



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών

Διπλωματική Εργασία

Διεπίπεδο Μοντέλο Βελτιστοποίησης Κατανομής Πόρων για έργα ΣΔΙΤ



Νικήτας Κορρές

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου
Αθήνα, Ιούλιος 2017



Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης

Διπλωματική Εργασία:

Διεπίπεδο Μοντέλο Βελτιστοποίησης Κατανομής Πόρων για έργα ΣΔΙΤ

Diploma Thesis:

Bilevel Optimization Model on Resource Allocation for PPP Projects

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δε θα πρέπει να ερμηνευθεί πως αντιπροσωπεύουν απαραίτητα τις επίσημες επιστημονικές θέσεις άλλων παραγόντων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Με την παράδοση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ολοκληρώνονται με επιτυχία οι προπτυχιακές σπουδές μου στη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. μετά από 5 χρόνια.

Σε αυτό το σημείο λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μου, καθ'όλη την πορεία της φοιτητικής μου πορείας. Χωρίς τη βοήθεια της οικογένειάς μου δεν πιστεύω πως θα ήμουν έστω και κοντά στην κατάσταση που βρίσκομαι τώρα, τελειόφοιτος και λίγο πριν ξεκινήσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

Στη συνέχεια να ευχαριστήσω τους φίλους και φίλες μου για τις υπέροχες στιγμές που έχουμε περάσει μέχρι στιγμής καθώς και για τη δική τους στήριξη και βοήθεια τα τελευταία χρόνια.

Τέλος, επειδή η Διπλωματική Εργασία δε θα γινόταν ποτέ πραγματικότητα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης ΣΑΤΜ κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου καθώς και την Υποψήφια Διδάκτορα ΣΑΤΜ διδα. Χριστίνα Ηλιοπούλου αρχικώς για την ανάθεση της Διπλωματικής Εργασίας αλλά και για τη σημαντικότερη βοήθειά τους και προσφορά τους κατά τη διαδικασία κατασκευής του αλγόριθμου σε προγραμματιστικό περιβάλλον.

Η Εργασία αυτή δε θα μπορούσε να έχει ολοκληρωθεί χωρίς την πολύτιμη βοήθειά τους.

Νικήτας Κορρές

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Στην Οικογένειά μου

Σύνοψη

Τίτλος: Διεπίπεδο Μοντέλο Βελτιστοποίησης Κατανομής Πόρων για έργα ΣΔΙΤ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης, η εφαρμογή του οποίου θα επιτρέψει τη βέλτιστη κατανομή υποψήφιων προς δημοπράτηση οδικών αξόνων στις ενδιαφερόμενες κατασκευαστικές εταιρίες με τη μορφή Σύμπραξης Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ). Θεωρήθηκαν 9 οδικά έργα με το κόστος τους καθορισμένο και 4 υποψήφιες εταιρίες με συγκεκριμένο κεφάλαιο και προσδοκώμενο κέρδος από τη συμμετοχή τους σε κάθε ένα εκ των έργων. Όλα τα στοιχεία βασίστηκαν σε πραγματικά, τόσο για το κόστη των τεχνικών έργων, όσο και τα προσδοκώμενα από τις κατασκευαστικές εταιρίες ποσοστά κέρδους. Το ζήτημα που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορά ένα διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης στο οποίο το άνω μέρος, δηλαδή το Δημόσιο, επιδιώκει τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους από τη συμμετοχή των εταιριών στα προς δημοπράτηση έργα, ενώ το κάτω μέρος, δηλαδή οι κατασκευαστικές εταιρίες, έχουν ως μέλημά τους τη μεγιστοποίηση των κερδών τους, από τη συμμετοχή τους στα έργα. Έγινε χρήση γενετικών αλγόριθμων και η δοκιμή του αλγόριθμου έγινε μέσω της διασύνδεσης των λογισμικών Excel OpenSolver και Evolver, με τη βοήθεια της VBA. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του αλγόριθμου δείχνουν όχι μόνο ότι λειτουργεί αλλά και πως τα οφέλη για το Δημόσιο μπορούν να αυξηθούν κατά πολύ από τη χρήση ενός τέτοιου μοντέλου βελτιστοποίησης. Έτσι έγιναν δοκιμές για διάφορες παραλλαγές του αρχικού προβλήματος που αντιμετωπίστηκε με τα αποτελέσματα να καταγράφονται και να εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα για το μέλλον του αλγόριθμου, καθώς και για τη χρήση του σε άλλες εφαρμογές.

Λέξεις κλειδιά: Βελτιστοποίηση, Διεπίπεδος Προγραμματισμός, Βέλτιστη Κατανομή, Γενετικοί Αλγόριθμοι, ΣΔΙΤ, Οδικοί Άξονες, Δημόσιος Διαγωνισμός

Abstract

Title: Bilevel Optimization Model on Resource Allocation for PPP Projects

This Diploma Thesis focuses on the problem of optimal allocation of Public-Private-Partnership (PPP) Projects to be offered to the interested construction companies. The problem is formulated as a bi-level optimization model, where at the upper level, the Government tries to maximize the public benefits stemming from the companies' participation in the projects, while at the lower level, the companies try to maximize the economic benefit from their investment in the PPP projects. The optimization model, based on Genetic Algorithms and integer programming, generates the optimal allocation plan, assigning each project to a company and specifying the associated financial contribution. The model is tested with an example in which 9 highway construction projects must be auctioned to 4 interested companies under specific capital constraints and known benefits associated with each project. All data was based in reality as for the cost of each civil work and the expected investment return. The use of Genetic Algorithms was needed and the test of the model was achieved through the interconnection of Excel OpenSolver and Evolver, which was achieved with the help of the Visual Basic for Applications (VBA) The results show that the proposed approach constitutes an effective solution to the problem investigated. Trials were made for many differentiations of the basic problem and all results were stored and accounted for, with several conclusions being made, not only regarding the future of the algorithm but also regarding its use in other applications

Keywords: Bi-level Optimization, Optimal Allocation, Genetic Algorithms, PPP, Highways, Bidding

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης για την κατανομή των διαθέσιμων προς παραχώρηση ως ΣΔΙΤ οδικών αξόνων στις υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες. Πιο συγκεκριμένα θεωρήθηκαν 9 τεχνικά έργα με καθορισμένο κόστος και χρονική περίοδο παραχώρησης και 4 εταιρίες με συγκεκριμένο προς επένδυση κεφάλαιο.

Πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών και μεθοδολογιών παρόμοιων με το θέμα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Τα στοιχεία και τα δεδομένα των έργων και των κατασκευαστών εκτιμήθηκαν βάσει πραγματικών τιμών και έργων.

Το μοντέλο ως διεπίπεδο πρόβλημα προγραμματισμού αποτελείται από άνω και κάτω μέρος. Στο άνω μέρος η αντικειμενική συνάρτηση έχει να κάνει με τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους, ενώ στο κάτω μέρος με τη μεγιστοποίηση των κερδών των εταιριών. Το άνω μέρος επιλύεται με το λογισμικό της Palisade, EnoIner, ενώ το κάτω μέρος με το OpenSolver, του οποίου η λειτουργία έχει γραφεί με κώδικα στη VBA και η διασύνδεσή τους επιτυγχάνεται μέσω του MS Excel.

Το μοντέλο αναπτύχθηκε με περιορισμούς όπως την κατανομή κάθε έργου σε μία μόνο εταιρία, το συγκεκριμένο κεφάλαιο προς επένδυση των κατασκευαστικών εταιριών και φυσικά τη συμμετοχή τους κατά 0%-100% σε κάθε έργο.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για 6 διαφορετικά σενάρια και περιπτώσεις παρόμοιες με το αρχικό πρόβλημα που περιγράφηκε παραπάνω. Οι διαφορές τους δεν είχαν να κάνουν μόνο με τα κόστη των έργων, το διαθέσιμο κεφάλαιο των εταιριών κλπ που εισήχθησαν ως δεδομένα αλλά ακόμα και με το πλήθος εταιριών και έργων.

Τέλος αναλύθηκαν τα αποτελέσματα και παρουσιάστηκαν τα συμπεράσματα για τη χρήση και το μέλλον του αλγόριθμου.

"Knowledge is of two kinds. We know a subject ourselves, or we know where we can find information upon it. When we enquire into any subject, the first thing we have to do is to know what books have treated of it. This leads us to look at catalogues, and at the backs of books in libraries."

— Samuel Johnson

Πίνακας Περιεχομένων

Σύνοψη	i
Abstract	ii
Περίληψη	iii
Πίνακες	viii
Εικόνες	ix
1. Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση	1
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας	3
1.3 Η Ελληνική Πραγματικότητα στα Έργα Υποδομής	5
1.3.1 Έργα ΣΔΙΤ στην Ελλάδα	5
1.4 Μεθοδολογία Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας	7
1.5 Βασικοί Ορισμοί	8
1.6 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	10
2. Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Επισκόπηση	13
2.1 Γενικά	13
2.2 Εφαρμογές Βελτιστοποίησης	14
2.2.1 Βέλτιστη Κατανομή Πόρων	14
2.2.2 Τι οδηγεί στην επιλογή ενός έργου ως ΣΔΙΤ	15
2.2.3 Χρηματοοικονομική Αξιολόγηση Έργων Υποδομής	17
2.2.4 Χρονική Διάρκεια Περιόδου Παραχώρησης	19
2.2.5 Επιλογή της Βέλτιστης Κοστολόγησης (Optimal Pricing)	21
2.2.6 Διεπίπεδος Προγραμματισμός (Bilevel Programming)	21
2.2.7 Θεωρία Παιγνίων Συμμετεχόντων και Διεπίπεδος Προγραμματισμός Δημοπρατήσεων	22
2.3 Κριτική Αξιολόγηση	24
3. Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο Βελτιστοποίησης	27
3.1 Γενικά	27
3.2 Εισαγωγικά – Ιστορικά Στοιχεία	28
3.3 Τα Στάδια της Μεθόδου	30
3.4 Μαθηματικά Μοντέλα Βελτιστοποίησης	31
3.4.1 Οι απαραίτητες ιδιότητες των Αλγόριθμων Βελτιστοποίησης	31
3.4.2 Μεταβλητές Σχεδιασμού ή Απόφασης	31
3.4.3 Αντικειμενική Συνάρτηση	32
3.4.4 Συναρτήσεις Περιορισμού	32
3.4.5 Κατηγορίες Αλγόριθμων Βελτιστοποίησης	32
3.4.5.1 Μαθηματικές Μέθοδοι Βελτιστοποίησης	33
3.4.5.2 Μεταευσιστικές (Μεταευσρετικές) Μέθοδοι Βελτιστοποίησης	34
3.5 Γραμμικός Προγραμματισμός	35
3.5.1 Γενικά Στοιχεία	35
3.5.2 Διαδικασία Επίλυσης	37
3.5.3 Προϋποθέσεις Γραμμικού Προγραμματισμού	37

3.5.4	Ειδικές Περιπτώσεις Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού	37
3.6	Η Μέθοδος Simplex	39
3.6.1	Γενικά Στοιχεία	39
3.6.2	Η Μεθοδολογία Simplex	39
3.7	Ακέραιος και Δυαδικός Ακέραιος Προγραμματισμός	41
3.7.1	Γενικά Στοιχεία	41
3.7.2	Ειδικές Περιπτώσεις	41
3.7.2.1	Δυαδικός Ακέραιος Προγραμματισμός	41
3.7.3	Επίλυση Προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού	42
3.8	Διεπίπεδος Προγραμματισμός	43
3.8.1	Γενικά Στοιχεία	43
3.8.2	Μεθοδολογία Διεπίπεδου Προγραμματισμού	43
3.9	Επίλυση Προβλημάτων Μαθηματικού Προγραμματισμού με χρήση Λογισμικών	45
3.9.1	Το Excel Solver	46
3.9.2	Ο OpenSolver	48
3.9.3	Η Visual Basic for Applications (VBA)	50
3.9.4	Ο Evolver	51
3.10	Επιλογή του Μοντέλου της Διπλωματικής Εργασίας	54
4.	Κεφάλαιο 4: Δεδομένα – Ανάπτυξη Μοντέλου Βελτιστοποίησης	55
4.1	Γενικά – Σύντομη Περιγραφή του Προβλήματος	55
4.2	Τα Οδικά Έργα	56
4.3	Τα έργα ΣΔΙΤ	57
4.3.1	Από τη Χρηματοδότηση μέχρι την Παράδοση	59
4.4	Στοιχεία για τα υπό Δημοπράτηση Έργα	61
4.5	Στοιχεία για τις Κατασκευαστικές Εταιρίες	63
4.6	Αξιολόγηση Κοινωνικοοικονομικών και Χρηματοοικονομικών Στοιχείων	65
4.7	Περιγραφή και Τρόπος Υπολογισμού του Μαθηματικού Μοντέλου Βελτιστοποίησης	69
4.7.1	Η μορφή του μαθηματικού μοντέλου	69
4.7.2	Το άνω μέρος	71
4.7.3	Το κάτω μέρος	72
4.7.4	Η διασύνδεση	72
5.	Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή Μεθοδολογίας – Αποτελέσματα	75
5.1	Εισαγωγή	75
5.2	Η λειτουργία του Άνω Μέρους	77
5.3	Η λειτουργία του Κάτω Μέρους	79
5.4	Η Εκτέλεση του Αλγόριθμου	81
5.5	Αποτελέσματα Περίπτωσης 1 (Αρχικού Προβλήματος)	85
5.6	Αποτελέσματα Περίπτωσης 2 (Μικρότερο Κεφάλαιο Εταιριών)	88
5.7	Αποτελέσματα Περίπτωσης 3 (Μεγαλύτερο Κόστος Έργων)	93
5.8	Αποτελέσματα Περίπτωσης 4 (Διαφορετικοί Συντελεστές Κέρδους)	96
5.9	Αποτελέσματα Περίπτωσης 5 (Μικρότερο Πλήθος Έργων)	99
5.10	Αποτελέσματα Περίπτωσης 6 (Μικρότερο Πλήθος Έργων)	102
6.	Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	105

6.1 Ανασκόπηση Διπλωματικής Εργασίας	105
6.2 Συνοπτικά Αποτελέσματα	107
6.3 Ανάλυση και Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων	112
6.4 Ανάλυση Συμπερασμάτων	114
6.5 Προτάσεις για Περαιτέρω έρευνα	116
6.5.1 Περαιτέρω Εξέλιξη του Αλγόριθμου της Διπλωματικής Εργασίας	116
6.5.2 Περαιτέρω Χρήση του Αλγόριθμου της Διπλωματικής Εργασίας	117
7. Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία	119
7.1 Ξένη Βιβλιογραφία	119
7.2 Ελληνική Βιβλιογραφία	123
7.3 Διαδικτυακοί Τόποι	128
7.4 Εικόνες	130
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	131
– 138	

Πίνακες

Πίνακας 4.1: Τύποι Σύμπραξης Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα	58
Πίνακας 4.2: Κόστος κάθε Τεχνικού Έργου	62
Πίνακας 4.3: Στοιχεία Κατασκευαστικών Εταιριών	63
Πίνακας 4.4: Αναμενόμενα Κέρδη κάθε Κατασκευαστικής Εταιρίας από κάθε Τεχνικό Έργο	64
Πίνακας 5.1: Συμμετοχή Εταιριών στα έργα στην Περίπτωση 1	87
Πίνακας 5.2: Νέα Στοιχεία Κατασκευαστικών Εταιριών	88
Πίνακας 5.3: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 2	90
Πίνακας 5.4: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 2 σύμφωνα με τη δεύτερη καλύτερη λύση	92
Πίνακας 5.5: Κόστος για κάθε έργο στην Περίπτωση 3	93
Πίνακας 5.6: Διαθέσιμο Κεφάλαιο Κατασκευαστικών Εταιριών, σύμφωνα με την Αρχική Περίπτωση	93
Πίνακας 5.7: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 3	95
Πίνακας 5.8: Συντελεστές Κέρδους στην Περίπτωση 4	96
Πίνακας 5.9: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 4	98
Πίνακας 5.10: Κόστη Έργων στην Περίπτωση 5	99
Πίνακας 5.11: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 5	101
Πίνακας 5.12: Δεδομένα Εταιριών στην Περίπτωση 6	102
Πίνακας 5.13: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 6	104
Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα Περίπτωσης 1 (Αρχική Περίπτωση)	107
Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα Περίπτωσης 2.1 (Μικρότερο Κεφάλαιο Εταιριών)	107
Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα Περίπτωσης 2.2 (Μικρότερο Κεφάλαιο Εταιριών)	108
Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα Περίπτωσης 3 (Μεγαλύτερο Κόστος Έργων)	108
Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα Περίπτωσης 4 (Διαφορετικού Συντελεστές Κέρδους)	109
Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα Περίπτωσης 5 (Μικρότερο Πλήθος Έργων)	109
Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα Περίπτωσης 6 (Μικρότερο Πλήθος Εταιριών)	110

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 3.1: Ο Solver στο Excel	46
Εικόνα 3.2: Το Solver Parameters	47
Εικόνα 3.3: Ο OpenSolver στο Excel	48
Εικόνα 3.4: Η ανάπτυξη μοντέλου OpenSolver	49
Εικόνα 3.5: Το παράθυρο της Visual Basic for Applications	50
Εικόνα 3.6: Ο Evolver στο Excel	51
Εικόνα 3.7: Η Ανάπτυξη Μοντέλου στον Evolver	52
Εικόνα 3.8: Οι διάφορες ρυθμίσεις του Evolver	53
Εικόνα 4.1: Απεικόνιση χρηματικών ροών στο πλαίσιο παραδοσιακών δημοπρατήσεων και έργων ΣΔΙΤ	60
Εικόνα 5.1: Η Γενική Μορφή του Λογιστικού Φύλλου Excel	76
Εικόνα 5.2: Ο Ορισμός του μοντέλου του Άνω Μέρους	77
Εικόνα 5.3: Η επιλογή του τρόπου διασύνδεσης Evolver – OpenSolver	78
Εικόνα 5.4: Η μορφή της VBA για το κάτω μέρος	79
Εικόνα 5.5: Evolver Progress	81
Εικόνα 5.6: Το παράθυρο Evolver Watcher	82
Εικόνα 5.7: Το σύνολο των Δοκιμών	82
Εικόνα 5.8: Περίληψη της Βελτιστοποίησης	83
Εικόνα 5.9: Η πρόοδος της εύρεσης βέλτιστης λύσης	83
Εικόνα 5.10: Συνέχεια της περίληψης της βελτιστοποίησης	84

1

Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών εκτιμά πως σήμερα ζούνε πάνω από 7 δισεκατομμύρια άνθρωποι στον πλανήτη (Michael Kremer, 1993). Ο αριθμός αυτός πριν από 200 χρόνια δεν ξεπερνούσε το 1 δισεκατομμύριο. Για χιλιάδες χρόνια ο αριθμός των κατοίκων της γης αυξανόταν σταδιακά και αρκετά αργά, αλλά τους τελευταίους αιώνες αυξάνεται δραματικά. Μεταξύ του 1900 και του 2000 ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε 3 φορές περισσότερο σε σχέση με ολόκληρη την προηγούμενη ιστορία του ανθρώπου, από 1,5 σε 6,1 δις μέσα σε μόλις 100 χρόνια (Carl Haub, 2011). Εκτιμήσεις για την άνοδο του παγκόσμιου πληθυσμού του 2015 προβλέπουν την αύξηση του αριθμού μέχρι τουλάχιστον το 2050, φτάνοντας τα 8 δις το 2024 και τα 9 δις μέχρι το 2040 (United Nations, Department of Economic and Social Affairs 2015). Η αστικοποίηση του πληθυσμού ολοένα και αυξάνεται, καθώς από 30% που βρισκόταν τη δεκαετία του '30 έχει ξεπεράσει το 50% από την προηγούμενη δεκαετία (σύμφωνα με έρευνα του Ο.Η.Ε. το 2014 βρισκόταν στο 54%) και αναμένεται να φτάσει το 66% μέχρι το 2050. (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision)

Αυτοί οι παράγοντες, σε συνδυασμό με το γήρας πολλών υποδομών κυρίως στα ανεπτυγμένα κράτη, έχουν μετατρέψει την Κατασκευή σε μία βιομηχανία 10 τρισεκατομμυρίων, η οποία απασχολεί περί τα 100 εκατομμύρια εργαζομένων σε όλον τον κόσμο. 8,5 περίπου τρισεκατομμύρια δολάρια επενδύθηκαν για κατασκευαστικά έργα παγκοσμίως το 2015 και εκτιμήσεις θέλουν τον αριθμό να ανεβαίνει στα 10 τρισεκατομμύρια ετησίως μέχρι το 2020 (Global Construction Outlook 2020)

Η εφαρμοζόμενη πρακτική στην Ελλάδα μέχρι τη δεκαετία του '90 είχε να κάνει με τη διάθεση από το Δημόσιο των απαραίτητων πόρων για την κατασκευή των μεγαλύτερων έργων υποδομής, σε συνδυασμό πολλές φορές με επιχορηγήσεις κοινοτικών ταμείων. Δημόσιοι οργανισμοί είχαν την αρμοδιότητα της εκμετάλλευσης, λειτουργίας και συντήρησης των έργων αυτών. 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 και το ρόλο της χώρας.

Η σύλληψη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μεγάλων έργων αποτελούν όμως δαπανηρότατες επενδύσεις.

Λόγω των σημαντικών δαπανών και του περιορισμού των διαθέσιμων κεφαλαίων από μεριάς του Κράτους αναπτύχθηκαν διάφορα εργαλεία στην προσπάθεια είτε να μειωθεί κατά το δυνατόν το κόστος κατασκευής των τεχνικών έργων, είτε να μεταφερθεί σε ιδιώτες (βλέπε ΣΔΙΤ). Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως σύμφωνα με τον ΣΤΕΑΤ (Σύνδεσμος Τεχνικών Εταιριών Ανωτέρων Τάξεων) το κόστος κατασκευής ανά χιλιόμετρο εθνικής οδού κυμαίνεται από 4,7 έως 8,1 εκατομμύρια ευρώ, ανάλογα με την τεχνική δυσκολία και την περιοχή.¹

Ξεκίνησε, έτσι, αυτή η νέου τύπου συνεργασία μεταξύ του Δημοσίου και του ιδιωτικού τομέα που ονομάζεται Σύμπραξη Δημόσιου - Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ), η οποία διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από την κλασική μέθοδο κατασκευής ενός έργου. Ο ιδιώτης αναλαμβάνει την χρηματοδότηση υποδομών και υπηρεσιών που μέχρι πρότινος αναλάμβανε το Κράτος. Το αντάλλαγμα που λαμβάνει για αυτή του την επένδυση καταβάλλεται απ' ευθείας από τους τελικούς χρήστες του έργου.

Σύμφωνα με τους Webb and Pulle (2002), οι ΣΔΙΤ χρησιμοποιούνται από τα κράτη για διάφορους λόγους. Αρχικά το λεγόμενο value for money, ότι δηλαδή όπως και να έχει συμφέρον και αξίζουν τα λεφτά τους. Επίσης προτιμούνται καθώς εγγυάται η ταχεία ολοκλήρωση του έργου, υπάρχουν κέρδη από την καινοτομία που μπροούν να προσφέρουν οι εταιρίες αυτές, δε χρειάζεται ο δανεισμός για τη χρηματοδότηση του έργου από το Κράτος κ.α. Συμπεραίνεται έτσι πως οι ΣΔΙΤ δε χρησιμοποιούνται ως μια εναλλακτική απλώς για τη μείωση του κόστους στους κρατικούς προϋπολογισμούς αλλά και ως εργαλείο για τη βελτίωση της ποιότητας και του επιπέδου των παρεχόμενων υπηρεσιών και πως, άρα, τα πλεονεκτήματά τους είναι πλυεπίπεδα.

¹ Όπως αναφέρεται στο άρθρο της ιστοσελίδας του Βήματος (tonima.gr) "Πόσο κοστίζει ένα χιλιόμετρο δρόμου στην Ελλάδα και πόσο στην Ευρώπη", 5 Δεκεμβρίου 2009

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζεται η βέλτιστη, με όρους κοινωνικής ωφέλειας, κατανομή των προς δημοπράτηση έργων, τα οποία θα πραγματοποιηθούν ως Συμπράξεις Δημοσίου Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ), στις ενδιαφερόμενες κατασκευαστικές εταιρίες, δίνοντάς τους συγκεκριμένο κέρδος. Αυτό επιτυγχάνεται με μεθόδους της επιστήμης της επιχειρησιακής έρευνας και δη του Γραμμικού (Linear Programming) Ακέραιου (Integer Programming) και Διεπίπεδου Προγραμματισμού (Bilevel Programming) για τη Βελτιστοποίηση στην κατανομή των πόρων (Resource Allocation Optimization), ενώ στο τέλος ακολουθεί η εφαρμογή σε περιπτώσιολογική μελέτη και η δοκιμή τούς για διάφορα σενάρια. Για την επίλυση του διεπίπεδου προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ο OpenSolver του MS Excel σε συνεργασία με τον Evolver της Palisade, ενώ χρειάστηκε και ο προγραμματισμός με χρήση της VBA (Visual Basic for Applications).

Στη μελέτη γίνεται προσπάθεια μεγιστοποίησης των κοινωνικών ωφελειών στο άνω μέρος, την ώρα που το κάτω μέρος επιδιώκει τη μεγιστοποίηση των κερδών των κατασκευαστικών εταιριών. Θεωρήθηκε σχέδιο κατασκευής 9 ήδη σχεδιασμένων οδικών αξόνων με 4 ενδιαφερόμενες εταιρίες. Αναλυτικότερα, σε κάθε έργο θα πρέπει να συμμετέχει μόνο μία κατασκευαστική και σε βαθμό μικρότερο του 100%, λαμβάνεται επίσης υπόψη και ο περιορισμός των εταιριών όσον αφορά στους πόρους που έχουν στη διάθεσή τους και του ποσοστού του κέρδους στο οποίο αποσκοπεί η κάθε εταιρία από το κάθε έργο. Έγινε θεώρηση για τα κεφάλαια των κατασκευαστικών, ενώ τα στοιχεία για τα οδικά έργα θεωρήθηκαν βάσει αντίστοιχου μεγέθους τεχνικών έργων.

Με τη μέθοδο κοινωνικής ανάλυσης Κόστους-Οφέλους, ή αλλιώς Social Cost-Benefit Analysis αξιολογούνται τα δημόσια έργα και οι επιπτώσεις τους σε όρους οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας. Ως παράγοντες κοινωνικής ωφέλειας επιλέχθηκε το κόστος συμμετοχής στην κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και διαχείριση που αναλαμβάνουν οι κατασκευαστικές εταιρίες. Έτσι υπολογίζεται με μία κοινωνικο-οικονομική προσέγγιση το όφελος για το Δημόσιο, σε αντίθεση με την χρηματοοικονομική προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογηθούν τα έργα από τις κατασκευαστικές-διαχειριστικές εταιρίες.

Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση των μελετών στηρίχθηκε στην εκτίμηση του κόστους και των ωφελειών από την ανάληψη του κάθε έργου με βάση ιδιωτικά κριτήρια. Τα μακροχρόνια κέρδη των κατασκευαστών υπολογίστηκαν από τα κόμιστρα των διοδίων τα οποία θα εισπράττουν για κάποιο καθορισμένο χρονικό διάστημα, ενώ στις ζημιές ανήκει το κόστος κατασκευής καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, τα οποία βαραίνουν την εταιρία για το χρονικό διάστημα στο οποίο θα έχει τη διαχείριση της υποδομής.

Να σημειωθεί ότι το ύψος του κομίστρου, για κάθε έργο μεταφορών έχει υπολογιστεί σε ένα πεδίο τιμών το οποίο έχει καθοριστεί από το Δημόσιο. Αυτό συμβαίνει καθώς για να αποφανθεί το κράτος αν το εκάστοτε έργο μπορεί να προσελκύσει ιδιωτικά

κεφάλαια και να κατασκευαστεί με τη μέθοδο της Παραχώρησης εκπονεί την οικονομο-τεχνική μελέτη με βάση την οποία θα καθοριστεί η αποπληρωμή του τεχνικού έργου με την είσπραξη των κομίστρων των διοδίων.

1.3 Η Ελληνική Πραγματικότητα στα Έργα Υποδομής

Όσον αφορά στο νομικό πλαίσιο των ΣΔΙΤ στην Ελλάδα, η αρχή έγινε με το Ν. 3389 του 2005 ο οποίος καθόρισε στο μεγαλύτερο βαθμό τα έργα αυτά και τα διαχώρισε από τις μέχρι τότε γνωστές Συμβάσεις Παραχώρησης. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών όρων αναλύεται ενδελεχώς στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Μέσα από συμβάσεις Παραχώρησης έχουν γίνει και πρόκειται να ολοκληρωθούν στην Ελλάδα, μεγάλα και σημαντικά έργα οδικής υποδομής, ενώ ήδη έχει ανακοινωθεί και η δημοπράτηση νέων έργων. Όμως, προβληματικά στοιχεία κατά την εκτέλεση των συμβάσεων έχουν παρατηρηθεί τόσο στα ήδη ολοκληρωμένα έργα, όσο και σε αυτά που η κατασκευή τους είναι εν εξελίξει. Στο βαθμό λοιπόν, που η εφαρμογή των Συμβάσεων αυτών θα συνεχιστεί και στο μέλλον, μεγάλη σημασία έχει για τον Δημόσιο τομέα να έχει τα κατάλληλα εργαλεία και την εξειδίκευση προκειμένου να διαπραγματεύεται σωστά και με γνώμονα το δημόσιο συμφέρον τους όρους των συμβάσεων αυτών μιας και το κοινωνικό κόστος της αποτυχίας αυτών των συμβάσεων είναι πολύ υψηλό.

1.3.1 Έργα ΣΔΙΤ στην Ελλάδα

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως για το 2014, η χώρα μας ήταν στην τρίτη θέση στην Ε.Ε. βάσει της σχέσης: αξίας συμβάσεων / ΑΕΠ, με 7 συμβάσεις, τις πρώτες από το 2009, το συνολικό κόστος των οποίων ανήλθε στα 465 εκατομμύρια ευρώ.²

Κατά γεωγραφική περιοχή περιληπτικά παρουσιάζονται οι συμβάσεις μεγάλων αυτοκινητοδρόμων με τη μέθοδο της “Σύμβασης Παραχώρησης”³, όπως περιγράφηκαν το 2008. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των πιο πρόσφατων ή ακόμα και εν εξελίξει έργων.

- Βορειοδυτική Οδός Πελοποννήσου: ο άξονας Ελευσίνα-Κόρινθος-Πάτρα-Πύργος-Τσάκωνα, συνολικού μήκους 365,4 χιλιομέτρων, εκ των οποίων τα 283,7 κατασκευάζονται από την αρχή και τα υπόλοιπα 81,7 θα βελτιωθούν και θα αναβαθμιστούν. Το συνολικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στα 2,8 δισεκατομμύρια ευρώ, με τη χρηματοδοτική συμβολή του Δημοσίου να είναι 550 εκατομμύρια ευρώ, εκ των οποίων τα μισά θα προέλθουν από την Ε.Ε.
- Ανατολική Οδός Πελοποννήσου: ο άξονας Κόρινθος-Τρίπολη-Καλαμάτα και Λεύκρο-Σπάρτη, συνολικού μήκους 205 χιλιομέτρων. Το συνολικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στα 1,044 δισεκατομμύρια ευρώ, με τη συμβολή του Δημοσίου να είναι 330 εκατομμύρια ευρώ, εκτ των οποίων τα μισά θα προέλθουν από την Ε.Ε.

² Σύμφωνα με το Υπουργείο Οικονομίας, Υποδομών, Ναυτιλίας και Τουρισμού και την Ειδική Γραμματεία Συμπράξεων Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα

³ Οι διαφορές μεθόδου Παραχώρησης και ΣΔΙΤ αναλύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου, καθώς και εκτενώς στο υποκεφάλαιο 4.3

- Ιονία Οδός: ο άξονας Αντίρριο-Μεσολόγγι-Αγρίνιο-Αμφιλοχία-Άρτα-Ιωάννινα, συνολικού μήκους 196 χιλιομέτρων, το τμήμα του ΠΑ.ΘΕ. μήκους περίπου 175 χιλιομέτρων και ο συνδετικός κλάδος του Πα.ΘΕ. Σχηματάρι-Χαλκίδα μήκους 11 χιλιομέτρων. Το συνολικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στα 1,392 δισεκατομμύρια ευρώ, με τη συμβολή του Δημοσίου να ανέρχεται στα 330 εκατομμύρια ευρώ, εκ των οποίων τα μισά θα προέλθουν από την Ε.Ε.
- Οδικός Άξονας Κεντρικής Ελλάδας (Ε-65): ο άξονας Σκάρφεια (ΠΑΘΕ) – Παναγία (Εγνατία), συνολικού μήκους 175 χιλιομέτρων και το τμήμα Σκαρφεία (ΠΑΘΕ) – Ράχες Φθιώτιδας (ΠΑΘΕ) μήκους 57 χιλιομέτρων. Το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 1,6 δισεκατομμύρια ευρώ, με τη συμβολή του Δημοσίου να ανέρχεται στα 500 εκατομμύρια ευρώ, εκ των οποίων τα μισά θα προέλθουν από την Ε.Ε.

1.4 Μεθοδολογία Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο πραγματοποιείται μια συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά καθορίστηκε το αντικείμενο της έρευνας για την Διπλωματική Εργασία καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος της. Έχοντας καθορίσει επιτυχώς το αντικείμενο και τις διάφορες παραμέτρους που διέπουν την παρούσα Διπλωματική Εργασία, σειρά είχε η αναζήτηση της κατάλληλης βιβλιογραφίας. Για ακόμη μια φορά η πρωτοτυπία της Διπλωματικής Εργασίας υπήρξε αρνητικός παράγοντας στην εύρεση αντίστοιχων μελετών και εργασιών, όμως αυτό δε σήμαινε σε καμία περίπτωση την εγκατάλειψη της προσπάθειας. Βρέθηκε και μελετήθηκε αντίστοιχη βιβλιογραφία, όπως περιγράφεται εκτενώς στο κεφάλαιο της Βιβλιογραφικής Επισκόπησης, τόσο σε επίπεδο ελληνικών εργασιών όσο και σε διεθνές. Μέσω αυτών των άρθρων, εργασιών και μελετών αποκτήθηκε πολύτιμη εμπειρία η οποία συνέβαλε τα μέγιστα στην εύρεση του τρόπου επίλυσης του προβλήματός μας.

Σε επόμενο κεφάλαιο γίνεται η ανασκόπηση του θεωρητικού υπόβαθρου που διέπει την Διπλωματική Εργασία και τους τρόπους και τις μεθόδους εκείνες που αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του υπό διερεύνηση προβλήματος. Πολλά από τα στοιχεία που παρατίθενται, είτε συλλέχθηκαν από διάφορες πηγές είτε είναι προϊόντα δικής μας μελέτης και θεωρήθηκαν ως μεταβλητά στοιχεία που ανάλογα με τις τιμές που τους δίνονται επηρεάζουν κατά διάφορους τρόπους όχι τόσο τη διαδικασία επίλυσης, όσο τα αποτελέσματα αυτής.

Τα στοιχεία αυτά καταχωρήθηκαν στη βάση δεδομένων και με βάση αυτά πραγματοποιήθηκε η εκτέλεση των προβλημάτων.

Μετά την επιλογή της μεθόδου επίλυσης και των στοιχείων, σειρά είχε η πραγματοποίηση της κατασκευής του αλγόριθμου εκείνου που μας επέτρεψε την επίλυση του προβλήματος. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δημιουργήθηκε σε περιβάλλον MS Excel με ταυτόχρονη χρήση OpenSolver, Evolver.

Έτσι πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με τα διάφορα στοιχεία και προέκυψαν τα αποτελέσματα τα οποία άλλοτε υπήρξαν αναμενόμενα και άλλοτε όχι. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά είδαμε πως ο αλγόριθμος όχι απλά λειτουργεί αλλά και πως μπορεί να έχει και μεγάλη γκάμα εφαρμογής σε παρόμοιες καταστάσεις και προβλήματα. Μετά τις δοκιμές πραγματοποιήθηκε ο σχολιασμός των διαφόρων αποτελεσμάτων και τέλος αναγράφηκαν τα συμπεράσματα από το σύνολο της Διπλωματικής Εργασίας.

Να αναφερθεί πως το αποτέλεσμα της επίλυσης με τον αλγόριθμο δίνει έναν πίνακα στον οποίο αναγράφονται τα διάφορα έργα προς δημοπράτηση καθώς και οι ενδιαφερόμενες εταιρίες, με τα στοιχεία αυτού να είναι το ποσοστό συμμετοχής της κάθε εταιρίας, σε κάθε έργο, με τους διάφορους περιορισμούς, πάντα, να εκπληρούνται.

1.5 Βασικοί Ορισμοί

Ως **έργο** θεωρείται: μία προσωρινή προσπάθεια που αναλαμβάνεται προκειμένου να δημιουργηθεί ένα μοναδικό προϊόν, υπηρεσία ή αποτέλεσμα. Προσωρινό γιατί κάθε έργο έχει συγκεκριμένο πέρας το οποίο είναι τη στιγμή που επιτυγχάνονται οι στόχοι που έχουν τεθεί, και μοναδικό γιατί το αντικείμενο ή το αποτέλεσμα του έργου διαφέρουν από τα παρόμοιά του. (Project Management Institute – PMI 2005)

Τεχνικό έργο νοείται το αποτέλεσμα ενός συνόλου οικοδομικών εργασιών ή εργασιών πολιτικού μηχανικού που προορίζεται να πληροί αυτό καθαυτό μια οικονομική ή τεχνική λειτουργία. Πιο συγκεκριμένα ως τεχνικό έργο νοείται κάθε κατασκευή δομική και ηλεκτρομηχανολογική ή άλλης φύσεως κατασκευή που συνδέεται με οποιοδήποτε τρόπο με το έδαφος ήτοι κάθε ανέγερση και συναρμολόγηση νέου έργου και κάθε επέκταση, ανακαίνιση, επισκευή, διαρρύθμιση, συντήρηση και λειτουργία υφισταμένου ή νέου έργου καθώς και κάθε άλλη εργασία τεχνικής ή ερευνητικής φύσεως και κάθε συναφής δραστηριότητα που απαιτεί τεχνική γνώση, μελέτη και επέμβαση. (Υ.Α. 50516/104)

Δημόσιες Συμβάσεις για την υλοποίηση ενός δημόσιου έργου είναι συμβάσεις εξ επαχθούς αιτίας, οι οποίες συνάπτονται γραπτώς μεταξύ ενός ή περισσότερων οικονομικών φορέων και μίας ή περισσότερων αναθετουσών αρχών και έχουν ως αντικείμενο την εκτέλεση έργων, την προμήθεια προϊόντων ή την παροχή υπηρεσιών. (2004/17/ΕΚ και 2004/18/ΕΚ)

Οι **Συμπράξεις Δημοσίου – Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ)** είναι συμβάσεις, κατά κανόνα μακροχρόνιες, οι οποίες συνάπτονται μεταξύ ενός δημόσιου και ενός ιδιωτικού φορέα, με σκοπό την εκτέλεση έργων ή/και την παροχή υπηρεσιών. (Ν. 3389/2005)

Οι **ρόλοι του Δημοσίου και του Ιδιωτικού τομέα** είναι σαφώς ορισμένοι:

- Αξιοποιείται η τεχνογνωσία και η αποτελεσματικότητα του ιδιωτικού τομέα ενώ παράλληλα το δημόσιο διατηρεί ισχυρό εποπτικό ρόλο.
- Κατασκευάζονται ποιοτικά έργα και ταυτόχρονα παρέχονται υψηλού επιπέδου υπηρεσίες στους πολίτες/ χρήστες των έργων αυτών.
- Σημαντικό εργαλείο τόνωσης της οικονομικής ανάπτυξης μοχλεύοντας ιδιωτικούς πόρους σε αναπτυξιακά έργα με πολλαπλασιαστικό όφελος.
- Ο δημόσιος φορέας διατηρεί την ιδιοκτησία των παγίων και τον ισχυρό ρυθμιστικό και εποπτικό του ρόλο, δίνοντας την ευκαιρία να υλοποιούνται δημόσια έργα ακόμα και σε δυσχερείς οικονομικές συγκυρίες.

Διαφορές **Περίοδου Παραχώρησης ΣΔΙΤ** και **Σύμβασης Παραχώρησης**. Ο θεσμός της παραχώρησης εκμετάλλευσης αποτελεί υποσύνολο του εννοιολογικά και πρακτικά ευρύτερου θεσμού των συμπράξεων δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Με το Ν. 3389/2005 δημιουργείται ένα απλουστευμένο νομικό καθεστώς το οποίο αφ' ενός μεν συστηματοποιεί τις διατάξεις που μέχρι σήμερα αποτελούσαν τη βάση για την εκτέλεση έργων με το σύστημα της παραχώρησης εκμετάλλευσης (διατάξεις που εντάσσονταν σε πολλά - και πολύ διαφορετικά μεταξύ τους - νομοθετήματα όπως π.χ. άρθρα 4 § 4 Ν. 1418/1984 & 13 §§ 1 και 2 του Π.Δ. 609/1985, άρθρο 9 § 6 του Ν. 2052/1992 κλπ.) αφ' ετέρου δε, εισάγει νέες διατάξεις για να καλύψει και άλλες μορφές συμπράξεων πέραν της παραχώρησης.⁴

Με τον όρο **Επιχειρησιακή Έρευνα (Operations Research ή Operational Research)** αναφερόμαστε στο επιστημονικό πεδίο που περιλαμβάνει την ανάπτυξη και εφαρμογή προηγμένων αναλυτικών – ποσοτικών μεθόδων και τεχνικών για την ανάλυση επιχειρησιακών προβλημάτων με σκοπό να υποστηριχθεί και να βελτιωθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων. Η επιχειρησιακή έρευνα χρησιμοποιεί τεχνικές από κλάδους των μαθηματικών, όπως η μαθηματική μοντελοποίηση, η στατιστική ανάλυση, οι αλγόριθμοι, η **μαθηματική βελτιστοποίηση** κ.α. ώστε να προσδιορίσει βέλτιστες ή σχεδόν βέλτιστες λύσεις σε σύνθετα προβλήματα λήψης αποφάσεων. (Π. Υψηλάντης 2015)

⁴ <http://www.sdit.mnec.gr/πληροφόρηση/βιβλιοθήκη/συχνές-ερωτήσεις>

1.6 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

- Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια μίας εισαγωγής στη φύση της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά αποτιμάται η αναγκαιότητα ανάπτυξης αλλά και συντήρησης των υπάρχοντων τεχνικών υποδομών σε παγκόσμια κλίμακα. Στη συνέχεια γίνεται σαφές το κόστος της βιομηχανίας της Κατασκευής το οποίο και είναι δυσθεώρητο, αιτιολογώντας με κάποιον τρόπο την ανάγκη για τη βέλτιστη κατανομή των χρηματικών πόρων για την κατασκευή λειτουργία και συντήρηση των μεγάλων έργων υποδομής. Περιγράφεται στη συνέχεια η θεσμοθέτηση των έργων ΣΔΙΤ και τα διάφορα πλεονεκτήματά τους, πέραν της αφαίρεσης του μεγαλύτερου αν όχι όλου του χρηματικού κόστους από τα κράτη και την μετακύλιση του σε ιδιώτες επενδυτές. Έτσι γίνεται γνωστός στους αναγνώστες ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας, που παρά την πρωτοτυπία της, αποτελεί μία προσπάθεια για τη βελτιστοποίηση στην κατανομή των πόρων κατά την περίοδο της Δημοπρασίας έργων ΣΔΙΤ, κατά την οποία μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος. Έπειτα περιγράφεται η νομική και κοινωνική κατάσταση των έργων ΣΔΙΤ στη χώρα μας και γίνεται μια ανασκόπηση σημαντικών εν εξελίξει έργων ΣΔΙΤ στην Ελλάδα. Ακολουθεί η περιγραφή της Μεθοδολογίας η οποία ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της μελέτης της Διπλωματικής Εργασίας, ενώ, τέλος, περιγράφονται και αναλύονται ορισμένοι όροι οι οποίοι μπορεί να είναι ακόμη άγνωστοι σε πολλούς αναγνώστες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.
- Κεφάλαιο 2^ο: Βιβλιογραφική Επισκόπηση. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια παρουσίασης και ανασκόπησης αφενώς των αποτελεσμάτων από έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας και αφετέρου μεθοδολογιών συναφών με τη χρησιμοποιηθείσα. Παρατίθεται σύνοψη των υπό εξέταση εργασιών και την περίληψή τους. Αρχικά αναλύονται εργασίες που αφορούν εν γένει τη διαδικασία βελτιστοποίησης και δη τη βελτιστοποίηση στην κατανομή των πόρων. Στη συνέχεια εξετάζονται εργασίες που έχουν να κάνουν με τα έργα ΣΔΙΤ και τον τρόπο επιλογής τους, τη χρηματοοικονομική αξιολόγηση έργων υποδομής, καθώς και βιβλιογραφία σχετική με την περίοδο παραχώρηση έργων ΣΔΙΤ, ακόμη και την κοστολόγησή τους. Τέλος αναλύθηκε η βιβλιογραφία που αφορούσε το Διεπίπεδο Προγραμματισμό, πάνω στον οποίο στηρίχθηκε το μοντέλο βελτιστοποίησης της Διπλωματικής Εργασίας και εργασίες σχετικές με τη θεωρία παιγνίων και την επιλογή των συμμετεχόντων σε διαγωνισμούς, καθώς και το διεπίπεδο προγραμματισμό σε προβλήματα δημοπρασιών.
- Κεφάλαιο 3^ο: Θεωρητικό Υπόβαθρο Βελτιστοποίησης. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια παρουσίασης και ανάλυσης του θεωρητικού υπόβαθρου

με βάση το οποίο έγινε η κατασκευή του μοντέλου βελτιστοποίησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αναλύεται η Επιχειρησιακή έρευνα ως επιστήμη, με την πλήρη περιγραφή των διάφορων σταδίων της και περιγράφεται η ύπαρξη μαθηματικών μοντέλων για την επίλυση προβλημάτων επιχειρησιακής έρευνας. Παρατίθενται στοιχεία για τα διάφορα μέρη ενός αλγόριθμου βελτιστοποίησης και αναφέρονται οι διάφορες κατηγορίες αλγόριθμων βελτιστοποίησης, μαθηματικές και μη. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση του Γραμμικού Προγραμματισμού, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατά την κατασκευή του μοντέλου βελτιστοποίησης της Εργασίας, της μεθόδου Simplex, η οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον στη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού και στη συνέχεια του Ακέραιου και δη του Δυαδικού Προγραμματισμού ο οποίος επίσης χρησιμοποιήθηκε στη Διπλωματική Εργασία. Τέλος αναλύονται οι μορφές και η μεθοδολογία του Διεπίπεδου Προγραμματισμού και η διαδικασία επίλυσης προβλημάτων Μαθηματικού Προγραμματισμού με χρήση λογισμικών και αναφέρεται η επιλογή του μοντέλου της Διπλωματικής Εργασίας.

- Κεφάλαιο 4^ο: Δεδομένα – Ανάπτυξη Μοντέλου Βελτιστοποίησης. Στο τέταρτο κεφάλαιο μετά τη σύντομη περιγραφή του προβλήματος, αναλύονται η φύση η σημασία και οι ιδιαιτερότητες των οδικών έργων στην Ελλάδα και το εξωτερικό. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της μορφής των έργων ΣΔΙΤ καθώς και των διάφορων κατηγοριών τους και του τρόπου πραγματοποίησής τους. Αναφέρονται τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για τα κατασκευαστικά έργα και τις κατασκευαστικές εταιρίες, καθώς και ο τρόπος απόκτησής τους και στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της αξιολόγησης κοινωνικοοικονομικών και χρηματοοικονομικών στοιχείων σε έργα αντίστοιχης φύσεως με τα υπό εξέταση της Διπλωματικής Εργασίας. Τέλος γίνεται η περιγραφή και ο τρόπος υπολογισμού του μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης της εργασίας, η επεξήγηση των συμβόλων, του τρόπου λειτουργίας των μερών του καθώς και του τρόπου διασύνδεσης αυτών.
- Κεφάλαιο 5^ο: Εφαρμογή Μεθοδολογίας – Αποτελέσματα. Στο πέμπτο κεφάλαιο έγινε παρουσίαση της μορφής και λειτουργίας του άνω και του κάτω μέρους του αλγόριθμου, μέσα από τον υπολογιστή και τη χρήση του. Έγινε η παρουσίαση του κώδικα με βάση τον οποίο πραγματοποιήθηκε η λειτουργία του κάτω μέρους του προβλήματος και στη συνέχεια παρουσιάστηκε η εκτέλεση του αλγόριθμου. Αρχικά έγινε ο υπολογισμός της βέλτιστης λύσης για το Αρχικό Πρόβλημα που παρουσιάστηκε και στη συνέχεια αναλύθηκαν άλλα 5 σενάρια με το κάθε ένα από αυτά να χαρακτηρίζεται από την αλλαγή ενός από τους 5 παράγοντες των δεδομένων, ώστε να εξεταστεί πλήρως και σε όλες τις πιθανές διαφοροποιήσεις το μοντέλο. Αναλυτικότερα εξετάστηκε το αρχικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε και στη συνέχεια για μικρότερο κεφάλαιο εταιριών, μεγαλύτερο κόστος έργων (ίσο με το διαθέσιμο κεφάλαιο

των εταιριών), διαφορετικούς συντελεστές κέρδους για τις εταιρίες και τέλος για μικρότερο πλήθος έργων καθώς και για μικρότερο πλήθος εταιριών.

- Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα. Στο έκτο κεφάλαιο έγινε μία ανασκόπηση των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στη Διπλωματική Εργασία και παρουσιάστηκαν συνοπτικά τα αποτελέσματα των δοκιμών των διαφόρων σεναρίων που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και μετά από μια σύντομη αλλά περιεκτική τους ανασκόπηση πραγματοποιήθηκε η ανάλυση και ο σχολιασμός τους. Στη συνέχεια έγινε η ανάλυση των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από τη Διπλωματική Εργασία εν γένει, καθώς και από τα αποτελέσματα των δοκιμών συγκεκριμένα. Τέλος έγινε αναφορά στις προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στο αντικείμενο και το μοντέλο βελτιστοποίησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.
- Κεφάλαιο 7^ο: Βιβλιογραφία. Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε καθ'όλο το εύρος της Διπλωματικής Εργασίας, η οποία χωρίστηκε σε κατηγορίες ανάλογα με τη γλώσσα στην οποία βρέθηκε, και την ακριβή μορφή της. Η αναφορά της γίνεται με βάση τη σειρά που εμφανίστηκε στην Εργασία.
- Παράρτημα. Τέλος παρουσιάστηκε το παράρτημα με τους κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για όλες τις περιπτώσεις που δοκιμάστηκαν στο κεφάλαιο 5.

2

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο 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. Η πρωτοτυπία της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας έκανε τη βιβλιογραφική επισκόπηση δύσκολη αλλά κοινά σημεία υπάρχουν με παρόμοιες εργασίες, έρευνες και μεθοδολογίες που μπορεί να μην αφορούν το ακριβές αντικείμενο της παρούσας μελέτης αλλά η Διπλωματική Εργασία βασίστηκε στα κοινά χαρακτηριστικά τους.

Παρατίθεται σύνοψη των υπό εξέταση εργασιών που περιλαμβάνει το πλαίσιο της έρευνας, τη μεθοδολογία, τα αποτελέσματά της και τη συνάφειά της με την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Ο στόχος της ανασκόπησης συναφών μεθοδολογιών και εργασιών είναι να προσδιοριστεί ο τρόπος προσέγγισης του προβλήματος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και στη συνέχεια η επιλογή της ορθότερης μεθοδολογίας για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού.

Οι μεθοδολογίες και μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορούσαν Μεθόδους Βελτιστοποίησης, έρευνα γύρω από τις Συμπράξεις Δημοσίου – Ιδιωτικού Τομέα αλλά και τη Χρηματοοικονομική Αξιολόγηση και Απόδοση έργων υποδομής, Θεωρία Παιγνίων κ.α. Για αυτόν το λόγο θα παρουσιαστούν κατά σειρά συνάφειας οι εξετασθείσες εργασίες και μελέτες.

2.2 Εφαρμογές Βελτιστοποίησης

Τα δημόσια έργα όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της εισαγωγής είναι άμεσα συνδεδεμένα με την οικονομική ανάπτυξη κάθε κράτους. Προβλήματα στην κατασκευή, διαχείριση και λειτουργία αυτών μπορεί να μειώσει την οικονομική δραστηριότητα που αναπτύσσεται μέσω αυτών και να επηρεάσει την κοινωνική ευημερία. Έτσι το παγκόσμιο ενδιαφέρον έχει στραφεί στην βελτιστοποίηση όλων των πτυχών για την κατασκευή και διαχείριση των έργων αυτών.

2.2.1 Βέλτιστη Κατανομή Πόρων

Στην εργασία “A Review of Program Evaluation and Fund Allocation Methods within the service and Government Sectors, των Zanakis, Mandakovic, Gupta, Sahay και Hongb, 1995., παρέχεται μια ανάλυση προηγούμενων ερευνών που έχουν να κάνουν με την κατανομή των πόρων και τα διάφορα μοντέλα που στηρίχθηκαν, τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν και τις εφαρμογές που μπορούν να προκύψουν.

Πιο συγκεκριμένα, επισημαίνεται ότι οι διάφοροι φορείς πρέπει συνεχώς να κατανέμουν τα περιορισμένα κεφάλαιά τους στα διαφορετικά προγράμματα / έργα ικανοποιώντας αντικρουόμενους στόχους και συμφέροντα. Το πρόβλημα της κατανομής πόρων στη συγκεκριμένη δημοσίευση τίθεται θεωρώντας ένα σύνολο προγραμμάτων/έργων με ένα ποσοτικοποιημένο όφελος που ανατίθεται σε κάθε ένα από αυτά. Κρίσιμη θεωρείται η απόφαση σχετικά με το ποιο πρόγραμμα θα χρηματοδοτηθεί και με τι 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.

Στην εργασία “Optimization of resource allocations and leveling using genetic algorithms” του Tarek Hegazy, Journal of Construction Engineering and Management, (1999), γίνεται αναφορά στη σημασία και την κρισιμότητα της βελτιστοποίησης στην κατανομή των πόρων και της εξισορρόπησης στη διαχείριση έργων (project management). Λόγω της πολυπλοκότητας των έργων που αναλύονται, η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται κυρίως με ευρετικές (heuristics) προσεγγίσεις που δεν μπορούν όμως να θεωρηθούν βέλτιστες. Προτείνονται στη συνέχεια βελτιώσεις στη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων με τη χρήση Γενετικών Αλγόριθμων (Genetic Algorithms). Με αυτή τη βελτιωμένη ευρετική

μέθοδο¹ εισέρχονται τυχαίες προτεραιότητες σε επιλεγμένα μέρη του έργου και παρακολουθείται η επίπτωσή τους στον προγραμματισμό των εργασιών. Ο Γενετικός Αλγόριθμος, τότε, αναζητεί τη βέλτιστη κατανομή των επιμέρους έργων με συγκεκριμένη προτεραιότητα, ώστε να δημιουργηθεί η συντομότερη διαδρομή στην εκτέλεση των εργασιών.

Στην εργασία “Project Selection, Scheduling and Resource Allocation with time dependent returns” των Chen J., Askin R. ,(2006) αναλύεται το διπλό πρόβλημα της επιλογής ενός έργου και του χρονικού προγραμματισμού των επιμέρους υποέργων του. Εξετάζεται η περίπτωση όπου πρέπει να επιλεγθεί ένας αριθμός εκ των υποψήφιων έργων. Να σημειωθεί πως τα έργα που αναφέρονται στη συγκεκριμένη μελέτη δεν είναι τεχνικά. Επίσης η επιστροφή που παρέχεται από τα έργα εξαρτάται και από το χρόνο ολοκλήρωσής τους. Το κεφάλαιο που υπάρχει στη διάθεση του διαχειριστή είναι περιορισμένο και μπορεί να ανανεώνεται. Ο αντικειμενικός στόχος της μελέτης είναι να μεγιστοποιηθεί το κέρδος. Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε και εξετάστηκε ουσιαστικά κατατάσσει τα διάφορα έργα και παράγει ως αποτέλεσμα την επιλογή αυτών που πρέπει να πραγματοποιηθούν.

Η εργασία “A new multi-objective algorithm for a project selection problem” των Ghorbani S. και Rabbani M. (2007), αναλύει το πρόβλημα της επιλογής συγκεκριμένων έργων από μία γκάμα προσφερόμενων και αναφέρει τη σημαντικότητα της ορθότερης επιλογής αυτών. Αναφέρει πως μετα-ευρετικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στην επίλυση πλειάδας πολυαντικειμενικών προβλημάτων και για αυτόν το λόγο χρησιμοποιούνται τέτοιες μέθοδοι στη διαδικασία παραγωγής του αλγόριθμου με βάση τον οποίο θα επιλυθεί το εξεταζόμενο πρόβλημα. Οι δύο αντικειμενικές συναρτήσεις που δημιουργήθηκαν μεγιστοποιούν τα συνολικά οφέλη και ελαχιστοποιούν το άθροισμα των χρησιμοποιούμενων πόρων στις περιόδους μεταξύ των εκάστοτε έργων. Μία μετα-ευρετική πολυαντικειμενική μέθοδος δημιουργείται και χρησιμοποιείται, ενώ τέλος συγκρίνεται με γνωστούς γενετικούς αλγόριθμους, όπως ο NSGA-II και μάλιστα το παραχθέν αποτέλεσμα θεωρήθηκε καλύτερο της συγκεκριμένης μεθόδου.

Να σημειωθεί πως από τις προαναφερθείσες εργασίες το κομμάτι της βελτιστοποίησης και δη με τη χρήση Γενετικών Αλγόριθμων κρίθηκε το πιο ενδιαφέρον μέρος, καθώς αντίστοιχες μέθοδοι δεν είχαν μελετηθεί πριν την προσπάθεια ανάπτυξης της Διπλωματικής Εργασίας.

2.2.2 Τι οδηγεί στην επιλογή ενός έργου ως ΣΔΙΤ

Αρχικά εξετάστηκαν οι προϋποθέσεις εκείνες που οδηγούν στην επιλογή ενός έργου να κατασκευαστεί ως ΣΔΙΤ, με την “Optimal Selection of Build-Operate-Transfer

¹ Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι, όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο αποτελούν μετα-ευρετικές μεθόδους βελτιστοποίησης (βελτιωμένες ευρετικές).

Projects on Transportation Networks” των Di Wu, Yafeng Yin και Siriphong Lawphongpanich, University of Florida, 2011.²

Η εργασία ασχολείται με το πρόβλημα της επιλογής Συγκοινωνιακών έργων (οδικών αξόνων συγκεκριμένα) για την ανάπτυξή τους ως έργα ΣΔΙΤ. Μεγιστοποιώντας τα κοινωνικά οφέλη αλλά έχοντας εξασφαλίσει και τα κέρδη των ιδιωτών επενδυτών.

Όπως αναφέρεται και στην εισαγωγή “ [...] οι κυβερνήσεις πρέπει να πραγματοποιήσουν ενδελεχείς αναλύσεις στα έργα ΣΔΙΤ για να διασφαλίσουν και να προστατέψουν το δημόσιο συμφέρον” (GAO, 2008). Από τη μεριά του Δημοσίου η ανάπτυξη σχεδίων και έργων ως ΣΔΙΤ συνήθως περιλαμβάνει τρεις φάσεις. Η πρώτη είναι η επιλογή των έργων, όπου ο εκάστοτε υπεύθυνος οργανισμός επιλέγει τα έργα εκείνα τα οποία θα οφελήσουν περισσότερο το κοινωνικό σύνολο, αλλά παράλληλα θα είναι και ελκυστικά για τους επενδυτές τους. Στη δεύτερη φάση γίνεται κάποιας μορφής δημοπρασία και παραδίδονται τα έργα στις ενδιαφερόμενες εταιρίες, για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τέλος γίνεται η διαπραγμάτευση των όρων των συμβολαίων με τις εταιρίες αυτές ώστε να διαφυλάσσεται πάντοτε το δημόσιο συμφέρον.

Στη συγκεκριμένη εργασία θεωρείται ένα τρι-επίπεδο πρόβλημα θεωρίας παιγνίων με τρία επίπεδα παικτών. Αρχικά ως Leader, το Δημόσιο αποτελεί από μόνο του το πρώτο γκρούπ. Ως leader παίρνει τις αποφάσεις και οι υπόλοιποι παίκτες (followers) ακολουθούν. Η θεωρία παιγνίων και ειδικότερα σε κατασκευαστικά και ΣΔΙΤ θέματα θα αναλυθεί ενδελεχώς στη συνέχεια του κεφαλαίου. Το κράτος, ως leader επιλέγει ορισμένα υποψήφια έργα προς κατασκευή ως ΣΔΙΤ, με βάση τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους ενώ παράλληλα θα θεωρούνται ελκυστικά προς τους επενδυτές.

Πιο συγκεκριμένα θεωρώντας πως τα κόμιστρα από τα διόδια θα επαρκέσουν για να καλύψουν το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του έργου, για όσο καιρό κρατήσει η περίοδος παραχώρησης, θα προσφέρει τα επιλεγμένα έργα προς διάθεση στη δημοπρασία. Σε αυτό το στάδιο έχει καθοριστεί η περίοδος παραχώρησης καθώς και οι προσφορές στη δημοπρασία έχουν να κάνουν με τις τιμές των διοδίων, την εκτιμώμενη ΕΜΗΚ κ.α. Στις επόμενες δύο ομάδες (followers) ανήκουν οι ιδιωτικές κατασκευαστικές εταιρίες και οι τελικοί χρήστες των έργων (οι πολίτες που χρησιμοποιούν τους οδικούς άξονες).

Στη συνέχεια προκύπτει το πρόβλημα βελτιστοποίησης, του οποίου η λύση καταδεικνύει τα έργα τα οποία επιλέχθηκαν για να κατασκευαστούν ως ΣΔΙΤ (και βγαίνουν σε δημοπρασία). Γίνονται οι κατάλληλες θεωρήσεις, όπως ότι υπάρχει επαρκής αριθμός ενδιαφερόμενων εταιριών για τα συγκεκριμένα έργα, τόσες ώστε να ισχύσουν οι κανόνες τέλειου ανταγωνισμού, ενώ θεωρήθηκε μηδενικό όφελος για τους κερδισμένους του διαγωνισμού από την όλη διαδικασία κ.α.

Η συγκεκριμένη εργασία ήταν και η πρώτη που αφορούσε πολυεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης και αν και δεν προσέφερε ιδιαίτερη βοήθεια όσον αφορά στη διαδικασία επίλυσης αντίστοιχης φύσης προβλημάτων αποτέλεσε την πρώτη επαφή

² Ως BOT εννοούνται τα έργα ΣΔΙΤ, όπως θα αναλυθεί εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.

με τέτοιου είδους προβλήματα, ενώ βοήθησε στην ορθότερη κατανόηση του αντικειμένου και του σκοπού της επιλογής έργων για να δημοπρατηθούν ως ΣΔΙΤ.

2.2.3 Χρηματοοικονομική Αξιολόγηση Έργων Υποδομής

Στις σημειώσεις “Οικονομική Αξιολόγηση Συγκοινωνιακών Έργων”, του Αθ. Χασιακού (2000) γίνεται αναφορά στην οικονομική αξιολόγηση των δημοσίων έργων. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται πως η οικονομική αξιολόγηση των δημοσίων έργων γίνεται για να καθοριστεί η βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ευημερία του κοινωνικού συνόλου. Η αξιολόγηση βασίζεται σε μεθόδους ποσοτικής (κατά το δυνατόν) αποτίμησης της ελκυστικότητας ενός δημόσιου έργου ή υπηρεσίας. Παραδείγματα έργων (ή κοινωφελών υπηρεσιών) που απορροφούν δημόσιες επενδύσεις και στοχεύουν στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του κοινωνικού συνόλου είναι ένα αεροδρόμιο, οι δημόσιες συγκοινωνίες, η αντιπλημμυρική προστασία, το αμυντικό πρόγραμμα της χώρας, η εκπαίδευση, η νοσοκομειακή περίθαλψη, κ.α.

Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος αξιολόγησης δημοσίων έργων είναι γνωστή ως ανάλυση ωφελειών - κόστους. Σύμφωνα με αυτή, για να αποφασιστεί η υλοποίηση ενός έργου πρέπει οι ωφέλειες από τη χρήση του έργου να είναι μεγαλύτερες από το κόστος του έργου. Οι ωφέλειες εκείνες του έργου που έχουν ποιοτικό χαρακτήρα και δεν μπορούν να αποτιμηθούν εύκολα συνεκτιμώνται με μια διαδικασία υποκειμενικής αξιολόγησης που είναι γνωστή ως πολυκριτηριακή ανάλυση. Οι παραπάνω αναλύσεις εμπλουτίζονται με άλλες που δίνουν τη συνολική εικόνα της ελκυστικότητας και της δυνατότητας υλοποίησης του έργου. Όλες αυτές οι αναλύσεις αποτελούν τη μελέτη σκοπιμότητας του έργου.

Η οικονομική αξιολόγηση ενός δημόσιου έργου διαφέρει από την αντίστοιχη μιας επένδυσης στον ιδιωτικό τομέα. Οι κυριότερες διαφορές αφορούν τα ακόλουθα :

- τα δημόσια έργα είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερης χρονικής κλίμακας και κόστους από τα ιδιωτικά
- υπάρχει γενικά δυσκολία στον καθορισμό των ωφελειών ενός δημόσιου έργου
- τα δημόσια έργα επιφέρουν συνήθως πρόσθετες (δευτερεύουσες) ωφέλειες αλλά και πρόσθετες δυσμενείς επιπτώσεις που συχνά είναι δύσκολο να προβλεφθούν
- μερικές ωφέλειες των έργων είναι απροσδιόριστες και δεν μπορούν να αποτιμηθούν ποσοτικά
- οι ωφέλειες ενός δημόσιου έργου δεν είναι άμεσες αλλά εμφανίζονται στο απώτερο μέλλον με συνέπεια οι εκτιμήσεις να είναι αρκετά αβέβαιες και

- στα δημόσια έργα υπάρχει διάσταση μεταξύ της κοινωνικής ομάδας που καρπούται τις ωφέλειες ενός έργου κι αυτής που επιβαρύνεται το κόστος του έργου.

Στο Κεφάλαιο 9: “Ανάλυση Κόστους Οφέλους Επένδυσης σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μέσω Σύμπραξης Δημοσίου Ιδιωτικού Τομέα” του βιβλίου “Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων”, Κ. Αραβώσης κ.α. (2011), γίνεται ανάλυση έργου το οποίο αποτελείται από 2 σταθμούς επεξεργασίας και καθαρισμού αποβλήτων, δύο αντλιοστάσια και ένα δίκτυο διανομής. Η ανάλυση υποβλήθηκε στην ΕΓΣΔΙΤ (Ειδική Γραμματεία Σύμπραξεων Δημοσίου Ιδιωτικού Τομέα)³ και στη συνέχεια από τη ΔΕΣΔΙΤ (Διυπουργική Επιτροπή ΣΔΙΤ). Ο τύπος της σύμβασης ήταν Κατασκευή-Λειτουργία-Μεταφορά (Build Operate Transfer, BOT).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε πλήρης μελέτη κατά την οποία προσδιορίστηκε το έργο με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και αποτελέσματά του, εξετάστηκαν οι διάφορες εναλλακτικές και ακολούθησε πλήρης χρηματοοικονομική ανάλυση η οποία αφορούσε πέραν από το σύνολο των επιμέρους χαρακτηριστικών του έργου και την απόδοση της επένδυσης αλλά και τη χρηματοδότηση. Έπειτα έγινε η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης, υπολογίστηκαν οι διάφοροι δείκτες κέρδους και έγινε η αναγωγή τους στην Καθαρή Παρούσα Αξία και τέλος έγινε η αξιολόγηση και ανάλυση των κινδύνων με αναλύσεις ευαισθησίας, ακόμα και ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών.

Στην εργασία “Transport infrastructure project evaluation using cost-benefit analysis” των Jones H. ,Moura F. ,Domingos T. , EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, (2013) αναλύθηκε η σημασία ανάπτυξης ενός εργαλείου για τη λήψη αποφάσεων για τα σύγχρονα υπερ-έργα υποδομής (Megaprojects). Με την ισχνή οικονομική κατάσταση των ημερών μας θεωρείται πως η Ανάλυση Κόστους Οφέλους (CBR, Cost Benefit Ratio) είναι απαραίτητο εργαλείο για της λήψη αποφάσεων που αφορούν στην καταλληλότερη κατανομή των πόρων.

Επίσης παρουσιάστηκε εκτός από τη μεγάλη χρησιμότητα του CBR ως εργαλείου και η μεγάλη αδυναμία του. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση για τους λόγους που αποτρέπουν τη χρήση της Υπολειματικής Αξίας (RV, Residual Value) ως εργαλείο κατάλληλο για την εκπόνηση τέτοιων μελετών καθώς την κρίνουν ανεπαρκή ως μέθοδο και θεωρούν πως χρήζει περαιτέρω έρευνας. Η Υπολειματική Αξία ουσιαστικά δίνει την αξία του έργου μετά την περίοδο παραχώρησης και λειτουργίας του και δεν πιστεύουν πως έχει αντιπροσωπευτική αξία.

Στη μελέτη “Attitudes towards the role of Cost-Benefit_Analysis in the decision making process for spatial-infrastructure projects: A Dutch Case Study” των Mouter N., Annema J.A., Van Wee B., (2012) εμπεριέχεται μία συστηματική ανασκόπηση των βασικών παραγόντων στην Ολλανδική Ανάλυση Κόστους Οφέλους (CBA, Cost

³ Ο όρος ΕΓΣΔΙΤ αναφέρεται και αναλύεται εκτενώς στο Κεφάλαιο 3

Benefit Analysis) και στο ρόλο που διαδραματίζει στη διαδικασία αποφάσεων στα έργα υποδομής.

Η εργασία “Techno-Economic Analysis of BOT Municipal Infrastructure Project – A Case Study” των Mulgrund G. V., Shete V. M., Kanade G. N., (2015) στην αρχή της αναφέρεται η σημασία των έργων υποδομής για την οικονομική ανάπτυξη μια χώρας και πως στις δύσκολες εποχές για να χρηματοδοτηθούν έργα υποδομής πρέπει να υποστηριχθούν τα έργα ΣΔΙΤ. Στη συνέχεια αφού αναλυθούν οι διάφορες μορφές, τα θετικά και τα αρνητικά για αυτά τα έργα και τα βασικά για τη χρηματοδότησή τους, καταλήγει στην Οικονομοτεχνική (χρηματοοικονομική) μελέτη στην περίπτωση οδικού άξονα στην Ινδία.

Τέλος η εργασία “Η Ανάλυση Κόστους – Οφέλους στην Αξιολόγησης Αναπτυξιακών Έργων και Πολιτικών” του Γ. Μέργου, (2002) αναφέρει πως η μέθοδος της Κοινωνικής Ανάλυσης Κόστους – Οφέλους, γνωστή και ως Social Cost Benefit Analysis ή απλά Cost Benefit Analysis, αποτελεί μέθοδο αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων και των επιπτώσεων μέτρων πολιτικής σε όρους οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας.

Πρόκειται, επομένως, για μια κοινωνικο- οικονομική προσέγγιση στην αξιολόγηση των επενδύσεων, με την έννοια ότι αποτιμώνται τα οφέλη και εκτιμούνται τα κόστη των υπό αξιολόγηση έργων με βάση τις γενικότερες οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις τους..

2.2.4 Χρονική διάρκεια Περιόδου Παραχώρησης

Στην εργασία “Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines” των Shinya Hanaoka και Hazel Perez Palapus, Tokyo Institute of Technology, 2012, εξετάστηκε η μεθοδολογία με την οποία μπορεί να καθοριστεί μία εύλογη περίοδος παραχώρησης ενός έργου ΣΔΙΤ, ώστε να οφελείται το δημόσιο αλλά και ο ιδιώτης επενδυτής λαμβάνοντας υπόψιν τον παράγοντα του ρίσκου και τη χρηματοοικονομική αξιολόγηση του συγκεκριμένου έργου υποδομής μέσω της Monte Carlo μεθόδου προσομοίωσης και διαπραγματευτικών τεχνικών.

Η προσομοίωση Monte Carlo έδωσε ένα αρχικό πεδίο τιμών στο χρονικό διάστημα της παραχώρησης, ενώ μέσω των χρησιμοποιηθέντων τεχνικών διαπραγμάτευσης επετεύχθη η βέλτιστη χρονική περίοδος. Χρησιμοποιήθηκαν ως παράδειγμα οδικά έργα ΣΔΙΤ στις Φιλιππίνες.

Η περίοδος παραχώρησης ορίστηκε από τη στιγμή της υπογραφής της συμφωνίας μεταξύ κράτους και ιδιώτη επενδυτή και αναφέρεται ως η περίοδος για την οποία η κατασκευαστική εταιρία είναι υπεύθυνη για την κατασκευή και λειτουργία του οδικού άξονα.

Ενώ οι μελέτες των Shen L.Y. , Li H. , Li Q. M. (2002, 2007) ασχολούνται με ντετερμινιστικές μεθόδους για τον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος παραχώρησης από τις ιδιωτικές κατασκευαστικές εταιρίες, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο στην υπό μελέτη εργασία, καθώς η μέθοδος υπολογισμού της ρευστότητας διαφέρει.

Το ίδιο συμβαίνει και με τις εργασίες των Shen και Wu (2005) και Ng et al.'s (2007). Στην τελευταία περίπτωση υπολογίστηκε για την καλύτερη κατανόηση του παράγοντα του ρίσκου στο κόστος, στον τζίρο και στα κέρδη των ΣΔΙΤ, ο δείκτης IRR (Internal Rate of Return) ενώ στην περίπτωσή μας θεωρήθηκε μόνο ο δείκτης NPV (Net Present Value) η οποία επίσης είναι αναγνωρισμένη μέθοδος για την εκτίμηση και αξιολόγηση έργων, ενώ επίσης λαμβάνει υπόψιν τη χρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος και χρησιμοποιείται για την ανάλυση Κόστους – Οφέλους.

Γενικά, η Περίοδος Παραχώρησης προσδιορίζεται από το Δημόσιο Φορέα και οι προσφορές από τα επενδυτικά σχήματα έχουν τη μορφή διαπραγμάτευσης για το κόστος του κομίστρου των διοδίων και άλλα θέματα σχετικά με τη φύση του έργου σύμφωνα με τον Zhang, (2009).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην εργασία περιλάμβανε την ποσοτική ανάλυση ρίσκου για έργα ΣΔΙΤ. Αρχικώς το μεγαλύτερο ρίσκο έγκειται στο ότι τα κέρδη των επενδυτών έρχονται αποκλειστικά από τη ρευστότητα του έργου. Ενώ λοιπόν υπολογίζεται η χρηματική ροή σε ένα σταθερό από άποψη εσόδων οικονομικό μοντέλο, η πραγματικότητα είναι πολύ διαφορετική. Οι μεταβλητές ειδικά σε σχέδια και έργα που κρατάνε δεκαετίες είναι πολύ σημαντικές και εύκολο να αλλάξουν. Για αυτόν το λόγο στη συγκεκριμένη εργασία θεωρήθηκε NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία) μεταβλητή μέσα σε ένα εύρος τιμών. Όσον αφορά στο ρίσκο, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία θεωρήθηκε μία σταθερή τιμή (ποσοστό) επί του συνολικού ποσού της επένδυσης των ιδιωτών στα υποψήφια προς δημοπράτηση οδικά έργα.

Η ποσοτική ανάλυση ρίσκου με τη προσομοίωση Monte Carlo αποτελεί μία πολύ δυνατή μέθοδο εκτίμησης του ρίσκου και προσδίδει τη δυνατότητα στον εντολέα μία σοβαρή ματιά στα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει η αβεβαιότητα στο έργο του. Η προσομοίωση αυτή περιλαμβάνει τυχαία επιλογή της κατανομής των πιθανοτήτων μέσα στο υπο εξέταση μοντέλο παράγοντας εκατοντάδες έως και χιλιάδες σενάρια που ονομάζονται trials (δοκιμές) Vose, (2008) και χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις προβλημάτων διαχείρισης έργων (project management).

Για τις παραμέτρους της περιόδου παραχώρησης θεωρήθηκαν δύο κατηγορίες: οι ντετερμινιστικές (σταθερές) παράμετροι και οι μεταβλητές παράμετροι. Στην πρώτη κατηγορία ανήκει η περίοδος κατασκευής, οι φόροι και τα λοιπά έξοδα, τα οποία μπορεί να μεταβληθούν αλλά δε θεωρείται σημαντική η αλλαγή τους. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν το κόστος επένδυσης, οι μακροοικονομικοί παράγοντες, το ποσοστό του κέρδους, η ΕΜΗΚ, το κόστος διοδίων, τα διάφορα κόστη λειτουργίας και συντήρησης, ο τζίρος και η Καθαρή Παρούσα Αξία του έργου.

Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως σύμφωνα με τον Κ. Αραβώση κ.α. (2011) η Ε.Ε. προτείνει, χωρίς να είναι δεσμευτική η απαίτηση η χρονική διάρκεια της παραχώρησης για έργα ενέργειας, οδοποιίας και λιμενικά- αεροδρομίων να είναι της

τάξης των 25 ετών, για έργα ύδρευσης, περιβάλλοντος και σιδηροδρομικά 30 έτη, ενώ για βιομηχανικά έργα 10 και για τομείς τηλεπικοινωνιών και λοιπούς τομείς περί τα 15 έτη. Έτσι έχει θεωρηθεί από την παρούσα Διπλωματική Εργασία περίοδος παραχώρησης 25 ετών για τα υπό δημοπράτηση οδικά έργα.

2.2.5 Επιλογή της Βέλτιστης Κοστολόγησης (Optimal Pricing)

Στην εργασία “Programming, optimal pricing and partnership contract for infrastructures in PPPs”, του Alain Bonnafous, (2010) θεωρείται αρχικώς πως η κατασκευή τεχνικών έργων ως ΣΔΙΤ δεν έχει επηρεάσει κατά πολύ τη διαδικασία υπολογισμών για τη χρηματοδότηση, κατασκευή και διαχείρισή τους. Μελετάται όμως σε ποιο βαθμό κρίνεται αναγκαία η μεταβολή του τρόπου με τον οποίο γίνονται από το Δημόσιο οι χρηματοοικονομικές και κοινωνικοοικονομικές αξιολογήσεις των έργων αυτών. Εξετάζεται στη συνέχεια η σχέση μεταξύ της βελτιστοποίησης της κοστολόγησης (optimal pricing) και την βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της επένδυσης (optimal investment programming).

2.2.6 Διεπίπεδος Προγραμματισμός (Bilevel Programming)

Στην προσπάθεια να γίνει καλύτερη κατανόηση του προβλήματος της Διπλωματικής Εργασίας, καθώς και των διαφόρων μεθόδων με τις οποίες έγινε η ανάλυση του προβλήματος, παρουσιάστηκε η εξετασθείσα βιβλιογραφία στις προηγούμενες σελίδες του παρόντος κεφαλαίου. Όμως για την προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος χρειάστηκαν μέθοδοι διεπίπεδου προγραμματισμού, οι οποίες δεν αναλύθηκαν επαρκώς στη μέχρι στιγμής βιβλιογραφία.

Για αυτόν το σκοπό θα γίνει σε αυτό το υποκεφάλαιο η επιγραμματική αναφορά της βιβλιογραφίας βάσει της οποίας δημιουργήθηκαν οι αλγόριθμοι εκείνοι με τους οποίους επιλύθηκε το πρόβλημα της διεπίπεδης βελτιστοποίησης.

Αρχικώς, βάσει του βιβλίου “Foundations of Bilevel Programming” του Stephan Dempe, (2002). Από το πρώτο κεφάλαιό του γίνεται ουσιαστικά ο ορισμός των προβλημάτων διεπίπεδου προγραμματισμού, ως μαθηματικά προβλήματα βελτιστοποίησης στα οποία όλες οι μεταβλητές είναι κατανομημένες μεταξύ δύο διανυσμάτων, φορέων (vector) x και y την ώρα που το x θα επιλεγεί ως η βέλτιστη λύση ενός δεύτερου μαθηματικού προβλήματος προγραμματισμού με το y ως παράμετρο. Έτσι θεωρείται ουσιαστικά ένα ιεραρχικό πρόβλημα από την άποψη ότι τα παράγωγα μέρη του καθορίζονται εν μέρει από ένα δεύτερο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες για τη μορφή και την επίλυση αλλά και παραδείγματα για πλειάδα προβλημάτων Γραμμικού Διεπίπεδου Προγραμματισμού, Παραμετρικής Βελτιστοποίησης κ.α.

Για την περαιτέρω μελέτη των προβλημάτων διεπίπεδου προγραμματισμού κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί και η εργασία “Bilevel Programming: A Survey” των Colson B., Marcotte P., Savard G. (2005) η οποία ασχολήθηκε με την επισκόπηση των μεθόδων και την τάξη στη βελτιστοποίηση γνωστής και ως διεπίπεδου προγραμματισμού.

Γίνεται επίλυση διεπίπεδου προβλήματος – παραδείγματος και στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των γενικών μεθόδων που διέπουν τη διαμόρφωση των προβλημάτων διεπίπεδου προγραμματισμού. Αναλύονται μάλιστα Γραμμικά, Γραμμικά Τετραγωνικά καθώς και Μη Γραμμικά προβλήματα.

Έπειτα η εργασία “Continuous transportation network design problem based on Bi-level programming model” του Zhichen Sun, (2016) η οποία αναφέρει πως ο διεπίπεδος προγραμματισμός χρησιμοποιείται αρκετά συχνά για την περιγραφή και επίλυση προβλημάτων συγκοινωνιακής φύσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η αντικειμενική συνάρτηση στο άνω μέρος του προβλήματος εξεφραζε το άθροισμα της συνολικής αντίστασης και του ελάχιστου συνολικού προϋπολογισμού για το δίκτυο συγκοινωνιών. Στο κάτω μέρος του προβλήματος υπήρχε ένα μοντέλο ισορροπίας με προκαθορισμένη, σταθερή, ζήτηση.

Για να γίνουν μάλιστα πιο ρεαλιστικά τα αποτελέσματα, προτάθηκε ένα βελτιωμένο μοντέλο στοχαστικού σχεδιασμού του δικτύου μεταφορών και παρουσιάστηκε ένας Γενετικός Αλγόριθμος καθώς και Frank-Wolfe (FW) Αλγόριθμος για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Για την επίλυση του προβλήματός μας χρειάστηκε και η βοήθεια Γενετικών Αλγόριθμων και μία ορθότερη επαφή με αυτούς σε αντίστοιχο πρόβλημα ήρθε μέσω του “Genetic-Algorithms-Based Approach for Bilevel Programming Models” του Y. Yin (2000). Στην εργασία αυτή προτείνεται ένας Γενετικός Αλγόριθμος για την επίλυση διεπίπεδων προβλημάτων. Τα αποτελέσματα δείχνουν τους Γενετικούς Αλγόριθμους ως πιο ικανούς από λοιπές ευρετικές (heuristic) μεθόδους και αλγόριθμους. Αναφέρονται συγκεκριμένα συγκοινωνιακά προβλήματα και εργασίες που τα αφορούσαν στα οποία επετεύχθη βέλτιστη λύση σε διεπίπεδο πρόβλημα (Leader – Follower ή παιχνίδι Stackelberg) με τη χρήση τέτοιου είδους Γενετικού Αλγόριθμου. Αναφέρονται οι παλαιότεροι τρόποι επίλυσης τέτοιου είδους προβλημάτων και σχολιάζεται βεβαίως ο μεγάλος βαθμός δυσκολίας τους. Τέλος αναφέρονται συγκοινωνιακά προβλήματα που επιλύονται με χρήση τέτοιου είδους αλγόριθμων και παρουσιάζονται τα αποτελεσμά τους.

2.2.7 Θεωρία Παιγνίων Συμμετεχόντων και Διεπίπεδος Προγραμματισμός Δημοπρατήσεων

Στο “An ordinal game theory approach to the analysis and selection of partners in public-private-partnership projects” των Ouenniche J., Boukouras A. Rajabi M. (2015) γίνεται αναφορά στο κενό ύπαρξης μεθοδολογίας για την επιλογή συμμετεχόντων σε τεχνικά έργα ΣΔΙΤ. Έτσι έγινε προσπάθεια για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού με την ανάπτυξη ενός μοντέλου απόφασης σε ένα στατικό παίγνιο χωρίς συνεργασία (static, non-cooperative game) με πλήρη πληροφόρηση όλων των μερών και δημιουργία ενός νέου αλγόριθμου τακτικού παιγνίου (ordinal game) για την εύρεση της βέλτιστης ισορροπίας του Nash (Optimal Nash equilibrium). Ο προτεινόμενος αλγόριθμος κατατάσσει τις προσφορές των υποψήφιων επενδυτών λαμβάνοντας υπόψιν τα πολλαπλά κριτήρια απόδοσης από τη μεριά τόσο του

Δημοσίου καθώς και των επενδυτών. Υποστηρίζεται πως παράγει αποτέλεσμα ανεξαρτήτων του αριθμού των παικτών και των όρων των συμβολαίων.

Μία επίσης βοηθητική για την πορεία της Διπλωματικής Εργασίας εργασία, αποτέλεσε η “Reverse auction with buyer-supplier negotiation using bi-level distributed programming” του Chi-Bin Cheng (2011). Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται η δομή με βάση την οποία μπορεί να λυθεί ένα με σφραγισμένη προσφορά, πολυθεματικό και πολλών πηγών πρόβλημα δημοπρασίας στο οποίο λαμβάνει χώρα μία διαπραγμάτευση μεταξύ αγοραστή και πωλητών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας δημοπράτησης. Το πρόβλημα έχει μορφοποιηθεί ως ένα διεπίπεδο πρόβλημα κατανομής στο οποίο ο αγοραστής είναι το άνω μέρος της διαδικασίας και οι προμηθευτές (πωλητές) το κάτω μέρος και λαμβάνουν αποφάσεις ξεχωριστά και ανεξάρτητα το ένα επίπεδο από το άλλο.

2.3 Κριτική Αξιολόγηση

Μέχρι στιγμής παρουσιάστηκε μέρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε, αναφέροντας τις κυριότερες των υπό μελέτη εργασιών. Έγινε προσπάθεια να παρουσιαστούν όσο το δυνατόν πιο συνοπτικά το αντικείμενο αυτών καθώς και τα αποτελέσματα αλλά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν. Η βιβλιογραφία αναλύθηκε ενδελεχώς και αφορούσε όλες τις πτυχές της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η χρήση των στοιχείων αυτών υπήρξε καθοριστική για την αποπεράτωση της εργασίας. Εν συντομία, από τη σύνθεση των βασικών σημείων του κεφαλαίου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όσον αφορά στο Γραμμικό Προγραμματισμό η απλότητα που διέπει το σχηματισμό των αλγόριθμων τον κάνει σίγουρα πιο προσιτό στον απλό μελετητή.
- Η βέλτιστη λύση που παρέχεται η οποία πολλές φορές δε δύναται να ευρεθεί με απλές – μη προγραμματιστικές μεθόδους.
- Η δυνατότητα ανάλυσης των αποτελεσμάτων και περαιτέρω δοκιμής τους. Μέσω αναλύσεων ευαισθησίας μπορούμε να γνωρίζουμε κάθε στιγμή ποιοί παράγοντες δύναται να μεταβληθούν χωρίς να επηρεάσουν τη βέλτιστη λύση στο πρόβλημά μας.
- Η δυνατότητα μέσω του διεπίπεδου προγραμματισμού για την ταυτόχρονη επίλυση πολλαπλών αντικρουόμενων προβλημάτων.
- Η μελέτη προβλημάτων βελτιστοποίησης κατανομής πόρων μας έφερε πρώτη φορά σε επαφή με τους Γενετικούς Αλγόριθμους.
- Η ύπαρξη γενετικών, μετα-ευρετικών αλγόριθμων η οποία μας επιτρέπει την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων.
- Οι εξελεκτικοί αλγόριθμοι με τους οποίους πραγματοποιήθηκε η επίλυση του διεπίπεδου προβλήματός μας στο περιβάλλον του MS Excel.
- Έγινε ορθότερη κατανόηση των λόγων εκείνων που οδηγούν στην κατασκευή ενός έργου υποδομής ως ΣΔΙΤ.

- Έγινε καλύτερα κατανοητή η έννοια της Θεωρίας Παιγνίων και του πως το Δημόσιο και οι υποψήφιοι επενδυτές λαμβάνουν τους ρόλους τους (Leader και Followers αντίστοιχα).
- Καθορίστηκαν επίσης τα στοιχεία εκείνα, σταθερά και μεταβλητά που παίζουν το μεγαλύτερο ρόλο στην κοινωνικοοικονομική και χρηματοοικονομική αξιολόγηση ενός έργου υποδομής.
- Έγινε η επιλογή του εργαλείου εκείνου με βάση το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι αξιολογήσεις αυτές (με βάση την Ανάλυση Κόστους Οφέλους)
- Αναλύθηκαν εκτενέστατα οι παράγοντες εκείνοι που δύναται να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της μεθόδου Ανάλυσης Κόστους Οφέλους.
- Αναλύθηκε η θεωρία για ανάλυση των συμμετεχόντων με βάση τη θεωρία παιγνίων.
- Έγινε προσπάθεια για τον ορθότερο υπολογισμό της χρονικής διάρκειας της περιόδου παραχώρησης ενός έργου η μίας σειράς έργων ΣΔΙΤ και καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το καλύτερο είναι να καθορίζεται από το Δημόσιο.
- Κρίθηκε επιτακτική η ανάγκη να γίνουν οι υπολογισμοί για την Ανάλυση Κόστους Οφέλους με βάση την Καθαρή Παρούσα Αξία των χρηματικών τιμών του προβλήματος.
- Η βασικότερη παρατήρηση που προέκυψε από την ανάλυση της χρησιμοποιηθείσας βιβλιογραφίας είναι πως υπήρξε μία μόνο μελέτη – εργασία που να ασχολήθηκε σχεδόν με τον πρόβλημα της Διπλωματικής Εργασίας, βέβαια σε βαθμό πολύ μικρότερο και απλοϊκότερο από την παρούσα εργασία.
- Η πρωτοτυπία της Διπλωματικής Εργασίας έκανε πολύ δύσκολη την εύρεση αντίστοιχης βιβλιογραφίας, όμως υπήρξε αρκετή πληροφορία για παρόμοια προβλήματα τα οποία σε συνδυασμό μεταξύ τους και με τις πρακτικές που

αναλύθηκαν μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του προβλήματός μας.

- Η ανάγκη για τη δημιουργία ενός μοντέλου – αλγόριθμου για την βέλτιστη κατανομή σειράς έργων ΣΔΙΤ σε υποψήφιες εταιρίες για τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους κρίθηκε ιδιαίτερως σημαντική και με την κατανόηση των εννοιών του κεφαλαίου έγινε πραγματικότητα η δημιουργία του.
- Η περαιτέρω ανάπτυξη τέτοιου είδους αλγόριθμων κρίνεται αναγκαία καθώς θα μπορούσε να γλυτώσει το Δημόσιο από τεράστια κόστη και να αυξήσει τα κοινωνικά οφέλη κατά δισεκατομμύρια.

3

Θεωρητικό Υπόβαθρο Βελτιστοποίησης

3.1 Γενικά

Η Επιχειρησιακή Έρευνα, ως έννοια, δεν είναι κάτι καινούργιο. Ο άνθρωπος επιδίωκε ανέκαθεν την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης και πραγματοποιούσε έτσι, έστω και εν αγνοία του, επιχειρησιακή έρευνα. Βελτιστοποίηση είναι το σύνολο εκείνων των ενεργειών που στοχεύουν στη μετατροπή ενός συστήματος, σχεδίου, ή συνόλου αποφάσεων όσο το δυνατόν περισσότερο λειτουργικό, εύχρηστο ή αποτελεσματικό βάσει κριτηρίων και περιορισμών.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι το διεπίπεδο πρόβλημα της μεγιστοποίησης του κοινωνικού οφέλους και η ελαχιστοποίηση της συμμετοχής των ιδιωτικών εταιριών στα υπό δημοπράτηση έργα υποδομής.

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφεί το θεωρητικό υπόβαθρο τόσο των μοντέλων εκείνων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προγραμματισμό του αλγόριθμου, όσο και των διαδικασιών εκείνων που μας οδήγησαν στην επιλογή των διαφόρων συντελεστών και της μορφής του αλγόριθμου.

Πιο συγκεκριμένα μεγάλη έμφαση θα δοθεί στα προβλήματα γραμμικού και διεπίπεδου προγραμματισμού για την επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης, ενώ θα δοθεί και ο τρόπος κατασκευής και επίλυσής τους με τη βοήθεια των εργαλείων επίλυσης του MS Excel (Excel Solver και Excel OpenSolver) και διάφορων εργαλείων όπως το Enoiver. Θα γίνει επίσης αναφορά και στις άλλες μεθόδους και εργαλεία επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης.

3.2 Εισαγωγικά – Ιστορικά Στοιχεία

Η Επιχειρησιακή Έρευνα είναι η επιστήμη που δημιουργήθηκε για την ανάγκη των ανθρώπων να επιλύουν προβλήματα που αφορούν στη λήψη αποφάσεων. Κατά τον Π. Υψηλάντη (2015) πρωτοεμφανίστηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου στο Ηνωμένο Βασίλειο και η ανάπτυξή της έγινε για να εξυπηρετήσει στρατιωτικούς σκοπούς. Μερικά από τα προβλήματα που αντιμετώπισαν οι επιστήμονες της εποχής ήταν η βέλτιστη επιλογή τοποθεσιών για την εγκατάσταση πυροβόλων ή ραντάρ, ώστε να υπάρχει η όσο το δυνατόν καλύτερη αμυντική κάλυψη, ο καθορισμός του άριστου μεγέθους των πολεμικών αποστολών, η επιλογή τρόπων προστασίας των άμαχων πληθυσμών, ο συνεχής εφοδιασμός των στρατευμάτων στα μέτωπα των πολεμικών επιχειρήσεων κ.α.

Η επιτυχία της Επιχειρησιακής Έρευνας στις στρατιωτικές διαδικασίες οδήγησε και άλλους κυβερνητικούς φορείς και βιομηχανικές επιχειρήσεις να στηρίξουν τις αποφάσεις τους στην Επιχειρησιακή Έρευνα. Το 1951 εκδόθηκε το πρώτο βιβλίο με τίτλο “Methods of Operatios Reasearch” και το 1952 ιδρύθηκε και ο πρώτος οργανισμός επιχειρησιακής έρευνας, ονόματι “Operations Research Society of America”.

Στην Ελλάδα ιδρύθηκε το 1963 η “Ελληνική Εταιρία Επιχειρησιακών Ερευνών (ΕΕΕΕ)” από πρωτοπόρους Έλληνες επιστήμονες με σκοπό να προάγει τη διδασκαλία και τη χρήση της μεθοδολογίας της επιχειρησιακής έρευνας προς όφελος της Ελληνικής οικονομίας και κοινωνίας. Έτσι μνήθηκε από τους ακαδημαϊκούς μεγάλος αριθμός φοιτητών στις αρχές και πρακτικές της επιχειρησιακής έρευνας και πλέον την εφαρμόζουν καθημερινά στους χώρους που εργάζονται. Αποτέλεσμα και της ερευνητικής δραστηριότητας στην ανάπτυξη τεχνικών επιχειρησιακής έρευνας αλλά και πρωτότυπες εφαρμογές δημοσιεύονται σε μεγάλο αριθμό επιστημονικών περιοδικών.¹

Έτσι, μετά τον πόλεμο οι τεχνικές αυτές άρχισαν να εφαρμόζονται και στη διοίκηση επιχειρήσεων και οργανισμών. Η συνεχής έρευνα σε αυτόν τον τομέα συντέλεσε στη γρήγορη εξέλιξη της θεωρίας της Επιχειρησιακής Έρευνας. Να σημειωθεί πως σύμφωνα με τον Dantzig, G.B. (1963) μέχρι το 1950 είχαν ήδη αναπτυχθεί οι βασικές μέθοδοι της Ε.Ε., όπως ο Γραμμικός Προγραμματισμός, ο Δυναμικός Προγραμματισμός, η μέθοδος Simplex κ.α.

Ο σκοπός, λοιπόν, της Επιχειρησιακής Έρευνας, προς τον οποίο κατευθύνεται και η κύρια προσπάθεια του επιχειρησιακού ερευνητή, είναι η ανεύρεση και η υπόδειξη της βέλτιστης λύσης για το υπό μελέτη πρόβλημα. (Θ.Δ. Μητσόπουλος, 1964)

¹ Ελληνική Εταιρία Επιχειρησιακής Έρευνας, eeee.org.gr

Όσο κατανοητός είναι ο στόχος της Επιχειρησιακής Έρευνας ως επιστήμης, τόσο πιο δύσκολο είναι να δοθεί ένας συγκεκριμένος ορισμός. Μερικοί από τους ορισμούς που υπάρχουν είναι:

- Η Επιχειρησιακή Έρευνα ασχολείται με την επιλογή του βέλτιστου σχεδιασμού και της βέλτιστης λειτουργίας μηχανικών συστημάτων που απαιτεί την κατανομή αναλώσιμων πηγών. (Operations Research Society of America)
- Επιχειρησιακή Έρευνα είναι ο επιστημονικός κλάδος που ασχολείται με την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων για την περιγραφή συστημάτων και διαδικασιών με κύριο σκοπό την αριστοποίησή τους και τη λήψη αποφάσεων. (Δ. Λέκκας)
- Ο όρος Επιχειρησιακή Έρευνα (operations research) είναι η επιστήμη ή για την ακρίβεια ο τομέας των εφαρμοσμένων μαθηματικών, που ασχολείται με την ανάπτυξη και την εφαρμογή μαθηματικών μεθόδων που βοηθούν στη βελτιστοποίηση στη λήψη αποφάσεων σχετικών με το πως γίνονται ή συντονίζονται οι λειτουργίες (operations) ή οι δραστηριότητες μέσα σε ένα σύστημα. (B. Τσιχριντζής)

3.3 Τα Στάδια της Μεθόδου

Η αντιμετώπιση ενός προβλήματος όπου πρέπει να ληφθεί η μία απόφαση για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός συστήματος, σύμφωνα με το Μ. Καρλαύτη περιλαμβάνει συνήθως τα εξής στάδια:

1. Αναγνώριση του προβλήματος και συλλογή των δεδομένων του
2. Ανάπτυξη του μαθηματικού προτύπου που αντικατοπτρίζει την πραγματική λειτουργία του συστήματος
3. Επίλυση του προτεινόμενου προτύπου και
4. Εφαρμογή και αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης.

Έτσι και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία ακολουθήθηκε η συγκεκριμένη διαδικασία. Μετά την αναγνώριση και περιγραφή του προβλήματος στο κεφάλαιο της Εισαγωγής (Κεφ. 1) ακολούθησε η ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου στο Κεφάλαιο 4: Δεδομένα και Ανάπτυξη του Αλγόριθμου. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή Μεθοδολογίας και Αποτελέσματα περιγράφεται η επίλυση και τα αποτελέσματα του Αλγόριθμου ενώ και στο Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα γίνεται η αξιολόγηση της λύσης.

Να σημειωθεί βέβαια πως η ακόλουθη διαδικασία μπορεί να αφορά στα περισσότερα προβλήματα βελτιστοποίησης αλλά υπάρχουν διάφορα προβλήματα όπως και αυτό που εξετάστηκε στη Διπλωματική Εργασία, αλλά και προβλήματα Δυναμικού Προγραμματισμού τα οποία επιλύονται με πιο σύνθετες διαδικασίες. Χωρίς αυτό να συνεπάγεται με τη μη εφαρμογή, σε γενικές γραμμές, των παραπάνω βημάτων.

3.4 Μαθηματικά Μοντέλα Βελτιστοποίησης

Η διαφορά μεταξύ των μαθηματικών μοντέλων μεγιστοποίησης και ελαχιστοποίησης δεν είναι ουσιαστικής σημασίας, καθώς ένα πρόβλημα στο οποίο ζητείται η μεγιστοποίηση μπορεί να μετατραπεί σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης και αντίστροφα. Είτε πρόκειται για μεγιστοποίηση μίας συνάρτησης είτε για ελαχιστοποίηση, κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης ενός προβλήματος, η επιλογή των μεταβλητών προγραμματισμού, των κριτηρίων και των περιορισμών αποτελεί τη σημαντικότερη παρέμβαση του ερευνητή.

3.4.1 Οι απαραίτητες ιδιότητες των Αλγόριθμων Βελτιστοποίησης

Καθένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης οφείλει να τηρεί συγκεκριμένες ιδιότητες, σύμφωνα με την εργασία του Α. Μπάκα (2011):

- Ευρωστία (robustness), δηλαδή να μπορεί να επιλύσει πολλά προβλήματα.
- Αποδοτικότητα (efficiency), δηλαδή να μην απαιτεί πολύ χρόνο και ισχύ για τον υπολογισμό του.
- Ακρίβεια (accuracy), δηλαδή να καταλήγει σε λύση ακρίβειας

Βέβαια τα παραπάνω μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθούν ταυτόχρονα.

Στη συνέχεια θα εξερευνηθούν τα συστατικά μέρη των αλγόριθμων βελτιστοποίησης.

3.4.2 Μεταβλητές Σχεδιασμού ή Απόφασης

Μεταβλητές σχεδιασμού ή αλλιώς απόφασης (design or decision variables) λέγονται οι παράμετροι που λαμβάνοντας μία τιμή καθορίζουν πλήρως ένα σχεδιασμό.

Πολύ σημαντική παράμετρος για την ορθή διατύπωση ενός προβλήματος είναι η σωστή επιλογή και χρήση των μεταβλητών απόφασης. Λανθασμένη επιλογή συνεπάγεται με μη ορθή προσομοίωση. Επίσης σημαντική θεωρείται και η εξάρτηση μεταξύ τους.

3.4.3 Αντικειμενική Συνάρτηση

Η έκφραση που δείχνει τη σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές του προβλήματος και το σκοπό της επιχείρησης, του οργανισμού ή του συστήματος λέγεται αντικειμενική συνάρτηση. Η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί είτε να αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση είτε στην ελαχιστοποίηση. Το κριτήριο αποτελεί μία συνάρτηση που παίρνει συγκεκριμένη τιμή για συγκεκριμένο σχεδιασμό. Σημαντικός παράγοντας είναι και η ορθή επιλογή της αντικειμενικής συνάρτησης. Ως αντικειμενική συνάρτηση υπολογίζεται το βασικό ζητούμενο της βελτιστοποίησης το οποίο θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε, δηλαδή είτε να μεγιστοποιήσουμε είτε να ελαχιστοποιήσουμε.

Παραδείγματα αντικειμενικών συναρτήσεων είναι η ελαχιστοποίηση κόστους, η μεγιστοποίηση κέρδους κ.α.

3.4.4 Συναρτήσεις Περιορισμού

Οι εκφράσεις που δείχνουν ένα όριο στη διαθεσιμότητα των δεδομένων, ονομάζονται Συναρτήσεις Περιορισμού. Περιορισμοί που εισάγονται στο πρόβλημα της βελτιστοποίησης έχουν είτε μορφή ανισοτήτων είτε ισοτήτων. Κάθε περιορισμός στο πρόβλημα πρέπει να έχει σχέση εξάρτησης από τουλάχιστον μία μεταβλητή.

Ένας ανισοτικός περιορισμός (inequality constraint) π.χ. $h(s) < 0$ δεν ικανοποιείται όταν παίρνει θετική τιμή $h(s) > 0$ ή μηδενική τιμή. Αντίστοιχα ένας ανισοτικός περιορισμός $h(s) > 0$ δεν ικανοποιείται όταν παίρνει αρνητική ή μηδενική τιμή. Φυσικά μπορεί να είναι της μορφής $h(s) \leq 0$ ή $h(s) \geq 0$ όπου δεν παραβιάζεται για τιμή ίση με το μηδέν.

Ένας ισοτικός περιορισμός (equality constraint) $h(s) = 0$ δεν ικανοποιείται όταν δεν ισχύει η ισότητα, δηλαδή για $h(s) \neq 0$.

3.4.5 Κατηγορίες Αλγόριθμων Βελτιστοποίησης

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης χωρίζονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες και σύμφωνα με την εργασία του Ν. Μπαδογιάννη (2015):

- Με βάση τους περιορισμούς, σε αλγόριθμους που έχουν και αλγόριθμους που δεν έχουν περιορισμούς.
- Με βάση τις μεταβλητές, οι οποίες μπορεί να είναι συνεχείς ή διακριτές.
- Με βάση τον τρόπο εύρεσης της βέλτιστης λύσης χωρίζονται σε βιτερμινιστικούς, ημιστοχαστικούς και στοχαστικούς αλγόριθμους.

Ουσιαστικά, όμως δύο είναι οι κύριες κατηγορίες στις οποίες ανήκουν οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι:

- Μαθηματικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης.
- Μεταεურιστικοί (ή μεταερευτικοί) αλγόριθμοι βελτιστοποίησης.

3.4.5.1 Μαθηματικές Μέθοδοι Βελτιστοποίησης

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης που ανήκουν στους μαθηματικούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν κατά τον Ε. Πλεύρη (2001) σε:

- **Μεθόδους Γραμμικού Προγραμματισμού:**
Το πρώτο αυτό μοντέλο βελτιστοποίησης θα αναλυθεί εκτενώς σε επόμενο υποκεφάλαιο (3.5). Αποτελεί το πιο σύνθητες μοντέλο και αφορά προβλήματα όπου αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί είναι γραμμικά εξαρτημένοι από τις μεταβλητές του προβλήματος.
- **Μεθόδους Ακέραιου Προγραμματισμού:**
Άλλο ένα μοντέλο βελτιστοποίησης το οποία θα φανεί πολύ χρήσιμο για τη συνέχεια της Διπλωματικής Εργασίας. Πρακτικά ο Ακέραιος Προγραμματισμός είναι Γραμμικός, μόνο που μπορεί να έχει τιμές σε παραμέτρους του οι οποίες να μην είναι συνεχείς αλλά διακριτές. Με τη σειρά του χωρίζεται και αυτός σε υποκατηγορίες αλλά θα αναλυθεί εκτενέστατα στο υποκεφάλαιο 3.7
- **Μεθόδους Μη Γραμμικού Προγραμματισμού:**
Σε αυτό το μοντέλο ανήκουν προβλήματα τα οποία είναι παρόμοια με τα γραμμικά, αλλά στα οποία η αντικειμενική συνάρτηση δεν είναι γραμμική και ενδεχομένως και οι περιορισμοί τους επίσης να μην είναι.
- **Μεθόδους Γεωμετρικού Προγραμματισμού:**
Αποτελεί μοντέλο βελτιστοποίησης στο οποίο δεν αντικειμενική συνάρτηση ή και περιορισμοί αποτελούν πολυωνυμικές συναρτήσεις.

- Μεθόδους Δυναμικού Προγραμματισμού:
Αποτελεί μία μέθοδο η οποία ουσιαστικά χωρίζει τα μεγάλα προβλήματα βελτιστοποίησης σε πολλά πιο μικρά τα οποία είναι έτσι ευκολότερα αντιμετωπίσιμα.

3.4.5.2 Μεταευριστικές (Μεταευρετικές) Μέθοδοι Βελτιστοποίησης

Όπως αναφέρθηκε οι στοχαστικοί αλγόριθμοι μπορεί να είναι είτε ευρετικοί ή ευριστικοί (heuristic) είτε μεταευρετικοί ή μεταευριστικοί (metaheuristic). Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι μικρή, καθώς αν και βασίζονται σε παρόμοιες μεθόδους, οι μετα-ευρετικοί αλγόριθμοι θεωρούνται μία βελτιωμένη έκδοση των ευρετικών, σύμφωνα με τον Xin- She Yang, (2010).

Κατά τους Sorensen and Glover (2013): Μεταυρετική είναι μία υψηλού βαθμού ανεξάρτητη του προβλήματος αλγοριθμική δομή που παρέχει μία ομάδα κατευθυντήριων γραμμών ή στρατηγικών για να αναπτύξει τους ευρετικούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης.

Αναφέρονται και ως Δαρβίνειες μέθοδοι, καθώς μιμούνται την πορεία της εξέλιξης των ειδών, που αποτέλεσε τη μεγάλη μελέτη του Κ. Δαρβίνου. Εφαρμογή τους γίνεται σε μεγάλο πλήθος προβλημάτων, ανεξάρτητων μεταξύ τους.

Μερικές από τις μεθόδους αυτές είναι:

- Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms-GA)
- Οι Στρατηγικές Εξέλιξης (Evolution Strategies-ES)
- Ο Εξελικτικός Προγραμματισμός (Evolutionary Programming-EP)
- Ο Γενετικός Προγραμματισμός (Genetic Programming-GP)
- Η Διαφορική Εξέλιξη (Differential Evolution-DE)
- Η Βελτιστοποίηση Σμήνους (Swarm Optimization - SO) στην οποία ανήκει και η Βελτιστοποίηση Αποικιών Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization – ACO)

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία χρησιμοποιήθηκαν **ΓΕΝΕΤΙΚΟΪ** (μεταευρετικοί) **αλγόριθμοι** για την επίλυση του προβλήματος Διεπίπεδου Προγραμματισμού.

3.5 Γραμμικός Προγραμματισμός

3.5.1 Γενικά Στοιχεία

Ο Γ. Σίσκος (2000) υποστηρίζει πως ο Γραμμικός Προγραμματισμός αποτελεί το πιο δημοφιλές μοντέλο στο χώρο της Επιχειρησιακή Έρευνας. Η χρήση του έχει να κάνει από τη δημοφιλέστατο πρόβλημα κατανομής των πόρων μέχρι τη διαχείριση της παραγωγής, το μάρκετινγκ και τα προβλήματα μεταφορών.

Σύμφωνα με το Δ. Δεσπότη (2011), «το Γραμμικό Προγραμματισμό εισήγαγε το 1947 ο G. Dantzig ως μέθοδο σχεδιασμού προγραμμάτων ενεργειών (δραστηριοτήτων) βάσει συγκεκριμένων στόχων, κατά τρόπο που να επιτυγχάνεται ένα βέλτιστο αποτέλεσμα».

Κατά τους Μ.Γ. Καρλαύτη και Ν.Δ. Λαγαρό (2010), «η ανάλυση Γραμμικού Προγραμματισμού έχει στόχο τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών απόφασης ή άγνωστων μεταβλητών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ που μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση».

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

(3.1)

Οι μεταβλητές οφείλουν να ισχύουν κατά τους περιορισμούς:

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

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

... ..

$$a_{n1} \cdot x_1 + a_{n2} \cdot x_2 + \dots + a_{nn} \cdot x_n [\leq, =, \geq] b_n$$

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

(3.2)

Όπου:

x_i ($i = 1, \dots, n$) μεταβλητές και

c_i ($i = 1, \dots, n$), a_{ij} ($i = 1, \dots, n$) και b_i ($i = 1, \dots, m$) σταθερές και παράμετροι του προβλήματος

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει n μεταβλητές και m περιορισμούς.

Οι μεταβλητές πρέπει να είναι μη αρνητικές:

$$x_i \geq 0 \text{ για κάθε } i = 1, \dots, n$$

Ουσιαστικά τα Προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού γράφονται ως:

$$\max / \min Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

$$\text{s.t.} \quad a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{in} x_n (\leq = \geq b)$$

για $i = 1, 2, \dots, m$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ για κάθε } j = 1, 2, \dots, n$$

(3.3)

Να σημειωθεί τώρα, πως:

- ως Μεταβλητές Σχεδιασμού (Απόφασης) έχουμε τις: x_j
- ως Αντικειμενική Συνάρτηση έχουμε την: $\max / \min Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$
- ως Περιορισμούς έχουμε την: $a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{in} x_n (\leq = \geq b)$

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

Εκτός από την προηγούμενη μορφή υπάρχουν παραλλαγές όπως:

- Να υπάρχουν περιορισμοί της μορφής $\geq bi$.
- Να υπάρχουν περιορισμοί της μορφής $i = b$.

- Να υπάρχουν μεταβλητές της μορφής ≤ 0 ή x .
- Να υπάρχουν μεταβλητές χωρίς περιορισμό προσήμου.

Όλες οι διαφορετικές διατυπώσεις εύκολα μετατρέπονται στη μορφή που περιγράφηκε προηγουμένως.

3.5.2 Διαδικασία Επίλυσης

Η χαρακτηριστική διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Η μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος.
2. Η αξιοποίηση μαθηματικών μοντέλων, αλγόριθμων και μεθόδων βελτιστοποίησης.

3.5.3 Προϋποθέσεις Γραμμικού Προγραμματισμού

Τέλος, κατά τους Hillier και Lieberman (1974) στο μαθηματικό πρότυπο γραμμικού προγραμματισμού πρέπει να ικανοποιούν τις προϋποθέσεις της αναλογικότητας (proportionality), της προσθετικότητας (additivity), της διαιρετότητας (divisibility) και της βεβαιότητας (certainty).

Στην περίπτωση που οι παραπάνω προϋποθέσεις δεν ισχύουν, είναι δυνατό να επιχειρηθεί επίλυση με το πρότυπο του Γ. Π. Προσεγγιστικά. Όταν, όμως, απαιτείται ακριβής λύση διατίθενται και χρησιμοποιούνται άλλες περιοχές μαθηματικού προγραμματισμού οι οποίες αναφέρθηκαν νωρίτερα.

3.5.4 Ειδικές Περιπτώσεις Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού

Υπάρχουν ορισμένες ειδικές περιπτώσεις στις λύσεις Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού οι οποίες επιγραμματικά είναι οι εξής:

- Μη Εφικτότητα: όταν υπάρχει σύγκρουση μεταξύ των διάφορων περιορισμών και δεν υπάρχει ουσιαστικά εφικτός χώρος λύσεων.

- Έλλειψη Πεπερασμένου Εφικτού Χώρου: όταν ο εφικτός χώρος των λύσεων είναι μη πεπερασμένος (ανοιχτός) και υπάρχουν ουσιαστικά άπειρες τιμές που επιλύουν και βελτιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση.
- Πλεονασμός Περιορισμών: όταν υπάρχουν περισσότεροι περιορισμοί από όσους χρειάζονται και δεν καθορίζουν τον εφικτό χώρο.
- Πολλαπλές Βέλτιστες Λύσεις: αυτό συμβαίνει όταν στην γραφική επίλυση του προβλήματος παρατηρείται παραλληλία μεταξύ αντικειμενικής συνάρτησης και περιορισμών.

3.6 Η Μέθοδος Simplex

3.6.1 Γενικά Στοιχεία

Κατά το Μ. Καρλαύτη, ο αλγόριθμος της μεθόδου SIMPLEX αποτελεί μία αλγεβρική ακολουθία που τη χρησιμοποιούμε για να βρούμε λύση σε Προβλήματα Γραμμικού Προγραμματισμού. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει το πλεονέκτημα πως είναι σχετικά απλός στην εφαρμογή του και βρίσκει λύση σε λίγο χρόνο.

Σχεδιάστηκε το 1947 από τον Dantzig και τον Wood οι οποίοι διατύπωσαν το γενικό πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού και σχεδίασαν τη μέθοδο Simplex για μία συστηματική επίλυση του προβλήματος, η οποία, όμως, στη χειρότερη περίπτωση είχε ανάγκη εκθετικό χρόνο και όχι πολυωνυμικό, όπως απέδειξαν οι Klee και Minty (1972) και θεωρείται κυρίως σήμερα ως μία πολύ αποτελεσματική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επίλυση μεγάλων προβλημάτων σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

3.6.2 Μεθοδολογία Simplex

Η αλγοριθμική μέθοδος Simplex περιλαμβάνει μία καθορισμένη σειρά επαναλαμβανόμενων διαδοχικών βημάτων υπολογισμών μέσω των οποίων, ξεκινώντας από ένα ακρότατο της περιοχής εφικτών λύσεων το οποίο αντιπροσωπεύει μία αρχική εφικτή λύση (initial feasible solution) σε κάθε επαναληπτικό βήμα οδηγούμαστε από ένα ακρότατο της περιοχής των εφικτών λύσεων σε ένα άλλο, γειτονικό με το προηγούμενο, το οποίο αντιστοιχεί σε μία καλύτερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Ο αλγόριθμος SIMPLEX αποτελεί μια απλοϊκή μορφή αλγόριθμου η οποία μπορεί να καταλήξει στο βέλτιστο αποτέλεσμα μετά από λίγες επαναλήψεις. Τα βήματα της διαδικασίας, σύμφωνα με το Μ. Καρλαύτη(2011) είναι τα εξής:

- 1) Πρώτα η μετατροπή του Προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού στην απαιτούμενη μορφή.
- 2) Ύστερα βρίσκεται μία πρώτη πιθανή λύση (η οποία θα ονομαστεί βασική).
- 3) Εξετάζεται αν η λύση αυτή είναι η βέλτιστη που αναζητούμε.
- 4) Στην περίπτωση που δεν είναι, καθορίζεται ποιά μη βασική μεταβλητή θα πάρει θέση βασικής και πιο συγκεκριμένα ποιά βασική θα αντικατασταθεί από αυτήν, ώστε να βρεθεί μία ορθότερη τιμή για τη λύση του προβλήματος.
- 5) Μέσω πράξεων, βρίσκεται νέα πιθανή βασική λύση και μετά συνεχίζουμε από το βήμα 3.

Δε θα αναλυθούν περαιτέρω οι λεπτομέρειες λειτουργίας του αλγόριθμου Simplex καθώς πλέον αποτελεί μία αυτοματοποιημένη διαδικασία, η οποία και χρησιμοποιείται στα περισσότερα λογισμικά επίλυσης Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού, όπως και στο Solver του Excel.

3.7 Ακέραιος και Δυαδικός Ακέραιος Προγραμματισμός

3.7.1 Γενικά Στοιχεία

Τα Προβλήματα Ακέραιου Προγραμματισμού αποτελούν υποπερίπτωση των προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού και αποτελούν προβλήματα όπου ισχύει υπάρχει ο περιορισμός πως όλες ή έστω μερικές από τις μεταβλητές τους είναι ακέραιες.

Στις περιπτώσεις που δεν ισχύει η διαιρερότητα (divisibility) χρησιμοποιούμε τον Ακέραιο Προγραμματισμός. Η ιδιαιτερότητα των προβλημάτων αυτών βασίζεται στο πως οι μεταβλητές δε λαμβάνουν τιμές συνεχείς αλλά διακριτές ακέραιες. Έτσι υπάρχει η ανάγκη για ακέραιες μεταβλητές απόφασης. Η πλήρης ονομασία όπως αναφέρθηκε είναι Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (Integer Linear Programming – ILP).

Η επίλυση τέτοιων προβλημάτων μπορεί να αποδειχθεί πιο χρονοβόρα σε σχέση με των απλών Προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού, ιδίως όταν δεν επιλύεται με υπολογιστικές διαδικασίες, αλλά “στο χέρι”, καθώς οι διάφορες λύσεις που βρίσκονται σε ένα ΠΓΠ δεν είναι απαραίτητα λύσεις και του Ακέραιου ΠΓΠ.

Σύνηθης μέθοδος επίτευξης βέλτιστης λύσης στον Ακέραιο Προγραμματισμό αποτελεί η Simplex που αναλύθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (3.6) με στρογγύλευση στον πλησιέστερο ακέραιο για τις τιμές μεταβλητών οι οποίες έχουν λάβει ρητή, μη ακέραια λύση.

3.7.2 Ειδικές Περιπτώσεις

Το μοντέλο του Ακέραιου Προγραμματισμού είναι αντίστοιχο με εκείνο του Γραμμικού Προγραμματισμού, που περιγράφηκε νωρίτερα, με μόνο επιπλέον περιορισμό, όπως αναφέρθηκε, τις ακέραιες μεταβλητές.

Στις περιπτώσεις που κάποιες από τις μεταβλητές είναι ακέραιες, όμως όχι όλες τους, το πρόβλημα ονομάζεται Πρόβλημα Μεικτού Ακέραιου Προγραμματισμού..

Στις περιπτώσεις, όμως, που όλες οι μεταβλητές λαμβάνουν αποκλειστικά ακέραιες τιμές, το πρόβλημα ονομάζεται Πρόβλημα Καθαρού Ακέραιου Προγραμματισμού.

3.7.2.1 Δυαδικός Ακέραιος Προγραμματισμός

Ιδιαίτερη σημασία για τον Ακέραιο Προγραμματισμό αλλά και για την παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει το πρόβλημα της εκχώρησης των μεταβλητών οι οποίες λαμβάνουν μονάχα δύο πιθανές τιμές: 0-1 ή ναι-όχι (yes or no). Αυτές είναι λογικές

μεταβλητές οι οποίες λαμβάνουν την τιμή 0 ή 1 αντιστοιχιζόμενες σε μία απόφαση ναι ή όχι.

Έτσι επιτυγχάνεται μία σημαντική διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής του Γραμμικού Προγραμματισμού. Και προβλήματα που υπό άλλες συνθήκες δε θα γινόταν να λυθούν χωρίς τις μεταβλητές απόφασης, τώρα επιλύονται.

Αυτά τα προβλήματα ονομάζονται Δυαδικού Ακέραιου Προγραμματισμού (Binary Integer Programming) και οι αντίστοιχες μεταβλητές λέγονται δυαδικές.

$$\text{Η μορφή των μεταβλητών είναι } x_i = \begin{cases} 1 & \text{αν ισχύει το «ναι» ως λογική μεταβλητή} \\ 0 & \text{αν ισχύει το «όχι» ως λογική μεταβλητή} \end{cases} \quad (3.4)$$

3.7.3 Επίλυση Προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού:

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι που κυριαρχούν στην επίλυση Προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού “στο χέρι” και όχι με εφαρμογή κάποιου λογισμικού επίλυσης προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού, όπως πχ στο Excel Solver.

Αυτές επιγραμματικά περιλαμβάνουν:

- τη Γραφική Μέθοδο: προφανώς όταν έχουμε μέχρι δύο μεταβλητές.
- τη Μέθοδο Τέμνοντος Επιπέδου.
- τη Μέθοδο Διακλάδωσης - Ορίου

3.8 Διεπίπεδος Προγραμματισμός

3.8.1 Γενικά Στοιχεία

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι Διεπίπεδου Προγραμματισμού. Τα προβλήματα πολυεπίπεδου προγραμματισμού (multilevel programming) είναι μία ομάδα προβλημάτων βελτιστοποίησης των οποίων χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη πολλών επιπέδων λήψης αποφάσεων, όπως αναφέρθηκε για παράδειγμα και στην παράγραφο 2.2.2. Η απλούστερη μορφή τους είναι όταν αποτελούνται από δύο επίπεδα, όπου τότε ονομάζονται διεπίπεδα.

Τα διεπίπεδα προβλήματα έχουν ένα άνω επίπεδο (leader) και ένα κάτω (follower), με την τελική απόφαση να λαμβάνεται από το άνω επίπεδο. Τα δύο επίπεδα συνδέονται μέσω των μεταβλητών απόφασης, καθώς το πρόβλημα βελτιστοποίησης του άνω επιπέδου αφορά τη λήψη της απόφασης από τον ηγέτη, ενώ στο κάτω επίπεδο η διαδικασία λήψης απόφασης του ακόλουθου για τη μεταβλητή που έχει υπό τον έλεγχό του περιγράφεται ως ένα δεύτερο πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Ένα τέτοιο πρόβλημα περιγράφηκε από τον H. v. Stackelberg για πρώτη φορά το 1934 στη μονογραφία του για την Οικονομία των Αγορών, όπου χρησιμοποίησε για πρώτη φορά ένα ιεραρχικό μοντέλο για να περιγράψει πραγματικές συνθήκες της οικονομίας των αγορών. Το μοντέλο του έμεινε γνωστό ως Stackelberg Game.

Η πρώτη μαθηματική περιγραφή ενός τέτοιου προβλήματος έγινε το 1947 από τους J. Von Neumann και O. Mortensen, όπου περιγράφηκε ένα πρόβλημα min-max με τις αντικειμενικές συναρτήσεις των δύο επιπέδων να έχουν αντίθετο πρόσημο.

Οι προσεγγίσεις για τη λύση τέτοιου είδους προβλημάτων είναι πολλές και χρησιμοποιούνται δεκάδες αλγόριθμοι, χωρίς να υπάρχει ένας συγκεκριμένο πρότυπος τρόπος λύσης.

3.8.2 Μεθοδολογία Διεπίπεδου Προγραμματισμού

Όπως αναφέρθηκε: στο άνω επίπεδο λήψης απόφασης ο ηγέτης επιλέγει τιμή για τη μεταβλητή x , που έχει υπό τον έλεγχό του, βάσει της αντικειμενικής συνάρτησης $F(x,y)$ και δεδομένων περιορισμών. Ο στόχος του ηγέτη είναι συγκρουόμενος με το στόχο του ακόλουθου.

Έτσι, στο κάτω επίπεδο λήψης απόφασης, ο ακόλουθος επιλέγει τιμή για τη μεταβλητή y , που έχει υπό τον έλεγχό του, βάσει αντικειμενικής συνάρτησης $f(x,y)$ και δεδομένων άλλων περιορισμών, διαφορετικών από του ηγέτη, λαμβάνοντας πλέον υπόψη του και την επιλογή του ηγέτη.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να καταλήξει σε κάποια βέλτιστη τιμή για τους συντελεστές απόφασης x , y .

Ουσιαστικά αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο περιλαμβάνει στους περιορισμούς τού, ένα δεύτερο πρόβλημα βελτιστοποίησης, έτσι το πρόβλημα διεπίπεδου προγραμματισμού μπορεί να γραφεί στην πιο απλή του μορφή ως εξής:

$$\max_x F(x,y) = c_1x + d_1y$$

$$\text{s.t. } A_1x + B_1y \leq b_1$$

$$\max_y f(x,y) = c_2x + d_2y$$

$$\text{s.t. } A_2x + B_2y \leq b_2$$

$$x,y \geq 0$$

$$(3.5)$$

όπου το $F(x,y)$ είναι η αντικειμενική συνάρτηση του ηγέτη και το $f(x,y)$ είναι η αντικειμενική συνάρτηση του ακόλουθου.

Έτσι, όπως αναλύθηκαν από τους J. Bard και H. Shih et al τα χαρακτηριστικά των πολυεπίπεδων δομών είναι:

- Κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων υπάρχει μία συγκεκριμένη δομή ιεραρχίας.
- Οι αλλαγές είναι διαδοχικές μεταξύ των δύο επιπέδων ιεραρχίας.
- Σε κάθε επίπεδο γίνεται προσπάθεια να μεγιστοποιηθεί το όφελος της ομάδας που ασκεί τον έλεγχο σε αυτό και εξαρτάται από τις επιλογές που έχουν γίνει προηγουμένως από την άλλη ομάδα.
- Η επίδραση στη διαδικασία λήψης απόφασης της εκάστοτε ομάδας είναι φανερή στην αντικειμενική συνάρτηση ή στην εφικτή περιοχή της απόφασης.

3.9 Επίλυση Προβλημάτων Μαθηματικού Προγραμματισμού με χρήση Λογισμικών

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, επιλύθηκε το πρόβλημα με μεθόδους βελτιστοποίησης μέσω υπολογιστικών λογισμικών τα οποία θα αναλυθούν στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο. Πίο συγκεκριμένα, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί το πρόβλημα ήταν διεπίπεδο και δεν υπήρχε κάποια έτοιμη δομή διαθέσιμη, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης με χρήση Γενετικού Αλγόριθμου σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications στο Excel και επιλύθηκε με το εργαλείο OpenSolver το κάτω μέρος του διεπίπεδου προβλήματος, ενώ με τη χρήση του Enoinger επετεύχθη η λύση του άνω μέρους καθώς και η διασύνδεση μεταξύ των δύο μερών. Αυτά τα ζητήματα θα αναλυθούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο (κεφ. 4).

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα εξεταστεί η λειτουργία των διάφορων λογισμικών τα οποία βοήθησαν στην επίτευξη του στόχου της βελτιστοποίησης.

Αρχικά η ανάπτυξη μεγάλου αριθμού πληροφοριακών συστημάτων τα τελευταία χρόνια έχει βοηθήσει πολύ τους χρήστες στη διαδικασία της μοντελοποίησης και επίλυσης προβλημάτων Γραμμικού και όχι μόνο, Προγραμματισμού.

Οι βελτιώσεις που προσφέρουν κατά τον Γ. Σίσκο (2000) έχει να κάνει με:

- Την ταχύτητα στην επίλυση των προβλημάτων
- Το μέγεθος των προβλημάτων που μπορούν να εξεταστούν
- Τη φιλικότητα της χρήσης των εφαρμογών από το χρήστη
- Την ευελιξία που προσφέρουν

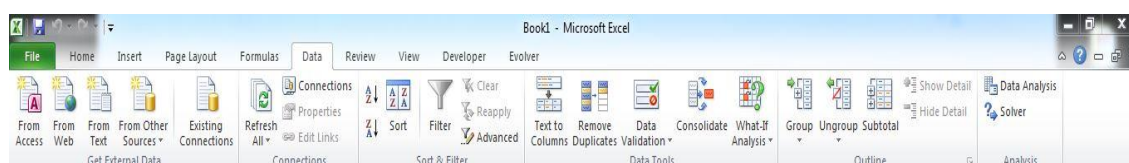
Τα διάφορα λογισμικά μπορούν να χωριστούν σε ορισμένες επιμέρους κατηγορίες:

1. Λογιστικά Φύλλα
2. Μοντέλα από Γλώσσες Βελτιστοποίησης
3. Γλώσσες Προγραμματισμού

Μερικά από τα γνωστότερα είναι: η εφαρμογή του Solver στο MS Excel, το CPLEX (ILOG), η Lingo, η Lindo κ.α.

3.9.1 Το Excel Solver

Ο επιλυτής (solver) βρίσκεται ενσωματωμένος στα λογιστικά φύλλα του Excel του Microsoft Office. Αρχικά επειδή αποτελεί add-in ενδέχεται να πρέπει να χρειαστεί ενεργοποίηση. Αυτή είναι μία εύκολη διαδικασία, μέσα από το μενού “Εργαλεία” (Tools). Εισέρχεται ως προσθήκη στο Microsoft Excel στη σελίδα των Δεδομένων (Data), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.1 παρακάτω:



Εικόνα 3.1: Ο Solver στο Excel

Να σημειωθεί πως ο απλός solver μπορεί να χειριστεί μέχρι περίπου 200 μεταβλητές, για μεγαλύτερα προβλήματα υπάρχει διαθέσιμο για εγκατάσταση το add-in του OpenSolver, με μεγαλύτερη χωρητικότητα.

Για την εφαρμογή της διαδικασίας στο συγκεκριμένο περιβάλλον πρέπει οι μεταβλητές, οι συντελεστές και η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος να είναι όλα αντιστοιχισμένα σε κελιά του λογιστικού φύλλου του Excel.

Έτσι τα βήματα με τα οποία επιλύεται ένα πρόβλημα με τη βοήθεια του Solver στο Excel είναι τα εξής:

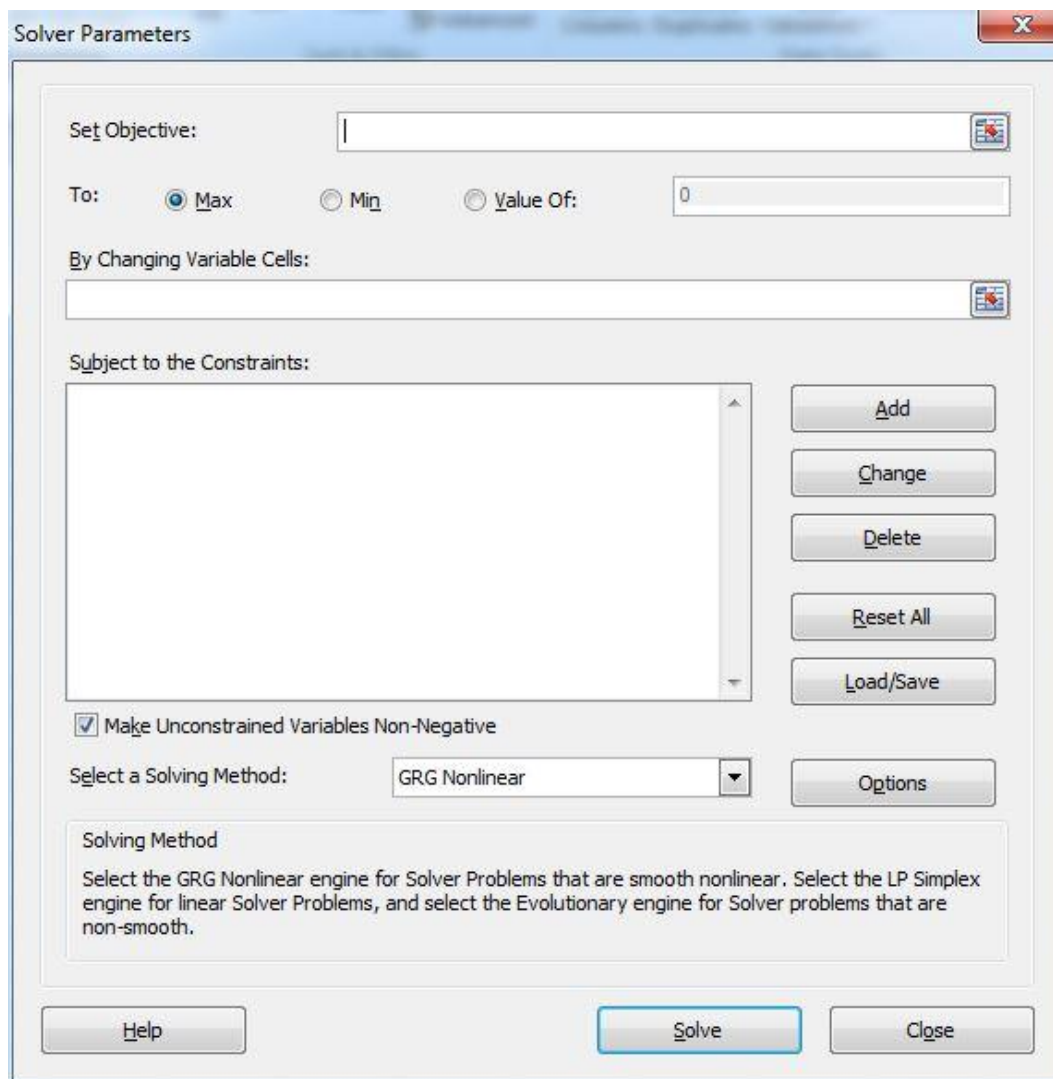
1. Εισαγωγή των τιμών στις διάφορες μεταβλητές σε κελιά του Excel
2. Δημιουργία της Αντικειμενικής Συνάρτησης (της σχέσης μεταξύ σταθερών και μεταβλητών του προβλήματος)
3. Εισαγωγή Περιορισμών στα κελιά του Excel

Έχοντας μέχρι στιγμής ορίσει πλήρως τα δεδομένα και τα διάφορα στοιχεία που απαιτούνται για την επίλυση του Προβλήματος Βελτιστοποίησης είναι στιγμή να ανοίξουμε το Solver και να συνεχίσουμε από εκεί:

4. Ορισμός του κελιού της Αντικειμενικής Συνάρτησης και επιλογή στόχου (Min ή Max)
5. Εισαγωγή των κελιών των Μεταβλητών Απόφασης
6. Προσθήκη των κελιών των Περιορισμών και επιλογή μορφής του (\geq , $=$, \leq , int και bin)

7. Επίλυση Μοντέλου
8. Αναφορές Αποτελεσμάτων, Ανάλυση Ευαισθησίας και Ανάλυση Ορίων.

Αυτά τα βήματα πραγματοποιούνται μετά την είσοδο στο Solver, κατά την οποία ανοίγει το παράθυρο Solver Parameters, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.2:

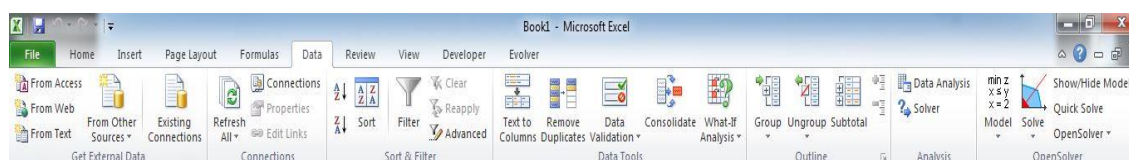


Εικόνα 3.2: To Solver Parameters

3.9.2 Ο OpenSolver

Κατά τη διαδικασία επίλυσης του αλγόριθμου βελτιστοποίησης με τον τρόπο που περιγράφεται παρακάτω παρουσιάστηκαν ορισμένα θέματα με τη διασύνδεση μεταξύ των διάφορων λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν και τελικώς κρίθηκε προτιμότερη η χρήση του λογισμικού OpenSolver για το υπό εξέταση πρόβλημα, αν και οι μεταβλητές δεν ξεπέρασαν τις 200.

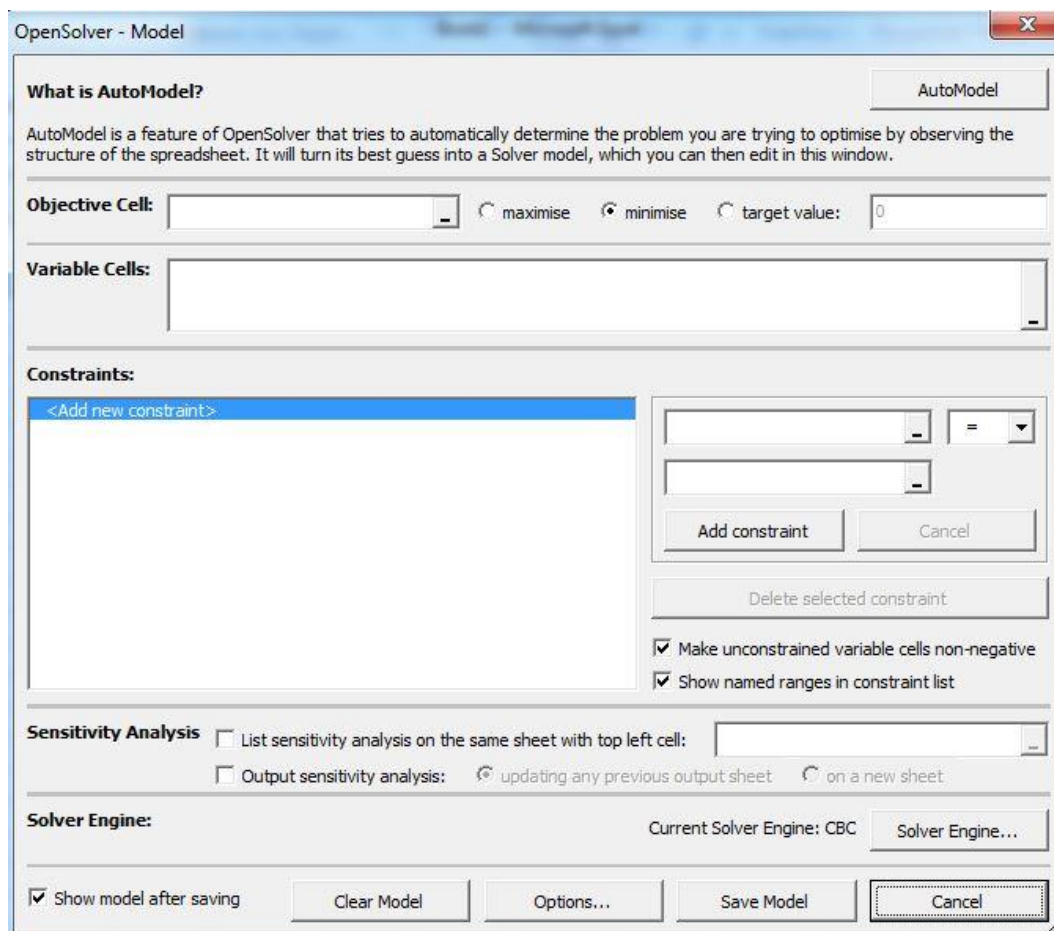
Το εργαλείο αυτό είναι σχεδιασμένο για το Excel και έχει βασιστεί στη γλώσσα προγραμματισμού C++ για την ευκολότερη επίλυση προβλημάτων μεγαλύτερου μεγέθους σε σχέση με τον απλό Solver. Εισέρχεται ως προσθήκη στο Microsoft Excel στη σελίδα των Δεδομένων (Data), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.3 παρακάτω:



Εικόνα 3.3: Ο OpenSolver στο Excel

Τα βήματα του OpenSolver είναι τα ίδια με του απλού solver στο Excel, με τη διαφορά ότι προσφέρονται αρκετές περισσότερες επιλογές όσον αφορά τη διαδικασία λύσης του προβλήματος βελτιστοποίησης.

Στην Εικόνα 3.4 φαίνεται ξεκάθαρα η διαφορά του από το απλοϊκότερο solver Parameters του Solver:



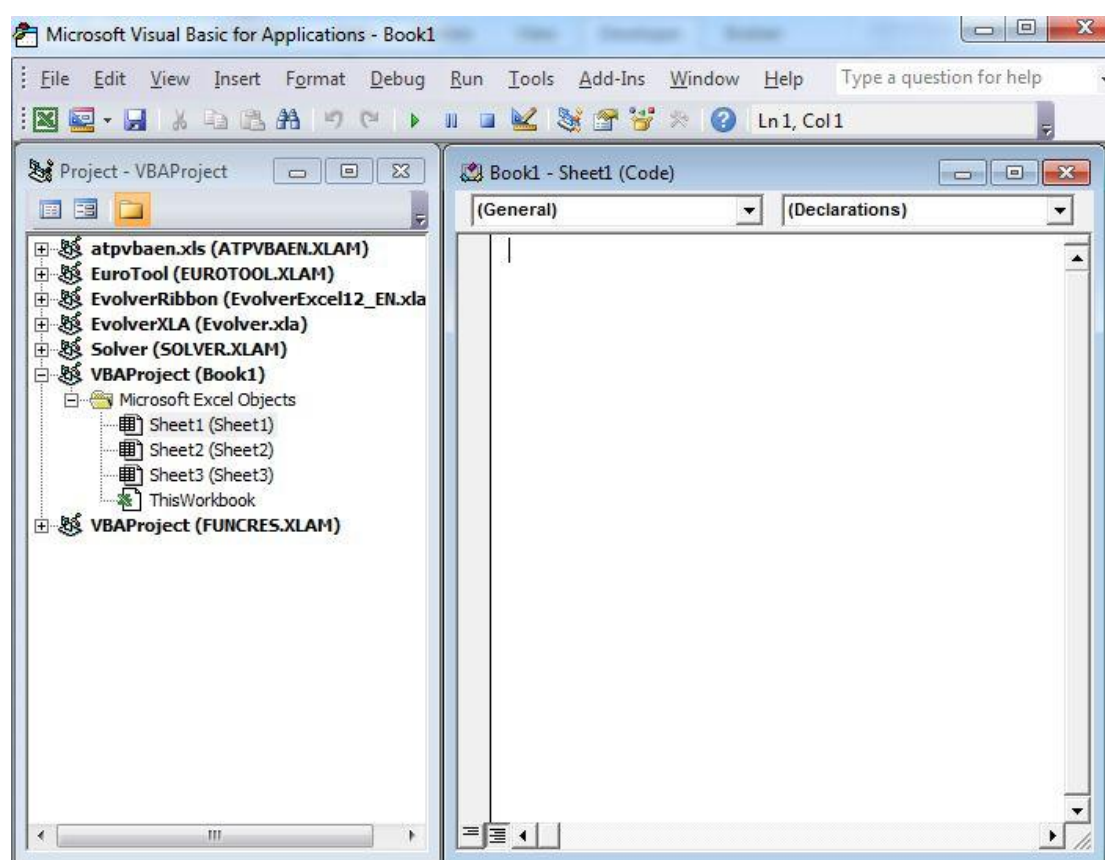
Εικόνα 3.4 Η ανάπτυξη μοντέλου OpenSolver

Στη συνέχεια θα αναλυθεί ένα άλλο εργαλείο διαθέσιμο στο περιβάλλον του Excel, το οποίο όμως προϋποθέτει γνώσεις προγραμματισμού, τη Visual Basic for Applications (VBA).

3.9.3 Η Visual Basic for Applications (VBA)

Η Visual Basic for Applications (VBA) αποτελεί μία εφαρμογή της γλώσσας προγραμματισμού χειρισμού γεγονότων (event-driven) Visual Basic 6, και σχετίστηκε με το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης της και βρίσκεται ως εφαρμογή σε διάφορα προϊόντα του MS Office. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάστηκε ενδελεχώς η εφαρμογή της στο Excel και η χρήση της αντί για το Excel Solver.

Αρχικά βρίσκεται ενσωματωμένη στα λογιστικά φύλλα του Excel του Microsoft Office και μπορεί να κληθεί μέσω της επιλογής “Developer” του Excel ή με “Alt + F11”



Εικόνα 3.5 Το παράθυρο της Visual Basic for Applications

Όσον αφορά τις μεταβλητές μπορεί να χειριστεί αντίστοιχες με τον solver με διαθέσιμα για εγκατάσταση εργαλεία με μεγαλύτερη χωρητικότητα να υπάρχουν στην αγορά.

Για την εφαρμογή της διαδικασίας στο συγκεκριμένο περιβάλλον δεν είναι ανάγκη οι μεταβλητές, οι συντελεστές και η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος να είναι όλα αντιστοιχισμένα σε κελιά του λογιστικού φύλλου του Excel, όπως συνέβαινε με

το Solver. Τα δεδομένα μπορούν είτε να εισαχθούν από κελιά του Excel είτε απευθείας στον κώδικα.

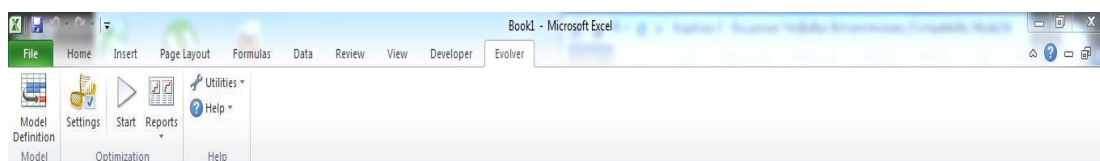
Το περιβάλλον του κρίνεται ικανοποιητικό με τη διασύνδεσή του με το Excel να παίζει σίγουρα μεγάλο ρόλο σε αυτό. Όσον αφορά στον προγραμματισμό και τον κώδικα που χρησιμοποιείται, έχει τις αντίστοιχες διεργασίες με το Solver του Excel αλλά παρουσιάζει και διάφορες άλλες επιλογές που δεν μπορούν να είναι διαθέσιμες χωρίς αυτό στο Excel. Να σημειωθεί πως οι βασικές εφαρμογές της VBA δεν έχουν να κάνουν με προβλήματα βελτιστοποίησης, αλλά χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση για λόγους που θα εξηγηθούν καλύτερα στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4).

Για επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης το κομμάτι του κώδικα είναι αρκετά απλό, με κυριότερες τις:

- SolverOk: δημιουργεί ένα μοντέλο Solver και λαμβάνει εντολές για: το κελί της αντικειμενικής συνάρτησης, το στόχο της βελτιστοποίησης, τις μεταβλητές απόφασης
- SolverAdd: προσθέτει τους περιορισμούς στο μοντέλο του Solver και λαμβάνει εντολές για: τα κελιά των περιορισμών, τη μορφή τους και το δεξί μέρος.
- SolverSolve: ξεκινάει ουσιαστικά τη διαδικασία του Solver, της επίλυσης του προβλήματος βελτιστοποίησης.

3.9.4 Ο Evolver

Ο Evolver αποτελεί λογισμικό πακέτο που επιλύει προβλήματα βελτιστοποίησης με βοήθεια Γενετικών Αλγόριθμων. Αναπτύχθηκε και διατίθεται από την Palisade και μπορεί να διασυνδεθεί και αυτός με τη σειρά του με το MS Excel. Έτσι και αυτός με τη σειρά του εισέρχεται ως προσθήκη στο Excel, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.6, σε ξεχωριστή θέση από αυτές των Data και Developer:

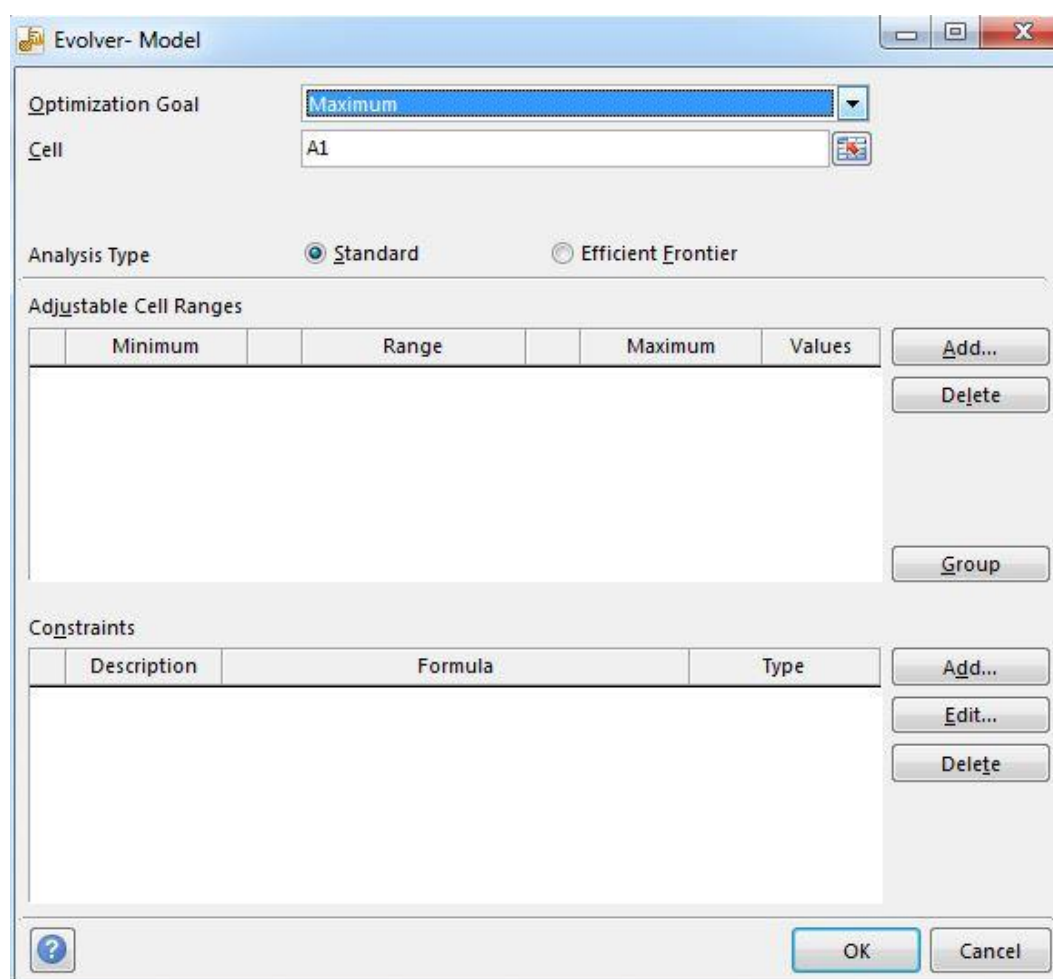


Εικόνα 3.6: Ο Evolver στο Excel

Η μοντελοποίησή του γίνεται στο Excel και χρησιμοποιείται εκτενώς καθώς δεν έχει όριο στις μεταβλητές, όπως οι 200 του Solver, ενώ μπορεί να επιλύσει και Μη Γραμμικά Προβλήματα αλλά, κατά τον Ν. Ουλκέρογλου (2004), και Συνδυαστικά, Εναλλαγής και Προσαρμοσμένα.

Αντί για χρήση Simplex ή Αλγόριθμους Διακλάδωσης και Ορίου για τα Γραμμικά Προβλήματα και Hill Climbing και GRG2 για τα Μη Γραμμικά χρησιμοποιεί Γενετικούς Αλγόριθμους και ως αποτελέσματα έχει ολικές και όχι τοπικές λύσεις. Η εφαρμογή της μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολύ εύκολη και η όλη διαδικασία παίρνει ελάχιστο χρόνο.

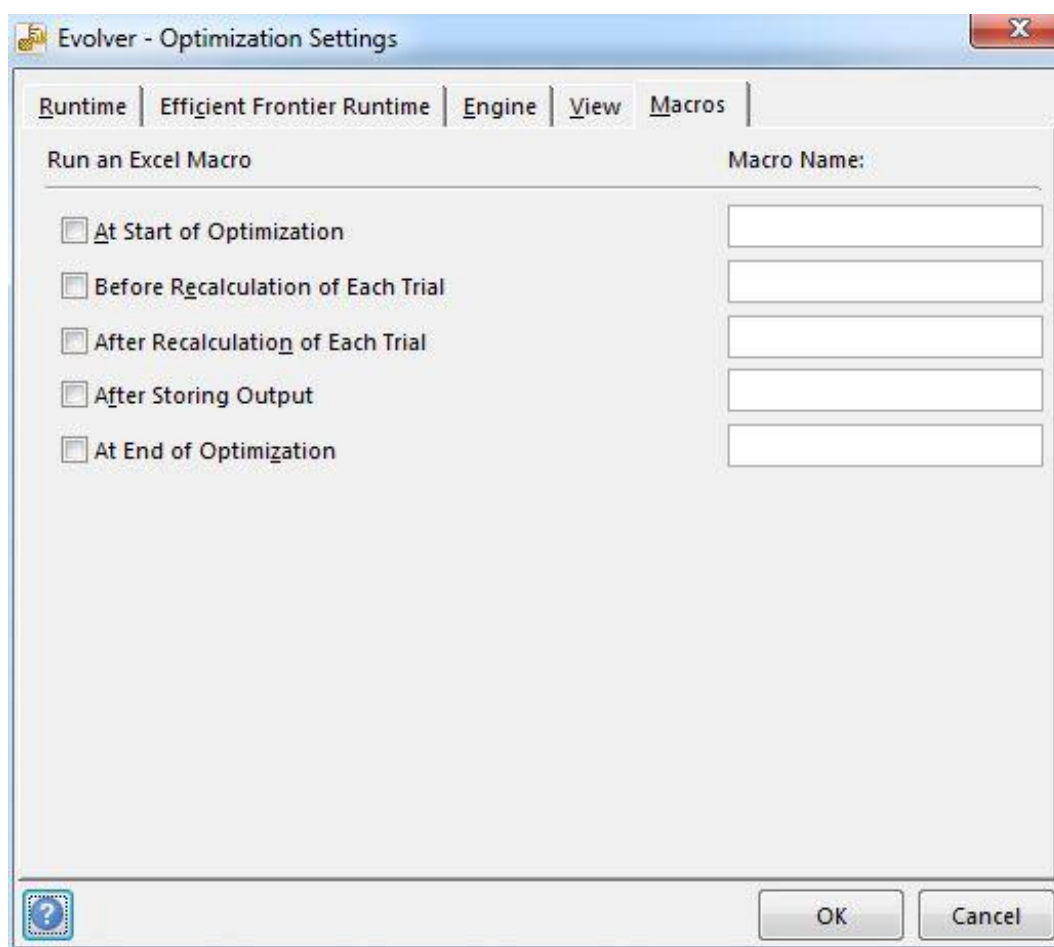
Για τη δημιουργία του μοντέλου επίλυσης προβλήματος βελτιστοποίησης υπάρχει ξεχωριστό παράθυρο στο Excel με το οποίο ορίζεται ο σκοπός της βελτιστοποίησης, δηλαδή η μεγιστοποίηση, ελαχιστοποίηση ή (και εδώ είναι μία διαφορά από τα υπόλοιπα λογισμικά πακέτα βελτιστοποίησης) ο ορισμός μιας συγκεκριμένης τιμής την οποία θέλει ο χρήστης να λάβει η αντικειμενική συνάρτηση. Στη συνέχεια ορίζονται οι περιορισμοί οι οποίοι μπορούν να λαμβάνουν μία ελάχιστη και μία μέγιστη τιμή ενώ επιλέγεται και το είδος τους (δυαδικές τιμές 0 -1 ή ακέραιοι κλπ).



Εικόνα 3.7: Η Ανάπτυξη Μοντέλου στον Evolver

Τέλος, σε ξεχωριστό παράθυρο των ρυθμίσεων μπορεί να επιλεγεί το προηγούμενο ή το επόμενο στάδιο της βελτιστοποίησης, δηλαδή αν θα “τρέξει” στη συνέχεια ή αν θα πάρει τα αποτελέσματα από τον solver, κάνοντας έτσι τη διασύνδεση μεταξύ των δύο επιπέδων του προβλήματός μας πολύ πιο εύκολη.

Ο κώδικας που έχει αναπτυχθεί στη VBA αποθηκεύεται σε μορφή Macro, το οποίο μπορεί να καλέσει τη στιγμή που θα καθορίσουμε εμείς ο Evolver, όπως φαίνεται και παρακάτω, στην Εικόνα 3.8, στην οποία έχουμε επιλέξει το παράθυρο Macros των Ρυθμίσεων:



Εικόνα 3.8: Οι διάφορες ρυθμίσεις του Evolver

Μπορούν επίσης να ρυθμιστούν και διάφοροι άλλοι παράγοντες, όπως ο αριθμός των επαναλήψεων που θέλουμε να κάνει, πως θέλει ο χρήστης να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα, ακόμα μπορεί να επιλεγεί και η μέθοδος επίλυσης κ.α.

3.10 Επιλογή του Μοντέλου της Διπλωματικής Εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση όχι μόνο των λογισμικών επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης αλλά και το πρόβλημα που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, το οποίο, όπως έχει αναλυθεί εκτενώς, αποτελεί ένα διεπιπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης, κρίνεται ξεκάθαρη η ανάγκη επίλυσής του με τη χρήση Γενετικών Αλγόριθμων. Η ανάγκη αυτή καλύπτεται από τον Enoiver ο οποίος θα συνεργαστεί με τον Excel OpenSolver, με τη λειτουργία του να περιγράφεται σε κώδικα γραμμένο σε VBA.

Αναλυτικότερα το άνω μέρος του προβλήματος θα αντιμετωπιστεί με τον Enoiver ο οποίος παράγει βάσει Γενετικών Αλγόριθμων τις διάφορες μεταβλητές απόφασης για το ποιά εταιρία θα συμμετέχει σε κάθε έργο και στη συνέχεια ο κάθε πιθανός συνδυασμός που έχει παραχθεί θα αποτελέσει μία πρώτη τιμή μεταβλητής για την επίλυση του κάτω μέρους με χρήση του OpenSolver του οποίου η λειτουργία πραγματοποιείται μέσω του κώδικα που έχει γραφτεί στη VBA. Τα αποτελέσματα από κάθε γύρο αποθηκεύονται από τον Enoiver και συγκρίνονται μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Η διασύνδεσή τους και η επαφή μεταξύ τους έγινε ικανή κυρίως χάρη στη χρήση του Enoiver, ο οποίος, όπως αναλύεται εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο διαθέτει ειδικές μεθόδους για κλήση Macros (μακροεντολών), δηλαδή κώδικα γραμμένου σε VBA.

4

Δεδομένα – Ανάπτυξη Μοντέλου Βελτιστοποίησης

4.1 Γενικά – Σύνομη Περιγραφή του Προβλήματος

Μετά την επισκόπηση της βιβλιογραφίας (Κεφάλαιο 2) και την παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου (Κεφάλαιο 3) με βάση τα οποία πραγματοποιείται η παρούσα Διπλωματική Εργασία, σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το ακριβές αντικείμενο της εργασίας, ο τρόπος αναζήτησης των απαραίτητων δεδομένων καθώς και η μεθοδολογία ανάπτυξης του μοντέλου βελτιστοποίησης.

Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι για ορισμένα (9) οδικά έργα με συγκεκριμένο κόστος για κάθε ένα από αυτά, καθορισμένο από το Δημόσιο φορέα διαχείρισης των έργων αυτών να εξεταστεί πως μπορεί να γίνει η βέλτιστη κατανομή τους και με τι ποσοστό συμμετοχής για να κατασκευαστούν με μορφή ΣΔΙΤ. Στη μελέτη επίσης έχουμε ορισμένες τεχνικές εταιρίες (4) και αυτές με συγκεκριμένο κεφάλαιο η κάθε μία οι οποίες θέλουν να συμμετέχουν κατά ένα ποσοστό Y_{ij} η κάθε μία σε κάθε έργο, αποσκοπώντας σε διαφορετικό κέρδος από τον κάθε οδικό άξονα.

Σε κάθε ένα από τα έργα αυτά θα συμμετάσχει όμως μία μόνο εταιρία, ανάλογα με το κοινωνικό όφελος που θα αποκομίσει το κράτος από τη συμμετοχή των εταιριών. Η κάθε εταιρία βέβαια θέλει να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της από τη συμμετοχή της στη διαδικασία της δημοπράτησης των έργων αυτών, μετά την περίοδο 25 ετών που θα έχει υπό τη διαχείρισή της το κάθε έργο.

Έτσι η μορφή της συνάρτησης βελτιστοποίησης θα είναι διεπίπεδη, όπου ο leader του προβλήματος “Δημόσιο” θέλει να μεγιστοποιήσει τα κοινωνικά οφέλη ενώ οι followers “εταιρίες” προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν το συνολικό κέρδος τους επί του κεφαλαίου που θα επενδύσουν. Τα κόστη λειτουργίας-συντήρησης και κατασκευής (στο ποσοστό της συμμετοχής της εταιρίας) βαραίνουν τον ανάδοχο του κάθε έργου, ενώ λαμβάνει ως αντάλλαγμα τις συμφωνηθείσες εισπράξεις από τα διόδια, για όσα χρόνια θα διαρκέσει η σύμβαση παραχώρησης.

4.2 Τα Οδικά Έργα

Η σημασία των μεταφορών σε παγκόσμια κλίμακα κρίνεται υπερ του δέοντος σημαντική, τόσο οικονομικά όσο και κοινωνικά και πολιτικά. Κατά τον J. Sussman (2000), στις Η.Π.Α περίπου το 13% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος αφορά τις μεταφορές, ενώ κάποια χρόνια πριν έφτανε το 20%. Σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες αυτό το ποσοστό είναι ακόμα μεγαλύτερο. Βλέπουμε λοιπόν τη μεγάλη σημασία αλλά και ανάγκη ύπαρξης επαρκών συστημάτων μεταφορών.

Σύμφωνα με το Χ.Σκυρογιάννη (2003) ο όρος της μεταφοράς αναφέρεται στη μετακίνηση προσώπων ή και αγαθών μεταξύ δύο ή περισσότερων τοποθεσιών για κάποια συγκεκριμένη διάρκεια και σκοπό. Σύστημα μεταφορών θεωρείται το σύνολο των μεταφορών ανεξαρτήτως των μέσων μεταφοράς. Βασικό υποσύστημα μεταφοράς θεωρείται το σύστημα οδικών μεταφορών.

Επίσης, κατά τους Πετράκο και Ψυχάρη (2004), οι υποδομές μπορούν να χωριστούν σε παραγωγικές, κοινωνικές και αστικές. Τα οδικά δίκτυα ανήκουν στις παραγωγικές υποδομές καθώς έχουν μεγάλη σημασία στην παραγωγική ανάπτυξη των περιοχών ενώ αυξάνουν και την ελκτικότητα μίας περιοχής σε επενδύσεις.

Τα οδικά έργα έχουν αρκετές ευεργετικές επιδράσεις στην ανάπτυξη και ειδικότερα στην αποκεντρωμένη ανάπτυξη, η οποία θεωρείται η κύρια επιδίωξη της σημερινής οικονομίας. Έτσι για κάθε περιοχή ανεξαρτήτως κλίμακας, σε επίπεδο Δήμου, Περιφερειακής Ενότητας αλλά και σε επίπεδο Κράτους φαίνεται η σημασία των οδικών αξόνων μεταφορών για την οικονομία. Κρίνονται απαραίτητες οι επενδύσεις σε αυτούς για τη μελέτη, κατασκευή, λειτουργία και συντήρησή τους ώστε να διατηρηθούν ανταγωνιστικές οι οικονομίες των περιοχών αυτών και να οδηγηθούν στην ανάπτυξη. Σύμφωνα με τον Α. Καλτούνη (2007): στη Λευκή Βίβλο για την Ανάπτυξη, Ανταγωνιστικότητα, Απασχόληση, τα οδικά δίκτυα προσφέρουν στην Ευρωπαϊκή αγορά τα αγγεία που τροφοδοτούν τον οργανισμό της με το απαραίτητο οξυγόνο. Οι αδυναμίες τους σημαίνουν λιγότερη ενέργεια για την ανταγωνιστικότητα, χαμένες ευκαιρίες ανάπτυξης νέων αγορών και θέσεις απασχόλησης λιγότερες από το ανθρώπινο δυναμικό της.

Όπως αναφέρθηκε, η οποιαδήποτε επιχειρηματική συναλλαγή, πόσω μάλλον επενδυτική επιλογή δεν μπορεί να γίνει χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η υποδομή της περιοχής στην οποία αναφέρεται. Όμως οι επενδυτικές ενέργειες δε γίνονται μόνο με την προϋπόθεση της ύπαρξης επαρκούς συστήματος μεταφορών, αλλά πολλές φορές και στα ίδια τα συστήματα μεταφοράς καθώς η υλοποίηση των έργων αυτών δεν μπορεί πάντα να καλύπτεται από τους εθνικούς πόρους του κάθε κράτους.

Έτσι θα εξεταστεί στη συνέχεια του κεφαλαίου η μορφή των Συμπράξεων Δημοσίου Ιδιωτικού Τομέα, ως επενδυτική και χρηματοδοτική πρακτική στα οδικά έργα.

4.3 Τα έργα Σ.Δ.Ι.Τ.

Ένας άλλος ορισμός για τα ΣΔΙΤ σύμφωνα με το Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (2005) είναι πως: Ο όρος Σύμπραξη Δημόσιου – Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ) αναφέρεται σε μορφές συνεργασίας των δημόσιων αρχών με τον ιδιωτικό τομέα που αποσκοπούν στην εξασφάλιση της χρηματοδότησης, της κατασκευής, της ανακαίνισης, της διαχείρισης, της συντήρησης μίας υποδομής ή παροχής μίας υπηρεσίας.

Όπως αναφέρθηκε και αναλύθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (4.2) αλλά και στην Εισαγωγή ακόμα της Διπλωματικής Εργασίας (κεφ.1) οι λόγοι προσφυγής στις Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού τομέα είναι κυρίως οικονομικοί, αφού ακόμα και σε περιοχές με μεγάλη οικονομική ανάπτυξη, τα ΣΔΙΤ προτιμώνται καθώς εμπλέκουν την τεχνογνωσία ιδιωτών, τον περιορισμό του κόστους και τα κοινωνικά οφέλη που θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Έτσι κατά την Α.Τζίκα Χατζοπούλου (2012): “ο ν. 3389 του 2005 για τις Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα (Σ.Δ.Ι.Τ.) ψηφίστηκε από τη Βουλή των Ελλήνων με σκοπό να παρέχει στους δημόσιους φορείς ένα ακόμη χρηματοδοτικό εργαλείο για τις δημόσιες επενδύσεις και υπηρεσίες, το οποίο μπορεί μάλιστα να αξιοποιηθεί άμεσα.”

Μέχρι εκείνη τη στιγμή με τις “Συμβάσεις Παραχώρησης” έπρεπε να ψηφιστεί ξεχωριστός ειδικός νόμος για κάθε ένα από τα έργα που αφορούσε αυτή η μέθοδος. Τέτοιες ήταν οι περιπτώσεις της Αττικής Οδού, της γέφυρας Ρίου-Αντίρριου κ.α. Στα έργα ΣΔΙΤ δεν ισχύει κάτι τέτοιο. Αντιθέτως για αυτά τα έργα υπάρχει η Ειδική Γραμματεία Συμπράξεων Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα (ΕΓΣΔΙΤ) στο Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών με αντικείμενό της την επικουρία των Δημόσιων Φορέων και της Διυπουργικής Επιτροπής Συμπράξεων Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα (ΔΕΣΔΙΤ).

Ένα άλλο μεγάλο προσόν των έργων αυτών είναι η μετακύλιση του ρίσκου και όχι μόνο του κόστους από το Δημόσιο στους ιδιώτες επενδυτές. Το ρίσκο αυτό βαραίνει τόσο τη διαδικασία της χρηματοδότησης και κατασκευής όσο και της λειτουργίας του έργου και της μετέπειτα απόσβεσης της επένδυσης. Η χρηματοδότηση, όπως θα σχολιαστεί εκτενώς σε επόμενο υποκεφάλαιο (4.3.1) μπορεί να βαρύνει κατά ποσοστό και το Δημόσιο το οποίο πολλές φορές μέχρι σήμερα χρησιμοποίησε και κοινοτικούς πόρους, ανάλογα με την εκάστοτε συμφωνία.¹

Επιγραμματικά οι κίνδυνοι των έργων αυτών, όπως αναφέρονται από τον Κ. Καρρά:

- Σχεδιασμός και Κατασκευή
- Προμήθεια υπηρεσιών

¹ Βλ.κεφ.1: Εισαγωγή, 1.3.1: Έργα ΣΔΙΤ στην Ελλάδα

- Συντήρηση και Ανάπτυξη
- Ποιότητα Υπηρεσιών
- Ποσότητα
- Ανωτέρα Βία
- Οικονομική απαξίωση
- Ρυθμιστικό Πλαίσιο

Όλοι οι κίνδυνοι αυτοί αφορούν το ιδιωτικό επενδυτικό σχήμα, εκτός του Ρυθμιστικού Πλαισίου, ενώ ο κίνδυνος της Ανωτέρας Βίας και της Οικονομικής απαξίωσης μπορεί να διαμοιραστεί μεταξύ Δημοσίου και Ιδιώτη.

Με βάση κριτήρια όπως της χρηματοδότησης και του διαμοιρασμού του κινδύνου χωρίζονται εξάλλου τα έργα ΣΔΙΤ.

Με βάση τη Μελέτη Τ.Ε.Ε.-Τ.Α.Κ. (2005) οι τύποι Σύμπραξης Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

	Χρηματοδότηση	Λειτουργία	Εμπορικός Κίνδυνος	Κυριότητα
Σύμβαση Υπηρεσιών	Δημόσιο	Δημόσιο - Ιδιώτης	Δημόσιο	Δημόσιο
Σύμβαση Διαχείρισης	Δημόσιο	Ιδιώτης	Δημόσιο	Δημόσιο
Παραχώρηση (BOT - BOOT)	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Δημόσιο
PFI - DBFO	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Δημόσιο - Ιδιώτης	Δημόσιο - Ιδιώτης
Αποεπένδυση - Ιδιωτικοποίηση	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Δημόσιο - Ιδιώτης

Πίνακας 4.1: Τύποι Σύμπραξης Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα

Κυρίως όμως, τα έργα ΣΔΙΤ μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή τους:

- Ιδιωτικά Χρηματοδοτούμενα (μη αποδοτικά) έργα στα οποία η αποπληρωμή τους γίνεται απευθείας από το Δημόσιο (PFI)
- Ιδιωτικά Χρηματοδοτούμενα έργα στα οποία είναι περιορισμένη η συμβολή του Δημοσίου στην αποπληρωμή τους και
- Πλήρως Ανταποδοτικά έργα στα οποία τα έξοδα αποπληρώνονται από τη διαχείρισή τους

Τέλος σύμφωνα με τις ισχύουσες κοινοτικές διατάξεις, τα έργα ΣΔΙΤ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες με βάση τη σύμβαση που τα καθόρισε:

- ΣΔΙΤ Καθαρά Συμβατικού Τύπου
- ΣΔΙΤ Θεσμοθετημένου Τύπου

Η ανάθεση των έργων αυτών σύμφωνα με τα άρθρα 10-11 του Ν. 3389/2005, ενσωματώνοντας πλήρως τις διατάξεις της Κοινοτικής Οδηγίας 2004/18/EK γίνεται από την Αναθέτουσα Αρχή είτε με κριτήριο την πιο οικονομικά συμφέρουσα προσφορά είτε με κριτήριο την πιο χαμηλή τιμή.

Στην περίπτωση που εξετάζει η παρούσα Διπλωματική Εργασία, δηλαδή Οδικούς Άξονες, σύμφωνα με τους Δ. Λιάσκα και Ε. Σιάφακα (2009) τέτοια μεγάλης κλίμακας έργα έχουν μεγάλη ζήτηση ως ΣΔΙΤ καθώς χαρακτηρίζονται ως πλήρως ανταποδοτικά με μεγάλο περιθώριο κέρδους για τον Ιδιωτικό Τομέα.

4.3.1 Από τη Χρηματοδότηση μέχρι την Παράδοση

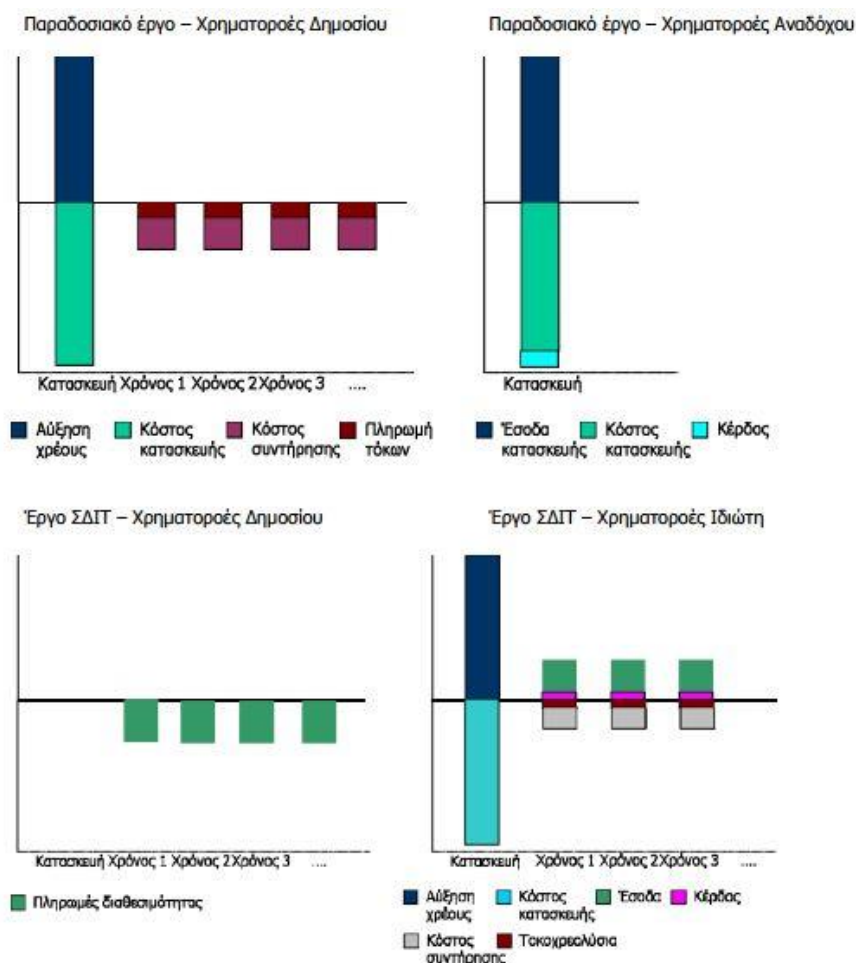
Μέχρι στιγμής αναφέρθηκαν τα διάφορα είδη έργων ΣΔΙΤ και η κατηγοριοποίησή τους, ανάλογα με τη μορφή τους και τη σύμβαση που τα καθορίζουν καθώς και τα είδη της διαδικασίας ανάθεσης. Οπότε έχει έρθει η ώρα να αναλυθεί περαιτέρω η διαδικασία της χρηματοδότησης των έργων αυτών, καθώς αποτελεί και έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της παρούσα Διπλωματικής Εργασίας.

Ουσιαστικά τα τρία είδη μορφών ΣΔΙΤ που περιγράφηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (4.3) βασίζεται στις αρχές χρηματοδότησης τύπου Non-Resource, όπως περιγράφηκε από τον Π.Πανδρεμένο (2012). Ο τύπος της χρηματοδότησης

αυτής έχει να κάνει με το ότι το ανειλημμένο, για τη χρηματοδότηση ενός έργου, χρέος καλύπτεται και αποπληρώνεται από την ταμειακή ροή του έργου και όχι στην πιστοληπτική ικανότητα των επιμέρους ιδιωτών επενδυτών του έργου. Έτσι οι οργανισμοί που δανειοδοτούν τα έργα αυτά είναι νομικά κατοχυρωμένοι, ώστε να έχουν προτεραιότητα στην αποπληρωμή τους, έναντι υπόλοιπων πιστωτών.

Ενώ στις παραδοσιακές μορφές προκήρυξης έργων το Δημόσιο χρηματοδοτεί την κατασκευή τους μέσω των ταμείων του, φορολόγησης των πολιτών, κοινοτικούς πόρους κ.α. στα έργα ΣΔΙΤ ο ιδιώτης επενδυτής, μέσω της Ε.Ε.Σ. (Εταιρία Ειδικού Σκοπού) που έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για το συγκεκριμένο έργο ή σύμβαση είναι υπεύθυνος για την εύρεση των πόρων με τους οποίους θα πραγματοποιηθεί το έργο. Όπως υπεύθυνος είναι και για τους πόρους που απαιτούνται για τη διαχείριση, συντήρηση και λειτουργία του καθ'όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου ή τη διάρκεια της σύμβασης.

Όσον αφορά την αποπληρωμή ο Δημόσιος Φορέας έχει καθορίσει από την αρχή και επακριβώς όλα τα επιμέρους ζητήματα που αφορούν την περίοδο αποπληρωμής των ιδιωτών, τα οποία και έχουν υπογραφεί πριν τη διαδικασία κατασκευής του έργου.



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση χρηματικών ροών στο πλαίσιο παραδοσιακών δημοπρατήσεων και έργων ΣΔΙΤ

4.4 Στοιχεία για τα υπό Δημοπράτηση Έργα

Στις περιπτώσεις που εξετάζονται στη Διπλωματική Εργασία, θεωρούνται τα έργα ως **Πλήρως Ανταποδοτικά**, έτσι εκτός της μελέτης, κατασκευής και της χρηματοδότησης του έργου, οι ιδιώτες αναλαμβάνουν τη λειτουργία – συντήρηση αλλά και εκμετάλλευση της υποδομής.

Για αυτό το λόγο η αποπληρωμή τους θεωρείται πως γίνεται μέσω της χρέωσης των τελικών χρηστών (κόμιστρα διοδίων). Τα τέλη των διοδίων κυμαίνονται μεταξύ τιμών που προβλέπονται από τη σύμβαση, αλλά στην περίπτωση μας, θα είναι καθορισμένες από το Δημόσιο, όπως και η χρονική περίοδος Παραχώρησης. Θεωρήθηκε Ανοιχτό Σύστημα διοδίων, το οποίο συνεπάγεται πως οι χρήστες πληρώνουν το κόμιστρο με την είσοδό τους στον αυτοκινητόδρομο, ανεξαρτήτως του μήκους διαδρομής που θα διανύσουν (όπως συμβαίνει στο Ελληνικό Σύστημα Αυτοκινητόδρομων).

Έτσι θα θεωρηθεί τιμή κομίστρου διοδίων για κάθε έργο ξεχωριστά μεταξύ κάποιων τιμών, προκαθορισμένη από το Δημόσιο, βάσει της συγκοινωνιακής μελέτης του κάθε έργου.

Όσον αφορά στις διαδικασίες της Λειτουργίας – Συντήρησης θεωρούμε στο πρόβλημά μας ένα καθορισμένο κόστος για κάθε οδικό έργο ξεχωριστά για κάθε χρόνο που διέρχονται οχήματα από αυτόν. Σε αυτό το κόστος θεωρητικά ανήκει η συντήρηση των εγκαταστάσεων και οδοστρωμάτων, καθώς και η πληρωμή των εργαζομένων για όλη τη διάρκεια του χρόνου ζωής των έργων. Το κόστος αυτό θα βαρύνει τις εταιρίες που θα αναλάβουν τα συγκεκριμένα έργα.

Ο υπολογισμός του κόστους για όλη τη διάρκεια ζωής ενός οδικού έργου (Life-Cycle Cost Analysis) περιλαμβάνει βήματα που κατά τους Walls and Smith (1998) έχουν να κάνουν με:

1. Τον καθορισμό των διάφορων εναλλακτικών στρατηγικών σχεδιασμού
2. Τον προσδιορισμό της συχνότητας της συντήρησης
3. Την εκτίμηση για το κόστος του οργανισμού
4. Την εκτίμηση για το κόστους χρήσης και
5. Τον καθορισμό για το κόστος του κύκλου ζωής

Με βάση τους Hass, Tighe and Falls (2005), συνιστάται να μη συμπεριλαμβάνονται μονάχα τα άμεσα έξοδα του οργανισμού (κατασκευή και συντήρηση) αλλά και το κόστος για κάθε χρήστη, έτσι ώστε να υπάρχει μια ορθότερη εικόνα για τις επιπτώσεις της συντήρησης. Στο πρόβλημα που εξετάζεται θεωρήσαμε σταθερά

έξοδα συντήρησης και λειτουργίας για κάθε χρόνο μετακίνησης στους οδικούς άξονες, και στη συνέχεια υπολογίζεται η σημερινή αξία τους.

Όσον αφορά στα στοιχεία για το κόστος κάθε οδικού άξονα, μπορεί να γίνει επίσης θεώρηση με βάση ήδη δημοπρατημένα έργα αντίστοιχης φύσης. Για παράδειγμα, βάσει των στοιχείων της Έκθεσης της ΙΝΤΡΑΚΑΤ (2013) και με βάση τα έργα που περιγράφηκαν στην Εισαγωγή (κεφ.1.)

Αναλυτικά όλα τα δεδομένα για τα κόστη του κάθε τεχνικού έργου αποτυπώνονται στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί παρακάτω:

Έργο	Κόστος
1	50.000.000,00 €
2	165.000.000,00 €
3	210.500.000,00 €
4	72.500.000,00 €
5	290.000.000,00 €
6	110.000.000,00 €
7	322.000.000,00 €
8	578.000.000,00 €
9	325.000.000,00 €

Πίνακας 4.2: Κόστος κάθε Τεχνικού Έργου

4.5 Στοιχεία για τις Κατασκευαστικές Εταιρίες

Αρχικά όπως έχει ήδη αποσαφηνιστεί θεωρούμε 4 τεχνικές εταιρίες που ενδιαφέρονται να συμμετάσχουν στα υπο δημοπράτηση έργα. Ισχύει πως η κάθε μία ιδιωτική κατασκευαστική εταιρία έχει συγκεκριμένο κεφάλαιο διαθέσιμο προς επένδυση (είτε άμεσα είτε μέσω δανειοδότησης, καθόλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου).

Σε περίπτωση μη πλήρους συμμετοχής στο έργο, δηλαδή συμμετοχής κατά ποσοστό, μικρότερο του 100%, θεωρούμε πως το υπόλοιπο ποσοστό το καλύπτει το Δημόσιο και άρα τα κόστη και τα κέρδη επιμερίζονται κατ'αντιστοιχία του ποσοστού συμμετοχής μεταξύ Δημοσίου και Ιδιώτη.

Έτσι θεωρήθηκε πως οι εταιρίες ουσιαστικά θα παρουσιάσουν κατα τη διαδικασία προ της εκτέλεσης της διαδικασίας βελτιστοποίησης το μέγιστο κεφάλαιο το οποίο μπορούν να διαθέσουν για να κερδίσουν τη συμμετοχή τους στις Συμπράξεις. Σημειώνεται και πάλι πως όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με τον περιορισμό της συμμετοχής μίας κατασκευαστικής εταιρίας σε κάθε έργο. Οι περιπτώσεις συμμετοχής κοινοπραξιών δεν είναι λίγες, ειδικά σε τέτοιου τύπου έργα, αλλά αυτό προϋποθέτει την προηγούμενη συνεννόηση μεταξύ των εταιριών. Έτσι, για παράδειγμα, αναφέροντας την εταιρία 2 ως “Κοινοπραξία Κατασκευαστών” εννοείται πως κάποιες εταιρίες συμμετείχαν μαζί στο διαγωνισμό, αλλά καμία από αυτές δε συμμετείχε ξεχωριστά. Δηλαδή στην εταιρία 2: “Κοινοπραξία Κατασκευαστών” συμμετέχουν π.χ. οι εταιρίες 5 και 6, οι οποίες δεν έχουν λάβει συμμετοχή ως ξεχωριστές οντότητες στο διαγωνισμό. (η διαδικασία του διαγωνισμού αποτελείται από 4 νομικές οντότητες).

Έτσι, τα δεδομένα για τις κατασκευαστικές τεχνικές εταιρίες αποτυπώνονται στον Πίνακα 4.3 που ακολουθεί παρακάτω:

Εταιρίες	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Διαθέσιμο Κεφάλαιο	700.000.000	800.000.000	300.000.000	350.000.000

Πίνακας 4.3: Στοιχεία Κατασκευαστικών Εταιριών

Υπήρξε επίσης ως προϋπόθεση η ύπαρξη ενός κέρδους στις τεχνικές εταιρίες για τη συμμετοχή τους στη διαδικασία της δημοπράτησης. Ποιά εταιρία άλλωστε θα συμμετείχε σε ένα έργο πλήρως ανταποδοτικό χωρίς την προϋπόθεση ενός ποσοστού κέρδους; Υπο κανονικές συνθήκες αυτό μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο διαπραγμάτευσης στην περίοδο υπογραφής των συμβολαίων μεταξύ της αναδόχου εταιρίας και του Δημοσίου.

Στην περίπτωση μας θεωρήθηκε ένας κέρδος της τάξης του 9-14%. Αυτό αποτελεί ένα σύνηθες περιθώριο οικονομικού κέρδους σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (2005). Αρχικά να καθοριστεί πως υπάρχει διαφορά μεταξύ οικονομικού κέρδους (economic profitability) και χρηματοοικονομικού κέρδους (financial profitability). Το πρώτο που χρησιμοποιείται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία όπως και στην έκθεση της Ε.Τ.Ε αντικατοπτρίζει τη διαφορά μεταξύ του τζίρου του έργου και του ευκαιριακού κόστους του κεφαλαίου που χρησιμοποιήθηκε, ενώ το δεύτερο αποτελεί τη διαφορά μονάχα μεταξύ τζίρου και επενδεδυμένου κεφαλαίου (investopedia.com). Έτσι, αφού με την επένδυση των κεφαλαίων τους σε άλλες δραστηριότητες ή τον τοκισμό τους σε τράπεζα θα μπορούσαν να έχουν κάποια κέρδη υπολογίζεται και αυτή η διαφορά στην εύρεση του ποσοστού οικονομικού κέρδους.

Για αυτούς τους λόγους επιλέχθηκαν τιμές μεταξύ του 9% και του 14% ως περιθώρια κέρδους κάθε εταιρίας για κάθε έργο, για την εξασφάλιση των κερδών των ιδιωτών επενδυτών. Αυτός αποτελεί βασικό παράγοντα για την όλη διαδικασία της βελτιστοποίησης καθώς πέρα από τη βελτιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους από τη συμμετοχή ή την εξ ολοκλήρου περάτωση και διαχείριση των οδικών έργων, το κάτω μέρος του μοντέλου βελτιστοποίησης αποσκοπεί στα μέγιστα κέρδη για τις κατασκευαστικές εταιρίες.

Έτσι, τα αναμενόμενα κέρδη για κάθε τεχνικό έργο από κάθε εταιρία αποτυπώνονται στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί παρακάτω:

Κέρδος Aij	1	2	3	4
1	9%	11%	10%	13%
2	12%	14%	13%	10%
3	12%	9%	13%	10%
4	12%	9%	13%	10%
5	14%	12%	11%	9%
6	10%	9%	14%	11%
7	10%	12%	9%	13%
8	9%	11%	14%	10%
9	12%	13%	10%	9%

Πίνακας 4.4: Αναμενόμενα Κέρδη κάθε Κατασκευαστικής Εταιρίας από κάθε Τεχνικό Έργο

4.6. Αξιολόγηση Κοινωνικοοικονομικών και Χρηματοοικονομικών Στοιχείων

Η οικονομική αξιολόγηση των δημοσίων έργων γίνεται για να καθοριστεί η βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ευημερία του κοινωνικού συνόλου. Η αξιολόγηση βασίζεται σε μεθόδους όσο το δυνατόν ποσοτικής αποτίμησης της ελκυστικότητας ενός δημόσιου έργου ή υπηρεσίας. (Χασιάκος Α., 2000)

Δύο είναι οι συνηθέστερες κατηγορίες μεθόδων αξιολόγησης: η **χρηματοοικονομική αξιολόγηση (investment analysis)** και η **κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση**.

Η **χρηματοοικονομική ανάλυση**, έχει να κάνει με τις άμεσες οικονομικές επιπτώσεις του υπό εξέταση σχεδίου και αφορά κυρίως τους ιδιώτες επενδυτές και τα πιστωτικά ιδρύματα (με εξαίρεση τα μη-κερδοσκοπικά). Η ανάλυση των οικονομικών συνιστωσών λαμβάνει χώρα με βάση τις τιμές της αγοράς. (Δ. Καλιαμπάκος και Δ. Δαμίγος (2008)

Ο όρος **κοινωνικοοικονομική ανάλυση ή «ανάλυση κόστους-οφέλους»** επιδιώκει να αποδώσει οικονομική διάσταση σε όλες τις παραμέτρους ενός έργου (τεχνικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές) σε βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα και εξετάζει όχι μόνο τις άμεσες αλλά και τις έμμεσες επιπτώσεις του οικονομικού σχεδίου. Με την προσέγγιση αυτή αξιολογείται η συμβολή του επενδυτικού σχεδίου στην οικονομική ευημερία της περιοχής μελέτης οπότε η αξιολόγηση διενεργείται για λογαριασμό ολόκληρης της κοινωνίας και όχι μόνο του ιδιώτη επενδυτή. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003).

Σύμφωνα με τους Δ. Καλιαμπάκο και Δ. Δαμίγο (2008), η χρηματοοικονομική ανάλυση έχει να κάνει με τον υπολογισμό των ταμειακών ροών που προκύπτουν από την υλοποίηση του υπό ανάλυση επενδυτικού σχεδίου. Η ταμειακή ροή ορίζεται από την αφαίρεση δύο παραγόντων: της ταμειακής εισροής και εκροής. Η ταμειακή ροή αναφέρεται συνήθως σε ετήσιο χρονική διάστημα. Έτσι, για ένα επενδυτικό σχέδιο δημιουργείται ο πίνακας με τις ετήσιες ταμειακές ροές για τη διάρκεια ζωής της επένδυσης.

Για την κατάστρωση του πίνακα των ταμειακών ροών είναι απαραίτητη η γνώση:

- του συνολικού κεφαλαίου επένδυσης
- των ετήσιων δαπανών (σταθερά και αναλογικά λειτουργικά έξοδα, τόκοι, χρεολύσια, φόρος εισοδήματος, επιπρόσθετες εκταμιεύσεις κεφαλαίου, π.χ. για ανανέωση εξοπλισμού)
- των ετήσιων εσόδων
- των ετήσιων αποσβέσεων

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα υποκεφάλαια (4.4 και 4.5) ως Συνολικό Κεφάλαιο Επένδυσης θεωρείται το συνολικό πιθανό κεφάλαιο που μπορούν να

επενδύσουν οι κατασκευαστικές εταιρίες για την υλοποίηση των υπο δημοπράτηση έργων. Σημειώνεται ότι δίνεται από τις εταιρίες το προς επένδυση κεφάλαιο, χωρίς να σημαίνει πως θα επενδυθεί ολόκληρο, καθώς εξαρτάται από τον αριθμό και το μέγεθος των έργων που για τα οποία θα υπογράψει σύμβαση η κάθε τεχνική εταιρία και φυσικά το ποσοστό συμμετοχής της σε αυτά.

Οι Ετήσιες Δαπάνες αφορούν τα κόστη λειτουργίας, συντήρησης, πληρωμής μισθών, ανανέωσης εξοπλισμού κ.α. οι οποίες έχουν θεωρηθεί.

Τα Ετήσια Έσοδα είναι το σύνολο της ΕΜΗΚ για ένα χρόνο λειτουργίας επί της αξίας του κομίστρου για κάθε όχημα που διέρχεται από τον οδικό άξονα.

Όλοι οι υπολογισμοί για το βάθος 25ετίας θεωρείται πως γίνονται με βάση την **Καθαρή Παρούσα Αξία (Κ.Π.Α, NPV)**.

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τους Δράκου Α., Καραθανάση Γ. (2010), με τη μέθοδο της παρούσας αξίας μπορούν να εκφραστούν μελλοντικές Καθαρές Ταμειακές Ροές σε ισοδύναμες παρούσες αξίες. Κατά συνέπεια μπορούν να συγκριθούν η παρούσα αξία των Καθαρών Ταμειακών Ροών από την επένδυση με το κεφάλαιο που χρειάζεται σήμερα για να αποκτηθεί.

Ως Καθαρή Παρούσα Αξία, λοιπόν ορίζεται η αξία μίας επένδυσης ανηγμένης στη χρονική στιγμή του σήμερα. Βέβαια ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος στον υπολογισμό της Κ.Π.Α. αποτελεί το επιτόκιο προεξόφλησης. (Σ. Μαριάμου, 2014)

Ο γενικός τύπος υπολογισμού της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι: (H. Bierman, jr , S. Smid 1981)

$$\text{Κ.Π.Α.} = \sum_{n=1}^N \frac{\text{Κ.Τ.Ρ.}n}{(1+k)^n} - \text{Κ}_0, \quad (4.1)$$

όπου:

- Κ.Τ.Ρ.n: Καθαρές Ταμειακές Ροές του έτους n
- Κ₀: η Αρχική Επένδυση
- k: η Ετήσια Απόδοση ή επιτόκιο αναγωγής
- n: ο αριθμός των ετών

Μετά από την εφαρμογή της μεθοδολογίας μπορεί να υπολογιστεί το Κριτήριο του **Λόγου Οφέλους – Κόστους** (Ανάλυση Κόστους Οφέλους, Cost Benefit Ratio, CBR) το. Το κριτήριο αυτό σχετίζεται με την Καθαρή Παρούσα Αξία των Ταμειακών Ροών κατά τη διάρκεια του χρόνου παραχώρησης του έργου (20 έτη).

Η εφαρμογή της μεθόδου της Ανάλυσης Κόστους Οφέλους στην αξιολόγηση και επιλογή αναπτυξιακών έργων πραγματοποιείται σε πολλούς διεθνείς οργανισμούς ανάπτυξης, όπως η Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank), η Ασιατική Τράπεζα Ανάπτυξης (Asian Development Bank), το Πρόγραμμα για την Ανάπτυξη του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών κ.α. (Γ. Μέργος, 2002).

Η εκπόνηση και υποβολή πρότασης έργου πρέπει υποχρεωτικά να περιλαμβάνει Ανάλυση Κόστους Οφέλους για όλα τα μεγάλα συγχρηματοδοτούμενα έργα από το 4^ο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς, Ε.Σ.Π.Α. 2007-2013). Ως μεγάλα έχουν χαρακτηριστεί τα έργα με προϋπολογισμό μεγαλύτερο των 25 εκατομμυρίων ευρώ για περιβαλλοντικά έργα και 50 εκατομμύρια ευρώ για όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες έργων. (EU Official Journal, 2006)

Φαίνεται λοιπόν ξεκάθαρα πως αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές η οποία εκτελείται σε πλειάδα περιπτώσεων σε έργα με συμβάσεις παραχώρησης αλλά και για έργα ΣΔΙΤ, σύμφωνα με προηγούμενα εξετασθείσα βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 2) και τους D. Grimsey και M.K. Lewis (2005).

Η Ανάλυση Κόστους Οφέλους πραγματοποιείται μέσω μίας έκθεσης που εμπεριέχει υπολογισμούς για τα κόστη υλοποίησης καθώς και λειτουργίας του έργου καθώς και για τις διάφορες επιπτώσεις που προκύπτουν από την υλοποίηση και λειτουργία αυτού. Ως επιπτώσεις αναφέρονται οι άμεσες για τον επενδυτή χρηματοοικονομικές επιπτώσεις για τις οποίες χρησιμοποιείται η χρηματοοικονομική ανάλυση για τον υπολογισμό τους, καθώς και οι άμεσες ή έμμεσες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τις οποίες χρησιμοποιείται η οικονομική ανάλυση για τον υπολογισμό τους (Κ. Αραβώσης κ.α., 2011).

Βεβαίως να σημειωθεί πως από τη δημιουργία νέων οδικών αξόνων οι ωφέλειες δεν αφορούν μόνο τα στοιχεία που εξετάστηκαν στην παρούσα Διπλωματική αλλά και άλλα όπως:

- η μείωση των ατυχημάτων από την ύπαρξη ενός νέας γενιάς οδικού άξονα
- η εξοικονόμηση χρόνου
- το μειωμένο λειτουργικό κόστος των οχημάτων, κυρίως λόγω της μείωσης του χρόνου για τις διαδρομές
- η βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών από τη δημιουργία νέων, περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον αυτοκινητόδρομων
- η αύξηση των θέσεων εργασίας
- η βελτίωση της προσβασιμότητας και άρα η περαιτέρω ανάπτυξη της περιοχής
- η έλξη οικονομικής δραστηριότητας

Αυτά τα στοιχεία δε δύναται να καταμετρηθούν επισήμως στην παρούσα εργασία, αλλά έχουν μεγάλο νόημα ως οικονομικά μεγέθη ειδικότερα στην Κοινωνική Ανάλυση και αποφέρουν μεγάλα κέρδη για την κοινωνία της εκάστοτε περιοχής. Η δυσκολία στην αποτύπωσή τους με οικονομικούς όρους οδηγεί και στην εφαρμογή των *ex post evaluations* τα οποία πραγματοποιούνται μετά την πάροδο ορισμένων ετών από την έναρξη της λειτουργίας των έργων αυτών. (Α. Μπελεγρή Ρομπόλη κ.α. (2013) και M. Welde (2016))

4.7 Περιγραφή και Τρόπος Υπολογισμού του Μαθηματικού Μοντέλου Βελτιστοποίησης

4.7.1 Η μορφή του μαθηματικού μοντέλου

Το μοντέλο βελτιστοποίησης, όπως επισημάνθηκε ήδη, είναι διεπίπεδο και αποτελείται από δύο μέρη. Το άνω και το κάτω. Το ένα μέρος θα λυθεί με τη βοήθεια του κώδικα που θα γραφεί σε VBA (Visual Basic for Applications) στο Excel και θα επιλυθεί με το OpenSolver του Excel, ενώ το άλλο, λόγω της ανάγκης για χρήση Γενετικών Αλγόριθμων για την επίλυση του προβλήματος, με τη βοήθεια του Evolver, ενός λογισμικού το οποίο μπορεί και αυτό να συνεργαστεί με το Excel και άρα το OpenSolver. Η συνεργασία των δύο αφορά την εναλλαγή στη μετατροπή των μεταβλητών του προβλήματος, με την τελική απόφαση να ανήκει στο άνω μέρος (Leader), όπως έχει περιγραφεί και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο.²

Η γενική μορφή του διεπίπεδου μοντέλου βελτιστοποίησης είναι η εξής:

$$\text{Max } \sum_{i,j} (X_{ij} * Y_{ij} * \text{Cost}_i)$$

s.t.

$$X_{ij} = 0 \text{ ή } 1$$

$$\sum_i X_{ij} \leq 1$$

$$\text{Max } \sum_{i,j} (A_{ij} * X_{ij} * Y_{ij} * \text{Cost}_i)$$

s.t.

$$Y_{ij} = [0-1]$$

$$\sum_j \text{credit}_j \geq \sum_j \sum_i Y_{ij} * \text{Cost}_i$$

(4.2)

² βλέπε 3.8 Διεπίπεδος Προγραμματισμός, 3.8.1. Γενικά Στοιχεία

Ακολουθεί η επεξήγηση των συμβόλων:

- i : η μεταβλητή που δηλώνει τα έργα (x9 συνολικά)
- j : η μεταβλητή που δηλώνει τις εταιρίες (x4 συνολικά)
- X_{ij} 0 ή 1 : η μεταβλητή απόφασης που δηλώνει αν θα συμμετέχει τελικά μία εταιρία i στο έργο j κατά ποσοστό συμμετοχής Y_{ij}
- Y_{ij} : η μεταβλητή που δηλώνει το ποσοστό συμμετοχής της εταιρίας j στο έργο i
- A_{ij} : η σταθερά που δηλώνει το κέρδος που αναμένει κάθε εταιρία από κάθε έργο, ως ποσοστό του συνολικού κεφαλαίου που θα επενδύσει
- $Cost_i$: η σταθερά που δηλώνει το κόστος κατασκευής του κάθε έργου i
- $credit_j$: η σταθερά που δηλώνει το μέγιστο κεφάλαιο το οποίο μπορεί να διαθέσει η κάθε εταιρία j για το σύνολο των έργων που θα αναλάβει

και η επεξήγηση των περιορισμών:

- $X_{ij} = 0$ ή 1 δηλώνει την επιλογή για το αν θα συμμετάσχει η j εταιρία στο i έργο, ναι=1, όχι=0
- $\sum_i X_{ij} \leq 1$ ο περιορισμός, ώστε σε κάθε έργο να συμμετέχει μέχρι μία κατασκευαστική
- $Y_{ij} = [0-1]$ ο περιορισμός για τη συμμετοχή κάθε εταιρίας j σε κάθε έργο i , είναι ποσοστό 0% - 100%

- $\sum_j \text{credit}_j \geq \sum_j \sum_i Y_{ij} * \text{Cost}_i$ ο περιορισμός για τη συμμετοχή κάθε εταιρίας j στο σύνολο των έργων που έχει επιλέξει, ότι δεν πρέπει να ξεπερνά το αρχικό κεφάλαιο που έχει για να επενδύσει

Στη συνέχεια ακολουθεί η αναπαράσταση της λειτουργίας των αλγόριθμων κατά τη διαδικασία κατασκευής και επίλυσής τους στα υπολογιστικά περιβάλλοντα.

4.7.2 Το άνω μέρος

Όπως αναφέρθηκε ήδη, το πρόβλημα που εξετάστηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης, στο οποίο συμμετέχουν δύο παίκτες: το Κράτος (Leader) και οι ενδιαφερόμενες Κατασκευαστικές Εταιρίες (Followers).

Έτσι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποτελείται από δύο μέρη, το Άνω Μέρος (leader) και το Κάτω Μέρος (follower). Το άνω μέρος υπολογίστηκε μέσω του Evolver με τη χρήση Γενετικών Αλγόριθμων, ο οποίος έδωσε τιμές σε κάθε δοκιμή για τις μεταβλητές απόφασης X_{ij} , με βάση τις οποίες στη συνέχεια το κάτω μέρος μπορεί να υπολογίσει τις Y_{ij} μεταβλητές με τις οποίες στη συνέχεια υπολογίζεται η αντικειμενική συνάρτηση του άνω μέρους.

Η αντικειμενική του συνάρτηση υπολογίζει και καλείται να μεγιστοποιήσει τα κοινωνικά οφέλη που θα προέλθουν από τη συμφωνία για την κατασκευή των 9 έργων (οδικών αξόνων) με τη μέθοδο της Σύμπραξης Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ).

Έτσι η μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι:

$$\text{MAX } \sum_{ij} (X_{ij} * Y_{ij} * \text{Cost}_i)$$

Οι περιορισμοί που περιλαμβάνονται στο άνω μέρος του προβλήματος αφορούν κυρίως τη μορφή με την οποία παραχωρούνται τα έργα. Κάθε έργο μπορεί να καταλήξει σε μία και μόνο εταιρία, ενώ επίσης οι μεταβλητές απόφασης πρέπει να έχουν συγκεκριμένη μορφή ώστε να έχουν νόημα, δηλαδή να λαμβάνουν τιμές 0 ή 1.

Μέσω του άνω μέρους και μετά τον υπολογισμό του κάτω μέρους για τα δεδομένα τα οποία θα του παραδώσει, θα γίνει η τελική επιλογή της βέλτιστης λύσης για το υπό εξέταση πρόβλημά.

Να σημειωθεί πως όλες οι δοκιμές καταγράφονται και αποθηκεύονται και φυσικά μέσω του Evolver συγκρίνονται μεταξύ τους, ώστε να είναι σίγουρη η επιλογή της ορθότερης λύσης.

4.7.3 Το κάτω μέρος

Το κάτω μέρος του μοντέλου βελτιστοποίησης αφορά τα κέρδη των Κατασκευαστικών Εταιριών. Υπολογίστηκε με βάση τον OpenSolver, γραμμένο σε VBA (Visual Basic for Applications) και καλείται ως Macro από τον Evolver.

Έτσι για τις τιμές που έχει υπολογίσει ο Γενετικός Αλγόριθμος σε κάθε δοκιμή, πραγματοποιείται λειτουργία βελτιστοποίησης για να βρεθεί το μέγιστο δυνατό κέρδος για τις ενδιαφερόμενες εταιρίες. Με αυτόν τον τρόπο και καταγράφοντας όλες τις απαντήσεις γίνεται δυνατό να βρεθεί η βέλτιστη κατάσταση και για τους δύο παίκτες (Leader και Followers).

Η αντικειμενική τού συνάρτηση υπολογίζει και καλείται να μεγιστοποιήσει τα κέρδη των εταιριών από κάθε έργο ως το γινόμενο του ποσοστού των κερδών που έχουν ζητήσει να έχουν από κάθε έργο, επί το ποσοστό συμμετοχής τους στο κόστος του έργου αυτού.

Έτσι η μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι:

$$\text{MAX } \sum_{i,j} (A_{ij} * Y_{ij} * X_{ij} * \text{Cost}_i)$$

Οι περιορισμοί που περιλαμβάνονται στο κάτω μέρος του προβλήματος αφορούν κυρίως τα κεφάλαια των εταιριών αυτών, ώστε να μην ξεφύγει κάποια εταιρία και δηλωθεί να επενδύσει περισσότερα από όσα κατέχει.

Ως δεδομένα για το κάτω μέρος εισέρχονται τα διάφορα στοιχεία για τις κατασκευαστικές εταιρίες, όπως το κεφάλαιό τους και το απαιτούμενο κέρδος που επιθυμούν να έχουν για κάθε έργο.

Επίσης ως δεδομένα λαμβάνονται το κόστος του κάθε τεχνικού έργου και με βάση αυτό, το ποσοστό συμμετοχής, τα κεφάλαια των εταιριών και τα κέρδη στα οποία αποσκοπούν υπολογίζονται τα κέρδη για κάθε τεχνική εταιρία.

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ως μεταβλητές τα Y_{ij} ποσοστά συμμετοχής κάθε εταιρίας σε κάθε έργο, ενώ ως σταθερές του προβλήματος λαμβάνονται οι X_{ij} μεταβλητές απόφασης που έχουν επιλεγεί από τη δοκιμή του Γενετικού Αλγόριθμου στο Evolver.

Όταν καταλήξει σε κάποια συγκεκριμένη λύση, το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης του κάτω μέρους αποθηκεύεται και συγκρίνεται στη συνέχεια με τις υπόλοιπες δοκιμές που θα γίνουν.

4.7.4 Η διασύνδεση

Η διασύνδεση μεταξύ των προγραμμάτων πραγματοποιείται μέσω του MS Excel και όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, του Evolver.

Για την ακρίβεια έχει επιλεγεί η εκκίνηση της επίλυσης του κάτω μέρους του προβλήματος, σε κάθε μία από τις δοκιμές, μετά την πρώτη επιλογή των μεταβλητών απόφασης X_{ij} .

Έτσι ο Γενετικός Αλγόριθμος επιλέγει στην αρχή τυχαία τις μεταβλητές απόφασης, οι οποίες εισέρχονται στη συνέχεια στο κάτω μέρος για τον υπολογισμό των ποσοστών συμμετοχής Y_{ij} .

Στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση μεταξύ όλων των δοκιμών προκειμένου να προκριθεί η βέλτιστη λύση για το υπό εξέταση πρόβλημα, δηλαδή η μέγιστη Κοινωνική Ωφέλεια για το Κράτος αλλά και η τήρηση των ποσοστών κέρδους που επιδιώκουν οι κατασκευαστικές εταιρίες και άρα η μεγιστοποίηση των κερδών τους.

Πιο συγκεκριμένα, μέσω του Evolver Watcher της επιλογής στις ρυθμίσεις του προγράμματος επιλέχθηκε η σειρά με την οποία εκτελούνται οι αλγόριθμοι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

5

Εφαρμογή Μεθοδολογίας - Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Μετά την ανάλυση των δεδομένων και την περιγραφή του τρόπου ανάπτυξης του μοντέλου βελτιστοποίησης, στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνεται η αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής του αλγόριθμου καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή.

Η διασύνδεση διαφορετικών λογισμικών με σκοπό τη βέλτιστη κατανομή των υπό δημοπράτηση έργων στις υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες αποτέλεσε το βασικό σημείο αναζήτησης, δοκιμής και αλλαγών της Διπλωματικής Εργασίας, με το αποτέλεσμα όμως να δικαιώνει τις προσπάθειες, καθώς όχι μόνο ο αλγόριθμος λειτουργεί αλλά μπορεί να αποτελέσει ένα δυνατό όπλο στη φαρέτρα των φορέων διαχείρισης των έργων υποδομής στην Ελλάδα.

Η περιγραφή των διαδικασιών μέσω των οποίων έγινε πραγματικότητα η λειτουργία του αλγόριθμου και τα αποτελέσματα αυτού περιγράφονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή Μεθοδολογίας - Αποτελέσματα

Η γενική μορφή του λογισμικού φύλλου στο MS Excel ήταν η εξής:

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2		Υῆ	1	2	3	4	Cost _j		Χῆ	1	2	3	4	sum
3		1	0,000	0,000	0,000	1,000	50.000.000,00 €		1	0	0	0	1	1
4		2	0,000	0,000	0,000	0,000	165.000.000,00 €		2	0	0	1	0	1
5		3	0,000	0,000	0,000	0,000	210.500.000,00 €		3	0	1	0	0	1
6		4	1,000	0,000	0,000	0,000	72.500.000,00 €		4	1	0	0	0	1
7		5	0,000	0,000	0,000	0,000	290.000.000,00 €		5	0	1	0	0	1
8		6	0,000	0,000	0,000	0,000	110.000.000,00 €		6	0	0	1	0	1
9		7	0,000	0,000	0,000	0,000	322.000.000,00 €		7	0	1	0	0	1
10		8	0,000	0,000	0,519	0,000	578.000.000,00 €		8	1	0	0	0	1
11		9	0,000	0,000	0,000	0,923	325.000.000,00 €		9	0	0	0	1	1
12			1	2	3	4			Κοινωνικό Όφελος	422.499.999,00 €				
13		Credit	700.000.000	800.000.000	300.000.000	350.000.000			Κέρδη Εταιριών	42.199.999,91 €				
14														
15		Αῆ	1	2	3	4			Επένδυση	1	2	3	4	
16		1	9%	11%	10%	13%			1	- €	- €	- €	50.000.000,00 €	
17		2	12%	14%	13%	10%			2	- €	- €	- €	- €	
18		3	12%	9%	13%	10%			3	- €	- €	- €	- €	
19		4	12%	9%	13%	10%			4	72.500.000,00 €	- €	- €	- €	
20		5	14%	12%	11%	9%			5	- €	- €	- €	- €	
21		6	10%	9%	14%	11%			6	- €	- €	- €	- €	
22		7	10%	12%	9%	13%			7	- €	- €	- €	- €	
23		8	9%	11%	14%	10%			8	- €	- €	- €	- €	
24		9	12%	13%	10%	9%			9	- €	- €	- €	299.999.999,00 €	
25									sum	72.500.000,00 €	- €	- €	- €	349.999.999,00 €
26														
27														
28									Κέρδος	1	2	3	4	
29									1	- €	- €	- €	6.500.000,00 €	
30									2	- €	- €	- €	- €	
31									3	- €	- €	- €	- €	
32									4	8.700.000,00 €	- €	- €	- €	
33									5	- €	- €	- €	- €	
34									6	- €	- €	- €	- €	
35									7	- €	- €	- €	- €	
36									8	- €	- €	- €	- €	
37									9	- €	- €	- €	26.999.999,91 €	
38									sum	8.700.000,00 €	- €	- €	- €	33.499.999,91 €

Εικόνα 5.1: Η Γενική Μορφή του Λογισμικού Φύλλου Excel

5.2 Η λειτουργία του Άνω Μέρους

Όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο κύριος σκοπός του άνω μέρους του προβλήματος βελτιστοποίησης είναι η επιλογή της πλέον κερδοφόρας για το Κράτος, κατανομής των έργων στις υποψήφια κατασκευαστικές εταιρίες. Άλλη μία και μάλιστα η αρχική, λειτουργία του άνω μέρους είναι η επιλογή των μεταβλητών απόφασης X_{ij} που προσδιορίζουν ποιά εταιρία θα αναλάβει το κάθε έργο.

Έτσι μέσω των επιλογών του Evolver ορίστηκε το μοντέλο του άνω μέρους, με αντικειμενικό σκοπό τη μεγιστοποίηση του Κοινωνικού Οφέλους (κελί J12), με μεταβλητές τις μεταβλητές απόφασης (κελιά J2:M10) και λαμβάνοντας υπόψιν τον περιορισμό της διανομής κάθε έργου σε μία μόνο εταιρία (κελιά N2:N10).

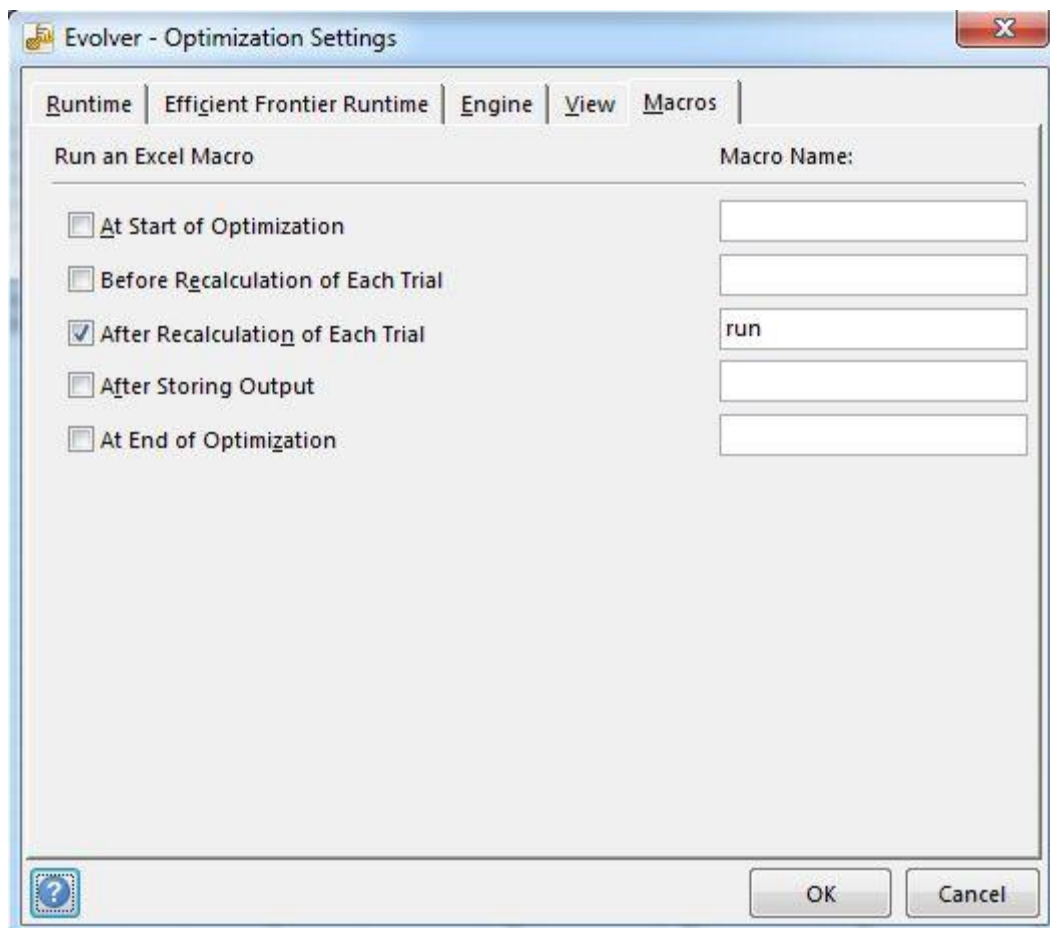
The screenshot shows the 'Evolver- Model' dialog box with the following settings:

- Optimization Goal:** Maximum
- Cell:** J12
- Analysis Type:** Standard (selected), Efficient Frontier
- Adjustable Cell Ranges:** A table with columns: Minimum, Range, Maximum, Values. One row is visible with a checked checkbox, value '0', range '<= J2:M10', maximum '<= 1', and value type 'Integer'.
- Constraints:** A table with columns: Description, Formula, Type. One constraint is visible with a checked checkbox, description '= 0', formula '<= N2:N10 <= 1', and type 'Hard'.

Buttons for 'Add...', 'Delete', 'Group', 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' are present next to the respective tables. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Εικόνα 5.2: Ο Ορισμός του μοντέλου του Άνω Μέρους

Στη συνέχεια πρέπει να οριστεί ο τρόπος διασύνδεσης του Evolver με τον OpenSolver, μέσω της εντολής Macro που δημιουργήθηκε σε VBA η οποία επιλέγεται να πραγματοποιείται μετά την κάθε δοκιμή του Evolver. Στην προκειμένη περίπτωση το Macro ονομάστηκε run.

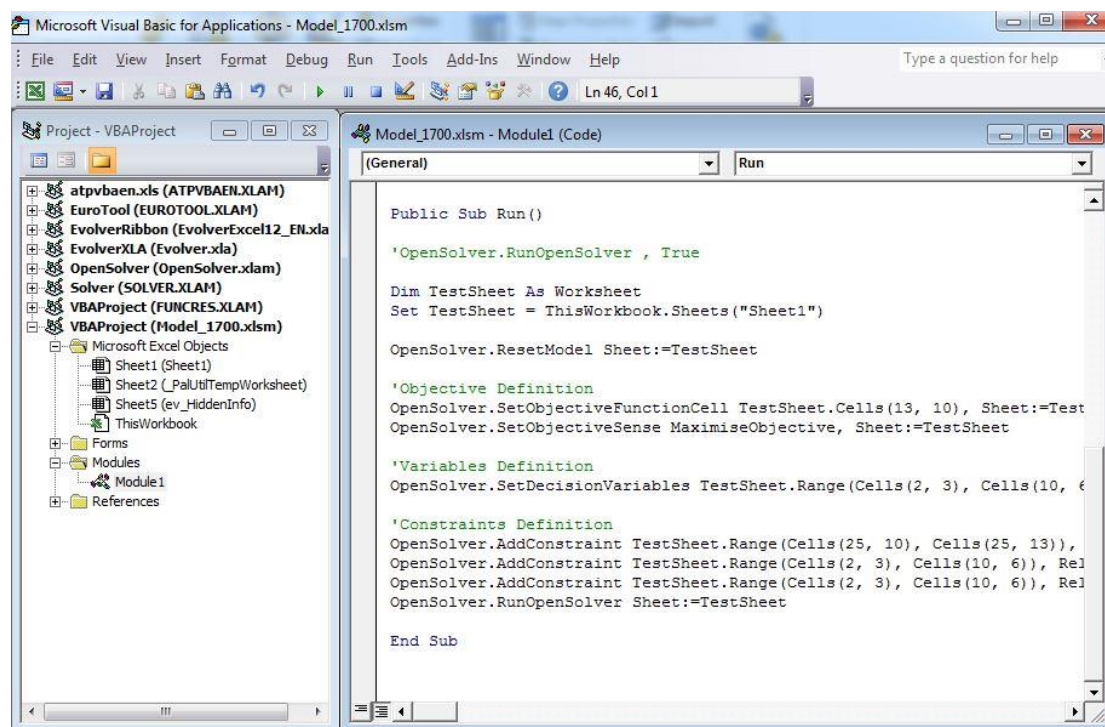


Εικόνα 5.3: Η επιλογή του τρόπου διασύνδεσης Evolver - OpenSolver

5.3 Η λειτουργία του Κάτω Μέρους

Ο σκοπός τους κάτω μέρους είναι να μεγιστοποιήσει τα οφέλη (κέρδη) των εταιριών από τη συμμετοχή τους στην κατασκευή λειτουργία και διαχείριση των τεχνικών έργων. Είδαμε πως για να λειτουργήσει το κάτω μέρος πρέπει να δεχτεί πρώτα ως δεδομένα τιμές για τις μεταβλητές απόφασης από το άνω μέρος. Έτσι με βάση τις τιμές που έχει λάβει πραγματοποιεί τη βελτιστοποίηση και στη συνέχεια τα αποτελέσματα αποστέλλονται και πάλι στο άνω μέρος, όπου αξιολογούνται, αποθηκεύονται και στο τέλος επιλέγονται τα βέλτιστα.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα για τη διασύνδεσή του OpenSolver με τον Evolver απαιτήθηκε να γραφεί ως Macro η λειτουργία της βελτιστοποίησης σε κώδικα VBA. Έτσι μπορεί να φανεί στην παρακάτω εικόνα η μορφή του κώδικα ως Public Sub με όνομα Run () το οποίο καλείται ως Macro από τον Evolver.



Εικόνα 5.4: Η μορφή της VBA για το κάτω μέρος

Η μορφή του κώδικα αναφέρεται ξεκάθαρα στο κεφάλαιο του Παραρτήματος.

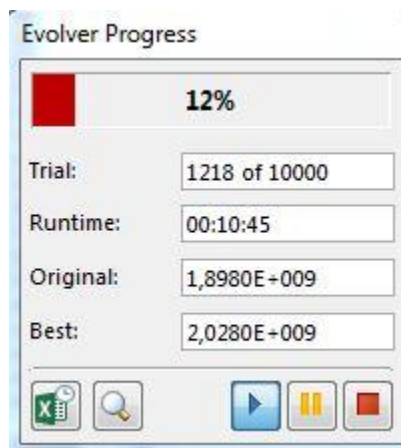
Μετά την ανάλυση και λεπτομερή περιγραφή του τρόπου λειτουργίας καθώς και των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του όλου αλγόριθμου βελτιστοποίησης, στη συνέχεια θα ακολουθήσει η εφαρμογή του για το πρόβλημα που μελετάται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

5.4 Η Εκτέλεση του Αλγόριθμου

Μετά την προσεκτική επιλογή όλων των παραγόντων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την πορεία της διαδικασίας βελτιστοποίησης και την ορθή γραφή του απαιτούμενου κώδικα κλήσης του OpenSolver μέσω VBA, ήρθε η ώρα να δοκιμαστεί ο αλγόριθμος στο σύνολο των δυνατοτήτων του.

Μέσω της επιλογής Start του Evolver, ξεκίνησε η παραγωγή των μεταβλητών απόφασης από το άνω μέρος, στη συνέχεια η κλήση του macro με το οποίο λειτουργεί ο OpenSolver (κάτω μέρος) ενώ τέλος έγινε η ορθή επιλογή από το άνω μέρος της βέλτιστης των λύσεων.

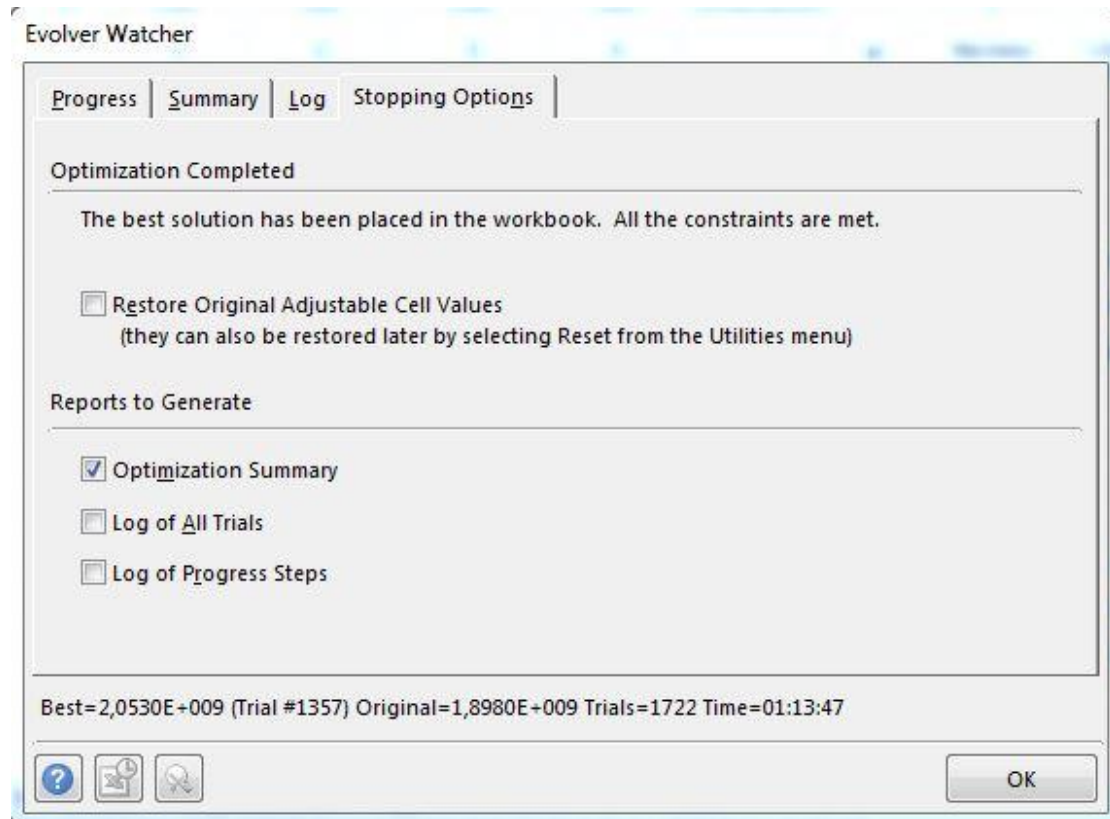
Μετά την έναρξη της εφαρμογής του Evolver εμφανίστηκε το παράθυρο Evolver Progress με το οποίο μπορεί ο χρήστης να παρακολουθήσει την πορεία της βελτιστοποίησης.



Εικόνα 5.5: Evolver Progress

Έτσι στην περίπτωση μας διακρίνεται το ποσοστό της προόδου (αν έχει επιλεγεί συγκεκριμένος αριθμός δοκιμών), ο χρόνος λειτουργίας του αλγόριθμου, η αρχική και η βέλτιστη τιμή.

Μετά το πέρας των δοκιμών εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου Evolver Watcher, μέσω του οποίου μπορεί ο χρήστης να δει μία ανασκόπηση της εξέλιξης της βελτιστοποίησης και να επιλέξει τι αναφορές θέλει να παρουσιαστούν. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 5.6. Επιλέγοντας όλες τις προσφερόμενες λύσεις ανοίγουν στη συνέχεια τα παράθυρα που φαίνονται στις επόμενες Εικόνες (5.7- 5.10).

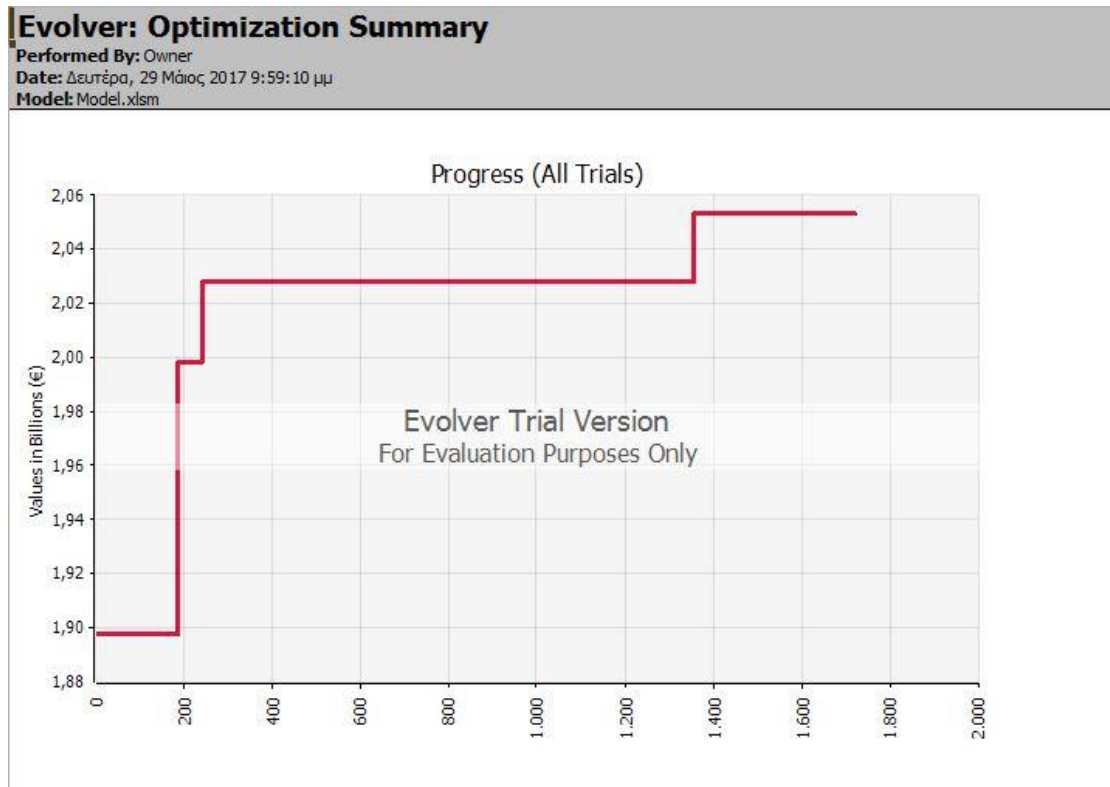


Εικόνα 5.6: Το παράθυρο Evolver Watcher

Evolver: Log of All Trials
 Performed By: Owner
 Date: Δευτέρα, 29 Μάιος 2017 9:59:10 μμ
 Model: Model.xlsx

Trial	Elapsed Time	Result	Adjustable Cells																	Hard Constraints																									
			J2	K2	L2	M2	J3	K3	L3	M3	J4	K4	L4	M4	J5	K5	L5	M5	J6	K6	L6	M6	J7	K7	L7	M7	J8	K8	L8	M8	J9	K9	L9	M9	J10	K10	L10	M10	O ≤= SNS2	SNS2 <= 1	O <= SNS3	SNS3 <=			
1	1,15741E-05	1.897.999.999,72 €	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	Met	Met	Met	Met			
2	2,31481E-05	- €	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Met	Met	Met	Met	
3	3,47222E-05	722.500.000,96 €	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	Met	Met	Met	Met	
4	3,47222E-05	997.499.999,25 €	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	Met	Met	Met	Met		
5	4,62963E-05	1.214.999.998,82 €	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	Met	Met	Met	Met	
6	4,62963E-05	1.185.499.998,34 €	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	Met	Met	Met	Met	
7	5,78704E-05	759.999.999,02 €	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	Met	Met	Met	Met	
8	5,78704E-05	1.047.500.001,17 €	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	Met	Met	Met	Met	
9	6,94444E-05	1.522.999.998,92 €	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	Met	Met	Met	Met	
10	6,94444E-05	1.121.999.998,74 €	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	Met	Met	Met	Met	
11	6,94444E-05	1.325.000.001,29 €	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	Met	Met	Met	Met	
12	8,10185E-05	937.499.998,75 €	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	Met	Met	Met	Met	
13	8,10185E-05	670.500.000,00 €	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	Met	Met	Met	Met	
14	9,25926E-05	1.285.500.000,00 €	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	Met	Met	Met	Met	
15	9,25926E-05	1.775.999.999,00 €	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Met	Met	Met	Met	
16	0,000104167	1.667.499.998,62 €	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Met	Met	Met	Met	
17	0,000104167	1.519.999.998,92 €	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Met	Met	Met	Met	
18	0,000115741	1.337.500.004,06 €	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Met	Met	Met	Met
19	0,000115741	1.017.999.998,92 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	Met	Met	Met	Met

Εικόνα 5.7: Το σύνολο των Δοκιμών



Εικόνα 5.8: Περίληψη της Βελτιστοποίησης

Evolver: Log of Progress Steps
 Performed By: Owner
 Date: Δευτέρα, 29 Μάιος 2017 9:59:12 μμ
 Model: Model.xlsm

Trial	Elapsed Time	Result	Adjustable Cells																																				
			J2	K2	L2	M2	J3	K3	L3	M3	J4	K4	L4	M4	J5	K5	L5	M5	J6	K6	L6	M6	J7	K7	L7	M7	J8	K8	L8	M8	J9	K9	L9	M9	J10	K10	L10	M10	
1	1,15741E-05	1.897.999.999,72 €	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
184	0,000960648	1.998.500.001,52 €	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
240	0,00125	2.028.000.001,38 €	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1357	0,009050926	2.053.000.000,53 €	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0

Εικόνα 5.9: Η πρόοδος της εύρεσης βέλτιστης λύσης

Goal	
Cell to Optimize	Sheet1!J12
Type of Goal	Maximum
Results	
Valid Trials	1722
Total Trials	1722
Original Value	1.897.999.999,72 €
+ soft constraint penalties	0,00
= result	1.897.999.999,72 €
Best Value Found	2.053.000.000,53 €
+ soft constraint penalties	0,00
= result	2.053.000.000,53 €
Best Trial Number	1357
Time to Find Best Value	0:13:02
Reason Optimization Stopped	Stop button pressed
Time Optimization Started	29/5/2017 20:44
Time Optimization Finished	29/5/2017 21:58
Total Optimization Time	1:13:47
Adjustable Cell Values	Sheet1!J2
Original	0
Best	0
Adjustable Cell Values	Sheet1!K2

Εικόνα 5.10: Συνέχεια της περίληψης της βελτιστοποίησης

5.5 Αποτελέσματα Περίπτωσης 1 (Αρχικού Προβλήματος)

Πραγματοποιήθηκε πλειάδα δοκιμών του μοντέλου και μάλιστα για την ορθότερη ανάλυση των αποτελεσμάτων έγιναν δοκιμές για διαφορετικά σενάρια, δεδομένα και καταστάσεις.

Για την ακρίβεια οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ήταν της τάξης των δεκάδων χιλιάδων, καθώς θεωρήθηκε τουλάχιστον ορθό αν όχι αναγκαίο για την σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος και του μεγέθους των δεδομένων καθώς και των πιθανών λύσεων, να πραγματοποιηθούν πολλές και διαφορετικές επαναλήψεις με το μοντέλο.

Το μέγεθος των απαιτούμενων δεδομένων για την επίλυση ενός προβλήματος τέτοιου μεγέθους και δη η εκτέλεση τόσο μεγάλου αριθμού επαναλήψεων δυσκόλεψε αρκετά την κατάσταση. Την ώρα μάλιστα που ο υπολογιστής στον οποίο πραγματοποιούνταν οι δοκιμές δεν μπορούσε να ανταποκριθεί εύκολα σε τέτοιο όγκο δεδομένων και τόσο χρόνο λειτουργίας σε μεγάλες αποδόσεις, όμως ευτυχώς όλα τα αποτελέσματα υπήρξαν ενθαρρυντικά.

Βέβαια από τις πρώτες κιόλας δοκιμές φάνηκε η χρησιμότητα του αλγόριθμου, καθώς τα αποτελέσματα ήταν ολοένα και καλύτερα, όπως φαίνεται άλλωστε και στην Εικόνα 5.9 που δείχνει την πρόοδο των βέλτιστων λύσεων. Όπως αναφέρθηκε στην παραπάνω σελίδα, έγιναν πολλές δοκιμές για διαφορετικά σενάρια για την ορθότερη εκτίμηση του επιπέδου λειτουργίας του αλγόριθμου. Οι δοκιμές ξεκίνησαν φυσικά με το αρχικό, υπό εξέταση πρόβλημα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, το οποίο αφορούσε 4 εταιρίες και 9 υπό δημοπράτηση οδικά έργα.

Τα χαρακτηριστικά τόσο των εταιριών όσο και των έργων έχουν αναλυθεί πλήρως στο προηγούμενο κεφάλαιο και το μόνο που μένει είναι η εφαρμογή της μεθοδολογίας και η λειτουργία του αλγόριθμου.

Καθώς αποτέλεσε το πρώτο και κυριότερο υπο εξέταση ζήτημα της Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκαν και οι περισσότερες δοκιμές και επαναλήψεις, για την ακρίβεια περί τις 10.000. Όμως η βέλτιστη λύση είχε βρεθεί ήδη αρκετά νωρίς στις επαναλήψεις και η συνέχισή τους αποτέλεσε μόνο χάσιμο υπολογιστικού χρόνου. Καθώς όμως ήταν η πρώτη επίσημη δοκιμή, έπρεπε να υπάρξει σιγουριά για την ποιότητα των προσφερόμενων λύσεων.

Ο χρόνος και η υπολογιστική ισχύς που απαιτήθηκε για την εξαγωγή αυτών των αποτελεσμάτων δεν επέτρεψε την επανάληψη με τέτοιο αριθμό δοκιμών στα υπόλοιπα σενάρια, χωρίς αυτό να σημαίνει σε καμία περίπτωση μη βελτιστότητα των αποτελεσμάτων.

Έτσι σύμφωνα με τα αποτελέσματα:

- Το μέγιστο κοινωνικό όφελος για το Δημόσιο υπολογίστηκε στα: 2.100.500.000 € (δύο δισεκατομμύρια εκατό εκατομμύρια πεντακόσιες χιλιάδες ευρώ)
- Το συνολικό όφελος για τις εταιρίες υπολογίστηκε στα: 218.505.000 € (διακόσια δεκαοκτώ εκατομμύρια πεντακόσιες πέντε χιλιάδες ευρώ)

Το κάθε έργο θα δημοπρατηθεί ως εξής:

- Το έργο 1 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 50.000.000 €
- Το έργο 2 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 165.000.000 €
- Το έργο 3 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 89,3%, επενδύοντας 188.000.000 €
- Το έργο 4 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 72.500.000 €
- Το έργο 5 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 290.000.000 €
- Το έργο 6 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 110.000.000 €
- Το έργο 7 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 322.000.000 €
- Το έργο 8 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 578.000.000 €
- Το έργο 9 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 325.000.000 €

Τέλος, η κάθε κατασκευαστική εταιρία θα έχει μετά το πέρας της διαδικασίας δημοπράτησης:

- Η εταιρία 1 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 12.000.000€
- Η εταιρία 2 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 3 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 12.500.000€
- Η εταιρία 4 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 25.000.000€

Βλέπουμε λοιπόν πως με βάση τα αρχικά δεδομένα, όλα τα έργα θα δημοπρατηθούν στις ενδιαφερόμενες εταιρίες, ενώ μόνο το ένα εξ αυτών (έργο 3) θα καταλήξει να μην ολοκληρώνεται με πόρους εξ ολοκλήρου ιδιωτικούς, οπότε θα χρειαστεί να επενδύσει το δημόσιο το υπολειπόμενο κεφάλαιο.

Έτσι, ο τελικός πίνακας συμμετοχών των εταιριών στα υπό δημοπράτηση οδικά έργα παίρνει την εξής μορφή:

% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	-	-	100%	-
Έργο 2	-	-	100%	-
Έργο 3	-	89%	-	-
Έργο 4	-	-	100%	-
Έργο 5	-	100%	-	-
Έργο 6	100%	-	-	-
Έργο 7	-	100%	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	-	100%

Πίνακας 5.1: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 1

5.6 Αποτελέσματα Περίπτωσης 2 (Μικρότερο Κεφάλαιο Εταιριών)

Αφού έγινε φανερό πως, αν και τα ποσοστά συμμετοχής των εταιριών στα υπό δημοπράτηση έργα δεν είναι πλήρες (συνολικά θα συμμετέχουν στο 98,9% του απαιτούμενου κεφαλαίου), το κεφάλαιο των εταιριών δεν εξαντλείται.

Θα δοκιμαστεί λοιπόν ένα σενάριο στο οποίο θα υπάρξει ακόμα μικρότερο διαθέσιμο κεφάλαιο για τις εταιρίες και ένα στο οποίο τα έργα θα έχουν μικρότερο κόστος σε σχέση με την αρχική κατάσταση – εκτίμηση.

Έτσι στο συγκεκριμένο σενάριο θα πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση για διαθέσιμο κεφάλαιο των εταιριών σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Εταιρίες	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Διαθέσιμο Κεφάλαιο	650.000.000	700.000.000	250.000.000	300.000.000

Πίνακας 5.2: Νέα Στοιχεία Κατασκευαστικών Εταιριών

Έτσι, σύμφωνα με τα νέα στοιχεία και με διατήρηση των υπόλοιπων ως είχαν, τα νέα αποτελέσματα μετά τις απαιτούμενες επαναλήψεις ήταν:

- Το μέγιστο κοινωνικό όφελος για το Δημόσιο υπολογίστηκε στα: 1.900.000.004,28 € (ένα δισεκατομμύριο εννιακόσια εκατομμύρια τέσσερα ευρώ και είκοσι οκτώ λεπτά)
- Το συνολικό όφελος για τις εταιρίες υπολογίστηκε στα: 218.300.000 € (διακόσια δεκαοκτώ εκατομμύρια τριακόσιες χιλιάδες ευρώ)

Το κάθε έργο θα δημοπρατηθεί ως εξής:

- Το έργο 1 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 70%, επενδύοντας 35.000.000 €
- Το έργο 2 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 165.000.000 €

- Το έργο 3 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 90,3%, επενδύοντας 190.000.000 €
- Το έργο 4 **δε θα δημοπρατηθεί σε καμία εταιρία**, καθώς το ενδιαφέρον για αυτό ήταν μηδενικό.
- Το έργο 5 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 290.000.000 €
- Το έργο 6 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 110.000.000 €
- Το έργο 7 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 77,6%, επενδύοντας 250.000.000 €
- Το έργο 8 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 92,6%, επενδύοντας 535.000.000 €
- Το έργο 9 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 325.000.000 €

Τέλος, η κάθε κατασκευαστική εταιρία θα έχει μετά το πέρας της διαδικασίας δημοπράτησης:

- Η εταιρία 1 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 2 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 3 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο

Εδώ όμως παρατηρείται κάτι αξιοσημείωτο καθώς υπήρξε έργο το οποίο δεν ανέλαβε καμία εταιρία, ούτε με μικρό ποσοστό (έργο 4) όμως από την άλλη, οι εταιρίες εξάντλησαν όλες τους, όλους τους πόρους που είχαν διαθέσιμους.

Έτσι, συγκεντρωτικά τα ποσοστά συμμετοχής των εταιριών στα υπό δημοπράτηση οδικά έργα παίρνει την εξής μορφή:

% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	70%	-	-	-
Έργο 2	-	100%	-	-
Έργο 3	-	-	-	90,3%
Έργο 4	-	-	-	-
Έργο 5	100%	-	-	-
Έργο 6	-	-	-	100%
Έργο 7	-	-	77,6%	-
Έργο 8	-	92,6%	-	-
Έργο 9	100%	-	-	-

Πίνακας 5.3: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 2

Πέραν από αυτό, όμως, το πραγματικά αξιοσημείωτο είναι πως η αμέσως προηγούμενη καλύτερη λύση προσέφερε αποτέλεσμα κατά μερικά ευρώ λιγότερα από τη βέλτιστη λύση.

Φαίνεται λοιπόν πως για ένα ελάχιστο ποσό ο αλγόριθμος επέλεξε να μην πραγματοποιηθεί καν ένα ολόκληρο έργο και για αυτό κρίνεται κάτι παραπάνω από απαραίτητη η προσοχή του διαχειριστή του προγράμματος και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων τού.

Για την ακρίβεια η δεύτερη καλύτερη λύση είχε ως αποτελέσματα:

- Το μέγιστο κοινωνικό όφελος για το Δημόσιο υπολογίστηκε στα: 1.900.000.002,65 € (ένα δισεκατομμύριο εννιακόσια εκατομμύρια δύο ευρώ και εξήντα πέντε λεπτά)
- Το συνολικό όφελος για τις εταιρίες υπολογίστηκε στα: 221.200.000,00 € (διακόσια είκοσι ένα εκατομμύρια διακόσιες χιλιάδες ευρώ)

Το κάθε έργο θα δημοπρατηθεί ως εξής:

- Το έργο 1 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 70%, επενδύοντας 35.000.000 €
- Το έργο 2 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 165.000.000 €

- Το έργο 3 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 90,3%, επενδύοντας 190.000.000 €
- Το έργο 4 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 72.500.000 €
- Το έργο 5 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 290.000.000 €
- Το έργο 6 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 110.000.000 €
- Το έργο 7 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 55,1%, επενδύοντας 177.500.000 €
- Το έργο 8 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 92,6%, επενδύοντας 535.000.000 €
- Το έργο 9 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 325.000.000 €

Τέλος, η κάθε κατασκευαστική εταιρία θα έχει μετά το πέρας της διαδικασίας δημοπράτησης:

- Η εταιρία 1 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 2 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 3 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 4 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο

Έτσι, συγκεντρωτικά τα ποσοστά συμμετοχής των εταιριών στα υπό δημοπράτηση οδικά έργα παίρνει την εξής μορφή:

% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	70,0%	-	-	-
Έργο 2	-	100,0%	-	-
Έργο 3	-	-	-	90,3%
Έργο 4	-	-	100,0%	-
Έργο 5	100,0%	-	-	-
Έργο 6	-	-	-	100,0%
Έργο 7	-	-	55,1%	-
Έργο 8	-	92,6%	-	-
Έργο 9	100,0%	-	-	-

Πίνακας 5.4: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 2 σύμφωνα με τη δεύτερη καλύτερη λύση

Βλέπουμε λοιπόν πως και πάλι όλες οι εταιρίες ξοδεύουν το σύνολο του κεφαλαίου τους για τα οδικά έργα, αλλά αυτή τη φορά καταφέρνουν και δημοπρατούνται όλα τα έργα, χωρίς να μείνει κανένα με μηδενική συμμετοχή. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από αυτό το σενάριο θα αναλυθούν καλύτερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Να σημειωθεί απλώς πως το κεφάλαιο των εταιριών εξαντλήθηκε και στις δύο περιπτώσεις, χωρίς να μείνει καμία κατασκευαστική με διαθέσιμο κεφάλαιο ανεκμετάλλευτο.

5.7 Αποτελέσματα Περίπτωσης 3 (Μεγαλύτερο Κόστος Έργων)

Στο τελευταίο σενάριο που δοκιμάστηκε αποφασίστηκε η μείωση των διαθέσιμων κεφαλαίων για τις κατασκευαστικές εταιρίες, σε μία προσπάθεια να μην υπάρχει περίσσειμα μετά τη δημοπράτηση των έργων.

Στο σενάριο που θα εξεταστεί τώρα, θεωρήθηκε αύξηση του κόστους ορισμένων τεχνικών έργων, ώστε το συνολικό κόστος όλων των έργων να ισούται με τα συνολικά διαθέσιμα κεφάλαια των κατασκευαστικών εταιριών.

Έτσι, στο συγκεκριμένο σενάριο θα πραγματοποιηθεί βελτιστοποίηση για κόστη έργων σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Έργο	Κόστος
1	50.000.000,00 €
2	170.000.000,00 €
3	215.000.000,00 €
4	75.000.000,00 €
5	290.000.000,00 €
6	112.000.000,00 €
7	330.000.000,00 €
8	580.000.000,00 €
9	328.000.000,00 €

Πίνακας 5.5: Κόστος για κάθε έργο στην Περίπτωση 3

Σε αυτή την περίπτωση, λοιπόν, το συνολικό κόστος των έργων εκτιμάται στα 2.150.000.000,00 €, όσα ακριβώς είναι και τα διαθέσιμα κεφάλαια των κατασκευαστικών εταιριών:

Εταιρίες	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Διαθέσιμο Κεφάλαιο	700.000.000	800.000.000	300.000.000	350.000.000

Πίνακας 5.6: Διαθέσιμο Κεφάλαιο Κατασκευαστικών Εταιριών, σύμφωνα με την Αρχική Περίπτωση

Έτσι, σύμφωνα με τα νέα στοιχεία τα αποτελέσματα, μετά τις απαιτούμενες επαναλήψεις ήταν:

- Το μέγιστο κοινωνικό όφελος για το Δημόσιο υπολογίστηκε στα: 2.079.999.999,60 € (δύο δισεκατομμύρια εβδομήντα εννιά εκατομμύρια εννιακόσιες ενενήντα εννιά χιλιάδες εννιακόσια ενενήντα εννιά ευρώ)
- Το συνολικό όφελος για τις εταιρίες υπολογίστηκε στα: 209.350.000 € (διακόσια εννιά εκατομμύρια τριακόσιες πενήντα χιλιάδες ευρώ)

Το κάθε έργο θα δημοπρατηθεί ως εξής:

- Το έργο 1 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 50.000.000 €
- Το έργο 2 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 170.000.000 €
- Το έργο 3 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 215.000.000 €
- Το έργο 4 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 75.000.000 €
-
- Το έργο 5 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 94,8%, επενδύοντας 275.000.000 €
- Το έργο 6 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 75,9%, επενδύοντας 85.000.000 €
- Το έργο 7 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 330.000.000 €
- Το έργο 8 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 580.000.000 €
- Το έργο 9 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 91,5%, επενδύοντας 300.000.000 €

Τέλος, η κάθε κατασκευαστική εταιρία θα έχει μετά το πέρας της διαδικασίας δημοπράτησης:

- Η εταιρία 1 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 70.000.000 €
- Η εταιρία 2 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 3 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 4 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο

Έτσι, συγκεντρωτικά τα ποσοστά συμμετοχής των εταιριών στα υπό δημοπράτηση οδικά έργα παίρνει την εξής μορφή:

% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	100%	-	-	-
Έργο 2	-	100%	-	-
Έργο 3	-	100%	-	-
Έργο 4	-	-	-	100%
Έργο 5	-	-	-	95%
Έργο 6	-	76%	-	-
Έργο 7	-	100%	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	92%	-

Πίνακας 5.7: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 3

5.8 Αποτελέσματα Περίπτωσης 4 (Διαφορετικοί Συντελεστές Κέρδους)

Μετά τη δοκιμή του αλγόριθμου στην αρχική του κατάσταση, με διαφορετικά δεδομένα διαθέσιμου κεφαλαίου κατασκευαστικών και κόστους των οδικών έργων, αποφασίστηκε η δοκιμή του για διαφορετικά ποσοστά κέρδους από τις εταιρίες.

Τα ποσοστά που εισήχθησαν ως δεδομένα στο μοντέλο βελτιστοποίησης ήταν τα εξής:

Κέρδος Aij	1	2	3	4
1	13%	10%	12%	9%
2	13%	10%	12%	14%
3	9%	13%	10%	12%
4	10%	9%	10%	13%
5	14%	10%	12%	11%
6	11%	14%	9%	12%
7	14%	11%	9%	9%
8	10%	13%	9%	11%
9	10%	12%	10%	13%

Πίνακας 5.8: Συντελεστές Κέρδους στην Περίπτωση 4

Έτσι σύμφωνα με τα αποτελέσματα:

- Το μέγιστο κοινωνικό όφελος για το Δημόσιο υπολογίστηκε στα: 2.100.500.000 € (δύο δισεκατομμύρια εκατό εκατομμύρια πεντακόσιες χιλιάδες ευρώ)
- Το συνολικό όφελος για τις εταιρίες υπολογίστηκε στα: 234.735.000,00 € (διακόσια τριάντα τέσσερα εκατομμύρια εφτακόσιες τριάντα πέντε χιλιάδες ευρώ)

Το κάθε έργο θα δημοπρατηθεί ως εξής:

- Το έργο 1 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 50.000.000 €
- Το έργο 2 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 165.000.000 €

- Το έργο 3 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 210.500.000 €
- Το έργο 4 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 72.500.000 €
- Το έργο 5 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 92,2%, επενδύοντας 267.500.000,00 €
- Το έργο 6 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 110.000.000 €
- Το έργο 7 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 322.000.000 €
- Το έργο 8 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 578.000.000 €
- Το έργο 9 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 325.000.000 €

Τέλος, η κάθε κατασκευαστική εταιρία θα έχει μετά το πέρας της διαδικασίας δημοπράτησης:

- Η εταιρία 1 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 12.000.000€
- Η εταιρία 2 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€, εξαντλώντας όλο της το κεφάλαιο
- Η εταιρία 3 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 12.500.000€
- Η εταιρία 4 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 25.000.000€

Παρατηρείται εδώ πως οι μεταβλητές απόφασης, δηλαδή ποιό έργο θα πάει σε ποιά εταιρία παρέμειναν σταθεροί σε σχέση με την επίλυση του αρχικού προβλήματος, με τη μόνη αλλαγή να έχει παρουσιαστεί στα ποσοστά με τα οποία συμμετέχουν οι εταιρίες στα οδικά έργα.

Επίσης ακόμη και το διαθέσιμο υπόλοιπο κεφάλαιο μετά το πέρας της διαδικασίας για κάθε κατασκευαστική εταιρία είναι το ίδιο με την Περίπτωση 1.

Έτσι, συγκεντρωτικά τα ποσοστά συμμετοχής των εταιριών στα υπό δημοπράτηση οδικά έργα παίρνει την εξής μορφή:

% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	-	-	100%	-
Έργο 2	-	-	100%	-
Έργο 3	-	100%	-	-
Έργο 4	-	-	100%	-
Έργο 5	-	92,2%	-	-
Έργο 6	100%	-	-	-
Έργο 7	-	100%	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	-	100%

Πίνακας 5.9: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 4

5.9 Αποτελέσματα Περίπτωσης 5 (Μικρότερο Πλήθος Έργων)

Μετά τη δοκιμή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης για το αρχικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, έγινε και η δοκιμή του για 8 έργα αντί για 9 που αναφέρονται. Με αυτόν τον τρόπο αναμένεται η βέλτιστη κατανομή των έργων στις 4 υποψήφια κατασκευαστικές εταιρίες σε ποσοστό 100%, δηλαδή χωρίς να συμμετέχει σε κανένα από τα υπό δημοπράτηση έργα το Δημόσιο.

Αποφασίστηκε η αφαίρεση του έργου 4 από τη λίστα. Το έργο 4 αποτελεί το έργο με το δεύτερο μικρότερο προϋπολογισμό από τη λίστα των έργων. Έτσι οι εταιρίες προσφέρουν κεφάλαιο αρκετά μεγαλύτερο από το συνολικό κόστος των έργων και βάσει λογικής πρέπει να πραγματοποιηθούν όλα τα έργα από τις εταιρίες σε ποσοστό 100%, χωρίς να εξαντληθούν οι πόροι των κατασκευαστικών εταιριών.

Έτσι ο νέος πίνακας των έργων έχεις ως εξής:

Έργο	Κόστος
1	50.000.000,00 €
2	165.000.000,00 €
3	210.500.000,00 €
-	-
5	290.000.000,00 €
6	110.000.000,00 €
7	322.000.000,00 €
8	578.000.000,00 €
9	325.000.000,00 €

Πίνακας 5.10 Κόστη Έργων στην Περίπτωση 5

Να σημειωθεί πως αφέθηκε κενό το κελί του έργου 4, έτσι ώστε να μην υπάρχει μπέρδεμα όσων αφορά στους τίτλους των έργων.

Να σημειωθεί πως ο αλγόριθμος χρειάστηκε να τροποποιηθεί αναλόγως για τη νέα μορφή των δεδομένων. Κάτι το οποίο αποτελεί μία σχετικά απλή διαδικασία, που δε χρήζει απαραίτητως αναφοράς στο παρόν κεφάλαιο.

Έτσι, μετά τις απαιτούμενες επαναλήψεις τα αποτελέσματα του αλγόριθμου είχαν ως εξής:

- Το μέγιστο κοινωνικό όφελος για το Δημόσιο υπολογίστηκε στα: 2.050.500.000 € (δύο δισεκατομμύρια πενήντα εκατομμύρια πεντακόσιες χιλιάδες ευρώ)

- Το συνολικό όφελος για τις εταιρίες υπολογίστηκε στα: 217.390.000,00 € (διακόσια δέκα εφτά εκατομμύρια τριακόσιες ενενήντα χιλιάδες ευρώ)

Το κάθε έργο θα δημοπρατηθεί ως εξής:

- Το έργο 1 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 50.000.000 €
- Το έργο 2 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 165.000.000 €
- Το έργο 3 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 215.500.000 €
- Το έργο 4 όπως αναφέρθηκε, αφαιρέθηκε από τη λίστα για την περίπτωση που εξετάστηκε μόλις.
- Το έργο 5 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 290.000.000 €
- Το έργο 6 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 110.000.000 €
- Το έργο 7 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 322.000.000 €
- Το έργο 8 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 578.000.000 €
- Το έργο 9 θα το πάρει η εταιρία 4 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 325.000.000 €

Τέλος, η κάθε κατασκευαστική εταιρία θα έχει μετά το πέρας της διαδικασίας δημοπράτησης:

- Η εταιρία 1 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 2.500.000 €
- Η εταιρία 2 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 62.000.000 €
- Η εταιρία 3 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 60.000.000 €
- Η εταιρία 4 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 25.000.000 €

Έτσι, συγκεντρωτικά τα ποσοστά συμμετοχής των εταιριών στα υπό δημοπράτηση οδικά έργα παίρνει την εξής μορφή:

% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	-	100%	-	-
Έργο 2	100%	-	-	-
Έργο 3	100%	-	-	-
Έργο 4	-	-	-	-
Έργο 5	-	-	100%	-
Έργο 6	-	100%	-	-
Έργο 7	100%	-	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	-	100%

Πίνακας 5.11: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 5

5.10 Αποτελέσματα Περίπτωσης 6 (Μικρότερο Πλήθος Εταιριών)

Μετά τη δοκιμή του αλγόριθμου ξεχωριστά για το αρχικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε και στη συνέχεια για μικρότερο κεφάλαιο εταιριών, μεγαλύτερο κόστος έργων (ίσο με το διαθέσιμο κεφάλαιο των εταιριών), διαφορετικούς συντελεστές κέρδους για τις εταιρίες και τέλος για μικρότερο πλήθος έργων καθώς και για μικρότερο πλήθος εταιριών αποφασίστηκε να γίνει και μία τελευταία δοκιμή για μικρότερο πλήθος υποψήφιων κατασκευαστικών εταιριών.

Αποφασίστηκε η αφαίρεση της εταιρίας 4 από τη λίστα με τις υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες. Η εταιρία 4 ήταν εκείνη που είχε το δεύτερο μικρότερο διαθέσιμο κεφάλαιο από τις υπόλοιπες, με μόνο την 3 να έχει ακόμη μικρότερο διαθέσιμο προς επένδυση κεφάλαιο.

Έτσι ο πίνακας με τα δεδομένα για τις υποψήφιες εταιρίες διαμορφώνεται ως εξής:

Εταιρίες	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3
Διαθέσιμο Κεφάλαιο	700.000.000	800.000.000	300.000.000

Πίνακας 5.12: Δεδομένα Εταιριών στην Περίπτωση 6

Να σημειωθεί πως ο αλγόριθμος χρειάστηκε να τροποποιηθεί αναλόγως για τη νέα μορφή των δεδομένων. Κάτι το οποίο αποτελεί μία σχετικά απλή διαδικασία, που δε χρήζει απαραίτητως αναφοράς στο παρόν κεφάλαιο.

Έτσι, μετά τις απαιτούμενες επαναλήψεις τα αποτελέσματα του αλγόριθμου είχαν ως εξής:

- Το μέγιστο κοινωνικό όφελος για το Δημόσιο υπολογίστηκε στα: 1.800.000.001,98 € (ένα δισεκατομμύριο οκτακόσια εκατομμύρια ένα ευρώ και ενενήντα οκτώ λεπτά)
- Το συνολικό όφελος για τις εταιρίες υπολογίστηκε στα: 202.270.000,00 € (διακόσια δύο εκατομμύρια διακόσιες εβδομήντα χιλιάδες ευρώ)

Το κάθε έργο θα δημοπρατηθεί ως εξής:

- Το έργο 1 δε θα το αναλάβει καμία εταιρία.

- Το έργο 2 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 92,7%, επενδύοντας 153.000.000 €
- Το έργο 3 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 58%, επενδύοντας 122.000.000 €
- Το έργο 4 επίσης δε θα το αναλάβει καμία εταιρία.
- Το έργο 5 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 290.000.000 €
- Το έργο 6 θα το πάρει η εταιρία 3 με ποσοστό συμμετοχής 9,1%, επενδύοντας 10.000.000 €.
- Το έργο 7 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 322.000.000 €
- Το έργο 8 θα το πάρει η εταιρία 1 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 578.000.000 €
- Το έργο 9 θα το πάρει η εταιρία 2 με ποσοστό συμμετοχής 100%, επενδύοντας 325.000.000 €

Τέλος, η κάθε κατασκευαστική εταιρία θα έχει μετά το πέρας της διαδικασίας δημοπράτησης:

- Η εταιρία 1 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0 €
- Η εταιρία 2 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0€
- Η εταιρία 3 θα μείνει με μη επενδυμένο κεφάλαιο 0 €

Έτσι, συγκεντρωτικά τα ποσοστά συμμετοχής των εταιριών στα υπό δημοπράτηση οδικά έργα παίρνει την εξής μορφή:

% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3
Έργο 1	-	-	-
Έργο 2	-	92,70%	-
Έργο 3	58,00%	-	-
Έργο 4	-	-	-
Έργο 5	-	-	100,00%
Έργο 6	-	-	9,10%
Έργο 7	-	100,00%	-
Έργο 8	100,00%	-	-
Έργο 9	-	100,00%	-

Πίνακας 5.13: Συμμετοχή Εταιριών στα Έργα στην Περίπτωση 6

6

Συμπεράσματα

6.1 Ανασκόπηση Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός αλγόριθμου για τη βέλτιστη κατανομή 9 υπό δημοπράτηση οδικών αξόνων, ως έργων ΣΔΙΤ (Συμπράξεις Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα) σε 4 υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες. Πιο συγκεκριμένα το ζήτημα που αντιμετωπίστηκε ήταν ένα πρόβλημα διεπίπεδου προγραμματισμού στο οποίο το άνω μέρος (Δημόσιο) είχε ως μέλημά του τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους από τη συμμετοχή των κατασκευαστικών εταιριών στα έργα, την ώρα που το κάτω μέρος (Εταιρίες) προσπαθούσαν να μεγιστοποιήσουν κατά το δυνατό τα κέρδη τους από τη συμμετοχή τους στο διαγωνισμό της δημοπράτησης των τεχνικών έργων.

Αναλυτικότερα, όπως περιγράφεται εκτενώς στα προηγούμενα κεφάλαια, η διαδικασία επίλυσης του μοντέλου βελτιστοποίησης έγινε με τη χρήση του Add-In του MS Excel, OpenSolver του οποίου η λειτουργία πραγματοποιείται μέσω της ανάπτυξης κώδικα στη VBA (Visual Basic for Applications) το οποίο καλείται ως Macro από το λογισμικό της Palisade, Evolver. Ο OpenSolver επιλύει το κάτω μέρος του διεπίπεδου προβλήματος βελτιστοποίησης λαμβάνοντας ως αρχικές τιμές των μεταβλητών απόφασης X_{ij} από το άνω μέρος, το οποίο για κάθε επιλογή του κάτω μέρους βρίσκει τη βέλτιστη τιμή για το άνω μέρος. Ουσιαστικά η λειτουργία του αλγόριθμου βελτιστοποίησης βασίστηκε στη διασύνδεση μεταξύ Evolver και OpenSolver στο MS Excel.

Οι μεταβλητές απόφασης X_{ij} που αναφέρθηκαν προηγουμένως αποτελούν την επιλογή της εταιρίας που θα αναλάβει το κάθε έργο. Σημειώνεται πως μόνο μία εταιρία μπορεί να αναλάβει το κάθε έργο. Έτσι μετά την πρώτη επιλογή από τον Evolver της εταιρίας που θα αναλάβει τον κάθε οδικό άξονα, το κάτω μέρος υπολογίζει το ποσοστό συμμετοχής Y_{ij} της κάθε εταιρίας στο έργο, με βάση τη μεγιστοποίηση των κερδών για τις κατασκευαστικές εταιρίες. Στη συνέχεια το άνω μέρος αξιολογεί και αποθηκεύει την επιλογή αυτή και τέλος αποφασίζει για ποιόν ακριβώς συνδυασμό γίνεται η βέλτιστη κατανομή των υπό δημοπράτηση έργων στις υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες.

Σημειώνεται πως κάθε εταιρία έχει συγκεκριμένο κεφάλαιο και αναμένει σε διαφορετικό ποσοστό κέρδους από το κάθε έργο, ενώ τα έργα με τη σειρά τους έχουν

διαφορετικό κόστος το κάθε ένα, με όλα τα στοιχεία να έχουν βασιστεί σε πραγματικά έργα ανάπτυξης οδικών αξόνων στην Ελλάδα.

Έτσι, η διαδικασία της Διπλωματικής Εργασίας ξεκίνησε με την επισκόπηση της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε για την καλύτερη επίγνωση επί του θέματος προς αντιμετώπιση, στο Κεφάλαιο 2. Εκεί πραγματοποιήθηκε η ανάλυση εργασιών και μεθοδολογιών για ζητήματα παρόμοια με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, σε μία ευρύτερη έννοια. Αυτό, καθώς η πρωτοτυπία της Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε παράγοντα δυσκολίας στην εξεύρεση βιβλιογραφίας που αφορούσε τέτοιου είδους προβλήματα.

Ακολούθησε η παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, στο Κεφάλαιο 3. Με βάση το υπόβαθρο αυτό επεξηγούνται όλες οι πράξεις και διαδικασίες που οδήγησαν στην κατασκευή του αλγόριθμου αλλά και η λογική πάνω στην οποία βασίστηκε η μορφή του.

Στο Κεφάλαιο 4 έγινε η παρουσίαση του ακριβούς αντικειμένου της εργασίας, ο τρόπος αναζήτησης των απαραίτητων δεδομένων καθώς και η μεθοδολογία ανάπτυξης του μοντέλου βελτιστοποίησης. Αναλύεται ο τρόπος επιλογής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η λογική του αλγόριθμου η οποία πια μπορεί και γίνεται απολύτως κατανοητή στους αναγνώστες.

Φτάνοντας στο Κεφάλαιο 5, έγινε η αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής του μοντέλου βελτιστοποίησης καθώς και του τρόπου κατασκευής του και των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ αναλύονται και πιο τεχνικά προγραμματιστικά ζητήματα. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τις διάφορες περιπτώσεις (σενάρια) που επιλέχθηκαν για τις περαιτέρω δοκιμές του αλγόριθμου.

6.2 Συνοπτικά Αποτελέσματα

Μετά την αποπεράτωση των δοκιμών και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων τους, στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ο σχολιασμός, καθώς και μία προσπάθεια εξήγησης των αποτελεσμάτων και στη συνέχεια η εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτά.

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα για τα 4 σενάρια που εξετάστηκαν ακολουθούν παρακάτω:

Περίπτωση 1				
% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	-	-	100%	-
Έργο 2	-	-	100%	-
Έργο 3	-	89%	-	-
Έργο 4	-	-	100%	-
Έργο 5	-	100%	-	-
Έργο 6	100%	-	-	-
Έργο 7	-	100%	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	-	100%

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα Περίπτωσης 1 (Αρχική Περίπτωση)

Περίπτωση 2.1				
% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	70%	-	-	-
Έργο 2	-	100%	-	-
Έργο 3	-	-	-	90,3%
Έργο 4	-	-	-	-
Έργο 5	100%	-	-	-
Έργο 6	-	-	-	100%
Έργο 7	-	-	77,6%	-
Έργο 8	-	92,6%	-	-
Έργο 9	100%	-	-	-

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα Περίπτωσης 2.1 (Μικρότερο Κεφάλαιο Εταιριών)

Περίπτωση 2.2				
% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	70,00%	-	-	-
Έργο 2	-	100,00%	-	-
Έργο 3	-	-	-	90,30%
Έργο 4	-	-	100,00%	-
Έργο 5	100,00%	-	-	-
Έργο 6	-	-	-	100,00%
Έργο 7	-	-	55,10%	-
Έργο 8	-	92,60%	-	-
Έργο 9	100,00%	-	-	-

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα Περίπτωσης 2.2 (Μικρότερο Κεφάλαιο Εταιριών)

Περίπτωση 3				
% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	100%	-	-	-
Έργο 2	-	100%	-	-
Έργο 3	-	100%	-	-
Έργο 4	-	-	-	100%
Έργο 5	-	-	-	95%
Έργο 6	-	76%	-	-
Έργο 7	-	100%	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	92%	-

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα Περίπτωσης 3 (Μεγαλύτερο Κόστος Έργων)

Περίπτωση 4				
% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	-	-	100%	-
Έργο 2	-	-	100%	-
Έργο 3	-	100%	-	-
Έργο 4	-	-	100%	-
Έργο 5	-	92,2%	-	-
Έργο 6	100%	-	-	-
Έργο 7	-	100%	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	-	100%

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα Περίπτωσης 4 (Διαφορετικοί Συντελεστές Κέρδους)

Περίπτωση 5				
% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3	Εταιρία 4
Έργο 1	-	100%	-	-
Έργο 2	100%	-	-	-
Έργο 3	100%	-	-	-
Έργο 4	-	-	-	-
Έργο 5	-	-	100%	-
Έργο 6	-	100%	-	-
Έργο 7	100%	-	-	-
Έργο 8	100%	-	-	-
Έργο 9	-	-	-	100%

Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα Περίπτωσης 5 (Μικρότερο Πλήθος Έργων)

Περίπτωση 6			
% Συμμετοχής	Εταιρία 1	Εταιρία 2	Εταιρία 3
Έργο 1	-	-	-
Έργο 2	-	92,70%	-
Έργο 3	58,00%	-	-
Έργο 4	-	-	-
Έργο 5	-	-	100,00%
Έργο 6	-	-	9,10%
Έργο 7	-	100,00%	-
Έργο 8	100,00%	-	-
Έργο 9	-	100,00%	-

Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα Περίπτωσης 6 (Μικρότερο Πλήθος Εταιριών)

Όπως είναι γνωστό, η Περίπτωση 1 αποτελεί το βασικό σενάριο με βάση το οποίο αναπτύχθηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία, με 9 υπό δημοπράτηση οδικούς άξονες και 4 υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες. Επίσης στην Περίπτωση 1 έχουμε τα αρχικά δεδομένα κόστους έργων και κεφαλαίου εταιριών.

Η Περίπτωση 2 αποτελεί το σενάριο στο οποίο έγινε μείωση των διαθέσιμων κεφαλαίων στις κατασκευαστικές εταιρίες, καθώς στην πρώτη περίπτωση υπήρχε περίσσειμα κεφαλαίου από τις εταιρίες και παρατηρήθηκε πως για διαφορά μερικών (λιγότερο από 2) ευρώ στην Περίπτωση 2.1 δε συμμετέχει καμία εταιρία στο έργο 4, ενώ στην Περίπτωση 2.2 συμμετέχουν οι κατασκευαστικές εταιρίες σε όλα τα υπό δημοπράτηση έργα.

Η Περίπτωση 3 αποτελεί το σενάριο στο οποίο έγινε αύξηση του κόστους των οδικών αξόνων και τα αποτελέσματα ήταν να κατανεμηθούν όλα τα έργα, χωρίς όμως να γίνει πλήρης εξάντληση των κεφαλαίων τους.

Η Περίπτωση 4 αποτελεί το σενάριο στο οποίο έγινε αλλαγή των ποσοστών κέρδους που επιθυμούσε η κάθε εταιρία για το κάθε οδικό έργο. Παρατηρήθηκε πως τα έργα κατέληξαν στις ίδιες εταιρίες ακριβώς με την Περίπτωση 1, καθώς δε μετεβλήθη ούτε προϋπολογισμός έργου, ούτε τα διαθέσιμα κεφάλαια των εταιριών, ενώ ακόμα και το κεφάλαιο που χρησιμοποιείται από κάθε εταιρία παρέμεινε σταθερό. Τέλος το μόνο που άλλαξε ήταν το ποσοστό συμμετοχής εταιρίας σε έργο.

Στην περίπτωση 5, στην οποία αφαιρέθηκε ένας οδικός άξονας από τη λίστα (το έργο 4) υπήρξε για πρώτη φορά πλήρης συμμετοχή των εταιριών σε όλα τα έργα, φυσικά χωρίς να εξαντλήσουν το σύνολο των κεφαλαίων τους.

Τέλος, στην περίπτωση 6, στην οποία αφαιρέθηκε μία από τις υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες από τη λίστα (η εταιρία 4) και τα κεφάλαια ήταν κατά πολύ μικρότερα του συνολικού προϋπολογισμού των έργων, υπήρξε

6.3 Ανάλυση και Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων

Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών για τις 4 περιπτώσεις που επιλέχθηκαν και τη συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών, στο παρόν υποκεφάλαιο θα γίνει ο σχολιασμός των λύσεων που έδωσε ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης.

Στην πρώτη περίπτωση αναλύθηκε το αρχικό πρόβλημα της Διπλωματικής Εργασίας, στο οποίο 9 οδικοί άξονες βγαίνουν σε δημοπράτηση με 4 ενδιαφερόμενες τεχνικές εταιρίες. Στα αποτελέσματα του μοντέλου φαίνεται πως αν και δεν υπάρχει πλήρης συμμετοχή των εταιριών στα έργα, υπάρχει περίσσειμα κεφαλαίων κατασκευαστικών εταιριών. Δηλαδή φάνηκε πρώτη φορά το παράδοξο της περίσσειας κεφαλαίου, χωρίς την εξάντληση των δυνατοτήτων συμμετοχής των εταιριών. Για αυτό ευθύνεται η πολιτική που ακολουθήθηκε, κατά την οποία ο κάθε οδικός άξονας δημοπρατείται αποκλειστικά σε μία κατασκευαστική εταιρία.

Έτσι, όπως αναλύθηκε και στο Κεφάλαιο 3 διακρίνονται τα αρνητικά του Ακέραιου Προγραμματισμού, ο οποίος, λόγω του περιορισμού στις τιμές που λαμβάνει μπορεί πολλές φορές να οδηγήσει σε λύσεις οι οποίες έχουν περιθώρια βελτιστοποίησης αν δεν απαιτείτο η ύπαρξη ακέραιων τιμών.

Στη δεύτερη περίπτωση τα αποτελέσματα έδειξαν το παράδοξο στο οποίο για ελάχιστη διαφορά στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης επιλέχθηκε ένα έργο να μη δημοπρατηθεί ούτε κατ'ελάχιστο ποσοστό. Αποτέλεσμα το οποίο κρίνεται λογικό, καθώς ο αλγόριθμος υπολογίζει το μέγιστο δυνατό κοινωνικό όφελος, δηλαδή το μέγιστο ποσό το οποίο μπορεί να "γλυτώσει" το Δημόσιο, από τη μη συμμετοχή του στα υπό δημοπράτηση έργα.

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί και πάλι πως το ποσοστό συμμετοχής που περισσεύει από κάθε έργο συμπληρώνεται από το Δημόσιο. Φάνηκε λοιπόν πως υπήρξε η προτίμηση από πλευράς του αλγόριθμου σε ένα έργο να συμμετέχει εξ ολοκλήρου το Δημόσιο, έτσι ώστε οι κατασκευαστικές εταιρίες να αυξήσουν τα ποσοστά συμμετοχής τους στα υπόλοιπα οδικά έργα. Υπό προϋποθέσεις θα μπορούσε να μπει κάποιο βάρος στην επιλογή των έργων, εφόσον θεωρείται προτέρημα της συμμετοχής των εταιριών σε ένα έργο π.χ. η τεχνογνωσία που προσφέρουν, αλλά αυτό δεμ εκφράστηκε με κάποιο βάρος στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Η τρίτη περίπτωση αποτέλεσε την πιο αναμενόμενη. Αυξήθηκε το κόστος των έργων ώστε να είναι ίσο με τα συνολικά διαθέσιμα κεφάλαια των κατασκευαστικών εταιριών και ενώ υπήρξε συμμετοχή σε όλα τα έργα, δεν ήσαν απόλυτη και φυσικά υπήρξε περίσσεια κεφαλαίου. Το αποτέλεσμα κρίθηκε απολύτως λογικό, για τους ίδιους λόγους με την περίπτωση 1, καθώς λόγω της συμμετοχής μίας εταιρίας σε κάθε οδικό άξονα, είναι πολύ δύσκολο να κατανεμηθούν τα κεφάλαια ακριβώς.

Η τέταρτη περίπτωση επίσης δεν παρουσίασε κάποιο ενδιαφέρον, καθώς πραγματοποιήθηκε απλώς μία αλλαγή στους συντελεστές κέρδους που επιθυμεί η

κάθε εταιρία να έχει. Το μόνο αξιοπερίεργο, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ήταν πως η κατανομή των έργων στις ενδιαφερόμενες εταιρίες παρέμεινε σταθερή, όπως και το σύνολο των επενδεδυμένων κεφαλαίων, με τη μόνη αλλαγή να παρατηρείται σε κάποια ποσοστά συμμετοχής.

Η πέμπτη περίπτωση εξετάστηκε μόνο και μόνο για να εξακριβωθεί πως μπορεί να υπάρξει βελτιστοποίηση της κατανομής των έργων με πλήρες ποσοστό συμμετοχής των εταιριών. Αφαιρέθηκε ο οδικός άξονας 4 και έτσι με μία περίσσεια κεφαλαίου 145.000.000 € τα υπόλοιπα έργα δημοπρατήθηκαν πλήρως και εξ ολοκλήρου από τις υποψήφιες κατασκευαστικές εταιρίες.

Η έκτη περίπτωση εξετάστηκε επίσης για να ελεγχθεί ο αλγόριθμος σε όλα τα πιθανά σενάρια διαφοροποίησης των δεδομένων σε σχέση με το αρχικό πρόβλημα. Βάσει αυτής της περίπτωσης έγινε κατανοητό πως με μία μικρή αλλαγή στον κώδικα και στη μορφή του αλγόριθμου, μπορεί να πραγματοποιηθεί η αντίστοιχη διαδικασία για οποιαδήποτε διαφοροποίηση είτε των τιμών των δεδομένων, είτε και του πλήθους τους.

Αυτές οι περιπτώσεις επιλέχθηκαν με σκοπό την περαιτέρω δοκιμή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης και για να δοκιμαστεί η λειτουργία του σε διαφορετικές συνθήκες και άρα διαφορετικά δεδομένα δημοπράτησης. Αποδείχτηκε λοιπόν η λειτουργία του αλγόριθμου σε διαφορετικές καταστάσεις, με μεταβολές σε διάφορες μεταβλητές και δεδομένα.

6.4 Ανάλυση Συμπερασμάτων

Μετά την παρουσίαση και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με τη φύση του μοντέλου βελτιστοποίησης, τη χρήση του και το μέλλον του. Από τα συμπεράσματα αυτά κάποια προκύπτουν βέβαια και από τα υπόλοιπα στάδια της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν αναφέρουν μεταξύ άλλων, πως:

- Αρχικώς με βάση τη βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε, η πρωτοτυπία της Διπλωματικής Εργασίας δεν μπορεί να αμφισβητηθεί, καθώς φαίνεται πως για πρώτη φορά επιχειρήθηκε η δημιουργία μοντέλου βελτιστοποίησης με σκοπό την ορθότερη κατανομή οδικών (και όχι μόνο) έργων ΣΔΙΤ στις υποψήφιες εταιρίες.
- Η χρήση ενός τέτοιου μοντέλου από Δημόσιους και μη Φορείς θα αποτελούσε ένα μεγάλο βήμα προς την εξοικονόμηση πόρων από τις κυβερνήσεις σε διαδικασίες δημοπράτησης έργων ΣΔΙΤ. Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης βρέθηκαν μετά από χιλιάδες επαναλήψεις και η βελτιστότητα τους δεν αμφισβητείται. Εξεύρεση αντίστοιχων αποτελεσμάτων “με το χέρι”, χωρίς τη χρήση τόσο εξελιγμένων λογισμικών κρίνεται αδύνατη.
- Πέραν της μεγάλης εξοικονόμησης πόρων από το Δημόσιο που επετεύχθη χάρη στη χρήση του αλγόριθμου, το μοντέλο μπορεί να επιλύσει καταστάσεις που ενδεχομένως να χρειαστούν μήνες διαπραγματεύσεων και να το επιλύσει σε βέλτιστο βαθμό σε μερικά λεπτά της ώρας. Έτσι φαίνεται ξεκάθαρα η εξοικονόμηση και χρόνου, πέραν των πόρων, με ότι μπορεί να συνεπάγεται αυτό, κατά τη διαδικασία δημοπράτησης έργων.
- Τέτοιου είδους αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πλειάδα άλλων καταστάσεων με μικρές ενδεχομένως τροποποιήσεις, καθώς μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί για διάφορες καταστάσεις διαγωνισμών και συμπράξεων του Δημοσίου και όχι μόνο για την κατανομή έργων ΣΔΙΤ.
- Η επιλογή των λογισμικών με βάση τα οποία πραγματοποιήθηκε ο προγραμματισμός του μοντέλου βελτιστοποίησης κρίνεται θετική, αν και ενδεχομένως να υπάρχουν και ταχύτερες μέθοδοι, η πρωτοτυπία στην κατασκευή, διασύνδεση και χρήση των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν δικαιολογεί την όποια καθυστέρηση μπορεί να παρουσιάσουν, λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων.

- Η χρήση γενετικών αλγόριθμων μέσω του Ενοίνετ αντικειμενικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολύ θετική ενέργεια, καθώς δύσκολα θα είχε επιλυθεί το μοντέλο χωρίς χρήση τέτοιων μεθόδων, καθώς και με βάση τη βιβλιογραφία, η επιλογή τους ήταν μονόδρομος.
- Η μέθοδος του Ακέραιου Προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε για την κατανομή των έργων σε εταιρίες ήταν προφανώς η μόνη λύση, παρότι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, σε περιπτώσεις που θα μπορούσαν να συνεργαστούν μεταξύ τους οι εταιρίες, το κοινωνικό όφελος θα ήταν σίγουρα μεγαλύτερο, καθώς θα υπήρχε μικρότερη περίσσεια διαθέσιμου κεφαλαίου. Όμως επειδή δε δύναται να θεωρηθεί πως σε κάθε έργο θα συμμετέχουν όλες σχεδόν οι εταιρίες, με κάποιο ποσοστό συμμετοχής η κάθε μία και επειδή το πρόβλημα τότε δε θα ήταν διεπίπεδης φύσεως, αναλύθηκε και επιλύθηκε η δυσκολότερη των περιπτώσεων, κατά την οποία έγινε η θεώρηση πως το κάθε έργο θα αναλαμβάνει μία μόνο εκ των υποψήφιων εταιρία.
- Έγινε ξεκάθαρο πως η λύση του μοντέλου επηρεάζεται ξεκάθαρα από τα δεδομένα όπως οι διαθέσιμοι πόροι των κατασκευαστικών εταιριών, το κόστος του κάθε οδικού έργου, το πλήθος των υπό δημοπράτηση οδικών αξόνων, ακόμη και τα ποσοστά κέρδους που επιθυμούν να έχουν οι εταιρίες από τη συμμετοχή τους στα έργα.
- Η ανάγκη συμμετοχής εταιρίας σε κάθε έργο, δύναται να επηρεάσει το αποτέλεσμα, καθώς, όπως φάνηκε στην Περίπτωση 2, η βέλτιστη λύση παρουσιάστηκε για τη μη συμμετοχή καμίας ενδιαφερόμενης κατασκευαστικής εταιρίας στον οδικό άξονα 4. Αυτό υπό προϋποθέσεις θα μπορούσε να έχει αρνητική επίπτωση στην πορεία των έργων. Στην περίπτωση, όμως που εξετάστηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, το ενδιαφέρον εστιάστηκε στην εξοικονόμηση πόρων και στη μεγιστοποίηση του οφέλους για το Δημόσιο, χωρίς να οριστεί κάποιο βάρος ή τιμή για την τεχνογνωσία των εταιριών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.
- Οι εταιρίες, λόγω της συμμετοχής μίας εταιρίας σε κάθε έργο, δεν μπορούν να διαθέσουν το σύνολο του κεφαλαίου τους για τη συμμετοχή τους στα διάφορα τεχνικά έργα και ας υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω επένδυση. Αυτό φάνηκε σε περιπτώσεις συμμετοχής εταιριών με πολύ μεγαλύτερο συνολικό κεφάλαιο από το συνολικό κόστος των οδικών αξόνων.
- Μετά το πέρας της διαδικασίας του μοντέλου βελτιστοποίησης έχει επιτευχθεί η μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους για το Δημόσιο ενώ ταυτόχρονα οι εταιρίες είναι πρόθυμες να επενδύσουν ακόμα και το σύνολο των κεφαλαίων τους, καθώς η δέσμευση για προκαθορισμένα κέρδη από τη συμμετοχή τους στα κατασκευαστικά έργα τις κάνει πιο πρόθυμες να συμμετέχουν.

6.5 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Όπως αναλύθηκε ήδη, οι Συμπράξεις Δημοσίου Ιδιωτικού Τομέα στη χώρα μας προχωράει με μεγάλα βήματα. Μέσα από την αυτοχρηματοδότηση η αποπληρωμή του κόστους κατασκευής και λειτουργίας ενός οδικού άξονα γίνεται από τους τελικούς χρήστες του και όχι από το Δημόσιο, μέσω της πληρωμής των κομιστρων των διοδίων. Μέσω αυτού του συστήματος χρέωσης των χρηστών της υποδομής και όχι του κράτους λειτουργούν υποδομές στο εξωτερικό εδώ και πολλές δεκαετίες.

Στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία έγινε προσπάθεια δημιουργίας ενός μοντέλου με βάση το οποίο βελτιστοποιείται η κατανομή υποψήφιων προς δημοπράτηση έργων μέσω Σύμπραξης Δημοσίου Ιδιωτικού Τομέα στις ενδιαφερόμενες κατασκευαστικές εταιρίες με σκοπό τη μεγιστοποίηση του οφέλους του Δημοσίου. Μετά τις δοκιμές του μοντέλου σε διάφορα σενάρια και περιπτώσεις, η λειτουργία του χαρακτηρίζεται ως ορθή.

Οι προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη του αλγόριθμου θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά την εξέλιξη του υπό ανάπτυξη μοντέλου με χρήση περισσότερων δεδομένων και μεγαλύτερης λεπτομέρειας. Η δεύτερη αφορά την ανάπτυξή του για την εφαρμογή του σε άλλες καταστάσεις.

6.5.1 Περαιτέρω Εξέλιξη του Αλγόριθμου της Διπλωματικής Εργασίας

Όσον αφορά στα ζητήματα που έχουν προκύψει με τις διάφορες παραδοχές και απλοποιήσεις, θεωρήθηκαν αρχικά όλες οι τιμές των κεφαλαίων και του κόστους των έργων ως Καθαρές Παρούσες Αξίες. Βεβαίως και δεν μπορεί να είναι κανείς σίγουρος σε μετατροπές νομισματικής αξίας σε βάθος 25ετίας, όμως τα δεδομένα απαιτούσαν οι τιμές να αναφέρονται στο σήμερα. Επίσης θεωρείται πως μέσα στο κόστος των οδικών αξόνων είναι και τα διάφορα επιπλέον κόστη λειτουργίας, συντήρησης και διαχείρισης για όλο το χρονικό διάστημα της παραχώρησης. Για αυτά τα στοιχεία επίσης δε δύναται να είναι κανείς 100% σίγουρος για την ακρίβειά τους, όμως οι παραδοχές γίνονται πάντοτε σε τέτοιου είδους έργα.

Σημαντικότερο όλων, η παραδοχή ότι θεωρείται πως ο διαγωνισμός γίνεται για έργα ίδιας φύσεως (οδικά) στα οποία οι ενδιαφερόμενες εταιρίες θεωρούνται αντίστοιχης τάξης και έχουν όλες τη δυνατότητα και την τεχνογνωσία να συμμετέχουν και να φέρουν εις πέρας όχι μόνο την κατασκευή αλλά και τις υπόλοιπες λειτουργίες των συγκοινωνιακών έργων, μέχρι το πέρας της περιόδου παραχώρησης. Ο αλγόριθμος δε θα είχε νόημα για πακέτο έργων διαφορετικού αντικειμένου ή σκοπού, π.χ. 4 οδικοί άξονες, 2 κτιριακά συγκροτήματα, 2 λιμενικά έργα και 1 υδραυλικό έργο.

Επίσης θεωρείται συγκεκριμένη περίοδος παραχώρησης από το Δημόσιο, προκαθορισμένη πριν τη διενέργεια του διαγωνισμού. Άρα τίθεται σε συζήτηση η τιμή

του κομίστρου των διοδίων, καθώς αυτή ανήκει σε ένα πεδίο τιμών που έχει καθορίσει ο Κρατικός Φορέας και ανάλογα με την ΕΜΗΚ και διάφορους άλλους παράγοντες καθορίζεται σε συνεργασία με την διαχειρίστρια εταιρία. Έτσι θεωρητικά, για συμφωνημένο κέρδος και χρονικό ορίζοντα διαχείρισης του οδικού άξονα, τα διόδια θα πάρουν συγκεκριμένη τιμή που θα καθοριστεί αμέσως μετά το πέρας του διαγωνισμού.

Ο Αλγόριθμος μπορεί να καθορίσει το μέγιστο όφελος για το Δημόσιο, όμως σημειώνεται και πάλι πως ουσιαστικά αυτό έχει μετακυλιστεί στους τελικούς χρήστες της υποδομής. Οι φορολογούμενοι και τα κρατικά ταμεία δε θα πληρώσουν τίποτα (εκτός από τις περιπτώσεις όπου η συμμετοχή των εταιριών δεν είναι κατά ποσοστό 100%, όπου τα υπολειπόμενα συμμετοχή τη συμπληρώνει το Δημόσιο με ιδίους πόρους ή κοινοτικά κεφάλαια, όπως είδαμε και στο 1.3.1 Έργα ΣΔΙΤ στην Ελλάδα).

Όσον αφορά στην ταχύτητα του αλγόριθμου, παρατηρήθηκε μία μείωση της ταχύτητας υπολογισμών κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Δηλαδή μετά από κάποιες χιλιάδες επαναλήψεις η λειτουργία του αλγόριθμου γινόταν όλο και πιο αργή. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αποθήκευση όλων των αποτελεσμάτων και συνεχή σύγκριση μεταξύ τους, καθώς και στη διασύνδεση ουσιαστικά 3 λογισμικών.

6.5.2 Περαιτέρω Χρήση του Αλγόριθμου της Διπλωματικής Εργασίας

Όπως αναφέρθηκε ήδη, το μοντέλο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές περισσότερες περιπτώσεις από την εξετασθείσα στην Εργασία.

Αρχικά ο αλγόριθμος έχει εξαιρετική εφαρμογή και για έργα ΣΔΙΤ διαφορετικών κατηγοριών, όχι μόνο σε οδικούς άξονες. Όπως έδειξε η βιβλιογραφία ως ΣΔΙΤ παραχωρούνται έργα από όλες τις σκοπιές.

Σημειώνεται πως προφανώς πέραν από ομάδα έργων ΣΔΙΤ μπορεί να εφαρμοστεί κάλλιστα σε περιπτώσεις κατάτμησης ενός μεγάλου έργου. Παραδείγματα στην Ελλάδα υπάρχουν, έτσι και σε περιπτώσεις που συμφέρει το Δημόσιο το μείρασμα ενός μεγάλου έργου σε μικρότερα κομμάτια, αντίστοιχης εμβέλειας και τάξης, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία.

Βεβαίως, το Δημόσιο μπορεί να χρησιμοποιήσει το μοντέλο σε πλειάδα περιπτώσεων διαγωνισμών, συμβάσεων και εργασιών, στις οποίες μπορεί να λάβει χώρα το παίγνιο κατά το οποίο ο Leader είναι το κράτος και Follower οι ενδιαφερόμενοι, με μέλημα του άνω μέρους τη μεγιστοποίηση του οφέλους του και αντίστοιχα, σκοπό του κάτω μέρους τη μεγιστοποίηση των κερδών των ενδιαφερόμενων. Αυτού του είδους η μοντελοποίηση αποτελεί μία καινοτόμο μέθοδο κατά την οποία μπορούν να εξοικονομηθούν δισεκατομμύρια από τους δημόσιους πόρους αλλά και πολύτιμος χρόνος. Υπάρχουν δημόσιοι διαγωνισμοί που κρατάνε

μήνες, την ώρα που ο αλγόριθμος της Διπλωματικής Εργασίας μπορεί να βρει τη βέλτιστη λύση σε λεπτά.

Τέλος ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δεν είναι ανάγκη να εφαρμοστεί μόνο στο δημόσιο τομέα, αλλά η χρήση του μπορεί να επιλεγεί και σε περιπτώσεις ιδιωτικών συμφωνιών, με αντίστοιχα χαρακτηριστικά με το υπό εξέταση πρόβλημα της Εργασίας. Η ευκολία στη μετατροπή του για να μπορεί να είναι λειτουργικός σε κάθε σενάριο διευκολύνει κατά πολύ τη χρήση του σε καταστάσεις διαφορετικές από της Διπλωματικής Εργασίας (αναφέρεται ξανά πως τροποποιήθηκε για να εξετάσει 6 διαφορετικές περιπτώσεις κατά τη δοκιμή του).

7

Βιβλιογραφία

7.1 Ξένη Βιβλιογραφία

1. Michael Kremer, 1993, Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990
2. Carl Haub, 2011 How Many People Have Ever Lived on Earth?, Population Reference Bureau
3. World Population Prospects: The 2015 Revision, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015
4. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2014
5. R. Webb, B. Pulle, 2002, Public Private Partnerships: An Introduction , Economics, Commerce and Industrial Relations Group
6. Project Management Institute, PMI 2005
7. Zanakis S., H., Mandakovic T., Gupta S., K., Sahay S. and Hong S., 1995, 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
8. Tarek Hegazy, 1999, Optimization of resource allocations and leveling using genetic algorithms, Journal of Construction Engineering and Management
9. Chen J., Askin R., 2006, Project Selection, Scheduling and Resource Allocation with time dependent returns
10. Ghorbani S. , Rabbani M., 2007 , A new multi-objective algorithm for a project selection problem

11. Di Wu, Yafeng Yin και Siriphong Lawphongpanich, 2011 Optimal Selection of Build-Operate-Transfer Projects on Transportation Networks, University of Florida
12. Highway Public–Private Partnerships: More Rigorous Up-front Analysis could Better Secure Potential Benefits and Protect the Public Interest. Tech. Rep., United States Government Accountability Office (G.A.O.) 2008
13. Jones H. ,Moura F. ,Domingos T. , 2013, Transport infrastructure project evaluation using cost-benefit analysis, EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation
14. Mouter N., Annema J.A., Van Wee B., 2012, Attitudes towards the role of Cost-Benefit_Analysis in the decision making process for spatial-infrastructure projects: A Dutch Case Study
15. Mulgrund G. V., Shete V. M., Kanade G. N., 2015 ,Techno-Economic Analysis of BOT Municipal Infrastructure Project – A Case Study
16. Shinya Hanaoka, Hazel Perez Palapus, 2012, Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines, Tokyo Institute of Technology
17. Shen, L.Y., Li, H., Li, Q.M., 2002, Alternative concession model for build operate transfer contract projects, Journal of Construction Engineering and Management 128 (4), 326–330 ASCE.
18. Shen, L.Y., Bao, H.J.,Wu, Y.Z., Lu, W.S., 2007, Using bargaining-game theory for negotiating concession period for BOT-type contract, Journal of Construction Engineering and Management 133 (5), 385–392 ASCE.
19. Shen, L.Y., Wu, Y.Z., 2005., Risk concession model for build/operate/transfer contract projects, Journal of Construction Engineering and Management 131 (2), 211–220 ASCE.
20. Ng, S.T., Xie, J., Cheung, Y.K., Jefferies, M., 2007, A simulation model for optimizing the concession period of public–private partnerships schemes, International Journal of Project Management 25 (8), 791–798.

21. Zhang, X., 2009, Win-win concession period determination methodology. *Journal of Construction Engineering and Management* 135 (6), 550–558 ASCE.
22. Vose, D., 2008, *Risk Analysis — A Quantitative Guide*, third edition. John Wiley & Sons Ltd., England.
23. Alain Bonnafous, 2010, Programming, optimal pricing and partnership contract for infrastructures in PPPs
24. Stephan Dempe, 2002, “Foundations of Bilevel Programming”
25. Colson B., Marcotte P., Savard G. 2005, *Bilevel Programming: A Survey*
26. Zhichen Sun, 2016 , Continuous transportation network design problem based on Bi-level programming model
27. Yafeng Yin, 2000, Genetic-Algorithms-Based Approach for Bilevel Programming Models
28. Ouenniche J., Boukouras A. Rajabi M., 2015, An ordinal game theory approach to the analysis and selection of partners in public-private-partnership projects
29. Chi-Bin Cheng, 2011, Reverse auction with buyer-supplier negotiation using bi-level distributed programming
30. Dantzig, G.B, 1963, *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, Princeton NJ
31. Bakas A., 2011, *Optimum design of reinforced concrete buildings*, NTUA, Athens
32. Hillier, Lieberman, 1974, *Operations Research*
33. Klee V. και Minty G. J., 1972, How good is the Simplex Algorithm
34. J. von Neumann O. Mortensen, 1947, *Theory of games and economic behavior*
35. J. Bard, 1998 , *Practical Bilevel Optimization: Algorithms and Applications*

36. H. Shih, U. Wen, E. Lee, K. Lan, H. Hsiao. 2004 , A neural network approach to multiobjective and multilevel programming problems
37. Xin-She Yang, 2010 , Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms
38. K. Sorensen and F. Glover. Metaheuristics. In S. Gass and M. Fu, editors, Encyclopedia of OR/MS, 3rd ed., pages 960–970, 2013
39. H.v. Stackelberg. Marktform und Gleichgewicht. Springer-Verlag, Berlin, 1934.
40. Joseph Sussman, Introduction to Transportation Systems, Artech House, Inc. 2000
41. Walls, J. I., & Smith, M., 1998 , Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design- Interim Technical Bulletin
42. Hass, R., Tighe, S. L., & Falls, L.C., 2005, Beyond Conventional LCCA: Long Term Return on Pavement Investments. 2005 Annual Conference of the Transportation Association of Canada
43. C. Thompson, J. Goodwin, E.R. Yecombe, 2005, Evaluation Report of PPP Projects financed by the EIB
44. EU Official Journal, 2006
45. D. Grimsey, M.K. Lewis, 2005, Are Public Private Partnerships Value for Money ? Evaluating alternative approaches and comparing academic and practitioner views. Accounting Forum, 29
46. M. Welde, 2016, Ex post evaluation of transport projects – experiences from Norway

7.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Απιολογική Έκθεση στο σχέδιο νόμου: Κύρωση Σύμβασης Παραχώρησης του έργου της μελέτης, κατασκευής, χρηματοδότησης, λειτουργίας, συντήρησης και εκμετάλλευσης του Αυτοκινητόδρομου Ελευσίνα – Πάτρα – Τσάκωνα και ρύθμιση συναφών θεμάτων.
2. Απιολογική Έκθεση στο σχέδιο νόμου: Κύρωση Σύμβασης Παραχώρησης του έργου της μελέτης, κατασκευής, χρηματοδότησης, λειτουργίας, συντήρησης και εκμετάλλευσης του Αυτοκινητόδρομου Κόρινθος – Τρίπολη – Καλαμάτα και κλάδος Λεύκτρο - Σπάρτη και ρύθμιση συναφών θεμάτων.
3. Απιολογική Έκθεση στο σχέδιο νόμου: Κύρωση Σύμβασης Παραχώρησης του έργου της μελέτης, κατασκευής, χρηματοδότησης, λειτουργίας, συντήρησης και εκμετάλλευσης του Αυτοκινητόδρομου Ελειονία Οδός από Αντίρριο μέχρι Ιωάννινα, ΠΑΘΕ Αθήνα (Α /Κ Μεταμόρφωσης) – Μαλιακός (Σκαρφεία) και συνδετηρίου κλάδου του ΠΑΘΕ Σχηματάρι – Χαλκίδα και ρύθμιση συναφών θεμάτων.
4. Απιολογική Έκθεση στο σχέδιο νόμου: Κύρωση Σύμβασης Παραχώρησης του έργου της μελέτης, κατασκευής, χρηματοδότησης, λειτουργίας, συντήρησης και εκμετάλλευσης του Αυτοκινητόδρομου Κεντρικής Ελλάδος (Ε-65) και ρύθμιση συναφών θεμάτων.
5. Π. Υψηλάντης, “ Επιχειρησιακή Έρευνα, Μέθοδοι και τεχνικές λήψης αποφάσεων” Εκδ. Προπομπός, 4^η Έκδοση, 2015
6. Υπουργική Απόφαση 50516/104
7. Κοινοτική Οδηγία 2004/17/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 31ης Μαρτίου 2004, περί συντονισμού των διαδικασιών σύναψης συμβάσεων στους τομείς του ύδατος, της ενέργειας, των μεταφορών και των ταχυδρομικών υπηρεσιών
8. Κοινοτική Οδηγία 2004/18/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 31ης Μαρτίου 2004, περί συντονισμού των διαδικασιών σύναψης δημόσιων συμβάσεων έργων, προμηθειών και υπηρεσιών
9. Νόμος. 3389/2005 «Συμπράξεις Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα» (ΦΕΚ Α' 232/22-9-2005) (όπως τροποποιήθηκε τελευταία με το Νόμο 3483/2006, ΦΕΚ Α' 169/7.8.2006)

10. Β. Τσιχριντζής, 2015 “Στοιχεία Επιχειρησιακή Έρευνας για Μηχανικούς”, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
11. Σημειώσεις “Οικονομική Αξιολόγηση Συγκοινωνιακών Έργων”, του Αθ. Χασιακού, για το μάθημα Διαχείριση Υποδομής Συγκοινωνιακών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2000
12. Κ. Αραβώσης, Αθ. Καρμπέρης, Αν. Σωτήρχος, “Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων”, Εκδ. Οικονομική Βιβλιοθήκη, 2011
13. “Η Ανάλυση Κόστους – Οφέλους στην Αξιολόγησης Αναπτυξιακών Έργων και Πολιτικών” Σημειώσεις Γ. Μέργου, 2002
14. Θ. Δ. Μητσόπουλος, “Επιχειρησιακή Έρευνα, θεωρία και πράξις”, Αθήνα, 1964
15. Σημειώσεις μαθήματος «ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ Επιστήμη των Αποφάσεων, Διοικητική Επιστήμη» Τμ. Στατιστικής και Αναλογιστικών-Χρηματοοικονομικών Μαθηματικών, Δημήτρης Λέκκας
16. Μ. Καρλαύτης, “Επιχειρησιακή Έρευνα”, ΕΜΠ - Τομέας Προγραμματισμού και Διαχείρισης Τεχνικών Έργων
17. “Επιχειρησιακή έρευνα και βελτιστοποίηση για μηχανικούς” των Μ.Γ Καρλαύτη και Ν.Δ. Λαγαρό, 2010
18. Πλεύρης Ε., 2001, “Βέλτιστος σχεδιασμός κατασκευών με πολλαπλά κριτήρια με χρήση στρατηγικών εξέλιξης”, ΕΜΠ
19. “Γενετικός Αλγόριθμος για Ιεραρχικά Προβλήματα Αποφάσεων” Ν. Δούκας
20. Βασιλική Καζάνα “Γραμμικός Προγραμματισμός” Σημειώσεις Θεωρίας Δασικής Διαχειριστικής Ι
21. Ν. Μπαδογιάννης “Βελτιστοποίηση Τυπολογίας σε κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού: Ερμηνεία με επιφανειακούς ή ραβδωτούς φορείς”, ΕΜΠ, 2015

22. Δ. Δεσπότης “Γραμμικός Προγραμματισμός, Μοντέλα Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων”, α΄ έκδοση, 2011
23. Γ. Σίσκος “Γραμμικός Προγραμματισμός”, Εκδ. Νέων Τεχνολογιών, β΄ έκδοση 2000.
24. Ν.Μ. Ουλκέρογλου “Βελτιστοποίηση προγραμματισμού παραγωγής με χρήση Γενετικών Αλγορίθμων”, Ε.Μ.Π. 2004
25. Χ. Σκυρογιάννης, σημειώσεις μαθήματος “Σχεδιασμός Μεταφορών και Συγκοινωνιακή Τεχνική”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, 2003
26. Γ. Πετράκος και Γ. Ψυχάρης, “Περιφερειακή Ανάπτυξη στην Ελλάδα”, Εκδ. Κριτική ΑΕ, Αθήνα 2004
27. Α. Καλτσούνης, “Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα στην Κατασκευή Οδικών Έργων” Τεχνικά Χρονικά, Ιούλιος – Αύγουστος 2007
28. Λευκή Βίβλος για την Ανάπτυξη, Ανταγωνιστικότητα, Απασχόληση, 1993
29. Γιάνναρος Ι. (2005), Σχεδιασμός και Υλοποίηση Έργων Μέσω Συμπράξεων Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα (Σ.Δ.Ι.Τ.), Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών, Αθήνα
30. Α. Τζίκα Χατζοπούλου, “ Δημόσια Έργα “ δ΄ έκδοση, Εκδ. Παπασωτηρίου, 2012
31. Κ. Καρράς, “Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα” Σημειώσεις μαθήματος Χρηματοοικονομική Διοικητική Δημοσίων Οργανισμών, Τμήμα Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθήνας, με πηγή να αναφέρεται το:
32. Εγχειρίδιο για την υλοποίηση έργων και υπηρεσιών μέσω ΣΔΙΤ, Ειδική Γραμματεία Συμπράξεων Δημοσίου – Ιδιωτικού Τομέα, Αθήνα, Υπουργείο Οικονομικών και Οικονομίας, Ιούνιος 2006
33. Γ. Βαϊλάκης, Γ. Πλάκας, Θ. Τρουλινός, “Συμπράξεις Δημοσίου – Ιδιωτικού Τομέα. Αυτοχρηματοδοτούμενα – Συγχρηματοδοτούμενα Έργα, Συμβάσεις Παραχώρησης”, ομάδα εργασίας για τη μελέτη – διερεύνηση – σχολιασμό και

- επεξεργασία και διατύπωση των απόψεων και προτάσεων του Τ.Ε.Ε. Τ.Α.Κ., 2005
34. Δ. Λιάσκας Ε. Σιάφακα “Συμπράξεις Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα”, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., 2012
35. Π. Πανδρεμένος “Συμπράξεις Δημόσιου - Ιδιωτικού Τομέα”, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012
36. Εικόνα 4.1: “Απεικόνιση χρηματικών ροών στο πλαίσιο παραδοσιακών δημοπρατήσεων και έργων ΣΔΙΤ “, Εγχειρίδιο για την υλοποίηση έργων και υπηρεσιών μέσω ΣΔΙΤ, Ειδική Γραμματεία Συμπράξεων Δημόσιου – Ιδιωτικού Τομέα, Αθήνα, Υπουργείο Οικονομικών και Οικονομίας, Ιούνιος 2006
37. Εξαμηνιαία Οικονομική Έκθεση περιόδου (1^η Ιανουαρίου έως 30^η Ιουνίου 2013) Σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα Χρηματοοικονομικής Αναφοράς (Δ.Π.Χ.Α.) και το Ν. 3556 του 2007
38. Χασιάκος Α., “Τεχνική Οικονομική” Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2000
39. Δ. Καλιαμπάκος, Δ. Δαμίγος, Σημειώσεις μαθήματος “Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων, Χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων”, Ε.Μ.Π. 2008
40. Ευρωπαϊκή Επιτροπή “Οδηγός Ανάλυσης Κόστους – Ωφέλειας των Επενδυτικών Σχεδίων (Διαρθρωτικά Ταμεία – ΕΤΠΑ, Ταμείο Συνοχής και ΜΠΔΠ (ISPA)) “ Διοικητική Μονάδα Αξιολόγησης, Γ.Δ. Περιφερειακής Πολιτικής, 2003.
41. Δράκου Α., Καραθανάση Γ. “Χρηματοοικονομική Διοίκηση των Επιχειρήσεων”, Μπένου 2010
42. Σ. Μαριάμου “ Αξιολόγηση επενδύσεων σε έργα ΑΠΕ και βελτιστοποίηση κινήτρων με χρήση διεπίπεδου προγραμματισμού”, Διπλωματική εργασία, Σχ. ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π. 2014
43. Η. Bierman, jr , S. Smid “Οικονομικός Προγραμματισμός Επενδύσεων – Αρχές για τη Λήψη Αποφάσεων”, τόμος α', εκδ. Παπαζήση, 1981

44. Γ. Μέργος “Η Ανάλυση Κόστους – Οφέλους στην Αξιολόγηση Αναπτυξιακών Έργων και Πολιτικών”, Άρθρο προς δημοσίευση στον Τιμητικό Τόμο για τον Καθηγητή Απόστολο Λάζαρη, επιμέλεια Θ. Σκούντζου, Π. Λίβα, Θ. Καλαφάτη, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2002.
45. Α. Μπελεγρή Ρομπόλη, Θ. Μαρίνος, Μ. Μαρκάκη “Αποτίμηση των Οικονομικών και Κοινωνικών Επιπτώσεων της Λειτουργίας της Γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου: Μια Πολυκριτηριακή Ανάλυση του Έργου” 2013

7.3 Διαδικτυακοί Τόποι

1. <http://www.worldometers.info/world-population/#table-forecast>
2. <http://www.globalconstruction2030.com/>
3. <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-construction-outlook-2020-300040813.html>
4. <http://www.pwc.com/gx/en/industries/engineering-construction/publications/global-construction-2020.html>
5. <http://www.tovima.gr/finance/finance-news/article/?aid=303239>
6. sdit.mnec.gr
7. <http://www.sdit.mnec.gr/πληροφόρηση/βιβλιοθήκη/συχνές-ερωτήσεις>, τελευταία επίσκεψη 25.4.17
8. Ελληνική Εταιρία Επιχειρησιακής Έρευνας, eeee.org.gr
9. ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ INTPAKAT περιόδου από 1η Ιανουαρίου έως 30η Ιουνίου 2013 Σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα Χρηματοοικονομικής Αναφοράς & το Ν.3556/2007
10. <http://www.investopedia.com/terms/e/economicprofit.asp>
11. <http://www.investopedia.com/terms/o/opportunitycost.asp>
12. <http://www.investopedia.com/ask/answers/033015/what-difference-between-economic-profit-and-accounting-profit.asp>
13. Scholar.google.gr
14. Academia.com
15. Sciencedirect.com
16. dspace.lib.ntua.gr
17. dspace.lib.uom.gr

18. apothesis.eap.gr

19. link.springer.com

20. msdn.microsoft.com

Σε όλους τους διαδικτυακούς τόπους πραγματοποιήθηκε τελευταία επίσκεψη τον Ιούλιο του 2017, λίγο πριν την παράδοση της Διπλωματικής Εργασίας.

7.4 Εικόνες

1. “Εικόνα Εξώφυλλου” πηγή: photorator.com
2. “Εικόνα 4.1: Απεικόνιση χρηματικών ροών στο πλαίσιο παραδοσιακών δημοπρατήσεων και έργων ΣΔΙΤ” πηγή: Ειδική Γραμματεία Συμπράξεων Δημόσιου – Ιδιωτικού Τομέα Εγχειρίδιο για την υλοποίηση έργων και υπηρεσιών μέσω ΣΔΙΤ, Αθήνα, Ιούνιος 2006

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 5, η γενική μορφή του λογισμικού φύλλου στο MS Excel ήταν η εξής:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		Yij	1	2	3	4	Cost _j		Xij	1	2	3	4	sum
2		1	0,000	0,000	0,000	1,000	50.000.000,00 €		1	0	0	0	1	1
3		2	0,000	0,000	0,000	0,000	165.000.000,00 €		2	0	0	1	0	1
4		3	0,000	0,000	0,000	0,000	210.500.000,00 €		3	0	1	0	0	1
5		4	1,000	0,000	0,000	0,000	72.500.000,00 €		4	1	0	0	0	1
6		5	0,000	0,000	0,000	0,000	290.000.000,00 €		5	0	1	0	0	1
7		6	0,000	0,000	0,000	0,000	110.000.000,00 €		6	0	0	1	0	1
8		7	0,000	0,000	0,000	0,000	322.000.000,00 €		7	0	1	0	0	1
9		8	0,000	0,000	0,519	0,000	578.000.000,00 €		8	1	0	0	0	1
10		9	0,000	0,000	0,000	0,923	325.000.000,00 €		9	0	0	0	1	1
11														
12			1	2	3	4		Κοινωνικά Όφελος		422.499.999,00 €				
13		Credit	700.000.000	800.000.000	300.000.000	350.000.000		Κέρδη Εταυριών		42.199.999,91 €				
14														
15		Aij	1	2	3	4		Επένδυση	1	2	3	4		
16		1	9%	11%	10%	13%		1	- €	- €	- €	- €	50.000.000,00 €	
17		2	12%	14%	13%	10%		2	- €	- €	- €	- €	- €	
18		3	12%	9%	13%	10%		3	- €	- €	- €	- €	- €	
19		4	12%	9%	13%	10%		4	72.500.000,00 €	- €	- €	- €	- €	
20		5	14%	12%	11%	9%		5	- €	- €	- €	- €	- €	
21		6	10%	9%	14%	11%		6	- €	- €	- €	- €	- €	
22		7	10%	12%	9%	13%		7	- €	- €	- €	- €	- €	
23		8	9%	11%	14%	10%		8	- €	- €	- €	- €	- €	
24		9	12%	13%	10%	9%		9	- €	- €	- €	- €	299.999.999,00 €	
25								sum	72.500.000,00 €	- €	- €	- €	349.999.999,91 €	
26														
27														
28								Κέρδος	1	2	3	4		
29		1	- €	- €	- €	- €		1	- €	- €	- €	- €	6.500.000,00 €	
30		2	- €	- €	- €	- €		2	- €	- €	- €	- €	- €	
31		3	- €	- €	- €	- €		3	- €	- €	- €	- €	- €	
32		4	8.700.000,00 €	- €	- €	- €		4	8.700.000,00 €	- €	- €	- €	- €	
33		5	- €	- €	- €	- €		5	- €	- €	- €	- €	- €	
34		6	- €	- €	- €	- €		6	- €	- €	- €	- €	- €	
35		7	- €	- €	- €	- €		7	- €	- €	- €	- €	- €	
36		8	- €	- €	- €	- €		8	- €	- €	- €	- €	- €	
37		9	- €	- €	- €	- €		9	- €	- €	- €	- €	26.999.999,91 €	
38								sum	8.700.000,00 €	- €	- €	- €	33.499.999,91 €	

Εικόνα 5.1: Η Γενική Μορφή του Λογισμικού Φύλλου Excel

Φαίνονται μέσω της εικόνας ξεκάθαρα:

- Τα ποσοστά συμμετοχής για τον πίνακα Yij (τυχαία ποσοστά)¹, cells [C2:F10]
- Οι μεταβλητές απόφασης Xij (τυχαίες μεταβλητές)¹, cells [J2:M10]

¹ Επιλέγει να γίνει καταγραφή εικόνας με τυχαίους αριθμούς για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων από τους αναγνώστες.

- Ο πίνακας των αναμενόμενων κερδών A_{ij} , cells [C16:F24]
- Τα διαθέσιμα κεφάλαια κάθε κατασκευαστικής εταιρίας, cells [C13:F13]
- Το κελί υπολογισμού του Συνολικού Κοινωνικού Οφέλους, cell [J12]
- Το κελί υπολογισμού των Κερδών των Εταιριών, cell [J13]
- Τα κελιά υπολογισμού των επενδύσεων της κάθε εταιρίας σε κάθε έργο, cells [J16:M25]
- Τα κελιά υπολογισμού των κερδών της κάθε εταιρίας από κάθε έργο, cells [J29:M38]
- Τα κελιά αθροίσματος σειράς των μεταβλητών απόφασης, cells [N2:N10]
- Τα κελιά αθροίσματος συνολικής επένδυσης εταιρίας, cells [J25:M25]
- Τα κελιά αθροίσματος συνολικών κερδών εταιρίας, cells [J38:M38]

Όσον αφορά στις εξισώσεις που εισήχθησαν στο Excel:

- Το κελί υπολογισμού του Συνολικού Κοινωνικού Οφέλους, cell [J12] αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του άνω μέρους του προβλήματος και αποτελείται από το άθροισμα των επενδυμένων κεφαλαίων όλων των εταιριών.
- Το κελί υπολογισμού των Κερδών των Εταιριών, cell [J13] αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του κάτω μέρους του προβλήματος και αποτελείται από το άθροισμα των κερδών όλων των εταιριών.
- Τα κελιά υπολογισμού των επενδύσεων της κάθε εταιρίας σε κάθε έργο, cells [J16:M25] αποτελούνται από τα επενδυμένα κεφάλαια της κάθε εταιρίας για κάθε έργο, δηλαδή του γινόμενου των $Y_{ij} * X_{ij} * Cost_i$
- Τα κελιά υπολογισμού των κερδών της κάθε εταιρίας από κάθε έργο, cells [J29:M38] αποτελούνται από τα κέρδη της κάθε εταιρίας από κάθε έργο, δηλαδή του γινόμενου $Y_{ij} * X_{ij} * Cost_i * A_{ij}$

- Τα κελιά αθροίσματος σειράς των μεταβλητών απόφασης, cells [N2:N10] αποτελούνται από το άθροισμα των μεταβλητών απόφασης για κάθε έργο.
- Τα κελιά αθροίσματος συνολικής επένδυσης εταιρίας, cells [J25:M25] αποτελούνται από το άθροισμα των επενδυμένων κεφαλαίων της κάθε εταιρίας για το κάθε έργο.
- Τα κελιά αθροίσματος συνολικών κερδών εταιρίας, cells [J38:M38] αποτελούνται από το άθροισμα των κερδών της κάθε εταιρίας από το κάθε έργο.

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5, στην Περίπτωση 5 (Μικρότερο Πλήθος Έργων) και στην Περίπτωση 6 (Μικρότερο Πλήθος Εταιριών) χρειάστηκε να γίνει τροποποίηση του αλγόριθμου για να μπορεί να ανταπεξέλθει στη νέα μορφή των δεδομένων.

Ο βασικός κώδικας που χρησιμοποιείται από τη VBA για το Αρχικό Πρόβλημα της Διπλωματικής Εργασίας έχει την εξής μορφή:

Public Sub Run()

Dim TestSheet As Worksheet

Set TestSheet = ThisWorkbook.Sheets("Sheet1")

OpenSolver.ResetModel Sheet:=TestSheet

'Objective Definition

***OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell TestSheet.Cells(13, 10),
Sheet:=TestSheet***

OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=TestSheet

'Variables Definition

***OpenSolver.SetDecisionVariables TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(10, 6)),
Sheet:=TestSheet***

'Constraints Definition

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range (Cells(25, 10), Cells(25, 13)),
RelationLE, TestSheet.Range(Cells(13, 3), Cells(13, 6)), Sheet:=TestSheet***

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(10, 6)),
RelationGE, RHSFormula:="0", Sheet:=TestSheet***

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(10, 6)),
RelationLE, RHSFormula:="1", Sheet:=TestSheet***

OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=TestSheet

End Sub

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται από τη VBA για το πρόβλημα της Περίπτωσης 5 (Μικρότερο Πλήθος Έργων) έχει την εξής μορφή:

Public Sub Run()

Dim TestSheet As Worksheet

Set TestSheet = ThisWorkbook.Sheets("Sheet1")

OpenSolver.ResetModel Sheet:=TestSheet

'Objective Definition

***OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell TestSheet.Cells(12, 10),
Sheet:=TestSheet***

OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=TestSheet

'Variables Definition

***OpenSolver.SetDecisionVariables TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(10, 6)),
Sheet:=TestSheet***

'Constraints Definition

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(23, 10), Cells(23, 13)),
RelationLE, TestSheet.Range(Cells(12, 3), Cells(12, 6)), Sheet:=TestSheet***

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(9, 6)),
RelationGE, RHSFormula:="0", Sheet:=TestSheet***

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(9, 6)),
RelationLE, RHSFormula:="1", Sheet:=TestSheet***

OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=TestSheet

End Sub

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται από τη VBA για το πρόβλημα της Περίπτωσης 6 (Μικρότερο Πλήθος Εταιριών) έχει την εξής μορφή:

Public Sub Run()

Dim TestSheet As Worksheet

Set TestSheet = ThisWorkbook.Sheets("Sheet1")

OpenSolver.ResetModel Sheet:=TestSheet

'Objective Definition

OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell TestSheet.Cells(12, 9), Sheet:=TestSheet

OpenSolver.SetObjectiveSense MaximiseObjective, Sheet:=TestSheet

'Variables Definition

***OpenSolver.SetDecisionVariables TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(10, 5)),
Sheet:=TestSheet***

'Constraints Definition

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(25, 9), Cells(25, 11)),
RelationLE, TestSheet.Range(Cells(13, 3), Cells(13, 5)), Sheet:=TestSheet***

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(10, 5)),
RelationGE, RHSFormula:="0", Sheet:=TestSheet***

***OpenSolver.AddConstraint TestSheet.Range(Cells(2, 3), Cells(10, 5)),
RelationLE, RHSFormula:="1", Sheet:=TestSheet***

OpenSolver.RunOpenSolver Sheet:=TestSheet

End Sub

Να σημειωθεί πως τα σχόλια αναφέρονται μέσα σε: ‘ ‘ και έχουν υπογραμμιστεί για την καλύτερη κατανόησή τους από τους αναγνώστες.

