



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού της ΕΕ-27 με βάση τη Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου και τη Μέθοδο Πρωτευουσών Συνιστωσών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νιόβη Π. Καλαντζή

Αθανάσιος Θ. Τρουπάκης

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Χρήστος Ρούπας
Συνεργάτης Εργαστηρίου
Συστημάτων Αποφάσεων

Αθήνα, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού της ΕΕ-27 με βάση
τη Σύγχρονη Θεωρία χαρτοφυλακίου και τη Μέθοδο
Πρωτευουσών Συνιστωσών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νιόβη Π. Καλαντζή

Αθανάσιος Θ. Τρουπάκης

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20^η Ιουλίου 2010.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2011

.....
Νιόβη Π. Καλαντζή
Αθανάσιος Θ. Τρουπάκης
Διπλωματούχοι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νιόβη Καλαντζή, 2011.
Copyright © Αθανάσιος Τρουπάκης, 2011.
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 τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κύριο Ιωάννη Ψαρρά για την ανάθεση της διπλωματικής καθώς και για την υποστήριξή του. Επιπλέον οφείλουμε ιδιαίτερες ευχαριστίες στο συνεργάτη του Εργαστηρίου Αποφάσεων και Διοίκησης Χρήστο Ρούπα για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση που μας παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας και το φιλικό μας περιβάλλον για την πραγματική τους υποστήριξη και ενθάρρυνση για την επίτευξη κάθε στόχου μας.

Ιούλιος 2011

Νιόβη Καλαντζή
Νάσος Τρουπάκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια είναι μία από τις κινητήριες δυνάμεις της κοινωνίας και της οικονομίας και η αδιάκοπη παροχή της σε ανταγωνιστικές τιμές αποτελεί βασική προϋπόθεση για την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί τη μεγαλύτερη περιφερειακή αγορά με πάνω από 500 εκατομμύρια κατοίκους και το βασικότερο εισαγωγέα ενέργειας στον κόσμο. Συνεπώς τα θέματα που άπτονται της ενεργειακής ασφάλειας αλλά και της ενεργειακής αποδοτικότητας αποτελούν βασικές προτεραιότητες. Τα επόμενα χρόνια, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα κληθεί να ανταπεξέλθει σε σημαντικές προκλήσεις που αφορούν τόσο στην ενίσχυση της ενεργειακής της ασφάλειας όσο και στην ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών.

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 27 με εφαρμογή των βασικών αρχών δύο μεθόδων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η Μέθοδος Ανάλυσης Πρωτευουσών Συνιστωσών (PCA) για τη σύνθεση ενός ενιαίου δείκτη που μετρά το βαθμό τρωτότητας κάθε χώρας στα δύο κυριότερα καύσιμα: πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας τη Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου και αντιμετωπίζοντας την Ε.Ε. ως ενιαία αγορά, προσδιορίστηκαν τα βέλτιστα ενεργειακά μίγματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας αναδεικνύουν την ανάγκη χάραξης μιας ενεργειακής πολιτικής που θα έχει ως στόχο την εξασφάλιση συνεχούς ανεφοδιασμού ενέργειας με ανταγωνιστικό και βιώσιμο τρόπο για τις 27 χώρες-μέλη της Ένωσης.

Λέξεις Κλειδιά

Ενεργειακός Σχεδιασμός, Ενεργειακή Ασφάλεια, Δείκτης Τρωτότητας, Ενεργειακά Χαρτοφυλάκια, Απόδοση, Ρίσκο, Τεχνολογίες Ηλεκτροπαραγωγής

ABSTRACT

Energy is one of the motivating forces of modern society and economy and uninterrupted energy supply in competitive prices is a prerequisite for economic growth and social prosperity. The European Union is the largest regional market with over 500 million consumers and the world's largest energy importer. Consequently issues that have to do with energy security and efficiency are basic priorities. In the years to come, the European Union will face major challenges concerning the safety of energy supply and the development of environment-friendly technologies.

Main goal of the present dissertation is the evaluation of the Energy Planning in the European Union-27 by applying the main principles of two methods. Firstly, the Principal Component Analysis (PCA) has been used in order to compose a common index that measures the vulnerability of each country to oil and natural gas. Secondly, by applying the Modern Portfolio Theory and by considering the EU as a whole, we defined the optimal energy mixes for Power Generation. The results of our study point out the need for a new European energy policy whose aim will be to secure uninterrupted energy supply in a competitive and sustainable manner for the 27 member-states of the Union.

Key Words

Energy Planning, Energy Security, Vulnerability Index, Energy Portfolio, Return, Risk, Technologies for Power Generation

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ Α

1. Μέθοδος Ανάλυσης Πρωτευουσών Συνιστωσών (Principal Component Analysis)	19
1.1 Εισαγωγή.....	19
1.2 Ένα παράδειγμα Φυσικής.....	19
1.3 Αλλαγή Βάσης.....	21
1.3.1 Μια απλοϊκή βάση.....	21
1.3.2 Αλλαγή βάσης.....	23
1.4 Διακύμανση.....	24
1.4.1 Μήτρα Συνδιακύμανσης.....	25
1.4.2 Διαγωνοποίηση της Μήτρας Συνδιακύμανσης.....	27
1.5 Περίληψη των παραδοχών.....	28
1.6 Επίλυση της PCA με χρήση Ιδιοδιανυσμάτων.....	28
2. Εφαρμογή της Μεθόδου Πρωτευουσών Συνιστωσών (PCA) στην αξιολόγηση της τρωτότητας των Ευρωπαϊκών Οικονομιών	35
2.1 Εισαγωγή.....	35
2.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	38
2.3 Παρουσίαση Μεθοδολογίας.....	41
2.4 Επιλογή δεικτών.....	41
3. Επιλογή Δεδομένων και Υπολογισμός Δεικτών	43
3.1 Επιλογή Δεδομένων.....	43
3.2 Υπολογισμός Επιμέρους Δεικτών.....	43
3.2.1 Δείκτες Αγοράς.....	43
3.2.2 Δείκτες Ανεφοδιασμού.....	44
3.3 Επεξεργασία Δεδομένων με βάση τη μέθοδο πρωτευουσών συνιστωσών (PCA) σε περιβάλλον Microsoft Excel.....	51
3.3.1 Εισαγωγή.....	51
3.3.2 Σύνθεση Ενιαίου Δείκτη (Vulnerability Index) με χρήση εργαλείων του Microsoft Excel.....	52
4. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	55
4.1 Γενικές Παρατηρήσεις.....	55
4.2 Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Πετρελαίου (Oil Vulnerability Index-O.V.I.)....	56

4.3	Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Φυσικού Αερίου (Gas Vulnerability Index – G.V.I.)	63
4.4	Προοπτικές Επέκτασης της Μελέτης.....	69

ΜΕΡΟΣ Β

5.	Η Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου	73
5.1	Εισαγωγή.....	73
5.2	Ιστορική αναδρομή	74
5.3	Η έννοια της απόδοσης.....	75
5.4	Η έννοια του κινδύνου	76
5.5	Απόδοση και Κίνδυνος για Χαρτοφυλάκια Χρεογράφων	77
5.6	Η Αρχή της Διαφοροποίησης Χαρτοφυλακίου	79
5.7	Αποτελεσματικό Μέτωπο	83
5.8	Επιλογή Βέλτιστου Χαρτοφυλακίου.....	84
5.9	Υπολογισμός Αποτελεσματικού Μετώπου με Γραμμικό Προγραμματισμό.....	86
5.10	Εισαγωγή χρεογράφου μηδενικού ρίσκου	87
6.	Η Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου και ο Ενεργειακός Σχεδιασμός.....	91
6.1	Εισαγωγή.....	91
6.2	Η έννοια της απόδοσης.....	93
6.3	Η έννοια του κινδύνου	94
6.4	Ο ρόλος των τεχνολογιών σταθερού κόστους (ΑΠΕ).....	97
6.5	Παραδοχές και Περιορισμοί	99
6.6	Αντίθετες Απόψεις	101
7.	Εφαρμογή της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 27.....	104
7.1	Εισαγωγή.....	104
7.2	Πλαίσιο Εφαρμογής	107
7.3	Υπολογισμός της Απόδοσης των Τεχνολογιών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	109
7.4	Υπολογισμός του Κινδύνου των Τεχνολογιών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	124
7.5	Υπολογισμός Αποδοτικών Ενεργειακών Χαρτοφυλακίων σε περιβάλλον Microsoft Excel	128
7.5.1	Εισαγωγή	128

7.5.2	Αποτελεσματικό Μέτωπο Συμβατικών Τεχνολογιών	129
7.5.3	Αποτελεσματικό Μέτωπο Συμβατικών και Ανανεώσιμων Τεχνολογιών.....	131
8.	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	133
8.1	Εισαγωγή	133
8.2	Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2007.....	133
8.3	Μελέτη Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2020	137
8.3.1	Σενάριο Μέτρων Τιμών	137
8.3.2	Σενάριο Υψηλών Τιμών	139
8.4	Μελέτη Ενεργειακού Σχεδιασμού για το 2030	142
8.4.1	Σενάριο Μέτρων Τιμών	142
8.4.2	Σενάριο Υψηλών Τιμών	143
9.	Περιορισμός Συνεισφοράς Πυρηνικής Τεχνολογίας στο Ενεργειακό Μίγμα	145
9.1	Συνοπτική Παρουσίαση της παρούσας κατάστασης	145
9.2	Πλαίσιο Εφαρμογής στη μελέτη μας	148
9.3	Αποδοτικά Μέτωπα με Περιορισμό Συμμετοχής Πυρηνικών.....	148
9.3.1	Αποτελέσματα για το 2020	148
9.3.2	Αποτελέσματα για το 2030	150
9.3.3	Ενεργειακά Μίγματα μετά την εισαγωγή του περιορισμού πυρηνικών	151
10.	Συμπεράσματα Μελέτης και Προτάσεις Επέκτασης.....	153
10.1	Συμπεράσματα	153
10.2	Προτάσεις Επέκτασης της Μελέτης	155
11.	Επίλογος	157
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	163
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	167
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	175

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Σύστημα Μάζας-Ελατηρίου.....	20
Εικόνα 3.1: Αποτελέσματα Δείκτη Πολιτικής Μέτρησης από REACCESS	48
Εικόνα 3.2: Κλήση XLSTAT και εφαρμογή PCA.....	53
Εικόνα 3.3: Αποτελέσματα Μεθόδου PCA.....	53
Εικόνα 3.4: Υπολογισμός κυρίαρχων συστατικών (Principal Components)	54
Εικόνα 7.1: Αρχική Σελίδα Προγράμματος SETIS calculator	111
Εικόνα 7.2: Σελίδα επιλογής Τεχνολογιών στο SETIS calculator	111
Εικόνα 7.3: Οικονομικές Παράμετροι στο SETIS calculator	112
Εικόνα 7.4: Τεχνικές Παράμετροι στο SETIS calculator.....	113
Εικόνα 7.5: Σελίδα Αποτελεσμάτων SETIS calculator.....	114
Εικόνα 9.1: Χάρτης Πυρηνικών Αντιδραστήρων στην Ε.Ε.....	145

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1: Τρόπος Κατασκευής Ενιαίου Δείκτη.....	51
Σχήμα 5.1: Συστηματικός και μη συστηματικός Κίνδυνος	81
Σχήμα 5.2: Αποτελεσματικό Μέτωπο	83
Σχήμα 5.3: Αποτελεσματικό Μέτωπο και Καμπύλες Αδιαφορίας.....	86
Σχήμα 5.4: Αποτελεσματικό Μέτωπο με Χρεόγραφο Μηδενικού Ρίσκου	89
Σχήμα 6.1: Επίδραση Τεχνολογιών Σταθερού Κόστους στην Επιλογή Χαρτοφυλακίου.....	98
Σχήμα 6.2 : Μηχανισμός Αναστολής Επιπλοκών μεταξύ Πετρελαίου και Α.Ε.Π.	99

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτική Παρουσίαση Δεικτών για το Πετρέλαιο	49
Πίνακας 3.2: Συγκεντρωτική Παρουσίαση Δεικτών για το Φυσικό Αέριο.....	50
Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας για το Πετρέλαιο	58
Πίνακας 4.2:Ομαδοποίηση Χωρών με βάση το δείκτη Ο.Υ.Ι.....	60
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας για το Φυσικό Αέριο.....	65
Πίνακας 4.4: Ομαδοποίηση Χωρών με βάση το δείκτη G.V.I.	67
Πίνακας 7.1: Οικονομικές Παράμετροι.....	114
Πίνακας 7.2: Παράγοντες Καυσίμου	115
Πίνακας 7.3: Τεχνικές Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό	116
Πίνακας 7.4: Παράμετροι Κόστους	117
Πίνακας 7.5: Αποτελέσματα Υπολογισμών και Εκτίμηση Απόδοσης για το 2007.....	119
Πίνακας 7.6: Αποτελέσματα Υπολογισμών και Εκτίμηση Απόδοσης για το 2020 για τα δύο σενάρια τιμών	120

Πίνακας 7.7:Αποτελέσματα Υπολογισμών και εκτίμηση Απόδοσης για το 2030 για τα δύο σενάρια τιμών	121
Πίνακας 7.8: Τυπική Απόκλιση και Συντελεστές Συσχέτισης Ενεργειακών Τεχνολογιών	126
Πίνακας 9.1:Συνοπτική Παρουσίαση Πολιτικής των χωρών της ΕΕ απέναντι στην πυρηνική ενέργεια.....	146

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1.1: Απεικόνιση των παραπάνω προς μελέτη δεδομένων.	30
Γράφημα 2.1: Προέλευση Εισαγωγών Πετρελαίου 2008	37
Γράφημα 3.1: Διαφοροποίηση Πρωτογενούς Ενεργειακής Ζήτησης των χωρών της Ε.Ε. το 2008.....	44
Γράφημα 3.2: Δείκτης Εξάρτησης Καθαρών Εισαγωγών για το Πετρέλαιο	45
Γράφημα 3.3: Δείκτης Εξάρτησης Καθαρών Εισαγωγών για το Φ. Αέριο	46
Γράφημα 4.1: Καθαρές Εισαγωγές Ενέργειας ανά Ενεργειακή Πηγή το 2008 στην Ε.Ε.....	56
Γράφημα 4.2: Προέλευση Εισαγωγών Πετρελαίου Ε.Ε. το 2008.....	57
Γράφημα 4.3: Συγκριτικά αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Πετρελαίου.....	59
Γράφημα 4.4: Προέλευση Εισαγωγών Φυσικού Αερίου Ε.Ε. το 2008	63
Γράφημα 4.5: Συγκριτικά αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Φυσικού Αερίου	66
Γράφημα 5.1: Χρεόγραφα με συσχέτιση $\rho=1$	78
Γράφημα 5.2: Χρεόγραφα με συσχέτιση $\rho=-1$	79
Γράφημα 7.1: Ενεργειακό Μίγμα Ηλεκτροπαραγωγής ΕΕ το 2008	104
Γράφημα 7.2: Εξέλιξη Ενεργειακών Αποδόσεων στο Σενάριο Μέτριων Τιμών Καυσίμων ..	122
Γράφημα 7.3: Εξέλιξη Ενεργειακών Αποδόσεων στο Σενάριο Υψηλών Τιμών Καυσίμων ...	123
Γράφημα 7.4:Χρονοσειρές Εξέλιξης Τιμών Καυσίμων.....	125
Γράφημα 8.1: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2007 (Συμβατικές Τεχνολογίες).....	134
Γράφημα 8.2: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του Συμβατικού αποδοτικού μετώπου για το 2007	135
Γράφημα 8.3: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2007 (Συμβατικές κι Ανανεώσιμες Τεχνολογίες).....	135
Γράφημα 8.4: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2007 (Συμβατικές και Ανανεώσιμες τεχνολογίες)	136
Γράφημα 8.5: Αποδοτικό Μέτωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2020 (Σενάριο Μέτριων Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες).....	137
Γράφημα 8.6: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 (Συμβατικές κι Ανανεώσιμες Τεχνολογίες)	138
Γράφημα 8.7: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020 (Συμβατικές και Ανανεώσιμες τεχνολογίες – Σενάριο Μέτριων Τιμών).....	139
Γράφημα 8.8: Σύγκριση Αποδοτικών Μετώπων για τα 2 σενάρια τιμών – 2020	140
Γράφημα 8.9: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020 (Σενάριο Υψηλών Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες).....	140

Γράφημα 8.10: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 (Συμβατικές κι Ανανεώσιμες Τεχνολογίες – Σενάριο Υψηλών Τιμών).....	141
Γράφημα 8.11: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020 (Συμβατικές και Ανανεώσιμες τεχνολογίες – Σενάριο Υψηλών Τιμών).....	141
Γράφημα 8.12: Αποδοτικό Μέτωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Μέτριων Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες).....	142
Γράφημα 8.13: Αποδοτικό Μέτωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Μέτριων Τιμών – Συμβατικές και Ανανεώσιμες Τεχνολογίες)	143
Γράφημα 8.13: Αποδοτικό Μέτωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Υψηλών Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες)	144
Γράφημα 8.14: Αποδοτικό Μέτωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Υψηλών Τιμών – Συμβατικές και Ανανεώσιμες Τεχνολογίες)	144
Γράφημα 9.1: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 –Σενάριο Μέτριων Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών.....	149
Γράφημα 9.2: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 –Σενάριο Υψηλών Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών.....	149
Γράφημα 9.3: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2030 –Σενάριο Μέτριων Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών.....	150
Γράφημα 9.4: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2030 –Σενάριο Υψηλών Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών.....	151
Γράφημα 9.5: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020	152
Γράφημα 9.6: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2030.....	152

ΜΕΡΟΣ Α

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ (PCA)

1. Μέθοδος Ανάλυσης Πρωτευουσών Συνιστωσών (Principal Component Analysis)

1.1 Εισαγωγή

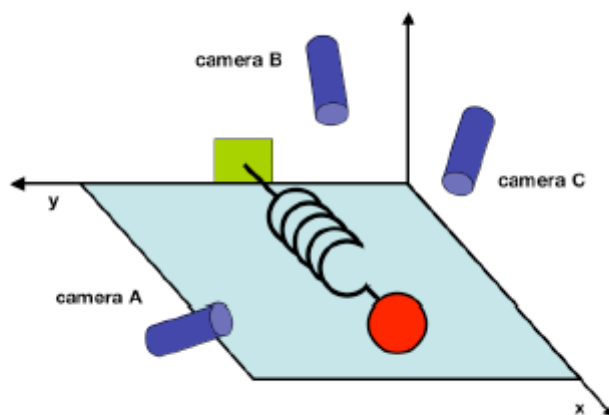
Η μέθοδος Principal Component Analysis (PCA) συνιστά ένα πρότυπο εργαλείο στη σύγχρονη ανάλυση δεδομένων -με εφαρμογή σε διάφορους τομείς όπως η νευροεπιστήμη και η γραφική υπολογιστών- δεδομένου ότι αποτελεί μια απλή, μη παραμετρική μέθοδο για την εξαγωγή σχετικών πληροφοριών από σύνθετα σύνολα δεδομένων. Με ελάχιστη προσπάθεια η PCA παρέχει ένα «χάρτη» για το πώς να περιορίζουμε ένα σύνθετο σύνολο δεδομένων σε ένα μικρότερο διαστάσεων, ώστε να αποκαλύψουμε τις, ενίοτε, κρυμμένες και απλουστευμένες πληροφορίες που βρίσκονται σε αυτό.

Θα ξεκινήσουμε την ανάλυση της μεθόδου με ένα απλό παράδειγμα, που παρουσιάζεται από τον ακαδημαϊκό Jonathon Shlens και παρέχει μία διαισθητική εξήγηση του στόχου της PCA. Θα συνεχίσουμε με την προσθήκη μαθηματικής αυστηρότητας, ώστε το παράδειγμα να τοποθετηθεί στο πλαίσιο της γραμμικής άλγεβρας και να δοθεί μια σαφής λύση. Θα παρατηρήσουμε πώς και γιατί η PCA είναι στενά συνδεδεμένη με την μαθηματική τεχνική της αποσύνθεσης με ιδιοδιανύσματα. Η κατανόηση αυτή θα μας οδηγήσει σε μια υπόδειξη του τρόπου εφαρμογής της PCA στον πραγματικό κόσμο και σε μια εκτίμηση των βασικών υποθέσεων που τη διέπουν.

1.2 Ένα παράδειγμα Φυσικής

Θεωρούμε ότι είμαστε πειραματιστές και προσπαθούμε να κατανοήσουμε κάποιο φαινόμενο μετρώντας διάφορες ποσότητες (όπως φάσματα, τάσεις, ταχύτητες, κ.λπ.) στο σύστημά μας. Δυστυχώς, δε μπορούμε να καταλάβουμε τι συμβαίνει επειδή τα δεδομένα φαίνονται συγκεχυμένα, ασαφή ή ακόμη και υπεράριθμα. Αυτό δεν αποτελεί ένα ασήμαντο πρόβλημα, αλλά μάλλον ένα βασικό εμπόδιο στην εμπειρική επιστήμη. Τέτοιου είδους περιπτώσεις συναντώνται σε αφθονία σε σύνθετα συστήματα, όπως η νευροεπιστήμη, η μετεωρολογία και η ωκεανογραφία –ο αριθμός των προς μέτρηση μεταβλητών μπορεί να είναι τεράστιος και, μερικές φορές, ακόμα και παραπλανητικός, αφού οι βαθύτερες σχέσεις μεταξύ αυτών μπορεί να είναι αρκετά απλές.

Ας πάρουμε για παράδειγμα ένα απλό πρόβλημα φυσικής, που απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 1.1: Σύστημα Μάζας-Ελατηρίου

Έστω ότι μελετάμε την κίνηση του ιδανικού ελατηρίου. Το σύστημα αποτελείται από μία μπάλα μάζας m , που συνδέεται με ένα ελατήριο αμελητέας μάζας και τριβής. Η μπάλα αφήνεται σε μικρή απόσταση από το σημείο ισορροπίας, δηλαδή το ελατήριο είναι τεντωμένο. Δεδομένου ότι το ελατήριο είναι ιδανικό, η μπάλα θα ταλαντεύεται επ' άοριστον κατά μήκος του άξονα x γύρω από το σημείο ισορροπίας, σε μια σταθερή συχνότητα. Πρόκειται, λοιπόν, για ένα βασικό πρόβλημα φυσικής στο οποίο η κίνηση κατά μήκος του άξονα x δίνεται από μια ρητή συνάρτηση του χρόνου. Με άλλα λόγια, η δυναμική του συστήματος μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση με μία μόνο μεταβλητή x .

Ωστόσο, θεωρούμε ότι ως πειραματιστές δε γνωρίζουμε τίποτα από τα παραπάνω. Δε γνωρίζουμε ποιους και, πόσο μάλλον πόσους, άξονες και διαστάσεις πρέπει να μετρήσουμε. Έτσι, αποφασίζουμε να μετρήσουμε τη θέση της μπάλας σε ένα τρισδιάστατο χώρο, μιας και ζούμε σε ένα τρισδιάστατο κόσμο. Συγκεκριμένα, τοποθετούμε τρεις κάμερες γύρω από το υπό εξέταση σύστημα. Στα 120 Hz κάθε κάμερα καταγράφει μία εικόνα που δείχνει τη θέση της μπάλας σε δύο διαστάσεις. Εξαιτίας της άγνοιάς μας, δε γνωρίζουμε καν ποιοι είναι οι πραγματικοί άξονες x , y , z κι έτσι επιλέγουμε τρεις θέσεις \vec{a} , \vec{b} και \vec{c} σε κάποιες αυθαίρετες γωνίες σε σχέση με το σύστημα (οι οποίες ενδέχεται να μη βρίσκονται καν σε γωνία 90° μεταξύ τους). Στη συνέχεια, καταγράφουμε με τις κάμερες για μερικά λεπτά. Το βασικό ερώτημα παραμένει: *Πώς θα καταλήξουμε από αυτό το σύνολο δεδομένων σε μια απλή εξίσωση του x ;*

Γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι αν ήμασταν έξυπνοι πειραματιστές, θα είχαμε μετρήσει τη θέση κατά μήκος του άξονα x με μία κάμερα. Αλλά αυτό δε συμβαίνει στον πραγματικό κόσμο. Συχνά δε γνωρίζουμε ποιες μετρήσεις αντικατοπτρίζουν καλύτερα τη δυναμική του υπό εξέταση συστήματος. Επιπλέον, πολλές φορές μετράμε περισσότερες διαστάσεις από αυτές που στην πραγματικότητα χρειαζόμαστε.

Επίσης, στον πραγματικό κόσμο έχουμε να αντιμετωπίσουμε το ενοχλητικό πρόβλημα το θόρυβου. Στο παράδειγμα της μπάλας και του ελατηρίου σημαίνει ότι πρέπει να αντιμετωπίσουμε τον αέρα, τις ατελείς κάμερες ή ακόμη και την τριβή σε ένα όχι και τόσο ιδανικό ελατήριο. Ο θόρυβος επηρεάζει τα δεδομένα μας, με αποτέλεσμα να περιπλέκει ακόμα περισσότερο τη δυναμική του συστήματος. Στο τέλος αυτής της ανάλυσης, θα έχουμε κατανοήσει πλήρως πώς να εξάγουμε συστηματικά το x χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της PCA.

1.3 Αλλαγή Βάσης

Στόχος της PCA είναι ο προσδιορισμός της πιο αξιόπιστης βάσης, μέσω της οποίας θα εκφραστεί εκ νέου ένα σύνολο δεδομένων. Επιθυμία είναι η νέα αυτή βάση να φιλτράρει το θόρυβο και να αποκαλύψει κρυμμένες δομές. Στο παράδειγμα του ελατηρίου, ο πρωταρχικός στόχος της PCA είναι να προσδιορίσει: «Η δυναμική του συστήματος βρίσκεται κατά μήκος του άξονα x ». Με άλλα λόγια, στόχος της PCA είναι να καθορίσει ότι το \hat{x} , το μοναδιαίο διάνυσμα στον άξονα x , είναι η σημαντική διάσταση. Αυτός ο καθορισμός επιτρέπει στον πειραματιστή να διαχωρίσει ποια δεδομένα είναι σημαντικά, ποια περιττά ή θόρυβος.

1.3.1 Μια απλοϊκή βάση

Αφού έχουμε έναν πιο ακριβή ορισμό του στόχου μας, χρειαζόμαστε και έναν πιο ακριβή προσδιορισμό των δεδομένων μας. Αντιμετωπίζουμε κάθε φορά το δείγμα μας ως ένα μεμονωμένο δείγμα του συνόλου δεδομένων. Σε κάθε δείγμα καταγράφουμε ένα σύνολο δεδομένων που αποτελείται από πολλαπλές μετρήσεις. Στο σύνολο δεδομένων του παραδείγματος, σε μία συγκεκριμένη στιγμή, η κάμερα A καταγράφει την αντίστοιχη θέση της μπάλας (x_A, y_A) . Κάθε λήψη, επομένως, μπορεί να εκφραστεί ως ένας πίνακας-στήλη 6 διαστάσεων.

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ x_B \\ y_B \\ x_C \\ y_C \end{bmatrix}$$

Όπου κάθε κάμερα δίνει μια δισδιάστατη προβολή της θέσης της μπάλας σε ολόκληρο το διάνυσμα \vec{X} . Αν καταγράψουμε τη θέση της μπάλας για 10 λεπτά στα 120 Hz, τότε θα έχουμε καταγράψει $10 \times 60 \times 120 = 72000$ από αυτά τα διανύσματα.

Με αυτό το συγκεκριμένο παράδειγμα, ας αναδιατυπώσουμε το εν λόγω πρόβλημα με πιο αφηρημένους όρους. Κάθε δείγμα \vec{X} είναι ένα διάνυσμα m -διαστάσεων, όπου m είναι ο αριθμός των τύπων μέτρησης. Αντίστοιχα, κάθε δείγμα είναι ένα διάνυσμα που βρίσκεται σε ένα m -διάστατο χώρο που εκτείνεται σε κάποια ορθοκανονική βάση. Από τη γραμμική άλγεβρα γνωρίζουμε ότι όλα τα διανύσματα μέτρησης σχηματίζουν ένα γραμμικό συνδυασμό του συνόλου των μοναδιαίων διανυσμάτων βάσης. Ποια είναι αυτή η ορθοκανονική βάση;

Αυτή η ερώτηση συχνά αποτελεί παραδοχή και παραβλέπεται. Έστω ότι στο παράδειγμα της μπάλας συλλέξαμε τα δεδομένα αλλά κοιτάξαμε μόνο την κάμερα A. Ποια είναι μια ορθοκανονική βάση για το (x_A, y_A) ; Μια απλοϊκή επιλογή θα ήταν η $\{(1,0), (0,1)\}$, αλλά γιατί να επιλέξουμε αυτή αντί της $\left\{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}\right), \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\right\}$ ή οποιασδήποτε άλλης τυχαίας βάσης; Ο λόγος είναι ότι η απλοϊκή βάση αντικατοπτρίζει τη μέθοδο με την οποία συλλέξαμε τα στοιχεία. Έστω ότι καταγράψαμε τη θέση (2,2). Δεν καταγράψαμε $2\sqrt{2}$ στην $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ κατεύθυνση και 0 στην κάθετη κατεύθυνση. Αντίθετα, καταγράψαμε τη θέση (2,2) στην κάμερά μας, δηλαδή 2 μονάδες πάνω και 2 μονάδες αριστερά από την αρχική μας θέση. Άρα, η αρχική μας βάση αντικατοπτρίζει τον τρόπο με τον οποία μετρήσαμε τα δεδομένα.

Πως μπορούμε να εκφράσουμε αυτή την απλοϊκή βάση στη γραμμική άλγεβρα; Στη δισδιάστατη περίπτωση, η $\{(1,0), (0,1)\}$ μπορεί να ανασχηματιστεί ως μεμονωμένα διανύσματα-γραμμές. Ένα πίνακας κατασκευασμένος από αυτά τα διανύσματα-γραμμές είναι ο 2×2 ταυτοτικός πίνακας I . Μπορούμε να γενικεύσουμε τη δισδιάστατη περίπτωση σε περίπτωση m -διαστάσεων κατασκευάζοντας έναν $m \times m$ ταυτοτικό πίνακα.

$$B = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \mathbf{I}$$

Όπου κάθε γραμμή είναι ένα ορθοκανονικό διάνυσμα βάσης \mathbf{b}_i με m συστατικά. Μπορούμε να θεωρήσουμε την απλοϊκή αυτή βάση ως ένα αποτελεσματικό σημείο εκκίνησης της μεθόδου. Όλα τα δεδομένα μας έχουν καταγραφεί σε αυτή τη βάση \mathbf{b}_i , έτσι, μπορεί να εκφράζεται ως γραμμικός συνδυασμός των $\{\mathbf{b}_i\}$.

1.3.2 Αλλαγή βάσης

Βρισκόμαστε τώρα σε θέση να δηλώσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τι ζητά η μέθοδος της PCA: «Υπάρχει κάποια άλλη βάση, που να είναι γραμμικός συνδυασμός της αρχικής βάσης και να εκφράζει καλύτερα το σύνολο των δεδομένων μας;»

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι η PCA κάνει μία αυστηρή αλλά ισχυρή υπόθεση: τη γραμμικότητα. Η γραμμικότητα απλοποιεί κατά πολύ το πρόβλημα περιορίζοντας το σύνολο των πιθανών βάσεων. Με αυτή την παραδοχή η PCA αναγκάζεται να εκφράζει εκ νέου τα δεδομένα ως γραμμικό συνδυασμό των διανυσμάτων βάσης.

Έστω \mathbf{X} το αρχικό σύνολο δεδομένων, όπου κάθε στήλη είναι ένα μοναδικό δείγμα (ή χρονική στιγμή) του συνόλου δεδομένων μας, π.χ. \vec{X} . Στο παράδειγμα της μπάλας, \mathbf{X} είναι ένας $m \times n$ πίνακας, όπου $m = 6$ και $n = 72000$. Έστω \mathbf{Y} ένας άλλος $m \times n$ πίνακας, που συνδέεται με το \mathbf{X} μέσω ενός γραμμικού μετασχηματισμού \mathbf{P} . Ο \mathbf{X} αποτελεί το αρχικό σύνολο δεδομένων που καταγράψαμε και ο \mathbf{Y} μια νέα απεικόνιση του συνόλου δεδομένων.

$$\mathbf{P}\mathbf{X} = \mathbf{Y} \quad (1)$$

Επίσης, ορίζουμε τις ακόλουθες ποσότητες:

- P_i οι γραμμές του πίνακα \mathbf{P}
- x_i οι στήλες του πίνακα \mathbf{X} (ή του μεμονωμένου \vec{X})
- y_i οι στήλες του πίνακα \mathbf{Y}

Η εξίσωση 1 ορίζει μια αλλαγή βάσης και, συνεπώς, δύναται να λάβει πολλές ερμηνείες.

1. \mathbf{P} είναι ένας πίνακας που μετατρέπει τον πίνακα \mathbf{X} σε \mathbf{Y} .
2. Γεωμετρικά, \mathbf{P} είναι μια περιστροφή η οποία και πάλι μετατρέπει τον πίνακα \mathbf{X} σε \mathbf{Y} .

3. Οι γραμμές του \mathbf{P} , $\{p_1, \dots, p_m\}$, είναι ένα σύνολο νέων διανυσμάτων βάσης που εκφράζουν τις στήλες του \mathbf{X} .

Η τελευταία ερμηνεία δεν είναι προφανής αλλά μπορεί να γίνει κατανοητή, εάν γράψουμε αναλυτικά τα γινόμενα \mathbf{PX} .

$$\mathbf{PX} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_m \end{bmatrix} [x_1 \quad \dots \quad x_n]$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} p_1 \cdot x_1 & \dots & p_1 \cdot x_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_m \cdot x_1 & \dots & p_m \cdot x_n \end{bmatrix}$$

Μπορούμε να σημειώσουμε επίσης τη μορφή κάθε στήλης του \mathbf{Y} .

$$\mathbf{y}_i = \begin{bmatrix} p_1 \cdot x_i \\ \vdots \\ p_m \cdot x_i \end{bmatrix}$$

Αναγνωρίζουμε ότι κάθε συντελεστής του y_i προκύπτει ως το γινόμενο x_i επί την αντίστοιχη γραμμή του πίνακα \mathbf{P} . Με άλλα λόγια, ο j -οστός συντελεστής του y_i είναι μια προβολή στην j -οστή γραμμή του πίνακα \mathbf{P} . Αυτή είναι στην πραγματικότητα η ίδια η μορφή της εξίσωσης όπου y_i είναι μια προβολή στη βάση $\{p_1, \dots, p_m\}$. Επομένως, οι γραμμές του \mathbf{P} είναι ένα νέο σύνολο διανυσμάτων βάσης για την αναπαράσταση των στηλών του \mathbf{X} .

Υποθέτοντας, λοιπόν, τη γραμμικότητα το πρόβλημα περιορίζεται στην εύρεση της κατάλληλης αλλαγής βάσης. Τα διανύσματα-γραμμές $\{p_1, \dots, p_m\}$ στο μετασχηματισμό αυτό θα γίνουν οι *πρωτεύουσες συνιστώσες* του \mathbf{X} .

1.4 Διακύμανση

Σειρά έχει τώρα το εξής ερώτημα: τι εκφράζει καλύτερα το μέσο όρο των δεδομένων; Ο μέσος όρος ενός δείγματος υπολογίζεται ως το ηλικίο του αθροίσματος των επιμέρους δεδομένων προς το πλήθος αυτών, όπως αποτυπώνεται και στην ακόλουθη σχέση:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

1.4.1 Μήτρα Συνδιακύμανσης

Έστω δύο σύνολα μετρήσεων με μηδενικό μέσο όρο:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad , \quad B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$$

Όπου ο δείκτης υποδηλώνει το μέγεθος του δείγματος. Η διακύμανση των A και B ορίζεται χωριστά ως:

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n} \sum_i a_i^2 \quad , \quad \sigma_B^2 = \frac{1}{n} \sum_i b_i^2$$

Η *συνδιακύμανση (covariance)* μεταξύ A και B είναι μια ευθεία γενίκευση.

$$\text{covariance of } A \text{ and } B \equiv \sigma_{AB}^2 = \frac{1}{n} \sum_i a_i b_i$$

Η συνδιακύμανση μετρά το βαθμό της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών. Μια μεγάλη θετική τιμή υποδηλώνει θετικά συσχετισμένα στοιχεία. Όμοια, μια μεγάλη αρνητική τιμή δείχνει αρνητικά συσχετισμένα στοιχεία. Η απόλυτη τιμή της συνδιακύμανσης μετρά το βαθμό πλεονασμού των στοιχείων. Ακολουθώς δίνονται μερικά επιπρόσθετα στοιχεία για τη συνδιακύμανση.

- σ_{AB} ισούται με μηδέν αν και μόνο αν τα A και B είναι ασυσχέτιστα,
- $\sigma_{AB}^2 = \sigma_A^2$ εάν $A = B$.

Μπορούμε να μετατρέψουμε τα A και B σε αντίστοιχα διανύσματα-γραμμές.

$$\mathbf{a} = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n]$$

$$\mathbf{b} = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_n]$$

Ωστε να μπορέσουμε να εκφράσουμε τη συνδιακύμανση ως μια μήτρα που προκύπτει από τον υπολογισμό γινομένου πινάκων.

$$\sigma_{ab}^2 \equiv \frac{1}{n} \mathbf{a} \mathbf{b}^T$$

Να σημειωθεί ότι στην πράξη η διακύμανση και η συνδιακύμανση υπολογίζονται ως:

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (a_i - \bar{a})^2 \quad , \quad \sigma_B^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (b_i - \bar{b})^2$$

$$\sigma_{AB}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})$$

Η διαίρεση πραγματοποιείται με τον όρο $n-1$ αντί του όρου n για τον εξής λόγο: έχει παρατηρηθεί πως το αποτέλεσμα που λαμβάνουμε από τον τύπο είναι πιο κοντά στο πραγματικό νούμερο, όταν η ποσότητα του αθροίσματος διαιρεθεί με τον όρο $n-1$ και όχι με το n . Στην περίπτωση όμως που έχουμε το νούμερο ολόκληρου του δείγματος αντί για ένα μέρος αυτού, η διαίρεση θα πραγματοποιηθεί με τον όρο n .

Όσον αφορά στην περίπτωση των διανυσμάτων, μπορούμε να γενικεύσουμε από τα δύο διανύσματα σε έναν αυθαίρετο αριθμό διανυσμάτων. Μετονομάζουμε τα διανύσματα-γραμμές a και b σε x_1 και x_2 , αντίστοιχα, και θεωρούμε επιπρόσθετα διανύσματα-γραμμές στον πίνακα x_3, \dots, x_m . Ορίζουμε στη συνέχεια ένα νέο $m \times n$ πίνακα X .

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}$$

Μια ερμηνεία για το X είναι η εξής: Κάθε γραμμή του X αντιστοιχεί σε όλες τις μετρήσεις ενός συγκεκριμένου τύπου. Κάθε στήλη του X αντιστοιχεί σε ένα σύνολο μετρήσεων από μία συγκεκριμένη περίπτωση (αυτό είναι το \vec{X} στο παράδειγμα του ελατήριου και της μπάλας). Καταλήγουμε λοιπόν στον ακόλουθο ορισμό για τη μήτρα συνδιακύμανσης C_X .

$$C_X = \frac{1}{n} X X^T$$

Το ij -στοιχείο της μήτρας C_X είναι το γινόμενο μεταξύ του διανύσματος του i -οστού τύπου μετρήσεων επί το διάνυσμα του j -οστού τύπου μετρήσεων. Μπορούμε να συνοψίσουμε τώρα μερικές ιδιότητες της μήτρας C_X .

- C_X είναι ένας συμμετρικός τετραγωνικός $m \times m$ πίνακας.
- Τα διαγώνια στοιχεία του C_X είναι η διακύμανση συγκεκριμένων τύπων μετρήσεων.
- Τα μη διαγώνια στοιχεία C_X είναι η συνδιακύμανση μεταξύ των τύπων μετρήσεων.

Η μήτρα C_X περιλαμβάνει τη συνδιακύμανση όλων των δυνατών ζευγών μετρήσεων. Οι τιμές της συνδιακύμανσης αποτυπώνουν το θόρυβο και τον πλεονασμό στις μετρήσεις μας.

- Στα διαγώνια στοιχεία, από υπόθεση, μεγάλες τιμές αντιστοιχούν σε ενδιαφέρουσα δομή.
- Στα μη διαγώνια στοιχεία μεγάλα μεγέθη αντιστοιχούν σε έντονο πλεονασμό.

Έστω ότι έχουμε τη δυνατότητα να τροποποιήσουμε τη μήτρα C_X . Θα ορίσουμε υποθετικά τη νέα τροποποιημένη μήτρα συνδιακύμανσης C_Y . Τι στοιχεία θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε στη μήτρα C_Y ;

1.4.2 Διαγωνοποίηση της Μήτρας Συνδιακύμανσης

Μπορούμε να συνοψίσουμε τα παραπάνω δηλώνοντας ότι οι στόχοι μας είναι:

- 1) Να ελαχιστοποιήσουμε τον πλεονασμό, ο οποίος μετράται από το μέγεθος της συνδιακύμανσης,
- 2) Να μεγιστοποιήσουμε το σήμα, που μετράται από τη διακύμανση.

Πως θα είναι λοιπόν η βελτιστοποιημένη μήτρα συνδιακύμανσης C_Y ;

- Όλα τα μη διαγώνια στοιχεία της μήτρας C_Y πρέπει να ισούνται με το μηδέν. Συνεπώς, η C_Y πρέπει να είναι μια διαγώνια μήτρα. Ή εναλλακτικά, ο πίνακας Y να έχει αποσυσχετισθεί.
- Κάθε διαδοχική διάσταση στον Y πρέπει να είναι διατεταγμένη βαθμωτά σύμφωνα με τη διακύμανση.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για τη διαγωνοποίηση της μήτρας C_Y . Αξίζει να τονίσουμε ότι η PCA επιλέγει αναμφισβήτητα την πιο εύκολη μέθοδο: η PCA υποθέτει ότι όλα τα διανύσματα βάσης $\{p_1, \dots, p_m\}$ είναι ορθοκανονικά δηλαδή ο πίνακας P είναι μια ορθοκανονική μήτρα. Γιατί όμως αυτή η υπόθεση είναι ευκολότερη;

Ας φανταστούμε πώς λειτουργεί η μέθοδος PCA. Σε ένα παράδειγμα όπου ο πίνακας P είναι πολλών διαστάσεων εκτελούμε τον εξής απλό αλγόριθμο:

1. Επιλέγουμε μια κανονικοποιημένη διεύθυνση σε ένα m -διάστατο χώρο κατά μήκος της οποίας η διακύμανση του X μεγιστοποιείται. Ορίζουμε αυτό το διάνυσμα ως p_1 .
2. Βρίσκουμε μια άλλη κατεύθυνση κατά μήκος της οποίας η διακύμανση είναι μέγιστη. Ωστόσο, λόγω της ορθοκανονικότητας, περιορίζουμε την αναζήτηση προς όλες τις διευθύνσεις που είναι κάθετες σε αυτές που έχουμε επιλέξει έως τώρα. Ορίζουμε αυτό το διάνυσμα ως p_i .
3. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία μέχρι να επιλεχθούν m διανύσματα.

Το διατεταγμένο σύνολο των διανυσμάτων p που προέκυψε αποτελεί τις *πρωτεύουσες συνιστώσες (principal components)*.

Αρχικά αυτός ο απλός αλγόριθμος λειτουργεί, ωστόσο αυτό θα διέψευδε τον πραγματικό λόγο για τον οποίο η υπόθεση της ορθοκανονικότητας είναι σωστή. Το αληθινό όφελος αυτής της υπόθεσης είναι ότι υπάρχει μια αποδοτική, αναλυτική λύση του προβλήματος.

Αξίζει να παρατηρήσουμε τι κερδίσαμε με τον καθορισμό της διατεταγμένης διακύμανσης. Έχουμε μια μέθοδο για να αξιολογούμε τη σημασία της πρωτεύουσας διεύθυνσης. Δηλαδή

τα μέτρα των διακυμάνσεων κάθε διεύθυνσης p_i δείχνουν πόσο «πρωτεύουσα» είναι κάθε διεύθυνση, διατάσσοντας κάθε διάνυσμα βάσης p_i σύμφωνα με τις αντίστοιχες διακυμάνσεις. Ακολούθως θα συνοψίσουμε τα συμπεράσματα όλων των παραδοχών που έγιναν για να καταλήξουμε σε αυτόν το μαθηματικό σκοπό.

1.5 Περίληψη των παραδοχών

Αυτή η ενότητα περιλαμβάνει μια περίληψη όλων των παραδοχών πίσω από την PCA και μια νύξη για το πότε αυτές οι παραδοχές δεν εφαρμόζονται εύστοχα.

I. Γραμμικότητα

Η γραμμικότητα πλαισιώνει το πρόβλημα ως αλλαγή βάσης. Αρκετοί τομείς της έρευνας έχουν ασχοληθεί με την επέκταση αυτών των εννοιών σε μη γραμμικά συστήματα.

II. Οι μεγάλες διακυμάνσεις έχουν σημαντική δομή.

Πρωτεύουσες συνιστώσες με μεγαλύτερες συσχετισμένες διακυμάνσεις αντιπροσωπεύουν ενδιαφέρουσα δομή, ενώ αυτές με μικρότερες διακυμάνσεις αντιπροσωπεύουν θόρυβο. Να σημειωθεί ότι πρόκειται για μια ισχυρή και ενίοτε εσφαλμένη υπόθεση.

III. Οι πρωτεύουσες συνιστώσες είναι ορθογώνιες.

Αυτή η παραδοχή δίνει μια διαισθητική απλούστευση που καθιστά την PCA επιλύσιμη με τεχνικές αποσύνθεσης της γραμμικής άλγεβρας.

Σε αυτό το σημείο έχουμε πλέον αναφερθεί σε όλες τις πτυχές που απορρέουν από τη μέθοδο της PCA, αυτό που απομένει είναι οι γραμμικές αλγεβρικές λύσεις.

1.6 Επίλυση της PCA με χρήση Ιδιοδιανυσμάτων

Εξάγουμε την αλγεβρική λύση της PCA βασιζόμενοι σε μια ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα της αποσύνθεσης με ιδιοδιανύσματα. Για άλλη μια φορά, το σύνολο δεδομένων καλείται X , ένας $m \times n$ πίνακας, όπου m είναι ο αριθμός των τύπων μετρήσεων και n ο αριθμός των δειγμάτων. Ο στόχος συνοψίζεται ως εξής:

- Βρείτε έναν ορθοκανονικό πίνακα P , όπου $Y = PX$, τέτοιο ώστε ο $C_Y \equiv \frac{1}{n}YY^T$ να είναι διαγώνιος. Οι γραμμές του P είναι οι πρωτεύουσες συνιστώσες του X .

Ξεκινάμε γράφοντας το C_Y ως προς την άγνωστη μεταβλητή.

$$\begin{aligned}
 C_Y &= \frac{1}{n}YY^T \\
 &= \frac{1}{n}(PX)(PX)^T \\
 &= \frac{1}{n}PXX^T P^T \\
 &= P\left(\frac{1}{n}XX^T\right)P^T \\
 C_Y &= PC_X P^T
 \end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι στην τελευταία σχέση κατασκευάσαμε τη μήτρα συνδιακύμανσης του X .

Σκοπός είναι να αναγνωρίσουμε ότι κάθε συμμετρικός πίνακας A διαγωνοποιείται από μια ορθογώνια μήτρα των ιδιοδιανυσμάτων του. Για κάθε συμμετρικό πίνακα A προκύπτει ότι $A = EDE^T$, όπου D είναι ένας διαγώνιος πίνακας και E ένας πίνακας με στήλες τα ιδιοδιανύσματα του A .

Χρησιμοποιούμε το ακόλουθο τέχνασμα. Επιλέγουμε τον πίνακα P ως ένα πίνακα όπου κάθε γραμμή του p_i είναι ένα ιδιοδιάνυσμα του $\frac{1}{n}XX^T$. Με αυτή την επιλογή, ισχύει ότι: $P \equiv E^T$. Με αυτή τη σχέση και γνωρίζοντας ότι $P^{-1} = P^T$, καταλήγουμε ότι:

$$\begin{aligned}
 C_Y &= PC_X P^T \\
 &= P(E^T D E)P^T \\
 &= P(P^T D P)P^T \\
 &= (PP^T)D(PP^T) \\
 &= (PP^{-1})D(PP^{-1}) \\
 C_Y &= D
 \end{aligned}$$

Είναι προφανές ότι η επιλογή του P διαγωνοποιεί τον C_Y και αυτός ήταν ο στόχος της PCA. Μπορούμε τώρα να συνοψίσουμε τα αποτελέσματα της PCA στους πίνακες P και C_Y .

- Οι πρωτεύουσες συνιστώσες του X είναι τα ιδιοδιανύσματα της μήτρας $C_X = \frac{1}{n}XX^T$.
- Το i -οστό διαγώνιο στοιχείο της μήτρας C_X είναι η διακύμανση του X ως προς το p_i .

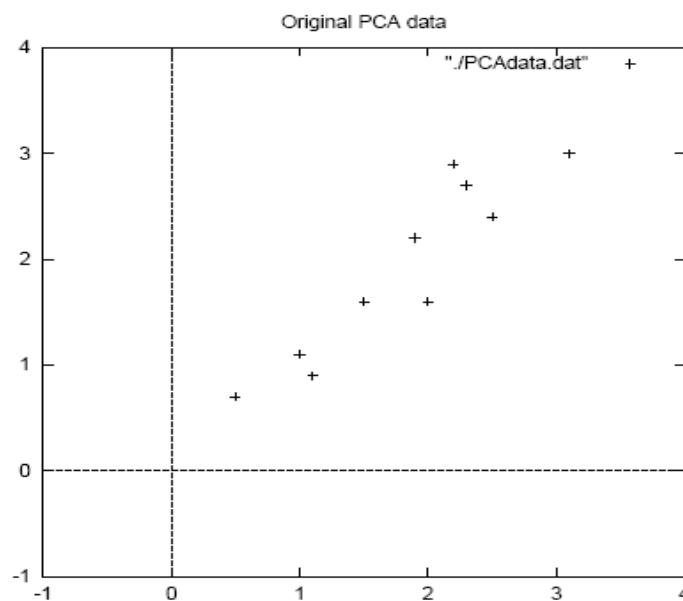
Στην πράξη, η εφαρμογή της μεθόδου PCA σε ένα σύνολο δεδομένων X περιλαμβάνει την ακόλουθη διαδικασία:

ΒΗΜΑ 1^ο : Λαμβάνουμε κάποια δεδομένα

Για την εφαρμογή της μεθόδου θα χρησιμοποιηθεί, εν προκειμένω, ένα συγκεκριμένο σύνολο που χαρακτηρίζεται από 2 διαστάσεις, έστω x , y . Ο λόγος που επιλέχθηκε ένα τέτοιο σύνολο είναι προκειμένου να γίνουν ευκολότερα κατανοητά τα διαγράμματα των δεδομένων αλλά και η συμβολή της μεθόδου PCA σε κάθε βήμα.

ΒΗΜΑ 2^ο : Αφαιρούμε το μέσο όρο

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της PCA κατάλληλα, θα πρέπει να αφαιρεθεί ο μέσος όρος από κάθε μία από τις διαστάσεις των στοιχείων. Ο μέσος όρος ο οποίος αφαιρείται είναι ο μέσος όρος των στοιχείων κάθε διάστασης. Επομένως, όλες οι τιμές των x έχουν ως μέσο όρο το \bar{x} , ο οποίος αφαιρείται από κάθε μία, και αντίστοιχα όλες οι τιμές y έχουν μέσο όρο την τιμή \bar{y} , η οποία και αυτή αφαιρείται από κάθε μία. Η διαδικασία αυτή παράγει ένα σύνολο δεδομένων με μέσο όρο ίσο με το μηδέν.



Γράφημα 1.1: Απεικόνιση των παραπάνω προς μελέτη δεδομένων.

ΒΗΜΑ 3^ο : Υπολογίζουμε τη μήτρα συνδιακύμανσης

Καθώς έχουμε στη διάθεση μας δισδιάστατα δεδομένα, η μήτρα συνδιακύμανσης πρόκειται να έχει μέγεθος 2×2 . Επομένως το αποτέλεσμα έχει την παρακάτω μορφή:

$$C = \begin{pmatrix} cov(x, x) & cov(x, y) \\ cov(y, x) & cov(y, y) \end{pmatrix}$$

Εάν τα στοιχεία που δεν ανήκουν στη διαγώνιο του πίνακα είναι θετικά, θα πρέπει να περιμένουμε πως και οι δύο μεταβλητές x, y θα αυξάνονται μαζί.

ΒΗΜΑ 4^ο : Υπολογίζουμε τα ιδιοδιανύσματα και τις ιδιοτιμές της μήτρας συνδιακύμανσης

Καθώς ο πίνακας συνδιακύμανσης είναι τετραγωνικός, είναι δυνατός ο υπολογισμός των ιδιοτιμών (eigenvalues) και των ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors) αυτού. Τα μεγέθη αυτά είναι πραγματικά σημαντικά, καθώς μέσω αυτών λαμβάνουμε χρήσιμες πληροφορίες για τα προς μελέτη στοιχεία.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως τα ιδιοδιανύσματα υπολογίζονται συνήθως ως μοναδιαία, δηλαδή το μήκος αυτών είναι ίσο με τη μονάδα, και είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Εξίσου σημαντική είναι η δυνατότητα που μας δίδουν σχετικά με τα πρότυπα των στοιχείων. Εάν γραφικά ένα από τα ιδιοδιανύσματα διέρχεται από τη μέση των σημείων, σαν να πρόκειται να σχεδιάζει μια γραμμή η οποία ταιριάζει καλύτερα στα εν λόγω στοιχεία, τότε το επικείμενο ιδιοδιάνυσμα μας δείχνει πώς αυτά τα δύο σύνολα δεδομένων σχετίζονται κατά μήκος αυτής της γραμμής. Το δεύτερο ιδιοδιάνυσμα μας δίνει το δεύτερο σημαντικό πρότυπο των δεδομένων, που ακολουθούν όλα τα σημεία της κύριας γραμμής, και βρίσκονται μακριά από την κύρια σε κάποια απόσταση.

Επομένως μέσω αυτής της διαδικασίας υπολογισμού των ιδιοδιανυσμάτων μιας μήτρας συνδιακύμανσης, μας δίδεται η δυνατότητα απεικόνισης γραμμών στο χώρο οι οποίες φέρουν πληροφορίες σχετικά με τα εν λόγω στοιχεία. Το υπόλοιπο των βημάτων περιλαμβάνει τη μετατροπή των δεδομένων έτσι ώστε να είναι εκφρασμένα σε αυτές τις γραμμές.

ΒΗΜΑ 5^ο : Επιλέγουμε συνιστώσες και κατασκευάζουμε το νέο χαρακτηριστικό διάνυσμα

Σε αυτό το σημείο παρατίθεται η έννοια της συμπίεσης στοιχείων και της μειωμένης διαστατικότητας. Ας λάβουμε υπόψη τα ιδιοδιανύσματα και τις ιδιοτιμές του δισδιάστατου

παραδείγματος. Αποδεικνύεται ότι τα ιδιοδιανύσματα με την υψηλότερη ιδιοτιμή αποτελούν την πρωτεύουσα συνιστώσα (*principal component*) του συνόλου των στοιχείων.

Γενικά, όταν υπολογισθούν τα ιδιοδιανύσματα από τη μήτρα συνδιακύμανσης, το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτησή τους σε σειρά σύμφωνα με τις αντίστοιχες τιμές των ιδιοτιμών, σε κλίμακα από το μεγαλύτερο στο μικρότερο. Η διαδικασία αυτή μας δίνει όλες τις συνιστώσες σε σειρά σπουδαιότητας. Στο σημείο αυτό δύναται να αγνοήσουμε τις λιγότερο σημαντικές συνιστώσες. Στη πραγματικότητα όμως χάνουμε κάποιες πληροφορίες, όταν όμως οι ιδιοτιμές είναι μικρού μεγέθους, τότε δε χάνουμε σημαντικά δεδομένα. Εάν λοιπόν όντως αγνοήσουμε κάποια δεδομένα τότε τα τελικά προς μελέτη στοιχεία θα έχουν λιγότερες διαστάσεις από τα αρχικά δεδομένα. Για να είμαστε ακριβείς, εάν αρχικά είχαμε n διαστάσεις στα δεδομένα μας και υπολογίσουμε n ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα και στη συνέχεια επιλέξουμε μόνο p ιδιοδιανύσματα από τα αρχικά, τότε τα τελικά μας δεδομένα θα έχουν μόνο p διαστάσεις.

Τι είναι όμως απαραίτητο να γίνει ύστερα από όλα αυτά τα βήματα; Είναι η διαμόρφωση ενός χαρακτηριστικού διανύσματος (*feature vector*), του οποίου το όνομα προσδίδει απλά και μόνο έναν πίνακα διανυσμάτων και τίποτε παραπάνω. Η κατασκευή του προαναφερθέντος πίνακα διανυσμάτων πραγματοποιείται με τη τοποθέτηση των ιδιοδιανυσμάτων που τελικά αποφασίζουμε να χρησιμοποιήσουμε από τη λίστα των ιδιοδιανυσμάτων, και τη μορφοποίηση της εν λόγω μήτρας με αυτά τα ιδιοδιανύσματα σε στήλες.

$$FeatureVector = (eig_1 eig_2 eig_3 \dots eig_n)$$

Δεδομένου του συνόλου των στοιχείων μας καθώς επίσης και του ότι έχουμε 2 ιδιοδιανύσματα, έχουμε τελικώς δύο επιλογές. Μπορούμε επομένως είτε να δημιουργήσουμε ένα χαρακτηριστικό διάνυσμα –feature vector με τη ταυτόχρονη χρησιμοποίηση και των δύο ιδιοδιανυσμάτων είτε να επιλέξουμε να παραβλέψουμε το μικρότερο, το λιγότερο σημαντικό στοιχείο προκειμένου τελικώς να έχουμε μόνο μία στήλη.

ΒΗΜΑ 6^ο : Εξάγουμε το νέο σύνολο δεδομένων

Αυτό είναι το τελικό στάδιο της PCA, το οποίο δύναται να χαρακτηρισθεί και το ευκολότερο. Όταν λοιπόν θα έχουμε επιλέξει τα στοιχεία (eigenvectors), τα οποία επιθυμούμε να διατηρήσουμε στα τελικά δεδομένα μας και δώσουμε την τελική φόρμα στο χαρακτηριστικό διάνυσμα, μπορούμε ύστερα να αντιμεταθέσουμε το διάνυσμα και στη

συνέχεια να το πολλαπλασιάσουμε από την αριστερή πλευρά του πρότυπου συνόλου δεδομένων, αντιμεταθετιμένο.

$$FinalData = RowFeatureVector \times RowDataAdjust$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο το *RowFeatureVector*, αντιστοιχεί σε μία μήτρα με ιδιοδιανύσματα σε στήλες αντιμεταθετιμένη, ούτως ώστε τα εν λόγω ιδιοδιανύσματα να βρίσκονται στις γραμμές της μήτρας, με τα περισσότερο σημαντικά ιδιοδιανύσματα να βρίσκονται στη κορυφή αυτής. Ο όρος *RowDataAdjust* αντιστοιχεί στα μέσα δεδομένα προσαρμοσμένα αντιμεταθετιμένα, δηλαδή τα στοιχεία των δεδομένων βρίσκονται σε κάθε στήλη, με κάθε γραμμή να έχει ξεχωριστή διάσταση. Η αλήθεια είναι πως όλες αυτές οι αντιμεταθέσεις δύναται να προκαλέσουν μια σύγχυση, όμως από αυτό το σημείο και έπειτα οι λύσεις των εξισώσεων είναι ευκολότερες ειδικά εάν λάβουμε το αντιμεταθετιμένο χαρακτηριστικό διάνυσμα και τα δεδομένα αρχικά, από το να αποκτήσουμε το σύμβολο T πάνω από τα ονόματά τους σε αυτό το σημείο.

Τέλος ο όρος *FinalData* ισούται με το τελικό σύνολο δεδομένων, με στήλες τα στοιχεία των δεδομένων και γραμμές τις διαστάσεις τους.

Ο συγκεκριμένος πίνακας λοιπόν θα μας δώσει τα πρότυπα δεδομένα με αποκλειστική αντιστοιχία στα διανύσματα που εν κατακλείδι επιλέξαμε. Τα πρότυπα δεδομένα μας έχουν δύο άξονες, συγκεκριμένα τους x , y , ούτως ώστε τα δεδομένα μας να βρίσκονται σε αντιστοιχία με τα σημεία αυτών. Είναι πιθανή οποιαδήποτε αντιστοίχιση με όποιους δύο άξονες προτιμούμε. Στην περίπτωση που οι επιλεγμένοι άξονες είναι μεταξύ τους κάθετοι, τότε η έκφραση είναι περισσότερο αποδοτική. Για αυτό καθορίζεται ως τόσο σημαντική η καθετότητα των ιδιοδιανυσμάτων μεταξύ τους. Έχουμε μετατρέψει τα δεδομένα μας από σημεία των x , y αξόνων σε στοιχεία δισδιάστατων ιδιοδιανυσμάτων. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στην περίπτωση που έχουμε μειώσει τα δεδομένα μας –καθώς έχουμε επιλέξει μέρος αυτών- και επομένως και τις διαστάσεις τους, τα νέα δεδομένα είναι σε αντιστοιχία με τα διανύσματα τα οποία έχουμε αποφασίσει να κρατήσουμε.

Στη περίπτωση που επιλεχθούν και τα δύο ιδιοδιανύσματα για την επικείμενο μετασχηματισμό, τότε προκύπτει ένα γράφημα το οποίο απεικονίζει το πρότυπο των δεδομένων, το οποίο έχει περιστραφεί, έτσι ώστε τα ιδιοδιανύσματα να αποτελούν τους άξονες. Το γεγονός αυτό είναι κατανοητό καθώς δεν έχουμε παραλείψει κανένα δεδομένο σε αυτήν την αποσύνθεση.

Ο άλλος μετασχηματισμός ο οποίος δύναται να λάβει χώρα είναι αυτός που έχει προκύψει κατόπιν επιλογής ιδιοδιανυσμάτων με τη μεγαλύτερη ιδιοτιμή. Εάν αντιπαραβάλλουμε το σύνολο των δεδομένων με το σύνολο το οποίο προέκυψε από τη χρήση και των δύο ιδιοδιανυσμάτων, θα διαπιστώσουμε πως το νέο σύνολο δεδομένων είναι ακριβώς ταυτόσημο με τη πρώτη στήλη του άλλου. Συμπερασματικά λοιπόν έχουμε εξαλείψει έναν ολόκληρο άξονα, ο οποίος αντιπροσώπευε το δεύτερο ιδιοδιάνυσμα.

Επομένως, έχουμε μετασχηματίσει τα προς μελέτη δεδομένα μας, ούτως ώστε να υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των προτύπων, όπου τα πρότυπα είναι οι γραμμές εκείνες οι οποίες αποδίδουν στο μέγιστο δυνατό τη σχέση αυτή μεταξύ των δεδομένων. Το γεγονός αυτό είναι πραγματικά χρήσιμο καθώς με τη διαδικασία αυτή έχουμε ταξινομήσει τα δεδομένα μας σε έναν χώρο ο οποίος καθορίζεται από το συνδυασμό συνεισφορών κάθε γραμμής. Στην αρχή είχαμε απλώς τους άξονες x , y . Το γεγονός αυτό ως αποτέλεσμα κρίνεται καλό, όμως οι x , y τιμές κάθε δεδομένου -του χώρου που έχει προκύψει- δε μας δίνουν ικανοποιητικές πληροφορίες σχετικά με το πώς ο εν λόγω χώρος συνδέεται με το υπόλοιπο σύνολο των δεδομένων. Τώρα οι τιμές των δεδομένων του χώρου μας καθορίζουν επακριβώς προς τα πού ρέπουν-τείνουν (δηλαδή κάτω ή πάνω) οι προκύπτουσες γραμμές του χώρου. Στη περίπτωση της μετατροπής με τη χρήση και των δύο ιδιοδιανυσμάτων, έχουμε στην ουσία τροποποιήσει τα δεδομένα, ούτως ώστε το νέο σύνολο δεδομένων να βρίσκεται σε αντιστοιχία με τα ιδιοδιανύσματα σε αντίθεση με τους συνήθεις άξονες. Αντίθετα, το μονοδιάστατο ιδιοδιάνυσμα της αποσύνθεσης δε συνεισφέρει εξαιτίας της ύπαρξης του μικρότερου ιδιοδιανύσματος, με αποτέλεσμα να μείνουμε με τα δεδομένα εκείνα τα οποία είναι σε αντιστοιχία με το προηγούμενο-μεγαλύτερο ιδιοδιάνυσμα.

2. Εφαρμογή της Μεθόδου Πρωτευουσών Συνιστωσών (PCA) στην αξιολόγηση της τρωτότητας των Ευρωπαϊκών Οικονομιών

2.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια αποτελεί χωρίς αμφιβολία μία από τις κινητήριες δυνάμεις της κοινωνίας και της οικονομίας. Είναι κοινώς παραδεκτό πως η διασφάλιση συνεχούς προμήθειας ενέργειας σε ανταγωνιστικές και σταθερές κατά το δυνατόν τιμές είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Η ενεργειακή ασφάλεια θα πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι μιας σωστά δομημένης ενεργειακής πολιτικής. Η συνεχώς αυξανόμενη εξάρτηση της Ευρώπης από ενεργειακές εισαγωγές και οι αναμενόμενες αυξήσεις στις τιμές των ενεργειακών προϊόντων ενισχύουν την ανησυχία για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης στο μέλλον. Οι πρόσφατες πρωτοφανείς αλλαγές στο οικονομικό περιβάλλον της Ευρώπης απαιτούν από τον ενεργειακό τομέα να αναπτύξει νέα εργαλεία ώστε να ανταποκριθεί καλύτερα στις απαιτήσεις της προσφοράς ενέργειας. Ενώ στο παρελθόν η ενεργειακή ασφάλεια ήταν πρωτίστως θέμα των κυβερνήσεων, η παρούσα κατάσταση της ευρωπαϊκής αγοράς ενέργειας απαιτεί οι ίδιες της οι δυνάμεις να παίξουν έναν συμπληρωματικό ρόλο [World Energy Council 2008].

Οποιαδήποτε συζήτηση σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια απαιτεί έναν αποδεκτό ορισμό αυτής της έννοιας. Όπως αναφέραμε και παραπάνω η ενεργειακή ασφάλεια είναι κατά κύριο λόγο η συνεχής και αδιάκοπη παροχή ενέργειας σε τέτοιες ποσότητες ώστε να καλύπτεται η ζήτηση σε ανταγωνιστικές τιμές. Είναι φανερό πως πολλοί παράγοντες μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ενεργειακή ασφάλεια, όπως για παράδειγμα η απειλή εμπάργκο από χώρες-προμηθευτές ως μέσο πολιτικής πίεσης. Ένα ακόμα ρίσκο είναι μία ξαφνική αύξηση της τιμής ενός καυσίμου που ακολουθείται από αυξήσεις σε τιμές προϊόντων με αρνητική επίπτωση στην οικονομία. Η κατάσταση αυτή μπορεί να δημιουργήσει μακροπρόθεσμες ανισοροπίες μεταξύ προσφοράς και ζήτησης με πιθανές επιπτώσεις στην εθνική αλλά και στις διεθνείς αγορές.

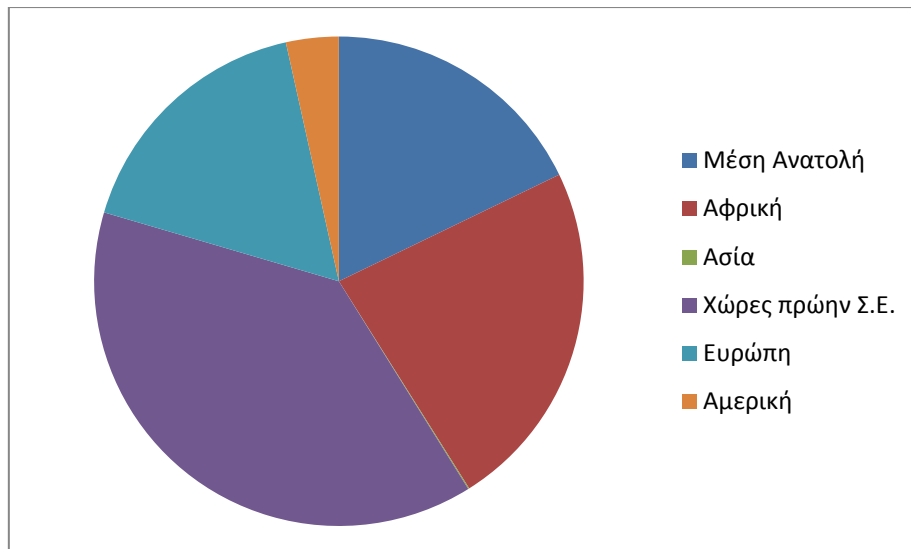
Σύμφωνα με την ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την ενεργειακή στρατηγική της Ένωσης, η ενεργειακή ασφάλεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις επιδιώξεις της Ένωσης στους τομείς της εξωτερικής πολιτικής και της εσωτερικής ασφάλειας [European Commission-A strategy for competitive, sustainable and secure energy]. Η διαφοροποίηση των καυσίμων, των πηγών εφοδιασμού και των διαδρόμων διαμετακόμισης είναι

ουσιαστικής σημασίας για την ασφάλεια της Ένωσης, καθώς επίσης και η σωστή διακυβέρνηση, ο σεβασμός της έννομης τάξης και η προστασία των ενωσιακών και ξένων επενδύσεων στις χώρες παραγωγής και διαμετακόμισης ενέργειας. Η πολιτική της Ε.Ε. τα τελευταία χρόνια δείχνει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την προστασία του περιβάλλοντος, την ασφάλεια των αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου και τις συναφείς υποδομές παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας αποδεικνύοντας έτσι τη σημασία της ενεργειακής ασφάλειας.

Στη μελέτη μας ασχολούμαστε με την τρωτότητα που παρουσιάζουν οι ευρωπαϊκές οικονομίες. Το πόσο τρωτή είναι μία οικονομία αναφορικά με μία μορφή ενέργειας δεν σχετίζεται αποκλειστικά και μόνο με την εξάρτησή της από εισαγωγές, καθώς μία οικονομία μπορεί να έχει μεγάλες εισαγωγές από κάποιο καύσιμο και να μην είναι τόσο τρωτή όσο άλλες. Μία χώρα που εισάγει ενέργεια σε λογικές τιμές και μπορεί να διασφαλίσει την ενεργειακή της ασφάλεια μέσω διαφοροποίησης στην παροχή είναι εξαρτημένη από εισαγωγές χωρίς να είναι τόσο ευάλωτη. Αντίθετα μία χώρα με σημαντική πρωτογενή παραγωγή ενέργειας με αυξημένο κόστος ή με μη-ορθολογική χρήση της ενέργειας μπορεί να είναι πιο τρωτή, ακόμα και αν είναι ανεξάρτητη από εξωτερικές εισαγωγές. Κύριος στόχος της μελέτης μας είναι να μπορέσουμε να αναπτύξουμε έναν κύριο δείκτη που θα αποτελέσει μια ένδειξη για το πόσο ευάλωτες είναι οι ευρωπαϊκές οικονομίες σε σχέση με τα καύσιμα που χρησιμοποιούν. Με τον τρόπο αυτό θα επιχειρήσουμε να αναδείξουμε σημεία που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ενεργειακή πολιτική.

Τα καύσιμα με τα οποία θα ασχοληθούμε στη μελέτη μας είναι το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ο λόγος που επιλέξαμε τα δύο αυτά καύσιμα είναι ότι παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στον ενεργειακό σχεδιασμό των περισσότερων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε γενικές γραμμές οι ενεργειακοί πόροι δεν είναι ισομερώς κατανομημένοι στον πλανήτη. Η Ευρώπη μπορεί να αποτελεί τη μεγαλύτερη περιφερειακή αγορά παγκοσμίως (500 εκατομμύρια καταναλωτές) αλλά όντας σχετικά φτωχή σε ενεργειακούς πόρους αποτελεί και το μεγαλύτερο εισαγωγέα ενέργειας.

Τα αποθέματα πετρελαίου στη γεωγραφική περιοχή της Ε.Ε. αποτελούσαν το 1,2% των παγκόσμιων κοιτασμάτων το 2008, οι εισαγωγές πετρελαίου κυμαίνονται στα 20.000 βαρέλια την ημέρα ενώ η κατανάλωση πετρελαίου παρουσιάζει ετήσιο ρυθμό αύξησης της τάξης του 1% την τελευταία δεκαετία [IEA-World Energy Outlook 2009]. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζουμε τις χώρες από τις οποίες έγιναν οι εισαγωγές πετρελαίου το 2008. [European Commission-DG Energy-Market Observatory].



Γράφημα 2.1: Προέλευση Εισαγωγών Πετρελαίου 2008

Αντίστοιχα για το φυσικό αέριο τα αποθέματα στην Ε.Ε. αντιστοιχούσαν περίπου στο 3% των παγκοσμίων αποθεμάτων. Τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. παρουσιάζουν μεγάλη εξάρτηση από τη Ρωσική Ομοσπονδία αναφορικά με το φυσικό αέριο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συνεχόμενη εξάπλωση της βιομηχανίας του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) που αναμένεται να μας απασχολήσει στο μέλλον.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε πως οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την αγορά του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είναι ακόμα και σήμερα πολλοί. Στο παρελθόν βασικό παράγοντα κινδύνου αποτελούσαν οι πολιτικές και στρατιωτικές διαμάχες και συγκρούσεις μεταξύ των κρατών. Στις μέρες μας πρέπει να συνυπολογίσουμε και άλλες παραμέτρους όπως είναι οι μονοπωλιακές πρακτικές από τις χώρες που προμηθεύουν με ενέργεια, η απειλή εμπάργκο και η γενικότερη γεωπολιτική και οικονομική σταθερότητα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στόχος της μελέτης μας είναι η ανάπτυξη ενός μέτρου για την τρωτότητα των ευρωπαϊκών οικονομιών σχετικά με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τη βιβλιογραφία που υπάρχει στον τομέα αυτό, θα αναλύσουμε τον τρόπο ανάπτυξης του δείκτη τρωτότητας και θα παρουσιάσουμε τα δεδομένα που συλλέξαμε.

2.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ανατρέχοντας στη διεθνή βιβλιογραφία μπορούμε να εντοπίσουμε ένα μεγάλο αριθμό άρθρων και δημοσιεύσεων που ασχολούνται με το θέμα της ενεργειακής ασφάλειας και του βαθμού τρωτότητας των οικονομιών. Κοινή συνισταμένη όλων αυτών των επιστημονικών κειμένων είναι η διαπίστωση πως η έννοια της τρωτότητας είναι πολυδιάστατη και συνδέεται με τη δυσχερή θέση στην οποία μπορεί να περιέλθει μία χώρα λόγω απρόβλεπτων γεγονότων που συνδέονται με την παροχή ενέργειας. Τα γεγονότα αυτά όπως αναφέραμε παραπάνω σχετίζονται τόσο με τη γεωπολιτική ασφάλεια αλλά και με δυσλειτουργίες της αγοράς (μονοπωλιακές πρακτικές, εμπάργκο κλπ).

Σημαντική είναι η συνεισφορά από το ολλανδικό κέντρο ενεργειακών ερευνών (Dutch Energy Research Center-E.C.N.): Jansen et al ,2004 & Schapers et al, 2007. Ο Jansen ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε το δείκτη πολυμορφίας Shannon-Wiener ως βασικό δείκτη. Η δεύτερη μελέτη από το E.C.N. και το Διεθνές Ενεργειακό Πρόγραμμα Clingendael (CIEP) πρότεινε τη χρήση ποσοτικών δεικτών ως μέσο μαθηματικής έκφρασης της ασφάλειας της ενεργειακής προσφοράς. Επιπλέον στα πλαίσια αυτής της μελέτης έγινε για πρώτη φορά η χρήση ενός συστήματος στάθμισης και βαθμολόγησης (weighting and scoring system) για τη σύνθεση ενός δείκτη προσφοράς/ζήτησης (supply/demand-S/D index). Ο δείκτης αυτός λάμβανε υπόψη την τελική ενεργειακή ζήτηση, τη μετατροπή ενέργειας και την πρωτογενή ενεργειακή προσφορά.

Πέρα από την έρευνα που έχει διεξαχθεί από το E.C.N. και άλλες ερευνητικές ομάδες έχουν επιχειρήσει τη μέτρηση της τρωτότητας την οποία αντιμετωπίζουν τα ευρωπαϊκά ενεργειακά συστήματα [Constantini et al.-2007, Gnansounou-2008, Gupta-2007/2008, World Energy Council-2008]. Όλες οι προαναφερθείσες μελέτες χρησιμοποιούν αντικειμενικούς τρόπους ώστε να σταθμίσουν τη βαρύτητα των επιμέρους δεικτών και να καταλήξουν σε έναν κοινό δείκτη. Η στρατηγική για ασφαλή ηλεκτρική ενέργεια στο Ηνωμένο Βασίλειο ήταν το αντικείμενο της μελέτης που δημοσιεύτηκε το 2006 [Grubb et al-Diversity and Security in UK Electricity Generation]. Χρησιμοποιώντας την αρχή της διαφοροποίησης των καυσίμων στο ενεργειακό μίγμα, οι ερευνητές μπόρεσαν να μετρήσουν την επιρροή της ποικιλίας ενεργειακών πηγών στην αξιοπιστία της παραγωγής. Επιπλέον μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2005 επιχείρησε να μετρήσει μέσω διαφορετικών δεικτών την εξάρτηση των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο [Chevalier et al-Security of Energy Supply for the European Union]. Η μελέτη αυτή

απέδειξε ότι τα ευρωπαϊκά κράτη είναι εντελώς εκτεθειμένα σε πιθανές μελλοντικές διαταραχές στην παροχή ενέργειας, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη για ενιαία ευρωπαϊκή ενεργειακή στρατηγική.

Στη δικιά μας εργασία βασιστήκαμε κυρίως σε τρεις επιστημονικές μελέτες. Η πρώτη δημοσιεύτηκε το 2007 [Gurta et al.-Oil Vulnerability index of oil-importing countries]. Στη μελέτη αυτή γίνεται χρήση δύο ειδών δεικτών: έχουμε δείκτες που σχετίζονται με τους κινδύνους του *ενεργειακού εφοδιασμού* και δείκτες που συνδέονται με τη *λειτουργία της αγοράς*. Συγκεκριμένα οι δείκτες της μελέτης για τον κίνδυνο εφοδιασμού είναι:

1. Εγχώρια Αποθέματα/Εγχώρια Κατανάλωση και
2. Μέτρηση Γεωπολιτικού Ρίσκου.

Για το δεύτερο δείκτη χρησιμοποιούνται επιμέρους στοιχεία που αφορούν στη διαφοροποίηση των εισαγωγών ενέργειας, στην πολιτική σταθερότητα στις χώρες-προμηθευτές ενέργειας, στην αγοραστική ρευστότητα και στην εξάρτηση από εισαγωγές.

Οι δείκτες που συνδέονται με την αγορά είναι:

3. Ο λόγος Α.Ε.Π. προς πληθυσμό,
4. Η ενεργειακή ένταση για το πετρέλαιο που είναι στην ουσία ο λόγος κατανάλωσης πετρελαίου προς Α.Ε.Π. της χώρας,
5. Ο όγκος των εισαγωγών πετρελαίου προς το Α.Ε.Π.,
6. Ο λόγος της ποσότητας πετρελαίου που καταναλώνεται προς την συνολική πρωτογενή προσφορά ενέργειας.

Όλοι οι παραπάνω δείκτες συνδυάζονται με βάση την ανάλυση πρωτευουσών συνιστωσών (PCA) σε έναν κοινό δείκτη που εκφράζει την τρωτότητα των προς μελέτη χωρών στο πετρέλαιο. Μία μεθοδολογία βασισμένη στη μελέτη αυτή θα ακολουθήσουμε και εμείς στην εργασία μας.

Η δεύτερη μελέτη είναι αυτή που δημοσιεύτηκε από Εργαστήριο Ενεργειακών Συστημάτων του Ομοσπονδιακού Πολυτεχνείου της Λωζάνης (Energy Systems Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne-EPFL) [Gnansounou et al- Assessing the energy vulnerability: Case of Industrialized Countries, 2008]. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένοι δείκτες ώστε να υπολογιστεί ένας συνολικός δείκτης που εκφράζει το πόσο ευάλωτη είναι η ενεργειακή ασφάλεια σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες. Η

συγκεκριμένη μελέτη αναγνωρίζονται πέντε βασικές παράμετροι-στόχοι για την ενεργειακή ασφάλεια και χρησιμοποιούνται αντίστοιχοι δείκτες. Σύμφωνα με όσα περιγράφονται στη συγκεκριμένη μελέτη, για να μειωθεί ο κίνδυνος της ενεργειακής ασφάλειας θα πρέπει:

- Να μειωθεί η ενεργειακή ένταση στις ανεπτυγμένες χώρες,
- Να μειωθεί η εξάρτηση από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο,
- Να μειωθεί το περιεχόμενο CO₂ στην πρωτογενή ενέργεια,
- Να διασφαλιστεί η ασφάλεια στη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και
- Να διαφοροποιηθεί το μίγμα καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

Με βάση αυτούς τους στόχους λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς οι παρακάτω δείκτες:

1. Ενεργειακή ένταση σε σχέση με το Α.Ε.Π.,
2. Εξάρτηση από εισαγωγές ενέργειας,
3. Λόγος των εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με τον ενεργειακό τομέα προς τη συνολική πρωτογενή ενεργειακή προσφορά,
4. Αξιοπιστία της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας,
5. Μη-διαφοροποίηση των καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

Ειδικά στη συγκεκριμένη μελέτη είναι προφανές το πόσο αλληλεξαρτημένοι είναι οι δείκτες μεταξύ τους και το γεγονός πως η ανάπτυξη ενός συνολικού δείκτη αποτελεί ένα πολυδιάστατο πρόβλημα. Για παράδειγμα προσπαθώντας να μειώσουμε την εξάρτηση από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μπορεί να αυξήσουμε το ποσοστό συμμετοχής άνθρακα που θα αυξήσει τις εκπομπές CO₂ που σχετίζονται επίσης με την τρωτότητα του ενεργειακού συστήματος. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μελέτη δεν συνυπολογίζει γεωπολιτικές ισορροπίες που σχετίζονται με την παροχή ενέργειας και έτσι όπως παραδέχεται και ο συγγραφέας “ το μοντέλο που έχει υιοθετηθεί είναι ουδέτερο σχετικά με τις πλευρές της αγοράς που σχετίζονται με την πολιτική”.

Η τρίτη μελέτη δημοσιεύτηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του Ε.Μ.Π. το 2008: Roupas, Flamos, Psarras- Comparative analysis of EU member countries vulnerability in oil & gas. Η μελέτη αυτή επιχείρησε να αξιολογήσει το πόσο τρωτές είναι οι ευρωπαϊκές οικονομίες στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο με βάση στοιχεία του 2006. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν έξι δείκτες:

1. Δείκτης πολιτικής μέτρησης,
2. Αγοραστική ρευστότητα,
3. Διαφοροποίηση της πρωτογενούς ζήτησης,
4. Εξάρτηση καθαρών εισαγωγών,
5. Πρωτογενής κατανάλωση καυσίμου προς Α.Ε.Π.,
6. Πρωτογενής κατανάλωση καυσίμου προς τη συνολική πρωτογενή κατανάλωση.

2.3 Παρουσίαση Μεθοδολογίας

Στην εργασία μας το προς μελέτη δείγμα αποτελούν οι 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης μετά και την τελευταία διεύρυνση το 2007 που συμπεριέλαβε τη Βουλγαρία και τη Ρουμανία. Παρατηρώντας το ιστορικό των διευρύνσεων της Ένωσης είναι προφανές πως τα κράτη που προσχώρησαν στην Ένωση από το 2004 (χώρες της Βαλτικής και της Βαλκανικής χερσονήσου) και μετά παρουσιάζουν έντονες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη-μέλη. Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω στόχος μας είναι να μπορέσουμε να εκφράσουμε με έναν κοινό δείκτη την έννοια της τρωτότητας μιας οικονομίας σε σχέση με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Όπως αναφέρει και ο Ghansounou στη μελέτη του, η τρωτότητα είναι *“ο βαθμός στον οποίο το ενεργειακό σύστημα καθίσταται ανήμπορο να ανταπεξέλθει σε δυσμενή γεγονότα”*. Ακολουθώντας τις βασικές αρχές των προαναφερθέντων επιστημονικών μελετών επιλέξαμε ορισμένους δείκτες που απεικονίζουν τις ιδιαιτερότητες κάθε εθνικού ενεργειακού συστήματος. Στη συνέχεια οι δείκτες αυτοί συνδυάστηκαν με βάση τις αρχές της Ανάλυσης Πρωτεύουσών Συνιστωσών που αναλύθηκαν σε προηγούμενη ενότητα.

2.4 Επιλογή δεικτών

Στη μελέτη της Eshita Gurta γίνεται διάκριση μεταξύ των τριών κύριων παραγόντων που επηρεάζουν το πόσο εύαλπη είναι μία οικονομία. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή οι παράγοντες είναι:

- Παράγοντες που σχετίζονται με τον κίνδυνο ανεφοδιασμού,
- Παράγοντες που σχετίζονται με τον κίνδυνο της αγοράς και
- Παράγοντες που σχετίζονται με περιβαλλοντικά ζητήματα.

Ωστόσο δίνεται περισσότερη βαρύτητα στις δύο πρώτες κατηγορίες. Την ίδια μεθοδολογία θα ακολουθήσουμε και εμείς με κάποιες βασικές διαφοροποιήσεις. Συγκεκριμένα στη μελέτη *Oil Vulnerability index of oil-importing countries- Gupta et al.* χρησιμοποιούνται έξι δείκτες εκ των οποίων οι δύο είναι δείκτες για τον κίνδυνο ανεφοδιασμού και οι τέσσερις είναι δείκτες για την αγορά. Στη δικιά μας εργασία θα χρησιμοποιηθούν συνολικά επτά δείκτες, εκ των οποίων τέσσερις θα συνδέονται με τον κίνδυνο ανεφοδιασμού και τρεις με τους κινδύνους της αγοράς. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε ποιοι είναι οι δείκτες αυτοί.

a) Δείκτες Αγοράς

- i) Πρωτογενής Κατανάλωση Καυσίμου προς Α.Ε.Π. (Fuel Consumed/GDP)**
- ii) Πρωτογενής Κατανάλωση Καυσίμου προς Συνολική Πρωτογενή Κατανάλωση (Fuel Consumed/Total Primary Energy Source Consumption)**
- iii) Καθαρές Εισαγωγές Καυσίμου προς Α.Ε.Π. (Net Imports/GDP)**

b) Δείκτες Ανεφοδιασμού

- i) Δείκτης Πολιτικής Μέτρησης (Political Measurement-PM)**
- ii) Αγοραστική Ρευστότητα (Market Liquidity-ML)**
- iii) Διαφοροποίηση Πρωτογενούς Ενεργειακής Ζήτησης (Diversification of Primary Energy Demand-DPED)**
- iv) Εξάρτηση από Καθαρές Εισαγωγές (Net Import Dependency- NID)**

3. Επιλογή Δεδομένων και Υπολογισμός Δεικτών

3.1 Επιλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη μας προήλθαν από τη Διεθνή Υπηρεσία Ενέργειας (International Energy Agency-IEA), με εξαίρεση το δείκτη πολιτικής μέτρησης (PM). Η Υπηρεσία αυτή είναι ένας ανεξάρτητος οργανισμός με έδρα το Παρίσι που δημιουργήθηκε από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) το 1974 μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 και αρχικός στόχος ήταν η αντιμετώπιση των πετρελαϊκών κρίσεων και η διατήρηση στατιστικών αρχείων σχετικά με τα ενεργειακά συστήματα των χωρών-μελών του Οργανισμού.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε αφορούν στο έτος 2008 καθώς μόνο για εκείνη τη χρονιά υπήρχαν συγκεντρωμένα όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη μελέτη μας και για τις 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρακάτω παρουσιάζουμε τον τρόπο υπολογισμού ορισμένων δεικτών.

3.2 Υπολογισμός Επιμέρους Δεικτών

3.2.1 Δείκτες Αγοράς

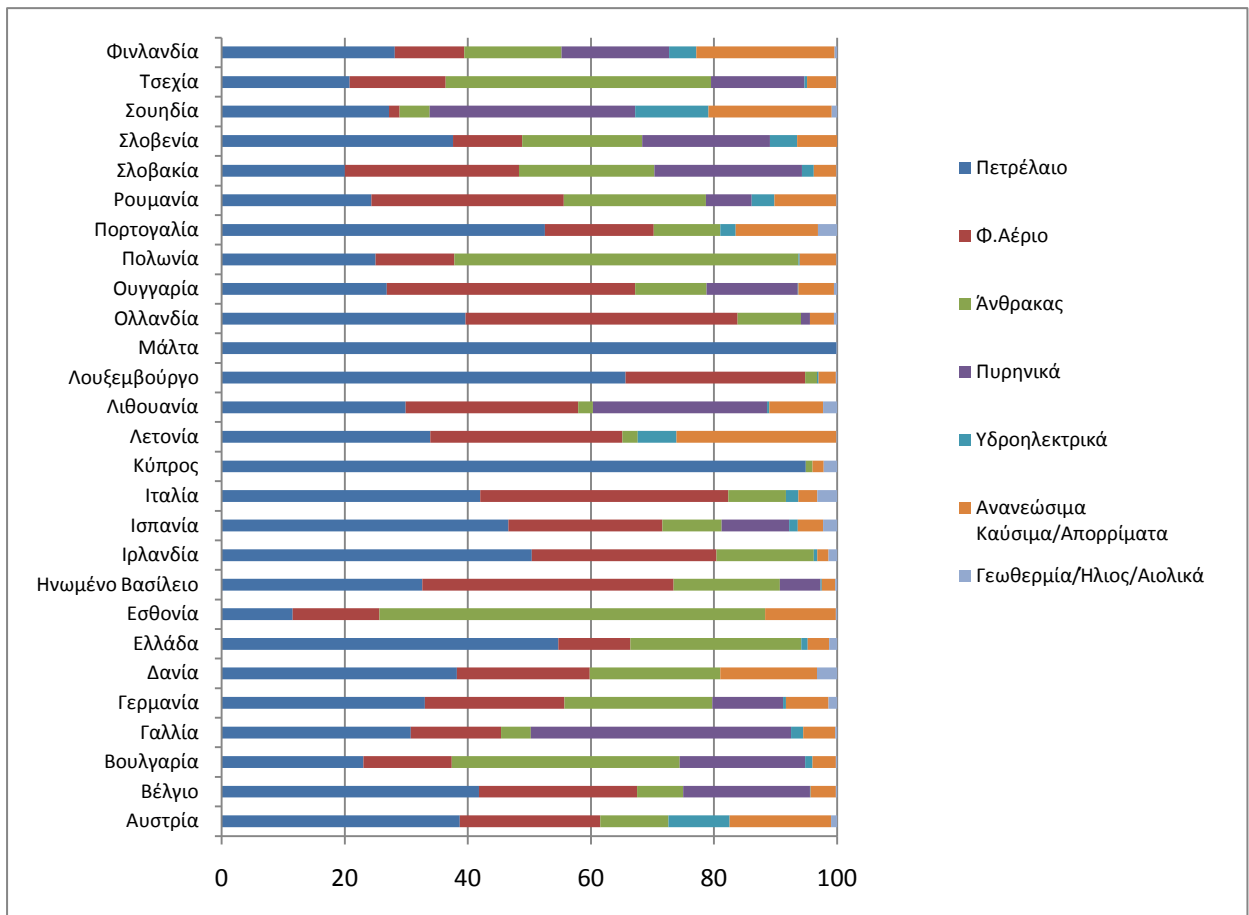
- Πρωτογενής Κατανάλωση καυσίμου προς Α.Ε.Π. (Fuel Consumption to GDP-FC/GDP)
Για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου δείκτη πήραμε το λόγο της κατανάλωσης των καυσίμων που μας ενδιαφέρουν (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) προς το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν της κάθε χώρας. Μονάδα του συγκεκριμένου δείκτη είναι: κτοε/δισεκατομμύρια δολάρια Η.Π.Α. με έτος βάσης 2000
- Κατανάλωση Καυσίμου προς Συνολική Πρωτογενή Ενεργειακή Κατανάλωση (Fuel Consumption to Total Primary Energy Source Consumption – FC/TPES)
Στο δείκτη αυτό χρησιμοποιείται ο λόγος της κατανάλωσης ενός καυσίμου προς τη συνολική πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση όλων των καυσίμων που χρησιμοποιεί η χώρα. Ο δείκτης είναι καθαρός αριθμός αφού προκύπτει από διαίρεση κτοε/κτοε.
- Καθαρές Εισαγωγές Καυσίμου προς Α.Ε.Π. (Net Imports to GDP-NI/GDP)

Ο δείκτης αυτός προτείνεται στη μελέτη της Eshita Gupta- *Oil Vulnerability index of oil-importing countries*. Είναι ο λόγος των καθαρών εισαγωγών του καυσίμου προς το ΑΕΠ της χώρας και ως μονάδα έχει ktoc/δισεκατομμύρια δολάρια Η.Π.Α. με έτος βάσης 2000.

3.2.2 Δείκτες Ανεφοδιασμού

- Διαφοροποίηση Πρωτογενούς Ενεργειακής Ζήτησης (Diversification of Primary Energy Demand-DPED)

Για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που αφορούν στα ενεργειακά μίγματα των χωρών και πως αυτά διαφοροποιούνται. Ουσιαστικά είδαμε τον τρόπο με τον οποίο διαφοροποιείται η πρωτογενής ενεργειακή ζήτηση με τα διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τα την καλύψουν. Να σημειώσουμε πως στην πρωτογενή ενέργεια δεν συμπεριλαμβάνεται ο ηλεκτρισμός. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται συνοπτικά αυτή η διαφοροποίηση.



Γράφημα 3.1: Διαφοροποίηση Πρωτογενούς Ενεργειακής Ζήτησης των χωρών της Ε.Ε. το 2008

Παρατηρούμε πως μεταξύ των 27 χωρών κάποιες παρουσιάζουν αρκετά διαφοροποιημένα ενεργειακά μίγματα, όπως η Αυστρία, η Φινλανδία και η Σλοβενία. Ωστόσο κάποιες χώρες στηρίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε ένα περιορισμένο αριθμό καυσίμων όπως η Κύπρος και κυρίως η Μάλτα.

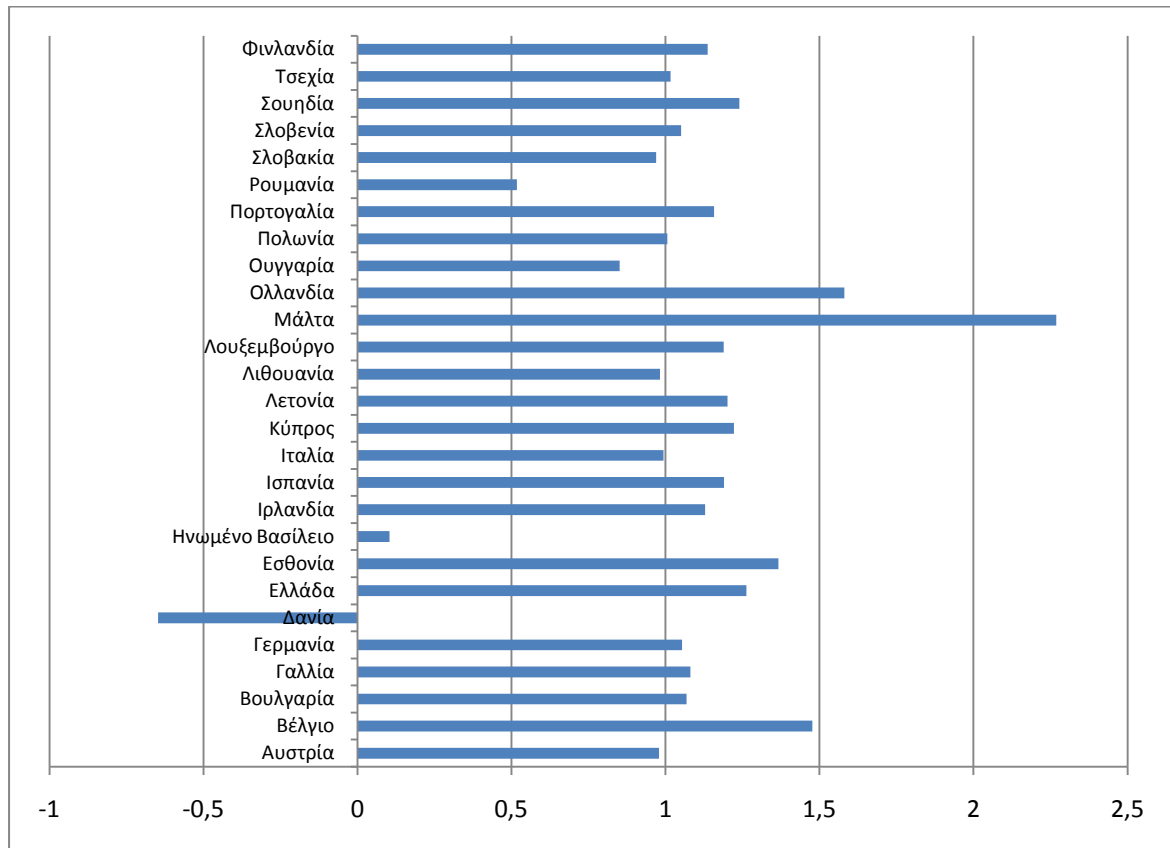
Για τον υπολογισμό του δείκτη DPED χρησιμοποιήσαμε τον παρακάτω τύπο:

$$DPED = \left[- \sum_i p_i \cdot \ln(p_i) \right]^{-1}$$

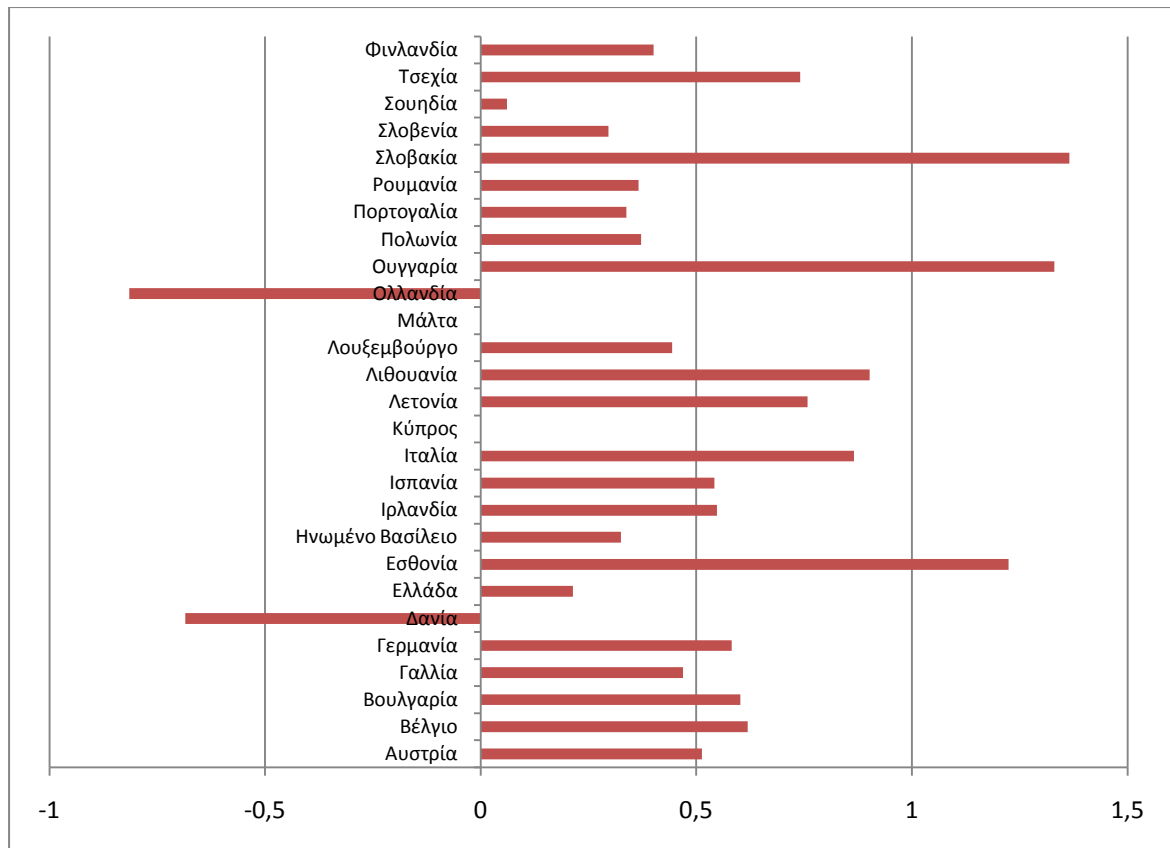
όπου p_i είναι το ποσοστό συμμετοχής του i καυσίμου στην κάλυψη της πρωτογενούς ενεργειακής ζήτησης. Ο δείκτης αυτός είναι καθαρός αριθμός.

- Εξάρτηση από Καθαρές Εισαγωγές (Net Import Dependency-NID)

Για τον υπολογισμό αυτού του δείκτη παίρνουμε το λόγο των καθαρών εισαγωγών του καυσίμου που μας ενδιαφέρει (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο) προς τη συνολική προσφορά ενέργειας (total energy supply). Τα δεδομένα είναι σε κτοε οπότε ο δείκτης δεν έχει μονάδα μέτρησης. Στα παρακάτω δύο γραφήματα παρουσιάζεται η εξάρτηση από καθαρές εισαγωγές για τις 27 χώρες της Ε.Ε. για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.



Γράφημα 3.2: Δείκτης Εξάρτησης Καθαρών Εισαγωγών για το Πετρέλαιο



Γράφημα 3.3: Δείκτης Εξάρτησης Καθαρών Εισαγωγών για το Φ. Αέριο

Οι διαφορές στα δύο αυτά γραφήματα είναι προφανείς. Κάποιες χώρες παρουσιάζουν υψηλή εξάρτηση από τις εισαγωγές των καυσίμων, όπως η Μάλτα, η Ολλανδία και το Βέλγιο στο πετρέλαιο ή η Εσθονία στο Αέριο. Κάποιες άλλες έχουν μικρότερη εξάρτηση όπως το Ηνωμένο Βασίλειο στο πετρέλαιο και η Σουηδία στο φυσικό αέριο. Τέλος παρατηρούμε πως κάποιες χώρες έχουν αρνητικό δείκτη NID κάτι που σημαίνει πως οι εξαγωγές καυσίμων είναι μεγαλύτερες από τις εισαγωγές αφού ο αριθμητής του δείκτη NID είναι ίσος με τη διαφορά: Εισαγωγές-Εξαγωγές. Η Δανία εξαγει περισσότερο πετρέλαιο και αέριο από όσο εισάγει, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με την Ολλανδία όσον αφορά στο φυσικό αέριο.

- Δείκτης Αγοραστικής Ρευστότητας (Market Liquidity-ML)

Στην οικονομική και επενδυτική ορολογία η αγοραστική ρευστότητα ταυτίζεται με την ικανότητα ενός χρεογράφου να γίνεται αντικείμενο συναλλαγής χωρίς να επηρεάζεται η τιμή του. Προφανώς τα μετρητά είναι το στοιχείο με τη μεγαλύτερη ρευστότητα καθώς μπορεί να καλύψει άμεσες ανάγκες. Στη δικιά μας μελέτη η αγοραστική ρευστότητα συνδέεται επίσης με τις εισαγωγές καυσίμων και πόσο αυτές επηρεάζουν την αγορά. Σε

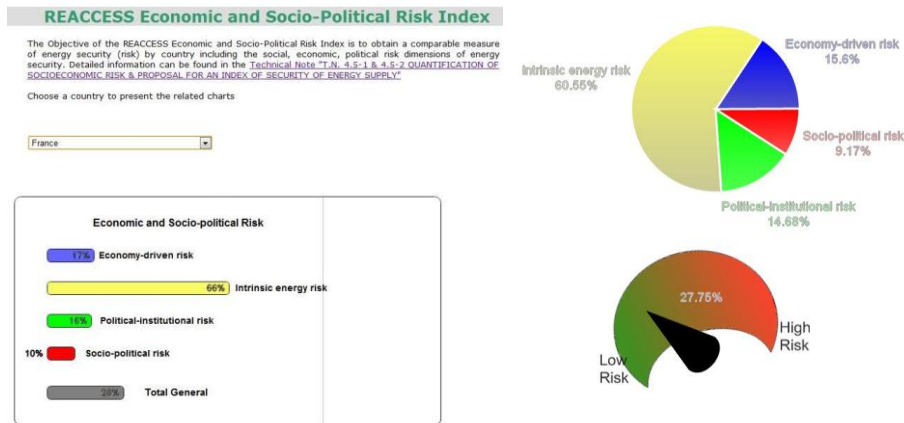
προηγούμενες μελέτες η αγοραστική ρευστότητα σχετιζόταν με το λόγο προσφοράς/ζήτηση [Blyth and Lefevre-2004]. Ωστόσο εμείς χρησιμοποιούμε μία άλλη θεώρηση που ορίζει την αγοραστική ρευστότητα ως το λόγο: Παγκόσμιες Εισαγωγές Καυσίμου/Καθαρές Εγχώριες Εισαγωγές Καυσίμου [Gupta-2007].

Τα δεδομένα για τις παγκόσμιες εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου για το 2008 προήλθαν από τη μελέτη της εταιρείας British Petroleum [BP Statistical Review of World Energy-2009]. Ενώ οι καθαρές εισαγωγές κάθε χώρας προήλθαν από τα δεδομένα της ΕΙΑ για το 2008. Ο δείκτης αυτός δεν έχει μονάδα μέτρησης.

- Δείκτης Πολιτικής Μέτρησης (Political Measurement-PM)

Ο δείκτης αυτός αποτελεί και τον πιο δύσκολο στη σύλληψη, καθώς είναι αρκετά δύσκολο να εκφράσουμε μαθηματικά τις κοινωνικοπολιτικές ιδιαιτερότητες κάθε χώρας. Τα δεδομένα για το δείκτη πολιτικής μέτρησης προήλθαν από το πρόγραμμα REACCESS: Risk of Energy Availability-Common Corridors for Europe Supply Security. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα διεξάγεται στα πλαίσια του ερευνητικού πλαισίου Frame Program 7 (FP7) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και πολύ σημαντικό ρόλο παίζει το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης του Ε.Μ.Π. Ο στόχος του προγράμματος REACCESS είναι να οικοδομήσει αναλυτικά εργαλεία για τα σενάρια ενεργειακών εισαγωγών στην Ε.Ε. λαμβάνοντας υπόψη τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους των ενεργειακών δρόμων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης αλλά και του κόσμου.

Μία από τις ερευνητικές πρωτοβουλίες στα πλαίσια του προγράμματος αυτού ήταν η κατασκευή ενός δείκτη που εκφράζει το κοινωνικοπολιτικό ρίσκο σε διάφορες χώρες της Ε.Ε. αλλά και εκτός αυτής [Lavagno et al.-Quantification of Socioeconomic Risk & Proposal for an index of security of energy supply -2007]. Ο ενιαίος δείκτης κοινωνικοπολιτικού ρίσκου λαμβάνει υπόψη: τον οικονομικό κίνδυνο κάθε χώρας, τον κίνδυνο του ενεργειακού τομέα, τον κίνδυνο που σχετίζεται με την πολιτική και τους θεσμούς και τον κίνδυνο που σχετίζεται με την κοινωνικοπολιτική κατάσταση της κάθε χώρας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα αποτελέσματα της μελέτης όπως παρουσιάζονται στο χρήστη της ιστοσελίδας του προγράμματος REACCESS.



Εικόνα 3.1: Αποτελέσματα Δείκτη Πολιτικής Μέτρησης από REACCESS

Βλέπουμε πως οι επιμέρους κίνδυνοι και ο συνολικός δείκτης παρουσιάζονται σε γράφημα με μπάρες αριστερά και δεξιά βλέπουμε τον τελικό δείκτη. Στο δεξιά κάτω γράφημα βλέπουμε που τοποθετείται συγκριτικά ο δείκτης της συγκεκριμένης χώρας σε σχέση με τις ακραίες τιμές του ρίσκου.

Οι δείκτες PM και ML αιχμαλωτίζουν τις ιδιαιτερότητες που σχετίζονται με τα γεωπολιτικά δεδομένα και τη δομή της αγοράς κάθε χώρας. Οι δείκτες NID και DPED αφορούν στη διαφοροποίηση της ζήτησης και την εξάρτηση από τις εισαγωγές και στην ανάλυσή μας θα παίξουν πολύ σημαντικό ρόλο. Έχοντας παρουσιάσει τον τρόπο συλλογής των δεδομένων μπορούμε να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα που είναι η ανάλυση των δεδομένων και η σύνθεση του κοινού δείκτη τρωτότητας με βάση τη μέθοδο πρωτευουσών συνιστωσών. Αυτή η ανάλυση είναι δυνατή μέσω του εργαλείου XLstatPRO του Microsoft Excel. Στους πίνακες που ακολουθούν έχουμε συγκεντρωμένους όλους τους δείκτες για τις 27 χώρες της Ε.Ε. για τα δύο καύσιμα που μας ενδιαφέρουν. Από τη μελέτη για το φυσικό αέριο εξαιρούνται η Κύπρος και η Μάλτα λόγω μηδενικής κατανάλωσης Φυσικού Αερίου.

	DPED	NID	PM	ML	OIL/GDP	OIL/TPES	Net Imports/GDP
Αυστρία	0,657	0,979	0,27	221,658	50,363	0,387	55,022
Βέλγιο	0,723	1,477	0,308	74,234	81,596	0,418	132,387
Βουλγαρία	0,667	1,068	0,378	590,716	206,075	0,23	253,956
Γαλλία	0,713	1,081	0,278	30,093	49,914	0,307	59,36
Γερμανία	0,639	1,054	0,173	23,472	47,819	0,33	55,883
Δανία	0,699	-0,647	0,11	-541,184	37,029	0,382	-26,218
Ελλάδα	0,864	1,263	0,35	130,587	79,071	0,547	119,743
Εσθονία	0,927	1,367	0,38	2504,921	102,537	0,115	90,909
Ηνωμένο Βασίλειο	0,753	0,104	0,113	399,911	34,041	0,326	3,99
Ιρλανδία	0,861	1,129	0,315	350,865	56,797	0,504	62,26
Ισπανία	0,691	1,19	0,29	36,714	74,463	0,466	104,527
Ιταλία	0,801	0,994	0,223	37,446	52,169	0,42	61,236
Κύπρος	3,906	1,222	0,46	955,989	99,268	0,949	244,02
Λετονία	0,739	1,201	0,408	1739,394	112,217	0,339	126,92
Λιθουανία	0,673	0,982	0,408	1004,767	102,234	0,299	135,154
Λουξεμβούργο	1,189	1,189	0,323	949,261	90,769	0,656	107,503
Μάλτα	125	2,269	0,471	1422,14	45,701	0,999	419,91
Ολλανδία	0,849	1,581	0,155	56,14	58,104	0,396	109,121
Ουγγαρία	0,69	0,851	0,3	391,667	106,619	0,268	96,829
Πολωνία	0,89	1,006	0,28	110,516	92,631	0,25	103,971
Πορτογαλία	0,739	1,158	0,333	209,946	86,901	0,525	116,837
Ρουμανία	0,625	0,518	0,285	564,748	138,353	0,243	81,83
Σλοβακία	0,641	0,97	0,345	774,34	98,484	0,2	107,123
Σλοβενία	0,636	1,051	0,335	958,366	105,775	0,376	111,442
Σουηδία	0,643	1,24	0,26	165,023	40,263	0,272	56,382
Τσεχία	0,694	1,016	0,298	290,305	115,439	0,208	121,668
Φινλανδία	0,59	1,137	0,285	253,196	52,695	0,281	71,108

Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτική Παρουσίαση Δεικτών για το Πετρέλαιο

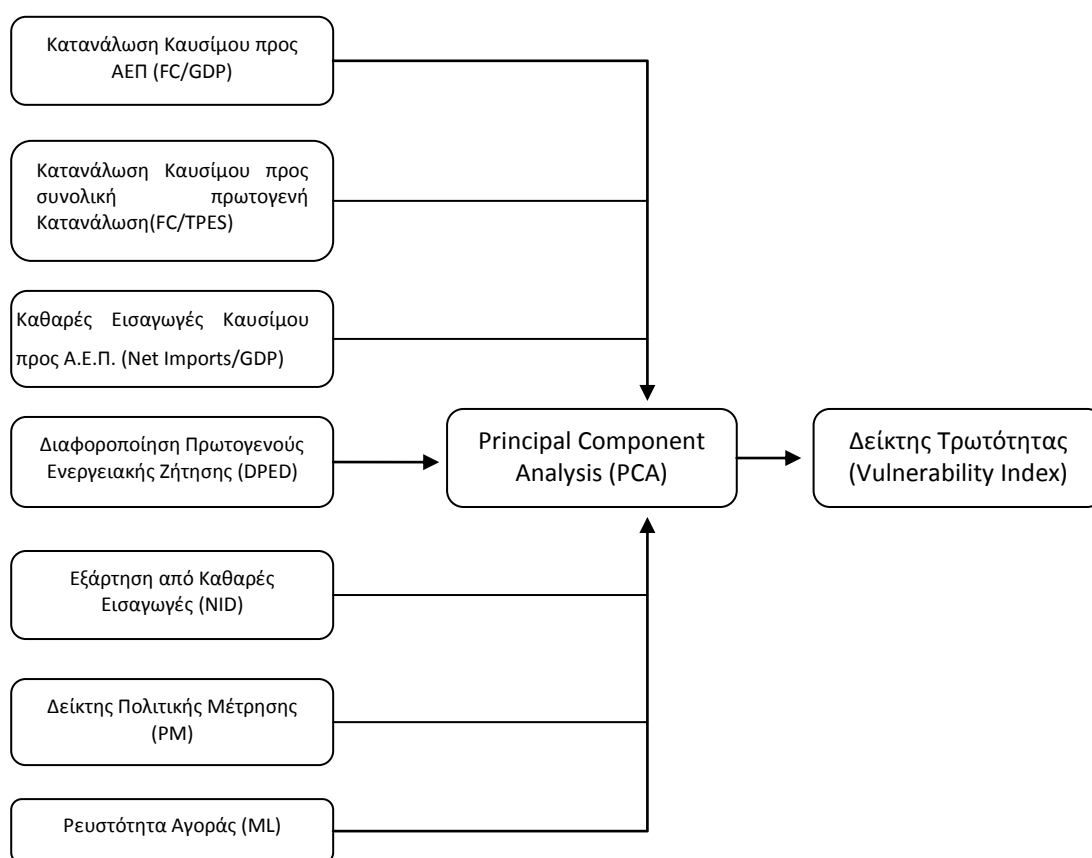
	DPED	NID	PM	ML	GAS/GDP	GAS/TPES	Net Imports/GDP
Αυστρία	0,657	0,513	0,27	72,949	20,902	0,228	28,806
Βέλγιο	0,723	0,619	0,308	31,913	39,685	0,257	55,432
Βουλγαρία	0,667	0,602	0,378	169,541	89,893	0,144	143,134
Γαλλία	0,713	0,469	0,278	12,19	21,813	0,147	25,738
Γερμανία	0,639	0,582	0,173	7,35	28,062	0,227	30,865
Δανία	0,699	-0,685	0,11	-96,429	9,488	0,216	-27,755
Ελλάδα	0,864	0,214	0,35	135,593	5,783	0,117	20,269
Εσθονία	0,927	1,224	0,38	617,07	39,006	0,141	81,395
Ηνωμένο Βασίλειο	0,753	0,325	0,113	21,604	26,644	0,408	12,41
Ιρλανδία	0,861	0,548	0,315	115,207	12,121	0,3	30,218
Ισπανία	0,691	0,542	0,29	13,493	20,552	0,25	47,549
Ιταλία	0,801	0,866	0,223	7,573	31,722	0,403	53,364
Λετονία	3,906	0,758	0,408	434,092	36,65	0,312	80,102
Λιθουανία	0,739	0,902	0,408	190,209	74,28	0,28	124,081
Λουξεμβούργο	0,673	0,444	0,323	435,168	25,12	0,292	40,162
Ολλανδία	1,189	-0,815	0,155	-18,816	48,012	0,442	-56,228
Ουγγαρία	125	1,33	0,3	51,087	105,155	0,404	151,309
Πολωνία	0,849	0,372	0,28	52,107	42,978	0,128	38,413
Πορτογαλία	0,69	0,338	0,333	114,724	11,889	0,177	34,11
Ρουμανία	0,89	0,366	0,285	134,651	127,271	0,313	57,784
Σλοβακία	0,739	1,365	0,345	95,555	118,309	0,283	150,803
Σλοβενία	0,625	0,296	0,335	542,686	26,399	0,112	31,42
Σουηδία	0,641	0,061	0,26	575,248	1,935	0,017	2,78
Τσεχία	0,636	0,741	0,298	67,682	76,791	0,156	88,73
Φινλανδία	0,643	0,401	0,285	123,4	7,127	0,113	25,072

Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτική Παρουσίαση Δεικτών για το Φυσικό Αέριο

3.3 Επεξεργασία Δεδομένων με βάση τη μέθοδο πρωτευουσών συνιστωσών (PCA) σε περιβάλλον Microsoft Excel

3.3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε και στις προηγούμενες ενότητες στόχος της μελέτης μας είναι η χρήση της μεθόδου πρωτευουσών συνιστωσών (PCA) έτσι ώστε από τους επιμέρους δείκτων που παρουσιάσαμε να προκύψει ένας κοινός δείκτης που θα μας δίνει μια εικόνα για το βαθμό τρωτότητας της οικονομίας κάθε χώρας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.1: Τρόπος Κατασκευής Ενιαίου Δείκτη

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, η μέθοδος PCA είναι μία στατιστική μέθοδος πολλών μεταβλητών που μας επιτρέπει να μετασχηματίσουμε ένα σύνολο αλληλεξαρτημένων στοιχείων σε ένα σύνολο ανεξάρτητων στοιχείων που καλούνται συστατικά (components). Τα ανεξάρτητα αυτά συστατικά της μεθόδου αποτελούν γραμμικούς συνδυασμούς των αρχικών μεταβλητών. Η βασική λογική πίσω από τη μέθοδο PCA είναι η μείωση της διαστατικότητας (dimensionality) του προβλήματος και ο ταυτόχρονος μετασχηματισμός του συστήματος αλληλεξαρτώμενων συντεταγμένων των

δεδομένων σε ένα ανεξάρτητο σύστημα. Έχοντας παρουσιάσει λοιπόν τη θεωρητική θεμελίωση της PCA σε προηγούμενη ενότητα και έχοντας εξετάσει τους δείκτες που θα χρησιμοποιήσουμε, μπορούμε να προχωρήσουμε στη σύνθεση του ενιαίου δείκτη.

3.3.2 Σύνθεση Ενιαίου Δείκτη (Vulnerability Index) με χρήση εργαλείων του Microsoft Excel

Ο ενιαίος δείκτης που θα εκφράζει την τρωτότητα κάθε χώρας ενσωματώνει και τους επτά δείκτες που παρουσιάσαμε παραπάνω σε έναν γραμμικό συνδυασμό.

$$V.I._n = \theta_1 X_{1n} + \theta_2 X_{2n} + \theta_3 X_{3n} + \theta_4 X_{4n} + \theta_5 X_{5n} + \theta_6 X_{6n} + \theta_7 X_{7n} + e$$

Άρα λοιπόν για κάθε χώρα n ο δείκτης τρωτότητας (Vulnerability Index-V.I.) προκύπτει ως ένας γραμμικός συνδυασμός των επτά επιμέρους δεικτών (X_1 - X_7) συνυπολογίζοντας και έναν παράγοντα σφάλματος (e). Έτσι λοιπόν η διακύμανση του συνολικού δείκτη οφείλεται στη διακύμανση λόγω των δεδομένων (δεικτών) και στη διακύμανση λόγω του σφάλματος. Λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των δεικτών που έχουμε συμπεριλάβει στη μελέτη μας, μπορούμε να δεχτούμε ότι η διακύμανση που οφείλεται στα δεδομένα είναι σχεδόν μηδενική. Το ίδιο ισχύει και για τη διακύμανση του σφάλματος. Άρα λοιπόν καταλήγουμε ότι ο συνολικός δείκτης σχετίζεται γραμμικά με τους επιμέρους δείκτες κάθε χώρας.

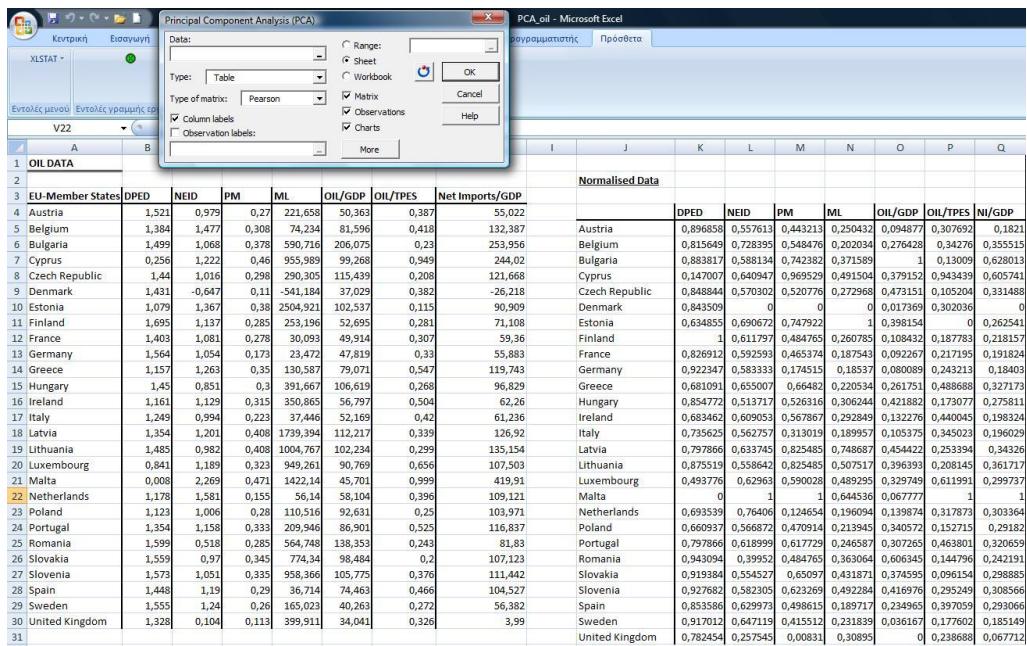
Προκειμένου να προχωρήσουμε στη σύνθεση του ενιαίου δείκτη χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Microsoft Excel καθώς και το πολύ χρήσιμο στατιστικό εργαλείο XL STAT Pro. Το συγκεκριμένο λογισμικό προστίθεται στο Excel (ad-in) και μας επιτρέπει να επεξεργαστούμε δεδομένα χρησιμοποιώντας πολλές χρήσιμες στατιστικές μεθόδους, μια εκ των οποίων είναι και η PCA. Παρακάτω παρουσιάζουμε αναλυτικά τη μέθοδο που ακολουθήσαμε για την κατασκευή του δείκτη.

- I. Αρχικά προχωράμε σε κανονικοποίηση των δεδομένων των δεικτών, με χρήση του τύπου:

$$X_i = \frac{X_i - \text{MIN}(X_i)}{\text{MAX}(X_i) - \text{MIN}(X_i)}$$

Με τον τρόπο αυτό τα δεδομένα για κάθε δείκτη (i) εκφράζονται σε κλίμακα 0-1 με τη μηδενική τιμή να αντιστοιχεί στη χώρα με τη μικρότερη τιμή στο συγκεκριμένο δείκτη και η μονάδα στη χώρα με τη μεγαλύτερη τιμή.

- II. Στη συνέχεια καλούμε το XLSTAT και επιλέγουμε να επεξεργαστούμε τα κανονικοποιημένα δεδομένα με τη μέθοδο PCA.



Εικόνα 3.2: Κλήση XLSTAT και εφαρμογή PCA

- III. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται σε νέο tab του Excel. Εκεί παρουσιάζονται μεταξύ άλλων ο πίνακας συσχέτισης καθώς και οι επτά άξονες που αντιστοιχούν στα ιδιοδιανύσματα του πίνακα των δεδομένων.

Correlation matrix:								Eigenvectors:							
	DPED	NEID	PM	ML	OIL/GDP	OIL/TPES	Imports/GDP		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
DPED	1	-0,467	-0,471	-0,383	0,115	-0,836	-0,688	DPED	-0,409	0,370	0,066	0,363	0,405	0,229	0,586
NEID	-0,467	1	0,610	0,398	0,066	0,392	0,687	NEID	0,391	-0,031	0,421	0,716	-0,138	-0,368	0,041
PM	-0,471	0,610	1	0,677	0,504	0,382	0,756	PM	0,448	0,267	-0,008	-0,001	0,738	0,121	-0,411
ML	-0,383	0,398	0,677	1	0,368	0,080	0,443	ML	0,333	0,342	0,579	-0,539	-0,124	0,026	0,361
OIL/GDP	0,115	0,066	0,504	0,368	1	-0,245	0,368	OIL/GDP	0,153	0,643	-0,554	-0,007	-0,208	-0,452	0,088
OIL/TPES	-0,836	0,392	0,382	0,080	-0,245	1	0,597	OIL/TPES	0,344	-0,510	-0,301	-0,145	0,334	-0,281	0,566
Net Impor	-0,688	0,687	0,756	0,443	0,368	0,597	1	Net Impor	0,475	0,015	-0,292	0,210	-0,321	0,716	0,168

In bold, significant values (except diagonal) at the level of significance alpha=0,050 (two-tailed test)

Eigenvalues:							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Eigenvalu	3,731	1,670	0,620	0,584	0,215	0,105	0,075
% varianc	53,306	23,854	8,859	8,336	3,079	1,502	1,065
Cumulativ	53,306	77,160	86,019	94,355	97,433	98,935	100,000

Εικόνα 3.3: Αποτελέσματα Μεθόδου PCA

Από τα αποτελέσματα αυτά θα προκύψουν τα κύρια συστατικά της μεθόδου (principal components-PC's). Για κάθε χώρα ο κάθε δείκτης μετασχηματίζεται με τη βοήθεια των αξόνων (F₁-F₇) που αντιστοιχούν στα ιδιοδιανύσματα. Ουσιαστικά τα PC για κάθε χώρα(η) είναι επτά και υπολογίζονται:

$$PC_n = \sum_i X_i * F_k$$

Άρα για το πρώτο PC μιας χώρας χρησιμοποιούμε τον άξονα F₁. Κάθε δείκτης πολλαπλασιάζεται με την τιμή που αντιστοιχεί για το συγκεκριμένο άξονα και τα επτά γινόμενα που προκύπτουν προστίθενται. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Austria	0,339948	0,425558	0,237123	0,58197	0,606391	0,669475	0,669475
Belgium	0,593285	0,50321	0,113095	0,730722	0,551811	0,023863	0,633053
Bulgaria	0,82095	1,220362	-0,26139	0,646289	0,411574	0,046557	0,63777
Cyprus	1,459176	0,233356	-0,1146	0,233527	0,66664	-0,07422	0,559916
Czech Republic	0,466047	0,784531	0,059497	0,619425	0,445317	0,048589	0,561907
Denmark	-0,23875	0,169458	-0,045	0,262096	0,43844	0,100559	0,666524
Estonia	0,864368	1,015219	0,608446	0,237018	0,42242	0,015744	0,532953
Finland	0,318961	0,547069	0,290505	0,677458	0,615611	0,123899	0,658197
France	0,344336	0,427591	0,236556	0,630729	0,564627	0,067277	0,548333
Germany	0,173947	0,363589	0,241153	0,654813	0,40397	0,049784	0,734979
Greece	0,712445	0,40882	0,055538	0,592249	0,651849	-0,01993	0,586559
Hungary	0,444101	0,732942	0,079478	0,541953	0,50669	0,036583	0,597337
Ireland	0,576376	0,349585	0,202966	0,502268	0,63082	-0,03244	0,59152
Italy	0,350523	0,298199	0,173553	0,557279	0,457692	0,000126	0,631288
Latvia	0,860511	0,92031	0,318072	0,370612	0,631397	0,038207	0,665297
Lithuania	0,703318	0,854927	0,192378	0,485977	0,694046	0,129571	0,593022
Luxembourg	0,875001	0,392676	0,121793	0,337053	0,526936	-0,14063	0,674687
Malta	1,883637	0,004956	0,155699	0,431429	0,518203	0,175003	0,601975
Netherlands	0,411062	0,265793	0,218354	0,709144	0,222509	-0,03746	0,700228
Poland	0,476822	0,571504	0,082636	0,566388	0,396488	0,017472	0,459431
Portugal	0,63344	0,491363	0,047686	0,596759	0,650413	-0,00325	0,671089
Romania	0,366099	0,910081	-0,0135	0,457365	0,483445	-0,00433	0,676575
Slovakia	0,50862	0,840973	0,215295	0,543128	0,580373	0,114256	0,587181
Slovenia	0,603363	0,782358	0,176435	0,506252	0,60649	0,036021	0,744349
Spain	0,495462	0,447512	0,092237	0,660035	0,59228	0,021204	0,683878
Sweden	0,295824	0,445089	0,336463	0,683367	0,55193	0,094636	0,6114
United Kingdom	0,001383	0,268856	0,247163	0,281191	0,306893	0,074897	0,723466

Εικόνα 3.4: Υπολογισμός κυρίαρχων συστατικών (Principal Components)

Το πρώτο από τα κύρια συστατικά σχετίζεται με τη μεγαλύτερη διακύμανση των αρχικών δεικτών. Το δεύτερο κύριο συστατικό με το μεγαλύτερο ποσοστό της υπόλοιπης διακύμανσης και ούτω καθεξής. Τα κύρια συστατικά είναι όσα και οι αρχικοί δείκτες, ενώ τα κύρια συστατικά είναι ορθογώνια μεταξύ τους.

- IV. Τέλος υπολογίζουμε το συνολικό δείκτη τρωτότητας. Ο δείκτης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V.I. = \frac{\sum \lambda_i * P_i}{\sum \lambda_i}$$

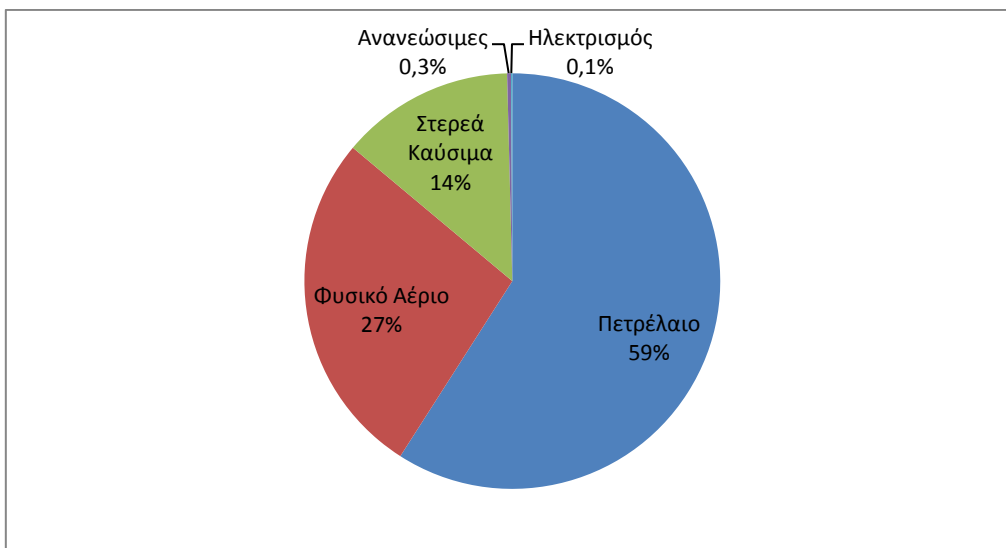
Βλέπουμε λοιπόν πως για την κατασκευή του δείκτη παίρνουμε ουσιαστικά έναν σταθμισμένο μέσο όρο των κυρίων συστατικών (PC's) με βάρη τις ιδιοτιμές του πίνακα δεδομένων (λ). Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε πως το άθροισμα των ιδιοτιμών ισούται με τη συνολική διακύμανση του δείκτη, ενώ κάθε ιδιοτιμή λ_i σχετίζεται με τη διακύμανση του αντίστοιχου κύριου συστατικού PC_i.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάσαμε αναλυτικά τον τρόπο εφαρμογής της PCA και τα υπολογιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε. Στη συνέχεια μπορούμε να προχωρήσουμε στην παράθεση των αποτελεσμάτων και στο σχολιασμό τους.

4. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

4.1 Γενικές Παρατηρήσεις

Όπως είχαμε αναφέρει και σε προηγούμενη ενότητα η Ευρωπαϊκή Ένωση μπορεί να αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας σε περιφερειακό επίπεδο, ωστόσο δεν διαθέτει αντίστοιχο πλούτο ενεργειακών πηγών. Για το λόγο αυτό προχωρά σε εισαγωγές ενέργειας για τα περισσότερα καύσιμα που χρειάζονται οι χώρες-μέλη. Η ενεργειακή εξάρτηση αποτελεί έναν από τους πλέον βασικούς παράγοντες που καθιστούν τις περισσότερες ευρωπαϊκές οικονομίες ευάλωτες στο πετρέλαιο. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του Γενικού Διευθυντηρίου Ενέργειας [European Commission-DG Energy] από τα 1014,95 εκατομμύρια τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (Mtoe) που εισήχθησαν στην Ε.Ε. το 2008, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν τα καύσιμα που κυριαρχούν. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται τα ποσοστά εισαγωγών το 2008.



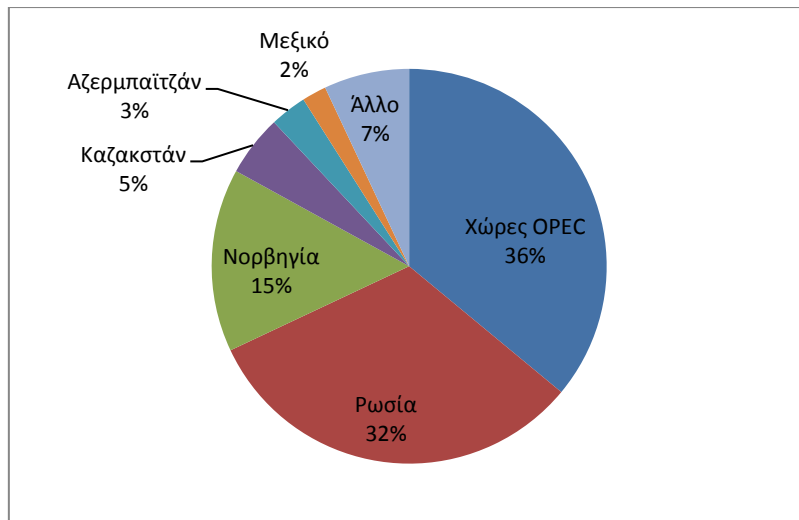
Γράφημα 4.1: Καθαρές Εισαγωγές Ενέργειας ανά Ενεργειακή Πηγή το 2008 στην Ε.Ε.

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την τρωτότητα κάθε χώρας είναι η διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος κάθε χώρας. Είναι προφανές πως μια χώρα όταν εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από μία συγκεκριμένη ενεργειακή πηγή, καθίσταται πολύ ευάλωτη σε απρόσμενα και δυσμενή γεγονότα που αφορούν στη συγκεκριμένη ενεργειακή πηγή.

Στη συνέχεια προχωράμε στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση με τη μέθοδο PCA και την κατασκευή ενός συνολικού δείκτη για τη μεταβλητότητα των καυσίμων.

4.2 Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Πετρελαίου (Oil Vulnerability Index-O.V.I.)

Το πετρέλαιο όπως αναφέραμε και παραπάνω αποτελεί το ενεργειακό καύσιμο που εισάγεται σε μεγαλύτερο βαθμό στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι περισσότερες χώρες της Ένωσης είναι εξαρτημένες από τις εισαγωγές πετρελαίου. Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται οι περιοχές προέλευσης των εισαγωγών πετρελαίου της Ε.Ε. για το 2008.



Γράφημα 4.2: Προέλευση Εισαγωγών Πετρελαίου Ε.Ε. το 2008

Από το γράφημα είναι προφανές πως οι χώρες του OPEC και η Ρωσία είναι οι κύριοι προμηθευτές πετρελαίου της Ε.Ε. Μεταξύ των χωρών αυτών συγκαταλέγονται και αρκετές χώρες της Μέσης Ανατολής στις οποίες επικρατεί πολιτική αστάθεια. Συγκεκριμένα το Ιράν από όπου προέρχεται το 4,92% των εισαγωγών πετρελαίου, το Ιράκ με ποσοστό 3,52%, η Συρία με ποσοστό 3,22%. Μία ακόμα χώρα στην οποία προέκυψε πρόσφατα σημαντική κοινωνικοπολιτική ένταση είναι η Λιβύη η οποία παρείχε το 10,56% των εισαγωγών πετρελαίου το 2008. Από την άλλη μεριά η Ρωσία μπορεί να μην κινδυνεύει από τέτοιες κρίσεις αλλά ενδέχεται να χρησιμοποιήσει τον ενεργειακό της πλούτο ως μια μορφή πολιτικής πίεσης. Η Ρωσία κατατάσσεται δεύτερη στη λίστα των χωρών με τη μεγαλύτερη παραγωγή πετρελαίου με μικρή διαφορά από τη Σαουδική Αραβία, σύμφωνα με στοιχεία της αμερικανικής αρχής EIA (Energy Information Administration). Να σημειώσουμε επίσης πως η Ρωσία διαθέτει ήδη αγωγό που συνδέει χώρες τις Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πρόκειται για τον αγωγό Druzhba Line I&II που διατρέχει τις χώρες: Ρωσία, Λευκορωσία, Πολωνία και Γερμανία και η δυναμικότητά του φτάνει τα 600 εκατομμύρια βαρέλια το χρόνο. Η Νορβηγία αποτελεί επίσης ένα σημαντικό προμηθευτή πετρελαίου για την Ένωση με ποσοστό 15% και με μειωμένο κίνδυνο. Από το 2002 διεξάγονται συζητήσεις μεταξύ Ε.Ε. και Νορβηγίας σε επίπεδο Επιτρόπων και Υπουργών. Σκοπός του ενεργειακού διαλόγου Ε.Ε.-Νορβηγίας είναι η εφαρμογή ενιαίων πολιτικών και η αύξηση της συνεργασίας των δύο μερών σε τομείς της ενέργειας όπως η έρευνα και η τεχνολογική πρόοδος. Η Νορβηγία έχει υπογράψει το Σύμφωνο της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Ζώνης (Europe Economic Area Agreement) και έτσι αποτελεί μέρος της Ευρωπαϊκής Αγοράς Ενέργειας. Η Νορβηγία προμηθεύει με πετρέλαιο κυρίως χώρες της Σκανδιναβίας και της Βόρειας Θάλασσας.

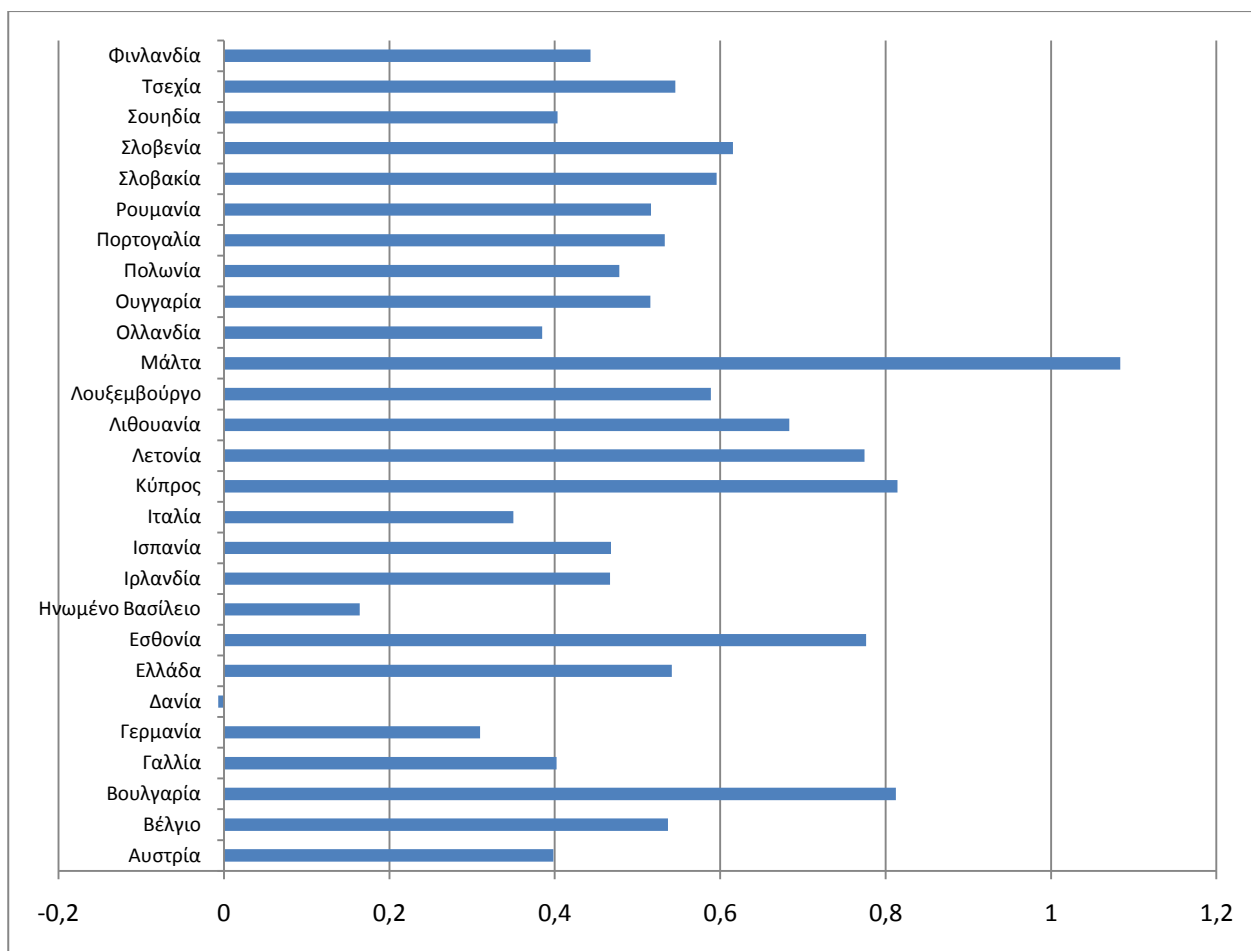
Επιπλέον, λειτουργεί ο αγωγός πετρελαίου NORPIPE που συνδέει Νορβηγία και Ηνωμένο Βασίλειο. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παρατηρήσεις μπορούμε να προχωρήσουμε στην παρουσίαση και στο σχολιασμό των αποτελεσμάτων της μελέτης μας.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα για τον ενιαίο δείκτη που μετρά την τρωτότητα των ευρωπαϊκών οικονομιών στο πετρέλαιο. Οι χώρες κατατάσσονται με αύξουσα αρίθμηση. Η χώρα με αριθμό 1 είναι η πλέον ευάλωτη ενώ η χώρα με αριθμό 27 η λιγότερο ευάλωτη.

ΧΩΡΑ	Oil Vulnerability Index (O.V.I.)	Σειρά Κατάταξης
Αυστρία	0,398	22
Βέλγιο	0,537	12
Βουλγαρία	0,813	3
Γαλλία	0,402	21
Γερμανία	0,31	25
Δανία	-0,007	27
Ελλάδα	0,541	11
Εσθονία	0,776	4
Ηνωμένο Βασίλειο	0,164	26
Ιρλανδία	0,467	18
Ισπανία	0,468	17
Ιταλία	0,35	24
Κύπρος	0,815	2
Λετονία	0,775	5
Λιθουανία	0,683	6
Λουξεμβούργο	0,589	9
Μάλτα	1,084	1
Ολλανδία	0,385	23
Ουγγαρία	0,516	15
Πολωνία	0,478	16
Πορτογαλία	0,533	13
Ρουμανία	0,516	14
Σλοβακία	0,596	8
Σλοβενία	0,615	7
Σουηδία	0,403	20
Τσεχία	0,546	10
Φινλανδία	0,443	19

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας για το Πετρέλαιο

Συγκριτικά τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 4.3: Συγκριτικά αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Πετρελαίου

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ομαδοποίησης K (K-clustering) του XLSTAT Pro μπορέσαμε να ομαδοποιήσουμε τις χώρες σε 5 ομάδες ανάλογα με το πόσο ευάλωτες είναι στο πετρέλαιο. Η αρίθμηση είναι με αύξουσα σειρά και η ομάδα 1 αντιστοιχεί στις πιο ευάλωτες χώρες με σταδιακή μείωση του βαθμού τρωτότητας μέχρι την ομάδα 5. Τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης φαίνονται παρακάτω.

ΟΜΑΔΑ	1	2	3	4	5
ΜΕΓΕΘΟΣ	2	4	9	7	5
	Μάλτα Κύπρος	Βουλγαρία Εσθονία Λετονία Λιθουανία	Βέλγιο Ελλάδα Λουξεμβούργο Ουγγαρία Πορτογαλία Ρουμανία Σλοβακία Σλοβενία Τσεχία	Γαλλία Αυστρία Ιρλανδία Ισπανία Ιταλία Πολωνία Φινλανδία	Δανία Ηνωμένο Βασίλειο Σουηδία Γερμανία Ολλανδία

Πίνακας 4.2:Ομαδοποίηση Χωρών με βάση το δείκτη Ο.Υ.Ι.

Από τα αποτελέσματα βλέπουμε πως οι πλέον ευάλωτες χώρες είναι η Μάλτα και η Κύπρος. Το αποτέλεσμα αυτό είναι απολύτως λογικό αφού και οι δύο αυτές χώρες έχουν ελάχιστη διαφοροποίηση μεταξύ των καυσίμων που καλύπτουν την ενεργειακή ζήτηση. Είναι χαρακτηριστικό πως στη Μάλτα το 99,9% της ζήτησης καλύπτεται από πετρέλαιο και μόλις το 0,1% από άλλες πηγές. Είναι λοιπόν μία χώρα εξολοκλήρου εξαρτημένη από το πετρέλαιο. Το ίδιο συμβαίνει και με την Κύπρο όπου 95% της πρωτογενούς ζήτησης ενέργειας καλύπτεται από πετρέλαιο. Επιπλέον οι δύο αυτές χώρες είναι και οι πλέον εξαρτημένες από τις εισαγωγές πετρελαίου. Ο δείκτης εξάρτησης εισαγωγών (Net Import Dependency) στην κανονικοποιημένη του μορφή έχει τιμή 1 για τη Μάλτα (τη μέγιστη τιμή δηλαδή) ενώ υψηλή είναι και η τιμή του δείκτη για την Κύπρο.

Στη συνέχεια της κατάταξης συναντάμε χώρες της Βαλτικής (Λετονία, Εσθονία) καθώς και της Βαλκανικής (Βουλγαρία). Κοινό χαρακτηριστικό των χωρών αυτών είναι η αυξημένη τρωτότητα σχετικά με το πετρέλαιο που συνδέεται κυρίως με τις υψηλές καταναλώσεις του καυσίμου. Χαρακτηριστικό είναι πως η Βουλγαρία είναι η χώρα με την μεγαλύτερη κατανάλωση πετρελαίου σε σχέση με το Α.Ε.Π. της. Αντίστοιχα η Λετονία είναι 4^η στην κατάταξη σχετικά με αυτό το δείκτη, η Εσθονία 7^η και η Λιθουανία 8^η. Οι χώρες αυτές εντάχθηκαν στην Ένωση με τις τελευταίες διευρύνσεις του 2004 και 2007. Συνεπώς θέλοντας να ακολουθήσουν το δυτικοευρωπαϊκό πρότυπο ανάπτυξης χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές ενεργειακής έντασης στο πετρέλαιο. Ωστόσο οι χώρες αυτές θα πρέπει να προχωρήσουν στον ταυτόχρονο εκσυγχρονισμό των υποδομών τους προκειμένου να συμβαδίσουν με τις υπόλοιπες χώρες σε ένα βιώσιμο και ανταγωνιστικό μέλλον.

Στην τρίτη ομάδα χωρών εντάσσονται χώρες με χαμηλότερη τρωτότητα σχετικά με το πετρέλαιο από τις χώρες που αναφέραμε παραπάνω. Οι χώρες αυτές παρουσιάζουν θετικές

επιδόσεις σε κάποιους από τους δείκτες μας και αρνητικές στους υπόλοιπους και έτσι το τελικό αποτέλεσμα είναι σε μία μέση τιμή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Ελλάδα η οποία καταλαμβάνει την ενδέκατη θέση στην τελική κατάταξη. Η χώρα μας παρουσιάζει μία σχετικά καλή επίδοση όσον αφορά στην ενεργειακή ένταση του πετρελαίου. Στο δείκτη κατανάλωσης πετρελαίου προς το Α.Ε.Π. η Ελλάδα βρίσκεται στη 15^η θέση. Ωστόσο οι επιδόσεις δεν είναι τόσο καλές σε άλλους δείκτες. Το ενεργειακό της μίγμα δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλη διαφοροποίηση ενώ κατατάσσεται ανάμεσα στις χώρες με σχετικά αυξημένο κοινωνικοπολιτικό ρίσκο καταλαμβάνοντας την 7^η θέση στο δείκτη PM. Επιπλέον η ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας είναι αυξημένη αφού στο αντίστοιχο δείκτη που μετρά τις καθαρές εισαγωγές προς το Α.Ε.Π. (NI/GDP) η Ελλάδα καταλαμβάνει την 8^η θέση. Στην ίδια ομάδα κατατάσσονται χώρες με σχετικά μεγάλη κατανάλωση πετρελαίου προς Α.Ε.Π. αλλά με περισσότερο διαφοροποιημένο ενεργειακό μίγμα. Η Ρουμανία και η Σλοβενία ανήκουν στην κατηγορία των χωρών που περιγράψαμε παραπάνω. Πρόκειται δηλαδή για χώρες που εντάχθηκαν σχετικά πρόσφατα στην Ε.Ε. και χαρακτηρίζονται από αυξημένη κατανάλωση πετρελαίου. Συγκεκριμένα η Ρουμανία κατατάσσεται δεύτερη αναφορικά με το δείκτη κατανάλωσης πετρελαίου προς Α.Ε.Π. ενώ η Σλοβενία 6^η. Ωστόσο και οι δύο αυτές χώρες παρουσιάζουν αρκετά διαφοροποιημένα μίγματα για την κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης και έτσι ο συνολικός βαθμός τρωτότητας πετρελαίου είναι χαμηλότερος.

Στην τρίτη ομάδα ανήκουν όμως και χώρες που παρουσιάζουν μία σχετικά ικανοποιητική εικόνα σε όλους σχεδόν τους επιμέρους δείκτες. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Ισπανίας η οποία καταλαμβάνει την 17^η θέση στην κατάταξη του δείκτη τρωτότητας πετρελαίου. Η Ισπανία παρουσιάζει μία καλή εικόνα σε όλους τους δείκτες χωρίς να υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις. Συγκεκριμένα κατατάσσεται 14^η ανάμεσα στις 27 χώρες με βάση την ενεργειακή της εξάρτηση από εισαγωγές (NI/GDP). Επιπλέον το ενεργειακό της μίγμα είναι σχετικά διαφοροποιημένο (17^η θέση στη σχετική κατάταξη) ενώ καλή είναι και η επίδοση στον τομέα της ενεργειακής έντασης και του πολιτικού ρίσκου αφού καταλαμβάνει την 16^η θέση στην κατάταξη και των δύο αυτών δεικτών (Κατανάλωση Πετρελαίου/Α.Ε.Π. και PM).

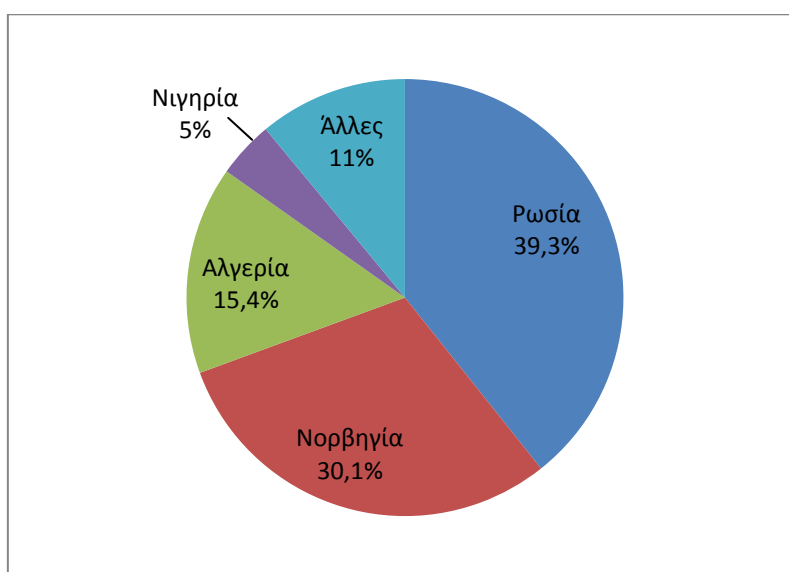
Η επόμενη παρατήρηση που μπορούμε να κάνουμε αναφορικά με τα αποτελέσματα είναι πως οι μεγαλύτερες οικονομίες της Ευρώπης, δηλαδή η Γερμανία, η Γαλλία και η Ιταλία βρίσκονται χαμηλά στην κατάταξη της διακύμανσης του πετρελαίου. Οι χώρες αυτές διαθέτουν ένα καλά διαφοροποιημένο ενεργειακό μίγμα και επίσης δεν έχουν μεγάλες

τιμές στο δείκτη κοινωνικοπολιτικού ρίσκου (PM). Θα πρέπει εδώ να παρατηρήσουμε πως τα τελευταία δέκα περίπου χρόνια παρατηρείται σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat πτώση στην κατανάλωση πετρελαίου στις χώρες αυτές.

Τέλος οι λιγότερο ευάλωτες χώρες είναι αυτές της Βόρειας Ευρώπης και της Σκανδιναβίας δηλαδή η Δανία, η Σουηδία, η Φινλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Οι χώρες της Σκανδιναβίας εκμεταλλεύονται τη γεωγραφική τους θέση και εισάγουν πετρέλαιο από τη Νορβηγία εξασφαλίζοντας έτσι σε ένα βαθμό την ενεργειακή τους ασφάλεια. Η Φινλανδία και η Σουηδία έχουν πολύ διαφοροποιημένα ενεργειακά μίγματα για την πρωτογενή ζήτηση. Η Φινλανδία συγκεκριμένα έχει το πλέον διαφοροποιημένο μίγμα μεταξύ των 27 ενώ εξίσου καλή επίδοση σημειώνει και η Σουηδία. Επιπλέον παρουσιάζουν χαμηλή ενεργειακή εξάρτηση. Η Φινλανδία καταλαμβάνει την 20^η θέση στην κατάταξη του δείκτη καθαρών εισαγωγών προς Α.Ε.Π. ενώ η Σουηδία την 23^η. Τέλος και οι δύο αυτές χώρες χαρακτηρίζονται από σχετικά μειωμένο πολιτικό ρίσκο. Η Δανία είναι η χώρα με το χαμηλότερο δείκτη τρωτότητας πετρελαίου. Το αποτέλεσμα εξηγείται αν αναλογιστεί κανείς τις πολύ καλές επιδόσεις της χώρας αυτής στους επιμέρους δείκτες. Η Δανία είναι η μοναδική χώρα της Ένωσης που έχει αρνητικές καθαρές εισαγωγές. Συνεπώς είναι η μοναδική χώρα της Ε.Ε. η οποία εξάγει περισσότερο πετρέλαιο από αυτό που εισάγει και είναι λογικό να είναι η λιγότερο εξαρτημένη από τις 27. Επιπλέον έχει ένα αρκετά καλά διαφοροποιημένο μίγμα καυσίμων για την κάλυψη της πρωτογενούς ενεργειακής ζήτησης και η κατανάλωση πετρελαίου προς το Α.Ε.Π. της είναι από τις χαμηλότερες στην Ένωση (26^η θέση στην κατάταξη). Τέλος η Δανία θεωρείται η χώρα με το μικρότερο κοινωνικοπολιτικό ρίσκο μεταξύ των 27 σύμφωνα με το δείκτη πολιτικής μέτρησης (PM). Εξίσου καλές επιδόσεις σημειώνει και το Ηνωμένο Βασίλειο. Παρόλο που το ενεργειακό μίγμα δεν είναι πολύ διαφοροποιημένο, η συγκεκριμένη χώρα έχει τη χαμηλότερη ενεργειακή ένταση πετρελαίου στην Ένωση, καταλαμβάνοντας την 27^η θέση στο δείκτη κατανάλωσης καυσίμου προς Α.Ε.Π. ενώ έχει χαμηλό κοινωνικοπολιτικό ρίσκο και χαμηλή ενεργειακή εξάρτηση (26^η θέση και στους δύο αντίστοιχους δείκτες). Δεν πρέπει επίσης να ξεχνάμε πως το Ηνωμένο Βασίλειο είναι από τις λίγες χώρες της Ένωσης με σημαντική παραγωγή πετρελαίου.

4.3 Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Φυσικού Αερίου (Gas Vulnerability Index – G.V.I.)

Όπως παρουσιάστηκε στο Γράφημα 1, οι εισαγωγές φυσικού αερίου αποτέλεσαν το 27% των καθαρών εισαγωγών ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2008. Επομένως, μετά το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο συνιστά το καύσιμο το οποίο εισάγεται στην Ε.Ε. σε μεγαλύτερο βαθμό και καθιστά τις χώρες της τρωτές στις μεταβολές του. Κατ'αντιστοιχία με το πετρέλαιο, στο ακόλουθο γράφημα αποτυπώνονται οι περιοχές προέλευσης των εισαγωγών φυσικού αερίου για το 2008.



Γράφημα 4.4: Προέλευση Εισαγωγών Φυσικού Αερίου Ε.Ε. το 2008

Παρατηρούμε ότι η κύρια πηγή εισαγωγής φυσικού αερίου για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η Ρωσία, με ποσοστό που αγγίζει το 40% ενώ δεύτερη ακολουθεί η Νορβηγία με ποσοστό κοντά στο 30%. Σε ποσοστά της τάξης του 15% συνεισφέρει η Αλγερία και 5% η Νιγηρία ενώ το υπόλοιπο 11% των εισαγωγών προέρχεται από άλλες χώρες.

Με βάση το ετήσιο World Factbook, που εκδίδεται από την Κεντρική Υπηρεσία Πληροφοριών (CIA) των Ηνωμένων Πολιτειών, με βασικά στοιχεία και πληροφορίες για όλες τις χώρες, η Ρωσία κατατάσσεται δεύτερη στην ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου μετά τις Η.Π.Α.. Για τη μεταφορά του φυσικού αερίου στις χώρες της Ε.Ε. διαθέτει αγωγούς με τις εξής συνδέσεις:

- Εσθονία – Ρωσία (Serpuukhov – St. Petersburg – Tallinn)
- Εσθονία – Λετονία - Ρωσία (Valday – Pskov – Riga)
- Φιλανδία – Ρωσία (St. Petersburg – Vyborg – Imatra)
- Λιθουανία – Ρωσία (Vilnius – Kaliningrad)
- Ρωσία – Πολωνία – Γερμανία (Yamal – Europe)
- Ρωσία – Σλοβακία – Δημοκρατία της Τσεχίας – Γερμανία – Γαλλία (Soyuz Export Line)

Παράλληλα, έχει ήδη σχεδιασθεί αγωγός που θα συνδέει τη Ρωσία με τη Βουλγαρία (South Stream) ενώ υπό κατασκευή βρίσκεται αγωγός που διατρέχει τις χώρες της Ρωσίας, Φιλανδίας, Σουηδίας, Δανίας και Γερμανίας (Nord Stream). Παρατηρούμε λοιπόν ότι η Ρωσία διαθέτει οργανωμένη υποδομή για την εξαγωγή φυσικού αερίου προς τις χώρες της Ε.Ε., με αποτέλεσμα οι χώρες στις οποίες εξάγει να είναι έντονα εξαρτώμενες από αυτήν, αφού ενίοτε η Ρωσία χρησιμοποιεί αυτή της τη δυναμική ως μέσο άσκησης πολιτικής πίεσης.

Η *Νορβηγία*, η οποία βρίσκεται στην έκτη θέση της παγκόσμιας κατάταξης χωρών με παραγωγή φυσικού αερίου, διαθέτει αντίστοιχα ένα ισχυρό δίκτυο αγωγών που εκτείνεται σε ποικίλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ως εξής:

- Νορβηγία – Δανία – Γερμανία με τους αγωγούς Europipe I & II, Norpipe
- Νορβηγία – Δανία – Γερμανία – Ολλανδία – Βέλγιο με τον αγωγό Zeerpipe I A
- Νορβηγία – Δανία – Γερμανία – Ολλανδία – Βέλγιο – Γαλλία με τον αγωγό Franpipe
- Νορβηγία – Ηνωμένο Βασίλειο με τους αγωγούς Langeled, Statfjord A-South, Statfjord C-South, Vesterled

Ενώ προγραμματίζονται 2 ακόμα συνδέσεις μεταξύ Νορβηγίας – Δανίας και Νορβηγίας – Σουηδίας με τους αγωγούς Trym – Harald και Hjartoy – Sweden αντίστοιχα. Παρατηρούμε επομένως ότι η Νορβηγία αποτελεί βασικό προμηθευτή φυσικού αερίου για τις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης και της Βόρειας Θάλασσας. Γνωρίζοντας επομένως το βασικό δίκτυο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στις χώρες της Ένωσης, είμαστε σε θέση να σχολιάσουμε στη συνέχεια με μεγαλύτερη σαφήνεια τα αποτελέσματα της μεθόδου.

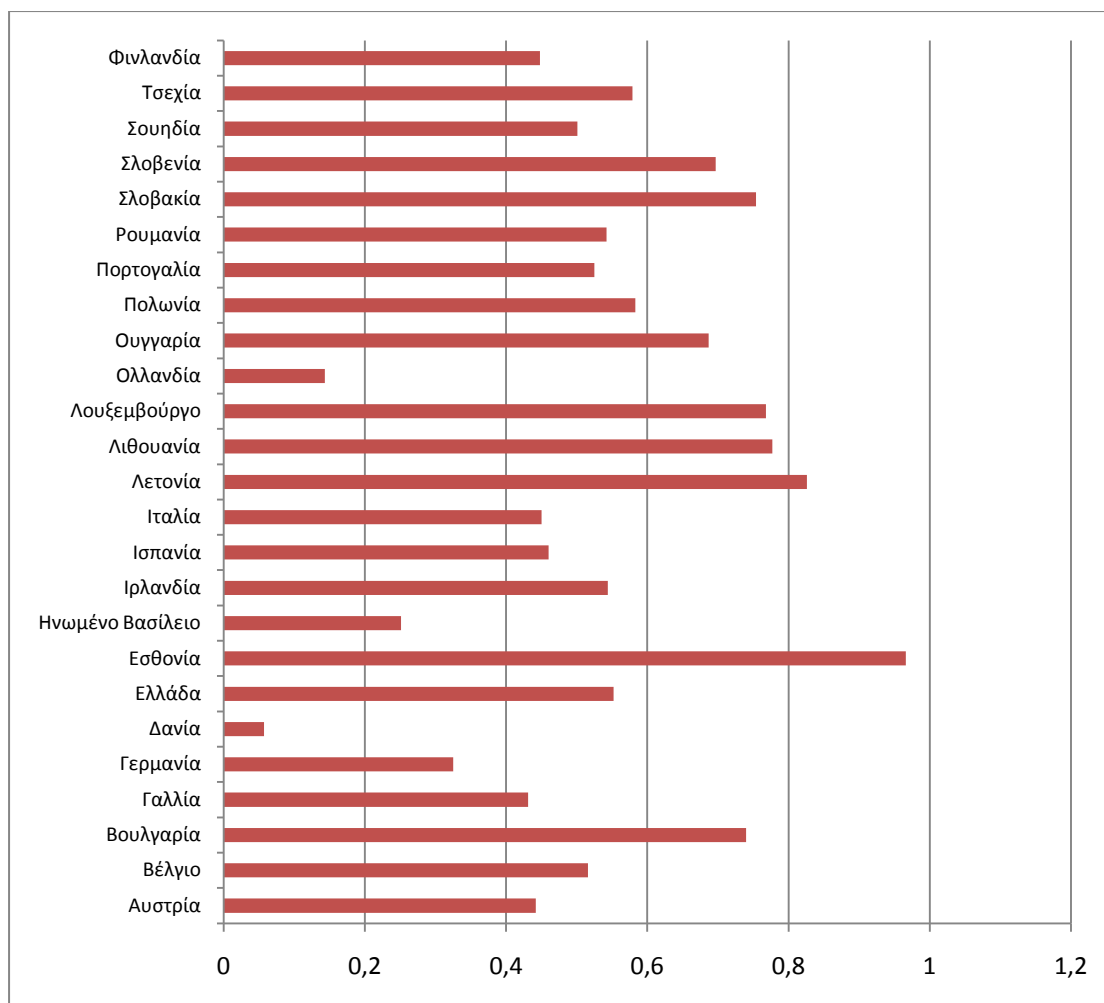
Ακολούθως, όπως παρουσιάστηκε για το δείκτη τρωτότητας του πετρελαίου, δίνεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα για το δείκτη τρωτότητας στο φυσικό αέριο των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Να σημειωθεί ότι στη μέθοδο δε συνυπολογίστηκαν η Κύπρος και η

Μάλτα καθώς η πρωτογενής κατανάλωση του φυσικού αερίου στις χώρες αυτές είναι μηδενική. Επομένως, η χώρα που σημειώνεται με τον αριθμό 1 αντιστοιχεί στην πλέον ευάλωτη χώρα και η χώρα με τον αριθμό 25 στη λιγότερο τρωτή στις μεταβολές χώρα.

ΧΩΡΑ	Gas Vulnerability Index (G.V.I.)	Σειρά Κατάταξης
Αυστρία	0,442	20
Βέλγιο	0,516	15
Βουλγαρία	0,74	6
Γαλλία	0,431	21
Γερμανία	0,325	22
Δανία	0,057	25
Ελλάδα	0,552	11
Εσθονία	0,966	1
Ηνωμένο Βασίλειο	0,251	23
Ιρλανδία	0,544	12
Ισπανία	0,46	17
Ιταλία	0,45	18
Λετονία	0,826	2
Λιθουανία	0,777	3
Λουξεμβούργο	0,768	4
Ολλανδία	0,143	24
Ουγγαρία	0,687	8
Πολωνία	0,583	9
Πορτογαλία	0,525	14
Ρουμανία	0,542	13
Σλοβακία	0,754	5
Σλοβενία	0,697	7
Σουηδία	0,501	16
Τσεχία	0,579	10
Φινλανδία	0,448	19

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας για το Φυσικό Αέριο

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων γραφικά γίνεται ακολούθως:



Γράφημα 4.5: Συγκριτικά αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας Φυσικού Αερίου

Με την ίδια διαδικασία που ακολουθήσαμε και για το δείκτη τρωτότητας του πετρελαίου, ομαδοποιούμε τις 25 χώρες σε 5 ομάδες ανάλογα με το πόσο ευάλωτες είναι στο φυσικό αέριο. Η αρίθμηση είναι ξανά με αύξουσα σειρά και η ομάδα 1 αντιστοιχεί στις πιο ευάλωτες χώρες με σταδιακή μείωση του βαθμού τρωτότητας μέχρι την ομάδα 5. Τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

ΟΜΑΔΑ	1	2	3	4	5
ΜΕΓΕΘΟΣ	2	6	7	7	3
	Εσθονία Λετονία	Βουλγαρία Ουγγαρία Λιθουανία Λουξεμβούργο Σλοβακία Σλοβενία	Βέλγιο Τσεχία Ελλάδα Ιρλανδία Ρουμανία Πολωνία Πορτογαλία	Φινλανδία Γαλλία Γερμανία Ιταλία Ισπανία Αυστρία Σουηδία	Δανία Ολλανδία Ηνωμένο Βασίλειο

Πίνακας 4.4: Ομαδοποίηση Χωρών με βάση το δείκτη G.V.I.

Παρατηρούμε από την παραπάνω ομαδοποίηση ότι στην 1^η ομάδα με τις πλέον ευάλωτες χώρες ανήκουν η Εσθονία κι η Λετονία. Η Εσθονία δικαίως ανήκει σε αυτή την κατηγορία, δεδομένου ότι η διαφοροποίηση που εμφανίζει σε σχέση με την πρωτογενή ενεργειακή ζήτηση είναι περιορισμένη. Η ζήτηση στο μεγαλύτερο ποσοστό της αφορά τεχνολογίες άνθρακα ενώ το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και οι ανανεώσιμες πηγές συνεισφέρουν σε πολύ μικρότερο βαθμό στο ενεργειακό της μίγμα. Επίσης, η υψηλή τιμή των δεικτών εξάρτησης από καθαρές εισαγωγές και καθαρών εισαγωγών προς το Α.Ε.Π. υποδεικνύουν μια χώρα υψηλά εξαρτώμενη από εισαγωγές και, κατά συνέπεια, τρωτή σε οποιαδήποτε πολιτική ή διπλωματική αστάθεια. Να σημειωθεί εντούτοις ότι η Εσθονία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή σε δείκτη αγοραστικής ρευστότητας, γεγονός που υπογραμμίζει ότι οι εισαγωγές καυσίμων της χώρας δεν επηρεάζουν την παγκόσμια αγορά. Η Λετονία, παρουσιάζοντας κι αυτή υψηλή ενεργειακή εξάρτηση από εισαγωγές αλλά και αυξημένη κατανάλωση φυσικού αερίου προς τη συνολική πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση (6^η στην κατάταξη για τον αντίστοιχο δείκτη), κρίνεται ως χώρα ιδιαίτερα ευάλωτη στη διακύμανση του φυσικού αερίου.

Στη 2^η ομάδα, ανήκουν χώρες όπως η Σλοβακία και η Ουγγαρία, οι οποίες σημειώνουν τις δύο υψηλότερες τιμές για το δείκτη ενεργειακής εξάρτησης από εισαγωγές (NID). Αποτέλεσμα αυτής της εξάρτησης είναι ο συνολικός δείκτης τρωτότητας G.V.I. των χωρών αυτών να κυμαίνεται σε αυξημένα επίπεδα. Η αυξημένη τρωτότητα της Ουγγαρίας στο φυσικό αέριο οφείλεται επιπλέον στην ιδιαίτερα μεγάλη κατανάλωση του καυσίμου προς το Α.Ε.Π. αλλά και στον υψηλό δείκτη εισαγωγών προς το Α.Ε.Π. (NI/GDP). Ο τελευταίος δείκτης εμφανίζεται ιδιαίτερα αυξημένος και για τη Βουλγαρία, τοποθετώντας την έτσι στην 6^η θέση της συνολικής κατάταξης. Η Λιθουανία κατατάσσεται με τη σειρά της σε αυτή την κατηγορία χωρών εξαιτίας του μεγάλου κοινωνικοπολιτικού ρίσκου που εμφανίζει (υψηλότερη τιμή δείκτη PM μαζί με τη Λετονία) και της υψηλής εξάρτησης καθαρών

εισαγωγών (4^η κατά σειρά μεταξύ των 25 χωρών). Τέλος, το Λουξεμβούργο εμφανίζει το χαμηλότερο δείκτη διαφοροποίησης πρωτογενούς ζήτησης, αφού το ενεργειακό του χαρτοφυλάκιο αποτελείται σε ποσοστό σχεδόν 65% από πετρέλαιο και 30% από φυσικό αέριο, με συνέπεια ο ενεργειακός εφοδιασμός του να κρίνεται ευάλωτος.

Στην 3^η κατηγορία συναντάμε χώρες που ανήκουν σε διάφορα σημεία του χάρτη της Ευρώπης, με τα κριτήρια τρωτότητας που τις κατατάσσουν σε αυτές τις θέσεις να ποικίλλουν. Σε αυτή την κατηγορία συναντάμε την Ελλάδα και την Πορτογαλία λόγω του έντονου γεωπολιτικού ρίσκου που τις χαρακτηρίζει –βρίσκονται σε στρατηγικές θέσεις στο χάρτη της Ευρώπης. Να σημειωθεί ότι η Ελλάδα παρουσιάζει σχετικά υψηλό δείκτη αγοραστικής ρευστότητας, γεγονός που της παρέχει καλύτερη ενεργειακή ασφάλεια. Το Βέλγιο, ενώ παρουσιάζει σχετικά ικανοποιητικές τιμές δεικτών, βρίσκεται στην κατηγορία αυτή δεδομένου της υψηλού δείκτη εισαγωγών προς το Α.Ε.Π. της χώρας. Εν συνεχεία, η Ρουμανία κατατάσσεται συνολικά στην 13^η θέση με κυριότερο λόγο την αυξημένη κατανάλωση φυσικού αερίου προς το Α.Ε.Π., αφού καταλαμβάνει και την 1^η θέση στην κατάταξη του συγκεκριμένου δείκτη. Τέλος, η Ιρλανδία, η Πολωνία και η Τσεχία κατατάσσονται σε αυτή την κατηγορία χωρών, σημειώνοντας δείκτες σε μέτρια εν γένει επίπεδα.

Η επόμενη ομάδα, η οποία περιλαμβάνει χώρες με χαμηλή τρωτότητα στη διακύμανση του φυσικού αερίου, συνίσταται από χώρες με ισχυρές οικονομίες και διαφοροποιημένα ενεργειακά χαρτοφυλάκια. Χαρακτηριστικά η Φινλανδία παρουσιάζει το καλύτερα διαφοροποιημένο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο, αφού περιλαμβάνει ικανά ποσοστά από όλες σχεδόν τις τεχνολογίες και παράλληλα εξασφαλίζει το συνεχή ενεργειακό εφοδιασμό της σε φυσικό αέριο από τη Ρωσία, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Επίσης, χώρες όπως η Ισπανία, η Ιταλία, η Γερμανία και η Αυστρία, που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, εμφανίζουν ιδιαίτερη πολιτική σταθερότητα και έτσι θεωρούνται ως λιγότερο τρωτές χώρες αναφορικά με το φυσικό αέριο. Τέλος, η Σουηδία ανήκει εύλογα σε αυτή την κατηγορία αφού χαρακτηρίζεται από τον υψηλότερο δείκτη αγοραστικής ρευστότητας, με τους υπόλοιπους δείκτες να εμφανίζουν εξίσου καλές επιδόσεις.

Τέλος, λιγότερο ευάλωτες χώρες κρίνονται το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ολλανδία και η Δανία. Όπως και στη περίπτωση του πετρελαίου, η Δανία εμφανίζεται σε αυτήν την κατηγορία δεδομένου ότι έχει αρνητικές καθαρές εισαγωγές φυσικού αερίου. Αυτό σημαίνει ότι εξάγει περισσότερο φυσικό αέριο από ότι εισάγει. Αντίθετα με την περίπτωση του πετρελαίου, όπου ήταν η μοναδική χώρα με αυτό το χαρακτηριστικό, στην περίπτωση του φυσικού

αερίου η Ολλανδία έχει επιτύχει υψηλότερα ποσοστά εξαγωγών με αποτέλεσμα να καθίσταται χώρα ιδιαίτερα σταθερή στη διακύμανση του καυσίμου αυτού. Τέλος, το Ηνωμένο Βασίλειο κατατάσσεται ως μία από τις λιγότερο τρωτές χώρες εξαιτίας της έντονης πολιτικής σταθερότητας που το διακρίνει, αλλά και της ιδιαίτερα χαμηλής εξάρτησής του σε καθαρές εισαγωγές. Αξίζει να σημειώσουμε ότι όλες οι χώρες υψηλής ενεργειακής ασφάλειας προμηθεύονται φυσικό αέριο από τους κύριους εισαγωγείς της Ε.Ε., τη Ρωσία (Γερμανία, Γαλλία, Φινλανδία) και τη Νορβηγία (Ηνωμένο Βασίλειο, Δανία, Ολλανδία, Γαλλία, Γερμανία).

Εν κατακλείδι, παρατηρούμε ότι τόσο στην περίπτωση του πετρελαίου όσο και στην περίπτωση του φυσικού αερίου, οι χώρες παρουσιάζουν μια σχετική ομοιογένεια στην κατάταξή τους. Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι οι δείκτες που επιλέξαμε είναι κοινοί σε κάθε περίπτωση και αφετέρου στο γεγονός ότι μια χώρα με αδυναμίες στον ενεργειακό της σχεδιασμό θα είναι ευάλωτοι και στα δύο υπό μελέτη καύσιμα. Συνεπώς, περισσότερο ευάλωτες κρίνονται χώρες όπως η Εσθονία, η Λετονία, η Βουλγαρία κι η Λιθουανία δεδομένου ότι είναι οικονομίες με έντονη ενεργειακή εξάρτηση από καθαρές εισαγωγές και ευάλωτες σε γεωπολιτικές μεταβολές. Αντίθετα, ενεργειακά ασφαλείς χώρες αναδεικνύονται αυτές που χαρακτηρίζονται από πολιτική σταθερότητα, αυξημένη αγοραστική ρευστότητα και χαμηλή έως μηδαμινή εξάρτηση από εισαγωγές, όπως η Δανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ολλανδία κι η Γερμανία. Η Ελλάδα κατατάσσεται 11^η και στους δύο καθολικούς δείκτες, σημειώνοντας καλές επιδόσεις σε δείκτες όπως η ενεργειακή ένταση και λιγότερο ικανοποιητικές σε δείκτες που αφορούν την εξάρτηση εισαγωγών, τη διαφοροποίηση και το πολιτικό ρίσκο.

4.4 Προοπτικές Επέκτασης της Μελέτης

Η παραπάνω μελέτη για την τρωτότητα των ευρωπαϊκών οικονομιών θα μπορούσε να επεκταθεί σε περισσότερα ενεργειακά καύσιμα από τα οποία εξαρτάται ο ενεργειακός σχεδιασμός. Συγκεκριμένα πολλές από τις ευρωπαϊκές χώρες εξαρτώνται από την κατανάλωση άνθρακα αλλά και πυρηνικών. Επιπλέον, η μελέτη θα μπορούσε να εμπλουτιστεί εισάγοντας περισσότερους δείκτες που θα σχετίζονταν και με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τομέα της ενέργειας. Η εισαγωγή του συστήματος εμπορίας εκπομπών άνθρακα (Emission Trading Scheme- ETS) εισάγει μία νέα παράμετρο

στους ενεργειακούς σχεδιασμούς καθώς επιβαρύνει σημαντικά τις χώρες με ρυπογόνες επιχειρήσεις.

Τέλος θα είχε ενδιαφέρον να αξιολογηθεί η τρωτότητα των οικονομιών σε βάθος χρόνου ώστε να δούμε κατά πόσο οι αλλαγές στην ενεργειακή πολιτική επηρέασαν διαχρονικά το βαθμό έκθεσης των οικονομιών αυτών σε δυσμενή γεγονότα που σχετίζονται με τις ενεργειακές πηγές.

ΜΕΡΟΣ Β

Η ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΘΕΩΡΙΑ

ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ

5. Η Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου

5.1 Εισαγωγή

Το 1952 ο καθηγητής Harry Markowitz διατύπωσε την Σύγχρονη Θεωρία του Χαρτοφυλακίου (Modern portfolio theory, MPT) στο άρθρο του "Portfolio Selection" που δημοσιεύτηκε στην εφημερίδα Journal of Finance. Η Σύγχρονη Θεωρία του Χαρτοφυλακίου πρότεινε την κατασκευή αποδοτικά διαφοροποιημένων χαρτοφυλακίων για την ανάληψη επενδύσεων και αποτέλεσε σταθμό στην νεότερη ιστορία των χρηματοοικονομικών. Ως χαρτοφυλάκιο ορίζεται η κατοχή ενός συνόλου χρεογράφων, κάθε ένα από τα οποία συμμετέχει στο χαρτοφυλάκιο με κάποια αναλογία. Η αναλογία αυτή προσδιορίζεται βάσει της αξίας του κάθε χρεογράφου σε σχέση με τη συνολική αξία του χαρτοφυλακίου.

Ο Markowitz χαρακτηριστικά χωρίζει τη διαδικασία επιλογής χαρτοφυλακίου σε δύο στάδια: το πρώτο στάδιο αφορά στην παρατήρηση και την εμπειρία και ολοκληρώνεται με τις πεποιθήσεις σχετικά με τις μελλοντικές αποδόσεις των διαθέσιμων αξιόγραφων. Το δεύτερο στάδιο αρχίζει με τις πεποιθήσεις σχετικά με τις αποδόσεις και τελειώνει με την επιλογή του χαρτοφυλακίου. Στη δημοσίευση του ο Markowitz ασχολείται αναλυτικά με το δεύτερο στάδιο, την επιλογή του βέλτιστου χαρτοφυλακίου από τα διαθέσιμα αξιόγραφα σύμφωνα με τις μελλοντικές αποδόσεις αυτών.

Η Θεωρία του Χαρτοφυλακίου στηρίζεται σε κάποιες καίριες παραδοχές, οι οποίες κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν, προτού παρατεθεί η περαιτέρω ανάλυση της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα θεωρείται ότι:

- Κάθε επενδυτής επιθυμεί να μεγιστοποιήσει την απόδοση μιας επένδυσης για ένα δεδομένο επίπεδο ρίσκου.
- Όλοι οι επενδυτές αποστρέφονται τον κίνδυνο. Χαρακτηριστικά, για ένα δεδομένο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης, θα επιλέξουν την εναλλακτική με το χαμηλότερο ρίσκο.
- Το ρίσκο, ή αλλιώς ο κίνδυνος, ενός χαρτοφυλακίου υπολογίζεται με βάση τη διακύμανση της αναμενόμενης απόδοσης.
- Η αναμενόμενη απόδοση μίας επένδυσης για μία συγκεκριμένη περίοδο αναπαρίσταται από μία κατανομή πιθανοτήτων όλων των πιθανών εκβάσεων και των αντίστοιχων αποδόσεων.

- Οι επενδυτές μεγιστοποιούν την αναμενόμενη χρησιμότητα μιας χρονικής περιόδου, με τις καμπύλες να παρουσιάζουν ελαττούμενη οριακή χρησιμότητα του πλούτου.
- Οι επενδυτές λαμβάνουν αποφάσεις αποκλειστικά με βάση την αναμενόμενη απόδοση και το ρίσκο, επομένως οι καμπύλες αδιαφορίας αυτών είναι συνάρτηση μόνο της αναμενόμενης απόδοσης και της αναμενόμενης διακύμανσης της απόδοσης.

Η θεωρία του Harry Markowitz, επομένως, αποδεικνύει πως η κατάλληλη διαφοροποίηση ενός χαρτοφυλακίου, δηλαδή ο συνδυασμός χρεογράφων με συγκεκριμένα στατιστικά χαρακτηριστικά, μπορεί να συμβάλλει τόσο στη μείωση του ρίσκου, όσο και στην αύξηση της αναμενόμενης απόδοσης. Η βασική έννοια που πρέπει, λοιπόν, να εισαχθεί είναι αυτή του αποδοτικού χαρτοφυλακίου, η οποία ορίζεται ως εξής: «Ένα χαρτοφυλάκιο θεωρείται αποδοτικό εάν και μόνο εάν δεν υπάρχει κάποιο άλλο το οποίο να προσφέρει υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση με το ίδιο ή χαμηλότερο ρίσκο, ή αντίστοιχα χαμηλότερο ρίσκο με την ίδια ή υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση».

Κρίνεται συνεπώς απαραίτητο να προσδιοριστούν τα στατιστικά μεγέθη της απόδοσης και του κινδύνου, βάσει των οποίων καταstrώνεται το εκάστοτε χαρτοφυλάκιο.

5.2 Ιστορική αναδρομή

Κάθε επενδυτής έως το 1952 θεωρούσε ως βέλτιστη επιλογή επένδυσης, είτε τη μετοχή με τη μεγαλύτερη αναμενόμενη απόδοση, είτε κάθε συνδυασμό δύο μετοχών με βέλτιστη απόδοση, ο οποίος έδινε κι ένα βέλτιστο χαρτοφυλάκιο.

Ο Harry Markowitz κατέρριψε αυτή τη θεωρία και τόνισε πως στόχος είναι να βρεθούν οι συνδυασμοί για τους οποίους δεν υπάρχει, για δεδομένο επίπεδο απόδοσης, άλλος συνδυασμός με χαμηλότερο ρίσκο, ούτε και το αντίστροφο. Υποστήριξε επίσης ότι με τη διαφοροποίηση υπάρχει σίγουρα ένα χαρτοφυλάκιο, το οποίο είναι περισσότερο ελκυστικό στους επενδυτές από οποιαδήποτε μετοχή ξεχωριστά, χωρίς αυτό να υποδηλώνει ότι κάθε χαρτοφυλάκιο που έχει προκύψει με διαφοροποίηση είναι ανώτερο κάθε μεμονωμένου. Για να συμβεί αυτό, είναι απαραίτητο η διαφοροποίηση να γίνεται βάση αντικειμενικών κριτηρίων και στοχευμένη στις προθέσεις του εκάστοτε επενδυτή για ανάληψη ρίσκου.

Το 1958, ο James Tobin με το άρθρο του “Liquidity preference as a behaviour towards risk” τόνισε τη σημασία που έχει για τον επενδυτή η διατήρηση ενός μέρους του κεφαλαίου του σε μορφή η οποία δεν εμπεριέχει κίνδυνο. Σημείωσε ότι το κριτήριο για την επιλογή μεταξύ χαρτοφυλακίων διαφορετικής αναμενόμενης απόδοσης, είναι η στάση του επενδυτή απέναντι στον κίνδυνο και διέκρινε, βάσει αυτού, 3 τύπους επενδυτών:

1. Ο *ουδέτερος* προς τον κίνδυνο, ο οποίος είναι αδιάφορος ως προς το ρίσκο των επιλογών του και η καμπύλη χρησιμότητας παριστάνεται με μία ευθεία γραμμή.
2. Ο *συντηρητικός* επενδυτής, ο οποίος εκτιμά ότι οι προοπτικές των κερδών του είναι μικρότερες από την αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου. Σε αυτήν την περίπτωση, η οριακή χρησιμότητα αυξάνεται αλλά με φθίνοντα ρυθμό.
3. Ο *ριψοκίνδυνος* επενδυτής, ο οποίος θεωρεί ότι οι προοπτικές κέρδους είναι υψηλότερες από την αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου. Η οριακή χρησιμότητα εδώ αυξάνεται με αύξοντα ρυθμό.

Η σημασία του έργου του Tobin έγκειται στο γεγονός ότι εισήγαγε το αξιόγραφο μηδενικού κινδύνου (risk-free asset). Συνδυάζοντας το αξιόγραφο αυτό με ένα χαρτοφυλάκιο, που ανήκει στο σύνορο βέλτιστων επιλογών, επιτυγχάνονται αποδόσεις υπέρτερες των χαρτοφυλακίων που ανήκουν στο σύνορο αυτό με το ίδιο ποσοστό κινδύνου, ή αντίστροφα μικρότερο ποσοστό κινδύνου για τις ίδιες αποδόσεις.

5.3 Η έννοια της απόδοσης

Ως απόδοση ορίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της αξίας της επένδυσης κατά τη διάρκεια του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος. Η έννοια της απόδοσης, σε κάθε περίπτωση επένδυσης, αναφέρεται ως προβλεπόμενο μέγεθος και νοείται ως αναμενόμενη απόδοση, δεδομένου ότι η μελλοντική εξέλιξη μιας επένδυσης δε μπορεί να προσδιοριστεί με βεβαιότητα.

Ο υπολογισμός της αναμενόμενης απόδοσης, όσον αφορά επενδύσεις που αναφέρονται σε χρεόγραφα, υπολογίζεται με βάση το στατιστικό μέγεθος της μέσης τιμής. Λαμβάνοντας ως δεδομένα τις παρελθοντικές τιμές απόδοσης των χρεογράφων, ο υπολογισμός της μέσης τιμής στηρίζεται σε ιστορικά στοιχεία που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των χρεογράφων σε βάθος μιας δεδομένης χρονικής περιόδου. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι όσο περισσότερα σε πλήθος είναι τα ιστορικά στοιχεία που χρησιμοποιούμε, δηλαδή όσο

μεγαλύτερη είναι η χρονική περίοδος την οποία εξετάζουμε, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια είμαστε ικανοί να επιτύχουμε στον υπολογισμό της αναμενόμενης απόδοσης.

Προκύπτει με μαθηματικούς λυιπόν όρους, ότι για ένα διαθέσιμο δείγμα N διαφορετικών παρελθοντικών αποδόσεων ενός χρεογράφου, η αναμενόμενη απόδοση $E(r)$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E(r) = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{N}$$

Η μέση αριθμητική απόδοση αποτελεί το συνηθέστερο τρόπο προσδιορισμού της αναμενόμενης απόδοσης μια επένδυσης.

5.4 Η έννοια του κινδύνου

Η απόφαση του επενδυτή να αποκτήσει ένα χρεόγραφο βασίζεται κυρίως σε εκτιμήσεις όσον αφορά την αναμενόμενη απόδοση, οι οποίες αναπόφευκτα εμπεριέχουν κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Με αυτόν τον τρόπο εντάσσεται στην ανάλυση η έννοια του κινδύνου. Ως κίνδυνος ορίζεται η πιθανότητα τα αποτελέσματα της επένδυσης να διαφέρουν από τις εκτιμήσεις του επενδυτή, και ποσοτικά δίνεται από τη διακύμανση των αποτελεσμάτων της επένδυσης ως προς την απόδοση γύρω από την τιμή-εκτίμηση που έχει δοθεί για την αναμενόμενη απόδοση αυτής.

Ως μέτρο του κινδύνου, ή εναλλακτικά του ρίσκου, της εκάστοτε επένδυσης, χρησιμοποιείται η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης V της απόδοσης, γύρω από την αναμενόμενη τιμή $E(r)$. Ο τύπος της τυπικής απόκλισης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [r_i - E(r)]^2}{N}}$$

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι όσο υψηλότερη είναι η τυπική απόκλιση, τόσο υψηλότερη είναι η διακύμανση και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος της επένδυσης.

➤ Κατηγορίες κινδύνου

- A. Οι καταστάσεις που εμπεριέχουν κίνδυνο μπορούν να διακριθούν σε *αμιγείς* και *κερδοσκοπικές*. Οι αμιγείς αναφέρονται σε καταστάσεις που εμφανίζεται μόνο η πιθανότητα απώλειας, χωρίς την πιθανότητα κέρδους, όπως είναι οι πυρκαγιές, φυσικές καταστροφές κ.α.. Οι κερδοσκοπικές, συνεπώς, αναφέρονται σε καταστάσεις που εμπεριέχουν την πιθανότητα τόσο απώλειας όσο και κέρδους.
- B. Ο κίνδυνος διακρίνεται επίσης σε *συστηματικό* και *μη συστηματικό*. Ο συστηματικός κίνδυνος προκύπτει από εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι η φορολογία, το ύψος των επιτοκίων, ο πληθωρισμός, ονομάζεται κίνδυνος της αγοράς κι είναι μη εξαλείψιμος. Αντίθετα, ο μη συστηματικός κίνδυνος εντοπίζεται σε παράγοντες όπως οι εργασιακές σχέσεις ή η αποτελεσματικότητα της διοίκησης, και είναι δυνατόν να εξαλειφθεί.

5.5 Απόδοση και Κίνδυνος για Χαρτοφυλάκια Χρεογράφων

Έστω ότι εξετάζεται η περίπτωση ενός χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων με αναλογίες X_1 και X_2 , καθένα από τα οποία έχει αναμενόμενη απόδοση $E(r_1)$ και $E(r_2)$ και τυπική απόκλιση σ_1 και σ_2 αντίστοιχα. Η αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου $E(r_p)$ δίνεται από το σταθμισμένο μέσο όρο των αναμενόμενων αποδόσεων των 2 χρεογράφων και είναι:

$$E(r_p) = X_1 \cdot E(r_1) + X_2 \cdot E(r_2)$$

Κατ'αντιστοιχία, το συνολικό ρίσκο του χαρτοφυλακίου υπολογίζεται:

$$\sigma_p = \sqrt{X_1^2 \cdot \sigma_1^2 + X_2^2 \cdot \sigma_2^2 + 2 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \rho_{12} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

Όπου $\rho_{12}\sigma_1\sigma_2$ η συνδιακύμανση των αποδόσεων των χρεογράφων X_1 και X_2 . Πρόκειται για ένα στατιστικό μέγεθος το οποίο προσδιορίζει το βαθμό στον οποίο παρουσιάζονται ομοιότητες στις μεταβολές των δύο χρεογράφων και υπολογίζεται από τη σχέση:

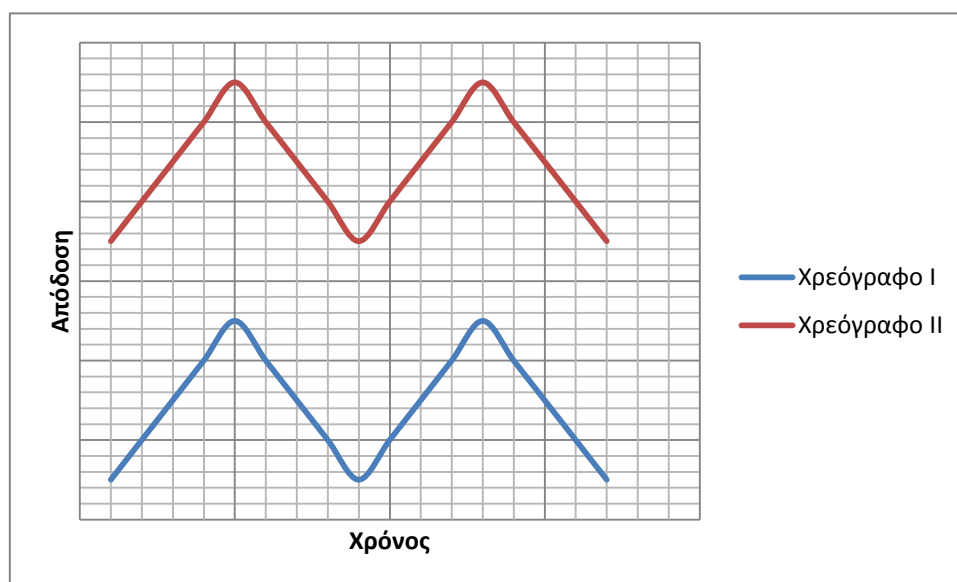
$$COV(r_1r_2) = \frac{\sum_{i=1}^n [r_1 - E(r_1)][r_2 - E(r_2)]}{n}$$

Ως ρ_{12} ορίζεται ο συντελεστής συσχέτισης των αποδόσεων των χρεογράφων, ο οποίος συνδέει τις τυπικές αποκλίσεις αυτών με τη συνδιακύμανση. Μετρά το βαθμό στον οποίο

σχετίζονται οι αποδόσεις των δύο χρεογράφων και λαμβάνει τιμές μεταξύ -1 και 1. Το πρόσημο του συντελεστή υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο σχετίζονται οι δύο αποδόσεις: εάν το πρόσημο είναι θετικό, τότε οι αποδόσεις των δύο χρεογράφων μεταβάλλονται προς την ίδια κατεύθυνση, ενώ εάν είναι αρνητικό, τότε αυτές μεταβάλλονται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το μέτρο του συντελεστή συσχέτισης υποδηλώνει το βαθμό στον οποίο σχετίζονται οι δύο αποδόσεις, δηλαδή όσο πιο κοντά στο 0 βρίσκεται η τιμή του συντελεστή, τόσο πιο ασθενής είναι η συσχέτιση μεταξύ των δύο αποδόσεων, ενώ όσο πιο κοντά στο 1 βρίσκεται η τιμή του, τόσο εντονότερη είναι η συσχέτιση αυτών. Όσον αφορά τις ακραίες τιμές του συντελεστή, όταν αυτός είναι ίσος με τη μονάδα, οι αποδόσεις των δύο χρεογράφων σχετίζονται γραμμικά και η μεταβολή της μίας ταυτίζεται με την ίδια ποσοστιαία μεταβολή και της άλλης. Όταν ο συντελεστής είναι ίσος με -1, οι αποδόσεις σχετίζονται πάλι γραμμικά αλλά η μεταβολή της μίας ταυτίζεται με την ίδια ποσοστιαία μεταβολή της άλλης προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τέλος, αν ο συντελεστής ισούται με μηδέν, οι δύο αποδόσεις είναι ανεξάρτητες.

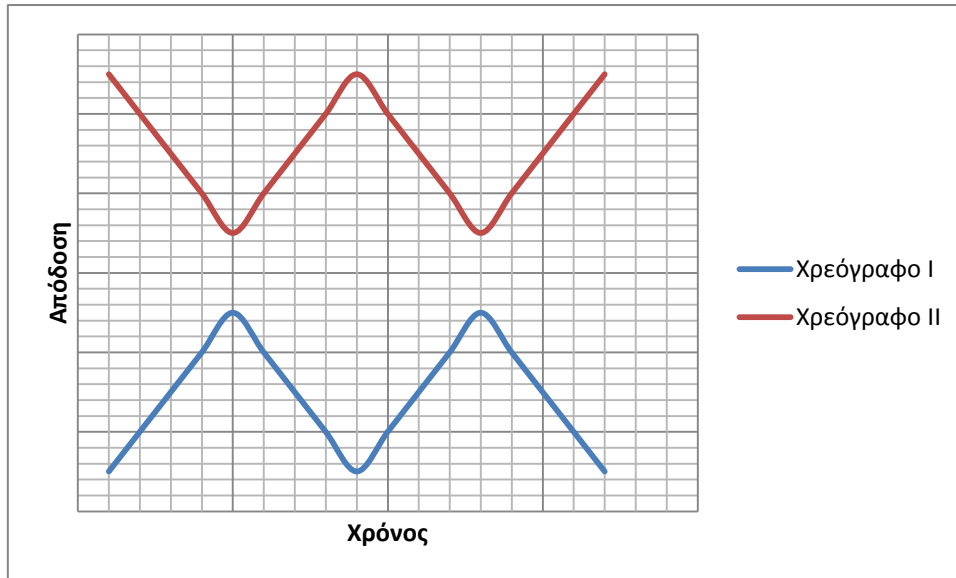
Παρακάτω παριστάνονται γραφικά οι 2 ακραίες περιπτώσεις του συντελεστή συσχέτισης ρ :

- Απόλυτη θετική συσχέτιση ($\rho=1$)



Γράφημα 5.1: Χρεόγραφα με συσχέτιση $\rho=1$

- Απόλυτη αρνητική συσχέτιση ($\rho=-1$)



Γράφημα 5.2: Χρεόγραφα με συσχέτιση $\rho=-1$

Τέλος, γίνεται αντιληπτό ότι η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί εύκολα να γενικευθεί για την περίπτωση χαρτοφυλακίων με περισσότερα από 2 χρεόγραφα. Τότε, οι σχέσεις για την αναμενόμενη απόδοση και την τυπική απόκλιση χαρτοφυλακίου αποτελούμενο από N χρεόγραφα δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^N X_i \cdot E(r_i)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_i \cdot X_j \cdot \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j}$$

5.6 Η Αρχή της Διαφοροποίησης Χαρτοφυλακίου

Όταν αναφερόμαστε στον όρο χαρτοφυλάκιο, εννοούμε ένα σύνολο χρεογράφων τα οποία συμμετέχουν σε αυτό με κάποια αναλογία και η δημιουργία του έχει ως στόχο την επίτευξη βέλτιστου συνδυασμού αναμενόμενης απόδοσης και κινδύνου. Όπως γίνεται αντιληπτό κι από τις παραπάνω μαθηματικές σχέσεις, που παρατέθηκαν για τον προσδιορισμό της

απόδοσης και του ρίσκου, η αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου ορίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των αποδόσεων των επιμέρους χρεογράφων. Πρόκειται λοιπόν για μια γραμμική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων των χρεογράφων, η οποία οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συνολική αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου δε μπορεί να υπερβεί την απόδοση του πλέον αποδοτικού χρεογράφου του χαρτοφυλακίου $E(r_{max})$. Κατά τον ίδιο τρόπο, δεν μπορεί ούτε να υστερεί της απόδοσης του λιγότερο αποδοτικού χρεογράφου του χαρτοφυλακίου $E(r_{min})$. Ισχύει επομένως η ακόλουθη σχέση:

$$E(r_p) \in [E(r_{min}), E(r_{max})]$$

Όσον αφορά τώρα στον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου, παρατηρούμε ότι η τυπική απόκλιση που προσδιορίζει μαθηματικά την έννοια του κινδύνου, υπολογίζεται ως μη γραμμική συνάρτηση των κινδύνων των επιμέρους χρεογράφων που το αποτελούν. Η τυπική απόκλιση ενός χαρτοφυλακίου είναι μικρότερη από το σταθμισμένο μέσο όρο των τυπικών αποκλίσεων των επιμέρους χρεογράφων (με συντελεστή συσχέτισης των χρεογράφων μικρότερο της μονάδας). Το φαινόμενο αυτό καλείται φαινόμενο του χαρτοφυλακίου και στηρίζεται στα οφέλη της αποτελεσματικής διαφοροποίησης, η οποία οδηγεί στη μείωση του επενδυτικού κινδύνου.

Συγκεκριμένα, θεωρώντας τη γενική περίπτωση που ένας επενδυτής έχει ισοκατανείμει το κεφάλαιο του σε N διαθέσιμα χρεόγραφα ($X_1 = X_2 = \dots = X_N = 1/N$), ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{N}\right)^2 \cdot \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \left(\frac{1}{N}\right) \cdot \left(\frac{1}{N}\right) \cdot \sigma_{ij}} \quad \rightarrow$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N \frac{\sigma_i^2}{N}\right) + \frac{N-1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \frac{\sigma_{ij}}{N \cdot (N-1)}\right)}$$

Όπου το πρώτο άθροισμα του υπόριζου αναφέρεται στη μέση διακύμανση των αποδόσεων των χρεογράφων $\bar{\sigma}^2$ και το δεύτερο σύνθετο άθροισμα στη μέση συνδιακύμανση των χρεογράφων $\bar{\sigma}_{ij}$ του χαρτοφυλακίου. Επόμενως, προκύπτει:

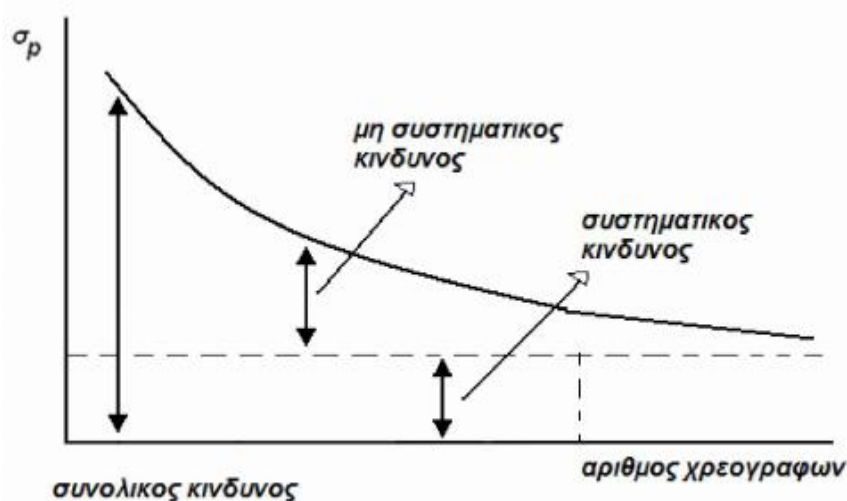
$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \bar{\sigma}^2 + \frac{N-1}{N} \cdot \bar{\sigma}_{ij}} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \bar{\sigma}^2 + \bar{\sigma}_{ij} - \frac{1}{N} \cdot \bar{\sigma}_{ij}}$$

Επομένως για έναν αρκετά μεγάλο αριθμό χρεογράφων, ο πρώτος και ο τρίτος όρος τείνουν στο μηδέν κι ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου δίνεται αποκλειστικά από την τετραγωνική ρίζα της συνδιακύμανσης των χρεογράφων.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των χρεογράφων που συνθέτουν ένα χαρτοφυλάκιο, τόσο τείνει να μειώνεται ο κίνδυνος που προέρχεται από κάθε μεμονωμένο χρεόγραφο. Στην περίπτωση αυτή, ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου προσδιορίζεται μόνο από τις συνδιακυμάνσεις των επιμέρους χρεογράφων.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ο συνολικός κίνδυνος χρεογράφου χωρίζεται σε συστηματικό ρίσκο και μη συστηματικό ρίσκο. Το τμήμα του κινδύνου που μπορεί να εξαλειφθεί πλήρως μέσω της διαφοροποίησης είναι αυτό του μη συστηματικού κινδύνου και αφορά αποκλειστικά κάθε μεμονωμένο χρεόγραφο, χωρίς να επηρεάζεται από τη συμπεριφορά των υπολοίπων. Συνεπώς, η σημασία της αποτελεσματικής διαφοροποίησης έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να περιορίσει σημαντικά το μη συστηματικό ρίσκο που προέρχεται από κάθε χρεόγραφο και να οδηγήσει σε χαρτοφυλάκια μειωμένου ρίσκου.

Ακολούθως φαίνεται γραφικά ο διαχωρισμός συστηματικού και μη συστηματικού κινδύνου, και πώς ο τελευταίος εξαρτάται σημαντικά από το πλήθος των χρεογράφων.



Σχήμα 5.1: Συστηματικός και μη συστηματικός Κίνδυνος

Παρατηρούμε και γραφικά ότι κάθε επιπλέον χρεόγραφο τείνει να μειώσει το συνολικό ρίσκο του χαρτοφυλακίου. Ιδανικά λοιπόν ένα χαρτοφυλάκιο με άπειρο αριθμό χρεογράφων θα παρουσίαζε κίνδυνο ίσο με τη συνδιακύμανση μεταξύ των χρεογράφων, ή αλλιώς ίσο με το συστηματικό ρίσκο χαρτοφυλακίου. Στην πραγματικότητα, εν τούτοις, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό.

Από την άλλη, ως μέτρο του συστηματικού κινδύνου χρησιμοποιείται ο συντελεστής βήτα, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του συνδιακύμανσης των αποδόσεων του χαρτοφυλακίου σε σχέση με τις αποδόσεις του χαρτοφυλακίου της αγοράς, προς τη διακύμανση των αποδόσεων της αγοράς (εκφρασμένες με βάση το γενικό δείκτη του χρηματιστηρίου): $\beta = \frac{\sigma_{pM}}{\sigma_M^2}$. Να σημειωθεί ότι χαρτοφυλάκια με συντελεστή βήτα κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερο της μονάδας παρουσιάζουν μεγαλύτερες μεταβολές σε σχέση με την αγορά, ο κίνδυνος που υπεισέρχεται σε αυτά είναι μεγαλύτερος και η αναμενόμενη απόδοσή τους, επομένως, υψηλότερη. Αντίθετα, χαρτοφυλάκια με συντελεστή βήτα μικρότερο της μονάδας (κατ' απόλυτη τιμή) παρουσιάζουν χαμηλότερο κίνδυνο κι άρα μικρότερη απόδοση. Τέλος, στην περίπτωση που ο συντελεστής βήτα ισούται με το μηδέν, το χαρτοφυλάκιο μεταβάλλεται ανεξάρτητα από την αγορά και θεωρείται ακίνδυνο.

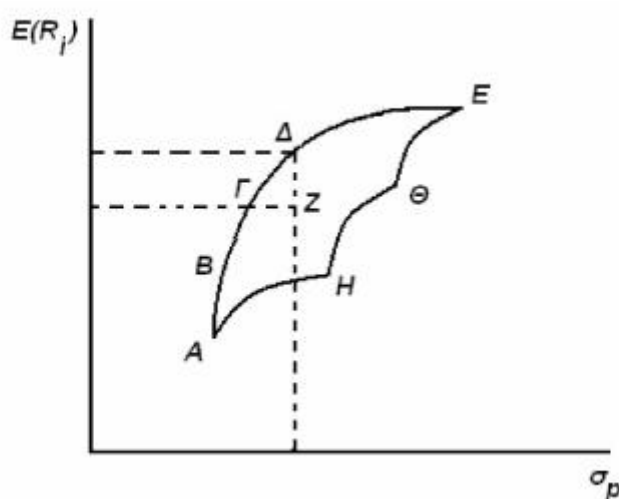
Τελευταία σημαντική παράμετρος, ώστε να επιτευχθεί κατάλληλη διαφοροποίηση και μείωση του κινδύνου, αποτελεί ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των χρεογράφων που συνθέτουν ένα χαρτοφυλάκιο. Βέλτιστα αποτελέσματα από την εφαρμογή της διαφοροποίησης παρατηρούνται, όταν ο συντελεστής συσχέτισης ρ βρίσκεται στην αρνητική κλίμακα και πλησιάζει την οριακή τιμή -1 . Σε αυτή την περίπτωση το φαινόμενο του χαρτοφυλακίου είναι εντονότερο, με αποτέλεσμα ο μη συστηματικός κίνδυνος να μπορεί να εξαλειφθεί σχεδόν εξολοκλήρου. Αντίθετα, όταν ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει θετικές τιμές, και δη που πλησιάζουν τη μονάδα, το φαινόμενο υποχωρεί κι ο κίνδυνος δεν περιορίζεται σημαντικά. Να σημειωθεί ότι στην πράξη, τέλεια αρνητική συσχέτιση δεν είναι εφικτή, δεδομένου ότι τα χρεόγραφα κατά κύριο λόγο παρουσιάζουν σχετική συσχέτιση μεταξύ τους.

5.7 Αποτελεσματικό Μέτωπο

Διαθέτοντας N χρεόγραφα, με δεδομένο ρίσκο κι αναμενόμενη απόδοση, δύναται να πραγματοποιηθούν «άπειροι» συνδυασμοί μεταξύ αυτών και να σχηματιστούν κατά συνέπεια «άπειρα» χαρτοφυλάκια. Ο εκάστοτε επενδυτής, για να καταλήξει στο ιδανικό για εκείνον χαρτοφυλάκιο, δεν χρειάζεται να εκτιμήσει όλα τα χαρτοφυλάκια, αλλά μπορεί να βασιστεί στο Θεώρημα των Αποτελεσματικών Συνδυασμών. Σύμφωνα με το Θεώρημα, κάθε επενδυτής ανεξάρτητα του πόσο αποστρέφεται τον κίνδυνο, θα επιλέξει το χαρτοφυλάκιο εκείνο το οποίο:

- Του προσφέρει τη μέγιστη προσδοκώμενη απόδοση για διάφορα επίπεδα κινδύνου και
- Του προσφέρει το μικρότερο κίνδυνο για διάφορα επίπεδα προσδοκώμενης απόδοσης.

Αποτελεσματικά χαρτοφυλάκια ονομάζονται τα χαρτοφυλάκια εκείνα τα οποία σε δεδομένο επίπεδο κινδύνου παρέχουν τη μεγαλύτερη απόδοση, και σε δεδομένη απόδοση το μικρότερο κίνδυνο. Το σύνολο αυτών των χαρτοφυλακίων ονομάζεται αποδοτικό σύνολο και βρίσκεται γραφικά πάνω στο αποτελεσματικό μέτωπο ή αποδοτικό σύνορο $ABΓΔΕ$, που φαίνεται ακολούθως:



Σχήμα 5.2: Αποτελεσματικό Μέτωπο

Τα σημεία A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ δείχνουν μερικούς από τους εφικτούς συνδυασμούς χαρτοφυλακίων. Το σύνολο αυτών των εφικτών συνδυασμών έχει τη μορφή ομπρέλας στους άξονες της αναμενόμενης απόδοσης (κατακόρυφος άξονας) και του κινδύνου (οριζόντιος άξονας). Από όλα τα χαρτοφυλάκια περισσότερο αποδοτικά είναι εκείνα που βρίσκονται στο «βορειοδυτικότερο» μέρος της καμπύλης, δεδομένου ότι κανένας επενδυτής δε θα επέλεγε παραδείγματος χάριν το χαρτοφυλάκιο Z έναντι του Δ, αφού το Δ για το ίδιο επίπεδο κινδύνου αποφέρει μεγαλύτερη τιμή απόδοσης. Κατά συνέπεια, κάθε επενδυτής επιλέγει χαρτοφυλάκια που κινούνται πάνω στο αποτελεσματικό μέτωπο μεταξύ A και E, αναλόγως τη στάση που επιθυμεί να κρατήσει απέναντι στο ρίσκο της επένδυσης. Να σημειωθεί ότι το χαρτοφυλάκιο A αναπαριστά το χαρτοφυλάκιο με το μικρότερο ρίσκο κι ονομάζεται χαρτοφυλάκιο ελάχιστης διακύμανσης. Τέλος, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οποιοδήποτε χαρτοφυλάκιο με συνδυασμό αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου εκτός της κλειστής καμπύλης ΑΒΓΔΕΘΗΑ είναι πρακτικά αδύνατον να δημιουργηθούν. Η μέγιστη αναμενόμενη απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί είναι αυτή του χαρτοφυλακίου E και η ελάχιστη τυπική απόκλιση αυτή του χαρτοφυλακίου A.

5.8 Επιλογή Βέλτιστου Χαρτοφυλακίου

Έχοντας κατασκευάσει το αποδοτικό σύνολο χαρτοφυλακίων, το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του βέλτιστου, ή αλλιώς, άριστου χαρτοφυλακίου. Καθώς όλα τα χαρτοφυλάκια στο αποτελεσματικό μέτωπο παρέχουν τη μέγιστη αναμενόμενη απόδοση για δεδομένο επίπεδο ρίσκου, κάθε επενδυτής επιθυμεί να κατέχει ένα χαρτοφυλάκιο του αποδοτικού συνόρου. Η επιλογή όμως εξαρτάται από τις προτιμήσεις του συγκεκριμένου επενδυτή ως προς την ανταλλαγή μεταξύ απόδοσης και κινδύνου.

Οι προτιμήσεις αυτές αποτυπώνονται στη συνάρτηση χρησιμότητας, η οποία είναι μοναδική για κάθε επενδυτή. Πρόκειται για μια αριθμητική αναπαράσταση των προτιμήσεων του επενδυτή και συνιστά μέτρο της ικανοποίησης που λαμβάνει από την ανάληψη μιας συγκεκριμένης επένδυσης. Στην περίπτωση του χαρτοφυλακίου, η συνάρτηση χρησιμότητας αναφέρεται στην προτίμηση που δείχνει ο επενδυτής να αναλάβει μικρότερο ή μεγαλύτερο κίνδυνο και σκοπός είναι η μεγιστοποίησή της.

Επιπλέον, υπάρχει μία καμπύλη η οποία απεικονίζει στο χώρο αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου όλα τα σημεία που αντιστοιχούν σε ένα επίπεδο χρησιμότητας. Η καμπύλη αυτή

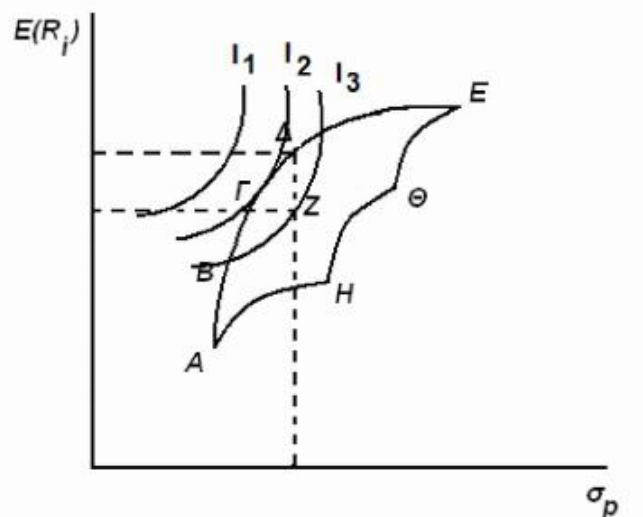
παριστάνει τους όρους ανταλλαγής μεταξύ απόδοσης και κινδύνου που απαιτεί ο κάθε επενδυτής και καλείται καμπύλη αδιαφορίας.

Οι καμπύλες αδιαφορίας ενός επενδυτή έχουν τις εξής ιδιότητες:

- α. Όλα τα χαρτοφυλάκια που βρίσκονται σε μια δεδομένη καμπύλη αδιαφορίας είναι το ίδιο επιθυμητά από τον επενδυτή,
- β. Οι καμπύλες αδιαφορίας είναι παράλληλες,
- γ. Κάθε επενδυτής έχει άπειρες καμπύλες αδιαφορίας,
- δ. Όσο πιο απότομες είναι οι καμπύλες αδιαφορίας, τόσο πιο συντηρητικός είναι ο επενδυτής,
- ε. Κάθε χαρτοφυλάκιο που βρίσκεται σε μια καμπύλη αδιαφορίας που είναι «περισσότερο βορειοδυτικά» είναι προτιμότερο από κάθε χαρτοφυλάκιο που βρίσκεται λιγότερο «βορειοδυτικά».

Επομένως, άριστο χαρτοφυλάκιο για έναν επενδυτή κρίνεται το αποτελεσματικό χαρτοφυλάκιο που έχει τη μεγαλύτερη για τον επενδυτή χρησιμότητα και καθορίζεται από το σημείο στο οποίο εφάπτεται η υψηλότερη καμπύλη αδιαφορίας του με το αποτελεσματικό σύνορο.

Για την επιλογή του βέλτιστου λοιπόν χαρτοφυλακίου, ο επενδυτής πρέπει να χαράξει τις δικές του καμπύλες αδιαφορίας, ανάλογα με το μέγεθος του κινδύνου που είναι διατεθειμένος να αναλάβει. Το σύνολο αυτών των καμπύλων αποτελεί το γεωμετρικό τόπο όλων των συνδυασμών απόδοσης – ρίσκου για τους οποίους η συνάρτηση χρησιμότητας λαμβάνει την ίδια τιμή. Προκύπτει συνεπώς γραφικά:



Σχήμα 5.3: Αποτελεσματικό Μέτωπο και Καμπύλες Αδιαφορίας

Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο, όπως σημειώθηκε, θα πρέπει να ανήκει σε μια καμπύλη αδιαφορίας όσο το δυνατόν πιο μακριά από τον οριζόντιο άξονα και ταυτόχρονα να βρίσκεται πάνω στο αποδοτικό σύνορο. Το χαρτοφυλάκιο που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες είναι το χαρτοφυλάκιο Γ, αφού ανήκει στην καμπύλη αδιαφορίας I_2 και στο αποτελεσματικό μέτωπο που έχει χαραχθεί.

5.9 Υπολογισμός Αποτελεσματικού Μετώπου με Γραμμικό Προγραμματισμό

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί ο τρόπος προσδιορισμού του αποτελεσματικού μετώπου για N χρεόγραφα. Ζητείται λοιπόν να προσδιοριστεί το σύνορο, του οποίου τα σημεία θα παρουσιάζουν βέλτιστο συνδυασμό απόδοσης – ρίσκου. Το πρόβλημα ουσιαστικά αποτελεί ένα πρόβλημα κατανομής πόρων σε εναλλακτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους δραστηριότητες κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Πρόκειται για το γνωστό πρόβλημα κατανομής της «πίτας», το οποίο επιλύεται με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού.

Στη μαθηματική γλώσσα, ο γραμμικός προγραμματισμός είναι ένα μαθηματικό μοντέλο στο οποίο επιχειρείται η βελτιστοποίηση αγνώστων πραγματικών μεταβλητών, των οποίων το πεδίο τιμών οριοθετείται από γραμμικούς περιορισμούς, συναρτήσεις των μεταβλητών αυτών. Οι άγνωστες μεταβλητές μοντελοποιούν το αντικείμενο απόφασης του προβλήματος και ονομάζονται για το σκοπό αυτό μεταβλητές απόφασης. Η συνάρτηση η

οποία ζητείται να βελτιστοποιηθεί (ελαχιστοποιηθεί ή μεγιστοποιηθεί) καλείται αντικειμενική συνάρτηση.

Στην περίπτωση του χαρτοφυλακίου, αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται η ελαχιστοποίηση του κινδύνου για κάθε δεδομένο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης R . Ως μεταβλητές απόφασης ορίζονται τα ποσοστά συμμετοχής X_i του κάθε χρεογράφου, τα οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερα του μηδενός και μικρότερα της μονάδας. Επίσης, το άθροισμα τους θα πρέπει να δίνει το σύνολο, δηλαδή 1. Τέλος, το άθροισμα των γινομένων των ποσοστών συμμετοχής των χρεογράφων επί την αντίστοιχη απόδοσή τους, θα πρέπει να ισούται με το δεδομένο επίπεδο απόδοσης που ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο.

Μαθηματικά το πρόβλημα καταστρώνεται ως εξής:

Αντικειμενική Συνάρτηση:
$$f(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_i \cdot X_j \cdot \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j} = \min$$

Περιορισμοί:

$$X_i \geq 0$$

$$X_i \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^N X_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^N X_i E(r_i) = R$$

5.10 Εισαγωγή χρεογράφου μηδενικού ρίσκου

Ως χρεόγραφο μηδενικού ρίσκου ορίζεται ένα χρεόγραφο του οποίου η απόδοση δεν εμπεριέχει καμία αβεβαιότητα. Παραδείγματα τέτοιων χρεογράφων αποτελούν τα έντοκα γραμμάτια του δημοσίου και τα κρατικά ομόλογα.

Στην περίπτωση αυτή τα χρεόγραφα καλούνται ακριβέστερα χρεόγραφα μηδενικού συντελεστή βήτα, δεδομένου ότι για το διάστημα που παραμένουν στο χαρτοφυλάκιο του επενδυτή, η ονομαστική απόδοσή τους έχει μηδενική διακύμανση και κατά συνέπεια μηδενική συνδιακύμανση με το χαρτοφυλάκιο της αγοράς. Για να ισχύει αυτό, θεωρείται ότι το δεδομένο διάστημα είναι αρκετά μικρό, ώστε τα επιτόκια να μη διαφοροποιούνται σημαντικά και να προκαλούν αξιόλογες μεταβολές στην απόδοση. Η απόδοσή τους εκφράζεται σε ονομαστικές χρηματικές μονάδες και θεωρείται βέβαιη για το διάστημα αυτό.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επίδραση ενός χρεογράφου μηδενικού ρίσκου, όταν αυτό εισάγεται σε ένα χαρτοφυλάκιο που περιέχει επικίνδυνα χρεόγραφα, όπως αυτά εξετάστηκαν παραπάνω. Έστω ότι διαθέτουμε ένα χαρτοφυλάκιο, που συνίσταται από χρεόγραφα που περιέχουν κίνδυνο, με αναμενόμενη απόδοση $E(r_p)$ και τυπική απόκλιση σ_p , κι ένα χρεόγραφο που δε φέρει κίνδυνο με απόδοση R_f και τυπική απόκλιση $\sigma_f=0$. Κατασκευάζουμε λοιπόν ένα νέο χαρτοφυλάκιο το οποίο αποτελείται από το χαρτοφυλάκιο που φέρει ρίσκο κατ' αναλογία X_p και από το χρεόγραφο μηδενικού ρίσκου κατ' αναλογία $X_f=1-X_p$. Προκύπτει, επομένως, για την τυπική απόκλιση του υπό κατασκευή χαρτοφυλακίου:

$$\begin{aligned}\sigma_{p,new} &= \sqrt{X_p^2 \cdot \sigma_p^2 + (1 - X_p)^2 \cdot \sigma_f^2 + 2 \cdot X_p \cdot (1 - X_p) \cdot \rho_{fp} \cdot \sigma_f \cdot \sigma_p} = \sqrt{X_p^2 \cdot \sigma_p^2} \\ &= X_p \cdot \sigma_p\end{aligned}$$

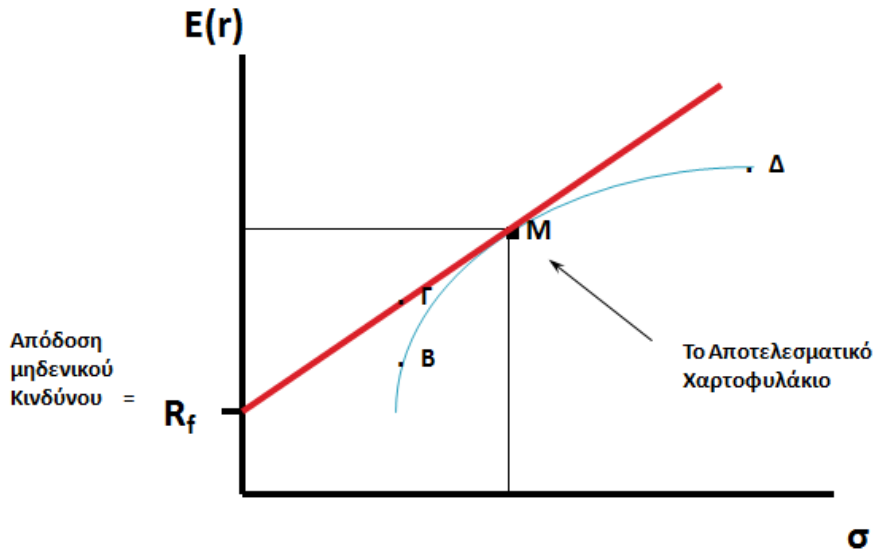
Διαπιστώνεται ότι ο κίνδυνος του νέου χαρτοφυλακίου προσδιορίζεται αποκλειστικά από το ρίσκο του επικίνδυνου χαρτοφυλακίου, σε συνδυασμό με το ποσοστό συμμετοχής του στο νέο χαρτοφυλάκιο. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει επίσης ότι:

$$X_p = \frac{\sigma_{p,new}}{\sigma_p}$$

Κι έχουμε για την αναμενόμενη απόδοση του νέου χαρτοφυλακίου:

$$\begin{aligned}E(r_{p,new}) &= X_p \cdot E(r_p) + (1 - X_p) \cdot R_f = \frac{\sigma_{p,new}}{\sigma_p} \cdot E(r_p) + \left(1 - \frac{\sigma_{p,new}}{\sigma_p}\right) \cdot R_f \\ &= \frac{E(r_p) - R_f}{\sigma_p} \cdot \sigma_{p,new} + R_f\end{aligned}$$

Όσον αφορά τη νέα αναμενόμενη απόδοση, παρατηρούμε ότι συνδέεται γραμμικά με τον κίνδυνο και συνεπώς σε ένα διάγραμμα απόδοσης $E(r)$ – κινδύνου σ αναπαρίσταται με μία ευθεία γραμμή η οποία τέμνει τον κάθετο άξονα της απόδοσης στο σημείο R_f . Η αναπαράσταση αυτή δίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 5.4: Αποτελεσματικό Μέτωπο με Χρεόγραφο Μηδενικού Ρίσκου

Σημειώνουμε ότι με την εισαγωγή του ακίνδυνου χρεογράφου, το αποτελεσματικό μέτωπο παραμένει αμετάβλητο από το σημείο M και πάνω. Εισάγει, εντούτοις, το ευθύγραμμο τμήμα που ορίζουν τα σημεία R_f και M, πάνω στο οποίο βρίσκονται τα χαρτοφυλάκια που αποτελούνται κατά ένα ποσοστό από το ακίνδυνο χρεόγραφο και κατά ένα ποσοστό από το χαρτοφυλάκιο M. Αυτό συμβαίνει διότι κανένας λογικός επενδυτής δε θα επέλεγε, παραδείγματος χάριν, το χαρτοφυλάκιο B έναντι του χαρτοφυλακίου Γ δεδομένου ότι το δεύτερο παρουσιάζει, για το ίδιο επίπεδο ρίσκου, υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση.

Το σημείο M προσδιορίζεται από το σημείο στο οποίο η ευθεία γραμμή εφάπτεται του αποτελεσματικού συνόλου των επικίνδυνων χαρτοφυλακίων και αποτελεί το βέλτιστο συνδυασμό των χρεογράφων με ρίσκο για όλους τους επενδυτές, ανεξαρτήτως των προτιμήσεων τους για τη σχέση αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου. Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος για τον προσδιορισμό του σημείου M ορίζεται ως η μεγιστοποίηση της απόδοσης χαρτοφυλακίου θ , η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\theta = \frac{E(r_p) - R_f}{\sigma_p}$$

Επομένως, το νέο αποτελεσματικό μέτωπο αποτελείται από το ευθύγραμμο τμήμα R_fM και το τμήμα της καμπύλης $M\Delta$. Ξεκινώντας από το χαρτοφυλάκιο, που βρίσκεται στο σημείο R_f και αποτελείται αποκλειστικά από το ακίνδυνο χρεόγραφο, και κινούμενοι ανοδικά στο ευθύγραμμο τμήμα R_fM , παρατηρούμε ότι η συνεισφορά του ακίνδυνου χρεογράφου

μειώνεται. Από το σημείο M, το οποίο θεωρείται ο βέλτιστος συνδυασμός επικίνδυνων χρεογράφων, μέχρι και το σημείο Δ τα χαρτοφυλάκια συνίστανται 100% από χρεόγραφα που εμπεριέχουν κίνδυνο και ταυτίζονται με τα χαρτοφυλάκια που βρίσκονταν σε αυτά τα επίπεδα ρίσκου πριν την εισαγωγή του χρεογράφου μηδενικού ρίσκου.

Συμπεραίνουμε, εν κατακλείδι, ότι η προσθήκη χρεογράφου μηδενικού ρίσκου σε ένα χαρτοφυλάκιο που αποτελείται από χρεόγραφα στα οποία υπεισέρχεται κάποιος βαθμός επικινδυνότητας, οδηγεί στη δημιουργία ενός χαρτοφυλακίου με μειωμένα επίπεδα κινδύνου. Επενδυτές οι οποίοι επιλέγουν συνδυασμούς απόδοσης – ρίσκου που βρίσκονται κάτω από το σημείο M, μπορούν να κατασκευάσουν χαρτοφυλάκια τα οποία περιέχουν σε κάποιο ποσοστό ακίνδυνο χρεόγραφο και στο υπόλοιπο ποσοστό το χαρτοφυλάκιο M. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνονται χαρτοφυλάκια τα οποία χαρακτηρίζονται από καλύτερους συνδυασμούς αναμενόμενης απόδοσης και ρίσκου.

6. Η Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου και ο Ενεργειακός Σχεδιασμός

6.1 Εισαγωγή

Πρωταρχικός τομέας εφαρμογής της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου είναι αυτός των χρηματοοικονομικών. Οι οικονομολόγοι χρησιμοποιούν τη θεωρία αυτή ώστε να καταλήξουν στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο για τις επενδύσεις τους. Στόχος είναι να αποκομίσουν το μέγιστο δυνατό κέρδος με το ελάχιστο ρίσκο. Ωστόσο, η θεωρία διαχείρισης χαρτοφυλακίου μπορεί να εφαρμοστεί σε μία πληθώρα τομέων της οικονομίας, αρκεί να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε κατ' αναλογία με τα χρηματοοικονομικά τις έννοιες του ρίσκου και της απόδοσης.

Δεδομένου ότι στον τομέα της ενεργειακής διαχείρισης οι έννοιες αυτές μπορούν να παραμετροποιηθούν σχετικά εύκολα, η εφαρμογή της θεωρίας του χαρτοφυλακίου είναι επιτυχής. Ήδη από τη δεκαετία του 1970 γίνεται προσπάθεια να εκμεταλλευτούμε τα αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής στον ενεργειακό σχεδιασμό. Η πρώτη μελέτη που επιχειρήσε να συνδυάσει τη θεωρία χαρτοφυλακίου με τον τομέα της ενέργειας είναι αυτή των Dan Bar-Lev και Steven Kat με τίτλο "A portfolio approach to fossil fuel procurement in the electric utility industry". Η μελέτη αυτή δημοσιεύτηκε το 1976 στο Journal of Finance και αποτελεί την πρώτη προσπάθεια εισαγωγής του ρίσκου που εμπεριέχεται στις τιμές των ορυκτών καυσίμων στον τρόπο επιλογής του μίγματος καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας των Η.Π.Α. Μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1973 άρχισε να γίνεται σαφές πως οι τιμές των καυσίμων μπορούν να μεταβληθούν κατά μη προβλέψιμο τρόπο.

Στην προσπάθεια εφαρμογής της θεωρίας χαρτοφυλακίου σε ενεργειακά θέματα σημαντικό ρόλο έπαιξε ο καθηγητής Οικονομικών με ειδίκευση σε θέματα Αγορών Ενέργειας και Ρυθμιστικών Αρχών Shimon Awerbuch. Ο Awerbuch χρησιμοποίησε το 2000 τη θεωρία χαρτοφυλακίου για να αξιολογήσει το ενεργειακό μίγμα άνθρακα-αερίου στις Η.Π.Α. Στο μοντέλο που χρησιμοποίησε τότε έλαβε υπ' όψη μόνο το κόστος των καυσίμων με την παραδοχή πως σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό υπερισχύει όλων των άλλων (κόστη συντήρησης, λειτουργίας κλπ). Το 2003 δημοσιεύτηκε μία πιο πλήρης μελέτη που αφορούσε την Ε.Ε. υπό τον τίτλο "Applying Portfolio Theory to EU Electricity Planning and Policy-Making" [Awerbuch and Berger-2003]. Η μελέτη αυτή λαμβάνει υπ' όψη και άλλους παράγοντες για να προχωρήσει σε αξιολόγηση (κόστη κατασκευής, συντήρησης και

λειτουργίας) και εξετάζει πολλές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, το πετρέλαιο, η πυρηνική ενέργεια και μία σειρά ανανεώσιμων πηγών με κυρίαρχη την αιολική.

Οι μελέτες που έχουν εκπονηθεί και εξετάζουν την εφαρμογή της θεωρίας του χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό είναι έκτοτε αρκετές. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε τις εξής: το 2005 οι Zou και Fuss πρότειναν έναν τρόπο κατασκευής για το βέλτιστο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο βασιζόμενοι τόσο στις διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων, όσο και την τεχνολογική αβεβαιότητα. Το 2006 οι Krey και Zweifel εξέτασαν την περίπτωση της Ελβετίας χρησιμοποιώντας το μοντέλο GARCH για τη διακύμανση και τη συνδιακύμανση των τιμών στο χρόνο. Τα αποτελέσματα της μελέτης τους έδειξαν πως η Ελβετία θα μπορούσε να βελτιστοποιήσει το ενεργειακό της χαρτοφυλάκιο με μία στροφή προς την πυρηνική ενέργεια με ταυτόχρονη μείωση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Το 2005 εφαρμόστηκε η θεωρία Μέσου-Διακύμανσης από τους Pat DeLaquil και Awerbuch στην Πολιτεία της Virginia. Αντίστοιχα το 2007, οι Yun-Hsun Huang, Jung-Hua Wu εξέτασαν την εφαρμογή της θεωρίας στην περίπτωση της Taiwan. Η περίπτωση της Ισπανίας εξετάστηκε το 2009 από τους Jose Ignacio Munoz, Augustin Sanchez de la Nieta, Javier Contreras, Jose Bernal-Augustin. Το 2009 εξετάστηκε επίσης με βάση την ίδια θεωρία η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη από τους Fabien Roques, Celine Hiroux και Marcelo Seguan.

Το 2010 δημοσιεύτηκε η μελέτη των Allan, Eromenko, McGregor και Swales που αφορά στο ενεργειακό μίγμα για την ηλεκτροπαραγωγή της περιοχής της Σκωτίας καθώς και η μελέτη των Lei Zhu, Ying Fan "Optimization of China's generating portfolio and policy implications based on portfolio theory".

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μία από τις πιο πρόσφατες μελέτες, αυτή των Delarue, De Jonghe, Belmans και D'haeseleer "Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus Power -2010". Όπως φαίνεται και από τον τίτλο της η μελέτη αυτή επιχειρεί να διαχωρίσει την εγκατεστημένη ισχύ (power) από τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια (energy). Με τον τρόπο αυτό η μεταβλητότητα στην παραγωγή που εισάγεται από την παρουσία των αιολικών συνυπολογίζεται και το μοντέλο είναι πληρέστερο. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναδεικνύουν πως η συνεισφορά των αιολικών πάρκων είναι σημαντική για να μειωθεί το ρίσκο αλλά μικρότερη από αυτήν που προτείνεται στην διεθνή

βιβλιογραφία και πως είναι απαραίτητη η παρουσία τεχνολογιών που θα μπορούσαν να αντισταθμίσουν τη διακύμανση στην αιολική παραγωγή.

Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε πως το πρόβλημα του ενεργειακού σχεδιασμού αντιμετωπίζεται ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης αντίστοιχο με αυτό που αντιμετωπίζουν οι οικονομικοί επενδυτές. Ουσιαστικά η εφαρμογή της Σύγχρονης Θεωρίας Χαρτοφυλακίου μάς αποδεσμεύει από τη θεωρία του ελαχίστου κόστους. Η θεωρία αυτή που ακολουθήθηκε για περισσότερα από 50 χρόνια σε πολλές χώρες θα απέρριπτε τη χρήση των ΑΠΕ με το σκεπτικό πως αυξάνεται το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο μία τέτοια θεώρηση μοιάζει σαν να αποφασίζει σήμερα κάποιος επενδυτής να επενδύσει τα κεφάλαιά του για τα επόμενα 20-30 χρόνια με βάση στοιχεία του χτες. [Awerbuch, 2003]

Η Θεωρία Χαρτοφυλακίου εξασφαλίζει την υιοθέτηση κατάλληλα διαφοροποιημένων ενεργειακών χαρτοφυλακίων τα οποία εξασφαλίζουν και το ελάχιστο δυνατό κόστος και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Σύμφωνα με το νέο τρόπο θεώρησης, το κόστος και το ρίσκο θα πρέπει να μετρώνται συνολικά για το χαρτοφυλάκιο και όχι μεμονωμένα για κάθε τεχνολογία παραγωγής.

Πριν προχωρήσουμε στην εφαρμογή της Θεωρίας στον Ενεργειακό Σχεδιασμό, είναι αναγκαίο να εντοπίσουμε την αντιστοιχία μεταξύ των οικονομικών μεγεθών και των αντίστοιχων ενεργειακών. Τα κυριότερα στοιχεία της θεωρίας μέσου-διακύμανσης είναι η απόδοση και το ρίσκο.

6.2 Η έννοια της απόδοσης

Όταν γίνεται λόγος για ένα αποδοτικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο, εννοούμε ένα ενεργειακό μίγμα το οποίο καλύπτει τις ανάγκες μιας κοινωνίας με το ελάχιστο δυνατό ρίσκο. Άρα λοιπόν κατά την αξιολόγηση των ενεργειακών χαρτοφυλακίων, δεν μας απασχολεί η μεγιστοποίηση των κερδών, αλλά η ελαχιστοποίηση του κόστους. Συνεπώς ο μοναδικός παράγοντας που λαμβάνεται υπ' όψη κατά την εφαρμογή τη θεωρίας χαρτοφυλακίου στην ενεργειακή διαχείριση είναι το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού. Τα έσοδα από την πώληση ηλεκτρισμού, οι επιδοτήσεις για προώθηση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, η φορολογία και οι μεταβολές στην τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας δεν συνυπολογίζονται.

Η έννοια λοιπόν της απόδοσης είναι διαφορετική από αυτήν που ορίζεται για τα οικονομικά χρεόγραφα. Στην περίπτωση αυτή, ως μέτρο της απόδοσης είναι το ποσοστιαίο κέρδος που αναμένει ο επενδυτής από την τοποθέτηση των κεφαλαίων του σε κάποια χρεόγραφο. Αντιθέτως, στον ενεργειακό σχεδιασμό η απόδοση εκφράζεται μέσω του κόστους παραγωγής. Συγκεκριμένα η ελκυστικότητα για επένδυση σε μία συγκεκριμένη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ποσοτικοποιείται με τον αντίστροφο του κόστους παραγωγής. Αυτό είναι και το μέτρο της απόδοσης για κάθε τεχνολογία: η παραγόμενη ενέργεια ανά χρηματική μονάδα. Όσο περισσότερη ενέργεια παράγει μία τεχνολογία ανά χρηματική μονάδα, τόσο πιο αποδοτική μπορεί να θεωρηθεί. Η μετατροπή αυτή είναι σύμφωνη με τη θεωρία του χαρτοφυλακίου αφού η βελτιστοποίηση ταυτίζεται με την μεγιστοποίηση της απόδοσης ή με την ελαχιστοποίηση του κόστους. Ως μονάδα μέτρησης της απόδοσης έχουμε kWh/€. [Awerbuch and Berger, 2003].

Στα οικονομικά χρεόγραφα η απόδοση είναι αδιάστατο μέγεθος αφού προκύπτει από το πηλίκο του κέρδους προς το επενδύσιμο κεφάλαιο, εκφρασμένα και τα δύο σε χρηματικές μονάδες. Εάν θέλαμε η απόδοση των ενεργειακών τεχνολογιών να είναι και αυτή αδιάστατο μέγεθος θα έπρεπε να πολλαπλασιάσουμε το ανεστραμμένο κόστος (kWh/€) με την τιμή πώλησης του ηλεκτρισμού (€/kWh). Κάτι τέτοιο όμως θα εισήγαγε την παράμετρο της βέλτιστης τιμής πώλησης του ηλεκτρισμού στη διαδικασία βελτιστοποίησης του χαρτοφυλακίου. Ωστόσο η τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος μεταβάλλεται διαρκώς με το χρόνο και μπορεί να καθορίζεται από στρατηγικές επιλογές των παικτών στην αγορά ενέργειας, από εφαρμογή διαφορετικών πολιτικών σε εθνικό επίπεδο, ενώ επηρεάζεται και από απρόβλεπτα περιστατικά. Επομένως, αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα κινδύνου που θα πρέπει να συνυπολογιστεί. Προκειμένου να αποφύγουμε κάτι τέτοιο εκφράζουμε την απόδοση σε kWh/€ και όχι ως αδιάστατο μέγεθος.

6.3 Η έννοια του κινδύνου

Στη Χρηματοοικονομική Διοίκηση ως κίνδυνος ενός οικονομικού αξιογράφου θεωρείται η διακύμανση ή τυπική απόκλιση της απόδοσής του στη βάση μίας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Εφόσον θέλουμε να εφαρμόσουμε τη Θεωρία Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό, θα πρέπει να οριστεί αντίστοιχα κάποιο μέγεθος για το ρίσκο.

Η ασφάλεια αποτελεί πρωταρχικό χαρακτηριστικό της χάραξης του ενεργειακού σχεδιασμού. Δεν είναι αρκετό να καλύπτονται απλά οι ενεργειακές ανάγκες της κοινωνίας, χρειάζεται κατά τη χάραξη της ενεργειακής πολιτικής να εξασφαλίζεται και ένα απαραίτητο επίπεδο ασφάλειας στην κοινωνία. Τα τελευταία χρόνια η έννοια του κινδύνου στον ενεργειακό σχεδιασμό είχε συνδεθεί με την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Ως κίνδυνος αντιμετωπιζόταν η αδυναμία κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης μιας χώρας εξαιτίας απρόβλεπτων παραγόντων κυρίως εξωγενών, όπως φυσικές καταστροφές, ατυχήματα, πόλεμοι, τρομοκρατικά χτυπήματα, εφαρμογή περιοριστικών μέτρων, εμπάργκο κλπ. Με αυτήν όμως τη θεώρηση αγνοείται μία άλλη παράμετρος που συνδέεται με τη μεταβλητότητα στις τιμές των καυσίμων που επηρεάζουν άμεσα την ενεργειακή πολιτική.

Ειδικά τα τελευταία χρόνια η επίδραση της σημασίας αυτής της παραμέτρου γίνεται περισσότερο εμφανής και απασχολεί τη διεθνή κοινότητα. Σύμφωνα με μελέτη των Awerbuch και Berger “ Exploiting the Oil-GDP effect to support Renewables Deployment-2005”, μία αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων και κυρίως του πετρελαίου μπορεί να επηρεάσει τη μακροοικονομία μιας χώρας με μείωση της ανάπτυξης, αύξηση του πληθωρισμού και της ανεργίας. Η παραπάνω μελέτη σκιαγραφεί την επιρροή που έχουν οι μεταβολές στις τιμές του πετρελαίου στην οικονομία μίας χώρας με στόχο να υποστηρίξει την περαιτέρω διεύθυνση των ανανεώσιμων. Συγκεκριμένα πολλά άρθρα στη διεθνή βιβλιογραφία υποστηρίζουν πως μία απότομη αλλαγή στην τιμή του πετρελαίου μπορεί να έχει σημαντικότερες επιπτώσεις στις διεθνείς οικονομίες, κάτι που αναφέρεται ως Φαινόμενο Πετρελαίου-ΑΕΠ (Oil-GDP effect). Το φαινόμενο αυτό μπορεί να περιγραφεί ως εξής: μία σημαντική αύξηση της τιμής του πετρελαίου συνεπάγεται μείωση της παραγωγής και συνεπώς και των μισθών των εργαζομένων. Η αλλαγή αυτή εισάγει πληθωριστικές τάσεις στην οικονομία με επακόλουθη αύξηση των επιτοκίων και μείωση της συνολικής ζήτησης. Όλα αυτά επηρεάζουν τις στρατηγικές αποφάσεις των επενδυτών ενώ άμεσες είναι και οι συνέπειες στα χρηματιστήρια [Sadorsky, 1999]. Είναι βέβαιο πως κάποιοι τομείς της οικονομίας πλήττονται περισσότερο από τις αλλαγές στην τιμή του πετρελαίου και είναι αντιμέτωποι με μειωμένη ζήτηση και αύξηση της ανεργίας.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στη μελέτη που δημοσίευσε ο Hamilton το 1983 και η οποία απέδειξε πως όλες οι οικονομικές κρίσεις που αντιμετώπισαν οι Η.Π.Α. στο διάστημα 1948-1980 συνδέονται με τις μεταβολές στις τιμές του πετρελαίου. Αν και μοιάζει παράδοξο μία μεταβολή στην τιμή του πετρελαίου να προκαλέσει ύφεση στην οικονομία,

είναι αυτή που μπορεί να προκαλέσει δραματικές αλλαγές στο οικονομικό περιβάλλον όπως περιγράψαμε παραπάνω. Έχει υπολογιστεί πως μία μεταβολή της τάξης του 10% στην τιμή του πετρελαίου μπορεί να προκαλέσει μείωση της τάξης του 2,5% στην παραγωγή του ιδιωτικού τομέα που είναι και ο πιο ευάλωτος, καθώς και μείωση 0,5 - 1% στο ΑΕΠ μίας χώρας. Οι μακροοικονομικές επιπτώσεις των τιμών του πετρελαίου έχουν υπολογισθεί και για άλλες χώρες, όπως για τον Καναδά, την Ιαπωνία, τη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο [Mork et al. 1994] καθώς και για την Ελλάδα [Παπαπέτρου, 2001].

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και δύο σημεία τα οποία εισάγουν μία “ασυμμετρία” στο φαινόμενο των επιπτώσεων των τιμών του πετρελαίου στη μακροοικονομία. Αρχικά, η θεώρηση δεν είναι συμμετρική με την έννοια πως μπορεί μία αύξηση των τιμών να οδηγήσει σε οικονομική ύφεση αλλά μία αντίστοιχη μείωση των τιμών του πετρελαίου μπορεί να έχει ελάχιστες ή μηδενικές επιπτώσεις στην οικονομία και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να σημάνει οικονομική ανάκαμψη. [Mork, 1989] Επίσης, προκύπτει από τις διάφορες μελέτες πως η οικονομία των Η.Π.Α. είναι πιο ευάλωτη σε αυτές τις απότομες αλλαγές στην τιμή του πετρελαίου από ό,τι άλλες χώρες μέλη του Ο.Ο.Σ.Α.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε πως η σχέση μεταξύ μεταβολών στην τιμή του πετρελαίου και ΑΕΠ είναι μη γραμμική και πιθανώς μη συμμετρική, έτσι ώστε η αύξηση της τιμής του πετρελαίου να παίζει πολύ πιο σημαντικό ρόλο από μια ενδεχόμενη μείωση. Επιπλέον, σημαντική είναι και η συνεισφορά της ιστορικής μεταβλητότητας της τιμής του καυσίμου. [Awerbuch and Berger-2005]

Διαπιστώνουμε λοιπόν πως συνδέοντας την ενεργειακή ασφάλεια μόνο με τον κίνδυνο διακοπής του ενεργειακού εφοδιασμού δεν συνυπολογίζουμε άλλους εξίσου σημαντικούς ή ενδεχομένως σημαντικότερους παράγοντες. Οι έντονες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις στις τιμές των καυσίμων καθώς και οι πιθανές συνέπειες που αυτές μπορεί να έχουν στην κοινωνία, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη αλλαγής του τρόπου προσέγγισης της ενεργειακής ασφάλειας. Στην παρούσα εργασία ως κίνδυνος εκλαμβάνεται η έκθεση του ενεργειακού συστήματος και κατά συνέπεια και της κοινωνίας στις απότομες αλλαγές των τιμών των καυσίμων. Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε πως η έκθεση σε κίνδυνο που σχετίζεται με τις τιμές των καυσίμων δεν μπορεί να εξαλειφθεί. Συνεπώς οι τιμές των καυσίμων αποτελούν μέχρι κάποιο σημείο ένα είδος συστηματικού κινδύνου. Αυτό που θα πρέπει να γίνει κατά τη χάραξη του ενεργειακού σχεδιασμού είναι να επιλεγούν τέτοια χαρτοφυλάκια ώστε το ρίσκο να είναι κατά το δυνατόν ελάχιστο. Με άλλα λόγια θα πρέπει να μηδενιστεί ο περιττός κίνδυνος για ένα ενεργειακό μίγμα.

Η Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου παρέχει στους αποφασίζοντες τα κατάλληλα εργαλεία ώστε να καταλήξουν στα πλέον αποδοτικά ενεργειακά μίγματα με στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και την ελαχιστοποίηση του ρίσκου, όπως αυτά ορίστηκαν παραπάνω. Τα βέλτιστα αυτά ενεργειακά χαρτοφυλάκια επιτυγχάνουν την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της ενέργειας και μειώνουν στο ελάχιστο την έκθεση σε περιττό κίνδυνο, δηλαδή η χώρα είναι όσο το δυνατόν λιγότερο ευάλωτη στις απότομες και απρόβλεπτες αλλαγές και συνδιακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων. Τέλος η συνεισφορά των ΑΠΕ έρχεται να μειώσει περαιτέρω τον κίνδυνο και να ελαχιστοποιήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ενέργειας.

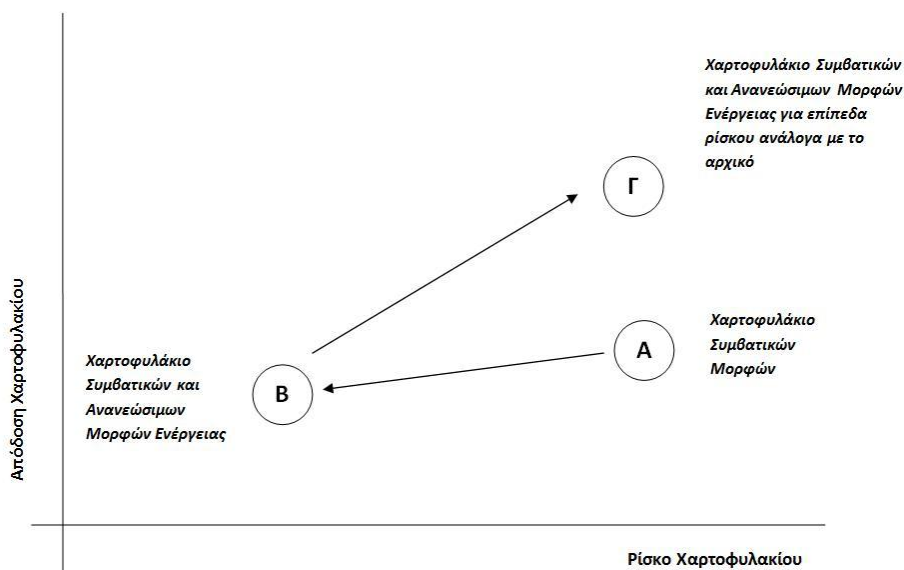
6.4 Ο ρόλος των τεχνολογιών σταθερού κόστους (ΑΠΕ)

Οι τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας δρουν ακριβώς όπως τα χαρτοφυλάκια μηδενικού ρίσκου στα οποία αναφερθήκαμε στη Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου. Οι τεχνολογίες σταθερού κόστους (ΑΠΕ) όταν προστίθενται σε ένα ενεργειακό μίγμα συμβατικών μορφών ενέργειας προκαλούν την εμφάνιση του φαινομένου χαρτοφυλακίου (portfolio effect). Όπως ακριβώς συμβαίνει και στα οικονομικά χαρτοφυλάκια, η προσθήκη ΑΠΕ στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο, μας επιτρέπει να βελτιστοποιήσουμε περισσότερο το χαρτοφυλάκιο μας περιορίζοντας το ρίσκο ή αυξάνοντας την απόδοση.

Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε πως οι τεχνολογίες ΑΠΕ μπορεί να έχουν σταθερό κόστος αλλά αυτό δεν σημαίνει πως έχουν και μηδενικό κίνδυνο [Awerbuch (2000)]. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από αστάθμητους παράγοντες, και κυρίως από τη διαθεσιμότητα του ανέμου, αν και οι διακυμάνσεις σε ετήσια βάση είναι σχετικά μικρές. Σε κάθε περίπτωση το ρίσκο στην περίπτωση των καιρικών συνθηκών θεωρείται τυχαίο και σίγουρα δεν παρουσιάζει συσχέτιση με τα κόστη των ορυκτών καυσίμων που αποτελούν το ρίσκο για τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Με κατάλληλη διαφοροποίηση, όπως γεωγραφική διασπορά ή επένδυση σε διαφορετικές μορφές ενέργειας, το ρίσκο για τις ΑΠΕ μπορεί να αντισταθμιστεί πλήρως. Η απουσία συσχέτισης ανάμεσα στο ρίσκο των συμβατικών τεχνολογιών και σε αυτό των ανανεώσιμων, μας επιτρέπει να καταλήξουμε στη σύνθεση ενός νέου βέλτιστου χαρτοφυλακίου. Το φαινόμενο χαρτοφυλακίου παρουσιάζεται όταν σε ένα ενεργειακό μίγμα αποκλειστικά συμβατικών τεχνολογιών προσθέσουμε τεχνολογίες υψηλότερου

κόστους (ΑΠΕ) και παρόλα αυτά το τελικό χαρτοφυλάκιο έχει μεγαλύτερη απόδοση (μικρότερο κόστος) από το αρχικό.

Προκειμένου να γίνει καλύτερα αντιληπτή η επίδραση των τεχνολογιών σταθερού κόστους στο ενεργειακό μίγμα, παραθέτουμε το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.1: Επίδραση Τεχνολογιών Σταθερού Κόστους στην Επιλογή Χαρτοφυλακίου

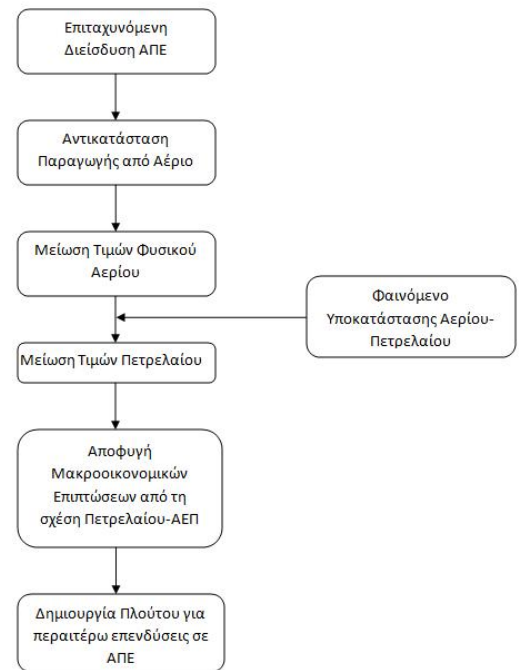
Ξεκινώντας από ένα χαρτοφυλάκιο αποκλειστικά αποτελούμενο από συμβατικές μορφές ενέργειας (Α), με την προσθήκη ΑΠΕ η απόδοση μειώνεται αφού αυξάνεται το κόστος, και το ρίσκο μειώνεται επίσης (Β). Στη συνέχεια βελτιστοποιούμε το χαρτοφυλάκιο μας για να φτάσουμε στα επίπεδα ρίσκου που είχαμε αρχικά. Τελικά λοιπόν έχουμε ένα χαρτοφυλάκιο το οποίο έχει μεγαλύτερη απόδοση για το ίδιο επίπεδο ρίσκου (Γ).

Πέραν των άλλων θετικών αποτελεσμάτων από τη χρήση τους, οι επενδύσεις σε ΑΠΕ μπορούν να δράσουν ανασταλτικά στις επιπλοκές μεταξύ τιμών πετρελαίου και ΑΕΠ (oil-GDP effect) που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα επενδύοντας σε ΑΠΕ μπορεί να παραχθεί πλούτος από τη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και αυτός ο πλούτος να ανατροφοδοτήσει τις επενδύσεις σε ανανεώσιμες. [Awerbuch and Sauter,2005].

Σχήμα 6.2 : Μηχανισμός Αναστολής Επιπλοκών μεταξύ Πετρελαίου και Α.Ε.Π.

Ο μηχανισμός αυτός παρουσιάζεται στο διπλανό σχήμα. Σύμφωνα με μετρήσεις των μελετητών, μία διείσδυση των ΑΠΕ της τάξης του 19-20% μπορεί να προκαλέσει μείωση των τιμών αερίου και πετρελαίου της τάξης του 10% και τελικά να αποφευχθούν απώλειες της τάξης του 0,6% ΑΕΠ. Αυτό μεταφράζεται σε 30-50 δισεκατομμύρια δολάρια για τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη. Προκύπτει λοιπόν πως το ένα τρίτο των συνολικών επενδύσεων για ΑΠΕ μπορεί να προέλθει από τις απώλειες του ΑΕΠ που αποφεύγονται.

Το αν οι πόροι που θα παραχθούν θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για τη χρηματοδότηση επενδύσεων ΑΠΕ είναι μία απόφαση που θα ληφθεί στα πλαίσια χάραξης της ενεργειακής πολιτικής. Ωστόσο, είναι προφανές πως οι επένδυση σε ΑΠΕ αποδεσμεύει μία χώρα από την εξάρτησή της από το πετρέλαιο και μειώνει κάθε κίνδυνο που αυτή η εξάρτηση συνεπάγεται.



6.5 Παραδοχές και Περιορισμοί

Η θεωρία Μέσου-Διακύμανσης που εισήγαγε ο Markowitz στη χρηματοοικονομική διοίκηση μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς στον ενεργειακό σχεδιασμό με δεδομένη την πλήρη ή μερική ισχύ κάποιων παραδοχών και περιορισμών που παρουσιάζονται παρακάτω. [Awerbuch and Berger, 2003]

1. **Διαιρετότητα Στοιχείων Ενεργητικού:** Η θεωρία μέσου διακύμανσης στηρίζεται στην παραδοχή πως τα χρεόγραφα που αξιολογούνται για επένδυση μπορούν να διαιρεθούν επ' άπειρον. Αντιθέτως τα επενδυόμενα κεφάλαια είναι συνήθως σε μεγάλες μη διαιρετές ομάδες [Seitz, 1990]. Αντιθέτως τα ενεργειακά χρεόγραφα δεν μπορούν να διαιρεθούν σε τόσο μεγάλο βαθμό. Με δεδομένο όμως πως η μελέτη μας αφορά εθνικά ή μεγαλύτερα χαρτοφυλάκια, η ασυνέχεια που μπορεί να προκληθεί από την ένταξη μίας ακόμα μονάδας παραγωγής είναι σχετικά αμελητέα. Και αυτό γιατί η ζήτηση που καλούμαστε να εξυπηρετήσουμε είναι πολύ μεγάλη.

2. **Κανονική Κατανομή Αποδόσεων σε Περιόδους Διακράτησης:** Η θεωρία μέσου-διακύμανσης χρησιμοποιεί μόνο αυτά τα δύο μεγέθη για να υπολογίσει τον οικονομικό πλούτο στο τέλος μιας περιόδου χρήσης. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν υποθέτουμε πως η απόδοση ακολουθεί κανονική κατανομή, εκτός και εάν οι επενδυτές έχουν κάποια συνάρτηση χρησιμότητας ειδικής μορφής (π.χ. τετραγωνικής μορφής) [Copeland and Weston, 1988]. Για τη μελέτη του ενεργειακού σχεδιασμού, θα πρέπει να καθοριστεί εάν οι αποδόσεις περιόδου διακράτησης (HRP's) παρουσιάζουν κανονική κατανομή. Ωστόσο, το γεγονός πως οι μεταβολές των τιμών συνήθως μοντελοποιούνται με τη μέθοδο τυχαίων μονοπατιών (random walks) [Felder (1994), Hassett and Metcalf (1993), Holt (1988), Glynn and Manne (1988)], μάς οδηγεί στο συμπέρασμα πως οι HRP's είναι τουλάχιστον ανεξάρτητες.
3. **Τέλεια Ανταλλάξιμα Στοιχεία Ενεργητικού:** Τα στοιχεία ενός οικονομικού χαρτοφυλακίου θεωρούνται ως τέλεια ανταλλάξιμα. Αυτό σημαίνει πως η τιμή τους σε κάθε χρονική στιγμή από το μέγεθος, το χρονικό προγραμματισμό και τη βεβαιότητα σχετικά με τις αναμενόμενες χρηματοροές. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να μην ισχύει στα ενεργειακά χαρτοφυλάκια στα οποία μία σειρά άλλων παραγόντων όπως η τοποθεσία ή η διαθεσιμότητα των καυσίμων μπορεί να επηρεάσουν στη διαδικασία επιλογής για μία μονάδα παραγωγής. Για παράδειγμα εάν αποφασιστεί να κατασκευαστεί μία μονάδα παραγωγής στην ευρύτερη περιοχή ενός αγωγού φυσικού αερίου, είναι βέβαιο πως θα προτιμηθεί μία μονάδα φυσικού αερίου από μία λιγνιτική. Και αυτό γιατί η παρουσία του αγωγού ενισχύει την ποσότητα και τη βεβαιότητα της παραγωγής ενέργειας και δεν επιτρέπει να επηρεαστεί η λειτουργία του. Σε αντιστοιχία λοιπόν με την οικονομική θεωρία, οι "χρηματοροές" είναι περισσότερες και πιο σίγουρες. Επιπλέον, η επιλογή της τεχνολογίας παραγωγής μπορεί να επηρεάσει την αξία ενός ενεργειακού αξιόγραφου στο βαθμό που τα κόστη εγκατάστασης και σύνδεσης στο Δίκτυο μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την τεχνολογία.
4. **Φορολογία και Επιδοτήσεις:** Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη χάραξη ενεργειακής πολιτικής και συνεπώς αντιμετωπίζει το κόστος του ρίσκου για την κοινωνία σαν σύνολο (τουλάχιστον για τους καταναλωτές της E.E.). Συνεπώς οι φόροι και οι επιδοτήσεις αντιμετωπίζονται ως διαβιβαστικές πληρωμές (transfer payments) και αγνοούνται.
5. **Το Παρελθόν ως οδηγός για το Μέλλον:** Η Θεωρία Χαρτοφυλακίου χρησιμοποιεί τη μεταβλητότητα του παρελθόντος σαν οδηγό για το μέλλον. [Ibbotson Associates (1998), Harlow (1991)]. Στη μελέτη μας βασιζόμαστε σε ετήσια στοιχεία για να εκτιμήσουμε τη

μεταβλητότητα στις αποδόσεις περιόδων διακράτησης των καυσίμων. Με τον τρόπο αυτό αποκλείονται εποχικές διακυμάνσεις κατά τη θεώρηση του κινδύνου.

6. **Αναμενόμενες Αποδόσεις:** Οι αναμενόμενες αποδόσεις συνήθως εκτιμώνται με βάση τα σταθμισμένα κόστη παραγωγής. Η δική μας ανάλυση επιδιώκει ελαχιστοποίηση του κόστους και του κινδύνου για την κοινωνία και συνεπώς δεν βασίζεται στα κέρδη από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας ή την τιμή πώλησης ενέργειας από συμβατικές ή ανανεώσιμες πηγές. Επιπλέον οι διακυμάνσεις στις τιμές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν μας αφορούν αφού οι αποδόσεις για το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο βασίζονται στο κόστος. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η απόδοση στα ενεργειακά χαρτοφυλάκια έχει μονάδα μέτρησης σε αντίθεση με τα οικονομικά χαρτοφυλάκια που είναι αδιάστατο μέγεθος.
7. **Παροπλισμός, Υπολειμματικές Αξίες και Μεταβατικά Κόστη:** Τα κόστη παροπλισμού μίας μονάδας, η υπολειμματική της αξία μετά το πέρας της επενδυτικής περιόδου καθώς και τα κόστη μετάβασης από μία απαρχαιωμένη τεχνολογία σε μία σύγχρονη δεν λαμβάνονται υπόψη στη διαμόρφωση του συγκεκριμένου μοντέλου. Συνεπώς η συμμετοχή κάποιων τεχνολογιών στα βέλτιστα μελλοντικά χαρτοφυλάκια μπορεί να είναι μικρότερη από αυτήν που παρουσιάζεται στη μελέτη μας.
8. **“Ρίσκο καυσίμου” για Ανανεώσιμες Πηγές:** Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μπορεί να υπάρξουν αυξομειώσεις στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, κυρίως λόγω μη διαθεσιμότητας του ανέμου. Το γεγονός αυτό εισάγει ένα επιπλέον ρίσκο αφού συμβατικές μονάδες παραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρεία. Στη μελέτη μας θεωρούμε πως δεν υπάρχουν απαιτήσεις για τις συμβατικές μονάδες να λειτουργούν ως εφεδρικές πέραν της δυναμικότητάς τους. Άρα δεν λαμβάνεται υπόψη κάποιο κόστος ευκαιρίας από τη χρησιμοποίηση των ΑΠΕ ούτε υπολογίζεται κάποιο ρίσκο για την αολική παραγωγή. [Awerbuch and Berger,2003]

6.6 Αντίθετες Απόψεις

Προκειμένου να είμαστε πιο συνεπείς, θα πρέπει να κάνουμε αναφορά και στις απόψεις που έχουν εκφραστεί από επιστήμονες που απορρίπτουν την εφαρμογή της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό. Συγκεκριμένα, ο καθηγητής Andrew C. Stirling (1994) υποστήριξε πως οι τιμές των καυσίμων δεν μπορούν να προκαθοριστούν και συνεπώς δεν μπορεί να εφαρμοστεί η θεωρία μέσου-διακύμανσης σε ενεργειακά θέματα.

Υποστήριξε πως “οι αποφάσεις στο περίπλοκο και συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μοναδικές, μείζονες και πρακτικά μη αναστρέψιμες”.

Ο Stirling διαχώρισε 3 διαφορετικά είδη αβεβαιότητας:

- **Ρίσκο:** μία συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μπορεί ουσιαστικά να οριστεί για μία σειρά από πιθανά αποτελέσματα
- **Αβεβαιότητα:** δεν υπάρχει βάση για να αντιστοιχηθούν οι πιθανότητες με τα αποτελέσματα
- **Άγνοια:** δεν υπάρχει ούτε βάση για την αντιστοίχιση μεταξύ πιθανοτήτων και αποτελεσμάτων, ούτε γνώση για τα περισσότερα από τα ίδια τα αποτελέσματα.

Υποστηρίζει πως η άγνοια και όχι το ρίσκο ή η αβεβαιότητα κυριαρχεί πραγματικά στις αποφάσεις για επενδύσεις στην ηλεκτρική ενέργεια και η διαφοροποίηση είναι μία απάντηση στην άγνοια αυτή.

Ωστόσο το ρίσκο για ένα χαρτοφυλάκιο ορίζεται ως το συνολικό ρίσκο (άθροισμα συστηματικού και μη συστηματικού κινδύνου) και μετράται με την τυπική απόκλιση των αποδόσεων συγκεκριμένων χρονικών περιόδων. Συνεπώς το ρίσκο του χαρτοφυλακίου περιλαμβάνει περιοδικές μεταβολές των επιμέρους συστατικών του στοιχείων, οι οποίες οφείλονται σε μία μεγάλη ποικιλία αιτιών. Τυχαίοι κίνδυνοι θα μπορούσαν να είναι η χρεωκοπία μίας εταιρείας, η αποτυχία μίας τεχνολογικής μεθόδου, η παραίτηση ενός Διευθύνοντος Συμβούλου ή το ξέσπασμα ταραχών σε μία πετρελαιοπαραγωγό χώρα. Ως συνολικός κίνδυνος θα μπορούσε να εκληφθεί το σύνολο των επιπτώσεων όλων των ιστορικών γεγονότων συμπεριλαμβανομένων και αναρίθμητων ιστορικών εκπλήξεων.

Παρόλο που κανένα τυχαίο ιστορικό γεγονός δεν μπορεί να ξανασυμβεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, στην περίπτωση των κεφαλαιαγορών η ιστορικές αλλαγές θεωρούνται ως μία χρήσιμη ένδειξη για τις μελλοντικές αλλαγές. Συγκεκριμένα έχει γραφτεί πως “παρακολουθώντας το παρελθόν, μπορεί κάποιος να βγάλει κάποιος συμπεράσματα για το μέλλον. Ενώ τα ίδια τα γεγονότα της περιόδου 1926-1996 δεν μπορεί να επαναληφθούν, τα είδη των γεγονότων αναμένονται να ξανασυμβούν” [Ibboston Associates (1998)].

Οι μελέτες για την εφαρμογή της θεωρίας χαρτοφυλακίου σε ενεργειακά θέματα δέχονται πως τόσο οι τιμές καυσίμων όσο και τα κόστη επενδυτικών περιόδων και λειτουργίας-συντήρησης ακολουθούν την παραπάνω αρχή. Δηλαδή τα ιστορικά δεδομένα δεν μπορούν

να προεξοφλήσουν ακριβώς τα αποτελέσματα, αλλά παρέχουν έναν οδηγό για το μέλλον. [Awerbuch and Berger, 2003].

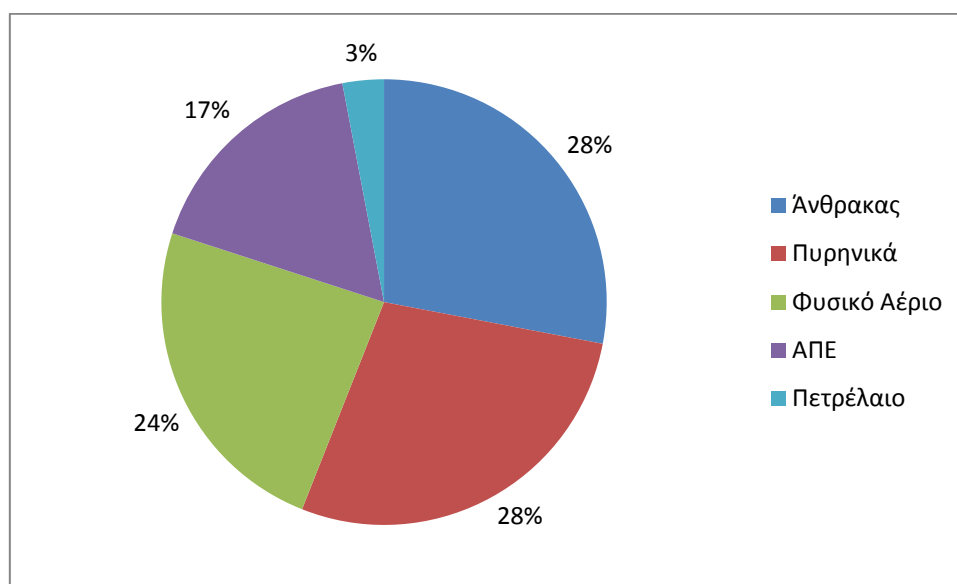
Σε καμία περίπτωση όμως αυτό δεν σημαίνει πως αποκλείεται να υπάρξουν “εκπλήξεις” που θα αλλάξουν τα ιστορικά μοτίβα. Τέτοιες εκπλήξεις είναι συνήθως απρόβλεπτα γεγονότα, όπως σημαντικές αναδιαρθρώσεις της αγοράς, ριζικά διαφορετικές και καινοτόμες τεχνολογίες κλπ. Εντούτοις, από το να αφήσουμε την πιθανότητα τέτοιων αλλαγών να καθορίσει τις αποφάσεις μας, είναι πιο εύλογο να υποθέσουμε πως όλα τα τυχαία γεγονότα που επηρέασαν τις τιμές των καυσίμων τα τελευταία 30 χρόνια καλύπτουν όλο το λογικό εύρος των αλλαγών που αναμένονται στο μέλλον.

7. Εφαρμογή της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 27

7.1 Εισαγωγή

Στη συνέχεια της μελέτης μας θα επιχειρήσουμε να εφαρμόσουμε τη Θεωρία του Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό της Ε.Ε. των 27 με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Εξετάζοντας κανείς το ενεργειακό μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση παρατηρεί πως οι συμβατικές μορφές ενέργειας κυριαρχούν, με πρώτο τον άνθρακα ενώ ακολουθούν με υψηλά ποσοστά το φυσικό αέριο και η πυρηνική ενέργεια. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [European Commission-DG Energy] το 2008 στο ενεργειακό μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής στην Ε.Ε. φαίνεται στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 7.1: Ενεργειακό Μίγμα Ηλεκτροπαραγωγής ΕΕ το 2008

Στην πρώτη θέση είναι ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια με ποσοστό 28% ενώ ακολουθεί με 24% το φυσικό αέριο. Το πετρέλαιο έχει σχετικά μικρή συμμετοχή με 3%. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική, φωτοβολταϊκά, υδροηλεκτρικά, ενέργεια κυμάτων, γεωθερμία κλπ) συγκεντρώνουν ένα ποσοστό 17%. Αναμφίβολα η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι καθαρά εξαρτημένη από τα ορυκτά καύσιμα χωρίς όμως ταυτόχρονα να διαθέτει τον ανάλογο ορυκτό πλούτο στο υπέδαφός της. Προκειμένου λοιπόν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες προχωρά σε εισαγωγές, συγκεκριμένα πάνω από το 50% της

καταναλισκόμενης ενέργειας στην Ένωση εισάγεται. Αυτή η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφορικά στις εισαγωγές ενέργειας αποτελεί έναν πιθανό κίνδυνο για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Επιπλέον, η κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα κινδύνου καθώς η Ε.Ε. καθίσταται ευάλωτη σε πιθανές διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων. Επιπλέον δεν πρέπει να παραβλέψουμε τις σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση αυτών των καυσίμων.

Ωστόσο είναι αρκετά ενθαρρυντικό πως στους κόλπους της Ε.Ε. έχει αρχίσει να γίνεται αντιληπτό πως σημαντικές αλλαγές θα πρέπει να λάβουν χώρα στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής. Η ευημερία των πολιτών και των οικονομιών των χωρών της Ένωσης εξαρτάται από την ασφαλή, βιώσιμη και ανταγωνιστική ενέργεια [European Commission-DG Energy-Energy Strategy 2020]. Η ενεργειακή πρόκληση είναι από τις σημαντικότερες δοκιμασίες που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η πρόκληση αυτή συνίσταται στην επίλυση πολλών και διαφοροποιημένων θεμάτων που έχουν ανακύψει τα τελευταία χρόνια, όπως η έντονη διακύμανση των τιμών, η εξάντληση φυσικών πόρων, η αυξανόμενη εξάρτηση από εισαγωγές, η αδυναμία κάλυψης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ανεπαρκών συνδέσεων μεταξύ των κρατών καθώς και πολλά περιβαλλοντικά ζητήματα. Σίγουρα θα χρειαστούν δεκαετίες για να μπορέσουν να στραφούν όλα τα ενεργειακά συστήματα σε μια πιο σωστή και βιώσιμη πορεία. Οι σχετικές αποφάσεις όμως πρέπει να ληφθούν άμεσα καθώς αν αποτύχει η σωστή οργάνωση της ευρωπαϊκής αγοράς ενέργειας, το κόστος για τους καταναλωτές θα αυξηθεί σημαντικά θέτοντας σε κίνδυνο την ανταγωνιστικότητα της Ευρώπης. Μέσα στα επόμενα 10-15 χρόνια περισσότερο από 1 τρισεκατομμύριο ευρώ θα πρέπει να επενδυθούν στη διαφοροποίηση και βελτίωση των υφιστάμενων πόρων, στην αντικατάσταση τεχνολογικού εξοπλισμού και στη μέριμνα για τις ενεργειακές ανάγκες.

Μία κοινή ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική έχει αναπτυχθεί γύρω από έναν κοινό στόχο, που είναι διπλός. Αφενός η εξασφάλιση της απρόσκοπτης διαθεσιμότητας ενεργειακών προϊόντων και υπηρεσιών στην αγορά, σε τιμές που θα είναι ανταγωνιστικές για τους καταναλωτές (ιδιώτες και επιχειρήσεις). Αφετέρου η συνεισφορά στην επίτευξη των ευρύτερων κοινωνικών και περιβαλλοντικών στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (περιορισμός εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ). Οι κεντρικοί στόχοι αυτής της πολιτικής (ασφάλεια εφοδιασμού, ανταγωνιστικότητα και βιωσιμότητα) έχουν πλέον συμπεριληφθεί και στη συνθήκη της Λισαβόνας. Ενώ κάποια πρόοδος έχει συντελεσθεί προς την κατεύθυνση επίτευξης αυτών των στόχων, τα ενεργειακά συστήματα

της Ευρώπης προσαρμόζονται αργά ενώ ταυτόχρονα οι προκλήσεις μεγαλώνουν διαρκώς. Οι επερχόμενες διευρύνσεις της Ένωσης θα κάνουν αυτές τις προκλήσεις ακόμα μεγαλύτερες καθώς η Ένωση θα συμπεριλάβει χώρες με απαρχαιωμένες υποδομές και λιγότερο ανταγωνιστικές αγορές ενέργειας.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο το 2007 υιοθέτησε φιλόδοξους στόχους για το 2020 αναφορικά με την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή:

- Μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου κατά 20% (με βάση αναφοράς το 1990) και εάν οι συνθήκες είναι κατάλληλες ο στόχος ανεβαίνει στο 30%
- Αύξηση της συνεισφοράς των Α.Π.Ε. στο 20%
- Αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στο 20%.

Ειδικότερα η αύξηση συνεισφοράς των ΑΠΕ συνεπάγεται μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγωγές από χώρες εκτός Ένωσης, μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που απειλούν το περιβάλλον και αποδέσμευση από τον κίνδυνο των τιμών των καυσίμων. Συνεπώς η οποιαδήποτε υιοθέτηση πολιτικών σε ευρωπαϊκό επίπεδο που οδηγούν σε αποδέσμευση του ενεργειακού τομέα από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας και τη μείωση του κόστους για την ενέργεια.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει στηρίξει όλους αυτούς τους στόχους ενώ το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο έχει θέση έναν ακόμα μακροπρόθεσμο στόχο που αφορά στην σταδιακή μείωση της εκμετάλλευσης άνθρακα στα ενεργειακά μίγματα. Ο στόχος για την Ε.Ε. και τις άλλες βιομηχανοποιημένες χώρες είναι η μείωση των εκπομπών σε ποσοστά 80-95% το έτος 2050.

Παρόλα αυτά η υφιστάμενη στρατηγική είναι σχεδόν απίθανο να επιτύχει όλους τους στόχους για το 2020 και είναι εντελώς ανεπαρκής για να αντιμετωπίσει τις μακροπρόθεσμες προκλήσεις. Το επείγον καθήκον για την Ε.Ε. είναι να συμφωνηθούν τα εργαλεία εκείνα που θα καταστήσουν δυνατή την απαραίτητη αλλαγή στην Ένωση και που έτσι θα διασφαλίσουν ότι η Ευρώπη θα ανακάμψει από την κρίση σε μία πιο ανταγωνιστική, ασφαλή και βιώσιμη πορεία προς το μέλλον.

Χρησιμοποιώντας στη μελέτη μας τις αρχές της εφαρμογής της Σύγχρονης Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό, θα επιχειρήσουμε να καταδείξουμε την ανάγκη αυτής της αλλαγής στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η αλλαγή αυτή συνίσταται

στην αύξηση της συνεισφοράς των Α.Π.Ε. και στην εύρεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων με υψηλότερες αποδόσεις και μικρότερο ρίσκο.

7.2 Πλαίσιο Εφαρμογής

Η αξιολόγηση που θα πραγματοποιήσουμε αφορά στα έτη 2007, 2020, 2030. Συγκεκριμένα για το 2007 θα συγκρίνουμε το χαρτοφυλάκιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο που θα μπορούσε να είχε υιοθετηθεί. Για τις άλλες δύο χρονιές θα προτείνουμε ενεργειακά χαρτοφυλάκια που θα ελαχιστοποιούν κατά το δυνατό τον κίνδυνο.

Τα χαρτοφυλάκια που θα προτείνουμε περιλαμβάνουν ένα ευρύτατο φάσμα συμβατικών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει τον άνθρακα, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο καθώς και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες πυρηνικής σχάσης. Η τελευταία τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνεισφέρει σημαντικά στο ενεργειακό μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρώπη με ποσοστό κοντά στο 30% όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Παρά το γεγονός ότι πολλές χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα) απορρίπτουν την πυρηνική ενέργεια, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε πως αποτελεί σημαντική εναλλακτική για πολλές άλλες χώρες (χαρακτηριστικότερο παράδειγμα η Γαλλία). Η πυρηνική ενέργεια κρίνεται σκόπιμο να συμπεριληφθεί στη μελέτη μας καθώς ενδέχεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή πολιτική της Ευρώπης και αυτό γιατί αποτελεί μία ανταγωνιστική λύση με αυξημένη απόδοση και σχεδόν μηδενικούς εκπεμπόμενους ρύπους.

Οι συμβατικές τεχνολογίες χωρίζονται στη μελέτη μας ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και είναι τέσσερις: τεχνολογίες άνθρακα, φυσικού αερίου, πετρελαίου και πυρηνικών. Οι δε ανανεώσιμες μορφές ενέργειας αντιπροσωπεύονται στη μελέτη μας από την αιολική ενέργεια και αυτό συμβαίνει για δύο κυρίως λόγους. Αρχικά στη μελέτη μας επιχειρούμε μία προσέγγιση του ενεργειακού σχεδιασμού με την έννοια της χάραξης μιας πολιτικής και δεν επικεντρωνόμαστε τόσο στη λειτουργία συγκεκριμένων μονάδων. Με δεδομένο αυτό το χαρακτηριστικό, είναι απαραίτητη μια κάποια απλούστευση, η οποία θα μας επιτρέψει να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τις κατευθυντήριες γραμμές της κοινής ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Επιπλέον η επιλογή της αιολικής ενέργειας ως αντιπροσωπευτικής μορφής Α.Π.Ε. οφείλεται και στο γεγονός πως παρουσιάζει χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά την αιολική ενέργεια πιο ελκυστική και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να ανταγωνιστεί ακόμα και κόστη συμβατικών μορφών ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα ή από τον ήλιο (φωτοβολταϊκά, ηλιακοί συλλέκτες) είναι πολύ πιο δαπανηρή και δεν προτιμάται. Η μόνη τεχνολογία Α.Π.Ε. που θα μπορούσαμε να πούμε ότι ανταγωνίζεται την αιολική όσον αφορά στο κόστος είναι η υδροηλεκτρική. Εντούτοις, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως το υδροηλεκτρικό δυναμικό της Ευρώπης έχει σχεδόν εξαντληθεί με την έννοια πως έχουν κατασκευαστεί υδροηλεκτρικά εργοστάσια σχεδόν σε όλα τα σημεία που προσφέρονται για τέτοιο σκοπό. Άρα μπορούμε να θεωρήσουμε πως δεν αναμένεται σημαντική αύξηση της υδροηλεκτρικής παραγωγής τα επόμενα χρόνια. Στις μέρες μας η τάση για την κατασκευή υδροηλεκτρικών είναι είτε αυτά να κατασκευάζονται σε μικρή κλίμακα στα πλαίσια μιας διεσπαρμένης παραγωγής, είτε να κατασκευάζονται σε αυτόνομα συστήματα (π.χ. νησιά) όπου θα λειτουργούν επικουρικά των αιολικών πάρκων σε μονάδες αντηλιοσταμείωσης. Αντίθετα, η αιολική τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται πετυχαίνοντας σημαντικούς βαθμούς απόδοσης με μείωση κόστους, ενώ τα υπεράκτια αιολικά πάρκα (off-shore) προσφέρουν τη δυνατότητα εγκατάστασης μονάδων μεγάλης ισχύος σε περιοχές με πολύ αυξημένο αιολικό δυναμικό.

Στη μελέτη μας υπολογίσαμε το κόστος παραγωγής για κάθε τύπο καυσίμου. Συγκεκριμένα υπολογίσαμε το κόστος για κάθε τεχνολογία και στη συνέχεια πήραμε το σταθμισμένο μέσο όρο αυτών για να βρούμε το κόστος παραγωγής ανά καύσιμο και στη συνέχεια την απόδοση. Συγκεκριμένα οι τύποι καυσίμου και οι τεχνολογίες που παίρνουν μέρος σε αυτή τη μελέτη είναι οι εξής.

Άνθρακας (Coal)

- Καύσιμα Σκόνης (Pulverized Fuel Combustion- PFC)
- Καύσιμα Σκόνης με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Pulverized Fuel Combustion with CCS- PFC CCS)
- Κυκλοφορούν Ρευστό Καύσιμο (Circulating Fuel Bed Combustion- CFBC)
- Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου (Integrated Gasification Combined Cycle- IGCC)
- Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Integrated Gasification Combined Cycle with CCS- IGCC CCS)

Πετρέλαιο (Oil)

- Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (Internal Combustion Engine- ICE)

Φυσικό Αέριο (Natural Gas)

- Αεριοστρόβιλος ανοιχτού κύκλου μεσαίου μεγέθους (Open Cycle Gas Turbine Medium- GT-M)
- Αεριοστρόβιλος ανοιχτού κύκλου μεγάλου μεγέθους (Open Cycle Gas Turbine Large- GT-L)
- Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου (Gas Turbine Combined Cycle - GTCC)
- Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου με τεχνολογία δέσμησης και αποθήκευσης άνθρακα (Gas Turbine Combined Cycle – GTCC CCS)

Πυρηνική Ενέργεια (Nuclear)

- Αντιδραστήρας 3^{ης} γενιάς με νερό ως ψυκτικό (Generation III (III+) water cooled reactor)

Αιολική Ενέργεια (Wind)

- Ανεμογεννήτριες στη στεριά (On-shore wind)
- Υπεράκτια αιολικά πάρκα (Off-shore wind)

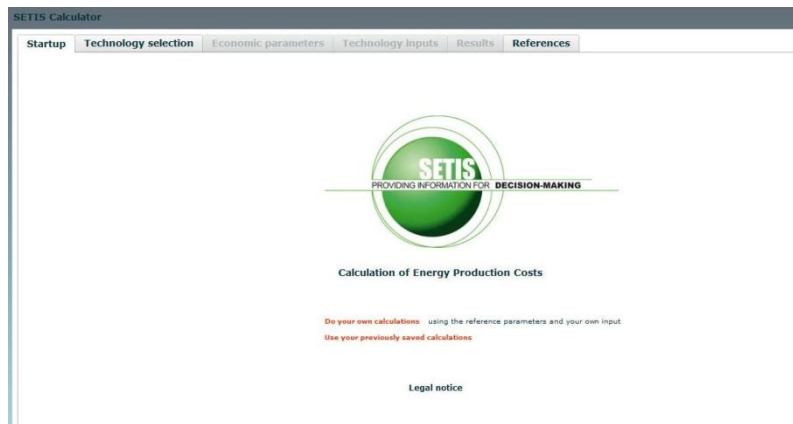
7.3 Υπολογισμός της Απόδοσης των Τεχνολογιών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα για την εφαρμογή της θεωρίας χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό, η απόδοση μετράται ως το αντίστροφο του κόστους παραγωγής. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε για να υπολογίσουμε την απόδοση προέρχονται από το σύστημα πληροφοριών SETIS (Strategic Energy Technologies Information System) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Το SETIS διοικείται από το ερευνητικό κέντρο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Joint Research Centre) και βρίσκεται σε στενή συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Τεχνολογίας (European Technology Platform), τη συμμαχία έρευνας για την ευρωπαϊκή ενέργεια (European Energy Research Alliance) και την πρωτοβουλία για τις ευρωπαϊκές βιομηχανίες (European industrial Initiatives- EII's). Οι δύο βασικές δράσεις του SETIS είναι να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση και τις προοπτικές των ενεργειακών τεχνολογιών στην Ευρώπη (κυρίως των τεχνολογιών χαμηλής έντασης άνθρακα), καθώς και η καταγραφή των επενδύσεων έρευνας (R&D) σε δημόσιο και ιδιωτικό τομέα σε νέες τεχνολογίες.

Στα πλαίσια των ερευνητικών του δραστηριοτήτων, το SETIS προχώρησε στην κατασκευή ενός πολύ εύχρηστου πληροφοριακού συστήματος για τον υπολογισμό του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Energy Calculator). Αυτό το σύστημα επιτρέπει τον υπολογισμό τους κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες μορφές καυσίμων και για διάφορες τεχνολογίες. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται για τα έτη 2007, 2020, 2030. Ειδικότερα για τα έτη 2020, 2030 έχουμε δύο διαφορετικούς υπολογισμούς γιατί έχουμε δύο διαφορετικά σενάρια για τις τιμές των καυσίμων: σενάριο μέτριων τιμών και σενάριο υψηλών τιμών. Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε πως στη μελέτη μας αλλά και στους υπολογισμούς του SETIS η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιμετωπίζεται συνολικά σαν μία ενιαία αγορά και ο ενεργειακός σχεδιασμός αντιμετωπίζεται συνολικά. Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στα δεδομένα κάθε τεχνολογίας που χρησιμοποιεί το SETIS calculator και θα παρουσιάσουμε κάποιες εικόνες από το σύστημα αυτό. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα του μοντέλου για τις τρεις διαφορετικές χρονιές.

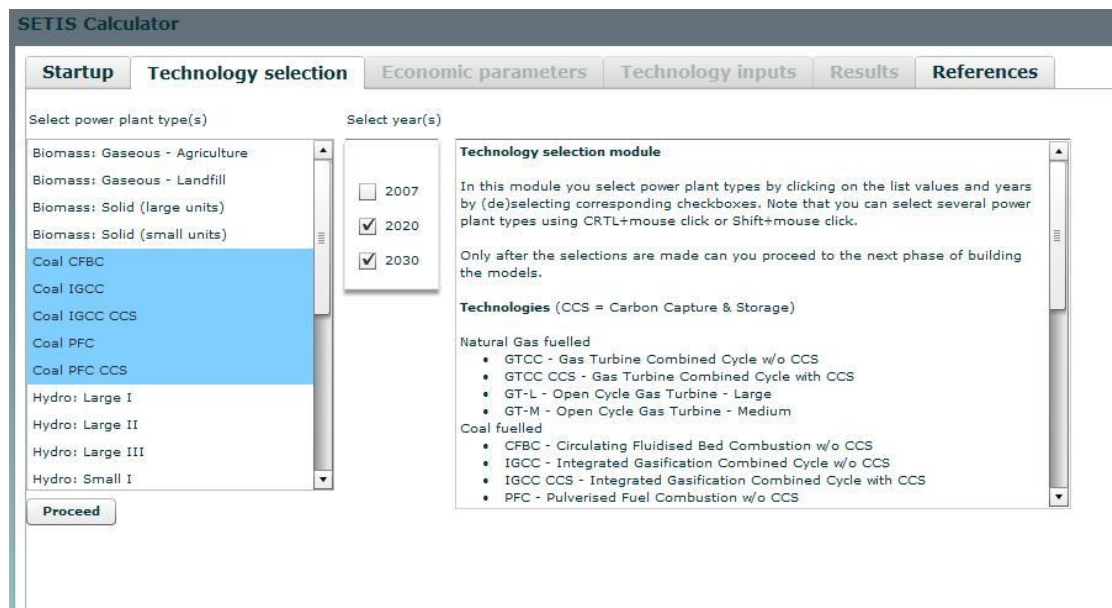
Προκειμένου να υπολογισθεί το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε τεχνολογία λαμβάνονται υπόψη μια πληθώρα παραμέτρων: οικονομικής, τεχνικής και λειτουργικής φύσης ενώ γίνεται η υπόθεση πως οι τεχνολογικές μονάδες είναι σύγχρονης τεχνολογίας (state-of-the-art). Ειδικότερα για τις μονάδες άνθρακα με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης (CCS) θεωρείται πως οι πρώτες μονάδες τέτοιου τύπου θα τεθούν σε λειτουργία το 2015. Για τις μονάδες αυτές το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης CO₂ αποτελεί μία ακόμα παράμετρο κόστους με μία τιμή αναφοράς 20€ ανά δεσμευμένο τόνο CO₂. Τα πιθανά κόστη παροπλισμού και υπολειπόμενα κόστη αγνοήθηκαν με εξαίρεση τα πυρηνικά εργοστάσια στα οποία συμπεριλήφθηκε το κόστος αποσυναρμολόγησης του αντιδραστήρα.

Παρακάτω παραθέτουμε μερικές εικόνες που δείχνουν πώς ακριβώς είναι το περιβάλλον του SETIS calculator. Η αρχική σελίδα έχει την εξής μορφή.



Εικόνα 7.1: Αρχική Σελίδα Προγράμματος SETIS calculator

Στη συνέχεια ο χρήστης καλείται να επιλέξει τις ενεργειακές τεχνολογίες που τον ενδιαφέρουν καθώς και τις χρονολογίες για τις οποίες θέλει να υπολογίσει το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην παρακάτω εικόνα έχουμε επιλέξει τις τεχνολογίες άνθρακα και τις χρονολογίες 2020 και 2030.



Εικόνα 7.2: Σελίδα επιλογής Τεχνολογιών στο SETIS calculator

Πατώντας Proceed προχωρούμε στο επόμενο βήμα που είναι οι οικονομικές παράμετροι που εισάγουμε στο calculator. Εδώ ο χρήστης μπορεί να αλλάξει εντός καθορισμένων πλαισίων κάποιες παραμέτρους και επίσης καλείται να επιλέξει το σενάριο τιμών για το οποίο ενδιαφέρεται να κάνει υπολογισμούς. Στη μελέτη μας έχουμε κρατήσει τις τιμές των παραμέτρων που είχε το SETIS προκαθορίσει για τις οικονομικές παραμέτρους. Στην

παρακάτω εικόνα βλέπουμε τη σελίδα των οικονομικών παραμέτρων και βλέπουμε πως έχουμε επιλέξει το σενάριο υψηλών τιμών.

SETIS Calculator

Startup | **Technology selection** | **Economic parameters** | Technology inputs | Results | References

Selected plant types: Coal PFC CCS, Coal PFC, Coal IGCC CCS, Coal IGCC, Coal CFBC

Years: 2020, 2030

Economic parameters:

- Inflation rate: 0 %
- Nominal discount rate: 10 %
- Interest during construction: 10 %
- Sinking fund interest rate: 2.5 %
- OM escalation rate: 0 %
- OM learning effect: -0.5 %
- CO2 allowance escalation rate: 0.4 %
- CO2 T&S cost escalation rate: 0 %

Activity lifetime: Project lifetime (20 year) or Technical lifetime

Select price scenario: High (DG TREN) (selected), Low (DG TREN)

Define CO2 allowances:

Year	Costs	Unit
2007	20	EUR/tCO2
2020	20	EUR/tCO2
2030	20	EUR/tCO2

Define CCS transport and storage (T&S) costs:

Year	Costs	Unit
2007	20	EUR/tCO2
2020	20	EUR/tCO2
2030	20	EUR/tCO2

Proceed

Εικόνα 7.3: Οικονομικές Παράμετροι στο SETIS calculator

Η επόμενη σελίδα είναι αυτή των τεχνολογικών παραμέτρων. Σε αυτή έχουμε μία πλειάδα παραμέτρων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς μας. Και σε αυτήν την περίπτωση δεν έχουμε προχωρήσει σε καμία αλλαγή των προκαθορισμένων παραμέτρων. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα οι παράμετροι που συνυπολογίζονται είναι τεχνικής φύσης, παράμετροι κόστους, λειτουργικές παράμετροι και δεδομένα για τα καύσιμα.

SETIS Calculator

Startup Technology selection Economic parameters Technology inputs Results References

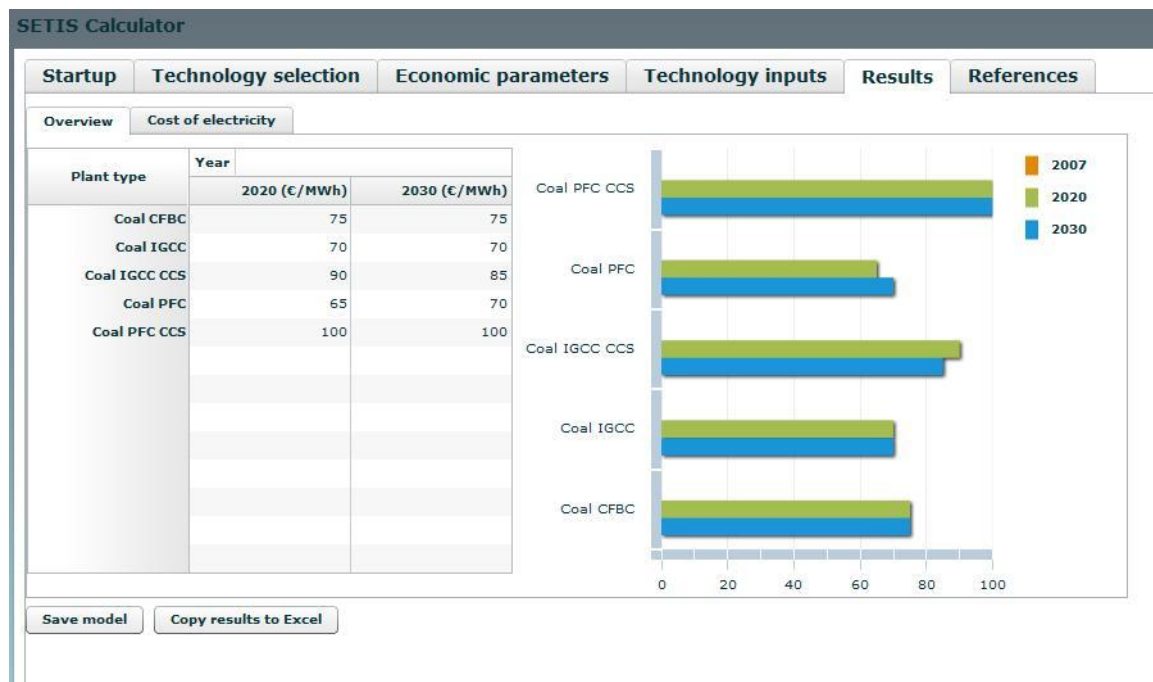
Technical parameters Cost parameters Operational parameters Fuel parameters Learning parameters

Plant type	Year	Net capacity	Net efficiency [%]	Load factor [%]	Technical lifetime [year]	Construction time [year]	CO2 capture rate [%]	LCA performance [tCO2/GWh]
Coal CFBC	2020	300	45.00	85	40	3	0	960
Coal CFBC	2030	300	50.00	85	40	3	0	960
Coal IGCC	2020	678	52.00	85	40	3	0	850
Coal IGCC	2030	678	57.00	85	40	3	0	850
Coal IGCC CCS	2020	600	40.00	85	40	4	85	270
Coal IGCC CCS	2030	600	47.00	85	40	4	85	270
Coal PFC	2020	800	51.00	85	40	3	0	820
Coal PFC	2030	800	54.00	85	40	3	0	820
Coal PFC CCS	2020	500	38.00	85	40	4	85	270
Coal PFC CCS	2030	500	42.00	85	40	4	85	270

Restore defaults Proceed

Εικόνα 7.4: Τεχνικές Παράμετροι στο SETIS calculator

Πατώντας ξανά Proceed προχωρούμε στη σελίδα των αποτελεσμάτων. Σε αυτήν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών του SETIS για τις επιλεγμένες τεχνολογίες, τις επιλεγμένες χρονιές και το αντίστοιχο σενάριο τιμών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά σε γράφημα, αλλά ο χρήστης μπορεί να δει και μια πιο λεπτομερή ανάλυση όλων των χαρακτηριστικών των σταθμών πατώντας στο tab με τίτλο cost of electricity. Επιπλέον το σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αντιγράψει τα αποτελέσματα του μοντέλου που έτρεξε το SETIS με τη μορφή συνοπτικού πίνακα σε λογιστικό φύλλο του Microsoft Excel. Συγκεκριμένα για το μοντέλο που επιλέξαμε εμείς, βλέπουμε τα διαφορετικά κόστη για τις τεχνολογίες άνθρακα με διαφορετικό χρώμα για τα έτη 2020 και 2030.



Εικόνα 7.5: Σελίδα Αποτελεσμάτων SETIS calculator

Στο tab με τίτλο References ο χρήστης μπορεί να δει όλες τις μελέτες στις οποίες βασίστηκε η κατασκευή αυτού του συστήματος υπολογισμού.

Στη συνέχεια παραθέτουμε μία σειρά με συγκεντρωτικούς πίνακες για τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς μας. Ξεκινάμε με τις οικονομικές παραμέτρους που είναι κοινές για όλες τις τεχνολογίες.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Ονομαστικό Επιτόκιο (Nominal Discount Rate)	10 %
Τόκοι κατά τη διάρκεια Κατασκευής (Interest during construction)	10 %
Τοκοχρεωλυτικό Επιτόκιο (Sinking Fund Interest Rate)	2,50 %
Πληθωρισμός	0 %
ΟΜ Learning Effect	-0,50%
Ποσοστό Κλιμάκωσης CO ₂ (CO ₂ allowance escalation rate)	0,40 %
Κόστος Εκπομπών (CO ₂ allowance)	20 €/tn
Κόστος Μεταφοράς και Αποθήκευσης για τεχνολογίες CCS (T&S cost)	20 €/tn

Πίνακας 7.1: Οικονομικές Παράμετροι

Στον παρακάτω πίνακα έχουμε τα κόστη καυσίμου για όλες τις χρονιές και τα σενάρια τιμών. Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται σε [€/GJ].

ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	2007	2020 Σενάριο Μέτριων Τιμών	2020 Σενάριο Υψηλών Τιμών	2030 Σενάριο Μέτριων Τιμών	2030 Σενάριο Υψηλών Τιμών
Άνθρακας	2,10	2,32	3,76	2,48	4,53
Πετρέλαιο	10,52	13,11	17,78	12,86	22,02
Φυσικό Αέριο	5,92	7,14	12,18	7,62	14,15
Πυρηνικά	0,83	0,89	1,37	0,93	1,62

Πίνακας 7.2: Παράγοντες Καυσίμου

Στην επόμενη σελίδα έχουμε σε δύο συγκεντρωτικούς πίνακες τις τεχνικές παραμέτρους και τις παραμέτρους που αφορούν στη λειτουργία των μονάδων παραγωγής. Προκειμένου να μπορέσουμε να παρουσιάσουμε μαζί όλες τις τεχνολογίες και όλα τα καύσιμα οι τεχνολογίες παραγωγής παρουσιάζονται σε συντομογραφία στα Αγγλικά. Οι πλήρεις ονομασίες έχουν αναφερθεί παραπάνω.

Τύπος Καυσίμου	Ενεργειακή Τεχνολογία	Net Capacity	Net Efficiency (%)			Συντελεστής Φορτίου	Διάρκεια Ζωής (χρόνια)	Χρόνος Κατασκευής (χρόνια)	Ποσοστό Δέσμευσης CO ₂ (%)	Απόδοση LCA (tCO ₂ /GWh)
			2007	2020	2030					
ΑΝΘΡΑΚΑΣ	PFC	800	47	51	54	85	40	3	0	820
	PFC-CCS	500	35	38	42	85	40	4	85	270
	CFBC	300	40	45	50	85	40	3	0	960
	IGCC	678	45	52	57	85	40	3	0	850
	IGCC-CCS	800	35	40	47	85	40	4	85	270
	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	IC	50	45	46,7	48	85	25	1	0
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	GT-M	48	42	46,5	50	85	25	1	0	580
	GT-L	240	38	42	45	85	25	1	0	640
	GTCC	645	58	63	65	85	25	3	0	420
	GTCC-CCS	555	48,5	51,5	55	85	25	4	85	150
ΠΥΡΗΝΙΚΑ	Nuc.III Reactor	1600	35	36	36	85	40	6	0	15
ΑΝΕΜΟΣ	On-shore	2	44	48,6	51	23	20	1	0	14
	Off-shore	3,6	44	48,6	51	39	20	2	0	12

Πίνακας 7.3: Τεχνικές Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό

Τύπος Καυσίμου	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστη Κεφαλαίου (€/KW)			Κόστη Συντήρησης Λειτουργίας (% κόστους κεφαλαίου)	Μεταβλητά Κόστη Συντήρησης Λειτουργίας (€/KW)	Αριθμός Προσωπικού	Ακαθάριστος Ετήσιος Μισθός (€)	Κόστος Διοίκησης (% κόστος προσωπικού)	Learning Rate (% κόστος κεφαλαίου)
		2007	2020	2030						
ΑΝΘΡΑΚΑΣ	PFC	1270	1200	1160	3,9	0,8	60	55000	30	6
	PFC-CCS	2250	2140	2050	2,5	2,9	78	55000	30	2
	CFBC	1400	1310	1260	3,7	1	35	55000	30	6
	IGCC	1550	1380	1290	3,2	1	93	55000	30	11
	IGCC-CCS	2100	1840	1660	3	1,2	112	55000	30	5
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	IC	800	770	750	4,2	0,1	4	55000	30	3
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	GT-M	470	430	450	3	0	1	55000	30	5
	GT-L	310	290	280	3	0	1	55000	30	5
	GTCC	640	610	600	3	0	36	55000	30	5
	GTCC-CCS	1200	1140	1060	2,3	0,9	55	55000	30	2
ΠΥΡΗΝΙΚΑ	Nuc.III Reactor	2570	2300	2220	2	0,6	480	55000	73	3
ΑΝΕΜΟΣ	On-shore	1140	920	860	2,1	0	0	55000	48	8
	Off-shore	2000	1620	1440	3,2	0,6	1	55000	30	4,3

Πίνακας 7.4: Παράμετροι Κόστους

Ειδικά για τα πυρηνικά εργοστάσια έχουμε κάποια επιπλέον κόστη που αφορούν στον παροπλισμό και την αποσυναρμολόγηση του αντιδραστήρα. Τα κόστη αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κόστος Παροπλισμού (€/KW)	
2007	660
2020	590
2030	580

Τα αποτελέσματα του SETIS προκύπτουν όπως έχουμε πει για κάθε ενεργειακή τεχνολογία. Προκειμένου να υπολογίσουμε την απόδοση ανά τύπο καυσίμου, πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο. Για το λόγο αυτό παίρνουμε το σταθμισμένο μέσο όρο του κόστους κάθε τεχνολογίας για δεδομένο τύπο καυσίμου. Το κόστος παραγωγής ανά καύσιμο θα προκύπτει σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$ACOE = \frac{\sum_{i=1}^N IC_i * COE_i}{\sum_{i=1}^N IC_i}$$

όπου:

ACOE (Average Cost of Electricity) = Το μέσο σταθμισμένο κόστος ανά τύπο καυσίμου

IC_i (Installed Capacity) = Η εγκατεστημένη ισχύς για κάθε ενεργειακή τεχνολογία του συγκεκριμένου καυσίμου

COE_i (Cost of Electricity) = Το κόστος παραγωγής από τη συγκεκριμένη τεχνολογία του καυσίμου.

Το κόστος προκύπτει σε €/MWh και στη συνέχεια η απόδοση για κάθε καύσιμο προκύπτει με αντιστροφή του κόστους και μετριέται σε KWh/€. Άρα η απόδοση θα προκύπτει από τον τύπο:

$$\text{Απόδοση Καυσίμου} = \frac{1000}{ACOE}$$

Στον παρακάτω πίνακα έχουμε τα αποτελέσματα του SETIS για το έτος 2007. Ακολουθούν οι πίνακες για τα δύο διαφορετικά σενάρια τιμών για τα έτη 2020 και 2030.

Τύπος Καυσίμου	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (€/MWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Σταθμισμένο Μέσο Κόστος Ανά Καύσιμο (€/MWh)	Ενεργειακή Απόδοση Καυσίμου (KWh/€)
ΑΝΘΡΑΚΑΣ	Καύσιμα Σκόνης Άνθρακα (PFC)	60	303	62	16,13
	Καύσιμα Σκόνης Άνθρακα με CCS (PFC-CCS)	-	-		
	Κυκλοφορούν Ρευστό Καύσιμο (CFBC)	70	70		
	Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου (IGCC)	70	1		
	Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου με CCS (IGCC-CCS)	-	-		
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (IC)	120	200	120	8,33
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	Αεριοστρόβιλος Ανοιχτού Τύπου Μεσαίου Μεγέθους (GT-M)	75	225	72	13,9
	Αεριοστρόβιλος Ανοιχτού Τύπου Μεγάλου Μεγέθους (GT-L)	80	225		
	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου (GTCC)	65	350		
	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου με CCS (GTCC-CCS)	-	-		
ΠΥΡΗΝΙΚΑ	Πυρηνικός Αντιδραστήρας (Nuc.III Reactor)	70	3,5	70	14,29
ΑΝΕΜΟΣ	Ανεμογεννήτριες στη στεριά (On-shore wind farm)	85	94	85	11,76
	Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα (Off-shore wind farm)	105	1,2		

Πίνακας 7.5: Αποτελέσματα Υπολογισμών και Εκτίμηση Απόδοσης για το 2007

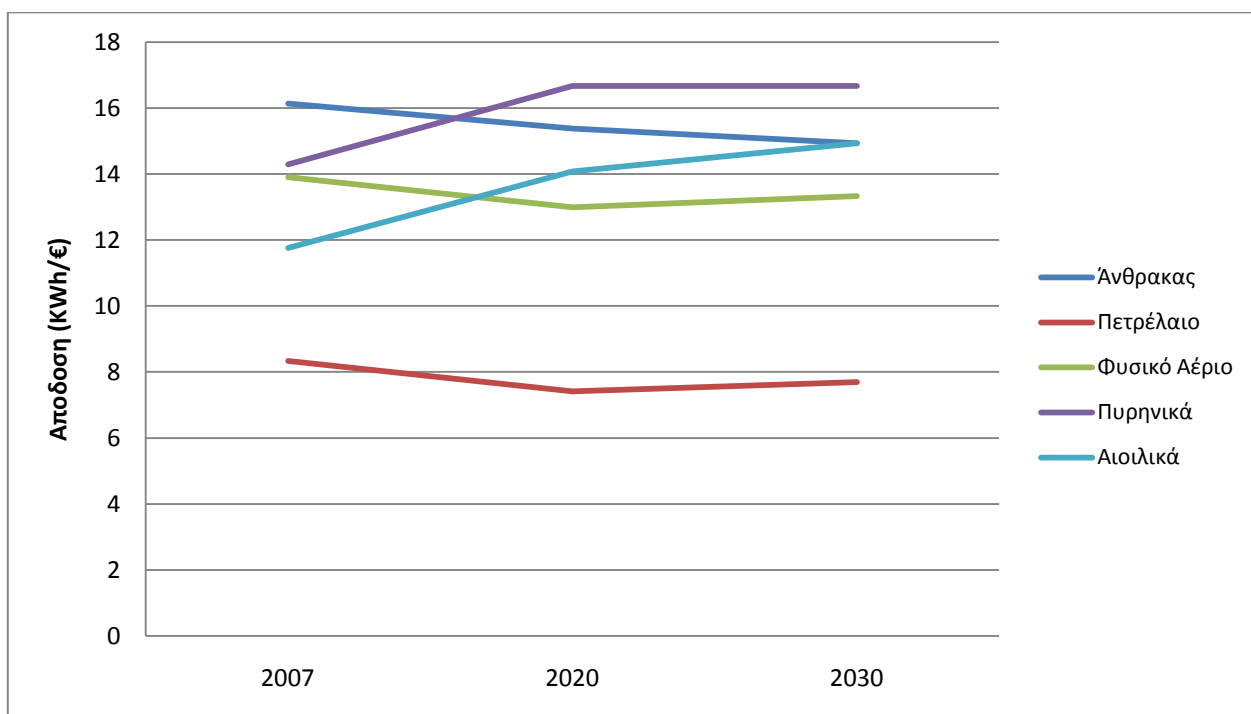
Τύπος Καυσίμου	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (€/MWh)		Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Σταθμισμένο Μέσο Κόστος Ανά Καύσιμο (€/MWh)		Ενεργειακή Απόδοση Καυσίμου (KWh/€)	
		Μέτριες Τιμές	Υψηλές Τιμές		Μέτριες Τιμές	Υψηλές Τιμές	Μέτριες Τιμές	Υψηλές Τιμές
ΑΝΘΡΑΚΑΣ	Καύσιμα Σκόνης Άνθρακα (PFC)	60	60	543	65	71	15,38	14,08
	Καύσιμα Σκόνης Άνθρακα με CCS (PFC-CCS)	90	85	60				
	Κυκλοφορούν Ρευστό Καύσιμο (CFBC)	65	65	150				
	Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου (IGCC)	60	60	2				
	Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου με CCS (IGCC-CCS)	80	75	60				
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (IC)	135	130	432	135	160	7,41	6,25
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	Αεριοστρόβιλος Ανοιχτού Τύπου Μεσαίου Μεγέθους (GT-M)	80	80	705	77	101	12,99	9,9
	Αεριοστρόβιλος Ανοιχτού Τύπου Μεγάλου Μεγέθους (GT-L)	85	80	705				
	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου (GTCC)	65	65	590				
	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου με CCS (GTCC-CCS)	90	90	6				
ΠΥΡΗΝΙΚΑ	Πυρηνικός Αντιδραστήρας (Nuc.III Reactor)	60	60	45	60	65	16,67	15,38
ΑΝΕΜΟΣ	Ανεμογεννήτριες στη στεριά (On-shore wind farm)	70	65	553	71	71	14,08	14,08
	Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα (Off-shore wind farm)	85	75	35				

Πίνακας 7.6: Αποτελέσματα Υπολογισμών και Εκτίμηση Απόδοσης για το 2020 για τα δύο σενάρια τιμών

Τύπος Καυσίμου	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (€/MWh)		Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Σταθμισμένο Μέσο Κόστος Ανά Καύσιμο (€/MWh)		Ενεργειακή Απόδοση Καυσίμου (KWh/€)	
		Μέτριες Τιμές	Υψηλές Τιμές		Μέτριες Τιμές	Υψηλές Τιμές	Μέτριες Τιμές	Υψηλές Τιμές
ΑΝΘΡΑΚΑΣ	Καύσιμα Σκόνης Άνθρακα (PFC)	60	70	790	67	78	14,93	12,82
	Καύσιμα Σκόνης Άνθρακα με CCS (PFC-CCS)	85	100	235				
	Κυκλοφορούν Ρευστό Καύσιμο (CFBC)	65	75	230				
	Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου (IGCC)	60	70	3				
	Ολοκληρωμένη Αεριοποίηση Συνδυασμένου Κύκλου με CCS (IGCC-CCS)	75	85	235				
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (IC)	130	175	930	130	175	7,69	5,71
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	Αεριοστρόβιλος Ανοιχτού Τύπου Μεσαίου Μεγέθους (GT-M)	80	110	405	75	106	13,33	9,43
	Αεριοστρόβιλος Ανοιχτού Τύπου Μεγάλου Μεγέθους (GT-L)	80	115	1105				
	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου (GTCC)	65	90	790				
	Αεριοστρόβιλος Συνδυασμένου Κύκλου με CCS (GTCC-CCS)	90	115	61				
ΠΥΡΗΝΙΚΑ	Πυρηνικός Αντιδραστήρας (Nuc.III Reactor)	60	70	100	60	65	16,67	15,38
ΑΝΕΜΟΣ	Ανεμογεννήτριες στη στεριά (On-shore wind farm)	65	65	956	67	67	14,93	14,93
	Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα (Off-shore wind farm)	75	75	210				

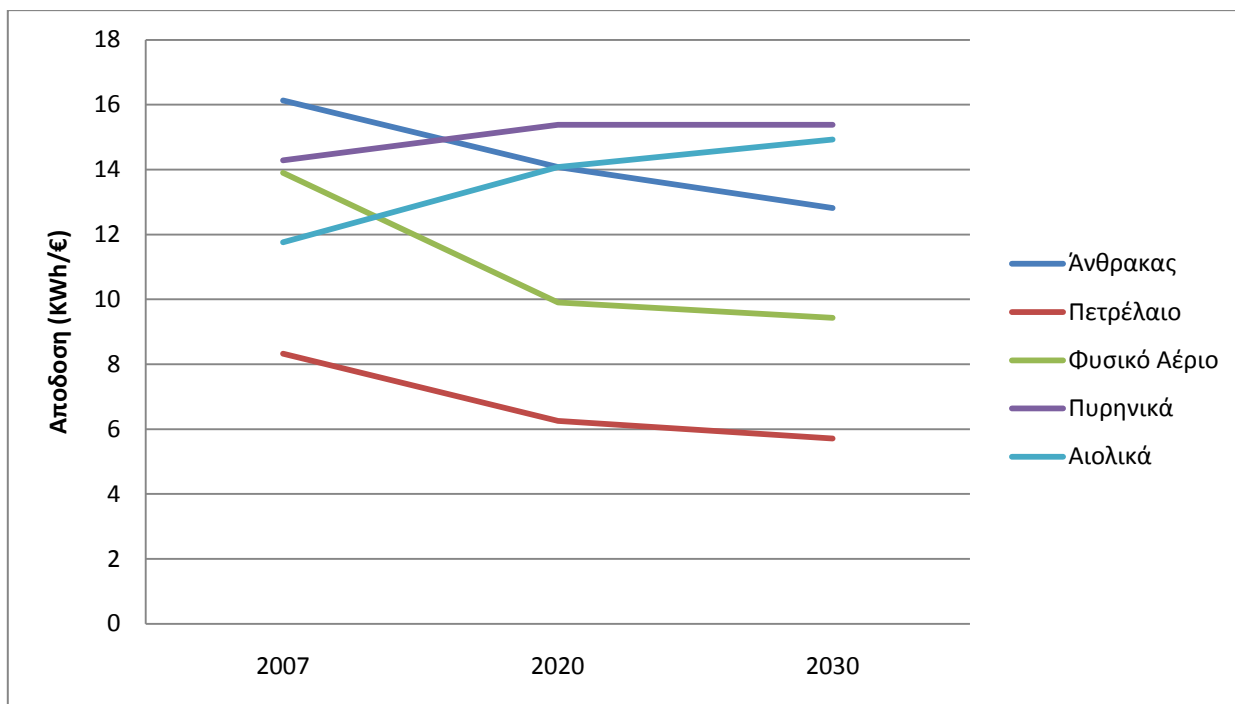
Πίνακας 7.7: Αποτελέσματα Υπολογισμών και εκτίμηση Απόδοσης για το 2030 για τα δύο σενάρια τιμών

Παρατηρώντας τους πίνακες μπορούμε να βγάλουμε αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα για την απόδοση (όπως την έχουμε ορίσει εμείς στα πλαίσια της μελέτης μας) των διαφόρων καυσίμων. Αρχικά εξετάζοντας τον πίνακα για το 2007 παρατηρούμε πως ο άνθρακας αποτελεί το πιο αποδοτικό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ακολουθούν με παραπλήσιες τιμές η πυρηνική ενέργεια και το φυσικό αέριο. Η αιολική ενέργεια παρουσιάζει σχετικά χαμηλή απόδοση ενώ στην τελευταία θέση βρίσκεται το πετρέλαιο. Ωστόσο αν εξετάσουμε τους πίνακες για τα έτη 2020 και 2030 θα παρατηρήσουμε αλλαγές στην παραπάνω κατάταξη. Για να γίνει η σύγκριση πιο εύκολη, παραθέτουμε τα δύο παρακάτω γραφήματα που παρουσιάζουν τις αποδόσεις των καυσίμων για τα έτη 2020 και 2030 για τα δύο διαφορετικά σενάρια τιμών.



Γράφημα 7.2: Εξέλιξη Ενεργειακών Αποδόσεων στο Σενάριο Μέτριων Τιμών Καυσίμων

Στο γράφημα αυτό που αφορά στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων, βλέπουμε πως ο άνθρακας έχει μία σημαντική μείωση στην απόδοσή του ενώ παρόμοια τάση ακολουθούν οι τεχνολογίες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η πυρηνική τεχνολογία είναι πλέον η πιο αποδοτική με αισθητή διαφορά από τις άλλες ενώ και η αιολική τεχνολογία από 4^η στην κατάταξη το 2007 φτάνει στη 2^η θέση το 2030. Η αύξηση στην απόδοση αυτή οφείλεται στην τεχνολογική ανάπτυξη που αναμένεται στο μέλλον και η οποία θα καταστήσει την αιολική τεχνολογία πιο ανταγωνιστική.



Γράφημα 7.3: Εξέλιξη Ενεργειακών Αποδόσεων στο Σενάριο Υψηλών Τιμών Καυσίμων

Σύμφωνα με το σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων, οι συμβατικές τεχνολογίες (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο) παρουσιάζουν περαιτέρω μείωση, ενώ ακόμα και η πυρηνική τεχνολογία επηρεάζεται από τις υψηλές τιμές καυσίμων. Το σενάριο αυτό όπως ήταν αναμενόμενο δεν επηρεάζει την απόδοση της αιολικής τεχνολογίας η οποία παραμένει 2^η στην κατάταξη.

Συνοψίζοντας λοιπόν θα μπορούσαμε να υπογραμμίσουμε κάποια σημεία στη διαχρονική εξέλιξη της ενεργειακής απόδοσης των τεχνολογιών. Αρχικά όλες οι τεχνολογίες που παρουσιάζουν κάποια ευαισθησία στην τιμή των καυσίμων αναμένεται να επηρεαστούν στην περίπτωση που επιβεβαιωθεί το σενάριο υψηλών τιμών. Μεγαλύτερη μεταβολή θα παρουσιάσουν οι τεχνολογίες φυσικού αερίου και πετρελαίου αφού αυτά τα 2 καύσιμα αναμένεται να παρουσιάσουν μεγαλύτερες μεταβολές. Επιπλέον, ο άνθρακας παύει να αποτελεί την πιο ανταγωνιστική ενεργειακή πηγή. Αυτό οφείλεται και στην αύξηση της τιμής του καυσίμου αλλά και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι τεχνολογίες άνθρακα είναι από τις πλέον ρυπογόνες και έτσι πρόκειται να επιβαρυνθούν στο μέλλον. Από το 2013 μέσω του κοινού προγράμματος εξαγοράς εκπομπών (Emission Trading Scheme) θα πρέπει όλα τα δικαιώματα εκπομπής να αγοράζονται από τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού. Επιπλέον, οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS)

μπορεί να αποτελούν ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό εργαλείο αλλά επιβαρύνουν σημαντικά το κόστος και θα πρέπει να περάσουν αρκετά χρόνια ώστε να καταστούν ανταγωνιστικές οικονομικά. Στη μελέτη μας έχουμε υποθέσει πως οι πρώτες μονάδες με τεχνολογία CCS θα αρχίσουν να λειτουργούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2015. Τέλος σημειώνεται πως η πυρηνική τεχνολογία είναι αρκετά ανταγωνιστική αλλά δεν πρέπει να ξεχνάμε ζητήματα πολιτικής και ηθικής φύσης που αποτρέπουν την εξάπλωσή της. Όσον αφορά στην αιολική τεχνολογία η απόδοσή της αυξάνει σημαντικά στην πάροδο των ετών.

Στην ανάλυση που προηγήθηκε ασχοληθήκαμε με την ενεργειακή απόδοση των διαφόρων τεχνολογιών και καυσίμων. Η απόδοση δεν είναι όμως ο μοναδικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Χρειάζεται ένας ακόμα παράγοντας και αυτός είναι ο παράγοντας του κινδύνου.

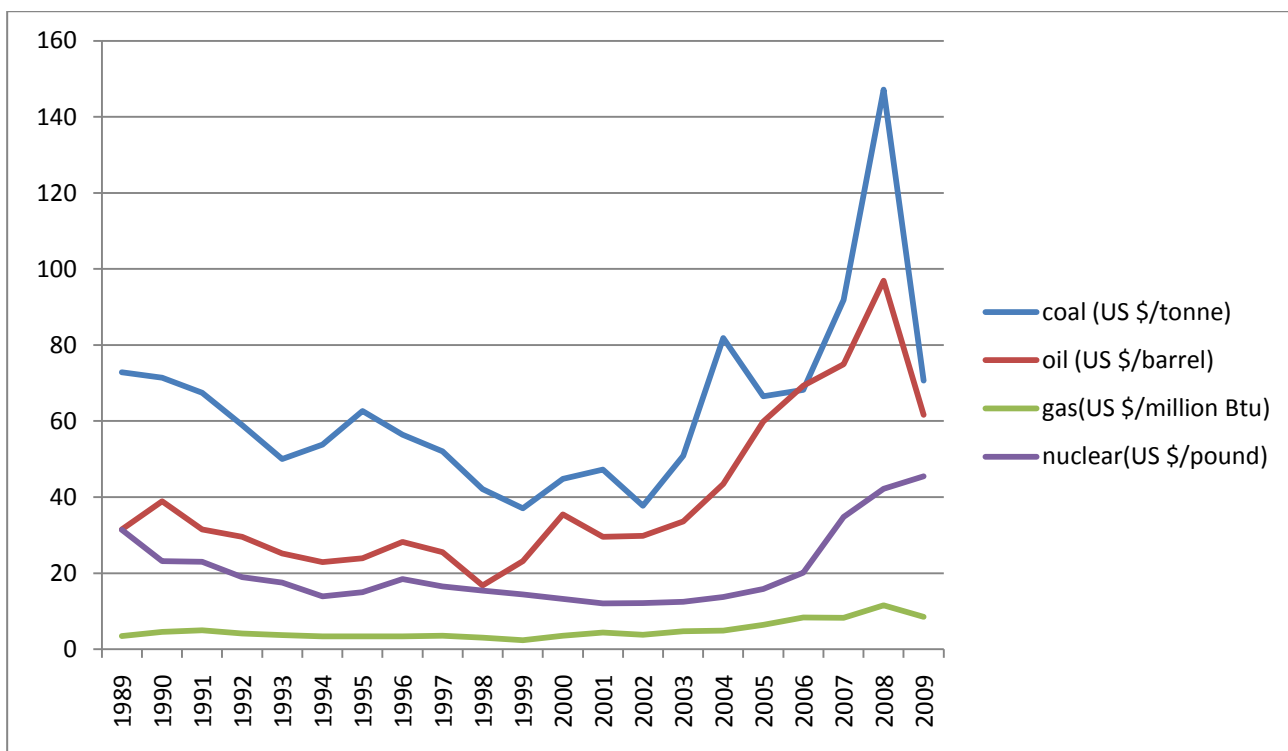
7.4 Υπολογισμός του Κινδύνου των Τεχνολογιών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε για την εφαρμογή της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό, ως κίνδυνος θεωρείται η έκθεση του ενεργειακού συστήματος και κατά συνέπεια ολόκληρης της κοινωνίας στις απότομες αλλαγές τιμών των καυσίμων. Το ρίσκο λοιπόν κάθε ενεργειακής τεχνολογίας εκφράζεται μέσω του στατιστικού μεγέθους της τυπικής απόκλισης των τιμών των καυσίμων. Είναι γεγονός πως οι τιμές των καυσίμων αποτελούν μία μορφή συστηματικού κινδύνου αφού δεν μπορεί να εξαλειφθεί. Συνεπώς στόχος μας στη χάραξη των αποδοτικών χαρτοφυλακίων είναι να μειώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τον περιττό κίνδυνο από τις τιμές των καυσίμων.

Ωστόσο ο κίνδυνος για ένα ενεργειακό χαρτοφυλάκιο που αποτελείται από διαφορετικές ενεργειακές τεχνολογίες εξαρτάται και από το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών. Συνεπώς δεν αρκούν μόνο οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών των καυσίμων για να υπολογιστεί ο συνολικός κίνδυνος. Είναι απαραίτητος και ο υπολογισμός της συσχετισμένης μεταβολής των τιμών των διαφόρων καυσίμων.

Τα παραπάνω στατιστικά μεγέθη (τυπική απόκλιση και συντελεστής συσχέτισης) υπολογίζονται για τις τέσσερις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες: Άνθρακας, Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο και Πυρηνικά. Για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών χρησιμοποιήσαμε ιστορικά δεδομένα για 21 χρόνια (1988-2009). Τα δεδομένα για τον Άνθρακα, το Πετρέλαιο και το Φυσικό Αέριο αντλήθηκαν από την ετήσια αναφορά της εταιρείας BP [BP Statistical Review of World Energy-2011]. Οι τιμές για τα πυρηνικά καύσιμα προέρχονται από τη βάση δεδομένων της ανεξάρτητης ενεργειακής στατιστικής υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Energy Information Administration-EIA). Όλες οι τιμές αναφέρονται σε μέση ετήσια τιμή και είναι πραγματικές και όχι ονομαστικές. Δηλαδή έχουν αποπληθωριστεί και έχουν αναχθεί σε έτος βάσης το 2009.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται οι χρονοσειρές με τα δεδομένα για τον άνθρακα, το αργό πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τα πυρηνικά καύσιμα.



Γράφημα 7.4:Χρονοσειρές Εξέλιξης Τιμών Καυσίμων

Παρατηρώντας το γράφημα, μπορούμε να συμπεράνουμε πως ο άνθρακας και το πετρέλαιο παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις στη διάρκεια των ετών και φτάνουν στη μέγιστη τιμή τους το 2008. Στη συνέχεια πιθανόν λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, οι τιμές τους μειώνονται. Το φυσικό αέριο ακολουθεί την ίδια κλιμάκωση το 2008 ενώ τα προηγούμενα χρόνια η τιμή του παραμένει σχετικά σταθερή. Τέλος η τιμή του πυρηνικού καυσίμου (στην περίπτωση μας του

ουρανίου) είναι σχετικά σταθερή τα έτη 2000-2005 ενώ έκτοτε αυξάνεται σταδιακά και δεν παρουσιάζει τη μείωση που παρουσιάζουν οι τιμές των άλλων καυσίμων το 2009.

Είναι προφανές από το γράφημα πως οι τιμές των καυσίμων είναι σε διαφορετικές μονάδες. Συνεπώς δεν είναι σωστή μία σύγκριση των τιμών σε αυτή τη μορφή και ούτε θα ήταν σωστό να υπολογίσουμε την τυπική απόκλιση για κάποιο καύσιμο αφού για παράδειγμα το πετρέλαιο θα είχε μεγαλύτερη τυπική απόκλιση από το φυσικό αέριο μόνο και μόνο γιατί λαμβάνει υψηλότερες τιμές και έτσι να έχουμε αλλοίωση του αποτελέσματος.

Για να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα θα υπολογίσουμε το ρίσκο μέσω της τυπικής απόκλισης της Απόδοσης Περιόδου Διακράτησης (Holding Period Return- HRP) [Awerbuch, 2003]. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σχετική έκφραση των τιμών και οδηγούμαστε σε ορθότερα αποτελέσματα. Ουσιαστικά είναι σαν να υπολογίζουμε την ποσοστιαία μεταβολή της τιμής του καυσίμου σε μία συγκεκριμένη περίοδο. Η σχέση υπολογισμού είναι:

$$HRP = \frac{FV_t - BV_t}{BV_t}$$

όπου HRP: η απόδοση περιόδου διακράτησης

FV_t: η τελική τιμή του καυσίμου στη χρονική περίοδο t

BV_t: η αρχική τιμή του καυσίμου στη χρονική περίοδο t.

Έχοντας λοιπόν συλλέξει όλα τα ιστορικά δεδομένα, υπολογίζουμε τις αποδόσεις περιόδου διακράτησης για τα καύσιμα και στη συνέχεια υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση και το συντελεστή συσχέτισης χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις του Microsoft Excel STDEV και CORREL αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ					
ΚΑΥΣΙΜΑ	Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Πετρέλαιο	1	0,56	0,5	0,17	0,23
Φυσικό Αέριο	0,56	1	0,51	0,15	0,24
Άνθρακας	0,5	0,51	1	0,34	0,28
Πυρηνικά	0,17	0,15	0,34	1	0,23

Πίνακας 7.8: Τυπική Απόκλιση και Συντελεστές Συσχέτισης Ενεργειακών Τεχνολογιών

Παρατηρούμε πως οι τυπικές αποκλίσεις των ενεργειακών τεχνολογιών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για το συντελεστή συσχέτισης. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συσχέτιση, κάτι που είναι αναμενόμενο αφού οι δύο αυτές τεχνολογίες είναι ουσιαστικά υποκατάστατο η μία της άλλης. Ο άνθρακας παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση τόσο με το πετρέλαιο όσο και με το φυσικό αέριο. Τέλος τα πυρηνικά καύσιμα παρουσιάζουν τη μικρότερη συσχέτιση σε σχέση με τα άλλα καύσιμα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από το γράφημα αφού η χρονοσειρά των πυρηνικών δεν παρουσιάζει ομοιότητες με τις υπόλοιπες.

7.5 Υπολογισμός Αποδοτικών Ενεργειακών Χαρτοφυλακίων σε περιβάλλον Microsoft Excel

7.5.1 Εισαγωγή

Στις παραπάνω ενότητες παρατέθηκε διεξοδικά ο τρόπος υπολογισμού της αναμενόμενης ενεργειακής απόδοσης όλων των τεχνολογιών, συμβατικών κι ανανεώσιμων, καθώς και του ρίσκου, με τη μορφή του κόστους καυσίμου, που παρουσιάζουν οι συμβατικές τεχνολογίες. Καθίσταται επομένως δυνατή η εύρεση του αποτελεσματικού μετώπου, ή αλλιώς αποδοτικού συνόρου, που περιλαμβάνει τους βέλτιστους συνδυασμούς απόδοσης και κινδύνου για τα ενεργειακά χαρτοφυλάκια. Έχοντας ορίσει το αποδοτικό αυτό μέτωπο, η διαδικασία επιλογής χαρτοφυλακίου εξαρτάται αποκλειστικά από τη στάση του επενδυτή απέναντι στον κίνδυνο και στο κατά πόσο αυτός είναι διατεθειμένος να αναλάβει μεγαλύτερο ρίσκο, για να επιτύχει υψηλότερα επίπεδα αναμενόμενης απόδοσης.

Όπως ορίστηκε και στα χαρτοφυλάκια N χρεογράφων, το πρόβλημα εύρεσης του αποτελεσματικού μετώπου επιλύεται με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού. Με τη μέθοδο αυτή, μοντελοποιούνται τα βέλτιστα ενεργειακά χαρτοφυλάκια με βάση μια αντικειμενική συνάρτηση και κάποιες μεταβλητές απόφασης. Στην προκειμένη περίπτωση, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου για δεδομένα επίπεδα απόδοσης με βάση τα ποσοστά συμμετοχής κάθε τεχνολογίας στο ενεργειακό μίγμα.

Αρχικά, θα προσδιοριστούν τα αποδοτικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια που θα περιέχουν αποκλειστικά τις συμβατικές τεχνολογίες. Ως αντικειμενική συνάρτηση θα τεθεί η ελαχιστοποίηση του κινδύνου για κάθε δεδομένο επίπεδο απόδοσης και ως μεταβλητές απόφασης τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε τεχνολογίας.

Εν συνεχεία, θα προσδιοριστεί το νέο αποτελεσματικό μέτωπο που περιλαμβάνει συμβατικές και ανανεώσιμες τεχνολογίες. Θα ευρεθεί το χαρτοφυλάκιο M με βάση τη μεγιστοποίηση της απόδοσης χαρτοφυλακίου θ και, ακολούθως, θα προσδιοριστούν τα ενεργειακά χαρτοφυλάκια μέχρι το σημείο M , που περιλαμβάνουν συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρισμού. Αυτή τη φορά, ως αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται η νέα τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου και παράμετροι απόφασης τόσο τα ποσοστά συμμετοχής κάθε τεχνολογίας όσο και τα ποσοστά συμμετοχής συμβατικών (με ρίσκο) και ανανεώσιμων (χωρίς ρίσκο) πηγών στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο.

Τέλος, θα παρασταθούν γραφικά τα αποδοτικά μέτωπα για κάθε υπό εξέταση έτος και σενάριο τιμών και θα δοθούν υπό μορφή διαγραμμάτων τα ενεργειακά μίγματα που πρόέκυψαν.

Κύριο εργαλείο στη διαδικασία εύρεσης του αποδοτικού μετώπου αποτελεί η εφαρμογή Solver του Microsoft Office Excel. Η εφαρμογή αυτή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να βρίσκει τη βέλτιστη τιμή ενός κελιού - προορισμού, μεταβάλλοντας τιμές στα κελιά τα οποία χρησιμοποιούνται ως παράμετροι για τον υπολογισμό του κελιού – προορισμού. Ουσιαστικά, λοιπόν, προσφέρει λύση σε προβλήματα βελτιστοποίησης και κρίνεται ένα ιδιαίτερα χρήσιμο μαθηματικό εργαλείο.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα αναλυθεί βήμα προς βήμα η διαδικασία προσδιορισμού του αποτελεσματικού μετώπου τόσο για τις συμβατικές τεχνολογίες όσο και για το συνδυασμών συμβατικών κι ανανεώσιμων πηγών ηλεκτροπαραγωγής.

7.5.2 Αποτελεσματικό Μέτωπο Συμβατικών Τεχνολογιών

Μαθηματικά το πρόβλημα εύρεσης των αποδοτικών χαρτοφυλακίων για τις τέσσερις βασικές συμβατικές τεχνολογίες των πετρελαίου, άνθρακα, φυσικού αερίου και πυρηνικών ορίζεται ως εξής:

Ονομάζουμε E_i και σ_i την αναμενόμενη απόδοση και τυπική απόκλιση της i -οστής συμβατικής τεχνολογίας και X_i το ποσοστό συμμετοχής αυτής στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο. Επίσης, ορίζουμε E_p και σ_p την αναμενόμενη απόδοση και τυπική απόκλιση του ενεργειακού χαρτοφυλακίου αντίστοιχα. Καταστρώνεται, επομένως, το ακόλουθο πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού:

Αντικειμενική Συνάρτηση:
$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 X_i \cdot X_j \cdot \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j} = \min$$

Περιορισμοί:

$$X_i \geq 0$$

$$X_i \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^4 X_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^4 X_i E_i = R$$

Αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούμε στο Solver είναι τα εξής:

1. Προσδιορίζουμε το κάτω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το αποδοτικό χαρτοφυλάκιο με το ελάχιστο ρίσκο. Απαιτούμε, επομένως, η τυπική απόκλιση σ_p του χαρτοφυλακίου να ελαχιστοποιηθεί, τα ποσοστά συμμετοχής X_i κάθε μίας εκ των τεσσάρων συμβατικών τεχνολογιών να είναι μικρότερα της μονάδας και μεγαλύτερα του μηδενός, και το άθροισμά τους να ισούται με 1. Δε θέτουμε σε αυτήν την περίπτωση κανένα περιορισμό για την αναμενόμενη απόδοση E_p .
2. Προσδιορίζουμε το άνω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το αποδοτικό χαρτοφυλάκιο με τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Απαιτούμε αυτή τη φορά η αναμενόμενη απόδοση E_p του χαρτοφυλακίου να μεγιστοποιείται, θέτουμε τους ίδιους περιορισμούς για τα ποσοστά συμμετοχής X_i των τεσσάρων τεχνολογιών στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ενώ δε θέτουμε κάποιο περιορισμό για τον κίνδυνο σ_p του χαρτοφυλακίου.
3. Αποφασίζουμε ότι θέλουμε το αποτελεσματικό μέτωπο των συμβατικών τεχνολογιών να αποτελείται από 50 χαρτοφυλάκια. Υπολογίζουμε, επομένως, το βήμα με το οποίο θέλουμε να αυξάνεται κάθε φορά η ζητούμενη απόδοση R , για την οποία θα απαιτούμε ο συνολικός κίνδυνος σ_p του χαρτοφυλακίου να ελαχιστοποιείται. Το βήμα υπολογίζεται από τη διαφορά της απόδοσης μεταξύ του άνω και κάτω άκρου του αποτελεσματικού μετώπου προς τον συνολικό αριθμό χαρτοφυλακίων, δηλαδή 50.
4. Υπολογίζουμε τα 50 χαρτοφυλάκια που βρίσκονται πάνω στο αποτελεσματικό μέτωπο, με βάση το πρόβλημα του γραμμικού προγραμματισμού που καταστρώσαμε παραπάνω. Απαιτούμε η συνάρτηση της τυπικής απόκλισης σ_p να γίνεται ελάχιστη και ορίζουμε τα ποσοστά συμμετοχής X_i των τεσσάρων τεχνολογιών να είναι μεγαλύτερα του μηδενός, μικρότερα της μονάδας και το άθροισμά τους να δίνει 1. Τέλος, απαιτούμε η αναμενόμενη απόδοση του ενεργειακού χαρτοφυλακίου E_p να ισούται με την επιθυμητή απόδοση R , η οποία αυξάνεται κάθε φορά κατά το βήμα που υπολογίσαμε στο στάδιο 3. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 50 φορές.

Με τα τέσσερα αυτά βασικά βήματα, προσδιορίζουμε τα 50 βέλτιστα χαρτοφυλάκια ανάλογα με τα επίπεδα αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου και σχεδιάζουμε το αποδοτικό μέτωπο αυτών για τα έτη 2007, 2020, 2030 και τα δύο σενάρια τιμών (μέτριες και υψηλές τιμές καυσίμων).

7.5.3 Αποτελεσματικό Μέτωπο Συμβατικών και Ανανεώσιμων Τεχνολογιών

Στη συνέχεια της μελέτης μας επιθυμούμε να κατασκευάσουμε το αποτελεσματικό μέτωπο που θα περιλαμβάνει τόσο τις τέσσερις βασικές συμβατικές τεχνολογίες (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας, πυρηνικά) όσο και τις ανανεώσιμες τεχνολογίες, οι οποίες αντιπροσωπεύονται στη μελέτη από τους αιολικούς σταθμούς. Όπως ορίσαμε και παραπάνω, οι συμβατικές τεχνολογίες φέρουν ρίσκο, το οποίο προσδιορίζεται από το κόστος καυσίμου τους, ενώ οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θεωρούνται τεχνολογίες μηδενικού ρίσκου.

Για την προσδιορισμό του νέου συνόλου των εφικτών ενεργειακών χαρτοφυλακίων, θα πρέπει να υπολογίσουμε αρχικά το χαρτοφυλάκιο M και στη συνέχεια να προσδιορίσουμε όλα τα χαρτοφυλάκια που αποτελούνται κατά ένα ποσοστό από το χαρτοφυλάκιο M και κατά ένα ποσοστό από τις τεχνολογίες ΑΠΕ, και βρίσκονται κάτω από το σημείο M . Το σημείο M αποτελεί το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών τεχνολογιών και προτιμάται από όλους τους επενδυτές, ανεξαρτήτως της στάσης τους απέναντι στον κίνδυνο. Από το σημείο M και πάνω, το σύνορο περιλαμβάνει μόνο χαρτοφυλάκια συμβατικών τεχνολογιών και διατηρεί τη μορφή που είχε και πριν την εισαγωγή των ΑΠΕ.

Τα βήματα που ακολουθούνται στο Solver για την εύρεση του νέου αποδοτικού συνόρου είναι τα ακόλουθα:

1. Προσδιορίζουμε το χαρτοφυλάκιο M . Απαιτούμε η συνάρτηση θ να μεγιστοποιηθεί, τα ποσοστά συμμετοχής X_i κάθε μίας εκ των τεσσάρων συμβατικών τεχνολογιών να είναι μικρότερα της μονάδας και μεγαλύτερα του μηδενός, και το άθροισμά τους να ισούται με 1. Η απόδοση E_p , η τυπική απόκλιση σ_p και τα ποσοστά συμμετοχής X_i που δίνονται ως λύσεις είναι τα χαρακτηριστικά του χαρτοφυλακίου M .
2. Προσδιορίζουμε το κάτω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το αποδοτικό χαρτοφυλάκιο με το ελάχιστο ρίσκο. Αυτό αποτελείται 100% από τεχνολογία ΑΠΕ και 0% από συμβατικές τεχνολογίες. Επομένως η απόδοσή του ισούται ακριβώς με την απόδοση των αιολικών.
3. Προσδιορίζουμε το άνω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το αποδοτικό χαρτοφυλάκιο με τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Αυτό θα ταυτίζεται με το άνω άκρο του αντίστοιχου αποδοτικού συνόρου χωρίς ΑΠΕ.

4. Αποφασίζουμε ότι θέλουμε το αποτελεσματικό μέτωπο που περιλαμβάνει χαρτοφυλάκια, αποτελούμενα από συμβατικές πηγές και ΑΠΕ, να συνίσταται από 30 χαρτοφυλάκια. Υπολογίζουμε, επομένως, το βήμα με το οποίο θέλουμε να αυξάνεται κάθε φορά η ζητούμενη απόδοση R , για την οποία θα απαιτούμε ο συνολικός κίνδυνος σ_p του χαρτοφυλακίου να ελαχιστοποιείται. Το βήμα υπολογίζεται από τη διαφορά της απόδοσης μεταξύ του χαρτοφυλακίου M και της απόδοσης της τεχνολογίας ΑΠΕ προς τον συνολικό αριθμό χαρτοφυλακίων, δηλαδή 30.
5. Υπολογίζουμε τα 30 χαρτοφυλάκια που βρίσκονται πάνω στο αποτελεσματικό μέτωπο και είναι συνδυασμοί συμβατικών και ανανεώσιμων τεχνολογιών. Απαιτούμε η συνάρτηση της τυπικής απόκλισης σ_p να γίνεται ελάχιστη και ορίζουμε τα ποσοστά συμμετοχής X_i των τεσσάρων συμβατικών τεχνολογιών να είναι μεγαλύτερα του μηδενός, μικρότερα της μονάδας και το άθροισμά τους να δίνει 1. Επίσης, ορίζουμε τους ίδιους ακριβώς περιορισμούς και για τα ποσοστά συμμετοχής επικίνδυνου (συμβατικές μορφές) και ακίνδυνου (αιολικά) χαρτοφυλακίου στο τελικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο. Τέλος, απαιτούμε η αναμενόμενη απόδοση του ενεργειακού χαρτοφυλακίου E_p να ισούται με την επιθυμητή απόδοση R , η οποία αυξάνεται κάθε φορά κατά το βήμα που υπολογίσαμε στο στάδιο 4. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 30 φορές.
6. Το ενεργειακό χαρτοφυλάκιο συμπληρώνεται από το σημείο M έως το άνω άκρο του από τα συμβατικά χαρτοφυλάκια που υπολογίστηκαν πριν την προσθήκη των ΑΠΕ.

8. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

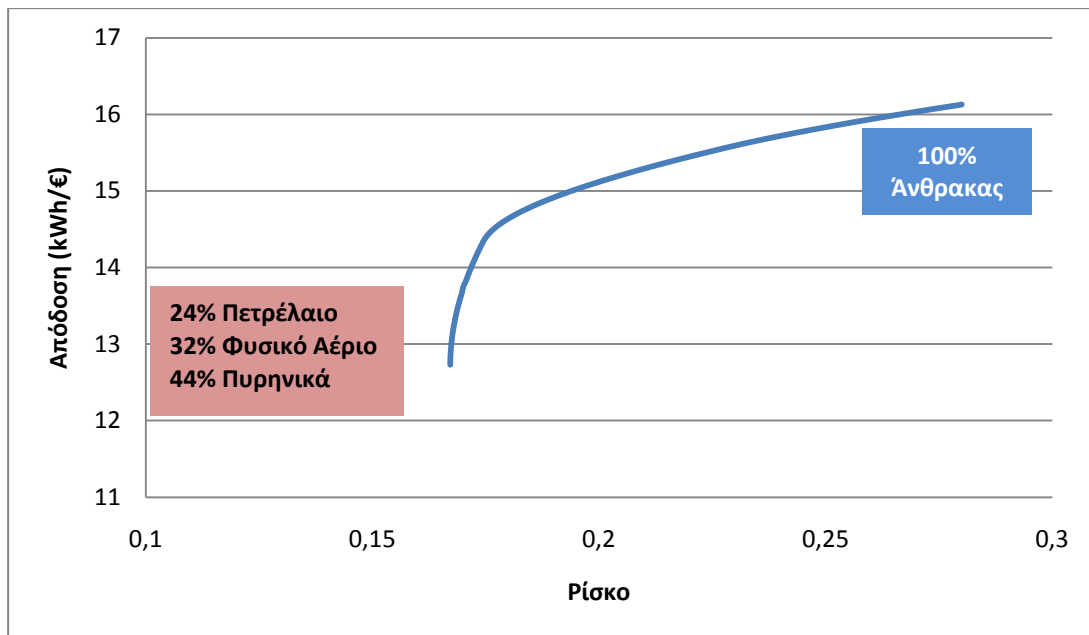
8.1 Εισαγωγή

Βασιζόμενοι στη Σύγχρονη Θεωρία του Χαρτοφυλακίου και χρησιμοποιώντας το εργαλείο Solver του Microsoft Office Excel, υπολογίσαμε τα βέλτιστα ενεργειακά μίγματα για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 για τα έτη 2007, 2020 και 2030 και για δύο πιθανά σενάρια τιμών. Για τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης λάβαμε υπόψη τα σύγχρονα κόστη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτά καθορίζονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, καθώς επίσης και τα κόστη εκπομπών ρύπων CO₂, όπου αυτά αποτελούσαν παράμετρο κόστους. Ως κίνδυνο κάθε τεχνολογίας ορίσαμε το στατιστικό μέγεθος της τυπικής απόκλισης των τιμών των καυσίμων, αντλώντας δεδομένα από τους επίσημους φορείς της BP και της βάσης δεδομένων της EIA. Κατασκευάσαμε, επομένως, βέλτιστους ενεργειακούς συνδυασμούς και παρατηρήσαμε πως, εφαρμόζοντας σύγχρονες μεθόδους Χρηματοοικονομικών, είναι δυνατόν να επιτύχουμε σημαντικά καλύτερα επίπεδα αναμενόμενης ενεργειακής απόδοσης και μειωμένα επίπεδα ρίσκου.

Στη συνέχεια, παρατίθενται αναλυτικά τα αποδοτικά σύνορα και τα αντίστοιχα ενεργειακά χαρτοφυλάκια για κάθε υπό εξέταση έτος και σενάριο τιμών και ακολουθεί σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Στο παράρτημα της μελέτης αυτής, επισυνάπτονται οι πίνακες με τα αναλυτικά δεδομένα όπως αυτά προέκυψαν από τα λογιστικά φύλλα του Microsoft Excel.

8.2 Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2007

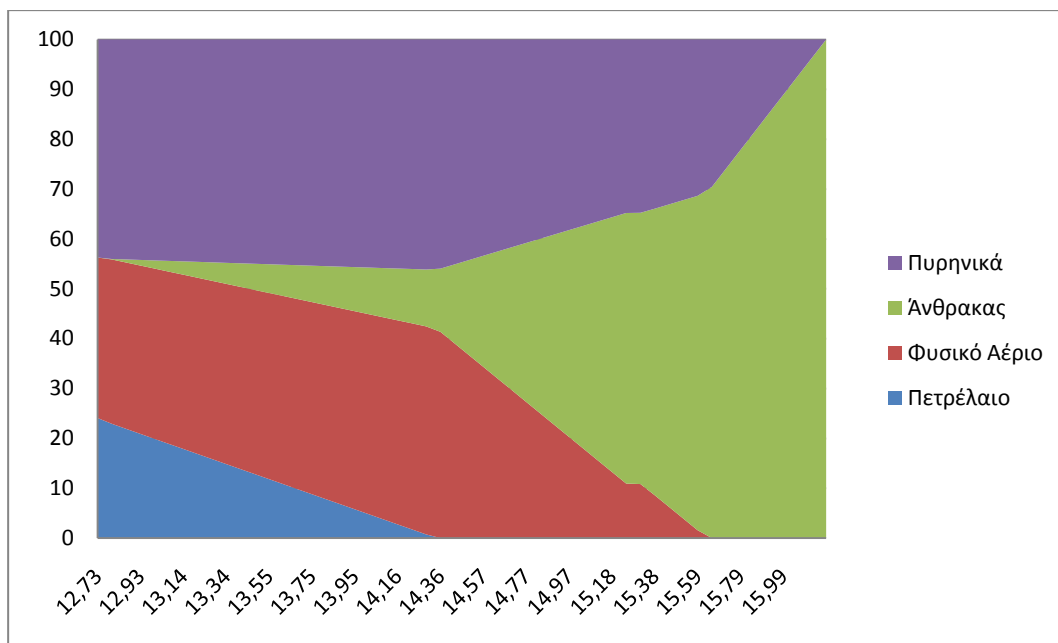
Για το έτος 2007 προσδιορίσαμε αρχικά, στηριζόμενοι στα στοιχεία που αντλήσαμε από τις βάσεις δεδομένων για το έτος αυτό, το αποτελεσματικό μέτωπο που περιλαμβάνει όλους τους βέλτιστους συνδυασμούς απόδοσης – ρίσκου για τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού. Γραφικά το σύνορο αυτό αποτυπώνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Γράφημα 8.1: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2007 (Συμβατικές Τεχνολογίες)

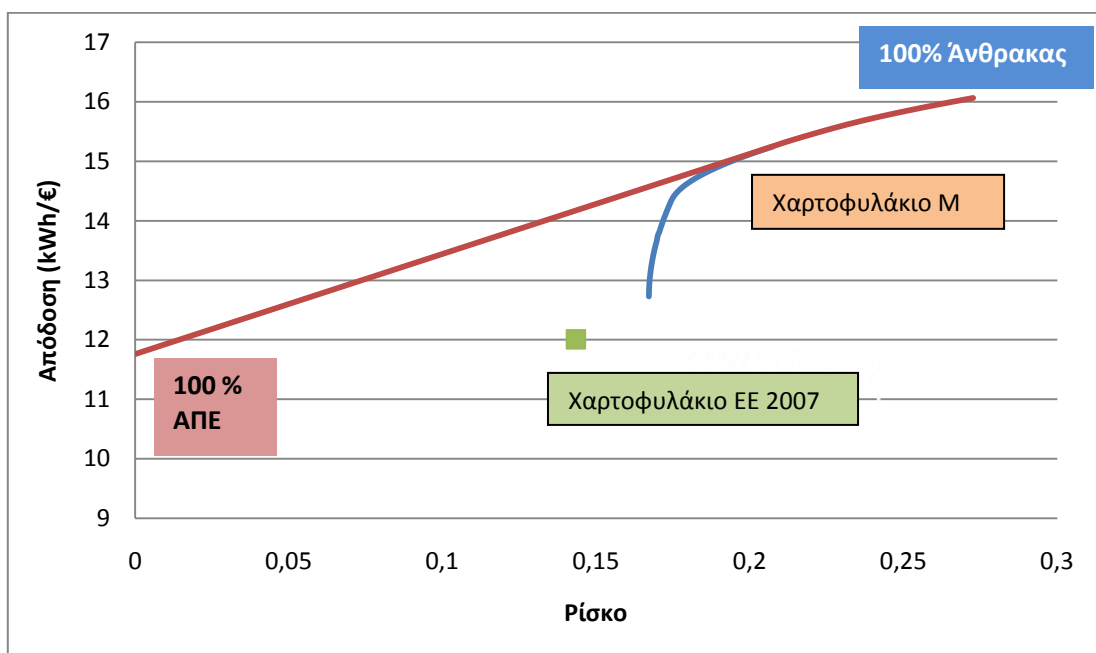
Το ενεργειακό χαρτοφυλάκιο με το χαμηλότερο ρίσκο, και κατά συνέπεια τη χαμηλότερη απόδοση, συνίσταται από πετρέλαιο σε ποσοστό 24%, από φυσικό αέριο σε ποσοστό 32% και από πυρηνικά σε ποσοστό 44%, ενώ ο άνθρακας δε συμμετέχει καθόλου. Αντίθετα, το χαρτοφυλάκιο με την υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση και το μεγαλύτερο ρίσκο αποτελείται εξ' ολοκλήρου από άνθρακα (ποσοστό 100%).

Όπως φαίνεται στους πίνακες αποτελεσμάτων αλλά και στο παρακάτω γράφημα, που αποτυπώνει το ενεργειακό μίγμα των συμβατικών τεχνολογιών για κάθε δεδομένο επίπεδο απόδοσης, η συμμετοχή του άνθρακα ξεκινά από ποσοστά της τάξης του 0% στο χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου και καταλήγει μέχρι και σε ποσοστό 100% στο χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης. Το πετρέλαιο, αντίστοιχα, ξεκινά από το ποσοστό του 24% κι όσο προχωρούμε σε χαρτοφυλάκια υψηλότερης απόδοσης, η συμμετοχή του μειώνεται έως ότου εξαλειφθεί. Τέλος, το φυσικό αέριο και τα πυρηνικά παρουσιάζουν αυξανόμενη συμμετοχή στο ενεργειακό μίγμα, μέχρι και σε ποσοστό 39 και 45% αντίστοιχα για τιμή απόδοσης 14,43 kWh/€, οπότε αρχίζουν να παρουσιάζουν φθίνουσα πορεία μέχρι να μηδενιστούν.



Γράφημα 8.2: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του Συμβατικού αποδοτικού μετώπου για το 2007

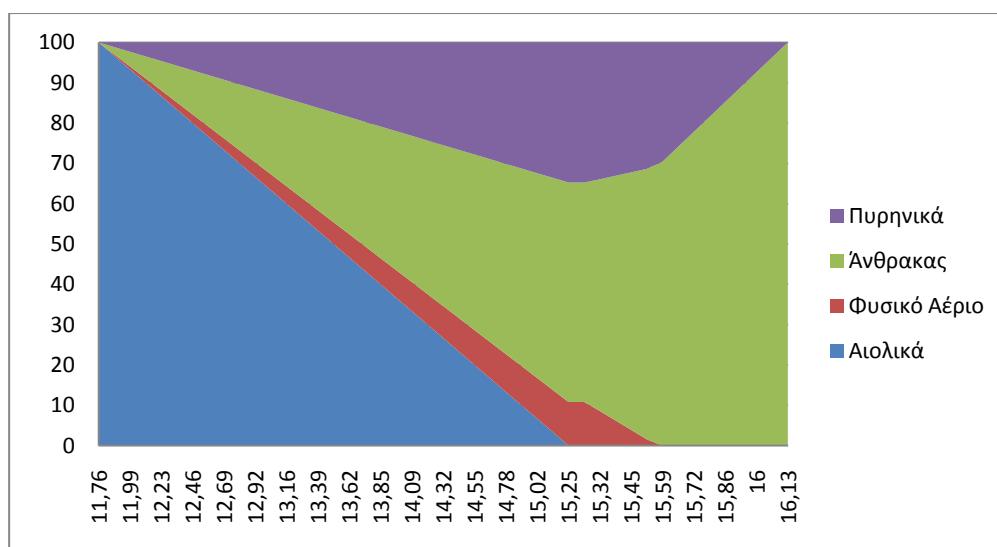
Συνέχεια της μελέτης αποτελεί η κατασκευή του αποδοτικού μετώπου για το έτος 2007, το οποίο περιλαμβάνει τη συνεισφορά των τεχνολογιών ΑΠΕ. Σε αυτή την περίπτωση το αποδοτικό σύνορο αποτελείται από ένα ευθύγραμμο τμήμα που συνδέει το χαρτοφυλάκιο που συνίσταται 100% από ΑΠΕ με το χαρτοφυλάκιο Μ, και από την καμπύλη του αποδοτικού μετώπου πέρα από το σημείο Μ, όπως αυτή είχε κατασκευαστεί πριν την προσθήκη των ΑΠΕ. Γραφικά το αποτέλεσμα είναι το ακόλουθο:



Γράφημα 8.3: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2007 (Συμβατικές κι Ανανεώσιμες Τεχνολογίες)

Το χαρτοφυλάκιο M ορίζεται από το σημείο της καμπύλης όπου εφάπτεται το ευθύγραμμο τμήμα το οποίο συνδέει το χαρτοφυλάκιο που αποτελείται 100% από ΑΠΕ με το αποδοτικό σύνορο, όπως αυτό προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις συμβατικές τεχνολογίες. Αποτελεί το βέλτιστο μίγμα συμβατικών τεχνολογιών και συντίθεται από φυσικό αέριο κατά 11%, άνθρακα κατά 54% και πυρηνικά κατά 35%. Η αναμενόμενη απόδοσή του ανέρχεται σε 15,25 kWh/€ και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση υπολογίζεται ίση με 0,2073. Στο παραπάνω διάγραμμα σημειώνεται επίσης το πραγματικό ενεργειακό μίγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2007, το οποίο δεν ανήκει στο αποτελεσματικό μέτωπο βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα άλλο χαρτοφυλάκιο στα ίδια επίπεδα κινδύνου το οποίο αποφέρει μεγαλύτερη απόδοση. Για την ακρίβεια, το ενεργειακό μίγμα που αποτελείται από φυσικό αέριο σε ποσοστό 8%, άνθρακα 38%, πυρηνικά 24% και αιολικά 30%, το οποίο εμπεριέχει ρίσκο 0,144, έχει απόδοση 14,2 kWh/€ σε αντιδιαστολή με 12 kWh/€ που είχε το πραγματικό μίγμα της Ε.Ε.

Παρατηρείται ότι η νέα σύνθεση χαρτοφυλακίων δεν περιλαμβάνει καθόλου τη συμβατική τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής από πετρέλαιο ενώ ξεκινά με συμμετοχή των ΑΠΕ σε ποσοστό 100%. Κατά μήκος του αποτελεσματικού μετώπου η συμμετοχή του φυσικού αερίου αυξάνεται με αργό ρυθμό και μεγιστοποιείται στο σημείο M όπου αγγίζει το ποσοστό του 11%. Ο συνεισφορά του άνθρακα αυξάνεται σταθερά και σημαντικά κατά μήκος του μετώπου, με αποτέλεσμα να φθάνει και το 100% στο άνω άκρο του ενώ το ποσοστό των πυρηνικών μεγιστοποιείται στο σημείο M και στη συνέχεια ακολουθεί καθοδική πορεία μέχρι να εξαλειφθεί.



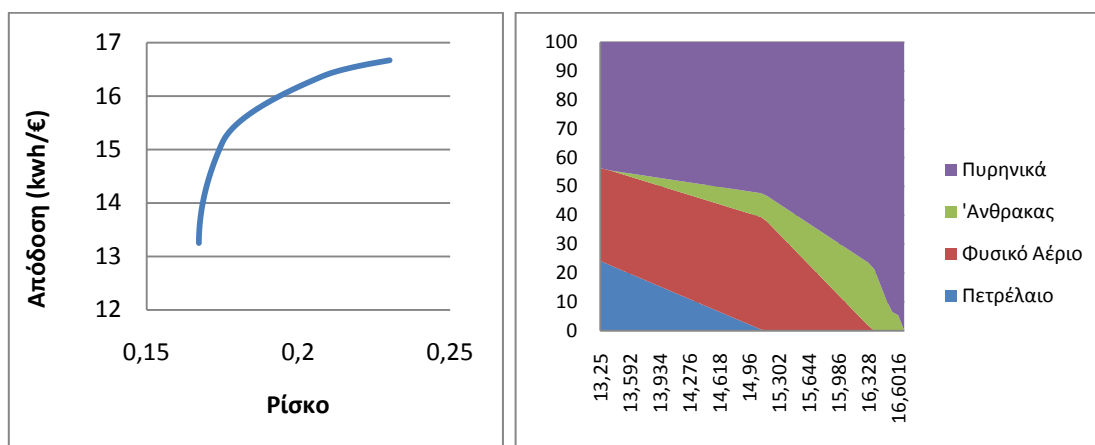
Γράφημα 8.4: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2007 (Συμβατικές και Ανανεώσιμες τεχνολογίες)

8.3 Μελέτη Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2020

Στη μελέτη ενεργειακού σχεδιασμού για το έτος 2020 λαμβάνουμε υπόψη δύο πιθανά σενάρια τιμών, όπως αυτά ορίζονται στο SETIS και βασίζονται σε μελέτες για τις τάσεις των τιμών καυσίμων δημοσιευμένες από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι αποδόσεις των συμβατικών πηγών ηλεκτρικής ενέργειας μειώνονται στο σενάριο υψηλών τιμών σε σχέση με το σενάριο μέτριων τιμών. Ενδεικτικά να σημειώσουμε ότι η απόδοση της τεχνολογίας του άνθρακα μειώνεται από 15,38 kWh/€ για το σενάριο μέτριων τιμών σε 14,04 kWh/€ για το σενάριο υψηλών τιμών. Αντίστοιχα, η απόδοση του πετρελαίου πέφτει από 7,41 kWh/€ σε 6,25 kWh/€. Λογική εξήγηση για αυτή την πτωτική τάση στις αποδόσεις των τεχνολογιών αποτελούν τα αυξημένα κόστη παραγωγής, λόγω των υψηλότερων τιμών που επικρατούν στο δεύτερο σενάριο, καθώς επίσης και η απαιτούμενη εξαγορά δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων.

8.3.1 Σενάριο Μέτριων Τιμών

Στα διαγράμματα που ακολουθούν αποτυπώνονται το νέο αποδοτικό μέτωπο για το έτος 2020, που αφορά μόνο στις συμβατικές τεχνολογίες, καθώς επίσης και η σύνθεση των νέων χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού.



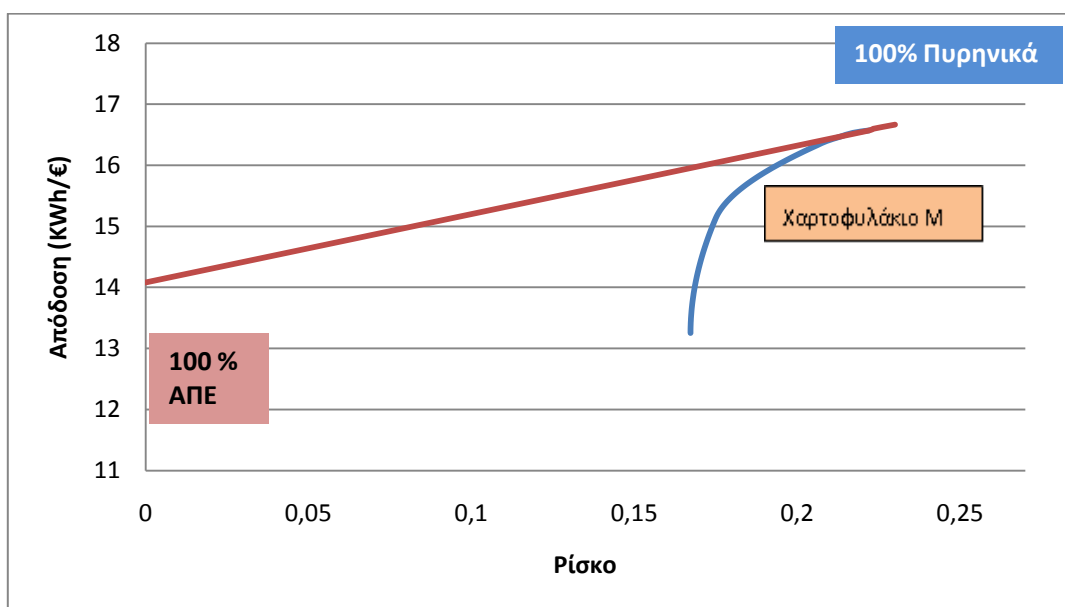
Γράφημα 8.5: Αποδοτικό Μέτωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2020 (Σενάριο Μέτριων Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η σύνθεση του χαρτοφυλακίου ελαχίστου ρίσκου παραμένει ίδια για όλα τα έτη (2007, 2020, 2030) και σενάρια τιμών και ίση με: 24% πετρέλαιο, 32% φυσικό αέριο και 44% πυρηνικά. Αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο προκύπτει με ελαχιστοποίηση της τυπικής απόκλισης, χωρίς να τίθεται κάποιος περιορισμός για την απόδοση.

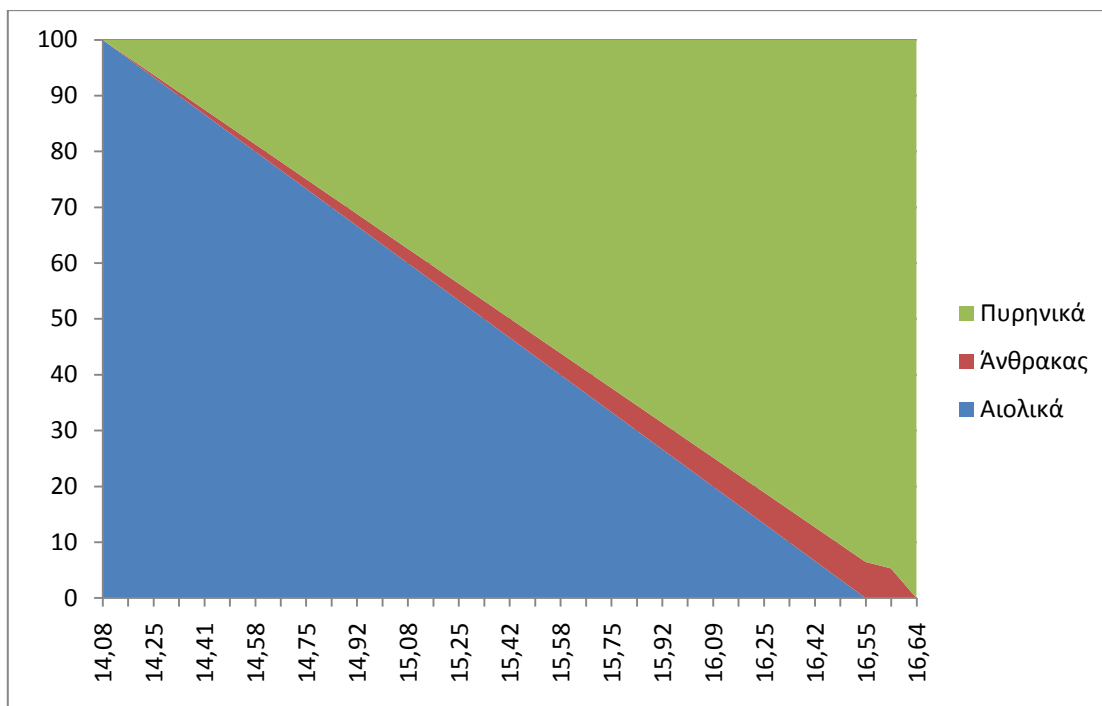
Επομένως, εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τις τυπικές αποκλίσεις και τους συντελεστές συσχέτισης των τεσσάρων τεχνολογιών, με αποτέλεσμα να μη διαφοροποιείται μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάζουμε.

Παρατηρούμε ότι η αναμενόμενη αύξηση της απόδοσης των πυρηνικών στο μέλλον οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές της σύνθεσης του ενεργειακού μίγματος σε σχέση με αυτό του 2007. Ξεκινώντας από το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου και κινούμενοι προς χαρτοφυλάκια υψηλότερων αποδόσεων, διαπιστώνουμε ότι η συνεισφορά των πυρηνικών αυξάνεται συνεχώς, με το χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης να αποτελείται στο 100% του από πυρηνικά. Παρατηρούμε ότι το πετρέλαιο συμμετέχει κυρίως σε χαρτοφυλάκια χαμηλών αποδόσεων σε ποσοστό έως και 24% (χαρτοφυλάκιο με τη μικρότερη απόδοση και ρίσκο) ενώ, όσο εξετάζουμε χαρτοφυλάκια με μεγαλύτερες αποδόσεις, η συνεισφορά του μειώνεται σημαντικά έως ότου μηδενιστεί. Παράλληλα, η συμμετοχή του φυσικού αερίου στα ενεργειακά χαρτοφυλάκια φθάνει και ποσοστά της τάξης του 39% για αποδόσεις κοντά στις 15 kWh/€, αλλά όσο κινούμαστε ανοδικά στο σύνορο, η συμμετοχή του μειώνεται μέχρι να εξαλειφθεί. Τέλος, οι τεχνολογίες άνθρακα συνεισφέρουν σε ποσοστό μέχρι και 21% για χαρτοφυλάκια υψηλών αποδόσεων.

Με την προσθήκη των τεχνολογιών μηδενικού ρίσκου (ΑΠΕ), το νέο αποδοτικό σύνορο απεικονίζεται στο ακόλουθο γράφημα:



Γράφημα 8.6: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 (Συμβατικές κι Ανανεώσιμες Τεχνολογίες)

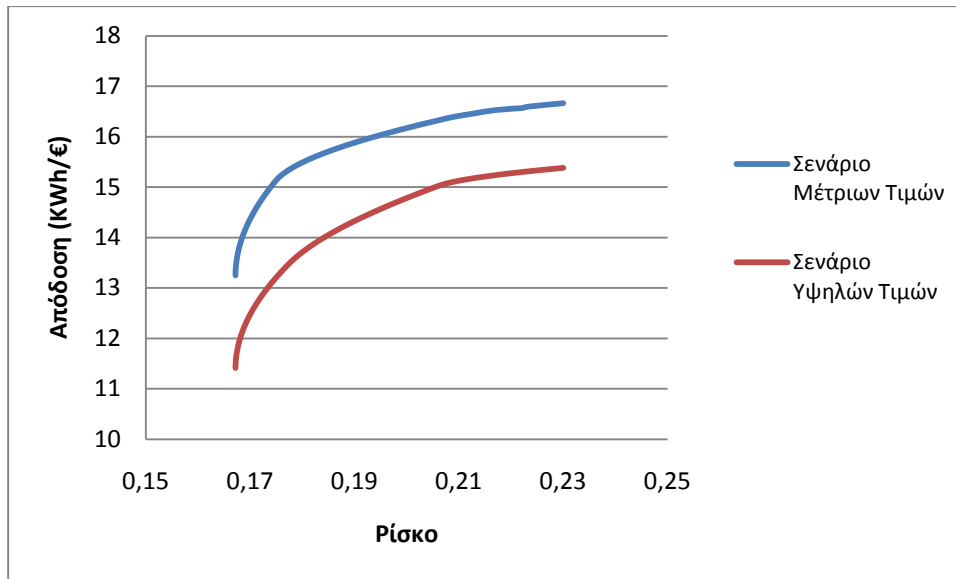


Γράφημα 8.7: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020 (Συμβατικές και Ανανεώσιμες τεχνολογίες – Σενάριο Μέτριων Τιμών)

Σε αυτή την περίπτωση το χαρτοφυλάκιο Μ αποτελείται από πυρηνικά σε ποσοστό 94% και άνθρακα σε ποσοστό 6%. Συνεπώς, τα χαρτοφυλάκια του νέου αποδοτικού μετώπου περιλαμβάνουν μόνο τεχνολογίες άνθρακα, πυρηνικής και αιολικής ενέργειας, με τις 2 τελευταίες τεχνολογίες να παίζουν κυρίαρχο ρόλο.

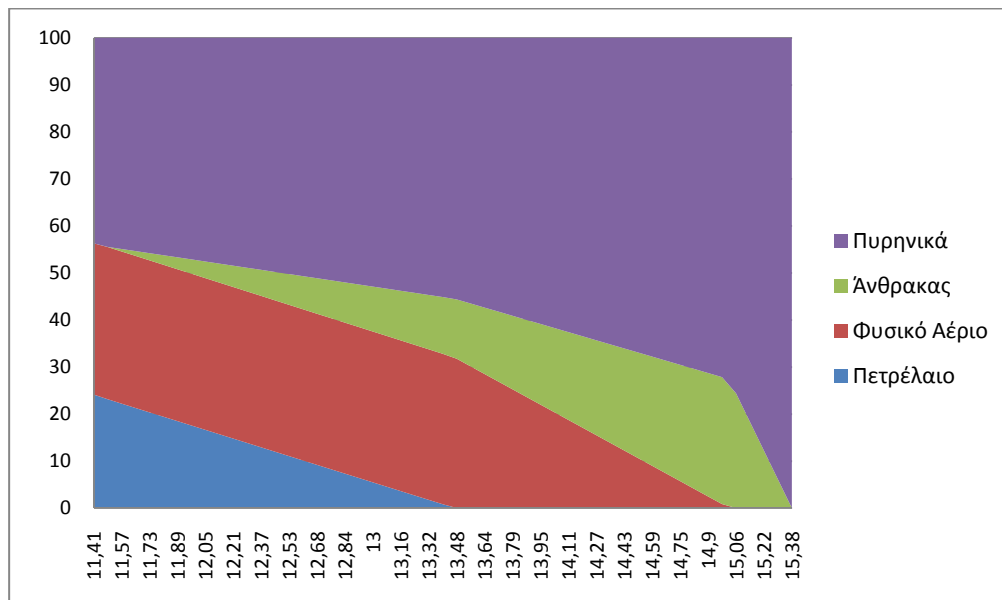
8.3.2 Σενάριο Υψηλών Τιμών

Στο σενάριο υψηλών τιμών, οι μειωμένες αναμενόμενες αποδόσεις των τεχνολογιών έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χαρτοφυλακίων πάνω στο αποδοτικό μέτωπο, που αποφέρουν μικρότερες αποδόσεις σε σχέση με αυτές του σεναρίου μέτριων τιμών. Χαρακτηριστικά σημειώνουμε ότι η μέγιστη αναμενόμενη απόδοση στο άνω άκρο του συνόρου για το σενάριο υψηλών τιμών είναι 15,38 kWh/€, ενώ στο σενάριο μέτριων τιμών αυτή αγγίζει τις 16,67 15 kWh/€. Αυτό αποτυπώνεται γραφικά και στο ακόλουθο σχήμα, όπου το νέο αποδοτικό μέτωπο για το σενάριο υψηλών τιμών βρίσκεται μετατοπισμένο προς τα κάτω, σε χαμηλότερες τιμές αποδόσεων.



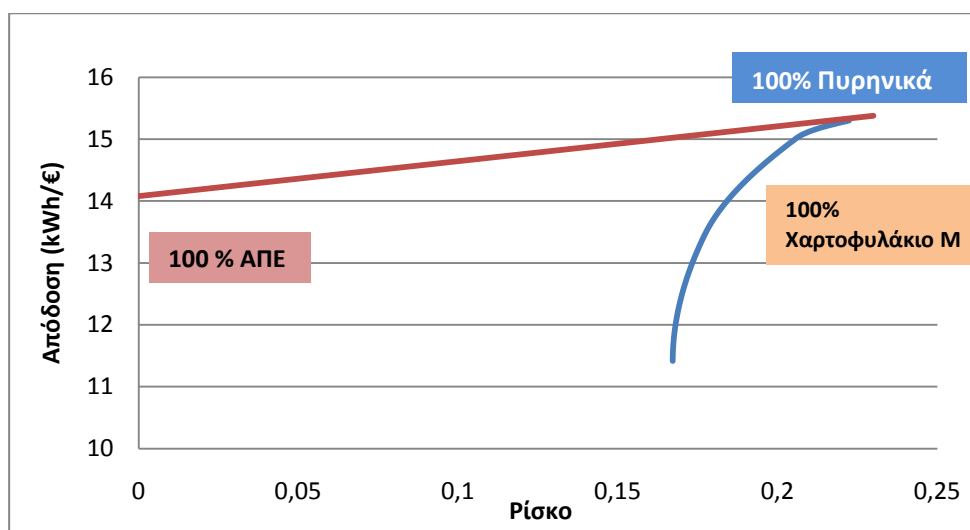
Γράφημα 8.8: Σύγκριση Αποδοτικών Μετώπων για τα 2 σενάρια τιμών – 2020

Η σύνθεση του ενεργειακού μίγματος δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σχέση με αυτή του σεναρίου μέτριων τιμών, όσον αφορά τη συμμετοχή της κάθε τεχνολογίας. Τα πυρηνικά συνεισφέρουν στα χαρτοφυλάκια σε ποσοστό από 50% και άνω, μέχρι το χαρτοφυλάκιο με τη μέγιστη απόδοση όπου αποτελούν το 100% της πηγής ηλεκτροπαραγωγής. Το πετρέλαιο παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με το σενάριο μέτριων τιμών, ενώ το φυσικό αέριο αυτή τη φορά φθάνει χαμηλότερα ποσοστά συμμετοχής (έως 32%) με τον άνθρακα να κερδίζει έδαφος σε ποσοστό έως και 27%.



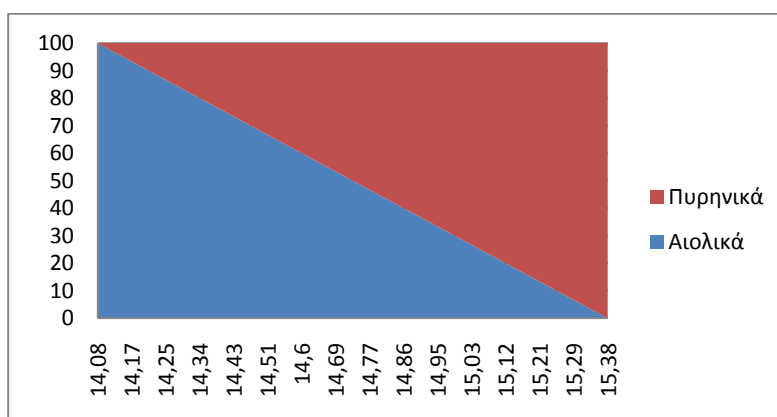
Γράφημα 8.9: Σύθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020 (Σενάριο Υψηλών Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες)

Με την προσθήκη της αιολικής τεχνολογίας στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο για υψηλές τιμές καυσίμων, το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών τεχνολογιών (χαρτοφυλάκιο M) αποτελείται πλέον από πυρηνικά σε ποσοστό 100%. Συνεπώς, το αποδοτικό μέτωπο ορίζεται ως μία ευθεία γραμμή που συνδέει το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου, αποτελούμενο αποκλειστικά από ΑΠΕ, με το χαρτοφυλάκιο M, αποτελούμενο αποκλειστικά από πυρηνικά. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο ακόλουθο γράφημα:



Γράφημα 8.10: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 (Συμβατικές κι Ανανεώσιμες Τεχνολογίες – Σενάριο Υψηλών Τιμών)

Όπως είναι αναμενόμενο, η σύνθεση των ενεργειακών χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποτελεσματικού μετώπου δίνεται αποκλειστικά από αιολικά και πυρηνικά, με τις δύο τεχνολογίες να «ανταλλάζουν» ποσοστά συμμετοχής όσο κινούμαστε από χαρτοφυλάκια μικρότερης σε χαρτοφυλάκια μεγαλύτερης απόδοσης.

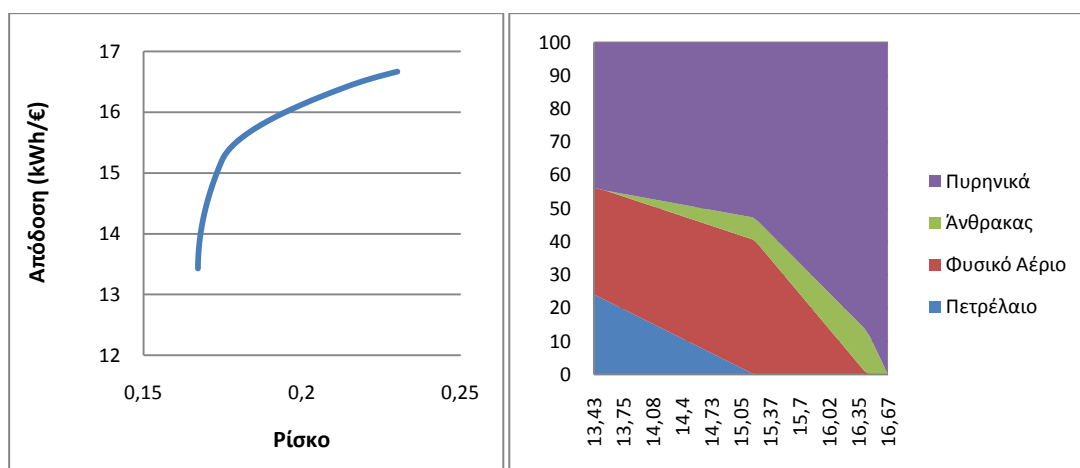


Γράφημα 8.11: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020 (Συμβατικές και Ανανεώσιμες τεχνολογίες – Σενάριο Υψηλών Τιμών)

8.4 Μελέτη Ενεργειακού Σχεδιασμού για το 2030

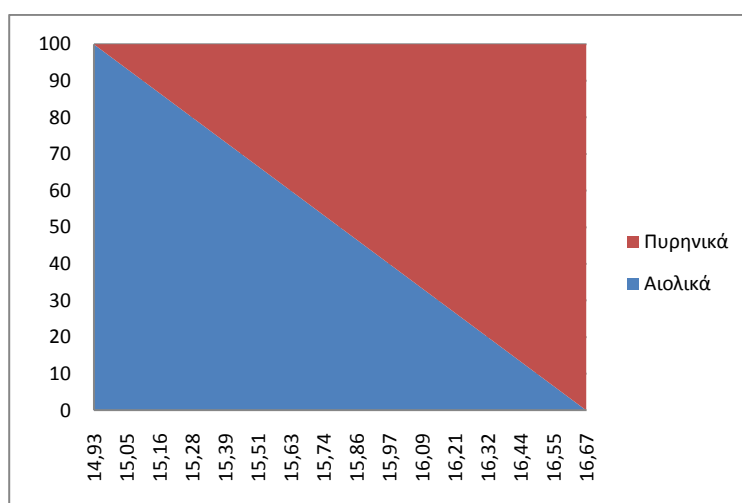
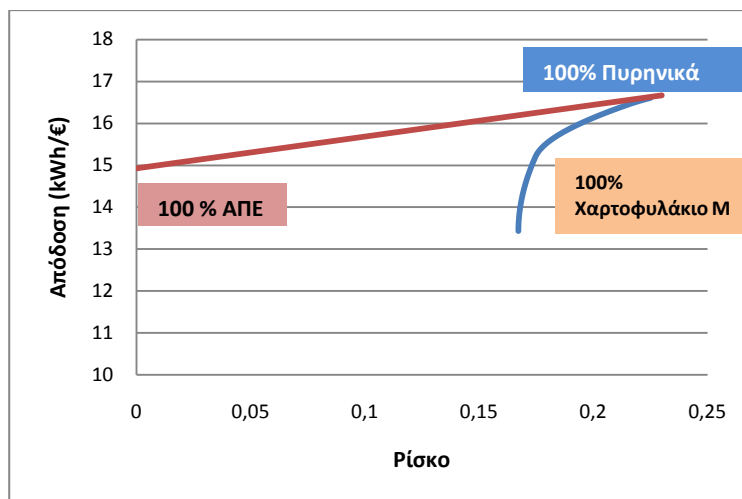
8.4.1 Σενάριο Μέτριων Τιμών

Για το σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων το έτος 2030, το αποδοτικό μέτωπο συμβατικών τεχνολογιών και η σύνθεση των ενεργειακών χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού μοιάζει σημαντικά με αυτό του 2020. Δηλαδή οι αναμενόμενες αποδόσεις των χαρτοφυλακίων κινούνται στα ίδια επίπεδα τιμών και τα ενεργειακά μίγματα αποτελούνται ως επί των πλείστων από πυρηνικά. Το πετρέλαιο συμμετέχει μόνο στα χαρτοφυλάκια χαμηλών αποδόσεων, το φυσικό αέριο αγγίζει υψηλά ποσοστά συμμετοχής, έως και 40% για αποδόσεις 15,18 kWh/€, και οι τεχνολογίες άνθρακα συνεισφέρουν κυρίως σε επίπεδα υψηλών αποδόσεων, σε ποσοστό μεταξύ 6 και 13%.



Γράφημα 8.12: Αποδοτικό Μέτωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Μέτριων Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες)

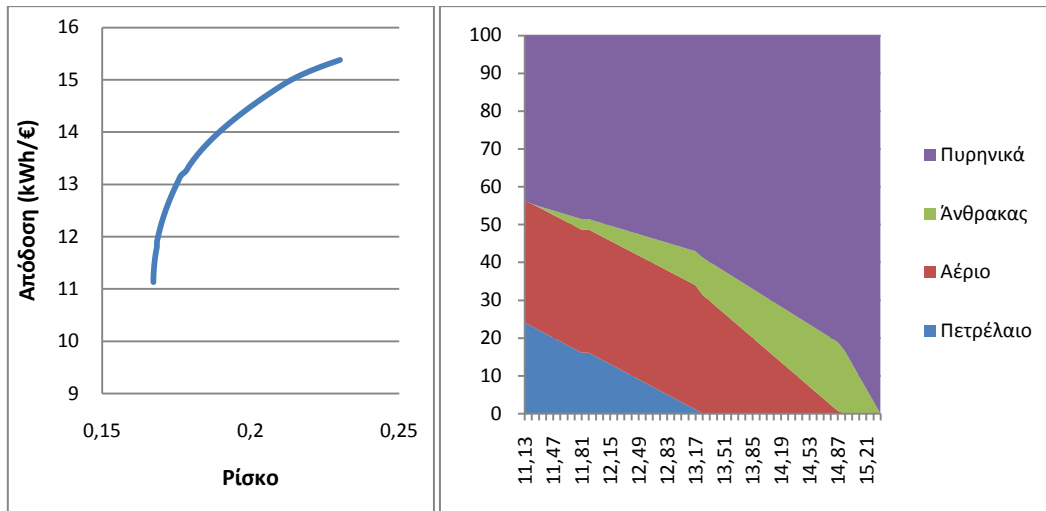
Η εισαγωγή της αιολικής τεχνολογίας στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο οδηγεί στα ίδια αποτελέσματα με αυτά που παρουσιάσαμε για το 2020 στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων. Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών τεχνολογιών Μ αποτελείται αποκλειστικά από πυρηνικά και η σύνθεση του χαρτοφυλακίου κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου μεταβάλλεται με γραμμικό τρόπο, όπως φαίνεται ακολούθως:



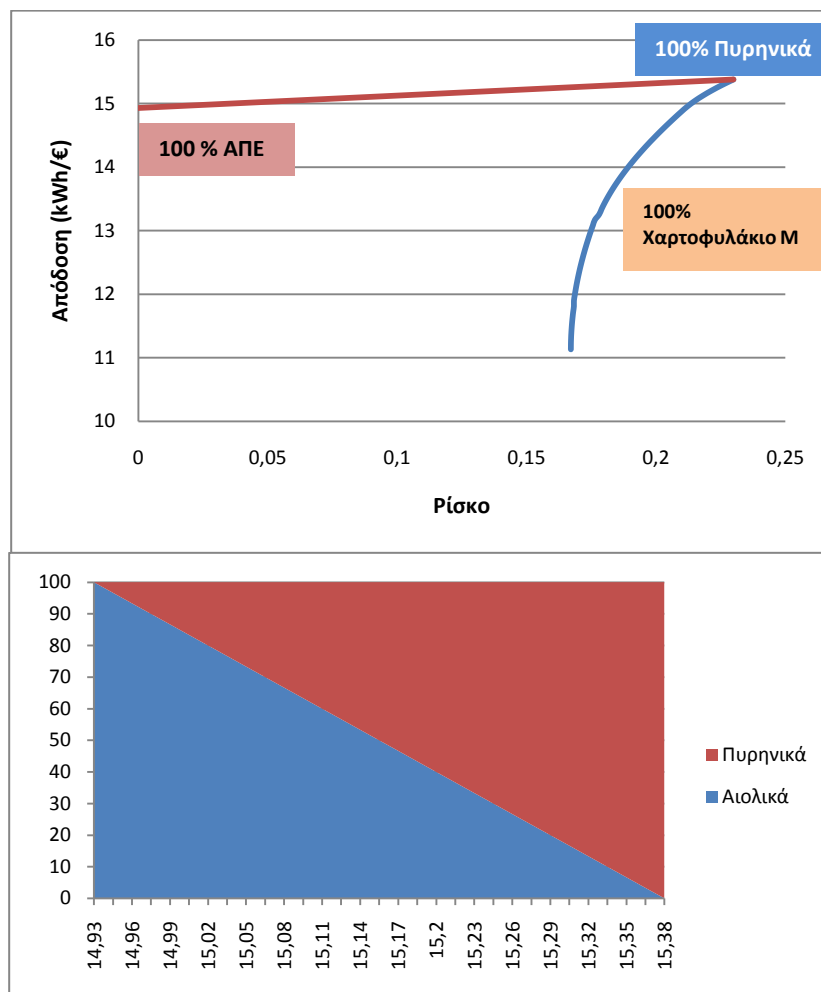
Γράφημα 8.13: Αποδοτικό Μέτρωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Μέτρων Τιμών – Συμβατικές και Ανανεώσιμες Τεχνολογίες)

8.4.2 Σενάριο Υψηλών Τιμών

Τα ενεργειακά χαρτοφυλάκια στις υψηλές τιμές καυσίμων για το 2030 παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με αυτά του 2020, επομένως εκτενής ανάλυσή τους δεν κρίνεται απαραίτητη. Αξίζει να παρατηρήσουμε, όμως, ότι στο αποδοτικό σύνορο που προκύπτει μετά την εισαγωγή των ΑΠΕ, η αιολική τεχνολογία έχει απόδοση που προσεγγίζει κατά πολύ αυτή των πυρηνικών. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι ιδανικά θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε σε ενεργειακό σχεδιασμό που να στηρίζεται εξ' ολοκλήρου σε ΑΠΕ, δεδομένου ότι αύξηση του ρίσκου δε συνεπάγεται αξιόλογη αύξηση της αναμενόμενης απόδοσης. Διαγραμματικά τα αποτελέσματα δίνονται ακολούθως:



Γράφημα 8.13: Αποδοτικό Μέτρωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Υψηλών Τιμών – Συμβατικές Τεχνολογίες)



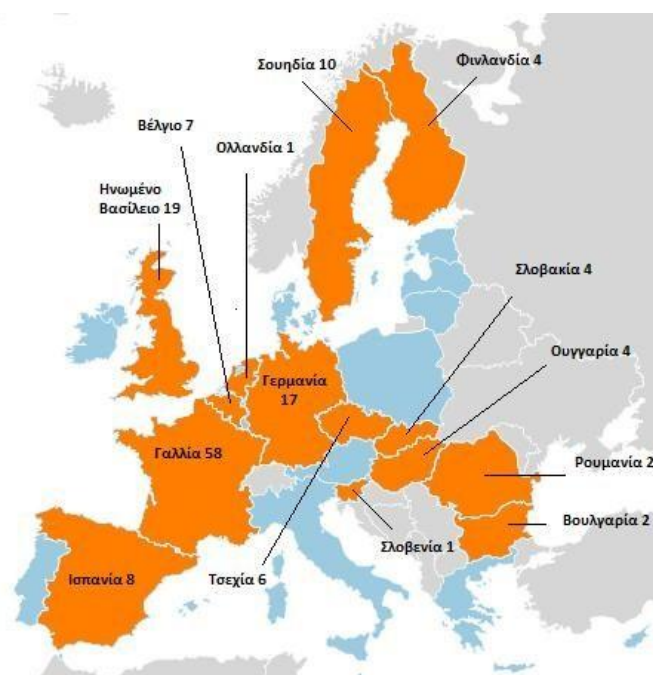
Γράφημα 8.14: Αποδοτικό Μέτρωπο και Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το 2030 (Σενάριο Υψηλών Τιμών – Συμβατικές και Ανανεώσιμες Τεχνολογίες)

9. Περιορισμός Συνεισφοράς Πυρηνικής Τεχνολογίας στο Ενεργειακό Μίγμα

9.1 Συνοπτική Παρουσίαση της παρούσας κατάστασης

Στις ενότητες που προηγήθηκαν ασχοληθήκαμε με τα αποτελέσματα της μεθόδου του Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό. Ένα από τα κοινά χαρακτηριστικά των χαρτοφυλακίων που προτείναμε είναι η πολύ μεγάλη συμμετοχή της πυρηνικής ενέργειας στον ενεργειακό σχεδιασμό. Συγκεκριμένα τα ποσοστά συμμετοχής ξεπερνούν το 50%. Ωστόσο μία τέτοια πρόταση δεν είναι εφικτή στο ορατό μέλλον.

Τον Ιανουάριο του 2010, 17 από τις 27 χώρες της Ένωσης είχαν πυρηνικούς αντιδραστήρες. Στον παρακάτω χάρτη φαίνονται οι χώρες αυτές καθώς και ο αριθμός των αντιδραστήρων που διαθέτουν.



Εικόνα 9.1: Χάρτης Πυρηνικών Αντιδραστήρων στην Ε.Ε.

Η πυρηνική ενέργεια ήταν μέχρι το 2006 η σημαντικότερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Βέλγιο, στη Γαλλία, στην Ουγγαρία, στη Λιθουανία και στη Σλοβακία. Σε γενικές γραμμές η πολιτική των ευρωπαϊκών χωρών απέναντι στην πυρηνική ενέργεια παρουσιάζει έντονες διαφοροποιήσεις. Χαρακτηριστικά είναι όσα φαίνονται στον παρακάτω συνοπτικό πίνακα.

ΧΩΡΑ	Εργοστάσια σε Λειτουργία	Εργοστάσια Υπό Κατασκευή	Σχεδιασμός για νέα Εργοστάσια	Εργοστάσια σε φάση Παραπλίσμου	Πολιτική Περιορισμού Πυρηνικών
Αυστρία	x	x	x	x	✓
Βέλγιο	✓	x	-	✓	x
Βουλγαρία	✓	✓	-	-	x
Γαλλία	✓	x	✓	x	-
Γερμανία	✓	x	x	✓	x
Δανία	x	x	x	x	✓
Ελλάδα	x	x	x	x	✓
Εσθονία	x	✓	✓	x	-
Ηνωμένο Βασίλειο	✓	x	✓	✓	-
Ιρλανδία	x	x	✓	x	-
Ισπανία	✓	x	✓	x	x
Ιταλία	x	x	x	x	✓
Κύπρος	x	x	x	x	-
Λετονία	x	x	✓	x	-
Λιθουανία	✓	x	✓	x	x
Λουξεμβούργο	x	x	x	x	x
Μάλτα	x	x	x	x	x
Ολλανδία	✓	x	x	x	x
Ουγγαρία	✓	-	-	x	x
Πολωνία	✓	x	✓	x	x
Πορτογαλία	x	x	x	x	✓
Ρουμανία	✓	x	✓	x	x
Σλοβακία	✓	✓	✓	x	-
Σλοβενία	✓	x	-	-	x
Σουηδία	✓	x	x	✓	-
Τσεχία	✓	x	✓	x	-
Φινλανδία	✓	✓	✓	x	✓

Πίνακας 9.1: Συνοπτική Παρουσίαση Πολιτικής των χωρών της ΕΕ απέναντι στην πυρηνική ενέργεια

Όπως βλέπουμε στον πίνακα από τις χώρες που διαθέτουν πυρηνικά εργοστάσια, αρκετές είναι αυτές που σχεδιάζουν να κατασκευάσουν και νέα. Τα μελλοντικά πλάνα για την πυρηνική ενέργεια στην Ε.Ε. ποικίλουν.

Συγκεκριμένα κάποιες χώρες σκοπεύουν να κατασκευάσουν νέα εργοστάσια και να αυξήσουν την εγκατεστημένη ισχύ στα ήδη υπάρχοντα (Ηνωμένο Βασίλειο, Τσεχία, Φινλανδία). Επιπλέον η Πολωνία μαζί με τη Λιθουανία, τη Λετονία και την Εσθονία επενδύουν στην κατασκευή νέων πυρηνικών εργοστασίων. Δεν πρέπει να ξεχνάμε πως η Λιθουανία προκειμένου να ενταχθεί στην Ένωση αναγκάστηκε να κλείσει το πυρηνικό εργοστάσιο της Ignalina το οποίο παρουσίαζε πολλές ομοιότητες με το πυρηνικό εργοστάσιο του Chernobyl και ο οποίος κάλυπτε πάνω από 60 % της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η Γαλλία, η οποία εξαρτάται σημαντικά από την πυρηνική ενέργεια

όχι μόνο για την ηλεκτροπαραγωγή, πρόκειται να συνεχίσει να επενδύει στα πυρηνικά εργοστάσια με ταυτόχρονη επένδυση στην ασφάλεια. Μετά την καταστροφή στη Fukushima της Ιαπωνίας, η γαλλική κυβέρνηση ανακοίνωσε την πρόθεσή της να επενδύσει 1 δισεκατομμύριο € στην έρευνα για την πυρηνική ασφάλεια.

Ωστόσο αρκετές είναι οι χώρες που ακολουθούν διαφορετική πορεία. Η Ελβετία και η Γερμανία ανακοίνωσαν πως θα προχωρήσουν σε σταδιακή μείωση της παραγωγής ηλεκτρισμού από πυρηνική ενέργεια ξεκινώντας το 2020 ενώ παρόμοια πολιτική θα ακολουθήσει και το Βέλγιο. Η Γερμανία το πρόγραμμα για το σταδιακό κλείσιμο των εργοστασίων αναφέρει πως το τελευταίο εργοστάσιο (Neckarwestheim) θα κλείσει το 2022. Η σουηδική κυβέρνηση είχε αρχικά τοποθετηθεί υπέρ του κλεισίματος των εργοστασίων αλλά πρόσφατα αναθεώρησε. Στην Ιταλία ενώ αρχικά είχε ανακοινωθεί η επαναλειτουργία των πυρηνικών εργοστασίων, η κυβέρνηση προχώρησε σε ανάκληση της απόφασης.

Σύμφωνα με έρευνα του Ευρω-βαρόμετρου που δημοσιεύτηκε το 2007, το 39% των πολιτών της Ε.Ε. τάσσονται υπέρ της μείωσης της πυρηνικής ενέργειας, 34% υποστηρίζουν πως πρέπει να διατηρηθεί σε σταθερά επίπεδα, ενώ 14% επιθυμούν την αύξηση της παραγωγής από πυρηνικά εργοστάσια. Επίσης η πλειοψηφία των Ευρωπαίων υποστηρίζει πως η Ευρωπαϊκή Ένωση θα πρέπει να παίξει έναν πιο ενεργό ρόλο ώστε να εναρμονιστούν μεταξύ τους οι νομοθετικές ρυθμίσεις των κρατών σε αυτό το θέμα και να εντατικοποιηθεί η συνεργασία μεταξύ ειδικών επιστημόνων.

Η Ευρωπαϊκή πολιτική για την πυρηνική ενέργεια βασίζεται στη συνθήκη EURATOM, η οποία δεν υπαγορεύει κάποιες κοινές ρυθμίσεις. Ουσιαστικά λοιπόν τα κράτη-μέλη χαράσσουν σχεδόν ανεξάρτητα τη στρατηγική τους στον τομέα αυτό. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και το DG Energy αποτελούν τη βασική εποπτική αρχή της Ε.Ε. για πυρηνικά θέματα. Στα πλαίσια του πλάνου για την ενεργειακή τεχνολογία [Strategic Energy Plan-SET plan] η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε ως βασική ερευνητική προτεραιότητα της Ε.Ε. την κατασκευή αντιδραστήρων 4^{ης} γενιάς (Generator IV). Επιπλέον, η Επιτροπή θα προχωρήσει σε τεστ ακραίων συνθηκών (stress tests) για όλα τα πυρηνικά εργοστάσια ώστε να διασφαλιστεί πως οι χώρες δεν κινδυνεύουν από καταστροφές όπως αυτές της Fukushima. Τα τεστ αυτά θα γίνουν και στις χώρες που συνορεύουν με εκείνες που διαθέτουν πυρηνικά εργοστάσια.

Αδιαμφισβήτητο είναι το γεγονός πως τα πυρηνικά εργοστάσια στην Ε.Ε. γηράσκουν και μόνο για να διατηρηθεί η παραγωγή στα σημερινά επίπεδα χωρίς εκπτώσεις στην ασφάλεια θα χρειαστεί αρκετός κόπος και σημαντικές επενδύσεις.

9.2 Πλαίσιο Εφαρμογής στη μελέτη μας

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προχωρήσαμε εκ νέου στον προσδιορισμό του ενεργειακού σχεδιασμού για τα έτη 2020 και 2030 θέτοντας παράλληλα έναν περιορισμό για τη διείσδυση της πυρηνικής ενέργειας. Συγκεκριμένα ο περιορισμός ορίστηκε στο 30% με το σκεπτικό πως το 2008 το 28% της ηλεκτροπαραγωγής προερχόταν από πυρηνική ενέργεια και πως στο βραχυπρόθεσμο μέλλον δεν αναμένονται ριζοσπαστικές αλλαγές στον τομέα αυτό. Είναι μάλλον απίθανο μέσα στα επόμενα 20 χρόνια να συμβεί μία δραματική στροφή προς την πλήρη εγκατάλειψη, ενώ εξίσου απίθανη κρίνεται μία στροφή προς την πλήρη εκμετάλλευση.

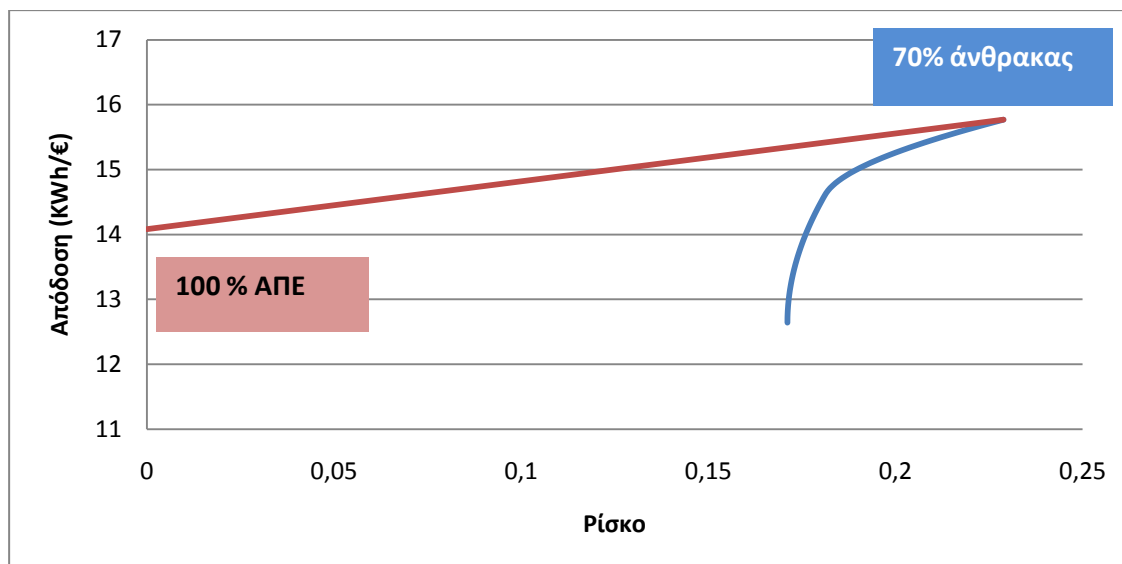
Η εισαγωγή αυτού του περιορισμού επηρεάζει τόσο το αποδοτικό μέτωπο του ενεργειακού σχεδιασμού όσο και το μίγμα καυσίμων που συμμετέχουν στην ηλεκτροπαραγωγή. Περιορίζοντας τη διείσδυση της πυρηνικής τεχνολογίας μειώνεται η απόδοση του ενεργειακού χαρτοφυλακίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η πυρηνική τεχνολογία είναι από τις πλέον αποδοτικές και έτσι περιορίζοντάς την ουσιαστικά δεν έχουμε μεγάλη δυνατότητα κατασκευής χαρτοφυλακίων με μεγαλύτερη απόδοση. Επιπλέον, εντάσσονται νέα καύσιμα (κυρίως άνθρακας) στο ενεργειακό μίγμα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται παρακάτω.

9.3 Αποδοτικά Μέτωπα με Περιορισμό Συμμετοχής Πυρηνικών

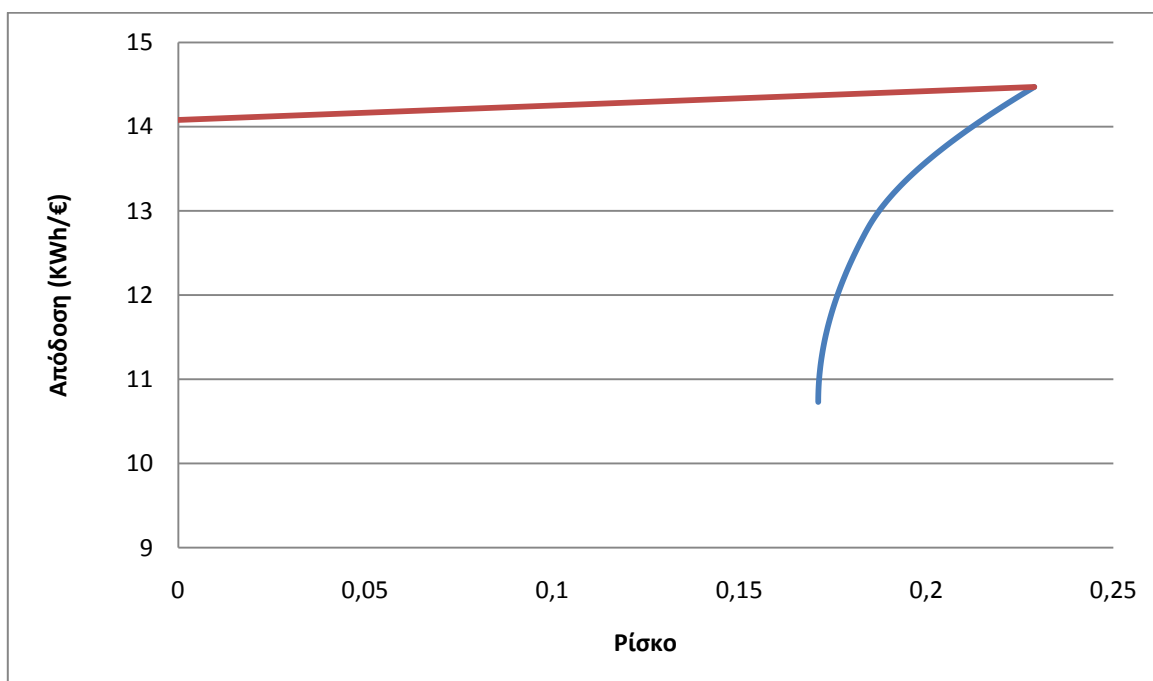
9.3.1 Αποτελέσματα για το 2020

Όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα για το 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων, η μέγιστη απόδοση για το ενεργειακό χαρτοφυλάκιο είναι **15,77 KWh/€** ενώ χωρίς τον περιορισμό των πυρηνικών η απόδοση ήταν 16,59 KWh/€. Έχουμε λοιπόν ποσοστιαία μείωση 5% στην απόδοση του χαρτοφυλακίου. Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών τεχνολογιών αποτελείται από 70% άνθρακα και 30% πυρηνικά.



Γράφημα 9.1: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 –Σενάριο Μέτριων Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών

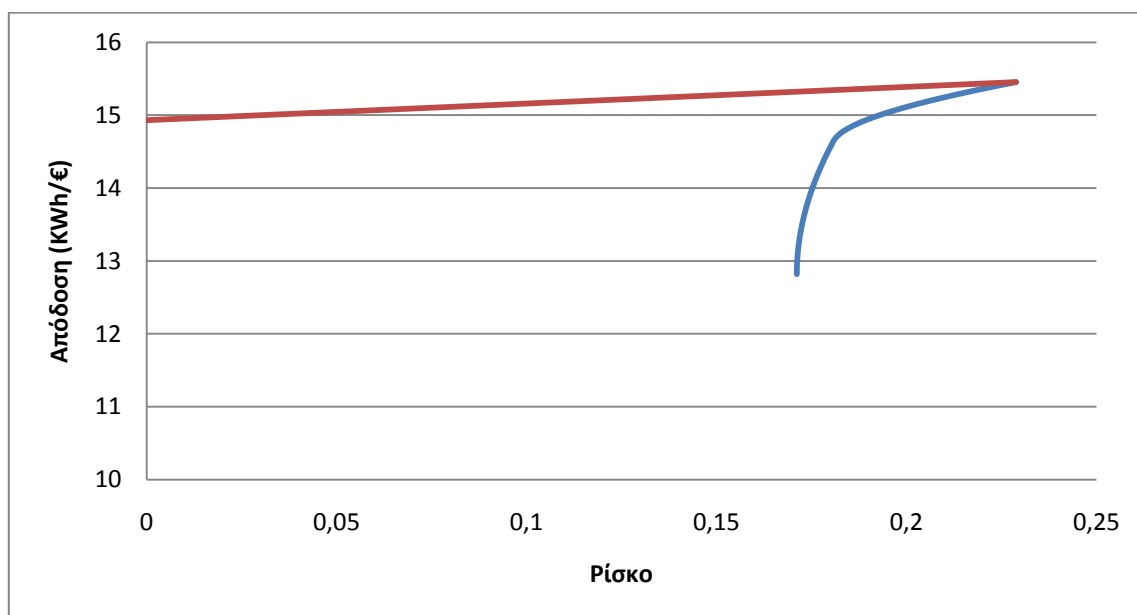
Παρόμοια είναι η κατάσταση για το 2020 στο σενάριο υψηλών τιμών. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη απόδοση παρουσιάζει μείωση 6% και από 15,38 KWh/€ χωρίς περιορισμό πυρηνικών, πέφτει σε **14,47 KWh/€**. Και στο σενάριο υψηλών τιμών το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών τεχνολογιών αποτελείται από 70% άνθρακα και 30% πυρηνικά.



Γράφημα 9.2: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2020 –Σενάριο Υψηλών Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών

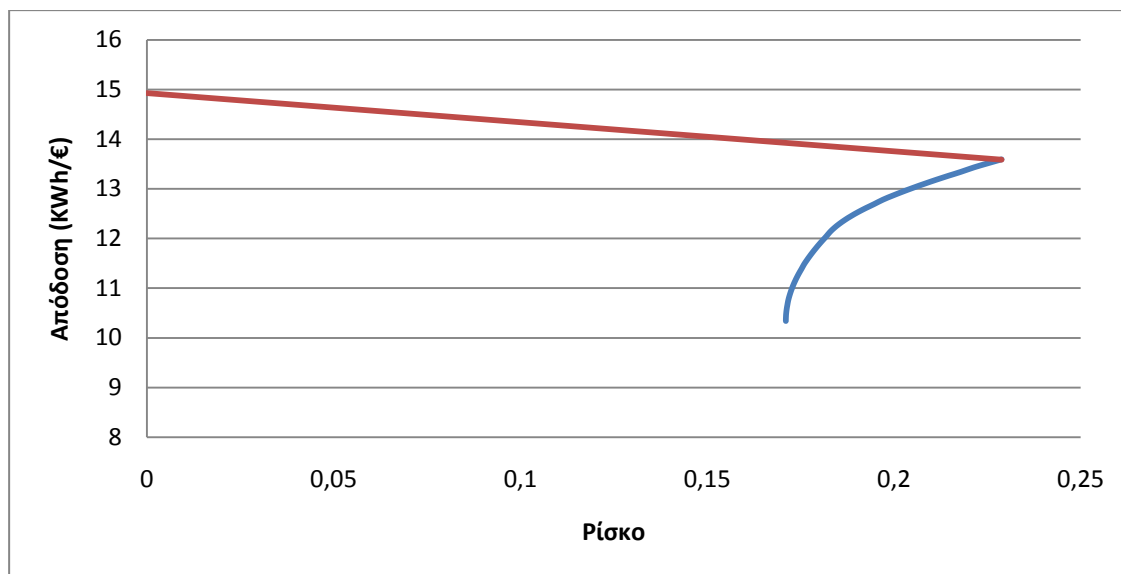
9.3.2 Αποτελέσματα για το 2030

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για το 2030 μοιάζουν με αυτά του 2020. Στο σενάριο μέτρων τιμών η μέγιστη απόδοση του χαρτοφυλακίου είναι **15,45 KWh/€** και παρουσιάζει ποσοστιαία μείωση 7,3% από το χαρτοφυλάκιο χωρίς περιορισμό για την πυρηνική τεχνολογία που είχε απόδοση 16,67 KWh/€. Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών τεχνολογιών για το 2030 αποτελείται και αυτό από 70% άνθρακα και 30% πυρηνικά.



Γράφημα 9.3: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2030 –Σενάριο Μέτρων Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το αποδοτικό μέτωπο για το 2030 με βάση το σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων. Αρχικά στην περίπτωση αυτή έχουμε τη μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση: 11,7%. Η απόδοση από 15,38 KWh/€ πέφτει με τον περιορισμό των πυρηνικών στις **13,58 KWh/€**. Ωστόσο ξεκινώντας από το χαρτοφυλάκιο που περιέχει 100% αιολικά και καθώς κινούμαστε κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου η απόδοση μειώνεται και το ρίσκο αυξάνεται. Τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι σε πλήρη συμφωνία με τις αρχές της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου σύμφωνα με την οποία η απόδοση κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου αυξάνεται.

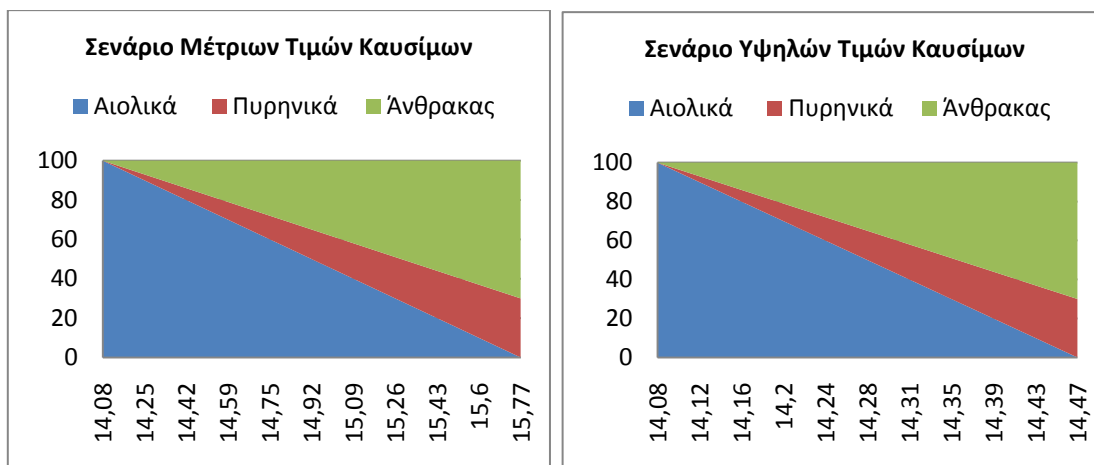


Γράφημα 9.4: Αποδοτικό Μέτωπο για το 2030 –Σενάριο Υψηλών Τιμών-Περιορισμός Πυρηνικών

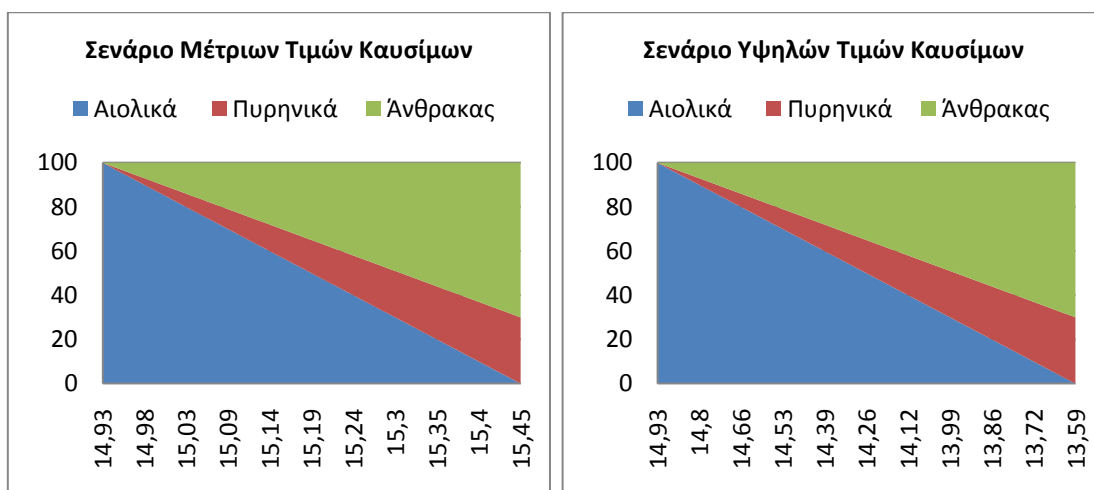
9.3.3 Ενεργειακά Μίγματα μετά την εισαγωγή του περιορισμού πυρηνικών

Αν θελήσουμε να συγκρίνουμε τα ενεργειακά μίγματα πριν και μετά την εισαγωγή του περιορισμού για τη χρήση των πυρηνικών θα δούμε πως αυτό που ουσιαστικά αλλάζει είναι η εισαγωγή του άνθρακα. Τα βέλτιστα ενεργειακά χαρτοφυλάκια που προέκυψαν στην προηγούμενη ενότητα αποτελούνταν κατά κύριο λόγο από 100% πυρηνικά. Εξαίρεση αποτελούσε το χαρτοφυλάκιο για το 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών όπου είχαμε: 93,5% πυρηνικά και 6,5% άνθρακα. Εισάγοντας τον περιορισμό για την πυρηνική ενέργεια η συνεισφορά του άνθρακα φτάνει στο 70% ενώ η πυρηνική τεχνολογία είναι στο 30% που είναι και το ανώτατο όριο συνεισφοράς της.

Παρακάτω φαίνεται η σύνθεση των χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού συνόρου για τα έτη 2020 και 2030 και για τα δύο σενάρια τιμών.



Γράφημα 9.5: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2020



Γράφημα 9.6: Σύνθεση Χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού μετώπου για το 2030

Παρατηρούμε πως τα ενεργειακά χαρτοφυλάκια που προτείνονται είναι παρόμοια με μοναδική διαφορά το μέγεθος της απόδοσης που παρουσιάζεται στον οριζόντιο άξονα.

Από όσα αναφέρθηκαν σε αυτή την ενότητα, συμπεραίνουμε πως περιορίζοντας τη διείσδυση της πυρηνικής τεχνολογίας σε επίπεδα της τάξης του 30% μειώνεται σημαντικά η δυνατότητά μας να σχεδιάζουμε χαρτοφυλάκια αυξημένης απόδοσης. Επιπλέον, ο περιορισμός των πυρηνικών ευνοεί σημαντικά την τεχνολογία του άνθρακα που φαίνεται να παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο μαζί με την αιολική ενέργεια.

10. Συμπεράσματα Μελέτης και Προτάσεις Επέκτασης

10.1 Συμπεράσματα

Από τη μελέτη μας και την εφαρμογή των βασικών αρχών της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό το πρωταρχικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο τα επόμενα χρόνια. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως βασική παράμετρος για την αξιολόγηση μιας ενεργειακής τεχνολογίας δεν είναι μόνο το κόστος αλλά και ο κίνδυνος που υπεισέρχεται στην παροχή ενέργειας. Με αυτή τη βασική παραδοχή προχωρήσαμε στη μελέτη μας και καταλήξαμε όπως ήταν αναμενόμενο πως οι ΑΠΕ (εκπροσωπούμενες κυρίως από την αιολική τεχνολογία) αποτελούν την πιο ανταγωνιστική αλλά και ασφαλή επένδυση προκειμένου να επιτευχθούν όλοι οι στόχοι που έχουν τεθεί σε ευρωπαϊκό επίπεδο για τον τομέα της ενέργειας.

Είναι γεγονός πως η Ευρώπη βρίσκεται σε ένα μεταίχμιο όσον αφορά στον ενεργειακό τομέα. Βασική προτεραιότητα της Ένωσης είναι η προώθηση οικονομικά ανταγωνιστικής αλλά και περιβαλλοντικά βιώσιμης ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτού του στόχου οι συμβατικές μορφές ενέργειας παύουν να είναι ανταγωνιστικές καθώς επιβαρύνονται σημαντικά από το κόστος των ορυκτών καυσίμων αλλά και από τα κόστη που προκύπτουν από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η πυρηνική τεχνολογία, η ανάπτυξη της οποίας αποτελεί ένα αμφιλεγόμενο θέμα. Αντίθετα η αιολική τεχνολογία μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά σε ένα ενεργειακό μίγμα πάρα μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος (κυρίως υπεράκτια) προσφέροντας έτσι ενέργεια που δεν επιβαρύνεται από κόστος καυσίμου και η οποία συμβάλλει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε από τη μελέτη της εφαρμογής της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό της Ε.Ε. των 27 παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Από την αξιολόγηση που κάναμε για το ενεργειακό μίγμα του 2007 προέκυψε πως θα μπορούσαμε να έχουμε ένα διαφορετικό μίγμα ενεργειακών τεχνολογιών και με το ίδιο ρίσκο να πετύχουμε απόδοση μεγαλύτερη κατά 18% μεγαλύτερη (14 kWh/€ έναντι 12 kWh/€) . Το βέλτιστο ενεργειακό μίγμα δεν περιείχε καθόλου πετρέλαιο ενώ η συνεισφορά του φυσικού αερίου ήταν πολύ περιορισμένη (8% αντί για 22%). Η συνεισφορά των πυρηνικών είναι όση και στο πραγματικό μίγμα δηλαδή 24% ενώ το ποσοστό του άνθρακα είναι 38% έναντι 31%. Τέλος τα αιολικά στο βέλτιστο μίγμα έχουν ποσοστό σχεδόν διπλάσιο: 30% αντί 16% στο πραγματικό.

- Αξιολογώντας της διάφορες συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες για τα έτη 2020 και 2030 και για τα δύο διαφορετικά σενάρια τιμών παρατηρούμε πως οι αποδόσεις τους ακολουθούν μία φθίνουσα πορεία. Αυτό οφείλεται στην αύξηση του κόστους των καυσίμων αλλά και στα κόστη που επιβαρύνουν την ηλεκτροπαραγωγή όπως η εξαγορά δικαιωμάτων εκπομπών και η εγκατάσταση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂. Με λίγα λόγια τεχνολογίες που κρίνονταν ως αποδοτικές θα αρχίσουν να επιβαρύνονται με σημαντικά κόστη, γεγονός που θα περιορίσει την ανταγωνιστικότητά τους στο μέλλον. Αυτό δεν ισχύει για την πυρηνική τεχνολογία αλλά η εξάπλωσή της αποτελεί καθαρά θέμα πολιτικών αποφάσεων που δεν μπορούν να ληφθούν σε επίπεδο Ένωσης αλλά από κάθε κράτος-μέλος ξεχωριστά. Η αιολική τεχνολογία αυξάνει την απόδοσή της καθώς αναμένεται η τεχνολογική πρόοδος να οδηγήσει σε μείωση του κόστους κατασκευής αιολικών πάρκων.
- Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν δύο ορυκτά καύσιμα που δεν συμμετέχουν στα περισσότερα ενεργειακά χαρτοφυλάκια. Αυτό το γεγονός δεν οφείλεται μόνο στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αυτά τα δύο καύσιμα αλλά και στον κίνδυνο που σχετίζεται με τις τιμές των καυσίμων. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο (μεγάλη τυπική απόκλιση στις τιμές τους διαχρονικά) αλλά και υψηλούς βαθμούς συσχέτισης με τα άλλα καύσιμα. Αντίθετα ο άνθρακας μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη τυπική απόκλιση στην τιμή του αλλά ο βαθμός συσχέτισης με τα άλλα καύσιμα είναι σχετικά μικρός και για αυτό το λόγο προτιμάται στα ενεργειακά χαρτοφυλάκια.
- Στα μελλοντικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια κυριαρχούν η αιολική και η πυρηνική τεχνολογία. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο αφού οι δύο αυτές τεχνολογίες παρουσιάζουν σταθερή αύξηση της απόδοσής τους κατά τη διάρκεια των ετών. Οδηγούμεστε δηλαδή σε σταδιακή μείωση του κόστους παραγωγής από τις δύο αυτές τεχνολογίες, αφού στη μελέτη μας η απόδοση σχετίζεται με το κόστος. Η μείωση του κόστους οφείλεται αφενός στην τεχνολογική πρόοδο που κάνει τις δύο αυτές ενεργειακές τεχνολογίες πιο ανταγωνιστικές και αφετέρου στο γεγονός ότι η αιολική και η πυρηνική τεχνολογία δεν επιβαρύνονται με κόστη εκπομπών ή κόστη εγκατάστασης τεχνολογίας CCS. Οι δύο αυτές τεχνολογίες σε συνδυασμό οδηγούν στη σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων με αυξημένες αποδόσεις και περιορισμένο ρίσκο αφού η μεν αιολική τεχνολογία έχει μηδενικό κίνδυνο, η δε πυρηνική έχει το μικρότερο κίνδυνο από όλες τις συμβατικές τεχνολογίες.

- Προσπαθώντας όμως να κάνουμε τη μελέτη μας πιο ρεαλιστική περιορίσαμε τη συνεισφορά των πυρηνικών στα ενεργειακά μίγματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η πυρηνική τεχνολογία αποτελεί ένα αμφιλεγόμενο θέμα που εμπεριέχει προβλήματα ηθικής και πολιτικής φύσης. Συνεπώς δεν μπορεί να γίνει διαχείρισή του σε επίπεδο Ένωσης. Τα κράτη-μέλη χαράσσουν αυτόνομα τη στρατηγική τους στον τομέα της πυρηνικής τεχνολογίας. Υπό το φως της επιφυλακτικής στάσης των Ευρωπαίων πολιτών (σύμφωνα με το Ευρω-βαρόμετρο 73% των πολιτών τάσσονται υπέρ του περιορισμού της πυρηνικής ενέργειας ή της διατήρησης στα σημερινά επίπεδα) και της ενδεχόμενης αλλαγής πολιτικής (ειδικά μετά την καταστροφή της Fukushima) μπορούμε να αναμένουμε πως η συνεισφορά της πυρηνικής τεχνολογίας θα διατηρηθεί στα τωρινά επίπεδα του 30%. Εντάσσοντας τον περιορισμό αυτό στη μελέτη μας καταλήξαμε σε χαρτοφυλάκια στα οποία συνεισφέρει πολύ ο άνθρακας. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πως ο άνθρακας παρουσιάζει μειωμένο βαθμό συσχέτισης με τα άλλα καύσιμα και έτσι προτιμάται. Ωστόσο τα νέα χαρτοφυλάκια που προκύπτουν έχουν σαφώς μειωμένες αποδόσεις σε σχέση με τα αντίστοιχα στα οποία κυριαρχούσαν η ατομική και η πυρηνική τεχνολογία. Αυτό συμβαίνει γιατί η πυρηνική τεχνολογία είναι η πιο αποδοτική από τις συμβατικές μορφές ενέργειας και ο περιορισμός της μάς αφαιρεί τη δυνατότητα σύνθεσης χαρτοφυλακίων με αυξημένες αποδόσεις.

10.2 Προτάσεις Επέκτασης της Μελέτης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε κάποιες προοπτικές επέκτασης της συγκεκριμένης μελέτης αλλά και γενικά της εφαρμογής της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου στον Ενεργειακό Σχεδιασμό.

- Στη συγκεκριμένη μελέτη αντιμετωπίσαμε την Ε.Ε. ως μια ενιαία αγορά και οικονομία. Θα ήταν πιο ενδιαφέρον να εφαρμόσουμε τη Θεωρία Χαρτοφυλακίου σε κάθε μία από τις 27 χώρες της Ένωσης ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαμε να εντάξουμε στη μελέτη μας τα χαρακτηριστικά κάθε χώρας που επηρεάζουν τον ενεργειακό σχεδιασμό όπως η απαγόρευση των πυρηνικών, η αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ σε κάποιες χώρες, η μεγάλη εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα κλπ.
- Θα μπορούσε να γίνει μεγαλύτερη ανάλυση όσον αφορά στις αποδόσεις. Όπως αναφέραμε και στη σχετική ενότητα, κατά τους υπολογισμούς μας στο SETIS calculator αφήσαμε τις περισσότερες παραμέτρους στις τιμές που είχαν οριστεί από το σύστημα. Μέσω κατάλληλης έρευνας θα μπορούσαμε να αλλάξουμε κάποιες από αυτές και να έχουμε μια πιο σαφή εικόνα για το κόστος ηλεκτροπαραγωγής και άρα για τις αποδόσεις

συγκεκριμένων ενεργειακών τεχνολογιών. Για παράδειγμα μία παράμετρος που θα μπορούσαμε να έχουμε αλλάξει είναι αυτή του κόστους αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών και να πάρουμε αποτελέσματα για ένα σενάριο χαμηλής τιμής και για ένα σενάριο υψηλής τιμής των δικαιωμάτων αυτών.

- Η έννοια του ρίσκου θα μπορούσε να επαναπροσδιοριστεί έτσι ώστε να μην εξαρτάται μόνο από την τυπική απόκλιση των τιμών των ορυκτών καυσίμων αλλά να ενσωματώνει και άλλες παραμέτρους όπως τα λειτουργικά κόστη μιας ενεργειακής τεχνολογίας ή οι περιβαλλοντικές της επιπτώσεις.
- Η έννοια του ρίσκου θα μπορούσε να ενσωματωθεί και στις ΑΠΕ έτσι ώστε αυτές να μην εξετάζονται ως το χαρτοφυλάκιο μηδενικού ρίσκου της Θεωρίας Χαρτοφυλακίου. Η στοχαστικότητα του ανέμου αλλά και οι διαφοροποιήσεις στην ηλιακή ακτινοβολία αποτελούν δύο τυπικές μορφές ρίσκου για τα Αιολικά Πάρκα και για τις εγκαταστάσεις Φωτοβολταϊκών αντίστοιχα.
- Τέλος θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τη Θεωρία Χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό υιοθετώντας διαφορετικούς στόχους. Αν βασικός μας στόχος ήταν η μεγιστοποίηση του κέρδους στην αναζήτηση του βέλτιστου ενεργειακού μίγματος θα έπαιζε ρόλο και η κοστολόγηση της ενέργειας. Αντίστοιχα αν στοχεύαμε στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ή στον περιορισμό άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα οδηγούμασταν σε άλλα χαρτοφυλάκια από αυτά που παρουσιάστηκαν στη μελέτη μας.

11. Επίλογος

Σκοπός της διπλωματικής μας εργασίας ήταν η αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού στην Ευρωπαϊκή Ένωση κάνοντας χρήση της Μεθόδου Πρωτευουσών Συνιστωσών και της Σύγχρονης Θεωρίας Χαρτοφυλακίου. Με την πρώτη μέθοδο επιχειρήσαμε να μετρήσουμε με έναν ενιαίο δείκτη το πόσο ευάλωτες είναι οι ευρωπαϊκές χώρες αναφορικά με δύο βασικά καύσιμα: το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Με τη δεύτερη μέθοδο αξιολογήσαμε και προτεيناμε ενεργειακά χαρτοφυλάκια σε επίπεδο Ένωσης για την ηλεκτροπαραγωγή των 27 χωρών. Τα αποτελέσματα έχουν παρουσιαστεί και σχολιαστεί στις αντίστοιχες ενότητες.

Αν θελήσουμε όμως να καταλήξουμε σε ένα συγκεντρωτικό συμπέρασμα αυτό θα ήταν πως η ενεργειακή πολιτική της Ε.Ε. πρόκειται να αντιμετωπίσει σημαντικότερες προκλήσεις τα επόμενα χρόνια. Όπως φάνηκε και από την ανάλυση με τη μέθοδο PCA οι περισσότερες από τις 27 χώρες είναι αρκετά ευάλωτες σε δυσμενή γεγονότα που συνδέονται με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Τα γεγονότα αυτά μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ενεργειακή ασφάλεια κάθε χώρας και κατά συνέπεια να επηρεάσουν την εύρυθμη λειτουργία της κοινωνίας. Επιπλέον από την ανάλυση των ενεργειακών χαρτοφυλακίων είναι προφανές πως ο ενεργειακός τομέας θα πρέπει να κάνει μια στροφή στις ενεργειακές τεχνολογίες που χρησιμοποιεί. Η τεχνολογική αυτή στροφή δεν συνδέεται μόνο με τη μεγαλύτερη διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και με τον εκσυγχρονισμό των συμβατικών τεχνολογιών, όπως η υιοθέτηση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) και η χρησιμοποίηση πυρηνικών αντιδραστήρων τελευταίας γενιάς.

Η τεχνολογική αυτή αλλαγή στα πλαίσια της Ε.Ε. είναι θεμελιώδους σημασίας ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί, μεταξύ άλλων η σχεδόν ολοκληρωτική εξάλειψη του άνθρακα από τους κλάδους ενέργειας και μεταφορών μέχρι το 2050. Οι στόχοι αυτοί και τα πιεστικά χρονικά περιθώρια καθιστούν αναγκαία μία στροφή προς αποδοτικές ενεργειακές τεχνολογίες με χαμηλή περιεκτικότητα άνθρακα. Οι νέες αυτές τεχνολογίες αλλά και άλλες πρωτοβουλίες όπως το σύστημα εμπορίας εκπομπών (Emission Trading Scheme-ETS) θα μπορέσουν να διατεθούν στην αγορά ταχύτερα αν σχεδιασθούν και αναπτυχθούν σε επίπεδο Ένωσης. Με τον τρόπο αυτό θα εξασφαλίζεται η σταθερότητα των σχετικών επενδύσεων, η εμπιστοσύνη και η συνοχή της πολιτικής. Ενδεικτικά έργα που θα συμβάλουν σε αυτή την τεχνολογική μεταστροφή είναι: οι τεχνολογίες CCS, τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς, η πυρηνική ενέργεια επόμενης γενιάς, η ηλεκτροπαραγωγή, η παραγωγή θέρμανσης και ψύξης από Α.Π.Ε. καθώς και τα ευφυή δίκτυα διανομής και τα έξυπνα δίκτυα σε πόλεις.

Κάποια από αυτά τα έργα επηρεάζουν αρκετά κράτη μέλη όπως τα μεγάλα έργα ηλεκτροπαραγωγής από αιολικά πάρκα ισχύος άνω των 140 GW ιδίως στη Βόρεια Θάλασσα καθώς τα σχέδια Desertec (σχέδιο εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας στις ερήμους) και Medring (σχέδιο ανάλυσης, αξιολόγησης και συνδυασμού της Ευρωπαϊκής αγοράς με τις χώρες της Μεσογείου).

Οι απαιτούμενοι πόροι για τα επόμενα είκοσι χρόνια θα είναι ιδιαίτερα σημαντικοί με δεδομένη την παρούσα οικονομική συγκυρία. Ωστόσο όπως αναφέρεται σε ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής: “ Η ενιαία ενεργειακή πολιτική μπορεί να διασφαλίσει πως η Ευρώπη θα ανακάμψει από την κρίση και θα ακολουθήσει μια πιο ανταγωνιστική και βιώσιμη πορεία προς το μέλλον” [European Commission-DG Energy-Energy Annual Report 2010]. Χρειάζεται λοιπόν ένας ευρωπαϊκός σχεδιασμός και συντονισμένες κινήσεις ώστε να γίνει εκμετάλλευση των πιθανών πηγών χρηματοδότησης κατά το βέλτιστο τρόπο. Επιπλέον η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει να αντιμετωπίσει σκληρό ανταγωνισμό στον τομέα των ενεργειακών τεχνολογιών από χώρες όπως η Κίνα, η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα και οι Η.Π.Α. Οι χώρες αυτές εφαρμόζουν φιλόδοξες στρατηγικές στα αγορές της ηλιακής, αιολικής και πυρηνικής ενέργειας με στόχο να εκμεταλλευθούν την ραγδαία αναπτυσσόμενη διεθνή αγορά ενεργειακής τεχνολογίας.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε ανακοίνωσή της το Νοέμβριο το 2010 αναγνώρισε τη σημασία της τεχνολογικής μεταστροφής και πρότεινε συγκεκριμένες δράσεις. [European Commission-DG Energy-A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy]. Οι δράσεις αυτές περιγράφονται παρακάτω.

1. Υλοποίηση του Στρατηγικού Σχεδίου Ενεργειακών Τεχνολογιών (SET plan)

Το σχέδιο αυτό περιλαμβάνει την έρευνα στους ενεργειακούς τομείς και απαιτείται για αυτό πρόσθετη Ευρωπαϊκή συνεργασία (ένα από τα προγράμματα που αναπτύχθηκαν με βάση το SET plan ήταν και το πληροφοριακό σύστημα κοστολόγησης της ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιήσαμε στη μελέτη μας). Οι τεχνολογικοί χάρτες για τις ευρωπαϊκές χώρες θα αποτελέσουν ακρογωνιαίο λίθο για την κατάρτιση δημοσιονομικών πλαισίων που θα στοχεύουν σε ένα αποτελεσματικότερο και παγιωμένο πρόγραμμα ενεργειακής έρευνας. Θα προωθηθεί επίσης η ανάπτυξη στρατηγικών υποδομών ενεργειακής έρευνας στην Ευρώπη.

2. Δρομολόγηση τεσσάρων έργων μεγάλης κλίμακας

Το πρώτο από τα μεγάλα έργα στην περιοχή της Ευρώπης αφορά στον τομέα των ευφύων δικτύων διανομής με στόχο να συνδεθεί ολόκληρο το σύστημα μεταφοράς και διανομής ενέργειας, που θα συνδέει τα υπεράκτια αιολικά πάρκα της Βόρειας Θάλασσας με τα ηλιακά πάρκα στη Νότια Ευρώπη και τα υφιστάμενα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, καθιστώντας τα

υπάρχοντα δίκτυα διανομής αποδοτικότερα και πιο αξιόπιστα. Το δεύτερο έργο αφορά στον τομέα της αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα αλλά και στα ηλεκτρικά οχήματα. Επίσης η αποθήκευση ενέργειας σχετίζεται με έργα υδροηλεκτρικής δυναμικότητας, αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα, αποθήκευσης σε συσσωρευτές και νέες τεχνολογίες όπως το υδρογόνο. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης προετοιμάζουν το δίκτυο να δεχτεί την αφομοίωση της διεσπαρμένης παραγωγής μικρής κλίμακας και την ενέργεια από μεγάλες μονάδες παραγωγής από συμβατικούς σταθμούς και ανανεώσιμες. Το τρίτο έργο σχετίζεται με την παραγωγή βιοκαυσίμων σε μεγάλη κλίμακα με προσοχή στις επιπτώσεις από την αλλαγή χρήσης γης. Στο άμεσο μέλλον θα δρομολογηθεί ευρωπαϊκή πρωτοβουλία βιοενέργειας ύψους 9 δισεκατομμυρίων €. Τέλος το τέταρτο έργο αφορά στην παροχή τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας στις πόλεις αλλά και στις αγροτικές περιοχές.

3. Εξασφάλιση Μακροπρόθεσμης τεχνολογικής ανταγωνιστικότητας της Ε.Ε.

Οι βάσεις της μελλοντικής ανταγωνιστικότητας της Ε.Ε. θα πρέπει να τεθούν άμεσα και για αυτό το λόγο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόκειται να προτείνει πρωτοβουλία ύψους 1 δις € για τη στήριξη της τεχνολογικής έρευνας, ώστε να στραφεί η Ευρώπη προς τεχνολογίες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Σημαντική θέση στην πρωτοβουλία αυτή καταλαμβάνει το έργο ITER. Το έργο αυτό αποτελεί μία πρωτοβουλία στην οποία συμμετέχουν η Κίνα, η Ρωσία, η Ε.Ε., οι Η.Π.Α., η Ινδία, η Κορέα και η Ιαπωνία. Στόχος του προγράμματος είναι να αποδειχθεί πως η παραγωγή ενέργειας από σύντηξη μπορεί να αποτελέσει το δρόμο για το μέλλον. Η Ε.Ε. έχει δεσμευθεί να φροντίσει για τη διοίκηση του έργου και τη δημιουργία βιομηχανικής προστιθέμενης αξίας από το ITER στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα σύντηξης. Επιπλέον αναμένεται η Επιτροπή να καταρτίσει νέα ερευνητικά προγράμματα σε ενωσιακό επίπεδο που θα αφορούν στις ενεργειακές πρώτες ύλες.

Το δεύτερο βασικό συμπέρασμα από τη μελέτη μας είναι η ανάγκη ισχυροποίησης των ευρωπαϊκών οικονομιών απέναντι στα δυσμενή γεγονότα που αφορούν ενεργειακά καύσιμα. Η τεχνολογική στροφή που προαναφέραμε βοηθά και προς αυτή την κατεύθυνση. Νέες ενεργειακές τεχνολογίες έρχονται να αντικαταστήσουν τις προηγούμενες μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από συγκεκριμένες ενεργειακές πηγές. Επιπλέον όσο πιο διαφοροποιημένο είναι ένα ενεργειακό μίγμα τόσο λιγότερο ευάλωτη είναι μια οικονομία σχετικά με τις ενεργειακές της πηγές. Ωστόσο υπάρχουν πολλά που μπορούν να γίνουν σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης και αφορούν στην ισχυροποίηση των διεθνών σχέσεων με χώρες εκτός Ε.Ε. Πολλές φορές κράτη μέλη έχουν απευθυνθεί στην Ένωση προκειμένου να μιλήσει με τρίτες χώρες μιας και οι εθνικές πρωτοβουλίες δεν αναδεικνύουν το μέγεθος και τη σημασία της αγοράς της Ε.Ε. Εφόσον οι στόχοι των χωρών είναι κοινοί, όπως η επίτευξη ασφάλειας του εφοδιασμού, της ανταγωνιστικότητας και

της αειφορίας, είναι επόμενο και η διεθνής ενεργειακή πολιτική να παρουσιάζει μια συμπαγή και ενιαία δομή.

Οι σχέσεις με τις χώρες παραγωγής και διαμετακόμισης μπορεί να είναι σημαντικές, ωστόσο τα επόμενα χρόνια πρωταγωνιστικό ρόλο θα παίξουν οι σχέσεις της Ένωσης με μεγάλες ενεργοβόρες χώρες με αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες οικονομίες. Οι νέες μορφές προσφοράς και ζήτησης που προκύπτουν από την εμφάνιση νέων παικτών στην ενεργειακή αγορά καθιστά επιτακτική την ανάγκη η Ε.Ε. να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά το βάρος της περιφερειακής αγοράς της στις σχέσεις με τρίτες χώρες που είναι ενεργειακοί εταίροι ζωτικής σημασίας. Η Ευρώπη θα πρέπει να είναι σε θέση να στηριχτεί σε πρόσθετες πηγές ενέργειας και νέες διαδρομές ενεργειακού εφοδιασμού μέχρι το 2020. Επιπλέον η Ε.Ε. μπορεί να προχωρήσει στη θέσπιση προτύπων σε περιβαλλοντικά ζητήματα και να προωθήσει το σεβασμό σε διαφανείς και ανταγωνιστικές αγορές.

Η Ε.Ε. διαπραγματεύεται με αρκετές χώρες συμφωνίες που περιλαμβάνουν σημαντικές ενεργειακές διατάξεις. Τα πλαίσια που υιοθετεί η Ε.Ε. περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων διμερείς συμφωνίες με τρίτες χώρες, συμφωνίες ελεύθερων συναλλαγών, συμφωνίες εταιρικής σχέσης και συνεργασίας, συμφωνίες σύνδεσης, μνημόνια περί ενεργειακής συνεργασίας και πολυμερείς συνθήκες. Η εξωτερική ενεργειακή πολιτική δεν είναι μόνο ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της Ε.Ε. αλλά πρέπει και να συνάδει με τις υπόλοιπες εξωτερικές δραστηριότητες της Ε.Ε. όπως η ανάπτυξη, το εξωτερικό εμπόριο, ο σεβασμός του κλίματος και της βιοποικιλότητας και λοιπές πολιτικές. Ωστόσο και στο εσωτερικό της Ένωσης πρέπει να διασφαλιστεί η αλληλεγγύη, η υπευθυνότητα και η διαφάνεια μεταξύ των κρατών μελών εξασφαλίζοντας την εύρυθμη λειτουργία της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.

Η ενεργειακή ασφάλεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις προτεραιότητες της Ε.Ε. στους τομείς της εξωτερικής πολιτικής και της οικονομικής ασφάλειας. Η διαφοροποίηση των καυσίμων, των πηγών εφοδιασμού και των διαδρόμων διαμετακόμισης είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια της Ε.Ε. όπως και η σωστή διακυβέρνηση, ο σεβασμός της έννομης τάξης και η προστασία των ενωσιακών και ξένων επενδύσεων στις χώρες παραγωγής και διαμετακόμισης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για την προστασία και την ασφάλεια των αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου και τις συναφείς υποδομές και για το λόγο αυτό έχει προχωρήσει σε συντονισμένες κινήσεις στην ενεργειακή της πολιτική.

Στην ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, την οποία αναφέραμε και παραπάνω, προτείνονται συγκεκριμένες δράσεις για την ενίσχυση της διεθνούς παρουσίας της Ε.Ε. και στη βελτίωση των σχέσεων με άλλες χώρες:

1. Ενοποίηση των αγορών ενέργειας και των κανονιστικών πλαισίων με τις γειτονικές χώρες
2. Θέσπιση Προνομιακών Σχέσεων με Εταίρους ζωτικής σημασίας
3. Προώθηση του παγκόσμιου ρόλου της Ε.Ε. στο μέλλον της ενέργειας χαμηλής περιεκτικότητας άνθρακα
4. Προώθηση παγκοσμίως δεσμευτικών προτύπων σχετικά με την πυρηνική ασφάλεια

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της μελέτης μας αλλά και θέλοντας να κάνουμε μία γενικότερη παρατήρηση, θα μπορούσαμε να πούμε πως η Ε.Ε. βρίσκεται στο κατώφλι μιας νέας περιόδου αναφορικά με την ενεργειακή της πολιτική. Η νέα αυτή περίοδος χαρακτηρίζεται από σημαντικές αλλαγές αλλά και ενδιαφέρουσες προκλήσεις. Η ανάγκη για εξασφάλιση του εφοδιασμού, για μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα αλλά και οι στόχοι για το κλίμα επιβάλλουν την αναβάθμιση των δικτύων μεταφοράς, την αντικατάσταση των απαρχαιωμένων ενεργειακών τεχνολογιών και την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας. Επιπλέον η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, η αποδοτική χρήση των ενεργειακών πόρων και οι προσιτές τιμές της ενέργειας διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο για την μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της Ε.Ε., τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την επίτευξη ενός καλού επιπέδου ζωής.

Οι προκλήσεις αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν με αποτελεσματικότερο τρόπο σε ενωσιακό επίπεδο με την υιοθέτηση μιας κοινής ενεργειακής πολιτικής. Αυτή θα περιλαμβάνει την εξασφάλιση χρηματοδοτικής στήριξης σε προτεραιότητες που οι αγορές δεν μπορούν να καλύψουν και που όμως αποφέρουν σημαντική ευρωπαϊκή προστιθέμενη αξία. Επιπλέον η νέα αυτή ενεργειακή στρατηγική θα απαιτήσει σημαντικές προσπάθειες σχετικά με την τεχνολογική καινοτομία και τη διαμόρφωση μιας ανταγωνιστικής αγοράς. Εξίσου σημαντικός στόχος θα είναι η βελτίωση της ασφάλειας και της αειφορίας των ενεργειακών συστημάτων, η αποδοτικότερη διαχείριση του δικτύου και η κανονιστική ρύθμιση των αγορών ενέργειας. Παράλληλα θα πρέπει να γίνουν σημαντικές προσπάθειες ενημέρωσης των οικιακών και επαγγελματικών καταναλωτών προκειμένου να συμμετάσχουν μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της μεταστροφής σε νέες τεχνολογίες στη βιωσιμότητα του ενεργειακού σχεδιασμού. Είναι φυσικό πως για την επίτευξη των στόχων αυτών θα χρειαστεί συντονισμός και συνεργασία σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Το ευρωπαϊκό αλλά και το παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα αναμένεται να εισέλθουν σε φάση ραγδαίων αλλαγών των οποίων οι επιπτώσεις μπορεί να γίνουν εμφανείς σε βάθος χρόνου. Η ανάληψη δράσης πρέπει να γίνει όσο πιο σύντομα γίνεται καθώς χρειάζεται αρκετό διάστημα για την εφαρμογή των όποιων αλλαγών στο ενεργειακό σύστημα.

Σε κάθε περίπτωση οι προκλήσεις για τον τομέα της ενέργειας θα συνεχίσουν να μας απασχολούν. Για το λόγο αυτό είναι ζωτικής σημασίας κατά τη χάραξη της ενεργειακής πολιτικής να έχουμε πάντα το βλέμμα στραμμένο στο μέλλον. Τα προβλήματα του σήμερα πρέπει να λυθούν με γνώμονα και το αύριο. Μόνο με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσει η Ε.Ε. να ανταπεξέλθει στις προκλήσεις του ενεργειακού τομέα και να εξασφαλίσει για τα 500 εκατομμύρια πολίτες που ζουν στις χώρες της, ασφαλή, ανταγωνιστική και βιώσιμη ενέργεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

• ΜΕΡΟΣ Α: ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ (PCA)

1. Shlens Jonathon "A Tutorial on Principal Component Analysis" *Center for Neural Sciences, New York University* (version 3.01/April 2009)
2. Lindsay I. Smith "Tutorial on Principal Component Analysis" (2002)
3. Gupta, Eshita. "Oil vulnerability index of oil-importing countries." *Energy Policy* 36 (2008).
4. Gupta, Eshita. (2007). "Assessing the relative geopolitical risk of oil importing countries."
5. Gnansounou, Edgard. "Assessing the energy vulnerability: Case of industrialised countries." *Energy Policy*, Volume 36 (2008).
6. Jansen, J. C., Van Arkel, W.G., Boot, M.G. "Designing indicators of long term energy supply security". *ECN-C-04-007* (2004)
7. Percebois, Jacques. "Energy vulnerability and its management." *International Journal of Energy Sector Management*. (2007)
8. Schaeppers, Martin, Seebregts, Ad. De Jong, Jacques. Maters, Hans. "EU Standards for Energy Security of Supply." (2007).
9. Grubb, Butlerb, Twomey "Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives." *Energy Policy* Volume 34(10) (2006)
10. Chevalier, Jean-Marie "Security of energy supply for the European Union." *International Journal of European Sustainable Energy Market* (2005).
11. World Energy Council. (2008). "Europe's vulnerability to energy crisis: Executive summary".
12. Costantini, Valeria. Gracceva, Francesco. Markandya, Anil . Vicini, Giorgio. "Security of energy supply. Comparing scenarios from European perspective." *Energy Policy* 35, (2007)
13. Roupas, Flamos, Psarras "Comparative Analysis of EU member countries vulnerability in oil & gas" (2008).
14. Doukas, Flamos, Psarras "Risks on Security of Oil& Gas Supply" *Energy Sources Part B: Economics and Policy, Taylor & Francis* (2008)
15. European Commission-DG Energy- Market Observatory "EU 27 info"
16. European Commission-DG Energy- Market Observatory "Third Country Info: Norway"
17. European Commission-DG Energy- Market Observatory "Third Country Info: Russia"
18. European Commission-DG Energy- Market Observatory "Europe's Energy Position" Annual Report 2010
19. European Commission-DG Energy "A Strategy for secure, competitive and sustainable Energy" November 2010

20. European Commission-DG Energy "EU Energy and Transport in Figures-Statistical Pocketbook 2008-2009"
21. Risk of Energy Availability: Common Corridors for European Security of Supply (REACCESS Project) "Socio-economic Risk on Energy Security" 2nd version (2007)
22. REACCESS Project "Quantification of Socioeconomic Risk & Proposal for an index fo energy supply" (2008)
23. British Petroleum (BP)-Statistical Review on World Energy 2009
24. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 OECD countries "Balances"
25. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 OECD countries "Indicators"
26. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 OECD countries "Oil Facts"
27. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 OECD countries "Gas Facts"
28. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 OECD countries "Graphs- Share of total primary energy supply"
29. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 Non-OECD countries "Balances"
30. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 Non-OECD countries "Indicators"
31. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 Non-OECD countries "Oil Facts"
32. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 Non-OECD countries "Gas Facts"
33. International Energy Agency (IEA)-Statistics for 2008 Non-OECD countries "Graphs- Share of total primary energy supply"
34. Central Intelligence Agency (CIA) "World Factbook-Natural Gas Production"
35. Energy Information Administration (EIA) "World's Top 20 Oil Producers" (2009)

• **ΜΕΡΟΣ Β: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΘΕΩΡΙΑ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ (PORTFOLIO THEORY)**

36. Markowitz Harry M. "Portfolio Selection" *The Journal of Finance*, Vol. 7, March 1952
37. Markowitz Harry M. "Foundations of Portfolio Theory", *The Journal of Finance*, Vol. 46, No. 2, June 1991
38. Markowitz Harry M., "The Early History of Portfolio Theory" *Financial Analysts Journal*, Vol. 55, July – August 1999
39. Ψαρράς, Ζαπουνίδης, Ξυδώνας "Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου" Εκδόσεις Κλειδάριθμος-2010
40. Ross, Westerfield and Jaffe, "Corporate Finance", *Seventh Edition, McGraw-Hill*, 2005
41. "Εισαγωγή στη Θεωρία Διαχείρισης Χαρτοφυλακίου" – de.teipat.gr

42. Hersh Shefrin, "Behavioral Finance: Biases, Mean-Variance Returns, and Risk Premiums" *CFA Institute Conference Proceedings Quarterly*, 2007
43. Awerbuch Shimon "The surprising role of risk and discount rates in utility integrated-resource planning" *The Electricity Journal*, 1993
44. Awerbuch Shimon, Sauter Raphael "Oil Price Volatility and Macroeconomic Activity - A Survey and Literature Review" Working Paper, IEA – REU, 2002
45. Awerbuch S. and Sauter R., "Exploiting the Oil-GDP effect to support renewable deployment" SPRU Working Paper, 2005
46. Delarue, DeJonghe, Belmans, D'haeseleer "Applying Portfolio Theory to Electricity Sector: Energy versus Power", *Energy Economics*, Vol.33 (2010)
47. Awerbuch, Shimon, " Investing in Photovoltaics: Risk, Accounting and the Value of New Technology", *Energy Policy, Special Issue, Vol. 28*, 2000
48. Awerbuch, Shimon "Portfolio-based electricity generation planning: Policy implications for renewable and energy security", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006
49. Awerbuch Shimon, Martin Berger "Applying Portfolio Theory to EU Electricity Planning and Policy-Making" , *Working Paper, IEA/EET*, 2003
50. Awerbuch Shimon, " New Economic Cost Perspectives For Valuing Solar Technologies", *Advances in Solar Energy, Vol. 10*, 1995
51. Awerbuch Shimon "Getting It Right: The Real Cost Impacts of a Renewables Portfolio" *Public Utilities Fortnightly*, 2000
52. Stirling Andrew "Diversity and ignorance in electricity supply – Addressing the solution rather than the problem", *Energy Policy, Vol. 22*, (1994)
53. European Commission "Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport" -*Second Strategic Energy Review – An EU Energy Security and Solidarity Action Plan*, 2008
54. European Commission-DG Energy "European Energy and Transport: Trends to 2030-update 2009" (2010)
55. European Commission-DG Energy "Scenarios on High Oil and Gas Prices" (2008)
56. European Commission "20 20 by 2020 Europe's climate change opportunity" *Final Version* (2008)
57. Commission of the European Communities, Green Paper – A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy, 2006
58. European Commission-DG Energy- Strategic Energy Technologies Plan (SET-Plan)- Energy calculator

59. British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy 2010- Oil Data
60. British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy 2010- Natural Gas Data
61. British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy 2010- Coal Data
62. Energy Information Administration (EIA)-Data-Nuclear Fuel and Uranium Prices

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα, όπως αυτοί προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου PCA στο περιβάλλον Microsoft Excel.

- ✓ Υπολογισμός δείκτη τρωτότητας πετρελαίου **O.V.I.**

Πίνακας 3: Normalised Data

	DPED	NEID	PM	ML	OIL/GDP	OIL/TPES	NI/GDP
Austria	0,000542	0,557613	0,443213	0,250432	0,094877	0,307692	0,1821
Belgium	0,001066	0,728395	0,548476	0,202034	0,276428	0,34276	0,355515
Bulgaria	0,00062	0,588134	0,742382	0,371589	1	0,13009	0,628013
Cyprus	0,026656	0,640947	0,969529	0,491504	0,379152	0,943439	0,605741
Czech Rep.	0,00084	0,570302	0,520776	0,272968	0,473151	0,105204	0,331488
Denmark	0,000875	0	0	0	0,017369	0,302036	0
Estonia	0,002707	0,690672	0,747922	1	0,398154	0	0,262541
Finland	0	0,611797	0,484765	0,260785	0,108432	0,187783	0,218157
France	0,000987	0,592593	0,465374	0,187543	0,092267	0,217195	0,191824
Germany	0,000397	0,583333	0,174515	0,18537	0,080089	0,243213	0,18403
Greece	0,002205	0,655007	0,66482	0,220534	0,261751	0,488688	0,327173
Hungary	0,000801	0,513717	0,526316	0,306244	0,421882	0,173077	0,275811
Ireland	0,002181	0,609053	0,567867	0,292849	0,132276	0,440045	0,198324
Italy	0,001693	0,562757	0,313019	0,189957	0,105375	0,345023	0,196029
Latvia	0,001194	0,633745	0,825485	0,748687	0,454422	0,253394	0,34326
Lithuania	0,000671	0,558642	0,825485	0,507517	0,396393	0,208145	0,361717
Luxembourg	0,004815	0,62963	0,590028	0,489295	0,329749	0,611991	0,299737
Malta	1	1	1	0,644536	0,067777	1	1
Netherlands	0,002081	0,76406	0,124654	0,196094	0,139874	0,317873	0,303364
Poland	0,002415	0,566872	0,470914	0,213945	0,340572	0,152715	0,29182
Portugal	0,001194	0,618999	0,617729	0,246587	0,307265	0,463801	0,320659
Romania	0,000285	0,39952	0,484765	0,363064	0,606345	0,144796	0,242191
Slovakia	0,000414	0,554527	0,65097	0,431871	0,374595	0,096154	0,298885
Slovenia	0,000368	0,582305	0,623269	0,492284	0,416976	0,295249	0,308566
Spain	0,000809	0,629973	0,498615	0,189717	0,234965	0,397059	0,293066
Sweden	0,000427	0,647119	0,415512	0,231839	0,036167	0,177602	0,185149
UK	0,001311	0,257545	0,00831	0,30895	0	0,238688	0,067712

Πίνακας 2: Correlation Matrix (Μήτρα Συνδιακύμανσης)

	DPED	NEID	PM	ML	OIL/GDP	OIL/TPES	NI/GDP
DPED	1	0,494	0,381	0,294	-0,191	0,603	0,741
NEID	0,494	1	0,610	0,398	0,066	0,392	0,687
PM	0,381	0,610	1	0,677	0,504	0,382	0,756
ML	0,294	0,398	0,677	1	0,368	0,080	0,443
OIL/GDP	-0,191	0,066	0,504	0,368	1	-0,245	0,368

OIL/TPES	0,603	0,392	0,382	0,080	-0,245	1	0,597
NI/GDP	0,741	0,687	0,756	0,443	0,368	0,597	1

Πίνακας 3: Eigen values (Ιδιοτιμές)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Eigenvalue	3,634	1,663	0,622	0,503	0,413	0,138	0,026
% variance	51,921	23,764	8,884	7,188	5,893	1,974	0,377
Cumulative %	51,921	75,685	84,569	91,756	97,650	99,623	100,000

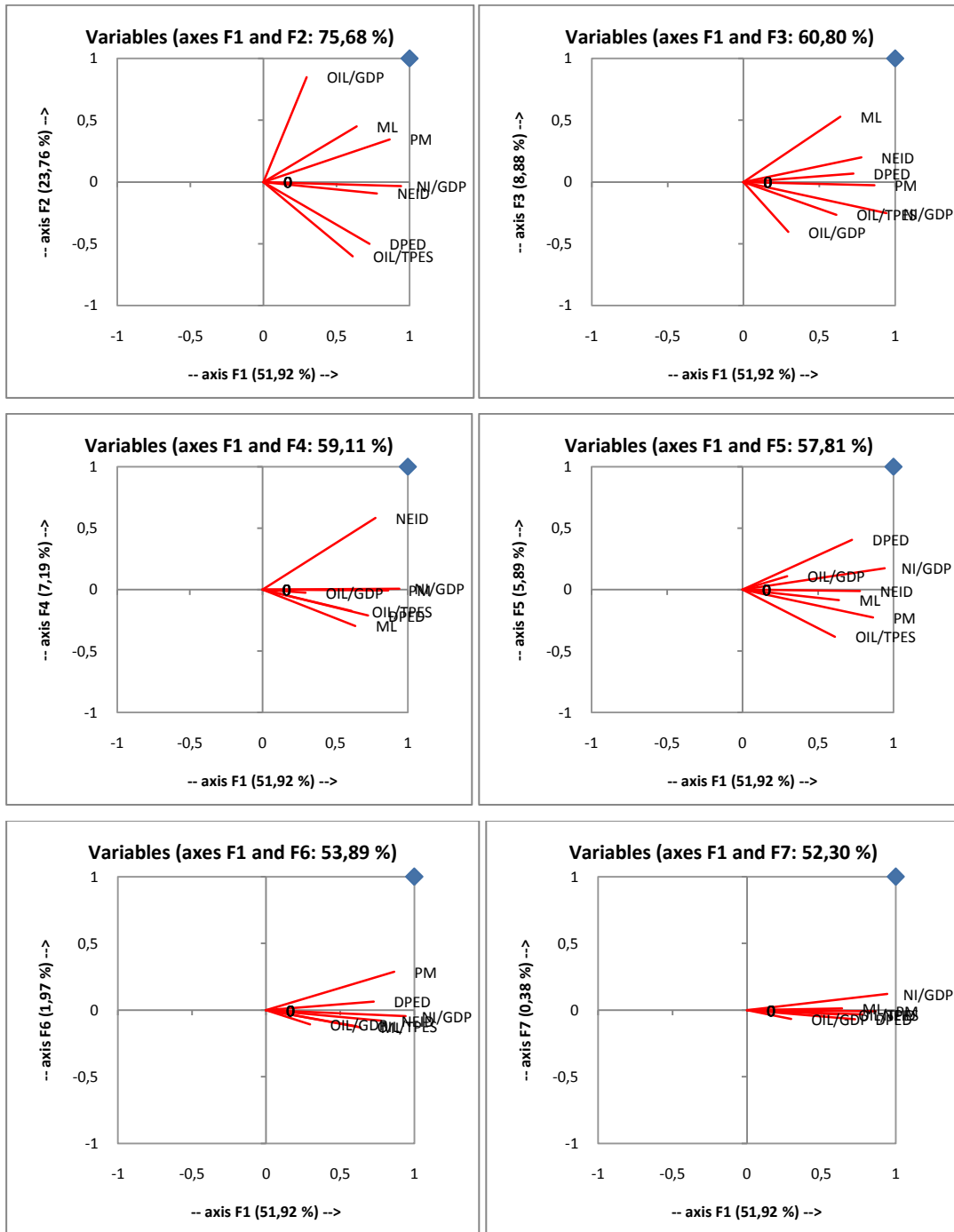
Πίνακας 4: Transposed Eigen Vectors (Ιδιοδιανύσματα)

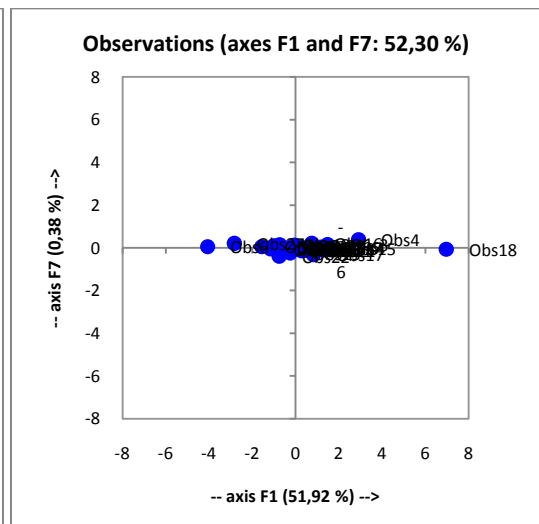
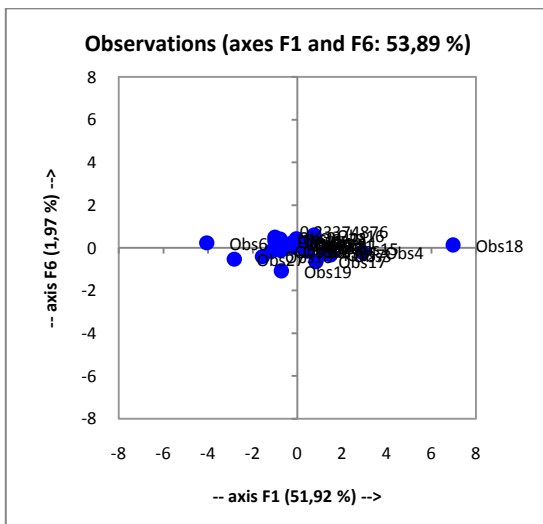
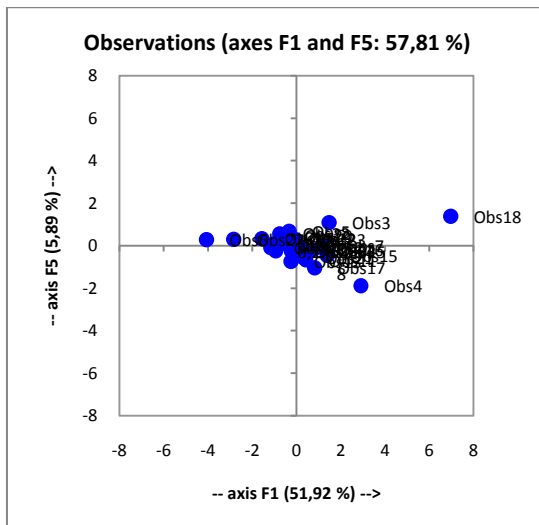
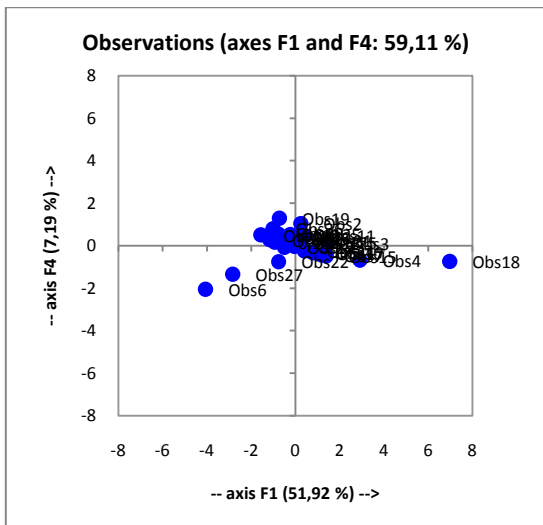
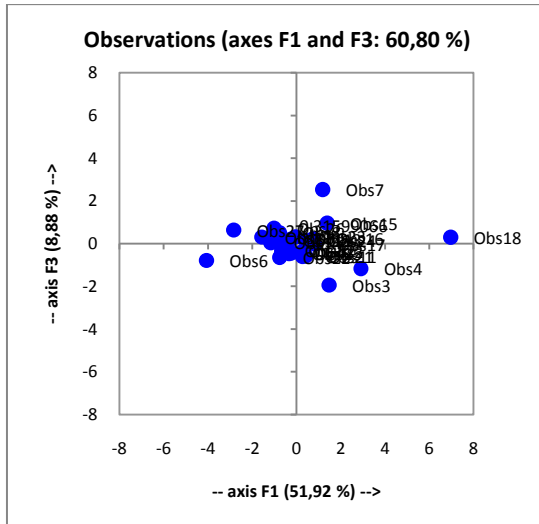
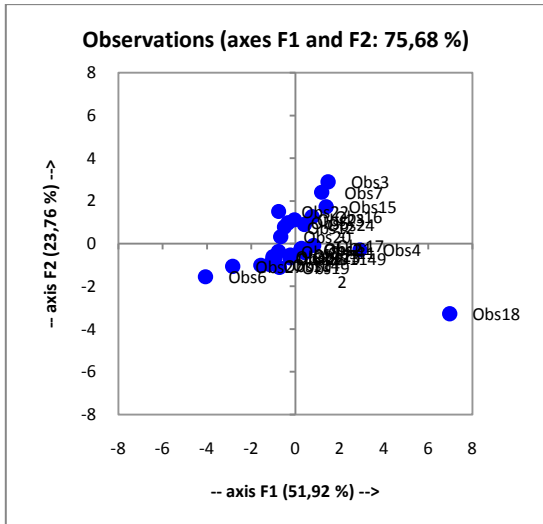
	DPED	NEID	PM	ML	OIL/GDP	OIL/TPES	NI/GDP
F1	0,380615	0,4074	0,453399	0,335084	0,155219	0,321016	0,494128
F2	-0,38854	-0,07165	0,2671	0,348149	0,658005	-0,46656	-0,0264
F3	0,087588	0,253755	-0,03355	0,669419	-0,51275	-0,33662	-0,3201
F4	-0,29621	0,82281	-0,00975	-0,41715	-0,03369	-0,24469	0,011149
F5	0,631719	-0,01732	-0,35198	-0,13137	0,171765	-0,59616	0,273079
F6	0,1715	-0,21423	0,771666	-0,34863	-0,28973	-0,33004	-0,12169
F7	-0,42459	-0,20319	-0,0501	0,07462	-0,40674	-0,20431	0,75045

Πίνακας 5: Principal Components (Υπολογισμός Κυρίαρχων Συστατικών)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Austria	0,715727	0,079469	0,083806	0,273403	-0,31562	-0,01586	-0,08185
Belgium	0,942138	0,176817	-0,06914	0,420168	-0,29131	-0,03953	-0,07653
Bulgaria	1,208249	0,866006	-0,38442	0,262971	-0,05421	-0,09166	-0,09126
Cyprus	1,536569	0,167112	-0,24441	0,068124	-0,73198	-0,05088	-0,04585
Czech Republic	0,831258	0,446443	-0,07408	0,312067	-0,11943	-0,02748	-0,08714
Denmark	0,099987	-0,12983	-0,1105	-0,07475	-0,17653	-0,10457	-0,06915
Estonia	1,148131	0,752435	0,531636	0,132558	-0,26479	-0,06629	-0,06926
Finland	0,741332	0,154413	0,124917	0,342709	-0,24923	0,032152	-0,04789
France	0,69447	0,101063	0,078569	0,350411	-0,25933	0,045188	-0,0681
Germany	0,560481	0,003564	0,08445	0,340667	-0,17661	-0,18073	-0,05777
Greece	1,002185	0,142154	-0,11171	0,315066	-0,42996	0,019251	-0,11166
Hungary	0,808172	0,399644	-0,04509	0,236083	-0,18927	-0,02346	-0,10822
Ireland	0,864348	0,085638	0,052293	0,262869	-0,43298	-0,00169	-0,12616
Italy	0,659463	0,011947	0,02669	0,294459	-0,27786	-0,1132	-0,08282
Latvia	1,205281	0,606993	0,206235	0,127246	-0,3784	-0,01664	-0,09377
Lithuania	1,07926	0,511056	0,064766	0,179443	-0,3237	0,112936	-0,04959
Luxembourg	1,085567	0,204489	-0,00309	0,149259	-0,50617	-0,18334	-0,15725
Malta	2,283051	-0,41707	0,047789	0,012158	-0,13369	0,032866	-0,11122
Netherlands	0,70795	-0,01827	0,045325	0,465932	-0,16419	-0,31786	-0,04193
Poland	0,763148	0,303853	-0,04797	0,326285	-0,155	-0,01682	-0,07457
Portugal	0,970366	0,183351	-0,11479	0,279812	-0,39594	-0,02281	-0,11793

Romania	0,764593	0,552171	-0,10898	0,119306	-0,1411	-0,09098	-0,17295
Slovakia	0,902632	0,478068	0,087902	0,236828	-0,20657	0,056402	-0,06095
Slovenia	0,99689	0,42447	0,044468	0,184729	-0,31403	-0,07116	-0,11133
Spain	0,855346	0,115394	-0,07774	0,3323	-0,32715	-0,05098	-0,09594
Sweden	0,683991	0,081213	0,167911	0,388954	-0,23675	0,009625	-0,04724
United Kingdom	0,322795	-0,02233	0,169985	0,024912	-0,17095	-0,24326	-0,0282





✓ Υπολογισμός δείκτη τρωτότητας φυσικού αερίου **G.V.I.**

Πίνακας 6: Normalised Data

	DPED	NEID	PM	ML	GAS/GDP	GAS/TPES	NI/GDP
Austria	0,112657	0,609174	0,536913	0,237391	0,151329	0,496471	0,409729
Belgium	0,22129	0,657798	0,66443	0,179877	0,30119	0,564706	0,538025
Bulgaria	0,128763	0,65	0,899329	0,372769	0,701778	0,298824	0,960609
Czech Republic	0,174388	0,713761	0,630872	0,230009	0,597243	0,327059	0,698468
Denmark	0,181678	0,059633	0	0	0,060262	0,468235	0,137195
Estonia	0,562208	0,935321	0,90604	1	0,295773	0,291765	0,663125
Finland	0	0,557798	0,587248	0,3081	0,041425	0,225882	0,391737
France	0,204957	0,588991	0,563758	0,152234	0,158598	0,305882	0,394946
Germany	0,082485	0,640826	0,211409	0,145451	0,208456	0,494118	0,41965
Greece	0,457917	0,472018	0,805369	0,325189	0,030701	0,235294	0,368595
Hungary	0,166393	0,983945	0,637584	0,20675	0,823546	0,910588	1
Ireland	0,452947	0,625229	0,687919	0,296617	0,08127	0,665882	0,416533
Italy	0,35165	0,771101	0,379195	0,145763	0,237657	0,908235	0,52806
Latvia	0,248013	0,72156	1	0,743548	0,276975	0,694118	0,656895
Lithuania	0,139261	0,787615	1	0,401736	0,577208	0,618824	0,868804
Luxembourg	1	0,577523	0,714765	0,745056	0,184983	0,647059	0,464447
Netherlands	0,432199	0	0,151007	0,108778	0,367628	1	0
Poland	0,501596	0,544495	0,57047	0,20818	0,327464	0,261176	0,45602
Portugal	0,248013	0,528899	0,748322	0,29594	0,079419	0,376471	0,435286
Romania	0,059124	0,541743	0,587248	0,323869	1	0,696471	0,549357
Slovakia	0,085907	1	0,788591	0,269074	0,928496	0,625882	0,997562
Slovenia	0,076378	0,509633	0,755034	0,895748	0,195187	0,223529	0,422325
Spain	0,167983	0,622477	0,604027	0,15406	0,148537	0,548235	0,500041
Sweden	0,088662	0,401835	0,503356	0,941385	0	0	0,284325
United Kingdom	0,272149	0,522936	0,010067	0,165428	0,197142	0,92	0,330727

Πίνακας 7: Correlation Matrix (Μήτρα Συνδιακύμανσης)

	DPED	NEID	PM	ML	GAS/GDP	GAS/TPES	NI/GDP
DPED	1	-0,067	0,076	0,228	-0,241	0,177	-0,187
NEID	-0,067	1	0,598	0,201	0,455	0,068	0,859
PM	0,076	0,598	1	0,534	0,262	-0,307	0,656
ML	0,228	0,201	0,534	1	-0,115	-0,403	0,127
GAS/GDP	-0,241	0,455	0,262	-0,115	1	0,339	0,716
GAS/TPES	0,177	0,068	-0,307	-0,403	0,339	1	0,068
NI/GDP	-0,187	0,859	0,656	0,127	0,716	0,068	1

Πίνακας 8: Eigen values (Ιδιοτιμές)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Eigenvalue	2,903	1,818	1,153	0,471	0,365	0,236	0,055
% variance	41,474	25,970	16,465	6,722	5,211	3,370	0,788
Cumulative %	41,474	67,444	83,909	90,631	95,842	99,212	100,000

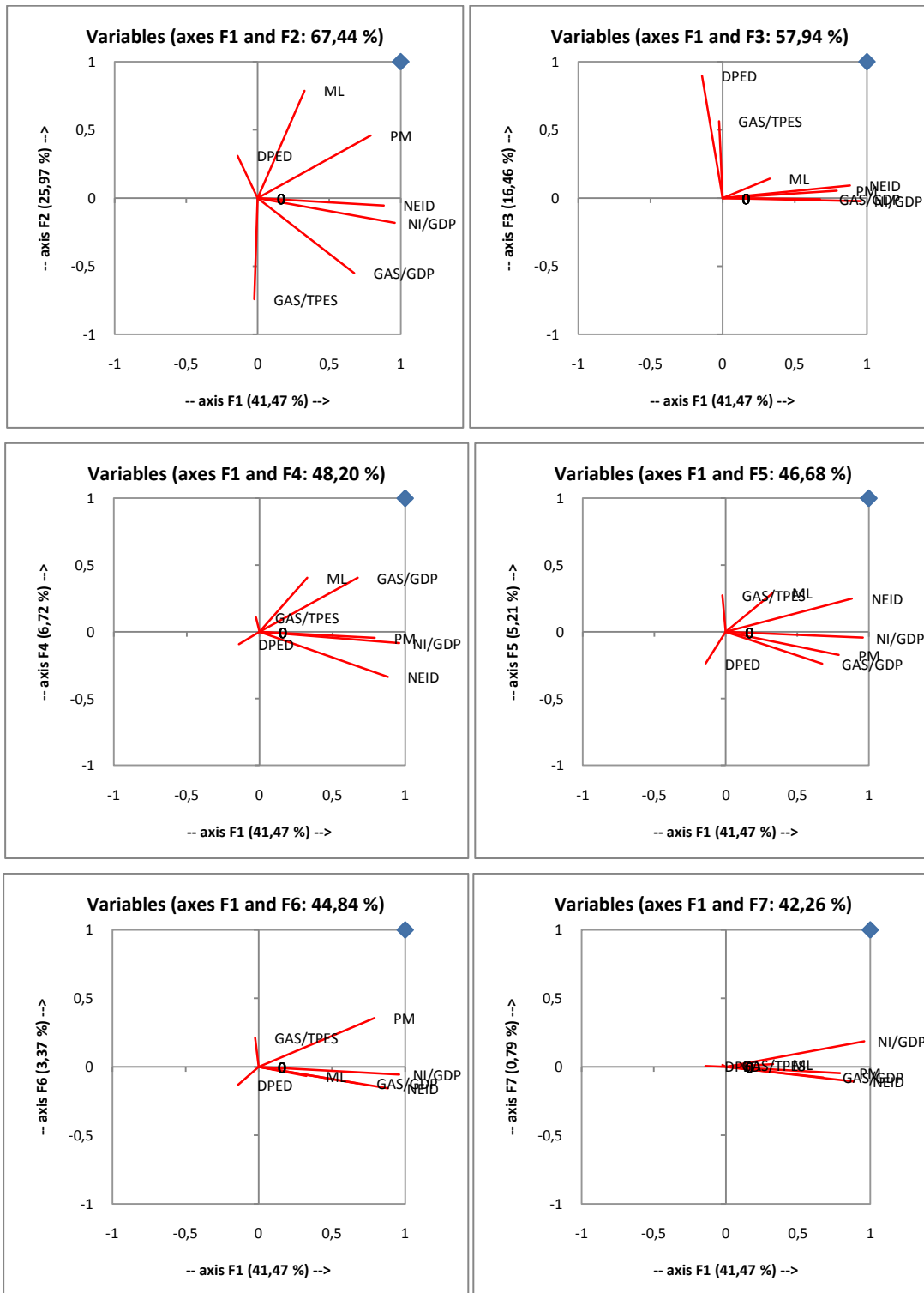
Πίνακας 9: Transposed Eigen Vectors (Ιδιοδιανύσματα)

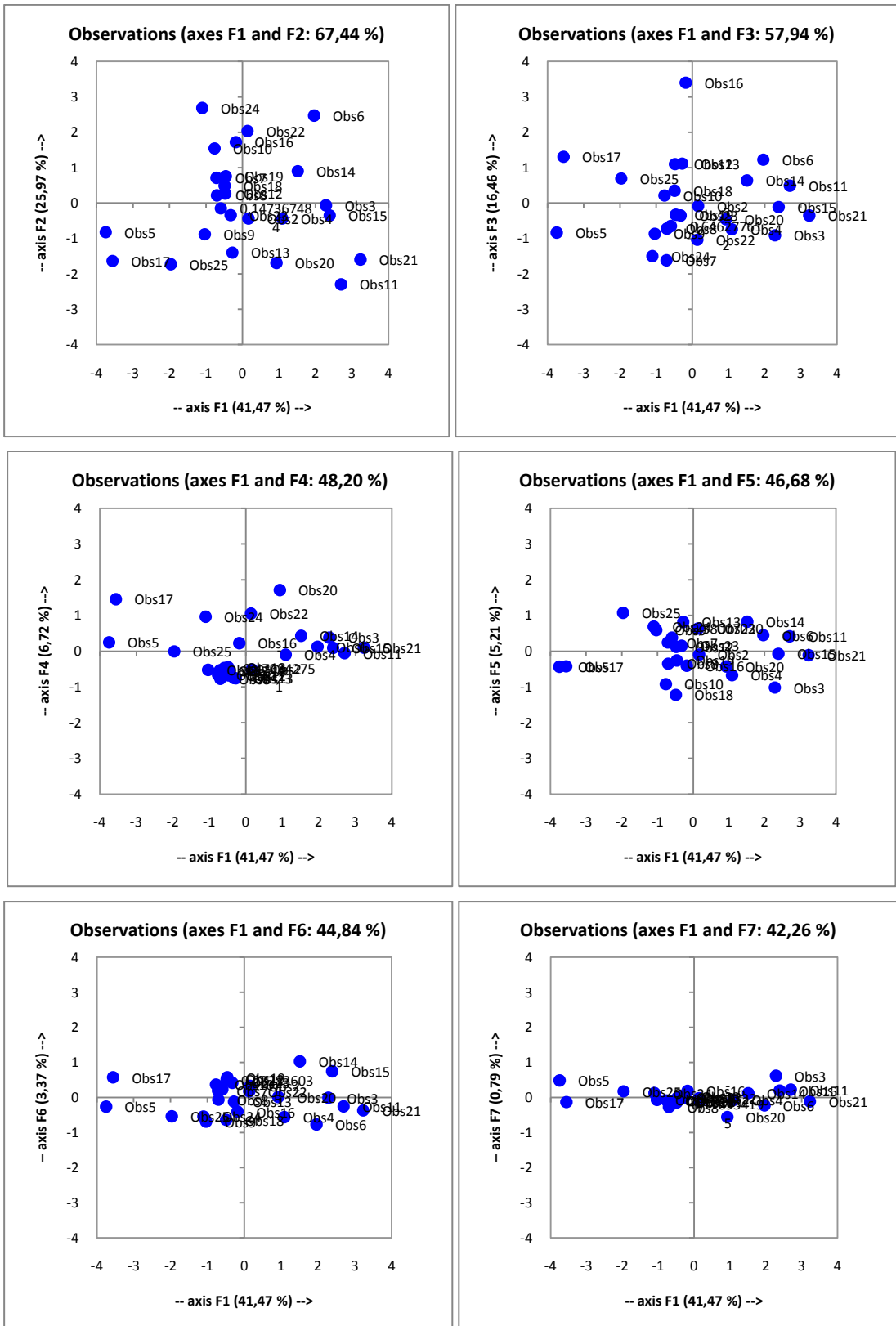
	DPED	NEID	PM	ML	GAS/GDP	GAS/TPES	NI/GDP
F1	-0,08319	0,517256	0,463858	0,19161	0,395882	-0,01429	0,562778
F2	0,230002	-0,0405	0,340602	0,584194	-0,40879	-0,55034	-0,13483
F3	0,8343	0,086187	0,049295	0,132295	-0,00911	0,525381	-0,02181
F4	-0,13447	-0,49293	-0,0674	0,589992	0,588736	0,157295	-0,1223
F5	-0,39192	0,410018	-0,286	0,480496	-0,39608	0,451069	-0,07258
F6	-0,26793	-0,32272	0,735102	-0,13725	-0,24985	0,434879	-0,11536
F7	0,025456	-0,45623	-0,19921	0,08184	-0,33192	0,05972	0,794414

Πίνακας 10: Principal Components (Υπολογισμός Κυρίαρχων Συστατικών)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Austria	0,883665	-0,06754	0,454888	-0,09448	0,300393	0,266158	-0,05767
Belgium	1,078462	-0,1508	0,580075	-0,09231	0,175759	0,300422	-0,05094
Bulgaria	1,628253	-0,05348	0,386751	0,164286	-0,07494	0,209467	0,106121
Czech Republic	1,316243	-0,15786	0,419694	0,035545	0,014672	0,067554	-0,05188
Denmark	0,110107	-0,26145	0,399175	0,038526	0,130626	0,104821	0,094369
Estonia	1,535027	0,613337	0,862753	0,131208	0,350851	0,052793	-0,06501
Finland	0,853592	0,163355	0,227538	-0,12075	0,265844	0,252082	-0,03531
France	0,858964	0,017816	0,420337	-0,17288	0,119574	0,19637	-0,08396
Germany	0,762176	-0,26373	0,402261	-0,10628	0,349705	0,020927	-0,02678
Greece	0,858174	0,35875	0,620745	-0,14666	0,007206	0,324512	-0,04083
Hungary	1,706266	-0,63625	0,731503	0,077408	0,267181	0,153067	0,020689
Ireland	0,918727	0,0306	0,84495	-0,13882	0,262551	0,363072	-0,04279
Italy	0,95171	-0,40423	0,861305	-0,14874	0,417152	0,190352	-0,0116
Latvia	1,428344	0,219004	0,764596	0,174174	0,425635	0,490617	0,010131
Lithuania	1,645255	-0,11823	0,587424	0,09357	0,162841	0,413147	0,013447
Luxembourg	1,015209	0,390977	1,346015	0,12614	0,183336	0,150456	0,026771
Netherlands	0,18618	-0,48624	0,90445	0,369613	0,14515	0,323302	-0,07248
Poland	0,926963	0,070153	0,645362	-0,07337	-0,08145	0,059826	-0,06307
Portugal	0,927794	0,165048	0,516116	-0,11715	0,154599	0,366003	-0,01792
Romania	1,304854	-0,48528	0,512635	0,507614	0,06482	0,18622	-0,19004
Slovakia	1,847498	-0,45346	0,530944	0,124213	0,122253	0,122148	-0,06744
Slovenia	1,090871	0,517635	0,369818	0,314539	0,386353	0,246878	-0,0236

Spain	0,950088	-0,1207	0,51973	-0,16671	0,24283	0,320605	-0,00675
Sweden	0,774352	0,68718	0,251756	0,276715	0,417746	0,054582	0,021572
United Kingdom	0,535242	-0,49001	0,768848	0,022888	0,497254	0,055698	0,032126





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της Σύγχρονης Θεωρίας Χαρτοφυλακίου.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα για χαρτοφυλάκιο 2007

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	11,76	0
0	0,4	1,8	1,2	96,7	11,876	0,007
0	0,7	3,6	2,3	93,3	11,993	0,014
0	1,1	5,4	3,5	90	12,109	0,021
0	1,4	7,3	4,6	86,7	12,225	0,028
0	1,8	9,1	5,8	83,4	12,341	0,035
0	2,1	10,9	6,9	80	12,458	0,041
0	2,5	12,7	8,1	76,7	12,574	0,048
0	2,9	14,5	9,3	73,4	12,69	0,055
0	3,3	16,3	10,4	70	12,807	0,062
0	3,6	18,1	11,6	66,7	12,923	0,069
0	4	20	12,8	63,3	13,039	0,076
0	4,3	21,8	13,9	60	13,156	0,083
0	4,7	23,6	15,1	56,7	13,272	0,09
0	5,1	25,4	16,2	53,3	13,388	0,097
0	5,4	27,2	17,4	50	13,504	0,104
0	5,8	29	18,5	46,7	13,621	0,111
0	6,1	30,8	19,7	43,3	13,737	0,117
0	6,5	32,7	20,9	40	13,853	0,124
0	6,9	34,5	22	36,7	13,97	0,131
0	7,2	36,3	23,2	33,4	14,086	0,138
0	7,6	38,1	24,3	30	14,202	0,145
0	7,9	39,9	25,5	26,7	14,318	0,125
0	8,3	41,7	26,7	23,3	14,435	0,159
0	8,7	43,5	27,8	20	14,551	0,166
0	9	45,3	29	16,7	14,667	0,173
0	9,4	47,2	30,1	13,3	14,784	0,18
0	9,8	49	31,3	10	14,9	0,187
0	10,1	50,8	32,4	6,7	15,016	0,193
0	10,4	52,6	33,6	3,4	15,133	0,2
0	10,8	54,4	34,8	0	15,249	0,207
0	10,8	54,4	34,8	0	15,249	0,207
0	8,6	57,5	33,9	0	15,317	0,211
0	6,3	60,7	33,1	0	15,385	0,216
0	3,9	63,9	32,2	0	15,453	0,22

0	1,6	67,1	31,4	0	15,521	0,225
0	0	70,4	29,6	0	15,589	0,229
0	0	74,1	25,9	0	15,657	0,235
0	0	77,8	22,2	0	15,725	0,24
0	0	81,5	18,5	0	15,793	0,246
0	0	85,2	14,8	0	15,861	0,252
0	0	88,9	11,1	0	15,929	0,259
0	0	92,6	7,4	0	15,997	0,266
0	0	96,3	3,7	0	16,065	0,273
0	0	100	0	0	16,133	0,28

Πίνακας 2: Αποτελέσματα για το 2020- Σενάριο Μέτρων Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,08	0
0	0	0,2	3,1	96,7	14,164	0,007
0	0	0,4	6,2	93,3	14,247	0,015
0	0	0,7	9,4	90	14,331	0,022
0	0	0,9	12,5	86,7	14,414	0,03
0	0	1,1	15,6	83,3	14,498	0,037
0	0	1,3	18,7	80	14,581	0,044
0	0	1,5	21,8	76,7	14,665	0,052
0	0	1,7	25	73,3	14,748	0,059
0	0	1,9	28,1	70	14,832	0,067
0	0	2,2	31,2	66,7	14,916	0,074
0	0	2,4	34,3	63,3	14,999	0,081
0	0	2,6	37,4	60	15,083	0,089
0	0	2,8	40,5	56,7	15,166	0,096
0	0	3	43,7	53,3	15,25	0,104
0	0	3,2	46,8	50	15,333	0,111
0	0	3,5	49,9	46,7	15,417	0,118
0	0	3,7	53	43,3	15,5	0,126
0	0	3,9	56,1	40	15,584	0,133
0	0	4,1	59,2	36,7	15,668	0,141
0	0	4,3	62,4	33,3	15,751	0,148
0	0	4,5	65,5	30	15,835	0,155
0	0	4,8	68,6	26,7	15,918	0,163
0	0	5	71,7	23,3	16,002	0,17
0	0	5,2	74,8	20	16,085	0,178
0	0	5,4	78	16,7	16,169	0,185
0	0	5,6	81,1	13,3	16,252	0,192
0	0	5,8	84,2	10	16,336	0,2
0	0	6	87,3	6,7	16,42	0,207
0	0	6,3	90,4	3,3	16,503	0,215

0	0	6,5	93,5	0	16,587	0,222
0	0	5,3	94,7	0	16,572	0,223
0	0	0	100	0	16,64	0,23

Πίνακας2: Αποτελέσματα για το 2020- Σενάριο Υψηλών Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,08	0
0	0	0	3,3	96,7	14,123	0,008
0	0	0	6,7	93,3	14,167	0,015
0	0	0	10	90	14,21	0,023
0	0	0	13,3	86,7	14,253	0,031
0	0	0	16,7	83,3	14,297	0,038
0	0	0	20	80	14,34	0,046
0	0	0	23,3	76,7	14,383	0,054
0	0	0	26,7	73,3	14,427	0,061
0	0	0	30	70	14,47	0,069
0	0	0	33,3	66,7	14,513	0,077
0	0	0	36,7	63,3	14,557	0,084
0	0	0	40	60	14,6	0,092
0	0	0	43,3	56,7	14,643	0,1
0	0	0	46,7	53,3	14,687	0,107
0	0	0	50	50	14,73	0,115
0	0	0	53,3	46,7	14,773	0,123
0	0	0	56,7	43,3	14,817	0,13
0	0	0	60	40	14,86	0,138
0	0	0	63,3	36,7	14,903	0,146
0	0	0	66,7	33,3	14,947	0,153
0	0	0	70	30	14,99	0,161
0	0	0	73,3	26,7	15,033	0,169
0	0	0	76,7	23,3	15,077	0,176
0	0	0	80	20	15,12	0,184
0	0	0	83,3	16,7	15,163	0,192
0	0	0	86,7	13,3	15,207	0,199
0	0	0	90	10	15,25	0,207
0	0	0	93,3	6,7	15,293	0,215
0	0	0	96,7	3,3	15,337	0,222
0	0	0	100	0	15,38	0,23

Πίνακας 4: Αποτελέσματα για το 2030- Σενάριο Μέτριων Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,93	0
0	0	0	3,3	96,7	14,988	0,008
0	0	0	6,7	93,3	15,046	0,015
0	0	0	10	90	15,104	0,023
0	0	0	13,3	86,7	15,162	0,031
0	0	0	16,7	83,3	15,22	0,038
0	0	0	20	80	15,278	0,046
0	0	0	23,3	76,7	15,336	0,054
0	0	0	26,7	73,3	15,394	0,061
0	0	0	30	70	15,452	0,069
0	0	0	33,3	66,7	15,51	0,077
0	0	0	36,7	63,3	15,568	0,084
0	0	0	40	60	15,626	0,092
0	0	0	43,3	56,7	15,684	0,1
0	0	0	46,7	53,3	15,742	0,107
0	0	0	50	50	15,8	0,115
0	0	0	53,3	46,7	15,858	0,123
0	0	0	56,7	43,3	15,916	0,13
0	0	0	60	40	15,974	0,138
0	0	0	63,3	36,7	16,032	0,146
0	0	0	66,7	33,3	16,09	0,153
0	0	0	70	30	16,148	0,161
0	0	0	73,3	26,7	16,206	0,169
0	0	0	76,7	23,3	16,264	0,176
0	0	0	80	20	16,322	0,184
0	0	0	83,3	16,7	16,38	0,192
0	0	0	86,7	13,3	16,438	0,199
0	0	0	90	10	16,496	0,207
0	0	0	93,3	6,7	16,554	0,215
0	0	0	96,7	3,3	16,612	0,222
0	0	0	100	0	16,67	0,23

Πίνακας 5: Αποτελέσματα για το 2030- Σενάριο Υψηλών Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,93	0
0	0	0	3,33	96,67	14,945	0,008
0	0	0	6,67	93,33	14,96	0,015
0	0	0	10	90	14,975	0,023
0	0	0	13,33	86,67	14,99	0,031

0	0	0	16,67	83,33	15,005	0,038
0	0	0	20	80	15,02	0,046
0	0	0	23,33	76,67	15,035	0,054
0	0	0	26,67	73,33	15,05	0,061
0	0	0	30	70	15,065	0,069
0	0	0	33,33	66,67	15,08	0,077
0	0	0	36,67	63,33	15,095	0,084
0	0	0	40	60	15,11	0,092
0	0	0	43,33	56,67	15,125	0,1
0	0	0	46,67	53,33	15,14	0,107
0	0	0	50	50	15,155	0,115
0	0	0	53,33	46,67	15,17	0,123
0	0	0	56,67	43,33	15,185	0,13
0	0	0	60	40	15,2	0,138
0	0	0	63,33	36,67	15,215	0,146
0	0	0	66,67	33,33	15,23	0,153
0	0	0	70	30	15,245	0,161
0	0	0	73,33	26,67	15,26	0,169
0	0	0	76,67	23,33	15,275	0,176
0	0	0	80	20	15,29	0,184
0	0	0	83,33	16,67	15,305	0,192
0	0	0	86,67	13,33	15,32	0,199
0	0	0	90	10	15,335	0,207
0	0	0	93,33	6,67	15,35	0,215
0	0	0	96,67	3,33	15,365	0,222
0	0	0	100	0	15,38	0,23

Πίνακας 6: Αποτελέσματα για το 2020-Περιορισμός Πυρηνικών- Σενάριο Μέτριων Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,08	0
0	0	1,75	0,75	97,5	14,122	0,006
0	0	3,5	1,5	95	14,164	0,011
0	0	5,25	2,25	92,5	14,207	0,017
0	0	7	3	90	14,249	0,023
0	0	8,75	3,75	87,5	14,291	0,029
0	0	10,5	4,5	85	14,333	0,034
0	0	12,25	5,25	82,5	14,375	0,04
0	0	14	6	80	14,417	0,046
0	0	15,75	6,75	77,5	14,46	0,051
0	0	17,5	7,5	75	14,502	0,057
0	0	19,25	8,25	72,5	14,544	0,063
0	0	21	9	70	14,586	0,069
0	0	22,75	9,75	67,5	14,628	0,074

0	0	24,5	10,5	65	14,67	0,08
0	0	26,25	11,25	62,5	14,713	0,086
0	0	28	12	60	14,755	0,092
0	0	29,75	12,75	57,5	14,797	0,097
0	0	31,5	13,5	55	14,839	0,103
0	0	33,25	14,25	52,5	14,881	0,109
0	0	35	15	50	14,924	0,114
0	0	36,75	15,75	47,5	14,966	0,12
0	0	38,5	16,5	45	15,008	0,126
0	0	40,25	17,25	42,5	15,05	0,132
0	0	42	18	40	15,092	0,137
0	0	43,75	18,75	37,5	15,134	0,143
0	0	45,5	19,5	35	15,177	0,149
0	0	47,25	20,25	32,5	15,219	0,154
0	0	49	21	30	15,261	0,16
0	0	50,75	21,75	27,5	15,303	0,166
0	0	52,5	22,5	25	15,345	0,172
0	0	54,25	23,25	22,5	15,387	0,177
0	0	56	24	20	15,43	0,183
0	0	57,75	24,75	17,5	15,472	0,189
0	0	59,5	25,5	15	15,514	0,195
0	0	61,25	26,25	12,5	15,556	0,2
0	0	63	27	10	15,598	0,206
0	0	64,75	27,75	7,5	15,64	0,212
0	0	66,5	28,5	5	15,683	0,217
0	0	68,25	29,25	2,5	15,725	0,223
0	0	70	30	0	15,767	0,229

Πίνακας 7: Αποτελέσματα για το 2020-Περιορισμός Πυρηνικών- Σενάριο Υψηλών Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,08	0
0	0	1,8	0,8	97,5	14,09	0,006
0	0	3,5	1,5	95	14,1	0,011
0	0	5,3	2,3	92,5	14,109	0,017
0	0	7	3	90	14,119	0,023
0	0	8,8	3,8	87,5	14,129	0,029
0	0	10,5	4,5	85	14,139	0,034
0	0	12,3	5,3	82,5	14,148	0,04
0	0	14	6	80	14,158	0,046
0	0	15,8	6,8	77,5	14,168	0,051
0	0	17,5	7,5	75	14,178	0,057
0	0	19,3	8,3	72,5	14,187	0,063
0	0	21	9	70	14,197	0,069

0	0	22,8	9,8	67,5	14,207	0,074
0	0	24,5	10,5	65	14,217	0,08
0	0	26,3	11,3	62,5	14,226	0,086
0	0	28	12	60	14,236	0,092
0	0	29,8	12,8	57,5	14,246	0,097
0	0	31,5	13,5	55	14,256	0,103
0	0	33,3	14,3	52,5	14,265	0,109
0	0	35	15	50	14,275	0,114
0	0	36,8	15,8	47,5	14,285	0,102
0	0	38,5	16,5	45	14,295	0,126
0	0	40,3	17,3	42,5	14,304	0,132
0	0	42	18	40	14,314	0,137
0	0	43,8	18,8	37,5	14,324	0,143
0	0	45,5	19,5	35	14,334	0,149
0	0	47,3	20,3	32,5	14,343	0,154
0	0	49	21	30	14,353	0,16
0	0	50,8	21,8	27,5	14,363	0,166
0	0	52,5	22,5	25	14,373	0,172
0	0	54,3	23,3	22,5	14,382	0,177
0	0	56	24	20	14,392	0,183
0	0	57,8	24,8	17,5	14,402	0,189
0	0	59,5	25,5	15	14,412	0,195
0	0	61,3	26,3	12,5	14,421	0,2
0	0	63	27	10	14,431	0,206
0	0	64,8	27,8	7,5	14,441	0,212
0	0	66,5	28,5	5	14,451	0,217
0	0	68,3	29,3	2,5	14,46	0,223
0	0	70	30	0	14,47	0,229

Πίνακας 8: Αποτελέσματα για το 2030-Περιορισμός Πυρηνικών- Σενάριο Μέτρων Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,93	0
0	0	1,8	0,8	97,5	14,943	0,006
0	0	3,5	1,5	95	14,956	0,011
0	0	5,3	2,3	92,5	14,969	0,017
0	0	7	3	90	14,982	0,023
0	0	8,8	3,8	87,5	14,995	0,029
0	0	10,5	4,5	85	15,008	0,034
0	0	12,3	5,3	82,5	15,021	0,04
0	0	14	6	80	15,034	0,046
0	0	15,8	6,8	77,5	15,047	0,051
0	0	17,5	7,5	75	15,061	0,057
0	0	19,3	8,3	72,5	15,074	0,063

0	0	21	9	70	15,087	0,069
0	0	22,8	9,8	67,5	15,1	0,074
0	0	24,5	10,5	65	15,113	0,08
0	0	26,3	11,3	62,5	15,126	0,086
0	0	28	12	60	15,139	0,092
0	0	29,8	12,8	57,5	15,152	0,097
0	0	31,5	13,5	55	15,165	0,103
0	0	33,3	14,3	52,5	15,178	0,109
0	0	35	15	50	15,191	0,114
0	0	36,8	15,8	47,5	15,204	0,12
0	0	38,5	16,5	45	15,217	0,126
0	0	40,3	17,3	42,5	15,23	0,132
0	0	42	18	40	15,243	0,137
0	0	43,8	18,8	37,5	15,256	0,143
0	0	45,5	19,5	35	15,269	0,149
0	0	47,3	20,3	32,5	15,282	0,154
0	0	49	21	30	15,295	0,16
0	0	50,8	21,8	27,5	15,308	0,166
0	0	52,5	22,5	25	15,322	0,172
0	0	54,3	23,3	22,5	15,335	0,177
0	0	56	24	20	15,348	0,183
0	0	57,8	24,8	17,5	15,361	0,189
0	0	59,5	25,5	15	15,374	0,195
0	0	61,3	26,3	12,5	15,387	0,2
0	0	63	27	10	15,4	0,206
0	0	64,8	27,8	7,5	15,413	0,212
0	0	66,5	28,5	5	15,426	0,217
0	0	68,3	29,3	2,5	15,439	0,223
0	0	70	30	0	15,452	0,229

Πίνακας 9: Αποτελέσματα για το 2030-Περιορισμός Πυρηνικών- Σενάριο Υψηλών Τιμών

Ποσοστό Συμμετοχής στο Ενεργειακό Μίγμα (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Αιολικά		
0	0	0	0	100	14,93	0
0	0	1,8	0,8	97,5	14,896	0,006
0	0	3,5	1,5	95	14,863	0,011
0	0	5,3	2,3	92,5	14,829	0,017
0	0	7	3	90	14,796	0,023
0	0	8,8	3,8	87,5	14,762	0,029
0	0	10,5	4,5	85	14,729	0,034
0	0	12,3	5,3	82,5	14,695	0,04
0	0	14	6	80	14,662	0,046
0	0	15,8	6,8	77,5	14,628	0,051
0	0	17,5	7,5	75	14,595	0,057

0	0	19,3	8,3	72,5	14,561	0,063
0	0	21	9	70	14,527	0,069
0	0	22,8	9,8	67,5	14,494	0,074
0	0	24,5	10,5	65	14,46	0,08
0	0	26,3	11,3	62,5	14,427	0,086
0	0	28	12	60	14,393	0,092
0	0	29,8	12,8	57,5	14,36	0,097
0	0	31,5	13,5	55	14,326	0,103
0	0	33,3	14,3	52,5	14,293	0,109
0	0	35	15	50	14,259	0,114
0	0	36,8	15,8	47,5	14,225	0,12
0	0	38,5	16,5	45	14,192	0,126
0	0	40,3	17,3	42,5	14,158	0,132
0	0	42	18	40	14,125	0,137
0	0	43,8	18,8	37,5	14,091	0,143
0	0	45,5	19,5	35	14,058	0,149
0	0	47,3	20,3	32,5	14,024	0,154
0	0	49	21	30	13,991	0,16
0	0	50,8	21,8	27,5	13,957	0,166
0	0	52,5	22,5	25	13,924	0,172
0	0	54,3	23,3	22,5	13,89	0,177
0	0	56	24	20	13,856	0,183
0	0	57,8	24,8	17,5	13,823	0,188
0	0	59,5	25,5	15	13,789	0,195
0	0	61,3	26,3	12,5	13,756	0,2
0	0	63	27	10	13,722	0,206
0	0	64,8	27,8	7,5	13,689	0,212
0	0	66,5	28,5	5	13,655	0,217
0	0	68,3	29,3	2,5	13,622	0,223
0	0	70	30	0	13,588	0,229