

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



**ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΩΝ
ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΩΝ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΑ
ΚΡΙΤΗΡΙΑ**

Υπό:
Αγγελής Λευτέρης

Επιβλέπων καθηγητής:
Δούμπος Μιχάλης
Επιτροπή:
Ζοπουνίδης Κωσταντίνος
Ατσαλάκης Γεώργιος

Χανιά, 2018

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δούμπο Μιχάλη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτό το θέμα ως προπτυχιακό φοιτητή, για πρώτη φορά στη σχολή ΜΠΔ, αλλά και για την καθοδήγησή και βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Φυσικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη και κατανόηση που έδειξαν όλα τα χρόνια της φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου για την στήριξη και την βοήθεια τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες με την ραγδαία πορεία προς την παγκοσμιοποίηση, τον συνεχώς εντεινόμενο ανταγωνισμό, την απελευθέρωση των αγορών και των ραγδαίων εξελίξεων στο διεθνές οικονομικό περιβάλλον, η αξιοποίηση της τεχνολογίας κρίνεται ζωτικής σημασίας και παράλληλα αναπόσπαστο κομμάτι για την έγκαιρη και αποτελεσματική αντιμετώπιση των κινδύνων με σκοπό την ελαχιστοποίηση και εξάλειψη που εγείρει η συμμετοχή στα οικονομικά δρώμενα. Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο η επιστήμη της διαχείρισης χαρτοφυλακίων να εκμεταλλεύεται στο έπακρο τις δυνατότητες της πληροφορικής για την υλοποίηση και αξιολόγηση κατάλληλων στρατηγικών που οδηγούν στο επιθυμητό κάθε φορά αποτέλεσμα.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αφορά την ανάπτυξη και δημιουργία ενός προγραμματιστικού περιβάλλοντος (GUI), το οποίο θα γίνει με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου της MATLAB. Στόχος είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου προσιτό από το χρήστη έχοντας ως σκοπό την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων. Ο χρήστης θα μπορεί να εισάγει τα δεδομένα από ένα καταλληλά διαμορφωμένο αρχείο excel, ενώ στην συνέχεια με τις κατάλληλες ρυθμίσεις ανάλογα με τις προτιμήσεις του, τα αποτελέσματα θα εξάγονται στην οθόνη καθώς και σε αρχείο excel ώστε να είναι άμεσα προσβάσιμα και διαχειρίσιμα οποιαδήποτε στιγμή.

Το συγκεκριμένο υπολογιστικό εργαλείο βασίζεται στην πολυκριτήρια βελτιστοποίηση πέντε μοντέλων με στόχο την υποστήριξη του επενδυτή και την κατασκευή αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων.

Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πρακτικής εφαρμογής του συστήματος κάνοντας χρήση ιστορικών δεδομένων του συνόλου των μέτοχων που διαπραγματεύονται στο ελληνικό χρηματιστήριο καθώς και των δεικτών FTSE Large Cap και Γενικό δείκτη του χρηματιστηρίου αξιών Αθηνών.

Abstract

During the last decades, with the rapid intension to globalization which is defined by ever-increasing competition, market liberalization and rapid developments, the extensive use of technology in the fields of information and communication is considered crucial while also an integral part for the timely and effective treatment and elimination of the risk raised by participating in economic events. So, it is necessary the science of portfolio management fully presume upon the potential of information technology to implement and evaluate different strategies that can lead to the desired result.

The purpose of this thesis is the development of a graphical user interface (GUI) which will be done with the help of the MATLAB computing tool. The goal is to develop a user-friendly tool for multicriteria portfolio optimization. The user will be able to import the data from an appropriately formatted excel file, and then with appropriate settings according to his preferences, the results will be exported to the screen as well as to an excel file so they can be accessed and managed at any time.

This computational tool is based on multi-criteria optimization of five models to support the investor and build efficient portfolios.

Also, the results of the practical application of the system will be presented using historical data of the total number of shareholders traded on the Greek Stock Exchange as well as the FTSE Large Cap and the General Index of the Athens Stock Exchange.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1°	8
Θεωρία Χαρτοφυλακίου	8
1.1 Ορισμός Χαρτοφυλακίου.....	8
1.2 Αναμενόμενη απόδοση (Return)	9
1.3 Η έννοια του κινδύνου.....	10
1.4 Είδη κινδύνου	12
1.5 Συστημικός και Μη Συστημικός κίνδυνος	18
1.6 Αξία σε Κίνδυνο (Value-at-Risk)	19
1.7 Αποτελεσματικό Χαρτοφυλάκιο	24
Κεφάλαιο 2°	27
Βελτιστοποίηση επενδυτικών χαρτοφυλακίων	27
2.1 Μοντέλο Μέσου-Διακύμανσης	27
2.2 Μοντέλο Μέσου-Ημι-Διακύμανσης.....	29
2.3 Μοντέλο Μέσης Απολυτής Απόκλισης.....	31
2.4 Υπό Συνθήκη Αξία σε Κίνδυνο	33
2.5 Μοντέλο Συστηματικού Κινδύνου	35
2.6 Πολυκριτήρια Βελτιστοποίηση	36
Κεφάλαιο 3°	42
Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων	42
3.1 Λειτουργία συστήματος.....	42
3.2 Κατασκευή Περιβάλλοντος Εργασίας.....	43
3.2.1 Παράθυρο Εισαγωγής Δεδομένων	43
3.2.2 Παράθυρο Περιγραφικών Στατιστικών	45
3.2.3 Παράθυρο Πολυκριτήριας Βελτιστοποίησης.....	47
3.3 Μορφή Εισαγωγής Δεδομένων.....	49
3.4 Παράδειγμα Λειτουργίας του Συστήματος.....	50
Κεφάλαιο 4°	58
Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές	58
Βιβλιογραφία.....	59

Εισαγωγή

Η Θεωρία Χαρτοφυλακίου αποτελεί έναν από σημαντικότερους τομείς της Οικονομικής Επιστήμης και των Χρηματοοικονομικών ενώ οι οικονομολόγοι σημειώνουν ότι το πρόβλημα εύρεσης ενός βέλτιστου χαρτοφυλακίου είναι τόσο παλιό όσο και το ίδιο το χρηματιστήριο. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της θεωρίας επενδύσεων χαρτοφυλακίου οι επενδυτές τοποθετούν τον πλούτο τους σε πολλά διαφορετικά περιουσιακά στοιχεία με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου, ή την επίτευξη ενός συνδυασμού απόδοσης-κινδύνου κατάλληλου για της ανάγκες κάθε συγκεκριμένου επενδυτή.

Τα θεμελιώδη στοιχεία που μας ενδιαφέρουν και χαρακτηρίζουν ένα χαρτοφυλάκιο είναι αφενός η απόδοση και αφ' ετέρου ο κίνδυνος. Η προσδοκώμενη απόδοση για ένα χαρτοφυλάκιο επενδυτικών στοιχείων είναι ο σταθμικός μέσος όρος των προσδοκώμενων αποδόσεων από τα επί μέρους στοιχεία, που αυτό περιλαμβάνει. Είναι φανερό ότι η υψηλή απόδοση είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό για οποιοδήποτε περιουσιακό στοιχείο γιατί όσο υψηλότερη είναι η απόδοση ενός χαρτοφυλακίου, τόσο μεγαλύτερη κατανάλωση θα μπορεί να απολαμβάνει στο μέλλον ο κάτοχος του. Από την άλλη πλευρά ο κίνδυνος σχετίζεται με την αβεβαιότητα της απόδοσης που θα αποφέρει. Ένα χαρτοφυλάκιο έχει υψηλό κίνδυνο όταν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η πραγματική του απόδοση να διαφέρει κατά πολύ από την προσδοκώμενη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την κατασκευή ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ) με σκοπό τη βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων που στόχο έχει την ελαχιστοποίηση του κινδύνου και την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης απόδοσης. Η διαδικασία εύρεσης του άριστου χαρτοφυλακίου βασίζεται στην μέθοδο της πολυκριτήριας βελτιστοποίησης που έχει ως στόχο την δημιουργία χαρτοφυλακίου το οποίο θα παρέχει στον επενδυτή την καλύτερη δυνατή διαφοροποίηση με απώτερο σκοπό τον μετριασμό του κινδύνου στο μέγιστο, με αποτέλεσμα μια ασφαλέστερη και πιο επικερδή επένδυση.

Το γραφικό περιβάλλον δημιουργήθηκε σε MATLAB ενώ σαν εργαλείο επίλυσης χρησιμοποιήθηκε το Gurobi Optimizer 7.5.2.

Κεφάλαιο 1^ο

Θεωρία Χαρτοφυλακίου

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ανάλυση γύρω από τη γενικότερη έννοια της θεωρίας βελτιστοποίησης επενδυτικών χαρτοφυλακίων. Στη συνέχεια θα δοθεί ένας ορισμός για την αναμενόμενη απόδοση καθώς και για την έννοια του κινδύνου με αναλυτική επεξήγηση των διαφόρων κατηγοριών στις οποίες μπορούμε να τον κατατάξουμε. Στο παρόν κεφάλαιο επίσης αναλύονται διεξοδικά τα διάφορα είδη των χρηματοοικονομικών κινδύνων με τους οποίους έρχονται αντιμέτωποι καθημερινά επενδυτές και οργανισμοί. Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου γίνεται μια ανάλυση σχετικά με την έννοια του αποτελεσματικού χαρτοφυλακίου.

1.1 Ορισμός Χαρτοφυλακίου

Ο όρος χαρτοφυλάκιο περιγράφει ένα σύνολο χρεογράφων, ο βαθμός έκθεσης στα οποία προσδιορίζεται με βάση την αξία του κάθε χρεογράφου σε σχέση με την συνολική αξία του χαρτοφυλακίου.

Η θεωρία βελτιστοποίησης και διαχείρισης χαρτοφυλακίων ξεκινά από την υπόθεση ότι οι επενδυτές επιλέγουν χαρτοφυλάκια με βάση την αναμενόμενη απόδοση τους αφενός, και την τυπική απόκλιση (ή διακύμανση) της απόδοσης τους, αφετέρου. Συμπερασματικά η αναμενόμενη απόδοση ενός χαρτοφυλακίου είναι γραμμική συνάρτηση των επιμέρους χαρτοφυλακίων που το απαρτίζουν. Η τυπική απόκλιση της απόδοσης του χαρτοφυλακίου μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο του κινδύνου του χαρτοφυλακίου. Ένας επενδυτής θέλει ένα χαρτοφυλάκιο το οποίο έχει όσο το δυνατόν υψηλότερη απόδοση με τον χαμηλότερο δυνατό κίνδυνο δηλαδή χαμηλή τυπική απόκλιση. Αυτοί οι στόχοι οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο επενδυτής θα πρέπει να επιλέξει ένα χαρτοφυλάκιο που μεγιστοποιεί την αναμενόμενη απόδοση για οποιαδήποτε τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου ή εναλλακτικά, να ελαχιστοποιεί την τυπική

απόκλιση για οποιαδήποτε δεδομένη αναμενόμενη απόδοση. Ένα χαρτοφυλάκιο που πληροί αυτές τις προϋποθέσεις είναι αποτελεσματικό και ένας λογικός επενδυτής θα επιλέξει πάντα ένα αποτελεσματικό χαρτοφυλάκιο. Όταν αντιμετωπίζει μια επενδυτική απόφαση, ο επενδυτής θα πρέπει να καθορίσει το σύνολο των αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων και να αποκλείσει τα υπόλοιπα. Ορισμένα αποδοτικά χαρτοφυλάκια θα έχουν μεγαλύτερο κίνδυνο από άλλα, αλλά τα πιο επικίνδυνα θα έχουν επίσης υψηλότερες αναμενόμενες αποδόσεις. Έτσι ανάλογα με τις δίκες του προτιμήσεις και ανάλογα με το ρίσκο που καλείται να πάρει, ο επενδυτής θα επιλέξει ένα χαρτοφυλάκιο με συγκεκριμένο κίνδυνο και αναμενόμενη απόδοση. Προκύπτει λοιπόν ότι ένας επενδυτής που είναι πολύ επιφυλακτικός έναντι στους κινδύνους θα επιλέξει ένα ασφαλές χαρτοφυλάκιο με χαμηλή τυπική απόκλιση και ως συνέπεια με μικρότερη αναμενόμενη απόδοση, ενώ αντίθετα ένας «ρισοκίνδυνος» επενδυτής θα επιλέξει ένα πιο επικίνδυνο χαρτοφυλάκιο με υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση και ως αποτέλεσμα και υψηλότερο κίνδυνο (Dowd, January 2005).

1.2 Αναμενόμενη απόδοση (Return)

Η απόδοση είναι η μεταβολή της αξίας της επένδυσης για διαφορετικές χρονικές στιγμές ή αλλιώς ορίζεται ως η ποσοστιαία μεταβολή της αξίας της επένδυσης κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος. Η απόδοση με άλλα λόγια είναι η κινητήρια δύναμη στην επενδυτική διαδικασία και αποτελεί την ανταμοιβή του επενδυτή για την ανάληψη του ρίσκου. Τα στοιχεία που αποτελούν την απόδοση είναι η διαφορά της τιμής που παρουσιάζεται μεταξύ δυο περιόδων και το μέρος που καταβάλλεται στο τέλος. Ως χρονικό διάστημα μπορεί να οριστεί η ημέρα, η εβδομάδα, ο μήνας κτλ.

Θεωρώντας ότι η αξία ενός χρεόγραφου τη χρονική στιγμή t είναι S_t και η αξία του μια προηγούμενη χρονική στιγμή $t-1$ είναι S_{t-1} τότε η απόδοση r_t για το χρονικό διάστημα $[t-1, t]$ μπορεί να οριστεί ως:

$$r_t = \frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}}$$

Η απόδοση που υπολογίζεται κατά τον τρόπο αυτό αναφέρεται ως η *αριθμητική απόδοση* (arithmetic return). Δεδομένων των αποδόσεων r_1, r_2, \dots, r_T για μια σειρά T περιόδων, η συνολική απόδοση R μπορεί εύκολα να υπολογιστεί ως :

$$R = (1 + r_1)(1 + r_2) \dots (1 + r_T) = \prod_{t=1}^T (1 + r_t) - 1$$

Τη στιγμή που πραγματοποιείται η επένδυση, ο επενδυτής προφανώς δεν μπορεί να γνωρίζει με απόλυτη βεβαιότητα την μελλοντική της εξέλιξη. Άρα η αξιολόγηση της επένδυσης δεν μπορεί παρά να βασίζεται σε εκτιμήσεις όσον αφορά την απόδοσή της, οι οποίες αναπόφευκτα εμπεριέχουν κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Γενικά, ο υπολογισμός της αναμενόμενης (μέσης) απόδοσης $E_{(r)}$ όταν υπάρχει διαθέσιμο ένα δείγμα ιστορικών στοιχείων για T περιόδους πραγματοποιείται ως εξής:

$$E_{(r)} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T r_T$$

Η μέση αριθμητική απόδοση παρέχει μια εκτίμηση για την απόδοσή την αμέσως επόμενη χρονική περίοδο. Η χρήση της για πολλαπλές χρονικές περιόδους προϋποθέτει ότι το επενδυμένο κεφαλαίο παραμένει σταθερό.

1.3 Η έννοια του κινδύνου

Η έννοια του κινδύνου αποτελεί ένα ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στη λήψη επενδυτικών αποφάσεων. Η αναλυτική μελέτη του κινδύνου στη διαχείριση επενδυτικών χαρτοφυλακίων ξεκίνησε το 1950 με την εργασία του Harry Markowitz (1959). Τα τελευταία χρόνια όμως η αύξηση της εμπορικής δραστηριότητας και οι περιπτώσεις αστάθειας στις χρηματοοικονομικές αγορές ώθησαν νέες μελέτες υπογραμμίζοντας την ανάγκη στους συμμετέχοντες να αναπτύξουν αξιόπιστες τεχνικές για την μέτρηση του κινδύνου της αγοράς (Hendricks, 1996).

Κατά τον Markowitz (1991) το γεγονός ότι η διακύμανση (ή η τυπική απόκλιση) ενός χαρτοφυλακίου, η οποία δεν είναι τίποτα άλλο από τη διακύμανση ενός σταθμισμένου αθροίσματος, περιλαμβάνει και όλους τους όρους συνδιακύμανσης, κάνει

πιο πειστική τη χρήση της διακύμανσης ως μέτρο κινδύνου. Με βάση αυτές τις δύο παραμέτρους μπορούμε να υπολογίσουμε όλους τους συνδυασμούς κινδύνου και απόδοσης των επενδυτικών δυνατοτήτων που έχει ένας δυνητικός επενδυτής. Έτσι ο επενδυτής δεν έχει παρά να επιλέξει ένα σημείο από το σύνολο των βέλτιστων αναμενομένων αποδόσεων του Pareto το οποίο είναι γνωστό και ως σύνορο επενδυτικών ευκαιριών.

Ο κίνδυνος όταν αναφερόμαστε σε επενδύσεις, ορίζεται ως κάθε πιθανή απόκλιση από το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, ως κίνδυνος θα μπορούσε να θεωρηθεί και το ενδεχόμενο μία επένδυση να είναι περισσότερο αποδοτική από το αναμενόμενο αποτέλεσμα, αλλά εφόσον αυτό δεν είναι κάτι αρνητικό, δεν κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω ανάλυση και διερεύνηση του, οπότε αυτό που πραγματικά ενδιαφέρει, είναι το ενδεχόμενο η απόδοση να είναι μικρότερη από την αναμενόμενη. Γενικά, όσο περισσότερο διαφέρει το πραγματικό αποτέλεσμα μιας επένδυσης από το αναμενόμενο (δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά των δυνητικών αποτελεσμάτων γύρω από το αναμενόμενο) τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος που εμπεριέχει η συγκεκριμένη επένδυση.

Οι εταιρείες εκτίθενται σε διάφορους τύπους κινδύνου, οι οποίοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ευρέως σε επιχειρηματικούς και μη επιχειρηματικούς.

Επιχειρηματικοί Κίνδυνοι (Business risks) είναι οι κίνδυνοι όπου μια εταιρεία εκούσια αναλαμβάνει ούτως ώστε να της προσδώσουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με τους ανταγωνιστές της ενώ ταυτόχρονα προσθέτει αξία για τους μετόχους της. Αφορούν το περιβάλλον μέσα στο οποίο μια επιχείρηση δραστηριοποιείται και τις αποφάσεις που αυτή λαμβάνει. Οι αποφάσεις αυτές αναφέρονται σε επενδύσεις, επιλογές ανάπτυξης προϊόντων, στρατηγικές marketing καθώς και την γενικότερη οργανωτική δομή της επιχείρησης, συνήθως σε συνάρτηση με την πορεία των τεχνολογικών εξελίξεων.

Η διαχείριση των επιχειρηματικών κινδύνων αποτελεί λοιπόν ένα από τα σημαντικότερα θέματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιχειρηματικές μονάδες, καθώς όλες, άλλες σε μεγαλύτερο άλλες σε μικρότερο βαθμό, αναλαμβάνουν κινδύνους για την επίτευξη των στόχων τους. Το επίκεντρο του ενδιαφέροντος κάθε επιχείρησης εστιάζεται στην λογική και αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων ώστε να διασφαλίζεται αποτελεσματικά τόσο η διαχρονική και απρόσκοπτη ανάπτυξή της όσο και

η ικανοποιητική απόδοσή της, ανάλογα με το εκάστοτε αναλαμβανόμενο επίπεδο κινδύνου.

Μη επιχειρηματικοί κίνδυνοι (Non Business risks), είναι οι κίνδυνοι οι οποίοι είναι δύσκολο να ελεγχθούν από την επιχείρηση και διαχωρίζονται σε στρατηγικούς και χρηματοοικονομικούς κινδύνους. Οι κίνδυνοι αυτοί εμφανίζονται στην πορεία της δραστηριότητας της επιχείρησης και συνήθως δεν μπορούν να προβλεφθούν.

Οι στρατηγικοί κίνδυνοι (strategic risks) αφορούν τις αρνητικές επιδράσεις στο κεφάλαιο και στην κερδοφορία μιας επιχείρησης. Κυριότερα, αυτές οι επιδράσεις είναι απόρροια των αποφάσεων της διεύθυνσης, των μεταβολών στο οικονομικό και πολιτικό περιβάλλον αλλά και των ελλিপών ή ημιτελών αποφάσεων ή αποτυχιών στην προσαρμογή των αλλαγών του οικονομικού περιβάλλοντος. Είναι ο κίνδυνος της εταιρείας να γίνει λιγότερο αποτελεσματική σε σχέση με τους ανταγωνιστές κινδυνεύοντας να μην φέρει εις πέρας του στόχους της. Θα μπορούσε να οφείλεται σε τεχνολογικές αλλαγές, σε έναν ισχυρό νέο ανταγωνιστή που εισέρχεται στην αγορά, σε μεταβολές στη ζήτηση των πελατών, σε αιχμές του κόστους των πρώτων υλών ή σε πολλές άλλες μεγάλες μεταβολές (Blackman, 2014).

Οι χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι (financial risks) προέρχονται από τις χρηματοοικονομικές αγορές και εξαρτώνται από την έκθεση της επιχείρησης σε αυτές. Οι περισσότερες κατηγορίες κινδύνου έχουν οικονομικό αντίκτυπο, όσον αφορά το επιπλέον κόστος ή τα χαμένα έσοδα. Αλλά η κατηγορία του χρηματοοικονομικού κινδύνου αναφέρεται συγκεκριμένα στα χρήματα που εισρέουν και εξέρχονται από μια επιχείρησή, καθώς και στη πιθανότητα μιας ξαφνικής οικονομικής ζημίας. Συγκεκριμένα, σχετίζονται με πιθανές απώλειες που απορρέουν από χρηματοοικονομικές δραστηριότητες, όπως τις αγορές ομολόγων, μετοχών και δανειακών κεφαλαίων, αλλαγές στις τιμές των επιτοκίων είτε ακόμα την αθέτηση χρηματοοικονομικών υποχρεώσεων. Επίσης ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος αυξάνεται όταν μια επιχείρηση δραστηριοποιείται διεθνώς.

1.4 Είδη κινδύνου

Όπως φάνηκε προηγουμένως ως κίνδυνος ορίζεται η κατάσταση της αβεβαιότητας και μεταβλητότητας των αναμενόμενων χρηματοοικονομικών αποτελεσμάτων, ή αλλιώς

σύμφωνα με τον πλέον διαδεδομένο ορισμό κίνδυνος θεωρείται κάθε απόκλιση από το αναμενόμενο αποτέλεσμα (Δούμπος, 2017). Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πλέον γνωστό κριτήριο της διακύμανσης (διασποράς) όπου σύμφωνα με τον ορισμό είναι η αναμενόμενη τιμή της τετραγωνικής απόκλισης μιας τυχαίας μεταβλητής από τη μέση τιμή, και άτυπα μετρά πόσο μακριά ένα σύνολο (τυχαίων) αριθμών απλώνεται από τη μέση τιμή του. Προφανώς όσο υψηλότερη η διακύμανση τόσο μεγαλύτερος και ο κίνδυνος. Παρόλα αυτά η διακύμανση δεν έχει συγκεκριμένη κλίμακα μέτρησης κάτι το οποίο δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία των αριθμητικών αποτελεσμάτων. Για τον λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιεί εναλλακτικά η τυπική απόκλιση $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$, η κλίμακα της οποίας είναι ίδια με αυτή της απόδοσης.

Η αυξανόμενη αστάθεια των χρηματιστηριακών αγορών, που συνδυάστηκε με αρκετές καταρρεύσεις τραπεζών, οδήγησε τις τράπεζες και γενικότερα άλλα ιδρύματα να στρέψουν το ενδιαφέρον τους στη διαχείριση κινδύνων. Οι κύριες κατηγορίες κινδύνων που μπορεί να αντιμετωπίσει ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα είναι ο επιτοκιακός κίνδυνος, ο πιστωτικός κίνδυνος, ο κίνδυνος ρευστότητας, ο λειτουργικός κίνδυνος, αλλά και ο κίνδυνος αγοράς ο οποίος αναλύεται σε συστημικό και μη συστημικό κίνδυνο. Δευτερευόντως συναντώνται και άλλες κατηγορίες κινδύνων, όπως ο συναλλαγματικός κίνδυνος, ο κίνδυνος χώρας/τοποθεσίας, ο νομικός κίνδυνος, καθώς και οι κίνδυνοι εκδότη, αφερεγγυότητας αλλά και ο κίνδυνος διακανονισμού πληρωμών.

Τα είδη λοιπόν του κινδύνου που μπορεί να βρεθεί αντιμέτωπος κάποιος πιθανός επενδυτής ή επιχείρηση συνοψίζονται στα εξής:

- **Επιτοκιακός κίνδυνος:** ο επιτοκιακός κίνδυνος (interest rate risk) είναι ο κίνδυνος κατά τον οποίο η αύξηση των επιτοκίων θα οδηγήσει σε μείωση της αξίας της επένδυσης. Πιο συγκεκριμένα όταν τα επιτόκια αυξάνονται, παρουσιάζονται στην αγορά νέες εκδόσεις με υψηλότερες αποδόσεις από τις παλαιότερες, κάνοντας τις παλαιές εκδόσεις ομολόγων να αξίζουν λιγότερο (Δούμπος, Μαθηματικός Χρηματοοικονομικός Λογισμός, 2017). Επομένως οι τιμές τους πέφτουν. Ένα παράδειγμα δυσμενούς μεταβολής επιτοκίων είναι η άνοδος των επιτοκίων μετά από λήψη δανείου με κυμαινόμενο επιτόκιο. Η εξέλιξη των επιτοκίων επηρεάζει άμεσα την τιμή διαπραγμάτευσης ορισμένων χρηματοπιστωτικών μέσων

(ομόλογα, παράγωγα). Ειδικότερα σε μία τράπεζα, μια αύξηση των επιτοκίων μπορεί να μειώσει τα κέρδη της, ενώ αντίστοιχα μια πτώση να τα αυξήσει. Γίνεται δηλαδή αντιληπτό, ότι ο κίνδυνος επιτοκίου αφορά πιθανή μείωση της τιμής ενός χρηματοπιστωτικού μέσου, στην πτώση της καθαρής θέσης ή ακόμα και των ιδίων κεφαλαίων του χρηματοπιστωτικού ιδρύματος. Αντίστοιχα, ελλοχεύει ο κίνδυνος μείωσης του εισοδήματος λόγω μη αναμενόμενης μεταβολής των επιτοκίων κατά την διάρκεια μιας προβλεπόμενης περιόδου.

- Πιστωτικός κίνδυνος: πιστωτικός κίνδυνος (credit risk) είναι η παλαιότερη μορφή κινδύνου στις χρηματοπιστωτικές αγορές. Ο πιστωτικός κίνδυνος είναι τόσο παλιός όσο και ο ίδιος ο δανεισμός, γεγονός που σημαίνει ότι χρονολογείται από το 1800 π.Χ. (Caouette, Altman, Narayanan, & Nimmo, 2008), είναι ο κίνδυνος απώλειας μιας χρηματικής αμοιβής ενός επενδυτή, που οφείλεται στην αδυναμία ενός δανειστή να αποπληρώσει ένα δάνειο ή να εκπληρώσει μία συμβατική υποχρέωσή του. Συγκεκριμένα λοιπόν ο πιστωτικός κίνδυνος αφορά την φερεγγυότητα του εκδότη και την ικανότητα του να αποπληρώσει οικονομικές υποχρεώσεις έναντι των αγοραστών ενός ομολόγου. Προκύπτει λοιπόν ότι ένα στοιχείο πιστωτικού κινδύνου μπορεί να προκύψει οποτεδήποτε ένα άτομο λαμβάνει ένα προϊόν ή μια υπηρεσία χωρίς να καταβάλει άμεσα το αντίτιμο ή την πληρωμή για αυτό (Caouette, Altman, Narayanan, & Nimmo, 2008). Με άλλα λόγια ο πιστωτικός κίνδυνος αντανακλά την πιθανότητα μη αποπληρωμής των δανειακών κεφαλαίων από τον δανειζόμενο ή την καθυστέρηση αποπληρωμής τους. Από την ανωτέρω ανάλυση γίνεται αντιληπτό ότι στον πιστωτικό κίνδυνο εκτίθενται τόσο οι επιχειρήσεις (π.χ. εκδίδοντας γραμμάτια) όσο και οι τράπεζες οι οποίες χορηγούν δάνεια. Συγκεκριμένα, αφορά τον κίνδυνο ένα χρηματοοικονομικό ίδρυμα να μην διαθέτει αρκετό κεφάλαιο ώστε να αντιμετωπίσει ενδεχόμενες τραπεζικές απώλειες στην αξία των περιουσιακών του στοιχείων σε σχέση με τις υποχρεώσεις του. Η εμφάνιση του κινδύνου αυτού, συνεπάγεται την εμφάνιση πιθανότητας πτώχευσης του ιδρύματος. Τα τελευταία χρόνια λοιπόν οι επιχειρήσεις παρουσιάζουν μια τάση να αποφεύγουν την απευθείας πώληση προϊόντων με πίστωση στους πελάτες τους για να αποφύγουν την ανάληψη του πιστωτικού κινδύνου. Αυτός είναι ο λόγος που ο διαμεσολαβητικός ρόλος των τραπεζών γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός.

- **Κίνδυνος ρευστότητας:** ο κίνδυνος ρευστότητας (liquidity risk) αναφέρεται στην περίπτωση όπου μια συναλλαγή δεν μπορεί να ρευστοποιηθεί στην επικρατούσα τιμή εξαιτίας ανεπαρκούς δραστηριότητας της αγοράς δηλαδή αδυναμία της επιχείρησης να προβεί σε άμεση ρευστοποίηση μιας επένδυσης στην τιμή ισορροπίας, λόγω έλλειψης αγοραστικού ενδιαφέροντος ή λόγω στενότητας οικονομικών πόρων. Η διαχείριση της ρευστότητας εξακολουθεί να αποτελεί σημαντική ανησυχία λόγω των πιθανών επιπτώσεων στη δυναμική της αγοράς. Διακρίνονται δυο τύποι ρευστότητας, η "ρευστότητα της αγοράς" η οποία είναι η ικανότητα συναλλαγής χωρίς να επηρεάζονται οι τιμές της αγοράς και η "ρευστότητα χρηματοδότησης" η οποία είναι η δυνατότητα απόκτησης χρηματοδότησης σε περίπτωση πιστωτικής πτώχευσης. Αν και είναι ξεχωριστοί, αυτοί οι τύποι ρευστότητας αλληλοεπιδρούν με σημαντικούς τρόπους. Όταν η χρηματοδότηση της ρευστότητας είναι άφθονη, για παράδειγμα, οι έμποροι είναι σε θέση να χρηματοδοτούν θέσεις, να διαπραγματεύονται μεγαλύτερο όγκο, να εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις των τιμών και να κάνουν τις αγορές πιο ρευστές. Αντίθετα, η χαμηλή ρευστότητα της αγοράς τείνει να αυξάνει τη μεταβλητότητα, γεγονός που οδηγεί σε διακυμάνσεις μειώνοντας τη ρευστότητα της χρηματοδότησης (Kambhu, Schuermann, & Stiroh, 2007).
- **Λειτουργικός κίνδυνος:** ο λειτουργικός κίνδυνος (Operational risk) είναι ο κίνδυνος που αντιμετωπίζει μία επιχείρηση κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας και οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα. Ο λειτουργικός κίνδυνος περιλαμβάνει τα προβλήματα που παρουσιάζονται στις εσωτερικές διεργασίες, στις εργασιακές σχέσεις, στα συστήματα μιας επιχείρησης και γενικά αφορά κάθε δυσλειτουργία που οφείλεται στον άνθρωπο. Ο λειτουργικός κίνδυνος καθορίστηκε τον Ιούνιο του 1999 από την Επιτροπή της Βασιλείας ως ο κίνδυνος ζημιών που προκύπτει από προβλήματα από εσωτερικούς ελέγχους, συστήματα, άτομα και εξωτερικά γεγονότα. Δεδομένου ότι τα περισσότερα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα δεν είχαν δομηθεί σωστά για να αντιμετωπίσουν τέτοιου είδους κινδύνους, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν σήμερα είναι εξαιρετικά απαιτητικές και οι αναμενόμενες προθεσμίες είναι σύντομες (Power, 2003).
- **Κίνδυνος αγοράς:** ο κίνδυνος της αγοράς (Market risk) προέρχεται από την αβεβαιότητα σχετικά με τις μεταβολές των επιτοκίων, των χρηματιστηριακών

τιμών, των συναλλαγματικών ισοτιμιών και γενικότερα όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την αγορά. Μπορούν να ταξινομηθούν σε κινδύνους επιτοκίων, μετοχικούς κινδύνους, συναλλαγματικούς κινδύνους, σε κινδύνους τιμών βασικών εμπορευμάτων κλπ., ανάλογα με το αν ο συντελεστής κινδύνου είναι ένα επιτόκιο, μια τιμή μετοχής ή οτιδήποτε άλλο (Dowd, January 2005). Στην θεωρία της χρηματοοικονομικής ο κίνδυνος αγοράς ορίζεται ως η διασπορά των μη αναμενόμενων αποτελεσμάτων του χαρτοφυλακίου, που οφείλονται σε αιφνίδιες διακυμάνσεις ορισμένων χρηματοοικονομικών μεταβλητών, όπως αυτοί αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο κίνδυνος της αγοράς μετράτε με την μεθοδολογία της Αξίας σε κίνδυνο (VaR) και γίνεται κυρίως από χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και μεγάλες επιχειρήσεις. Μετρώντας τον κίνδυνο της αγοράς εκτιμάται η μέγιστη πιθανή απώλεια που μπορεί να υποστεί ένα περιουσιακό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα και οφείλεται καθαρά στις μεταβολές των παραμέτρων της αγοράς για ένα δεδομένο διάστημα εμπιστοσύνης. Η μέτρηση του κινδύνου της αγοράς απαιτεί αρχικά να οριστεί με ακρίβεια η μεταβλητή που ενδιαφέρει. Η μεταβλητή προς μέτρηση μπορεί να είναι η συνολική αξία του χαρτοφυλακίου, τα έσοδα ή οι αποδόσεις συγκεκριμένων τοποθετήσεων. Ο κίνδυνος υπολογίζεται από την τυπική απόκλιση της μεταβλητής που επιλέγουμε, αξιολογώντας τις επιδράσεις άλλων χρηματοοικονομικών παραγόντων σε αυτή. Με βάση τον υπολογισμό αυτών των διακυμάνσεων μπορούμε να ορίσουμε τον κίνδυνο της αγοράς σε συστημικό κίνδυνο και μη συστημικό κίνδυνο.

- Συναλλαγματικός κίνδυνος: ο συναλλαγματικός κίνδυνος (exchange rate risk) αφορά επενδύσεις που γίνονται σε ξένες κεφαλαιαγορές οι οποίες επηρεάζονται από αλλαγές στις συναλλαγματικές ισοτιμίες. Η πιθανότητα ανάληψης αυτού του κινδύνου γίνεται όλο και μεγαλύτερη καθώς οι επενδυτές αγοράζουν και πωλούν περιουσιακά στοιχεία σε όλο τον κόσμο, σε αντίθεση με τα περιουσιακά στοιχεία που υπάρχουν μόνο στις χώρες τους. Για παράδειγμα ένας επενδυτής των ΗΠΑ που αγοράζει απόθεμα από την Ιαπωνία σε γιεν θα πρέπει να εξετάσει όχι μόνο την αβεβαιότητα της επιστροφής σε γιεν αλλά και οποιαδήποτε μεταβολή της τιμής του συναλλάγματος μεταξύ γιεν και δολαρίου. Δηλαδή, πέραν του επιχειρηματικού και χρηματοοικονομικού κινδύνου της ξένης επιχείρησης και του κινδύνου ρευστότητας της ασφάλειας, ο επενδυτής πρέπει να εξετάσει την πρόσθετη αβεβαιότητα της απόδοσης αυτού του ιαπωνικού αποθέματος όταν

μετατρέπεται από γιεν σε δολάρια ΗΠΑ (Reilly & Brown, 2000). Για την πλήρη αντιστάθμιση του συναλλαγματικού κινδύνου απαιτείται εξισορρόπηση του απόλυτου μεγέθους των εκφρασμένων στο ξένο νόμισμα στοιχείων ενεργητικού και παθητικού και η εξισορρόπηση των αντίστοιχων λήξεων. Συμπερασματικά, απαιτείται εξίσωση της διάρκειας των στοιχείων ενεργητικού και παθητικού για κάθε ξένο νόμισμα.

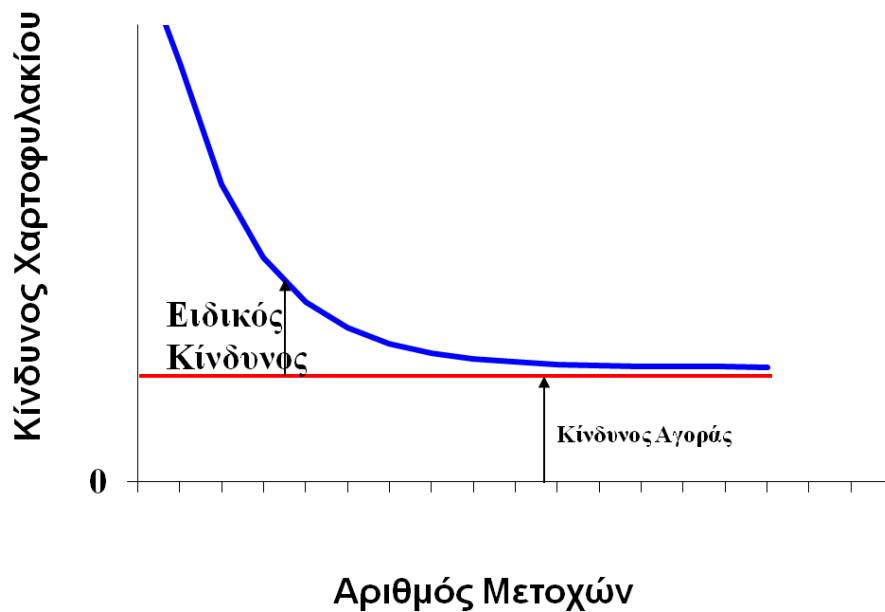
- **Κίνδυνος χώρας:** ο κίνδυνος χώρας (country risk) αναφέρεται στην περίπτωση όπου η επικρατούσα κατάσταση στην χώρα που δραστηριοποιείται μια εταιρεία, επηρεάζει αρνητικά την κερδοφορία ή γενικότερα τη λειτουργία της. Ένα από τα πιο δύσκολα στοιχεία στην τακτική κατανομή ενεργητικού σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η εκτίμηση του κινδύνου μιας εθνικής αγοράς. Προκύπτει ότι, ενώ τα παραδοσιακά μοντέλα παραγώγων επιτυγχάνουν με ικανοποιητικό τρόπο στον υπολογισμό απόδοσης / κινδύνου στις ανεπτυγμένες αγορές αποτυγχάνουν όταν εφαρμόζονται στις νέες συγχωνευόμενες αγορές μετοχών (Claude, Campbell, & Tadas, 1995). Στον κίνδυνο χώρας περιλαμβάνονται αλλαγές στο πολιτικό (ανακατατάξεις στη φορολογική και τη δημοσιονομική πολιτική, εκλογές), το οικονομικό (πληθωρισμός, επιτόκια, έλλειμμα, χρέος), κοινωνικό (συγκρούσεις μειονοτήτων, απεργίες, πόλεμος) και χρηματοοικονομικό περιβάλλον της χώρας. Ο κίνδυνος χώρας επηρεάζει, πέρα από την λειτουργία μιας επιχείρησης, τους διεθνείς επενδυτές και τις τράπεζες που δραστηριοποιούνται στις αναδυόμενες χώρες, καθώς το ρευστό και απρόβλεπτο καθεστώς στο εσωτερικό των χωρών αυτών, λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας για την κερδοφορία τους.
- **Νομικός κίνδυνος:** ο νομικός κίνδυνος (Legal risk), όπως είναι φανερό, συνδέεται με το νομικό πλαίσιο που διέπει τη λειτουργία των χρηματοοικονομικών ιδρυμάτων. Αφορά τους κινδύνους που παρουσιάζονται όταν οι αποδόσεις μιας επένδυσης επηρεάζονται από ρυθμιστικούς και κανονιστικούς παράγοντες οι οποίοι τείνουν να αλλάξουν την προοπτική της κερδοφορίας της. Για παράδειγμα, η αλλαγή στο φορολογικό περιβάλλον θα μπορούσε να έχει αρνητική επίπτωση στα κέρδη μιας επιχείρησης ή ενός τραπεζικού οργανισμού.

1.5 Συστημικός και Μη Συστημικός κίνδυνος

Μια διαφορετική κατηγορία κινδύνου από όσα προαναφέρθηκαν αποτελούν ο συστημικός και μη συστημικός κίνδυνος της αγοράς. Ο συστημικός κίνδυνος (Systemic risk) είναι ο κίνδυνος της αγοράς ή αλλιώς ο κίνδυνος απρόσμενων εξελίξεων καθώς πρόκειται για το τμήμα του κινδύνου που οφείλεται στην μεταβλητότητα της αγοράς και δεν μπορεί να προβλεφθεί και να εξαλειφθεί μέσω διαφοροποίησης (Δούμπος, Μαθηματικός Χρηματοοικονομικός Λογισμός, 2017). Ο κίνδυνος αυτός αντανάκλα την γενική κατάσταση μιας οικονομίας, τις πληθωριστικές πιέσεις, τις μεταβολές στα επιτόκια, την πολιτική κατάσταση, τη φορολογία κ.λπ. Ο συντελεστής συστημικού κινδύνου ορίζεται ως εξής:

$$\beta_i = \frac{\sigma_{i,M}}{\sigma_M^2}$$

Άλλο ένα βασικό χαρακτηριστικό του συστημικού κινδύνου είναι όταν οι χρηματοπιστωτικές αναταράξεις έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην πραγματική οικονομία, π.χ. μείωση των παραγωγικών επενδύσεων λόγω της μείωσης της παροχής πιστώσεων ή της αποσταθεροποίησης της οικονομικής δραστηριότητας (Kambhu, Schuermann, & Stiroh, 2007). Παρατηρώντας το Σχήμα 1.1 βλέπουμε ότι ο κίνδυνος της αγοράς είναι σταθερός και αμετάβλητος της στρατηγικής διαφοροποίησης του χαρτοφυλακίου.



Σχήμα 1.1: Κίνδυνος αγοράς

Ως μη συστηματικός κίνδυνος ορίζεται ο επενδυτικός κίνδυνος που δύναται να μετρηθεί και να διαχειριστεί μέσα από την εφαρμογή μιας σειράς τεχνικών διαχείρισης του κινδύνου (risk management) και μέσα από την χρήση μιας σειράς χρηματοοικονομικών επενδυτικών εργαλείων, όπως για παράδειγμα μέσα από την αγορά παραγώγων προϊόντων (derivatives), καθώς συνδέεται με την τιμή ενός τίτλου, ο οποίος κινείται σε διαφορετική κατεύθυνση από τους υπόλοιπους της αγοράς, λόγω εξελίξεων που αφορούν τον εκδότη του τίτλου. Ο μη συστηματικός κίνδυνος σχετίζεται αποκλειστικά με παράγοντες που αφορούν μια συγκεκριμένη εταιρεία.

1.6 Αξία σε Κίνδυνο (Value-at-Risk)

Η αξία σε κίνδυνο (VaR) είναι μια στατιστική τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και την ποσοτικοποίηση του επιπέδου του χρηματοοικονομικού κινδύνου εντός ενός χαρτοφυλακίου εταιρειών ή ενός επενδυτικού χαρτοφυλακίου σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο και για ένα προκαθορισμένο βαθμό βεβαιότητας (Linsmeier & Pearson, 2000). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά από τις επενδυτικές και εμπορικές τράπεζες για τον προσδιορισμό του βαθμού και του ποσοστού εμφάνισης πιθανών

απωλειών στα θεσμικά τους χαρτοφυλάκια. Ο κοινά αποδεκτός ορισμός του υποδείγματος της αξίας σε κίνδυνο είναι ο εξής: «Η VaR είναι μια εκτίμηση του κινδύνου που δίνει την χειρότερη αναμενόμενη ζημιά μιας επένδυσης, μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα και για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης» (Jorion, 2006).

Η VaR αναπτύχθηκε με στόχο να καταστήσει εφικτή την μέτρηση του κινδύνου για όλα τα είδη επιχειρήσεων χωρίς να βασίζεται σε πολλές δεσμευτικές υποθέσεις. Η ανάπτυξη του οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην εταιρεία J.P. Morgan η οποία το 1994 δημοσίευσε την μεθοδολογία υπολογισμού του και προσδιόρισε τις βασικές υποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται η εφαρμογή του μέτρου. Το μέτρο της αξίας σε κίνδυνο αναπτύχθηκε για να διαχωρίσει τα φαινόμενα που παρατηρούνταν σπάνια από αυτά που χαρακτηρίζονταν ως συνήθης κίνηση των τιμών της αγοράς. Η χρήση του υποδείγματος σε κίνδυνο αποσκοπούσε στην πρόβλεψη των περιόδων κρίσεων.

Τα δύο πιο σημαντικά στοιχεία του μοντέλου της αξίας σε κίνδυνο είναι η χρονική περίοδος στην οποία θα μετρηθεί ο κίνδυνος, το επίπεδο εμπιστοσύνης (το οποίο συνήθως ορίζεται σε ποσοστό 95% και 99%) με βάση το οποίο μετράτε ο κίνδυνος αγοράς και ο τύπος των δεδομένων. Η επιλογή αυτών των στοιχείων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη φύση του μοντέλου της αξίας σε κίνδυνο και παρουσιάζεται παρακάτω η περαιτέρω ανάλυση τους.

Παρακάτω παρουσιάζεται η εξίσωση που προσδιορίζει την έννοια της VaR, για συγκεκριμένη πιθανότητα α:

$$\Pr(x < VaR) = a\% \text{ ή } \Pr(x > VaR) = 100 - a\%$$

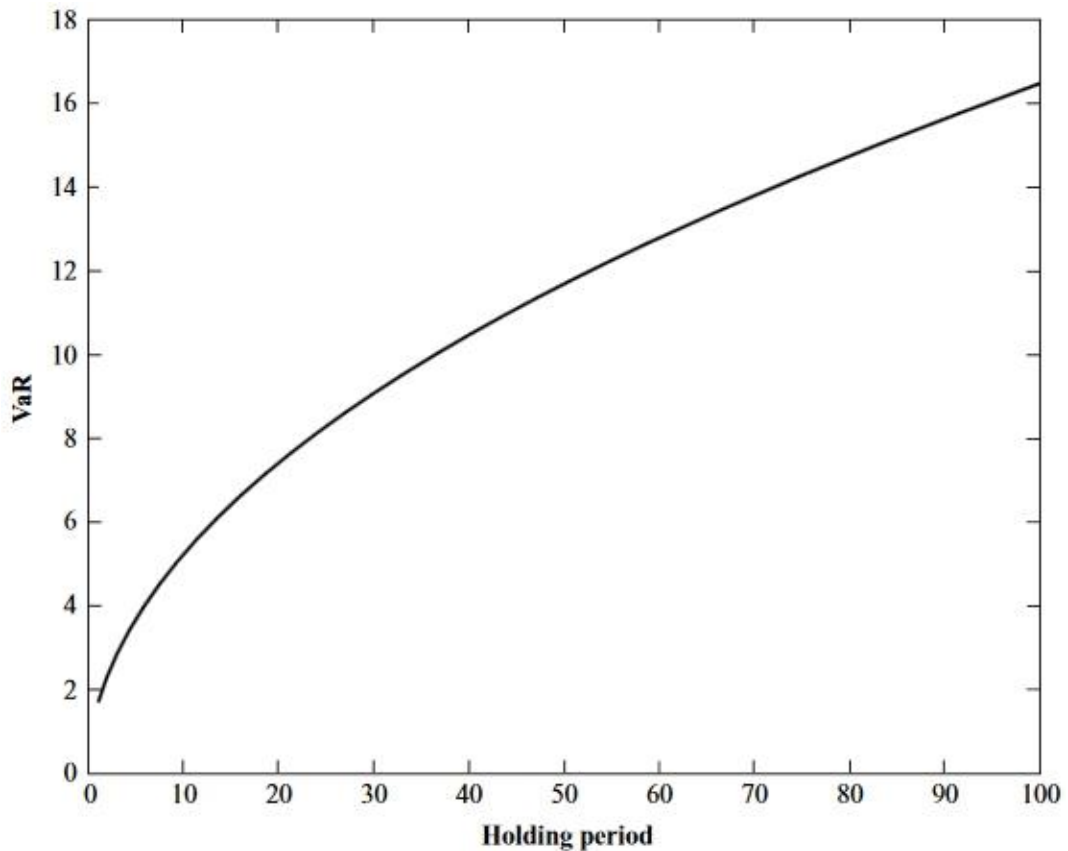
όπου \Pr η πιθανότητα εμφάνισης ενδεχομένου, x η πραγματική απώλεια και a το επίπεδο εμπιστοσύνης.

Η μέθοδος μετρά δηλαδή την ποσότητα του κεφαλαίου ενός χρηματοοικονομικού οργανισμού που μπορεί να χαθεί λόγω διακυμάνσεων του χαρτοφυλακίου του και έχει στόχο την μεγιστοποίηση της τρέχουσας αξίας του χαρτοφυλακίου μέσω ελέγχου της διακύμανσης των εισροών, ενώ γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε υπάρχει κίνδυνος, και συνεπώς και στη διαχείριση χαρτοφυλακίων με ιδιαίτερα σημαντικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, έστω η ημερήσια τιμή της VaR για ένα επενδυτικό χαρτοφυλάκιο είναι της τάξης του 100.000 ευρώ, με επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια των επόμενων

100 ημερών θα υπάρξει το πολύ μια ημέρα όπου οι απώλειες θα ξεπεράσουν το 100.000 ευρώ.

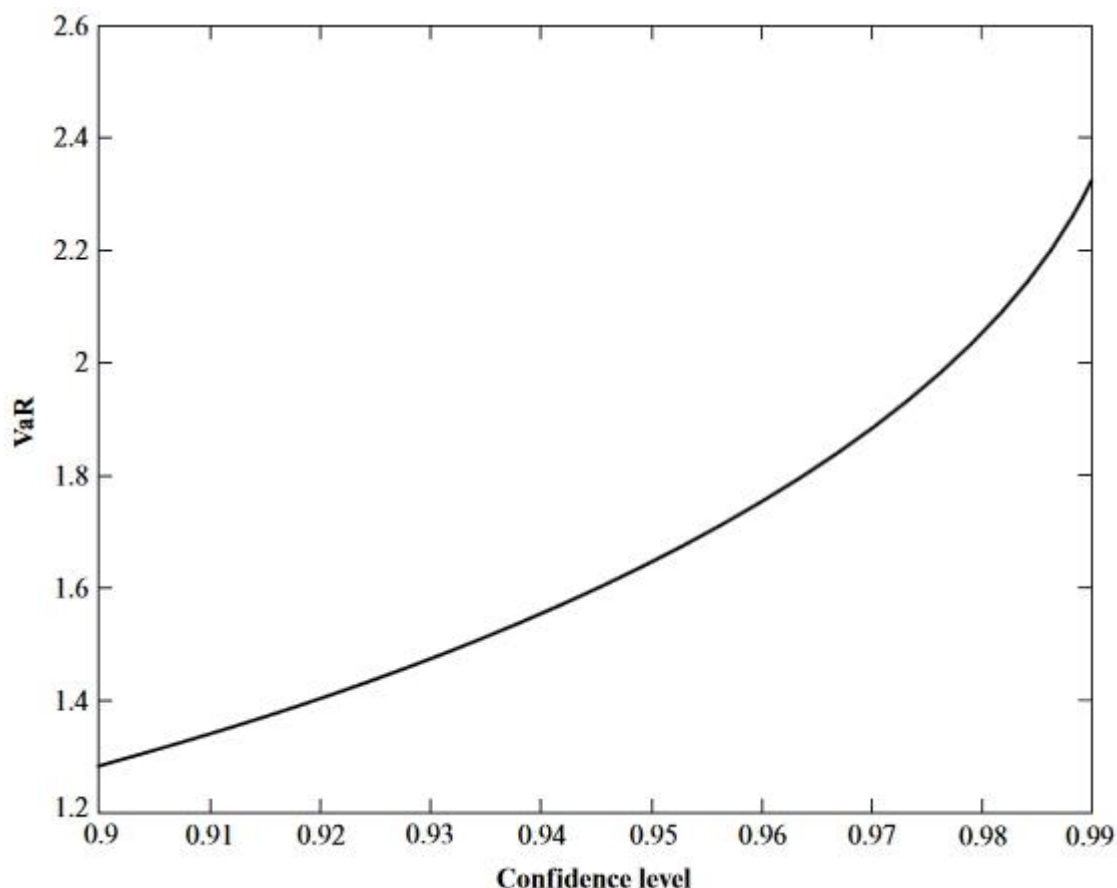
Με βάση τον ορισμό της VaR θα πρέπει να γίνει μια αναφορά στις βασικές παραμέτρους που την καθορίζουν:

- Χρονική περίοδος: η χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται στον ορισμό του μοντέλου VaR (holding period), είναι διακριτή και είναι το διάστημα κατά το οποίο θα γίνει η μέτρηση της VaR. Τα μοντέλα Value-at-Risk υποθέτουν ότι η σύνθεση του χαρτοφυλακίου παραμένει σταθερή και δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής. Αυτή η υπόθεση υποστηρίζει τη χρήση των σύντομων περιόδων διότι η σύνθεση ενεργών χαρτοφυλακίων συναλλαγών είναι ικανή να αλλάζει συχνά (Hendricks, 1996). Συνήθως, υπολογίζεται για μια ημέρα, μια ή δύο εβδομάδες ενώ σε μεγάλες επενδυτικές εταιρείες και επιχειρήσεις συχνά επιλέγονται και μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα σχήμα Σχήμα 2.1, το οποίο δείχνει αναλυτικά για το πώς μεταβάλλεται η αξία σε κίνδυνο για ένα σταθερό επίπεδο εμπιστοσύνης 95% από μια έως και εκατό ημέρες. Σε αυτή την περίπτωση, η VaR αυξάνεται με την τετραγωνική ρίζα της χρονικής περιόδου, από 1,645 στην αρχή έως 16,449 στο τέλος. Αυτή η περίπτωση "τετραγωνικής ρίζας" αναφέρεται συνήθως στη βιβλιογραφία, αλλά πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι η VaR μπορεί να αυξηθεί με διαφορετικό τρόπο ή ακόμα και να πέσει, καθώς αυξάνεται η περίοδος κατοχής.



Σχήμα 1.2: VaR και Περίοδο κατοχής (Dowd, 2002)

- Επίπεδο εμπιστοσύνης: το επίπεδο εμπιστοσύνης συνήθως λαμβάνει τιμές στατιστικής σημαντικότητας 90%, 95%, 98% και 99%. Καθορίζει το ποσοστό των περιπτώσεων κατά τις οποίες δεν θα έχουμε ζημιές πάνω από το ποσό που καταδεικνύει η VaR. Η επιλογή του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι ενδεικτική της στάσης κάθε οργανισμού απέναντι στον κίνδυνο. Όσο μεγαλύτερο επίπεδο εμπιστοσύνης επιλέξουμε, τόσο ελαττώνεται η πιθανότητα η VaR να αποτύχει να προβλέψει ακραία φαινόμενα. Από το Σχήμα 2.2 ευκολά παρατηρεί κανείς ότι η τιμή της VaR μεταβάλλεται καθώς αλλάζει το επίπεδο εμπιστοσύνης ενώ οι άλλες παράμετροι παραμένουν αμετάβλητες. Σε αυτή τη συγκεκριμένη περίπτωση, η VaR όχι μόνο αυξάνεται με το επίπεδο εμπιστοσύνης, αλλά αυξάνεται με αυξανόμενο ρυθμό γεγονός που οι διαχειριστές αξίζει να προσέχουν.

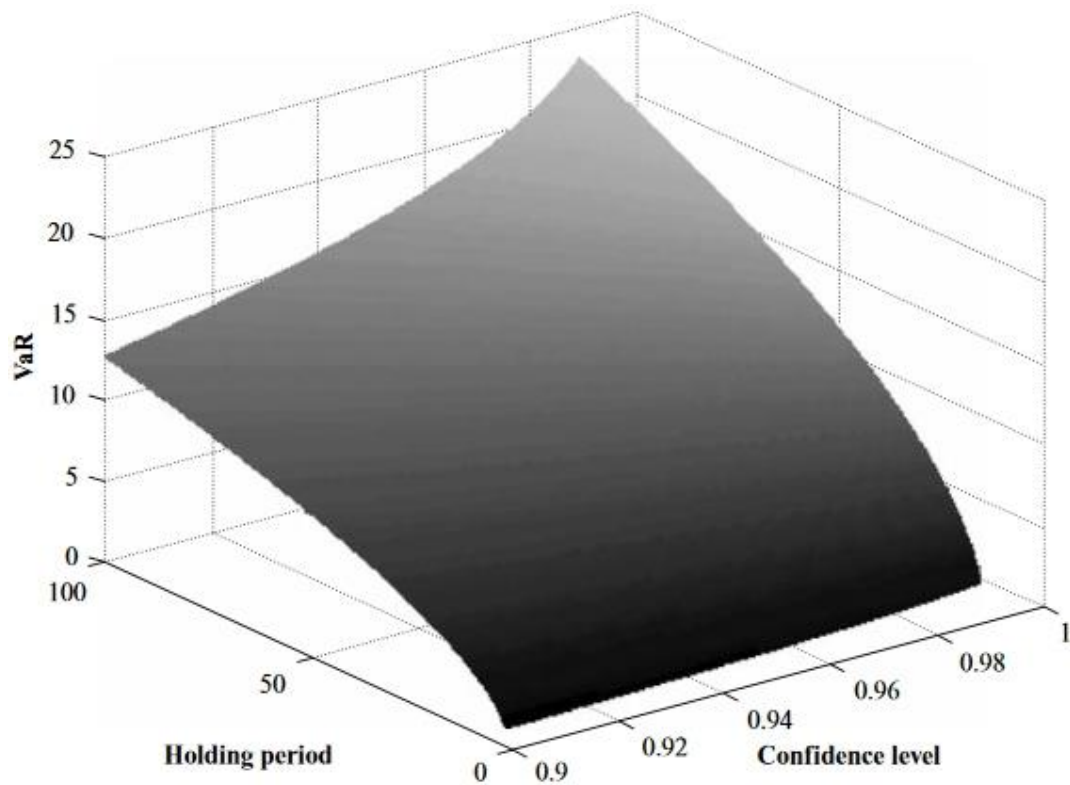


Σχήμα 1.3: VaR και Επίπεδο εμπιστοσύνης (Dowd, January 2005)

- Δεδομένα: με τον ορό δεδομένα εννοούμε το σύνολο των στοιχείων που θα εισάγουμε για τον υπολογισμό της VaR καθώς αυτό αποτελεί σημαντική υπόθεση και απαιτεί αρκετό όγκο δεδομένων, ιστορικών ή πραγματικών. Η χρήση ιστορικών δεδομένων είναι περισσότερο δημοφιλής, καθώς τα πραγματικά στοιχεία, παρόλο που δίνουν σαφώς καλύτερες εκτιμήσεις, είναι περιορισμένα σε διαθεσιμότητα. Μεγάλες περίοδοι δεδομένων έχουν μια πιο πλούσια κατανομή αποδόσεων, ενώ μικρότερες επιτρέπουν στην VaR να απεικονίζει εντονότερα αλλαγές γεγονότων που συμβαίνουν στην αγορά. Συνήθης χρονική διάρκεια ιστορικών δεδομένων, που επιλέγεται, είναι τα τρία με πέντε χρόνια. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η κατάλληλη επιλογή των δεδομένων είναι μια πολύ σημαντική υπόθεση.

Φυσικά, κάθε ένα από τα δύο παραπάνω σχήματα δίνει μόνο μια μερική εικόνα της σχέσης που επικρατεί μεταξύ της VaR του επιπέδου εμπιστοσύνης και της περιόδου κατοχής: το πρώτο σχήμα λαμβάνει την περίοδο κατοχής όπως δίδεται και μεταβάλλει το

επίπεδο εμπιστοσύνης ενώ το δεύτερο μεταβάλλει την περίοδο κατοχής λαμβάνοντας το επίπεδο εμπιστοσύνης όπως δόθηκε. Για να εξαχθεί ένα πιο ολοκληρωμένο συμπέρασμα, πρέπει να ελεγχθεί το πώς αλλάζει η VaR όταν μεταβάλλονται και οι δυο αυτοί παράμετροι. Το αποτέλεσμα είναι μια επιφάνεια VaR που απεικονίζεται στο Σχήμα 3 η οποία επιτρέπει να διαβάσουμε την τιμή της VaR για κάθε δεδομένο συνδυασμό αυτών των δύο παραμέτρων (Dowd, January 2005). Το σχήμα της επιφάνειας VaR δείχνει πώς αλλάζει η VaR καθώς αλλάζουν οι υποκείμενες παράμετροι δίδοντας πολλές πληροφορίες. Σε αυτή τη συγκεκριμένη περίπτωση, η VaR αυξάνεται τόσο με το επίπεδο εμπιστοσύνης όσο και με τη χρονική περίοδο, ώστε να καταλήξει σε μια κορυφή υποδεικνύοντας πού το χαρτοφυλάκιο είναι πιο ευάλωτο καθώς οι δύο παράμετροι πλησιάζουν τις μέγιστες τιμές τους.



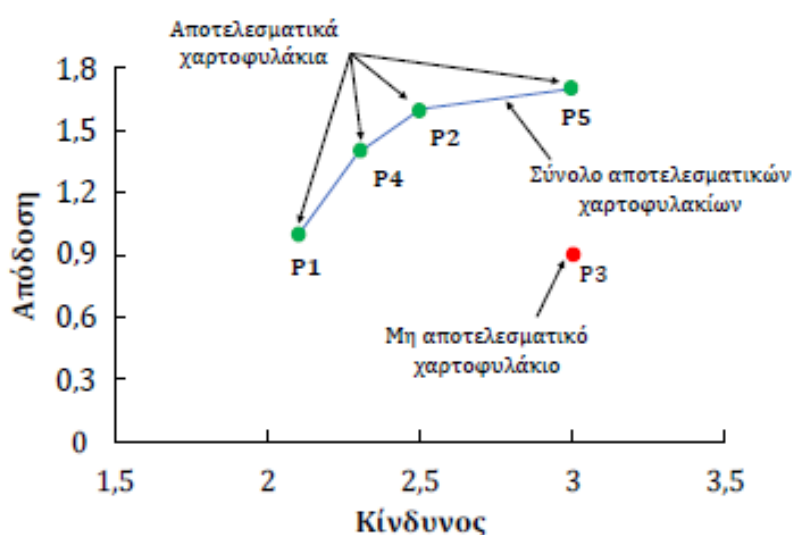
Σχήμα 1.4: Επιφάνεια VaR (Dowd, January 2005)

1.7 Αποτελεσματικό Χαρτοφυλάκιο

Αποτελεσματικό χαρτοφυλάκιο λέγεται εκείνο το οποίο σε δεδομένο επίπεδο κινδύνου παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση και σε δεδομένη απόδοση έχει το

μικρότερο κίνδυνο σε σχέση με τα υπόλοιπα πιθανά χαρτοφυλάκια. Ο ορός αυτός, του αποτελεσματικού χαρτοφυλακίου αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1950 από τον Harry Markowitz.

Ο H. Markowitz παρουσίασε ένα υπόδειγμα (μοντέλο) κατασκευής αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων. Βασική ιδέα του μοντέλου είναι η επιλογή ενός «άριστου» χαρτοφυλακίου που αποτελείται από μετοχές ή από άλλες επενδύσεις που εμπεριέχουν κίνδυνο, το οποίο προσφέρει στον επενδυτή την καλύτερη δυνατή σχέση κινδύνου – απόδοσης (Markowitz, 1952). Σύμφωνα με την έρευνα του Markowitz ο μέσος επενδυτής, προσπαθεί και να μεγιστοποιήσει και την αναμενόμενη απόδοση και να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο.



Σχήμα 1.5: Αναπαράσταση αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων (Δούμπος, 2017)

Αφού ο επενδυτής υπολογίσει όλους τους συνδυασμούς των δυνατών χαρτοφυλακίων στα οποία μπορεί να επενδύσει, πρέπει να αποφασίσει ποιο από όλα θα διαλέξει. Ανάλογα με τις προτιμήσεις του ο επενδυτής από το θεωρητικά απεριόριστο πλήθος συνδυασμών χαρτοφυλακίων θα διαλέξει εκείνον τον συνδυασμό (χαρτοφυλάκιο) που μεγιστοποιεί την ωφελιμότητα του και τις δίκες του προτιμήσεις.

Στο Σχήμα 1.2 σχηματίζονται όλα τα δυνατά χαρτοφυλάκια όπως αυτά διαγράφονται βάσει των σχέσεων αναμενόμενης απόδοσης και κινδύνου. Το σύνολο αυτών των εφικτών συνδυασμών έχει όπως εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κάποιος την μορφή ομπρελάς. Στον κάθετο άξονα μετράμε την απόδοση και στον οριζόντιο άξονα

τον συνολικό κίνδυνο. Τα σημεία P1,P2,P3,P4,P5 δείχνουν μερικά από τα χαρτοφυλάκια. Από όλα τα χαρτοφυλάκια πιο αποδοτικά είναι εκείνα που βρίσκονται στο "βορειοδυτικότερο" μέρος της καμπύλης των αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων όπως ευκολά μπορεί να διακρίνει κάποιος βλέποντας το σχήμα. Όλα τα άλλα χαρτοφυλάκια κάτω από την «ομπρέλα» είναι αναποτελεσματικά. Για παράδειγμα, το χαρτοφυλάκιο P5 υπερέχει του P3 γιατί προσφέρει με τον ίδιο κίνδυνο μεγαλύτερη απόδοση.

Κεφάλαιο 2^ο

Βελτιστοποίηση επενδυτικών χαρτοφυλακίων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια αναλυτική προσέγγιση των πέντε διαφορετικών μοντέλων που περιλαμβάνονται στο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που σχεδιάστηκε σε περιβάλλον MATLAB και θα γίνει αναφορά για την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να επιλεγθούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό μεταξύ τους από κάποιον δυνητικό χρήστη με σκοπό την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση των δεδομένων. Τα μοντέλα που θα αναλυθούν παρακάτω είναι τα εξής:

- Μέσου Διακύμανσης (Mean Variance)
- Μέσου Ήμι-Διακύμανσης (Mean Semi Variance)
- Μέσης Απόλυτης Απόκλισης (Mean-Absolute-Deviation)
- Υπό Συνθήκη Αξία σε Κίνδυνο (Conditional-Value-at-Risk)
- Συστηματικός Κίνδυνος Αγοράς (Beta)

2.1 Μοντέλο Μέσου-Διακύμανσης

Το συγκεκριμένο μοντέλο βελτιστοποίησης επενδυτικών χαρτοφυλακίων αποτέλεσε την αρχή για τη σύγχρονη θεωρία χαρτοφυλακίων.

Η βασική συνιστώσα της δημοσίευσης του Markowitz είναι η διαφοροποίηση (diversification), η οποία ορίζει τον κατάλληλο συνδυασμό -διαφοροποιημένων σε κατηγορία- χρεογράφων, μέσα σε ένα χαρτοφυλάκιο, έτσι ώστε για δεδομένο επίπεδο απόδοσης να μειωθεί στο ελάχιστο το ρίσκο. Αν για παράδειγμα σε ένα χρηματιστηριακό χαρτοφυλάκιο επιλέξουμε 15 εταιρείες αυτό που θα πρέπει να προσέξουμε είναι να

εστιάσουμε στην ελαχιστοποίηση της μεταξύ τους συσχέτισης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επιλογή των χρεογράφων από διαφορετικούς κλάδους της οικονομίας, έτσι ώστε το ένα να μην επηρεάζεται άμεσα ή με προφανή έμμεσο τρόπο από το άλλο, έτσι ώστε να αποφύγουμε και να γλυτώσουμε την πιθανή πτώση, λόγω ύφεσης ενός κλάδου της οικονομίας. Αυτό βέβαια που δεν μπορεί να αποφευχθεί είναι η εξάλειψη του συστηματικού κίνδυνου ο οποίος επηρεάζει ολόκληρη την αγορά, ανεξαρτήτως της επιλογής χρεογράφων. Στην ουσία, με τη δημιουργία ενός τέτοιου χαρτοφυλακίου ο επενδυτής αποφεύγει οποιοδήποτε περιττό ρίσκο, ανάλογα φυσικά με το επίπεδο της αναμενόμενης απόδοσης που επιδιώκει. Έπειτα ο Markowitz σημειώνει ότι με τη διαφοροποίηση υπάρχει σίγουρα ένα χαρτοφυλάκιο το οποίο είναι πιο ελκυστικό για τους επενδυτές από οποιαδήποτε μετοχή ξεχωριστά, χωρίς αυτό να σημαίνει όμως πως κάθε χαρτοφυλάκιο που έχει προκύψει με διαφοροποίηση είναι ανώτερο κάθε μεμονωμένου χρεογράφου.

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται ακόμη λόγω της απλότητας και καλύτερης φυσικής κατανόησης των όρων του, ακόμα όμως και σήμερα η τετραγωνική του φύση το κάνει δύσκολο στην επίλυσή του για την εύρεση βέλτιστων χαρτοφυλακίων σε σχέση με μοντέλα που είναι γραμμικά και αναλύονται στο παρόν κεφάλαιο (Mansini et al, 2013). Ο Markowitz κατάφερε να καταρρίψει τη θεωρία που βασίζεται στο νόμο των μεγάλων αριθμών και τόνισε πως η αναμενόμενη απόδοση δεν είναι το αποκλειστικό κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης επένδυσης, ενώ είναι εξαιρετικά απίθανο να προκύψει χαρτοφυλάκιο το οποίο την ίδια στιγμή να μεγιστοποιεί την αναμενόμενη απόδοση και να ελαχιστοποιεί το ρίσκο. Το ζητούμενο θα πρέπει να είναι να βρεθούν οι συνδυασμοί για τους οποίους δεν υπάρχει, για δεδομένο επίπεδο απόδοσης, άλλος συνδυασμός με μικρότερο ρίσκο, ούτε το αντίστροφα δηλαδή για δεδομένο επίπεδο ρίσκου, άλλος συνδυασμός με μεγαλύτερη απόδοση. Έτσι, καταρρίφθηκε η θεωρία που ίσχυε έως τότε ότι μοναδικός στόχος του επενδυτή είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους.

Η μαθηματική έκφραση λοιπόν του μοντέλου αυτού αναλύεται ως εξής: έστω ότι υπάρχουν n χρεόγραφα. Κάθε χρεόγραφο i έχει αναμενόμενη απόδοση μ_i , η διακύμανση των αποδόσεων του συμβολίζεται ως σ_i^2 , ενώ $\sigma_{i,j}$ είναι η συν-διακύμανση των αποδόσεών του σε σχέση με ένα άλλο χρεόγραφο j . Αν R είναι η επιθυμητή απόδοση του χαρτοφυλακίου τότε:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{i,j} w_i w_j,$$

$$Y.P: \sum_{i=1}^n w_i \mu_i \geq R,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1,$$

$$w_i \geq 0, i = 1, 2, 3 \dots n$$

2.2 Μοντέλο Μέσου-Ημι-Διακύμανσης

Η νεότερη θεωρία διαχείρισης χαρτοφυλακίων διαφέρει από αυτήν του Markowitz ως προς το ότι χρησιμοποιεί σαν μέτρο κινδύνου την ημι-διακύμανση αντί της διακύμανσης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί και υποστηρίζει εμπειρικές μελέτες των οποίων η κατανομή των αποδόσεων δεν είναι κανονικά κατανομημένη και έχει ασυμμετρία. Όπως είχε αναφέρει ο Markowitz στο παρελθόν η ημι-διακύμανση ίσως είναι ένα καλύτερο μέτρο κινδύνου από τη διακύμανση και το μοντέλο που θα βασίζεται σε αυτήν ίσως υπερέχει έναντι του μοντέλου που ανέπτυξε ο ίδιος το οποίο βασιζόταν στην διακύμανση.

Ένας επενδυτής επειδή ανησυχεί κυρίως για την υπό απόδοση αντί για την υπεραπόδοση, η ημι-διακύμανση προκύπτει να είναι ένα πιο κατάλληλο μέτρο κινδύνου από τη διακύμανση. Η διαφορά τους είναι ότι η ημι-διακύμανση μετρά μόνο προς τα κάτω απόκλιση, όχι άνω και κάτω αποκλίσεις όπως η διακύμανση (Markowitz, 1952). Η ημι-διακύμανση ουσιαστικά αποκλείει και θεωρεί μηδενικές τις αποδόσεις που είναι μεγαλύτερες από την ελάχιστη αποδεκτή απόδοση που θέλει να έχει ένας επενδυτής και αυτή μπορεί να είναι είτε ο μέσος όρος των αποδόσεων είτε μια άλλη επένδυση με μηδενικό ή ελάχιστο κίνδυνο και κάνει τους υπολογισμούς για να βρει τον κίνδυνο της επένδυσης μόνο για τις αποδόσεις που είναι μικρότερες από αυτήν την ελάχιστη αποδεκτή απόδοση. Άλλος ένας λόγος που κάνει την ημι-διακύμανση περισσότερο

προτιμητέα έναντι της διακύμανσης είναι ότι η διακύμανση ή τυπική απόκλιση υποθέτει ότι τα διαθέσιμα δεδομένα που χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης, όπως οι αποδόσεις των μετοχών για παράδειγμα, ακολουθούν κανονική κατανομή, όμως συχνά οι αποδόσεις των μέτοχων δεν ακολουθούν κανονική κατανομή κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα και μη ασφαλή συμπεράσματα.

Παρακάτω δίνεται ο τρόπος υπολογισμού της ημι-διακύμανσης:

$$SV_{(i)} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T [\min\{R_{t,i}^* - E_{(R)}, 0\}]^2$$

όπου R_t^* αναφέρεται μόνο στις κάτω του μέσου αποδόσεις, στην πράξη τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται προκειμένου να προσδιοριστεί ο κίνδυνος είναι η διακύμανση και η τυπική απόκλιση (Doumpos & Zorounidis, 2014).

Το μοντέλο αυτό επιδιώκει να εντοπίσει βέλτιστα χαρτοφυλάκια λαμβάνοντας υπόψιν τις αναμενόμενες αποδόσεις του κάθε χρεογράφου καθώς και την ημι-διακύμανση αυτών. Τα αποτελεσματικά χαρτοφυλάκια της επίλυσης αυτού του προβλήματος έχουν ελάχιστη ημι-διακύμανση για μια δεδομένη αναμενόμενη απόδοση, και ανώτατες αναμενόμενες αποδόσεις για ένα δεδομένη ημι-διακύμανση.

Το πρόβλημα ελαχιστοποίησης που σχηματίζεται από τα παραπάνω είναι το εξής:

$$\min \sum_{t=1}^T z_t^2,$$

$$Y.Π: \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$$\frac{1}{\sqrt{T}} \sum_{i=1}^n (r_{ti} - \mu_i) - d_t + z_t = 0, t = 1, 2, 3, \dots, T,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i \mu_i \geq R,$$

$$w_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

2.3 Μοντέλο Μέσης Απολυτής Απόκλισης

Η θεωρία επιλογής χαρτοφυλακίου που δημοσιεύτηκε από τον Harry Markowitz το 1952 αποτέλεσε την πιο σημαντική πρόοδο στη λήψη οικονομικών αποφάσεων (Silva, 2017). Πολλοί ήταν οι ερευνητές οι οποίοι ανέπτυξαν άλλα μοντέλα βασισμένα στο μοντέλο του Markowitz, το οποίο επρόκειτο για ένα μοντέλο τετραγωνικού προγραμματισμού και προσπάθησαν να το γραμμικοποιήσουν. Έτσι οι Konno & Yamazaki (1991) πρότειναν ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού, στο οποίο ο κίνδυνος χαρτοφυλακίου μετράτε με τη μέση απόλυτη απόκλιση (MAD) αντί για τη διακύμανση. Η γραμμικοποίηση του μοντέλου Markowitz μείωσε τον υπολογιστικό χρόνο του προσδιορισμού του βέλτιστου χαρτοφυλακίου και προκύπτει ότι εάν οι περιορισμοί που χρησιμοποιούνται από το πρόβλημα βελτιστοποίησης του χαρτοφυλακίου είναι γραμμικοί, τότε η αντικειμενική λειτουργία του MAD είναι πιο πρακτική σε σχέση με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων (Oberuc, 2003).

Η μέση απόλυτη απόκλιση αντιστοιχεί ουσιαστικά στην ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων από τη διάμεσο της απόδοσης, παρακάμπτοντας την υπόθεση ότι οι αποδόσεις ακολουθούν την κανονική κατανομή, είναι δηλαδή η μέση (απόλυτη) απόσταση από τον μέσο όρο. Επίσης η μέση απόλυτη απόκλιση έχει προταθεί να χρησιμοποιείται στη θέση της τυπικής απόκλισης, καθώς ανταποκρίνεται καλύτερα στην πραγματική ζωή.

Το μοντέλο λοιπόν της μέσης απολυτής απόκλισης (MAD) αναλύεται ως εξής για ένα σύνολο T ιστορικών δεδομένων για τις αποδόσεις $r_{i,1}, r_{i,2}, \dots, r_{i,T}$ ενός χρεογράφου i , ο κίνδυνος αναλύεται ως εξής:

$$MAD_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |r_{i,t} - E(r_i)|$$

όπου r η απόδοση του χρεογράφου, T οι χρονικές περίοδοι που χρησιμοποιούμε και E είναι η αναμενόμενη μέση απόδοση. Αυτό που επιθυμεί ο επενδυτής είναι η όσο το δυνατό μικρότερη τιμή της ποσότητας MAD, ενώ ταυτόχρονα θέλει να κρατήσει το ρίσκο που αναλαμβάνει σε όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο.

Ενώ ο κίνδυνος ενός χαρτοφυλακίου P αποτελούμενο από N χρεόγραφα, προσδιορίζεται κατά αντίστοιχο τρόπο ως εξής:

$$\min \sum_{t=1}^T y_t,$$

$$ΥΠ: \sum_{i=1}^N w_i [r_{ti} - E(r_i)] + y_t \geq 0,$$

$$\sum_{i=1}^N w_i [r_{ti} - E(r_i)] - y_t \geq 0,$$

$$\sum_{i=1}^N w_i E(r_i) \geq R,$$

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1,$$

$$y_t \geq 0 \quad t = 1, 2, 3 \dots T$$

$$w_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3 \dots N$$

όπου με y συμβολίζονται οι αποκλίσεις τη χρονική στιγμή t , $r_{t,i}$ είναι η τιμή της μεταβλητής i τη χρονική περίοδο t οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια ιστορικών δεδομένων, $E(r_i)$ είναι η αναμενόμενη απόδοση του χρεογράφου i και w_i είναι το ποσοστό συμμετοχής του χρεογράφου i στο χαρτοφυλάκιο.

Η διαδικασία αυτή παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την κλασική θεώρηση του Markowitz με κυριότερο τη μετατροπή του τετραγωνικού προβλήματος σε γραμμικό. Το γραμμικό πρόγραμμα έχει σαφώς μικρότερο υπολογιστικό φόρτο ο οποίος μάλιστα στην περίπτωση του τετραγωνικού αυξάνει εκθετικά με την προσθήκη περισσότερων χρεογράφων. Αυτή η μορφή μοντελοποίησης βοηθάει στην εξέταση περισσότερων χρεογράφων λόγω στην ευκολία επίλυσης του γραμμικού προβλήματος αφού ακόμα και αν προστεθούν νέα χρεόγραφα ο αριθμός των περιορισμών παραμένει σταθερός.

2.4 Υπό Συνθήκη Αξία σε Κίνδυνο

Μια νέα προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση ενός χαρτοφυλακίου περιουσιακών στοιχείων για τη μείωση του κινδύνου είναι η μέθοδος της υπό συνθήκης αξίας σε κίνδυνο.

Η CVaR είναι μια τεχνική αξιολόγησης κινδύνου που χρησιμοποιείται συχνά για να μειωθεί η πιθανότητα μεγάλων απωλειών, η οποία προτάθηκε από τους Rockafellar and Uryasev (2002). Η CVaR αποτελεί μια επέκταση της αξίας σε κίνδυνο (value at risk, VaR), (Jorion, 2006) και αποτελεί το πλέον διαδεδομένο μέτρο διαχείρισης χρηματοοικονομικών κινδύνων. Η VaR είναι ουσιαστικά μια εκτίμηση του κινδύνου που δίνει την χειρότερη αναμενόμενη ζημιά μιας επένδυσης, μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα και για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Περισσότερα για την αξία σε κίνδυνο αναφέρονται στην ενότητα 1.6.

Αυτό που κάνει η CVaR είναι μια εκτίμηση των ζημιών (σε συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης) που υπερβαίνουν την αξία σε κίνδυνο. Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε για να αποτελέσει επέκταση της αξίας σε κίνδυνο (VaR). Το μοντέλο VaR επιτρέπει στους διαχειριστές να περιορίζουν την πιθανότητα να υποστούν ζημιές που προκαλούνται από ορισμένους τύπους κινδύνου, αλλά όχι από όλους τους κινδύνους. Το πρόβλημα που δημιουργείται με το να στηρίζεται αποκλειστικά κάποιος στο μοντέλο VaR είναι ότι το εύρος του εκτιμώμενου κινδύνου είναι περιορισμένο και το ύψος της εκτιμωμένης ζημίας συνήθως δεν αξιολογείται. Συνεπώς, εάν προκύψουν ζημιές, το ύψος των ζημιών θα είναι σημαντικό σε αξία.

Το πιο σημαντικό για τις εφαρμογές είναι ότι η CVaR μπορεί να εκφραστεί με έναν τύπο ελαχιστοποίησης όπου αυτός μπορεί ευκολά μετά να ενσωματωθεί σε προβλήματα βελτιστοποίησης που έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο ή να τον διαμορφώνουν μέσα στα όρια που έχουν ορισθεί. Έτσι επιτυγχάνονται σημαντικές συντομεύσεις διατηρώντας ταυτόχρονα κρίσιμα χαρακτηριστικά προβλημάτων όπως η κυρτότητα (Rockafellar & Uryasev, 2002). Αυτά τα υπολογιστικά πλεονεκτήματα της CVaR έναντι της VaR μετατρέπονται σε σημαντικό ερέθισμα για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας CVaR, δεδομένου ότι οι αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για τη

βελτιστοποίηση της VaR εξακολουθούν να μην είναι διαθέσιμες παρά τις σημαντικές προσπάθειες που έχουν καταβληθεί.

Με λίγα λόγια η CVaR αποτελεί ένα πιο συνεπές και συνεκτικό μέτρο κινδύνου, καθώς είναι υποπροσθετική και κυρτή σε αντίθεση με τη VaR. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα που παρουσιάζει είναι ότι μπορεί να βελτιστοποιηθεί με γραμμικό προγραμματισμό, γεγονός που επιτρέπει τη διαχείριση χαρτοφυλακίων με πολυάριθμους τίτλους και επενδυτικές θέσεις. Επίσης, εμπειρικές έρευνες έδειξαν ότι συνήθως η ελαχιστοποίηση της CVaR οδηγεί σε βέλτιστες λύσεις σε όρους VaR, καθώς πάντοτε είναι μεγαλύτερη ή ίση από αυτήν. Στην περίπτωση κανονικής κατανομής των αποδόσεων, οι VaR και CVaR επιστρέφουν το ίδιο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο. Αλλά τα χαρτοφυλάκια με χαμηλή CVaR έχουν απαραίτητα και χαμηλή αξία σε κίνδυνο VaR (Krokhmal, Palmquist, & Uryasev, 2001).

Ο μαθηματικός τύπος που εκφράζει την CVaR είναι:

$$CVaR_{\alpha}(x) = \frac{1}{1-\alpha} \int_{f(x,y) \geq VaR_{\alpha}(x)} f(x,y)p(y)dy$$

Η ελαχιστοποίηση του κινδύνου $CVaR_{\alpha}$, του χαρτοφυλακίου δεδομένου ενός επιθυμητού επιπέδου εμπιστοσύνης $1-\alpha=99\%$ γίνεται μέσω του ακόλουθου μαθηματικού προβλήματος:

$$\min CVaR = \frac{1}{1-\alpha} \int_{f(x,y) \geq VaR_{\alpha}(x)} f(x,y)p(y)dy$$

$$\text{Υπό: } \sum_{i=1}^N w_i = 1$$

$$w_i \geq 0 \forall i$$

όπου w = το ποσοστό επένδυσης για το κάθε χρεόγραφο, $f(x,y)$ = είναι η συνάρτηση ζημιών για ένα χαρτοφυλάκιο x και αποδόσεις περιουσιακών στοιχείων y , $p(y)$ = είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την απόδοση των περιουσιακών στοιχείων y και VaR_{α} είναι η αξία σε κίνδυνο του χαρτοφυλακίου x με επίπεδο εμπιστοσύνης α .

2.5 Μοντέλο Συστηματικού Κινδύνου

Ο συντελεστής β (beta coefficient) αποτελεί ένα μέτρο σχετικής επικινδυνότητας μίας επένδυσης/ χρεογράφου/ χαρτοφυλακίου σε σχέση με την μεταβλητότητα της αγοράς. Ο συντελεστής β αποτελεί μία πολύ καλή εκτίμηση του συστηματικού κινδύνου μίας μετοχής που οφείλεται σε όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το σύνολο της αγοράς οι οποίοι μπορεί να είναι οικονομικοί, πολιτικοί, κοινωνικοί ακόμα και ψυχολογικοί. Ο τύπος που χρησιμοποιούμε για την εκτίμηση του συστηματικού κινδύνου περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\beta = \frac{COV(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

Όπου:

R_i : η απόδοση της μετοχής i

R_m : η απόδοση του χαρτοφυλακίου της αγοράς (δείκτης αναφοράς)

$COV(R_i, R_m)$: η συνδιακύμανση των αποδόσεων της μετοχής i και της αγοράς

$Var(R_m)$: η διακύμανση των αποδόσεων του χαρτοφυλακίου της αγοράς

Δηλαδή, ο συστηματικός κίνδυνος μιας μετοχής ή χαρτοφυλακίου ισούται με την συνδιακύμανση των αποδόσεων της μετοχής ή του χαρτοφυλακίου με τις αποδόσεις του χαρτοφυλακίου της αγοράς, σε σχέση με τη διακύμανση του χαρτοφυλακίου της αγοράς.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόλυτη τιμή του συντελεστή β μιας επένδυσης/μετοχής, τόσο πιο επικίνδυνη θεωρείται καθώς τόσο περισσότερο η επένδυση ή η μετοχή αυτή θα επηρεάζεται από τις κινήσεις της αγοράς. Δηλαδή ο συντελεστής β δείχνει την ευαισθησία της μετοχής ή του χαρτοφυλακίου με τις μεταβολές της αγοράς. Για παράδειγμα μια μετοχή με συντελεστή β μεγαλύτερο από τη μονάδα θεωρείται επιθετική δηλαδή η απόδοση του χρεογράφου είναι περισσότερο μεταβλητή από αυτή της αγοράς και ότι η συσχέτιση τους είναι θετική, ενώ εάν ο συντελεστής β είναι μικρότερος από τη μονάδα θεωρείται αμυντική μετοχή και αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της επένδυσης είναι μικρής μεταβλητότητας (λιγότερο μεταβλητή από την απόδοση της αγοράς), είτε ότι οι αποδόσεις των δύο έχουν πολύ μικρή συσχέτιση μεταξύ τους. Για παράδειγμα, εάν μια

μετοχή έχει συντελεστή β ίσο με 1,5, τότε μια αύξηση του Γενικού Δείκτη κατά 10% θα οδηγήσει σε (κατά μέσο όρο) αύξηση της τιμής της μετοχής κατά 15%. Οι μετοχές αυτού του είδους θα αποφέρουν σημαντικά κέρδη σε καταστάσεις όπου η αγορά χαρακτηρίζεται από συνεχή άνοδο των τιμών των μετοχών, αλλά συνήθως υφίστανται μεγάλες απώλειες όταν η αγορά ακολουθεί πτωτική πορεία (Viral V. Acharya, 2010).

Το μειονέκτημα της χρήσης β είναι ότι βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα, κάτι που δεν αποτελεί εγγύηση για την πρόβλεψη της μελλοντικής μεταβλητότητας. Αφού συνήθως δεν παραμένει διαχρονικά αμετάβλητος, με αποτέλεσμα να μην αποτελεί αξιόπιστο εργαλείο για την πρόβλεψη μελλοντικών προοπτικών διαφορών επενδύσεων.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή β οι κινήσεις της αγοράς αντιπροσωπεύονται συνήθως από το γενικό δείκτη του χρηματιστηρίου. Εξ' ορισμού ο Γενικός δείκτης του Χρηματιστηρίου αξιών των Αθηνών έχει συντελεστή β ίσο με τη μονάδα.

2.6 Πολυκριτήρια Βελτιστοποίηση

Στις μέρες μας η πολυκριτήρια βελτιστοποίηση βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς με σκοπό να παρθεί η καταλληλότερή απόφαση με σκοπό την εξισορρόπηση και συνδυασμό όλων των παραγόντων μεταξύ τους οι οποίοι θα οδηγήσουν στο καλύτερο δυνατό και συμφέρον αποτέλεσμα για το άτομο. Τέτοιοι τομείς αναφέρονται ως εξής: παράγωγη και σχεδιασμός διαδικασιών, οικονομικά, σχεδιασμό αεροσκαφών, πετρελαϊκές βιομηχανίες, σχεδιασμό αυτοκινήτων, ή οπουδήποτε χρειάζεται να εξετασθούν δυο ή περισσότερων αντικρουόμενων στόχων.

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί μια συστηματική λογική και μαθηματική προσέγγιση που βοηθάει τους αποφασίζοντες να επιλύσουν διλήμματα που προκύπτουν από την επιδίωξη πολλών αντικρουόμενων στόχων στη λήψη των αποφάσεων. Η χρησιμότητα της πολυκριτήριας ανάλυσης έγκειται στο ότι βοηθάει τον αποφασίζοντα να οργανώσει τις διαθέσιμες πληροφορίες, να σκεφθεί συστηματικά για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε λύσης, να συνειδητοποιήσει τις προτιμήσεις και ανοχές του, έτσι ώστε να είναι σε θέση να κάνει τους λιγότερους οδυνηρούς

συμβιβασμούς και να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες να μετανιώσει για την επιλογή που θα πραγματοποιήσει. Ακόμη προσδιορίζονται τα κύρια δομικά στοιχεία του προβλήματος και αναλύονται οι βασικές τους ιδιότητες. Με βάση αυτό το θεωρητικό υπόβαθρο έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος τεχνικών, κατάλληλων για την αντιμετώπιση ενός μεγάλου εύρους προβλημάτων που προκύπτουν στην πράξη.

Η πολυκριτήρια ανάλυση μπορεί να οριστεί ως μία συστηματική και μαθηματικά τυποποιημένη προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων που προκύπτουν από αλληλοσυγκρουόμενους στόχους σε μια προσπάθεια συμβιβασμού μεταξύ αυτών. Η έννοια του συμβιβασμού είναι καθαρά υποκειμενική. Μία λύση θεωρείται βέλτιστη μόνο κατά την άποψη του ατόμου που αποφασίζει για την επιλογή. Για κάποιον άλλο αποφασίζοντα είναι δυνατόν να προκύψει διαφορετική λύση, ανάλογα με τη βαρύτητα που δίνεται σε κάθε κριτήριο που χρησιμοποιείται.

Ως πολυκριτήρια βελτιστοποίηση (Dourmos et al., 2014) ορίζεται η ανάπτυξη και ο συνδυασμός πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων με σκοπό την βελτιστοποίηση τους. Ουσιαστικά πρόκειται για την διαδικασία ταυτόχρονης βελτιστοποίησης δυο είτε περισσότερων αντικρουόμενων ή μη ζητημάτων με διάφορους περιορισμούς.

Η γενική μορφή των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στο χώρο της πολυκριτήριας βελτιστοποίησης είναι η ακόλουθη:

$$\max \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}$$

$$Y.P.: x \in X$$

όπου:

• $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$, οι διάφορες αντικειμενικές συναρτήσεις που πρόκειται να βελτιστοποιηθούν

Ενώ η γενική μορφή των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στο χώρο του πολυκριτήριου γραμμικού προγραμματισμού είναι η ακόλουθη:

$$\max Cx$$

$$Y.P.: Ax \leq b,$$

$$x \geq 0$$

όπου:

- $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ πρόκειται για ένα διάνυσμα-στήλη που αναφέρεται στις μεταβλητές απόφασης, οι οποίες πρέπει να καθοριστούν από τη λύση του παραπάνω γραμμικού προγράμματος,
- $\mathbf{C} = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ είναι ένα διάνυσμα-στήλη με τους συντελεστές των μεταβλητών απόφασης
- \mathbf{A} είναι ένας πίνακας διαστάσεων $m \times n$ κάθε στοιχείο $a_{i,j}$ του οποίου αντιστοιχεί στο συντελεστή της μεταβλητής απόφασης j στον περιορισμό i ,
- $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ είναι ένα διάνυσμα-στήλη με τα δεξιά μέλη των περιορισμών.

Τα προβλήματα πολυκριτήριας βελτιστοποίησης αποτελούν προβλήματα με περισσότερα του ενός κριτήρια αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα όταν υφίστανται πολλαπλά αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια να μην μπορεί να υπάρξει μια και μόνο βέλτιστη λύση που να βελτιστοποιεί ταυτόχρονα όλα τα κριτήρια. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο βέλτιστων λύσεων με τις τιμές των κριτηρίων να ποικίλουν. Αν δεν υπάρχουν αντικρουόμενα κριτήρια τότε δεν δημιουργείται ένα σύνολο βέλτιστων λύσεων αλλά υπάρχει μια και μοναδική βέλτιστη.

Στην περίπτωση αντικρουόμενων κριτηρίων δεν υπάρχει μόνο μια βέλτιστη λύση αλλά ένα σύνολο από βέλτιστες λύσεις οι οποίες αποτελούν τις μη κυριαρχούσες λύσεις ή αλλιώς «αποδοτικές» λύσεις (efficient solutions ή λύσεις βέλτιστες κατά Pareto).

Σύμφωνα με τα παραπάνω ευκολά καταλαβαίνουμε ότι ένα από τα βασικότερα προβλήματα που συχνά εμφανίζονται στα προβλήματα πολυκριτήριας βελτιστοποίησης είναι η αδυναμία εντοπισμού βέλτιστης λύσης δεδομένου ότι η λύση που βελτιστοποιεί κάποια από τις αντικειμενικές συναρτήσεις δεν είναι βέλτιστη και για τις υπόλοιπες. Επομένως δεν θα υπάρχει μοναδική λύση η οποία ταυτόχρονα να ελαχιστοποιεί τον κάθε στόχο στο καλύτερο δυνατό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε κριτήριο πρέπει να έχει φτάσει σε τέτοιο επίπεδο ώστε η περαιτέρω βελτιστοποίηση του να οδηγεί σε μείωση και υποβάθμιση των υπολοίπων κριτηρίων. Για αυτόν τον λόγο οι οικονομολόγοι και συγκεκριμένα ο Ιταλός οικονομολόγος Vilfredo Federico Pareto εισήγαγε την έννοια των Pareto βέλτιστων λύσεων. Μια αποδοτική λύση ή αλλιώς Pareto βέλτιστη λύση είναι μια λύση όπου καμιά αύξηση/μείωση σε οποιοδήποτε από τα κριτήριά της δεν μπορεί να επιτευχθεί δίχως να μειωθεί/αυξηθεί κάποιο ή κάποια από τα υπόλοιπα κριτήρια ταυτόχρονα. Οι λύσεις Pareto είναι εκείνες για τις οποίες η βελτιστοποίηση ενός κριτηρίου μπορεί να επέλθει μόνο με την χειροτέρευση ενός τουλάχιστον από τα υπόλοιπα κριτήρια (Keeney & Raiffa, 1993). Επομένως για ένα πρόβλημα δυο κριτηρίων

κάθε λύση x^* στο «μέτωπο» Pareto είναι τέτοια που καμία άλλη εφικτή λύση να μην ικανοποιεί καλύτερα τα κριτήρια αυτά.

Για τον λόγο αυτό λοιπόν εισέρχεται η έννοια της αποτελεσματικής λύσης, κατά την έννοια αυτή, μια λύση είναι αποτελεσματική εάν δεν υπάρχει άλλη λύση που να κυριαρχεί έναντι αυτής. Κατά την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση μπορούν να προκύψουν πολλές αποτελεσματικές λύσεις και εκεί ο αποφασίζοντας θα αποφασίσει για το ποια ανταποκρίνεται καλύτερα στην περίπτωση του και στις απαιτήσεις του. Αντίστοιχα η έννοια της ασθενούς αποτελεσματικότητας είναι όταν μια προκύπτουσα λύση δεν είναι αυστηρά καλύτερη από μια άλλη πιθανή λύση για όλα τα κριτήρια.

Στόχος μεθοδολογιών πολυκριτήριας βελτιστοποίησης είναι η εύρεση του συνόλου των αποτελεσματικών λύσεων.

Το γραφικό περιβάλλον που κατασκευάστηκε εμπεριέχει ένα σύστημα πολυκριτήριας βελτιστοποίησης που επιτρέπει τη συνεκτίμηση πέντε κριτηρίων κινδύνου (διακύμανση, ημι-διακύμανση, μέσης απόλυτη απόκλιση, υπό συνθήκη αξία σε κίνδυνο, συστημικός κίνδυνος), καθώς και της απόδοσης.

Το μαθηματικό μοντέλο πάνω στο οποίο στηρίζεται η πολυκριτήρια βελτιστοποίηση αυτών των κριτηρίων ελέγχου είναι:

$$\min \quad \alpha + \rho \sum_{i=1}^k [f^{**} - f_i(x)]$$

$$\text{Υπ: } \alpha \geq w_i [f^{**} - f_i(x)] \quad \forall i = 1, 2, \dots, k$$

$$x \in A, \quad \alpha \geq 0$$

οπού ρ μια μικρή θετική σταθερά, w_i ένα διάνυσμα συντελεστών στάθμισης με $w_i \geq 0 \quad \forall i$ και $w_1 + w_2 + \dots + w_k = 1$, f^{**} το σημείο αναφοράς που προκύπτει από τη σχέση $f^{**} = f^* + \theta$, οπου f^* το ιδεατό σημείο και θ ένα διάνυσμα με αυστηρά θετικά στοιχεία (Δούμπος, 2009).

Το πολυκριτήριο πρόβλημα σύμφωνα και με την παραπάνω εξίσωση διατυπώνεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης ως εξής:

$$\min \alpha - \rho f_1(x) + \rho f_2(x) + \rho f_3(x) + \rho f_4(x) + \rho f_5(x) + \rho f_6(x)$$

$$\text{Υπ:}$$

$$f_1(x) = \bar{\mathbf{r}}^T \mathbf{x}$$

$$f_2(x) = \mathbf{x}^T \mathbf{V} \mathbf{x}$$

$$f_3(x) = \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{\sigma}$$

$$f_4(x) = \frac{\mathbf{1}^T \mathbf{y}}{T}$$

$$f_5(x) = \gamma + \frac{1}{(1-a)T} \mathbf{1}^T \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$f_6(x) = \zeta$$

$$\alpha \geq w_1[f_1^* - f_1(x)]$$

$$\alpha \geq w_2[f_2(x) - f_2^*]$$

$$\alpha \geq w_3[f_3(x) - f_3^*]$$

$$\alpha \geq w_4[f_4(x) - f_4^*]$$

$$\alpha \geq w_5[f_5(x) - f_5^*]$$

$$\alpha \geq w_6[f_6(x) - f_6^*]$$

$$\mathbf{1}^T \mathbf{x} = 1$$

$$(\mathbf{R} - \bar{\mathbf{r}})\mathbf{x} - \sqrt{T}\boldsymbol{\sigma} + \sqrt{T}\boldsymbol{\delta} = \mathbf{0}$$

$$(\mathbf{R} - \bar{\mathbf{r}})\mathbf{x} \leq \mathbf{y}$$

$$(\mathbf{R} - \bar{\mathbf{r}})\mathbf{x} \geq -\mathbf{y}$$

$$\mathbf{R}\mathbf{x} + \boldsymbol{\varepsilon} + \gamma \geq \mathbf{0}$$

$$\mathbf{b}\mathbf{x} \leq \zeta$$

$$\mathbf{b}\mathbf{x} \geq -\zeta$$

$$\mathbf{x}, \boldsymbol{\sigma}, \alpha, \boldsymbol{\delta}, \mathbf{y}, \boldsymbol{\varepsilon}, \zeta \geq \mathbf{0}, \quad \gamma \in \mathbb{R}$$

όπου το \mathbf{x} είναι το ποσοστό (%) συμμετοχής των μετοχών, $\bar{\mathbf{r}}$ αναφέρεται στην μέση απόδοση, \mathbf{R} αποτελεί έναν πίνακα ιστορικών αποδόσεων $T \times n$ (n = μετοχές, T = περίοδοι), \mathbf{b} συντελεστής βήτα (συστηματικός κίνδυνος), ζ είναι η απόλυτη τιμή συστημικού κινδύνου, τα $\boldsymbol{\sigma}$ και $\boldsymbol{\delta}$ είναι οι αποκλίσεις ημι-διακύμανσης, γ συμβολίζει τον συντελεστή VaR ενώ \mathbf{y} αποτελούν τις αποκλίσεις MAD.

Οι έξι πρώτοι περιορισμοί καθορίζουν τις συναρτήσεις των έξι μοντέλων (απόδοση, διακύμανση, ημί-διακύμανση, μέση απόλυτη απόκλιση, υπό συνθήκη αξία σε κίνδυνο, συστημικός κίνδυνος αγοράς) ενώ οι επόμενοι έξι περιορισμοί ορίζουν τη μέγιστη απόκλιση από τις ιδανικές τιμές των στόχων και οι υπόλοιποι περιορισμοί καθορίζουν το σύνολο των εφικτών λύσεων. Αποτελούν δηλαδή τους περιορισμούς των μοντέλων.

Κεφάλαιο 3^ο

Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων

Στο τρίτο αυτό κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση, παρουσίαση και επεξήγηση του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων που κατασκευάστηκε για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας (ΣΥΑ). Με τη βοήθεια του παρόντος υπολογιστικού περιβάλλοντος ένας δυνητικός χρήστης θα μπορεί να εξάγει αποτελέσματα καθώς και να κάνει ανάλυση του κινδύνου της αγοράς μέσα από ένα πλήθος ευανάγνωστων στατιστικών αποτελεσμάτων και γραφημάτων. Το συγκεκριμένο γραφικό περιβάλλον επικεντρώνεται στην πολυκριτήρια βελτιστοποίηση πέντε μοντέλων με σκοπό να εξάγει αποτελεσματικά χαρτοφυλάκια ενώ παράλληλα έχει τη δυνατότητα να προτείνει στο χρήστη ένα χαρτοφυλάκιο ανάλογα με τις προτιμήσεις του. Όλα τα παραπάνω υλοποιήθηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB 2017a. Για την παρουσίαση της εργασίας συλλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά δεδομένα από το Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών για 43 μετοχές την περίοδο 15/4/2016 – 13/4/2018 που προέρχονται από το δικτυακό χώρο της εφημερίδας ‘Ναυτεμπορική’. Το σύστημα που αναπτύχθηκε επιτρέπει στο χρήστη να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε άλλα δεδομένα αυτός επιθυμεί από την Ελλάδα ή άλλες αγορές. Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι έγινε η χρήση πρόσθετου επιλυτή γραμμικών και τετραγωνικών προβλημάτων, του Gurobi Optimizer 7.5.2.

3.1 Λειτουργία συστήματος

Στόχος της παρούσας εργασίας όπως προαναφέρθηκε είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου προσιτού και εύχρηστου για έναν απλό χρήστη, στοχεύοντας στην αποτελεσματικότητα και ακρίβεια δίδοντας το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ανάλογα με τις προτιμήσεις και τις επιλογές του. Κρίθηκε λοιπόν απαραίτητη η ανάπτυξη ενός γραφικού περιβάλλον διεπαφής χρήστη-συστήματος (GUI). Το σύστημα αυτό κατασκευάστηκε σε περιβάλλον MATLAB.

Οι βασικές λειτουργίες που παρέχει το προτεινόμενο ΣΥΑ περιλαμβάνουν:

Παράθυρο 1: Εισαγωγής δεδομένων

- Πίνακες εισαγωγής δεδομένων
- Μορφοποίηση δεδομένων χρήστη για καλύτερη ανάλυση
- Έλεγχος ορθότητας δεδομένων χρήστη

Παράθυρο 2: Περιγραφικά στατιστικά

- Εξαγωγή στατιστικών ανά μετοχή
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων συσχετίσεων επιλεγμένων μετοχών
- Δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων μέτοχων σε αρχείο Excel
- Γραφική απεικόνιση Αξίας επένδυσης μετοχής με τους δείκτες FTSE Large Cap και Γενικό

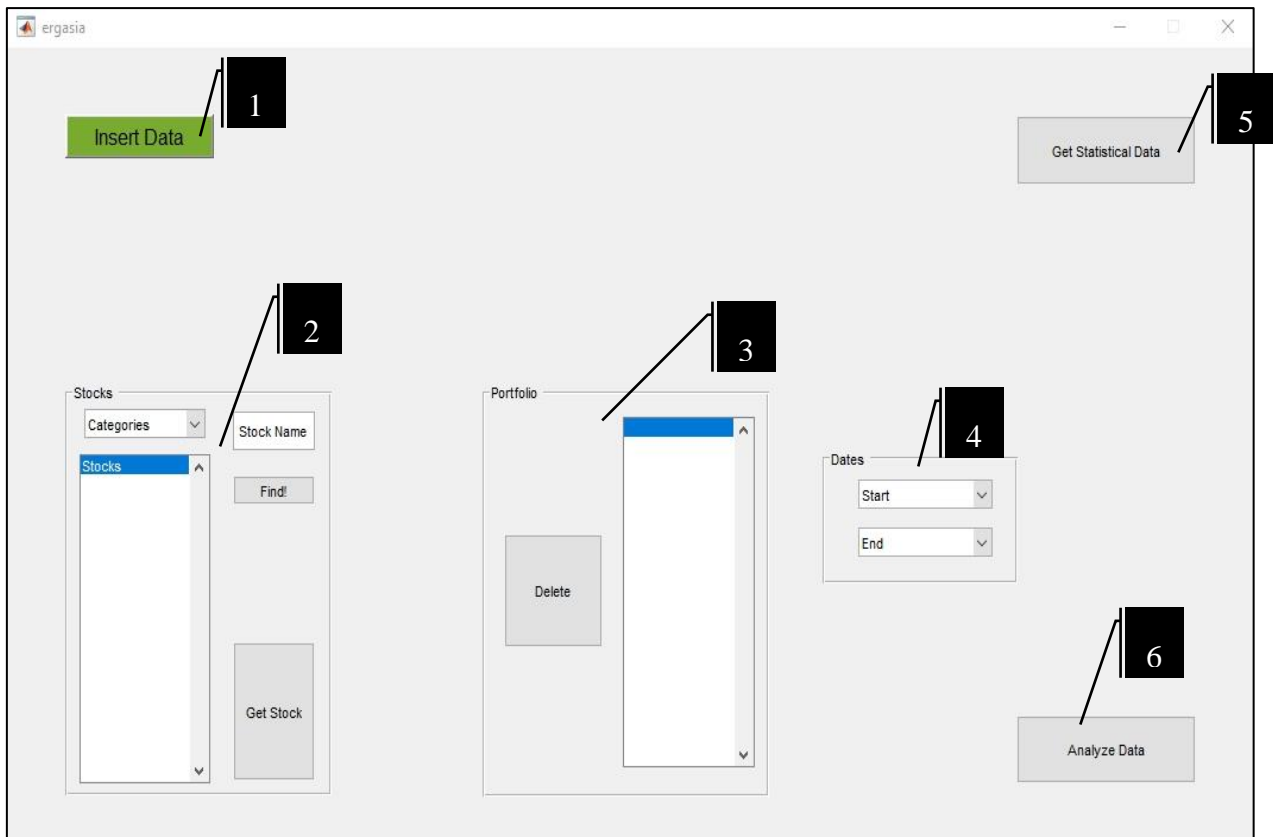
Παράθυρο 3: Πολυκριτήρια βελτιστοποίησης

- Πολυκριτήρια βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων (5 Μοντέλα)
- Δυνατότητα καθορισμού προτιμήσεων από το χρήστη
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων βάση προτιμήσεων χρήστη και προτεινόμενο χαρτοφυλάκιο
- Εξαγωγή στατιστικών ανά χαρτοφυλάκιο
- Γραφική απεικόνιση Απόδοσης-Κινδύνου
- Δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων χαρτοφυλακίων σε αρχείο Excel

3.2 Κατασκευή Περιβάλλοντος Εργασίας

3.2.1 Παράθυρο Εισαγωγής Δεδομένων

Οι λειτουργίες που αναφέρονται παραπάνω παρουσιάζονται στο σύστημα με καταλληλά σχεδιασμένο, προσιτό και ευπαρουσίαστο τρόπο ώστε μέσα από τη χρήση πολλαπλών οθονών και κουμπιών να μπορούν να αξιοποιηθούν εύκολα όλες οι δυνατότητες που παρέχει το σύστημα. Παρακάτω παρουσιάζεται η βασική οθόνη εργασίας του συστήματος:



Σχήμα 3.1: Αρχική οθόνη

Θέση 1: με το κουμπί στη θέση 1 (Insert Data) ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα στο σύστημα από κατάλληλα διαμορφωμένο αρχείο excel (.xlsx, .xls), το οποίο έχει επιμεληθεί νωρίτερα πριν την εκτέλεση του συστήματος.

Θέση 2: στον πίνακα της θέσης 2 (Stocks) ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην επιλογή των μέτοχων που θέλει να αναλύσει στην πορεία, είτε για σύνταξη του χαρτοφυλακίου που αυτό πραγματοποιείται στο τρίτο παράθυρο του συστήματος (Analyze Data) είτε για στατιστική ανάλυση των μέτοχων που θα επιλέξει, δεύτερο παράθυρο (Get Statistical Data). Η επιλογή των μετοχών σε αυτόν τον πίνακα μπορεί να γίνει απευθείας επιλέγοντας την μετοχή από τον πίνακα Stocks ή απλά πληκτρολογώντας το όνομα της μετοχής στο κατάλληλα διαμορφωμένο κελί Stock Name.

Θέση 3: στην θέση 3 του πρώτου παραθύρου εργασίας (Portfolio) συλλέγονται οι μετοχές οι οποίοι έχουν επιλεγεί από το χρήστη από την προηγούμενη διαδικασία για τις οποίες θέλει να προχωρήσει σε περαιτέρω ανάλυση. Εδώ υπάρχει η δυνατότητα διαγραφής μιας μετοχής από το χαρτοφυλάκιο από το πλήκτρο Delete.

Θέση 4: στην θέση 4 (Dates) ακολουθεί η επιλογή των ημερομηνιών βάσει των οποίων θέλει να κάνει την ανάλυση ο χρήστης, αρχική-τελική ημερομηνία.

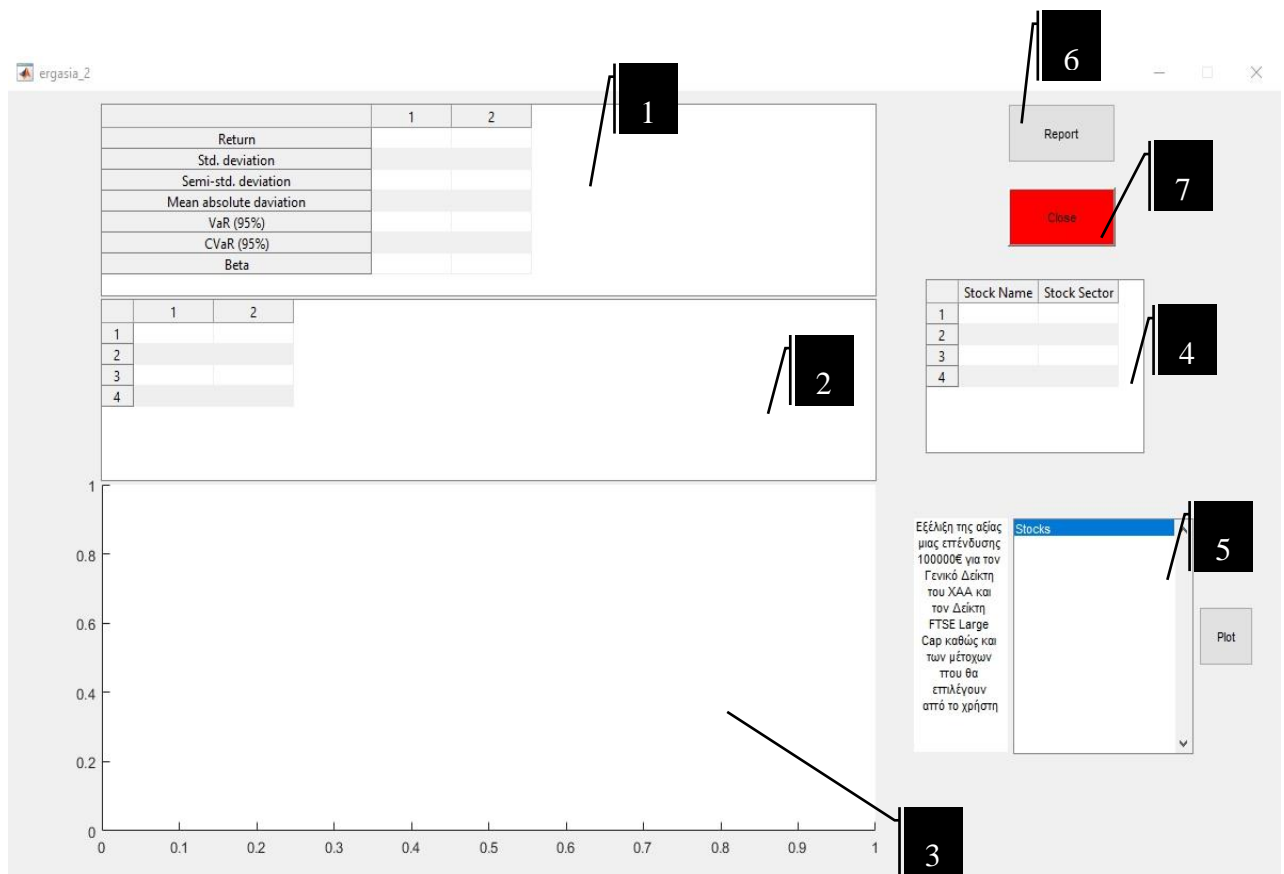
Θέση 5: το κουμπί Get Statistical Data μεταφέρει τον χρήστη στο παράθυρο 2 στο οποίο θα ακολουθήσει η ανάλυση των μετοχών που επιλέχθηκαν.

Θέση 6: το κουμπί Analyze Data μεταφέρει τον χρήστη στο παράθυρο 3 στο οποίο γίνεται η πολυκριτήρια βελτιστοποίηση και η διαμόρφωση των χαρτοφυλακίων.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι στο παρόν παράθυρο γίνεται και ένας έλεγχος εγκυρότητας των δεδομένων μετά το πάτημα των κουμπιών Get Statistical Data και Analyze Data για τυχόν απώλειας ή ελλιπή στοιχείων. Σε περίπτωση λοιπόν ελλιπή στοιχείων σε κάποια μετοχή για μια ημερομηνία, αυτό που γίνεται είναι να διαγράφεται εντελώς η συγκεκριμένη μετοχή και να εμφανίζεται σχετικό μήνυμα στην οθόνη προς ενημέρωση του χρήστη ενώ επίσης αναφέρεται και το όνομα της μετοχής στην οποία εντοπίστηκε το λάθος.

3.2.2 Παράθυρο Περιγραφικών Στατιστικών

Στη συνέχεια γίνεται η ανάλυση του δευτέρου παραθύρου του συστήματος, Σχήμα 3.2, στο οποίο εμφανίζονται τα αποτελέσματα όσον αφορά τα δεδομένα που επιλέχθηκαν από τον χρήστη. Το παράθυρο αυτό θα εμφανιστεί πατώντας το πλήκτρο Get Statistical Data του πρώτου παραθύρου εργασίας.



Σχήμα 3.2: Οθόνη αποτελεσμάτων 1

Θέση 1: στην θέση αυτή δημιουργείται ο πρώτος πίνακας αποτελεσμάτων ο οποίος περιλαμβάνει τα εξής αποτελέσματα για κάθε μια από τις μετοχές που επιλέχθηκαν από τον χρήστη: Απόδοση, Διακύμανση, Ήμι-Διακύμανση, Μέση Απόλυτη Απόκλιση, Αξία σε Κίνδυνο (για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης), Υπό Συνθήκη Αξία σε Κίνδυνο (για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης) και το Βήτα.

Θέση 2: στην θέση 2 βρίσκεται ο πίνακας των συσχετίσεων των αποδόσεων των μέτοχων.

Θέση 3: εδώ βρίσκεται το γράφημα της αξίας της επένδυσης ως προς την περίοδο που επιλέχθηκε νωρίτερα από τον χρήστη. Το γράφημα αυτό δημιουργείται αυτόματα μετά την ενεργοποίηση του δευτέρου παραθύρου του συστήματος και αναπαριστά την εξέλιξη της επένδυσης για 100.000€ των δεικτών FTSE Large Cap και Γενικού Δείκτη. Εδώ ο χρήστης όπως θα δούμε και στην πορεία μπορεί από τον πίνακα της θέσης πέντε (Θέση 5) να αναπαραστήσει οποιαδήποτε μετοχή ή μετοχές και να δει την πορεία τους.

Θέση 4: εδώ παρουσιάζονται οι μετοχές που επιλέχθηκαν στο προηγούμενο παράθυρο και ο κλάδος που ανήκουν.

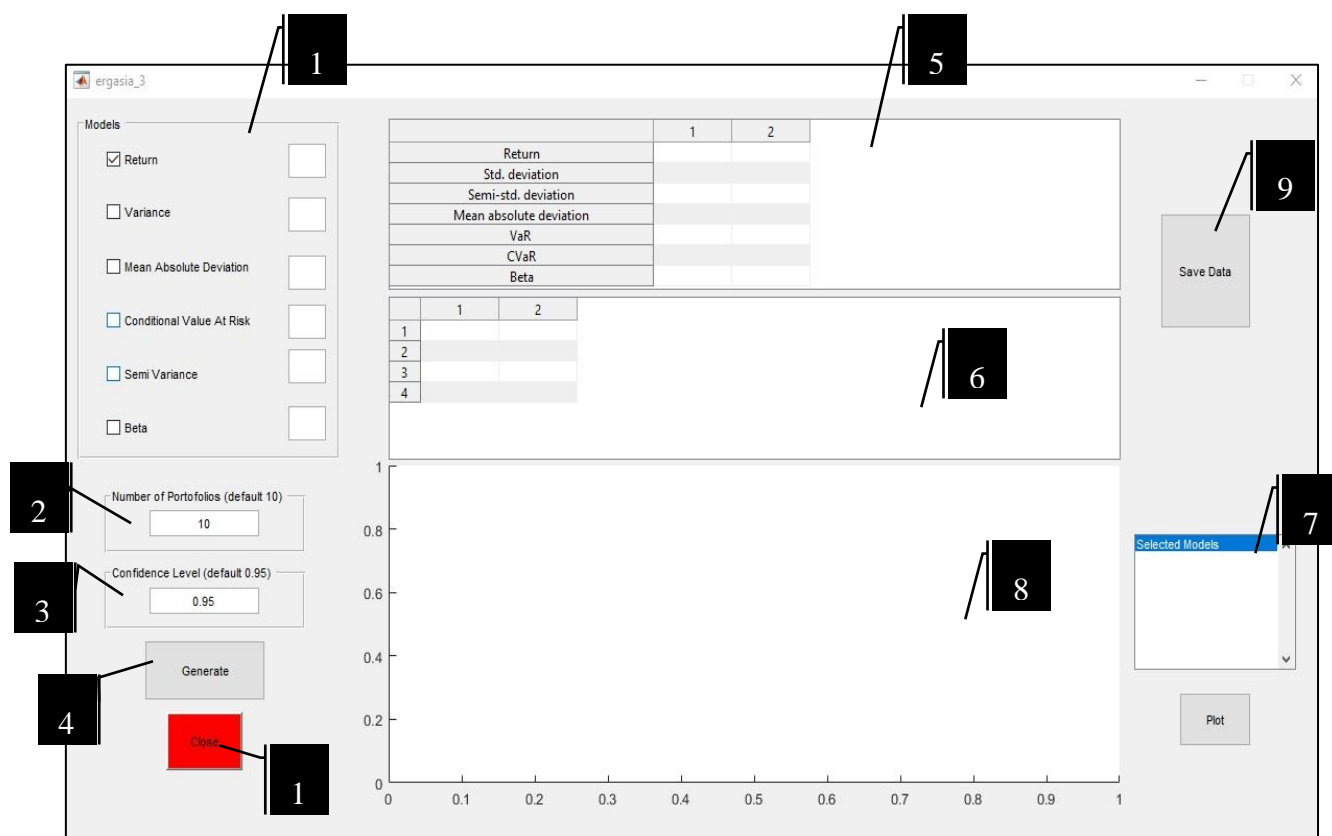
Θέση 5: στον πίνακα Stocks ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις μετοχές που επιθυμεί και με το κουμπί Plot να αναπαραστήσει στο γράφημα (Αξία επένδυσης – Ημέρες) την εξέλιξη τους για αρχική επένδυση 100.000€.

Θέση 6: πατώντας το κουμπί Report ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα των πινάκων σε αρχείο Excel.

Θέση 7: το κουμπί Close κλείνει το δεύτερο παράθυρο του συστήματος και επιστρέφει το χρήστη στο πρώτο παράθυρο εργασίας.

3.2.3 Παράθυρο Πολυκριτήριας Βελτιστοποίησης

Στη συνέχεια θα γίνει η παρουσίαση του τρίτου και τελευταίου παραθύρου του συστήματος Σχήμα 3.3, στο οποίο πραγματοποιείται η πολυκριτήρια βελτιστοποίηση και σύνθεση των χαρτοφυλακίων. Αυτό το παράθυρο εμφανίζεται πατώντας το κουμπί Analyze Data του πρώτου παραθύρου εργασίας. Αναλυτικότερα:



Σχήμα 3.3: Οθόνη αποτελεσμάτων 2

Θέση 1: στον πίνακα αυτόν ο χρήστης επιλέγει τα μοντέλα με βάση τα οποία θα προχωρήσει στην πολυκριτήρια βελτιστοποίηση. Μπορεί να επιλέξει από ένα έως και τα πέντε αναγραφόμενα μοντέλα. Στον ίδιο πίνακα ο χρήστης μπορεί να ορίσει αν επιθυμεί και τον βαθμό σημαντικότητας σε οποία από τα μοντέλα έχει επιλέξει, βάζοντας και τον αντίστοιχο αριθμό σημαντικότητας όπου η πρώτη κλάση θα περιλαμβάνει τα κριτήρια με την υψηλότερη σημαντικότητα και η τελευταία τα λιγότερα σημαντικά κριτήρια, με αυτή τη διαδικασία το μοντέλο θα προτείνει ένα χαρτοφυλάκιο στον χρήστη με βάση τις προτιμήσεις του.

Θέση 2: στο κελί της θέσης νούμερο 2 (Number of Portfolios), ο χρήστης πληκτρολογεί τον αριθμό των χαρτοφυλακίων που θέλει να δημιουργηθούν από την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση. Η default επιλογή είναι 10 χαρτοφυλάκια.

Θέση 3: στο κελί της θέσης νούμερο 3 (Confidence Level), ο χρήστης μπορεί να ορίσει το επίπεδο εμπιστοσύνης. Αυτό συνήθως ορίζεται για 95% και 99% και η default επιλογή είναι 95%.

Θέση 4: το κουμπί Generate ξεκινάει την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Αυτό μπορεί να γίνει αφού έχουν δοθεί όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που προαναφέρθηκαν στις θέσεις 1, 2 και 3.

Θέση 5: στην θέση αυτή δημιουργείται ο πίνακας αποτελεσμάτων ο οποίος περιλαμβάνει τα εξής αποτελέσματα για κάθε ένα από τα χαρτοφυλάκια που δημιουργήθηκαν: Απόδοση, Διακύμανση, Ήμι-Διακύμανση, Μέση Απόλυτη Απόκλιση, Αξία σε Κίνδυνο (για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης), Υπό Συνθήκη Αξία σε Κίνδυνο (για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης) και το Βήτα.

Θέση 6: σε αυτό το σημείο της οθόνης παρουσιάζονται τα ποσοστά συμμετοχής των μέτοχων που έχουν επιλεγεί στο κάθε χαρτοφυλάκιο.

Θέση 7: στην λίστα Selected Models βρίσκονται τα μοντέλα που επιλέχθηκαν από τον χρήστη για την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση. Εδώ ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα μοντέλο και με το κουμπί Plot να το αναπαραστήσει στο γράφημα Απόδοσης-Κινδύνου της θέσης 8. Σε περίπτωση που ο χρήστης έχει ορίσει βαθμό σημαντικότητας για τα μοντέλα (Θέση 1), τότε το προτεινόμενο χαρτοφυλάκιο σημειώνεται με κόκκινο χρώμα πάνω στο γράφημα.

Θέση 8: πρόκειται για το διάγραμμα Απόδοσης-Κινδύνου.

Θέση 10: το κουμπί Close κλείνει το δεύτερο παράθυρο του συστήματος διαγράφοντας τα αποτελέσματα και επιστρέφει το χρήστη στο πρώτο παράθυρο εργασίας.

Αρχικά ο χρήστης θα πρέπει να συλλέξει τα δεδομένα των μέτοχων που τον ενδιαφέρουν και θέλει να εξετάσει από διάφορες διαδικτυακές πηγές όπως είναι το Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών ή διάφορες οικονομικές ιστοσελίδες. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να συσταθούν με κατάλληλο τρόπο σε αρχείο Excel ώστε να διαβάζονται από το πρόγραμμα όπως αναλυτικά φαίνεται στο παράδειγμα του σχήματος (Σχήμα 3.4) παρακάτω.

Στην πρώτη γραμμή του πίνακα δεδομένων ο χρήστης πρέπει να καταχωρήσει τον κλάδο στον οποίο βρίσκεται η αντίστοιχη. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται συγκεκριμένα από το κελί B1 του αρχείου Excel.

Στην δεύτερη γραμμή του πίνακα εισάγονται τα ονόματα των μέτοχων ή όπως στην περίπτωση μας οι συμβολισμοί των μέτοχων όπως αυτές εμφανίζονται στο χρηματιστήριο. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται συγκεκριμένα από το κελί B2 του αρχείου Excel.

Η πρώτη στήλη του πίνακα περιλαμβάνει το εύρος το οποίο εξετάζονται οι μετοχές, δηλαδή η ημερομηνία βάση της οποίας έκλεισαν οι μετοχές. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται συγκεκριμένα από το κελί A3 του αρχείου excel.

Όλος ο υπόλοιπός πίνακας των δεδομένων περιλαμβάνει τις τιμές κλεισίματος των συγκεκριμένων μέτοχων οι οποίες είναι καταχωρημένες ανά μετοχή και ανά ημερομηνία. Τα συγκεκριμένα δεδομένα εισάγονται από το κελί B3 του αρχείου excel.

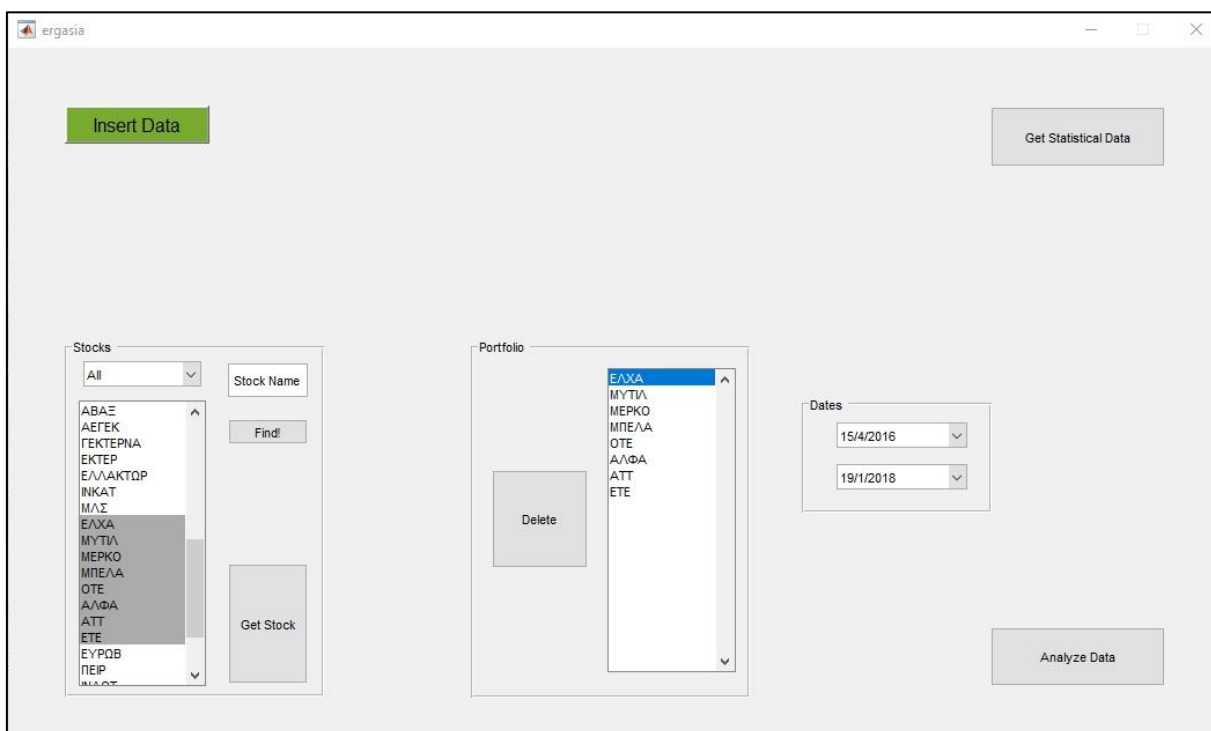
3.4 Παράδειγμα Λειτουργίας του Συστήματος

Παρακάτω θα δοθεί ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα χρήσης του προγράμματος καθώς και μια αναλυτική παρουσίαση για τις δυνατότητες και τις λειτουργίες του συστήματος.

Αρχικά όπως είδαμε και νωρίτερα ο χρήστης τρέχοντας το πρόγραμμα βρίσκεται στο αρχικό παράθυρο εργασίας. Σε αυτήν την φάση για να ξεκινήσει η διαδικασία της ανάλυσης το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι η εισαγωγή των δεδομένων για τα οποία πρέπει να έχει μεριμνήσει νωρίτερα ο χρήστης πριν την εκκίνηση του προγράμματος. Τα δεδομένα πρέπει να είναι τοποθετημένα σε κατάλληλα διαμορφωμένο αρχείο Excel και εισάγονται από το κουμπί Insert Data από οποιαδήποτε σημείο του συστήματος είναι αποθηκευμένα.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα συγκεντρώθηκαν 43 μετοχές του Χρηματιστηρίου Αξιών Αθηνών για την χρονική περίοδο 15/4/2016 – 19/1/2018 από την ιστοσελίδα της Ναυτεμπορικής οι οποίες υπάγονται σε 23 διαφορετικούς κλάδους. Από

τις μετοχές αυτές που συλλέχθηκαν 40 από αυτές συνθέτουν τον Γενικού δείκτη του χρηματιστηρίου ενώ 20 από αυτές ανήκουν και στον δείκτη FTSE Large Cap.



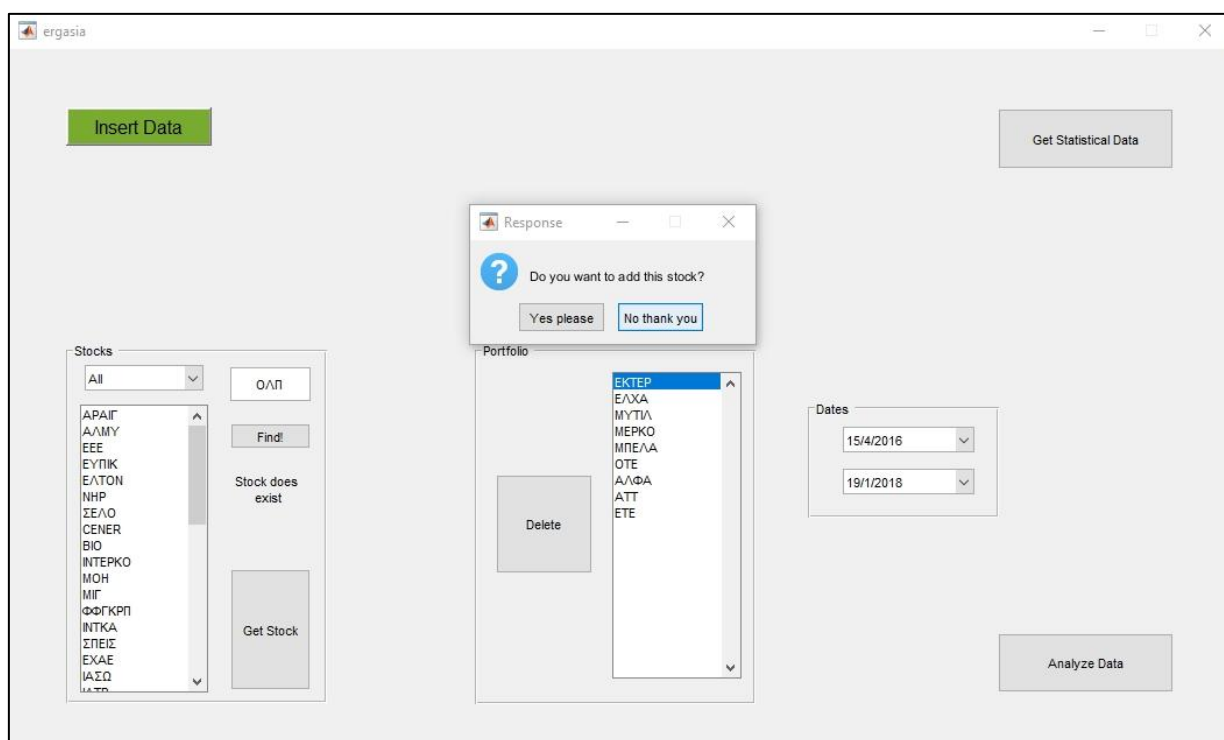
Σχήμα 3.5 Εισαγωγή δεδομένων μέσω της αρχικής οθόνης

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τις μετοχές τις οποίες θέλει να συμπεριλάβει στην ανάλυση του και στο χαρτοφυλάκιο που θέλει να κατασκευάσει. Οι μετοχές επιλέγονται από την καρτέλα Stocks, πατώντας πάνω στο όνομα της μετοχής και στη συνέχεια με το κουμπί Get Stock μεταφέρονται στην λίστα του Portfolio. Ενδεικτικά επιλέχθηκαν τυχαία 8 μετοχές της λίστας (ΕΛΧΑ, ΜΥΤΙΛ, ΜΕΡΚΟ, ΜΠΕΛΑ, ΟΤΕ, ΑΛΦΑ, ΑΤΤ, ΕΤΕ) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5 ώστε να γίνει η ανάλυση και σύνθεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου.

Επίσης, η επιλογή μιας μετοχής μπορεί να γίνει δίνοντας το όνομα της στο κελί Stock Name και υστερά πατώντας το κουμπί Find ο χρήστης θα δει αν η συγκεκριμένα μετοχή υπάρχει στα δεδομένα που έχει εισάγει ή όχι μετά από σχετικό μήνυμα στην οθόνη όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.6. Στο σχήμα έγινε έλεγχος για την μετοχή ΟΛΠ και όπως φαίνεται και από το σχετικό μήνυμα η μετοχή υπάρχει στα δεδομένα (Stock does exist) ενώ παράλληλα εμφανίζεται μήνυμα που ζητάει από το χρήστη να ορίσει τι θα γίνει με την παρούσα μετοχή μέσω του παραθύρου Response που εμφανίζεται, θέλει να συμπεριλάβει αυτή την μετοχή στο χαρτοφυλάκιο του ή όχι. Μετά την απόφαση αυτή η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά είτε στην επιλογή της επομένης μετοχής είτε στην

συνέχιση της διαδικασίας. Στο παρόν παράθυρο επίσης για λόγους ευκολίας έχει δοθεί η δυνατότητα ώστε να μπορεί να γίνει διαχωρισμός και προβολή των μέτοχων ανά κλάδο όπως αυτές ορίζονται στο χρηματιστήριο.

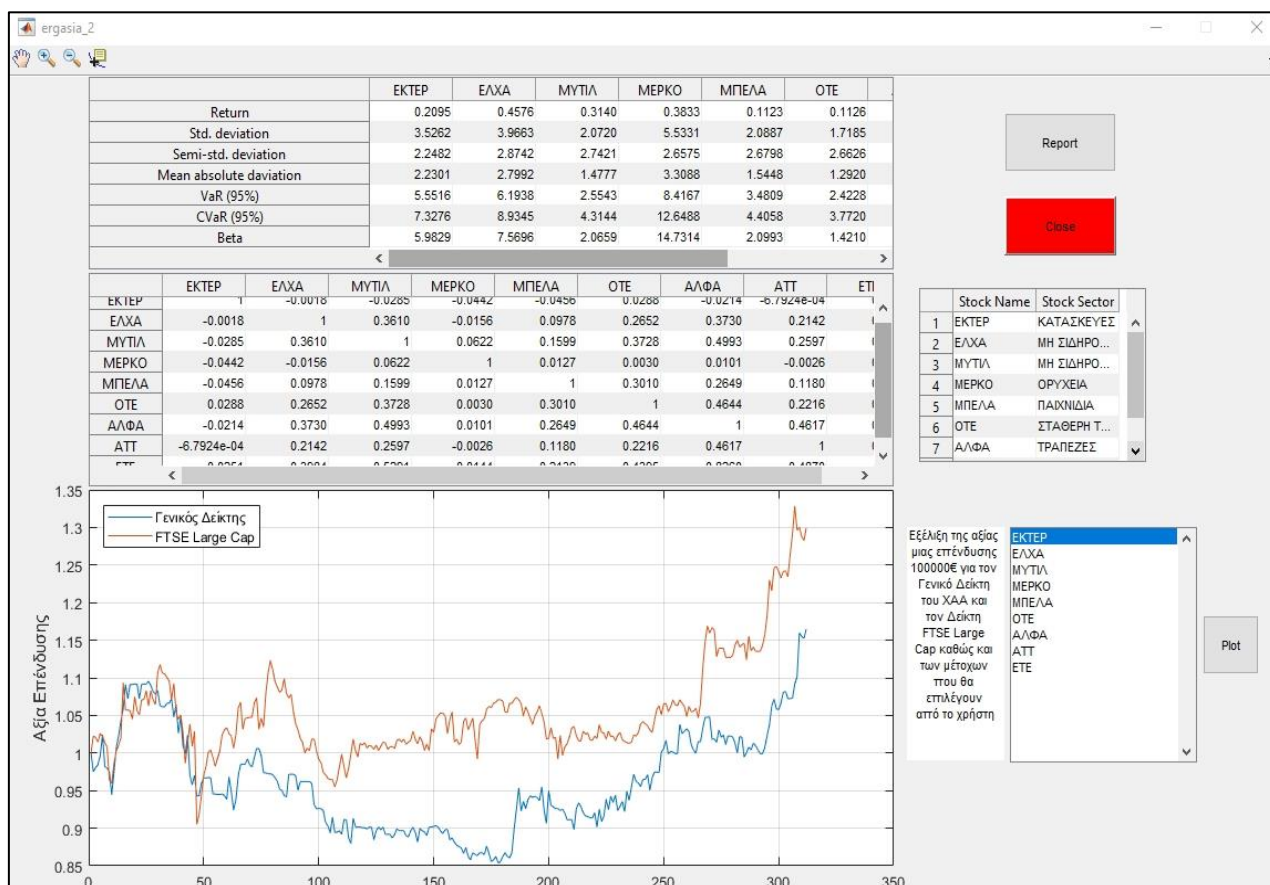
Στην συνέχεια μετά από την επιλογή των μέτοχων ο χρήστης πρέπει να ορίσει την αρχική και τελική ημερομηνία βάσει της οποίας θα γίνει η ανάλυση των δεδομένων και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων στις επόμενες δυο οθόνες του προγράμματος. Αυτό γίνεται από την καρτέλα Dates, όπου η πάνω λίστα αναφέρεται στην αρχική ημερομηνία και η κάτω στην τελική.



Σχήμα 3.6 Επιλογή μετοχής μέσω ονόματος

Έχοντας λοιπόν εισάγει ο χρήστης όλα τα απαραίτητα δεδομένα στην πρώτη οθόνη εργασίας μπορεί στη συνέχεια να συνεχίσει με την ανάλυση και εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Αυτό μπορεί να γίνει από το κουμπί Get Statistical Data, το οποίο μεταφέρει το χρήστη στο δεύτερο παράθυρο εργασίας όπου η ανάλυση γίνεται ως προς τις μετοχές που επιλέχθηκαν είτε από το κουμπί Analyze Data όπου εδώ ο χρήστης μεταφέρεται στο τρίτο παράθυρο εργασίας στο οποίο γίνεται η πολυκριτήρια βελτιστοποίηση, η σύνθεση των χαρτοφυλακίων και η ανάλυση ως προς τα χαρτοφυλάκια.

Στο Σχήμα 3.7 φαίνεται το δεύτερο παράθυρο του συστήματος για τις μετοχές που επιλέχθηκαν ενδεικτικά παραπάνω:



Σχήμα 3.7: Λειτουργία του δεύτερου παράθυρου εργασίας

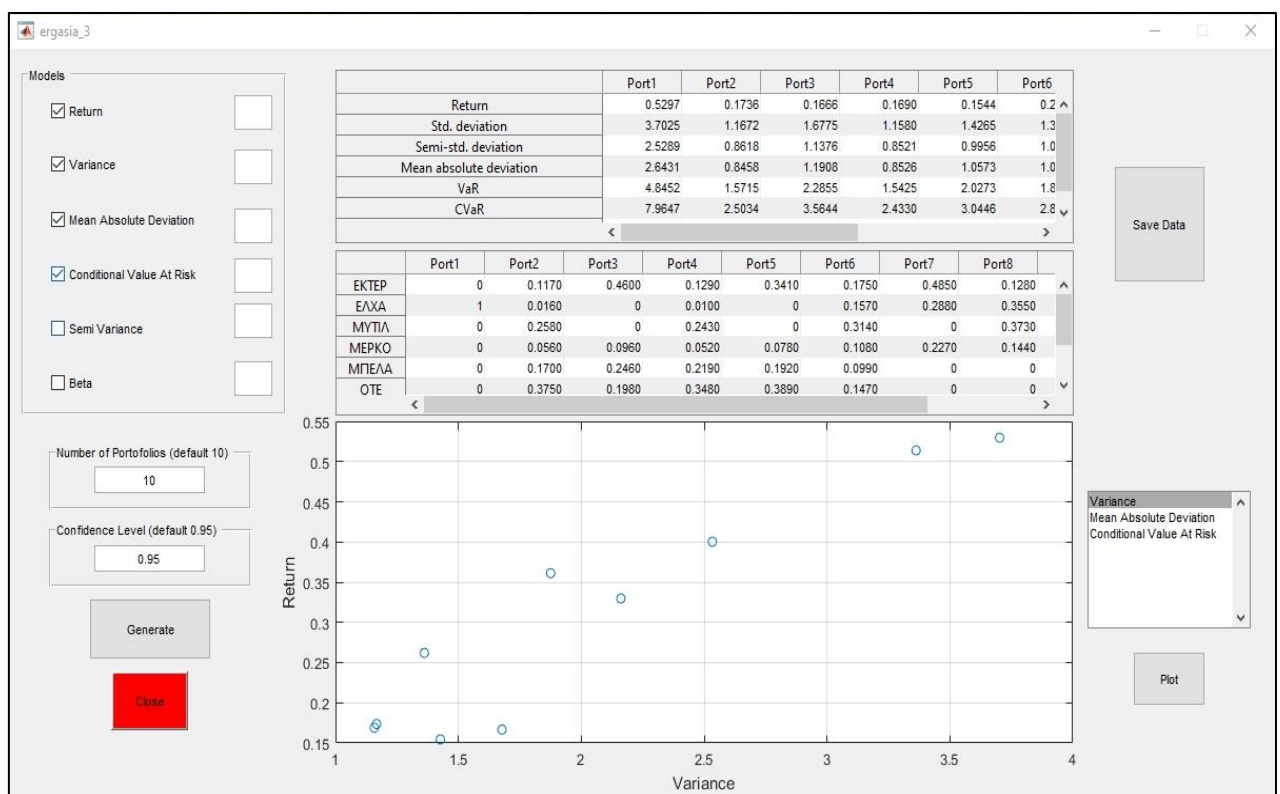
Στην οθόνη αυτή εξάγονται αυτοματοποιημένα τα αποτελέσματα όπως φαίνεται στους πίνακες χωρίς να απαιτείται κάποια περαιτέρω ενέργεια από τον χρήστη. Η ανάλυση όπως ευκολά μπορεί να διακρίνει κάνεις γίνεται ως προς τις μετοχές που επιλέχθηκαν νωρίτερα και αφορά τις συσχετίσεις, την απόδοση, τη διακύμανση, την ημι-διακύμανση, τη μέση απόλυτη απόκλιση, την αξία σε κίνδυνο (για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης), την υπό συνθήκη αξία σε Κίνδυνο (για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης) και το βήτα.

Το γράφημα αναπαριστά την Αξίας της Επένδυσης ως προς τις Ημέρες που προκύπτουν από την ημερομηνία που έχει ορισθεί για 100.000€ για τους δείκτες FTSE Large Cap και Γενικό. Εδώ ο χρήστης μπορεί να εισάγει την μετοχή ή τις μετοχές που επιθυμεί από την καρτέλα δεξιά του γραφήματος και με το κουμπί Plot να κάνει αναπαράσταση της εξέλιξης της συγκριτικά με τους προαναφερόμενους δείκτες.

Σύμφωνα λοιπόν με το γράφημα του Σχήματος 3.7, παρατηρείται ότι ο δείκτης FTSE Large Cap αλλά και ο Γενικός, κινούνται ανοδικά για την συγκεκριμένη περίοδο ελέγχου με τον δείκτη FTSE Large Cap να κινείται σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα και συγκεκριμένα μια επένδυση της τάξεως των 100.000€ στον Γενικό δείκτη θα έδινε κέρδη συνολικού ύψους 15.000~17.000€ ενώ η ίδια επένδυση στον δείκτη FTSE Large Cap θα έδινε κέρδη 30.000€.

Πέρα από αυτά που προηγήθηκαν για την δεύτερη οθόνη εργασίας εδώ δίνεται και η δυνατότητα στον χρήστη να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα των δυο πινάκων σε αρχείο excel της επιλογής του στο σύστημα. Αυτό όπως προαναφέρθηκε μπορεί να πραγματοποιηθεί από το κουμπί Report, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7.

Παρακάτω θα αναφερθούμε στο τρίτο και τελευταίο παράθυρο εργασίας. Όπως είναι ήδη γνωστό εδώ πραγματοποιείται η πολυκριτήρια βελτιστοποίηση και η σύνθεση των χαρτοφυλακίων από τις μετοχές που επιλέχθηκαν στο πρώτο παράθυρο εργασίας.



Σχήμα 3.8: Παρουσίαση αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης

Επίσης, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, στο παρόν παράθυρο εργασίας ο χρήστης μπορεί να εκφράσει την προτίμηση του ορίζοντας τον βαθμό σημαντικότητας μέσω

βαρών στα επιλεγμένα μοντέλα. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα θα προτείνει το ιδανικό χαρτοφυλάκιο σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προτιμήσεις του χρήστη.

Επίσης εφόσον ο χρήστης επιλέξει να ορίσει την σημαντικότητα μέσω βαρών στα μοντέλα που επέλεξε για την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση τότε πρέπει να ορίσει τον βαθμό σημαντικότητας για κάθε ένα από τα επιλεγμένα μοντέλα, αλλιώς εμφανίζεται σχετικό μήνυμα λάθους στην οθόνη και η διαδικασία διακόπτεται.

Τα βάρη ορίζονται από μια διαδικασία που έχει αναπτυχθεί για την προσεγγιστική εκτίμηση των βαρών. Στη γενική περίπτωση, έστω ότι υπάρχουν R κλάσεις ισοδυναμίας στην κατάταξη των κριτηρίων απόφασης (αντικειμενικές συναρτήσεις), έτσι ώστε κάθε κλάση να περιλαμβάνει κριτήρια ίδιας σημαντικότητας, με την πρώτη κλάση να περιλαμβάνει τα κριτήρια με την υψηλότερη σημαντικότητα και την τελευταία τα λιγότερα σημαντικά κριτήρια.

Από την παρακάτω σχέση ορίζεται η σημαντικότητα των κριτηρίων στην κλάση αυτή:

$$w_{(i)} = \frac{1}{R} \sum_{k=i}^R \frac{1}{r_k},$$

όπου ως n_i ορίζεται το πλήθος των κριτηρίων στην κλάση ισοδυναμίας i και ως $r_i = r_{i-1} + n_i$ ορίζεται η σχετική θέση της κλάσης i στην κατάταξη $r_0 = 0$ (Δούμπος, 2009).

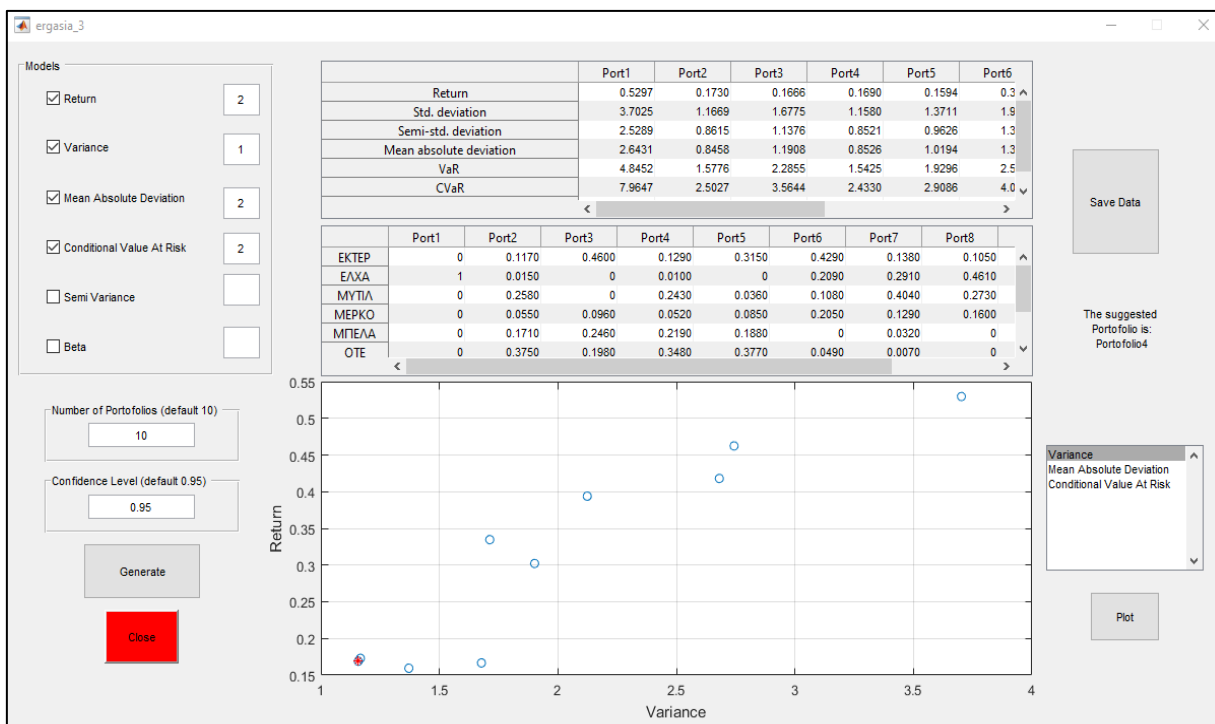
Τα βάρη που προσδιορίζονται κατά τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω αναφέρονται ως βάρη ROC (rank-order centroid) (Barron & Barrett, 1996). Αυτή η διαδικασία αποδίδει υψηλή βαρύτητα στα κριτήρια που κατατάσσονται στις πρώτες θέσεις σημαντικότητας. Παρακάτω στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα βάρη ROC για διαφορετικά πλήθη κριτηρίων απόφασης (αντικειμενικών συναρτήσεων) από 1 έως 10 (στα στοιχεία του πίνακα θεωρείται ότι το πλήθος των κλάσεων ισοδυναμίας R είναι ίσο με το πλήθος των κριτηρίων):

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$w_{(1)}$	0.7500	0.6111	0.5208	0.4567	0.4083	0.3704	0.3397	0.3143	0.2929
$w_{(2)}$	0.2500	0.2778	0.2708	0.2567	0.2417	0.2276	0.2147	0.2032	0.1929
$w_{(3)}$		0.1111	0.1458	0.1567	0.1583	0.1561	0.1522	0.1477	0.1429
$w_{(4)}$			0.0625	0.0900	0.1028	0.1085	0.1106	0.1106	0.1096
$w_{(5)}$				0.0400	0.0611	0.0728	0.0793	0.0828	0.0846
$w_{(6)}$					0.0278	0.0442	0.0543	0.0606	0.0646
$w_{(7)}$						0.0204	0.0335	0.0421	0.0479
$w_{(8)}$							0.0156	0.0262	0.0336
$w_{(9)}$								0.0123	0.0211
$w_{(10)}$									0.0100

Πίνακας 3.9: Βάρη ROC (Δούμπος, 2009)

Στο Σχήμα 3.10 επιλέχθηκε να δοθεί η υψηλότερη βαρύτητα στην διακύμανση – Variance (βαθμός 1) και μια δευτερεύουσα σημασία στην απόδοση – Return (βαθμός 2) στην μέση απόλυτη απόκλιση – Mean-Absolute-Deviation (βαθμός 2) καθώς και στην υπό συνθήκη αξία σε κίνδυνο – Conditional-Value-at-Risk (βαθμός 2). Τρέχοντας ξανά την πολυκριτήρια βελτιστοποίηση βλέπουμε ότι το προτεινόμενο χαρτοφυλάκιο σύμφωνα με τις προτιμήσεις που ορίστηκαν νωρίτερα είναι το 4 (Port4) ενώ παρουσιάζεται και η ακριβή θέση του πάνω στο γράφημα Απόδοσης – Κινδύνου με κόκκινο αστερίσκο συγκριτικά με τα υπόλοιπα χαρτοφυλάκια που δημιουργήθηκαν.

Ο χρήστης μετά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα των δυο πινάκων σε αρχείο excel της επιλογής του μέσω του Save Data.



Σχήμα 3.10: Επιλογή του καταλληλότερου χαρτοφυλακίου βάσει της ιεράρχησης των κριτηρίων απόφασης

Κεφάλαιο 4^ο

Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές

Σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται αντιληπτό το πόσο σημαντικό είναι η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου. Έτσι με τη βοήθεια του εργαλείου που κατασκευάστηκε δίνεται η δυνατότητα σε εξειδικευμένους αλλά και μη χρήστες να κάνουν ανάλυση των δεδομένων και μελέτη των διάφορων εναλλακτικών με σκοπό την εύρεση μιας βέλτιστης λύσης για να επενδύσουν. Όπως είδαμε και νωρίτερα αυτό το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο εξάγεται από τη διαδικασία της πολυκριτήριας βελτιστοποίησης μέσω των επιλογών και προτιμήσεων του χρήστη.

Με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν, θα μπορούσαμε να διακρίνουμε τις μελλοντικές προοπτικές και επεκτάσεις που θα μπορούσαν να επεκτείνουν το μοντέλο και να δώσουν περισσότερες επιλογές στον επενδυτή είναι οι ακόλουθες.

Κάποιες μικροαλλαγές που θα μπορούσαν να γίνουν για να βελτιώσουν την παρούσα έκδοση είναι η δυνατότητα αυτοματοποιημένης ανάκτησης δεδομένων μέσα από πηγές που είναι διαθέσιμες στο διαδίκτυο καθώς και η δυνατότητα πραγματοποίησης εξειδικευμένων αναλύσεων για πιο απαιτητικούς και εξειδικευμένους χρήστες. Άλλη μια τροποποίηση που θα μπορούσε να γίνει είναι η μετατροπή του παρόντος συστήματος σε εκτελέσιμο αρχείο ώστε να λειτουργεί χωρίς την υποστήριξη του εργαλείου της MATLAB. Επίσης θα μπορούσε να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να καθορίζει περισσότερες επιλογές και παραμέτρους για να προσαρμόζει τις αναλύσεις στις δίκες του ανάγκες και προτιμήσεις.

Βιβλιογραφία

- Rockafellar, T. R., & Uryasev, S. (2002). Conditional value-at-risk for general loss distributions. *Journal of Banking & Finance* 26, 1443–1471.
- Barron, F. H., & Barrett, B. E. (1996). Decision Quality Using Ranked Attribute Weights. *Management Science* 42, 1515-1525.
- Blackman, A. (2014). *The Main Types of Business Risk*. Ανάκτηση από Τοποθεσία Web της tutstplus: <https://business.tutstplus.com/tutorials/the-main-types-of-business-risk--cms-22693>
- Caouette, J. B., Altman, E. I., Narayanan, P., & Nimmo, R. (2008). Managing Credit Risk, The Great Challenge for the Global Financial Markets. *John Wiley & Sons 2nd Ed.*, 628.
- Claude, E. B., Campbell, H. R., & Tadas, V. E. (1995). Country Risk and Global Equity Selection. *The Journal of Portfolio Management* 21(2), 2-10.
- Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2014). *Multicriteria Analysis in Finance*. Berlin-Heidelberg: Springer.
- Dowd, K. (2005). *Measuring Market Risk*. The Atrium, Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons.
- Hendricks, D. (1996). Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data. *Federal Reserve Bank of New York - Economic Policy Review* 2(1), 39-69.
- Jorion, P. (2006). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*. McGraw-Hill Education; 3rd edition.
- Kambhu, J., Schuermann, T., & Stiroh, K. J. (2007). Hedge funds, financial intermediation, and systemic risk. *Federal Reserve Bank of New York - Economic Policy Review* 13(3), 1-18.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press.
- Krokhmal, P., Palmquist, J., & Uryasev, S. (2001). Portfolio Optimization with Conditional Value-at-Risk Objective and Constraints, *Journal of Risk* 4(2), 43-68.
- Linsmeier, T. J., & Pearson, N. D. (2000). Value at Risk. *Association for Investment Management and Research*, 47-67.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Oberuc, R. E. (2003). *Dynamic Portfolio Theory and Management*. United States of America: Irwin Library of Investment Finance.
- Power, M. (2003). The Invention of Operational Risk. *London School of Economics and Political Science*, 1-24.
- R. Mansini, W. Ogryczak, & M. G. Speranza (2014). Twenty years of linear programming-based portfolio optimization. *European Journal of Operational Research* 234(2), 518-535.

- Reilly, F., & Brown, K. (2000). *Investment Analysis & Portfolio Management*. Sargodha: Mudassar Hassan.
- Silva, L. P. (2017). Portfolio optimization using Mean Absolute Deviation (MAD) and Conditional Value-at-Risk (CVaR). *Universidade Federal de São Carlos, Production*, 27, <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.208816>.
- Viral V. Acharya, L. H. (2010). Measuring Systemic Risk. *Croatian National Bank*, 1-47.
- Δούμπος, Μ. (2009). *Πολυκριτήρια Συστήματα Αποφάσεων*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Δούμπος, Μ. (2017). *Μαθηματικός Χρηματοοικονομικός Λογισμός*. Χανιά: Σημειώσεις Μαθήματος.