	15000	5000		75.00	
	4ο έτος	20000	0		100.00	
	5ο έτος	20000	0		100.00	
	6ο έτος	0	20000		0.00	
	7ο έτος	0	20000		0.00	
	8ο έτος	0	20000		0.00	
	9ο έτος	0	20000		0.00	
	10ο έτος	0	20000		0.00	
30000	1ο έτος	30000	0	205000	100.00	31.67
	2ο έτος	30000	0		100.00	
	3ο έτος	25000	5000		83.33	
	4ο έτος	10000	20000		33.33	
	5ο έτος	0	30000		0.00	
	6ο έτος	0	30000		0.00	
	7ο έτος	0	30000		0.00	
	8ο έτος	0	30000		0.00	
	9ο έτος	0	30000		0.00	
	10ο έτος	0	30000		0.00	

Σχήμα 5.53: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

5.4 Αποτελέσματα για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν διάφορα σενάρια με τους εξής συνδυασμούς προϋπολογισμών:

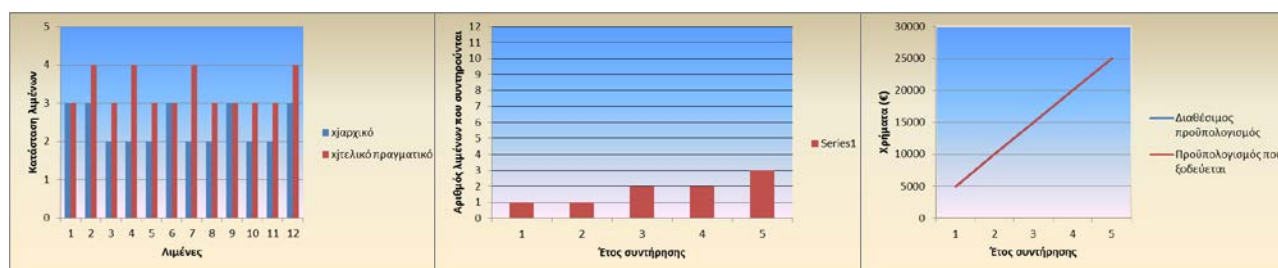
Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (€)					
α/α	1ο έτος	2ο έτος	3ο έτος	4ο έτος	5ο έτος
1	5000	10000	15000	20000	25000
2	1000	2000	3000	4000	5000
3	10000	15000	20000	25000	30000
4	1000	10000	20000	30000	40000
5	5000	10000	20000	50000	100000
6	10000	20000	40000	80000	160000
7	50000	100000	150000	200000	250000

Σχήμα 5.54: Συνδυασμοί προϋπολογισμών

5.4.1 Αποτελέσματα για τις αρχικές συνθήκες

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για τους διάφορους συνδυασμούς προϋπολογισμών. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Πρώτος συνδυασμός



(α)

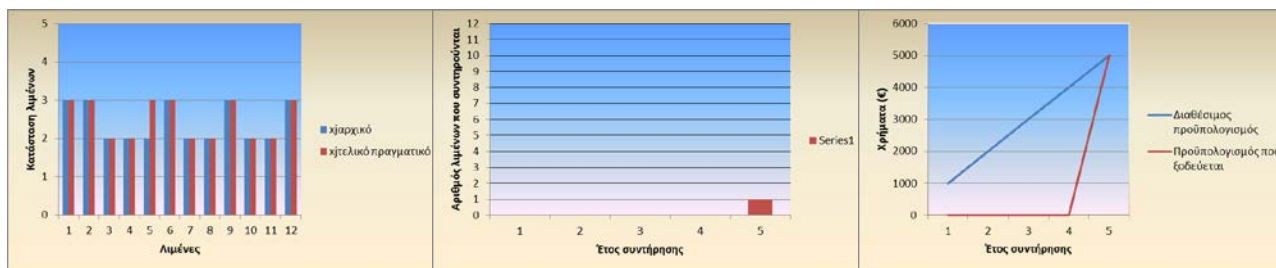
(β)

(γ)

Σχήμα 5.55: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο και το δεύτερο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι κάθε χρονιά, τον τρίτο και τον τέταρτο χρόνο συντηρούνται δύο λιμάνια κάθε χρονιά και τον πέμπτο χρόνο συντηρούνται τρία λιμάνια, ενώ (γ) καταναλώνεται όλος ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Δεύτερος συνδυασμός



(α)

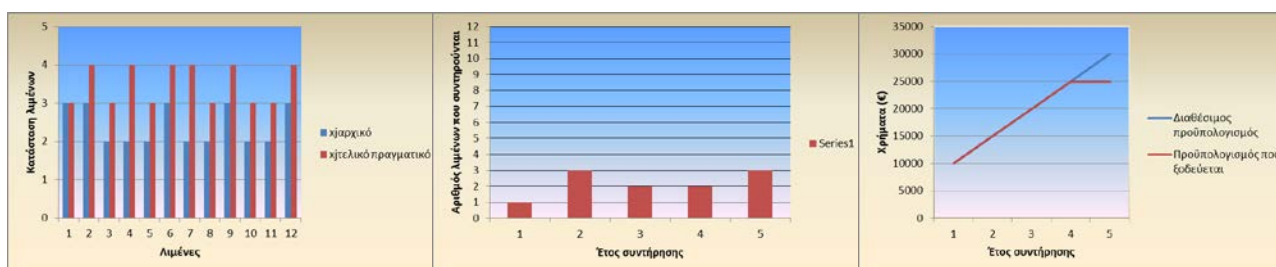
(β)

(γ)

Σχήμα 5.56: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, συντηρείται ένα λιμάνι, διότι είναι ιδιαίτερα χαμηλός.

γ) Τρίτος συνδυασμός



(α)

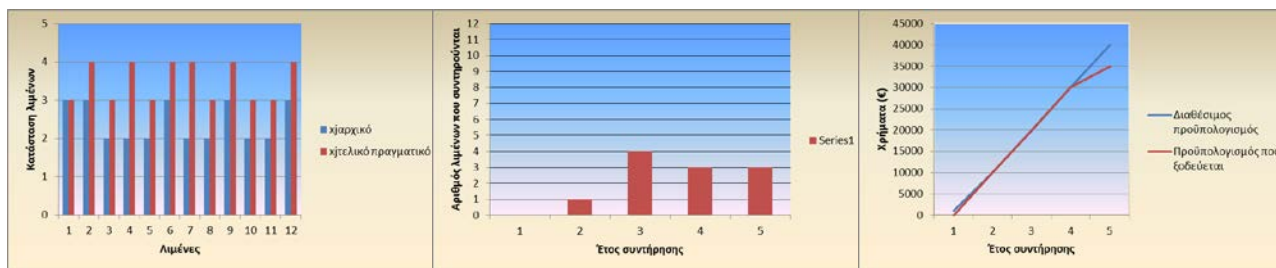
(β)

(γ)

Σχήμα 5.57: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, τον τρίτο και τον τέταρτο χρόνο συντηρούνται δύο λιμάνια κάθε χρονιά, ενώ το δεύτερο και τον πέμπτο χρόνο συντηρούνται τρία λιμάνια κάθε χρονιά ενώ (γ) καταναλώνεται σχεδόν στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

δ) Τέταρτος συνδυασμός



(α)

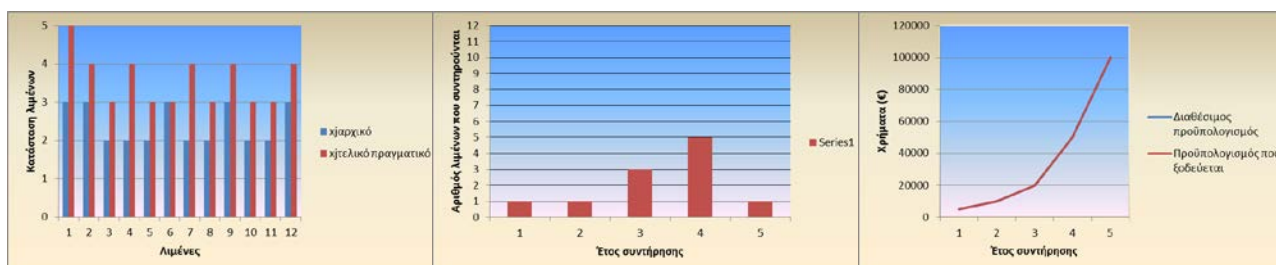
(β)

(γ)

Σχήμα 5.58: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο χρόνο δε συντηρείται κανένα λιμάνι, το δεύτερο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, τον τρίτο χρόνο χρόνο συντηρούνται τέσσερα λιμάνια, ενώ τον τέταρτο και τον πέμπτο χρόνο συντηρούνται τρία λιμάνια κάθε χρονιά, ενώ (γ) καταναλώνεται σχεδόν στο σύνολο του διατιθέμενος προϋπολογισμός.

ε) Πέμπτος συνδυασμός



(α)

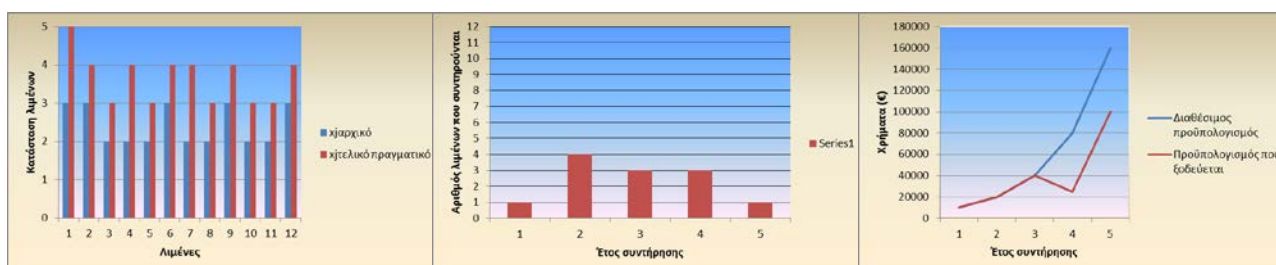
(β)

(γ)

Σχήμα 5.59: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο, το δεύτερο και τον πέμπτο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι κάθε χρονιά, τον τρίτο χρόνο συντηρούνται τρία λιμάνια και τον τέταρτο χρόνο συντηρούνται πέντε λιμάνια, ενώ (γ) καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού.

στ) Έκτος συνδυασμός



(α)

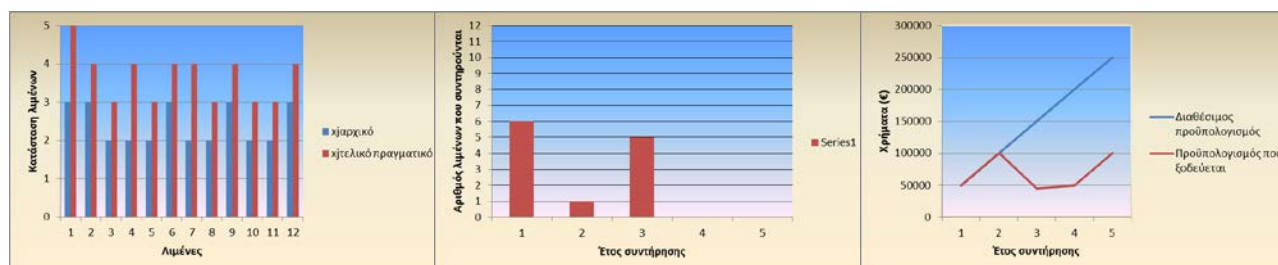
(β)

(γ)

Σχήμα 5.60: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται και τα 5 χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού.

ζ) Έβδομος συνδυασμός



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.61: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τρία πρώτα χρόνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται το σύνολο του διατιθέμενου προϋπολογισμού.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.64** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν.

		Μεταβαλλόμενος ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
10000(€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
20000 (€)	4ο έτος												
25000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
2000 (€)	2ο έτος												
3000 (€)	3ο έτος												
4000 (€)	4ο έτος												
5000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
15000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
25000 (€)	4ο έτος												
30000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
30000 (€)	4ο έτος												
40000 (€)	5ο έτος												
5000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
50000 (€)	4ο έτος												
100000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
20000 (€)	2ο έτος												
40000 (€)	3ο έτος												
80000 (€)	4ο έτος												
160000 (€)	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
100000 (€)	2ο έτος												
150000 (€)	3ο έτος												
200000 (€)	4ο έτος												
250000 (€)	5ο έτος												

Σχήμα 5.62: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Από το παραπάνω σχήμα μπορούν να εξαχθούν τα εξής:

- Σε σύγκριση με το σταθερό προϋπολογισμό, για ίδιους συνολικούς προϋπολογισμούς, ο αριθμός των λιμανιών που συντηρούνται με τον μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό είναι ίδιος.
- Καθώς αυξάνεται ο προϋπολογισμός, αυξάνεται και ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται.

- Όταν υπάρχει ο διαθέσιμος προϋπολογισμός σε κάποιο έτος, τότε η προτεραιότητα στη συντήρηση δίνεται στο λιμάνι με το μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας. Επί παραδείγματι, στον πέμπτο συνδυασμό προϋπολογισμού, στο πέμπτο έτος, συντηρείται το λιμάνι του Πειραιά, καθώς επαρκεί ο διαθέσιμος προϋπολογισμός για τη συντήρησή του.
- Για να συντηρηθούν και τα 12 λιμάνια, απαιτείται συνολικός διατιθέμενος προϋπολογισμός 310000 €.
- Στην περίπτωση του μεταβαλλόμενου προϋπολογισμού γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του διατιθέμενου προϋπολογισμού.

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.65** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού. Το κύριο χαρακτηριστικό του παρακάτω σχήματος είναι το γεγονός ότι τα ποσοστά εκμετάλλευσης των διατιθέμενων προϋπολογισμών είναι μεγαλύτερα **σε σύγκριση** με τα ποσοστά εκμετάλλευσης του σταθερού προϋπολογισμού.

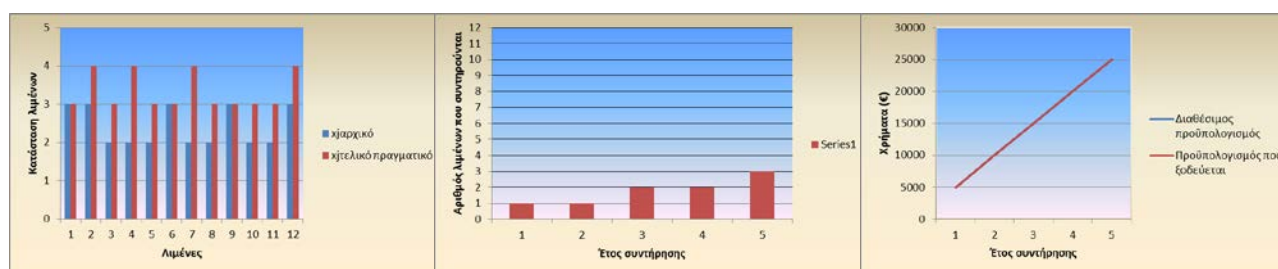
Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)		Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλευσης (%)
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
15000	3ο έτος	15000	0		100.00	
20000	4ο έτος	20000	0		100.00	
25000	5ο έτος	25000	0		100.00	
1000	1ο έτος	0	1000	10000	0.00	33.33
2000	2ο έτος	0	2000		0.00	
3000	3ο έτος	0	3000		0.00	
4000	4ο έτος	0	4000		0.00	
5000	5ο έτος	5000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	5000	100.00	95.00
15000	2ο έτος	15000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
25000	4ο έτος	25000	0		100.00	
30000	5ο έτος	25000	5000		83.33	
1000	1ο έτος	0	1000	6000	0.00	94.06
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
30000	4ο έτος	30000	0		100.00	
40000	5ο έτος	35000	5000		87.50	
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
50000	4ο έτος	50000	0		100.00	
100000	5ο έτος	100000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	115000	100.00	62.90
20000	2ο έτος	20000	0		100.00	
40000	3ο έτος	40000	0		100.00	
80000	4ο έτος	25000	55000		31.25	
160000	5ο έτος	100000	60000		62.50	
50000	1ο έτος	50000	0	555000	100.00	26.00
100000	2ο έτος	100000	0		100.00	
150000	3ο έτος	45000	105000		30.00	
200000	4ο έτος	0	200000		0.00	
250000	5ο έτος	0	250000		0.00	

Σχήμα 5.63: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

5.4.2 Αποτελέσματα για διαφορετικό μειωτικό συντελεστή w_i

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό με την υπόθεση **διαφορετικού μειωτικού συντελεστή w_i** . Οι τιμές του w_i έχουν παρουσιαστεί στον **Πίνακα 5.1**. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Πρώτος συνδυασμός



(α)

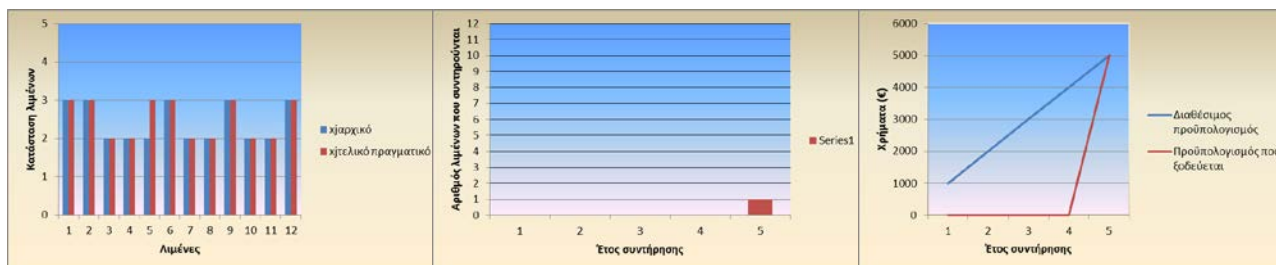
(β)

(γ)

Σχήμα 5.64: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, **δεν παρατηρούνται διαφορές** σε σχέση με την περίπτωση των αρχικών συνθηκών, καθώς: (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο χρόνο και το δεύτερο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι κάθε χρονιά, τον τρίτο και τον τέταρτο χρόνο συντηρούνται δύο λιμάνια κάθε χρονιά και τον πέμπτο χρόνο συντηρούνται τρία λιμάνια, ενώ (γ) καταναλώνεται όλος ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Δεύτερος συνδυασμός



(α)

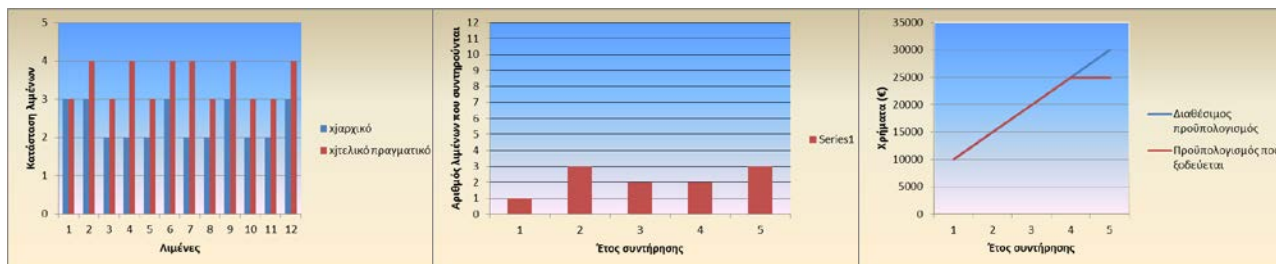
(β)

(γ)

Σχήμα 5.65: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό πραγματοποιείται η συντήρηση ενός λιμανιού.

γ) Τρίτος συνδυασμός



(α)

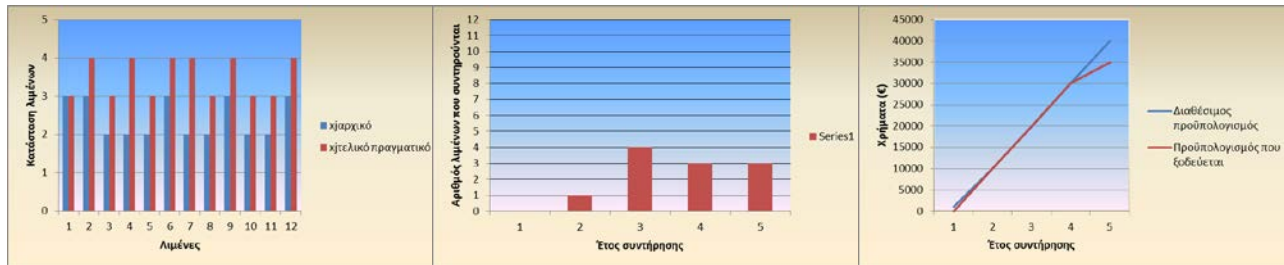
(β)

(γ)

Σχήμα 5.66: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το δεύτερο και τον πέμπτο χρόνο συντηρούνται 3 λιμάνια κάθε χρονιά, τον τρίτο και τον τέταρτο χρόνο συντηρούνται δύο λιμάνια κάθε χρονιά και τον πρώτο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, ενώ (γ) καταναλώνεται σχεδόν όλος ο διατιθέμενος προϋπολογισμός εκτός από την τελευταία χρονιά, όπου περισσεύουν 5000 €.

δ) Τέταρτος συνδυασμος



(α)

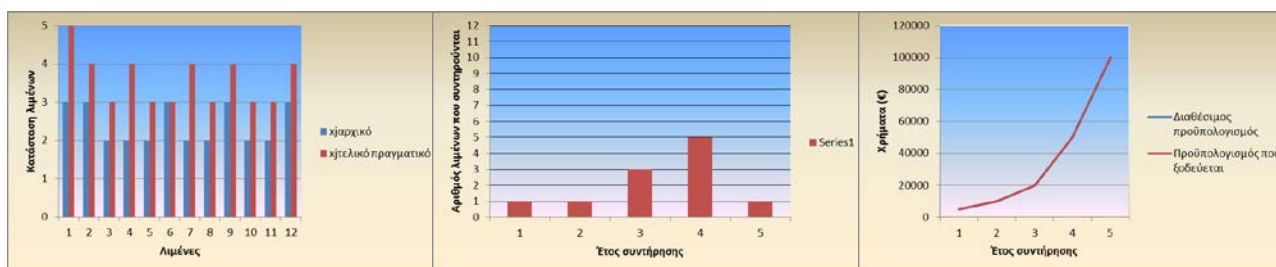
(β)

(γ)

Σχήμα 5.67: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον τέταρτο και τον πέμπτο χρόνο συντηρούνται 3 λιμάνια κάθε χρονιά, τον τρίτο χρόνο συντηρούνται τέσσερα λιμάνια, το δεύτερο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, ενώ δε συντηρείται κανένα λιμάνι την πρώτη χρονιά. Τέλος, (γ) καταναλώνεται σχεδόν όλος ο διατιθέμενος προϋπολογισμός εκτός από την τελευταία χρονιά, όπου περισσεύουν 5000 € και την τελευταία χρονιά, όπου δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

ε) Πέμπτος συνδυασμος



(α)

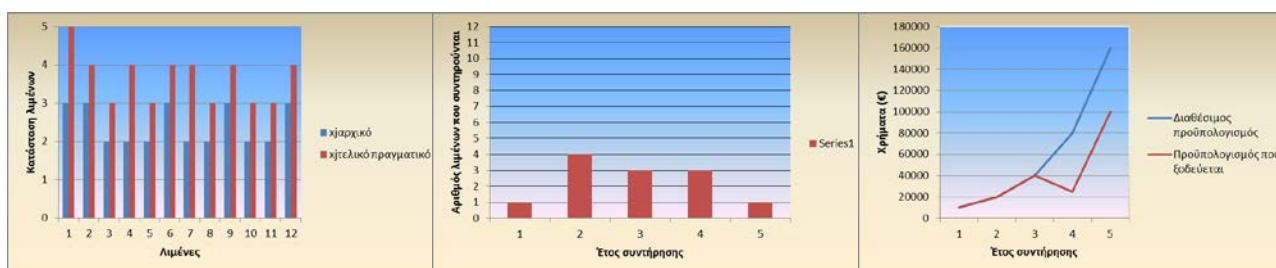
(β)

(γ)

Σχήμα 5.68: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) κάθε χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, εκτός από την τρίτη χρονιά, όπου συντηρούνται τρία λιμάνια και την τέταρτη χρονιά, όπου συντηρούνται πέντε λιμάνια. Τέλος, (γ) καταναλώνεται όλος ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

στ) Έκτος συνδυασμος



(α)

(β)

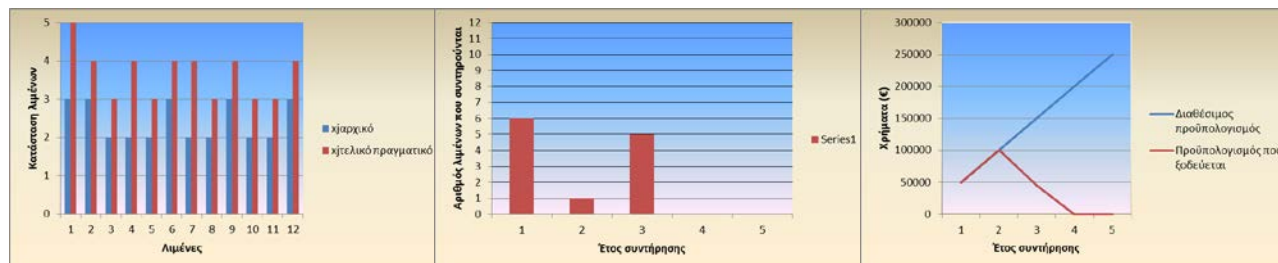
(γ)

Σχήμα 5.69: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο και τον πέμπτο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, τη δεύτερη χρονιά συντηρούνται τέσσερα λιμάνια, ενώ την τρίτη και την τέταρτη χρονιά συντηρούνται τρία λιμάνια κάθε χρονιά. Τέλος,

(γ) δεν καταναλώνεται όλος ο διατιθέμενος προϋπολογισμός, αφού το τέταρτο και το πέμπτο έτος περισσεύουν χρήματα.

ζ) Έβδομος συνδυασμός



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.70: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τρία πρώτα χρόνια μόνο. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται καθόλου ο διατιθέμενος προϋπολογισμός το τέταρτο και το πέμπτο έτος.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.73** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν.

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι **τα αποτελέσματα είναι παρόμοια** με την περίπτωση των αρχικών συνθηκών.

		Μεταβαλλόμενος ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
10000(€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
20000 (€)	4ο έτος												
25000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
2000 (€)	2ο έτος												
3000 (€)	3ο έτος												
4000 (€)	4ο έτος												
5000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
15000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
25000 (€)	4ο έτος												
30000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
30000 (€)	4ο έτος												
40000 (€)	5ο έτος												
5000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
50000 (€)	4ο έτος												
100000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
20000 (€)	2ο έτος												
40000 (€)	3ο έτος												
80000 (€)	4ο έτος												
160000 (€)	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
100000 (€)	2ο έτος												
150000 (€)	3ο έτος												
200000 (€)	4ο έτος												
250000 (€)	5ο έτος												

Σχήμα 5.71: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Στο **Σχήμα 5.74** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού.

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)		Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης (%)
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
15000	3ο έτος	15000	0		100.00	
20000	4ο έτος	20000	0		100.00	
25000	5ο έτος	25000	0		100.00	
1000	1ο έτος	0	1000	10000	0.00	33.33
2000	2ο έτος	0	2000		0.00	
3000	3ο έτος	0	3000		0.00	
4000	4ο έτος	0	4000		0.00	
5000	5ο έτος	5000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	5000	100.00	95.00
15000	2ο έτος	15000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
25000	4ο έτος	25000	0		100.00	
30000	5ο έτος	25000	5000		83.33	
1000	1ο έτος	0	1000	6000	0.00	94.06
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
30000	4ο έτος	30000	0		100.00	
40000	5ο έτος	35000	5000		87.50	
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
50000	4ο έτος	50000	0		100.00	
100000	5ο έτος	100000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	115000	100.00	62.90
20000	2ο έτος	20000	0		100.00	
40000	3ο έτος	40000	0		100.00	
80000	4ο έτος	25000	55000		31.25	
160000	5ο έτος	100000	60000		62.50	
50000	1ο έτος	50000	0	555000	100.00	26.00
100000	2ο έτος	100000	0		100.00	
150000	3ο έτος	45000	105000		30.00	
200000	4ο έτος	0	200000		0.00	
250000	5ο έτος	0	250000		0.00	

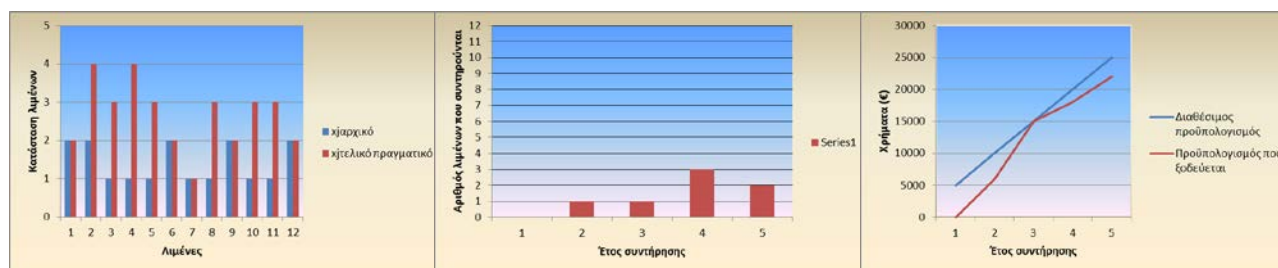
Σχήμα 5.72: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι η επίλυση με το διαφορετικό μειωτικό συντελεστή έχει τα ίδια ποσοστά εκμετάλλευσης με αυτά των αρχικών συνθηκών.

5.4.3 Αποτελέσματα για διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό με την υπόθεση **διαφορετικής αρχικής κατάστασης των λιμένων**. Πιο συγκεκριμένα, πλέον, η αρχική κατάσταση των λιμένων θεωρείται χειρότερη σε σχέση με πριν. Αυτή δίνεται στο **Σχήμα 5.24** που παρουσιάστηκε παραπάνω. Η χειροτέρευση της κατάστασης έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση περισσότερων χρήματων για τη συντήρηση κάθε λιμένα. Ακολουθως, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Πρώτος συνδυασμός



(α)

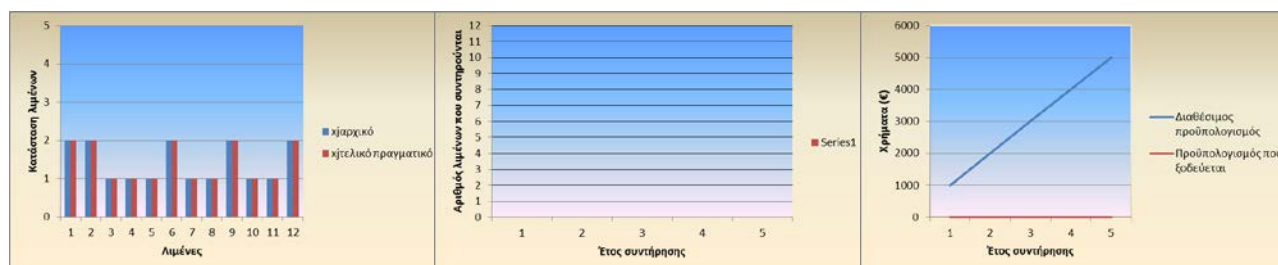
(β)

(γ)

Σχήμα 5.73: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, **σε αντίθεση με την περίπτωση των αρχικών συνθηκών:** (α) συντηρούνται 7 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) το δεύτερο και τον τρίτο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι κάθε χρονιά, την τέταρτη χρονιά τρία λιμάνια και την πέμπτη δύο, ενώ δε συντηρείται κανένα λιμάνι την πρώτη χρονιά. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Δεύτερος συνδυασμός



(α)

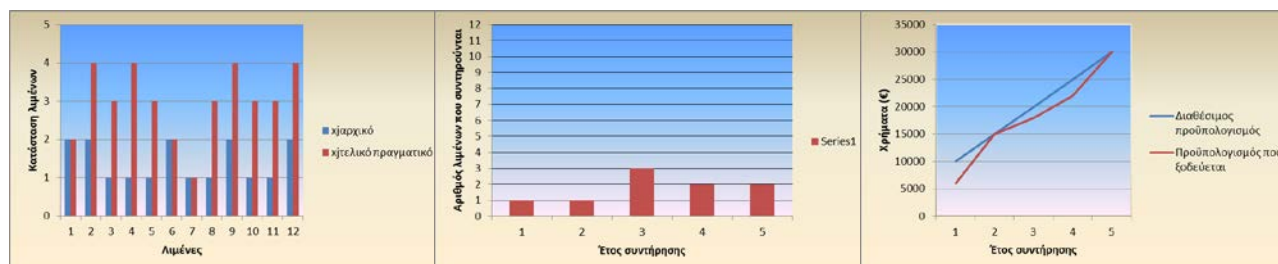
(β)

(γ)

Σχήμα 5.74: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό, δε συντηρείται κανένα λιμάνι, διότι είναι ιδιαίτερα χαμηλός.

γ) Τρίτος συνδυασμός



(α)

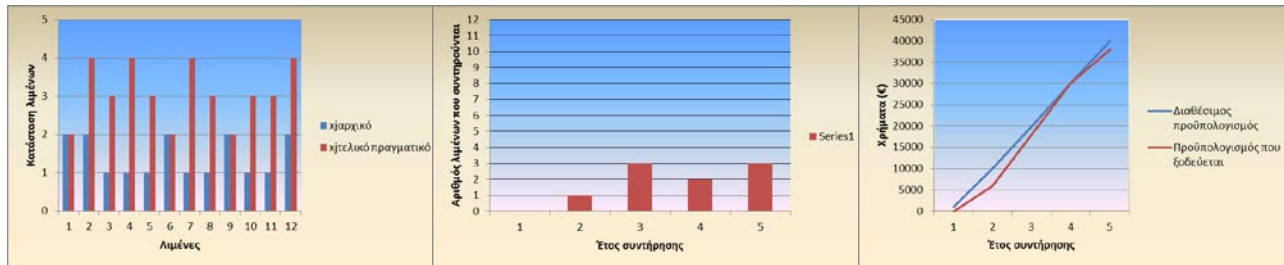
(β)

(γ)

Σχήμα 5.75: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό **σε αντίθεση με την περίπτωση των αρχικών συνθηκών:** (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο και το δεύτερο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι κάθε χρονιά, την τέταρτη χρονιά και την πέμπτη χρονιά συντηρούνται δύο λιμάνια κάθε χρονιά, ενώ την τρίτη χρονιά τρία λιμάνια. Τέλος, (γ) καταναλώνεται σχεδόν στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

δ) Τέταρτος συνδυασμός



(α)

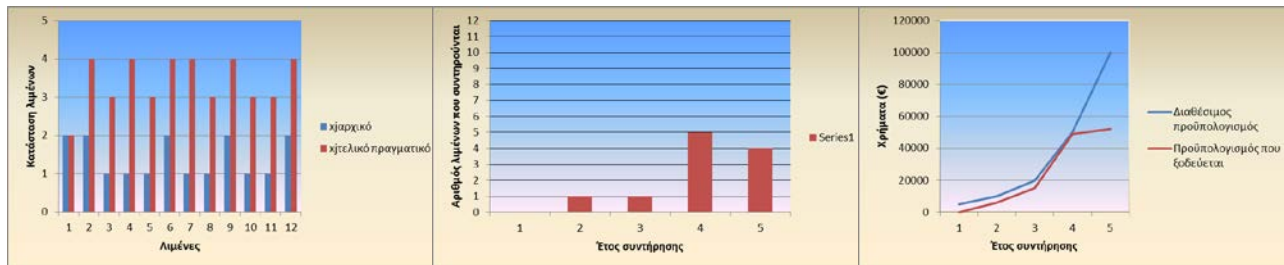
(β)

(γ)

Σχήμα 5.76: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό **σε αντίθεση με την περίπτωση των αρχικών συνθηκών:** (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο χρόνο δε συντηρείται κανένα λιμάνι, το δεύτερο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, την τρίτη και την πέμπτη χρονιά συντηρούνται τρία λιμάνια κάθε χρονιά, ενώ την τέταρτη χρονιά δύο λιμάνια. Τέλος, (γ) καταναλώνεται σχεδόν στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

ε) Πέμπτος συνδυασμός



(α)

(β)

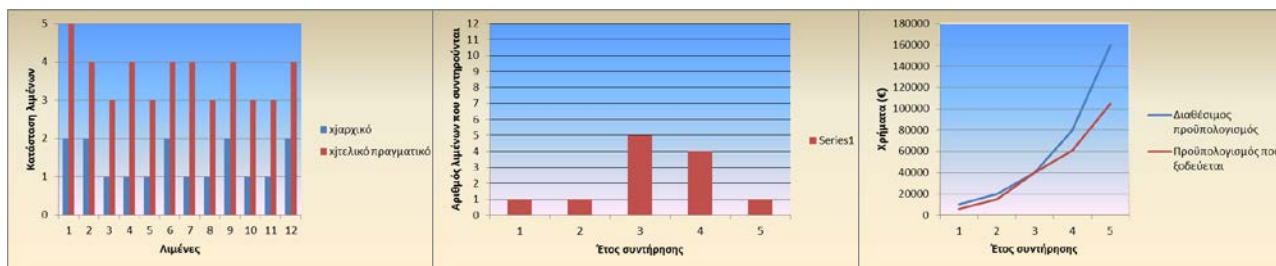
(γ)

Σχήμα 5.77: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο χρόνο δε συντηρείται κανένα λιμάνι, το δεύτερο και τρίτο χρόνο συντηρείται ένα

λιμάνι κάθε χρονιά, την τέταρτη χρονιά συντηρούνται πέντε λιμάνια, ενώ την πέμπτη χρονιά συντηρούνται τέσσερα λιμάνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

στ) Έκτος συνδυασμός



(α)

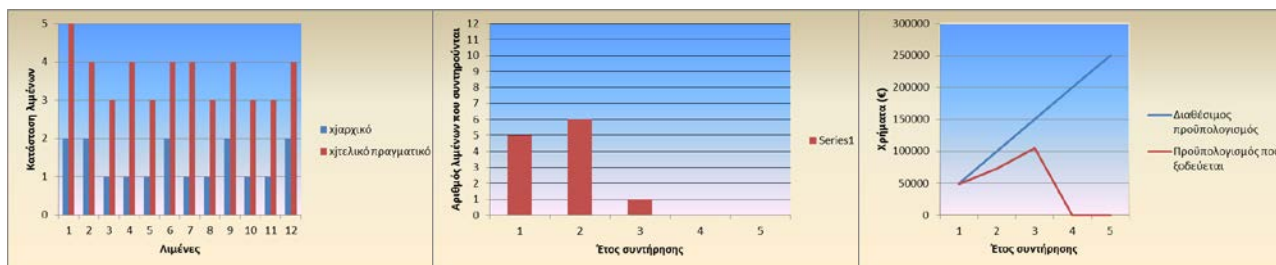
(β)

(γ)

Σχήμα 5.78: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) κάθε χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, εκτός από την τρίτη χρονιά, όπου συντηρούνται πέντε λιμάνια και την τέταρτη χρονιά όπου συντηρούνται τέσσερα λιμάνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

ζ) Έβδομος συνδυασμός



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.79: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τρία πρώτα χρόνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διαθέσιμος προϋπολογισμός.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.82** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν.

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι **σε σύγκριση με το σενάριο των αρχικών συνθηκών**, στη συγκεκριμένη περίπτωση συντηρούνται πιο λίγα λιμάνια για τους δεδομένους συνδυασμούς προϋπολογισμών.

		Μεταβαλλόμενος ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
10000(€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
20000 (€)	4ο έτος												
25000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
2000 (€)	2ο έτος												
3000 (€)	3ο έτος												
4000 (€)	4ο έτος												
5000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
15000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
25000 (€)	4ο έτος												
30000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
30000 (€)	4ο έτος												
40000 (€)	5ο έτος												
5000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
50000 (€)	4ο έτος												
100000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
20000 (€)	2ο έτος												
40000 (€)	3ο έτος												
80000 (€)	4ο έτος												
160000 (€)	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
100000 (€)	2ο έτος												
150000 (€)	3ο έτος												
200000 (€)	4ο έτος												
250000 (€)	5ο έτος												

Σχήμα 5.80: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Στο **Σχήμα 5.83** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού.

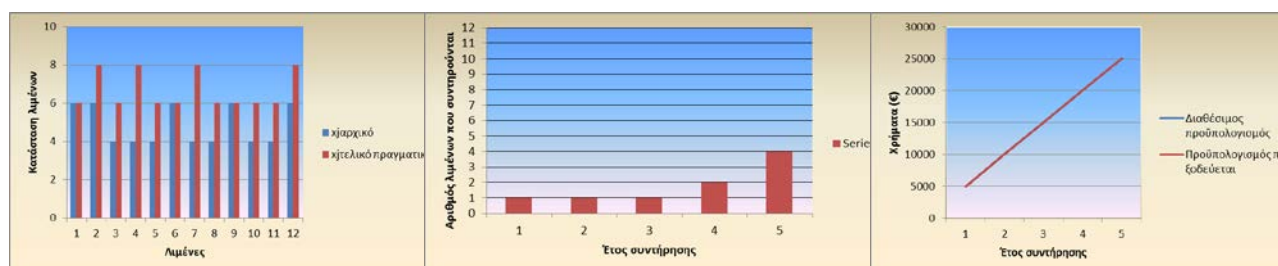
Κατανομή προϋπολογισμού					
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης (%)
5000	1ο έτος	0	14000	0.00	81.33
10000	2ο έτος	6000		60.00	
15000	3ο έτος	15000		100.00	
20000	4ο έτος	18000		90.00	
25000	5ο έτος	22000		88.00	
1000	1ο έτος	0	15000	0.00	0.00
2000	2ο έτος	0		0.00	
3000	3ο έτος	0		0.00	
4000	4ο έτος	0		0.00	
5000	5ο έτος	0		0.00	
10000	1ο έτος	6000	9000	60.00	91.00
15000	2ο έτος	15000		100.00	
20000	3ο έτος	18000		90.00	
25000	4ο έτος	22000		88.00	
30000	5ο έτος	30000		100.00	
1000	1ο έτος	0	9000	0.00	91.09
10000	2ο έτος	6000		60.00	
20000	3ο έτος	18000		90.00	
30000	4ο έτος	30000		100.00	
40000	5ο έτος	38000		95.00	
5000	1ο έτος	0	63000	0.00	65.95
10000	2ο έτος	6000		60.00	
20000	3ο έτος	15000		75.00	
50000	4ο έτος	49000		98.00	
100000	5ο έτος	52000		52.00	
10000	1ο έτος	6000	83000	60.00	73.23
20000	2ο έτος	15000		75.00	
40000	3ο έτος	40000		100.00	
80000	4ο έτος	61000		76.25	
160000	5ο έτος	105000		65.63	
50000	1ο έτος	49000	523000	98.00	30.27
100000	2ο έτος	73000		73.00	
150000	3ο έτος	105000		70.00	
200000	4ο έτος	0		0.00	
250000	5ο έτος	0		0.00	

Σχήμα 5.81: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

5.4.4 Αποτελέσματα για διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό με την υπόθεση διαφορετικών συντελεστών βαρύτητας. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας διπλασιάζονται σε σχέση με τις αρχικές τους τιμές. Οι νέες τιμές αυτών παρουσιάστηκαν παραπάνω στα ακόλουθα σχήματα: **Σχήμα 5.34**, **Σχήμα 5.35**, **Σχήμα 5.36**, **Σχήμα 5.37** και **Σχήμα 5.38**. Ακολουθως, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

α) Πρώτος συνδυασμός



(α)

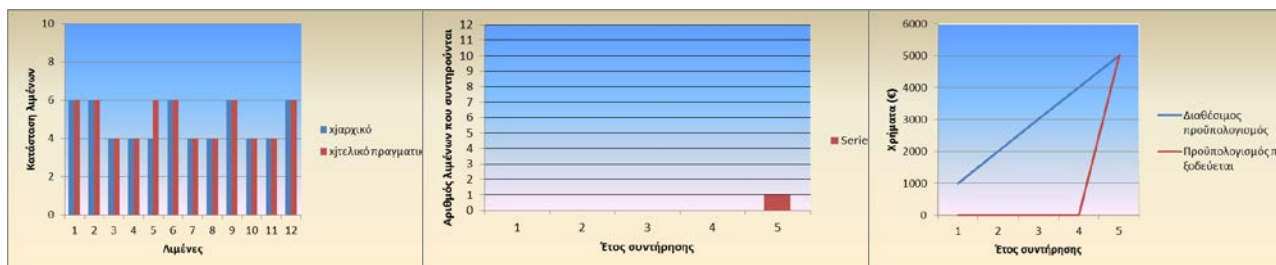
(β)

(γ)

Σχήμα 5.82: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) κάθε χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, εκτός από την τέταρτη χρονιά, όπου συντηρούνται δύο λιμάνια και την πέμπτη χρονιά, όπου συντηρούνται τέσσερα λιμάνια. Τέλος, (γ) καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Δεύτερος συνδυασμός



(α)

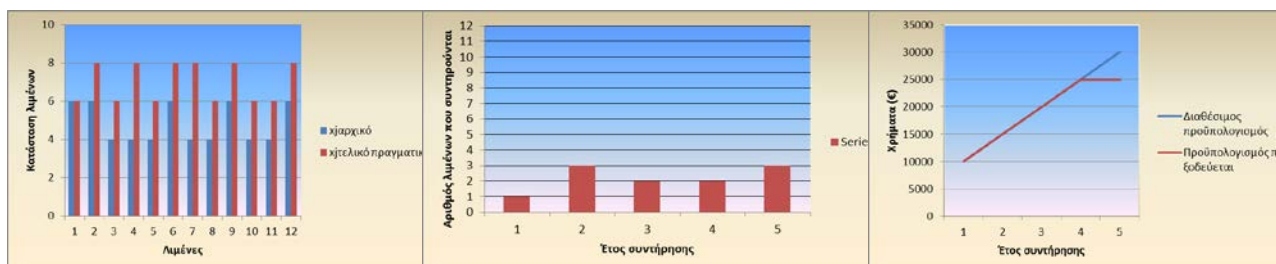
(β)

(γ)

Σχήμα 5.83: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό πραγματοποιήθηκε συντήρηση μόνο στο λιμάνι του Βόλου.

γ) Τρίτος συνδυασμός



(α)

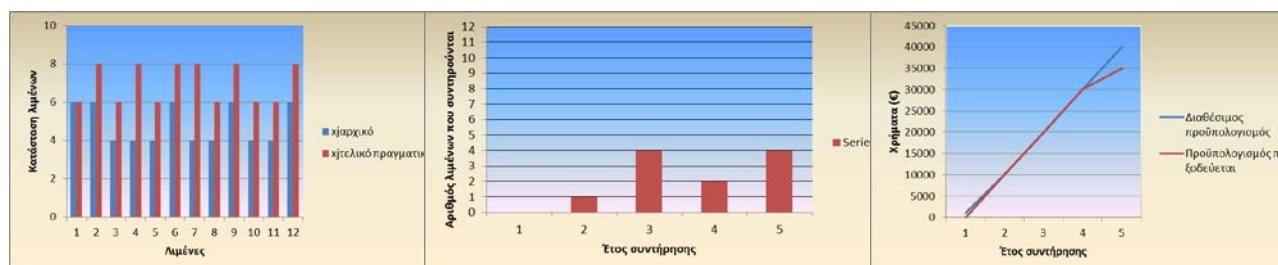
(β)

(γ)

Σχήμα 5.84: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, τη δεύτερη χρονιά και την πέμπτη χρονιά συντηρούνται τρία λιμάνια κάθε χρονιά, ενώ την τρίτη και την τέταρτη χρονιά συντηρούνται δύο λιμάνια κάθε χρονιά. Τέλος, (γ) καταναλώνεται σχεδόν στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός, αφού περισσεύουν την τελευταία χρονιά 5000 €.

δ) Τέταρτος συνδυασμός



(α)

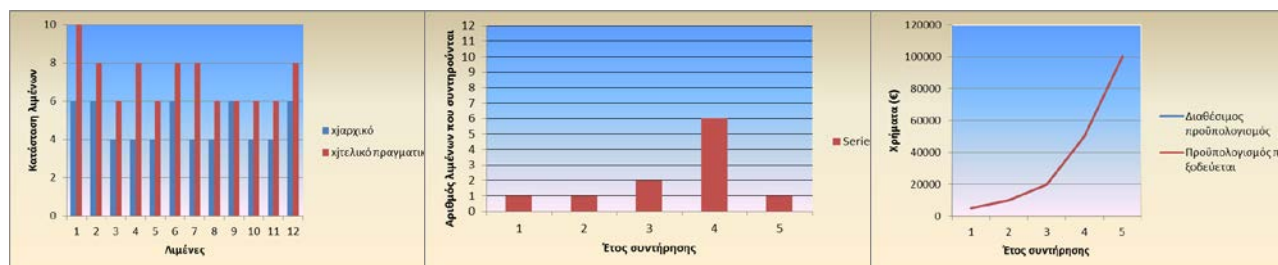
(β)

(γ)

Σχήμα 5.85: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο χρόνο δε συντηρείται κανένα λιμάνι, τη δεύτερη χρονιά συντηρείται ένα λιμάνι, την τέταρτη δύο λιμάνια, ενώ την τρίτη και την πέμπτη χρονιά συντηρούνται τέσσερα λιμάνια κάθε χρονιά. Τέλος, (γ) καταναλώνεται σχεδόν στο σύνολο του ο διαθέσιμος προϋπολογισμός, αφού περισσεύουν την τελευταία χρονιά 5000 €.

ε) Πέμπτος συνδυασμός



(α)

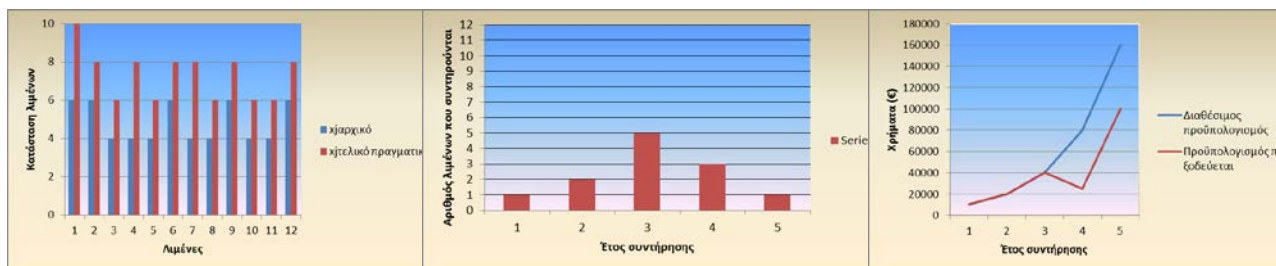
(β)

(γ)

Σχήμα 5.86: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) κάθε χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι, ενώ την τέταρτη χρονιά συντηρούνται έξι λιμάνια. Τέλος, (γ) καταναλώνεται στο σύνολο του ο διαθέσιμος προϋπολογισμός.

στ) Έκτος συνδυασμός



(α)

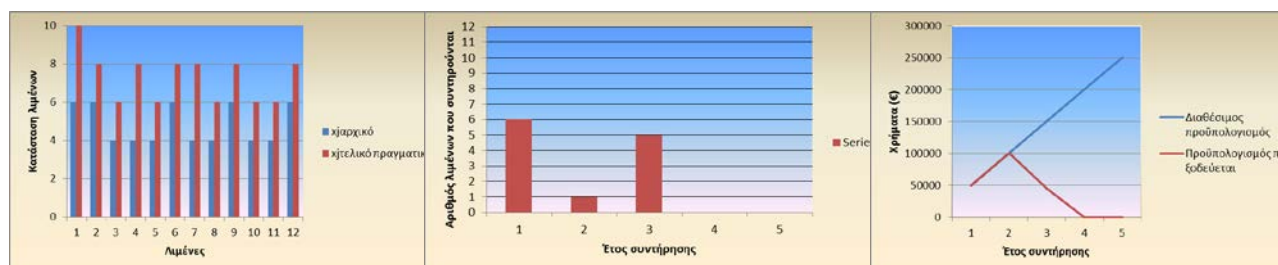
(β)

(γ)

Σχήμα 5.87: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) τον πρώτο και τον πέμπτο χρόνο συντηρείται ένα λιμάνι κάθε χρονιά, τη δεύτερη χρονιά συντηρούνται δύο λιμάνια, την τέταρτη χρονιά συντηρούνται τρία λιμάνια, ενώ την πέμπτη χρονιά συντηρούνται πέντε λιμάνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διαθέσιμος προϋπολογισμός.

ζ) Έβδομος συνδυασμός



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.88: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τρία πρώτα χρόνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.91** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν.

Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι **σε σύγκριση με το σενάριο των αρχικών συνθηκών**, τα αποτελέσματα είναι ίδια και στην περίπτωση των διαφορετικών συντελεστών βαρύτητας.

		Μεταβαλλόμενος ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
10000(€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
20000 (€)	4ο έτος												
25000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
2000 (€)	2ο έτος												
3000 (€)	3ο έτος												
4000 (€)	4ο έτος												
5000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
15000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
25000 (€)	4ο έτος												
30000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
30000 (€)	4ο έτος												
40000 (€)	5ο έτος												
5000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
50000 (€)	4ο έτος												
100000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
20000 (€)	2ο έτος												
40000 (€)	3ο έτος												
80000 (€)	4ο έτος												
160000 (€)	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
100000 (€)	2ο έτος												
150000 (€)	3ο έτος												
200000 (€)	4ο έτος												
250000 (€)	5ο έτος												

Σχήμα 5.89: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Στο **Σχήμα 5.92** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού.

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)		Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης (%)
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
15000	3ο έτος	15000	0		100.00	
20000	4ο έτος	20000	0		100.00	
25000	5ο έτος	25000	0		100.00	
1000	1ο έτος	0	1000	10000	0.00	33.33
2000	2ο έτος	0	2000		0.00	
3000	3ο έτος	0	3000		0.00	
4000	4ο έτος	0	4000		0.00	
5000	5ο έτος	5000	0		500.00	
10000	1ο έτος	10000	0	5000	100.00	95.00
15000	2ο έτος	15000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
25000	4ο έτος	25000	0		100.00	
30000	5ο έτος	25000	5000		83.33	
1000	1ο έτος	0	1000	6000	0.00	94.06
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
30000	4ο έτος	30000	0		100.00	
40000	5ο έτος	35000	5000		87.50	
5000	1ο έτος	5000	0	0	100.00	100.00
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
20000	3ο έτος	20000	0		100.00	
50000	4ο έτος	50000	0		100.00	
100000	5ο έτος	100000	0		100.00	
10000	1ο έτος	10000	0	115000	100.00	62.90
20000	2ο έτος	20000	0		100.00	
40000	3ο έτος	40000	0		100.00	
80000	4ο έτος	25000	55000		31.25	
160000	5ο έτος	100000	60000		62.50	
50000	1ο έτος	50000	0	555000	100.00	26.00
100000	2ο έτος	100000	0		100.00	
150000	3ο έτος	45000	105000		30.00	
200000	4ο έτος	0	200000		0.00	
250000	5ο έτος	0	250000		0.00	

Σχήμα 5.90: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

Σε σύγκριση με τις αρχικές συνθήκες, τα ποσοστά εκμετάλλευσης στη συγκεκριμένη περίπτωση των διαφορετικών συντελεστών βαρύτητας είναι τα ίδια.

5.4.5 Αποτελέσματα για διπλασιασμό του χρονικού ορίζοντα συντήρησης

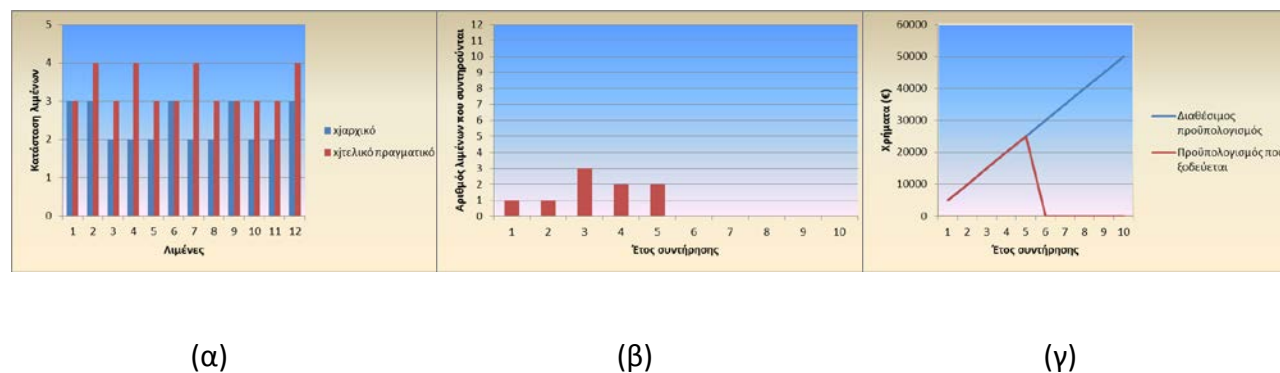
Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό με την υπόθεση **διπλασιασμού του χρονικού ορίζοντα συντήρησης**, δηλαδή από 5 σε 10 χρόνια. Στη συγκεκριμένη υπόθεση εφαρμόζονται οι ακόλουθοι δύο συνδυασμοί προϋπολογισμών:

Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (€)										
α/α	1ο έτος	2ο έτος	3ο έτος	4ο έτος	5ο έτος	6ο έτος	7ο έτος	8ο έτος	9ο έτος	10ο έτος
1	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000
2	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000

Σχήμα 5.91: Συνδυασμοί προϋπολογισμών

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

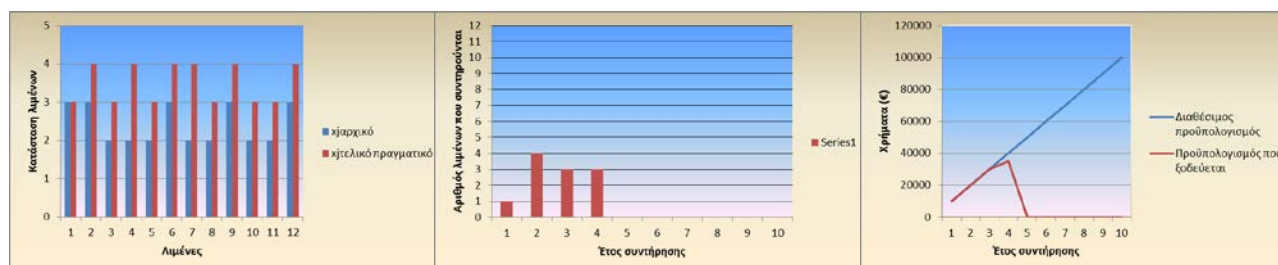
α) Πρώτος συνδυασμός



Σχήμα 5.92: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια **σε σύγκριση με το σενάριο των αρχικών συνθηκών**, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τέσσερα πρώτα χρόνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Δεύτερος συνδυασμός



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.93: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό: (α) συντηρούνται 11 από τα 12 συνολικά λιμάνια. **Το αξιοσημείωτο** είναι ότι παρόλο που την τελευταία χρονιά του ορίζοντα συντήρησης ο διατιθέμενος προϋπολογισμός είναι επαρκής για τη συντήρηση του λιμανιού του Πειραιά η επίλυση δεν περιλαμβάνει τη συντήρησή του, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τέσσερα πρώτα χρόνια. Τέλος, (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

Συμπεράσματα

Στο παρακάτω **Σχήμα 5.96** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν.

Από αυτό κανείς παρατηρεί ότι **παρόλο που** αυξήθηκε ο χρονικός ορίζοντας της συντήρησης από 5 σε 10 χρόνια, αυτό δεν είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των λιμένων που συντηρούνται.

		Μεταβαλλόμενος ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
20000 (€)	4ο έτος												
25000 (€)	5ο έτος												
30000 (€)	6ο έτος												
35000 (€)	7ο έτος												
40000 (€)	8ο έτος												
45000 (€)	9ο έτος												
50000 (€)	10ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
20000 (€)	2ο έτος												
30000 (€)	3ο έτος												
40000 (€)	4ο έτος												
50000 (€)	5ο έτος												
60000 (€)	6ο έτος												
70000 (€)	7ο έτος												
80000 (€)	8ο έτος												
90000 (€)	9ο έτος												
100000 (€)	10ο έτος												

Σχήμα 5.94: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Στο **Σχήμα 5.97** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού.

Από αυτό κανείς παρατηρεί ότι **παρόλο που** αυξήθηκε ο χρονικός ορίζοντας της συντήρησης από 5 σε 10 χρόνια, αυτό δεν είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού.

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)		Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλευσης (%)
5000	1ο έτος	5000	0	200000	100.00	27.27
10000	2ο έτος	10000	0		100.00	
15000	3ο έτος	15000	0		100.00	
20000	4ο έτος	20000	0		100.00	
25000	5ο έτος	25000	0		100.00	
30000	6ο έτος	0	30000		0.00	
35000	7ο έτος	0	35000		0.00	
40000	8ο έτος	0	40000		0.00	
45000	9ο έτος	0	45000		0.00	
50000	10ο έτος	0	50000		0.00	
10000	1ο έτος	10000	0	455000	100.00	17.27
20000	2ο έτος	20000	0		100.00	
30000	3ο έτος	30000	0		100.00	
40000	4ο έτος	35000	5000		87.50	
50000	5ο έτος	0	50000		0.00	
60000	6ο έτος	0	60000		0.00	
70000	7ο έτος	0	70000		0.00	
80000	8ο έτος	0	80000		0.00	
90000	9ο έτος	0	90000		0.00	
100000	10ο έτος	0	100000		0.00	

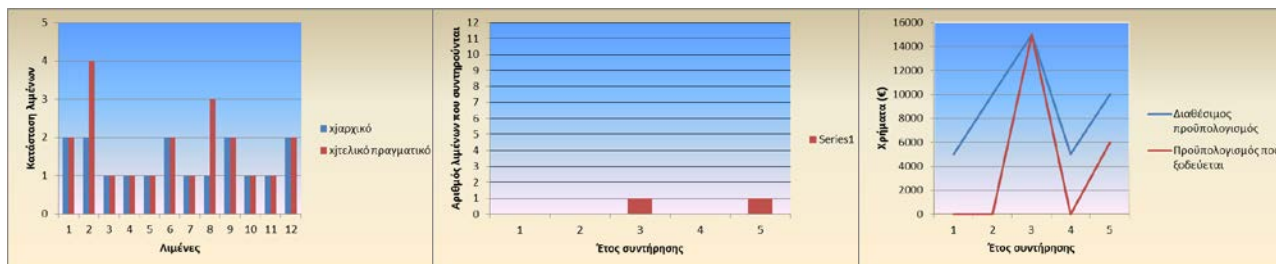
Σχήμα 5.95: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

5.5 Αποτελέσματα για μετακύλιση προϋπολογισμού

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για σταθερό και μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό με την υπόθεση **διαφορετικής αρχικής κατάστασης των λιμένων**. Πιο συγκεκριμένα, πλέον η αρχική κατάσταση των λιμένων θεωρείται χειρότερη σε σχέση με αυτή των αρχικών συνθηκών. Αυτή δίνεται στο **Σχήμα 5.24** που παρουσιάστηκε παραπάνω. Η χειροτέρευση της κατάστασης έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση περισσότερων χρήματων για τη συντήρηση κάθε λιμένα. Ωστόσο, αυτό που προστίθεται σε αυτό το υποκεφάλαιο είναι η **μετακύλιση του διατιθέμενου προϋπολογισμού** στην επόμενη χρονιά, εφόσον αυτός δεν καταναλώνεται στο τρέχον έτος που διατίθεται. Ακολούθως, παρουσιάζονται με μορφή διαγραμμάτων (α) η τελική κατάσταση των λιμανιών, (β) η χρονική κατανομή της συντήρησης και (γ) η κατανομή του προϋπολογισμού μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τους διαφορετικούς κάθε φορά προϋπολογισμούς.

5.5.1 Αποτελέσματα για σταθερό προϋπολογισμό

α) Σταθερός προϋπολογισμός 5000 €-Μετακύλιση



(α)

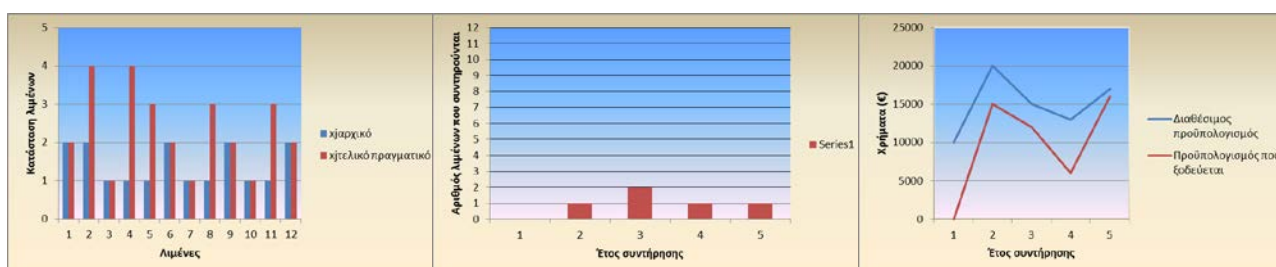
(β)

(γ)

Σχήμα 5.96: Σταθερός προϋπολογισμός 5000 €-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό:** (α) συντηρούνται 2 από τα 12 συνολικά λιμάνια σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου σταθερού προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, (β) συντηρείται ένα λιμάνι το τρίτο έτος και ένα το πέμπτο έτος, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Σταθερός προϋπολογισμός 10000 €-Μετακύλιση



(α)

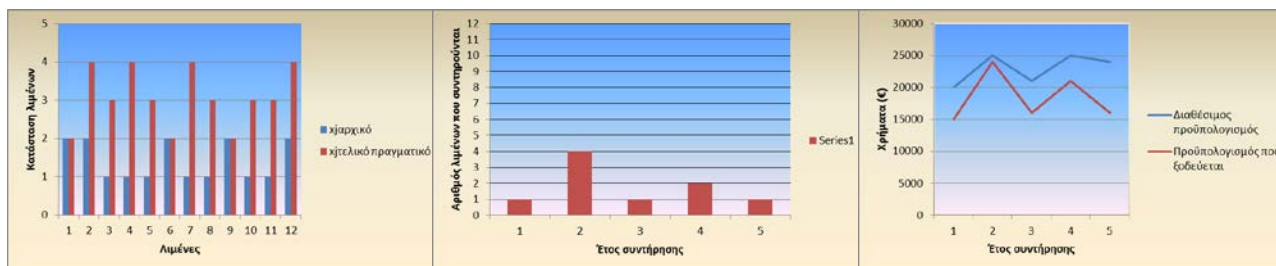
(β)

(γ)

Σχήμα 5.97: Σταθερός προϋπολογισμός 10000 €-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό**: (α) συντηρούνται 5 από τα 12 συνολικά λιμάνια (β) δεν πραγματοποιείται συντήρηση το πρώτο έτος, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

γ) Σταθερός προϋπολογισμός 20000 €-Μετακύλιση



(α)

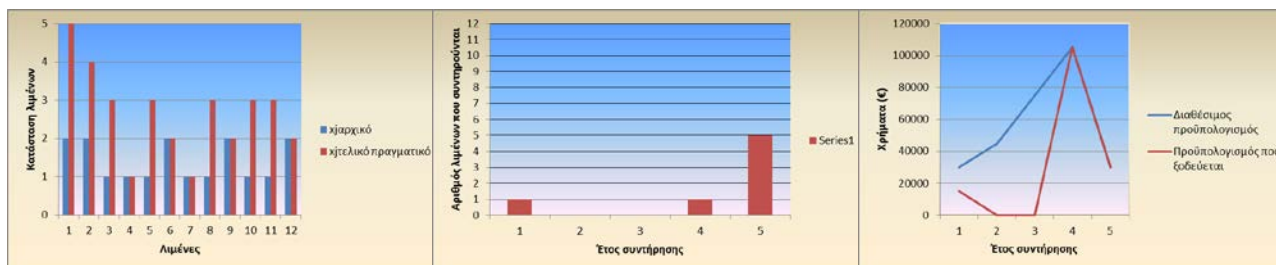
(β)

(γ)

Σχήμα 5.98: Σταθερός προϋπολογισμός 20000 €-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό**: (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου σταθερού προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου συντηρούνται οκτώ, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται και τα πέντε χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

δ) Σταθερός προϋπολογισμός 30000 €-Μετακύλιση



(α)

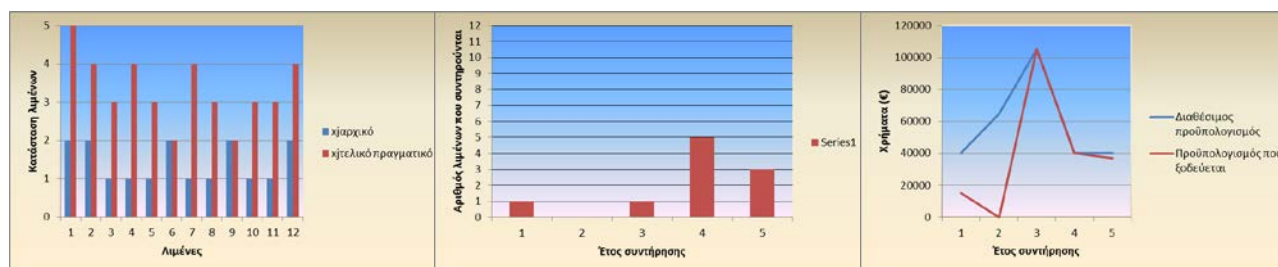
(β)

(γ)

Σχήμα 5.99: Σταθερός προϋπολογισμός 30000 €-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό**: (α) συντηρούνται 7 από τα 12 συνολικά λιμάνια σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου σταθερού προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου συντηρούνται εννιά λιμάνια (β) η συντήρηση δεν πραγματοποιείται το δεύτερο και τον τρίτο χρόνο, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

ε) Σταθερός προϋπολογισμός 40000 €-Μετακύλιση



(α)

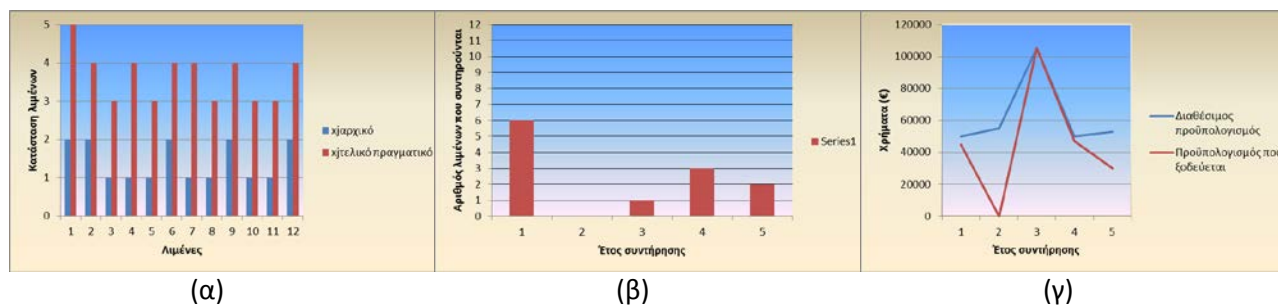
(β)

(γ)

Σχήμα 5.100: Σταθερός προϋπολογισμός 40000 €-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό**: (α) συντηρούνται 10 από τα 12 συνολικά λιμάνια σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου σταθερού προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου συντηρούνται έντεκα λιμάνια (β) η συντήρηση δεν πραγματοποιείται το δεύτερο χρόνο, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

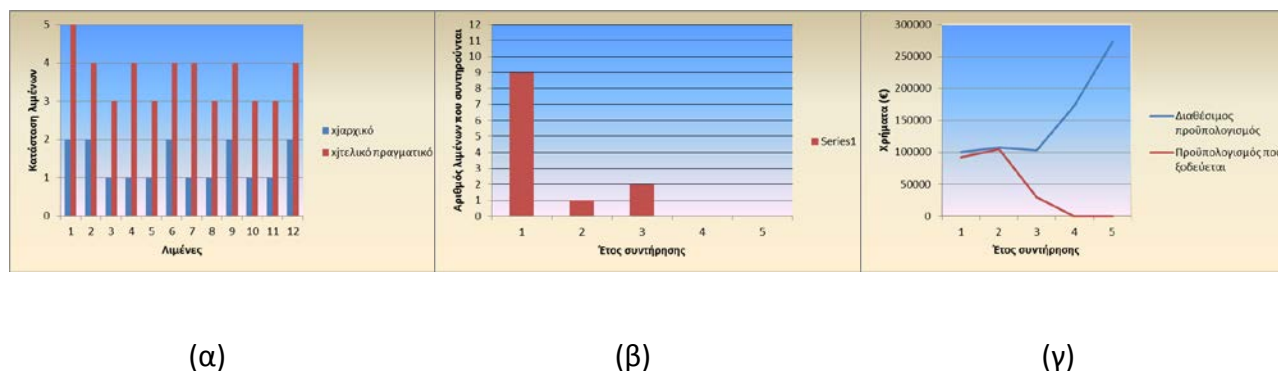
στ) Σταθερός προϋπολογισμός 50000 €-Μετακύλιση



Σχήμα 5.101: Σταθερός προϋπολογισμός 50000 €-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό:** (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου σταθερού προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου συντηρούνται έντεκα λιμάνια (β) η συντήρηση δεν πραγματοποιείται το δεύτερο χρόνο, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

ζ) Σταθερός προϋπολογισμός 100000 €-Μετακύλιση



Σχήμα 5.102: Σταθερός προϋπολογισμός 100000 €-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω **προϋπολογισμό:** (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τρία πρώτα χρόνια σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου σταθερού προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου πραγματοποιείται τα δύο πρώτα χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

Συμπεράσματα

Στο **Σχήμα 5.103** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν, ενώ στο **Σχήμα 5.104** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος και ανά διατιθέμενο ετήσιο προϋπολογισμό, το υπόλοιπο ανά έτος, καθώς και το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού ανά έτος και το συνολικό ποσοστό εκμετάλλευσης του εκάστοτε διατιθέμενου προϋπολογισμού. Από τα παρακάτω σχήματα παρατηρεί κανείς ότι **σε σύγκριση με την περίπτωση του σταθερού προϋπολογισμού χωρίς μετακύλιση**, στο συγκεκριμένο σενάριο **συντηρούνται περισσότερα λιμάνια** στην περίπτωση χαμηλών προϋπολογισμών ανά έτος, διότι ο προϋπολογισμός που τυχόν δε χρησιμοποιείται σε ένα έτος προστίθεται στο επόμενο.

		Σταθερός ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
5000 (€)	4ο έτος												
10000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
20000 (€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
13000 (€)	4ο έτος												
17000 (€)	5ο έτος												
20000 (€)	1ο έτος												
25000 (€)	2ο έτος												
21000 (€)	3ο έτος												
25000 (€)	4ο έτος												
24000 (€)	5ο έτος												
30000 (€)	1ο έτος												
45000 (€)	2ο έτος												
75000 (€)	3ο έτος												
105000 (€)	4ο έτος												
30000 (€)	5ο έτος												
40000 (€)	1ο έτος												
65000 (€)	2ο έτος												
105000 (€)	3ο έτος												
40000 (€)	4ο έτος												
40000 (€)	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
55000 (€)	2ο έτος												
105000 (€)	3ο έτος												
50000 (€)	4ο έτος												
53000 (€)	5ο έτος												
100000 (€)	1ο έτος												
108000 (€)	2ο έτος												
103000 (€)	3ο έτος												
173000 (€)	4ο έτος												
273000 (€)	5ο έτος												

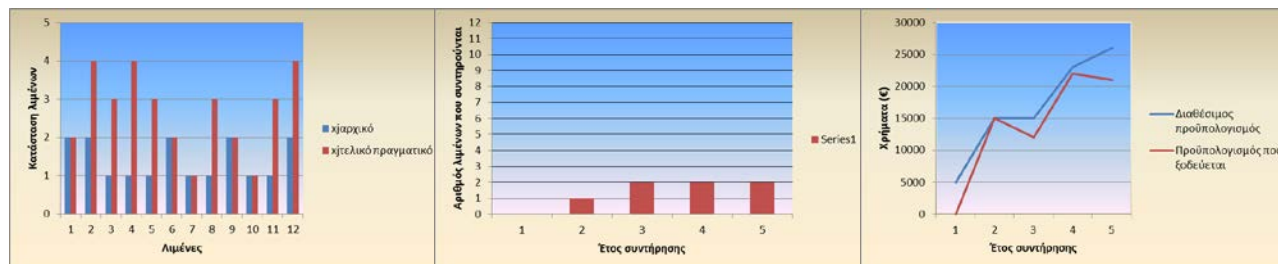
Σχήμα 5.103: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Κατανομή προϋπολογισμού						
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)		Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλευσης (%)
5000	1ο έτος	0	5000	24000	0.00	46.67
10000	2ο έτος	0	10000		0.00	
15000	3ο έτος	15000	0		100.00	
5000	4ο έτος	0	5000		0.00	
10000	5ο έτος	6000	4000		60.00	
10000	1ο έτος	0	10000	26000	0.00	65.33
20000	2ο έτος	15000	5000		75.00	
15000	3ο έτος	12000	3000		80.00	
13000	4ο έτος	6000	7000		46.15	
17000	5ο έτος	16000	1000		94.12	
20000	1ο έτος	15000	5000	23000	75.00	80.00
25000	2ο έτος	24000	1000		96.00	
21000	3ο έτος	16000	5000		76.19	
25000	4ο έτος	21000	4000		84.00	
24000	5ο έτος	16000	8000		66.67	
30000	1ο έτος	15000	15000	135000	50.00	52.63
45000	2ο έτος	0	45000		0.00	
75000	3ο έτος	0	75000		0.00	
105000	4ο έτος	105000	0		100.00	
30000	5ο έτος	30000	0		100.00	
40000	1ο έτος	15000	25000	93000	37.50	67.93
65000	2ο έτος	0	65000		0.00	
105000	3ο έτος	105000	0		100.00	
40000	4ο έτος	40000	0		100.00	
40000	5ο έτος	37000	3000		92.50	
50000	1ο έτος	45000	5000	86000	90.00	72.52
55000	2ο έτος	0	55000		0.00	
105000	3ο έτος	105000	0		100.00	
50000	4ο έτος	47000	3000		94.00	
53000	5ο έτος	30000	23000		56.60	
100000	1ο έτος	92000	8000	530000	92.00	29.99
108000	2ο έτος	105000	3000		97.22	
103000	3ο έτος	30000	73000		29.13	
173000	4ο έτος	0	173000		0.00	
273000	5ο έτος	0	273000		0.00	

Σχήμα 5.104: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

5.5.2 Αποτελέσματα για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό

α) Πρώτος συνδυασμός-Μετακύλιση



(α)

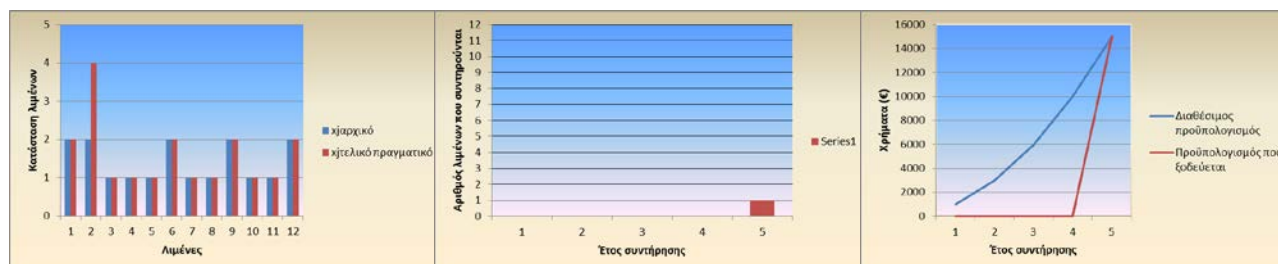
(β)

(γ)

Σχήμα 5.105: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό (α) συντηρούνται 7 από τα 12 συνολικά λιμάνια (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τελευταία τέσσερα χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

β) Δεύτερος συνδυασμός-Μετακύλιση



(α)

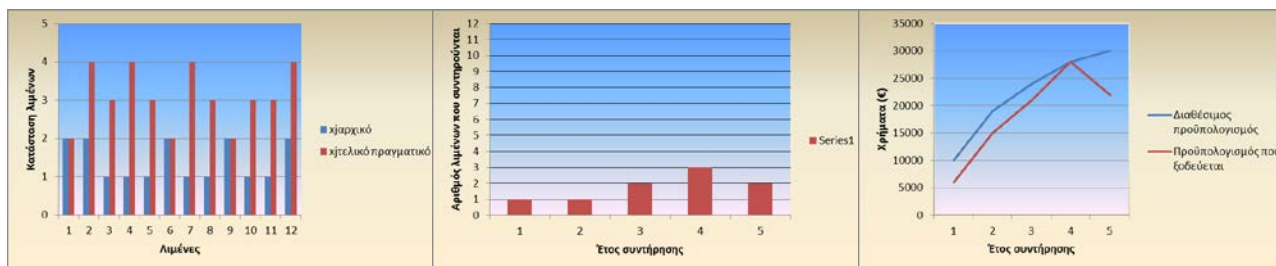
(β)

(γ)

Σχήμα 5.106: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό συντηρείται το λιμάνι της Θεσσαλονίκης το τελευταίο έτος, σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου μεταβαλλόμενου προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου δε συντηρείται κανένα λιμάνι.

γ) Τρίτος συνδυασμός-Μετακύλιση



(α)

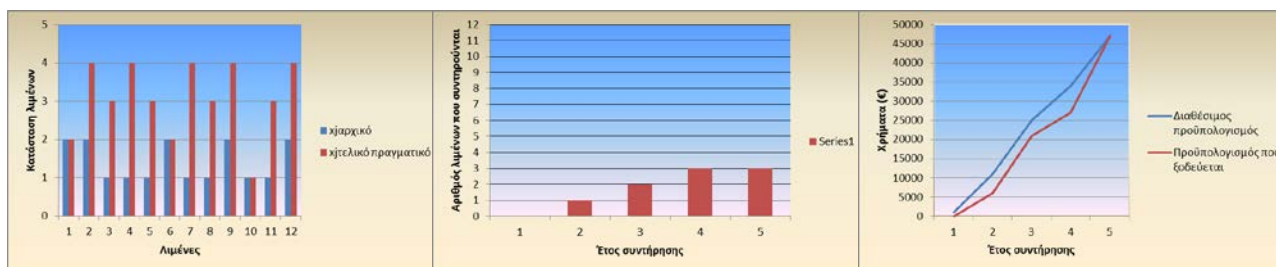
(β)

(γ)

Σχήμα 5.107: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια (β) η συντήρηση πραγματοποιείται και τα πέντε χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

δ) Τέταρτος συνδυασμός-Μετακύλιση



(α)

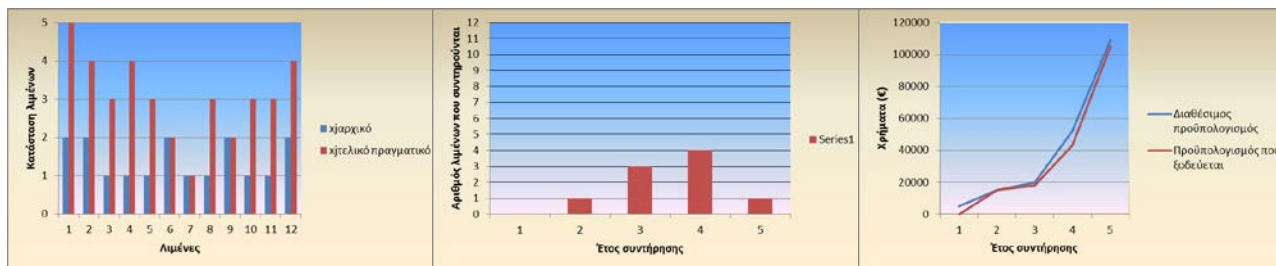
(β)

(γ)

Σχήμα 5.108: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια, σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου μεταβαλλόμενου προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου συντηρούνται 8 λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τέσσερα τελευταία χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

ε) Πέμπτος συνδυασμός-Μετακύλιση



(α)

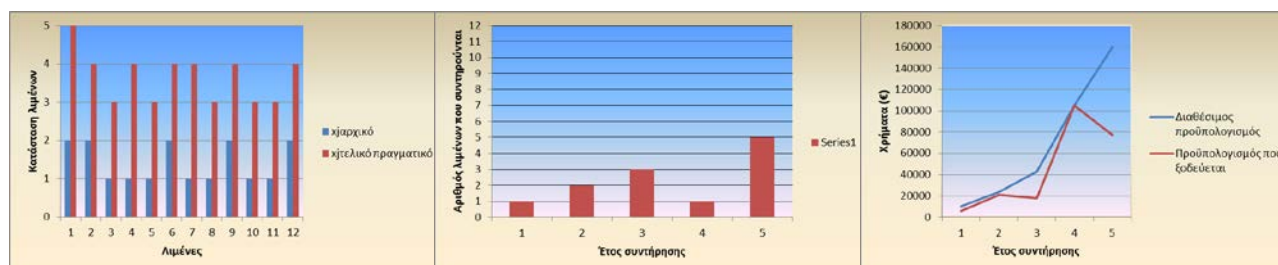
(β)

(γ)

Σχήμα 5.109: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό (α) συντηρούνται 9 από τα 12 συνολικά λιμάνια, σε αντίθεση με την περίπτωση του αντίστοιχου μεταβαλλόμενου προϋπολογισμού για τη μειωμένη αρχική κατάσταση λιμένων, όπου συντηρούνται 11 λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται τα τέσσερα τελευταία χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

στ) Έκτος συνδυασμός-Μετακύλιση



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 5.110: Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός-Μετακύλιση (α) αρχική-τελική κατάσταση λιμανιών, (β) χρονική κατανομή συντήρησης, (γ) κατανομή προϋπολογισμού

Για τον παραπάνω προϋπολογισμό (α) συντηρούνται και τα 12 συνολικά λιμάνια, (β) η συντήρηση πραγματοποιείται και τα πέντε χρόνια, ενώ (γ) δεν καταναλώνεται στο σύνολο του ο διατιθέμενος προϋπολογισμός.

Συμπεράσματα

Στο **Σχήμα 5.111** παρουσιάζεται η χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών που εξετάστηκαν, ενώ στο **Σχήμα 5.112** εξετάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού.

		Μεταβαλλόμενος ανά έτος προϋπολογισμός											
		Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Καβάλα	Βόλος	Ραφήνα	Λαύριο	Ελευσίνα	Πάτρα	Ηγουμενίτσα	Κέρκυρα	Ηράκλειο
5000 (€)	1ο έτος												
10000 (€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
5000 (€)	4ο έτος												
10000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
20000 (€)	2ο έτος												
15000 (€)	3ο έτος												
13000 (€)	4ο έτος												
17000 (€)	5ο έτος												
10000 (€)	1ο έτος												
19000 (€)	2ο έτος												
24000 (€)	3ο έτος												
28000 (€)	4ο έτος												
30000 (€)	5ο έτος												
1000 (€)	1ο έτος												
11000 (€)	2ο έτος												
25000 (€)	3ο έτος												
34000 (€)	4ο έτος												
47000 (€)	5ο έτος												
5000(€)	1ο έτος												
15000 (€)	2ο έτος												
20000 (€)	3ο έτος												
52000 (€)	4ο έτος												
109000 (€)	5ο έτος												
50000 (€)	1ο έτος												
55000 (€)	2ο έτος												
105000 (€)	3ο έτος												
50000 (€)	4ο έτος												
53000 (€)	5ο έτος												

Σχήμα 5.111: Χρονική κατανομή της συντήρησης των λιμένων για όλα τα μεγέθη προϋπολογισμών

Κατανομή προϋπολογισμού					
Διατιθέμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Καταναλισκόμενος προϋπολογισμός ανά έτος (σε €)	Υπόλοιπο ανά έτος (σε €)	Συνολικό υπόλοιπο (σε €)	Ποσοστό εκμετάλευσης ανά έτος (%)	Συνολικό ποσοστό εκμετάλευσης (%)
5000	1ο έτος	0	14000	0.00	83.33
15000	2ο έτος	15000		100.00	
15000	3ο έτος	12000		80.00	
23000	4ο έτος	22000		95.65	
26000	5ο έτος	21000		80.77	
1000	1ο έτος	0	20000	0.00	42.86
3000	2ο έτος	0		0.00	
6000	3ο έτος	0		0.00	
10000	4ο έτος	0		0.00	
15000	5ο έτος	15000		100.00	
10000	1ο έτος	6000	19000	60.00	82.88
19000	2ο έτος	15000		78.95	
24000	3ο έτος	21000		87.50	
28000	4ο έτος	28000		100.00	
30000	5ο έτος	22000		73.33	
1000	1ο έτος	0	17000	0.00	85.59
11000	2ο έτος	6000		54.55	
25000	3ο έτος	21000		84.00	
34000	4ο έτος	27000		79.41	
47000	5ο έτος	47000		100.00	
5000	1ο έτος	0	20000	0.00	90.05
15000	2ο έτος	15000		100.00	
20000	3ο έτος	18000		90.00	
52000	4ο έτος	43000		82.69	
109000	5ο έτος	105000		96.33	
10000	1ο έτος	6000	115000	60.00	66.37
24000	2ο έτος	21000		87.50	
43000	3ο έτος	18000		41.86	
105000	4ο έτος	105000		100.00	
160000	5ο έτος	77000		48.13	

Σχήμα 5.112: Κατανομή διατιθέμενου προϋπολογισμού

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρεί κανείς ότι στο συγκεκριμένο σενάριο με τη μετακύλιση του προϋπολογισμού, συντηρούνται περισσότερα λιμάνια για την περίπτωση περιορισμένων προϋπολογισμών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι με τη μετακύλιση του προϋπολογισμού, το λιμάνι του Πειραιά συντηρείται περισσότερες φορές και για χαμηλότερους προϋπολογισμούς. Γίνεται ξανά αντιληπτό ότι το μοντέλο δίνει βάση πρώτα στη συντήρηση των λιμένων με τους μεγαλύτερους συντελεστές βαρύτητας, εφόσον επαρκεί ο προϋπολογισμός για τη συντήρησή τους.

6

Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης, για την κατανομή των διαθέσιμων πόρων για τη συντήρηση των βασικών λιμένων στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, με βασικό περιορισμό αυτόν της διάθεσης των ελαχίστων πόρων επιχειρήθηκε η ανάπτυξη ενός προγράμματος βέλτιστης συντήρησης των λιμένων της Ελλάδος σε χρονικό ορίζοντα 5 ετών. Οι βασικοί λιμένες της Ελλάδας που εξετάστηκαν ήταν οι: 1) Πειραιάς, 2) Θεσσαλονίκη, 3) Αλεξανδρούπολη, 4) Καβάλα, 5) Βόλος, 6) Ραφήνα, 7) Λαύριο, 8) Ελευσίνα, 9) Πάτρα, 10) Ηγουμενίτσα, 11) Κέρκυρα, 12) Ηράκλειο. Η επιλογή τους έγινε με βάση τον συνολικό αριθμό των διακινούμενων επιβατών και φορτίων.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών και μεθοδολογιών παρόμοιων με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων για τα λιμάνια επιτεύχθηκε κυρίως μέσω της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) και της μελέτης για τη στρατηγική των λιμένων. Τα **στοιχεία** οργανώθηκαν και ομαδοποιήθηκαν κατάλληλα από τα οποία προέκυψαν οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας για τα λιμάνια, οι οποίοι σχετίζονται με τη συνολική επιβατική και εμπορευματική κίνηση σε αυτά, όπως επίσης με το μέγεθος και την ηλικία τους.

Ακολούθως αναπτύχθηκε η **αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου βελτιστοποίησης**, η οποία μεγιστοποιείται με γραμμικό ακέραιο δυαδικό προγραμματισμό μέσω του βοηθήματος του Excel (Excel Solver). Αναπτύχθηκαν διάφορα σενάρια τόσο για σταθερό όσο και για μεταβαλλόμενο προϋπολογισμό. Σε αυτά επιχειρήθηκαν μεταβολές στους συντελεστές βαρύτητας των λιμανιών, στην αρχική κατάσταση των λιμανιών και στο χρονικό ορίζοντα της συντήρησης. Τέλος, εξετάστηκε και το σενάριο της μετακύλισης του διατιθέμενου προϋπολογισμού σε επόμενο έτος, εφόσον αυτός δεν αξιοποιείται στο τρέχον έτος που παρέχεται. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες:

Σταθερός προϋπολογισμός									
Σενάρια		1. Αρχικές συνθήκες		2. Αύξηση wι		3. Διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων		4. Διπλασιασμός συντελεστών βαρύτητας	
Έτος	Προ/μος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος
1ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
2ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
3ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
4ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
5ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
Συν.	25,000	5	25,000	5	25,000	0	0	5	25,000
1ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
2ο	10,000	2	10,000	2	10,000	1	6,000	2	10,000
3ο	10,000	2	10,000	2	10,000	1	6,000	2	10,000
4ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
5ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
Συν.	50,000	7	50,000	7	50,000	5	30,000	7	50,000
1ο	20,000	3	20,000	3	20,000	1	15,000	3	20,000
2ο	20,000	3	20,000	3	20,000	3	18,000	2	20,000
3ο	20,000	2	20,000	2	20,000	1	16,000	2	20,000
4ο	20,000	1	15,000	1	15,000	1	15,000	2	20,000
5ο	20,000	2	20,000	2	20,000	2	12,000	2	15,000
Συν.	100,000	11	95,000	11	95,000	8	76,000	11	95,000
1ο	30,000	4	30,000	5	30,000	3	27,000	5	30,000
2ο	30,000	4	30,000	3	30,000	3	28,000	2	30,000
3ο	30,000	2	25,000	2	25,000	2	30,000	3	25,000
4ο	30,000	1	10,000	1	10,000	2	22,000	1	10,000
5ο	30,000	0	0	0	0	1	15,000	0	0
Συν.	150,000	11	95,000	11	95,000	11	122,000	11	95,000
1ο	40,000	5	40,000	6	40,000	5	39,000	5	40,000
2ο	40,000	4	35,000	3	35,000	3	37,000	4	40,000
3ο	40,000	2	20,000	2	20,000	2	31,000	2	15,000
4ο	40,000	0	0	0	0	1	15,000	0	0
5ο	40,000	0	0	0	0	0	0	0	0
Συν.	200,000	11	95,000	11	95,000	11	122,000	11	95,000
1ο	50,000	6	50,000	6	50,000	5	49,000	5	50,000
2ο	50,000	5	45,000	5	45,000	4	43,000	6	45,000
3ο	50,000	0	0	0	0	2	30,000	0	0
4ο	50,000	0	0	0	0	0	0	0	0
5ο	50,000	0	0	0	0	0	0	0	0
Συν.	250,000	11	95,000	11	95,000	11	122,000	11	95,000
1ο	100,000	1	100,000	1	100,000	9	92,000	1	100,000
2ο	100,000	11	95,000	11	95,000	2	30,000	11	95,000
3ο	100,000	0	0	0	0	0	0	0	0
4ο	100,000	0	0	0	0	0	0	0	0
5ο	100,000	0	0	0	0	0	0	0	0
Συν.	500,000	12	195,000	12	195,000	11	122,000	12	195,000

Σχήμα 6.1: Σύνοψη αποτελεσμάτων για σταθερό ανά έτος προϋπολογισμό

Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός									
Σενάρια		1. Αρχικές συνθήκες		2. Αύξηση w _i		3. Διαφορετική αρχική κατάσταση λιμένων		4. Διπλασιασμός συντελεστών βαρύτητας	
Έτος	Προ/μος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος	Λιμάνια	Κόστος
1ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
2ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
3ο	15,000	2	15,000	2	15,000	1	15,000	1	15,000
4ο	20,000	2	20,000	2	20,000	3	18,000	2	20,000
5ο	25,000	3	25,000	3	25,000	2	22,000	4	25,000
Συν.	75,000	9	75,000	9	75,000	7	61,000	9	75,000
1ο	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0
2ο	2,000	0	0	0	0	0	0	0	0
3ο	3,000	0	0	0	0	0	0	0	0
4ο	4,000	0	0	0	0	0	0	0	0
5ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
Συν.	15,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
1ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
2ο	15,000	3	15,000	3	15,000	1	15,000	3	15,000
3ο	20,000	2	20,000	2	20,000	3	18,000	2	20,000
4ο	25,000	2	25,000	2	25,000	2	22,000	2	25,000
5ο	30,000	3	25,000	3	25,000	2	30,000	3	25,000
Συν.	100,000	11	95,000	11	95,000	9	91,000	11	95,000
1ο	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0
2ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
3ο	20,000	4	20,000	4	20,000	3	18,000	4	20,000
4ο	30,000	3	30,000	3	30,000	2	30,000	2	30,000
5ο	40,000	3	35,000	3	35,000	3	38,000	4	35,000
Συν.	101,000	11	95,000	11	95,000	9	92,000	11	95,000
1ο	5,000	1	5,000	1	5,000	0	0	1	5,000
2ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
3ο	20,000	3	20,000	3	20,000	1	15,000	2	20,000
4ο	50,000	5	50,000	5	50,000	5	49,000	6	50,000
5ο	100,000	1	100,000	1	100,000	4	52,000	1	100,000
Συν.	185,000	11	185,000	11	185,000	11	122,000	11	185,000
1ο	10,000	1	10,000	1	10,000	1	6,000	1	10,000
2ο	20,000	4	20,000	4	20,000	1	15,000	2	20,000
3ο	40,000	3	40,000	3	40,000	5	40,000	5	40,000
4ο	80,000	4	25,000	3	25,000	4	61,000	3	25,000
5ο	160,000	0	100,000	1	100,000	1	105,000	1	100,000
Συν.	310,000	12	195,000	12	195,000	12	227,000	12	195,000
1ο	50,000	6	50,000	6	50,000	5	49,000	6	50,000
2ο	100,000	1	100,000	1	100,000	6	73,000	1	100,000
3ο	150,000	5	45,000	5	45,000	1	105,000	5	45,000
4ο	200,000	0	0	0	0	0	0	0	0
5ο	250,000	0	0	0	0	0	0	0	0
Συν.	750,000	12	195,000	12	195,000	12	227,000	12	195,000

Σχήμα 6.2: Σύνοψη αποτελεσμάτων για μεταβαλλόμενο ανά έτος προϋπολογισμό

Μετακύλιση προϋπολογισμού						
Σταθερός προϋπολογισμός				Μεταβαλλόμενος προϋπολογισμός		
Έτος	Προ/μός	Λιμάνια	Κόστος	Προ/μός	Λιμάνια	Κόστος
1ο	5,000	0	0	5,000	0	0
2ο	10,000	0	0	15,000	1	15,000
3ο	15,000	1	15,000	15,000	2	12,000
4ο	5,000	0	0	23,000	2	22,000
5ο	10,000	1	6,000	26,000	2	21,000
Συν.	45,000	2	21,000	84,000	7	70,000
1ο	10,000	0	0	1,000	0	0
2ο	20,000	1	15,000	3,000	0	0
3ο	13,000	2	12,000	6,000	0	0
4ο	15,000	1	6,000	10,000	0	0
5ο	17,000	1	16,000	15,000	1	15,000
Συν.	75,000	5	49,000	35,000	1	15,000
1ο	20,000	1	15,000	10,000	1	6,000
2ο	25,000	4	24,000	19,000	1	15,000
3ο	21,000	1	16,000	24,000	2	21,000
4ο	25,000	2	21,000	28,000	3	28,000
5ο	24,000	1	16,000	30,000	2	22,000
Συν.	115,000	92,009	92,000	111,000	9	92,000
1ο	30,000	1	15,000	1,000	0	0
2ο	45,000	0	0	11,000	1	6,000
3ο	75,000	0	0	25,000	2	210,000
4ο	105,000	1	105,000	34,000	3	27,000
5ο	30,000	5	30,000	47,000	3	47,000
Συν.	285,000	7	268,000	118,000	9	290,000
1ο	40,000	1	15,000	5,000	0	0
2ο	65,000	0	0	15,000	1	15,000
3ο	105,000	1	105,000	20,000	3	18,000
4ο	40,000	5	40,000	52,000	4	43,000
5ο	40,000	3	37,000	109,000	1	105,000
Συν.	290,000	10	197,000	201,000	9	181,000
1ο	50,000	6	45,000	10,000	1	6,000
2ο	55,000	0	0	24,000	2	21,000
3ο	105,000	1	105,000	43,000	3	18,000
4ο	50,000	3	50,000	105,000	1	105,000
5ο	53,000	2	53,000	160,000	5	77,000
Συν.	313,000	12	253,000	342,000	12	227,000
1ο	100,000	9	92,000			
2ο	108,000	1	105,000			
3ο	103,000	2	30,000			
4ο	173,000	0	0			
5ο	273,000	0	0			
Συν.	757,000	12	227,000			

Σχήμα 6.3: Σύνοψη αποτελεσμάτων για μετακύλιση προϋπολογισμού

6.2 Συνολικά Συμπεράσματα

Από τα διάφορα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν επιμέρους χρήσιμα αποτελέσματα, τα οποία είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον κύριο στόχο που τέθηκε αρχικά. Στο παρόν υποκεφάλαιο, επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα που τέθηκαν αρχικά με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα συνολικά συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας συνοψίζονται παρακάτω:

1. Με βάση την εκτενή ανασκόπηση των βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με την κατανομή πόρων για τη συντήρηση των συστημάτων υποδομής, φαίνεται ότι για πρώτη φορά πραγματοποιείται ανάπτυξη ενός μοντέλου βέλτιστης κατανομής πόρων για τη **συντήρηση των λιμένων** μιας χώρας.
2. Η επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης που αναπτύχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του **γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού** που αποδείχθηκε κατάλληλη για τέτοιου είδους πρόβλημα, διότι επιτρέπει στον εκάστοτε διαχειριστή συντήρησης να διερευνήσει με αποτελεσματικό τρόπο το σύνολο όλων των πιθανών στρατηγικών διαχείρισης. Επιπλέον, η μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού που επιλέχθηκε διαθέτει μια καλά ανεπτυγμένη θεωρία για την ανάλυση ευαισθησίας, έτσι ώστε να καθοριστεί η επίδραση των παραμέτρων εισόδου σε μια δεδομένη λύση του προβλήματος.
3. Ένα σημαντικό μέρος της μεθοδολογίας αποτελεί η **πρόβλεψη της χειροτέρευσης της κατάστασης των λιμένων** εξαιτίας του χρόνου και της χρήσης. Σε αντίθεση με τις αναφερθείσες βιβλιογραφικές αναφορές, επιλέχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία να μην χρησιμοποιείται η αλυσίδα Μαρκόφ, διότι αυτή απαιτεί πληθώρα δεδομένων εισόδου που για τα λιμάνια της Ελλάδος δεν υπάρχει. Γι' αυτό, έγινε η υπόθεση για γραμμική χειροτέρευση της κατάστασης των λιμένων της Ελλάδος.
4. Η αντικειμενική συνάρτηση που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει **συντελεστές βαρύτητας** για το κάθε λιμάνι που σχετίζονται με την επιβατική και την εμπορευματική του κίνηση, καθώς και με την ηλικία και το μέγεθός του. Λαμβάνοντας υπόψιν και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της Εθνικής Στρατηγικής των Λιμένων, οι παράμετροι αυτές βρέθηκαν ως οι κρισιμότερες για το πλαίσιο συντήρησης των λιμένων.
5. Καθοριστικός παράγοντας για τη συντήρηση ενός λιμένα αποτελεί η **επάρκεια του προϋπολογισμού**. Ωστόσο, εφόσον ο διατιθέμενος προϋπολογισμός επαρκεί, προτεραιότητα στη συντήρηση αποκτά εκείνος ο λιμένας με τους υψηλότερους συντελεστές βαρύτητας,

6. Η **αύξηση του προϋπολογισμού** συνεπάγεται πέρα από την αύξηση του αριθμού των λιμένων που συντηρούνται και τη μείωση του χρονικού ορίζοντα συντήρησης, με εμπροσθοβαρή κατανομή τα πρώτα χρόνια με άμεσα πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα στην περαιτέρω ανάπτυξη και λειτουργία του λιμένα.
7. Η **μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας** της αντικειμενικής συνάρτησης, δηλαδή ο διπλασιασμός που έγινε στους συντελεστές βαρύτητας επιβατικής κίνησης *spass*, εμπορευματικής κίνησης *scargo*, ηλικίας *sage* και μεγέθους *size* και η αύξηση των μειωτικού συντελεστή *wi* δεν διαφοροποίησε τα αποτελέσματα της συντήρησης σε σχέση με τις αρχικές συνθήκες επίλυσης. Τόσο για την επίλυση με σταθερό ετήσιο προϋπολογισμό όσο και για μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό, ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται και τα ποσοστά εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού παραμένουν ίδια και μετά τη μεταβολή των συντελεστών βαρύτητας.
8. Τα αποτελέσματα από τη συντήρηση των λιμένων για σταθερό και μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό δεν διαφοροποιούνται αισθητά. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για **ίσους διατιθέμενους συνολικούς προϋπολογισμούς** στις δύο παραπάνω περιπτώσεις παρατηρήται ότι:
 - ο αριθμός των λιμένων που συντηρούνται είναι ίδιος τόσο για σταθερό όσο και για μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό,
 - το ποσοστό εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού στην περίπτωση του μεταβαλλόμενου ετήσιου προϋπολογισμού είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με εκείνο του σταθερού ετήσιου προϋπολογισμού.
9. Ο **διπλασιασμός του χρονικού ορίζοντα** της συντήρησης δεν οδήγησε σε αύξηση του αριθμού των λιμένων που συντηρούνται ούτε σε αύξηση του ποσοστού εκμετάλλευσης του διατιθέμενου προϋπολογισμού τόσο για το σταθερό όσο και για το μεταβαλλόμενο ετήσιο προϋπολογισμό.
10. Η **μετακύλιση του προϋπολογισμού** σε επόμενα έτη είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των λιμένων που συντηρούνται στην περίπτωση χαμηλών προϋπολογισμών, διότι τότε γίνεται η βέλτιστη δυνατή εκμετάλλευση του διατιθέμενου προϋπολογισμού.
11. Υπό προϋποθέσεις, μπορεί να καταστεί **δυνατή η γενίκευση των αποτελεσμάτων** της Διπλωματικής αυτής Εργασίας και για περιοχές εκτός από την περιοχή έρευνας, ώστε να αξιοποιηθούν και σε επόμενες συναφείς έρευνες.

6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Το πρόβλημα, το οποίο καλείται να επιλύσει η παρούσα εργασία, βασίστηκε σε ορισμένες **παραδοχές** και απλοποιήσεις, οι οποίες θα ήταν σκόπιμο σε επόμενο στάδιο να διερευνηθούν και να εξεταστεί η επιρροή τους στην επίλυση του προβλήματος κατανομής πόρων και στα αποτελέσματα των εφαρμογών.

Καταρχάς, καθορίστηκε εκ των πρωτέρων η αρχική κατάσταση των 12 βασικών λιμένων της Ελλάδος. Ο καθορισμός της κατάστασής τους έγινε λαμβάνοντας υπόψιν την αξιολόγηση που διενεργήθηκε στο πλαίσιο της Εθνικής Στρατηγικής των Λιμένων, αλλά και λαμβάνοντας υπόψιν και τις επιμέρους αναφορές και στοιχεία σχετικά με τα λιμάνια. Μια ενδιαφέρουσα πρόκληση θα αποτελούσε ο χαρακτηρισμός της κατάστασης, στην οποία βρίσκονται τα λιμάνια, αφού πρώτα καθορίζονταν για αυτά κάποιοι **τυποποιημένοι δείκτες αξιολόγησης** με βάση διάφορες συνιστώσες αναφοράς. Συνεπώς, κρίνεται σκόπιμη η βαθύτερη διερεύνηση του προκειμένου θέματος με σκοπό να διαπιστωθεί σε τι βαθμό επηρεάζει τα αποτελέσματα των εφαρμογών.

Ένα επιπλέον ζήτημα που χρήζει περαιτέρω έρευνας θα μπορούσε να είναι ο διαφορετικός καθορισμός του **συντελεστή βαρύτητας** που σχετίζεται με τη χειροτέρευση της κατάστασης των λιμένων λόγω χρόνου και χρήσης. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, ο συγκεκριμένος συντελεστής θεωρήθηκε γραμμικός εξαιτίας της απουσίας πληθώρας δεδομένων για τα λιμάνια. Ωστόσο, το γεγονός ότι η χειροτέρευση της κατάστασης έχει στοχαστικές ρίζες καθιστά ενδιαφέρουσα τη μελλοντική εισαγωγή στο πρόβλημα της αλυσίδας Μαρκόφ. Άρα, μια εμβάθυνση στο συγκεκριμένο ζήτημα είναι δυνατόν να επιφέρει αρκετές αλλαγές στην κατανομή των πόρων.

Παράλληλα, το συγκεκριμένο πρόβλημα θα ήταν σκόπιμο να λυθεί και με **δυναμικό προγραμματισμό**, εκτός από γραμμικό προγραμματισμό με τον οποίο λύθηκε στην παρούσα έρευνα. Ο δυναμικός προγραμματισμός μετατρέπει ένα μεγάλο και δυσεπίλυτο πρόβλημα, όπως για παράδειγμα αυτό της κατανομής πόρων, σε πολλά μικρότερα και ευκολότερα στην επίλυση.

Τέλος, χρήσιμη θα μπορούσε να αποδειχτεί η εισαγωγή στο πρόβλημα **επιπλέον λιμένων** από την Ελλάδα και από το εξωτερικό. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την εισαγωγή ώστε να ληφθούν υπόψιν όλα τα κρίσιμα στοιχεία για τη συντήρηση των λιμένων.

7

Βιβλιογραφία

1. Belton V. and Stewart T.J., “Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach”, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2002.
2. Malczewski J., “Gis and multicriteria decision analysis”, John Wiley & Sons, 1999.
3. Δούμπος Μ., «ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ-Σημειώσεις Μαθήματος», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Χανιά 2007.
4. Δούμπος Μ., Ζοπουνίδης Κ., «Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων-Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις και εφαρμογές», Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2004.
5. Μητρόπουλος Π., Α., «Πολυκριτηριακή ανάλυση στη λήψη αποφάσεων για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων και την κατανομή πόρων», διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, 2007.
6. Ρογκάν και συνεργάτες Α.Ε., «ΕΘΝΙΚΟ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΛΙΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΣΩ ΕΣΠΑ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ», 2013.
7. BACKGROUND PAPER TO THE HELLENIC REPUBLIC NATIONAL PORT POLICY PAPER-Final Report, HRDAF-Σεπτέμβριος, HPC Hamburg Port Consulting GmbH, 2012.
8. Εθνική Λιμενική Πολιτική-Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, 2006.
9. Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς 2007-2013, Γενική Γραμματεία Επενδύσεων και Ανάπτυξης, 2007.
10. Καρλαύτης, Μ.Γ., και Λαγαρός, Ν.Δ., Επιχειρησιακή έρευνα, 2010.
11. Lagaros N., D., Ph.D., M. ASCE; Keraptsoglou K., Ph.D., M.ASCE; and Karlaftis M., G., Ph.d., M.ASCE, Fund Allocation for Civil Infrastructure Security Upgrade, Journal of Management in Engineering, 29:172-182, 2013.
12. Jiang Y. and Sinha C., Dynamic Optimization Model for Bridge Management Systems, 1989.
13. Zanakis S., H., Mandakovic T., Gupta S., K., Sahay S. and Hong S., A Review of Program Evaluation and Fund Allocation Methods within the service and Government Sectors, Socio-Econ. Plann. Sci. Vol. 29, No. 1, pp.59-79, 1995.
14. J. Mbwana, M. Turnquist, Optimization modeling for enhanced network-level pavement management system, Transportation Research Record 1524 76-85, 1996.

15. F. Liu, K. Wang, Pavement performance-oriented network optimization system, Transportation Research Record 1524 86-93, 1996.
16. V. Ravirala, D. Grivas, S. Arminio, R. Garrabrant, Goal-oriented optimization procedure for long-term highway investment planning, Transportation Research Record 1592 17-25, 1997.
17. J. Tack, E. Chou, Multiyear pavement repair scheduling optimization by prestrained genetic algorithm, Transportation Research Record 1592 8-16, 1997.
18. K.A. Abaza, S.A. Ashur, I. Al-Khatib, An integrated pavement management system with a markovian prediction model, Journal of Transportation Engineering, ASCE 130 24-33, 2004.
19. R. Chootiman, A. Chen, M. R. Horrocks, D. Bolling, A multi-year pavement maintenance program using a stochastic simulation-based genetic algorithm approach, 2005.
20. Herabat P. and Tangphaisankum A., "Multi-Objective optimization model using constraint-based genetic algorithms for Thailand pavement management", Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, pp. 1137-1152, 2005.
21. Bosurgi G. and Trifiro F., "Pavement design and maintenance via genetic algorithms", 4th International SIIV Congress, Palermo, Italy, 2007.
22. Scheinberg T. and Anastasopoulos P., "Pavement preservation programming: a multi-year, multi-constraint optimization methodology", TRB 89th Annual Meeting, 2010.
23. Shantec Consulting Ing., Development and Implementation of Arizona Department of Transportation (ADOT) Pavement Management System (PMS)", Final report 494, Phoenix, Arizona, 2006.
24. A. Elhadidy, E. Elbeltagi, A. Ammar, Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms, 2014.
25. Albright, S.C., Winston, W.L, and Zappe, C., Data Analysis & Decision Making with Microsoft Excel, Duxbury Press, USA, 1999.
26. Barlow, F.G., Excel Models for Business and Operations Management, John Wiley & Sons, Chchester, Sussex, 1999.
27. Orvins, J.G., Excel for Scientists and engineers, Sybex, USA, 1996.
28. Williams, H.P., Model Building in Mathematical Programming, John Wiley & Sons, Chichester, Sussex, 1999.
29. Οικονόμου, Γ.Σ., και Γεωργίου, Α.Κ., Ποσοτική Ανάλυση για τη Λήψη Διοικητικών Αποφάσεων, Εκδόσεις Ευγ. Μπένου, Αθήνα, 1999.
30. Πραστάκος, Γ., Διοικητική Επιστήμη: Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων στην Κοινωνία της Πληροφορίας, Εκδόσεις Αθαν. Σταμούλης, Αθήνα, 2000.
31. Σίσκος, Γ., Γραμμικός Προγραμματισμός, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα, 1998.

32. Οργανισμός Λιμένος Πειραιώς, «Ο Λιμήν του Πειραιώς κατά τα έτη 1930-1970», Πειραιάς, 1970.
33. Οργανισμός Λιμένος Πειραιώς, «Ημέρες δημιουργίας: 1993-1996, Πειραιάς», 1996.
34. Παπαδασκαλόπουλος Α., «Πρότυπα και Πολιτικές Περιφερειακής Ανάπτυξης στον Ελλαδικό Χώρο», Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1995.
35. Παρδάλη Α., «Η εξέλιξη του λιμανιού του Πειραιά και η επίδρασή του στην ανάπτυξη της ευρύτερη περιοχής του Πειραιά από το 1835 ως το 1985», διδακτορική διατριβή, Πάντειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 1990.
36. Παρδάλη Α., «Η λιμενική βιομηχανία: Στις προσκλήσεις της παγκοσμιοποιημένης οικονομίας και των ολοκληρωμένων μεταφορικών συστημάτων», Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα 2001.
37. Παρδάλη Α., «Οικονομική και Πολιτική των λιμένων», Εκδόσεις Interbooks, Αθήνα, 1997.
38. Παρδάλη Α., «Το λιμάνι του Πειραιά και η συμβολή του στην Οικονομική ανάπτυξη της πόλης κατά το 19^ο και 20^ο αιώνα». Στην έκδοση του Δήμου Πειραιά: Πειραιάς ιστορία και πολιτισμός, 2001.
39. Πατραγάς Χ, «Μεγάλο Πειραιϊκό Λεύκωμα», Εκδόσεις Μυτιληναίος Α.Ε., Πειραιάς, 2004.
40. Σιάρδος, Γ.Κ, «Μέθοδοι Πολυμεταβλητής Στατιστικής Ανάλυσης». Μῆρος Πρώτο και Μέρος Δεύτερο, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2000.
41. Τσόγκας Χ., «Υδραυλικά Έργα», Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1993.
42. Χρήστου, Γ Κ., «Εισαγωγή στην οικονομετρία» τόμος Β΄, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα, 2003.
43. Gujarati D.N, Basic Econometrics, Mc Graw Hil, 2003.
44. Hirschman, A.O, The strategy of economic development. New Haven; Yale University Press, 1958
45. Isaak Ilych Rubin, Ιστορία Οικονομικών θεωριών Βαλλιάνος Χ. Μηλίας, Γ εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, 1994
46. www.economics.gr
47. el.wikipedia.org
48. Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, www.statistics.gr
49. www.olp.gr
50. www.thpa.gr
51. www.ola-sa.gr
52. www.port-volos.gr
53. www.life-ole.gr
54. www.porthraklion.gr
55. www.olig.gr

56. www.portkavala.gr
57. www.corfuport.gr
58. www.oll.gr
59. www.patrasport.gr
60. www.rafinaport.gr
61. www.google.gr
62. Science Direct, www.sciencedirect.com