



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη ευστάθειας στην επιλογή επενδυτικών σχεδίων με
πολυκριτηριακό προγραμματισμό λαμβάνοντας υπόψη και
την εταιρική περιβαλλοντική ευθύνη**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Κανέλλος

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Ψαρράς

Αθήνα, Οκτώβριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μελέτη ευστάθειας στην επιλογή επενδυτικών σχεδίων με
πολυκριτηριακό προγραμματισμό λαμβάνοντας υπόψη και την
εταιρική περιβαλλοντική ευθύνη**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Κανέλλος

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Ψαρράς

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 29 Οκτωβρίου 2014.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Γεώργιος Μαυρωτάς
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Γεώργιος Κανέλλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Κανέλλος, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Επιχείρηση χαρακτηρίζεται η ποριστική οικονομική μονάδα που αποτελεί αυτοτελή και υπεύθυνη οργάνωση παραγωγικών συντελεστών και διαχείρισης συναλλαγών με τις οποίες και επιδιώκει το μέγιστο δυνατό κέρδος. Το δε κέρδος κατά κανόνα θα πρέπει να υπερβαίνει την αντίστοιχη συνήθη αμοιβή (ως αντιμισθία) της διοικητικής ή εκτελεστικής εργασίας που επιτελείται σε αυτήν. Παρατηρώντας τον ορισμό της έννοιας επιχείρηση καθίσταται σαφές πως μέχρι αρκετά πρόσφατα το οικονομικό κομμάτι μιας επιχείρησης ήταν ο κεντρικός άξονας γύρω από τον οποίο η τελευταία αναπτυσσόταν. Όμως, τα τελευταία χρόνια έχει γίνει αντιληπτό πως η επιχείρηση είναι ένας οργανισμός ο οποίος θα πρέπει όχι μόνο να παίρνει από το κοινωνικό σύνολο (ανθρώπινους και φυσικούς πόρους), αλλά και να μεριμνά για την ευημερία τόσο της κοινωνίας όσο και του περιβάλλοντος. Αυτή η αντίληψη είναι πλέον η επικρατούσα και εκφράζεται μέσω του όρου εταιρική κοινωνική ευθύνη (ΕΚΕ).

Το πρόβλημα το οποίο εξετάζουμε στην παρούσα διπλωματική είναι αυτό όπου ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα καλείται να επιλέξει ένα συγκεκριμένο αριθμό επιχειρήσεων από αυτές που αιτούνται χορήγηση δανείου. Για την επίλυση του προβλήματος το μετατρέπουμε σε αντίστοιχο πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού αντιστοιχώντας την επιλογή ή μη μιας επιχείρησης στις τιμές 1 και 0 μιας ακέραιης μεταβλητής. Τα κριτήρια τα οποία λαμβάνονται υπόψη είναι η μεγιστοποίηση τόσο της αποδοτικότητας της επένδυσης (NPV) όσο και της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης (ΕΚΕ) υπό κάποιους τοπικούς και οικονομικούς περιορισμούς.

Για την καλύτερη κατανόηση και επίλυση του προβλήματος έγινε μελέτη των πολυκριτηριακών προβλημάτων βελτιστοποίησης καθώς και των υπάρχουσών μεθόδων για την επίλυσή τους. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε κυρίως η μέθοδος AUGMECON, η οποία αποτελεί μια βελτιστοποίηση της ήδη υπάρχουσας ε-Constraint. Για την εφαρμογή της χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος στη γλώσσα GAMS, μέσω του οποίου κατέστη δυνατό να παραχθεί το αρχικό μέτωπο Pareto. Στη συνέχεια με χρήση της μεθόδου Monte Carlo προσομοιώσαμε την αβεβαιότητα που επικρατεί στον επιχειρηματικό κόσμο και βγάλαμε συμπεράσματα σχετικά με την ευστάθεια του κάθε χαρτοφυλακίου επενδύσεων.

Λέξεις κλειδιά: ΕΚΕ, πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση, Monte Carlo, GAMS, μέτωπο Pareto, ε-constraint, βιώσιμη ανάπτυξη

Abstract

An enterprise is a financial unit that uses the factors of production as well as trading operations in order to achieve maximum profit. The achieved profit must in general be greater than the amounts of salary paid for labor. According to this definition it becomes clear that the financial sector of an enterprise has been the keystone for its growth and success. However, nowadays this traditional approach has been supplemented by the notion that an enterprise must engage in other non-profit seeking activities that have environmental and social merits. This notion is formally expressed through the concept of corporate social responsibility (CSR).

Throughout this thesis, a multi-criteria optimization problem is being studied, where a financial institution (decision maker) wants to select between a group of enterprises applying for financial support. The target is to simultaneously maximize the total return of investment and total EECR of the portfolio, subject to policy constraints. Thus, we are looking for the optimal enterprise portfolio. This is an integer programming problem, as the variables used are binary, referring to whether the i -firm is selected to get financial support.

In order to gain a better understanding of the problem we reviewed the existing literature about multi-criteria optimization problems as well as the existing methods for solving them. We used the AUGMECON method, an improved version of the ϵ -constraint method, for solving the problem and for its implementation we utilized the GAMS modeling system. Finally, the Monte Carlo method was used in order to exhibit and manage the randomness of the input data. By applying this method, many important conclusions are drawn.

Keywords: CSR, multiobjective optimization, Monte Carlo, GAMS, Pareto front, ϵ -constraint, sustainable development.

Ευχαριστίες

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής ήταν ο καθηγητής κ. Ι. Ψαρράς, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση αυτής και την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ κ. Γ. Μαυρωτά για την καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την υποστήριξη που μου παρείχε όσον αφορά τη χρησιμοποίηση της γλώσσας μοντελοποίησης GAMS και των μεθόδων augmented ϵ -constraint (AUGMECON) και ITA, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί από τον ίδιο.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	1
Abstract	2
Ευχαριστίες	3
Κεφάλαιο 1	8
1.1 Σκοπός και Αντικείμενο	9
1.2 Χρησιμότητα Διπλωματικής Εργασίας	11
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	12
1.4 Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας.....	14
Κεφάλαιο 2	15
2.1 Εισαγωγή.....	16
2.2 Ιστορική Εξέλιξη της Πολυκριτηριακής Βελτιστοποίησης	16
2.2.1 Μαθηματική Θεμελίωση και Πρώτες Εφαρμογές.....	17
2.3 Πολυκριτηριακά Προβλήματα Βελτιστοποίησης	18
2.3.1 Συστατικά Μέρη ενός Προβλήματος Βελτιστοποίησης	18
2.3.2 Μαθηματικός Ορισμός	20
2.3.3 Ορολογία Pareto	20
2.3.4 Αδύναμη και Αυστηρή Αποτελεσματικότητα κατά Pareto.....	22
2.3.5 Η Σημασία του Αποφασίζοντα	22
2.3.6 Κατηγοριοποίηση των Πολυκριτηριακών Προβλημάτων	22
2.4 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι και Τεχνικές.....	23
2.4.1 Η μέθοδος ϵ -constraint.....	23
2.4.2 Η μέθοδος augmented ϵ -constraint (AUGMECON).....	25
2.4.3 Η μεθοδολογία Monte Carlo	28
2.4.4 Κωδικοποίηση των λύσεων	29
2.4.5 Δείκτης Ευστάθειας	31
Κεφάλαιο 3	33
3.1 Εισαγωγή.....	34
3.2 Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη.....	35
3.2.1 Ορισμός και Ιστορική Αναδρομή	36
3.2.2 Υποχρεώσεις της επιχείρησης σύμφωνα με την ΕΚΕ	37

3.2.3 Η Περιβαλλοντική Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη	38
3.2.4 Υπολογισμός Περιβαλλοντικής ΕΚΕ	39
3.3 Δείκτες Αξιολόγησης Επενδύσεων	42
3.3.1 Επιλογή Δείκτη	44
Κεφάλαιο 4	45
4.1 Εισαγωγή.....	46
4.2 Τυποποίηση των 2 αντικειμενικών συναρτήσεων	46
4.3 Τυποποίηση των περιορισμών	47
4.3.1 Περιορισμοί Προϋπολογισμού	48
4.3.2 Περιορισμοί Συνολικού Αριθμού Επιχειρήσεων	49
4.3.3 Τομεακοί Περιορισμοί (sectorial constraints)	49
4.3.4 Γεωγραφικοί Περιορισμοί (geographical constraints)	50
4.4 Βήματα Υλοποίησης της Μεθόδου.....	51
Κεφάλαιο 5	53
5.1 Δεδομένα	54
5.2 Υλοποίηση των μεθοδολογικών βημάτων.....	56
5.2.1 Βήμα 1ο : Χρήση της μεθόδου AUGMECON για τον υπολογισμό και τη σχεδίαση του ακριβούς μετώπου Pareto PF*	56
5.2.2 Βήμα 2ο : Εισαγωγή αβεβαιότητας μέσω της μεθόδου Monte Carlo	58
5.2.3 Βήμα 3ο : Υπολογισμός δείκτη ευστάθειας (Robustness Index) για ομοιόμορφη κατανομή	61
5.2.4 Βήμα 4ο : Διερεύνηση εταιριών στα βέλτιστα κατά Pareto χαρτοφυλάκια	67
Κεφάλαιο 6	71
6.1 Συμπεράσματα.....	72
6.2 Προοπτικές.....	73
Βιβλιογραφία	74
Παράρτημα	77

Πίνακας Σχημάτων και Πινάκων

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας.....	14
Σχήμα 2: Κατηγορίες Πολυκριτηριακών Προβλημάτων Βελτιστοποίησης.....	23
Σχήμα 3: Διάγραμμα Ροής Μεθόδου AUGMECON.....	28
Σχήμα 4: Η Ομοιόμορφη Κατανομή.....	29
Σχήμα 5: Παράδειγμα Κωδικοποίησης Αποτελεσμάτων.....	30
Σχήμα 6: Διάγραμμα Ροής για τον Υπολογισμό του R.I.....	32
Σχήμα 7: Πτυχές της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης.....	35
Σχήμα 8: Τομείς Υλοποίησης της ΕΚΕ.....	37
Σχήμα 9: Η περιβαλλοντική ΕΚΕ.....	41
Σχήμα 10: Είδη Περιορισμών.....	47
Σχήμα 11: Βήματα Υλοποίησης της Μεθόδου.....	51
Σχήμα 12: Διάγραμμα αρχικού μετώπου.....	58
Σχήμα 13: Αρχικό Pareto Front και Pareto Front για 3 επαναλήψεις Monte Carlo.....	61
Σχήμα 14: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 10 επαναλήψεις Monte Carlo.....	63
Σχήμα 15: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 100 επαναλήψεις Monte Carlo.....	64
Σχήμα 16: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 500 επαναλήψεις Monte Carlo.....	64
Σχήμα 17: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 1000 επαναλήψεις Monte Carlo.....	65
Σχήμα 18: Ιστόγραμμα με δείκτες ευστάθειας χαρτοφυλακίων για 10,100,500 και 1000 επαναλήψεις Monte Carlo.....	66
Σχήμα 19: Ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας εμφάνισης κάθε εταιρίας στο σύνολο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων.....	68

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Είδη Επιχειρήσεων.....	54
Πίνακας 2: Δεδομένα Επιχειρήσεων.....	55
Πίνακας 3: Pareto Front για αρχικές τιμές συντελεστών.....	57
Πίνακας 4: Αποτελέσματα 1ης Επανάληψης Monte Carlo	59
Πίνακας 5: Αποτελέσματα 2ης Επανάληψης Monte Carlo	60
Πίνακας 6: Δείκτες Ευστάθειας Χαρτοφυλακίων για 10,100,500 και 1000 επαναλήψεις Monte Carlo.....	62
Πίνακας 7: Συχνότητα εμφάνισης των 40 εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.....	68
Πίνακας 8: Επιχειρήσεις με τη μεγαλύτερη σχετική συχνότητα εμφάνισης στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.....	69
Πίνακας 9: Επιχειρήσεις με τη μικρότερη σχετική συχνότητα εμφάνισης στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.....	69
Πίνακας 10: Βέλτιστα Χαρτοφυλάκια με βάση το δείκτη ευστάθειας.....	70
Πίνακας 11: Επιχειρήσεις που εμφανίζονται σε όλα τα ευσταθή χαρτοφυλάκια.....	70
Πίνακας 12: Επιχειρήσεις που δεν εμφανίζονται σε κανένα από τα ευσταθή χαρτοφυλάκια.....	70

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Σκοπός και Αντικείμενο

Η επιχείρηση αποτελεί έναν από τους κυριότερους θεσμούς της σύγχρονης κοινωνίας. Κάθε μία, ανεξάρτητα από το μέγεθος και το αντικείμενό της, αποτελεί έναν οργανισμό άρρηκτα δεμένο με το κοινωνικό σύνολο και διαθέτει διάφορους στόχους οι οποίοι και δικαιολογούν την ύπαρξή της. Απώτερος στόχος κάθε επιχείρησης είναι η ανάπτυξή της, η οποία και επιτυγχάνεται μέσω επιμέρους αποτελεσμάτων όπως η αύξηση των κερδών, η απόκτηση μεγαλύτερης φήμης και δύναμης στην αγορά, η ικανοποίηση των εργαζομένων κ.α. Παράλληλα, πρέπει να μεριμνά για το κοινωνικό σύνολο δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας καθώς και φροντίζοντας για την προστασία του περιβάλλοντος.

Εκ πρώτης όψεως κάποιοι από τους στόχους φαίνονται αλληλοσυγκρουόμενοι, όπως για παράδειγμα η πράσινη ανάπτυξη και η κερδοφορία. Εδώ έγκειται ο ρόλος των στελεχών της επιχείρησης τα οποία καλούνται να λάβουν τις αναγκαίες αποφάσεις για την επενδυτική πολιτική της, προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα τόσο στον οικονομικό τομέα όσο και στο κοινωνικό κομμάτι. Οι οικονομικοί στόχοι της επιχείρησης αποτυπώνονται σε μεγέθη όπως τα κέρδη της, ο κύκλος εργασιών, η αποδοτικότητα των επενδυμένων κεφαλαίων κ.α. , ενώ η προσφορά της στο κοινωνικό σύνολο εμπεριέχεται στην έννοια της ΕΚΕ (εταιρική κοινωνική ευθύνη).

Η έννοια της ΕΚΕ είναι αρκετά ευρεία. Ουσιαστικά αποτελεί μια ισορροπημένη προσέγγιση για την επίλυση κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών θεμάτων μιας επιχείρησης με σκοπό την ωφέλεια των ανθρώπων και της κοινωνίας. Περιλαμβάνει θέματα όπως τα ανθρώπινα δικαιώματα, ζητήματα στον εργασιακό χώρο (κυρίως υγεία και ασφάλεια), αθέμιτες επιχειρηματικές πολιτικές, οργανωτική διακυβέρνηση καθώς και περιβαλλοντικές πτυχές.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας θα εστιάσουμε στην περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη η οποία περιλαμβάνει την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές επιβλαβών αερίων μιας και οι εταιρείες με τις οποίες ασχολούμαστε δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενέργειας. Δυστυχώς η μέτρηση της ΕΚΕ είναι δύσκολη και σε επόμενα στάδια της εργασίας θα αναλυθούν οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να καταδείξει πως ακόμα και στη σημερινή κοινωνία όπου η οικονομική κρίση εξακολουθεί να υφίσταται και περιορίζει σε σημαντικό βαθμό τις επενδύσεις καθώς και τις δανειοδοτήσεις από τις τράπεζες, είναι δυνατό και χρήσιμο για τις επιχειρήσεις, τόσο μεγάλες όσο και μικρές, να εστιάζουν και στην πράσινη ανάπτυξη.

Μέχρι πρόσφατα η μέριμνα για την πράσινη ανάπτυξη, αν και επιταγή της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θεωρείτο σημαντική μόνο για εταιρείες μεγάλου μεγέθους, οι οποίες είχαν τα απαραίτητα έσοδα για να επενδύσουν σε αυτό τον τομέα. Όμως, τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σαφές πως η σωστή

περιβαλλοντική πολιτική εμπεριέχει πάμπολλα οφέλη όπως μειωμένα κόστη ενέργειας (λόγω μείωσης εκπομπών CO₂ και αποτελεσματικότερης ενεργειακής πολιτικής), αυξημένο ενδιαφέρον επενδυτών (λόγω των μελλοντικών προοπτικών της επιχείρησης) καθώς και μεγαλύτερη κοινωνική αποδοχή και αναγνώριση, γεγονός που την καθιστά απαραίτητη για κάθε εταιρεία.

Το πρόβλημα στο οποίο εστίασαμε σε αυτή την εργασία είναι αυτό της επιλογής ενός χρηματοπιστωτικού ιδρύματος ανάμεσα σε διάφορες επιχειρήσεις που αιτούνται χρηματοδότησης. Τα κριτήρια επιλογής του ιδρύματος είναι τόσο η οικονομική αποδοτικότητα όσο και το επίπεδο της ΕΚΕ της επιχείρησης. Παράλληλα με αυτά τα κριτήρια εισάγουμε και διαφόρων ειδών περιορισμούς όπως προϋπολογισμού (budget constraints), γεωγραφικοί, τομεακοί (sectoral), καθώς και περιορισμοί ανώτατου ορίου δανειοδοτούμενων επιχειρήσεων και αλληλοαποκλειόμενων επιχειρήσεων. Επομένως, είναι πλέον δυνατό να σχεδιαστεί το μέτωπο των κατά Pareto αποτελεσματικών λύσεων.

Στη συνέχεια εισάγουμε το στοιχείο της αβεβαιότητας στη μελέτη μας με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo. Συγκεκριμένα, μέσω πιθανοτικών κατανομών προσομοιώνεται η αβεβαιότητα των οικονομικών αλλά και των περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων κάθε επένδυσης και έπειτα χρησιμοποιούμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων σχετικά με την ευστάθεια του κάθε επενδυτικού σχεδίου. Η ευστάθεια ως κριτήριο επιλογής αποτελεί ένα ιδιαίτερος χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του αποφασίζονται καθώς μειώνει το ρίσκο που εμπεριέχεται στην επιλογή του, πράγμα πολύ σημαντικό ιδιαίτερα στη σημερινή εποχή.

1.2 Χρησιμότητα Διπλωματικής Εργασίας

Μετά από λεπτομερή μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εστιάζει στο πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού δύο αντικειμενικών συναρτήσεων, το οποίο δεν έχει αναπτυχθεί σε βάθος στα υπάρχοντα κείμενα. Τα οφέλη της συγκεκριμένης μελέτης είναι πάμπολλα καθώς όχι μόνο τονίζεται η σημασία της πράσινης ανάπτυξης κατά την αξιολόγηση μιας επένδυσης αλλά ενσωματώνεται και η ΕΚΕ κάθε επιχείρησης ως αντικειμενική συνάρτηση στο πρόβλημα. Έτσι ανοίγει ο δρόμος για την επίλυση ακόμα πιο απαιτητικών προβλημάτων ιδίου τύπου, πιθανώς με περισσότερους περιορισμούς.

Παράλληλα, πρέπει να τονιστεί πως στα πλαίσια αυτής της εργασίας έγινε χρήση της μεθόδου AUGMECON για την επίλυση του προβλήματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην ήδη υπάρχουσα *ε-constraint* αλλά εμπεριέχει σημαντικές βελτιώσεις, οι οποίες οδηγούν σε ταχύτερα και αποτελεσματικά κατά Pareto αποτελέσματα.

Η τελευταία καινοτομία της συγκεκριμένης εργασίας έγκειται στον τρόπο χειρισμού της αβεβαιότητας. Ειδικότερα, με την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo προσομοιώνουμε διάφορες πιθανές αλλαγές στα δεδομένα εισόδου και στη συνέχεια τα αποτελέσματα της μετέπειτα βελτιστοποίησης ενσωματώνονται σε κατάλληλους δείκτες ευστάθειας. Οι συγκεκριμένοι δείκτες μπορούν να δώσουν στον αποφασίζοντα ακόμα ένα κριτήριο πάνω στο οποίο θα στηρίξει τη μελλοντική επενδυτική του απόφαση.

Τέλος να σημειωθεί πως όλα τα παραπάνω αναπτύχθηκαν ως ολοκληρωμένο μοντέλο στο σύστημα GAMS, συνεπώς διασφαλίζεται η ευκολία στη μελλοντική του χρήση καθώς το GAMS είναι εύκολο στο χειρισμό και ο κώδικας μπορεί να προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα άλλων εφαρμογών.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Παρουσιάζονται κάτωθι τα κεφάλαια και το περιεχόμενό τους.

Κεφάλαιο 1ο: *Εισαγωγή*

Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο όπου ο αναγνώστης έρχεται σε πρώτη επαφή με το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας. Αναφέρονται περιληπτικά το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, το πρόβλημα στο οποίο εστιάσαμε καθώς και η χρησιμότητά της σε πιθανές μελλοντικές εφαρμογές.

Κεφάλαιο 2ο: *Προτεινόμενη Μεθοδολογία*

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση των βασικών αρχών που διέπουν τα προβλήματα βελτιστοποίησης. Παράλληλα, αναλύεται σε βάθος η έννοια της ευστάθειας στον πολυκριτηριακό προγραμματισμό καθώς και η μέθοδος AUGMECON πάνω στην οποία στηρίζεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

Κεφάλαιο 3ο: *Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη και Αξιολόγηση Επενδύσεων*

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας αναλύονται σε μεγαλύτερο βάθος η έννοια της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης καθώς και οι διάφοροι τρόποι αξιολόγησης επενδύσεων. Γίνεται αναφορά στην ιστορική εξέλιξη της ΕΚΕ, στη σημασία της (σε κοινωνικό αλλά και οικονομικό επίπεδο) καθώς και στους τρόπους με τους οποίους εφαρμόζεται στη σημερινή κοινωνία. Επίσης, παρουσιάζονται οι δυσκολίες της μετατροπής της σε μετρήσιμο μέγεθος καθώς και οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται αυτή η μετατροπή. Παράλληλα, γίνεται και λεπτομερής αναφορά στους διάφορους δείκτες αξιολόγησης επενδύσεων καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του καθενός.

Κεφάλαιο 4ο: *Μελέτη του προβλήματος*

Μετά την παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου της εργασίας αναπτύσσεται εις βάθος το πρόβλημα και οι επιμέρους συνιστώσες του. Στη συνέχεια παρατίθεται και το μαθηματικό υπόβαθρό του.

Κεφάλαιο 5ο: *Εφαρμογή και Αποτελέσματα*

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση της προαναφερθείσας μεθοδολογίας και εξάγονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Αρχικά, λύνουμε το πρόβλημα με τις ακριβείς τιμές εισόδου και στη συνέχεια με τη μέθοδο Monte Carlo εισάγουμε την έννοια της αβεβαιότητας. Τέλος, υπολογίζεται ο δείκτης ευστάθειας του κάθε επενδυτικού πλάνου.

Κεφάλαιο 6ο: *Συμπεράσματα και Προοπτικές*

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο εξάγονται τα απαραίτητα συμπεράσματα της εργασίας. Παράλληλα, αναφέρονται οι ενδεχόμενες αδυναμίες του μοντέλου καθώς και οι δυνατότητες βελτίωσής του για την εφαρμογή του σε μελλοντικές εφαρμογές.

Παράρτημα: *Αλγόριθμος Υλοποίησης*

Παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος.

1.4 Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας

Οι διάφορες φάσεις που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 1: Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας

Κεφάλαιο 2

Προτεινόμενη Μεθοδολογία

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής εργασίας θα αναλυθούν οι βασικές αρχές που διέπουν τα προβλήματα βελτιστοποίησης με περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις. Επίσης θα οριστούν έννοιες όπως η αποτελεσματικότητα κατά Pareto πάνω στις οποίες θα στηριχθούν τα ακόλουθα κομμάτια της εργασίας. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στηρίζονται στο βιβλίο *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*, Springer 2nd Edition. Στη συνέχεια θα γίνει εκτενής αναφορά στις μεθόδους ϵ -constraint και AUGMECON καθώς και στην έννοια της ευστάθειας στα πολυκριτηριακά προβλήματα.

2.2 Ιστορική Εξέλιξη της Πολυκριτηριακής Βελτιστοποίησης

Η θεωρία της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης δεν είναι τόσο πρόσφατη όσο φαίνεται. Ειδικότερα, κάποιοι συγγραφείς θεωρούν την πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση αναπόσπαστο κομμάτι της οικονομικής ισορροπίας και συνεπώς αναφέρεται για πρώτη φορά το 1776 στο έργο του Adam Smith «The Wealth of Nations».

Η έννοια της οικονομικής ισορροπίας αποδίδεται στον Leon Walras. Ωστόσο και οι William Stanley Jevons, Carl Menger, Francis Ysidro Edgeworth και Vilfredo Pareto βοήθησαν σημαντικά στην ανάπτυξη της έννοιας την περίοδο από το 1874 μέχρι το 1906.

Με την πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση συνδέεται επίσης η θεωρία των ψυχολογικών παιχνιδιών και των παιχνιδιών στρατηγικής (όπου αναλύεται η ψυχολογία του αντιπάλου), η οποία αποδίδεται στον Felix Edouard Emile Borel.

Η γνωστή σε όλους θεωρία παιγνίων έχει τις βάσεις της στο έργο του Borel το 1921, ωστόσο οι περισσότεροι ιστορικοί θεωρούν ως θεμελιωτή της τον Ούγγρο μαθηματικό John von Neumann.

Το 1944 οι John von Neumann και Oskar Morgenstern ανέφεραν πως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης στα πλαίσια μιας οικονομίας βασισμένης στην κοινωνική ανταλλαγή ήταν ένα παράξενο μείγμα πολλών αντικρουόμενων προβλημάτων και δεν είχε αναλυθεί καθόλου στη θεωρία των κλασικών μαθηματικών. Δυστυχώς δεν ασχολήθηκαν καθόλου με την έννοια της βελτιστοποίησης.

Το 1951 ο Tjalling C. Koopmans εξέδωσε το βιβλίο «Activity Analysis of Production and Allocation», όπου η έννοια του αποτελεσματικού διανύσματος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά.

2.2.1 Μαθηματική Θεμελίωση και Πρώτες Εφαρμογές

Η αρχή της μαθηματικής θεμελίωσης της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης έγινε την περίοδο από το 1895 μέχρι το 1906. Εκείνη την περίοδο οι Georg Cantor και Felix Hausdorff έθεσαν τα θεμέλια των απειροδιάστατων διατεταγμένων χώρων. Ο Cantor εισήγαγε επίσης τις κλάσεις ισοδυναμίας και διατύπωσε τις πρώτες επαρκείς συνθήκες για την ύπαρξη μιας συνάρτησης χρησιμότητας. Ο Hausdorff έδωσε επίσης το πρώτο παράδειγμα μιας πλήρους διάταξης. Ωστόσο, ήταν το πρόβλημα του μέγιστου διανύσματος που τέθηκε από τους Harold W. Kuhn και Albert W. Tucker, το οποίο έκανε την πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση αυτοτελή μαθηματικό κλάδο. Η έννοια της «σωστής απόδοσης» (proper efficiency) στα πλαίσια της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης διατυπώθηκε επίσης μαζί με αυτό το πρόβλημα και θεωρείται η πρώτη προσπάθεια για τη δημιουργία της θεωρίας του κλάδου. Την ίδια κατεύθυνση ακολούθησε και ο Kenneth J. Arrow ο οποίος χρησιμοποίησε τον όρο «αποδεκτή» (admissible) και όχι «αποτελεσματική» (efficient) λύση.

Ωστόσο η θεωρία της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης δεν αναπτύχθηκε ιδιαίτερα τη δεκαετία του 1950 και ως αντικείμενο αναφέρθηκε μόνο από μικρό αριθμό συγγραφέων. Το πιο σημαντικό σχετικό ερευνητικό αποτέλεσμα ήταν ο προγραμματισμός στόχου (goal programming) ο οποίος αναπτύχθηκε από τους Abraham Charnes και William Wager Cooper έχοντας τις βάσεις του σε προϋπάρχουσες δημοσιεύσεις.

Τη δεκαετία του 1960 τέθηκαν τα θεμέλια της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης όταν και ασχολήθηκαν με το θέμα μαθηματικοί και ο Leonid Hurwicz γενίκευσε τα αποτελέσματα της έρευνας των Kuhn και Tucker.

Την ίδια χρονική περίοδο άρχισαν να γίνονται όλο και πιο συχνά πολυκριτηριακά προβλήματα δημόσιων επενδύσεων και η έννοια του «trade-off» άρχισε να χρησιμοποιείται συχνά από μάντζερ και γενικά αποφασίζοντες. Αυτή η υποκατηγορία προβλημάτων προέκυψε φυσικά στα οικονομικά μαθηματικά. Αναπτύχθηκαν πολλές τεχνικές από αναλυτές συστημάτων και θεωρητικούς συστημάτων απόφασης για προβλήματα δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, από θεωρητικούς αυτομάτου ελέγχου για προβλήματα μηχανικών (καθοδήγηση και σχεδιασμός) καθώς και τεχνικές για προβλήματα πρόβλεψης αναγκών νερού. Επίσης, έγινε στροφή στη θεωρία του μέγιστου διανύσματος από τους Kuhn και Tucker, γεγονός που αποδεικνύεται από τα κείμενα των Zadeh, Klingler και Da Cunha & Polak που δημοσιεύθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960.

Η εφαρμογή της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης σε τομείς εκτός των οικονομικών έγινε για πρώτη φορά στο έργο του Koopmans που αναφέρεται στη θεωρία παραγωγής και στο έργο του Marglin αναφορικά με το δυνατότερες πρόβλεψης αναγκών νερού. Η πρώτη εφαρμογή σε προβλήματα μηχανικών έγινε από τον Lofti Zadeh και δημοσιεύθηκε στις αρχές της δεκαετίας

του 1960. Με τον καιρό η χρήση της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης γενικεύθηκε και μέχρι το 1970 έγινε απαραίτητη για πολλούς τομείς της επιστήμης.

2.3 Πολυκριτηριακά Προβλήματα Βελτιστοποίησης

Ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία εύρεσης ενός διανύσματος μεταβλητών απόφασης το οποίο ικανοποιεί περιορισμούς και βελτιστοποιεί μια διανυσματική συνάρτηση της οποίας τα στοιχεία αποτελούν τις αντικειμενικές συναρτήσεις. Οι τελευταίες αποτελούν μια μαθηματική περιγραφή κάποιων κριτηρίων απόδοσης τα οποία συνήθως είναι αλληλοσυγκρουόμενα. Ο όρος «βελτιστοποίηση» σημαίνει την εύρεση μιας λύσης η οποία θα δώσει τιμές αποδεκτές για τον αποφασίζοντα σε όλες τις αντικειμενικές συναρτήσεις.

2.3.1 Συστατικά Μέρη ενός Προβλήματος Βελτιστοποίησης

Τα συστατικά μέρη ενός πολυκριτηριακού προβλήματος βελτιστοποίησης αναλύονται παρακάτω:

➤ *Μεταβλητές Απόφασης*

Οι μεταβλητές απόφασης είναι οι ποσότητες για τις οποίες πρέπει να επιλεγθούν τιμές σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Συνήθως αναπαρίστανται ως x_j , $j = 1, 2, \dots, n$ και σε μορφή διανύσματος:

$$\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n]^T$$

➤ *Περιορισμοί*

Στα περισσότερα προβλήματα βελτιστοποίησης υπάρχουν πάντα περιορισμοί οι οποίοι επιβάλλονται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος ή από τις διαθέσιμες resources (π.χ. φυσικοί ή χρονικοί περιορισμοί). Αυτοί οι περιορισμοί πρέπει να ικανοποιούνται για να θεωρηθεί αποδεκτή η λύση και εκφράζουν εξαρτήσεις ανάμεσα στις μεταβλητές απόφασης και σταθερές ή μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο πρόβλημα. Εκφράζονται μαθηματικά είτε με τη μορφή ανισοτήτων είτε ισοτήτων.

$$g_i(\mathbf{x}) \leq 0, i = 1, \dots, m \quad \text{ή} \quad h_j(\mathbf{x}) = 0, j = 1, \dots, p$$

Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο πως το p , δηλαδή ο αριθμός των περιορισμών που εκφράζονται ως ισότητες πρέπει να είναι μικρότερος από το n , τον αριθμό των μεταβλητών απόφασης καθώς σε αντίθετη περίπτωση δεν υπάρχουν βαθμοί ελευθερίας για βελτιστοποίηση. Ο βαθμός ελευθερίας ενός προβλήματος βελτιστοποίησης ισούται με $n - p$.

➤ Αντικειμενικές Συναρτήσεις

Προκειμένου να εκτιμήσουμε πόσο «καλή» είναι μια λύση είναι απαραίτητο να έχουμε κάποια κριτήρια. Αυτά τα κριτήρια εκφράζονται μέσα από τις αντικειμενικές συναρτήσεις. Στα περισσότερα προβλήματα κάποιες τουλάχιστον από αυτές τις συναρτήσεις είναι σε σύγκρουση με κάποιες άλλες, ενώ κάποιες χρειάζεται να μεγιστοποιηθούν και κάποιες να ελαχιστοποιηθούν. Οι αντικειμενικές συναρτήσεις μπορεί να έχουν όλες τις ίδιες μονάδες μέτρησης ή και διαφορετικές. Καθίσταται σαφές πως η αντικρουόμενη φύση των αντικειμενικών συναρτήσεων επιτρέπει μόνο την εύρεση τοπικών και όχι ολικών μέγιστων για το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Για την ακρίβεια, η εύρεση ενός ολικού μέγιστου για ένα γενικό πρόβλημα πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης είναι NP – Complete πρόβλημα.

Οι αντικειμενικές συναρτήσεις συνήθως αναπαρίστανται ως $f_1(x)$, $f_2(x)$, ..., $f_k(x)$, όπου k ο συνολικός αριθμός αντικειμενικών συναρτήσεων στο πρόβλημα και μαζί διαμορφώνουν τη διανυσματική συνάρτηση $\mathbf{f}(\mathbf{x})$.

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]^T$$

➤ Διανυσματικοί Χώροι

Οι διανυσματικοί χώροι που μας απασχολούν σε προβλήματα πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης είναι οι εξής δύο:

1. Ο n -διάστατος χώρος των μεταβλητών απόφασης όπου κάθε άξονας συντεταγμένων αντιστοιχεί σε μία μεταβλητή του διανύσματος \mathbf{X} .
2. Ο k -διάστατος χώρος των αντικειμενικών συναρτήσεων όπου κάθε άξονας αντιστοιχεί σε μία αντικειμενική συνάρτηση $f_i(x)$.

2.3.2 Μαθηματικός Ορισμός

Ο μαθηματικός ορισμός ενός προβλήματος πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς αποτελεί την βάση για την κατανόηση των διαφόρων τεχνικών για την επίλυσή του. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η ύπαρξη πολλών και αντικρουόμενων αντικειμενικών συναρτήσεων, οι οποίες πρέπει να βελτιστοποιηθούν οδηγεί στην ύπαρξη ενός συνόλου λύσεων και όχι μίας και μοναδικής. Αυτό το σύνολο των λύσεων ικανοποιεί τη θεωρία της αποτελεσματικότητας κατά Pareto που θα αναλυθεί στη συνέχεια. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως στα πολυκριτηριακά προβλήματα είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός αποφασίζοντα για να επιλέξει μία λύση από το σύνολο των αποτελεσματικών κατά Pareto λύσεων.

Ένα γενικό πρόβλημα πολυκριτηριακού προγραμματισμού ορίζεται ως η διαδικασία ελαχιστοποίησης (ή μεγιστοποίησης) της διανυσματικής συνάρτησης $F(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$ λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς $g_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m$ και $h_j(x) = 0, j = 1, \dots, p, x \in \Omega$. Η λύση του προβλήματος ελαχιστοποιεί (ή μεγιστοποιεί) τις συναρτήσεις που περιέχονται στο διάνυσμα $F(x)$, όπου x είναι το n – διάστατο διάνυσμα των μεταβλητών απόφασης $x = (x_1, \dots, x_n)$ κάποιου χώρου Ω . Σημειώνεται πως οι εκφράσεις $g_i(x) \leq 0$ και $h_j(x) = 0$ αναφέρονται σε περιορισμούς που πρέπει να πληρούνται κατά την ελαχιστοποίηση (ή μεγιστοποίηση) της $F(x)$ και πως ο χώρος Ω περιέχει όλα τα πιθανά x που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάποια αποτίμηση της $F(x)$

Συνεπώς ένα πρόβλημα πολυκριτηριακού προγραμματισμού αποτελείται από k στόχους που αντικατοπτρίζονται στις k αντικειμενικές συναρτήσεις, $m+p$ περιορισμούς και n μεταβλητές απόφασης. Οι k αντικειμενικές συναρτήσεις μπορούν να είναι γραμμικές ή μη γραμμικές, συνεχείς ή διακριτές. Η συνάρτηση αποτίμησης $F: \Omega \rightarrow \Lambda$ αποτελεί μια αντιστοίχιση του διανύσματος των μεταβλητών απόφασης $x = (x_1, \dots, x_n)$ σε ένα διάνυσμα εξόδου $y = (a_1, \dots, a_k)$.

2.3.3 Ορολογία Pareto

Με δεδομένο πως στα πολυκριτηριακά προβλήματα υπάρχουν πολλές αντικειμενικές συναρτήσεις, η έννοια του βέλτιστου αλλάζει και πρακτικά ο σκοπός είναι η εύρεση ενός καλού «συμβιβασμού» (trade-off) και όχι μιας ολικής βελτιστοποίησης. Η έννοια του βέλτιστου που υιοθετείται πιο συχνά προτάθηκε από τον Francis Ysidro Edgeworth και αργότερα γενικεύθηκε από τον Vilfredo Pareto. Οι λύσεις που προκύπτουν από αυτή τη βελτιστοποίηση ονομάζονται αποτελεσματικές κατά Pareto. Στη συνέχεια δίνεται ένας μαθηματικός ορισμός της αποτελεσματικότητας κατά Pareto.

Μια λύση $x \in \Omega$ καλείται αποτελεσματική κατά Pareto αν δεν υπάρχει $x' \in \Omega$ τέτοιο ώστε το διάνυσμα $v = F(x') = (f_1(x'), \dots, f_k(x'))$ να κυριαρχεί του διανύσματος $u = F(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$.

Δηλαδή ο παραπάνω ορισμός δηλώνει πως μία λύση x^* είναι βέλτιστη κατά Pareto σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης αν δεν υπάρχει κανένα άλλο διάνυσμα $x \in \Omega$ το οποίο μειώνει την τιμή μιας αντικειμενικής συνάρτησης χωρίς ταυτόχρονα να αυξάνει την τιμή κάποιας άλλης.

Η έννοια της αποτελεσματικότητας κατά Pareto είναι ζωτικής σημασίας για τη θεωρία του πολυκριτηριακού προγραμματισμού. Οι αποτελεσματικές κατά Pareto λύσεις είναι εκείνα τα διάνυσματα για τα οποία οι τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων δεν μπορούν να βελτιωθούν όλες ταυτόχρονα. Το σύνολο αυτών των αποτελεσματικών λύσεων αναφέρεται ως P^* . Οποιοδήποτε διάνυσμα και αν επιλεγεί από το προαναφερθέν σύνολο είναι μια αποτελεσματική λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Οι αποτελεσματικές λύσεις δεν σχετίζονται μεταξύ τους με κανέναν άλλο τρόπο πέραν του ότι ανήκουν στο αποτελεσματικό κατά Pareto σύνολο.

Για ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης με δεδομένο το διάνυσμα συναρτήσεων $F(x)$ και το αποτελεσματικό κατά Pareto σύνολο P^* ορίζεται το μέτωπο Pareto PF^* ως εξής:

$$PF^* := \{ u = F(x) \mid x \in P^* \}$$

Ουσιαστικά το μέτωπο Pareto PF^* αποτελεί ένα σύνολο διανυσμάτων, όπου το κάθε διάνυσμα περιέχει τις τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων για κάθε αποτελεσματική λύση $x \in P^*$. Για το σχεδιασμό του είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του κάθε μεμονωμένου διανύσματος και η απεικόνισή του στο χώρο των αντικειμενικών συναρτήσεων που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Δυστυχώς, η εξαγωγή μιας μαθηματική σχέσης που περιγράφει την καμπύλη είναι συνήθως πολύ δύσκολη.

2.3.4 Αδύναμη και Αυστηρή Αποτελεσματικότητα κατά Pareto

Ένα σημείο $x^* \in \Omega$ είναι αδύναμα αποτελεσματικό κατά Pareto όταν δεν υπάρχει $x \in \Omega$ τέτοιο ώστε $f_i(x) < f_i(x^*)$ για $i = 1, \dots, k$.

Ένα σημείο $x^* \in \Omega$ είναι αυστηρά αποτελεσματικό κατά Pareto όταν δεν υπάρχει $x \in \Omega$ με $x \neq x^*$ τέτοιο ώστε $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ για $i = 1, \dots, k$.

Συνθήκες Kuhn-Tucker για μη κατωτερότητα: Αν μία λύση x ενός πολυκριτηριακού προβλήματος είναι μη κατώτερη τότε υπάρχει $w_l \geq 0$, $l = 1, 2, \dots, k$ (όπου για κάποιο l το w είναι αυστηρά θετικό) και $\lambda_i \geq 0$ για $i = 1, 2, \dots, m$ ώστε να ισχύει :

$$\begin{aligned} x &\in \Omega \\ \lambda_i * g_i(x) &= 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

και

$$\sum_{l=1}^k W_l \nabla f_l(x) - \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(x) = 0$$

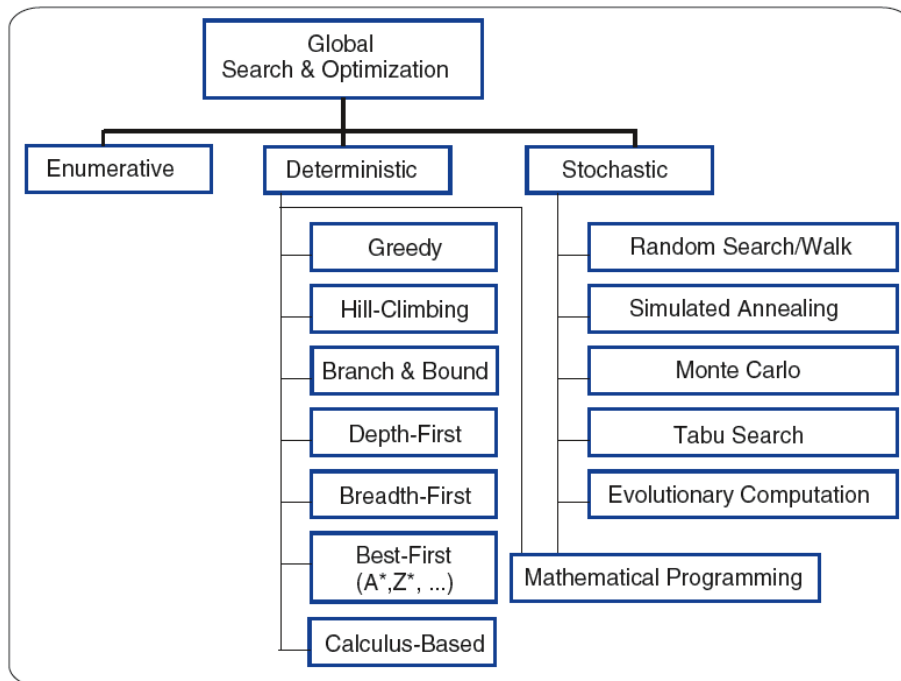
Οι συνθήκες αυτές είναι αναγκαίες για μία μη κατώτερη λύση και όταν όλες οι αντικειμενικές συναρτήσεις $f_i(x)$ είναι κοίλες και το Ω είναι ένα κυρτό σύνολο είναι και επαρκείς.

2.3.5 Η Σημασία του Αποφασίζοντα

Οι λύσεις πάνω στο βέλτιστο κατά Pareto μέτωπο PF^* είναι άριστες με την έννοια πως δεν μπορεί να βελτιωθεί η τιμή μιας αντικειμενικής συνάρτησης χωρίς να μειωθεί η τιμή τουλάχιστον μιας άλλης αντικειμενικής συνάρτησης. Αυτό αληθεύει για όλες τις λύσεις του PF^* . Συνεπώς είναι απαραίτητο ο αποφασίζων να επιλέξει κάποιες από τις λύσεις που βρίσκονται στο PF^* , οι οποίες αποτελούν τις αποδεκτές σύμφωνα με τα κριτήρια του αποφασίζοντα λύσεις. Αυτά τα κριτήρια αποτυπώνουν ουσιαστικά τις ανθρώπινες προτιμήσεις και δεν συμπεριλαμβάνονται στον αλγόριθμο επίλυσης του πολυκριτηριακού προβλήματος. Αυτό που οφείλουν να κάνουν οι μηχανικοί και οι επιστήμονες είναι να παρέχουν στον αποφασίζοντα όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία πάνω στο μέτωπο PF^* ώστε να έχει μεγαλύτερο εύρος επιλογής.

2.3.6 Κατηγοριοποίηση των Πολυκριτηριακών Προβλημάτων

Τα πολυκριτηριακά προβλήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2: Κατηγορίες Πολυκριτηριακών Προβλημάτων Βελτιστοποίησης [1]

2.4 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι και Τεχνικές

Σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής θα αναλύσουμε τις μεθόδους που αντλήθηκαν από τη διεθνή βιβλιογραφία και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της μεθοδολογίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.4.1 Η μέθοδος ϵ -constraint

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί τη βάση της μεθόδου AUGMECON, η οποία και χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική συνεπώς είναι ιδιαίτερος σημαντικό να τονιστεί το πώς υλοποιείται. Συγκεκριμένα:

Θεωρούμε ένα πρόβλημα πολυκριτηριακού προγραμματισμού που διατυπώνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \max & (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)) \\ \text{st } & x \in S, \end{aligned}$$

όπου x το διάνυσμα των μεταβλητών απόφασης, $f_1(x)$, $f_2(x)$, ..., $f_p(x)$ οι p αντικειμενικές συναρτήσεις και S το πεδίο τιμών των μεταβλητών απόφασης.

Στη μέθοδο ϵ -constraint βελτιστοποιούμε τη μία αντικειμενική συνάρτηση χρησιμοποιώντας τις υπόλοιπες αντικειμενικές συναρτήσεις ως περιορισμούς, ενσωματώνοντάς τες στο κομμάτι των περιορισμών του μοντέλου ως εξής:

$$\begin{aligned} & \max f_1(x) \\ & st \\ & \quad f_2(x) \geq e_2, \\ & \quad f_3(x) \geq e_3, \\ & \quad \dots \\ & \quad f_p(x) \geq e_p \\ & \quad x \in S. \end{aligned}$$

Με τη συνεχή διαφοροποίηση του δεξιού μέρους του κομματιού των περιορισμών (e_i) προκύπτουν οι αποτελεσματικές λύσεις του προβλήματος.

Η μέθοδος ϵ -constraint έχει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με την προϋπάρχουσα μέθοδο με συντελεστές βαρύτητας. Ειδικότερα:

- Σε γραμμικά προβλήματα η μέθοδος με συντελεστές βαρύτητας εφαρμόζεται στο αρχικό πεδίο τιμών των μεταβλητών απόφασης και τα αποτελέσματά της είναι ακραίες λύσεις, συνεπώς οι αποτελεσματικές λύσεις που προκύπτουν αποτελούνται μόνο από αυτές τις ακραίες λύσεις. Αντίθετα, η μέθοδος ϵ -constraint τροποποιεί το πεδίο τιμών των μεταβλητών και με τον τρόπο αυτό παράγει λύσεις που δεν αποτελούν απαραίτητα ακραίες λύσεις. Συνεπώς, είναι πιο αποτελεσματική σε μέθοδος καθώς με τη μέθοδο με συντελεστές βαρύτητας ελλοχεύει ο κίνδυνος να αναλωθούμε σε πολλές επαναλήψεις με διαφορετικά βάρη τα οποία όμως δίνουν την ίδια αποτελεσματική ακραία λύση. Από την άλλη, η μέθοδος ϵ -constraint παράγει σε κάθε επανάληψη διαφορετική αποτελεσματική λύση οδηγώντας στη δημιουργία μιας πιο εμπλουτισμένης αναπαράστασης του αποτελεσματικού συνόλου.
- Η μέθοδος με συντελεστές βαρύτητας δεν μπορεί να παράξει αποτελεσματικές λύσεις που δεν προκύπτουν από γραμμικό συνδυασμό των αντικειμενικών συναρτήσεων σε πολυκριτηριακά ακέραια και mixed προβλήματα, πρόβλημα που δεν αντιμετωπίζει η μέθοδος ϵ -constraint.
- Στη μέθοδο των συντελεστών βαρύτητας η τάξη μεγέθους των αντικειμενικών συναρτήσεων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα. Συνεπώς, πρέπει οι αντικειμενικές συναρτήσεις να τροποποιηθούν ώστε να έχουν όλες την ίδια τάξη μεγέθους. Στη μέθοδο ϵ -constraint δεν υπάρχει τέτοια αναγκαιότητα.

- Τέλος, να σημειώσουμε πως στη μέθοδο ε -constraint είναι δυνατό να ελέγξουμε τον αριθμό των παραχθέντων αποτελεσματικών λύσεων με κατάλληλη προσαρμογή του αριθμού των βημάτων σε κάθε αντικειμενική συνάρτηση, πράγμα που είναι αρκετά δύσκολο στη μέθοδο των συντελεστών βαρύτητας.

Παρατηρούμε πως η μέθοδος ε -constraint έχει αρκετά πλεονεκτήματα σχετικά με την προϋπάρχουσα μέθοδο των συντελεστών βαρύτητας. Ωστόσο, και αυτή η μέθοδος έχει κάποια θέματα τα οποία θίγονται παρακάτω. Ειδικότερα:

- Δυσκολία στον υπολογισμό του εύρους τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων (ιδίως ο υπολογισμός της ελάχιστης τιμής).
- Αβεβαιότητα για την αποτελεσματικότητα της λύσης που προέκυψε.
- Μεγάλες χρονικές απαιτήσεις για προβλήματα με περισσότερες από δύο αντικειμενικές συναρτήσεις.

Τα προαναφερθέντα θέματα αντιμετωπίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό στη μέθοδο AUGMECON που αναλύεται στη συνέχεια.

2.4.2 Η μέθοδος augmented ε -constraint (AUGMECON)

Η συγκεκριμένη μέθοδος αναπτύχθηκε από τον καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ κ. Γ. Μαυρωτά και ουσιαστικά αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση της μεθόδου ε -constraint. Οι τομείς στους οποίους η μέθοδος παρουσιάζει αξιόλογες βελτιώσεις αναλύονται στη συνέχεια. Συγκεκριμένα:

1. Υπολογισμός του εύρους τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων.

Προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε τις αντικειμενικές συναρτήσεις στο κομμάτι των περιορισμών πρέπει να εντοπίσουμε το εύρος τιμών που θα πάρουν. Η μέγιστη τιμή είναι εύκολη στον υπολογισμό καθώς αποτελεί ουσιαστικά την μέγιστη τιμή της βελτιστοποίησης της κάθε αντικειμενικής συνάρτησης. Αντίθετα, υπάρχει δυσκολία στον υπολογισμό της ελάχιστης τιμής του εύρους (nadir point). Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι να τίθεται ως ελάχιστο η μικρότερη τιμή που προκύπτει στον πίνακα τιμών (payoff table). Ωστόσο οι λύσεις που προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση της εκάστοτε αντικειμενικής συνάρτησης (και ακόλουθα την ελαχιστοποίηση κάποιων από τις υπόλοιπες) δεν είναι σίγουρα αποτελεσματικές κατά Pareto. Δηλαδή, δεν είναι σίγουρο πως π.χ. για δεδομένο $f_2(x) = \max$ οι αντικειμενικές συναρτήσεις $f_3(x), f_4(x), \dots, f_p(x)$ παίρνουν τη μέγιστη δυνατή τιμή τους. Συνεπώς οι λύσεις που προκύπτουν είναι αδύναμες

αποτελεσματικές λύσεις. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται η μέθοδος της λεξικογραφικής βελτιστοποίησης. Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά λειτουργεί ως εξής: Βελτιστοποιείται η πρώτη αντικειμενική συνάρτηση ($f_1(x) = \max$) στη συνέχεια βελτιστοποιούμε τη δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση ($f_2(x)$) προσθέτοντας ως νέο περιορισμό πως $f_1(x) = \max$. Ανάλογα και για τις υπόλοιπες αντικειμενικές συναρτήσεις

2. Βεβαιότητα για την αποτελεσματικότητα της λύσης

Προκειμένου να βεβαιώσουμε πως η λύση του προβλήματος είναι αποτελεσματική πρέπει οι περιορισμοί να των (p-1) αντικειμενικών συναρτήσεων να είναι δεσμευτικοί. Γι' αυτό το λόγο οι ανισώσεις στους περιορισμούς μετατρέπονται σε εξισώσεις με την εισαγωγή πλεονασματικών μεταβλητών, οι οποίες έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα στη λεξικογραφική βελτιστοποίηση. Δηλαδή το πρόβλημα μετατρέπεται από αυτή τη μορφή:

$$\begin{aligned} & \max f_1(x) \\ & st \\ & f_2(x) \geq e_2, \\ & f_3(x) \geq e_3, \\ & \dots \\ & f_p(x) \geq e_p \\ & x \in S. \end{aligned}$$

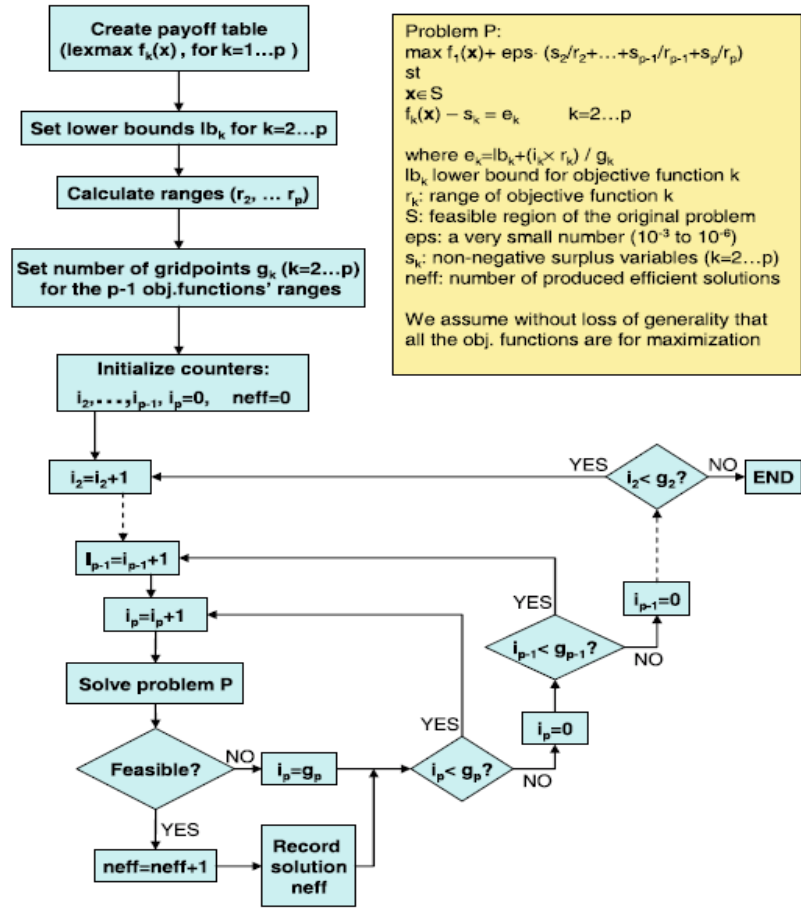
σε αυτή:

$$\begin{aligned} & \max (f_1(x) + eps * (s_2 + s_3 + \dots + s_p)) \\ & st \\ & f_2(x) - s_2 \geq e_2, \\ & f_3(x) - s_3 \geq e_3, \\ & \dots \\ & f_p(x) - s_p \geq e_p \\ & x \in S \text{ and } s_i \in R^+. \end{aligned}$$

όπου το ϵ_{ps} είναι ένας αρκετά μικρός αριθμός (συνήθως μεταξύ 10^{-3} και 10^{-6}). Αυτή η διαφοροποίηση στη διατύπωση του προβλήματος καθιστά βέβαιο πως οι λύσεις που θα προκύψουν θα είναι αποτελεσματικές κατά Pareto.

3. Μεγαλύτερη ταχύτητα στην εκτέλεση του αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος της μεθόδου είναι σαφώς ταχύτερος από την προϋπάρχουσα ϵ -constraint μέθοδο καθώς υπάρχει η δυνατότητα της εξόδου από τον εμφωλευμένο βρόχο όταν το πρόβλημα γίνει ανέφικτο. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος ξεκινά με πιο ελεύθερους τους περιορισμούς που προέκυψαν από αντικειμενικές συναρτήσεις και στην πορεία τους περιορίζει. Για κάθε έναν από τους περιορισμούς ξεκινά από την ελάχιστη τιμή της δεξιάς πλευράς της εξίσωσης και συνεχώς αυξάνει αυτή την τιμή. Όταν όμως το πρόβλημα γίνει ανέφικτο, καθίσταται σαφές πως δεν έχει νόημα η περαιτέρω αύξηση της τιμής της δεξιάς πλευράς του αντίστοιχου περιορισμού καθώς μια τέτοια αύξηση απλά θα μας δώσει και άλλες ανέφικτες λύσεις. Συνεπώς, ο αλγόριθμος σταματά την αύξηση της δεξιάς πλευράς του περιορισμού που μας οδήγησε σε ανέφικτη λύση και επικεντρώνεται στη μεγιστοποίηση του αμέσως επόμενου περιορισμού. Έτσι επιταχύνεται σημαντικά η διαδικασία εύρεσης των αποτελεσματικών λύσεων ιδίως σε περιπτώσεις που έχουμε παραπάνω από δύο αντικειμενικές συναρτήσεις. Τα παραπάνω αναπαρίστανται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3: Διάγραμμα Ροής Μεθόδου AUGMECON [22]

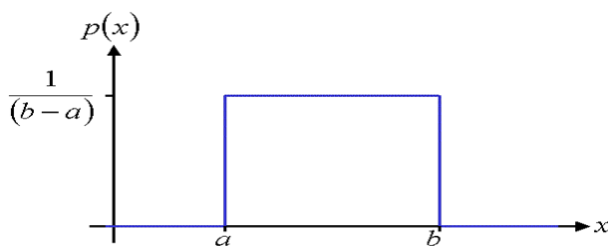
2.4.3 Η μεθοδολογία Monte Carlo

Η μεθοδολογία αυτή χρησιμεύει αφού τρέξουμε το μοντέλο για τις ακριβείς τιμές των EECR και NPV που έχουν αντληθεί, και εφόσον επιθυμούμε στη συνέχεια να εισάγουμε την έννοια της αβεβαιότητας για τις τιμές αυτές. Είναι δηλαδή μία μέθοδος η οποία αντιμετωπίζει αναλυτικά την αβεβαιότητα και αναπαριστά τον τρόπο με τον οποίο η αβεβαιότητα των εισόδων επιδρά στις εξόδους.

Η μέθοδος Monte Carlo είναι μια αριθμητική τεχνική επίλυσης μαθηματικών, φυσικών, οικονομικών και λοιπών προβλημάτων που χρησιμοποιεί τυχαίες μεταβλητές, όταν είναι αδύνατο να λυθεί το πρόβλημα με κάποιο ντετερμινιστικό αλγόριθμο. Βρίσκει πολλές εφαρμογές στο επιστημονικό πεδίο των βελτιστοποιήσεων, κυρίως όσον αφορά τη διαχείριση ρίσκου.

Στην προσομοίωση Monte Carlo επιλέγεται ως είσοδος μια τυχαία τιμή βασισμένη στο εύρος των εκτιμήσεων ή την πιθανοτική κατανομή, αν είναι διαθέσιμη. Το μοντέλο υπολογίζεται βασισμένο σε αυτήν την τυχαία τιμή. Το αποτέλεσμα καταγράφεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Μια τυπική προσομοίωση Monte Carlo υπολογίζει το μοντέλο εκατοντάδες ή χιλιάδες φορές, χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετική τυχαία επιλεγμένη τιμή. Όταν η επαναληπτική αυτή διαδικασία ολοκληρωθεί, έχουμε έναν μεγάλο αριθμό αποτελεσμάτων, βασιζόμενα πάντοτε σε τυχαίες τιμές εισόδου. Τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την πιθανότητα των διαφόρων εξόδων του μοντέλου.

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται στη συγκεκριμένη περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, κάνουμε την υπόθεση ότι οι μεταβλητές EECR και NPV ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή. Στη συνέχεια, λαμβάνουμε τυχαίες τιμές εντός της κατανομής (συγκεκριμένα με όρια 0.95 – 1.05) ως είσοδο σε κάθε επανάληψη, κάτι που υλοποιείται μέσω της γλώσσας GAMS. Σε κάθε επανάληψη, με τα νέα δεδομένα εισόδου κάθε φορά επιλύεται το πολυκριτηριακό πρόβλημα βελτιστοποίησης με χρήση της μεθόδου AUGMECON2 (μία βελτιωμένη έκδοση της AUGMECON) οπότε και προκύπτουν χρήσιμα αποτελέσματα. Η γραφική παράσταση της ομοιόμορφης κατανομής φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4: Η Ομοιόμορφη Κατανομή

2.4.4 Κωδικοποίηση των λύσεων

Είναι απαραίτητο πριν τη διενέργεια των διαφόρων επαναλήψεων της μεθόδου Monte Carlo να καθορίσουμε μια κωδικοποίηση για τον τρόπο παρουσίασης των λύσεων. Συγκεκριμένα, υιοθετούμε ένα μοντέλο όπου η κάθε επενδυτική επιλογή αναπαρίσταται ως μία δυαδική μεταβλητή (0 σημαίνει δεν επιλέγεται και 1 επιλέγεται η συγκεκριμένη επιλογή) και το σύνολο των επιλογών που αποτελούν την κατά Pareto αποτελεσματική λύση κωδικοποιούνται ως εξής:

$$code_p = \sum_{i=1}^N 2^{(i-1)} \times \bar{X}_i$$

Ως παράδειγμα δίνεται ο παρακάτω πίνακας όπου έχουμε 5 αποτελεσματικές κατά Pareto λύσεις και 10 δυαδικές μεταβλητές (επενδυτικά σχέδια).

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	code
POS 1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	628
POS 2	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	122
POS 3	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	590
POS 4	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	116
POS 5	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	855

Σχήμα 5: Παράδειγμα Κωδικοποίησης Αποτελεσμάτων [21]

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων εργαστήκαμε ως εξής:

- Αρχικά χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο AUGMECON2 με τις αρχικές τιμές των συντελεστών NPV και EECR, οπότε και προκύπτει το ακριβές μέτωπο Pareto, δηλαδή όλοι οι αποτελεσματικοί κατά Pareto συνδυασμοί των επενδυτικών πλάνων που είναι διαθέσιμα.
- Στη συνέχεια εισάγεται η έννοια της αβεβαιότητας με τις επαναλήψεις της μεθόδου Monte Carlo, στις οποίες οι συντελεστές (NPV και EECR) της κάθε επενδυτικής επιλογής διαφοροποιούνται. Από αυτές τις επαναλήψεις προκύπτουν ανάλογα πολλά μέτωπα Pareto, τα οποία με τη σειρά τους περιέχουν κάποιους αποτελεσματικούς συνδυασμούς.
- Μετράται η συχνότητα εμφάνισης κάθε αποτελεσματικού συνδυασμού του ακριβούς μετώπου Pareto στα μέτωπα που δημιουργήθηκαν με τη μέθοδο Monte Carlo και στη συνέχεια εξάγεται ο δείκτης ευστάθειας, ο οποίος επεξηγείται παρακάτω.

2.4.5 Δείκτης Ευστάθειας

Προκειμένου να ποσοτικοποιήσουμε την έννοια της ευστάθειας στον πολυκριτηριακό προγραμματισμό εισάγουμε την έννοια του δείκτη ευστάθειας. Συγκεκριμένα, για κάθε αποτελεσματική κατά Pareto λύση που συναντάται στο ακριβές μέτωπο Pareto μετράται η συχνότητα εμφάνισής της στις T επαναλήψεις που θα γίνουν με τη μέθοδο Monte Carlo. Έστω μία αποτελεσματική λύση έστω p^* η οποία βρέθηκε σε S_p από τα T σύνολα Pareto, η συχνότητα της F_p υπολογίζεται ως εξής:

$$F_p = \frac{S_p}{T}$$

Ο δείκτης ευστάθειας (RI robustness index) της συγκεκριμένης λύσης ορίζεται ως η τιμή της προαναφερθείσας συχνότητας.

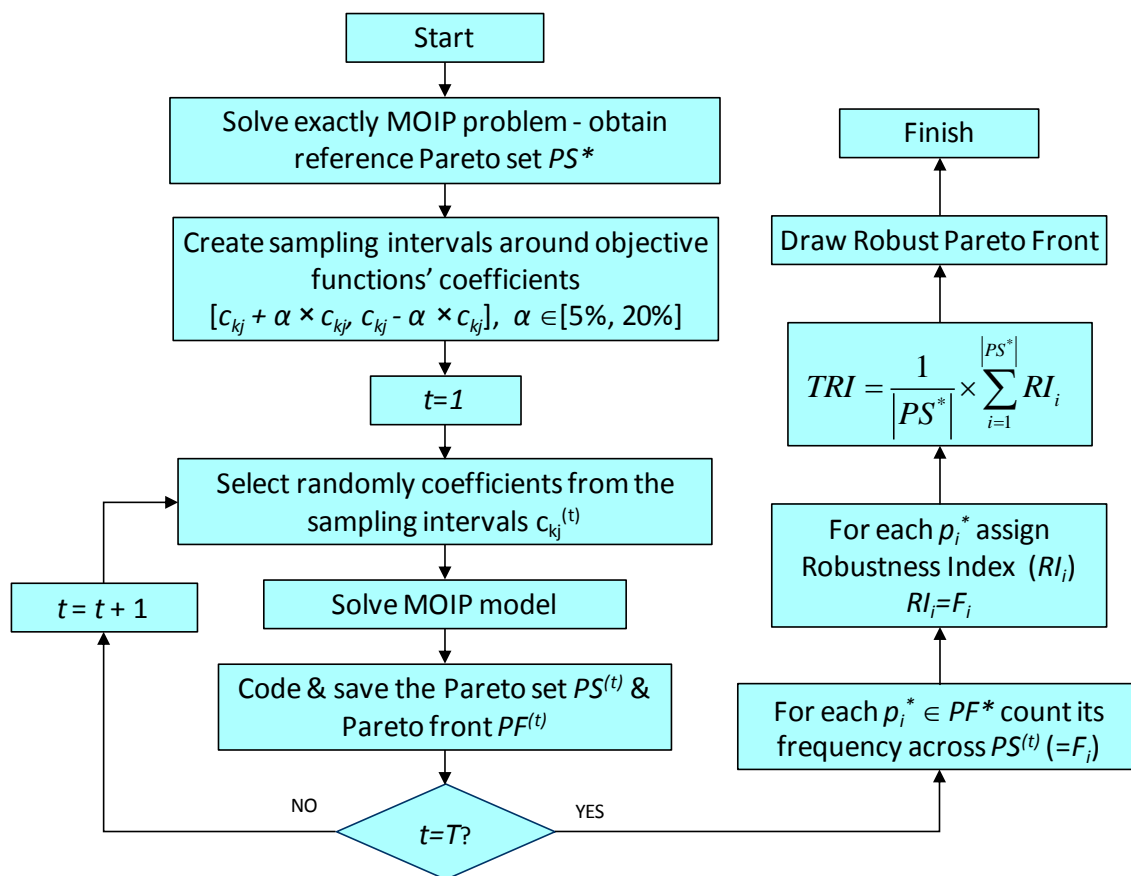
$$RI_p = F_p$$

Μπορούμε επίσης να υπολογίσουμε έναν δείκτη ευστάθειας αντιπροσωπευτικό του συνόλου Pareto, το συνολικό δείκτη ευστάθειας (TRI Total Robustness Index), ο οποίος είναι ο μέσος όρος των δεικτών ευστάθειας των αποτελεσματικών λύσεων που περιέχει.

$$TRI = \frac{\sum_{p=1}^{|PS^*|} RI_p}{|PS^*|}$$

Όπου $|PS^*|$ είναι το μέγεθος του ακριβούς μετώπου (ο αριθμός λύσεων που περιέχει).

Στις περιπτώσεις που έχουμε δύο ή και τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις, στις οποίες το μέτωπο Pareto αναπαρίσταται σε δύο και σε τρεις διαστάσεις αντίστοιχα, μπορούμε να δείξουμε ταυτόχρονα και την πληροφορία σχετικά με την ευστάθεια της κάθε μία αποτελεσματικής λύσης. Αυτό επιτυγχάνεται τροποποιώντας το μέγεθος του κάθε σημείου που απεικονίζει την αποτελεσματική λύση ανάλογα με την τιμή του αντίστοιχου δείκτη ευστάθειας. Αυτή η απεικόνιση είναι ζωτικής σημασίας για τον αποφασίζοντα καθώς μπορεί να παρατηρήσει με ευκολία τις περιοχές του μετώπου Pareto που είναι περισσότερο ευσταθής. Παρατίθεται το διάγραμμα ροής της παραπάνω μεθοδολογίας.



Σχήμα 6: Διάγραμμα Ροής για τον Υπολογισμό του R.I. [21]

Κεφάλαιο 3

Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη και Αξιολόγηση Επενδύσεων

3.1 Εισαγωγή

Στο κομμάτι αυτό της διπλωματικής θα αναλυθεί η έννοια της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης ενώ θα γίνει και μία σύντομη αναφορά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφόρων δεικτών αξιολόγησης επενδύσεων.

Οι κοινωνικές και πολιτικές αλλαγές που έχουν λάβει χώρα εξαιτίας της παγκοσμιοποίησης έχουν δημιουργήσει νέες απαιτήσεις σχετικά με τη διοίκηση και τις κοινωνικές ευθύνες των εταιρειών. Όλο και περισσότερες επιχειρήσεις όλων των μεγεθών και τομέων αντιλαμβάνονται τη σημασία του ρόλου τους στην κοινωνία καθώς και τα οφέλη μιας ενεργής πολιτικής όσο αναφορά την Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη (ΕΚΕ).

Ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός ευρωπαϊκών επιχειρήσεων καταφεύγει σε νέες πολιτικές σχετικά με την ΕΚΕ προκειμένου να ανταποκριθεί σε διάφορες κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές πιέσεις. Αυτές οι πολιτικές δίνουν το μήνυμα στο περιβάλλον της εταιρείας πως η τελευταία επενδύει στο μέλλον της και αναμένει πως αυτές οι εθελοντικές της κινήσεις θα ενισχύσουν μακροπρόθεσμα την κερδοφορία της.

Τα τελευταία χρόνια η έννοια της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης (ΕΚΕ) έχει μετατραπεί από απλή ιδεολογία σε πραγματικότητα και πλέον θεωρείται απαραίτητη για εταιρείες που επιθυμούν να αφήσουν το στίγμα τους στην κοινωνία και να πληρούν συγκεκριμένες ηθικές και κοινωνικές προδιαγραφές κατά τη λειτουργία τους. Ωστόσο, αν και οι περισσότερες επιχειρήσεις αντιλαμβάνονται την σπουδαιότητα της ΕΚΕ, δυσκολεύονται να επενδύσουν σε σχετικές πολιτικές κυρίως λόγω του υψηλού τους κόστους.

Ειδικότερα στην Ελλάδα όπου η χρηματοπιστωτική κρίση έχει πλήξει τον τομέα των επιχειρήσεων οι πρωτοβουλίες για δράσεις που δεν αποσκοπούν στην βραχυπρόθεσμη κερδοφορία της επιχείρησης είναι σαφώς μειωμένες. Εδώ έγκειται και το πρώτο σφάλμα στην προσέγγιση της ΕΚΕ από τις εταιρείες. Η υιοθέτηση μιας υπεύθυνης κοινωνικής και περιβαλλοντικής πολιτικής αποτελεί μια στέρεα βάση πάνω στην οποία μπορεί να στηριχθεί η κερδοφορία της επιχείρησης στα επόμενα χρόνια. Τα οφέλη μιας τέτοιας πολιτικής είναι πάμπολλα και σε διάφορους τομείς (επικοινωνιακός, εργασιακός, κοινωνικός κ.α.)

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε τον ιδιαίτερο ρόλο που διαδραματίζουν τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα στη δημιουργία κινήτρων για πολιτικές σύμφωνες με τα πρότυπα της ΕΚΕ. Συγκεκριμένα, με δεδομένο πως τα συγκεκριμένα ιδρύματα αποτελούν την κυριότερη πηγή ρευστότητας για τις επιχειρήσεις καθίσταται σαφές πως και αυτά θα πρέπει να λάβουν υπόψη τη σημασία της ΕΚΕ και να την συμπεριλάβουν στα κριτήρια αξιολόγησης για την παροχή δανειακής υποστήριξης στις εταιρείες. Η χορήγηση ενός δανείου δεν πρέπει να εστιάζει

αποκλειστικά στο άμεσο οικονομικό όφελος της επένδυσης αλλά στη συνολική συνεισφορά της στο κοινωνικό σύνολο, ιδίως σε μια δύσκολη εποχή όπως η σημερινή. Δυστυχώς, μέχρι στιγμής η χρηματοπιστωτική κρίση συρρικνώνει τα ανθρωπιστικά και κοινωνικά κριτήρια των χρηματοπιστωτικών οργανισμών και οξύνει τη σημασία της άμεσης οικονομικής απόδοσης. Είναι απαραίτητο αυτή η τάση να αντιστραφεί και η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση καθώς συνδυάζει τη μέριμνα για οικονομικά οφέλη με την περιβαλλοντική εταιρική κοινωνική ευθύνη.

3.2 Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη



Σχήμα 7: Πτυχές της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης

3.2.1 Ορισμός και Ιστορική Αναδρομή

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες οι επιχειρήσεις αντιμετώπισαν κριτική για τις πολιτικές που ακολουθούσαν. Ελάχιστο ενδιαφέρον για τον καταναλωτή καθώς και για την κοινωνία ως σύνολο, μικρή ύπαρξη ηθικών αξιών και αδιαφορία για το περιβάλλον ήταν κάποιες από τις κατηγορίες που οδήγησαν την κοινωνία στον επαναπροσδιορισμό των ευθυνών που έχει μια επιχείρηση απέναντι στο κοινωνικό σύνολο. Αυτός ο επαναπροσδιορισμός οδήγησε στην ανάπτυξη της έννοιας της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης.

Αν και δεν υπάρχει σαφής ορισμός της ΕΚΕ πρόκειται ουσιαστικά για τη συνεχή δέσμευση από την πλευρά των επιχειρήσεων να συμπεριφέρονται ηθικά και να συνεισφέρουν στην οικονομική ανάπτυξη ενώ ταυτόχρονα βελτιώνουν τις συνθήκες ζωής του εργατικού δυναμικού τους καθώς και της κοινωνίας ως σύνολο.

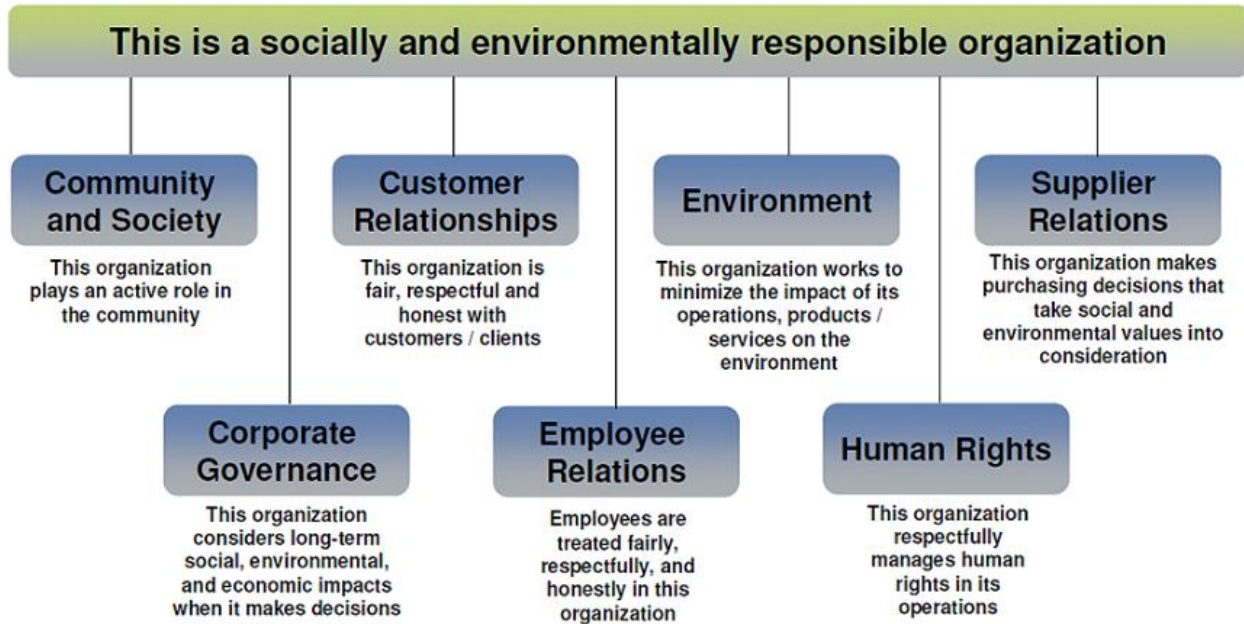
Η έννοια της κοινωνικής ευθύνης που επικρατούσε για μεγάλο χρονικό διάστημα βασιζόταν στο κλασικό οικονομικό μοντέλο. Συγκεκριμένα, με βάση την κλασική άποψη οι ανάγκες της κοινωνίας θα καλύπτονταν από τον αυτοματοποιημένο μηχανισμό που διέπει την ελεύθερη αγορά. Όμως, με το πέρασμα του χρόνου κατέστη σαφές πως από μόνη της η αγορά δεν μπορούσε να αντιμετωπίσει όλα τα κοινωνικά ζητήματα και τις απαιτήσεις που υπήρχαν από τις επιχειρήσεις όσο αναφορά το κοινωνικό σύνολο. Έτσι το μοντέλο της επιχείρησης μεταλλάχτηκε προκειμένου να αντιμετωπίσει τις νέες απαιτήσεις, οι οποίες δεν ήταν πλέον μόνο οικονομικές. Οι φιλανθρωπικές δράσεις και οι κοινωνικές πρωτοβουλίες έγιναν μέρος της εταιρικής πολιτικής.

Η εμφάνιση όλο και μεγαλύτερων επιχειρήσεων στα τέλη του 19ου αιώνα συνέβαλε ακόμα περισσότερο στην απομάκρυνση από την κλασική οικονομική άποψη περί κοινωνικών αναγκών. Η κοινωνία άλλαξε δομή καθώς οι μικρές, αδύναμες επιχειρήσεις που υπάκουαν στους νόμους της αγοράς έδιναν τη θέση τους σε μεγαλύτερες εταιρείες με συγκεντρωμένη δύναμη. Έγινε σαφές πως το ζήτημα της ευθύνης αυτών των νέων εταιριών ως προς το κοινωνικό σύνολο θα έπρεπε να διευθετηθεί.

Οι ιθύνοντες των νέων επιχειρήσεων διαπίστωσαν πως η κυβέρνηση είχε τη δύναμη να επέμβει στην οικονομία και συνεπώς υπήρχε η αναγκαιότητα να βρεθεί ένας παραλληλισμός μεταξύ της ανάπτυξης των εταιρειών και της γενικότερης κοινωνικής ευημερίας. Ο τρόπος που αυτό επετεύχθη ήταν οι φιλανθρωπικές δράσεις μέσω των οποίων κομμάτι των εσόδων των επιχειρήσεων ξοδευόταν προς όφελος της κοινωνίας.

Την περίοδο από το 1950 μέχρι και σήμερα η έννοια της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης έχει εξελιχθεί και διευρυνθεί σημαντικά. Δεν περιορίζεται πλέον στην τήρηση κάποιων γενικών κοινωνικών και ηθικών κανόνων αλλά εμπεριέχει πλέον συγκεκριμένα ζητήματα όπως η

ασφάλεια των προϊόντων, η ειλικρίνεια στη διαφήμιση, τα δικαιώματα των εργαζομένων και η πράσινη ανάπτυξη.



Σχήμα 8: Τομείς Υλοποίησης της ΕΚΕ

3.2.2 Υποχρεώσεις της επιχείρησης σύμφωνα με την ΕΚΕ

- *Οικονομικές Υποχρεώσεις:* Αν και συχνά παραλείπεται, πρέπει να τονίσουμε πως στην έννοια της ΕΚΕ συμπεριλαμβάνονται και οι οικονομικές υποχρεώσεις μιας επιχείρησης. Η τελευταία πρέπει να είναι ένας οργανισμός, ο οποίος παράγει αγαθά και υπηρεσίες χρήσιμες για την κοινωνία και τις πουλά σε δίκαιες τιμές.
- *Νομικές και Ηθικές Υποχρεώσεις:* Κάθε επιχείρηση έχει την υποχρέωση να συμμορφώνεται με την υπάρχουσα νομοθεσία αλλά και τον κώδικα αξιών της κοινωνίας. Αν και οι νόμοι είναι πολύ σημαντικοί, δεν περιλαμβάνουν όλες τις ηθικές αξίες που πρέπει να διέπουν τη λειτουργία της επιχείρησης. Συνεπώς, αυτή οφείλει να συμμορφώνεται με τις νόρμες και τα πρότυπα τα οποία αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά που οι καταναλωτές, οι εργαζόμενοι, οι μέτοχοι και η κοινωνία θεωρούν ηθικά σωστή.
- *Φιλανθρωπικές Υποχρεώσεις:* Αυτή η κατηγορία υποχρεώσεων είναι οι «εθελοντικές υποχρεώσεις» κάθε επιχείρησης. Οι σχετικές δράσεις που υλοποιεί η επιχείρηση δεν είναι υποχρεωτικές ούτε υπαγορεύονται από κάποιο νόμο. Όμως, μέσω αυτών των

δράσεων ενισχύεται η συνεργασία ανάμεσα στην επιχείρηση και την κοινωνία και γι' αυτό το λόγο έχουν εξέχουσα σημασία για τις εταιρείες σήμερα. Παραδείγματα τέτοιων φιλανθρωπικών δράσεων είναι η δωρεάν παροχή προϊόντων και υπηρεσιών, ο εθελοντισμός, οι συνεργασίες με μη κυβερνητικές οργανώσεις και τοπικές διοικήσεις προς όφελος του κοινωνικού συνόλου κ.α.

3.2.3 Η Περιβαλλοντική Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη

Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εστίασαμε στο περιβαλλοντικό κομμάτι της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης. Η Περιβαλλοντική Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη περιλαμβάνει όλες εκείνες τις πρωτοβουλίες που λαμβάνει η εταιρεία ώστε να βελτιώσει την επίδραση που έχει στο περιβάλλον. Τέτοιες πρωτοβουλίες μπορεί να είναι: αλλαγές στα προϊόντα της επιχείρησης ή και στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους, η υιοθέτηση πολιτικών για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και της παραγωγής αποβλήτων, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κ.α.

Καθίσταται σαφές πως η περιβαλλοντική ΕΚΕ αποτελεί ακόμα ένα βήμα προκειμένου να επιτευχθεί ο γενικότερος στόχος της αειφόρου ανάπτυξης. Μια οικονομία που στηρίζεται σε σωστές περιβαλλοντικές βάσεις έχει τόσο οικολογικά όσο και οικονομικά οφέλη. Συνεπώς, η υιοθέτηση ενός πλάνου με απώτερο σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη είναι επωφελής τόσο για τις αναπτυσσόμενες όσο και για τις ανεπτυγμένες χώρες. Ειδικότερα, η πράσινη ανάπτυξη μπορεί να ενισχύσει τα κέρδη των αναπτυσσόμενων χωρών από δραστηριότητες όπως η αλιεία και η καλλιέργεια της γης μιας και τέτοιες δραστηριότητες εξαρτώνται άμεσα από την υγεία των

θαλασσών και του εδάφους αντίστοιχα. Επίσης, μπορεί να μειωθεί αισθητά η ενεργειακή πενία μέσω της σωστής χρήσης ενεργειακών συστημάτων διαχείρισης ανανεώσιμων πηγών χαμηλού κόστους.

Παράλληλα, τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες η αιφόρος ανάπτυξη μπορεί να αποτελέσει το έναυσμα για νέες και καινοτόμες δράσεις, οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας και να ενισχύσουν την ενεργειακή ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της βιομηχανίας. Παρουσιάζονται όλο και περισσότερες ευκαιρίες για επενδύσεις σε τομείς όπως ο κτιριακός, των μεταφορών και ο ενεργειακός, οι οποίες μπορεί να είναι ιδιαίτερος κερδοφόρος αν γίνει σωστή εκμετάλλευση των κονδυλίων που δίνονται.

Τα οικολογικά οφέλη της αιφόρου ανάπτυξης επίσης δεν πρέπει να παραμελούνται. Συγκεκριμένα, μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση προβλημάτων παγκόσμιας κλίμακας όπως η κλιματική αλλαγή, η απώλεια της βιοποικιλότητας, η εξάντληση των φυσικών πόρων και η ατμοσφαιρική ρύπανση.

Στον οικονομικό τομέα η υιοθέτηση μιας οικολογικής πολιτικής μπορεί να έχει πάμπολλα οφέλη. Ειδικότερα, μια πράσινη οικονομία έχει περισσότερες ευκαιρίες για εξαγωγές με πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα τις εξαγωγές βιοκαυσίμων καθώς και γνώσης πάνω σε τεχνολογίες σχετικές με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ και οι ανεμογεννήτριες. Παράλληλα, οι επιχειρήσεις που θα ενστερνιστούν μια πιο οικολογική προσέγγιση κατά την παραγωγική τους δραστηριότητα θα αποφύγουν πολλές από τις όλο και αυξανόμενες κυρώσεις για μη συμμόρφωση με τα παγκόσμια περιβαλλοντικά πρότυπα (ιδιαίτερα επιχειρήσεις που εξάγουν προϊόντα στην Ευρωπαϊκή Ένωση).

Καθίσταται σαφές πως η Περιβαλλοντική Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη και κατ' επέκταση η αιφόρος ανάπτυξη αποτελούν έννοιες που θα διαδραματίσουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία και συνεπώς είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν δράσεις για την υλοποίησή τους.

3.2.4 Υπολογισμός Περιβαλλοντικής ΕΚΕ

Αν και η σημασία της περιβαλλοντικής ΕΚΕ δεν αμφισβητείται και η υλοποίηση σχετικών δράσεων κρίνεται απαραίτητη για κάθε επιχείρηση, παρουσιάζονται αρκετά προβλήματα στο κομμάτι της μετατροπής της σε μετρήσιμο μέγεθος. Η βάση αυτών των προβλημάτων είναι η δυσκολία που υπάρχει στον σαφή ορισμό της ως έννοια. Ειδικότερα, οι υπάρχοντες ορισμοί έχουν εστιάσει κυρίως σε 6 διαφορετικές διαστάσεις:

1. *Διοίκηση*
2. *Αξιοπιστία*
3. *Περιβαλλοντική Απόδοση*
4. *Περιβαλλοντικό Όραμα και Στρατηγική*
5. *Περιβαλλοντικές Δαπάνες*
6. *Εσωτερικές Περιβαλλοντικές Πρωτοβουλίες*

Καθίσταται σαφές πως υπάρχουν πολλές απόψεις σχετικά με την έννοια της περιβαλλοντικής ΕΚΕ και έλλειψη ενός ενιαίου πλαισίου το οποίο μπορεί να αποτελέσει τη βάση για έναν γενικά αποδεκτό τρόπο μέτρησής της. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μεθοδολογίες για την ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής ΕΚΕ, όμως κάθε μία εστιάζει σε διαφορετικά σημεία. Κάποια παραδείγματα δίνονται παρακάτω.

- **Pinitch et al.(1998)** Εστιάζει σε: Συστήματα οργάνωσης της επιχείρησης, σχέσεις με το περιβάλλον, περιβαλλοντική επίδραση, συμμόρφωση με νόμους και ρυθμίσεις, δημόσια εικόνα.
- **Jose and Lee (2007)** Εστιάζει σε: Σχεδιασμό, αφοσίωση των υψηλών στελεχών, επιχειρησιακές δομές, ηγεσία, έλεγχο, επικοινωνίες, εξωγενείς πιστοποιήσεις.
- **Clarkson et al.(2008)** Εστιάζει σε: Διοίκηση, αξιοπιστία, περιβαλλοντική απόδοση, δαπάνες, όραμα και στρατηγική, προφίλ της επιχείρησης, πρωτοβουλίες.
- **Rahman and Post (2011)** Εστιάζει σε: Διοίκηση, αξιοπιστία, περιβαλλοντική απόδοση.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, καθορίζουμε τους 5 πιο κομβικούς τομείς που σχετίζονται με την ενεργειακή και περιβαλλοντική συμπεριφορά μίας επιχείρησης, έχοντας ως οδηγό το σύστημα GRI. Οι τομείς αυτοί είναι οι εξής:

- Κατανάλωση Ενέργειας
- Εκπομπές Αερίων
- Διαχείριση Αποβλήτων
- Διαχείριση Νερού
- Περιβαλλοντικές & Ενεργειακές Επενδύσεις

Η ανάλυση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής ΕΚΕ σε 5 δείκτες φαίνεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 9: Η περιβαλλοντική ΕΚΕ [24]

Οι παραπάνω τομείς χρησιμοποιούνται ως δείκτες για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κάθε επιχείρησης. Οι δείκτες αυτοί στη συνέχεια υπόκεινται σε κατάλληλη επεξεργασία και κανονικοποίηση, έτσι ώστε να αναφέρονται σε κοινές μονάδες μέτρησης. Κατά τη διαδικασία αυτή μετράται η ποσοστιαία μεταβολή κάθε δείκτη από περίοδο σε περίοδο. Κατά συνέπεια, οι όλοι οι δείκτες εκφράζονται τελικά στη μορφή ποσοστιαίων μεταβολών και με αυτό τον τρόπο έχει επιτευχθεί η μετατροπή σε κοινή μονάδα μέτρησης. Τέλος, οι τιμές που προέκυψαν συνδυάζονται με κατάλληλο τρόπο και προκύπτει η τελική τιμή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος για κάθε επιχείρηση που μας ενδιαφέρει. Συγκεκριμένα, για τη στάθμιση χρησιμοποιούμε ισοβαρή κατανομή, δηλαδή θεωρείται ότι από τη στιγμή που οι δείκτες που επιλέχθηκαν αναφέρονται σε 5 βασικούς και ισότιμους μεταξύ τους τομείς, η βαρύτητα που θα πρέπει να επιδειχτεί σε κάθε τομέα θα πρέπει να είναι ισότιμη και ποσοτικά ίδια.

Έχουμε συνεπώς πλέον στη διάθεσή μας τις απαραίτητες τιμές της ενεργειακής και περιβαλλοντικής ΕΚΕ κάθε εταιρίας, που θα χρησιμοποιηθούν στο υπολογιστικό τμήμα του κεφαλαίου 5. Από εδώ και στο εξής η ενεργειακή και περιβαλλοντική ΕΚΕ θα αναφέρεται με τη συντομογραφία EECR. Αυτή η συντομογραφία αντιστοιχεί στην αγγλική διατύπωση του συγκεκριμένου δείκτη, δηλαδή Energy Environmental Corporate Responsibility.

3.3 Δείκτες Αξιολόγησης Επενδύσεων

Σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής εργασίας θα γίνει αναφορά στους διάφορους δείκτες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της οικονομικής αποδοτικότητας των επενδύσεων. Οι πλέον συνηθισμένοι είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR), η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPP), όμως θα αναφερθούμε και σε κάποιες παραλλαγές τους που επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως.

➤ Έντοκη περίοδος αποπληρωμής

Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται προκειμένου ο επενδυτής να αποκομίσει ως κέρδος από την επένδυση το σύνολο του αρχικού του κεφαλαίου. Για παράδειγμα μια επένδυση 100€ η οποία αποδίδει στον επενδυτή 50€ ετησίως έχει έντοκη περίοδο αποπληρωμής 2 χρόνια. Κατά την αξιολόγηση επενδύσεων οι μικρότερες έντοκες περιόδοι αποπληρωμής προτιμώνται.

Ως δείκτης, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής χρησιμοποιείται αρκετά συχνά καθώς είναι αρκετά εύκολος ο υπολογισμός της και είναι αρκετά κατανοητή. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί πως ως μέθοδος ανάλυσης έχει αρκετά μειονεκτήματα καθώς δεν λαμβάνει υπόψη έννοιες όπως η χρονική αξία του χρήματος και το κόστος ευκαιρίας. Επίσης πρέπει να τονίσουμε πως μια επένδυση μπορεί να επιφέρει πολύ μεγάλα έσοδα μετά την έντοκη περίοδο αποπληρωμής, όμως αυτό το γεγονός δεν αποτυπώνεται καθόλου στα αποτελέσματα του δείκτη. Γι' αυτό το λόγο είναι πλέον γενικώς αποδεκτό πως η έντοκη περίοδος αποπληρωμής δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται μεμονωμένα για την αξιολόγηση μιας επένδυσης αλλά σε συνδυασμό με άλλους δείκτες όπως ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και η καθαρή παρούσα αξία.

➤ Καθαρή Παρούσα Αξία

Η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value) αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο δείκτη μέτρησης της οικονομικής απόδοσης μιας επένδυσης. Είναι το άθροισμα της παρούσας αξίας όλων των χρηματικών ροών ενός επενδυτικού πλάνου (θετικών και αρνητικών). Ο τύπος για τον υπολογισμό της δίνεται παρακάτω.

$$NPV(i, N) = \sum_{t=0}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

t : ο χρόνος που έγινε η χρηματική ροή

i : το προεξοφλητικό επιτόκιο
R : η μεικτή χρηματική ροή

Η καθαρή παρούσα αξία αποτυπώνει την αξία που προσθέτει στην επιχείρηση κάθε επενδυτικό πλάνο. Αν η τιμή της είναι θετική τότε το πλάνο μπορεί να θεωρηθεί ως μία αξιόλογη επένδυση, ενώ αν η τιμή της είναι αρνητική τότε θεωρητικά τουλάχιστον το συγκεκριμένο επενδυτικό πλάνο δεν θα πρέπει να υλοποιηθεί. Να σημειωθεί ωστόσο πως ούτε η καθαρή παρούσα αξία λαμβάνει υπόψη το κόστος ευκαιρίας και συνεπώς πριν γίνει οποιαδήποτε επένδυση θα πρέπει να συγκριθεί με άλλες επιλογές που μπορεί να υπάρχουν για την εταιρεία.

➤ *Δείκτης Κερδοφορίας*

Ο δείκτης κερδοφορίας (Profitability Index) υπολογίζεται ως ο λόγος των κερδών από μια επένδυση προς το αρχικό της κόστος. Είναι ένα αρκετά χρήσιμο επενδυτικό εργαλείο μιας και αποτυπώνει την αξία που προσδίδει το κάθε επενδυτικό πλάνο ανά μονάδα αρχικού κόστους.

$$\text{Profitability index} = \frac{\text{PV of future cash flows}}{\text{Initial investment}}$$

Η αξιολόγηση μιας επένδυσης με βάση την τιμή του συγκεκριμένου δείκτη γίνεται ως εξής: Αν ο δείκτης κερδοφορίας είναι μεγαλύτερος της μονάδας τότε η επένδυση είναι ένα αξιόλογο επενδυτικό πλάνο. Σε περίπτωση που είναι ίσος με τη μονάδα τότε απλά η επένδυση θα επιφέρει μελλοντικά έσοδα με παρούσα αξία ίση με το αρχικό κόστος και σε άλλη περίπτωση το επενδυτικό πλάνο δεν θα πρέπει να υλοποιηθεί. Για τη σύγκριση ανάμεσα στις επενδύσεις όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη τόσο πιο ελκυστική είναι η επένδυση.

➤ *Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης*

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών μετά από φόρους οι οποίες προέρχονται από την επένδυση με το αρχικό κόστος της επένδυσης. Με άλλα λόγια, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης.

Εάν ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος ή ίσος με την απαιτούμενη απόδοση, η επένδυση γίνεται αποδεκτή. Στην αντίθετη περίπτωση, η πρόταση απορρίπτεται. Το κριτήριο αποδοχής βασίζεται στην ακόλουθη άποψη: Εάν η επιχείρηση αποδεχτεί ένα πρόγραμμα με εσωτερικό βαθμό απόδοσης ο οποίος υπερβαίνει το κόστος των κεφαλαίων τα οποία

χρησιμοποιήθηκαν για την χρηματοδότηση του συγκεκριμένου προγράμματος, το πλεόνασμα το οποίο απομένει μετά την αποπληρωμή των κεφαλαίων το καρπώνονται οι μέτοχοι της επιχείρησης. Κατά συνέπεια η παραπάνω αποδοχή αυξάνει την χρηματιστηριακή τιμή της μετοχής της επιχείρησης και επομένως και τον πλούτο των μετοχών της. Στην περίπτωση αυτή, η απαιτούμενη απόδοση ονομάζεται και συντελεστής απόρριψης.

Το κυριότερο μειονέκτημα του εσωτερικού βαθμού απόδοσης είναι πως μερικές φορές μπορεί να υπάρχουν πολλά επιτόκια που μηδενίζουν την καθαρή αξία της επένδυσης (κυρίως όταν οι χρηματικές ροές είναι και θετικές και αρνητικές). Σε αυτή την περίπτωση κανένα από αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι απόλυτα σωστό και δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική απόδοση της επένδυσης. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι καλύτερο να εφαρμοστεί η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας για την αξιολόγηση της επένδυσης.

3.3.1 Επιλογή Δείκτη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας το οικονομικό κριτήριο στο οποίο στηρίζεται η επιλογή της ενεργειακής επιχείρησης προς επένδυση είναι αυτό της βιωσιμότητας. Για διευκόλυνση των υπολογισμών, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μόνο δείκτη για την αποτίμησή της. Ως καταλληλότερος δείκτης επιλέχθηκε η καθαρή παρούσα αξία (NPV). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, με κυριότερο ότι χρησιμοποιεί τις ταμειακές ροές και όχι τα καθαρά έσοδα. Οι ταμειακές ροές (καθαρά έσοδα συν απόσβεση) συμπεριλαμβάνουν την απόσβεση στις πηγές άντλησης κεφαλαίου. Αυτό ισχύει επειδή η απόσβεση δεν αποτελεί χρηματική δαπάνη κατά το έτος που αποσβένεται το στοιχείο. Επίσης, ήταν ευκολότερο να αντλήσουμε δεδομένα για την NPV για τις 40 επιχειρήσεις που θα μελετήσουμε, σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες.

Κεφάλαιο 4

Μελέτη του Προβλήματος

4.1 Εισαγωγή

Στο κομμάτι αυτό της εργασίας θα παρουσιαστεί το μαθηματικό υπόβαθρο του προβλήματος. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, ο αποφασίζων (ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα) καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε διάφορες επιχειρήσεις που αιτούνται χρηματοδότησης έχοντας ως κριτήρια την οικονομική αποδοτικότητα και την περιβαλλοντική εταιρική κοινωνική ευθύνη. Ωστόσο, εκτός από την ύπαρξη δύο αντικειμενικών συναρτήσεων εισάγονται στο πρόβλημα και διάφορων ειδών περιορισμοί (προϋπολογισμού, τομεακοί κ.α.) οι οποίοι καθιστούν ακόμα πιο απαιτητική τη διαδικασία επίλυσής του.

Το πρόβλημα κωδικοποιείται ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ακέραιου προγραμματισμού στο οποίο εισάγουμε μια δυαδική μεταβλητή απόφασης b_i , της οποίας η τιμή αντικατοπτρίζει την επιλογή ή μη ενός επενδυτικού σχεδίου.

- $b_i = 1$ ➡ Το επενδυτικό πρόγραμμα i επιλέγεται για χρηματοδότηση
- $b_i = 0$ ➡ Το επενδυτικό πρόγραμμα i δεν επιλέγεται για χρηματοδότηση

4.2 Τυποποίηση των 2 αντικειμενικών συναρτήσεων

Όπως αναφέρθηκε, οι αντικειμενικές συναρτήσεις είναι 2 και έχουν την εξής μορφή:

$$\max Z1 = \sum_{i=1}^n EECR(i) * b(i)$$

$$\max Z2 = \sum_{i=1}^n NPV(i) * b(i)$$

Οι συμβολισμοί της παραπάνω εξίσωσης είναι:

- n : ο συνολικός αριθμός των επιχειρήσεων που αιτούνται για δάνειο
- EECR: η τιμή της περιβαλλοντικής ΕΚΕ κάθε επιχείρησης
- NPV: η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας κάθε επένδυσης

4.3 Τυποποίηση των περιορισμών

Παρουσιάζονται τα τέσσερα διαφορετικά είδη περιορισμών που θα χρησιμοποιηθούν και διατυπώνονται μαθηματικά. Το χρηματοπιστωτικό ίδρυμα επιβάλλει τους περιορισμούς έτσι ώστε να υλοποιήσει διάφορες πολιτικές, όπως για παράδειγμα την εξασφάλιση ότι συγκεκριμένες περιοχές και τομείς θα λάβουν τουλάχιστον ένα ελάχιστο ποσό δανείου.



Σχήμα 10: Είδη Περιορισμών

4.3.1 Περιορισμοί Προϋπολογισμού

Ο σημαντικότερος παράγοντας που δεσμεύει τη διαδικασία χορήγησης δανείου είναι το περιορισμένο προς διάθεση κεφάλαιο από πλευράς του χρηματοπιστωτικού οργανισμού. Ο οργανισμός έχει αποφασίσει να διαθέσει ένα συγκεκριμένο κεφάλαιο για δάνεια και το άθροισμα των δανείων που αιτούνται οι επιχειρήσεις δεν μπορεί να ξεπερνάει το ποσό αυτό. Μαθηματικά αυτό διατυπώνεται ως εξής:

$$\sum_{i=1}^n Budget(i) * b(i) \leq AVB$$

Όπου

- Budget είναι το ύψος του δανείου που αιτείται κάθε επιχείρηση
- AVB (available budget) είναι το κεφάλαιο που έχει αποφασίσει η τράπεζα να διαθέσει για δάνεια.

Επίσης, μπορούμε να θέσουμε περιορισμούς προϋπολογισμού και για τους τομείς και τις γεωγραφικές περιοχές των επιχειρήσεων. Αυτού του είδους οι περιορισμοί θα έχουν τη μορφή:

$$\sum_{i=1(i \in s)}^n Budget(i) * b(i) \geq AVB(s)$$

$$\sum_{i=1(i \in g)}^n Budget(i) * b(i) \geq AVB(g)$$

Η πρώτη ανίσωση αφορά τους τομείς, εφόσον ο δείκτης s αναπαριστά τους τομείς στους οποίους χωρίζονται οι επιχειρήσεις. Η δεύτερη εξίσωση αντίστοιχα αναφέρεται στους γεωγραφικούς περιορισμούς προϋπολογισμού, κάτι που ορίζεται μέσω του δείκτη g . Με αυτό τον τρόπο, και σύμφωνα με τη φορά των δύο παραπάνω ανισώσεων, εξασφαλίζεται ότι σίγουρα θα δανειοδοτηθεί ένας αριθμός επιχειρήσεων κάθε γεωγραφικής περιοχής και τομέα.

4.3.2 Περιορισμοί Συνολικού Αριθμού Επιχειρήσεων

Ανάλογα με την πολιτική της εκάστοτε τράπεζας, τίθενται περιορισμοί ως προς τον συνολικό αριθμό των επιχειρήσεων που θα δανειοδοτηθούν. Η επιβολή του κάτω ορίου έχει ιδιαίτερη σημασία και στοχεύει να εξαλείψει φαινόμενα όπου το διατιθέμενο κεφάλαιο της τράπεζας καρπώνονται μόνο λίγες μεγάλες επιχειρήσεις, αποκλείοντας με αυτό τον τρόπο τις μικρότερες, που αναπόφευκτα είναι λιγότερο αποδοτικές. Παράλληλα, τίθενται και άνω όρια έτσι ώστε το κεφάλαιο να μην διασκορπιστεί σε πάρα πολλές επιχειρήσεις, κάτι που θα αποφέρει αρκετές διαδικαστικές δυσκολίες. Έχουμε λοιπόν την ανίσωση:

$$N_{low} \leq \sum_{i=1}^n b(i) \leq N_{high}$$

Όπου

- N_{low} είναι ο ελάχιστος αριθμός επιχειρήσεων που επιθυμούμε να δανειοδοτηθούν
- N_{high} είναι ο μέγιστος αριθμός επιχειρήσεων που επιθυμούμε να δανειοδοτηθούν

4.3.3 Τομεακοί Περιορισμοί (sectorial constraints)

Οι επιχειρήσεις που θα μελετηθούν ανήκουν στους εξής κλάδους: Ενέργεια, Βιομηχανία, Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός, Λιανικές Πωλήσεις – Άλλο. Ανάλογα με την πολιτική που ακολουθούμε, ορίζονται περιορισμοί χρηματοδότησης ανά κλάδο. Αυτό μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής:

$$N_{low}(s) \leq \sum_{i=1(i \in S)}^n b(i) \leq N_{high}(s)$$

Όπου

- $N_{low}(s)$ είναι ο ελάχιστος αριθμός επιχειρήσεων για κάθε τομέα
- $N_{high}(s)$ είναι ο μέγιστος αριθμός επιχειρήσεων για κάθε τομέα
- s είναι ο κάθε τομέας στον οποίο χωρίζονται οι επιχειρήσεις

Εφόσον έχουμε 4 τομείς δραστηριοποίησης, θα προκύψουν 4 ανισώσεις αυτού του είδους, καθεμία για κάθε τομέα δραστηριοποίησης.

4.3.4 Γεωγραφικοί Περιορισμοί (geographical constraints)

Οι 40 επιχειρήσεις που θα μελετήσουμε στη συνέχεια διαχωρίζονται επίσης ως προς την τοποθεσία τους. Οι επιχειρήσεις αυτές, που είναι Ελληνικές και Ευρωπαϊκές, χωρίζονται στις εξής περιοχές: Αττική, South Europe, Central Europe, North Europe. Μπορούμε να ενσωματώσουμε γεωγραφικούς περιορισμούς στο πρόβλημα ως εξής:

$$N_{low}(g) \leq \sum_{i=1(i \in g)}^n b(i) \leq N_{high}(g)$$

Όπου

- $N_{low}(g)$ είναι ο ελάχιστος αριθμός επιχειρήσεων για κάθε γεωγραφική περιοχή
- $N_{high}(g)$ είναι ο μέγιστος αριθμός επιχειρήσεων για κάθε γεωγραφική περιοχή
- g είναι η κάθε γεωγραφική περιοχή στην οποία χωρίζονται οι επιχειρήσεις

4.4 Βήματα Υλοποίησης της Μεθόδου

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη του προβλήματος παρουσιάζονται παρακάτω σε σχηματική μορφή και αναλύονται στη συνέχεια.



Σχήμα 11: Βήματα Υλοποίησης της Μεθόδου

- **Βήμα 1ο** : Σε αυτό το βήμα χρησιμοποιήθηκαν οι αρχικές τιμές των NPV και EECR και με χρήση της μεθόδου AUGMECON επιλύθηκε το πρόβλημα της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίστηκε το αποτελεσματικό κατά Pareto σύνολο P^* και σχεδιάστηκε το αρχικό αποτελεσματικό κατά Pareto μέτωπο PF^* . Με αυτό τον τρόπο αποκτήσαμε το σύνολο των βέλτιστων κατά Pareto λύσεων με βάση τις αρχικές τιμές που μας δόθηκαν οι οποίες θα αποτέλεσαν τη βάση της ανάλυσης ευστάθειας που έγινε στη συνέχεια.
- **Βήμα 2ο** : Στη συνέχεια εισήχθη η έννοια της αβεβαιότητας στο πρόβλημα μέσω της μεθόδου Monte Carlo. Συγκεκριμένα, οι τιμές των NPV και EECR πλέον επιλέγονται τυχαία σε κάθε επανάληψη της μεθόδου Monte Carlo από μία ομοιόμορφη κατανομή με όρια $[0.95 - 1.05]$ επί την ακριβή τιμή της κάθε μεταβλητής. Γίνονται 1000 επαναλήψεις της μεθόδου και σε κάθε μία επανάληψη προκύπτει ένα διαφορετικό σύνολο P^* και μέτωπο PF^* . Ωστόσο, δεν ενδιαφερόμαστε για τις λύσεις που δεν υπήρχαν στο αρχικό μέτωπο καθώς οι τελευταίες είναι οι βέλτιστες με βάση τα ακριβή δεδομένα του προβλήματος.
- **Βήμα 3ο** : Σε αυτό το βήμα υπολογίζεται για κάθε μία από τις αποτελεσματικές κατά Pareto λύσεις που υπολογίστηκαν στο πρώτο βήμα ο δείκτης ευστάθειας. Ειδικότερα, υπολογίζουμε το συγκεκριμένο δείκτη για τις πρώτες 10, 100, 500 και 1000 επαναλήψεις και παρατηρούμε πως μεταβάλλεται ο δείκτης του εκάστοτε χαρτοφυλακίου με την αλλαγή του αριθμού των επαναλήψεων που λαμβάνονται στη μέτρηση.
- **Βήμα 4ο** : Μετά την υλοποίηση της μεθόδου Monte Carlo και τον υπολογισμό του δείκτη ευστάθειας αναλύονται τα χαρακτηριστικά των εταιριών που περιλαμβάνονται στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια. Ειδικότερα, παρατηρούμε ποιες από τις 40 δεν περιλαμβάνονται σε κανένα από τα 34 βέλτιστα χαρτοφυλάκια και επίσης εστιάζουμε στα χαρακτηριστικά αυτών που αποτελούν μέρος των πλέον ευσταθών χαρτοφυλακίων (Robustness Index $\geq 90\%$)

Κεφάλαιο 5

Εφαρμογή και Αποτελέσματα

5.1 Δεδομένα

Στα πλαίσια του προβλήματος που μελετήθηκε χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 40 Ευρωπαϊκές επιχειρήσεις, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τη γεωγραφική περιοχή και τον τομέα δραστηριοποίησης. Συγκεκριμένα:

Γεωγραφική Περιοχή	Τομέας Δραστηριοποίησης
11 Νοτιοευρωπαϊκές επιχειρήσεις (Γ1)	11 Ενεργειακές επιχειρήσεις (Τ1)
10 Βορειοευρωπαϊκές επιχειρήσεις (Γ2)	9 Βιομηχανικές επιχειρήσεις (Τ2)
13 Κεντροευρωπαϊκές επιχειρήσεις (Γ3)	7 Επιχειρήσεις ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (Τ3)
6 Ελληνικές επιχειρήσεις (Γ4)	13 Επιχειρήσεις λιανικών πωλήσεων / άλλης κατηγορίας (Τ4)

Πίνακας 1: Είδη Επιχειρήσεων

Τα δεδομένα για κάθε μία από τις 40 επιχειρήσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	EECR (%)	NPV (€)	Budget (€)	Τομέας	Περιοχή
1	12.97	2,500	5,930	T1	Γ3
2	14.66	49,800	50,830	T1	Γ3
3	9.76	8,300	5,000	T1	Γ2
4	6.23	63,600	33,860	T1	Γ3
5	6.99	244,600	191,870	T2	Γ1
6	14.64	36,700	37,500	T2	Γ1
7	7.10	14,100	6,070	T2	Γ1
8	11.92	22,500	23,030	T2	Γ4
9	11.81	261,300	190,000	T2	Γ1
10	21.59	455,000	422,670	T3	Γ2
11	13.64	696,800	415,000	T3	Γ1
12	13.59	53,900	39,330	T3	Γ1
13	3.86	238,900	95,330	T1	Γ4
14	9.62	3,400	5,630	T4	Γ1
15	40.00	600	7,370	T4	Γ1

16	2.95	74,600	37,670	T4	Γ2
17	25.87	4,900	30,100	T1	Γ4
18	5.25	12,500	5,700	T4	Γ2
19	11.39	389,900	909,310	T4	Γ3
20	11.67	378,100	160,300	T4	Γ4
21	15.39	53,100	26,190	T4	Γ2
22	17.13	51,400	161,010	T4	Γ3
23	5.76	460,100	353,420	T3	Γ1
24	8.93	422,800	184,410	T1	Γ3
25	16.12	146,900	87,910	T4	Γ2
26	12.38	477,100	614,620	T1	Γ2
27	7.19	431,600	277,040	T1	Γ3
28	21.95	208,500	158,790	T3	Γ3
29	4.70	324,400	1,410,180	T2	Γ1
30	18.07	324,100	533,640	T3	Γ1
31	7.75	603,200	529,130	T4	Γ2
32	4.54	648,800	396,670	T2	Γ4
33	19.18	179,600	123,640	T1	Γ3
34	15.85	220,000	149,770	T1	Γ1
35	22.01	204,300	93,050	T4	Γ2
36	4.04	352,100	311,780	T4	Γ3
37	19.39	223,000	772,970	T3	Γ2
38	17.81	228,800	117,580	T2	Γ3
39	12.86	428,500	190,870	T4	Γ4
40	5.85	516,100	262,030	T2	Γ1

Πίνακας 2: Δεδομένα Επιχειρήσεων

Επισημαίνεται ότι ο δείκτης EECR κάθε επιχείρησης λαμβάνει τιμές (%), διότι αναφέρεται σε ποσοστιαίες μεταβολές από έτος σε έτος. Το μέγεθος του χρηματικού ποσού που το χρηματοπιστωτικό ίδρυμα προτίθεται να διαθέσει για δάνεια (AVB) είναι 3.000.000 €.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια καταστρώθηκαν οι αντικειμενικές συναρτήσεις, διατυπώθηκαν μαθηματικά οι περιορισμοί και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν ως δεδομένα εισόδου της μεθόδου AUGMECON στη γλώσσα GAMS.

Όσο αναφορά τους περιορισμούς έγιναν τα εξής:

- $N_high=0,5 \cdot TOTPROJ$, όπου TOTPROJ είναι ο συνολικός αριθμός των επιχειρήσεων που θα δανειοδοτηθούν. Το N_high αναφέρεται τόσο στους γεωγραφικούς όσο και στους τομεακούς περιορισμούς.
- Αντίθετα, επιλέγουμε να μην φράξουμε τους περιορισμούς όσον αφορά τα κάτω όρια, συνεπώς θα ισχύει $N_low=0$ για όλες τις περιπτώσεις.

- Τέλος, επιλέγουμε $AVB(s)=AVB(g)=0,1 \cdot TOTBUDG$, όπου $TOTBUDG$ είναι το σύνολο των χρημάτων που τελικά θα διατεθούν από πλευράς του χρηματοπιστωτικού ιδρύματος. Όπως διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, ο αριθμός αυτός είναι πολύ κοντά στην τιμή του AVB , δηλαδή στο μέγιστο ποσό που το ίδρυμα είχε σκοπό να διαθέσει.

5.2 Υλοποίηση των μεθοδολογικών βημάτων

Σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του κάθε βήματος του κεφαλαίου 4 τα οποία συνοδεύονται και με σχετικά διαγράμματα.

5.2.1 Βήμα 1ο : Χρήση της μεθόδου AUGMECON για τον υπολογισμό και τη σχεδίαση του ακριβούς μετώπου Pareto PF*

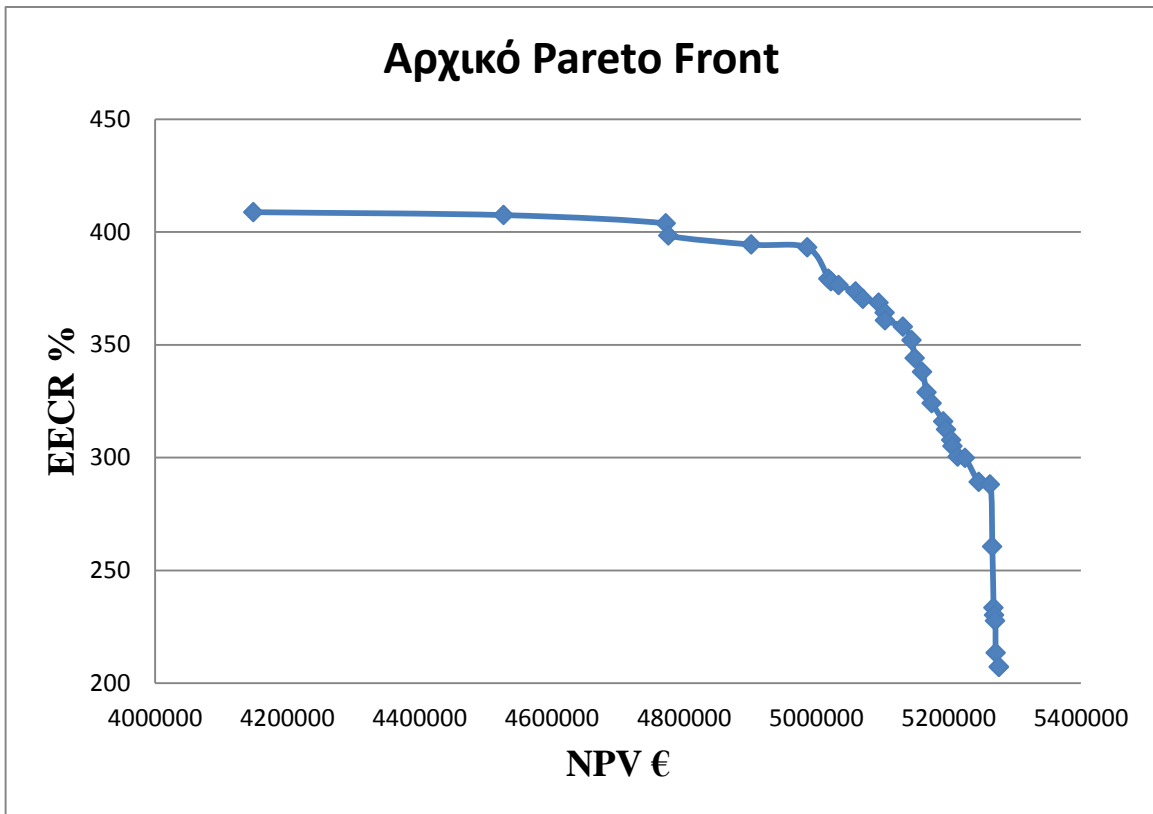
Για τον υπολογισμό του ακριβούς μετώπου Pareto PF* χρησιμοποιήσαμε όπως αναφέρθηκε τις ακριβείς τιμές για τις μεταβλητές NPV και EECR σε συνδυασμό με τη μέθοδο AUGMECON. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου στη γλώσσα GAMS φαίνονται παρακάτω:

Κωδικοποίηση Χαρτοφυλακίου		EECR	NPV
443081817071	1	408.79	4148700
442544943103	2	407.49	4527100
992367868911	3	403.76	4772300
992300760815	4	398.4	4776200
442609958895	5	394.42	4901600
992298663919	6	393.08	4986100
992365739751	7	379.28	5018200
992164446207	8	378.12	5022200
994513222383	9	376.41	5033800
992365739631	10	373.59	5059300
992365772391	11	370.31	5070300
992365641453	12	368.55	5094100
992365764333	13	364.18	5103200
992365772524	14	360.83	5104100
985856212591	15	358.04	5131100
990151180013	16	351.97	5144200
985856147183	17	344.09	5148700
994311864047	18	337.99	5160200

990151114351	19	328.84	5166600
981494136431	20	324.1	5174600
990016897005	21	315.96	5192100
994446081605	22	312.49	5196100
985789103685	23	307.75	5204100
994446079565	24	305.13	5205800
985789101645	25	300.39	5213800
985789005421	26	299.8	5224900
985789036141	27	289.16	5245600
985789038157	28	288.11	5262800
990083995340	29	260.52	5265900
990083978957	30	233.49	5267800
990083987148	31	230.14	5268700
985789013704	32	227.68	5270500
990083978856	33	213.48	5271200
990083849800	34	207.18	5275900

Πίνακας 3: Pareto Front για αρχικές τιμές συντελεστών

Τα παραπάνω 34 χαρτοφυλάκια αποτελούν το σύνολο των βέλτιστων λύσεων κατά Pareto του πολυκριτηριακού προβλήματος με δύο αντικειμενικές συνθήκες που τέθηκε. Με βάση τις τιμές των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων (NPV και EECR) χαράζουμε το μέτωπο Pareto το οποίο παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 12: Διάγραμμα αρχικού μετώπου

5.2.2 Βήμα 2ο : Εισαγωγή αβεβαιότητας μέσω της μεθόδου Monte Carlo

Πραγματοποιήθηκαν 1000 επαναλήψεις με τη μέθοδο Monte Carlo. Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων θα παρουσιαστούν τα συνοπτικά τα αποτελέσματα μόνο των 2 πρώτων επαναλήψεων.

	EECR	NPV (€)	Κωδικοποίηση	Ετ.	Ετ.	Ετ.	Ετ...	Ετ.	Ετ.
1	40	418786	44308181707	1	1	1	...	1	0
2	40	459413	44254494310	1	1	1	...	1	0
3	40	478217	99236786891	1	1	1	...	1	1
4	40	478642	99230072420	1	1	1	...	1	1
5	39	479275	99230075696	1	1	1	...	1	1
6	39	483042	99230076081	1	1	1	...	1	1
7	39	494183	44260995889	1	1	1	...	1	0
8	39	504180	99229866391	1	1	1	...	1	1
9	37	505176	99236573975	1	1	1	...	1	1
1	37	508129	99216444620	1	1	1	...	1	1
1	37	509588	99236573963	1	1	1	...	1	1
1	36	510221	99236577239	1	1	1	...	1	1
1	36	512959	99236564145	1	0	1	...	1	1
1	36	513798	99236576433	1	0	1	...	1	1
1	35	513902	99236577252	0	0	1	...	1	1
1	35	516161	98585621259	1	1	1	...	1	1
1	35	517903	99015118001	1	0	1	...	1	1
1	35	518236	99431192945	1	1	1	...	1	1
1	34	518296	99442937006	1	0	1	...	1	1
2	33	519947	99431186404	1	1	1	...	1	1
2	32	520099	99015111435	1	1	1	...	1	1
2	32	520395	99442917348	1	0	1	...	1	1
2	32	521235	99442929636	1	0	1	...	1	1
2	31	521338	99442930455	0	0	1	...	1	1
2	31	522413	99444604884	1	0	1	...	1	1
2	31	522964	99001689700	1	0	1	...	1	1
2	31	523046	99444608160	1	0	1	...	1	1
2	30	524041	99444607956	1	0	1	...	1	1
2	29	524453	99538560330	1	0	1	...	1	1
3	29	525104	99538547425	1	0	1	...	1	1
3	28	527401	98578903815	1	0	1	...	1	1
3	26	527828	99008399534	0	0	1	...	1	1
3	23	528015	99008397895	1	0	1	...	1	1
3	22	528118	99008398714	0	0	1	...	1	1
3	22	528126	98578901370	0	0	0	...	1	1
3	21	528157	99008384778	0	0	1	...	1	1
3	21	528513	99008397885	0	0	0	...	1	1
3	21	528569	99008384974	0	0	1	...	1	1
3	20	529164	99008384980	0	0	0	...	1	1

Πίνακας 4: Αποτελέσματα 1ης Επανάληψης Monte Carlo

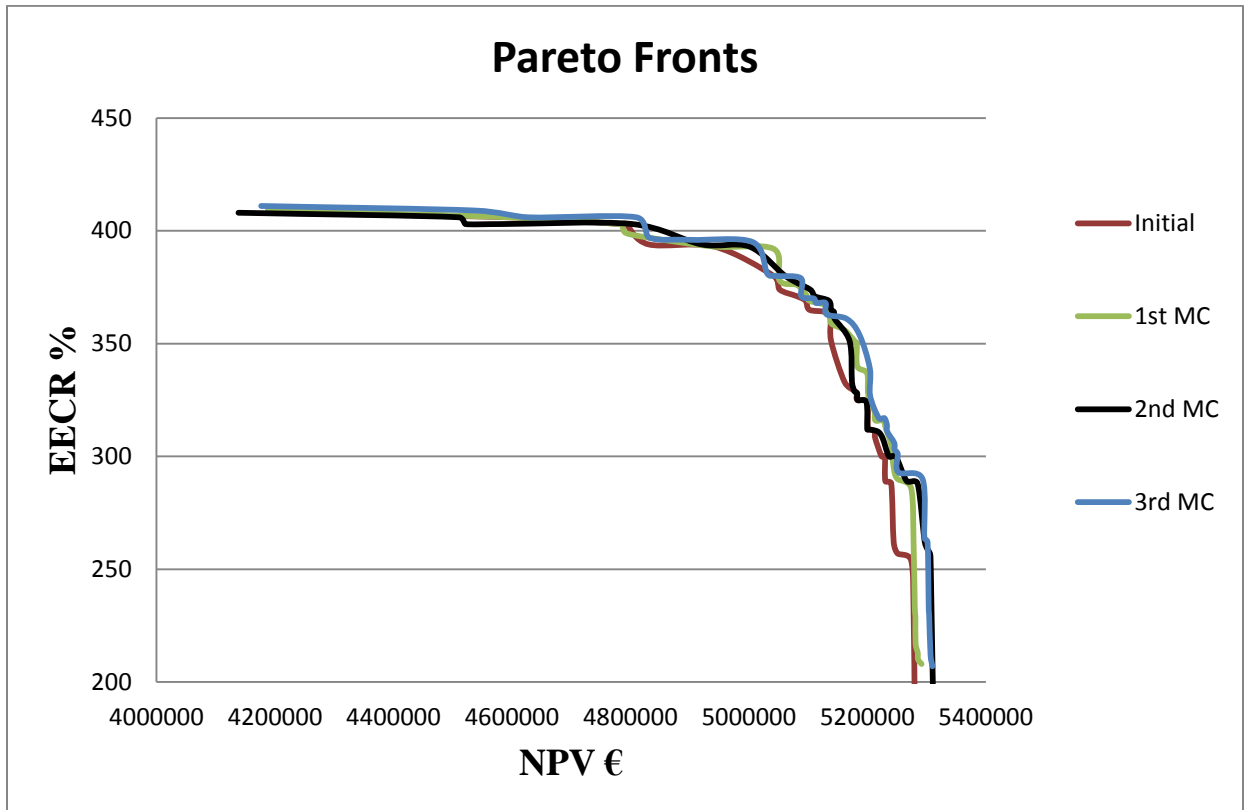
	EECR	NPV (€)	Κωδικοποίηση	Ετ.	Ετ.	Ετ.	Ετ...	Ετ.	Ετ.
1	40	413828	44308181707	1	1	1	...	1	0
2	40	451062	44254494310	1	1	1	...	1	0
3	40	452123	44254494718	1	1	1	...	1	0
4	40	458627	99230076006	1	1	1	...	1	1
5	40	480271	99236786891	1	1	1	...	1	1
6	39	491965	44260995889	1	1	1	...	1	0
7	39	500101	99229866391	1	1	1	...	1	1
8	38	506152	99236573975	1	1	1	...	1	1
9	37	510334	99236573963	1	1	1	...	1	1
1	37	511144	99236577239	1	1	1	...	1	1
1	36	513513	99236564145	1	0	1	...	1	1
1	36	513905	99236577252	1	0	0	...	1	1
1	36	514390	99236576433	1	0	1	...	1	1
1	36	514487	99236577252	0	0	1	...	1	1
1	35	517028	99236570686	1	1	1	...	1	1
1	33	517411	99223135844	1	0	1	...	1	1
1	32	517802	99223148951	1	0	0	...	1	1
1	32	518287	99223148132	1	0	1	...	1	1
1	32	518385	99223148951	0	0	1	...	1	1
2	32	519862	98149413643	1	1	1	...	1	1
2	31	519984	98578906890	1	0	1	...	1	1
2	31	520181	99343928442	1	0	1	...	1	1
2	31	521793	98578907092	1	0	1	...	1	1
2	30	522603	98578910368	1	0	1	...	1	1
2	30	523666	98578910164	1	0	1	...	1	1
2	30	524805	98578900542	1	0	1	...	1	1
2	28	526678	98578903614	1	0	1	...	1	1
2	28	528487	98578903815	1	0	1	...	1	1
2	26	529710	98256768122	1	0	1	...	1	1
3	25	530587	98256780410	1	0	1	...	1	1
3	25	530685	98256781230	0	0	1	...	1	1
3	22	530863	98256779591	1	0	1	...	1	1
3	18	531173	98686258900	0	0	0	...	1	1

Πίνακας 5: Αποτελέσματα 2ης Επανάληψης Monte Carlo

Παρατηρώντας τα σύνολα Pareto που προκύπτουν από τις επαναλήψεις γίνεται εμφανές πως σε κάθε επανάληψη δεν προκύπτουν τα ίδια μέτωπα Pareto (καθώς οι τιμές των EECR και NPV είναι διαφορετικές κάθε φορά) και επίσης μεταβάλλεται και ο αριθμός των χαρτοφυλακίων που περιέχονται σε κάθε σύνολο Pareto της κάθε επανάληψης. Τέλος, να σημειωθεί πως τα σύνολα Pareto της κάθε επανάληψης δεν περιέχουν όλα τα χαρτοφυλάκια του αρχικού συνόλου Pareto

και αυτό το γεγονός αποτυπώνεται στην τιμή του δείκτη ευστάθειας, ο οποίος θα εξεταστεί στο επόμενο βήμα.

Παρατίθεται ένα διάγραμμα όπου φαίνονται μαζί τα 4 Pareto Fronts που σχηματίζονται από την αρχική βελτιστοποίηση και τις 3 πρώτες επαναλήψεις Monte Carlo.



Σχήμα 13: Αρχικό Pareto Front και Pareto Front για 3 επαναλήψεις Monte Carlo

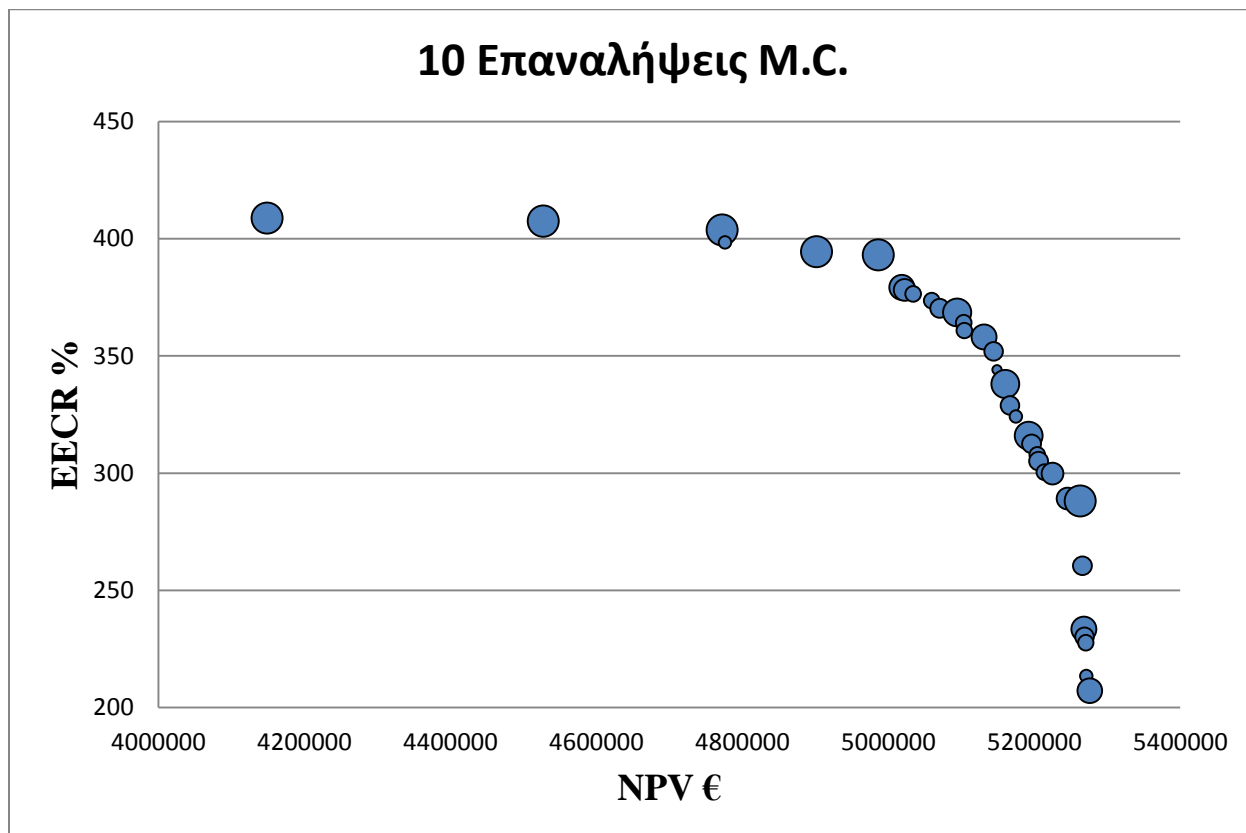
5.2.3 Βήμα 3ο : Υπολογισμός δείκτη ευστάθειας (Robustness Index) για ομοιόμορφη κατανομή

Μετά την πραγματοποίηση 1000 επαναλήψεων με τη μέθοδο Monte Carlo χρησιμοποιήσαμε τα αποτελέσματα της μεθόδου για την εξαγωγή ενός αντιπροσωπευτικού δείκτη ευστάθειας για κάθε αρχικό χαρτοφυλάκιο. Συγκεκριμένα, υπολογίσαμε το δείκτη ευστάθειας (R.I.) του αρχικού συνόλου Pareto για 10, 100, 500 και 1000 επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

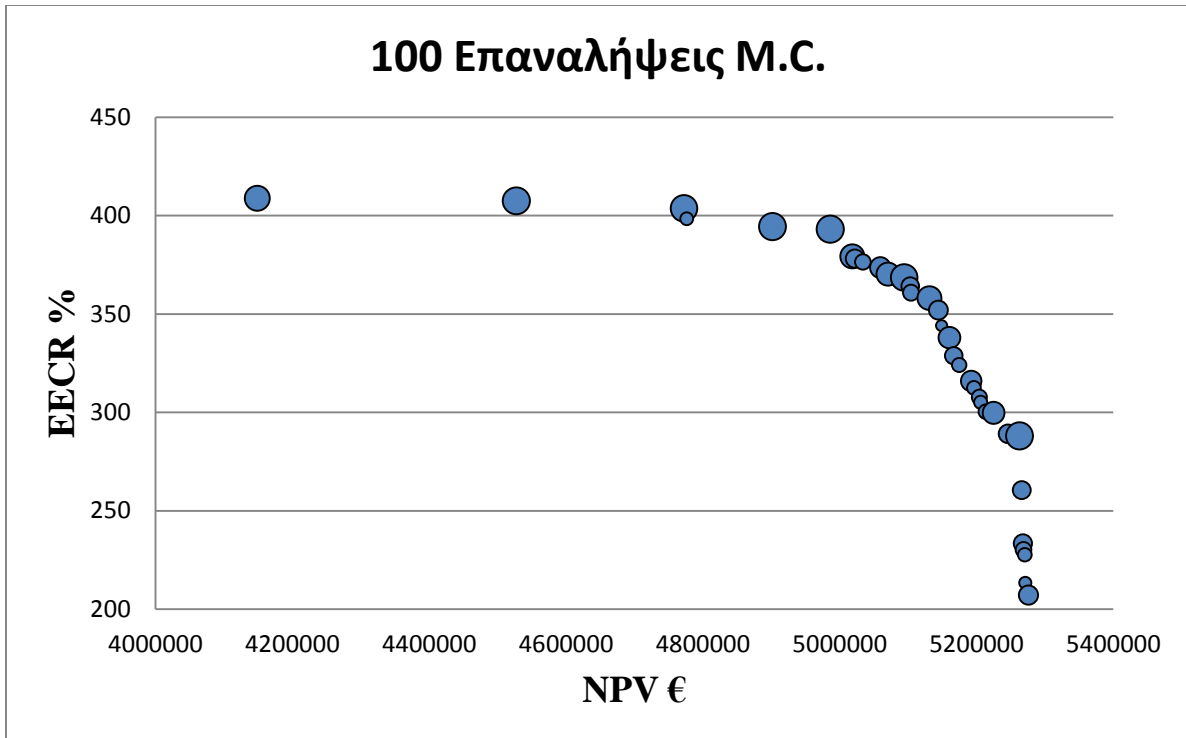
Κωδικοποίηση Χαρτοφυλακίου		EECR	NPV	R.I. 10 M.C.	R.I. 100 M.C.	R.I. 500 M.C.	R.I. 1000M.C.
443081817071	1	408.79	4148700	100.00%	92.00%	87.00%	86.40%
442544943103	2	407.49	4527100	100.00%	100.00%	99.60%	98.70%
992367868911	3	403.76	4772300	100.00%	98.00%	98.40%	97.90%
992300760815	4	398.4	4776200	40.00%	48.00%	53.80%	55.30%
442609958895	5	394.42	4901600	100.00%	100.00%	100.00%	99.00%
992298663919	6	393.08	4986100	100.00%	100.00%	100.00%	99.10%
992365739751	7	379.28	5018200	80.00%	89.00%	90.80%	90.90%
992164446207	8	378.12	5022200	70.00%	67.00%	57.80%	56.60%
994513222383	9	376.41	5033800	50.00%	57.00%	55.40%	56.60%
992365739631	10	373.59	5059300	50.00%	76.00%	80.40%	79.30%
992365772391	11	370.31	5070300	60.00%	85.00%	88.20%	87.90%
992365641453	12	368.55	5094100	90.00%	98.00%	96.60%	95.60%
992365764333	13	364.18	5103200	50.00%	65.00%	71.20%	71.20%
992365772524	14	360.83	5104100	50.00%	59.00%	61.60%	61.20%
985856212591	15	358.04	5131100	80.00%	88.00%	86.20%	85.60%
990151180013	16	351.97	5144200	60.00%	69.00%	66.40%	63.50%
985856147183	17	344.09	5148700	30.00%	41.00%	47.20%	46.50%
994311864047	18	337.99	5160200	90.00%	80.00%	74.60%	73.30%
990151114351	19	328.84	5166600	60.00%	64.00%	54.80%	54.30%
981494136431	20	324.1	5174600	40.00%	53.00%	55.20%	53.40%
990016897005	21	315.96	5192100	90.00%	76.00%	69.80%	67.10%
994446081605	22	312.49	5196100	60.00%	50.00%	53.60%	52.50%
985789103685	23	307.75	5204100	50.00%	56.00%	61.40%	58.90%
994446079565	24	305.13	5205800	60.00%	49.00%	46.20%	45.30%
985789101645	25	300.39	5213800	50.00%	55.00%	51.80%	49.70%
985789005421	26	299.8	5224900	70.00%	81.00%	84.40%	85.30%
985789036141	27	289.16	5245600	70.00%	68.00%	68.20%	68.30%
985789038157	28	288.11	5262800	100.00%	100.00%	98.80%	97.70%
990083995340	29	260.52	5265900	60.00%	66.00%	55.40%	56.50%
990083978957	30	233.49	5267800	80.00%	67.00%	52.00%	51.60%
990083987148	31	230.14	5268700	60.00%	58.00%	46.20%	46.80%
985789013704	32	227.68	5270500	50.00%	50.00%	47.00%	44.40%
990083978856	33	213.48	5271200	40.00%	44.00%	38.60%	40.20%
990083849800	34	207.18	5275900	80.00%	71.00%	57.40%	58.20%

Πίνακας 6: Δείκτες Ευστάθειας Χαρτοφυλακίων για 10,100,500 και 1000 επαναλήψεις Monte Carlo

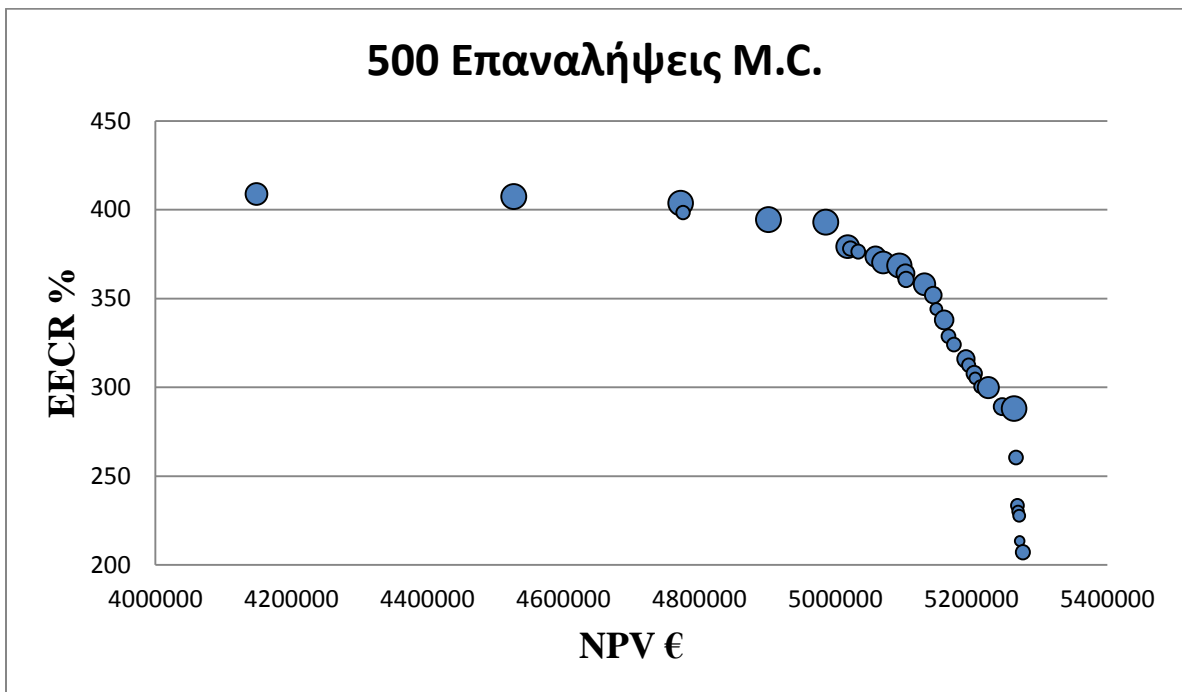
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται το αρχικό μέτωπο Pareto καθώς και ο δείκτης ευστάθειας ο οποίος αποτυπώνεται στο μέγεθος της φυσαλίδας του κάθε σημείου. Όσο μεγαλύτερη η φυσαλίδα τόσο πιο ευσταθές το χαρτοφυλάκιο.



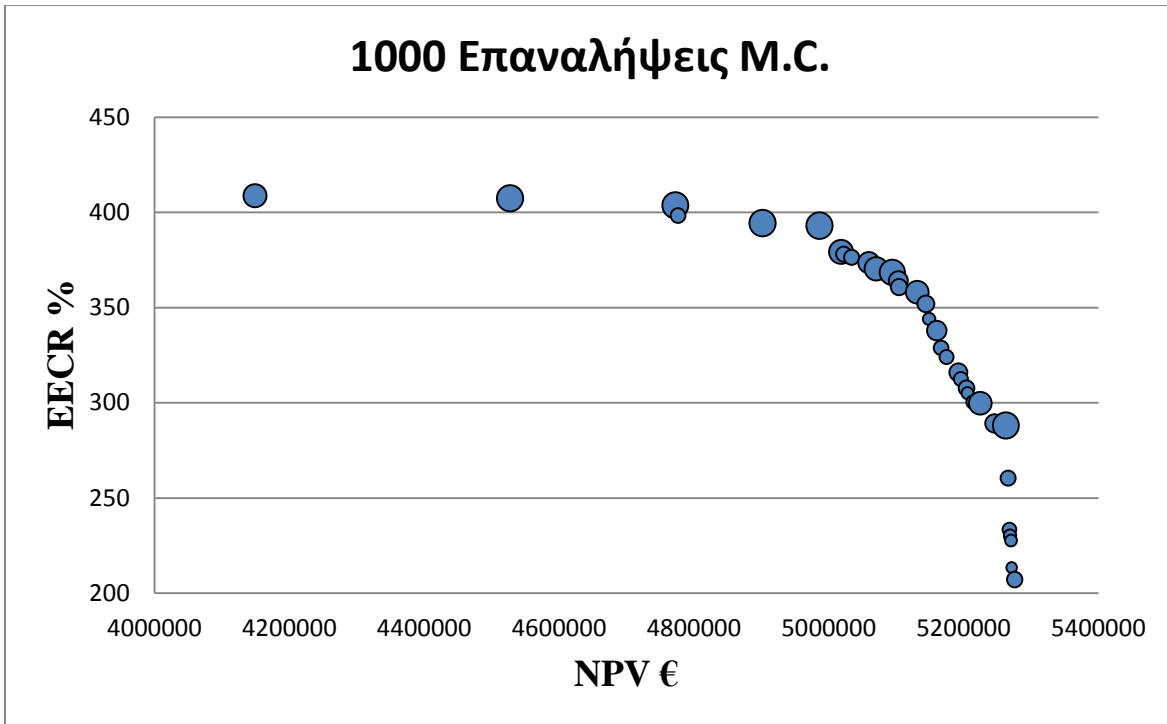
Σχήμα 14: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 10 επαναλήψεις Monte Carlo



Σχήμα 15: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 100 επαναλήψεις Monte Carlo

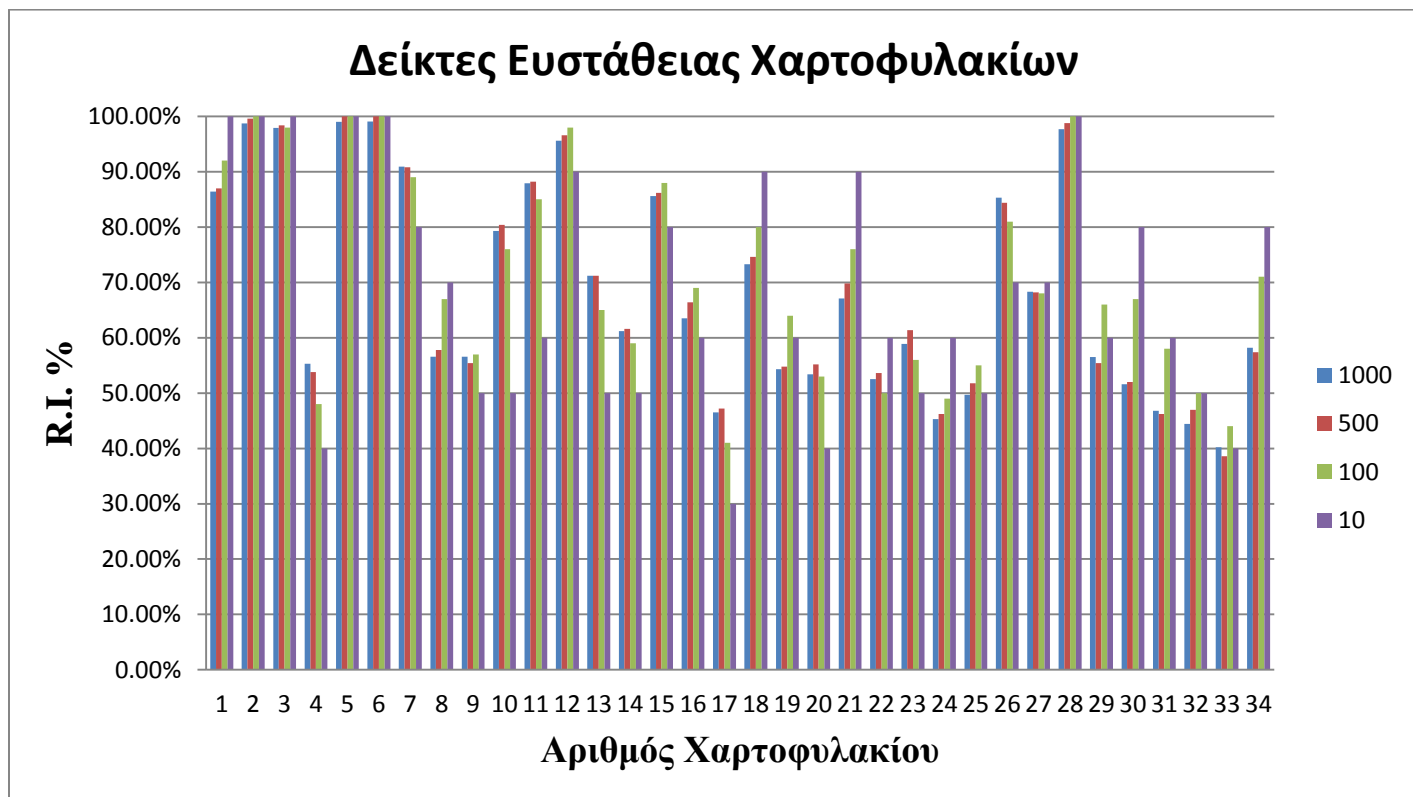


Σχήμα 16: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 500 επαναλήψεις Monte Carlo



Σχήμα 2: Pareto Front μαζί με δείκτη ευστάθειας για 1000 επαναλήψεις Monte Carlo

Στο παρακάτω ιστόγραμμα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι δείκτες ευστάθειας για κάθε χαρτοφυλάκιο για 10, 100, 500 και 1000 επαναλήψεις Monte Carlo.



Σχήμα 18: Ιστόγραμμα με δείκτες ευστάθειας χαρτοφυλακίων για 10,100,500 και 1000 επαναλήψεις Monte Carlo

5.2.4 Βήμα 4ο : Διερεύνηση εταιριών στα βέλτιστα κατά Pareto χαρτοφυλάκια

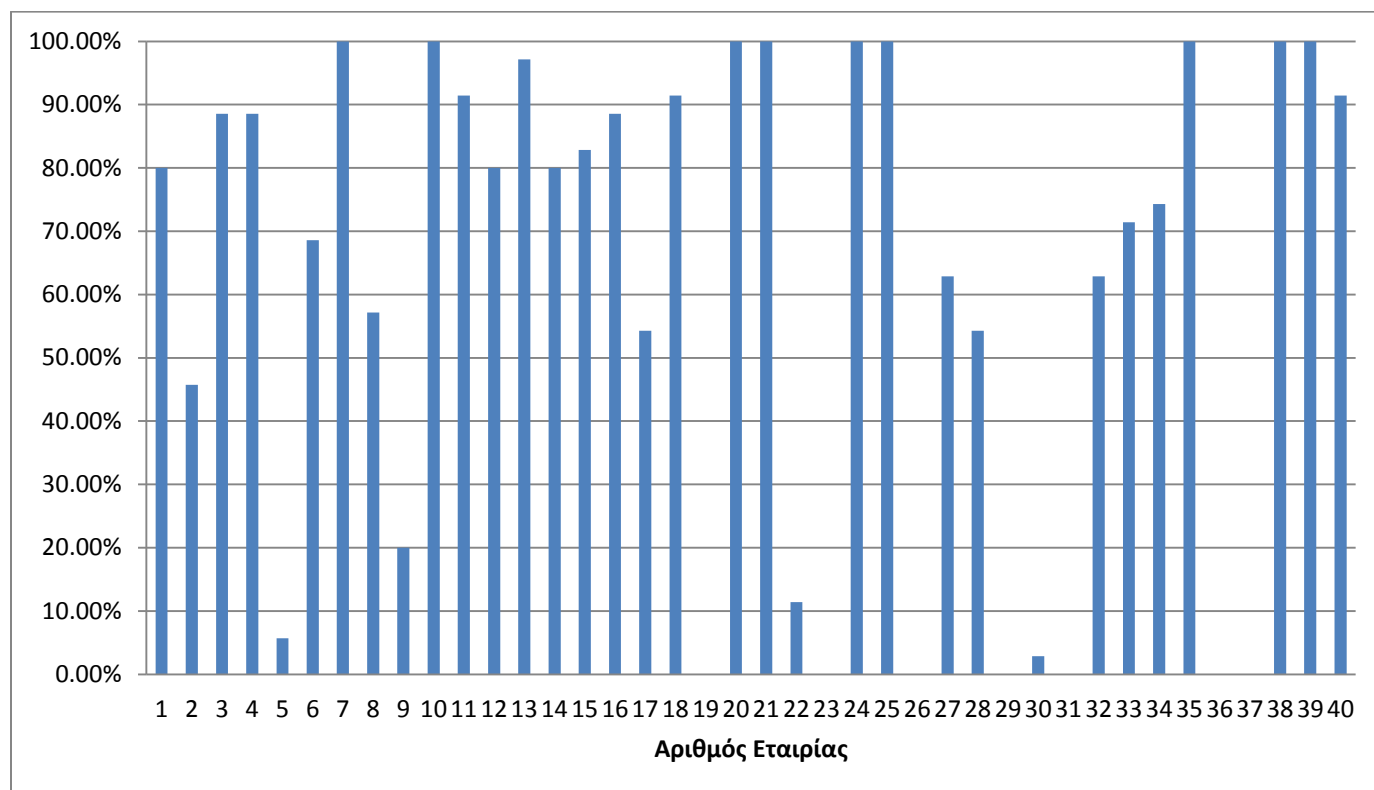
Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση του αρχικού προβλήματος με χρήση της μεθόδου AUGMECON, η συχνότητα εμφάνισης κάθε εταιρίας στα βέλτιστα κατά Pareto χαρτοφυλάκια φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Αριθμός Επιχείρησης	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα (%)
1	28	80.00%
2	16	45.71%
3	31	88.57%
4	31	88.57%
5	2	5.71%
6	24	68.57%
7	35	100.00%
8	20	57.14%
9	7	20.00%
10	35	100.00%
11	32	91.43%
12	28	80.00%
13	34	97.14%
14	28	80.00%
15	29	82.86%
16	31	88.57%
17	19	54.29%
18	32	91.43%
19	0	0.00%
20	35	100.00%
21	35	100.00%
22	4	11.43%
23	0	0.00%
24	35	100.00%
25	35	100.00%
26	0	0.00%
27	22	62.86%
28	19	54.29%
29	0	0.00%
30	1	2.86%
31	0	0.00%
32	22	62.86%

33	25	71.43%
34	26	74.29%
35	35	100.00%
36	0	0.00%
37	0	0.00%
38	35	100.00%
39	35	100.00%
40	32	91.43%

Πίνακας 7: Συχνότητα εμφάνισης των 40 εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια

Τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα αποτυπώνονται και διαγραμματικά στο παρακάτω ιστόγραμμα:



Σχήμα 19: Ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας εμφάνισης κάθε εταιρίας στο σύνολο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων

Οι επιχειρήσεις με τη μεγαλύτερη σχετική συχνότητα ($> 95\%$) παρουσιάζονται παρακάτω.

	EECR (%)	NPV (€)	Budget (€)	Τομέας	Περιοχή	Σχετική Συχνότητα (%)
7	7.1	14,100	6,070	T2	Γ1	100.00%
10	21.59	455,000	422,670	T3	Γ2	100.00%
13	3.86	238,900	95,330	T1	Γ4	97.14%
20	11.67	378,100	160,300	T4	Γ4	100.00%
21	15.39	53,100	26,190	T4	Γ2	100.00%
24	8.93	422,800	184,410	T1	Γ3	100.00%
25	16.12	146,900	87,910	T4	Γ2	100.00%
35	22.01	204,300	93,050	T4	Γ2	100.00%
38	17.81	228,800	117,580	T2	Γ3	100.00%
39	12.86	428,500	190,870	T4	Γ4	100.00%

Πίνακας 8: Επιχειρήσεις με τη μεγαλύτερη σχετική συχνότητα εμφάνισης στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια

Οι επιχειρήσεις με τη μικρότερη σχετική συχνότητα (< 5%) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

	EECR (%)	NPV (€)	Budget (€)	Τομέας	Περιοχή	Σχετική Συχνότητα (%)
19	11.39	389,900	909,310	T4	Γ3	0.00%
23	5.76	460,100	353,420	T3	Γ1	0.00%
26	12.38	477,100	614,620	T1	Γ2	0.00%
29	4.7	324,400	1,410,180	T2	Γ1	0.00%
30	18.07	324,100	533,640	T3	Γ1	2.86%
31	7.75	603,200	529,130	T4	Γ2	0.00%
36	4.04	352,100	311,780	T4	Γ3	0.00%
37	19.39	223,000	772,970	T3	Γ2	0.00%

Πίνακας 9: Επιχειρήσεις με τη μικρότερη σχετική συχνότητα εμφάνισης στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια

Με βάση το κριτήριο του δείκτη ευστάθειας (R.I.) τα καλύτερα χαρτοφυλάκια παρουσιάζονται παρακάτω.

Κωδικοποίηση Χαρτοφυλακίου		EECR	NPV	R.I. 10 M.C.	R.I. 100 M.C.	R.I. 500 M.C.	R.I. 1000M.C.
442544943103	2	407.49	4527100	100.00%	100.00%	99.60%	98.70%
992367868911	3	403.76	4772300	100.00%	98.00%	98.40%	97.90%
442609958895	5	394.42	4901600	100.00%	100.00%	100.00%	99.00%
992298663919	6	393.08	4986100	100.00%	100.00%	100.00%	99.10%
985789038157	28	288.11	5262800	100.00%	100.00%	98.80%	97.70%

Πίνακας 10: Βέλτιστα Χαρτοφυλάκια με βάση το δείκτη ευστάθειας

Με βάση την ευστάθεια οι επιχειρήσεις που εμφανίζονται σε όλα τα χαρτοφυλάκια (100%) είναι οι παρακάτω.

	EECR (%)	NPV (€)	Budget (€)	Τομέας	Περιοχή
1	12.97	2,500	5,930	T1	Γ3
3	9.76	8,300	5,000	T1	Γ3
4	6.23	63,600	33,860	T2	Γ1
7	7.1	14,100	6,070	T2	Γ4
10	21.59	455,000	422,670	T3	Γ1
12	13.59	53,900	39,330	T1	Γ4
14	9.62	3,400	5,630	T4	Γ1
15	40	600	7,370	T4	Γ2
16	2.95	74,600	37,670	T1	Γ4
20	11.67	378,100	160,300	T4	Γ2
21	15.39	53,100	26,190	T4	Γ3
24	8.93	422,800	184,410	T4	Γ2
25	16.12	146,900	87,910	T1	Γ2
33	19.18	179,600	123,640	T1	Γ1
35	22.01	204,300	93,050	T4	Γ3
38	17.81	228,800	117,580	T4	Γ4
39	12.86	428,500	190,870	T2	Γ1

Πίνακας 11: Επιχειρήσεις που εμφανίζονται σε όλα τα ευσταθή χαρτοφυλάκια

Οι εταιρίες που δεν εμφανίζονται σε κανένα από τα πλέον ευσταθή χαρτοφυλάκια παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα.

	EECR (%)	NPV (€)	Budget (€)	Τομέας	Περιοχή
19	11.39	389,900	909,310	T4	Γ3
23	5.76	460,100	353,420	T3	Γ1
26	12.38	477,100	614,620	T1	Γ2
29	4.7	324,400	1,410,180	T2	Γ1
31	7.75	603,200	529,130	T4	Γ2
36	4.04	352,100	311,780	T4	Γ3
37	19.39	223,000	772,970	T3	Γ2

Πίνακας 12: Επιχειρήσεις που δεν εμφανίζονται σε κανένα από τα ευσταθή χαρτοφυλάκια

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Προοπτικές

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε μια μέθοδος μέσω της οποίας μπορεί να εξεταστεί η ευστάθεια ενός συνόλου Pareto καθώς και η αποτελεσματική επίλυση ενός προβλήματος πολυκριτηριακού προγραμματισμού. Παράλληλα, τονίστηκε η σημασία της περιβαλλοντικής εταιρικής κοινωνικής ευθύνης και έγινε σαφές πως η τελευταία είναι απαραίτητη κατά την αξιολόγηση των επιχειρήσεων καθώς συμβάλει τα μέγιστα τόσο στην πράσινη ανάπτυξη όσο και στη μακροπρόθεσμη οικονομική ευημερία των ίδιων των επιχειρήσεων.

Εκτός αυτών, παρουσιάστηκε αναλυτικά η μέθοδος AUGMECON και τονίστηκαν τα χαρακτηριστικά της που την καθιστούν καταλληλότερη και ταχύτερη για την επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων βελτιστοποίησης από τις ήδη υπάρχουσες μεθόδους. Να σημειώσουμε πως η ταχύτητα της μεθόδου έπαιξε ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διπλωματική εργασία καθώς πραγματοποιήθηκαν 1000 επαναλήψεις με τη μέθοδο Monte Carlo, όπου κάθε επανάληψη ισοδυναμεί με επίλυση ενός καινούριου πολυκριτηριακού προβλήματος. Ωστόσο, ο μεγάλος αριθμός επαναλήψεων ήταν απαραίτητος για να καταδείξουμε πως μικρές διαφοροποιήσεις στους συντελεστές των αντικειμενικών συναρτήσεων μπορούν να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στο σύνολο Pareto των λύσεων. Επίσης, το μέγεθος του δείγματος ήταν ιδιαίτερα ωφέλιμο και κατά των υπολογισμό του δείκτη ευστάθειας καθώς τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν πιο αντιπροσωπευτικά.

Η ουσία όμως της συγκεκριμένης εργασίας έγκειται στο δείκτη ευστάθειας. Συγκεκριμένα, ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στα χέρια του αποφασίζοντα για την επιλογή των πλέον αξιόπιστων επενδυτικών επιλογών. Μέσω της διαγραμματικής απεικόνισης του δείκτη ο αποφασίζων μπορεί να διαπιστώσει γρήγορα και εύκολα της περιοχές χαρτοφυλακίων που είναι πλέον ευσταθείς και να συμπεριλάβει αυτή τη γνώση στη μελλοντική του απόφαση.

6.2 Προοπτικές

➤ *Επέκταση του μοντέλου για περισσότερες από 2 αντικειμενικές συναρτήσεις*

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα είχαμε δύο αντικειμενικές συναρτήσεις και ο δείκτης ευστάθειας παρουσιάστηκε γραφικά μέσω του μεγέθους της φυσαλίδας στο δισδιάστατο διάγραμμα. Η προσθήκη περισσότερων αντικειμενικών συναρτήσεων θα κάνει ακόμα πιο ρεαλιστικό το πρόβλημα και θα επιτρέψει την καλύτερη παρουσίαση του δείκτη σε τρισδιάστατα διαγράμματα.

➤ *Δειγματοληψία και από άλλες πιθανοτικές κατανομές*

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήσαμε την ομοιόμορφη κατανομή για την άντληση των συντελεστών των αντικειμενικών συναρτήσεων (NPV και EECR). Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλες πιθανοτικές κατανομές για αυτό το σκοπό ή και να γίνει μελέτη για την κατανομή που περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια την τυχαιότητα των συντελεστών.

➤ *Εφαρμογή και αποτίμηση της αξίας του δείκτη ευστάθειας*

Αν και η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε σε ρεαλιστικά δεδομένα, η αξία του δείκτη ευστάθειας θα αποτιμηθεί καλύτερα μέσω πρακτικών εφαρμογών. Συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από χρηματοπιστωτικά ιδρύματα ως ένα ακόμα κριτήριο για την επιλογή επενδύσεων και με βάση τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να ελεγχθεί η πραγματική του δυνατότητα ως προς τη μέτρηση της αβεβαιότητας καθώς και να βρεθούν και βελτιώσεις στον τρόπο υπολογισμού του.

➤ *Αναζήτηση μεγαλύτερου αριθμού επιχειρήσεων για εφαρμογή της μεθόδου*

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε 40 επιχειρήσεις. Αν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ιδιαίτερος κατατοπιστικά θα ήταν ακόμα καλύτερο το δείγμα να είχε ακόμα μεγαλύτερο εύρος. Έτσι, το πρόβλημα θα ήταν πιο ρεαλιστικό και θα υπήρχε δυνατότητα για εφαρμογή επιπρόσθετων περιορισμών.

Βιβλιογραφία

- [1] Carlos A. Coello Coello, Gary B. Lamont and David A. Van Veldhuizen (2007). “Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems”, Second Edition.
- [2] GAMS Home page: <http://www.gams.com>
- [3] R. E. Rosenthal (1988). "A GAMS Tutorial ". GAMS Development Corporation.
- [4] Hazen, G. B., The Engineering Economist 48(2) (2003), "A new perspective on multiple internal rates of return" Σελίδες 31–51.
- [5] David G. Luenberger (1999). “Investment Science”.
- [6] Bob Giddings, Bill Hopwood* and Geoff O’Brien (2002). “Environment, Economy and Society: Fitting them together into sustainable development”. Sustainable Development Journal, Volume 4, Issue 4.
- [7] Jeremy Moon, (2007). “The Contribution of Corporate Social Responsibility to Sustainable Development”. Sustainable Development Journal, Volume 15, Issue 5.
- [8] Thomas M. Parris and Robert W. Kates, (2003). “Characterizing and Measuring Sustainable Development”. Annual Review of Environment and Resources Journal, Volume 28.
- [9] Bill Hopwood*, Mary Mellor and Geoff O’Brien, (2005). “Sustainable Development: Mapping Different Approaches”. Sustainable Development Journal, Volume 13, Issue 1.
- [10] Division for Sustainable Development, UN-DESA, United Nations Environment Program, UN conference on Trade and Development, “The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective”.
- [11] Metropolis, N. (1987). "The beginning of the Monte Carlo method". Los Alamos Science. Σελίδες 125–130.
- [12] Alexander Dahlsrud, (2008). “How Corporate Social Responsibility is Defined: an Analysis of 37 Definitions”. Corporate Social Responsibility and Environmental Management Journal, Volume 15, Issue 1.

- [13] Adrian Cadbury (2006) Corporate social responsibility, *Twenty-First Century Society: Journal of the Academy of Social Sciences*, 1:1, 5-21.
- [14] Elisabet Garriga, Domenec Mele. "Corporate Social Responsibility Theories: Mapping the Territory". *Journal of Business Ethics*, Volume 53, Issue 1-2.
- [15] Elsayed K., Paton D. (2005). "The impact of environmental performance on firm performance: static and dynamic panel data evidence", *Structural Change and Economic Dynamics Journal*, Volume 16, Issue 3.
- [16] Herva M., Franco A., Carrasco E.F., Roca E. (2011). "Review of corporate environmental indicators", *Journal of Cleaner Production*, Volume 19, Issue 15.
- [17] Noushi Rahman, Corinne Post (2012). "Measurement Issues in Environmental Corporate Social Responsibility (ECSR): Toward a Transparent, Reliable, and Construct Valid Instrument". *Journal of Business Ethics*, Volume 105, Issue 3.
- [18] Abigail McWilliams and Donald Siegel, (2000). "Corporate Social Responsibility and Financial Performance: Correlation or Misspecification?". *Strategic Management Journal*, Volume 21, Issue 5.
- [19] B. Scholtens (2008). "A note on the interaction between corporate social responsibility and financial performance". *Ecological Economics Journal*, Volume 68, Issues 1-2.
- [20] George Mavrotas, Haris Doukas, Olena Pechak, Panos Xidonas "Robustness in multi-objective project portfolio selection taking into account energy and environmental corporate responsibility and performance uncertainty". *European Journal of Operational Research*, Under Review.
- [21] George Mavrotas, José Rui Figueira, Eleftherios Siskos "Robustness Analysis Methodology for Multi-Objective Combinatorial Optimization Problems and application to Project Selection". *Omega Journal*, Under Review.
- [22] George Mavrotas, (2009). "Effective implementation of the e-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems". *Applied Mathematics and Computation Journal*, Volume 213, Issue 2.
- [23] George Mavrotas, Kostas Florios (2013). "An improved version of the augmented e-constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems". *Applied Mathematics and Computation Journal*, Volume 219, Issue 18.

[24] Alexandros Liagkouras, (2013). “Βελτιστοποίηση επενδυτικού χαρτοφυλακίου συμπεριλαμβάνοντας την ενεργειακή και περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη”

Παράρτημα

Αλγόριθμος Υλοποίησης στη Γλώσσα GAMS

\$TITLE project selection under uncertainty

\$eolcom //

\$ontext

Project selection problem

Data from Computers and Industrial Engineering 61 226-237 (2011)

05.01.2013 e-constraint with Monte Carlo

the only intervention needed is to take out of the monte carlo loop all the declarations including text files

\$offtext

SETS

I projects /1*40/

SE(I) /1*2,4,19,22,24,27*28,33,36,38 /

NE(I) /3,10,16,18,21,25*26,31,35,37 /

CE(I) /5*7,9,11*12,14*15,23,29*30,34,40 /

GR(I) /8,13,17,20,32,39 /

EN(I) /1*4,13,17,24,26*27,33*34 /

IN(I) /5*9,29,32,38,40/

EE(I) /10*12,23,28,30,37 /

CG(I) /14*16,18*22,25,31,35*36,39 /

k objective functions /1*2/

;

Parameter dir(k) direction of the objective functions 1 for max and -1 for min

/ 1 1

2 1

/

parameter cost(I) cost for project(I)

/

1 5930

2	50830
3	5000
4	33860
5	191870
6	37500
7	6070
8	23030
9	190000
10	422670
11	415000
12	39330
13	95330
14	5630
15	7370
16	37670
17	30100
18	5700
19	909310
20	160300
21	26190
22	161010
23	353420
24	184410
25	87910
26	614620
27	277040
28	158790
29	1410180
30	533640
31	529130
32	396670
33	123640
34	149770
35	93050
36	311780
37	772970
38	117580
39	190870
40	262030
/	

parameter avreturn(I) average NPV of project I

/

1	2500
2	49800
3	8300
4	63600
5	244600
6	36700
7	14100
8	22500
9	261300
10	455000
11	696800
12	53900
13	238900
14	3400
15	600
16	74600
17	4900
18	12500
19	389900
20	378100
21	53100
22	51400
23	460100
24	422800
25	146900
26	477100
27	431600
28	208500
29	324400
30	324100
31	603200
32	648800
33	179600
34	220000
35	204300
36	352100
37	223000

38 228800
39 428500
40 516100
/

parameter avgcsr(I) average CSR index for project I

/
1 12.97
2 14.66
3 9.76
4 6.23
5 6.99
6 14.64
7 7.10
8 11.92
9 11.81
10 21.59
11 13.64
12 13.59
13 3.86
14 9.62
15 40.00
16 2.95
17 25.87
18 5.25
19 11.39
20 11.67
21 15.39
22 17.13
23 5.76
24 8.93
25 16.12
26 12.38
27 7.19
28 21.95
29 4.70
30 18.07
31 7.75

32 4.54
33 19.18
34 15.85
35 22.01
36 4.04
37 19.39
38 17.81
39 12.86
40 5.85

/

;

scalar

maxbudg maximum budget (euros) /3000000/

;

BINARY VARIABLES

X(I) binary variable indicating if project I is selected or not

Positive variables

TOTBUDG total budget (million toomans)

TOTPROJ total projects

Z(K) onjective function values

;

EQUATIONS

EQ_TOTBUDG equation for total budget

EQ_TOTPROJ equation for total projects

EQ_SE constraint for southern europe

EQ_NE constraint for northern europe

EQ_CE constraint for central europe

EQ_GR constraint for greece

EQ_EN constraint for energy sector

EQ_IN constraint for industry sector

EQ_EE constraint for electric equipment

EQ_CG constraint for consumer goods

EQ_NPV objective function --> maximization of portfolio's NPV

EQ_CSR objective function --> maximization of portfolio's CSR

EQ_SE2 constraint for southern europe

EQ_NE2 constraint for northern europe
 EQ_CE2 constraint for central europe
 EQ_GR2 constraint for greece
 EQ_EN2 constraint for energy sector
 EQ_IN2 constraint for industry sector
 EQ_EE2 constraint for electric equipment
 EQ_CG2 constraint for consumer goods
 ;

EQ_TOTBUDG.. sum(I, cost(I)*X(I))=e= TOTBUDG;
 EQ_TOTPROJ.. sum(I, X(I)) =e= TOTPROJ;
 EQ_SE.. sum(SE(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //7 11
 EQ_NE.. sum(NE(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //6 10
 EQ_CE.. sum(CE(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //9 13
 EQ_GR.. sum(GR(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //4 6
 EQ_EN.. sum(EN(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //7 11
 EQ_IN.. sum(IN(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //6 10
 EQ_EE.. sum(EE(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //4 7
 EQ_CG.. sum(CG(I),X(I)) =l= 0.5*TOTPROJ ; //9 13

EQ_SE2.. sum(SE(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;
 EQ_NE2.. sum(NE(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;
 EQ_CE2.. sum(CE(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;
 EQ_GR2.. sum(GR(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;
 EQ_EN2.. sum(EN(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;
 EQ_IN2.. sum(IN(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;
 EQ_EE2.. sum(EE(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;
 EQ_CG2.. sum(CG(I),cost(I)*X(I)) =g= 0.1*TOTBUDG ;

EQ_CSR.. sum(I, avgcsr(I)*X(I))=e= Z('1');
 EQ_NPV.. sum(I, avgreturn(I)*X(I))=e= Z('2');

TOTBUDG.up = maxbudg;
 TOTPROJ.lo = 5;

MODEL CSR_40_model /ALL/ ;

*-----

Set $k1(k)$ the first element of k , $km1(k)$ all but the first elements of k ;
 $k1(k) \$(ord(k)=1) = yes$; $km1(k)=yes$; $km1(k1) = no$;
Set $kk(k)$ active objective function in constraint $allobj$

Parameter

$rhs(k)$ right hand side of the constrained obj functions in eps-constraint
 $maxobj(k)$ maximum value from the payoff table
 $minobj(k)$ minimum value from the payoff table
 $intervals(k)$ number of intervals that we divide the $k-1$ objective functions
 $bestobj(k)$ the best objective function value ($maxobj$ for $dir=1$ $minobj$ for $dir=-1$)
 $worstobj(k)$ the worst objective function value ($minobj$ for $dir=1$ $maxobj$ for $dir=-1$)
 $step(k)$ the step obtained from range divided by intervals
 $jump(k)$ the jump for $augmecon2$

Scalar

$iter$ total number of iterations
 $infeas$ total number of infeasibilities
 $elapsed_time$ elapsed time for payoff and e-constraint
 $start$ start time
 $finish$ finish time
 $summax$ auxiliary parameter
 $firstOffMax$, $lastZero$, $mciter$ some counters
 $mcitermax$ monte carlo iterations /1000/

Variables

a_objval auxiliary variable for the objective function
 obj auxiliary variable during the construction of the payoff table

Positive Variables

$sl(k)$ slack or surplus variables for the eps-constraints

Equations

$con_obj(k)$ constrained objective functions
 $augm_obj$ augmented objective function to avoid weakly efficient solutions
 $allobj$ all the objective functions in one expression;

$con_obj(km1).. z(km1) - dir(km1)*sl(km1) =e= rhs(km1);$

* We optimize the first objective function and put the others as constraints

* the second term is for avoiding weakly efficient points

* $augm_obj..$

* $sum(k1,dir(k1)*z(k1))+1e-3*sum(km1,sl(km1))/(maxobj(km1)-minobj(km1))) =e= a_objval;$

```

augm_obj..
  sum(k$(ord(k)=1),dir(k)*z(k)) + 1.0e-3*sum(k$(ord(k)>1),power(10,-(ord(k)-
1))*sl(k)/(maxobj(k)-minobj(k))) =e= a_objval;

allobj.. sum(kk, dir(kk)*z(kk)) =e= obj;

Model mod_payoff / CSR_40_model, allobj / ;
Model mod_epsmethod / CSR_40_model, con_obj, augm_obj / ;

Parameter
  payoff(k,k) payoff tables entries;
Alias(k,kp);

option optcr=0.000;

option limrow=0, limcol=0, solprint=off ;
*option limrow=3, limcol=3 ;
option seed=3737; //1515 2626
File fx / c:\gams\csr40.out /;
fx.pw=2000;
*****
*
start=jnow;

*for (mciter=1 to mcitermax,

* random generation of return and profit from normal distributions
*c(J,K)=normal(avgc(J,K),(0.03*avgc(J,K)));
*c(J,K)=1000*round(c(J,K)/1000);
*c(J,K)=uniform(0.95*avgc(J,K),1.05*avgc(J,K));
*c(J,K)=1000*round(c(J,K)/1000);
*c(J,K)=round(c(J,K));

*return(I)=1000*round(return(I)/1000);

*csr(I)=round(csr(I));

* Generate payoff table applying lexicographic optimization
loop(kp,

```



```

kk(kp)=yes;
repeat
  solve mod_payoff using mip maximizing obj;
  payoff(kp,kk) = z.l(kk);
  z.fx(kk) = z.l(kk); // freeze the value of the last objective optimized
  kk(k++1) = kk(k); // cycle through the objective functions
until kk(kp); kk(kp) = no;
* release the fixed values of the objective functions for the new iteration
  z.up(k) = inf; z.lo(k) =-inf;
);
if (mod_payoff.modelstat<>1 and mod_payoff.modelstat<>8, abort 'no optimal solution for
mod_payoff');

loop (kp,
  loop(k, put fx payoff(kp,k):12:2);
  put ord(kp):1:0;
  put /;
);
*put fx /;

*display payoff;
minobj(k)=smin(kp,payoff(kp,k));
maxobj(k)=smax(kp,payoff(kp,k));

*-----
*new 17.03.2013
*-----

loop(k, intervals(k)=maxobj(k)-minobj(k));
*loop(k, intervals(k)=20);

loop(k,
  if (dir(k)=1,
    bestobj(k)=maxobj(k);
    worstobj(k)=minobj(k);
  else
    bestobj(k)=minobj(k);
    worstobj(k)=maxobj(k)
  );
  step(k)=(maxobj(k)-minobj(k))/intervals(k)
);

```

```

rhs(k)=worstobj(k);
iter=0;
infeas=0;
*start=jnow;

repeat
  solve mod_epsmethod maximizing a_objval using mip;
  iter=iter+1;
  if (mod_epsmethod.modelstat<>1 and mod_payoff.modelstat<>8, // not optimal is in this case
infeasible
  infeas=infeas+1;
  put fx iter:5:0, ' infeasible'/;
  lastZero = 0;
  loop(k$(ord(k)>1),
    if(abs(rhs(k)-worstobj(k))>0.001 and lastzero=0, lastzero=ord(k))
    );
  loop(k$(ord(k)>1 and ord(k)<=lastzero),rhs(k)=bestobj(k));
else
  // for monte carlo counter
  put fx iter:5:0;
  loop(k, put fx z.l(k):12:2);
  put TOTPROJ.L:10:0;
  put TOTBUDG.L:12:0;
  loop(I, put fx X.L(I):4:0);
* the jump is for AUGMECON2
  jump(k)=1;
* The jump is calculated for the innermost objective function (ord(k)=2)
  jump(k)$(ord(k)=2) = 1+max(0,floor(sl.L(k)/step(k)));
* put rhs('2'):10:0,jump('2'):10:0,step('2'):10:0;
* loop(k$(jump(k)>1),put ' jump', jump(k):4:0);
  put /;
  );
* Proceed forward in the grid
firstOffMax = 0;
loop(k$(ord(k)>1),
  if(abs(rhs(k)-bestobj(k))>0.001 and firstOffMax=0,
    if (dir(k)=1, rhs(k)=min((rhs(k)+jump(k)*step(k)),bestobj(k))
    else rhs(k)=max((rhs(k)-jump(k)*step(k)),bestobj(k))
    );

```

```

        firstOffMax=ord(k)
    );
);
* put firstOffmax:5:0 /
loop(k$(ord(k)>1),
    if(ord(k)< firstOffMax, rhs(k)=worstobj(k));
);
summax=0;
loop(k$(ord(k)>1),
    if(abs(rhs(k)-bestobj(k))<=0.001, summax=summax+1);
);

*until iter >= 100;
until (summax=card(k)-1 and firstOffMax=0) //or iter=100;

; // for loop
*****
*

finish=jnow;
elapsed_time=(finish-start)*86400;

put 'Elapsed time: ',elapsed_time:10:2, ' seconds' / ;
putclose fx; // close the point file

```