



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

**Βελτιστοποίηση επενδυτικού χαρτοφυλακίου  
συμπεριλαμβάνοντας την ενεργειακή και  
περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αλέξανδρος Λιάγκουρας

**Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Ψαρράς**

Αθήνα, Ιούλιος 2013





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

**Βελτιστοποίηση επενδυτικού χαρτοφυλακίου  
συμπεριλαμβάνοντας την ενεργειακή και  
περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αλέξανδρος Λιάγκουρας

**Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Ψαρράς**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Ιούλιο του 2013.

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π  
.....

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Αλέξανδρος Λιάγκουρας

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

Copyright © Αλέξανδρος Λιάγκουρας, 2013.

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.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Αντικείμενό της αποτελεί η αξιολόγηση από την πλευρά ενός χρηματοπιστωτικού ιδρύματος ενός αριθμού επιχειρήσεων που αιτούνται χορήγηση δανείου. Το χρηματοπιστωτικό ίδρυμα επιλέγει τις ελκυστικότερες προς χορήγηση δανείου επιχειρήσεις, έχοντας ως κριτήρια στη διαδικασία αξιολόγησης αφ' ενός την αποδοτικότητα της επένδυσης της κάθε επιχείρησης, και αφ' ετέρου την περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη καθεμίας από αυτές.

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 τους διδάκτορες Χ. Δούκα και Π. Ξυδώνα για την καθοδήγηση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής. Οφείλω επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες στον καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ κ. Γ. Μαυρωτά για την υποστήριξη που μου παρείχε όσον αφορά τη χρησιμοποίηση της γλώσσας μοντελοποίησης GAMS και των μεθόδων augmented ε-constraint (AUGMECON) και ΙΤΑ, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί από τον ίδιο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Σύμφωνα με την παραδοσιακή αντίληψη, η επιχείρηση είναι μία μονάδα που ενδιαφέρεται μόνο για τους μετόχους της και την αύξηση των κερδών της. Λαμβάνοντας υπόψη την σημερινή πολυδιάστατη αλληλεπίδραση μίας επιχείρησης με την κοινωνία και το περιβάλλον, η παραπάνω αντίληψη κρίθηκε απαραίτητο να αναθεωρηθεί. Η επιχείρηση πλέον αντιμετωπίζεται ως μία οικονομική οντότητα, η οποία ασκεί τις δραστηριότητες της έχοντας ως στόχο την ικανοποίηση όλων των ενδιαφερόμενων μερών της κοινωνίας. Οι επιπτώσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον από τη λειτουργία των επιχειρήσεων υπογραμμίζουν περαιτέρω την αναγκαιότητα θεσμοθέτησης της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης (ΕΚΕ).

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας μελετάται ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπου ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα (αποφασίζων) έχει να επιλέξει από ένα σύνολο εταιριών που ζητούν οικονομική βοήθεια (δάνειο). Στόχος είναι η μεγιστοποίηση της συνολικής οικονομικής αποδοτικότητας, αλλά και της συνολικής ΕΚΕ, υπό διάφορους περιορισμούς που αναφέρονται σε συγκεκριμένες πολιτικές. Συνεπώς αναζητείται το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο εταιριών. Το πρόβλημα είναι ακέραιο (integer programming), εφόσον οι μεταβλητές απόφασης είναι δυαδικές, διότι αυτές αναφέρονται στο αν επιλέγεται ή όχι η ν-οστή εταιρία για χορήγηση δανείου. Η διατύπωση αυτή του προβλήματος έρχεται σε συμφωνία με την παραπάνω διαπίστωση, εφόσον εκτός από την οικονομική αποδοτικότητα μίας εταιρίας, δίνεται ιδιαίτερο βάρος στην κοινωνική της ευθύνη.

Πρώτο βήμα για την προσέγγιση αυτού του προβλήματος ακέραιου προγραμματισμού αποτελεί η ανασκόπηση προβλημάτων βελτιστοποίησης με συνεχείς μεταβλητές, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στο χώρο των ενεργειακών επιχειρήσεων. Η χρησιμοποίηση της θεωρίας χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό αποτελεί ένα παράδειγμα το οποίο συναντάται συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία.

Στη συνέχεια, το πρόβλημα μοντελοποιείται και παράγεται το άριστο κατά Pareto μέτωπο στη γλώσσα GAMS, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ε-constraint για να διαχειριστούμε το γεγονός ύπαρξης 2 αντικειμενικών συναρτήσεων. Τέλος, χρησιμοποιείται η μέθοδος Monte Carlo για την εισαγωγή της αβεβαιότητας στις μεταβλητές εισόδου και εξάγονται συμπεράσματα από την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας.

**Λέξεις κλειδιά:** ΕΚΕ, βιώσιμη ανάπτυξη, πολυκριτήρια βελτιστοποίηση, Monte Carlo, GAMS, μέτωπο Pareto, ακέραιος προγραμματισμός, ε-constraint, ITA

## ABSTRACT

---

According to the traditional approach, enterprises are units solely interested in their shareholders and in increasing their profit. Taking into account the multidimensional interaction between a modern enterprise and factors such as the society and the environment, the traditional approach clearly called for revision. Enterprises are nowadays regarded as an economic entity, which operates targeting to satisfy all the stakeholders (stakeholder theory). Environmental impact further highlights the need to formally establish the concept of the corporate social responsibility (EECR).

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. This problem formulation agrees with the abovementioned analysis, because apart from the economic efficiency, significant attention is being paid to EECR.

The first step in attempting to model this problem is reviewing continuous-variable optimization problems in the field of modern energy enterprises. The application of modern portfolio theory (MPT) in energy planning, often encountered in the international scientific literature, constitutes a significant example of this kind.

After that, the problem is formally modeled and optimized. The Pareto front is produced using the GAMS language and we furthermore utilize the  $\varepsilon$ -constraint method in order to handle the existence of two objective functions. Finally, the Monte Carlo method is used in order to exhibit and manage the randomness of the input data. By applying this method, many important conclusions are drawn.

**Keywords:** CSR, sustainable development, multiobjective optimization, Monte Carlo, GAMS, Pareto front, integer programming,  $\varepsilon$ -constraint, ITA



## Περιεχόμενα

### **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή**

1.1 Σκοπός και Αντικείμενο.....	14
1.2 Συμβολή της Διπλωματικής Εργασίας.....	16
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	17
1.4 Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας.....	18

### **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Παρουσίαση του προβλήματος**

2.1 Το πρόβλημα.....	21
2.2 Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης.....	22
2.3 Η εταιρική κοινωνική ευθύνη (ΕΚΕ).....	25
2.3.1 Ορισμός ΕΚΕ.....	25
2.3.2 Υπολογισμός περιβαλλοντικής ΕΚΕ.....	27
2.4 Η οικονομική αποδοτικότητα.....	29

### **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Ανασκόπηση βιβλιογραφίας**

3.1 Εισαγωγή.....	31
3.2 Προβλήματα Βελτιστοποίησης Συνεχών Μεταβλητών.....	31
3.3 Προβλήματα Βελτιστοποίησης Ακέραιων και Μικτών Μεταβλητών.....	36
3.4 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι και Τεχνικές.....	40
3.4.1 Η Μεθοδολογία Monte Carlo.....	40
3.4.2 Η μέθοδος ΙΤΑ.....	41
3.4.3 Η γλώσσα GAMS.....	42
3.4.4 Η μέθοδος augmented $\epsilon$ -constraint (AUGMECON).....	43

### **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Προτεινόμενη Μεθοδολογία**

4.1 Εισαγωγή.....	46
4.2 Τυποποίηση των 2 αντικειμενικών συναρτήσεων.....	46
4.3 Τυποποίηση των περιορισμών.....	47
4.3.1 Περιορισμός Προϋπολογισμού.....	48
4.3.2 Περιορισμός Συνολικού Αριθμού Επιχειρήσεων.....	48
4.3.3 Τομεακοί Περιορισμοί (sectorial constraints).....	49
4.4.4 Γεωγραφικοί περιορισμοί (geographical constraints).....	49
4.5 Τα βήματα της μεθόδου.....	50

## **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Εφαρμογή και Αποτελέσματα**

5.1 Δεδομένα.....	56
5.2 Υλοποίηση των μεθοδολογικών βημάτων.....	58
5.2.1 Βήμα 1 <sup>ο</sup> : Σχεδίαση Pareto front για τις ακριβείς τιμές των EECR και NPV.....	58
5.2.2 Βήμα 2 <sup>ο</sup> : Pareto fronts για 20 επαναλήψεις Monte Carlo.....	60
5.2.3 Βήμα 3 <sup>ο</sup> : Εφαρμογή ΙΤΑ για κανονική κατανομή.....	66
5.2.4 Βήμα 4 <sup>ο</sup> : Εφαρμογή ΙΤΑ για ομοιόμορφη κατανομή.....	68
5.2.5 Βήμα 5 <sup>ο</sup> : Διερεύνηση εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.....	70

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα και προοπτικές**

6.1 Συμπεράσματα.....	74
6.2 Προοπτικές.....	75

<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>78</b>
--------------------------	-----------

<b>Παράρτημα: Αλγόριθμος Υλοποίησης στη γλώσσα GAMS.....</b>	<b>83</b>
--	-----------

## Πίνακας Σχημάτων και Πινάκων

### ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Φάσεις διπλωματικής εργασίας.....	19
Σχήμα 2: Επίδοση χωρών όσον αφορά την ΕΚΕ.....	22
Σχήμα 3: Η Agenda 21 του ΟΗΕ για τη βιώσιμη ανάπτυξη τον 21ο αιώνα.....	24
Σχήμα 4: Οι 3 βασικές πτυχές της ΕΚΕ.....	26
Σχήμα 5: Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Εταιρική Ευθύνη σύμφωνα με GRI.....	27
Σχήμα 6: Η περιβαλλοντική ΕΚΕ.....	28
Σχήμα 7: Βασικός διαχωρισμός προβλημάτων βελτιστοποίησης.....	31
Σχήμα 8: Η κανονική κατανομή.....	41
Σχήμα 9: Η ομοιόμορφη κατανομή.....	41
Σχήμα 10: Οι συνιστώσες ενός μοντέλου GAMS και ο τρόπος δήλωσής τους.....	43
Σχήμα 11: Είδη περιορισμών.....	47
Σχήμα 12: Τα βήματα της μεθόδου.....	50
Σχήμα 13: Βήματα σχεδιασμού ακριβούς Pareto front.....	51
Σχήμα 14: Βήματα Monte Carlo.....	51
Σχήμα 15: Απεικόνιση υλοποίησης μεθόδου ΙΤΑ.....	52
Σχήμα 16: Τρόπος υπολογισμού του R.I.....	53
Σχήμα 17: Βήματα υπολογισμού Robustness Index.....	53
Σχήμα 18: Το ακριβές Pareto front.....	59
Σχήμα 19: Pareto fronts για 20 επαναλήψεις Monte Carlo.....	65
Σχήμα 20: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ΙΤΑ (98%-2%)- Κανονική κατανομή.....	66
Σχήμα 21: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ΙΤΑ (99%-1%)- Κανονική κατανομή.....	67
Σχήμα 22: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ΙΤΑ (98%-2%)- Ομοιόμορφη κατανομή.....	68
Σχήμα 23: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ΙΤΑ (99%-1%)- Ομοιόμορφη κατανομή.....	69
Σχήμα 24: Ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας εμφάνισης κάθε εταιρίας στο σύνολο των χαρτοφυλακίων.....	71

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Δημοσιεύσεις για προβλήματα συνεχών μεταβλητών.....	33
Πίνακας 2: Δημοσιεύσεις για προβλήματα διακριτών και μικτών μεταβλητών.....	37
Πίνακας 3: Τα δεδομένα και χαρακτηριστικά των 40 εταιριών.....	57
Πίνακας 4: EECR και NPV για ακριβή λύση και προσέγγιση.....	59
Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo-1 <sup>η</sup> επανάληψη.....	61
Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo-2 <sup>η</sup> επανάληψη.....	63
Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo-20 <sup>η</sup> επανάληψη.....	65
Πίνακας 8: Διαχωρισμός χαρτοφυλακίων με τη μέθοδο ITA-Κανονική κατανομή....	66
Πίνακας 9: Διαχωρισμός χαρτοφυλακίων με τη μέθοδο ITA-Ομοιόμορφη κατανομή.....	68
Πίνακας 10: Συχνότητα εμφάνισης των 40 εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.....	71

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

---

## 1.1 Σκοπός και Αντικείμενο

Η επιστήμη της επιχειρησιακής έρευνας βρίσκει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών στις μέρες μας από επιχειρήσεις ανεξαρτήτως μεγέθους και αντικειμένου δραστηριοποίησης. Τα στελέχη βρίσκονται καθημερινά αντιμέτωπα με πολύπλοκα προβλήματα λήψης αποφάσεων, τα οποία για τη λύση τους απαιτούν κατάλληλη μοντελοποίηση και μεθοδολογία αντιμετώπισης. Η χρησιμοποίηση της υπάρχουσας θεωρίας, σε συνεργασία με προγραμματιστικά εργαλεία ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα οποία μειώνουν δραστικά το χρόνο υπολογισμού, μπορεί να οδηγήσει σε ικανοποιητικές και εφαρμόσιμες λύσεις.

Παραδοσιακά, οι επιχειρήσεις συνήθιζαν να χρησιμοποιούν την επιχειρησιακή έρευνα για επίλυση προβλημάτων οικονομικής βελτιστοποίησης, όπως υπαγόρευε άλλωστε η βασική οικονομική αρχή. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που εμφανίζονται τις τελευταίες δεκαετίες καθιστούν αναγκαία την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση από πλευράς των επιχειρήσεων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή πολυάριθμων νέων στόχων, άρα και αντικειμενικών συναρτήσεων, καθώς και περιορισμών στα διάφορα προβλήματα βελτιστοποίησης που προκύπτουν.

Οι παραπάνω στόχοι συνδέονται άμεσα με την έννοια της ΕΚΕ, η οποία αναφέρεται στην περιβαλλοντική συνείδηση της εταιρίας και τη συμβολή της στη βιώσιμη ανάπτυξη και στο κοινωνικό σύνολο. Η έννοια της ΕΚΕ είναι αρκετά ευρεία. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, καθώς αντικείμενο κατά κύριο λόγο αποτελούν εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενέργειας, θα γίνει αναφορά στην πλευρά της ΕΚΕ που συνδέεται με την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές. Εισάγεται δηλαδή η περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη. Στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζονται οι ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ΕΚΕ.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μοντελοποίηση και λύση ενός πολυκριτηριακού προβλήματος βελτιστοποίησης. Πεδίο εφαρμογής αποτελεί ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα και στόχος είναι η υποστήριξη του κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Κριτήρια αποτελούν η βιωσιμότητα των επιμέρους επενδύσεων, αλλά και η ΕΚΕ της κάθε επιχείρησης.

Ειδικότερα τις μέρες που διανύουμε, η ανάπτυξη του παραπάνω μοντέλου αποτελεί μία πρόκληση. Η χρηματοπιστωτική κρίση έχει επιφέρει πολλά προβλήματα ρευστότητας και έχει μειώσει δραματικά τον αριθμό των νέων επενδύσεων. Συνεπώς, εκ πρώτης όψεως, φαντάζει δύσκολα εφαρμόσιμος ο στόχος της εργασίας αυτής, δηλαδή η εισαγωγή περαιτέρω δεσμεύσεων στην διαδικασία παροχής δανείου για την υποστήριξη νέων επενδύσεων. Ωστόσο, ο στόχος της εργασίας αυτής είναι μακροπρόθεσμος και δημιουργεί πρόσφορο έδαφος για πράσινη ανάπτυξη, εφόσον η κρίση ξεπεραστεί και δοθεί η δυνατότητα υλοποίησης νέων επενδυτικών σχεδίων.

Επίσης, παρά τη δυσμενή οικονομική συγκυρία που επικρατεί, πάντοτε ένας από τους πρωταρχικούς στόχους κάθε κράτους θα πρέπει να είναι η προστασία του περιβάλλοντος και η βιώσιμη ανάπτυξη.

Έως σήμερα, οι διάφοροι περιβαλλοντικοί στόχοι επιτυγχάνονταν μέσω της πολιτικής των κρατών, τα οποία εφάρμοζαν διάφορους νόμους, ανώτατα όρια εκπομπών ή πρόστιμα εκπομπών. Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα της οικονομίας, δύσκολα μπορούσαν να συμμορφωθούν με τους παραπάνω κανόνες, λόγω περιορισμένου προϋπολογισμού και έλλειψης τεχνογνωσίας. Συνεπώς, δύσκολα ανέπτυσαν την ΕΚΕ τους.

Μέσω της συγκεκριμένης εργασίας επιτυγχάνεται ο στόχος εξάπλωσης της έννοιας της ΕΚΕ, και αυτό είναι εφικτό μέσω της ενσωμάτωσης των περιβαλλοντικών στόχων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων. Τα διάφορα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα θα πρέπει να λαμβάνουν σοβαρά υπ' όψιν τους την περιβαλλοντική επίπτωση των επενδυτικών προγραμμάτων που τα ίδια χρηματοδοτούν. Ταυτοχρόνως, η όποια απόφαση για τη χρηματοδότηση ή μη ενός επενδυτικού σχεδίου πρέπει να μην λαμβάνεται μόνο από τη θεώρηση καθαρά τεχνοοικονομικών όρων, αλλά λαμβάνοντας υπ' όψιν και την περιβαλλοντική επίδοση της εκάστοτε επιχείρησης και του ιστορικού περιβαλλοντικής και ενεργειακής συμμόρφωσης που η ίδια διαθέτει.

Σύμφωνα με την παραπάνω θεώρηση, προκύπτει ένα μοντέλο, το οποίο ολοκληρώνεται με τη εισαγωγή των κατάλληλων περιορισμών. Οι περιορισμοί μπορούν να είναι διαφόρων ειδών 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.

Τέλος, στόχος είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη καθολικότητα των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τα αποτελέσματα. Έτσι, ενώ αρχικά ως εισόδοι χρησιμοποιούνται πραγματικά δεδομένα για ένα αριθμό επιχειρήσεων, στη συνέχεια εισάγουμε την έννοια της αβεβαιότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο Monte Carlo, όπου εισάγονται πιθανοτικές κατανομές για ορισμένες μεταβλητές εισόδου και υπολογίζονται οι έξοδοι. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα για εξαγωγή πιο γενικών και εφαρμόσιμων συμπερασμάτων, ενώ βοηθά και τη διαδικασία αξιολόγησης της μεθόδου. Επίσης, δίνεται το έναυσμα για μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις του προτεινόμενου μοντέλου.

## 1.2 Συμβολή της Διπλωματικής Εργασίας

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγινε αναλυτική ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και εντοπίστηκε το κενό το οποίο έχει σκοπό να καλύψει η προτεινόμενη μεθοδολογία. Συγκεκριμένα, παρόλο που εντοπίστηκαν πολυάριθμες εφαρμογές του μαθηματικού προγραμματισμού στον τομέα των επιχειρήσεων ενεργειακής φύσεως, δεν είχε λυθεί το πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων που θα αναλυθεί εδώ. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα επιβολής πολυάριθμων και ποικιλόμορφων περιορισμών μέσω των δυαδικών μεταβλητών απόφασης. Έτσι, σχεδόν οποιοδήποτε προφίλ πολιτικής και περιορισμών μπορεί να χαρτογραφηθεί και να ενσωματωθεί στο μοντέλο. Παράλληλα με την πρωτοπορία του, το πρόβλημα που θα λυθεί είναι πολύ μεγάλης σημασίας, καθώς εισάγει το ζήτημα της περιβαλλοντικής συνείδησης στην πολιτική των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων. Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται η μέθοδος ITA (Iterative Trichotomic Approach) για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας, κάτι που έως τώρα είχε εφαρμοστεί μόνο σε μονοκριτηριακά προβλήματα και όχι σε πολυκριτηριακά.

Επιπλέον, μέσω της εργασίας αυτής αναδεικνύεται η χρηστικότητα και αποδοτικότητα της μεθόδου augmented  $\epsilon$ -constraint για το χειρισμό πολυκριτηριακών προβλημάτων, σε αντίθεση με άλλες λιγότερο αποδοτικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται συνήθως στη διεθνή βιβλιογραφία.

Τέλος, η σημαντικότερη συμβολή είναι η καταγραφή του προτεινόμενου ολοκληρωμένου μοντέλου στη γλώσσα GAMS. Το παραχθέν μοντέλο είναι δυνατόν να αποτελέσει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο το οποίο, ύστερα από τις κατάλληλες τροποποιήσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα άλλων εφαρμογών. Η ευελιξία και ευκολία χειρισμού της γλώσσας αυτής καθιστούν τη διαδικασία μελλοντικής τροποποίησης του παραχθέντος μοντέλου εύκολη.



## **1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας**

Παρουσιάζονται παρακάτω τα κεφάλαια και το περιεχόμενό τους.

### **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο και παρουσιάζει μία πρώτη προσέγγιση του προβλήματος και της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί. Εντοπίζεται επίσης το «κενό» που στοχεύει να καλύψει η εργασία αυτή και τονίζεται η χρησιμότητά της. Καθορίζονται ακόμη οι στόχοι και αναλύεται η δομή και φάση εκπόνησης της εργασίας.

### **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Παρουσίαση του προβλήματος**

Ύστερα από την συνοπτική παρουσίαση του 1<sup>ου</sup> κεφαλαίου, στο σημείο αυτό γίνεται εκτενής αναφορά στο πρόβλημα και τις επιμέρους συνιστώσες του. Αναφέρονται επίσης οι έννοιες της βιώσιμης ανάπτυξης, της οικονομικής αποδοτικότητας και της ΕΚΕ, καθώς και οι δείκτες από τους οποίους αποτελείται η ΕΚΕ.

### **Κεφάλαιο 3:Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας**

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί μία συνοπτική παρουσίαση των σημαντικότερων δημοσιεύσεων της διεθνούς βιβλιογραφίας που αφορούν το πρόβλημα. Μετά από μελέτη δημοσιεύσεων πάνω στο θέμα της βελτιστοποίησης, γίνεται ένας βασικός διαχωρισμός ανάμεσα σε προβλήματα με συνεχείς και διακριτές μεταβλητές απόφασης. Οι δύο αυτές κατηγορίες παρουσιάζονται ξεχωριστά και από τη διαδικασία αυτή αντλούνται χρήσιμες πληροφορίες για την κατασκευή του μοντέλου. Παρουσιάζονται επίσης οι ήδη υπάρχουσες μέθοδοι και τεχνικές που θα αποτελέσουν στη συνέχεια αναπόσπαστο τμήμα της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

### **Κεφάλαιο 4: Προτεινόμενη Μεθοδολογία**

Η μεθοδολογία που έχει αναφερθεί μέχρι το σημείο αυτό παρουσιάζεται πλέον αναλυτικά και διατυπώνεται μαθηματικά. Αναφέρονται ακόμη τα πέντε βασικά βήματα από τα οποία αποτελείται.

### **Κεφάλαιο 5 : Εφαρμογή και Αποτελέσματα**

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται και παράγονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Αρχικά λύνεται το πρόβλημα με τις ακριβείς τιμές σαν εισόδους και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται πιθανοτικές κατανομές σαν εργαλείο αντιμετώπισης της αβεβαιότητας, κάτι που συμβάλλει στην πληρότητα της λύσης.

## Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα

Εξάγονται συμπεράσματα από το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Παρουσιάζονται επίσης τυχόν αδυναμίες του μοντέλου και προτείνονται σημεία βελτίωσης και μελλοντικά πεδία έρευνας.

### Παράρτημα : Αλγόριθμος Υλοποίησης

Παρουσιάζεται ο πλήρης κώδικας που χρησιμοποιήθηκε και δίνεται έμφαση σε ορισμένα καίρια σημεία του, όπως η εφαρμογή της μεθόδου ε-constraint.

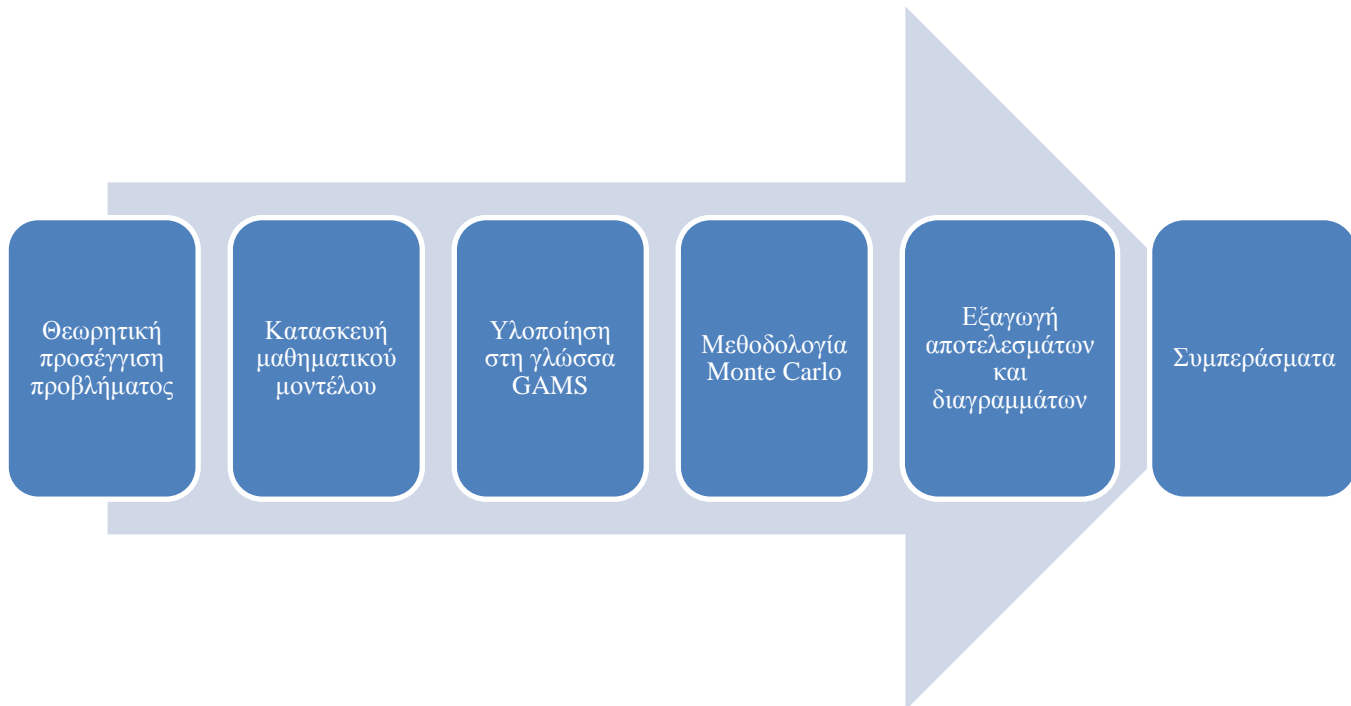
## 1.4 Φάσεις Υλοποίησης Διπλωματικής Εργασίας

Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας μπορεί να χωριστεί στις εξής διαφορετικές φάσεις

- Αρχικά έλαβε χώρα εκτενής μελέτη της βιβλιογραφίας σχετικά με την εφαρμογή προβλημάτων βελτιστοποίησης συνεχών μεταβλητών στον τομέα των ενεργειακών επιχειρήσεων. Αντιπροσωπευτικό πρόβλημα ήταν η εφαρμογή της θεωρίας χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό. Οι σημαντικότερες πληροφορίες που αντλήθηκαν από την έρευνα αυτή παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3.
- Στη συνέχεια, η προσοχή στράφηκε σε προβλήματα βελτιστοποίησης με ακέραιες μεταβλητές (integer) και μικτές (mixed integer). Παράλληλα, δόθηκε έμφαση σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης και στις ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές λύσεώς τους.
- Ακολούθησε μελέτη των εννοιών της βιώσιμης ανάπτυξης και της ΕΚΕ, ανάλυση της έννοιας της ΕΚΕ, καθώς και επιλογή των εταιρειών που θα στελεχώσουν το μοντέλο μας. Ταυτόχρονα, αναζητήθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για τις εταιρίες αυτές
- Ύστερα, καταστρώθηκε το πρόβλημα του ακέραιου μαθηματικού προγραμματισμού που θα προσδιορίσει την τελική διανομή του προϋπολογισμού από την πλευρά του χρηματοπιστωτικού ιδρύματος στις ενδιαφερόμενες επιχειρήσεις.
- Έχοντας καταστρώσει το πρόβλημα, εκτελούνται οι απαραίτητες προσομοιώσεις στη γλώσσα GAMS και παράγονται τα διάφορα

αποτελέσματα, κατά περίπτωση. Παρουσιάζονται και σχολιάζονται επίσης τα σχετικά διαγράμματα.

- Τέλος, εξήχθησαν συμπεράσματα και έλαβε χώρα η αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθόδου.



Σχήμα 1: Φάσεις διπλωματικής εργασίας

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

---

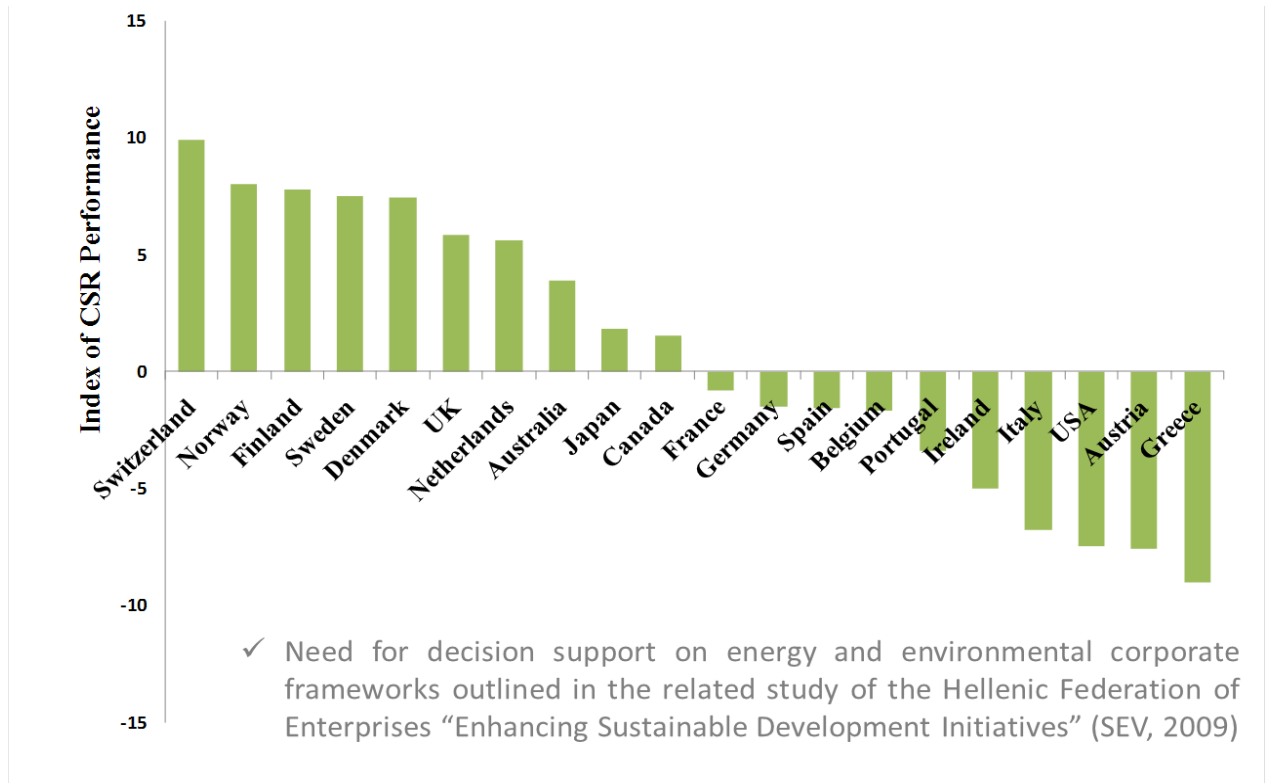
## 2.1 Το πρόβλημα

Πυρήνα του προβλήματος αποτελεί η αδυναμία πολλών επιχειρήσεων της χώρας μας να συμμορφωθούν με τους περιβαλλοντικούς στόχους που τίθενται, κάτι που οδηγεί στη μειωμένη εξάπλωση της βιώσιμης ανάπτυξης. Η χρηματοπιστωτική κρίση είναι ένας παράγοντας που επιδεινώνει περαιτέρω την κατάσταση, καθώς τα μειωμένα έσοδα των επιχειρήσεων περιορίζουν τις οικονομικές δυνατότητές τους για επενδύσεις με περιβαλλοντικό προσανατολισμό. Ακόμη, στη γενικότερη προσπάθεια εξοικονόμησης, συχνά αμελείται πλήρως η οικολογική συνείδηση και γίνεται στροφή σε ρυπογόνες και ξεπερασμένες τεχνολογίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα συνιστά η ραγδαία αύξηση της χρήσης καυσόξυλου από οικιακούς καταναλωτές και επιχειρήσεις τον χειμώνα του 2012-2013, κάτι που οδήγησε σε σημαντική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με αιθαλομίχλη.

Προκύπτει συνεπώς το συμπέρασμα ότι είναι επιτακτική η ανάγκη για συνειδητοποίηση της ΕΚΕ από πλευράς των επιχειρήσεων, συστηματική αποτύπωση της περιβαλλοντικής και ενεργειακής επίδοσής τους, και χρηματοδότηση πράσινων ενεργειακά δράσεων από τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Παράλληλα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη μειωμένη ρευστότητα, θα πρέπει να βρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ των στόχων για πράσινη ανάπτυξη και για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη οικονομική αποδοτικότητα. Η συγκεκριμένη διαπίστωση αποτέλεσε αφετηρία για τη συγκεκριμένη εργασία, καθώς έδωσε το έναυσμα για τη διατύπωση και μοντελοποίηση του προβλήματος βελτιστοποίησης που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.

Τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα διαθέτουν πολύ ισχυρό δυναμικό διαμόρφωσης των νέων επενδύσεων. Όσον αφορά τις επενδύσεις σε έργα επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενέργειας, ο ρόλος των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων καθίσταται ακόμα πιο καίριος. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι μπορούν να υποστηρίξουν έμπρακτα την προσπάθεια υλοποίησης των περιβαλλοντικών στόχων του κράτους, εισάγοντας αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια κατά τη χορήγηση δανείων για νέα ενεργειακά έργα. Σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι το συγκεκριμένο δυναμικό διαμόρφωσης της περιβαλλοντικής συνείδησης των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων δεν έχει συνειδητοποιηθεί πλήρως, και συνεπώς δεν έχουν ληφθεί ακόμη τα απαραίτητα μέτρα για την υλοποίησή του.

Συνεπώς, το πρόβλημα συνδέεται άρρηκτα με τις έννοιες της βιώσιμης ανάπτυξης και της ΕΚΕ. Γι' αυτό το λόγο οι δύο παραπάνω έννοιες θα αναπτυχθούν συνοπτικά στη συνέχεια. Άλλωστε, από την παρακάτω εικόνα φαίνεται ότι υπάρχει σημαντικό πρόβλημα σχετικά με την ΕΚΕ παγκοσμίως. Ειδικότερα, η χώρα μας επιτυγχάνει πολύ χαμηλή επίδοση σχετικά με τον δείκτη ΕΚΕ.



Σχήμα 2: Επίδοση χωρών όσον αφορά την ΕΚΕ

## 2.2 Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης

Η αειφόρος ανάπτυξη ή βιώσιμη ανάπτυξη μπορεί να περιγραφεί σαν μία θεωρία επανενσωμάτωσης του ανθρώπου στη φύση και ακολουθεί έναν αιώνα όπου επικράτησε η αντίληψη ότι η οικονομική πρόοδος επιτυγχάνεται μόνο μέσα από την έντονη βιομηχανοποίηση, το εμπόριο και την αστικοποίηση. Παράλληλα, η πράσινη οικονομία ως έννοια έχει κοινά με την αειφόρο ανάπτυξη και θεωρείται ως ένα μοντέλο για να την πετύχουμε. Αναδεικνύει τη σημασία του φυσικού κεφαλαίου έναντι του οικονομικού και κοινωνικού.

Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης και η σημασία που της αποδίδεται σήμερα διαμορφώθηκε μόλις τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα. Προέκυψε από μία στροφή στην αντίληψη των πραγμάτων, η οποία αρχικά εκφράστηκε ως ανησυχία για τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Δόθηκε σημασία επίσης στις επιπτώσεις που έχει η υποβάθμιση του περιβάλλοντος στην υγεία και στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων και την οικονομική ανάπτυξη, αλλά και στη συνειδητοποίηση ότι οι φυσικοί πόροι έπρεπε να διατηρηθούν και για τις επόμενες γενεές. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 και η οικονομική ύφεση της δεκαετίας του '70 δημιούργησαν στην ουσία τις πρώτες σοβαρές αμφιβολίες για δυνατότητα των οικονομιών να μεγεθύνονται απεριόριστα, θέτοντας έτσι επί τάπητος το θέμα της σπανιότητας των φυσικών πόρων.

Στη συνέχεια, προέκυψε η αναγκαιότητα για τη σύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης με τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Το 1972, το συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών για το Ανθρώπινο Περιβάλλον αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα στην εδραίωση της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης. Αν και η σύνδεση ανάμεσα στα περιβαλλοντικά και στα αναπτυξιακά θέματα δεν ήταν ισχυρή, υπήρξαν ενδείξεις ότι η μορφή της οικονομικής ανάπτυξης θα έπρεπε να μεταβληθεί. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η ορολογία εξελίχθηκε σε έννοιες όπως περιβάλλον και ανάπτυξη, ανάπτυξη χωρίς καταστροφή, και περιβαλλοντικά υγιής ανάπτυξη. Τελικά, ο όρος οίκο-ανάπτυξη εμφανίστηκε στην επιθεώρηση του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των ΗΕ το 1978. Μέχρι τότε, είχε αναγνωριστεί παγκόσμια ότι οι περιβαλλοντικές και οι αναπτυξιακές ιδέες έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη παράλληλα.

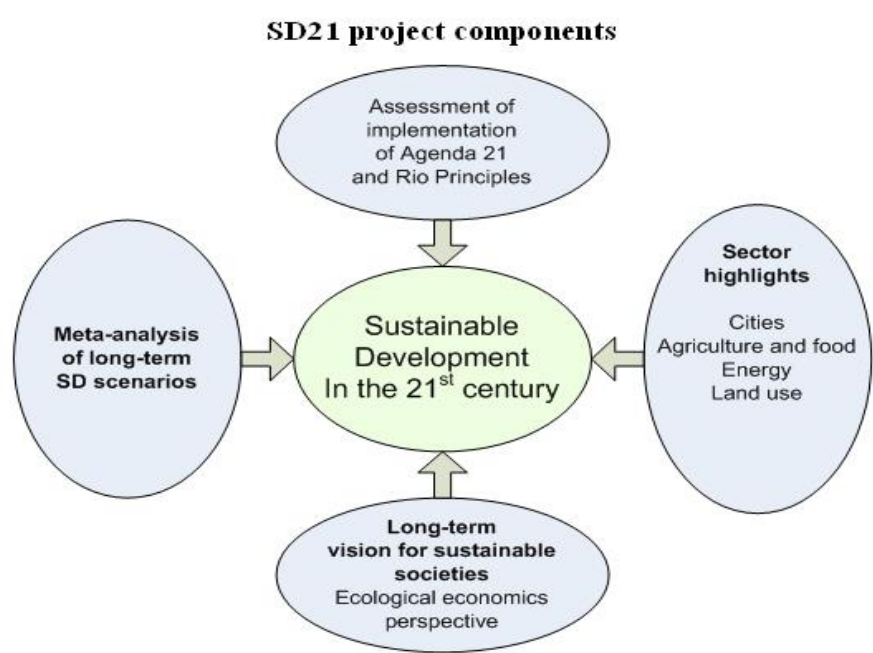
Ακολούθησαν διάφορα στάδια εναπαροσδιορισμού και καθιέρωσης της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης. Το 1980 η Παγκόσμια Ένωση Διατήρησης αναγνώρισε ως στόχους τη διατήρηση των βασικών οικολογικών διαδικασιών, τη διαφύλαξη της γενετικής ποικιλότητας και βιώσιμη χρήση των πόρων. Αργότερα, η Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη όρισε πως βιώσιμη ανάπτυξη είναι αυτή που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να κάνει συμβιβασμούς ως προς την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους. Ο ορισμός αυτός είναι περισσότερο ανθρωποκεντρικός καθώς αναφέρεται στην ικανοποίηση των ανθρωπίνων αναγκών, χωρίς να γίνεται σαφής αναφορά στην προστασία του περιβάλλοντος και προσπαθεί να ξεπεράσει την παλιά διχογνωμία ανάμεσα στους υποστηρικτές της ανάπτυξης και στους υποστηρικτές της περιβαλλοντικής προστασίας. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό η βιώσιμη ανάπτυξη παρέχει ένα πλαίσιο για την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών πολιτικών στις αναπτυξιακές στρατηγικές ξεπερνώντας με αυτό τον τρόπο την αντίληψη πως η περιβαλλοντική διατήρηση μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε βάρος της οικονομικής ανάπτυξης. Ο ορισμός αυτός σηματοδοτεί την πολιτική απαρχή της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης.

Στην Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) στο Ρίο το 1992 πάνω από 170 χώρες δεσμεύτηκαν πως η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης αποτελεί τη βασική ιδέα για τη μελλοντική τους ανάπτυξη, υπογράφοντας την “Agenda 21” και τη Διακήρυξη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Η “Agenda 21” ήταν αποτέλεσμα μίας εκτενούς ανάλυσης σχετικά με το τι χρειάζεται για να επιτευχθεί η βιώσιμη ανάπτυξη. Τα 40 κεφάλαιά της πάνω σε περιβαλλοντικά, οικονομικά, κοινωνικά θέματα και θέματα οργάνωσης περιέχουν οδηγίες για την ανάπτυξη διαδικασιών λήψης αποφάσεων με στόχο τη βιωσιμότητα.

Έχοντας εισαγάγει την έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης, θα παρουσιαστούν τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν εμφανιστεί. Αυτό γιατί οι ενεργειακές επιχειρήσεις που θα μελετηθούν στη συνέχεια έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Τα κυριότερα προβλήματα είναι η κλιματική αλλαγή, η απώλεια της βιοποικιλότητας, η εξάντληση των φυσικών πόρων, η παραγωγή

αποβλήτων, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η υποβάθμιση του εδάφους. Αν δεν αναληφθεί δράση, εγκυμονούν σημαντικοί κίνδυνοι για την μελλοντική επάρκεια τροφодότησης με πόρους και ενέργεια, την ανθρώπινη υγεία, την ασφάλεια, την κοινωνική συνοχή, τις διεθνείς σχέσεις και την οικονομία.

Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η πλήρης κατανόηση της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης από τις επιχειρήσεις και η ενσωμάτωσή της στους επιχειρησιακούς στόχους. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή της ΕΚΕ, που παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Σχήμα 3: Η «Agenda 21» του ΟΗΕ για τη βιώσιμη ανάπτυξη τον 21<sup>ο</sup> αιώνα [36]



## 2.3 Η εταιρική κοινωνική ευθύνη (ΕΚΕ)

### 2.3.1 Ορισμός ΕΚΕ

Όσον αφορά τις επιχειρήσεις, η ΕΚΕ αποτελεί μία έννοια η οποία εστιάζει σε όλες τις πτυχές της επιχειρηματικής δραστηριότητας που σχετίζονται με τους στόχους της αειφόρου ανάπτυξης. Συνεπώς, μπορεί να αποτελέσει το εργαλείο για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της βιώσιμης ανάπτυξης και την επίτευξη των στόχων της αειφορίας.

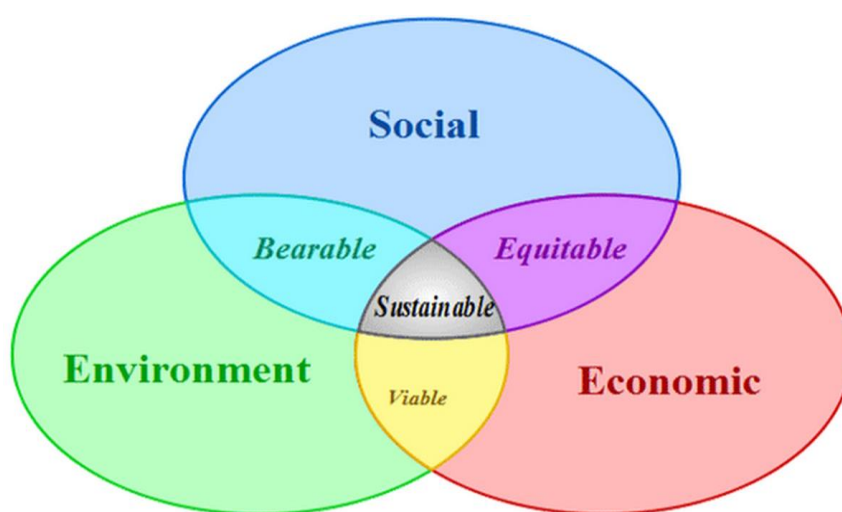
Σήμερα, ο θεσμός της ΕΚΕ προσδιορίζεται με πολιτικές και δράσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η οποία στοχεύει να του δώσει μεγαλύτερη πολιτική προβολή, να επιβραβεύσει ευρωπαϊκές επιχειρήσεις για τις ενέργειές τους σε αυτόν τον τομέα και να ενθαρρύνει την ανάληψη μεγαλύτερων πρωτοβουλιών. Αναγνωρίζοντας ότι οι επιχειρήσεις έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην Εταιρική κοινωνική ευθύνη, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μπορεί να επιτύχει καλύτερα τους στόχους της σε συνεργασία με τις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις και έχει ήδη εξαγγείλει την υποστήριξή της στην δημιουργία ευρωπαϊκής συμμαχίας για την ΕΚΕ. Έτσι, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει ένα πλέγμα νόμων και κανόνων για την προστασία του περιβάλλοντος κατά την διαδικασία παραγωγής που προστατεύει και προάγει την ανθρώπινη αξιοπρέπεια. Αυτό το πλαίσιο, αποτελεί εφελκυστικό ώστε οι να προχωρούν ένα βήμα μπροστά, υιοθετώντας έναν κώδικα δεοντολογίας που προάγει την ποιότητα ζωής την εκπαίδευση και επιμόρφωση των εργαζομένων κλπ. Ο όρος έχει πολύ στενή σχέση με την ηθική των επιχειρήσεων.

Για τη μετάβαση στην υπεύθυνη ή αλλιώς ηθική επιχείρηση, απαιτείται αναθεώρηση της αντίληψης που έχουν και οι ίδιες οι επιχειρήσεις για τη λειτουργία τους και αλλαγή στρατηγικής. Γι' αυτό το λόγο προβάλλονται πέρα από τα οφέλη για την κοινωνία (που είναι προφανή) και τα οφέλη για την ίδια την επιχείρηση. Τα οφέλη που μπορεί να αποκομίσει η επιχείρηση ενδέχεται να αφορούν την ανταγωνιστικότητα της, τη διαχείριση κινδύνου, την εξοικονόμηση κόστους, την πρόσβαση σε κεφάλαιο, την εικόνα και φήμη της επιχείρησης, τη σχέση με πελάτες και γενικότερα τις δημόσιες σχέσεις της, τη διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού, την καινοτομία και την ανάπτυξη της επιχείρησης

Ο πολυσύνθετος χαρακτήρας της έννοιας είναι αναμενόμενος αν λάβουμε υπόψη την πολυδιάστατη αλληλεπίδραση μίας επιχείρησης με την κοινωνία. Η ΕΚΕ περιλαμβάνει, κατ' αντιστοιχία με την αειφορία, τρεις διακριτές πτυχές: την οικονομική, την κοινωνική και την περιβαλλοντική. Ωστόσο, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, θα εστιάσουμε στην περιβαλλοντική πτυχή της ΕΚΕ στα πλαίσια της εργασίας.

Είναι σημαντικό για τη σωστή άσκηση της ΕΚΕ, κάθε επιχείρηση να ακολουθεί μία συστηματική προσέγγιση. Αυτή θα πρέπει να ξεκινά με τον επαναπροσδιορισμό των αξιών και της αποστολής της επιχείρησης, που είναι απαραίτητο να δίνουν μία σαφή εικόνα των κινήτρων που οδηγούν τη δραστηριότητα της επιχείρησης. Στη συνέχεια, αυτές οι αξίες πρέπει να αντανακλώνται σε στόχους της επιχείρησης και στη διαμόρφωση του συνόλου της στρατηγικής. Όλες οι κύριες διαστάσεις της υπευθυνότητας πρέπει να οργανώνονται και να εφαρμόζονται μέσα από πολιτικές της επιχείρησης. Σημαντικοί δείκτες επιλέγονται για να παρακολουθήσουν την επίτευξη των στόχων των συγκεκριμένων πολιτικών. Συστήματα διαχείρισης, ελέγχου και πληροφοριακά χρησιμοποιούνται ως εργαλεία και θεμέλιο για την άσκηση της ΕΚΕ και τέλος όλες αυτές οι δραστηριότητες πρέπει να καταγράφονται σε εκθέσεις σύμφωνα με διεθνείς κατευθυντήριες γραμμές. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ΕΚΕ αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη λήψη αποφάσεων από την επιχείρηση.

Τονίζεται ξανά ότι δίνεται έμφαση στα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της ΕΚΕ, κάτι που αναφέρεται εναλλακτικά ως περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη. Στην επόμενη παράγραφο, η έννοια της περιβαλλοντικής εταιρικής ευθύνης θα προσαρμοστεί στις ανάγκες του προβλήματος που στοχεύουμε να λύσουμε και επίσης θα ποσοτικοποιηθεί. Με αυτό τον τρόπο θα προκύψουν αριθμητικές τιμές, έτοιμες να χρησιμοποιηθούν σαν παράμετροι εισόδου του μοντέλου που θα αναπτυχθεί στη συνέχεια. Το γεγονός ότι ο υπολογισμός δεν είναι μονοσήμαντος, καθώς έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες στην διεθνή βιβλιογραφία, μας οδηγεί στη συνέχεια στη σκέψη να εισαγάγουμε την έννοια της αβεβαιότητας στις παραπάνω υπολογισμένες τιμές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δειγματοληψία από κατάλληλα επιλεγμένες πιθανοτικές κατανομές.

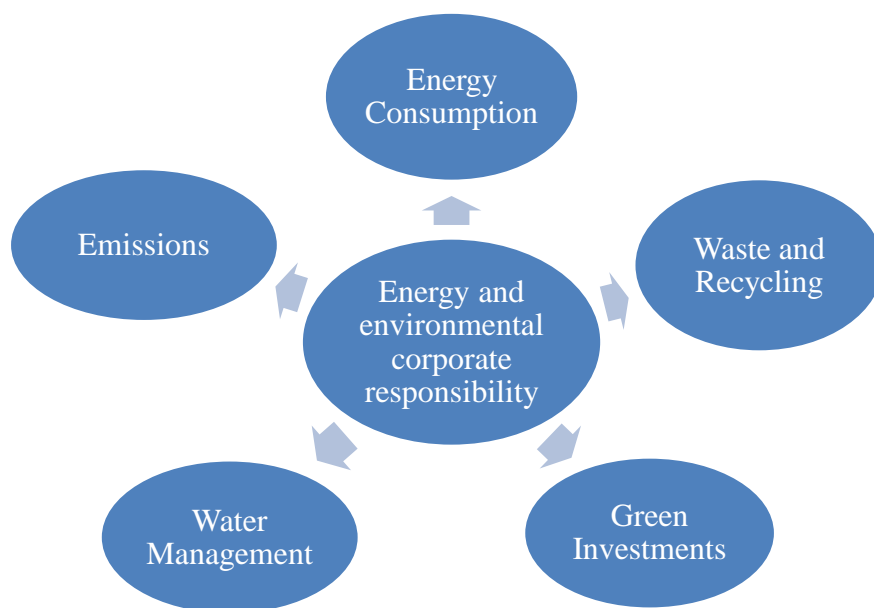


Σχήμα 4: Οι 3 βασικές πτυχές της ΕΚΕ [37]

### 2.3.2 Υπολογισμός περιβαλλοντικής ΕΚΕ

Η μεγάλη σημασία της έννοιας της περιβαλλοντικής ΕΚΕ και η αναγκαιότητα ποσοτικοποίησής της οδήγησε στην ανάπτυξη πολυάριθμων μεθοδολογιών. Παρουσιάστηκαν όμως διάφορα προβλήματα όπως η ποσοτικοποίηση πληροφορίας χωρίς να δίνεται βάση στην ποιότητα, το τεράστιο ποσοστό προς μέτρηση πληροφορίας και η αδυναμία καταγραφής των περιβαλλοντικών αλληλεπιδράσεων.

Αξιόλογα συστήματα που έχουν παρουσιαστεί στη διεθνή βιβλιογραφία είναι το “Global Reporting Initiative” (GRI), το ISO 14031, το “Sustainability Methodology”, το “Deloitte Touche Tohmatsu”, το “Davis-Walling-Batterman” και το “Krut and Munis”. Κοινός παρονομαστής των συστημάτων αυτών είναι η χρησιμοποίηση συγκεκριμένων δεικτών και βάσεων δεδομένων για την αποτύπωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής ΕΚΕ. Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένα συστήματα χρησιμοποιούν ποιοτικά δεδομένα ως είσοδο, κάτι που υλοποιείται με τη χρήση linguistic (fuzzy) variables.



Σχήμα 5: Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Εταιρική Ευθύνη σύμφωνα με GRI [43]

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, καθορίζονται οι πέντε πιο κομβικοί 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 πέντε δείκτες φαίνεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 6: Η περιβαλλοντική ΕΚΕ

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 πέντε 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.

## 2.4 Η οικονομική αποδοτικότητα

Εφόσον έχει ποσοτικοποιηθεί ο δείκτης EECR κάθε εταιρίας, στο σημείο αυτό πρέπει να αποτιμηθεί η δεύτερη θεμελιώδης παράμετρος που θα χρησιμοποιήσουμε, η οικονομική αποδοτικότητα. Παραδοσιακά, χρησιμοποιούνται καθαρά οικονομικοί δείκτες από πλευράς των τραπεζών για την επιλογή επενδύσεων. Συνεπώς, το πρόβλημα της αξιολόγησης μίας επένδυσης από οικονομική σκοπιά έχει αντιμετωπιστεί πλήρως, χρησιμοποιώντας μάλιστα διάφορες μεθόδους.

Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία υποστήριξης επενδυτικών αποφάσεων είναι το εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR), η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPP). Καθένα από τα παραπάνω εργαλεία παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και συνεπώς επιλέγεται ανάλογα με τις προτιμήσεις του κάθε επενδυτή. Συχνά όμως, χρησιμοποιούνται και τα τρία ταυτόχρονα, καθώς από το συνδυασμό τους μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Για διευκόλυνση των υπολογισμών στη συγκεκριμένη εργασία, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μόνο δείκτη για την αποτίμηση της οικονομικής αποδοτικότητας. 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.

Επομένως, η μόνη ενέργεια που απομένει είναι να αναζητήσουμε τις υπολογισμένες τιμές των NPV των επενδυτικών σχεδίων που αντιστοιχούν σε κάθε εταιρία. Δεν χρειάστηκε να γίνει υπολογισμός του NPV καθώς ήμασταν σε θέση να λάβουμε τις τιμές απ' ευθείας. Πλέον, έχοντας τα αριθμητικά δεδομένα για τα μεγέθη EKE και NPV, έχουμε ολοκληρώσει την παρουσίαση και καταγραφή των δεδομένων εισόδου που θα χρειαστούμε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ**

---

### 3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο τμήμα παρουσίασης της δομής της διπλωματικής εργασίας, γίνεται αρχικά ο βασικός διαχωρισμός ανάμεσα σε προβλήματα βελτιστοποίησης συνεχών και διακριτών μεταβλητών. Ειδική περίπτωση αποτελούν τα μικτά ακέραια (mixed-integer) προβλήματα, όπου εμφανίζονται μεταβλητές και των δύο ειδών ταυτόχρονα. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι σημαντικότερες δημοσιεύσεις που αφορούν τις τρεις παραπάνω κατηγορίες. Εφόσον το πεδίο εφαρμογής της επιχειρησιακής έρευνας είναι τεράστιο, στην προσπάθεια να περιοριστεί το ευρύ αυτό φάσμα θα δοθεί έμφαση κυρίως σε προβλήματα βελτιστοποίησης που αφορούν ενεργειακές επιχειρήσεις. Αυτή η επιλογή έρχεται φυσικά σε συμφωνία με το περιεχόμενο του προβλήματος που αντιμετωπίζεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας.



Σχήμα 7: Βασικός διαχωρισμός προβλημάτων βελτιστοποίησης

### 3.2 Προβλήματα Βελτιστοποίησης Συνεχών Μεταβλητών

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα των προβλημάτων βελτιστοποίησης συνεχών μεταβλητών στη ενέργεια είναι η εφαρμογή της θεωρίας χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό. Πέρα από το μεγάλο θεωρητικό ενδιαφέρον των προβλημάτων αυτών, υπάρχουν και άλλοι λόγοι που καθιστούν τη μελέτη τους χρήσιμη σε αυτή τη διπλωματική. Θέματα όπως διαχείριση ρίσκου, βιωσιμότητα, αβεβαιότητα παραμέτρων εισόδου, ανάλυση ευαισθησίας, μεθοδολογία Monte Carlo και χάραξη του αποτελεσματικού μετώπου Pareto τίγονται κατά κόρον στα πλαίσια των εργασιών αυτών. Επίσης, τόσο σε αυτά τα προβλήματα, όσο και σε αυτό που επιθυμούμε να λύσουμε, εμφανίζεται η ιδιαιτερότητα ύπαρξης 2 αντικειμενικών συναρτήσεων. Κατά συνέπεια, η μελέτη τους μας προσφέρει χρήσιμες ιδέες και τεχνικές που μπορούμε να υιοθετήσουμε για τη μοντελοποίηση και λύση του προβλήματος που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.

Θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι κυριότερες δημοσιεύσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας και θα δοθεί προσοχή στα σημεία πρωτοτυπίας τους. Όλες εστιάζουν στο πρόβλημα ελαχιστοποίησης του ρίσκου στο οποίο εκτίθεται ένα χαρτοφυλάκιο που αποτελείται από τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, μεγιστοποιώντας παράλληλα την απόδοσή του. Ως ρίσκο ορίζεται συνήθως η διακύμανση του μεταβλητού κόστους

κάθε τεχνολογίας. Βάση αποτελεί η Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου (MPT), που διατυπώθηκε πρώτα από τον καθηγητή Harry Markowitz στο άρθρο του Portfolio Selection [38], το οποίο δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Journal of Finance το 1952.

Ακολουθεί επίσης εποπτικός πίνακας παρουσίασης των βασικών στοιχείων των δημοσιεύσεων που θα αναφερθούν στη συνέχεια.

<b>Συγγραφείς</b>	<b>Τίτλος</b>	<b>Εφαρμογή</b>	<b>Περιοδικό/Συνέδριο</b>
S. Awerbuch (2004)	Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Implications for Renewables and Energy Security	Χρησιμοποίηση ΑΠΕ μηδενικού κινδύνου	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change
S. Awerbuch, M. Berger (2003)	Applying Portfolio Theory To EU Electricity Planning And Policy-Making	Εισαγωγή ρίσκου O&M	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change
S. Awerbuch, J. C. Jansen, L. Beurskens, T. Drennen (2005)	The Cost of Geothermal Energy in the Western US Region: A Portfolio-Based Approach	Μελέτη περίπτωσης: Γεωθερμική ενέργεια στις Δυτικές ΗΠΑ	Sandia National Laboratories Publications
A. Bhattacharya, S. Kojima (2010)	Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method	Θεώρηση πάνω από μίας συνιστώσας κινδύνου και χρήση Monte Carlo	Energy Policy
E. Delarue, C. De Jonghe, R. Belmans (2010)	Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus power"	Θεώρηση μεταβλητής παραγωγής εργοστασίων	Energy Economics
J.C. Jansen, L.W.M. Beurskens X. van Tilburg (2006)	Application of portfolio analysis to the Dutch generating mix	Εισαγωγή τιμής προστίμου CO <sub>2</sub>	Analytical Methods for Energy Diversity and Security
N. Rodoulis (2010)	Evaluation of Cyprus' Electricity Generation Planning Using Mean-Variance Portfolio Theory	Διερεύνηση μίγματος ηλεκτροπαραγωγής Κύπρου	Cyprus Economic Policy Review



F. A. Roques , D. M. Newbery, W. J. Nuttall (2008)	Fuel mix diversification incentives in liberalized electricity markets: A Mean– Variance Portfolio Theory Approach	Εφαρμογή Monte Carlo για αντιμετώπιση αβεβαιότητας εισόδων	Energy Economics
P. Vithayasrichare on και I.F.MacGill (2012)	A Monte Carlo based decision-support tool for assessing generation portfolios in future carbon constrained electricity in industries	Χρήση πολλαπλών κριτηρίων	Energy Policy
P. Vithayasrichare on, I. F. MacGill, and F. S. Wen (2010)	Electricity Generation Portfolio Evaluation for Highly Uncertain and Carbon Constrained Future Electricity Industries	Μεγιστοποίηση κοινωνικής ευημερίας μέσω ελαχιστοποίησης του κόστους ενέργειας	IEEE Power and Security General Meeting

Πίνακας 1: Δημοσιεύσεις για προβλήματα συνεχών μεταβλητών

Ο S. Awerbuch στη μελέτη του *"Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Implications for Renewables and Energy Security"* [16] μελετά την κατασκευή ενεργειακών χαρτοφυλακίων έχοντας ως στόχο την ενεργειακή ασφάλεια, μέσω της αρχής της διαφοροποίησης. Διερευνάται επίσης η χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες είναι πρακτικά fixed-cost, άρα και μηδενικού κινδύνου. Τέλος, τονίζεται ότι η ανάλυση ευαισθησίας δεν είναι επαρκής τρόπος διαχείρισης κινδύνου, διότι δεν λαμβάνει υπ' όψη το συσχετισμό μεταξύ των διάφορων τεχνολογιών.

Σε άλλη μελέτη του με τίτλο *"Applying Portfolio Theory To EU Electricity Planning And Policy-Making"* [17] ο S. Awerbuch μαζί με τον M. Berger συμπεριλαμβάνουν στο συνολικό ρίσκο, εκτός από το ρίσκο των καυσίμων, και το ρίσκο O&M (operation and maintenance). Τονίζεται ότι οι ΑΠΕ δεν μπορούν πλέον να αντιμετωπίζονται σαν τεχνολογίες μηδενικού ρίσκου, εφόσον έχουμε κάνει την παραπάνω διαπίστωση. Χρησιμοποιώντας το Solver του Excel για εργαλείο επίλυσης, εξάγεται τελικά το συμπέρασμα ότι το σημερινό ενεργειακό μίγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν βρίσκεται πάνω στο αποτελεσματικό μέτωπο.

Η επόμενη εργασία του S. Awerbuch που έγινε σε συνεργασία με τους J. C. Jansen, L. Beurskens, T. Drennen και έχει τίτλο *"The Cost of Geothermal Energy in the*

*Western US Region: A Portfolio-Based Approach*" [18] αποτελεί πρακτικά μία μελέτη περίπτωσης. Όσον αφορά το ρίσκο, εισάγεται επιπλέον ο παράγοντας του construction period risk, το οποίο αναφέρεται στο ρίσκο το οποίο συνδέεται με την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων στο μέλλον. Επίσης, για τον υπολογισμό του ρίσκου χρησιμοποιείται το HPR (holding period return) του ετήσιου κόστους κάθε τεχνολογίας. Από την ανάλυση προκύπτει ότι το υπάρχον χαρτοφυλάκιο προσφέρει περιορισμένη διαφοροποίηση, άρα προτείνεται να μεταβληθεί.

Οι A. Bhattacharya, S. Kojima συνέγραψαν τη δημοσίευση με τίτλο *"Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method"* [19]. Σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης ερευνάται αναλυτικά η μεθοδολογία μοντελοποίησης και επίλυσης του προβλήματος όταν έχουμε θεωρήσει πάνω από μία συνιστώσα κινδύνου. Τονίζεται επίσης ότι, κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, είμαστε ουδέτεροι ως προς την απόλυτη τιμή των καυσίμων, ενώ μας αφορά μόνο η μεταβλητότητά της. Μεγάλη σημασία έχει το γεγονός ότι χρησιμοποιείται προσομοίωση Monte Carlo για να παραχθούν τυχαίες τιμές για τις αβέβαιες μεταβλητές που ακολουθούν στατιστικές κατανομές. Οι επαναλήψεις της παραπάνω μεθόδου επιλέχθηκε να είναι 1000.

Στη δημοσίευση *"Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus power"* [20] των E. Delarue, C. De Jonghe, R. Belmans γίνεται βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου, λαμβάνοντας υπ' όψη τη μεταβλητή παραγωγή των εργοστασίων και τη στιγμιαία παραγωγή τους, όπως και την τυχαιότητα της αιολικής παραγωγής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο, σε σχέση με μελέτες που δεν λαμβάνουν υπ' όψη τη μεταβλητότητά της. Ακόμη, γίνεται σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στα fixed costs και τα variable costs.

Η έννοια της τιμής του προστίμου εκπομπών CO<sub>2</sub> εισάγεται στην εργασία *"Application of portfolio analysis to the Dutch generating mix"* [21] των J.C. Jansen, L.W.M. Beurskens X. van Tilburg. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δραματική βελτίωση της θέσης των ΑΠΕ στην αγορά, εις βάρος των συμβατικών τεχνολογιών. Παράλληλα, προωθείται η εξάπλωση των off-shore αιολικών πάρκων, κάτι που έχει ήδη υλοποιηθεί σε αρχικά στάδια στην Ολλανδία.

Η ιδιαιτερότητα της Κύπρου είναι ότι χρησιμοποιεί αποκλειστικά πετρέλαιο για την ηλεκτροπαραγωγή, κάτι που προφανώς είναι αναποτελεσματικό διότι με αυτό τον τρόπο η χώρα υπόκειται σε μεγάλο ρίσκο όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια. Αυτό αναδεικνύεται στη μελέτη *"Evaluation of Cyprus' Electricity Generation Planning Using Mean-Variance Portfolio Theory"* [22] του N. Rodoulis. Η εξάπλωση της έννοιας της διαφοροποίησης, σύμφωνα με τη σύγχρονη θεωρία χαρτοφυλακίου, μπορεί να βελτιστοποιήσει σε μεγάλο βαθμό το χαρτοφυλάκιο της χώρας.

Στα πλαίσια της δημοσίευσης "*Fuel mix diversification incentives in liberalized electricity markets: A Mean–Variance Portfolio Theory Approach*" [23] των F. A. Roques , D. M. Newbery, W. J. Nuttall διενεργούνται προσομοιώσεις Monte Carlo όσον αφορά τις απαραίτητες παραμέτρους για επένδυση σε τεχνολογίες φυσικού αερίου, άνθρακα και πυρηνικών χρησιμοποιούνται σαν είσοδοι στο μοντέλο βελτιστοποίησης MPT. Παρουσιάζεται η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σαν σημαντικός παράγοντας και εξάγεται το συμπέρασμα ότι εάν η τιμή ενός καυσίμου έχει μεγάλη συσχέτιση με την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, τότε το καύσιμο αυτό θα πρέπει να προτιμάται.

Οι P. Vithayasrichareon και I.F.MacGill στη δημοσίευση με τίτλο "*A Monte Carlo based decision-support tool for assessing generation portfolios in future carbon constrained electricity in industries*" [24] παρουσιάζουν την έννοια των πολυκριτηριακών στόχων, καθώς επιχειρείται να βελτιστοποιηθούν ταυτόχρονα το ρίσκο, η απόδοση και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιείται επίσης η στοχαστική ανάλυση Monte Carlo για να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι πολλές αβεβαιότητες που παρουσιάζονται. Μεγάλη σημασία έχει επίσης η δυνατότητα του χαρτοφυλακίου να ανταποκρίνεται στις αυξανόμενες τιμές του προστίμου εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Τέλος, σε άλλη τους εργασία με τίτλο "*Electricity Generation Portfolio Evaluation for Highly Uncertain and Carbon Constrained Future Electricity Industries*" [25] οι P. Vithayasrichareon, I. F. MacGill μαζί με τον F. S. Wen αναφέρουν ότι ο βασικότερος λόγος που λαμβάνουμε υπ' όψιν την έννοια της αβεβαιότητας στον ενεργειακό σχεδιασμό είναι ότι οι εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας δεν αλλάζουν εύκολα. Συνεπώς, πρέπει να συνυπολογίζουμε οπωσδήποτε το μέλλον στην σημερινή ανάλυση. Εμφανίζεται ακόμη η έννοια της κοινωνικής ευημερίας, καθώς ελαχιστοποιούμε το κόστος αγοράς της ενέργειας και όχι το κόστος παραγωγής. Ακόμη, χρησιμοποιείται προσομοίωση Monte Carlo, αλλά τονίζεται σαν βασικότερο μειονέκτημά της η υπολογιστική δυσκολία.

### 3.3 Προβλήματα Βελτιστοποίησης Ακέραιων και Μικτών Μεταβλητών

Προσεγγίζοντας ακόμα περισσότερο το αντικείμενο που πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αναζητούμε βιβλιογραφία σχετική τόσο με ακέραια προβλήματα βελτιστοποίησης, όσο και με μικτά. Δίνεται έμφαση κυρίως στο επιστημονικό πεδίο του “capital budgeting”, δηλαδή την επιλογή επενδυτικών σχεδίων υπό περιορισμούς. Τα προβλήματα αυτού του είδους έχουν εξ’ ορισμού δυαδικό χαρακτήρα όσον αφορά τις μεταβλητές τους. Διαπιστώνεται επίσης ότι συχνά χρησιμοποιείται η μεθοδολογία προγραμματισμού στόχων (goal programming) έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το γεγονός ύπαρξης πολλαπλών κριτηρίων. Η μεθοδολογία αυτή θεωρείται επέκταση του γραμμικού προγραμματισμού, όπου σε κάθε στόχο δίνεται μία επιθυμητή τιμή και ελαχιστοποιείται η προκύπτουσα απόκλιση από την τιμή αυτή.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βασικά στοιχεία των δημοσιεύσεων που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Συγγραφείς	Τίτλος	Εφαρμογή	Περιοδικό/Συνέδριο
P. Xidonas, H. Doukas (2011)	A hybrid MCDA-IP approach as a modeling tool for implementing green credit strategies	Επιλογή εταιριών που ζητούν δάνειο με βάση το οικολογικό αποτύπωμά τους	EPU NTUA Working Paper
A. Zuluaga, J. A. Sefair, and A. L. Medaglia (2007)	Model for the Selection and Scheduling of Interdependent Projects	Μικτό ακέραιο μοντέλο επιλογής επενδυτικών σχεδίων	IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium
Santhanam R, Kyparisis G.J	A decision model for interdependent information system project selection	Μη-γραμμικό ακέραιο μοντέλο βελτιστοποίησης και πληροφοριακά συστήματα	European Journal of Operational Research
J. Woo, S. H. Kim (2000)	Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection	Επιλογή σχεδίων με χρήση πληροφοριακών συστημάτων	Computers & Operations Research

J. A. Sefair, A. L. Medaglia (2005)	"Towards A Model For Selection And Scheduling Of Risky Projects"	Εισάγεται η αβεβαιότητα των μελλοντικών ταμειακών ροών ενός επενδυτικού πλάνου	Proceedings of the 2005 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium
L. Passalacqua (2005)	Mixed-Integer Credit Portfolio Optimization: An Application to Italian Segregated Funds	Λογικοί περιορισμοί στη διαδικασία κατανομής κεφαλαίου	Social Science Research Network
M. Merada, N. Dechya, L. Serirb, M. Grabischc, F. Marcela (2013)	Using A Multi-Criteria Decision Aid Methodology To Implement Sustainable Development Principles Within An Organization	Ανάλυση της βιωσιμότητας σε τρεις συνιστώσες και βελτιστοποίηση	European Journal of Operational Research
E. Ortas, R. L. Burritt, J. M. Moneva (2012)	Socially Responsible Investment and cleaner production in the Asia Pacific: does it pay to be good?"	Κοινωνικά υπεύθυνες επιχειρήσεις και περιβαλλοντικός έλεγχος	Journal of Cleaner Production
S.D. Pohekar, M. Ramachandran (2004)	Application Of Multi-Criteria Decision Making To Sustainable Energy Planning- A Review	Διαχείριση της βιώσιμης ενέργειας και αντιμετώπιση προβλημάτων αντικρουόμενων και πολλαπλών στόχων	Renewable and Sustainable Energy Reviews

Πίνακας 2: Δημοσιεύσεις για προβλήματα διακριτών και μικτών μεταβλητών

Μετά από προσεκτική μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας, προέκυψε ότι μόνο η δημοσίευση *"A hybrid MCDA-IP approach as a modeling tool for implementing green credit strategies"* [26] των P. Xidonas και H. Doukas πραγματεύεται ένα αντικείμενο που βρίσκεται πολύ κοντά στο πρόβλημα που επιθυμούμε να λύσουμε. Στα πλαίσια της δημοσίευσης αυτής, γίνεται προσέγγιση που διευκολύνει τις τράπεζες στην επιλογή εταιριών που ζητούν οικονομική βοήθεια, λαμβάνοντας υπ' όψιν την κοινωνική ευθύνη των εταιριών αυτών. Οι περιορισμοί αφορούν διάφορες

πολιτικές (policy constraints), όπως τομεακοί περιορισμοί (sectoral constraints) και γεωγραφικοί (geographical constraints). Χρησιμοποιείται βέβαια και ο βασικός περιορισμός που αναφέρεται στη διάθεση ενός συγκεκριμένου συνόλου χρημάτων σε μία σειρά από διαφορετικά επενδυτικά προγράμματα (budget constraint). Το πρόβλημα είναι καθαρά integer programming, διότι η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του αθροίσματος των γινομένων των δυαδικών μεταβλητών (που αντιστοιχούν σε κάθε εταιρία), με την τιμή της ΕΚΕ κάθε εταιρίας.

Η αξία της συγκεκριμένης δημοσίευσης έγκειται στο γεγονός ότι, ενώ υπάρχουν πολλές μελέτες υποβοήθησης χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων στην απόφαση υποστήριξης συγκεκριμένων επενδυτικών προγραμμάτων, εδώ εισάγεται η έννοια της ΕΚΕ σαν βασικό κριτήριο αξιολόγησης των παραπάνω προγραμμάτων.

Οι A. Zuluaga, J. A. Sefair, and A. L. Medaglia στη δημοσίευση "*Model for the Selection and Scheduling of Interdependent Projects*" [27] εστιάζουν στις προκλήσεις που προκύπτουν για το τμήμα προγραμματισμού και στρατηγικής μίας εταιρίας στη διαδικασία επιλογής διαφόρων εναλλακτικών σχεδίων. Οι προκλήσεις αυτές συνδέονται με την ύπαρξη πολλαπλών κριτηρίων, την ιδιαιτερότητα των περιορισμών αλλά και την πιθανή ανεξαρτησία των σχεδίων. Το μοντέλο βελτιστοποίησης που προτείνεται είναι μικτό ακέραιο και επιλέγει από ένα σύνολο επενδυτικών σχεδίων τα πιο συμφέροντα, καθώς και προτείνει το χρονικό διάστημα που συμφέρει περισσότερο να επενδύσουμε. Πρακτικά δηλαδή, μεγιστοποιείται η καθαρή παρούσα αξία του διαθέσιμου χαρτοφυλακίου. Τέλος, λαμβάνονται υπ' όψιν τυχόν αλληλοαποκλειόμενα επενδυτικά σχέδια.

Η δημοσίευση "A Decision Model for Interdependent Information System Project Selection" των Santhanam R., Kyparisis G.J [28] εισάγει τη χρήση πληροφοριακών συστημάτων για την βελτιστοποίηση της επιλογής σχεδίων (project selection). Το προτεινόμενο μοντέλο είναι μη-γραμμικό με ακέραιες μεταβλητές. Στη συνέχεια γραμμικοποιείται και εφαρμόζεται σε πραγματικά δεδομένα, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τα αποτελέσματα άλλων μοντέλων.

Στη μελέτη "*Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection*" [29] των J. Woo, S. H. Kim αναλύεται η επιλογή σχεδίων με χρήση πληροφοριακών συστημάτων, με τη βοήθεια του πολυκριτηριακού προγραμματισμού. Δίνεται βαρύτητα στην ανεξαρτησία που εμφανίζεται ανάμεσα σε ορισμένα προγράμματα, ενώ χρησιμοποιείται goal programming. Για να τεθούν οι απαραίτητες προτεραιότητες των στόχων στο goal programming, χρησιμοποιείται η μέθοδος analytic network process (ANP).

Οι J. A. Sefair, A. L. Medaglia δημοσίευσαν τη μελέτη με τίτλο "*Towards A Model For Selection And Scheduling Of Risky Projects*" [30]. Στα πλαίσια αυτής, επισημαίνεται η αβεβαιότητα ορισμένων παραμέτρων, όπως των μελλοντικών

ταμειακών ροών που συνδέονται με ένα επενδυτικό πλάνο. Υλοποιείται ένα μικτό ακέραιο μοντέλο για την υποστήριξη των αποφάσεων, όπου μεγιστοποιείται η απόδοση και ελαχιστοποιείται η τυπική απόκλιση της απόδοσης. Υπολογίζοντας το κόστος ευκαιρίας, αποδεικνύεται ότι η τυχαία επιλογή επενδυτικών πλάνων οδηγεί σε μη-επιθυμητές λύσεις.

Στη μελέτη περίπτωσης με τίτλο *"Mixed-Integer Credit Portfolio Optimization: An Application to Italian Segregated Funds"* [31] του L. Passalacqua διερευνάται η διαδικασία κατανομής κεφαλαίου (capital allocation), εφαρμόζοντας επιπλέον λογικούς περιορισμούς όσον αφορά τη συμμετοχή κάθε στοιχείου στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο. Αυτός ο όρος μετατρέπει το πρόβλημα σε mixed-integer και καθιστά τη λύση του σαφώς δυσκολότερη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρησιμοποιείται η τεχνική των genetic algorithms.

Η εργασία των M. Merada, N. Dechya, L. Serirb, M. Grabisch, F. Marcela με τίτλο *"Using A Multi-Criteria Decision Aid Methodology To Implement Sustainable Development Principles Within An Organization"* [32] πραγματεύεται τη βιώσιμη ανάπτυξη ενός οργανισμού από όλες τις σκοπιές (περιβαλλοντική, οικονομική, κοινωνική). Προκύπτει λοιπόν ότι οι τρεις αυτές συνιστώσες απαιτούν πολυκριτηριακή μέθοδο για την αντιμετώπισή τους. Η μεθοδολογία αυτή παρέχει τη δυνατότητα να αποφευχθεί η αποτίμηση των τριών παραπάνω συνιστωσών σε χρηματικές μονάδες και παρέχει συνεπώς τη δυνατότητα ολοκληρωμένης ενσωμάτωσής τους στο μοντέλο βελτιστοποίησης.

Η μελέτη περίπτωσης *"Socially Responsible Investment and cleaner production in the Asia Pacific: does it pay to be good?"* [33] των E. Ortas, R. L. Burritt, J. M. Moneva εισάγει την έννοια των κοινωνικά υπεύθυνων επενδύσεων. Η ύπαρξη χρηματοδοτικών μηχανισμών είναι κεντρικής σημασίας για την ανάπτυξη της παραπάνω έννοιας. Ωστόσο, οι επενδύσεις αυτές εξαρτώνται άμεσα από την τοποθεσία και το είδος της κάθε επιχείρησης και γι' αυτό η συγκεκριμένη μελέτη περιορίζεται σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν επίσης ότι ο περιβαλλοντικός έλεγχος στις επιχειρήσεις δεν αυξάνει το κόστος παραγωγής.

Τέλος, στη δημοσίευση *"Application Of Multi-Criteria Decision Making To Sustainable Energy Planning-A Review"* [34] των S.D. Pohekar, M. Ramachandran, τα πολυκριτηριακά συστήματα αποφάσεων χρησιμοποιούνται στη διαχείριση της βιώσιμης ενέργειας για την αντιμετώπιση προβλημάτων αντικρουόμενων και πολλαπλών στόχων. Το παρόν αποτελεί μία ανασκόπηση περισσότερων από 90 δημοσιεύσεων πάνω σε αυτό το ζήτημα με στόχο τη σύγκριση και την αντιπαραβολή των διάφορων μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Αυτές οι μέθοδοι συμπεριλαμβάνουν τεχνικές βασισμένες σε σταθμισμένους μέσους όρους, καθορισμό προτεραιοτήτων, outranking, θεωρία fuzzy και το συνδυασμό των ανωτέρω.

### 3.4 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι και Τεχνικές

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν οι ήδη υπάρχουσες μέθοδοι που αντλήθηκαν από τη διεθνή βιβλιογραφία και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν στο επόμενο κεφάλαιο της διπλωματικής, δηλαδή στην εφαρμογή της μεθοδολογίας.

#### 3.4.1 Η Μεθοδολογία Monte Carlo

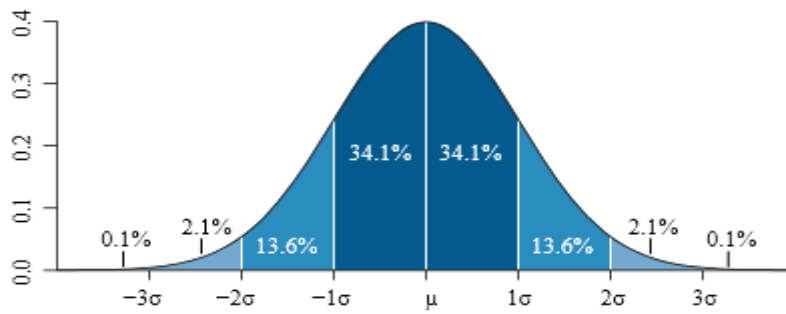
Η μεθοδολογία Monte Carlo θα χρησιμοποιηθεί αφού γίνει εκτέλεση του μοντέλου για τις ακριβείς τιμές των EECR και NPV που έχουν αντληθεί. Με την τεχνική αυτή αντιμετωπίζεται η αβεβαιότητα που παρουσιάζουν οι τιμές των παραπάνω δεικτών. Είναι δηλαδή μία μέθοδος η οποία αντιμετωπίζει αναλυτικά την αβεβαιότητα 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.

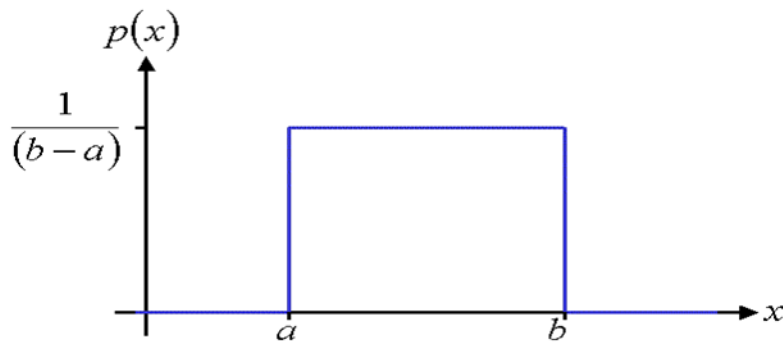
Στην προσομοίωση Monte Carlo επιλέγεται ως είσοδος μια τυχαία τιμή βασισμένη στο εύρος των εκτιμήσεων ή την πιθανοτική κατανομή, αν είναι διαθέσιμη. Το μοντέλο υπολογίζεται βασισμένο σε αυτήν την τυχαία τιμή. Το αποτέλεσμα καταγράφεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Μια τυπική προσομοίωση Monte Carlo 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, γίνεται η υπόθεση ότι οι μεταβλητές EECR και NPV ακολουθούν την κανονική κατανομή. Στη συνέχεια, λαμβάνονται τυχαίες τιμές εντός αυτών των κατανομών ως είσοδοι σε κάθε επανάληψη, κάτι που υλοποιείται μέσω της γλώσσας GAMS. Βέβαια, εξίσου λογικές επιλογές για τις πιθανοτικές κατανομές των παραμέτρων μας θα ήταν η ομοιόμορφη και η τριγωνική κατανομή. Γι' αυτό το λόγο εφαρμόζουμε τη μέθοδο και με την ομοιόμορφη κατανομή και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα. Οι γραφικές παραστάσεις της κανονικής και της ομοιόμορφης κατανομής φαίνονται παρακάτω.





Σχήμα 8: Η κανονική κατανομή



Σχήμα 9: Η ομοιόμορφη κατανομή

### 3.4.2 Η μέθοδος ΙΤΑ

Η μεθοδολογία ΙΤΑ (Iterative Trichotomic Approach) χρησιμοποιείται στον τομέα της βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίων με δυαδικές μεταβλητές, όπου η αβεβαιότητα αντιμετωπίζεται με προσομοιώσεις Monte Carlo. Έχει εφαρμοστεί σε μονοκριτηριακά προβλήματα, όπου η κάθε επανάληψη Monte Carlo παράγει ένα διαφορετικό βέλτιστο χαρτοφυλάκιο. Παρατηρώντας το σύνολο των παραγόμενων χαρτοφυλακίων, σημειώνουμε τα projects που εμφανίζονται σε όλες τις επαναλήψεις στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο και τα projects που δεν εμφανίζονται ποτέ. Τα πρώτα τα ονομάζονται «πράσινα» (green) και τα δεύτερα «κόκκινα» (red). Αντίθετα, τα projects που εμφανίζονται σε ένα αριθμό επαναλήψεων, αλλά όχι σε όλες, ονομάζονται «γκρι» (grey).

Στη συνέχεια, προσαρμόζεται η παραπάνω μεθοδολογία στο συγκεκριμένο πρόβλημα, λαμβάνοντας υπόψη ότι πλέον έχουμε δύο αντικειμενικές συναρτήσεις, και άρα ένα σύνολο βέλτιστων χαρτοφυλακίων που αναπαρίσταται με το Pareto front. Συνεπώς, όσον αφορά τη μέθοδο ΙΤΑ, τη θέση των projects λαμβάνουν τα χαρτοφυλάκια και τη θέση των χαρτοφυλακίων τα Pareto fronts. Ύστερα, τα

χαρτοφυλάκια χωρίζονται σε «πράσινα», «κόκκινα» και «γκρι», ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισής τους στα παραγόμενα Pareto fronts. Αυτά είναι 100 στον αριθμό, εφόσον αποφασίσαμε να διεξάγουμε 100 επαναλήψεις Monte Carlo. Μπορεί επίσης να τεθεί ένα κατώφλι, σύμφωνα με το οποίο ένα χαρτοφυλάκιο θα θεωρείται «πράσινο» και «κόκκινο» αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν να θεωρηθεί ένα χαρτοφυλάκιο «πράσινο», εάν αυτό εμφανίζεται σε πάνω από 98% των Pareto fronts, ενώ αντίστοιχα «κόκκινο» εάν εμφανίζεται σε κάτω από το 2%.

Λόγω του ενδιαφέροντος που παρουσιάζει η διαχείριση των «γκρι» χαρτοφυλακίων, υλοποιείται η εξής τεχνική: Το πρόβλημα βελτιστοποίησης λύνεται 6 φορές, μεταβάλλοντας κάθε φορά τη διακύμανση των μεταβλητών εισόδου κατά 1%, ξεκινώντας από  $\sigma=5\%$  της μέσης τιμής και καταλήγοντας σε  $\sigma=0\%$ . Η περίπτωση  $\sigma=0\%$  αναπαριστά φυσικά την περίπτωση απουσίας αβεβαιότητας, όπου τα χαρτοφυλάκια κατηγοριοποιούνται αναγκαστικά είτε ως «πράσινα» είτε ως «κόκκινα». Με την παραπάνω τεχνική, το σύνολο των «γκρι» χαρτοφυλακίων εξαλείφεται σταδιακά, έχοντας παράλληλα πληροφόρηση σχετικά με το βήμα στο οποίο ένα χαρτοφυλάκιο από «γκρι» γίνεται «πράσινο» ή «κόκκινο» αντίστοιχα.

Επομένως, η μέθοδος ITA αποτελεί μία αποτελεσματική μεθοδολογία ανάλυσης ευαισθησίας του Pareto front και συνεπώς υποστήριξης αποφάσεων επιλογής χαρτοφυλακίων υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Εφόσον σχεδιαστεί η γραφική παράσταση που απεικονίζει το ποσοστό των «πράσινων» χαρτοφυλακίων σε συνάρτηση με το εκάστοτε βήμα μεταβολής της τυπικής απόκλισης και μέσω του υπολογισμού του εμβαδού της γραφικής παράστασης, θα προκύψει ένα μέτρο της ευστάθειας του Pareto front.

### 3.4.3 Η γλώσσα GAMS

Συνήθως, προβλήματα βελτιστοποίησης επενδυτικών χαρτοφυλακίων όπως το συγκεκριμένο λύνονται με τη βοήθεια του εργαλείου Solver του Excel. Όμως, η ύπαρξη 2 αντικειμενικών συναρτήσεων και η χρησιμοποίηση μόνο δυαδικών μεταβλητών καθιστούν τη λύση με το παραπάνω εργαλείο δύσκολη. Ακόμη, η αδυναμία του Solver να χειριστεί πιθανοτικές κατανομές σύμφωνα με τη μεθοδολογία Monte Carlo, μας οδηγεί στην αναζήτηση ενός καλύτερου εργαλείου.

Το Γενικό Αλγεβρικό Σύστημα Μοντέλου GAMS (General Algebraic Modeling System) στοχεύει στη μοντελοποίηση και λύση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Η χρηστικότητά του αναδεικνύεται κυρίως στη διαχείριση πολύπλοκων προβλημάτων, αφού μπορεί να χειριστεί πολυκριτηριακά, μη γραμμικά, integer καθώς και mixed-integer προβλήματα. Συνεπώς, αποτελεί κατάλληλη επιλογή για την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής.

Η μορφή ενός προγράμματος GAMS μοιάζει με τις συνήθεις γλώσσες προγραμματισμού και είναι απλή, καθιστώντας τα προγράμματα ευανάγνωστα. Τα 4 βασικά δομικά στοιχεία της γλώσσας είναι τα SETS, PARAMETERS, VARIABLES, EQUATIONS. Από αυτό το σημείο και μετά, η γλώσσα GAMS αποτελεί βασικό στοιχείο της διπλωματικής και χρησιμοποιείται κατά κόρον στις προσομοιώσεις που εκτελούνται στα πλαίσια του κεφαλαίου 5.

#### Inputs:

- Sets
  - Declaration
  - Assignment of members
- Data (Parameters, Tables, Scalars)
  - Declaration
  - Assignment of values
- Variables
  - Declaration
  - Assignment of type
- Assignment of bounds and/or initial values (optional)
- Equations
  - Declaration
  - Definition
- Model and Solve statements

#### Outputs:

- Echo Print
- Reference Maps
- Equation Listings
- Status Reports
- Results

Σχήμα 10: Οι συνιστώσες ενός μοντέλου GAMS και ο τρόπος δήλωσής του [39]

### 3.4.4 Η μέθοδος augmented $\epsilon$ -constraint (AUGMECON)

Η μέθοδος αυτή είναι μία τεχνική πολυκριτήριας βελτιστοποίησης και εφαρμόζεται κυρίως σε προβλήματα με μεικτές-ακέραιες μεταβλητές. Παρέχει τη δυνατότητα αναλυτικής αντιμετώπισης προβλημάτων πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων, ενώ ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται οδηγεί σε γρήγορο εντοπισμό της βέλτιστης λύσης. Στη γενική περίπτωση όπου έχουμε  $n$  στον αριθμό αντικειμενικές συναρτήσεις, βελτιστοποιείται μία από αυτές και οι υπόλοιπες μετατρέπονται σε περιορισμούς. Η διεύθυνση των ανισοτικών περιορισμών εξαρτάται από το αν η αντίστοιχη αντικειμενική συνάρτηση είχε ως στόχο τη μεγιστοποίηση ή την ελαχιστοποίηση.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποιείται μία από τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις, ενώ η άλλη μετατρέπεται σε περιορισμό. Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι οποιαδήποτε από τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις και αν επιλεγθεί για να μετατραπεί σε περιορισμό, η βέλτιστη λύση που θα προκύψει είναι η ίδια.

Μαθηματικά, τα παραπάνω διατυπώνονται ως εξής:

➤ Ένα αρχικό πρόβλημα της μορφής:  
 $\max[f_i(x), i=1,2,\dots,p]$  subject to  $x \in S$

➤ σύμφωνα με τη μέθοδο  $\epsilon$ -constraint, το πρόβλημα αυτό μετατρέπεται στο:  
 $\max[f_1(x)]$  subject to  $f_i(x) \geq \epsilon_i, i=2,3,\dots,p, x \in S$

όπου

- $x$  είναι το διάνυσμα που αναπαριστά τις μεταβλητές απόφασης
- $f_i(x)$  είναι οι  $p$  στο πλήθος αντικειμενικές συναρτήσεις του προβλήματος
- $S$  είναι ο εφικτός χώρος λύσεων
- Το  $\epsilon_i$  αποτελεί το δεξιό μέλος των ανισώσεων που προέκυψαν. Με συστηματική παραμετρική μεταβολή του σαρώνεται όλο το εύρος των ικανών λύσεων και συνεπώς προκύπτει η βέλτιστη λύση για το πρόβλημα.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

---

## 4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο συνδυάζονται οι πληροφορίες που παρουσιάστηκαν αναλυτικά έως το σημείο αυτό, έτσι ώστε να διατυπωθεί το μαθηματικό μοντέλο του προβλήματος. Στόχος είναι η ανάδειξη του βέλτιστου μίγματος (χαρτοφυλακίου) από ένα σύνολο εταιρειών, τα επενδυτικά προγράμματα των οποίων πρόκειται να χρηματοδοτηθούν. Ο αποφασίζων, δηλαδή ο χρηματοπιστωτικός οργανισμός, καλείται να διαλέξει τα πιο ελκυστικά επενδυτικά προγράμματα έχοντας ως βασικά κριτήρια την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και οικονομική αποδοτικότητα του κάθε προγράμματος. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι περιορισμοί που παρουσιάζονται στο πρόβλημα, οι οποίοι μπορεί να είναι πολύπλοκοι, ανάλογα με τη συγκεκριμένη πολιτική στην οποία ανταποκρίνονται. Σαν αποτέλεσμα των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων και της πληθώρας των περιορισμών, το πρόβλημα απαιτεί αναλυτική αντιμετώπιση μέσω της λύσης ενός προβλήματος βελτιστοποίησης.

Όπως κατέστη σαφές στη μελέτη της βιβλιογραφίας, πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να υποστηρίξουν τις παραπάνω αποφάσεις. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται μοντέλα ακεραίου προγραμματισμού, όπου η δυαδική μεταβλητή απόφασης  $b_i$  μπορεί να αναφέρεται σε ένα από τα κάτωθι συμπληρωματικά ενδεχόμενα:

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

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο μαθηματικό μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για τη λύση του προβλήματος στο επόμενο κεφάλαιο.

## 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 11: Είδη Περιορισμών

### 4.3.1 Περιορισμός 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, μπορούν να τεθούν επιπλέον περιορισμοί προϋπολογισμού 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 κάθε γεωγραφική περιοχή και τομέας θα λάβουν τουλάχιστον ένα ελάχιστο ποσό δανείου.

### 4.3.2 Περιορισμός 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:

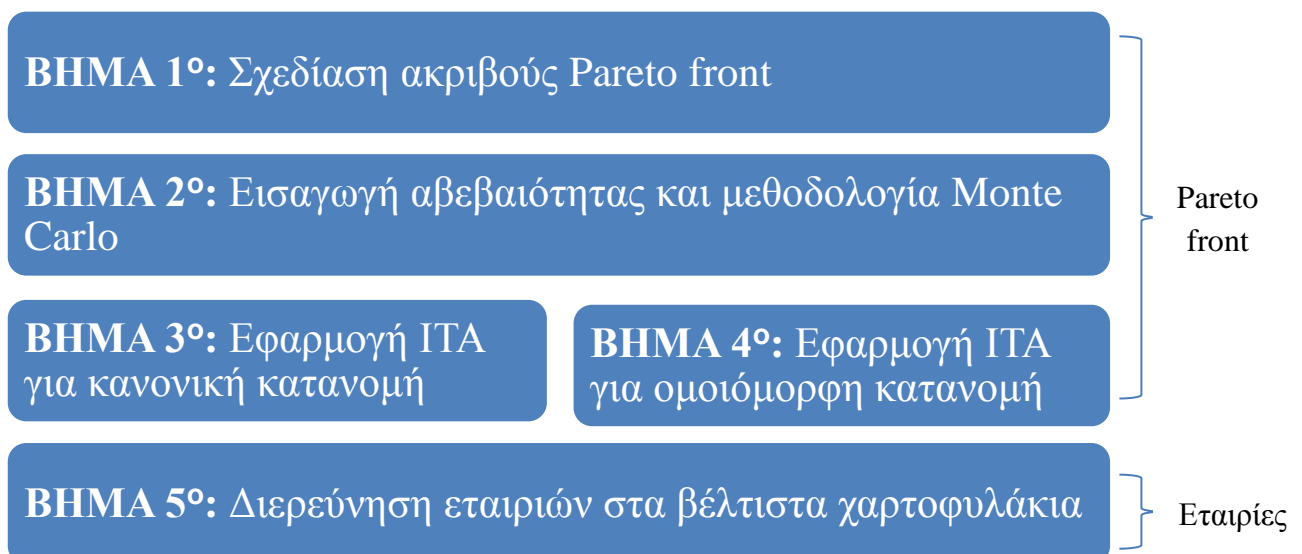
$$N_{low}(g) \leq \sum_{i=1(i \in g)}^n b(i) \leq N_{high}(g)$$

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

#### 4.5 Τα βήματα της μεθόδου

Παρουσιάζονται αρχικά σε μορφή σχήματος τα 5 βήματα της μεθόδου και στη συνέχεια αναλύονται ένα προς ένα. Τα 4 αρχικά βήματα σχετίζονται με το Pareto front και την ευστάθειά του, ενώ στο 5<sup>ο</sup> βήμα μελετάμε τις 40 εταιρίες οι οποίες συνθέτουν τα διάφορα χαρτοφυλάκια και συνεπώς τα Pareto fronts.



Σχήμα 12: Τα βήματα της μεθόδου

- **Βήμα 1<sup>ο</sup>: Σχεδίαση ακριβούς Pareto front**

Όπως έχει προαναφερθεί, αρχικά επιχειρείται η λύση του προβλήματος χρησιμοποιώντας ως είσοδο τις ακριβείς τιμές των διαθέσιμων δεικτών EECR και NPV. Σκοπός είναι η χρησιμοποίηση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων για το σχεδιασμό του Pareto front. Στο σημείο αυτό χρησιμοποιείται μία επιπλέον τεχνική. Στη γλώσσα GAMS δίνεται η δυνατότητα λύσης του προβλήματος προσεγγιστικά, άρα και με λιγότερα σημεία σε σχέση με την ακριβή λύση. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται για την περίπτωση που ο χρόνος υπολογισμού έχει περισσότερη σημασία από την ακρίβεια, καθώς με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά ο φόρτος των υπολογισμών. Συνεπώς, στο στάδιο αυτό αναπτύσσεται ο αλγόριθμος στη γλώσσα GAMS, εισάγονται τα δεδομένα και λύνεται το πρόβλημα δύο φορές, σύμφωνα με τα παραπάνω. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα χαράσσουμε το ακριβές Pareto front και την προσέγγισή του και γίνονται οι απαραίτητες συγκρίσεις.



Σχήμα 13: Βήματα σχεδιασμού ακριβούς Pareto front

- **Βήμα 2<sup>ο</sup>: Εισαγωγή αβεβαιότητας και μεθοδολογία Monte Carlo**

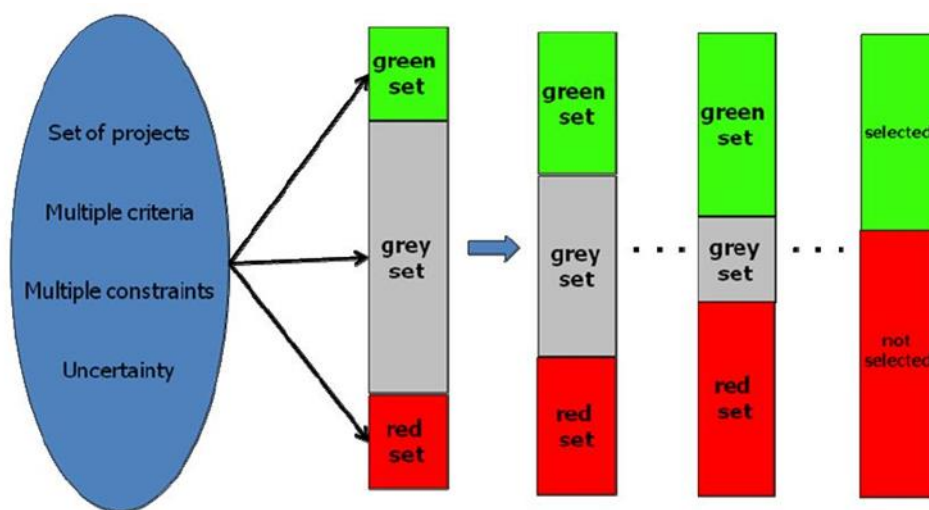
Στη συνέχεια, εισάγεται η έννοια της αβεβαιότητας στους δείκτες EECR και NPV. Γίνεται η υπόθεση ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή, με μέση τιμή τις τιμές που διαθέτουμε από τα δεδομένα και τυπική απόκλιση το 5% των τιμών αυτών. Σκοπός του σταδίου αυτού είναι η σχεδίαση στο ίδιο διάγραμμα 20 διαφορετικών Pareto fronts. Αυτά προκύπτουν με τυχαία δειγματοληψία από τις πιθανοτικές κατανομές των εισόδων, άρα ουσιαστικά με την εφαρμογή προσομοίωσης Monte Carlo 20 φορές. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα που προκύπτουν, θα αποφανθούμε αν η τυχαιότητα των εισόδων προκαλεί σημαντική διακύμανση στις εξόδους. Τα παραπάνω υλοποιούνται ενσωματώνοντας στον αλγόριθμο GAMS που χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως τον κώδικα που αντιστοιχεί στη μέθοδο Monte Carlo, θέτοντας τον αριθμό επαναλήψεων ίσο με 20.



Σχήμα 14: Βήματα Monte Carlo

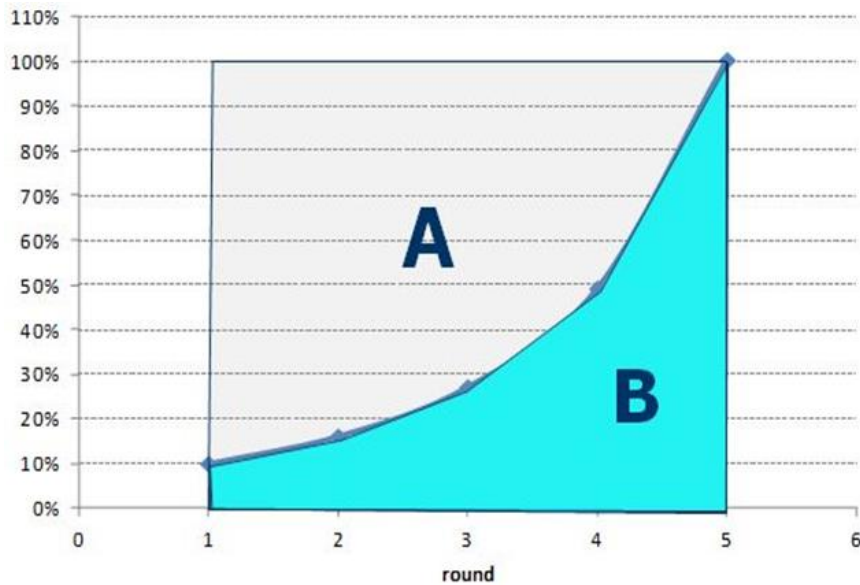
• **Βήμα 3<sup>ο</sup>: Εφαρμογή μεθόδου ΙΤΑ για κανονική κατανομή**

Επόμενο βήμα αποτελεί η εφαρμογή της μεθόδου ΙΤΑ. Εκτελούμε αρχικά 100 επαναλήψεις Monte Carlo και χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά κατώφλια, στη μία περίπτωση δηλαδή θεωρείται ένα χαρτοφυλάκιο «πράσινο» εάν αυτό εμφανίζεται σε πάνω από 98% των Pareto fronts, ενώ αντίστοιχα «κόκκινο» εάν εμφανίζεται σε κάτω από το 2%. Όλα τα υπόλοιπα χαρτοφυλάκια θεωρούνται «γκρι». Στην άλλη περίπτωση, τα αντίστοιχα κατώφλια για το χαρακτηρισμό ενός χαρτοφυλακίου είναι 99% και 1%. Όπως έχει προαναφερθεί, η διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες πέντε φορές μεταβάλλοντας κατά 1% κάθε φορά την τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής, έτσι ώστε να εξαλειφθούν σταδιακά τα «γκρι» χαρτοφυλάκια.



Σχήμα 15: Απεικόνιση υλοποίησης μεθόδου ΙΤΑ [42]

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του σταδίου αυτού, υπολογίζεται το Robustness Index (R.I). Ο δείκτης αυτός αναπαριστά την ευστάθεια του Pareto front και όσο μεγαλύτερες τιμές λαμβάνει, τόσο πιο ευσταθές θα είναι το Pareto front. Σχεδιάζεται αρχικά ένα διάγραμμα, όπου ο άξονας-x είναι το εκάστοτε από τα 6 βήματα μεταβολής της τυπικής απόκλισης και ο άξονας-y είναι ο αριθμός των «πράσινων» χαρτοφυλακίων στο βήμα αυτό, εκφρασμένος επί τοις εκατό (%). Το robustness index προκύπτει γεωμετρικά ως ο λόγος των εμβαδών B και A, δηλαδή  $R.I=B/A$ . B είναι το εμβαδό μεταξύ της καμπύλης και του άξονα-x και A το εμβαδό του ορθογώνιου με βάση την τιμή (total\_rounds)-1 και ύψος το 100%. Total\_rounds είναι ο συνολικός αριθμός των επαναλήψεων της μεθόδου που εκτελούνται, δηλαδή 6 στην περίπτωση αυτή. Τα παραπάνω φαίνονται ακριβέστερα στο επόμενο διάγραμμα.



Σχήμα 16: Τρόπος υπολογισμού του R.I



Σχήμα 17: Βήματα υπολογισμού robustness index

• **Βήμα 4<sup>ο</sup>: Εφαρμογή μεθόδου ΙΤΑ για ομοιόμορφη κατανομή**

Η ίδια διαδικασία εκτελείται άλλη μία φορά, υποθέτοντας αυτή τη φορά ότι οι εισοδοί ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή. Η κατανομή αυτή περιγράφεται από τα όρια  $a$  και  $b$  και επιλέγουμε τα όρια αυτά να μεταβάλλονται σε κάθε βήμα ως εξής: [0.85-1.15], [0.88-1.12], [0.91-1.09], [0.94-1.06], [0.97-1.03], [1-1], επί την ακριβή τιμή κάθε μεταβλητής. Έτσι, θα καταστεί δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων όσον αφορά το R.I ανάμεσα στις δύο κατανομές που χρησιμοποιούνται ως εισοδοί αλλά και ανάμεσα στα δύο σενάρια (98%-2% και 99%-1%).

- **Βήμα 5<sup>ο</sup>: Διερεύνηση εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια**

Έχοντας πραγματοποιήσει εκτενή ανάλυση σχετικά με τα χαρτοφυλάκια και το Pareto front, στο τελευταίο στάδιο της εφαρμογής θα λάβει χώρα μελέτη της συμμετοχής των 40 εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια. Η ανάλυση γίνεται για την περίπτωση της κανονικής κατανομής και για  $\sigma=5\%$ . Όπως θα φανεί στη συνέχεια, εμφανίζονται συνολικά 398 διαφορετικά βέλτιστα χαρτοφυλάκια στο σύνολο των Pareto fronts. Από τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, θα κατασκευαστεί ένα ιστόγραμμα όπου θα απεικονίζεται η σχετική συχνότητα εμφάνισης της κάθε εταιρίας στο σύνολο των 398 διαφορετικών χαρτοφυλακίων. Με αυτό τον τρόπο θα εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις εταιρίες οι οποίες τείνουν να εμφανίζονται συχνότερα στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια και για αυτές που δεν εμφανίζονται σχεδόν ποτέ.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

---

## 5.1 Δεδομένα

Θα μελετηθούν 40 Ευρωπαϊκές επιχειρήσεις, τα αναλυτικά δεδομένα των οποίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Εταιρία	EECR (%)	NPV (€)	Budget (€)	Γεωγραφική Ζώνη	Τομέας δραστηριοποίησης
1	12,97	2549	5926	South Europe	Ενέργεια
2	14,66	49811	50832	South Europe	Ενέργεια
3	9,76	8348	5000	North Europe	Ενέργεια
4	6,23	63608	33857	South Europe	Ενέργεια
5	6,99	244606	191867	Central Europe	Βιομηχανία
6	14,64	36658	37500	Central Europe	Βιομηχανία
7	7,1	14062	6067	Central Europe	Βιομηχανία
8	11,922	22521	23033	Ελλάδα	Βιομηχανία
9	11,81	261305	190000	Central Europe	Βιομηχανία
10	21,59	455047	422667	North Europe	Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός
11	13,64	696842	415000	Central Europe	Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός
12	13,59	53894	39333	Central Europe	Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός
13	3,86	238908	95333	Ελλάδα	Ενέργεια
14	9,62	3372	5633	Central Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
15	40	579	7367	Central Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
16	2,95	74630	37667	North Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
17	25,872	4860	30100	Ελλάδα	Ενέργεια
18	5,25	12527	5695	North Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
19	11,388	389914	909314	South Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
20	11,669	378084	160304	Ελλάδα	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
21	15,387	53099	26190	North Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
22	17,135	51415	161009	South Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
23	5,759	460075	353422	Central Europe	Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός
24	8,931	422757	184410	South Europe	Ενέργεια
25	16,120	146937	87913	North Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
26	12,384	477066	614619	North Europe	Ενέργεια



27	7,193	431582	277042	South Europe	Ενέργεια
28	21,953	208461	158792	South Europe	Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός
29	4,703	324354	1410180	Central Europe	Βιομηχανία
30	18,066	324069	533645	Central Europe	Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός
31	7,752	603210	529130	North Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
32	4,542	648759	396671	Ελλάδα	Βιομηχανία
33	19,183	179554	123640	South Europe	Ενέργεια
34	15,854	220027	149773	Central Europe	Ενέργεια
35	22,006	204350	93049	North Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
36	4,037	352078	311779	South Europe	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
37	19,394	222963	772965	North Europe	Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός
38	17,808	228828	117585	South Europe	Βιομηχανία
39	12,858	428456	190872	Ελλάδα	Λιανικές Πωλήσεις - Άλλο
40	5,849	516117	262033	Central Europe	Βιομηχανία

Πίνακας 3: Τα δεδομένα και χαρακτηριστικά των 40 εταιριών

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 €.

Παρατηρείται ότι συνολικά οι επιχειρήσεις χωρίζονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Ως προς τη γεωγραφική περιοχή έχουμε:

- 11 νοτιοευρωπαϊκές επιχειρήσεις (South Europe)
  - 10 βορειοευρωπαϊκές επιχειρήσεις (North Europe)
  - 13 κεντροευρωπαϊκές επιχειρήσεις (Central Europe)
  - 6 ελληνικές επιχειρήσεις (Ελλάδα)
- } 4 γεωγραφικές περιοχές

Ως προς τον τομέα δραστηριοποίησης έχουμε:

- 11 Ενεργειακές επιχειρήσεις
  - 9 Βιομηχανικές επιχειρήσεις
  - 7 επιχειρήσεις Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού
  - 13 επιχειρήσεις Λιανικών Πωλήσεων/Άλλης Κατηγορίας
- } 4 τομείς

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτά και τις εξισώσεις του μοντέλου που διατυπώθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούν να παραμετροποιηθούν οι δύο αντικειμενικές συναρτήσεις και όλοι οι περιορισμοί.

Πιο συγκεκριμένα, οι παράμετροι των περιορισμών επιλέγονται ως 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, επιλέγεται  $AVB(s)=AVB(g)=0,1 \cdot TOTBUDG$ , 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

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου, τα αντίστοιχα διαγράμματα και εξάγονται συμπεράσματα για το κάθε στάδιο.

### 5.2.1 Βήμα 1<sup>ο</sup>: Σχεδίαση του Pareto front για τις ακριβείς τιμές των EECR και NPV

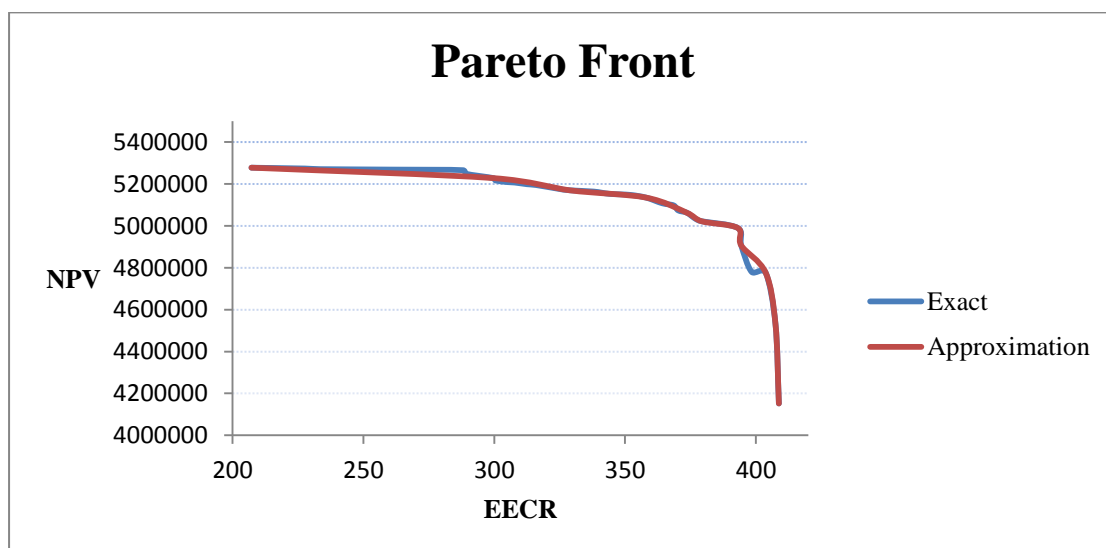
Από την εκτέλεση του αλγορίθμου στη γλώσσα GAMS προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα, τόσο για την ακριβή λύση όσο και για την προσέγγιση.

Exact		Approximation	
EECR (%)	NPV (€)	EECR (%)	NPV (€)
408,79	4152000	408,79	4152000
407,49	4531000	407,49	4531000
403,76	4776000	403,76	4776000
398,4	4780000	394,42	4906000
394,42	4906000	393,08	4990000
393,08	4990000	379,28	5022000
379,28	5022000	373,59	5063000
378,12	5026000	358,04	5135000
376,41	5038000	328,84	5170000
373,59	5063000	299,8	5228000
370,31	5074000	207,18	5278000

368,55	5098000
364,18	5108000
358,04	5135000
351,97	5148000
344,09	5153000
337,99	5164000
328,84	5170000
324,1	5178000
315,96	5195000
312,49	5199000
307,75	5207000
305,13	5209000
300,39	5217000
299,8	5228000
289,16	5249000
288,11	5266000
260,52	5269000
233,49	5271000
227,68	5274000
207,18	5278000

Πίνακας 4: EECR και NPV για ακριβή λύση και προσέγγιση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα τα δύο Pareto fronts.



Σχήμα 18: Το ακριβές Pareto front

Η μορφή της καμπύλης είναι κοίλη εφόσον θέλουμε ταυτόχρονη μεγιστοποίηση των δύο αντικειμενικών συναρτήσεων, ενώ παρατηρούμε ότι τα δύο Pareto fronts έχουν πολύ παρόμοια μορφή. Συνεπώς η προσέγγιση κρίνεται ικανοποιητική.

## 5.2.2 Βήμα 2<sup>ο</sup>: Pareto fronts για 20 επαναλήψεις Monte Carlo

Από την εκτέλεση της μεθόδου προέκυψαν 20 διαφορετικά Pareto fronts, ένα για κάθε επανάληψη. Στον πίνακα αποτελεσμάτων φαίνονται τα συνολικά EECR και NPV, καθώς και οι δυαδικές μεταβλητές που αντιστοιχούν στη συμμετοχή ή όχι της κάθε εταιρίας στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο. Λόγω του πολύ μεγάλου όγκου των δεδομένων, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενδεικτικά για τρεις μόνο από τις 20 επαναλήψεις (για την 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup> και 15<sup>η</sup> επανάληψη Monte Carlo) και συνεπτυγμένα κατάλληλα.

EECR	NPV	Ετ.1	Ετ.2	Ετ.3	Ετ.4	Ετ.5	Ετ...	Ετ.38	Ετ.39	Ετ.40
404,5	4165000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	0
403,51	4558000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	0
400,29	4752000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
395,66	4754000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
395,11	4799000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
391	4897000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	0
389,7	5003000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
385,07	5005000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
376,65	5007000	1	1	1	0	0	.... ....	1	1	1
374,61	5041000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
371,36	5050000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
368,33	5059000	1	1	1	0	0	.... ....	1	1	1
364,96	5088000	1	0	1	1	0	.... ....	1	1	1
363,27	5089000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
361,78	5119000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
357,15	5121000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
354,95	5141000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
351,15	5159000	1	0	1	1	0	.... ....	1	1	1

349,37	5165000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
347,13	5186000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
328,77	5189000	1	1	1	0	0	....	1	1	1
328	5240000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
317,69	5256000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
314,65	5265000	1	0	1	0	0	....	1	1	1
305,93	5280000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
296,71	5281000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
296,61	5284000	1	0	1	0	0	....	1	1	1
294,75	5287000	1	0	0	1	0	....	1	1	1
294,17	5293000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
294,04	5297000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
293,48	5311000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
289,87	5314000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
286,44	5317000	1	0	0	1	0	....	1	1	1
285,86	5323000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
282,58	5324000	0	0	1	1	0	....	1	1	1
265,41	5325000	0	0	0	1	0	....	1	1	1
258,22	5326000	0	0	0	1	0	....	1	1	1
257,64	5332000	0	0	1	1	0	....	1	1	1
254,21	5335000	0	0	0	1	0	....	1	1	1
226,78	5336000	1	0	0	1	0	....	1	1	1
223,51	5337000	0	0	0	1	0	....	1	1	1
222,93	5343000	0	0	1	1	0	....	1	1	1

Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo-1<sup>η</sup> επανάληψη

<b>EECR</b>	<b>NPV</b>	<b>Ет.1</b>	<b>Ет.2</b>	<b>Ет.3</b>	<b>Ет.4</b>	<b>Ет.5</b>	<b>Ет...</b>	<b>Ет.38</b>	<b>Ет.39</b>	<b>Ет.40</b>
411,06	4138000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	0
410,27	4498000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	0
407,91	4513000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	0
407,21	4813000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
402,34	4821000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
397,03	4878000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	0
395,48	4982000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
390,6	4990000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
384,53	4996000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
382,27	5028000	1	1	1	1	1	.... ....	1	1	1
381,83	5042000	1	1	1	0	0	.... ....	1	1	1
379,52	5043000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
377,22	5086000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
373,78	5098000	1	1	1	0	0	.... ....	1	1	1
370,83	5122000	1	0	1	1	0	.... ....	1	1	1
366,53	5127000	1	0	0	1	0	.... ....	1	1	1
366,4	5131000	1	0	1	1	0	.... ....	1	1	1
362,95	5132000	0	0	1	1	0	.... ....	1	1	1
354,48	5159000	1	1	1	1	0	.... ....	1	1	1
332,37	5160000	1	0	0	1	0	.... ....	1	1	1
332,23	5164000	1	0	1	1	0	.... ....	1	1	1
328,79	5165000	0	0	1	1	0	.... ....	1	1	1
327,49	5168000	1	0	0	1	1	.... ....	1	1	1

327,35	5172000	1	0	1	1	1	....	1	1	1
							....			
323,91	5173000	0	0	1	1	1	....	1	1	1
							....			
312,45	5179000	1	0	1	0	0	....	1	1	1
							....			
308,05	5180000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
							....			
304,92	5193000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
							....			
304,78	5200000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
							....			
293,8	5226000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
							....			
293,16	5240000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
							....			
268,62	5244000	1	0	0	1	0		1	1	1
265,18	5245000	0	0	0	1	0		1	1	1
265,05	5249000	0	0	1	1	0		1	1	1
236,07	5251000	1	0	1	1	0		1	1	1
232,63	5252000	0	0	1	1	0		1	1	1
216,91	5256000	0	0	0	1	0		1	1	1

Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo-2<sup>η</sup> επανάληψη

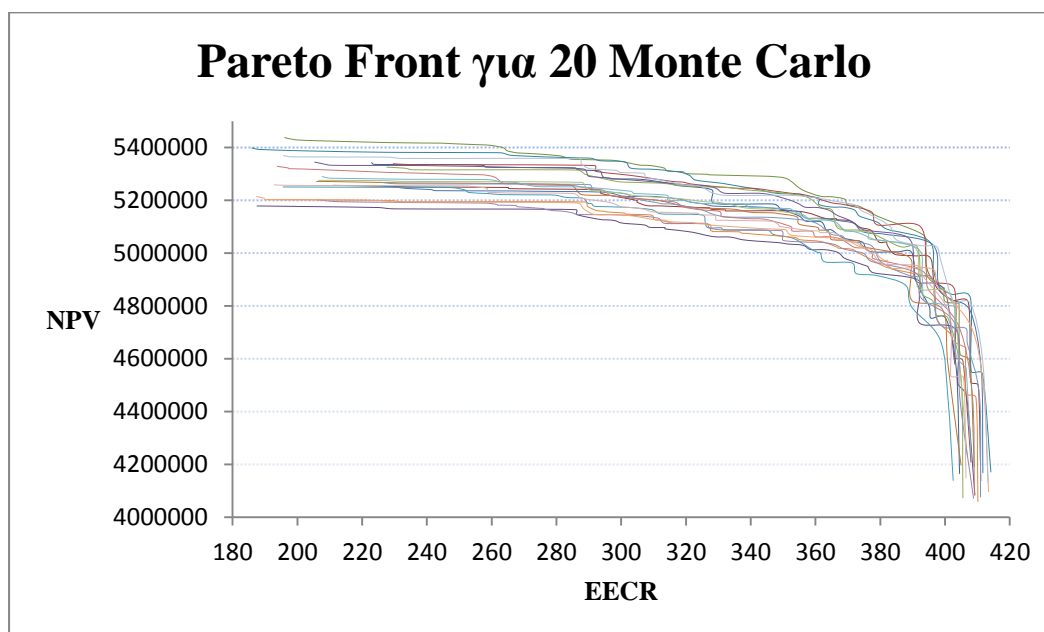
<b>EECR</b>	<b>NPV</b>	<b>Ετ.1</b>	<b>Ετ.2</b>	<b>Ετ.3</b>	<b>Ετ.4</b>	<b>Ετ.5</b>	<b>Ετ...</b>	<b>Ετ.38</b>	<b>Ετ.39</b>	<b>Ετ.40</b>
406,8	4236000	1	1	1	1	0	....	1	1	0
404,54	4573000	1	1	1	1	1	....	1	1	0
401,83	4838000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
392,08	4864000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
391,77	4937000	1	1	1	1	0	....	1	1	0
390,17	5027000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
376,56	5054000	1	1	1	0	0	....	1	1	1
376,51	5080000	1	1	1	1	1	....	1	1	1
369,75	5086000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
366,5	5107000	1	1	1	0	0	....	1	1	1
365,36	5122000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
361,03	5130000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
357,97	5131000	0	0	1	1	0	....	1	1	1
355,88	5147000	1	0	1	0	0	....	1	1	1
349,29	5158000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
347,23	5165000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
338,65	5171000	1	1	1	1	0	....	1	1	1
333,16	5186000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
328,84	5194000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
325,78	5195000	0	0	1	1	0	....	1	1	1
317,66	5207000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
305,07	5217000	1	0	1	0	0	....	1	1	1
299,75	5229000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
295,86	5230000	1	1	1	0	0	....	1	1	1



294,67	5236000	1	0	1	0	0	....	1	1	1
291	5238000	1	0	1	0	0	....	1	1	1
288,98	5247000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
287,86	5268000	1	0	1	1	0	....	1	1	1
232	5272000	0	0	1	1	0	....	1	1	1
227,63	5275000	0	0	0	1	0	....	1	1	1
206,56	5276000	0	0	0	1	0	....	1	1	1
406,8	4236000	1	1	1	1	0	....	1	1	0

Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo-15<sup>η</sup> επανάληψη

Τα 20 διαφορετικά Pareto fronts που προέκυψαν σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα που φαίνεται στη συνέχεια.



Σχήμα 19: Pareto fronts για 20 επαναλήψεις Monte Carlo

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, διαπιστώνεται ότι η τυχαιότητα των εισόδων προκαλεί σημαντική διακύμανση στις εξόδους. Συνεπώς κρίνεται αναγκαία η μελέτη της ευστάθειας του Pareto front. Αυτό επιτυγχάνεται στη συνέχεια μέσω της εφαρμογής της μεθόδου ITA.

### 5.2.3 Βήμα 3<sup>ο</sup>: Εφαρμογή ΙΤΑ για κανονική κατανομή

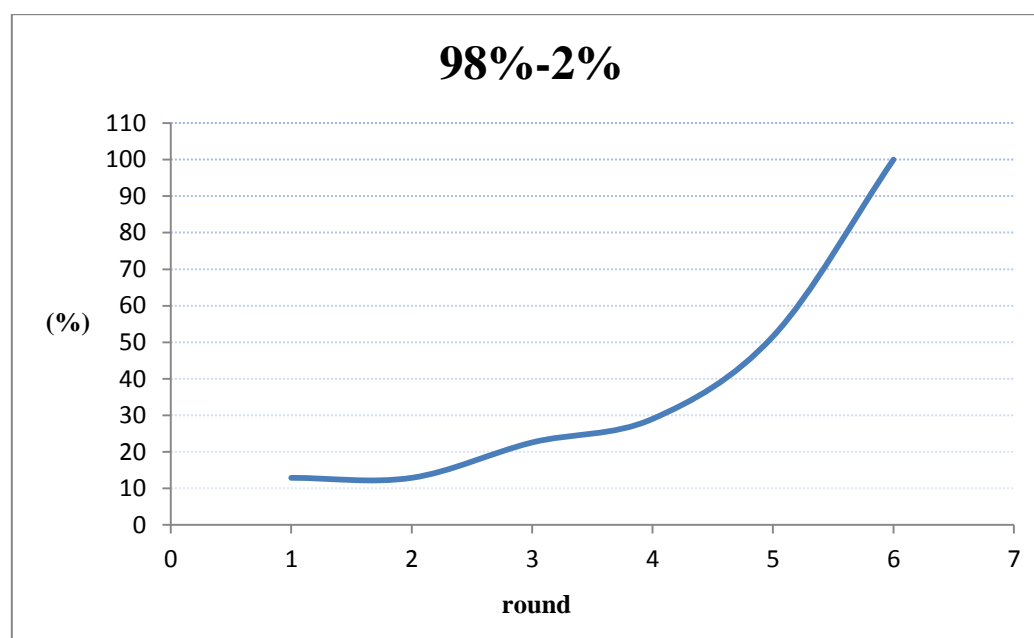
Εκτελώντας τη μέθοδο ΙΤΑ προκύπτουν πίνακες αποτελεσμάτων παρόμοιοι με αυτούς του προηγούμενου σταδίου, όπου φαίνονται δηλαδή οι δείκτες EECR και NPV, καθώς και η τιμή των 40 δυαδικών μεταβλητών  $b_i$ . Από τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να μετρηθεί ο αριθμός των «πράσινων» και «κόκκινων» χαρτοφυλακίων σε κάθε επανάληψη, και για καθένα από τα δύο σενάρια (98%-2% και 99%-1%). Οι πίνακες που προέκυψαν φαίνονται στη συνέχεια:

$\sigma=0.5$		$\sigma=0.4$		$\sigma=0.3$		$\sigma=0.2$		$\sigma=0.1$		$\sigma=0$	
98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1
4	4	4	4	7	5	9	9	16	16	31	31
195	141	232	191	271	252	299	287	340	332	367	367

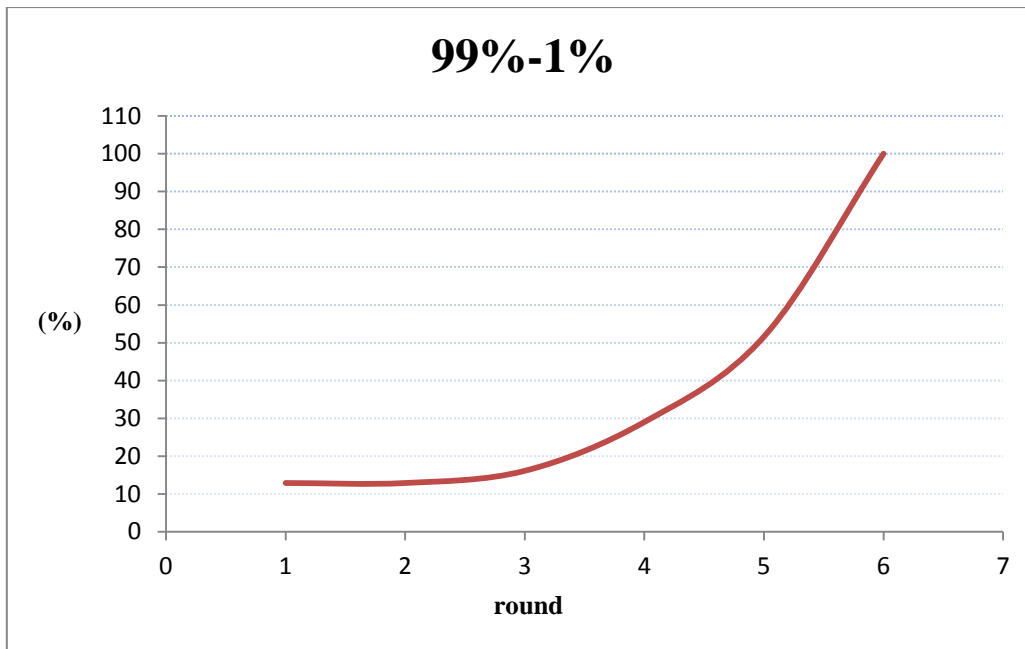
Πίνακας 8: Διαχωρισμός χαρτοφυλακίων με τη μέθοδο ΙΤΑ-Κανονική κατανομή

Παρατηρείται ότι ανάμεσα στα σενάρια 98%-2% και 99%-1% υπάρχει μικρή διαφοροποίηση όσον αφορά τον αριθμό των «πράσινων» χαρτοφυλακίων σε κάθε βήμα της μεθόδου. Αντίθετα, η διαφοροποίηση είναι πιο αισθητή όσον αφορά τον αριθμό των «κόκκινων» χαρτοφυλακίων.

Με τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα, σχεδιάζονται τα παρακάτω διαγράμματα, τα οποία χρησιμεύουν στον υπολογισμό του R.I.



Σχήμα 20: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ΙΤΑ (98%-2%)-Κανονική κατανομή



Σχήμα 21: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ITA (99%-1%)-Κανονική κατανομή

Με τη βοήθεια των παραπάνω διαγραμμάτων υπολογίζεται το R.I Αναλυτικά, η σχέση υπολογισμού του R.I είναι:

$$R.I. = \left\{ \frac{[a(1) + a(2)]}{2} + \frac{[a(2) + a(3)]}{2} + \dots + \frac{[a(n-1) + a(n)]}{2} \right\} / (n-1)$$

,όπου n είναι ο αριθμός των γύρων της ITA και a(i) είναι το ποσοστό των «πράσινων» χαρτοφυλακίων σε κάθε γύρο. Αυτό σημαίνει ότι το συνολικό εμβαδό υπολογίζεται μέσω των εμβαδών των επιμέρους τραπεζίων που περικλείονται μεταξύ της καμπύλης και του άξονα-x.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση, προκύπτει για το κάθε σενάριο:

- Σενάριο 98%-2%: R.I=0.345161
- Σενάριο 99%-1%: R.I=0.332258

Στην πρώτη περίπτωση (98%-2%) το R.I είναι μεγαλύτερο και αυτό είναι διαισθητικά σωστό, διότι στενεύοντας τα όρια του κατωφλίου, λιγότερα χαρτοφυλάκια χαρακτηρίζονται πλέον ως «πράσινα». Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται το εμβαδό B (εμβαδό μεταξύ της καμπύλης και του άξονα-x), άρα και το R.I

## 5.2.4 Βήμα 4<sup>ο</sup>: Εφαρμογή ΙΤΑ για ομοιόμορφη κατανομή

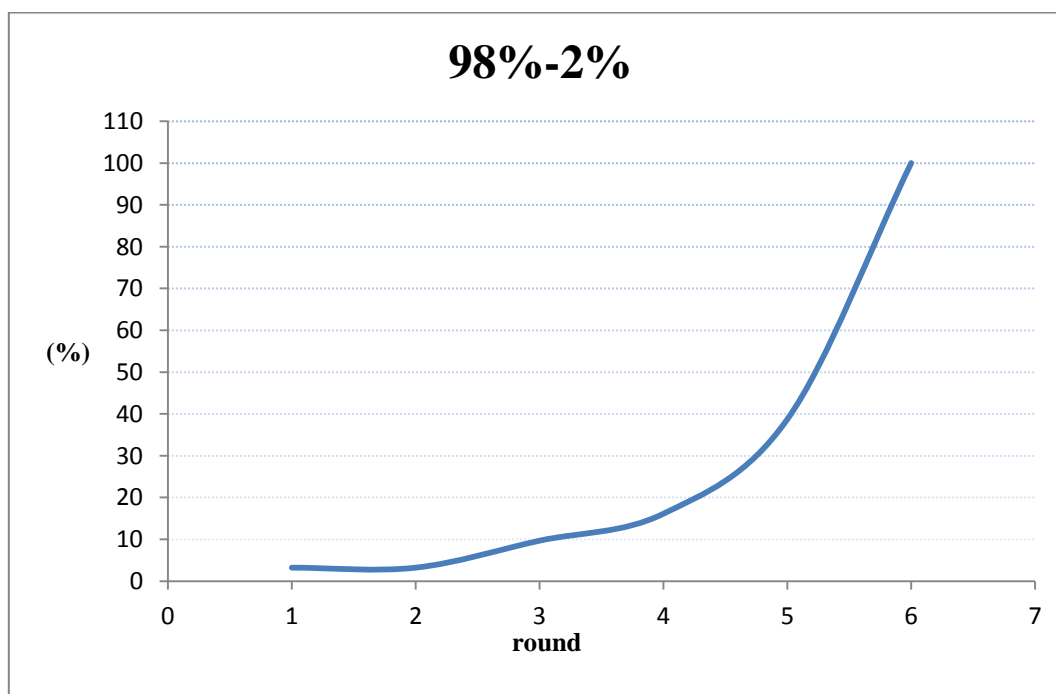
Αντίστοιχα με προηγουμένως, εκτελούνται τα βήματα της μεθόδου ΙΤΑ χρησιμοποιώντας την ομοιόμορφη κατανομή. Παρουσιάζεται στη συνέχεια ο αριθμός των «πράσινων» και «κόκκινων» χαρτοφυλακίων, όπως προέκυψε σε κάθε περίπτωση.

(0.85-1.15)		(0.88-1.12)		(0.91-1.09)		(0.94-1.06)		(0.97-1.03)		(1-1)	
98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1	98-2	99-1
1	0	1	1	3	3	5	3	12	12	31	31
536	409	567	479	619	563	684	667	733	726	783	783

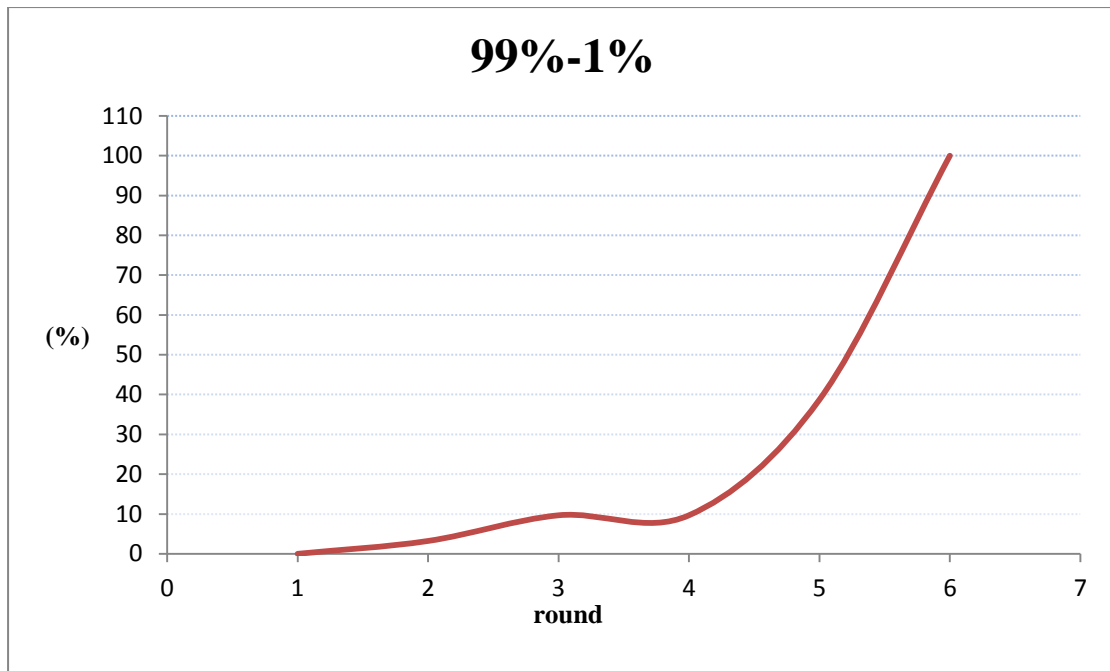
Πίνακας 9: Διαχωρισμός χαρτοφυλακίων με τη μέθοδο ΙΤΑ-Ομοιόμορφη κατανομή

Όπως και στην περίπτωση της κανονικής κατανομής, παρατηρούμε ότι ανάμεσα στα σενάρια 98%-2% και 99%-1% υπάρχει μικρή διαφοροποίηση ως προς τον αριθμό των «πράσινων» χαρτοφυλακίων, αλλά αισθητή διαφοροποίηση ως προς τον αριθμό των «κόκκινων».

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο υπολογισμός του R.I, κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση της κανονικής κατανομής.



Σχήμα 22: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ΙΤΑ (98%-2%)-Ομοιόμορφη κατανομή



Σχήμα 23: Συχνότητα «πράσινων» χαρτοφυλακίων ανά γύρο της ΙΤΑ (99%-1%)- Ομοιόμορφη κατανομή

Χρησιμοποιώντας τώρα τη σχέση υπολογισμού του R.I, προκύπτει για καθένα από τα δύο σενάρια:

- Σενάριο 98%-2%: R.I=0.23871
- Σενάριο 99%-1%: R.I=0.22258

Πάλι παρατηρείται μείωση του R.I στενεύοντας τα όρια του κατωφλίου, δηλαδή μεταβαίνοντας από το σενάριο 98%-2% στο 99%-1%.

### 5.2.5 Βήμα 5<sup>ο</sup>: Διερεύνηση εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια

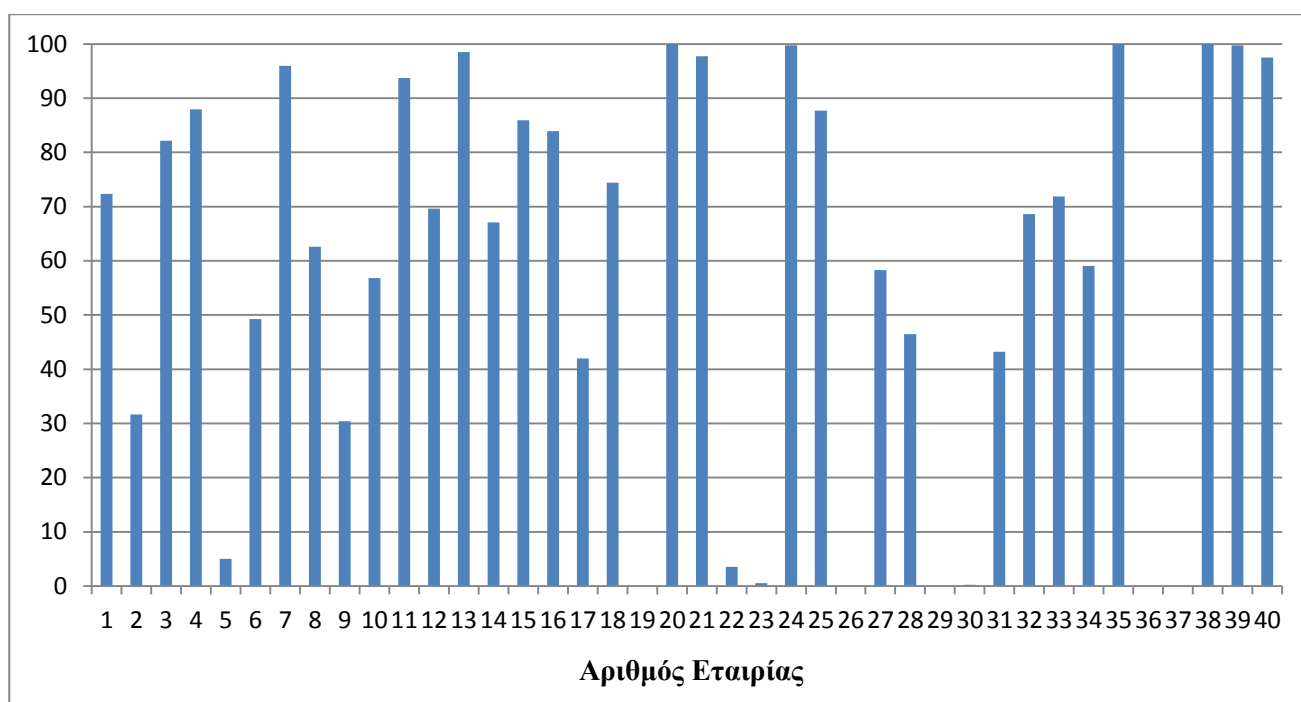
Έχοντας ολοκληρώσει το σχεδιασμό του Pareto front και την ανάλυση ευαισθησίας του, τελικό στάδιο του πρακτικού τμήματος της εργασίας αποτελεί μία διερεύνηση που αφορά τις 40 εταιρίες που αιτούνται για δάνειο και συνεπώς συμμετέχουν στα διάφορα βέλτιστα χαρτοφυλάκια. Καταγράφεται λοιπόν τη συχνότητα εμφάνισης της κάθε εταιρίας στα 398 βέλτιστα χαρτοφυλάκια που προκύπτουν και στη συνέχεια διαιρούμε με το 398 έτσι ώστε να προκύψει η σχετική συχνότητα. Αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Αριθμός Εταιρίας	Απόλυτη Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα (%)
1	288	72,36
2	126	31,66
3	327	82,16
4	350	87,94
5	20	5,03
6	196	49,25
7	382	95,98
8	249	62,56
9	121	30,40
10	226	56,78
11	373	93,72
12	277	69,60
13	392	98,49
14	267	67,09
15	342	85,93
16	334	83,92
17	167	41,96
18	296	74,37
19	0	0,00
20	398	100,00
21	389	97,74
22	14	3,52
23	2	0,50
24	397	99,75
25	349	87,69
26	0	0,00
27	232	58,29
28	185	46,48
29	0	0,00
30	1	0,25
31	172	43,22
32	273	68,59

33	286	71,86
34	235	59,05
35	398	100,00
36	0	0,00
37	0	0,00
38	398	100,00
39	397	99,75
40	388	97,49

Πίνακας 10: Συχνότητα εμφάνισης των 40 εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια

Τέλος, σχεδιάζεται το κατάλληλο ιστόγραμμα χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα.



Σχήμα 24: Ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας εμφάνισης κάθε εταιρίας στο σύνολο των χαρτοφυλακίων

Στον οριζόντιο άξονα φαίνεται ο αριθμός της καθεμίας από τις 40 εταιρίες που εξετάζουμε, ενώ στον κατακόρυφο άξονα η σχετική συχνότητα εμφάνισής της στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.

Παρατηρώντας το παραπάνω ιστόγραμμα, προκύπτει ότι υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση όσον αφορά τη σχετική συχνότητα εμφάνισης των εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια. Ορισμένες εταιρίες εμφανίζονται σε όλα τα χαρτοφυλάκια, ενώ άλλες σε κανένα. Αυτό οφείλεται στις τιμές των δεικτών EECR και NPV που χαρακτηρίζουν τις εταιρίες, εφόσον οι δείκτες αυτοί σε ορισμένες εταιρίες λαμβάνουν αρκετά υψηλές τιμές, ενώ σε άλλες αρκετά χαμηλές. Επίσης, η παραπάνω διαφοροποίηση οφείλεται και στους διάφορους περιορισμούς που έχουν εφαρμοστεί.

Παρά το γεγονός ύπαρξης δύο αντικειμενικών συναρτήσεων και άρα Pareto front αντί μοναδικής βέλτιστης λύσης, ενώ παράλληλα έχουμε εκτελέσει προσομοίωση Monte Carlo για αντιμετώπιση της αβεβαιότητας, το παραπάνω ιστόγραμμα αποτελεί οδηγό σχετικά με τις εταιρίες που θα έπρεπε να προτιμηθούν έναντι των υπολοίπων, όταν επιθυμούμε να συνθέσουμε ένα βέλτιστο χαρτοφυλάκιο πάνω στο Pareto front. Ανάλυση σχετικά με τα χαρακτηριστικά των εταιριών που τείνουν να επιλέγονται συχνότερα έναντι των υπολοίπων θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο.



---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**

---

## 6.1 Συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό θα εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το προτεινόμενο μοντέλο και την εφαρμογή του. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν οι προοπτικές που ανακύπτουν για μελλοντική χρήση και βελτίωση του παραπάνω μοντέλου.

➤ Αρχικό συμπέρασμα αποτελεί η μεγάλη σημασία ανάπτυξης ενός αναλυτικού εργαλείου υποστήριξης αποφάσεων όσον αφορά την ενεργειακή και περιβαλλοντική εταιρική ευθύνη. Κατά την παρουσίαση του προβλήματος, τονίστηκε ότι η έννοια της περιβαλλοντικής εταιρικής ευθύνης έχει μεγάλη σπουδαιότητα, αλλά δυστυχώς μειωμένη εξάπλωση. Σύμφωνα με την εφαρμογή του προηγούμενου κεφαλαίου όμως, προέκυψαν ρεαλιστικά αποτελέσματα, κάτι που σημαίνει ότι διαθέτουμε ένα αποτελεσματικό μοντέλο για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

➤ Η χρήση του παραπάνω μοντέλου διευκολύνεται περαιτέρω μέσω της γλώσσας μοντελοποίησης βελτιστοποιήσεων GAMS, η οποία επέτρεψε τη σαφή διατύπωση και λύση του προβλήματος. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπ' όψιν την ευελιξία χειρισμού της γλώσσας αυτής, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μοντέλο που διατυπώθηκε μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα και να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα πραγματικών εφαρμογών.

Όσον αφορά τα ποσοτικά αποτελέσματα της μεθόδου, πρέπει να σημειωθούν τα παρακάτω:

➤ Από την εφαρμογή της προσομοίωσης Monte Carlo διαπιστώθηκε ότι η αβεβαιότητα των εισόδων προκαλεί σημαντική αβεβαιότητα στις εξόδους. Αυτό φάνηκε άλλωστε και από την γραφική παράσταση των Pareto fronts που προέκυψε. Άρα, το μοντέλο παρουσιάζει σημαντική ευαισθησία ως προς την αβεβαιότητα των δεικτών που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι. Προκύπτει λοιπόν η αναγκαιότητα συστηματικής αντιμετώπισης της αβεβαιότητας, ή αλλιώς μελέτη ευστάθειας του Pareto front.

➤ Η ευστάθεια του Pareto front μπορεί να εκτιμηθεί αποτελεσματικά μέσω της μεθόδου ΙΤΑ. Με τη μέθοδο ΙΤΑ μελετάμε την ευστάθεια από τη σκοπιά των χαρτοφυλακίων που αποτελούν το κάθε Pareto front. Άμεση σύγκριση των Pareto fronts κατέστη αδύνατη λόγω της ιδιομορφίας που προκαλεί η ύπαρξη ακέραιων μεταβλητών. Η προοπτική ανάπτυξης αυτού του είδους μεθοδολογίας στο μέλλον αναφέρεται στη συνέχεια.

➤ Το R.I θα προκύπτει πάντοτε μικρότερο, όσο «στενεύουμε» τα όρια που χαρακτηρίζουν ένα χαρτοφυλάκιο «πράσινο» ή «κόκκινο». Αυτό θα συμβαίνει ανεξαρτήτως της πιθανοτικής κατανομής που ακολουθούν οι μεταβλητές εισόδου. Στενεύοντας το κατώφλι, λιγότερα χαρτοφυλάκια θα χαρακτηρίζονται πλέον ως

«πράσινα» και συνεπώς θα μειώνεται το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και του άξονα-x, άρα θα μειώνεται το R.I Θα πρέπει λοιπόν να γίνεται κάθε φορά σωστή επιλογή των ορίων του κατωφλίου, ανάλογα με τις πληροφορίες που διαθέτουμε.

➤ Το R.I είναι σαφώς καλύτερο για την κανονική κατανομή σε σχέση με την ομοιόμορφη, κάτι που γίνεται διότι η ομοιόμορφη κατανομή αναπαριστά μεγαλύτερη αβεβαιότητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χαρακτηριστούν λιγότερα χαρτοφυλακίων ως «πράσινα» και συνεπώς έχει άμεση επίδραση στον υπολογισμό του δείκτη R.I

➤ Διαφοροποίηση του ποσοστού συμμετοχής των εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια. Υπάρχει μεγάλη διακύμανση ως προς την εμφάνιση των 40 εταιριών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια, με ορισμένες να προτιμώνται σαφώς έναντι των υπολοίπων. Αυτό οφείλεται τόσο στα χαρακτηριστικά των εταιριών, όσο και στους περιορισμούς που έχουμε εφαρμόσει. Εποπτικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου, μπορούμε να εξαγάγουμε τα εξής συμπεράσματα. Εταιρίες που ζητούν συγκριτικά μεγάλο ποσό δανείου, σε συνδυασμό με χαμηλό δείκτη EECR, τείνουν να μην επιλέγονται. Αντιθέτως, εταιρίες που ζητούν μικρότερα δάνεια και χαρακτηρίζονται από υψηλό NPV, τείνουν να επιλέγονται συχνά.

## 6.2 Προοπτικές

➤ Χρησιμοποίηση του μοντέλου ως εργαλείο άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε αποτελεί μία ολοκληρωμένη και αποτελεσματική μεθοδολογία, όπως αποδεικνύεται και από τα ρεαλιστικά αποτελέσματα που προέκυψαν. Συνεπώς, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί πιλοτικά από πραγματικά χρηματοπιστωτικά ιδρύματα ως ένα σύστημα προώθησης της περιβαλλοντικής πολιτικής. Λόγω της ευελιξίας του μοντέλου όσον αφορά του περιορισμούς, σχεδόν οποιαδήποτε ρεαλιστική πολιτική ή επενδυτικό προφίλ μπορούν να αποτυπωθούν. Επίσης, παρέχεται και μία θωράκιση ως προς την αβεβαιότητα, αφού αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί συστηματικά με τις μεθόδους Monte Carlo και ITA.

➤ Αναζήτηση μεγαλύτερου αριθμού εταιριών για εφαρμογή της μεθόδου

Η εφαρμογή στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας έγινε χρησιμοποιώντας σαν είσοδο τα δεδομένα για 40 εταιρίες. Ο αριθμός αυτός είναι σχετικά μικρός και συνεπώς μία προοπτική είναι η εφαρμογή για πολύ μεγαλύτερο εύρος δεδομένων. Με

αυτό τον τρόπο θα μπορέσουν να εξαχθούν πιο αξιόπιστα και γενικά συμπεράσματα και συνεπώς θα μπορέσει να γίνει μία πιο αποτελεσματική αποτίμηση της μεθόδου.

➤ Δειγματοληψία και από άλλες πιθανοτικές κατανομές

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, χρησιμοποιήθηκαν μόνο η κανονική και η ομοιόμορφη κατανομή για να αναπαραστήσουν τη αβεβαιότητα των εισόδων. Ωστόσο, μπορεί στο μέλλον να ελεγχθεί και η καταλληλότητα της τριγωνικής κατανομής, η οποία αποτελεί εξίσου λογική επιλογή. Επίσης, μπορούν να διεξαχθούν αναλυτικές στατιστικές μελέτες έτσι ώστε να ευρεθεί με ακρίβεια η κατανομή που ακολουθούν οι εκάστοτε μεταβλητές που θα χρησιμοποιήσουμε ως εισόδους.

➤ Χρήση γραμμικής παρεμβολής για τη σύγκριση των Pareto fronts

Η ιδιομορφία των ακέραιων μεταβλητών σημαίνει ότι τα διάφορα Pareto fronts θα αποτελούνται από διακριτό αριθμό σημείων. Επιπροσθέτως, τα σημεία αυτά δεν συμπίπτουν ανάμεσα σε διαφορετικά Pareto fronts. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι η άμεση σύγκρισή τους δεν είναι δυνατή, εφόσον δεν μπορούμε να έχουμε κοινά σημεία αναφοράς. Μία μεθοδολογία που μπορεί να αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι η αναλυτική εφαρμογή της γραμμικής παρεμβολής. Με αυτό τον τρόπο θα είμαστε πλέον σε θέση να διαθέτουμε κοινά σημεία αναφοράς για άμεση σύγκριση των Pareto fronts. Έτσι, θα μπορέσει να λάβει χώρα άμεση ανάλυση ευαισθησίας, παράλληλα με την έμμεση ανάλυση ευαισθησίας μέσω των χαρτοφυλακίων που αναπτύχθηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

---

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

---

- [1] United Nations (1987), 96th plenary meeting. "Report of the World Commission on Environment and Development".
- [2] Paul-Marie Boulanger (2008). "Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue.". S.A.P.I.EN.S, Vol. 1, No. 1.
- [3] Samuel Mann (2009) "Visualising Sustainability". Computing for Sustainability.
- [4] Will Allen. 2007."Learning for Sustainability: Sustainable Development."
- [5] Βομβολάκης Ε. (2012) "Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων για τη Χρηματοδότηση Πράσινων Ενεργειακών Δράσεων" Σελίδες 28-29, 42-45, 58-64.
- [6] Ευαγγελία Δ. Σπύρου (2012) "Εταιρική περιβαλλοντική ευθύνη σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις: διερεύνηση και ανάλυση" Σελίδες 16-19
- [7] Elsayed K., Paton D. (2005), "The impact of environmental performance on firm performance: static and dynamic panel data evidence, Structural Change and Economic Dynamics", Volume 16, Issue 3. Σελίδες 395-412.
- [8] Pop O.,Dina G.C., Martin C.(2011), "Promoting the corporate social responsibility for a green economy and innovative jobs", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 15. Σελίδες 1020-1023.
- [9] Wagner M. (2005), "How to reconcile environmental and economic performance to improve corporate sustainability: corporate environmental strategies in the European paper industry", Journal of Environmental Management, Volume 76, Issue 2. Σελίδες 105-114.
- [10] Herva M., Franco A., Carrasco E.F., Roca E. (2011), "Review of corporate environmental indicators", Journal of Cleaner Production, Volume 19, Issue 15. Σελίδες 1687-1699.
- [11] Pisinger D. (2001). "Budgeting with bounded multiple-choice constraints". European Journal of Operational Research 129. Σελίδες 471-480.
- [12] Sangster A. (1995). "The bank of Scotlands COMPASS-The future of bank lending? Expert Systems with Applications 9(4) ". Σελίδες 457-468.
- [13] B. Scholtens (2008), "A note on the interaction between corporate social responsibility and financial performance". Ecological Economics, Volume 68, Issues 1–2, Σελίδες 46-55.
- [14] GAMS Home page: <http://www.gams.com>

- [15] Metropolis, N. (1987). "The beginning of the Monte Carlo method". Los Alamos Science. Σελίδες 125–130.
- [16] Shimon Awerbuch (2004). "Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Implications for Renewables and Energy Security". Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.
- [17] Shimon Awerbuch, Martin Berger (2003). "Applying Portfolio Theory To EU Electricity Planning And Policy-Making". Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.
- [18] S. Awerbuch, J. C. Jansen, L. Beurskens, T. Drennen (2005). "The Cost of Geothermal Energy in the Western US Region: A Portfolio-Based Approach". Sandia National Laboratories Publications.
- [19] A. Bhattacharya, S. Kojima (2010). "Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method". Energy Policy.
- [20] E. Delarue, C. De Jonghe, R. Belmans , W. D'haeseleer (2010). "Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus power" Energy Economics.
- [21] J.C. Jansen L.W.M. Beurskens X. van Tilburg (2006). "Application of portfolio analysis to the Dutch generating mix". Analytical Methods for Energy Diversity and Security.
- [22] N. Rodoulis (2010). "Evaluation of Cyprus' Electricity Generation Planning Using Mean-Variance Portfolio Theory". Cyprus Economic Policy Review.
- [23] F. A. Roques , D. M. Newbery, W. J. Nuttall (2007). "Fuel mix diversification incentives in liberalized electricity markets: A Mean–Variance Portfolio Theory Approach". Energy Economics.
- [24] P. Vithayasrichareon, I.F.MacGill (2011). "A Monte Carlo based decision-support tool for assessing generation portfolios in future carbon constrained electricity in industries". Energy Policy.
- [25] P. Vithayasrichareon, I. F. MacGill, and F. S. Wen (2010). "Electricity Generation Portfolio Evaluation for Highly Uncertain and Carbon Constrained Future Electricity Industries". IEEE Power and Security General Meeting.
- [26] P. Xidonas, H. Doukas (2011). "A hybrid MCDA-IP approach as a modeling tool for implementing green credit strategies". EPU NTUA Working Paper.

- [27] A. Zuluaga, J. A. Sefair, and A. L. Medaglia (2007). "Model for the Selection and Scheduling of Interdependent Projects". IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium.
- [28] Santhanam R., Kyparisis G.J. (1996). "A Decision Model for Interdependent Information System Project Selection". European Journal of Operational Research.
- [29] Jin Woo, Soung Hie Kim (2000). "Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection". Computers & Operations Research.
- [30] J. A. Sefair, A. L. Medaglia (2005). "Towards A Model For Selection And Scheduling Of Risky Projects". Proceedings of the 2005 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium.
- [31] L. Passalacqua (2005). "Mixed-Integer Credit Portfolio Optimization: An Application to Italian Segregated Funds". Social Science Research Network.
- [32] M. Merada, N. Dechya, L. Serirb, M. Grabischc, F. Marcela (2013). "Using A Multi-Criteria Decision Aid Methodology To Implement Sustainable Development Principles Within An Organization". European Journal of Operational Research.
- [33] Eduardo Ortas a, Roger L. Burritt, José M. Moneva (2012). "Socially Responsible Investment and cleaner production in the Asia Pacific: does it pay to be good?". Journal of Cleaner Production.
- [34] S.D. Pohekar, M. Ramachandran (2004). "Application Of Multi-Criteria Decision Making To Sustainable Energy Planning—A Review". Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [35] Σ. Αλιβιζάτος (2011). "Εφαρμογές Πολυκριτηριακού Μαθηματικού Προγραμματισμού με τη χρήση της γλώσσας μοντελοποίησης GAMS".
- [36] Website του OHE: [www.sustainabledevelopment.un.org/sd21.html](http://www.sustainabledevelopment.un.org/sd21.html).
- [37] Website: [www.developmentcrossing.com/profiles/blogs/corporate-social-responsibility-increases-your-bottom-line](http://www.developmentcrossing.com/profiles/blogs/corporate-social-responsibility-increases-your-bottom-line).
- [38] H. Markowitz (1952). "Portfolio Selection". Journal of Finance, Vol. 7, No. 1.
- [39] R. E. Rosenthal (1988). "A GAMS Tutorial ". GAMS Development Corporation.



[40] " K. Hall, A. Daneke, J. Lenox (2010). "Sustainable Development and Entrepreneurship: Past contributions and future directions". Journal of Business Venturing.

[41] Lorie J.H.,Savage L.J. (1955). "Three problems in rationing capital". Journal of Business.Vol. 28, No. 4.

[42] " G. Mavrotas, O. Pechak (2013) "The trichotomic approach for dealing with uncertainty in project portfolio selection: combining MCDA, mathematical programming and Monte Carlo simulation" International Journal of Multicriteria Decision Making, Vol. 3, No. 1.

[43] GRI Website: [www.globalreporting.org](http://www.globalreporting.org).

---

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗ ΓΛΩΣΣΑ GAMS**

---

Παρατίθεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων στη γλώσσα μοντελοποίησης GAMS. Ο ίδιος κορμός κώδικα χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα βήματα, κάνοντας κάθε φορά τις κατάλληλες αλλαγές. Ο κώδικας αποτελείται από τρία ξεχωριστά δομικά στοιχεία, τα οποία είναι η διατύπωση του προβλήματος και των περιορισμών, η μέθοδος ε-constraint, και η προσομοίωση Monte Carlo.

```
$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 avgreturn(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 return(I) random return ;

\*return(I)=normal(avgreturn(I),(0.05\*avgreturn(I)));

parameter avgEECR(I) average EECR 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

/

;

parameter EECR(I) random EECR ;

\*EECR(I)=normal(avgEECR(I),(0.05\*avgEECR(I)));

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) objective 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\_EECCR objective function --> maximization of portfolio's EECCR

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\_EECCR.. sum(I, EECR(I)\*X(I))=e= Z('1');

EQ\_NPV.. sum(I, return(I)\*X(I))=e= Z('2');

TOTBUDG.up = maxbudg;

TOTPROJ.lo = 5;

MODEL EECR\_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 /100/



## 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 / EECR\_40\_model, allobj / ;

Model mod\_epsmethod / EECR\_40\_model, con\_obj, augm\_obj / ;

## Parameter

payoff(k,k) payoff tables entries;

Alias(k,kp);

option optcr=0.000;

loop(k, intervals(k)=20);

\*option limrow=0, limcol=0, solprint=off ;

option limrow=3, limcol=3 ;

option seed=1515;

File fx / c:\gams\EECR\_40\_2obj\_MC\_exact.txt /;

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

start=jnow;

for (mciter=1 to mcitermax,

\* random generation of return and profit from normal distributions

```

return(I)=normal(avgreturn(I),(0.05*avgreturn(I)));
return(I)=1000*round(return(I)/1000);
EECR(I)=normal(avgEECR(I),(0.05*avgEECR(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 /;
);
*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))/1000);
*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
  put fx mciter:5:0; // 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

```