

**Πανεπιστήμιο Πειραιώς**  
**Τμήμα Χρηματοοικονομικής και Τραπεζικής**  
**Διοικητικής**



**Χρηματοοικονομική Ανάλυση για Στελέχη**

**Διπλωματική Εργασία**

***«Κρυπτονομίσματα από την πλευρά του επενδυτή»***

**Ράπτης Παναγιώτης**  
(ΜΧΑΝ 1725)

**Επιβλέπων:** Καθηγητής Γ. Σκιαδόπουλος

**Επιτροπή Εξέτασης:** Καθηγητής Γ. Σκιαδόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής Μ. Ανθρωπέλος

Καθηγητής Χ. Στεφανάδης

# Εισαγωγή

Τα ψηφιακά νομίσματα από την γέννηση τους έχουν τεθεί υπό αμφισβήτηση από πλήθος οικονομικών παραγόντων, κυβερνήσεις, κεντρικές τράπεζες, στελέχη τραπεζών και επιχειρήσεων, θεσμικούς επενδυτές καθώς δεν διέπονται από ένα κανονιστικό πλαίσιο που θα περιορίσει και θα ελέγξει το φάσμα της χρησιμότητάς τους, την ποσότητα τους και την λειτουργία τους. Έχουν αμφισβητηθεί επίσης και ως χρηματοπιστωτικά προϊόντα αφού ελοχεύουν υψηλό νομοθετικό ρίσκο (*regulatory risk*) καθώς οι κυβερνήσεις ενδέχεται να θεσπίσουν νόμους για να ελέγξουν, να φορολογήσουν ή και να απαγορεύσουν τη χρήση τους. Η υψηλή μεταβλητότητα των τιμών των κρυπτονομισμάτων προσδιορίζει και το εύρος των δυνητικών τους αποδόσεων και οι τιμές τους ενδέχεται να εκτοξευθούν σε μικρό χρονικό διάστημα από το ναδίρ στο ζενίθ και αντίστροφα. Αυτό λοιπόν το εγχείρημα προσπαθούμε να εξετάσουμε στην παρούσα έρευνα προσεγγίζοντάς το από την οπτική ενός παραδοσιακού επενδυτή ακολουθώντας μια ολοκληρωμένη στρατηγική ανάλυση χαρτοφυλακίου.

## Λέξεις κλειδιά:

Κρυπτονομίσματα

Blockchain

Spanning test

Generalized method of moments (GMM)

Άριστη κατανομή του πλούτου

Full scale optimization

Συνάρτηση χρησιμότητας

In and out of sample ανάλυση

## **Abstract**

Digital coins since their birth have been questioned by a number of economic actors, governments, central banks, bank and business executives, institutional investors as they are not governed by a regulatory framework that will limit and control their range of utility, and their operation. They have also been challenged as financial products since they have a high regulatory risk as governments may introduce laws to control, tax or even prohibit their use. The high variability of cryptocurrencies values also determines the range of potential yields, and their values may be ejected in a short period of time from the lower point to the upper and vice versa. This is why we venture to look into this research by approaching it from the perspective of a traditional investor following an integrated strategic portfolio analysis.

### **Keywords:**

Cryptocurrencies

Blockchain

Spanning test

Generalized method of moments (GMM)

Asset allocation

Full scale optimization

Utility function

In and out of sample analysis

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup></b> .....	6
Κρυπτονομίσματα, Blockchain Technology & Mining .....	6
1.1    Εισαγωγή.....	6
1.2    Ορισμός και Δημιουργία Κρυπτονομισμάτων .....	10
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup></b> .....	15
The Dataset.....	15
2.1    Συλλογή Δεδομένων.....	15
2.2    Κατασκευή και Μεθοδολογία Δεικτών .....	18
2.3    Descriptive Statistics .....	21
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup></b> .....	24
Μεθοδολογία Προσέγγισης .....	24
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup></b> .....	26
Οφέλη Διαφοροποίησης: Testing for spanning.....	26
4.1    Testing for Spanning: Stochastic Discount Factor .....	26
4.1.1    M – V spanning tests .....	28
4.1.2    Non M – V spanning tests .....	29
4.2    Αποτελέσματα Spanning Test .....	32
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup></b> .....	34
Out of Sample Προσέγγιση: Κατασκευή Βέλτιστων Χαρτοφυλακίων .....	34
5.1    Άμεση Μεγιστοποίηση Χρησιμότητας – Mean-Variance VS Full Scale Optimization	35
5.2    Out of Sample – Μέτρα Αξιολόγησης Χαρτοφυλακίου.....	36
<b>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup></b> .....	42
Συζήτηση Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα .....	42
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	47
Πίνακας 1: Descriptive Statistic .....	54
Πίνακας 2: Spanning Test Results.....	55
Πίνακας 3: .....	56
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Power utility function .....	56
Πίνακας 4: .....	57
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Power utility function.....	57
Πίνακας 5: .....	58
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Power utility function .....	58
Πίνακας 6: .....	59
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Power utility function .....	59
Πίνακας 7: .....	60

Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: HFR Blockchain & Cryptocurrencies Index και Power utility function .....	60
Πίνακας 8: .....	61
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Coinbase Index και Power utility function .....	61
Πίνακας 9: .....	62
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Negative Exponential utility function.....	62
Πίνακας 10: .....	63
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Negative Exponential utility function ....	63
Πίνακας 11: .....	64
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Negative Exponential utility function.....	64
Πίνακας 12: .....	65
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Negative Exponential utility function..	65
Πίνακας 13: .....	66
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: HFR Blockchain & Cryptocurrencies Index και Negative Exponential utility function.....	66
Πίνακας 14: .....	67
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Coinbase Index και Negative Exponential utility function.....	67
Πίνακας 15: .....	68
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Power utility function .....	68
Πίνακας 16: .....	68
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Power utility function.....	68
Πίνακας 17: .....	69
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Power utility function .....	69
Πίνακας 18: .....	69
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Power utility function .....	69
Πίνακας 19: .....	70
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Negative Exponential utility function.....	70
Πίνακας 20: .....	70
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Negative Exponential utility function ....	70
Πίνακας 21: .....	71
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Negative Exponential utility function.....	71
Πίνακας 22: .....	71
Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Negative Exponential utility function..	71

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Κρυπτονομίσματα, Blockchain Technology & Mining

### 1.1 Εισαγωγή

Προσεγγίζοντας τις επενδυτικές αποφάσεις για την καταλληλότερη επιλογή των περιουσιακών στοιχείων ενός χαρτοφυλακίου εξετάζουμε την περίπτωση των κρυπτονομισμάτων ως εναλλακτική μορφή επένδυσης, καθώς η χρήση τους πλέον τα καθίστα ως μια νέα κατηγορία περιουσιακών στοιχείων για κερδοσκοπικές επενδύσεις και λιγότερο ως εναλλακτικά νομίσματα για την αγορά αγαθών και υπηρεσιών (Dirk G., et al., 2015), σε αυτό συνέβαλαν οι υπέρμετρες αποδόσεις που προσφέρουν, παρά την υψηλή μεταβλητότητα τους, αλλά και η πολύ χαμηλή συσχέτιση σε σχέση με άλλες κατηγορίες περιουσιακών στοιχείων όπως μετοχές, ομολόγια και εμπορεύματα, προσδίδοντας με αυτόν τον τρόπο δυνητικά οφέλη διαφοροποίησης στον επενδυτή. Ως χρηματοπιστωτικό μέσο τα ψηφιακά νομίσματα επιτρέπουν στους επενδυτές ελευθερία στην μεταφορά των κεφαλαίων τους και αξία αποθήκευσης του πλούτου τους (storage value), χωρίς περιορισμούς από ρυθμιστικές αρχές, συνδυάζοντας έτσι χαρακτηριστικά ενός νομίσματος αλλά και ενός εμπορεύματος (cryptocommodity) καθώς χρησιμοποιούνται και ως μέσο ανταλλαγής. Σε αντίθεση όμως με τα υπόλοιπα “fiat” νομίσματα τα κρυπτονομίσματα δεν έχουν εσωτερική αξία αφού δημιουργούνται απλά ως απόδειξη εργασίας (proof-of-work) των μελών του δικτύου Blockchain επίσης δεν αποδίδουν μέρος ή τόκους συνέπως η άνοδος της τιμής τους ή η πτώση της θα αποφέρει και τις ανάλογες αποδόσεις. Εμπειρικές μελέτες διαπιστώνουν αρχικά ότι οι τιμές των κρυπτονομισμάτων επηρεάζονται από την ορμή (momentum) της αγοράς αλλά και από την αποδοχή των επενδυτών προς αυτά (Liu and Tsyvinski, 2018), θέτοντας υπό αμφισβήτηση παράγοντες όπως το κόστος της ψηφιακής εξόρυξης (mining) ή την πραγματοποιηθείσα μεταβλητότητα των αποδόσεων τους. Οι Corbet, Lucey και Yarovaya (2018) εξετάζοντας το Bitcoin και το Ethereum για ένα βραχυχρόνιο διάστημα συζητούν την ιδέα ότι οι εσωτερικές θεμελιώδεις επεξηγηματικές μεταβλητές των κρυπτονομισμάτων ενδέχεται να επηρεάσουν τις τιμές τους και να

δημιουργήσουν τις συνθήκες και το περιβάλλον στο οποίο θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια «φούσκα» στην τιμολόγηση τους. Ενώ οι Buraschi και Pagnotta (2018) αναγνωρίζουν τη σημασία των θεμελιωδών βασικών αρχών που διέπουν τα κρυπτονομίσματα και μελετούν τη θεωρητική σχέση μεταξύ των τιμών και της υπολογιστικής ισχύος και το μέγεθος του δικτύου Blockchain. Τέλος οι Delikouras et al., (2018) διαπιστώνουν ότι μακροπρόθεσμα υπάρχει θετική και στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των τιμών των κρυπτονομισμάτων και των θεμελιωδών βασικών αρχών τους που αφορούν την υπολογιστική ισχύ, καθώς οι miners ξοδεύουν πραγματικούς πόρους για την λειτουργία και την ασφάλεια του δικτύου Blockchain, το οποίο αντικατοπτρίζεται στην τιμή τους. Τα κρυπτονομίσματα ως περιουσιακό στοιχείο χαρακτηρίζονται από τις υψηλές μεταβολές των τιμών τους, ένα ακόμα στοιχείο που μας παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τις μελλοντικές μεταβολές των τιμών των περιουσιακών στοιχείων είναι ο όγκος των συναλλαγών που πραγματοποιείται (Llorente et. al, 2002) (Διάγραμμα 5). Σύμφωνα με τους Bianchi D., και Dickerson A., (2019) η αγορά των κρυπτονομισμάτων δημιουργεί ένα κατάλληλο περιβάλλον ώστε να κατανοήσουμε το περιεχόμενο των πληροφοριών του όγκου των συναλλαγών αφού πρώτον η διαπραγμάτευση σε ψηφιακά νομίσματα δημιουργεί εγγενώς ετερογενείς αντιλήψεις λόγω της αδιαφάνειας στην ροή πληροφοριών, καθώς τα κρυπτονομίσματα διαπραγματεύονται σε εξωχρηματιστηριακές πλατφόρμες συναλλαγών, για τον λόγο αυτόν οι συναλλαγές δεν είναι παρατηρήσιμες από τους επενδυτές, δεύτερον η έλλειψη ελέγχου από ρυθμιστικές αρχές αποτρέπει μεγάλους θεσμικούς επενδυτές να συμμετέχουν στην εν λόγω αγορά, ως εκ τούτου μεμονωμένοι επενδυτές διαμορφώνουν τον όγκο των συναλλαγών και τρίτον η αγορά των κρυπτονομισμάτων είναι συνεχής συνεπώς η νέα πληροφορία ενσωματώνεται απευθείας στην τιμή χωρίς να υπάρχουν απότομες διακυμάνσεις όταν η αγορά είναι κλειστή. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο όγκος των συναλλαγών είναι ένα στοιχείο που αντανάκλα πολύ διαφορετικά και συνεχώς ενημερωμένα σύνολα πληροφοριών, καθώς επίσης κίνητρα και πεποιθήσεις μεμονωμένων επενδυτών. Οι συνέπειες μιας τέτοιας ετερογένειας δεν είναι καθόλου προφανείς. Οι Bianchi D., και Dickerson A., (2019) χρησιμοποιώντας ένα εκτεταμένο σύνολο δεδομένων καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο όγκος των συναλλαγών των κρυπτονομισμάτων παρέχει πολύτιμες πληροφορίες που μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο για την κατανόηση των μελλοντικών μεταβολών των τιμών στην συγκεκριμένη αγορά. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα το οποίο μας βοηθά να κατανοήσουμε καλύτερα τους

προσδιοριστικούς παράγοντες που διαμορφώνουν τις τιμές των κρυπτονομισμάτων αποτελεί η περίοδος της εκρηκτικής ανόδου της τιμής του Bitcoin και των υπολοίπων altcoins τα τέλη του 2017 γνωστή ως «Bitcoin Boom», οι συνθήκες αβεβαιότητας στο παγκόσμιο πολιτικό και οικονομικό σύστημα, το κίνητρο για κερδοσκοπεία αλλά και η προσπάθεια εκροής κεφαλαίων από ελεγχόμενες αγορές οδήγησε στην αύξηση της ζήτησης σε Bitcoin και άλλα κρυπτονομίσματα καθώς η εμπιστοσύνη πίσω από την τεχνολογία Blockchain τα έκανε ελκυστικότερα. Από την άλλη πλευρά η προσπάθεια να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση οδήγησε τους miners στην αύξηση των προμηθειών που λαμβάνουν για την επικύρωση των συναλλαγών και την ασφάλεια του δικτύου με την χρήση πραγματικών πόρων σε ηλεκτρική ενέργεια και υπολογιστική ισχύ το οποίο μετακίνησε στις τιμές των κρυπτονομισμάτων συμβάλλοντας στο ανοδικό κλίμα, το Bitcoin πέτυχε μία αύξηση 2700% από το προηγούμενο έτος, παρασύροντας και τις τιμές των altcoins. Στην συνέχεια από τον Ιανουάριο του 2018 ακολούθησε μία απότομη κατακόρυφη πτώση των τιμών στην αγορά των κρυπτονομισμάτων γνωστή ως «Bitcoin Crash». Οι επισυμάνσεις από στελέχη μεγάλων τραπεζών και θεσμικούς επενδυτές για τους κινδύνους και την αβεβαιότητα που εγκυμονεί η συγκεκριμένη επένδυση, ταυτόχρονα η προσπάθεια περιορισμού από τις κυβερνήσεις με την εφαρμογή διάφορων μέτρων αλλά και η έκδοση των πρώτων futures σε Bitcoin σε μεγάλα χρηματιστήρια παραγωγών οδήγησε σε ένα μαζικό sell off, όπου το Bitcoin έχασε το 65% της αξίας του και η αγορά των κρυπτονομισμάτων απώλεσε 350 δις δολάρια (Διαγράμματα 1 έως 4 και 6). Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι οι προσδιοριστικοί παράγοντες που διαμορφώνουν τις τιμές των κρυπτονομισμάτων είναι ένας συνδυασμός των θεμελιωδών μεταβλητών τους αλλά και των οικονομικών παραγόντων της αγοράς. Οι θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τα κρυπτονομίσματα αφορούν κυρίως την χρησιμότητα του νομίσματος, το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας για mining, την υπολογιστική ισχύ (CPU, GPU), το μέγεθος ή την διάσπαση (fork) του δικτύου Blockchain αλλά και ο περιορισμός στην δημιουργία μεγαλύτερης ποσότητας νέων νομισμάτων σε ένα δίκτυο (π.χ το Bitcoin όπου η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να παραχθεί είναι 21 εκ. νομίσματα). Οι οικονομικοί παράγοντες αφορούν την ζήτηση και την προσφορά για κρυπτονομίσμα, την έλλειψη νομοθετικού πλαισίου, την αβεβαιότητα της συγκεκριμένης αγοράς, τα κερδοσκοπικά κίνητρα, τις παράνομες δραστηριότητες αλλά και την αποδοχή τους από το επενδυτικό κοινό.



Ως εργαλείο διαφοροποίησης ενός χαρτοφυλακίου τα κρυπτονομίσματα αποτελούν μια νέα κατηγορία περιουσιακών στοιχείων η οποία έχει καθιερωθεί τα τελευταία χρόνια στο χρηματοπιστωτικό σύστημα με την δημιουργία του Bitcoin και την μετέπειτα εκρηκτική ανάπτυξη των χιλιάδων νέων δικτύων Blockchain. Εμπειρικές μελέτες έχουν καταλήξει στα δυνητικά οφέλη που αποδίδουν τα κρυπτονομίσματα με την προσθήκη τους σε ένα επενδυτικό χαρτοφυλάκιο, ο Bianchi D., (2018) εξετάζοντας ένα ευρύ φάσμα δεδομένων κατέληξε στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει καμία σχέση μεταξύ των αποδόσεων των κρυπτονομισμάτων και των παραδοσιακών περιουσιακών στοιχείων υπογραμμίζοντας τα οφέλη της διαφοροποίησης, ενώ αντίστοιχα ο Gangwal S., (2016) παρατήρησε ότι με την προσθήκη του Bitcoin σε ένα καλά διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο καταλήγουμε σε μια καλύτερη σχέση απόδοσης/ρίσκου. Παρόμοια οι Lee et al., (2018) και Trautman & Dorman (2018) παρατήρησαν εν δυνάμει οφέλη με την επένδυση σε κρυπτονομίσματα λόγω της χαμηλής συσχέτισης με τα παραδοσιακά περιουσιακά στοιχεία αλλά και των υψηλότερων αποδόσεων των κρυπτονομισμάτων. Οι επενδύσεις σε Bitcoin φαίνεται να προσφέρουν οφέλη διαφοροποίησης σύμφωνα με τους Briere, Oosterlinck και Szafarz (2013), οι οποίοι μελέτησαν επίσης τις συσχετίσεις μεταξύ του Bitcoin και άλλων κατηγοριών περιουσιακών στοιχείων. Παράλληλα οι Makaron και Schoar (2018) μελετώντας τις τιμές των κρυπτονομισμάτων παρατήρησαν ευκαιρίες για arbitrage σε σχέση με τα “fiat” νομίσματα μεταξύ των εξωχρηματιστηριακών αγορών διαπραγμάτευσης, όπως επίσης και οι Gandal και Halaburda (2014) όπου μελέτησαν τις ισοτιμίες μεταξύ των κρυπτονομισμάτων και εντόπισαν ευκαιρίες τριγωνικού arbitrage.

Τα κρυπτονομίσματα είναι μέχρι στιγμής περιορισμένα ως εναλλακτική μορφή επένδυσης κύριως λόγω της έλλειψης μιας καθολικής αποδοχής τους ως μέσα συναλλαγών αλλά και λόγω του υψηλού ρίσκου από τις απότομες διακυμάνσεις των τιμών τους. Ωστόσο οι προσδοκίες εκτιμούν ότι θα υπάρξει αύξηση τόσο των συναλλαγών με κρυπτονομίσματα αλλά και της χρήσης τους από τράπεζες και εταιρείες στο παγκόσμιο χρηματοπιστωτικό σύστημα, χαρακτηριστικά παραδείγματα του Ethereum και του Ripple όπου οι τεχνολογικές καινοτομίες που εμπεριέχουν στο σύστημα συναλλαγών έχουν υιοθετηθεί από πλήθος χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων. Η καινοτομία των ψηφιακών νομισμάτων οφείλεται στην όλο και μεγαλύτερη εξάρτηση του διαδικτύου στις καθημερινές συναλλαγές αλλά και στην προσπάθεια απεξάρτησης από τα ελεγχόμενα “fiat” νομίσματα που δημιουργούν πολλούς

περιορισμούς στην ελεύθερη οικονομία και ελέγχονται από τις κεντρικές τράπεζες προκειμένου να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες επιτευχθεί χαμηλού πληθωρισμού και οικονομικής ανάπτυξης. Οι ιδιότητές τους τα κάνουν απολύτως ανθεκτικά στις πληθωριστικές πιέσεις που ασκούνται σε μια οικονομία αλλά και σε ενδεχόμενες οικονομικές κρίσεις, καθώς το δίκτυο καθορίζει το τρόπο δημιουργίας τους. Ταυτόχρονα εμπεριέχουν υψηλό νομοθετικό ρίσκο αφού οι κυβερνήσεις και οι κεντρικές τράπεζες προσπαθούν να επιβληθούν στην εν λόγω αγορά, η θεσμική αυτή αβεβαιότητα θα μπορούσε να επιφέρει εν δυνάμει κινδύνους από μια τέτοια επένδυση. Τέλος η καθιέρωση τους ολοένα και εδραιώνεται με την πρόσφατη εισαγωγή των πρώτων συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης σε Bitcoin σε δυο από τα μεγαλύτερα χρηματιστήρια διαπραγμάτευσης, το Chicago Mercantile Exchange (CME) και το Chicago Board Options Exchange (CBOE), την κατασκευή πλήθους δεικτών που αφορούν την συνολική επένδυση σε κρυπτονομίσματα όπως οι δείκτες HFR Blockchain και Cryptocurrency index, ο Coinbase index, ο Bloomberg Galaxy crypto index, ο CCI30 και πολλοί άλλοι, καθώς επίσης η δημιουργία χιλιάδων σημείων ATM κρυπτονομισμάτων όπου μπορεί ο καθένας να πραγματοποιήσει ανώνυμα συναλλαγές αλλά και η δημιουργία των πρώτων debit card σε Bitcoin. Πριν εξετάσουμε τα κρυπτονομίσματα από την πλευρά του επενδυτή θα πρέπει πρώτα να προσεγγίσουμε τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται.

## **1.2 Ορισμός και Δημιουργία Κρυπτονομισμάτων**

Το κρυπτονομίσμα είναι ένα ψηφιακό περιουσιακό στοιχείο που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί ως μέσο ανταλλαγής, χρησιμοποιεί ισχυρές μεθόδους κρυπτογραφίας για την εξασφάλιση και επαλήθευση οικονομικών συναλλαγών μεταξύ των μελών ενός δικτύου και χρησιμοποιεί έναν αποκεντρωμένο έλεγχο σε αντίθεση με τα υπόλοιπα νομίσματα τα οποία ελέγχονται από μία κεντρική αρχή.

Ο αποκεντρωμένος έλεγχος κάθε κρυπτονομίσματος λειτουργεί μέσω της κατανεμημένης τεχνολογίας καθολικού, γνωστή ως Blockchain, που χρησιμεύει ως βάση δεδομένων των οικονομικών συναλλαγών που πραγματοποιούνται. Το πρώτο αποκεντροποιημένο ψηφιακό νόμισμα ήταν το Bitcoin το οποίο κυκλοφόρησε ως λογισμικό ανοιχτού κώδικα το 2009, κατόπιν μετά την κυκλοφορία του έχουν δημιουργηθεί πάνω από 4000 εναλλακτικές παραλλαγές (altcoins).

## Blockchain Technology

Η τεχνολογία Blockchain είναι ουσιαστικά μια κατακεντρωμένη βάση δεδομένων, η οποία διατηρεί αμετάβλητο ένα καθολικό δημόσιο βιβλίο εγγραφών όλων των συναλλαγών που πραγματοποιούνται μεταξύ των μελών ενός δικτύου. Το Blockchain επιτρέπει την εγγραφή, με χρονική σειρά, όλων αυτών των συναλλαγών και κάθε μέλος (κόμβος) στο δίκτυο είναι υπεύθυνος για τη συντήρηση και τη συνεχή επαλήθευση τους. Η τεχνολογία Blockchain περιλαμβάνει την δημιουργία ψηφιακών νομισμάτων (tokens) για ψηφιακά αρχεία, όπως έγγραφα ή συναλλαγές. Αυτές οι ψηφιακές μάρκες μπορούν να θεωρηθούν ως ψηφιακά δακτυλικά αποτυπώματα των αρχείων. Αυτά τα δακτυλικά αποτυπώματα αποθηκεύονται σε ομάδες που ονομάζονται "blocks". Τα μεμονωμένα block συνδέονται έπειτα σε μια αλυσίδα από blocks και κάθε επόμενο block έχει ψηφιακό διακριτικό από το προηγούμενο μπλοκ. Αυτό καθίσταται αδύνατη την τροποποίηση των πληροφοριών σε ένα παλιό block στην αλυσίδα προσθέτοντας μόνο νέα μπλοκ. Η κύρια ιδέα πίσω από την τεχνολογία Blockchain είναι η εγγραφή, η επικύρωση και η μεταφορά κάθε είδους συμβολαίων και περιουσιακών στοιχείων χωρίς την ανάγκη οποιουδήποτε διαμεσολαβητή. Η πρώτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε το 2008 από ένα ανώνυμο άτομο ή ομάδα γνωστό ως Satoshi Nakamoto με την δημοσίευση ενός paper με τίτλο «*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*». Το Bitcoin γεννήθηκε όταν ο Satoshi Nakamoto έλυσε ένα σύνθετο πρόβλημα που εξασφάλιζε ότι σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή θα μπορούσε να μεταφερθεί ένα block περιουσιακών στοιχείων σε ένα μόνο άτομο, χωρίς την ανάγκη ελέγχου από κάποιον τρίτο. Μετά το 2009 εδραιώθηκε η έννοια του κατακεντρωμένου Blockchain ως ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και ως η βασική συνιστώσα του πρώτου ψηφιακού νομίσματος, *Bitcoin*.

Το Blockchain έχει δημιουργήσει νέες δυνατότητες εφαρμόζοντας την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία, για να λειτουργήσει όρθα ένα σύστημα όπως αυτό του ηλεκτρονικού χρήματος, χωρίς εποπτεία από κεντρικές αρχές, θα πρέπει να θεσπιστούν μέτρα για την ασφάλεια και την πρόληψη των συναλλαγών του δικτύου από πλαστογράφιση δεδομένων, αλλοίωση πληροφοριών σχετικά με τις πληρωμές και επιθέσεις από κακόβουλους χρήστες. Για να συμβεί αυτό έχουν εσωματωθεί στο Blockchain σημαντικές τεχνολογίες για την εύρυθμη λειτουργία του (*peer-to-peer network, hash algorithms, proof-of-work και proof-of-stake*).

- *Peer-to-peer network*: Είναι ένα δίκτυο, μια ομάδα υπολογιστών, κάθε μία από τις οποίες λειτουργεί ως κόμβος για την κοινή χρήση αρχείων εντός της ομάδας. Αντί να υπάρχει ένας κεντρικός διακομιστής για να λειτουργεί ως κοινόχρηστος δίσκος, κάθε υπολογιστής λειτουργεί ως διακομιστής για τα αρχεία που είναι αποθηκευμένα σε αυτόν. Όταν ένα δίκτυο P2P δημιουργείται μέσω του Διαδικτύου, δημιουργείται ένα καταναμημένο δίκτυο όπου η κοινή χρήση των αρχείων διαιρείται μεταξύ όλων των χρηστών του δικτύου που αποθηκεύουν ένα δεδομένο αρχείο.
- *Hash algorithms*: Η τεχνολογία Blockchain βασίζεται εκτεταμένα σε hash συναρτήσεις. Μία hash συνάρτηση είναι ένας μαθηματικός αλγόριθμος που παίρνει μια εισροή δεδομένων και μετατρέπει την σε μια εκροή. Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της είναι η εξαιρετικά δύσκολη αναδημιουργία των δεδομένων εισόδου από την εκροή της μόνο. Ο μηχανισμός αυτός χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι λαμβάνεται η ίδια τιμή εξόδου από τα ίδια δεδομένα εισόδου και μία μικρή διαφορά στα αρχικά δεδομένα θα οδηγήσουν σε εντελώς διαφορετική τιμή εξόδου. Αξιοποιώντας τα χαρακτηριστικά αυτά η συνάρτηση hash χρησιμοποιείται για την αντίχρευση παραποίησης δεδομένων. Οι πιο γνωστές συναρτήσεις hash είναι οι SHA-256 και η Scrypt.
- *Proof-of-work*: Η απόδειξη εργασίας αναφέρεται γενικά σε έναν μηχανισμό που χρησιμοποιείται από τους miners, είναι ένα πρωτόκολλο που έχει σχεδιαστεί κυρίως για την πρόληψη και την αποτροπή επιθέσεων στο δίκτυο του Blockchain, στην πραγματικότητα έχει ένα υπερβολικό κόστος και απαιτεί πόρους σε υπολογιστική ισχύ, ενέργεια και χρόνο. Το PoW επιτρέπει μια συναίνεση για το ότι οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται δε χρειάζονται τον έλεγχο και την εμπλοκή τρίτων για την αποστολή ή τη λήψη περιουσιακών στοιχείων. Οι miners θα πρέπει μόνο να επαληθεύσουν ότι μία συναλλαγή είναι επιτυχής, βεβαιώνοντας ότι είναι καταγεγραμμένη στο Blockchain. Συγκεκριμένα, στο PoW πρωτόκολλο επιλύονται εξαιρετικά δύσκολα μαθηματικά προβλήματα, μέσω μίας διαδικασίας που ονομάζεται Mining, η οποία χρησιμοποιείται για να καταγράψει μια νέα ομάδα συναλλαγών στο Blockchain. Οι miners ελέγχουν ότι αυτές οι συναλλαγές είναι νόμιμες. Αυτό γίνεται μέσω επίλυσης ενός πολύπλοκου μαθηματικού προβλήματος, ο πρώτος miner που θα επιλύσει το πρόβλημα ενός “block”

ανταμείβεται με την έκδοση ενός Bitcoin από το πρωτόκολλο ως απόδειξη της εργασίας του. Το Bitcoin και η πλειοψηφία των κρυπτονομισμάτων εκδίδονται βάση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου.

- *Proof-of-Stake*: Η απόδειξη συμμετοχής είναι και αυτό ένα πρωτόκολλο επικύρωσης συναλλαγών μιας κατανεμημένης συναίνεσης όπως το proof-of-work. Το Proof-of-Stake εκτελείται από τους miners που στοιχηματίζουν ένα αριθμό νομισμάτων σε ένα block για να ελέγξουν τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται εντός του. Ο miner ο οποίος θα επικυρωσει τις συναλλαγές του block επιλέγεται με ντετερμινιστικό τρόπο μέσα από τον αλγόριθμο, και η επιλογή βασίζεται στην ποσότητα των νομισμάτων που κατέχει, καθώς και σε άλλους παράγοντες ανάλογα τον τρόπο κατασκευής του αλγορίθμου. Το κίνητρο συμμετοχής είναι η πληρωμή που λαμβάνει ο miner με την μορφή προμήθειας για την επικύρωση της συναλλαγής και την προσθήκη ενός νέου block. Το PoS μειώνει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας και την απαίτηση υπολογιστικής ισχύς, ισχυρά νομίσματα όπως το Peercoin, το Cardano και το Ethereum βασίζονται στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο.

## **Mining**

Στα δίκτυα των κρυπτονομισμάτων το mining αποτελεί στην ουσία την επιβεβαίωση των συναλλαγών. Ως ανταμοιβή της εργασίας τους οι miners αποκτούν στην κατοχή τους νέα κρυπτονομίσματα. Η ανταμοιβή αυτή που εισπράτουν προκύπτει από την επίλυση σύνθετων αλγορίθμων μέσω της υπολογιστικής ισχύς που διαθέτουν (CPU και GPU) ως ξεχωριστοί κόμβοι ενός δικτύου. Κάθε συναλλαγή μέσα στο Blockchain μεταξύ των μελών επικυρώνεται και ασφαρίζεται μέσω της κρυπτογραφικής συνάρτησης *hash* η οποία είναι στην ουσία μια μαθηματική συνάρτηση που δέχεται ως είσοδο μία ομάδα αυθαίρετου μεγέθους δεδομένων και αποδίδει ως έξοδο μία καθορισμένου μεγέθους σειρά στοιχείων, η έξοδος αυτή δεν μπορεί να αντιστραφεί και να παράγει την αρχική είσοδο, η διαδικασία αυτή αποτελεί στην ουσία μια ψηφιακή υπογραφή η οποία βρίσκει εφαρμογή στην ασφάλεια των πληροφοριών, στην περίπτωση του Blockchain χρησιμοποιείται ως πιστοποίηση της αυθεντικότητας των συναλλαγών. Πρακτικά όταν πραγματοποιείται μία συναλλαγή μεταξύ δύο μελών

ενός δικτύου Blockchain αυτή θα πρέπει να επικυρωθεί από τα υπόλοιπα μέλη του δικτύου. Η συναλλαγή αυτή καταγράφεται σε ένα block και «σφραγίζεται» μέσω της μίας hash συνάρτησης και θα πραγματοποιηθεί όταν επικυρωθεί από το δίκτυο. Η συνάρτηση hash παράγει μια καθορισμένη σειρά δεδομένων από μια αυθαίρετη είσοδο την οποία γνωρίζει μόνο ο κόμβος που πραγματοποιεί την συναλλαγή, στην συνέχεια οι υπόλοιποι κόμβοι του Blockchain θα πρέπει μέσω πολύπλοκων μαθηματικών αλγορίθμων να επιλύσουν το αρχικό πρόβλημα της συνάρτησης hash, η διαδικασία αυτή ονομάζεται mining, ο πρώτος κόμβος που θα επιλύσει πρώτος το πρόβλημα θα επικυρώσει την συναλλαγή και το συγκεκριμένο block θα προστεθεί στην υπόλοιπη αλυσίδα προηγούμενων block δημιουργώντας μία αλυσίδα, ως ανταμοιβή για την εργασία το σύστημα παράγει ένα νέο νόμισμα (π.χ. Bitcoin) το οποίο το λαμβάνει ο κόμβος που έκανε και την επικύρωση, το κάθε νέο νόμισμα περιλαμβάνει το ψηφιακό αποτύπωμα των προηγούμενων νομισμάτων αυτό συμβαίνει ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε αλλοίωση στα block των συναλλαγών. Με την παραπάνω διαδικασία παράγεται το ψηφιακό νόμισμα, η συνεχής ανάπτυξη νέων δικτύων blockchain έχει δημιουργήσει νέους πιο ευέλικτους τρόπους επικύρωσης των συναλλαγών όπως το proof-of-stake ή το πρωτόκολλο Ripple.

# Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

## The Dataset

### 2.1 Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από διαφορετικές πηγές λόγω της ιδιαιτερότητας των περιουσιακών στοιχείων. Τα δεδομένα αφορούν αρχικά τον αμερικάνικο μετοχικό δείκτη *S & P500 Total Return Index* και τον ομολογιακό δείκτη *Bank of America Merrill Lynch US Bond Index* των οποίων οι τιμές αντλήθηκαν από την πλατφόρμα *Bloomberg*, και καλύπτουν το διάστημα από τον Άγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018, με ημερήσια και μηνιαία συχνότητα καθαρών αποδόσεων ( $R_i = (P_t - P_{t-1}) / P_{t-1}$ ). Επίσης και ένα δεύτερο δείγμα μηνιαίων αποδόσεων των ιδίων δεικτών από τον Ιανουάριο του 2015 έως Δεκέμβριο του 2018 που αφορά την κατασκευή χαρτοφυλακίων για την εξέταση της διαφοροποίησης με την προσθήκη δεικτών που εμπεριέχουν κρυπτονομίσματα. Ως απόδοση μηδενικού κινδύνου λήφθηκε υπ' όψιν το μηνιαίο *Libor*. Τα ιστορικά δεδομένα που αφορούν τα κρυπτονομίσματα αναρτώνται σε ιστοσελίδες που σχετίζονται με την εν λόγω αγορά και συλλέγουν τις τιμές των κρυπτονομισμάτων από τις εξωχρηματιστηριακές αγορές διαπραγμάτευσης (*bitfinex*, *binance*, *coinbase* κ.α). Οι τιμή και η ποσότητα κάθε νομίσματος καθορίζεται από το δίκτυο και από τις δυνάμεις προσφοράς και ζήτησης και δεν ελέγχονται ούτε περιορίζονται από αρμόδιους εποπτικούς φορείς. Επίσης η διαπραγμάτευση των ψηφιακών νομισμάτων είναι συνεχής, 365 μέρες τον χρόνο συμπεριλαμβανομένων των αργιών. Τα ιστορικά δεδομένα των τιμών τους αντλήθηκαν από την *coinmarketcap.com* όπου αποτελεί την μεγαλύτερη ιστοσελίδα ενημέρωσης για τις τιμές των κρυπτονομισμάτων. Η τιμή κάθε κρυπτονομίσματος υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν τον μέσο σταθμισμένο όρο κάθε ζεύγους τιμών από κάθε αγορά διαπραγμάτευσης, η στάθμιση βασίζεται στον όγκο συναλλαγών της αγοράς, όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό του όγκου που συνεισφέρει το κάθε ζεύγος, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή του στη μέση τιμή. Το σκεπτικό για τη χρήση ενός σταθμισμένου μέσου όρου είναι ότι, οι αγορές με μεγαλύτερο όγκο έχουν υψηλότερη ρευστότητα και είναι λιγότερο επιρρεπείς στις διακυμάνσεις των τιμών. Συνολικά

περιλαμβάνονται 2.100 νομίσματα όπου συναλλάσσονται σε 16.000 αγορές (Ιανουάριος 2019) και παρουσιάζει την συνολική κεφαλαιοποίηση των κρυπτονομισμάτων (Διάγραμμα 6), καθώς επίσης και στατιστικά τους στοιχεία. Απομονώθηκαν λοιπόν οι τιμές κλεισίματος για τον υπολογισμό των ημερήσιων και των μηνιαίων αποδόσεων ( $r_i = (P_i - P_{i-1}) / P_{i-1}$ ) από τον Άυγουστο του 2013 εως τον Ιούλιο του 2018 για τρία κρυπτονομίσματα το Bitcoin, το Litecoin και το Ripple καθώς επίσης και από τον Αύγουστο του 2015 εως τον Δεκέμβριο του 2018 για το Ethereum.

Η πλειονότητα των ψηφιακών νομισμάτων αναπτύχθηκε κατά το 2014 με την δημιουργία χιλιάδων αποκεντροποιημένων δικτύων Blockchain που εξυπηρετούσαν κατά κύριο λόγο τον ίδιο σκοπό, με διαφορές όμως ως προς την δομή τους. Για τις ανάγκες λοιπόν της παρούσας έρευνας στην διαλογή των νομισμάτων βασικό κριτήριο ήταν η ημερομηνία κυκλοφορίας του κάθε νομίσματος ώστε να έχουμε πρόσβαση σε μεγαλύτερο αριθμό παρατηρήσεων και ασφαλή συμπεράσματα, καθώς επίσης και το μέγεθος της κεφαλαιοποίησή τους. Και τα τέσσερα νομίσματα τα οποία επιλέχθηκαν είναι ενεργά προς διαπραγμάτευση στα διάφορα ανταλακτήρια (Ιανουάριος 2019) και παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρακάτω πλαίσιο ως προς την δομή και την λειτουργία τους.

Release	Currency	Symbol	Founder(s)	Hash algorithm	Informations
2009	Bitcoin	BTC,XBT, ₿	Satoshi Nakamoto	SHA-256d	Το Bitcoin είναι μια από τις πρώτες μορφές ηλεκτρονικού νομίσματος. Πρόκειται για ένα αποκεντρωμένο ψηφιακό νόμισμα χωρίς έλεγχο από καμία κεντρική τράπεζα ή έναν ενιαίο διαχειριστή το οποίο μπορεί να συναλλάσσεται από το χρήστη σε χρήστη στο δίκτυο χωρίς να χρειάζονται μεσάζοντες. Οι συναλλαγές επαληθεύονται από τους κόμβους δικτύου μέσω της κρυπτογράφησης και καταγράφονται σε ένα δημόσιο καταναμημένο βιβλίο που ονομάζεται Blockchain. Το Bitcoin επινοήθηκε από ένα άγνωστο άτομο ή ομάδα ανθρώπων που χρησιμοποίησαν το όνομα Satoshi Nakamoto και το κυκλοφόρησαν ως λογισμικό ανοιχτού κώδικα το 2009. Τα Bitcoins δημιουργούνται ως ανταμοιβή (Proof of work) για μια διαδικασία γνωστή ως εξόρυξη (mining). Μπορούν να ανταλλάσσονται με άλλα νομίσματα, προϊόντα και υπηρεσίες. Ο Bitcoin έχει επικριθεί για τη χρήση του σε παράνομες συναλλαγές, την υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, την αστάθεια των τιμών, τις κλοπές από τα τις διάφορες πλατφόρμες διαπραγμάτευσης αλλά και τη πιθανότητα ότι αποτελεί μια οικονομική φούσκα. Το Bitcoin έχει επίσης χρησιμοποιηθεί ως επένδυση, παρόλο που αρκετοί ρυθμιστικοί οργανισμοί έχουν εκδώσει ειδοποιήσεις προς τους επενδυτές σχετικά με την επικινδυνότητα του. Η συνολική ποσότητα bitcoins που μπορούν να εξορυχθούν είναι 21.000.000 όπου και θα σταματήσει η παραγωγή του. Μέχρι και σήμερα αποτελεί το νόμισμα με την υψηλότερη κεφαλαιοποίηση.



2011	Litecoin	LTC, Ł	Charlie Lee	Scrypt	Το Litecoin είναι ένα ψηφιακό νόμισμα peer-to-peer το οποίο επιτρέπει άμεσες πληρωμές σχεδόν μηδενικού κόστους σε οποιονδήποτε στον κόσμο. Είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο πληρωμών ανοιχτού κώδικα, το οποίο είναι πλήρως αποκεντρωμένο και δεν ελέγχεται από καμία αρχή. Το Litecoin διαθέτει ταχύτερους χρόνους επιβεβαίωσης συναλλαγών και βελτιωμένη αποδοτικότητα αποθήκευσης από το Bitcoin. Με την ουσιαστική υποστήριξη της ψηφιακής βιομηχανίας, τον όγκο του εμπορίου και τη ρευστότητα, το Litecoin είναι ένα αποδεδειγμένο εμπορικό μέσο συμπληρωματικό του Bitcoin.
2015	Ethereum	ETH	Vitalik Buterin	Ethash	Το Ethereum είναι μια αποκεντρωμένη πλατφόρμα που τρέχει έξυπνες συμβάσεις: εφαρμογές που λειτουργούν ακριβώς όπως έχουν προγραμματιστεί χωρίς καμία πιθανότητα απάτης ή παρέμβασης από τρίτους. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν αγορές, να αποθηκεύουν μητρώα χρεών ή υποσχέσεων, να μεταφέρουν κεφάλαια σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν δοθεί στο παρελθόν (όπως μια σύμβαση ή ένα συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης), όλα χωρίς μεσάζοντα χωρίς δηλαδή τον κίνδυνο αντισυμβαλλομένου. Το ethereum δεν δημιουργείται ως ανταμοιβή (Proof of Work) αλλά βασίζεται σε διαφορετικό αλγόριθμο που ονομάζεται Proof of Stake (PoS), η απόδειξη συμμετοχής αφορά την δήλωση ότι ο κάθε κόμβος του Blockchain κατέχει έναν συγκεκριμένο αριθμό νομισμάτων, οι miners λαμβάνουν τις προμηθειές για την δημιουργία ενός νέου κόμβου στο δίκτυο από την εκγυρότητα της δηλώσής τους.
2013	Ripple	XRP	Chris Larsen & Jed McCaleb	ECDSA	Το Ripple είναι ένα σύστημα ακαθάριστων συναλλαγών σε πραγματικό χρόνο. Το δίκτυο δημιουργήθηκε από την εταιρεία Ripple Labs, Inc. για ανταλλαγή νομισμάτων και εμβασμάτων χωρίς περιορισμούς. Βασίζεται σε ένα κατανομημένο πρωτόκολλο ανοιχτού κώδικα και υποστηρίζει τα tokens που αντιπροσωπεύουν τα "fiat" νομίσματα, τα κρυπτονομίσματα, τα εμπορεύματα ή άλλες μονάδες αξίας. Το Ripple επιδιώκει να επιτρέψει ασφαλείς, άμεσες και ελεύθερες παγκόσμιες συναλλαγές οποιουδήποτε μεγέθους χωρίς κόστος, σε αντίθεση με τα χρηματοπιστωτικά δίκτυα - πιστωτικές κάρτες, τράπεζες, PayPal κ.α που επιβάλλουν τέλη και καθυστερήσεις επεξεργασίας συναλλαγών. Το ripple είναι ένα παραδειγμα κεντροποιημένου δικτύου δεν βασίζεται στο PoW ούτε το PoS, είναι ένα pre-mined νόμισμα. Το ripple συνεργάζεται παγκοσμίως με 90 τράπεζες. Η ιδέα είναι να δημιουργηθεί ένα σύστημα άμεσης μεταβίβασης περιουσιακών στοιχείων (π.χ. χρήματα, χρυσός κ.λπ.) το οποίο εγκαθίσταται σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και αποτελεί φθηνότερη, διαφανέστερη και ασφαλέστερη εναλλακτική λύση για τα συστήματα μεταφοράς που χρησιμοποιούν σήμερα οι τράπεζες.

Περιγραφικά Στοιχεία Κρυπτονομισμάτων

Οι δείκτες οι οποίοι λήφθηκαν υπ' όψιν στην ερευνά μας αφορούν την συνολική επένδυση σε κρυπτονομίσματα και σε τεχνολογία Blockchain, ώστε να εξετάσουμε τα οφέλη της διαφοροποίησης πέρα από την συνολική επ'ένδυση σε κρυπτονομίσματα και σε αμοιβαία κεφάλαια που επενδύουν στο Blockchain. Πιο συγκεκριμένα είναι οι δείκτες Coinbase Index, HFR Blockchain Composite Index και HFR Cryptocurrency Index, τα δεδομένα αφορούν τις μηνιαίες αποδόσεις από Ιανουάριο του 2015 έως

Δεκέμβριο του 2018 συγκεντρώνοντας σαράντα οχτώ παρατηρήσεις. Οι ιστορικές τιμές αντλήθηκαν από την πλατφόρμα Bloomberg για τον δείκτη CBI και από τις βάσεις δεδομένων της HFR Research για τους αντίστοιχους δείκτες αμοιβαίων κεφαλαίων.

## **2.2 Κατασκευή και Μεθοδολογία Δεικτών**

Ο δείκτης Coinbase Index κατασκευάστηκε από την Coinbase Inc. η οποία είναι μια ψηφιακή πλατφόρμα ανταλλαγής νομισμάτων όπου οι έμποροι και οι επενδυτές μπορούν να αγοράζουν, να πωλούν και να αποθηκεύουν ψηφιακά νομίσματα. Ο δείκτης CBI παρακολουθεί χρονολογικά τις οικονομικές επιδόσεις όλων των ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων που είναι εισηγμένα προς διαπραγμάτευση στις ΗΠΑ και περιλαμβάνονται στην πλατφόρμα της Coinbase. Δεν υπάρχει σταθερός αριθμός των συμπεριλαμβανομένων νομισμάτων για τον CBI καθώς ο δείκτης περιλαμβάνει το σύνολο των ψηφιακών νομισμάτων που διαπραγματεύονται στην πλατφόρμα και συχνά μεταβάλλεται. Τα στοιχεία του ενεργητικού του CBI σταθμίζονται βάσει των σχετικών κεφαλαιοποιήσεων. Η στάθμιση ενός στοιχείου του δείκτη είναι η κεφαλαιοποίηση του διαιρεμένη με την κεφαλαιοποίηση του συνόλου των συστατικών του στοιχείων. Η κεφαλαιοποίηση της αγοράς κάθε περιουσιακού στοιχείου υπολογίζεται ως η τιμή του περιουσιακού στοιχείου που διαμορφώνεται βάση της προσφοράς και της ζήτησης επί την αντίστοιχη ποσότητα του. Η ποσότητα του κάθε νομίσματος ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός των μονάδων που έχουν εκδοθεί ως ανταμοιβή (proof of work) για τους miners από το πρώτο block της αλυσίδας (Blockchain) του εκάστοτε νομίσματος και συνεχώς αυξάνεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η κεφαλαιοποίηση του. Ο δείκτης αναγνωρίζει τις αυξήσεις αυτές και χρησιμοποιεί το πιο πρόσφατο ποσό προσφοράς κάθε νομίσματος για τον υπολογισμό της κεφαλαιοποίησής του. Η κεφαλαιοποίηση της αγοράς είναι και το πιο αντικειμενικό κριτήριο στην μέτρηση της χρηματοοικονομικής απόδοσης μεταξύ των ψηφιακών νομισμάτων. Η ημερομηνία βάσης του δείκτη είναι η 01/01/2015.

### **Μεθοδολογία δείκτη:**

Το επίπεδο του CBI υπολογίζεται διαιρώντας το άθροισμα της τρέχουσας κεφαλαιοποίησης όλων των στοιχείων ενεργητικού με την συνολική κεφαλαιοποίηση

των στοιχείων από το έτος έναρξης 01/01/2015 βάση τυχόν αναπροσαρμογών που έχουν συμβεί:

$$CBI = \left( \frac{\sum_i (P_i * Q_i)}{D} \right) * 100$$

Όπου  $i$  το κάθε περιουσιακό στοιχείο του δείκτη,  $P_i$  η τιμή που έχει διαμορφωθεί για το  $i$ ,  $Q_i$  ο συνολικός αριθμός των μονάδων από το πρώτο block της αλυσίδας (Blockchain) κάθε περιουσιακού στοιχείου και  $D$  η αξία βάσης.

Κάθε αναπροσαρμογή του δείκτη με προσθήκη ή αφαίρεση συστατικού στοιχείου θα μεταβάλλει το  $D$  κατά:

$$D_{i+1} = D_i \left( 1 + \frac{VWAP_x * Q_x}{\sum_i (P_i * Q_i)} \right)$$

Όπου  $x$  το νέο περιουσιακό στοιχείο και  $VWAP$  η μέση σταθμισμένη βάση όγκου τιμή του περιουσιακού στοιχείου  $x$  στην πλατφόρμα της Coinbase. Οι αποδόσεις του δείκτη αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων του Bloomberg και αφορούν την περίοδο από Ιανουάριο του 2015 έως Δεκέμβριο του 2018.

Οι δείκτες HFR Blockchain Composite Index και HFR Cryptocurrency Index αναπτύχθηκαν από την εταιρεία Hedge Fund Research, Inc. η οποία εξειδικεύεται στον κλάδο των εναλλακτικών επενδύσεων με την κατασκευή δεικτών που αφορούν την ανάλυση των αμοιβαίων κεφαλαίων. Οι δείκτες HFR Blockchain έχουν σχεδιαστεί ώστε να αντικατοπτρίζουν την απόδοση των αμοιβαίων που επενδύουν σε ψηφιακά νομίσματα και υποδομές τεχνολογίας Blockchain αντίστοιχα. Η τεχνολογία Blockchain υποδιαιρείται σε δύο υποστρατηγικές: *Cryptocurrency* και *Infrastructure*. Οι διαχειριστές αμοιβαίων κεφαλαίων που επικεντρώνονται στα *Κρυπτονομίσματα* χρησιμοποιούν μια ποικιλία στρατηγικών διαπραγμάτευσης για να αποκτήσουν κέρδη από την έκθεση σε Bitcoin, Ethereum, Litecoin και άλλα ψηφιακά νομίσματα, οι διαχειριστές που εστιάζουν στην *Υποδομή* επενδύουν σε εταιρείες που αναπτύσσουν τεχνολογίες Blockchain και άλλες κατανεμημένες βιβλιοθήκες οι οποίες αφορούν συστήματα απομακρυσμένων πληρωμών, τραπεζικές συναλλαγές, διάρθρωση συναλλαγών στην αγορά, IOT (Internet of Things), υγειονομική περίθαλψη, εμφιάσματα, αλυσίδες εφοδιασμού, ψηφιακές ταυτότητες και πολλά άλλα.

### Μεθοδολογία δεικτών:

Οι δείκτες HFR Blockchain είναι σταθμισμένοι δείκτες (ισοσταθμισμένοι), για τον υπολογισμό της καθαρής αξίας του ενεργητικού (NAV) του δείκτη χρησιμοποιούνται οι πραγματικές αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων του αμοιβαίου κεφαλαίου. Την στιγμή  $t=0$  η αξία του καθαρού ενεργητικού του δείκτη (NAV) ισούται με 1.000 μονάδες. Η μεταβολή στο NAV οφείλεται στην μεταβολή της απόδοσης του δείκτη που ορίζεται από την ποσοστιαία μεταβολή της αξίας του δείκτη την προηγούμενη ημερομηνία  $t-1$  μέχρι την τρέχουσα ημερομηνία  $t$ . Κατά την διαδικασία της αναπροσαρμογής των βαρών των περιουσιακών στοιχείων του αμοιβαίου κεφαλαίου ώστε να διατηρήσουμε την αρχική κατανομή του πλούτου, έστω την στιγμή  $t_0$ , η αξία του ενεργητικού θα είναι:

$$NAV_{t_0} = NAV_{t_{0-1}} * (1 - ROR_{t_0})$$

Όπου  $ROR_{t_0}$  είναι η ποσοστιαία μεταβολή της συνολικής αξίας του δείκτη το χρονικό διάστημα  $t_{0-1} - t_0$  και υπολογίζεται ως εξής:

$$ROR_{t_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ROR_{t_0}^i$$

Όπου  $ROR_{t_0}^i$  η απόδοση του  $i$  στοιχείου του δείκτη την στιγμή  $t_0$  και  $n$  το σύνολο των στοιχείων.

Συνεπώς η καθαρή αξία του ενεργητικού του δείκτη την στιγμή  $t$  θα είναι:

$$NAV_t = NAV_{t-1} * (1 - ROR_t)$$

Όπου  $ROR_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n w_t^i * ROR_t^i$ ,  $w_t^i$  το ποσοστό επένδυσης στο  $i$  στοιχείο την στιγμή  $t$  το οποίο υπολογίζεται ως:

$$w_t^i = \frac{(1 + R_{t-1}^i)}{\sum_{j=1}^n (1 + R_{t-1}^j)}$$

Όπου  $R_{t-1}^i$  η συσσωρευμένη συνολική απόδοση του στοιχείου  $i$  μεταξύ της ημερομηνίας αναπροσαρμογής  $t_0$  και της στιγμής  $t-1$ :

$$(1 + R_t^i) = \prod_{t'=t_0}^{t-1} (1 + ROR_{t'}^i)$$

Στην περίπτωση όπου κάποιο περιουσιακό στοιχείο  $k$  πάψει να αποτελεί συστατικό του δείκτη τότε κατά την αναπροσαρμογή των βαρών την ημερομηνία  $t_0$  το βάρος  $w_t^k$  κατανέμεται εξίσου στα υπόλοιπα στοιχεία του δείκτη, έτσι ο τύπος των σταθμών των στοιχείων του δείκτη θα υπολογιστεί ως εξής:

$$w_{t'}^i = w_{t'}^i + \frac{1}{n-1} * w_t^k \quad \text{με } i \neq k.$$

Οι δείκτες HFR Blockchain υπολογίζονται μέσω της ομαδοποίησης των απαιτούμενων αμοιβαίων κεφαλαίων τα οποία ταξινομούνται σύμφωνα με ένα ή περισσότερα κριτήρια. Ο Δείκτης HFR Blockchain Index περιλαμβάνει όλα τα επιλέξιμα αμοιβαία κεφάλαια εξαιρώντας τα fund of funds. Ο Δείκτης HFR Cryptocurrency Index αντιστοιχεί στο υποσύνολο των αμοιβαίων κεφαλαίων που επικεντρώνονται σε κρυπτονομίσματα.

### 2.3 Descriptive Statistics

Στον πίνακα (1) αποδίδονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των στατιστικών μέτρων των παραπάνω περιουσιακών στοιχείων που αφορούν την μέση απόδοση (ετησιοποιημένη), την τυπική απόκλιση (ετησιοποιημένη), το Sharpe Ratio (ετησιοποιημένο), την ασυμμετρία, την κύρτωση και το  $p$ -value του Jarque Bera ελέγχου των αποδόσεων τους. Συνοπτικά έχουμε εξήντα παρατηρήσεις που καλύπτουν την περίοδο από τον Άγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 για πέντε περιουσιακά στοιχεία, τους δείκτες S&P500, Bank of America US Bond Index, και τρία κρυπτονομίσματα τα Bitcoin, Litecoin και Ripple. Επίσης σαράντα παρατηρήσεις για το Ethereum από τον Αύγουστο του 2015 έως τον Σεπτέμβριο του 2018. Ένα επιπλέον δείγμα σαράντα οχτώ παρατηρήσεων από Ιανουάριο του 2015 έως Δεκέμβριο του 2018 για τρεις δείκτες που αφορούν την επένδυση σε κρυπτονομίσματα και τεχνολογία Blockchain τους Coinbase Index, HFR Blockchain Composite Index και HFR Cryptocurrency Index. Τέλος ως απόδοση μηδενικού κινδύνου χρησιμοποιήθηκε το μηνιαίο Libor. Επίσης παραβάλεται το correlation matrix των περιουσιακών στοιχείων ώστε να ελεγχθεί η συσχέτιση των δεδομένων

κατά ζεύγη σε επίπεδο σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης 1%, σε περιπτώσεις χαμηλής συσχέτισης μεταξύ των περιουσιακών στοιχείων θα μπορούσε να οδηγήσει σε δυνητικά οφέλη από την ύπαρξη ετερογένειας. Τα παρακάτω στοιχεία κατασκευάστηκαν με την βοήθεια του Eviews.

Στον πίνακα στατιστικών στοιχείων γίνεται απόλυτα αντιληπτή η μεγάλη απόκλιση των αποδόσεων μεταξύ των περιουσιακών στοιχείων αναφοράς και των κρυπτονομισμάτων τα οποία όπως είναι γνωστό προσέφεραν υψηλές αποδόσεις στους κατόχους τους τα τελευταία χρόνια. Παράλληλα είναι έκδηλος και ο υψηλός κίνδυνος τον οποίο αναλαμβάνει ένας επενδυτής ώστε να επωφεληθεί των αποδόσεων αυτών. Οι δείκτες HFR, CBI και το Bitcoin παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα sharpe ratios προσφέροντας έτσι την καλύτερη σχέση απόδοσης/κινδύνου. Τέλος τα κρυπτονομίσματα και οι δείκτες παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία αλλά και πολύ υψηλή κύρτωση ιδιαίτερα το Ripple, εξαίρεση αποτελούν το Bitcoin και το Ethereum που η κύρτωση βρίσκεται κόντα στο 3. Ο έλεγχος jarque-bera απορρίπτει την μηδενική υπόθεση ότι οι αποδόσεις των κρυπτονομισμάτων ακολουθούν την κανονική κατανομή σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Από τον πίνακα συσχετίσεων διακρίνουμε την χαμηλή και σε καποιες περιπτώσεις αρνητική συσχέτιση μεταξύ των κρυπτονομισμάτων και των δεικτών μετοχών και ομολόγων, παρόμοια εικόνα και με τους δείκτες κρυπτονομισμάτων. Αυτό συνεπάγεται εν δυνάμει οφέλη από την διαφοροποίηση των περιουσιακών στοιχείων. Σχετικά υψηλή συσχέτιση παρατηρούμε στα ζεύγη Litecoin και Ripple μεταξύ τους αλλά και σε σχέση με το κυρίαρχο νόμισμα, ενώ χαμηλότερη με το Ethereum. Από το πίνακα συσχετίσεων διακρίνουμε επίσης χαμηλή συσχέτιση μεταξύ των μεμονωμένων κρυπτονομισμάτων με τους δείκτες HFR αυτό οφείλεται στον τρόπο κατασκευής των συγκεκριμένων δεικτών, οι δείκτες HFR είναι ισοσταθμισμένοι δείκτες αυτό σημαίνει ότι το κάθε συστατικό στοιχείο έχει την ίδια επίδραση στην τιμή του δείκτη, πιο συγκεκριμένα ο HFR Blockchain index περιλαμβάνει εταιρείες που επενδύουν στην «Υποδομή», αναπτύσσουν δηλαδή τεχνολογίες Blockchain και άλλες κατανεμημένες βιβλιοθήκες οι οποίες αφορούν συστήματα απομακρυσμένων πληρωμών, ενώ ο HFR Cryptocurrency index επικεντρώνεται σε εταιρείες που επενδύουν σε κρυπτονομίσματα.

Η αγορά των κρυπτονομισμάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την εμπιστοσύνη των επενδυτών στο Bitcoin το οποίο με την σειρά του επηρεάζει τις αποδόσεις των altcoins. Συχνά οι τιμές του Bitcoin και του Litecoin ακολουθούν την

ίδια τάση καθώς τα δύο νομίσματα εξυπηρετούν τους ίδιους σκοπούς και έχουν σχεδιαστεί με παρόμοια τεχνολογία. Σε αντίθεση με το Ethereum όπου η συσχέτιση των δύο νομισμάτων είναι διαχρονικά χαμηλή. Στα διαγράμματα 12, 13 και 14 παραβάλλεται η συσχέτιση των αποδόσεων διαχρονικά του Bitcoin με το Litecoin, το Ripple και το Ethereum. Χρησιμοποιώντας ένα rolling 30 ημερών για την κατασκευή των διαγραμμάτων διακρίνεται κατ' αρχήν η πολύ χαμηλή και σε αρκετές περιπτώσεις αρνητική συσχέτιση του Bitcoin με το Ethereum, το οποίο διαφέρει αρκετά ως προς την δομή του, την τεχνολογία και τις υπηρεσίες που παρέχει σε σχέση με το Bitcoin και στοχέυει σε διαφορετικό κοινό, ενώ το Bitcoin αποτελεί ένα ψηφιακό νόμισμα το οποίο προέρχεται ως ανταμοιβή εργασίας (proof-of-work) το Ethereum στην ουσία είναι μια πλατφόρμα ψηφιακών συναλλαγών χωρίς περιορισμούς και παρεμβάσεις τρίτων, βασίζεται σε διαφορετικό πρωτόκολλο (proof-of-stake) και δεν αποτελεί απόρροια του mining. Σε σύγκριση με το Ripple η συσχέτιση των αποδόσεων τους είναι θετική στα περισσότερα χρονικά διαστήματα παρουσιάζοντας όμως αρκετά σημεία στήριξης κοντά μηδέν και αρνητικά καθώς διαφέρουν αρκετά ως προς τις θεμελιώδεις μεταβλητές τους, ενώ το Bitcoin είναι ένα ψηφιακό νόμισμα που προορίζεται ως μέσο πληρωμής για αγαθά και υπηρεσίες, το Ripple είναι ένα σύστημα εκκαθάρισης πληρωμών, ανταλλαγής νομισμάτων, εμβασμάτων και άλλων περιουσιακών στοιχείων που προορίζεται για τράπεζες και δίκτυα πληρωμών. Το Bitcoin βασίζεται στην τεχνολογία Blockchain, ενώ το Ripple δεν χρησιμοποιεί Blockchain αλλά έναν κατακεκολλημένο κατάλογο συναινέσεων χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο διακομιστών επικύρωσης και κρυπτογραφικών μαρκών που ονομάζονται XRP. Έχει παρατηρηθεί ότι επενδυτές οι οποίοι επιθυμούν να αποδεσμευτούν από το Bitcoin αλλά να παραμείνουν στην συγκεκριμένη αγορά στοχεύουν στην επένδυση σε Ethereum ή Ripple. Ενώ σε αντίθεση με το Litecoin παρατηρείται μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο νομισμάτων, στα περισσότερα χρονικά σημεία άνω του +0,8 και τα δύο νομίσματα προέρχονται από peer to peer δίκτυα, εξυπηρετούν παρόμοιους σκοπούς διαφέρουν μόνο ως την ταχύτητα περάτωσης των συναλλαγών στο δίκτυο, το Litecoin θεωρείται ως νόμισμα συμπληρωματικό του Bitcoin.

# Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

## Μεθοδολογία Προσέγγισης

Προκειμένου να εξετάσουμε το εν λόγω εγχείρημα της έρευνας σχετικά με τα όφελι της διαφοροποίησης των κρυπτονομισμάτων ακολουθούμε την υπόθεση ότι ένας επενδυτής κατανέμει τον αρχικό του πλούτο σε μετοχές, ομόλογα, περιουσιακά στοιχεία μηδενικού κινδύνου και κρυπτονομίσματα. Η αναλυση μας πραγματοποιείται σε ένα in sample περιβάλλον εφαρμόζοντας τεχνικές spanning και σε ένα out of sample με την άμεση μεγιστοποίηση της συνάρτησης χρησιμότητας του επενδυτή με την μέθοδο **Full Scale Optimization** (Cremers et al., 2005 και Adler and Kritzman, 2007).

Αρχικά λοιπόν εφαρμόζουμε τεχνικές «**spanning**» σε ένα mean – variance και non mean – variance περιβάλλον (Huberman and Kandel, 1987 και DeRoos and Nijman, 2001), ελέγχοντας με αυτό τον τρόπο εάν υπάρχει δυνατότητα βελτίωσης της θέσης του επενδυτή με την προσθήκη κάθε φορά ενός νέου περιουσιακού στοιχείου στο χαρτοφυλάκιο μας, που αφορά μεμονωμένα κρυπτονομίσματα αλλά και δείκτες που πλαισιώνουν την εν λόγω εναλλακτική αγορά. Η προσέγγιση αυτή αφορά ένα in-sample περιβάλλον ανάλυσης, χρησιμοποιώντας το σύνολο του δείγματος μας κάθε φορά.

Κατόπιν εφαρμόζοντας μια ρεαλιστική στρατηγική ανάλυσης χαρτοφυλακίου με μηνιαίες και ημερήσιες παρατηρήσεις, εξετάζουμε τα οφέλη της διαφοροποίησης σε ένα out of sample περιβάλλον διαιρώντας το δείγμα μας με δύο τρόπους, εφαρμόζοντας αρχικά ένα **expanded window** των μηνιαίων παρατηρήσεων και ταυτόχρονα ένα **rolling window** των ημερήσιων. Με τον τρόπο αυτόν κατασκευάζουμε βέλτιστα χαρτοφυλάκια για κάθε χρονική στιγμή με γνώμονα την μεγιστοποίηση της εκάστοτε συνάρτησης χρησιμότητας του επενδυτή. Χρησιμοποιούμε την μέθοδο full scale optimization λαμβάνοντας υπόψιν τις υψηλές ρόπες των αποδόσεων των περιουσιακών στοιχείων ώστε να υπολογίζουμε τα βέλτιστα βάρη. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόζεται αρχικά στο δείγμα των μηνιαίων παρατηρήσεων κάνοντας έλεγχο για επένδυση σε μεμονωμένα κρυπτονομίσματα και τους αντίστοιχους δείκτες, με δύο παραδοχές την δυνατότητα ή μη του short selling.



Κατόπιν εφαρμόζουμε ένα robustness daily test για το δείγμα των ημερήσιων παρατηρήσεων μόνο με την παραδοχή της δυνατότητας του short selling και εξετάζουμε συγκεκριμένα την επένδυση στα τέσσερα ψηφιακά νομίσματα που επιλέχθηκαν. Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόζεται σε δύο χαρτοφυλάκια κάθε φορά, στο παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο που περιλαμβάνει μετοχές, ομόλογα και περιουσιακά στοιχεία μηδενικού κινδύνου και στο διευρυμένο που εμπεριέχει κάθε φορά ένα συγκεκριμένο κρυπτονόμισμα η δείκτη. Τα δύο αυτά χαρτοφυλάκια αξιολογούνται βάση συγκεκριμένων μέτρων απόδοσης (sharpe ratio, sortino ratio, opportunity cost, portfolio turnover και return-loss) ώστε να διαπιστώθει εν τέλει εάν η εναλλακτική αυτή επένδυση σε νέα περιουσιακά στοιχεία θα διαφοροποιήσει προς όφελος του επενδυτή το χαρτοφυλάκιο του.

# Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

## Οφέλη Διαφοροποίησης: Testing for Spanning

Η έννοια του spanning εισήλθε για πρώτη φορά στην ανάλυση χαρτοφυλακίου από τους Huberman και Kandel (1987) σε ένα αυστηρά mean-variance περιβάλλον όπου οι προτιμήσεις των επενδύτων περιγράφονται από μία τετραγωνική συνάρτηση χρησιμότητας. Η μέθοδος αυτή ελέγχει κατά πόσο ένας επενδυτής μπορεί να βελτιώσει την θέση του ή όχι από την προσθήκη νέων περιουσιακών στοιχείων  $K + N$ , στην εξεταζόμενη περίπτωση κρυπτονομίσματα και δείκτες αυτών (test assets), σε συνδυασμό με τα ήδη βασικά περιουσιακά στοιχεία (benchmark assets), αναλύοντας τις επιδράσεις στο αποτελεσματικό σύνορο του mean – variance περιβάλλοντος.

Κατά τον έλεγχο για spanning όταν το αποτελεσματικό σύνορο σε mean – variance περιβάλλον που προέρχεται από την προσθήκη των νέων περιουσιακών στοιχείων  $K + N$ , συμπίπτει με αυτό των  $K$  benchmark assets (μετοχές, ομόλογα, περιουσιακά στοιχεία μηδενικού κινδύνου) τότε μας υποδεικνύει ότι ο επενδυτής δεν επωφελείται από την προσθήκη αυτή, δεν βελτιώνει δηλαδή την σχέση απόδοσης/ρίσκου για οποιοδήποτε βαθμό αποστροφής. Σε διαφορετική περίπτωση όπου το αποτελεσματικό σύνορο των  $K$  benchmark assets είναι μικρότερο τότε ο επενδυτής απολαμβάνει τα οφέλη της διαφοροποίησης από την επένδυση στα πρόσθετα περιουσιακά στοιχεία. Στην παρούσα έρευνα εξετάζουμε το εγχείρημα μας για spanning σε ένα m-v περιβάλλον με την προσθήκη κρυπτονομισμάτων σε ένα παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο χωρίς όμως να περιορίσουμε την μελέτη μας σε αυτό, εξετάζουμε την **Stochastic Discount Factor** προσέγγιση (DeRoos and Nijman 2001) όπου επεκτείνουμε την μελέτη μας και σε non m-v περιβάλλον.

### 4.1 Testing for Spanning: Stochastic Discount Factor

Θεωρούμε ένα χαρτοφυλάκιο με  $K$  benchmark assets (μετοχές, ομόλογα και περιουσιακά στοιχεία μηδενικού κινδύνου) με  $R_{i,t+1}$  ένα διάνυσμα διαστάσεων  $(K \times 1)$  των αντίστοιχων αποδόσεων τους. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί στην

αγορά (περιορισμοί στις ανοικτές πωλήσεις, κόστη συναλλαγών κλπ), βάση της Θεωρίας Αποτίμησης Περιουσιακών Στοιχείων υπάρχει μια SDF  $M_{t+1}$  τέτοια ώστε:

$$E[M_{t+1}R_{t+1}|I_t] = i_k \quad (4.1)$$

Όπου  $I_t$  η διαθέσιμη πληροφορία την στιγμή  $t$  και  $i_k$  ένα μοναδιαίο διάνυσμα  $K$  διαστάσεων. Ο όρος  $M_{t+1}$  μπορεί να εξαχθεί από τις συνθήκες πρώτης τάξης ενός προβλήματος επιλογής χαρτοφυλακίου διακριτού χρόνου. Βάση λοιπόν του εν λόγω προβλήματος η SDF είναι ανάλογη με την πρώτη παράγωγο της επιλέγμενης συνάρτησης χρησιμότητας του επενδυτή δεδομένου των βέλτιστων σταθμών του χαρτοφυλακίου.

$$M_{t+1} = \lambda U'(w^* R_{t+1}) \quad (4.2)$$

Όπου  $\lambda$  σταθερά και  $w^*$  ένα διάνυσμα των βέλτιστων σταθμών του χαρτοφυλακίου. Συνεπώς θα ισχύουν κάθε φορά διαφορετικές SDF για διαφορετικές συναρτήσεις χρησιμότητας ανάλογα με τις προτιμήσεις του επενδυτή και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου. Κατά συνέπεια θα πρέπει να αποφασίσουμε αν θα συμπεριλάβουμε ένα νέο περιουσιακό στοιχείο με αποδόση  $r_{t+1}^{test}$  στο ήδη υπάρχον σύνολο με  $K$  benchmark assets. Βάση των DeRoos et. al 1996 αποδεικνύεται ότι οι αποδόσεις των  $r_{t+1}^{test}$  είναι  $M$ -spanned με τις αποδόσεις των benchmark assets  $R_{t+1}$  εάν ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$r_{t+1}^{test} = \prod (r_{t+1}^{test} | [M \cup \{w'R_{t+1} : w \in W\}]) = w'R_{t+1} \quad (4.3)$$

Όπου  $w = \{w \in \mathbb{R}^k : w'_{ik} = 1\}$ . Κατά τον έλεγχο της υπόθεσης για spanning βάση της (4.3) οι αποδόσεις δοκιμής  $r_{t+1}^{test}$  είναι  $M$ -spanned με τις αποδόσεις  $R_{t+1}$  των benchmark assets εάν μπορούν να προσδιοριστούν ως αυτές συν κάποιο σφάλμα  $\varepsilon_{t+1}$  με  $E(\varepsilon_{t+1}) = 0$ .

$$H_0 : r_{t+1}^{test} = w'R_{t+1} + \varepsilon_{t+1} \quad (4.4)$$

### 4.1.1 M – V spanning tests

Περιορίζοντας την συζήτηση μας σε ένα  $m - v$  περιβάλλον το οποίο περιγράφεται άνωθεν οι Hansen & Jagannathan (1991) αποδουκνούν ότι το σύνολο  $M$  των SDF's σε ένα  $m - v$  πλαίσιο βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου συνδέεται γραμμικά με τις αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων. Συνεπώς για τους επενδυτές που θα επιλέξουν ένα χαρτοφυλάκιο με benchmark assets και αποδόσεις αυτών  $R_{t+1}$ , το σύνολο  $M$  σε αυτή την περίπτωση δίνεται από τον τύπο:

$$M_{t+1}(u) = u + \beta'(R_{t+1} - E_t[R_{t+1}]) \text{ με } u \in \mathfrak{R} \quad (4.5)$$

Όπου  $\beta = \text{Var}_t[R_{t+1}]^{-1} \{i_k - u E_t[R_{t+1}]\}$ . Επομένως το  $r_{t+1}^{\wedge test}$  ισούται με το εκτιμημένο  $r_{t+1}^{test}$  για κάθε  $M_{i,t+1}$  από τον τύπο  $\alpha_0 + \beta R_{t+1}$ . Συνεπώς το  $r_{t+1}^{test}$  μπορεί να εκτιμηθεί από την παρακάτω παλινδρόμηση (DeRoos et. al 1996):

$$r_{t+1}^{test} = \alpha_0 + \beta R_{t+1} + \varepsilon_{t+1} \quad (4.6)$$

Η μηδενική υπόθεση για spanning είναι (από Huberman και Kandel 1987):

$$H_0: \alpha_0 = 0 \text{ και } \beta_{ik} = 1$$

Η εργαλειοποίηση του περιουσιακού στοιχείου μηδενικού κινδύνου το οποίο περιλαμβάνεται στο παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο των  $K$  benchmark assets με απόδοση  $R_t^f$  θα προσαρμόσει την εξίσωση (4.6) σε όρους υπερβάλλουσων αποδόσεων:

$$r_{t+1}^{test} - R_t^f = a_j + \beta(R_{t+1} - R_{t,ik}^f) + \varepsilon_{t+1} \quad (4.7)$$

Αφαιρώντας το  $R_t^f$  και από τα δύο μέλη της εξίσωσης (4.6) προκύπτει ότι  $a_j = \alpha_0 - R_t^f(1 - \beta_{ik})$ ,  $R_t^f$  το επιτόκιο μηδενικού κινδύνου και  $E(\varepsilon_{t+1}) = E(\varepsilon_{t+1} R_{t+1}) = 0$ . Δεδομένων των περιορισμών στην περίπτωση όπου το τεστ για spanning μεταξύ των test assets και των benchmark assets εφαρμόζεται βάση των καθάρων αποδόσεων ήταν  $\alpha_0 = 0$  και  $\beta_{ik} = 1$ , ο αντίστοιχος για το τεστ προσαρμοσμένο σε υπερβάλλουσες αποδόσεις είναι  $a_j = 0$ .

$$H_0: a_j = a_0 - R_t^f (1 - \beta_{ik}) = 0 \quad (4.8)$$

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι σε ένα mean – variance περιβάλλον και μόνο ο σταθερός όρος της παλινδρόμησης  $\alpha_j$  μπορεί να ερμηνευτεί ως το Jensen's alpha το οποίο μας υποδεικνύει κατά πόσο ένας επενδύτης μπορεί να βελτιώσει την θέση του από την επένδυση σε ένα νέο περιουσιακό στοιχείο. Για τον λόγο αυτόν η μηδενική υπόθεση της παλινδρόμησης ελέγχει μόνο τον σταθερό όρο  $\alpha_j$  και όχι τους αντίστοιχους συντελεστές  $\beta_{ik}$  των μεταβλητών και όπως προκύπτει εάν  $\alpha_j \neq 0$  τότε ο επενδυτής θα ενισχύσει την αποδοτικότητα του χαρτοφυλακίου του με την προσθήκη του νέου περιουσιακού στοιχείου.

Οι περιορισμοί στη εξίσωση (4.8) ελέγχονται από Wald test (DeRoos και Nijman, 2001). Η ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας και αυτοσυσχέτισης στο μόντελο παλινδρόμησης ελέγχθηκε με Breusch-Pagan και Durbin-Watson τεστ αντίστοιχα. Τα τυπικά σφάλματα των εκτιμητών διορθώνονται με τη μέθοδο των Newey και West (1987).

#### 4.1.2 Non M – V spanning tests

Όπως προαναφέρθηκε και στην εισαγωγή θα πλαισιώσουμε την ερευνα μας και σε ένα non m – v περιβάλλον μέσω της Stochastic Discount Factor προσέγγισης. Βάση λοιπόν της εξίσωσης (4.2) το σύνολο  $M$  των SDF's προσδιορίζονται από την πρώτη παράγωγο της εξεταζόμενης συνάρτησης χρησιμότητας του επενδυτή (εκτός της τετραγωνικής που αφορά το m – v πλαίσιο) και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου όπου για κάθε διαφορετικό βαθμό συμπεριλαμβάνεται και μία νέα SDF στο σύνολο. Θεωρούμε λοιπόν μια non m – v συνάρτηση χρησιμότητας  $U(w^*R_{t+1})$  δεδομένων των  $w^*$  βέλτιστων σταθμών του χαρτοφυλακίου και χρησιμοποιούμε ένα εύρος βαθμών αποστροφής κινδύνου με  $i = 1, 2, \dots, n$ , το ύψος των βαθμών αντίστοιχα. Βάση της προσέγγισης των DeRoos et al. (1996, 2003) για το σύνολο  $M$  των SDF's το τεστ για m – v spanning και για non m – v spanning θα πραγματοποιηθεί βάση της παλινδρόμησης:

$$r_{t+1}^{test} = a_0 + \beta R_{t+1} + \sum_{i=1}^n \gamma_i U'_i (w^* R_{t+1}) + \varepsilon_{t+1} \quad (4.9)$$

Όπου  $U'_i (w^* R_{t+1})$  οι συναρτήσεις χρησιμότητας του συνόλου  $M$ . Η εξίσωση παλινδρόμησης της (4.9) εκφράζει την σχέση μεταξύ των test assets και της δυνητικής αύξησης του πλούτου ενός επενδυτή, η οποία εκφράζεται από την συνάρτηση χρησιμότητας που τον αντιπροσωπεύει. Η μηδενική υπόθεση για  $M$ -spanning θα ελεγχθεί βάσει των περιορισμών:

$$H_0: \beta_{ik} = 1 \text{ και } \alpha_0 = \gamma_i = 0 \quad \forall i \quad (4.10)$$

Προσαρμόζοντας την (4.9) σε υπερβάλλουσες αποδόσεις των test και benchmark assets έχουμε:

$$r_{t+1}^{test} - R_t^f = a_j + \beta(R_{t+1} - R_{t,ik}^f) + \sum_{i=1}^n \gamma_i U'_i (w^* R_{t+1}) + \varepsilon_{t+1} \quad (4.11)$$

Ως εκ τούτου οι περιορισμοί της μηδενικής υπόθεσης για spanning στην συνύπαρξη ενός  $m - v$  και non  $m - v$  πλαισίου θα είναι:

$$H_0: a_j = 0 \text{ και } \gamma_i = 0 \quad \forall i \quad (4.12)$$

Οι περιορισμοί στη εξίσωση (4.12) ελέγχονται από Wald test (DeRoos και Nijman, 2001). Η ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας και αυτοσυσχέτισης στο μοντέλο παλινδρόμησης ελέγχθηκε με Breusch-Pagan και Durbin-Watson τεστ αντίστοιχα. Τα τυπικά σφάλματα των εκτιμητών διορθώνονται με τη μέθοδο των Newey και West (1987).

Προκείμενου λοιπόν να εκτελέσουμε την παλινδρόμηση της εξίσωσης (4.11) θα πρέπει να εκτιμήσουμε την συνάρτηση χρησιμότητας του επενδυτή ώστε να υπολογίσουμε τα βέλτιστα βάρη του χαρτοφυλακίου. Θεωρούμε λοιπόν ότι οι προτιμήσεις των επενδυτών περιγράφονται από την αρνητική εκθετική συνάρτηση χρησιμότητας  $U(W) = -\exp(-\eta W)/\eta$ , όπου  $\eta > 0$  ο απόλυτος βαθμός αποστροφής κινδύνου ( $ARA = n_{ARA}(W) = -\frac{U''(W)}{U'(W)}$ ) και από την power utility συνάρτηση

$U(W) = \frac{W^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma}$  , όπου  $\gamma \neq 1$  ο σχετικός βαθμός αποστροφής κινδύνου (

$RRA = \gamma_{RRA}(W) = -\frac{WU''(W)}{U'(W)}$ ), για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου.

Για τον υπολογισμό των βέλτιστων βαρών έγινε χρήση της Γενικευμένης Μεθόδου των Ροπών (GMM, Cochrane 2005), οι συνθήκες των ροπών παράγονται από τις Stochastics Discount Factors του συνόλου  $M$ , δεδομένης της συνάρτησης χρησιμότητας του επενδυτή οι εξισώσεις (4.1) και (4.2) μας υποδεικνύουν ότι οι αποδόσεις των  $K$  benchmark assets θα πρέπει να ικανοποιούν την ακόλουθη συνθήκη:

$$E[\lambda_i U_i'(w_i^* R_{t+1}) R_{t+1} | I_k] = i_k \quad \forall i \quad (4.13)$$

Κατόπιν ορίζουμε το διάνυσμα  $\Theta_i [c_i, w_i^*]$  με  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  ο βαθμός αποστροφής κινδύνου. Ορίζοντας το σφάλμα  $u_{t+1}(\Theta_i)$  από την (4.13) έχουμε:

$$u_{t+1}(\Theta_i) = \lambda_i U_i'(w_i^* R_{t+1}) R_{t+1} - i_k \quad (4.14)$$

Για το σύνολο  $T$  των παρατηρήσεων του δείγματος, η πρώτη ροπή  $g_T(\Theta_i)$  ορίζεται ως ο μέσος όρος των σφαλμάτων  $u_{t+1}(\Theta_i)$ :

$$g_T(\Theta_i) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T u_t(\Theta_i) = E_T[u_t(\Theta_i)] = E_T[\lambda_i U_i'(w_i^* R_t) R_t - i_k] \quad (4.15)$$

Η SDF εξ' ορισμού θα μας αποτιμήσει τα  $K$  benchmark assets για κάθε  $i$  αυτή η πληροφορία μας παρέχει τρεις συνθήκες ροπών όσες και ο αριθμός των benchmark assets ώστε να εκτιμήσουμε το διάνυσμα  $\Theta_i$  των βαρών.

Η εκτίμηση του  $\Theta_i$  θα επιτευχθεί ελαχιστοποιώντας την τετραγωνική συνάρτηση:

$$Q_T(\Theta_i) = g_T(\Theta_i)' W g_T(\Theta_i) \quad (4.16)$$

ο εκτιμητής της GMM ορίζεται ως:  $\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} Q_T(\Theta_i)$

Όπου  $W$  ο πίνακας των ζητούμενων βέλτιστων βαρών τον οποίο τον ορίζουμε ίσο με έναν ταυτοτικό  $I$  ( $3 \times 3$ ) ίσο με τον αριθμό των ροπών. Για την εφαρμογή της GMM χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα R.

#### 4.2 Αποτελέσματα Spanning Test

Στον πίνακα (2) προβάλλονται τα αποτελέσματα των wald tests κάνοντας έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης των εξισώσεων (4.8) και (4.12) για spanning όταν σε ένα χαρτοφυλάκιο μετοχών, ομολόγων και περιουσιακών στοιχείων μηδενικού κινδύνου συμπεριλάβουμε κρυπτονομίσματα και δείκτες αυτών. Ο έλεγχος αφορά όλη την περίοδο του δείγματος των παρατηρήσεων πρώτα σε ένα mean-variance περιβάλλον, κατόπιν ταυτόχρονα σε mean-variance με non – mv συνάρτηση χρησιμότητας (negative exponential, power) με 2 έως 10 βαθμό αποστροφής κινδύνου και στην συνέχεια μεμονωμένα για non – mv συναρτηση χρησιμότητας (negative exponential, power) με παρόμοιο εύρος βαθμού αποστροφής κινδύνου.

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα (4.1) παρατηρούμε αρχικά ότι σε ένα mean – variance περιβάλλον μπορούμε να αποδεχτούμε την μηδενική υπόθεση για spanning σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5% και 10% όσον αφορά την επένδυση σε Bitcoin και Litecoin. Συνεπώς η προσθήκη αυτών σε ένα παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο και κάτω από ένα m-v περιβάλλον δεν θα μπορούσε να προσφέρει στον επενδυτή επιπλέον οφέλη. Αντίθετα στα υπόλοιπα περιουσιακά στοιχεία μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση για spanning σε επίπεδο σημαντικότητας 10% για το ripple και 5% για το ethereum και τους αντίστοιχους δείκτες. Το αποτέλεσμα αυτό μας υποδεικνύει εν δυνάμει οφέλη από την διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου όταν οι προτιμήσεις του επενδυτή περιγράφονται από μια τετραγωνική συνάρτηση χρησιμότητας. Κατόπιν εξετάζουμε ταυτόχρονα ένα m-v περιβάλλον με μια non m-v συνάρτηση χρησιμότητας και στην περίπτωση της αρνητικής εκθετικής συνάρτησης αλλά και στην power utility συνάρτηση τα αποτελέσματα συμπίπτουν. Η επένδυση σε Bitcoin και Litecoin καθώς και στους δείκτες αμοιβαίων κεφαλαίων HFR δεν θα μεταβάλλει σημαντικά την θέση του επενδυτή, η μηδενική υπόθεση για spanning δεν μπορεί να απορριφθεί με εξαίρεση το Ripple, και τον δείκτη CBI σε επίπεδο 5% και στο Ethereum για 10%. Τέλος εξετάζοντας ένα non m-v περιβάλλον στην περίπτωση της αρνητικής εκθετικής συνάρτησης η μηδενική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί



για κανένα από τα test assets με μοναδική εξαίρεση το Ripple, ενώ κατά την εξέταση της power utility δεν απορρίφθηκε η μηδενική υπόθεση για κανένα περιουσιακό στοιχείο.

# Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

## Out of Sample Προσέγγιση: Κατασκευή Βέλτιστων Χαρτοφυλακίων

Η άριστη κατανομή του πλούτου αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την μεγιστοποίηση της ιδιοφύλειας ενός επενδυτή η οποία περιγράφεται μαθηματικά από μια συνάρτηση. Υποθέτουμε λοιπόν έναν επενδυτή ο οποίος κατανέμει τον πλούτο του  $W$  την χρονική στιγμή  $t$  σε ένα χαρτοφυλάκιο με  $N$  περιουσιακά στοιχεία και  $w_i$  το ποσοστό εκείνο του συνολικού πλούτου που κατανέμετε σε αυτά και το οποίο

ικανοποιεί την συνθήκη  $W_t = \sum_{i=1}^N w_i = 1$ . Με βάση λοιπόν τα παραπάνω δεδομένα η

απόδοση του επενδυτή την στιγμή  $t+1$  θα είναι ίση με την απόδοση του χαρτοφυλακίου  $r_p = \sum_{i=1}^N w_i * r_{i,t+1}$  όπου  $r_i$  η απόδοση του κάθε περιουσιακού

στοιχείου που εμπεριέχεται στο χαρτοφυλάκιο. Συνεπώς ο πλούτος του επενδυτή την χρονική στιγμή  $t+1$  δυνητικά δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$W_{t+1} = W_t (1 + \sum_{i=1}^N w_i * r_{i,t+1}) = 1 + r_{p,t+1} \quad (5.1)$$

Κατασκευάζουμε λοιπόν βέλτιστα χαρτοφυλάκια την χρονική στιγμή  $t$  μεγιστοποιώντας την αναμενόμενη συνάρτηση χρησιμότητας του επενδυτή την χρονική στιγμή  $t+1$ ,

$$\max E[U(W_{t+1})] \text{ δεδομένης της συνθήκης } \sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (5.2)$$

και θεωρούμε ότι οι προτιμήσεις των επενδυτών περιγράφονται από την power utility

συνάρτηση  $U(W) = \frac{W^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma}$  και την αρνητική εκθέτικη συνάρτηση χρησιμότητας

$U(W) = -\exp(-\eta W) / \eta$  λαμβάνοντας υπ' όψιν διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής του κινδύνου ( $ARA = RRA = 2,4,6,8,10$ ).

Οπότε από την (5.2) έχουμε:

$$\max E[U(W_{t+1})] = \int \dots \int U[W_t (1 + \sum_{i=1}^N w_i * r_{i,t+1})] dF(r_1 \dots r_N) \quad (5.3)$$

Όπου  $F(r_1 \dots r_N)$  η κοινή συνάρτηση κατανομής των αποδόσεων των περιουσιακών στοιχείων (CDF) η οποία χρειάζεται να εκτιμηθεί. Η άμεση μεγιστοποίηση της συνάρτησης χρησιμότητας μας παρέχει έναν γενικότερο προσδιορισμό της κατανομής των αποδόσεων των περιουσιακών στοιχείων διαλαμβάνοντας τυχόν υψηλές ροπές της CDF σε αντίθεση με την mean – variance ανάλυση που μας παρέχει απαντήσεις κάτω από ορισμένες υποθέσεις.

### **5.1 Άμεση Μειστοποίηση Χρησιμότητας – Mean-Variance VS Full Scale Optimization**

Η Mean – Variance βελτιστοποίηση ενός χαρτοφυλακίου (Markowitz, 1952) μας υποδηλώνει ότι για ένα δεδομένο επίπεδο κινδύνου μπορούμε να ορίσουμε έναν συγκεκριμένο αποτελεσματικό συνδυασμό περιουσιακών στοιχείων τα οποία προσφέρουν την μέγιστη αναμενόμενη απόδοση. Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για την μεγιστοποίηση της χρησιμότητας ενός επενδυτή εάν οι αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων του χαρτοφυλακίου ακολουθούν την κανονική κατανομή και οι προτιμήσεις του επενδυτή περιγράφονται από την τετραγωνική συνάρτηση χρησιμότητας ( $U = \mu - \lambda \sigma^2$ ), στην περίπτωση λοιπόν όπου οι αποδόσεις δεν ακολουθούν την κανονικότητα η τετραγωνική συνάρτηση χρησιμότητας υποθέτει ότι ο επενδυτής είναι αδιάφορος σε άλλα είδη κατανομής αποδόσεων. Ωστόσο η πραγματικότητα δεν αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τις παραπάνω υποθέσεις αφού οι αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων σπάνια έπονται της κανονικότητας και επιπλέον η τετραγωνική συνάρτηση χρησιμότητας δεν περιγράφει με ρεαλισμό την επενδυτική συμπεριφορά, αφού υποθέτει ότι οι επενδυτές προτιμούν λιγότερο πλούτο απ' ότι περισσότερο και παρουσιάζουν αυξανόμενη αποστροφή στον κίνδυνο. Για τους παραπάνω λόγους η mean-variance ανάλυση δεν αποδίδει λύσεις που προσεγγίζουν την πραγματικότητα, υποφέρει λοιπόν από σφάλμα προσέγγισης, ταυτόχρονα θα πρέπει να εκτιμηθεί η μέση τιμή και η διακύμανση των αποδόσεων

των περιουσιακών στοιχείων από τους αντίστοιχους εκτιμητές, καταλήγουμε λοιπόν και σε σφάλμα εκτίμησης. Για την αποφυγή των παραπάνω σφαλμάτων εκτιμούμε ένα βέλτιστο χαρτοφυλάκιο εφαρμόζοντας το μοντέλο της Full Scale Optimization (Cremers et al., 2005 και Adler and Kritzman, 2007).

Η Full Scale Optimization αποτελεί μια νέα επιστημονική μέθοδο κατασκευής βέλτιστων χαρτοφυλακίων αναπτύχθηκε με σκοπό να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς της Mean – Variance ανάλυσης, μέσω επιστημονικών αλγορίθμων της βέλτιστης κατανομής του πλούτου, με σκοπό την μεγιστοποίηση της χρησιμότητας του επενδυτή όπως αυτή περιγράφεται από μια συνάρτηση. Στην Full Scale Optimization οι ιστορικές αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων για μια χρονική περίοδο  $t = (1,2,3...T)$  αποτελούν διάφορα σενάρια τα οποία συνεπάγονται από μια μήτρα αποδόσεων  $R = (NxT)$ , χωρίς να ληφθεί υπόψιν η χρονολογική σειρά των αποδόσεων αυτών. Κάθε πιθανό σενάριο έχει την ίδια πιθανότητα  $T^{-1}$  να πραγματοποιηθεί. Η χρησιμότητα εκτιμάται για κάθε σενάριο και για κάθε  $w^*$  στο δείγμα. Το  $w^*$  με την μέγιστη μέση χρησιμότητα θα αποτελεί και τον καλύτερο συνδυασμό κατανομής του πλούτου. Δηλαδή:

$$w_{fso} = \arg \max_w (T^{-1} \sum_{t=1}^T U(w' R_t)) \quad (5.4)$$

Η μέθοδος αυτή εξαλείφει το σφάλμα προσέγγισης της mean – variance ανάλυσης υποφέρει όμως από σφάλμα εκτίμησης, επίσης δεν απαιτεί υποθέσεις για την συνάρτηση κατανομής των αποδόσεων των περιουσιακών στοιχείων (CDF) το οποίο όμως μπορεί να μας οδηγήσει σε ένα μακροσκελές υπολογιστικό φάσμα. Εφαρμόσαμε την Full Scale Optimization στο πρόγραμμα της Matlab ελαχιστοποιώντας την αρνητική συνάρτηση χρησιμότητας με την χρήση της *fmincon*.

## 5.2 Out of Sample – Μέτρα Αξιολόγησης Χαρτοφυλακίου

Εν πρώτοις προσεγγίζουμε το out of sample περιβάλλον της ερευνάς μας εφαρμόζοντας μια expanded window μεθοδολογία των μηνιαίων αποδόσεων. Θεωρούμε ένα δείγμα  $T$  παρατηρήσεων και  $K \leq T$  το αρχικό μέγεθος του expanded window. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή  $t$  θα χρησιμοποιήσουμε το  $K$  προηγούμενο

σύνολο παρατηρήσεων για την εκτίμηση των βέλτιστων σταθμών του χαρτοφυλάκιου που μεγιστοποιούν την συνάρτηση χρησιμότητας του επενδυτή και θα υπολογίσουμε την απόδοση του χαρτοφυλακίου κατά την χρονική στιγμή  $\{t, t+1\}$ . Η διαδικασία αυτή θα επαναληφθεί προσθέτοντας κάθε φορά μια ακόμα παρατήρηση στο σύνολο  $K$  μέχρι να καταλήξουμε στο τέλος του δείγματος  $T$ , με τον τρόπο αυτόν δημιουργείτε μια χρονόσειρα από  $T-K$  βέλτιστες αποδόσεις που θα χρησιμοποιηθούν για την out-of-sample αξιολόγηση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου. Για την έγκυρη εφαρμογή της μεθόδου θα εφαρμόσουμε ένα expanded window μεγέθους  $K = 24,36$  στην επένδυση σε Bitcoin, Litecoin και Ripple και  $K = 24$  για την επένδυση σε δείκτες κρυπτονομίσματος και το Ethereum, λόγω περιορισμένου δείγματος. Ταυτόχρονα θα εφαρμόσουμε ένα robustness daily test των ημερήσιων αποδόσεων με μια rolling window μεθοδολογία, κατά την οποία για καθε χρονική στιγμή  $t$  θα χρησιμοποιήσουμε το  $K$  προηγούμενο σύνολο παρατηρήσεων για την εκτίμηση των βέλτιστων σταθμών, η διαδικασία αυτή θα επαναλαμβάνεται προσθέτοντας μια ακόμα παρατήρηση στο  $K$  σύνολο αφαιρώντας όμως την παλαιότερη παρατήρηση και θα υπολογίσουμε την απόδοση του χαρτοφυλακίου κατά την χρονική στιγμή  $\{t, t+1\}$ . Για την εφαρμογή του τεστ θα χρησιμοποιήσουμε έναν rolling ορίζοντα  $K = 528,792$  ( $24 \times 22$  &  $36 \times 22$ ) εργασιμων ημερών.

Κατόπιν εφαρμόζουμε μια σειρά από μέτρα με τα οποία θα αξιολογήσουμε την out of sample προσέγγιση μας (DeMiguel et al., 2009 και Kostakis et al., 2010) χρησιμοποιώντας την χρονοσειρά των αποδόσεων των βέλτιστων χαρτοφυλακίων που δημιουργήθηκαν για την μεγιστοποίηση της συνάρτησης χρησιμότητας του επενδυτή. Τα μέτρα αυτά αφορούν το Sharpe Ratio, το Sortino ratio (downside Sharpe ratio), το Opportunity Cost, το Portfolio Turnover και το μέτρο του Risk-Adjusted Returns net of transaction cost.

Επενδύοντας κάτω από μια συγκεκριμένη στρατηγική  $k$  υπολογίζουμε το sharpe ratio (William F. Sharpe, 1994) διαιρώντας τον μέσο όρο των υπερβάλλουσων out of sample αποδόσεων  $\mu_k$  με την αντίστοιχη τυπική απόκλιση τους  $\sigma_k$ :

$$SR_k = \frac{\mu_k}{\sigma_k} \quad (5.5)$$

Ελέγχουμε την στατιστική σημαντικότητα των διαφορών του Sharpe ratio των δυο στρατηγικών δηλαδή την επένδυση σε χαρτοφυλάκια με παραδοσιακά περιουσιακά

στοιχεία και σε αυτά με κρυπτονομίσματα, ελέγχοντας την μηδενική υπόθεση από τους (Jobson and Korkie (1981) and Memmel (2003)):

$$H_0 : SR_{k1} = SR_{k2} \quad (5.6)$$

Το Sharpe ratio ως μέτρο αξιολόγησης προϋποθέτει ότι οι αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων ακολουθούν την κανονική κατανομή, το οποίο δεν ισχύει για τις αποδόσεις των κρυπτονομισμάτων κατόπιν ελέγχου κανονικότητας. Ως εκ τούτου θα πρέπει να ελεγχθούν πιο αξιόπιστα μέτρα απόδοσης.

Ορίζουμε το Sortino ratio (Sortino F. and R. van der Meer, (1991)) το οποίο αποτελεί μια παραμετροποίηση του Sharpe ratio και μας αποδίδει την σχέση της απόδοσης του χαρτοφυλακίου με το ρίσκο μόνο των αρνητικών αποδόσεων που πραγματοποιήθηκαν σε μία χρονική περίοδο. Αποτελεί καταλληλότερο μέτρο αξιολόγησης για επενδύσεις υψηλού ρίσκου όπως τα κρυπτονομίσματα δεδομένου της υψηλής διακυμάνσης των αποδόσεων τους και της ασύμμετρης κατανομής τους.

Για την εφαρμογή του μέτρου θα πρέπει αρχικά να υπολογιστεί η διακύμανση των αρνητικών αποδόσεων του χαρτοφυλακίου ως εξής:

$$\sigma_d^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^T (r_t - u)^2 \quad (5.7)$$

Όπου  $u$  το benchmark σημείο και είναι ίσο με το 0 και  $r_t$  οι αποδόσεις που βρίσκονται κάτω από το  $u$ . Το sortino ratio θα είναι ίσο με:

$$SR_{p-} = \frac{R_p - R_f}{\sigma_d} \quad (5.8)$$

Χρησιμοποιούμε στην συνέχεια την έννοια του Κόστους Ευκαιρίας (Opportunity Cost) όπως παρουσιάζεται από τον Simaan, (1993) προκειμένου να εξετάσουμε την οικονομική σημασία της διαφοράς των αποδόσεων δύο βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Έστω  $r_{rr}$  η απόδοση του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου και  $r_{cr}$  η απόδοση του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονομίσματα. Ως κόστος ευκαιρίας  $\theta$  ορίζεται η απόδοση που θα πρέπει να προστεθεί (ή να αφαιρεθεί) από την απόδοση του

παραδοσιακού χαρτοφυλακίου  $r_r$ , ώστε ο επενδυτής να είναι αδιάφορος σε όρους χρησιμότητας μεταξύ των δύο στρατηγικών. Ορίζεται ως:

$$E[U(1+r_r+\theta)] = E[U(1+r_{cr})] \quad (5.9)$$

Ένα θετικό (αρνητικό) κόστος ευκαιρίας υποδηλώνει ότι ο επενδυτής βρίσκεται σε καλύτερη (χειρότερη) θέση εάν η επενδυτική ευκαιρία που έχει οριστεί περιλαμβάνει τα κρυπτονομίσματα. Αποτελεί αξιόπιστο μέτρο σύγκρισης μεταξύ δύο στρατηγικών ακόμα και αν οι αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή αφού αφορά βέλτιστες αποδόσεις σε όρους χρησιμότητας.

Στην συνέχεια υπολογίζουμε το Portfolio Turnover (PT) ώστε να αποκτήσουμε μια εικόνα του βαθμού εξισορρόπησης που απαιτείται για την εφαρμογή κάθε μιας από τις δύο στρατηγικές που ελέγχουμε. Για οποιαδήποτε στρατηγική το συγκεκριμένο μέτρο υπολογίζεται ως ο μέσος όρος την μεταβολής των συντελεστών στάθμισης του συνόλου  $N$  των περιουσιακών στοιχείων σε απόλυτες τιμές για κάθε χρονική στιγμή πάνω στο διάστημα  $T - K$  όπου πραγματοποιείται η εξισορρόπηση.

$$PT_k = \frac{1}{T-K} \sum_{t=1}^{T-K} \sum_{j=1}^N \left( |w_{k,j,t+1} - w_{k,j,t}| \right) \quad (5.10)$$

Όπου  $K$  το μέγεθος του rolling window,  $w_{k,j,t}$  και  $w_{k,j,t+1}$  τα βέλτιστα βάρη του χαρτοφυλακίου την περίοδο  $t$  και  $t+1$  αντίστοιχα κάτω από την  $k$  στρατηγική (παραδοσιακού χαρτοφυλακίου και χαρτοφυλακίου κρυπτονομισμάτων) για κάθε  $j$  περιουσιακό στοιχείο και  $w_{k,j,t}$  τα βάρη πριν την εξισορρόπηση την χρονική στιγμή  $t+1$ .

Τέλος θα αξιολογήσουμε τις δύο προτεινόμενες στρατηγικές βάση του Risk – Adjusted Returns (DeMiguel et al., 2009). Το συγκεκριμένο μέτρο μας υποδουκνύει τον τρόπο με τον οποίο τα κόστη συναλλαγών που προέρχονται από το ποσοστό του Portfolio Turnover, δηλαδή τις συναλλαγές που πραγματοποιήθηκαν την χρονική περίοδο  $[t, t+1]$  για κάθε περιουσιακό στοιχείο, επηρέασαν τις αποδόσεις του χαρτοφυλακίου. Έστω λοιπόν  $tc$  το κόστος συναλλαγών για κάθε  $j$  περιουσιακό στοιχείο και  $r_{k,p,t+1}$  η απόδοση του χαρτοφυλακίου την χρονική στιγμή  $t+1$ , τότε η

μεταβολή του net of transaction cost του πλούτου  $NW$  κάτω από την στρατηγική  $k$  ορίζεται ως:

$$NW_{k,t+1} = NW_{k,t} (1 + r_{k,p,t+1}) \left[ 1 + \sum_{j=1}^N tc_j * (w_{k,j,t+1} - w_{k,j,t}) \right] \quad (5.11)$$

Οπότε η απόδοση του net of transaction cost ορίζεται ως:

$$RNTC_{k,t+1} = \frac{NW_{k,t+1}}{NW_{k,t}} - 1 \quad (5.12)$$

Κατόπιν ορίζοντας ως  $\mu_{ir}$  και  $\mu_{cr}$  τις οι μέσες τιμές των μηνιαίων  $RNTC$  στην out of sample προσέγγιση των δύο στρατηγικών αντίστοιχα και  $\sigma_{ir}$ ,  $\sigma_{cr}$  οι τυπικές αποκλίσεις τους. Θα υπολογίσουμε το μέτρο *return-loss* την επιπρόσθετη δηλαδή απόδοση για το συμβατικό χαρτοφυλάκιο ώστε να ισορροπήσει το διευρυμένο, από την παρακάτω σχέση:

$$RL = \frac{\mu_{cr}}{\sigma_{cr}} * \sigma_{ir} - \mu_{ir} \quad (5.13)$$

Για τον υπολογισμό των παραπάνω εξισώσεων θα πρέπει πρώτα να ορίσουμε το κόστος συναλλαγών για κάθε περιουσιακό στοιχείο. Θέτουμε λοιπόν το κόστος για τις μετοχές και τα ομόλογα ίσο με 35 bps (Stowell D., 2017) και μηδέν για το περιουσιακό στοιχείο μηδενικού κινδύνου. Όσον αφορά τα κρυπτονομίσματα υπάρχουν τρία διαφορετικά κόστη που τα πλαισιώνουν και αφορούν τα κόστη ανταλλαγής, τα κόστη δικτύου και τα κόστη αποθήκευσης. Το κόστος ανταλλαγής αφορά οποιαδήποτε μετατροπή σε fiat ή crypto νόμισμα μέσω των ανταλλακτηρίων, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιούν σταθερά κόστη για τις συναλλαγές, τις αναλήψεις ή τις καταθέσεις ή να εφαρμόζουν ένα σύστημα maker-taker διαφορετικά κόστη δηλαδή μεταξύ των κατόχων ρευστότητας και των μερών εκείνων που αναζητούν ρευστότητα. Τα κόστη δικτύου αφορούν τις προμήθειες των miners του Blockchain που θα επιβεβαιώσουν την εκάστοτε συναλλαγή καθώς όλες οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται θα πρέπει να καταχωρηθούν σε νέα block της αλυσίδας και να επαληθευτούν από τα μέλη του δικτύου του εκάστοτε νομίσματος, η προμήθεια αυτή καταβάλλεται από τα δύο μέρη που πραγματοποιούν την συναλλαγή. Τέλος τα κόστη αποθήκευσης (wallet fees) αφορούν χρεώσεις για την δημιουργία ενός λογαριασμού



που λειτουργεί σαν πορτοφόλι και ο κάτοχος ψηφιακών νομισμάτων μπορεί να τα αποθηκεύει και να τα χρησιμοποιεί για τις πληρωμές του. Οι εταιρείες που δημιουργούν τέτοιου είδους πορτοφόλια χρεώνουν τέλη για αυτή την χρήση. Με βάση τα παραπάνω θέτουμε 50 hrs στις συναλλαγές των κρυπτονομισμάτων που αποτελεί περίπου τον μέσο όρο από τις είκοσι μεγαλύτερες πλατφόρμες διαπραγμάτευσης για τα τέσσερα νομίσματα τα οποία εξετάστηκαν βάση το [coinmetrics.io](https://coinmetrics.io) από το 2013 έως το 2018. Τέλος ο δείκτης CBI χρεώνει 1% ανά συναλλαγή βάση την επίσημη ιστοσελίδα της Coinbase Inc. ενώ αντίθετα οι δείκτες αμοιβαίων κεφαλαίων HFR Blockchain και Cryptocurrency index είναι απαλλαγμένοι από τέλη συναλλαγών από την HFR Research.

# Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

## Συζήτηση Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα εξετάζει τα οφέλη της διαφοροποίησης που προκύπτουν από την εργαλειοποίηση των κρυπτονομισμάτων ως εναλλακτικά χρηματοπιστωτικά προϊόντα. Αρχικά η εξέταση αυτή εφαρμόζεται σε in sample περιβάλλον ελέγχοντας για spanning μεταξύ των test assets (κρυπτονομίσματα) και benchmark assets (μετοχές, ομόλογα, και risk-free assets) η προσέγγιση αυτή λαμβάνει χώρα σε mean – variance επενδυτικό περιβάλλον και non mean – variance λαμβάνοντας υπ’ οψιν διαφορετικές συναρτήσεις χρησιμότητας που περιγράφουν την επενδυτική συμπεριφορά. Κατόπιν εξετάζουμε το ίδιο εγχείρημα σε ένα out of sample περιβάλλον κατασκευάζοντας βέλτιστα χαρτοφυλάκια για κάθε χρονική στιγμή του δειγματός με την άμεση μεγιστοποίηση της συνάρτησης χρησιμότητας. Τέλος εφαρμόζουμε ένα σύνολο από μέτρα απόδοσης μεταξύ των δύο βέλτιστων χαρτοφυλακίων, του παραδοσιακού και του διευρυμένου με κρυπτονομίσματα.

Από τον έλεγχο της in-sample ανάλυσης και την εφαρμογή των spanning tests διαπιστώνουμε ότι συγκεκριμένα κρυπτονομίσματα (Ripple, Ethereum) καθώς επίσης και οι δείκτες HFR και CBI θα είχαν την δυνατότητα να προσφέρουν εν δυνάμει οφέλη στον επενδυτή όταν οι προτιμήσεις του περιγράφονται από την τετραγωνική συνάρτηση χρησιμότητας. Στην συνέχεια προκειμένου να έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα της επενδυτικής συμπεριφοράς εξετάζουμε για spanning σε ένα m-n περιβάλλον που όμως οι προτιμήσεις περιγράφονται από μια non m-n εξίσωση χρησιμότητας, τα αποτελέσματα εκεί μας υποδεικνύουν δυνητικά οφέλη από το Ripple το Ethereum και τον δείκτη της πλατφόρμας Coinbase. Τέλος όταν εγκαταλείπουμε το mean-variance περιβάλλον και εξετάζουμε μεμονωμένα τις non m-n συναρτήσεις χρησιμότητας, μόνο με την προσθήκη του Ripple και όταν οι επενδυτικές προτιμήσεις περιγράφονται από την αρνητική εκθετική συνάρτηση, έχουμε πρόσθετα οφέλη διαφοροποίησης.

Η out of sample ανάλυση αποτελεί και την καλύτερη προσέγγιση για την έκβαση των συμπερασμάτων μας. Η συζήτηση των αποτελεσμάτων αφορά την άμεση μεγιστοποίηση της αναμενόμενης συνάρτησης χρησιμότητας για δύο χαρτοφυλάκια το παραδοσιακό και το διευρυμένο με κρυπτονομίσματα. Οι πίνακες από 3 έως 14

παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για τέσσερα μεμονωμένα κρυπτονομίσματα (Bitcoin, Litecoin, Ripple, Ethereum) και τρεις δείκτες (HFR Blockchain και Cryptocurrency Index, Coinbase Index) σε ένα δείγμα μηνιαίων παρατηρήσεων, εξετάζοντας δύο παραδοχές την αποδοχή και μή του short selling για την χρηματοδότηση της επένδυσης στα περιουσιακά στοιχεία, ενώ οι πίνακες από 15 έως 22 αφορούν τα αποτελέσματα της επένδυσης στα τέσσερα μεμονωμένα κρυπτονομίσματα μόνο με την αποδοχή του short selling σε ένα δείγμα ημερήσιας συχνότητας των παρατηρήσεων. Η συνάρτηση χρησιμότητας που μεγιστοποιείται σε κάθε περίπτωση είναι η Power utility και η Negative Exponential utility και στα δύο τεστ η εξισορρόπηση των χαρτοφυλακίων πραγματοποιείται με μηνιαία συχνότητα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για πέντε μέτρα απόδοσης σε διαφορετικούς βαθμούς σχετικής και απόλυτης αποστροφής κινδύνου, καθώς επίσης και για διαφορετικά μεγέθη εφαρμογής των εκτιμώμενων windows του δείγματος, όπου ήταν επιτρεπτό από τους υφιστάμενους περιορισμούς στο πλήθος των παρατηρήσεων.

Αναλύοντας αρχικά το Sharpe Ratio ως μέτρο απόδοσης ελέγχουμε την στατιστική σημαντικότητα των διαφορών του μέτρου στο διευρυνόμενο και το παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο παρουσιάζοντας σε παρενθέσεις τα *p-values* των Memmel's tests (2003), κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με αυτό του διευρυμένου. Παρατηρούμε ότι τα SR των διευρυμένων χαρτοφυλακίων όταν οι επενδυτές έχουν πρόσβαση σε Bitcoin και στους δείκτες της HFR και Coinbase είναι μεγαλύτερα σε κάθε περίπτωση σε σχέση με το παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο και με στατιστικά σημαντικές τις διαφορές αυτές βάση των αντίστοιχων *p-values*, παρόμοια εικόνα και στο Sortino Ratio το οποίο θεωρείται πιο αξιόπιστο σε επενδύσεις υψηλού ρίσκου όπως τα κρυπτονομίσματα. Από την άλλη πλευρά η πρόσβαση σε Ripple παρουσιάζει σε κάθε περίπτωση μικρότερα SR από το παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο στο πρώτο τεστ των μηνιαίων αποδόσεων με στατιστικά όμως μη σημαντικές αυτές τις διαφορές. Στο δεύτερο τεστ η πρόσβαση σε Ripple έχει καλύτερα αποτελέσματα μόνο για την εκθετική συνάρτηση χρησιμότητας, όμως σε όλες τις περιπτώσεις το Sortino Ratio παραμένει υψηλότερο σε σύγκριση με το παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο. Η πρόσβαση σε Litecoin και Ethereum παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα του μέτρου στο πρώτο τεστ των μηνιαίων παρατηρήσεων όχι όμως στο δεύτερο, σε κάθε όμως περίπτωση το Sortino Ratio εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές του διευρυμένου χαρτοφυλακίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις για δεδομένο βαθμό αποστροφής κινδύνου όταν χρησιμοποιούμε και

δύετο μεγλύτερο μέγεθος του expanded και του rolling window το SR αυξάνεται, αυτό σημαίνει ότι η κάθε πρόσφατη πληροφορία λαμβάνεται περισσότερο υπόψιν. Επίσης μία ακόμα σημαντική παρατήρηση είναι ότι κατά την εξέταση της παραδοχής για μη αποδοχή του short selling τα οφέλη μειώνονται στις περισσότερες περιπτώσεις.

Στην συνέχεια εξετάζουμε τα αποτελέσματα του Opportunity Cost ως πιο αξιόπιστο μέτρο αφού λαμβάνει υπόψιν τις βέλτιστες αποδόσεις σε όρους χρησιμότητας και παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις το διευρυμένο χαρτοφυλάκιο παρουσιάζει θετικά opportunity cost είτε αφορά την επένδυση σε μεμονωμένα κρυπτονομίσματα είτε σε δείκτες που αφορούν την συγκεκριμένη αγορά, τα αποτελέσματα αυτά συγκλίνουν με αυτά που ελήφθησαν στο πλαίσιο του SR παρά το γεγονός ότι η κατανομή των βέλτιστων αποδόσεων χαρτοφυλακίου δεν έπονται της κανονικότητας. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η επένδυση σε Ethereum όπου στις περισσότερες περιπτώσεις και των δύο τέστ το μέτρο παρουσιάζει αρνητικές τιμές. Σημαντική επίσης παρατήρηση για το συγκεκριμένο μέτρο είναι ότι οι τιμές του opportunity cost μειώνονται όσο αυξάνεται ο βαθμός αποστροφής κινδύνου, αυτό σημαίνει ότι οι επενδυτές γίνονται αδιάφοροι σε όρους χρησιμότητας μεταξύ του διευρυμένου και του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου όσο αυξάνεται ο βαθμός που αποστρέφονται τον κίνδυνο.

Από την σκοπία του Portfolio Turnover ελέγχουμε το ποσοστό της εξισορρόπησης που απαιτείται για το διευρυμένου και το παραδοσιακό χαρτοφυλακίου και παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις του διευρυμένου χαρτοφυλακίου σε μεμονωμένα κρυπτονομίσματα το ποσοστό του μέτρου είναι μεγαλύτερο από αυτό του παραδοσιακού, σε αντίθεση με τους δείκτες HFR και CBI όπου και για τις δύο συναρτήσεις χρησιμότητας τα αποτελέσματα είναι αντίστροφα, το παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο απαιτεί μεγαλύτερα ποσοστά εξισορρόπησης του. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι και για τις δύο στρατηγικές το ποσοστό εξισορρόπησης μειώνεται όσο αυξάνεται ο βαθμός αποστροφής κινδύνου, στις περισσότερες περιπτώσεις. Αυτό μας υποδηλώνει ότι όσο ο επενδυτής αποστρέφεται τον κίνδυνο μειώνει την δραστηριότητα εξισορρόπησης των βαρών αφού είναι λιγότερο πρόθυμος να αναλάβει ένα διαρκές ρίσκο. Τέλος εξετάζουμε το μέτρο του return-loss το οποίο λαμβάνει υπόψιν τα κόστη συναλλαγών των περιουσιακών στοιχείων και παρατηρούμε τα εξής, η πρόσβαση σε Bitcoin, Ethereum και στους δείκτες HFR και CBI παρουσιάζει θετικά return-loss σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις, από την

άλλη πλευρά κατά την εξέταση της επένδυσης σε Litecoin το μέτρο παίρνει κατά κύριο λόγο αρνητικές τιμές για  $K = 36$  μέγεθος παραθύρου του δείγματος. Τέλος το Ripple αν και παρουσιάζει θετικές τιμές στο δεύτερο τεστ των ημερήσιων αποδόσεων, αντίθετα στο πρώτο όταν εξετάζουμε την μη αποδοχή του short selling εμφανίζει αρνητικές τιμές. Το θετικό return-loss επιβεβαιώνει την υπεροχή του διευρυμένου χαρτοφυλακίου στην out-of-sample ανάλυση ακόμα και μετά την υφιστάμενη επίδραση του κόστους των συναλλαγών. Θα πρέπει να πρόσθουμε μία σημαντική επισήμανση, ότι το ποσοστό του return-loss παρουσιάζει επίσης μείωση όταν εξετάζουμε την μη αποδοχή του short selling όπως και το SR υποδυκνύοντας μας μειωμένα οφέλη με τον συγκεκριμένο περιορισμό.

## **Συμπεράσματα**

Η συγκεκριμένη εργασία ερευνά την βελτίωση της θέσης ενός επενδυτή ο οποίος σε ένα παραδοσιακό χαρτοφυλάκιο μετοχών, ομολόγων και μετρητών συμπεριλάβει κρυπτονομίσματα ή δείκτες που αφορούν την συνολική επένδυση σε κρυπτονομίσματα και τεχνολογία Blockchain, ως μία νέα κατηγορία εναλλακτικής επένδυσης. Για να επιτευχθεί αυτό διεξάγουμε μια γενική προσέγγιση σε ένα in-sample και out-of-sample περιβάλλον. Κατά την in-sample ανάλυση εφαρμόζουμε τεχνικές spanning σε mean-variance και non mean-variance περιβάλλον, τα αποτελέσματα μας υπέδειξαν σχετικά δυνητικά οφέλη διαφοροποίησης από την επένδυση σε συγκεκριμένα κρυπτονομίσματα (Ripple, Ethereum) καθώς επίσης και στους σχετικούς δείκτες (HFR Block., & Crypto Index, CBI).

Κατόπιν εξετάζουμε τα οφέλη της διαφοροποίησης του χαρτοφυλακίου σε μία out-of-sample ανάλυση σε ένα non mean-variance περιβάλλον λαμβάνοντας υπόψιν τις υψηλές ροπές της κατανομής των αποδόσεων των περιουσιακών στοιχείων, εξετάζοντας διαφορετικές επενδυτικές προτιμήσεις και εφαρμόζοντας μία σειρά από μέτρα απόδοσης. Δεδομένου λοιπόν του αρχικού ερωτήματος της ερευνάς και βάση των παραπάνω αποτελεσμάτων καταλήγουμε αρχικά στο συμπέρασμα ότι οι δείκτες που επενδύουν συλλογικά σε κρυπτονομίσματα και υποδομή της τεχνολογίας Blockchain προσφέρουν πρόσθετα όφελι διαφοροποίησης σε όλο το φάσμα των περιπτώσεων που εξετάσαμε. Από την άλλη πλευρά η επένδυση σε μεμονωμένα κρυπτονομίσματα μας υπέδειξε πρόσθετα όφελι με την πρόσβαση σε Bitcoin, αφού

το διευρυμένο χαρτοφυλάκιο υπερείχε του παραδοσιακού σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις. Οσον αφορά την πρόσβαση σε Litecoin, Ethereum και Ripple παρουσίασαν εξίσου καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το παραδοσιακό υποορισμένες προϋποθέσεις όμως σχετικά με τις επενδυτικές προτιμήσεις και τον βαθμό αποστροφής κινδύνου. Σε κάθε περίπτωση όμως ο περιορισμός στον δανεισμό κεφαλαίων για την χρηματοδότηση της επένδυσης μείωνε σημαντικά τα οφέλη αυτά. Τα αποτελέσματά μας σχετικά με την διαφοροποίηση ενός χαρτοφυλακίου με κρυπτονομίσματα συμπίπτουν με πρόσφατες έρευνες που εξετάζουν το ίδιο εγχείρημα και προαναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο. Ως απόρροια των αποτελεσμάτων τα κρυπτονομίσματα θα μπορούσαν να διαφοροποιήσουν θετικά ένα χαρτοφυλακιο, ελοχέουν όμως αρκετούς κινδύνους λόγω της έλλειψης ενός υφιστάμενου νομοθετικού πλαισίου το οποίο θα κινητροδοτούσε την επένδυση στην συγκεκριμένη αγορά για τον λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη προσοχή και από έμπειρους επενδυτές.

## Βιβλιογραφία

- Abadi, J. and M. Brunnermeier (2018). Blockchain economics. *Working Paper*.
- Adler, T., Kritzman, M., (2007). Mean-variance versus full-scale optimisation: In and out of sample. *Journal of Asset Management* 7, 302-311.
- Anyfantaki, S., Arvanitis S., Topaloglou N., (2018). Diversification, intergration and cryptocurrency market. *Bank of Greece, Economic Analysis and Research Department* , 19-20.
- Antonopoulos, A., 2014. *Mastering Bitcoin*. Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol.
- Bianchi, D., Dickerson, A., 2019. Trading Volume in Cryptocurrency Markets. 2-6, 35-36.
- Bianchi, D. (2018). Cryptocurrencies as an asset class? An empirical assessment. An Empirical Assessment (June 6, 2018). *WBS Finance Group Research Paper*.
- Buraschi, A. and E. Pagnotta (2018). An equilibrium valuation of Bitcoin and decentralized network assets, 27-29.
- Corbet, S., B. Lucey, and L. Yarovaya (2018). Datestamping the Bitcoin and Ethereum bubbles. *Finance Research Letters* 26, 81–88.
- Cremers, J.H., Kritzman, M., Page, S., 2005. Optimal hedge fund allocations. *Journal of Portfolio Management* 31, 70-81.
- Daskalaki, C., Skiadopoulos G., 2011. Should investors include commodities in their portfolios after all? New evidence. *Journal of Banking and Finance* 25, 2606–2626.
- DeMiguel, V., Garlappi, L., Uppal, R., 2009. Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy? *Review of Financial Studies* 22, 1915-1953.
- DeRoos, F.A., Nijman, T. E., Werker, B.J.M., 1996. Testing for spanning with futures contracts and nontraded assets: A general approach. *Working paper*, Tilburg University.

- DeRoos, F.A., Nijman, T.E., 2001. Testing for mean-variance spanning: A survey. *Journal of Empirical Finance* 8, 111-155.
- DeRoos, F.A., Nijman, T.E., Werker, B.J.M., 2003. Currency hedging for international stock portfolios: The usefulness of mean-variance analysis. *Journal of Banking and Finance* 27, 327-349.
- Gangwal S., 2016. Analyzing the Effects of Adding Bitcoin to Portfolio: *International Journal of Economics and Management Engineering*, 3531
- Huberman, G., Kandel, S., 1987. Mean-variance spanning. *Journal of Finance* 42, 873-888.
- Jobson, J.D., Korkie, B.M., 1981. Performance hypothesis testing with the Sharpe and Treynor measures. *Journal of Finance* 36, 889–908.
- Kostakis, A., N. Panigirtzoglou, Skiadopoulos, G., 2010. Market timing with option-implied distributions: A forward-looking approach. *Working paper*, University of Piraeus.
- Liu, Y., A. Tsyvinski (2018). Risks and returns of cryptocurrency. Technical report, *National Bureau of Economic Research*.
- Llorente, G., Michaely, R., Saar, G., and Wang, J. (2002). Dynamic volume-return relation of individual stocks. *The Review of Financial Studies*, 1005–1047.
- Makarov, I. and Schoar, A. (2018). Trading and arbitrage in cryptocurrency markets.
- Markowitz, H., 1952. Portfolio selection. *Journal of Finance* 7, 77-91.
- Memmel, C., 2003. Performance hypothesis testing with the Sharpe ratio. *Finance Letters* 1, 21–23.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.
- Newey, W.K., West, K.D., 1987. A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica* 55, 703–708.
- Osterrieder, J., Chan, S., Chu, J., Nadarjah, S., 2017. The Statistical Analysis of Cryptocurrencies. *Working Paper*, University of Manchester, 28.



Simaan, Y., 1993. What is the opportunity cost of mean-variance investment strategies? *Management Science* 39, 578-587.

Sortino, F. and R. van der Meer, 1991, Downside risk - capturing what's at stake in investment situations, *Journal of Portfolio Management* 17, 27-31.

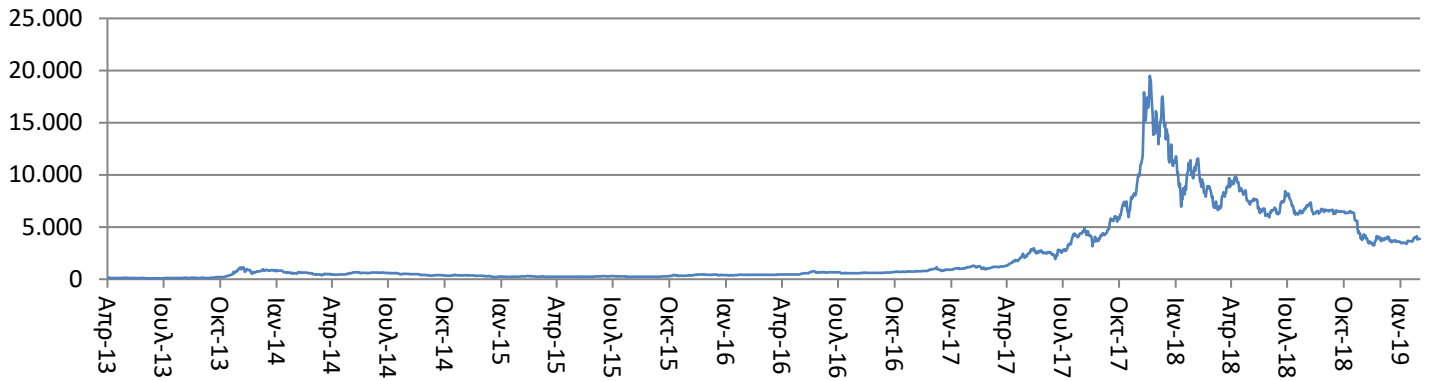
Stowell, D., 2017, *Investment Banks, Hedge Funds, and Private Equity*, 125 London Wall, London.

Trautman, L., and Dorman T., 2018. Bitcoin as asset class. *Working paper*, 11-13, 26.

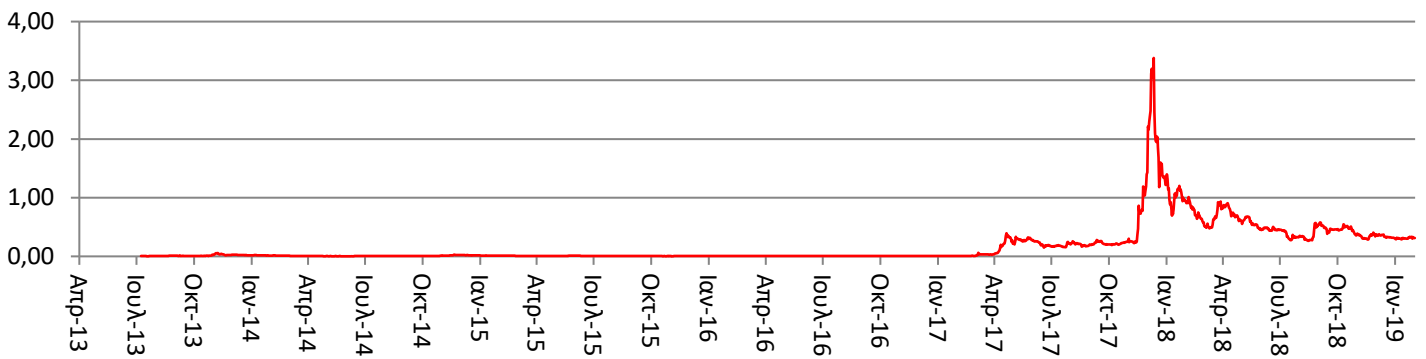
Yermack, D. (2013). Is bitcoin a real currency? an economic appraisal. National Bureau of Economic Research.

# Παράρτημα

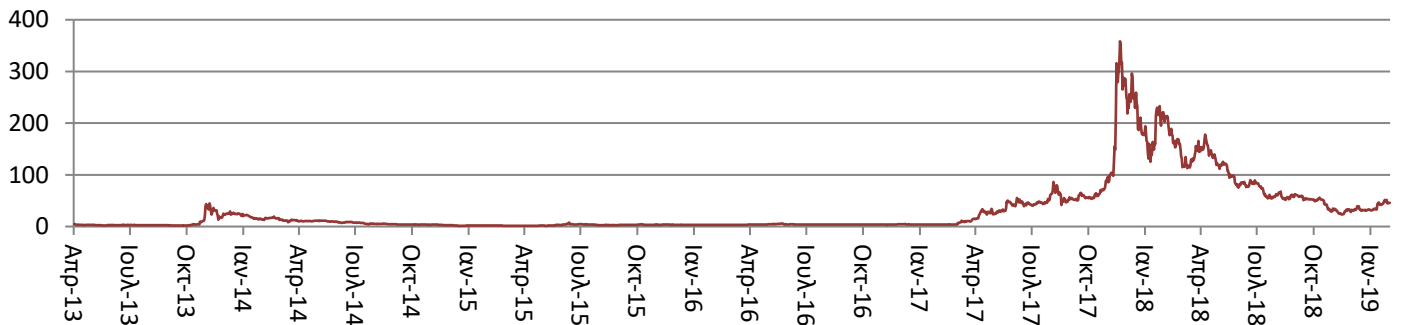
Διάγραμμα 1: Bitcoin price 2013-2019 in USD



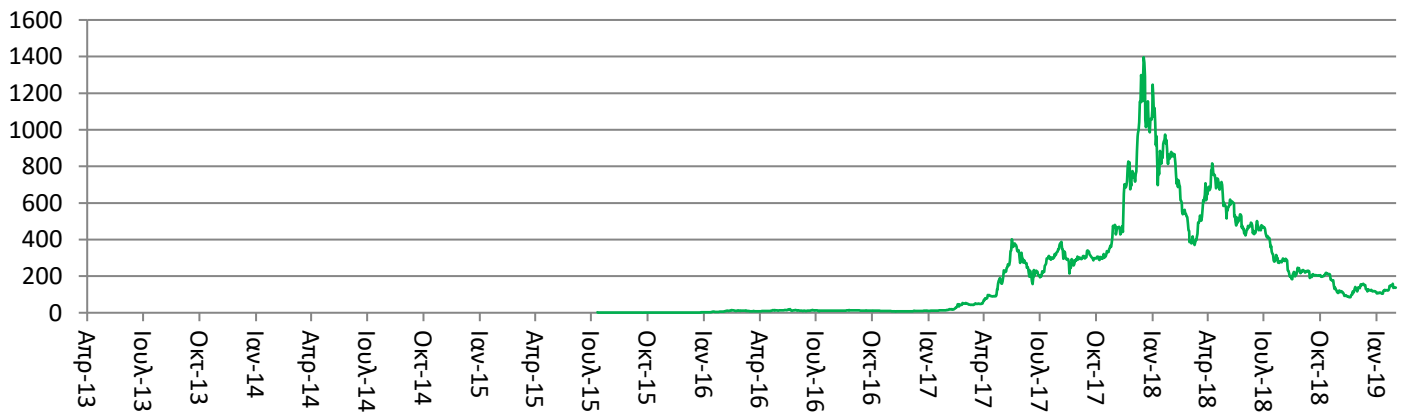
Διάγραμμα 2: Ripple price 2013-2019 in USD

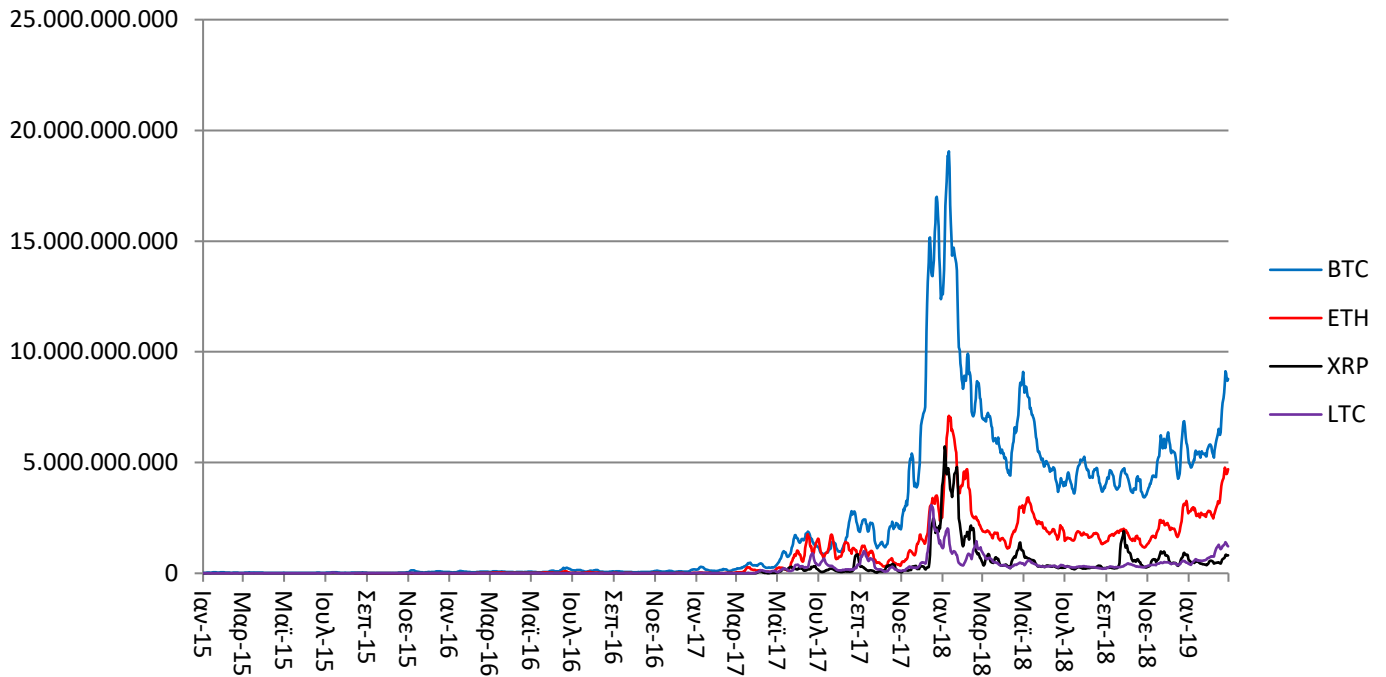


Διάγραμμα 3: Litecoin price 2013-2019 in USD



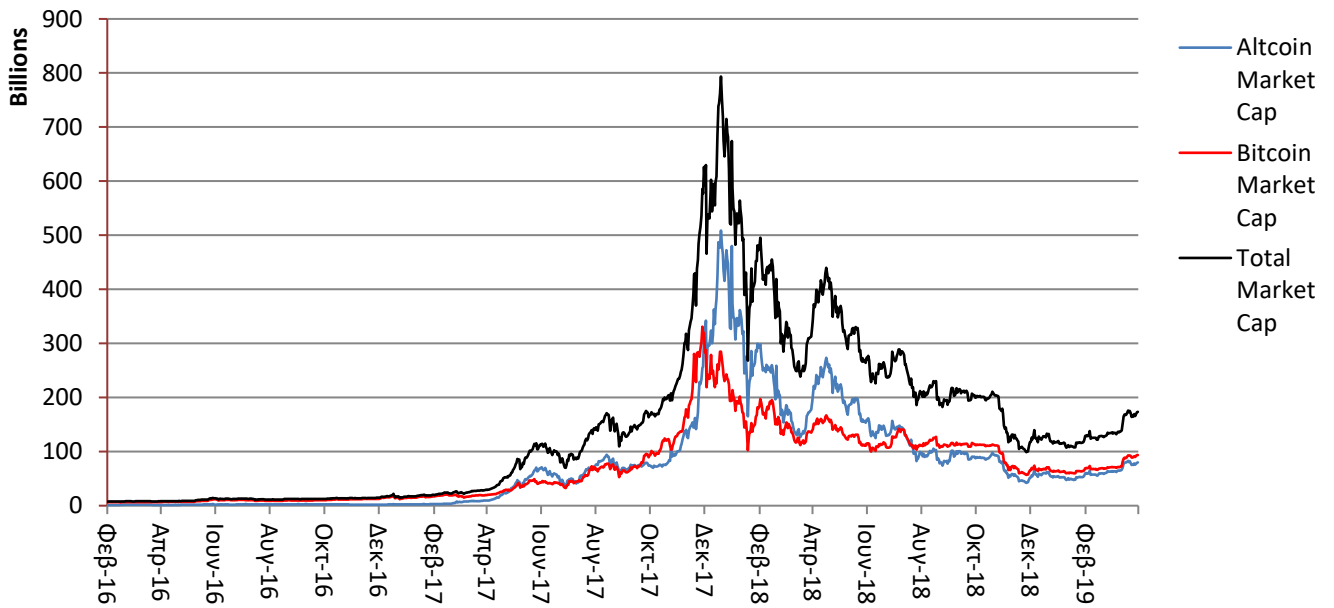
Διάγραμμα 4: Ethereum price 2013-2019 in USD



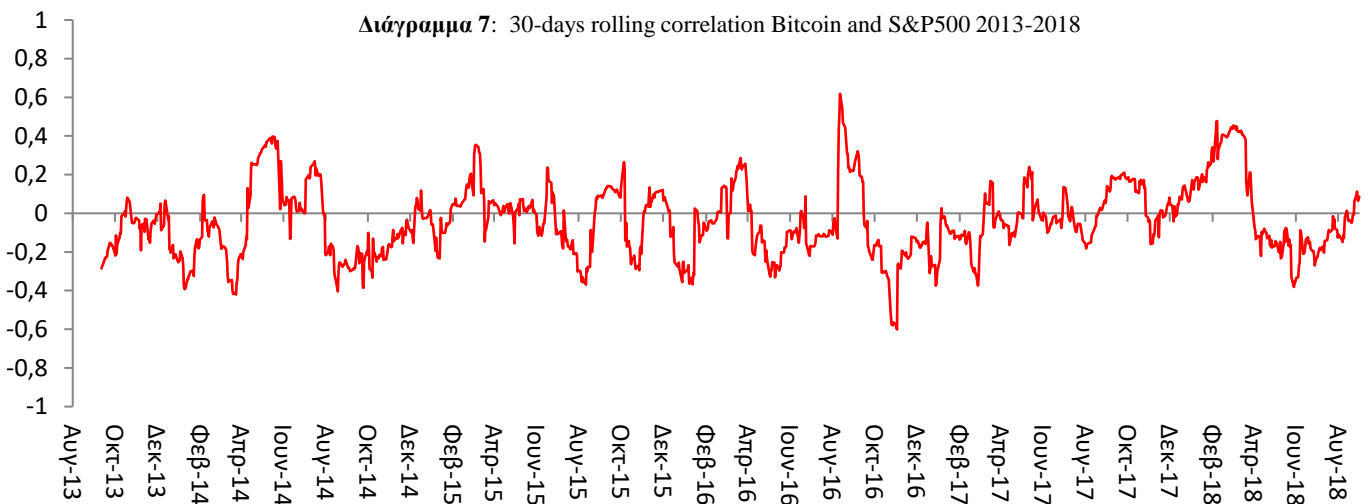


Διάγραμμα 5: Trading Volume BTC, LTC, ETH, XRP 2015-2018, 7days average in USD.

Πηγή: coinmarketcal.com

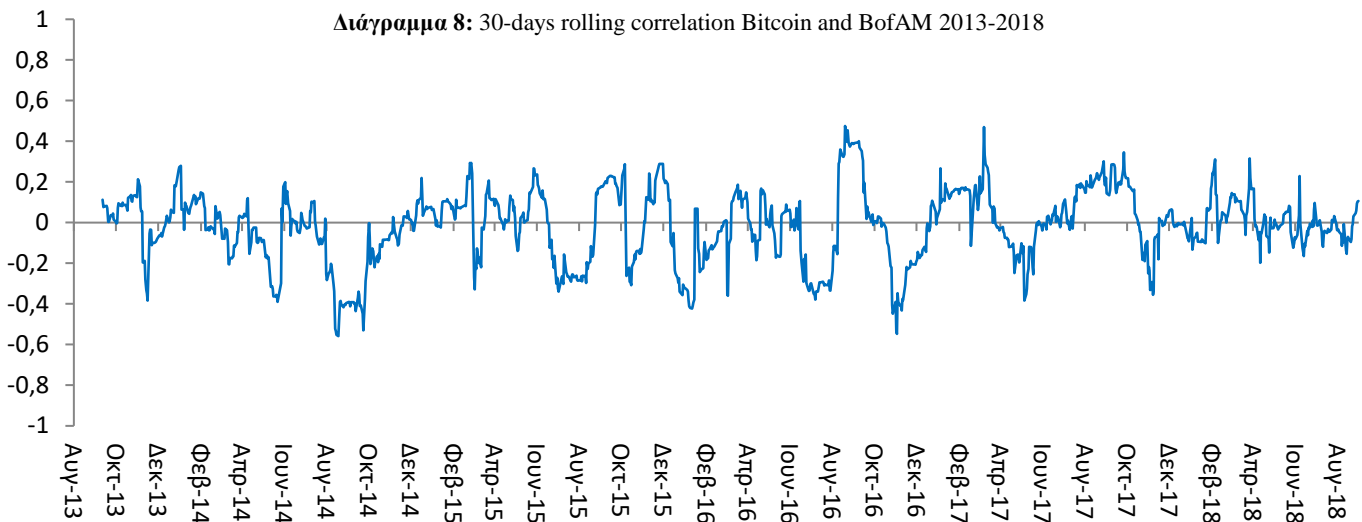


Διάγραμμα 6: Total Market Capitalization Bitcoin and Altcoins 2016-2019 in USD. Πηγή: Coinmarketcap.com

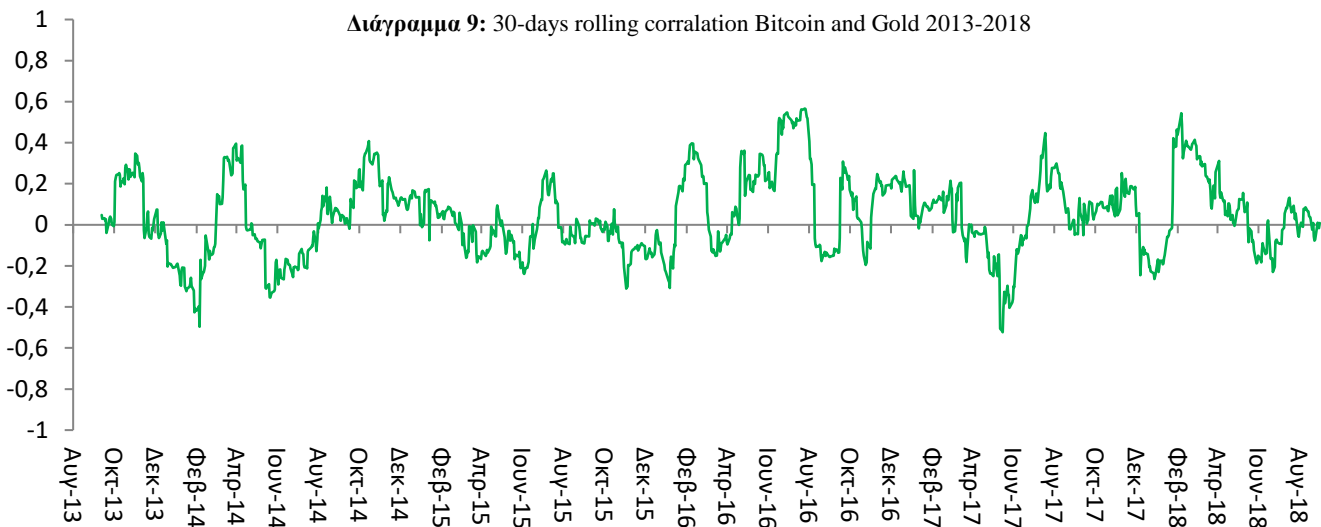


Διάγραμμα 7: 30-days rolling correlation Bitcoin and S&P500 2013-2018

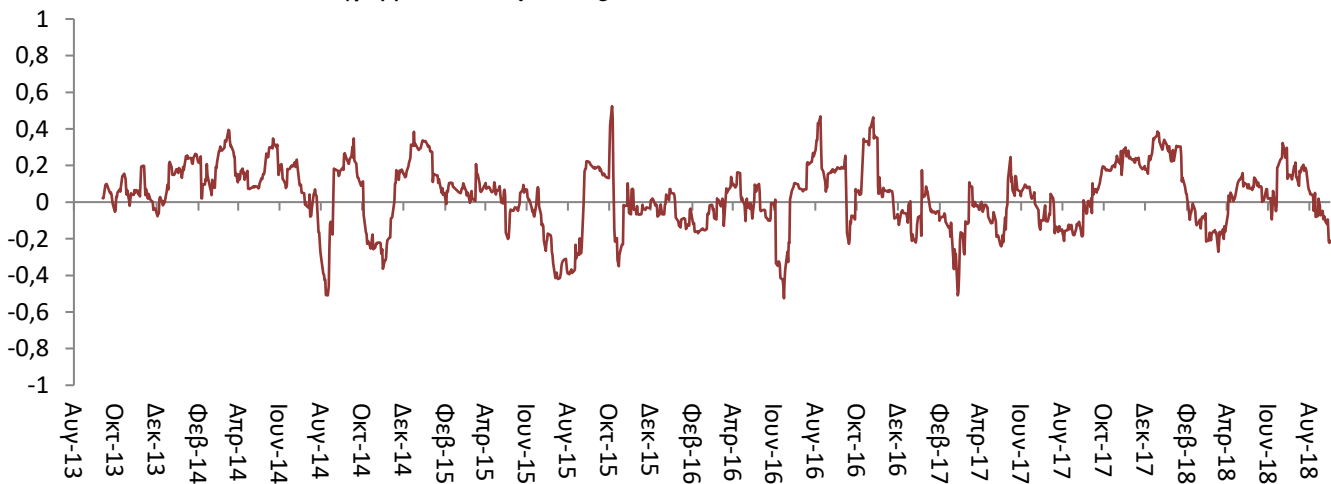
Διάγραμμα 8: 30-days rolling correlation Bitcoin and BofAM 2013-2018



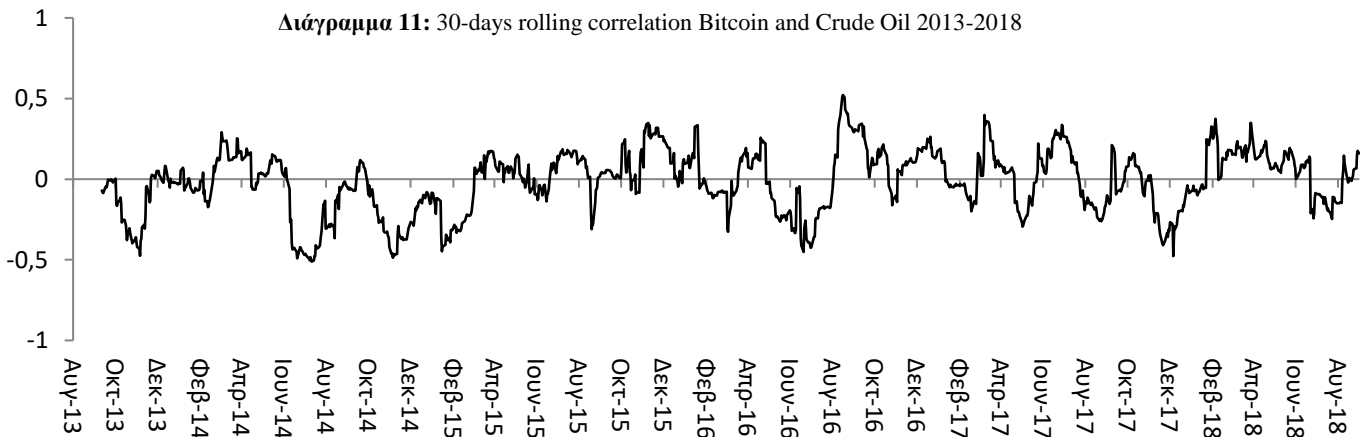
Διάγραμμα 9: 30-days rolling correlation Bitcoin and Gold 2013-2018



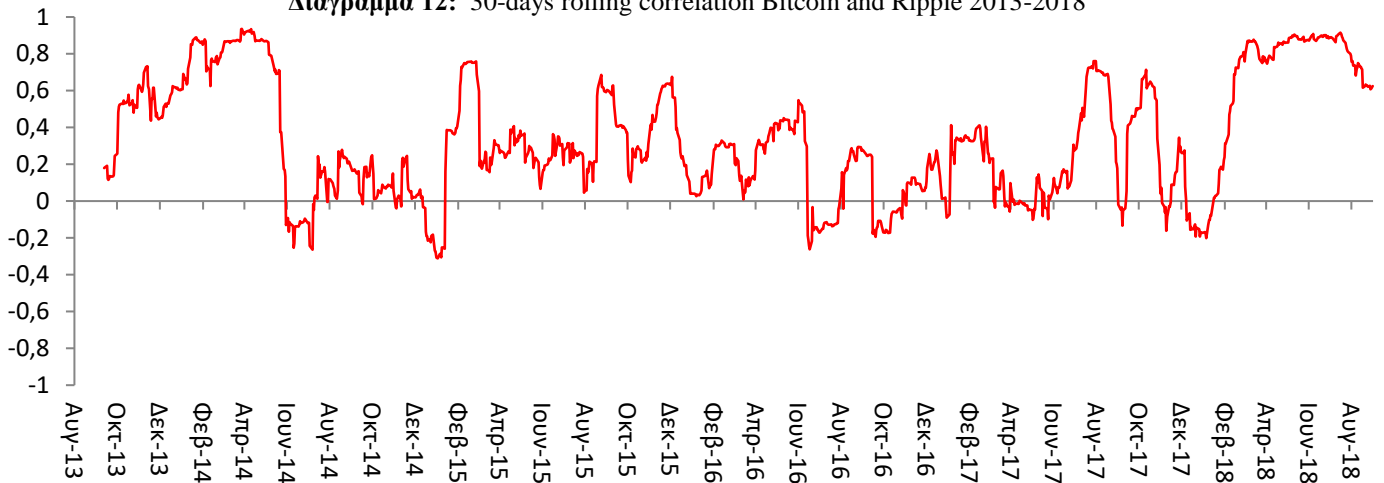
Διάγραμμα 10: 30-days rolling correlation Bitcoin and USDX 2013-2018



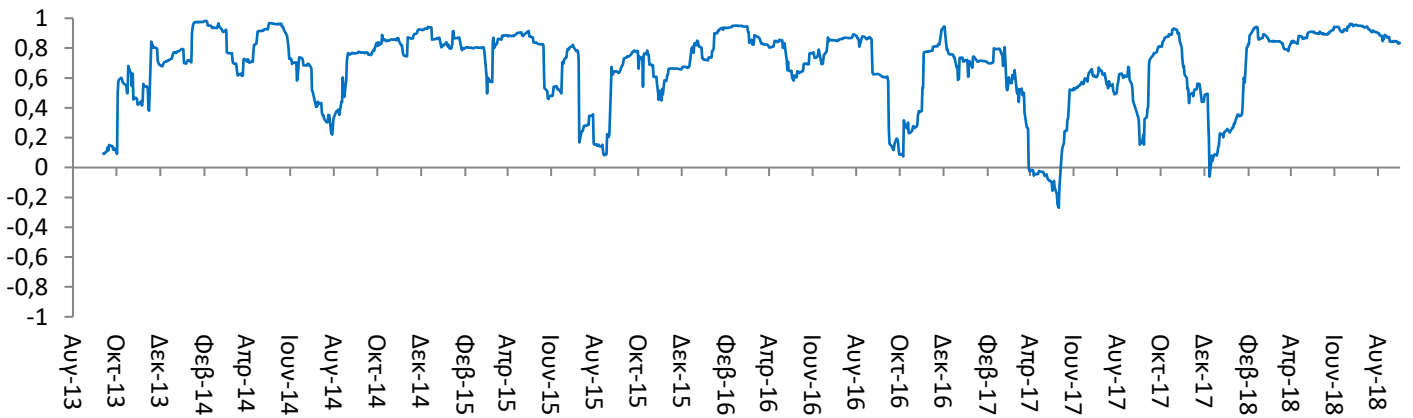
Διάγραμμα 11: 30-days rolling correlation Bitcoin and Crude Oil 2013-2018



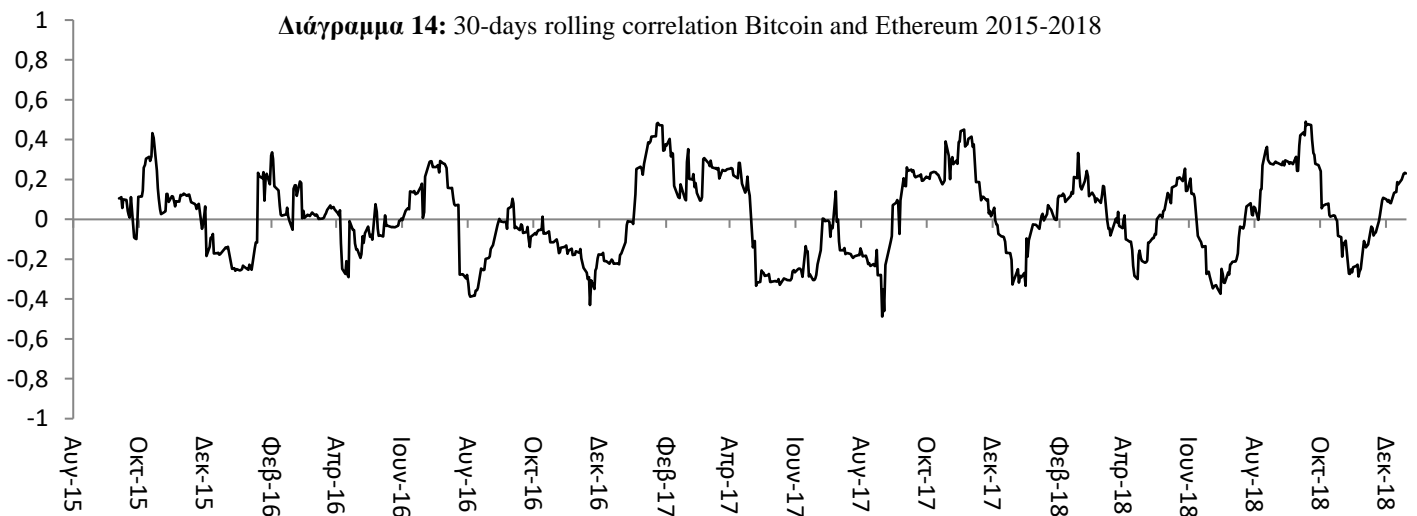
**Διάγραμμα 12:** 30-days rolling correlation Bitcoin and Ripple 2013-2018



**Διάγραμμα 13:** 30-days rolling correlation Bitcoin and Litecoin 2013-2018



**Διάγραμμα 14:** 30-days rolling correlation Bitcoin and Ethereum 2015-2018



**Διάγραμματα 7 έως 14:** 30-days Rolling Correlation Coefficient 2013-2018 Bitcoin with S&P500, BofAM bond Index, Gold, Crude oil, USDX, Litecoin, Ripple and 2015-2018 for Bitcoin with Ethereum

### Πίνακας 1: Descriptive Statistic

Παρουσιάζεται η μέση απόδοση (ετησιοποιημένη), η τυπική απόκλιση (ετησιοποιημένη), το Sharpe Ratio (ετησιοποιημένο), η ασυμμετρία, η κύρτωση και p-value του Jarque Bera ελέγχου των αποδόσεων. Συνοπτικά έχουμε εξήντα παρατηρήσεις που καλύπτουν την περίοδο από τον Αυγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 για πέντε περιουσιακά στοιχεία, τους δείκτες S&P500, Bank of America US Bond Index, και τα κρυπτονομίσματα Bitcoin, Litecoin και Ripple. Επίσης σαράντα παρατηρήσεις για το Ethereum από τον Αύγουστο του 2015 έως τον Σεπτέμβριο του 2018. Ένα επιπλέον δείγμα σαράντα οχτώ παρατηρήσεων από Ιανουάριο του 2015 έως Δεκέμβριο του 2018 για τρεις δείκτες που αφορούν την επένδυση σε κρυπτονομίσματα και τεχνολογία Blockchain τους Coinbase Index, HFR Blockchain Composite Index και HFR Cryptocurrency Index. Ως απόδοση μηδενικού κινδύνου χρησιμοποιήθηκε το μηνιαίο Libor. Τέλος στο Panel B παρουσιάζεται το Corellation matrix των μηνιαίων αποδόσεων για τα παραπάνω διαστήματα κάθε ζεύγους περιουσιακών στοιχείων. Επίπεδο σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης για 1%(\*).

#### Panel A: Στατιστικά Στοιχεία

	Mean	Std, Dev,	Sharpe Ratio	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera p-value
BOFAML_US_Bond_Index	5,34%	5,01%	-0,46	0,12	3,41	0,7487
S&P_500	10,77%	9,68%	0,32	-0,07	3,27	0,8806
Bitcoin	85,69%	84,44%	0,92	0,50	2,92	0,0000
Ethereum	91,58%	132,13%	0,58	0,52	2,20	0,0001
Litecoin	82,16%	146,11%	0,51	2,08	7,59	0,0000
Ripple	82,54%	192,67%	0,39	2,67	11,88	0,0000
Coinbase Index	107,65%	88,93%	1,08*	1,01	4,84	0,0005
HFR Block. Index	120,55%	99,68%	1,10*	1,99	8,52	0,0000
HFR Crypt. Index	117,06%	98,62%	1,07*	2,05	8,85	0,0000
Libor_1	7,67%	2,08%		1,10	2,95	0,0021
Libor_2*	11,20%	2,47%		0,62	2,02	0,0819

#### Panel B: Correlation Matrix

	S&P 500	BofAML Index	Bitcoin	Litecoin	Ripple	Ethereum	HFR Block. Index	HFR Crypt. Index	Coinbase Index
S&P 500	1,00								
BofAML Index	0,67*	1,00							
Bitcoin	0,15	0,03	1,00						
Litecoin	0,11	0,00	0,97*	1,00					
Ripple	0,08	-0,10	0,87*	0,90*	1,00				
Ethereum	0,03	0,06	0,06	-0,01	-0,07	1,00			
HFR Block. Index	0,20	0,04	0,13	0,16	-0,04	0,13	1,00		
HFR Crypt. Index	0,21	0,03	0,15	0,17	-0,03	0,12	0,99*	1,00	
Coinbase Index	0,09	0,05	0,18	0,01	-0,04	-0,13	-0,05	-0,03	1,00

## Πίνακας 2: Spanning Test Results

Στον πίνακα προβάλλονται τα αποτελέσματα των Wald test statistics και τα αντίστοιχα  $p$ -values κάνοντας έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης των εξισώσεων (4.8)  $H_0: a_j = a_0 - R_t^f (1 - \beta_{ik}) = 0$  και (4.12)  $H_0: a_j = 0$  και  $\gamma_i = 0 \forall i$  για spanning όταν σε ένα χαρτοφυλάκιο με benchmark assets μετοχές, ομολόγα και περιουσιακά στοιχεία μηδενικού κινδύνου συμπεριλάβουμε τα test assets από την αγορά των κρυπτονομισμάτων. Ο έλεγχος αφορά αρχικά ένα mean-variance περιβάλλον (Στήλη 1), κατόπιν ταυτόχρονα σε mean-variance με non – mv συνάρτηση χρησιμότητας (negative exponential, power) με 2 έως 10 βαθμό αποστροφής κινδύνου (Στήλη 2, 4) και στην συνέχεια μεμονωμένα για non – mv συνάρτηση χρησιμότητας (negative exponential, power) με παρόμοιο εύρος βαθμού αποστροφής κινδύνου (Στήλη 3, 5). Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ολόκληρη την περίοδο του δείγματος των μηνιαίων παρατηρήσεων από τον Άγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 για τα bitcoin, litecoin και ripple, από τον Άγουστο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 για το ethereum και τέλος από τον Ιανουάριο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 για τους δείκτες HFR και Coinbase.

Test Assets	Στήλη 1η Mean – Variance	Στήλη 2η M-V and Exponential	Στήλη 3η Exponential	Στήλη 4η M-V and Power	Στήλη 5η Power
Bitcoin	1,31 (0,194)	2,10 (0,717)	0,44 (0,929)	2,16 (0,704)	0,52 (0,914)
Ethereum	2,77 (0,008)**	8,69 (0,069)*	1,33 (0,719)	8,91 (0,063)*	1,52 (0,677)
Litecoin	1,01 (0,313)	1,38 (0,646)	0,40 (0,940)	1,38 (0,846)	0,40 (0,939)
Ripple	1,82 (0,072)*	10,56 (0,031)**	6,97 (0,072)*	9,52 (0,049)**	6,00 (0,111)
HFR Blockchain Composite Index	2,33 (0,024)**	6,78 (0,148)	1,44 (0,695)	6,55 (0,161)	1,32 (0,723)
HFR Cryptocurrency Index	2,29 (0,026)**	6,39 (0,171)	1,21 (0,750)	6,16 (0,686)	1,10 (0,774)
Coinbase Index	2,11 (0,039)**	9,68 (0,046)**	5,01 (0,170)	9,58 (0,048)**	4,90 (0,178)

Αποτελέσματα Wald test t statistic και τα αντίστοιχα  $p$ -values σε επίπεδο σημαντικότητας \*\*5% και \*10%.

### Πίνακας 3:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Power utility function

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του expanded window για  $K = 24, 36$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2, 4, 6, 8, 10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

#### Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Bitcoin (2013-2018)

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
K=24	Sharpe Ratio	1,70	1,08	1,94	1,34	2,05	1,52	2,12	1,64	2,14	1,68
	(p-value)	(0,014)		(0,017)		(0,024)		(0,024)		(0,025)	
	Sortino Ratio	1,38	0,56	1,53	0,72	1,56	0,84	1,61	0,91	1,63	0,93
	Opportunity Cost	56,04%		25,92%		16,20%		11,76%		9,36%	
	Portfolio Turnover	64,30%	20,62%	67,31%	48,89%	60,78%	51,27%	52,25%	45,23%	44,82%	40,43%
	Return-loss	4,11%		4,09%		3,68%		3,10%		2,59%	
K=36	Sharpe Ratio	1,97	1,84	2,22	1,99	2,38	2,21	2,47	2,34	2,50	2,37
	(p-value)	(0,028)		(0,037)		(0,048)		(0,048)		(0,050)	
	Sortino Ratio	1,75	1,08	1,99	1,15	2,08	1,34	2,13	1,42	2,14	1,44
	Opportunity Cost	69,12%		30,36%		18,96%		13,92%		11,04%	
	Portfolio Turnover	72,36%	9,39%	43,41%	23,57%	31,91%	23,57%	31,08%	22,82%	26,85%	21,42%
	Return-loss	0,88%		1,58%		1,37%		1,06%		0,88%	

#### Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Bitcoin (2013-2018) - Disallowed Short Selling

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
K=24	Sharpe Ratio	1,59	1,00	1,67	1,01	1,77	1,10	1,89	1,23	1,95	1,34
	(p-value)	(0,016)		(0,018)		(0,018)		(0,019)		(0,024)	
	Sortino Ratio	1,28	0,51	1,33	0,51	1,38	0,58	1,47	0,67	1,50	0,75
	Opportunity Cost	54,72%		25,32%		18,72%		12,36%		9,60%	
	Portfolio Turnover	1,69%	0,01%	8,50%	0,85%	16,78%	7,50%	22,12%	14,74%	21,60%	17,79%
	Return-loss	1,70%		2,14%		2,17%		2,02%		1,87%	
K=36	Sharpe Ratio	1,77	1,82	1,93	1,84	2,08	1,96	2,22	2,00	2,32	2,09
	(p-value)	(0,034)		(0,035)		(0,038)		(0,040)		(0,048)	
	Sortino Ratio	1,45	1,06	1,70	1,08	1,86	1,16	1,98	1,16	2,04	1,27
	Opportunity Cost	64,68%		30,96%		19,68%		14,52%		11,28%	
	Portfolio Turnover	2,19%	0,01%	11,36%	1,28%	13,86%	7,29%	15,87%	9,23%	13,56%	11,30%
	Return-loss	-0,15%		0,42%		0,65%		0,69%		0,73%	



#### Πίνακας 4:

##### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Power utility function

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του expanded window για  $K = 24,36$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

#### Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Litecoin (2013-2018)

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	1,33	1,08	1,57	1,34	1,92	1,52	2,07	1,64	2,00	1,68
	(p-value)	(0,107)		(0,168)		(0,122)		(0,276)		(0,130)	
	Sortino Ratio	1,12	0,56	1,10	0,72	1,37	0,84	1,73	0,91	1,38	0,93
	Opportunity Cost	27,60%		10,44%		8,76%		6,00%		4,80%	
	Portfolio Turnover	106,11%	20,62%	75,47%	48,89%	69,26%	51,27%	44,69%	45,23%	43,09%	40,43%
	Return-loss	1,73%		0,43%		2,65%		1,96%		1,62%	
K=36	Sharpe Ratio	1,70	1,84	1,97	1,99	2,46	2,21	2,59	2,34	2,62	2,37
	(p-value)	(0,106)		(0,187)		(0,142)		(0,141)		(0,140)	
	Sortino Ratio	1,79	1,08	1,67	1,15	2,12	1,34	2,19	1,42	2,20	1,44
	Opportunity Cost	42,12%		14,16%		11,76%		8,88%		7,08%	
	Portfolio Turnover	109,80%	9,39%	58,03%	23,57%	26,54%	23,57%	25,99%	22,82%	23,39%	21,42%
	Return-loss	-0,52%		-1,76%		0,59%		0,39%		0,28%	

#### Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Litecoin (2013-2018) - Disallowed Short Selling

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	1,20	1,00	1,35	1,01	1,51	1,10	1,66	1,23	1,75	1,34
	(p-value)	(0,096)		(0,104)		(0,100)		(0,105)		(0,128)	
	Sortino Ratio	1,17	0,51	1,07	0,51	1,06	0,58	1,16	0,67	1,21	0,75
	Opportunity Cost	28,32%		12,36%		8,40%		6,36%		4,92%	
	Portfolio Turnover	5,23%	0,01%	6,33%	0,85%	14,18%	7,50%	20,20%	14,74%	20,62%	17,79%
	Return-loss	0,82%		1,03%		1,14%		1,12%		1,06%	
K=36	Sharpe Ratio	1,50	1,82	1,79	1,84	2,05	1,96	2,23	2,00	2,37	2,09
	(p-value)	(0,097)		(0,104)		(0,114)		(0,124)		(0,147)	
	Sortino Ratio	1,63	1,06	1,85	1,08	1,89	1,16	1,94	1,16	2,04	1,27
	Opportunity Cost	41,88%		18,60%		11,88%		8,64%		6,72%	
	Portfolio Turnover	7,03%	0,01%	9,13%	1,28%	11,49%	7,29%	13,49%	9,23%	12,27%	11,30%
	Return-loss	-0,51%		-0,26%		-0,02%		0,09%		0,17%	

### Πίνακας 5:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Power utility function

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του expanded window για  $K = 24,36$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

#### Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Ripple (2013-2018)

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	1,00	1,08	1,17	1,34	1,26	1,52	1,30	1,64	1,32	1,68
	(p-value)	(0,130)		(0,126)		(0,120)		(0,114)		(0,110)	
	Sortino Ratio	2,96	0,56	2,66	0,72	2,73	0,84	2,75	0,91	2,74	0,93
	Opportunity Cost	53,52%		24,84%		16,32%		11,20%		9,36%	
	Portfolio Turnover	59,64%	20,62%	74,06%	48,89%	67,00%	51,27%	60,62%	45,23%	57,50%	40,43%
	Return-loss	0,60%		0,79%		1,15%		0,98%		0,82%	
K=36	Sharpe Ratio	1,23	1,84	1,38	1,99	1,46	2,21	1,52	2,34	1,54	2,37
	(p-value)	(0,129)		(0,128)		(0,130)		(0,124)		(0,117)	
	Sortino Ratio	4,36	1,08	4,01	1,15	4,06	1,34	4,09	1,42	4,09	1,44
	Opportunity Cost	85,08%		36,84%		23,40%		17,88%		14,52%	
	Portfolio Turnover	68,66%	9,39%	53,89%	23,57%	39,46%	23,57%	35,25%	22,82%	34,38%	21,42%
	Return-loss	-2,07%		-2,13%		-1,96%		-1,78%		-1,50%	

#### Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Ripple (2013-2018) - Disallowed Short Selling

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	0,94	1,00	1,02	1,01	1,11	1,10	1,19	1,23	1,23	1,34
	(p-value)	(0,134)		(0,128)		(0,122)		(0,122)		(0,043)	
	Sortino Ratio	3,14	0,51	2,86	0,51	2,61	0,58	2,56	0,67	2,62	0,75
	Opportunity Cost	50,88%		23,04%		15,72%		11,76%		9,60%	
	Portfolio Turnover	11,29%	0,01%	12,23%	0,85%	20,23%	7,50%	25,42%	14,74%	26,16%	17,79%
	Return-loss	-0,24%		-0,34%		-0,27%		-0,14%		-0,02%	
K=36	Sharpe Ratio	1,16	1,82	1,26	1,84	1,34	1,96	1,41	2,00	1,45	2,09
	(p-value)	(0,133)		(0,127)		(0,127)		(0,127)		(0,130)	
	Sortino Ratio	4,14	1,06	4,40	1,08	4,08	1,16	3,90	1,16	3,96	1,27
	Opportunity Cost	80,04%		36,12%		23,04%		16,92%		13,32%	
	Portfolio Turnover	15,51%	0,01%	17,56%	1,28%	17,83%	7,29%	19,19%	9,23%	17,46%	11,30%
	Return-loss	-1,45%		-1,53%		-1,52%		-1,48%		-1,33%	

### Πίνακας 6:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Power utility function

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν ένα μέγεθος του expanded window για  $K = 24$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

#### Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Ethereum (2015-2018)

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	Sharpe Ratio	0,33	-0,05	0,43	0,22	0,68	0,34	1,01	0,72	1,36
(p-value)	(0,668)		(0,630)		(0,461)		(0,320)		(0,344)	
Sortino Ratio	0,19	-0,02	0,25	0,09	0,39	0,15	0,65	0,34	1,16	0,75
Opportunity Cost	-34,20%		-14,28%		-2,52%		11,88%		41,88%	
Portfolio Turnover	224,49%	85,20%	147,70%	100,26%	126,06%	108,25%	109,31%	102,10%	78,46%	85,88%
Return-loss	48,15%		35,90%		30,28%		30,48%		37,35%	

#### Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Ethereum (2013-2018) – Disallowed Short Selling

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	Sharpe Ratio	0,30	0,14	0,33	0,26	0,42	0,41	0,52	0,59	0,64
(p-value)	(0,746)		(0,748)		(0,718)		(0,705)		(0,652)	
Sortino Ratio	0,17	0,05	0,19	0,10	0,25	0,17	0,31	0,25	0,39	0,32
Opportunity Cost	-17,40%		-6,96%		-3,36%		-2,28%		-0,96%	
Portfolio Turnover	6,14%	0,02%	11,07%	3,28%	21,12%	7,33%	28,24%	15,74%	30,46%	22,66%
Return-loss	0,87%		2,31%		2,49%		2,44%		2,25%	

**Πίνακας 7:**  
**Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: HFR Blockchain & Cryptocurrencies Index και Power utility function**

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel’s tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν ένα μέγεθος του expanded window για  $K = 24$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Ιανουάριο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

**Panel A : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Blockchain Index (2015-2018)**

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
<b>K=24</b>	Sharpe Ratio	1,52	1,23	1,58	1,54	1,62	1,67	1,64	1,74	1,66	1,84
	(p-value)	(0,051)		(0,047)		(0,044)		(0,043)		(0,041)	
	Sortino Ratio	2,03	0,61	2,39	0,96	2,58	1,02	2,68	1,03	2,78	1,10
	Opportunity Cost	72,60%		27,60%		15,84%		10,68%		8,16%	
	Portfolio Turnover	177,25%	51,97%	100,89%	46,09%	76,85%	31,22%	64,94%	25,16%	60,90%	29,16%
Return-loss	4,91%		4,92%		3,22%		2,44%		2,04%		

**Panel B : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Blockchain Index (2015-2018) - Disallowed Short Selling**

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
<b>K=24</b>	Sharpe Ratio	1,31	0,86	1,53	1,24	1,57	1,42	1,59	1,54	1,61	1,63
	(p-value)	(0,088)		(0,050)		(0,048)		(0,047)		(0,047)	
	Sortino Ratio	1,27	0,36	2,07	0,62	2,31	0,83	2,34	0,95	2,36	1,01
	Opportunity Cost	56,64%		30,96%		19,08%		13,44%		10,20%	
	Portfolio Turnover	0,34%	16,02%	5,24%	22,46%	6,67%	26,52%	7,47%	21,22%	7,59%	16,70%
Return-loss	3,01%		3,50%		3,29%		2,36%		1,76%		

**Panel C : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Cryptocurrency Index (2015-2018)**

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
<b>K=24</b>	Sharpe Ratio	1,55	1,23	1,61	1,54	1,65	1,67	1,67	1,74	1,69	1,84
	(p-value)	(0,047)		(0,044)		(0,041)		(0,039)		(0,038)	
	Sortino Ratio	2,08	0,61	2,42	0,96	2,62	1,02	2,72	1,03	2,82	1,10
	Opportunity Cost	80,04%		31,68%		18,84%		13,08%		10,08%	
	Portfolio Turnover	172,01%	51,97%	98,88%	46,09%	75,59%	31,22%	64,26%	25,16%	59,92%	29,16%
Return-loss	5,38%		5,15%		3,32%		2,56%		2,08%		

**Panel D : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Cryptocurrency Index (2015-2018) - Disallowed Short Selling**

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
K=24	Sharpe Ratio	1,34	0,86	1,55	1,24	1,60	1,42	1,62	1,54	1,63	1,63
	(p-value)	(0,081)		(0,047)		(0,044)		(0,044)		(0,043)	
	Sortino Ratio	1,31	0,36	2,14	0,62	2,33	0,83	2,36	0,95	2,39	1,01
	Opportunity Cost	61,44%		34,68%		21,48%		15,24%		11,64%	
	Portfolio Turnover	0,32%	16,02%	4,75%	22,46%	6,40%	26,52%	7,33%	21,22%	7,43%	16,70%
	Return-loss	3,12%		3,63%		3,34%		2,40%		1,72%	

**Πίνακας 8:**
**Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Coinbase Index και Power utility function**

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν ένα μέγεθος του expanded window για  $K = 24$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Ιανουάριο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

**Panel A : Invest in Cryptocurrencies Index: Coinbase Index (2015-2018)**

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
K=24	Sharpe Ratio	1,54	1,23	1,69	1,54	1,69	1,67	1,74	1,74	1,75	1,84
	(p-value)	(0,049)		(0,033)		(0,032)		(0,032)		(0,032)	
	Sortino Ratio	1,77	0,61	2,46	0,96	2,48	1,02	2,47	1,03	2,49	1,10
	Opportunity Cost	51,96%		27,72%		17,52%		12,36%		9,60%	
	Portfolio Turnover	266,01%	51,97%	146,98%	46,09%	89,35%	31,22%	64,18%	25,16%	51,07%	29,16%
	Return-loss	0,74%		4,01%		2,87%		2,33%		2,02%	

**Panel B : Invest in Cryptocurrencies Index: Coinbase Index (2015-2018) - Disallowed Short Selling**

	RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
K=24	Sharpe Ratio	1,10	0,86	1,45	1,24	1,57	1,42	1,62	1,54	1,65	1,63
	(p-value)	(0,149)		(0,064)		(0,047)		(0,043)		(0,040)	
	Sortino Ratio	0,82	0,36	1,55	0,62	2,04	0,83	2,16	0,95	2,26	1,01
	Opportunity Cost	16,80%		11,04%		9,48%		7,68%		6,48%	
	Portfolio Turnover	1,44%	16,02%	13,09%	22,46%	20,11%	26,52%	23,63%	21,22%	24,29%	16,70%
	Return-loss	2,24%		3,11%		3,10%		2,28%		1,73%	

### Πίνακας 9:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Negative Exponential utility function

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του expanded window για  $K = 24,36$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

#### Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Bitcoin (2013-2018)

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
K=24	Sharpe Ratio	1,67	1,08	1,92	1,30	1,99	1,44	1,70	1,14	1,65	1,14
	(p-value)	(0,018)		(0,018)		(0,038)		(0,056)		(0,022)	
	Sortino Ratio	1,34	0,56	1,48	0,69	1,51	0,77	1,37	0,59	1,51	0,59
	Opportunity Cost	47,88%		24,24%		15,00%		12,72%		11,04%	
	Portfolio Turnover	60,02%	20,97%	65,04%	44,15%	53,83%	47,11%	7,63%	1,00%	3,80%	1,00%
Return-Loss	3,98%		3,93%		3,42%		0,56%		0,63%		
K=36	Sharpe Ratio	1,96	1,84	2,23	2,00	2,39	2,14	1,98	2,29	1,93	2,29
	(p-value)	(0,031)		(0,038)		(0,049)		(0,032)		(0,034)	
	Sortino Ratio	1,75	1,08	1,98	1,15	2,05	1,24	1,73	1,34	1,97	1,34
	Opportunity Cost	60,96%		28,56%		17,88%		15,12%		14,28%	
	Portfolio Turnover	67,06%	9,72%	42,47%	22,64%	43,15%	32,98%	3,68%	0,79%	4,64%	0,79%
Return-Loss	0,90%		1,51%		1,41%		-0,27%		-0,42%		

#### Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Bitcoin (2013-2018) - Disallowed Short Selling

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10		
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	
K=24	Sharpe Ratio	1,55	1,00	1,65	1,03	1,76	1,13	1,72	1,14	1,68	1,14
	(p-value)	(0,021)		(0,020)		(0,024)		(0,016)		(0,017)	
	Sortino Ratio	1,25	0,51	1,33	0,53	1,46	0,59	1,38	0,59	1,50	0,59
	Opportunity Cost	46,92%		23,28%		15,60%		12,72%		11,76%	
	Portfolio Turnover	1,79%	0,03%	9,75%	4,31%	16,24%	9,81%	5,89%	1,00%	3,75%	1,00%
Return-Loss	1,60%		2,03%		2,02%		0,79%		0,74%		
K=36	Sharpe Ratio	1,75	1,82	1,93	1,89	2,03	1,96	1,97	2,29	1,96	2,29
	(p-value)	(0,038)		(0,038)		(0,044)		(0,033)		(0,030)	
	Sortino Ratio	1,44	1,06	1,70	1,11	1,86	1,12	1,72	1,34	1,92	1,34
	Opportunity Cost	57,48%		28,80%		18,24%		15,12%		14,64%	
	Portfolio Turnover	2,18%	0,03%	11,38%	4,60%	13,48%	7,80%	4,44%	0,79%	4,43%	0,79%
Return-Loss	-0,16%		0,37%		0,47%		-0,26%		-0,35%		

### Πίνακας 10:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Negative Exponential utility function

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του expanded window για  $K = 24,36$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

#### Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Litecoin (2013-2018)

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	1,37	1,08	1,69	1,30	1,79	1,44	1,41	1,14	1,34	1,14
	(p-value)	(0,056)		(0,104)		(0,175)		(0,102)		(0,127)	
	Sortino Ratio	1,06	0,56	1,17	0,69	1,22	0,77	1,11	0,59	1,07	0,59
	Opportunity Cost	22,20%		12,12%		7,20%		5,88%		4,92%	
	Portfolio Turnover	38,38%	20,97%	57,70%	44,15%	46,90%	47,11%	3,65%	1,00%	2,37%	1,00%
	Return-Loss	2,46%		2,39%		2,06%		0,11%		0,02%	
K=36	Sharpe Ratio	1,79	1,84	2,22	2,00	2,44	2,14	1,83	2,29	1,72	2,29
	(p-value)	(0,111)		(0,125)		(0,164)		(0,104)		(0,129)	
	Sortino Ratio	1,78	1,08	1,91	1,15	2,02	1,24	1,90	1,34	1,75	1,34
	Opportunity Cost	33,48%		16,44%		10,56%		8,64%		7,44%	
	Portfolio Turnover	35,74%	9,72%	33,94%	22,64%	34,23%	32,98%	3,78%	0,79%	2,85%	0,79%
	Return-loss	0,11%		0,60%		0,51%		-0,69%		-0,80%	

#### Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Litecoin (2013-2018) - Disallowed Short Selling

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	1,18	1,00	1,35	1,03	1,50	1,13	1,45	1,14	1,31	1,14
	(p-value)	(0,124)		(0,116)		(0,145)		(0,084)		(0,122)	
	Sortino Ratio	1,11	0,51	1,05	0,53	1,15	0,59	1,17	0,59	1,06	0,59
	Opportunity Cost	20,76%		10,80%		7,44%		6,48%		5,40%	
	Portfolio Turnover	3,86%	0,03%	8,58%	4,31%	11,91%	9,81%	5,67%	1,00%	3,74%	1,00%
	Return-Loss	0,68%		0,93%		0,97%		0,06%		0,62%	
K=36	Sharpe Ratio	1,47	1,82	1,78	1,89	1,94	1,96	1,88	2,29	1,65	2,29
	(p-value)	(0,125)		(0,121)		(0,156)		(0,084)		(0,127)	
	Sortino Ratio	1,59	1,06	1,80	1,11	1,89	1,12	1,99	1,34	1,64	1,34
	Opportunity Cost	30,72%		16,08%		10,08%		9,60%		8,04%	
	Portfolio Turnover	5,19%	0,03%	10,04%	4,60%	8,22%	7,80%	6,95%	0,79%	4,89%	0,79%
	Return-Loss	-0,64%		-0,33%		-0,24%		-0,76%		-0,29%	

**Πίνακας 11:****Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Negative Exponential utility function**

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του expanded window για  $K = 24,36$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling έως 100% του πλούτου.

**Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Ripple (2013-2018)**

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	1,06	1,08	1,22	1,30	1,26	1,44	1,07	1,14	1,12	1,14
	(p-value)	(0,121)		(0,117)		(0,129)		(0,113)		(0,120)	
	Sortino Ratio	2,70	0,56	2,50	0,69	2,46	0,77	2,87	0,59	2,23	0,59
	Opportunity Cost	40,80%		22,32%		13,80%		10,44%		7,44%	
	Portfolio Turnover	53,35%	20,97%	69,97%	44,15%	58,43%	47,11%	7,67%	1,00%	5,12%	1,00%
	Return-loss	0,57%		0,79%		0,78%		-0,56%		-0,53%	
K=36	Sharpe Ratio	1,30	1,84	1,44	2,00	1,51	2,14	1,31	2,29	1,37	2,29
	(p-value)	(0,120)		(0,135)		(0,130)		(0,117)		(0,118)	
	Sortino Ratio	4,26	1,08	3,81	1,15	3,77	1,24	4,67	1,34	3,65	1,34
	Opportunity Cost	63,96%		31,92%		21,00%		16,32%		11,76%	
	Portfolio Turnover	59,38%	9,72%	50,19%	22,64%	42,06%	32,98%	9,96%	0,79%	6,62%	0,79%
	Return-loss	-2,12%		-2,14%		-1,97%		-1,21%		-1,19%	

**Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Ripple (2013-2018) - Disallowed Short Selling**

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=24	Sharpe Ratio	0,98	1,00	1,06	1,03	1,10	1,13	1,08	1,14	1,06	1,14
	(p-value)	(0,126)		(0,123)		(0,134)		(0,116)		(0,118)	
	Sortino Ratio	3,13	0,51	2,74	0,53	2,69	0,59	2,89	0,59	2,84	0,59
	Opportunity Cost	38,64%		20,04%		12,96%		10,68%		7,92%	
	Portfolio Turnover	10,70%	0,03%	14,38%	4,31%	16,91%	9,81%	8,60%	1,00%	6,10%	1,00%
	Return-loss	-0,26%		-0,32%		-0,28%		-0,53%		-0,52%	
K=36	Sharpe Ratio	1,21	1,82	1,30	1,89	1,33	1,96	1,32	2,29	1,30	2,29
	(p-value)	(0,125)		(0,123)		(0,135)		(0,115)		(0,117)	
	Sortino Ratio	4,30	1,06	4,35	1,11	4,18	1,12	4,72	1,34	4,46	1,34
	Opportunity Cost	60,36%		31,32%		19,20%		16,68%		12,60%	
	Portfolio Turnover	14,75%	0,03%	17,81%	4,60%	14,90%	7,80%	11,11%	0,79%	8,15%	0,79%
	Return-loss	-1,47%		-1,50%		-1,51%		-1,20%		-1,18%	



**Πίνακας 12:**

**Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Negative Exponential utility function**

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel’s tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του expanded window για  $K = 24$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

**Panel A : Invest in Individual Cryptocurrency: Ethereum (2015-2018)**

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	K=24									
Sharpe Ratio	0,28	-0,05	0,19	0,22	0,89	0,40	0,40	1,29	1,54	0,59
(p-value)	(0,706)		(0,878)		(0,329)		(0,750)		(0,152)	
Sortino Ratio	0,16	-0,02	0,10	0,09	0,57	0,18	0,24	0,80	1,55	0,23
Opportunity Cost	-14,16%		-29,76%		42,96%		32,52%		108,12%	
Portfolio Turnover	176,92%	84,82%	186,01%	100,66%	98,21%	93,10%	8,57%	17,63%	43,03%	6,62%
Return-loss	45,92%		35,98%		34,33%		17,01%		-12,35%	

**Panel B : Invest in Individual Cryptocurrency: Ethereum (2015-2018) - Disallowed Short Selling**

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	K=24									
Sharpe Ratio	0,28	0,14	0,43	0,29	0,53	0,43	0,45	0,78	0,88	0,59
(p-value)	(0,760)		(0,657)		(0,642)		(0,772)		(0,432)	
Sortino Ratio	0,16	0,05	0,27	0,11	0,33	0,17	0,28	0,29	0,63	0,23
Opportunity Cost	-8,52%		-4,68%		9,12%		-2,64%		46,80%	
Portfolio Turnover	7,10%	0,05%	25,09%	5,19%	27,14%	13,18%	8,30%	9,29%	12,74%	6,62%
Return-loss	1,33%		2,48%		3,06%		-11,98%		-10,87%	

### Πίνακας 13:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: HFR Blockchain & Cryptocurrencies Index και Negative Exponential utility function

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν ένα μέγεθος του expanded window για  $K = 24$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Ιανουάριο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

#### Panel A : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Blockchain Index (2015-2018)

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	K=24									
Sharpe Ratio	1,55	1,24	1,60	1,50	1,63	1,54	1,59	0,81	1,37	0,81
(p-value)	(0,047)		(0,044)		(0,043)		(0,037)		(0,078)	
Sortino Ratio	2,13	0,62	2,50	0,91	2,66	0,90	2,86	0,32	1,31	0,32
Opportunity Cost	54,12%		23,16%		15,60%		18,12%		6,00%	
Portfolio Turnover	182,93%	52,76%	101,10%	45,84%	70,34%	39,10%	28,48%	1,00%	8,93%	1,00%
Return-loss	5,10%		5,10%		3,30%		0,68%		0,63%	

#### Panel B : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Blockchain Index (2015-2018) - Disallowed Short Selling

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	K=24									
Sharpe Ratio	1,32	0,86	1,55	1,17	1,59	1,26	1,59	0,81	1,37	0,81
(p-value)	(0,086)		(0,046)		(0,044)		(0,038)		(0,079)	
Sortino Ratio	1,30	0,36	2,16	0,57	2,39	0,64	2,41	0,32	1,30	0,32
Opportunity Cost	48,72%		27,60%		19,08%		16,44%		6,00%	
Portfolio Turnover	1,42%	15,38%	8,04%	20,65%	12,37%	17,61%	9,09%	1,00%	8,96%	1,00%
Return-loss	3,00%		3,12%		2,36%		0,67%		0,63%	

#### Panel C : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Cryptocurrency Index (2015-2018)

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	K=24									
Sharpe Ratio	1,58	1,24	1,63	1,50	1,66	1,54	1,62	0,81	1,39	0,81
(p-value)	(0,044)		(0,042)		(0,040)		(0,035)		(0,075)	
Sortino Ratio	2,20	0,62	2,52	0,91	2,70	0,90	2,92	0,32	1,31	0,32
Opportunity Cost	61,80%		27,12%		18,60%		20,52%		6,96%	
Portfolio Turnover	177,59%	52,76%	99,22%	45,84%	70,69%	39,10%	24,91%	1,00%	9,34%	1,00%
Return-loss	5,42%		5,21%		3,36%		0,69%		0,66%	

**Panel D : Invest in Cryptocurrencies Index: Hfr Cryptocurrency Index (2015-2018) - Disallowed Short Selling**

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	<b>K=24</b>									
Sharpe Ratio	1,35	0,86	1,57	1,17	1,61	1,26	1,62	0,81	1,39	0,81
(p-value)	(0,078)		(0,043)		(0,041)		(0,035)		(0,074)	
Sortino Ratio	1,34	0,36	2,24	0,57	2,41	0,64	2,45	0,32	1,31	0,32
Opportunity Cost	53,40%		31,20%		21,48%		18,60%		6,96%	
Portfolio Turnover	1,22%	15,38%	7,43%	20,65%	12,35%	17,61%	9,21%	1,00%	9,35%	1,00%
Return-loss	3,11%		3,18%		2,40%		0,70%		0,66%	

**Πίνακας 14:**

**Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Coinbase Index και Negative Exponential utility function**

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel’s tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν ένα μέγεθος του expanded window για  $K = 24$  και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του expanded window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Ιανουάριο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018 με μηνιαία εξισσορόπηση του χαρτοφυλακίου για δύο παραδοχές την αποδοχή και μη του short selling στο 100% του πλούτου.

**Panel A : Invest in Cryptocurrencies Index: Coinbase Index (2015-2018)**

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	<b>K=24</b>									
Sharpe Ratio	1,53	1,24	1,67	1,50	1,69	1,54	1,52	0,81	1,20	0,81
(p-value)	(0,050)		(0,036)		(0,036)		(0,045)		(0,120)	
Sortino Ratio	1,70	0,62	2,30	0,91	2,32	0,90	1,85	0,32	0,89	0,32
Opportunity Cost	28,32%		19,08%		12,24%		4,20%		-4,08%	
Portfolio Turnover	248,85%	52,76%	125,86%	45,84%	65,32%	39,10%	7,93%	1,00%	9,09%	1,00%
Return-loss	0,97%		4,18%		3,02%		0,63%		0,58%	

**Panel B : Invest in Cryptocurrencies Index: Coinbase Index (2015-2018) - Disallowed Short Selling**

	ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
	<b>K=24</b>									
Sharpe Ratio	1,11	0,86	1,45	1,17	1,56	1,26	1,52	0,81	1,31	0,81
(p-value)	(0,146)		(0,062)		(0,047)		(0,046)		(0,088)	
Sortino Ratio	0,83	0,36	1,55	0,57	1,97	0,64	1,83	0,32	1,15	0,32
Opportunity Cost	14,04%		7,32%		6,84%		4,80%		-2,04%	
Portfolio Turnover	4,18%	15,38%	12,59%	20,65%	16,66%	17,61%	7,62%	1,00%	8,45%	1,00%
Return-loss	2,22%		2,72%		2,24%		0,64%		0,56%	

**Πίνακας 15:**  
**Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Power utility function**  
 Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel’s tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528,792$  ( $24 \times 22$  &  $36 \times 22$ ) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018.

**Invest in Individual Cryptocurrency: Bitcoin (2013-2018)**

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
<b>K=528</b>	Sharpe Ratio	1,90	1,83	2,04	2,01	2,08	2,00	2,11	1,95	2,13	1,90
	(p-value)	(0,006)		(0,005)		(0,005)		(0,005)		(0,005)	
	Sortino Ratio	0,20	0,18	0,22	0,20	0,22	0,19	0,23	0,19	0,23	0,18
	Opportunity Cost	63,00%		32,76%		10,08%		17,64%		12,60%	
	Portfolio Turnover	29,45%	20,17%	20,05%	16,87%	14,33%	12,55%	12,07%	10,50%	10,47%	9,24%
	Return-Loss	0,59%		0,66%		0,54%		0,48%		0,45%	
<b>K=792</b>	Sharpe Ratio	1,79	2,05	1,93	2,48	2,05	2,64	2,15	2,68	2,25	2,69
	(p-value)	(0,045)		(0,043)		(0,042)		(0,041)		(0,040)	
	Sortino Ratio	0,18	0,19	0,20	0,24	0,21	0,25	0,22	0,26	0,23	0,25
	Opportunity Cost	50,40%		25,20%		17,64%		12,60%		17,64%	
	Portfolio Turnover	21,96%	14,70%	10,40%	7,81%	7,09%	5,20%	5,49%	3,97%	4,81%	4,44%
	Return-Loss	0,13%		0,08%		0,06%		0,07%		0,09%	

**Πίνακας 16:**

**Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Power utility function**  
 Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel’s tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528,792$  ( $24 \times 22$  &  $36 \times 22$ ) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018.

**Invest in Individual Cryptocurrency: Litecoin (2013-2018)**

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
<b>K=528</b>	Sharpe Ratio	1,58	1,83	1,73	2,01	1,77	2,00	1,80	1,95	1,83	1,90
	(p-value)	(0,041)		(0,042)		(0,042)		(0,040)		(0,039)	
	Sortino Ratio	0,20	0,18	0,22	0,20	0,23	0,19	0,23	0,19	0,24	0,18
	Opportunity Cost	37,80%		17,64%		12,60%		10,08%		7,56%	
	Portfolio Turnover	26,59%	20,17%	19,02%	16,87%	13,76%	12,55%	11,61%	10,50%	10,13%	9,24%
	Return-Loss	0,61%		0,55%		0,43%		0,37%		0,34%	
<b>K=792</b>	Sharpe Ratio	1,32	2,05	1,51	2,48	1,66	2,64	1,80	2,68	1,92	2,69
	(p-value)	0,233		0,224		0,219		0,215		0,205	
	Sortino Ratio	0,15	0,19	0,18	0,24	0,20	0,25	0,21	0,26	0,23	0,25
	Opportunity Cost	17,64%		10,08%		5,04%		5,04%		5,04%	
	Portfolio Turnover	18,84%	14,70%	9,67%	7,81%	6,42%	5,20%	4,89%	3,97%	4,45%	4,44%
	Return-loss	-0,09%		-0,09%		-0,08%		-0,06%		-0,02%	

### Πίνακας 17:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Power utility function

Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528, 792$  (24x22 & 36x22) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2, 4, 6, 8, 10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018.

#### Invest in Individual Cryptocurrency: Ripple (2013-2018)

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=528	Sharpe Ratio	1,78	1,83	1,88	2,01	1,93	2,00	1,95	1,95	1,98	1,90
	(p-value)	(0,009)		(0,009)		(0,009)		(0,009)		(0,009)	
	Sortino Ratio	0,26	0,18	0,28	0,20	0,28	0,19	0,29	0,19	0,29	0,18
	Opportunity Cost	68,04%		32,76%		22,68%		15,12%		12,60%	
	Portfolio Turnover	28,71%	20,17%	19,73%	16,87%	14,34%	12,55%	11,85%	10,50%	10,40%	9,24%
	Return-loss	0,98%		0,80%		0,61%		0,52%		0,47%	
K=792	Sharpe Ratio	2,05	2,05	2,14	2,48	2,22	2,64	2,30	2,68	2,37	2,69
	(p-value)	(0,011)		(0,011)		(0,011)		(0,011)		(0,011)	
	Sortino Ratio	0,30	0,19	0,31	0,24	0,32	0,25	0,34	0,26	0,34	0,25
	Opportunity Cost	98,28%		47,88%		32,76%		25,20%		20,16%	
	Portfolio Turnover	22,81%	14,70%	11,35%	7,81%	7,88%	5,20%	6,07%	3,97%	5,47%	4,44%
	Return-loss	0,83%		0,40%		0,27%		0,22%		0,22%	

### Πίνακας 18:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Power utility function

Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528$  (24x22) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2, 4, 6, 8, 10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018.

#### Invest in Individual Cryptocurrency: Ethereum (2015-2018)

		RRA=2		RRA=4		RRA=6		RRA=8		RRA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=528	Sharpe Ratio	0,07	0,51	0,13	0,56	0,11	0,46	0,09	0,35	0,06	0,25
	(p-value)	(0,947)		(0,934)		(0,940)		(0,948)		(0,958)	
	Sortino Ratio	1,75	0,05	3,12	0,05	2,60	0,04	2,01	0,03	1,47	0,02
	Opportunity Cost	-105,84%		-52,92%		-35,28%		-40,32%		-20,16%	
	Portfolio Turnover	37,28%	15,93%	25,85%	21,51%	17,23%	14,73%	12,89%	10,92%	10,34%	8,62%
	Return-loss	-0,19%		0,69%		0,64%		0,56%		0,50%	

### Πίνακας 19:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Bitcoin και Negative Exponential utility function

##### Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528,792$  ( $24 \times 22$  &  $36 \times 22$ ) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018.

#### Invest in Individual Cryptocurrency: Bitcoin (2013-2018)

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=528	Sharpe Ratio	1,89	1,83	1,93	1,77	1,74	1,42	1,89	1,42	1,85	1,42
	(p-value)	(0,006)		(0,009)		(0,008)		(0,008)		(0,010)	
	Sortino Ratio	0,20	0,18	0,21	0,16	0,18	0,13	0,18	0,13	0,18	0,13
	Opportunity Cost	63,00%		30,24%		20,16%		15,12%		10,08%	
	Portfolio Turnover	29,39%	20,31%	19,13%	22,24%	1,76%	0,23%	1,20%	0,23%	1,11%	0,23%
	Return-Loss	0,50%		0,64%		0,06%		0,24%		0,24%	
K=792	Sharpe Ratio	1,77	2,03	1,87	2,26	1,70	1,86	1,95	1,86	1,95	1,86
	(p-value)	(0,047)		(0,061)		(0,044)		(0,024)		(0,024)	
	Sortino Ratio	0,18	0,19	0,19	0,21	0,17	0,17	0,19	0,17	0,19	0,17
	Opportunity Cost	50,40%		22,68%		17,64%		15,12%		12,60%	
	Portfolio Turnover	21,04%	14,64%	22,07%	37,99%	1,59%	0,20%	1,29%	0,20%	1,29%	0,20%
	Return-Loss	0,09%		0,14%		-0,04%		0,11%		0,11%	

### Πίνακας 20:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Litecoin και Negative Exponential utility function

##### Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528,792$  ( $24 \times 22$  &  $36 \times 22$ ) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2,4,6,8,10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018.

#### Invest in Individual Cryptocurrency: Litecoin (2013-2018)

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=592	Sharpe Ratio	1,57	1,83	1,62	1,77	1,34	1,42	1,17	1,42	1,14	1,42
	(p-value)	(0,043)		(0,060)		(0,060)		(0,111)		(0,122)	
	Sortino Ratio	0,20	0,18	0,21	0,16	0,17	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13
	Opportunity Cost	35,28%		15,12%		10,08%		0,00%		-7,56%	
	Portfolio Turnover	25,96%	20,31%	23,62%	22,24%	1,36%	0,23%	1,50%	0,23%	1,44%	0,23%
	Return-Loss	0,55%		0,57%		0,04%		0,02%		0,04%	
K=792	Sharpe Ratio	1,31	2,03	1,45	2,26	1,12	1,86	1,27	1,86	1,30	1,86
	(p-value)	(0,241)		(0,298)		(0,271)		(0,152)		(0,131)	
	Sortino Ratio	0,15	0,19	0,17	0,21	0,13	0,17	0,15	0,17	0,16	0,17
	Opportunity Cost	15,12%		5,04%		5,04%		0,00%		-10,08%	
	Portfolio Turnover	17,36%	14,64%	27,50%	37,99%	1,16%	0,20%	1,64%	0,20%	1,75%	0,20%
	Return-loss	-0,08%		-0,13%		-0,15%		-0,06%		-0,03%	

### Πίνακας 21:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ripple και Negative Exponential utility function

Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528, 792$  (24x22 & 36x22) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2, 4, 6, 8, 10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2013 έως τον Ιούλιο του 2018.

#### Invest in Individual Cryptocurrency: Ripple (2013-2018)

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=528	Sharpe Ratio	1,78	1,83	1,82	1,77	1,66	1,42	1,65	1,42	1,56	1,42
	(p-value)	(0,009)		(0,013)		(0,010)		(0,011)		(0,017)	
	Sortino Ratio	0,26	0,18	0,27	0,16	0,24	0,13	0,22	0,13	0,21	0,13
	Opportunity Cost	63,00%		30,24%		20,16%		10,08%		-2,52%	
	Portfolio Turnover	28,38%	20,31%	26,11%	22,24%	2,49%	0,23%	1,68%	0,23%	1,72%	0,23%
	Return-loss	0,91%		0,79%		0,10%		0,19%		0,18%	
K=792	Sharpe Ratio	2,05	2,03	2,12	2,26	2,02	1,86	1,94	1,86	1,90	1,86
	(p-value)	(0,011)		(0,014)		(0,010)		(0,014)		(0,016)	
	Sortino Ratio	0,30	0,19	0,31	0,21	0,29	0,17	0,26	0,17	0,25	0,17
	Opportunity Cost	93,24%		42,84%		32,76%		15,12%		0,00%	
	Portfolio Turnover	21,76%	14,64%	28,07%	37,99%	1,83%	0,20%	2,69%	0,20%	2,08%	0,20%
	Return-loss	0,83%		0,52%		0,09%		0,11%		0,12%	

### Πίνακας 22:

#### Άμεση μεγιστοποίηση χρησιμότητας: Ethereum και Negative Exponential utility function

Daily robustness test

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μέτρα απόδοσης (ετησιοποιημένο Sharpe ratio, ετησιοποιημένο Sortino ratio, ετησιοποιημένο Opportunity cost, Portfolio turnover, ετησιοποιημένο return – loss), με άμεση μεγιστοποίηση της Power Utility function. Περιλαμβάνονται επίσης τα p-values των Memmel's tests (2003) σε παρενθέσεις, κατά την μηδενική υπόθεση το SR του παραδοσιακού χαρτοφυλακίου είναι ίσο με SR του χαρτοφυλακίου που περιλαμβάνει κρυπτονόμισμα. Τα αποτελέσματα αφορούν διαφορετικά παράθυρα του rolling window για  $K = 528$  (24x22) εργάσιμες ημέρες και για διαφορετικούς βαθμούς αποστροφής κινδύνου ( $RRA = 2, 4, 6, 8, 10$ ), δεν χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα μεγέθη του rolling window λόγω του περιορισμού στο μέγεθος του δείγματος. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε ημερήσιες παρατηρήσεις από τον Αύγουστο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2018.

#### Invest in Individual Cryptocurrency: Ethereum (2013-2018)

		ARA=2		ARA=4		ARA=6		ARA=8		ARA=10	
		Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional	Expanded	Traditional
K=528	Sharpe Ratio	0,04	0,45	-0,03	0,23	-0,15	-0,03	-0,48	-0,03	-0,48	-0,03
	(p-value)	(0,936)		(0,874)		(0,866)		(0,578)		(0,576)	
	Sortino Ratio	1,06	0,04	-0,80	0,02	-3,51	-0,003	-10,71	-0,003	-10,75	-0,003
	Opportunity Cost	-105,84%		-55,44%		-37,80%		-37,80%		-42,84%	
	Portfolio Turnover	33,60%	16,09%	14,63%	11,06%	1,66%	0,28%	1,69%	0,28%	1,70%	0,28%
	Return-loss	-0,19%		0,39%		0,07%		0,06%		0,06%	