



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ
ΚΡΥΠΤΟΝΟΜΙΣΜΑΤΩΝ**

Παπαδοπούλου Σταματία

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιωτίδης Θεόδωρος

Θεσσαλονίκη, 2019

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	6
1.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ	6
1.2 ΠΑΡΑΣΤΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟ ΧΡΗΜΑ.....	8
1.3 ΚΡΥΠΤΟΝΟΜΙΣΜΑΤΑ	11
1.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΡΥΠΤΟΝΟΜΙΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΑΛΛΑΓΕΣ.....	16
1.5 ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΝΟΜΙΣΜΑΤΩΝ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	21
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	25
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	25
3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	25
3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ.....	26
3.3 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ARCH-GARCH.....	29
3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ARCH-GARCH.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	32
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	32
ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ	32
ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ	33
ΣΥΝΟΨΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	36
4.1 ΔΕΙΓΜΑ 2010 – 2016.....	36
4.1.1 ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	36
4.1.2 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ VAR.....	39
4.1.3 IMPULSE RESPONSES.....	43
4.1.4 VARIANCE DECOMPOSITION	44
4.2 ΔΕΙΓΜΑ 2010 – 2018.....	45
4.2.1 ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	45
4.2.2 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ VAR.....	49
4.2.3 IMPULSE RESPONSES.....	52
4.2.4 VARIANCE DECOMPOSITION	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	54

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ GARCH	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	64
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	Error! Bookmark not defined.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο χρηματοοικονομικός κόσμος χαρακτηρίζεται τα τελευταία χρόνια από μεγάλη μεταβλητότητα. Η μοντελοποίηση των χρηματοοικονομικών σειρών αποτελεί ένα περίπλοκο ζήτημα, αφού πρέπει να ληφθεί υπόψη η μεταβλητότητα των τιμών και των αποδόσεων. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να ερευνήσει την μεταβλητότητα του κρυπτονομίσματος Bitcoin.

Χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα μεταβλητότητας (Autoregressive Models) που έχουν προταθεί από την βιβλιογραφία, με σκοπό να μοντελοποιήσουν τα εξής χαρακτηριστικά της χρονοσειράς Bitcoin : ομαδοποίηση μεταβλητότητας (volatility clustering), ασύμμετρη μεταβλητότητα (leverage effect) και μακριές ουρές (fat tails-excess kurtosis). Κάθε μοντέλο έχει στόχο να προσδιορίσει και να προβλέψει πως διαμορφώνεται η κατανομή των τιμών σύμφωνα με την ιστορία της χρονοσειράς.

Η επιλογή για την διερεύνηση της απόδοσης και της μεταβλητότητας του κρυπτονομίσματος Bitcoin έγινε για τους παρακάτω λόγους :

- Σε όλες τις επενδυτικές αποφάσεις πρέπει να ληφθεί υπόψη ο κίνδυνος απώλειας, δηλαδή η μεταβλητότητα.
- Η μεταβλητότητα έχει χαρακτηριστικά που διευκολύνουν την πρόβλεψή της, ενώ είναι δύσκολο να προβλεφθούν αποδόσεις.
- Το Bitcoin είναι με διαφορά το κρυπτονόμισμα με τον μεγαλύτερο αριθμό καθημερινών συναλλαγών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να προσδιορίσει την μεταβλητότητα του κρυπτονομίσματος Bitcoin με την βοήθεια Αυτοπαλίνδρομων Υποδειγμάτων.

Αρχικά θα προσδιορίσουμε έννοιες που αφορούν την μεταβλητότητα και τις ιδιότητές της και έπειτα θα αναφερθούμε σε έννοιες σχετικές με το παραστατικό, το ηλεκτρονικό και κυρίως το ψηφιακό χρήμα.

Θα χρησιμοποιήσουμε ημερήσια δεδομένα που αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων FRED (Federal Reserve Bank of St.Louis). Τα δεδομένα καλύπτουν δύο χρονικές περιόδους, καθώς το 2016 σημειώνεται σημαντική κρίση στις τιμές των κρυπτονομισμάτων.

Υποθέτουμε ότι οι τιμές του Αργού Πετρελαίου, του Χρυσού, του Χρηματιστηριακού Δείκτη Dow Jones και των συναλλαγμάτων Ευρώ/Δολαρίου, Κινεζικού Γουάν/Δολαρίου και Ιαπωνικού Γιεν/Δολαρίου επηρεάζουν τις τιμές των κρυπτονομισμάτων. Αφού ελέγξουμε πρώτα την στασιμότητα των μεταβλητών με τον επαυξημένο έλεγχο Dickey-Fuller, θα μελετήσουμε την συσχέτιση των προαναφερθέντων μεταβλητών με την βοήθεια των Υποδειγμάτων VAR και του Ελέγχου Αιτιότητας κατά Granger. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε τα Impulse Responses και Variance Decomposition για να προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά της απόδοσης του Bitcoin.

Τέλος θα χρησιμοποιήσουμε τα Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα GARCH για να μοντελοποιήσουμε τον κίνδυνο της απόδοσης του κρυπτονομίσματος Bitcoin που είναι και ο στόχος της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

Η αβεβαιότητα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομική ανάλυση και συνήθως έχει ως μέτρο την μεταβλητότητα (volatility). Υπάρχουν χρονολογικές σειρές, κυρίως χρηματοοικονομικές, που παρουσιάζουν διαστήματα μεγάλης μεταβλητότητας. Οι χρονολογικές αυτές σειρές διανύουν περιόδους με απότομες ανόδους και καθόδους, στη διάρκεια των οποίων η διακύμανσή τους είναι μεταβαλλόμενη. Η διακύμανση μιας τέτοιας χρονολογικής σειράς ονομάζεται «υπό συνθήκη» διακύμανση (conditional variance).

Ο Engle το 1982 πρότεινε την εξήγηση της μεταβαλλόμενης διακύμανσης μέσω ενός αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος ως συνάρτηση των προηγούμενων τιμών της. Το Υπόδειγμα αυτό ονομάζεται υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικό αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα (Autoregressive Conditional Heteroskedastic Model) ή ARCH model.

Χαρακτηριστικά Μεταβλητότητας

Η μεταβλητότητα ενός περιουσιακού στοιχείου (asset) εξελίσσεται συνεχώς με την πάροδο του χρόνου και δεν αποκλίνει στο άπειρο. Επιπλέον υπάρχει μια ασύμμετρη κίνηση και συνήθως στην κατανομή της παρατηρείται μεγάλη κύρτωση, δηλαδή η πιθανότητα εμφάνισης ακραίων τιμών είναι μεγάλη. Ένα στοιχείο που επίσης χαρακτηρίζει την μεταβλητότητα είναι ότι περίοδοι μεγάλων μεταβολών στις τιμές εναλλάσσονται με περιόδους που οι τιμές δύσκολα αλλάζουν. Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται ως μεταβλητότητα συμπλέγματος.

(Giot, 2003), (Catania Leopoldo, 2018)

Η Μεταβλητότητα ως μέτρο αβεβαιότητας

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η πρόβλεψη και η μοντελοποίηση της μεταβλητότητας στα Οικονομικά, έλαβε μεγάλη προσοχή. Πολλές έρευνες προσπάθησαν να εκτιμήσουν με ακρίβεια την μεταβλητότητα, καθώς αυτή είναι ‘‘το κλειδί’’ για την τιμολόγηση των επιλογών και των περιουσιακών στοιχείων στις στρατηγικές κερδοσκοπίας. Πιο συγκεκριμένα, ένα μεγάλο κομμάτι της διαχείρισης του κινδύνου στις κατανομές των περιουσιακών στοιχείων και στο εμπόριο είναι η ενδεχόμενη απώλεια. Οι επενδυτές για να μετρήσουν την ενδεχόμενη απώλεια πρέπει να εκτιμήσουν κινδύνους.

Το μέτρο κινδύνου των Αγορών που είναι πιο αξιόπιστο και έχει οριστεί ως η αναμενόμενη τιμή της αβεβαιότητας είναι η μεταβλητότητα (volatility). Για όλες τις επενδυτικές αποφάσεις είναι σημαντική η εύρεση της χρυσής τομής μεταξύ αποδόσεων και κινδύνου. Στα οικονομικά ο όρος απόδοση είναι ο λόγος του πλούτου που κερδίζεται ή χάνεται σε μία επένδυση ως προς το ποσό που αρχικά επενδύθηκε. Ο πλούτος που κερδήθηκε ή χάθηκε λέγεται τόκος ή κέρδος/απώλεια και το ποσό που αρχικά επενδύθηκε ονομάζεται κεφάλαιο ή αρχικό κόστος επένδυσης.

Η μεταβλητότητα έχει χαρακτηριστικά που διευκολύνουν την πρόβλεψή της, ενώ είναι αρκετά πιο δύσκολο να προβλέψουμε αποδόσεις. Ουσιαστικά η μεταβλητότητα μετρά κατά πόσο οι αποδόσεις κυμαίνονται γύρω από τον μέσο τους. Η στοχαστική και τυχαία φύση των τιμών και των αποδόσεων καθιστά απαραίτητη την χρήση της Στατιστικής για την περιγραφή και την πρόβλεψη των διακυμάνσεων της Αγοράς.

Τα χαρακτηριστικά που διευκολύνουν την πρόβλεψη της μεταβλητότητας είναι το Volatility Clustering (Συσσωμάτωση - μια οικονομική χρονολογική σειρά έχει αυτό το χαρακτηριστικό εάν παρουσιάζει μερικές περιόδους χαμηλής μεταβλητότητας και ορισμένες περιόδους υψηλής μεταβλητότητας-), το Leverage Effect (Μόγλευση - η μεταβλητότητα εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με τις αποδόσεις. Το leverage effect είναι ένα μέτρο προσδιορισμού της ασυμμετρίας και της αρνητικής σχέσης μεταξύ μεταβλητότητας και αποδόσεων.-) και το Mean Reversion (Επιστροφή στον μέσο - η μεταβλητότητα περνά οπωσδήποτε από τον μέσο της με το πέρασμα του χρόνου-).

(Katsiampa, 2017), (Marra, 2015), (Suliman Zakaria, 2011), (Jaroslav Bukovina, 2016)

1.2 ΠΑΡΑΣΤΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟ ΧΡΗΜΑ

Τι είναι το Χρήμα;

Χρήμα είναι το επίσημα αναγνωρισμένο και αποδεκτό από το νόμο μέσο πραγματοποίησης πληρωμών και συναλλαγών. Αποτελείται από χάρτινα και μεταλλικά νομίσματα.

Τι είναι το Ψηφιακό Χρήμα;

Ψηφιακό χρήμα είναι κάθε μέσο πληρωμών που υφίσταται αποκλειστικά σε ψηφιακή μορφή. Υπολογίζεται και μεταφέρεται μέσω υπολογιστών.

Τι είναι το Ηλεκτρονικό Χρήμα;

Το ηλεκτρονικό χρήμα είναι χρηματική αξία που αποθηκεύεται ηλεκτρονικά. Είναι αποδεκτός τρόπος πληρωμής και εκδίδεται με την παραλαβή κεφαλαίων ίσης αξίας.

Λειτουργίες Χρήματος

i. Μέσο Συναλλαγών (Medium of exchange) :

Εξυπηρετεί εμπορικές συναλλαγές και διευκολύνει επενδυτικές ενέργειες χωρίς το κόστος και τις δυσκολίες ανταλλαγής αγαθών ή υπηρεσιών.

ii. Μονάδα μέτρησης (Unit of account) :

Εκφράζει την αξία και τις τιμές αγαθών και υπηρεσιών.

iii. Μέσο διαφύλαξης αξιών (Store of value) :

Αφορά στην αποδοχή χρήματος (και χρυσού) λόγω της δυνατότητας αποταμίευσης που παρέχει για μελλοντική χρήση του.

Θετικά χαρακτηριστικά χρήσης του Ψηφιακού Νομίσματος

i. Ευκολία στις πληρωμές :

Οι συναλλαγές με χρήση ψηφιακών νομισμάτων χαρακτηρίζονται για την ευκολία που τις διέπει. Χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση πιστωτικής κάρτας ή η υπογραφή και η έγκριση άλλων εγγράφων, η διαδικασία πραγματοποιείται μόνο με την χρήση της ψηφιακής διεύθυνσης.

ii. Ταχύτητα στις συναλλαγές :

Η διαδικασία μεταφοράς χρημάτων που απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθεί, πραγματοποιείται σε μερικά δευτερόλεπτα.

iii. Υψηλά επίπεδα ασφάλειας :

Η χρήση μεθόδων κρυπτογραφίας εξασφαλίζει ύψιστα επίπεδα ασφάλειας κατά τις συναλλαγές. Ο μόνος που έχει πρόσβαση στο ηλεκτρονικό πορτοφόλι είναι ο ιδιοκτήτης του. Όλες οι κινήσεις που αφορούν μεταφορές ή πληρωμές μπορούν να γίνουν αποκλειστικά και μόνο από αυτόν.

iv. Χαμηλές ή καθόλου χρεώσεις :

Οι τράπεζες και οι εταιρείες μέσω των οποίων πραγματοποιούνται συναλλαγές, προσθέτουν επιπλέον χρεώσεις κατά τη διαδικασία πληρωμών και μεταφορών χρημάτων που γίνονται μέσω αυτών. Οι χρεώσεις ποικίλουν και μπορεί να είναι πολύ υψηλές ή χαμηλότερες, πάντα όμως υφίστανται. Κατά τη διάρκεια συναλλαγών με ψηφιακά νομίσματα, οι χρεώσεις είναι ελάχιστες ή ανύπαρκτες.

v. Ανωνυμία και ασφάλεια προσωπικών δεδομένων :

Η ανάκτηση των στοιχείων που αφορούν τους συναλλασσόμενους ψηφιακού χρήματος είναι σχεδόν αδύνατη. Έτσι, δεν παραβιάζεται η ιδιωτικότητά τους. Οι τράπεζες, εκτός από τα προσωπικά στοιχεία των πελατών τους (στοιχεία που αποκτώνται κατά τις συμβατικές συναλλαγές), έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν πληροφορίες και για τις καταναλωτικές συνήθειες των συναλλασσόμενων.

Αρνητικά χαρακτηριστικά συναλλαγών με Ψηφιακά Νομίσματα

i. Μη αναστρέψιμες πληρωμές :

Οποιοδήποτε λάθος πραγματοποιηθεί κατά τη μεταφορά ενός ποσού ψηφιακών νομισμάτων, είναι μη αντιστρέψιμο. Σε περίπτωση που το ποσό πληρωμής μεταφερθεί σε λάθος παραλήπτη, καμία διαδικασία δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί, ώστε να αποσπαστούν από τον λάθος παραλήπτη. Ο μόνος τρόπος για να γίνει αυτό είναι να δεχτεί ο λάθος παραλήπτης να επιστρέψει το ποσό και να πραγματοποιήσει ο ίδιος την μεταφορά.

ii. Δεν αποτελεί καθολικά αποδεκτό τρόπο πληρωμής :

Αρχικά, τα ψηφιακά νομίσματα δεν γίνονται αποδεκτά κατά τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται σε φυσικά καταστήματα. Επιπλέον, δεν είναι ικανοποιητικά μεγάλος ο αριθμός των ιστοτόπων και των εταιρειών που πραγματοποιούν συναλλαγές με ψηφιακά νομίσματα. Αν κάποιος θέλει να πραγματοποιήσει διαδικτυακές αγορές με ψηφιακά νομίσματα, πρέπει πρώτα να εντοπίσει τους παρόχους που τα δέχονται.

iii. Απώλεια ψηφιακού πορτοφολιού :

Τα ψηφιακά νομίσματα κάθε χρήστη είναι αποθηκευμένα στο προσωπικό του ψηφιακό πορτοφόλι. Σε περίπτωση που το πορτοφόλι χαθεί (πχ αν το σύστημα του υπολογιστή, στον οποίο είναι αποθηκευμένο το ηλεκτρονικό πορτοφόλι, μολυνθεί από κάποιον ιό), η απώλεια είναι οριστική. Δεν υπάρχει κανένας τρόπος ανάκτησης των χαμένων ψηφιακών νομισμάτων.

iv. Κίνδυνος απάτης :

Αν το ιδιωτικό κλειδί ενός χρήστη βρεθεί από λάθος στη διάθεση κάποιου άλλου προσώπου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κλοπή. Άλλη μία περίπτωση που η απώλεια του κατόχου είναι οριστική.

v. *Κίνδυνος να χρησιμοποιηθεί δύο φορές ένα νόμισμα :*

Ο κίνδυνος αυτός ελλοχεύει όταν ο χρήστης εκτελεί peer-to-peer συναλλαγή. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις ο σειριακός αριθμός κάθε νομίσματος που μετέχει στις συναλλαγές ελέγχεται από μία βάση δεδομένων (blockchain), στην οποία είναι καταγεγραμμένες όλες οι συναλλαγές. Αν τα νομίσματα που προορίζονται για συναλλαγή ταυτιστούν με αυτά που είναι στη βάση δεδομένων των ήδη πραγματοποιημένων συναλλαγών, η συναλλαγή απορρίπτεται.

1.3 ΚΡΥΠΤΟΝΟΜΙΣΜΑΤΑ

Χαρακτηριστικά Κρυπτονομισμάτων

i. Το σύστημα διεκπεραίωσης συναλλαγών με κρυπτονομίσματα :

- δεν απαιτεί την ύπαρξη κεντρικής διευθύνουσας αρχής
- ορίζει τις μονάδες μέτρησης των κρυπτονομισμάτων
- αποδεικνύει την ιδιοκτησία των ψηφιακών νομισμάτων μέσω της κρυπτογραφίας
- επιτρέπει τις συναλλαγές, στις οποίες έχει αλλάξει η ιδιοκτησία των νομισμάτων.
Η συναλλαγή μπορεί να ολοκληρωθεί από μία οντότητα που αποδεικνύει την τρέχουσα ιδιοκτησία των ψηφιακών νομισμάτων.

ii. Εξαιτίας της έλλειψης κεντρικής διευθύνουσας αρχής, δεν μπορεί να υπάρξει κατάργηση ενός κρυπτονομίσματος. Ένα ψηφιακό νόμισμα παύει να υπάρχει όταν οι χρήστες του χάσουν την εμπιστοσύνη τους σε αυτό.

iii. Ανωνυμία : Ο κάτοχος ενός λογαριασμού κρυπτονομισμάτων δεν μπορεί να αναγνωριστεί από τα δεδομένα του λογαριασμού του.

iv. Προστασία από Double Spending Attack : Ο ιδιοκτήτης των κρυπτονομισμάτων δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει τα ίδια νομίσματα για να πραγματοποιήσει δύο συναλλαγές. Εάν τα ψηφιακά νομίσματα έχουν σταλθεί σε έναν παραλήπτη, η προσπάθεια αποστολής τους από τον αρχικό λογαριασμό σε άλλον παραλήπτη απορρίπτεται αυτόματα ως άκυρη συναλλαγή. (Lansky, 2018) (Jonathan Chiu, 2017)

Περιβάλλον χρήσης Κρυπτονομισμάτων

Τα κρυπτονομίσματα μπορούν να κατέχονται μέσω ηλεκτρονικών λογαριασμών. Ένας νέος λογαριασμός κρυπτονομισμάτων δεν περιέχει κρυπτονομίσματα. Κάθε λογαριασμός αποτελείται από ένα ιδιωτικό κλειδί και μία διεύθυνση, η οποία λειτουργεί όπως ένας αριθμός τραπεζικού λογαριασμού. Το ιδιωτικό κλειδί λειτουργεί όπως ένας αριθμός PIN (secret Personal Identification Number) και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ιδιοκτησίας του λογαριασμού.

Οι λογαριασμοί κρυπτονομισμάτων χωρίζονται σε Hot και Cold Wallets. Τα Hot Wallets είναι συσκευές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο και εκτεθειμένες στο ρίσκο των επιθέσεων (hacking). Τα Cold Wallets είναι είτε έγγραφα είτε λογισμικά και δεν συνδέονται στο διαδίκτυο.

Προτείνεται ένας λογαριασμός να χρησιμοποιείται για μία μόνο συναλλαγή. Επομένως, ένα άτομο κατέχει δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιάδες λογαριασμούς στη ζωή του. Ένα άτομο μπορεί να κατέχει ακόμα και ένα εκατομμύριο λογαριασμούς για ένα μόνο κρυπτονόμισμα. Η ποσότητα κρυπτονομισμάτων που μπορεί να κατέχει κάποιος, περιορίζεται μόνο από την διαθεσιμότητά τους. (Lansky, 2018)

Ομοιότητες και διαφορές Κρυπτονομισμάτων και Ηλεκτρονικού Χρήματος

i. Και τα δύο νομίσματα είναι σε ψηφιακή μορφή.

Το ηλεκτρονικό χρήμα, όπως και πολλές ηλεκτρονικές μορφές του παραστατικού χρήματος (πιστωτικές και χρεωστικές κάρτες, PayPal), είναι ένας μηχανισμός αλληλεπίδρασης με το παραστατικό χρήμα.

ii. Το κάθε ένα ανταποκρίνεται σε άλλη λογιστική μονάδα.

Σε αντίθεση με τα κρυπτονομίσματα, το ηλεκτρονικό χρήμα δεν είναι διαφορετικό νόμισμα από το παραστατικό χρήμα και εποπτεύεται από τις ίδιες αρμόδιες αρχές που εποπτεύεται το βασικό εθνικό νόμισμα μιας χώρας. Η τιμή –και υπονοούμενα η αξία – των κρυπτονομισμάτων καθορίζεται από τους χρήστες που θέλουν να αγοράσουν (ζήτηση) και από αυτούς που θέλουν να πουλήσουν (προσφορά), ορίζοντας τις τιμές που είναι πρόθυμοι να πληρώσουν ή να λάβουν αντίστοιχα.

iii. Διαφορετικός τρόπος παραγωγής και έκδοσης.

Το ηλεκτρονικό χρήμα είναι αποτέλεσμα ψηφιακής παραγωγής και εκδίδεται από νόμιμα εξουσιοδοτημένο εκδότη. Η δημιουργία ενός νέου κρυπτονομίσματος προσδιορίζεται από το περιβάλλον του. Το σύστημα που περιβάλλει ένα κρυπτονόμισμα προσδιορίζει τις συνθήκες προέλευσης και πώς θα αποφασίζεται η ιδιοκτησία των μονάδων του.

iv. Ταυτοποίηση χρήστη.

Ενώ τα κρυπτονομίσματα εξασφαλίζουν την επιθυμητή ανωνυμία του χρήστη, το ηλεκτρονικό χρήμα και οι κινήσεις που συνδέονται με την χρήση του είναι ανιχνεύσιμες. Οι ιδιοκτήτες λογαριασμών κρυπτονομισμάτων μπορούν εθελούσια να αποκαλύψουν την ταυτότητά τους.

Ιστορία Κρυπτονομισμάτων

Η πρόταση για τη δημιουργία ενός ανώνυμου ψηφιακού νομίσματος έγινε το 1998 από τον Wei Dai. Η επιθυμία του ήταν να δημιουργήσει ένα νόμισμα, με το οποίο η εμπλοκή της κυβέρνησης θα ήταν οριστικά απαγορευμένη και μονίμως περιττή. Η ιδέα αυτή υλοποιήθηκε 11 χρόνια μετά από τον Satoshi Nakamoto. Βασισμένος στη διατριβή του “Bitcoin : a peer-to-peer electronic cash system”, ο Nakamoto προχώρησε στην ανάπτυξη του Bitcoin.

Πριν την εμφάνιση του Bitcoin υπήρξαν διάφορα παραδείγματα ψηφιακών νομισμάτων, τα οποία προσέλκυαν μεγάλο ενδιαφέρον. Η καινοτομία τόσο στον σχεδιασμό όσο και στα χαρακτηριστικά των κρυπτονομισμάτων, σε συνδυασμό με την άμεση παγκόσμια διαδικτυακή προσβασιμότητα, οδήγησαν σε μία εκθετική αύξηση της ζήτησης.

Για κάθε χρήστη που θέλει να συμμετέχει άμεσα στις συναλλαγές κρυπτονομισμάτων, είναι πιο πιθανό το σημείο εισόδου να είναι μία ηλεκτρονική συναλλαγή (ιδιαίτερα για τους νέους μη-πληροφορημένους χρήστες). Ο μέσος χρήστης πραγματοποιεί τουλάχιστον μία συναλλαγή, αφού αλλάζει το εγχώριο νόμισμα με κρυπτονομίσματα και πολύ πιθανό να πληρώσει αργότερα με το κρυπτονόμισμα για προϊόντα ή υπηρεσίες. Κάθε νέος χρήστης θα παράγει επιπλέον όγκο συναλλαγών, αλλάζοντας το εγχώριο νόμισμα σε κρυπτονόμισμα. Έτσι, εάν η πρόθεση των χρηστών επικεντρώνεται στην πλευρά του κρυπτονομίσματος ως

νόμισμα, παρατηρούμε μία σχέση μεταξύ αριθμού των νέων συμμετεχόντων και του όγκου συναλλαγών. Στην περίπτωση που οι χρήστες αγοράζουν κρυπτονομίσματα με την ιδιότητα ενός εναλλακτικού περιουσιακού στοιχείου, είναι αναγκασμένοι να ορίσουν τις προσδοκίες τους για μελλοντικές τιμές, βασισμένοι σε πληροφορίες που αποκτούν από διαθέσιμες πηγές. Αυτές οι πηγές μπορεί να είναι κοινωνικά δίκτυα, άρθρα σε εφημερίδες, φίλοι και γνωστοί, διαδικτυακές κοινότητες κ.ά. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει διαθέσιμος τρόπος υπολογισμού των τιμών των κρυπτονομισμάτων, οι πληροφορίες είναι πολύ πιθανό να έχουν μεγάλη επιρροή στις τιμές. (Glaser Florian, 2014)

Σημαντικά Κρυπτονομίσματα εκτός του Bitcoin

Η πρώτη σκέψη όλων όταν μιλάμε για κρυπτονομίσματα είναι το Bitcoin. Δεν είναι όμως το μόνο σημαντικό ψηφιακό νόμισμα που κινείται στην Αγορά. Τα εμπνευσμένα από το Bitcoin ψηφιακά νομίσματα, γνωστά και ως altcoins, είναι νομίσματα που προσπάθησαν να διαφοροποιηθούν και να παρουσιάσουν βελτιωμένες εκδοχές του Bitcoin. Μέχρι τον Ιούλιο του 2017 σημειώνεται η ύπαρξη τουλάχιστον 900 κρυπτονομισμάτων.

➤ **Litecoin (LTC)**

Παρουσιάστηκε το 2011 ακολουθώντας το Bitcoin και χαρακτηρίστηκε ως “ασήμι στο χρυσό του Bitcoin” (“silver to bitcoins’ gold”). Δημιουργός του είναι ο Charlie Lee (απόφοιτος του MIT και πρώην μηχανικός της Google).

➤ **Ethereum (ETH)**

Κυκλοφορεί επισήμως από το 2015 και έχει την δική του ολοκληρωμένη γλώσσα προγραμματισμού. Μετά το 2016 το Ethereum χωρίστηκε σε Ethereum (ETH) και Ethereum Classic (ETC).

➤ **Dash**

Γνωστό και ως Darkcoin εμφανίστηκε το 2014 και γνώρισε σημαντική άνοδο από τις αρχές του 2017. Δημιουργός του είναι ο Evan Duffied.

➤ **Ripple (XPR)**

Κυκλοφόρησε το 2012 και είναι το μόνο κρυπτονόμισμα που δεν έχει blockchain. Το πρωτόκολλό του χρησιμοποιείται από επίσημους φορείς όπως για παράδειγμα μεγάλες τράπεζες.

➤ **Monero (XMR)**

Εμφανίστηκε το 2014 και παρουσίασε σημαντική άνοδο από το 2016. Χρησιμοποιείται κυρίως για ανώνυμες ψηφιακές πληρωμές.

Εάν συγκρίνουμε τον μέσο αριθμό καθημερινών συναλλαγών κάθε κρυπτονομίσματος, θα παρατηρήσουμε ότι προηγείται με διαφορά το Bitcoin ενώ ακολουθεί το Ethereum.

Αξίζει να σημειωθεί ότι περίπου το 40% του συνολικού Bitcoin βρίσκεται στα χέρια 1000 ατόμων (Khanf,2017). Αυτή η συγκέντρωση ψηφιακών νομισμάτων σε τόσο λίγα χέρια αυξάνει την πιθανότητα ρευστοποίησής τους και μπορεί να οδηγήσει σε κρίση (Whale Problem). (Dr Garrick Hileman, 2017)

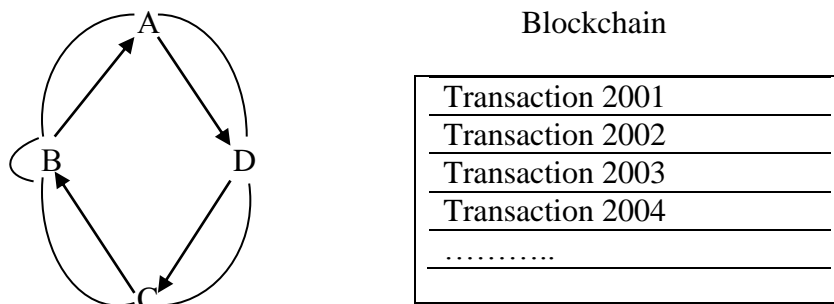
1.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΡΥΠΤΟΝΟΜΙΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΑΛΛΑΓΕΣ

Το Bitcoin είναι μία ανοιχτή πηγή λογισμικού που ως βάση έχει τις διαδικτυακές πληρωμές. Οι συναλλαγές με Bitcoin καταγράφονται σε ένα κοινό δημόσιο λογαριασμό (ledger) και πραγματοποιούνται ανώνυμα μεταξύ ατόμων, χωρίς να υπάρχει κεντρικός διαχειριστής.

Αρχές όπως η Internal Revenue Service (IRS,2014) και η Financial Crimes Enforcement Network (FINCEN,2013) αναγνωρίζουν το Bitcoin ως εικονικό νόμισμα αλλά το διαφοροποιούν από ένα πραγματικό, εξαιτίας της απουσίας μιας νόμιμης κατάστασης σε οποιαδήποτε χώρα.

Η κατοχή Bitcoin δεν είναι τίποτα περισσότερο από την δυνατότητα μετακίνησής τους στο σύστημα, αφού δεν έχουν εσωτερική αξία. Η αξία ενός bitcoin προέρχεται κυρίως από την χρήση του ως μέσο πληρωμών και από μία πιθανή υπερεκτίμησή του με σκοπό την κερδοσκοπία. (Hayes, 2014)

Διάγραμμα 1.1 Bitcoin concept



Στο Διάγραμμα 1.1 βλέπουμε 4 οντότητες A,B,C και D που συναλλάσσονται άμεσα. Παρατηρούμε ότι η οντότητα B έχει την δυνατότητα να συναλλάσσεται με τον εαυτό της. Όλες οι συναλλαγές καταγράφονται χρονολογικά στο Blockchain (δημόσιο αρχείο συναλλαγών).

Οι κόμβοι είναι οντότητες και τα ευθύγραμμα βέλη περιγράφουν πληρωμές με bitcoin. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, οι οντότητες συναλλάσσονται άμεσα, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τις περισσότερες πληρωμές παραδοσιακών συστημάτων, όπου μεσολαβούν τράπεζες, επεξεργαστές, δίκτυα κλπ.

Το Blockchain είναι η κύρια πηγή πληροφοριών για τις κινήσεις-συναλλαγές στο σύστημα Bitcoin. (Anton Badev, 2014)

Επικύρωση Συναλλαγών

Για την επικύρωση των συναλλαγών, τις διαδικασίες πληρωμής και τον έλεγχο αποθέματος σε bitcoin χρησιμοποιείται η Κρυπτογραφία. Τα κρυπτογραφικά προγράμματα που εφαρμόζονται στο Πρωτόκολλο Bitcoin δεν είναι νέα και στην πραγματικότητα χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, στις οποίες απαιτείται προστασία πληροφοριών. Το σύστημα Bitcoin βασίζεται σε δύο βασικά στοιχεία κρυπτογράφησης :

- Ψηφιακές Υπογραφές και
- Κρυπτογραφικές Συναρτήσεις Κατακερματισμού.

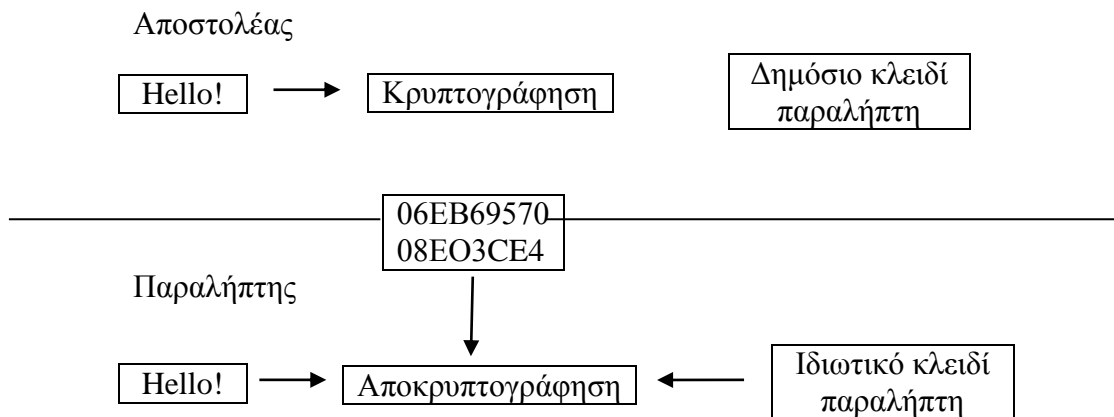
Ψηφιακές Υπογραφές

Είναι ο τρόπος με τον οποίο πιστοποιούμε το μήνυμα μεταξύ πομπού και δέκτη, αφού εξασφαλίζουν:

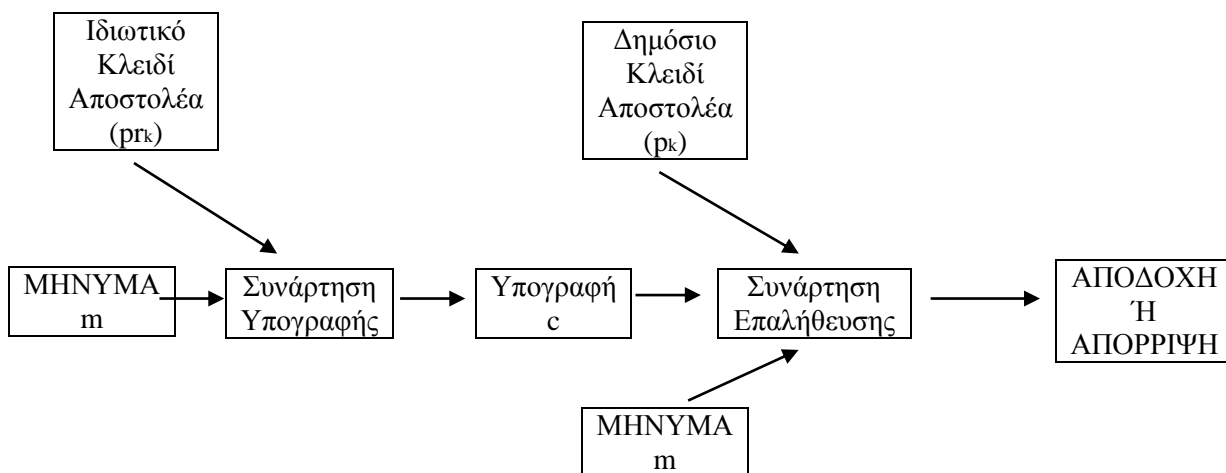
- i. Αuthenticότητα : ο παραλήπτης μπορεί να επιβεβαιώσει ότι το μήνυμα προέρχεται από τον αποστολέα
- ii. Μη-απάρνηση : ο αποστολέας δεν μπορεί να αρνηθεί ότι έστειλε το μήνυμα, και αντίστοιχα ο παραλήπτης δεν μπορεί να αρνηθεί να το λάβει.
- iii. Ακεραιότητα : το μήνυμα δεν αλλοιώνεται.

Η εφαρμογή ψηφιακών υπογραφών περιέχει ένα κρυπτογραφικό σύστημα που αποτελείται από δύο κλειδιά, το δημόσιο και το ιδιωτικό.

Διάγραμμα 1.2 Κρυπτογράφηση Δημόσιου Κλειδιού (Anton Badev, 2014)



Διάγραμμα 1.3 Διαδικασία Ψηφιακής Υπογραφής (Anton Badev, 2014)



Η Συνάρτηση Υπογραφής (Sign Function) συνδυάζει το μήνυμα με το ιδιωτικό κλειδί (pk) του αποστολέα και δημιουργεί την υπογραφή c . Ο παραλήπτης λαμβάνει το υπογεγραμμένο μήνυμα (το μήνυμα m μαζί με την υπογραφή c), αλλά πριν το αποδεχτεί πιστοποιεί την αυθεντικότητα του αποστολέα ελέγχοντας το δημόσιο κλειδί του (pk). Η σύγκριση γίνεται μέσω της συνάρτησης επαλήθευσης (Verify Function) που χρησιμοποιεί ως είσοδο το υπογεγραμμένο μήνυμα (το μήνυμα m με την υπογραφή c) και το δημόσιο κλειδί pk του αποστολέα και εξάγει το δυαδικό αποτέλεσμα : Αποδοχή ή Απόρριψη. Όλα τα μέλη του συστήματος Bitcoin μπορούν να επαληθεύσουν ότι αυτή η συναλλαγή προήλθε από τον ιδιοκτήτη του δημόσιου κλειδιού pk . (Anton Badev, 2014)

Κρυπτογραφικές Συναρτήσεις Κατακερματισμού

Γενικά μια Κρυπτογραφική Συνάρτηση Κατακερματισμού είναι μια μαθηματική συνάρτηση που δέχεται ως είσοδο κάποιο δεδομένο τυχαίου μεγέθους και επιστρέφει ένα δεδομένο σταθερού μεγέθους αναπαράστασης. Ορίζουμε ως μήνυμα m την είσοδο της συνάρτησης και hash h την έξοδό της.

Ιδιότητες Συνάρτησης Κατακερματισμού :

Έχοντας την έξοδο h της συνάρτησης δεν μπορούμε να βρούμε την είσοδο m για την οποία $hash(m)=h$. Έχοντας την είσοδο μήνυμα m_1 δεν μπορούμε να βρούμε διαφορετική είσοδο m_i για την οποία $hash(m_1)=hash(m_i)$. Αλλαγές στην είσοδο (μήνυμα m) οδηγούν σε σημαντικές αλλαγές στην έξοδο (hash h) της συνάρτησης.

Από τις παραπάνω ιδιότητες συμπεραίνουμε ότι είναι σχεδόν απίθανο για κάποιον να βγάλει συμπέρασμα για το περιεχόμενο του μηνύματος από την συνάρτηση κατακερματισμού (hash function).

1.5 ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΝΟΜΙΣΜΑΤΩΝ

Πρόσφατα, ένας αριθμός κεντρικών Τραπεζών άρχισε να υιοθετεί την τεχνολογία των κρυπτονομισμάτων για εμπόριο και πληρωμές μεγάλης αξίας. Για παράδειγμα η Τράπεζα της Κίνας ανέπτυξε ένα διεθνές ψηφιακό νόμισμα που βασίζεται στην τεχνολογία του Blockchain, η Τράπεζα του Καναδά μελετά τη χρήση κρυπτονομισμάτων σε διατραπεζικές συναλλαγές, η γερμανική ομοσπονδιακή Τράπεζα χρησιμοποιεί την τεχνολογία του Blockchain για τον διακανονισμό οικονομικών περιουσιακών στοιχείων.

Την Παρασκευή 1^η Σεπτεμβρίου 2017, το Bitcoin ξεπέρασε τα 5000 αμερικάνικα δολάρια. Πρώτη φορά διαμορφώθηκε η ισοτιμία Bitcoin – αμερικάνικου δολαρίου και την ακόλουθη κιάλας μέρα υποχώρησε κατά 0,6%. Στις αρχές του έτους 2017 κατάφερε να ξεπεράσει τα 1000 δολάρια και σε 8 μήνες σημείωσε άνοδο 500%. Τον τελευταίο καιρό λοιπόν τα κρυπτονομίσματα λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων που παρουσιάζουν στις τιμές τους αποτελούν πρώτο θέμα της επικαιρότητας, με αποτέλεσμα καθημερινά όλο και περισσότεροι οργανισμοί να έλκονται από αυτά και να εξετάζουν πιθανές χρήσεις τους.

Ωστόσο, είναι αδύνατο να υπολογίσουμε τον ακριβή αριθμό των ατόμων που χρησιμοποιούν κρυπτονομίσματα. Η εκτίμηση τόσο του αριθμού των κατόχων κρυπτονομισμάτων όσο και των χρηστών είναι μια δύσκολη προσπάθεια, αφού τα άτομα μπορούν να χρησιμοποιούν πολλαπλά wallets από διαφορετικούς παρόχους στον ίδιο χρόνο. Επιπλέον, ένας χρήστης μπορεί να έχει πολλαπλά wallets και λογαριασμούς συναλλαγών για διαφορετικά κρυπτονομίσματα, κι επομένως υπολογίζεται περισσότερες από μία φορές στο συνολικό άθροισμα των χρηστών-κατόχων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε εμπειρικές μελέτες που έγιναν γύρω από τα κρυπτονομίσματα και ιδιαίτερα γύρω από το κρυπτονομίσμα Bitcoin, χρησιμοποιώντας κυρίως Υποδείγματα GARCH.

Ο Adam Hayes το 2014 στόχευσε στον εντοπισμό της αξίας που εμφανίζουν τα κρυπτονομίσματα στην Αγορά, χρησιμοποιώντας cross sectional data για 16 από τα πιο χρησιμοποιούμενα κρυπτονομίσματα. Από την παλινδρόμηση προέκυψαν τρία αξιολογώμενα χαρακτηριστικά των κρυπτονομισμάτων : η δυσκολία εξόρυξης, το ποσοστό της μονάδας παραγωγής και ο αλγόριθμος Κρυπτογραφίας που είναι απαραίτητος για την χρήση τους. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν επίσης τιμές κλεισίματος του κρυπτονομίσματος Bitcoin, αποφεύγοντας μεγάλο μέρος της μεταβλητότητας των τιμών που συνδέεται με την ισοτιμία του δολαρίου.

Τα κρυπτονομίσματα όπως το Bitcoin χαρακτηρίζονται ως επενδυτικά περιουσιακά στοιχεία και συχνά ονομάζονται Νέος Χρυσός. Το 2015 η Anne Haubo Dyhrberg ερευνήσε τις οικονομικές δυνατότητες του Bitcoin ως χρηματοοικονομικό περιουσιακό στοιχείο χρησιμοποιώντας μοντέλα GARCH. Το αρχικό μοντέλο που χρησιμοποίησε έδειξε αρκετές ομοιότητες με τον Χρυσό και το δολάριο που συνεπάγονται δυνατότητες αντιστάθμισης και πλεονεκτήματα ως μέσο συναλλαγής. Το ασύμμετρο μοντέλο GARCH έδειξε ότι το Bitcoin είναι χρήσιμο στη διαχείριση κινδύνου και ιδανικό για risk-averse επενδυτές. Ωστόσο, οι Tony Klein, Thomas Walther και HienPham Thu (2018) αναλύοντας και συγκρίνοντας τις ιδιότητες της υπό-συνθήκη διακύμανσης του Bitcoin και άλλων περιουσιακών στοιχείων κι έπειτα χρησιμοποιώντας ένα BEKK-GARCH μοντέλο για να προσδιορίσουν τις χρονικά μεταβαλλόμενες υπό-συνθήκη συσχετίσεις, έδειξαν ότι Χρυσός και Bitcoin είναι δύο πολύ διαφορετικά περιουσιακά στοιχεία. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το Bitcoin συμπεριφέρεται ακριβώς αντίθετα από τον Χρυσό, δηλαδή συσχετίζεται θετικά με τις καθοδικές αγορές. Τέλος μελετούν το Bitcoin ως συστατικό χαρτοφυλακίου και σημειώνουν ότι δεν υπάρχει δυνατότητα αντιστάθμισης. Προκύπτει τελικά το συμπέρασμα ότι το Bitcoin και ο Χρυσός έχουν θεμελιωδώς διαφορετικές ιδιότητες ως περιουσιακά στοιχεία και ότι το Bitcoin δεν αντικατοπτρίζει καμία διακριτή ιδιότητα του Χρυσού.

Προηγούμενες μελέτες από την “Can volume predict Bitcoin returns and volatility? A quantiles-based approach” του Mehmet Balcilar (2016) ορίζουν τις συναλλαγές με Bitcoin ως τον μέσο όρο της κατανομής των αποδόσεων. Η μελέτη αυτή χρησιμοποιεί μία μη παραμετρική δοκιμασία αιτιότητας σε ποσοτικά στοιχεία για να αναλύσει την αιτιώδη συνάφεια μεταξύ του όγκου των συναλλαγών, των αποδόσεων του Bitcoin και της μεταβλητότητας. Τα δεδομένα είναι ημερήσια και καλύπτουν την χρονική περίοδο 19-12-2011 έως 25-4-2016. Οι έλεγχοι αιτιότητας αποκαλύπτουν ότι ο όγκος των συναλλαγών μπορεί να προβλέψει τις αποδόσεις. Το αποτέλεσμα αυτό υπογραμμίζει τη σημασία μοντελοποίησης της μη-γραμμικότητας όταν αναλύονται αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των αποδόσεων Bitcoin και του όγκου συναλλαγών. Σημειώνεται επίσης ότι ο όγκος συναλλαγών δεν μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη των αποδόσεων σε οποιοδήποτε σημείο της υπό συνθήκη κατανομής.

Το άρθρο “Sentiment and Bitcoin Volatility” των Jaroslav Bukovina και Matus Marticek (2016) ενισχύει την τρέχουσα έρευνα που υποστηρίζει ότι οι λιγότερο ορθολογικοί παράγοντες όπως η ελκυστικότητα του Bitcoin και οι κερδοσκοπικές επενδύσεις επηρεάζουν την υπερβολική μεταβλητότητα. Συγκεκριμένα, εξετάζεται το συναίσθημα ως οδηγός της μεταβλητότητας του Bitcoin. Οι συγγραφείς προτείνουν την αποσύνθεση του Bitcoin σε ορθολογικά και λιγότερο ορθολογικά στοιχεία. Τα ευρήματα της εργασίας δείχνουν την περιθωριακή παρουσία του συναισθήματος κατά τη διάρκεια της συνολικής περιόδου μελέτης. Αποδεικνύεται επίσης ότι η εξηγητική ισχύς του συναισθήματος αυξάνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια περιόδων υπερβολικής μεταβλητότητας, και ότι το θετικό κλίμα επηρεάζει περισσότερο την υπερβολική μεταβλητότητα του Bitcoin.

Το 2017 χρησιμοποιώντας ημερήσια και ωριαία δεδομένα οι Yaohao Peng, Pedro Henrique, Melo Albuquerque, Jader Martins Camboin de Sa, Ana Julia Akaishi Padula και Mariana Rosa Montenegro αξιολόγησαν την προγνωστική ικανότητα των παραδοσιακών μοντέλων GARCH και των παλινδρομήσεων SVR, χρησιμοποιώντας τον έλεγχο Diebold-Mariano και το Hansen’s Model Confidence Set. Η ανάλυση επαναλήφθηκε τόσο για δεδομένα χαμηλής αλλά και υψηλής συχνότητας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα μοντέλα SVR-GARCH ξεπερνούν σε προβλεπτικότητα τα μοντέλα GARCH, EGARCH και GJR-GARCH. Για όλες τις μεταβλητές και τις δύο συχνότητες χρόνου, έχουμε στατιστική σημαντικότητα της υπεροχής του μοντέλου SVR-GARCH έναντι του GARCH και των επεκτάσεών του.

Στόχος της εργασίας των Nashirah Abu Akar και Sofian Rosbi (2017) είναι να αξιολογηθεί η μεταβλητότητα και η επιρροή της στην απόδοση του κρυπτονομίσματος Bitcoin. Χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές κλεισίματος Bitcoin από 1-1-2017 έως 31-10-2017. Η ανίχνευση της μεταβλητότητας πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το διάγραμμα box-whisker. Η υψηλή τιμή της μεταβλητότητας δείχνει ότι η επένδυση σε Bitcoin είναι επένδυση υψηλού κινδύνου. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να βοηθήσει τους επενδυτές να αναπτύξουν ένα καλύτερο επενδυτικό χαρτοφυλάκιο στοχεύοντας σε καλύτερα κέρδη και μειώνοντας την απώλεια.

Η Paraskevi Katsiampa το 2017 μελέτησε το βέλτιστο μοντέλο ετεροσκεδαστικότητας υπό όρους (conditional heteroskedasticity model) σχετικά με την προσαρμογή των τιμών του Bitcoin. Στην εργασία της ‘‘Volatility estimation for Bitcoin : A comparison of GARCH models’’ αποδεικνύεται ότι καλύτερο είναι το μοντέλο AR-GARCH, υπογραμμίζοντας την σημασία της συμπερίληψης τόσο της βραχυχρόνιας όσο και της μακροχρόνιας συνιστώσας της υπό-συνθήκη διακύμανσης. Ένα χρόνο αργότερα, χρησιμοποιώντας ένα ασύμμετρο διαγώνιο BEKK μοντέλο, εξέτασε την δυναμική της μεταβλητότητας πέντε σημαντικών κρυπτονομισμάτων (Bitcoin, Ether, Ripple, Litecoin και Stellar Lumen). Απέδειξε ότι τα πέντε αυτά κρυπτονομίσματα επηρεάζονται σημαντικά από τις παρελθούσες τιμές των τετραγώνων των σφαλμάτων και την παρελθούσα μεταβλητότητα. Επιπλέον έδειξε ότι τα ασύμμετρα παρελθοντικά σοκ δεν επιδρούν στο κρυπτονομίσμα Stellar Lumen ενώ τα κρυπτονομίσματα Bitcoin, Ether, Ripple και Litecoin επηρεάζονται διαφορετικά από την πληροφορία καλών και κακών νέων. Σε άλλη εργασία της το 2018 διερεύνησε την μεταβλητότητα των κρυπτονομισμάτων Bitcoin και Ether, χρησιμοποιώντας και πάλι ένα διαγώνιο BEKK μοντέλο. Στην εργασία αυτή αποδεικνύεται η ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων στην Αγορά Κρυπτονομισμάτων. Επιπλέον αποδεικνύεται ότι η υπό-συνθήκη μεταβλητότητα και η συσχέτιση των δύο κρυπτονομισμάτων ανταποκρίνονται στις νέες πληροφορίες.

Οι Yutaka Kurihara και Akio Fukushima το 2018 εξέτασαν εμπειρικά αν υπάρχουν εβδομαδιαίες ανωμαλίες στις τιμές του κρυπτονομίσματος Bitcoin, μελετώντας την αποτελεσματικότητά του στην Αγορά. Τα εμπειρικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η Αγορά Bitcoin δεν είναι αποτελεσματική, ωστόσο οι συναλλαγές μπορούν να γίνουν αποτελεσματικότερες. Τονίζεται επίσης ότι οι αποδόσεις του Bitcoin είναι τυχαίες μελλοντικά.

Την ίδια χρονιά οι Theodore Panagiotidis, Thanasis Stengos και Orestis Vranosinos μελέτησαν πώς επιδρούν διάφορα σοκ στις αποδόσεις του κρυπτονομίσματος Bitcoin. Χρησιμοποιώντας μοντέλα VAR, FAVAR και Impulse Responses Functions αξιολόγησαν τις επιδράσεις των Χρηματιστηριακών Αγορών, των συναλλαγματικών ισοτιμιών, των αποδόσεων Χρυσού και Πετρελαίου, των επιτοκίων των Τραπεζών FED και EKT καθώς και των διαδικτυακών τάσεων. Συμπέραναν ότι οι αποδόσεις του Bitcoin αλληλεπιδρούν σημαντικά με τις παραδοσιακές Χρηματιστηριακές Αγορές και ασθενέστερα με τις Αγορές Συναλλάγματος (FOREX). Αξιοσημείωτο εύρημα της εργασίας είναι επίσης το αντίκτυπο των Ασιατικών Αγορών στη διαμόρφωση των τιμών του Bitcoin.

Οι Catania Lepoldo, Grassi Stefano και Ravazzolo Fransesco στην εργασία τους ‘‘Predicting the Volatility of Cryptocurrency Time-Series’’ (2018) μελετούν την πρόβλεψη της υπό-συνθήκη μεταβλητότητας των τεσσάρων πιο εμπορεύσιμων κρυπτονομισμάτων (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Ripple) και την αντίδρασή της σε παρελθούσες τιμές. Σημαντική είναι και η εργασία των Elie Bouri, Chi Keung Marco Lau, Brian Lucey, David Roubaud (2018), αφού βοηθά στην κατανόηση της Αιτιότητας κατά Granger μεταξύ του όγκου συναλλαγών και της μεταβλητότητας της Αγοράς. Χρησιμοποιούνται ημερήσια δεδομένα των επτά κορυφαίων κρυπτονομισμάτων (Bitcoin, Ripple, Ethereum, Litecoin, Nem, Dash, Stellar). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο όγκος συναλλαγών φέρει χρήσιμες πληροφορίες για την πρόβλεψη ακραίων θετικών και αρνητικών αποδόσεων όλων των κρυπτονομισμάτων. Ωστόσο, ο όγκος συναλλαγών μπορεί να προβλέψει την μεταβλητότητα μόνο για τα εξής τρία κρυπτονομίσματα : Litecoin, Nem και Dash όταν η μεταβλητότητα είναι χαμηλή.

Τέλος, ο Yhlas Soubeton χρησιμοποιώντας την τεχνική ARDL και εβδομαδιαία δεδομένα έδειξε πως παράγοντες που σχετίζονται με το κρυπτογραφικό σύστημα, όπως ο όγκος συναλλαγών και η μεταβλητότητα φαίνεται να είναι καθοριστικοί για τα κρυπτονομίσματα τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα και ότι η ελκυστικότητα των κρυπτονομισμάτων έχει σημασία για τον καθορισμό των τιμών τους, αλλά μόνο μακροπρόθεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Μη γραμμικότητα

Η γραμμική δομή των μοντέλων δεν μπορεί να εξηγήσει μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά των οικονομικών δεδομένων. Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η Leptokurtosis, δηλαδή η μεγάλη συγκέντρωση τιμών στον μέσο που έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης ακραίων τιμών, το Volatility Clustering ή Volatility Pooling, το οποίο δηλώνει ότι υψηλή διακύμανση οδηγεί σε υψηλό κίνδυνο και τα Leverage Effects, που προσδιορίζουν την αρνητική συσχέτιση αποδόσεων και μεταβλητότητας.

Το παραδοσιακό γραμμικό δομικό μοντέλο θα μπορούσε να είναι το εξής:

$$y_t = \beta_1 + \beta_2 \chi_{2t} + \dots + \beta_k \chi_{kt} + u_t, \quad u_t \sim N(0, \sigma^2)$$

όπου $\text{Var}(u_t) = \sigma_u^2$ δηλαδή η διακύμανση του τυχαίου όρου (error term) είναι σταθερή ή ισοδύναμα λέμε ότι έχουμε ομοσκεδαστικότητα στον τυχαίο όρο. Είναι όμως πολύ πιθανό η διακύμανση του τυχαίου όρου να μην είναι σταθερή με το πέρασμα του χρόνου.

Οι Campbell, Lo και MacKinlay το 1977 προσδιόρισαν μία μη-γραμμική γενικευμένη διαδικασία ως εξής:

$$y_t = f(u_t, u_{t-1}, u_{t-2}, \dots)$$

όπου $u_t \sim \text{iid}$ και f μία μη-γραμμική συνάρτηση.

Επιπλέον όρισαν πιο συγκεκριμένα ένα μη-γραμμικό μοντέλο:

$$y_t = g(u_{t-1}, u_{t-2}, \dots) + u_t \sigma^2(u_{t-1}, u_{t-2}, \dots)$$

όπου g είναι μία συνάρτηση των παρελθοντικών τιμών του τυχαίου όρου και σ^2 μία συνάρτηση που αντιστοιχεί στην διακύμανση. (Panagiotidis, 2018)

3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ

Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις πρόβλεψης της μεταβλητότητας και παρουσιάζονται παρακάτω:

➤ Historical Volatility Models (HIS)

Τα Ιστορικά Μοντέλα Μεταβλητότητας δημιουργούνται άμεσα από την υπάρχουσα μεταβλητότητα των δεδομένων, που έχει υπολογιστεί σε συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Δίνοντας έμφαση στις πρόσφατες παρατηρήσεις, τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν την επιμονή στον μέσο όρο (η κατανομή των παρατηρήσεων διέρχεται συχνά από τον μέσο όρο) και προβλέπουν την μεταβλητότητα.

➤ Random Walk

Ο απλούστερος τύπος ιστορικής μεταβλητότητας είναι το Υπόδειγμα του τυχαίου περιπάτου. Σύμφωνα με το Υπόδειγμα αυτό, η διαφορά μεταξύ της μεταβλητότητας της χρονικής στιγμής t και της μεταβλητότητας της χρονικής στιγμής $t+1$ είναι ένας λευκός θόρυβος. Ως εκ τούτου, η καλύτερη πρόβλεψη για την μελλοντική μεταβλητότητα είναι η τρέχουσα τιμή της. Με την μέθοδο αυτή συνήθως υπερεκτιμάται η τρέχουσα μεταβλητότητα.

➤ Historian Mean

Η μέθοδος αυτή προβλέπει με βάση ολόκληρο το ιστορικό της μεταβλητότητας και δίνει το ίδιο βάρος σε όλες τις παρατηρήσεις. Καταγράφει την επιστροφή της κατανομής των παρατηρήσεων στον μέσο αλλά δεν μπορεί να αιχμαλωτίσει την βραχυπρόθεσμη επιμονή και αλλαγή στη φύση της μεταβλητότητας. Επιπλέον, υποθέτει ότι η μεταβλητότητα θα επανέλθει αμέσως στον μακροπρόθεσμο μέσο της την επόμενη χρονική περίοδο. Η υπόθεση αυτή οδηγεί συνήθως σε υποεκτίμηση της μελλοντικής μεταβλητότητας.

➤ Moving Average (MA)

Ένας άλλος τύπος Ιστορικών Μοντέλων είναι το Υπόδειγμα Κινητού Μέσου. Στα Υποδείγματα αυτά δίνεται το ίδιο βάρος σε όλες τις παρατηρήσεις και εκτιμάται ένα δείγμα μέσων τιμών της μεταβλητότητας σε ένα σταθερό μήκος χρόνου. Έχουν μεγαλύτερη σημασία από το πρόσφατο ιστορικό των τιμών και καταγράφουν περισσότερες διακυμάνσεις της μεταβλητότητας. Όσο μικρότερη είναι η χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται από το Υπόδειγμα Κινητού Μέσου, τόσο πιο ευαίσθητη είναι η μεταβλητότητα στις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις.

➤ Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)

Αυτός είναι ένας άλλος τύπος Υποδείματος Ιστορικής Μεταβλητότητας, που δίνει μεγαλύτερο βάρος στις πρόσφατες παρατηρήσεις. Το γεγονός αυτό αυξάνει την προβλεπτική ικανότητα αιχμαλωτίζοντας την τάση περιόδων υψηλής και χαμηλής μεταβλητότητας (volatility clustering ή GARCH effect).

➤ Discrete Historical Models

Τα Υποδείγματα αυτά χρησιμοποιούν ευδιάκριτες κυλιόμενες παρελθούσες (ιστορικές) χρονικές περιόδους και προσδιορίζουν ξεχωριστά το βάρος καθεμιάς. Επιπλέον, κρατούν το βάρος κάθε παρατήρησης στατικό για κάθε μία χρονική περίοδο. Στα Υποδείγματα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη μικρές, μεσαίες και μεγάλες χρονικές περιόδους, αιχμαλωτίζουμε την τάση που έχει η μεταβλητότητα να επιστρέφει στην μέση τιμή της.

➤ Autoregressive Moving Average (ARMA) Models

Τα Υποδείγματα αυτά είναι Υποδείγματα Κινητού Μέσου, που προσαρμόζουν τα βάρη των παρατηρήσεων για να βελτιστοποιήσουν την πρόβλεψη της μεταβλητότητας σε μία περίοδο. Σε αυτά τα Υποδείγματα η μεταβλητότητα εκφράζεται συναρτήσει των παρελθοντικών (ιστορικών) τιμών της και ενός τυχαίου όρου (error term).

➤ Implied Standard Deviation (ISD) Models

Τα Υποδείγματα αυτά περιέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις προσδοκίες της Αγοράς για τις μελλοντικές τιμές της μεταβλητότητας. Η μέθοδος αυτή αναμειγνύει ιστορικά δεδομένα.

➤ Autoregressive Models

Ως μέτρο για τη διαχείριση κινδύνου χρησιμοποιείται η διακύμανση ή η τυπική απόκλιση. Τα Υποδείγματα ARCH-GARCH αποτελούνται από δύο εξισώσεις. Η πρώτη εξίσωση (εξίσωση του μέσου) περιγράφει τα δεδομένα ως συνάρτηση των άλλων μεταβλητών προσθέτοντας τον όρο του σφάλματος (τον τυχαίο όρο). Η δεύτερη εξίσωση (εξίσωση της διακύμανσης) καθορίζει την εξέλιξη της υπό συνθήκη διακύμανσης του τυχαίου όρου από την εξίσωση του μέσου, συναρτήσει των παρελθουσών τιμών της. (SER-HUANG POON, 2003)

Στην εργασία θα χρησιμοποιηθεί η προσέγγιση των Autoregressive Models για την πρόβλεψη της μεταβλητότητας του κρυπτονομίσματος Bitcoin.

3.3 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ARCH-GARCH

Χαρακτηριστικά των Υποδειγμάτων ARCH-GARCH

Σύμφωνα με τον Engle (1982), τα Υποδείγματα ARCH-GARCH βασίζονται στις παρακάτω δύο υποθέσεις:

- Ο διαταρακτικός όρος ε_t σε μια απλή εξίσωση του μέσου είναι γραμμικά ασυσχέτιστος αλλά χρονικά εξαρτημένος.
- Η μη-γραμμική εξάρτηση που παρουσιάζει ο διαταρακτικός όρος ε_t μπορεί να ερμηνευτεί με τη χρήση των τετραγώνων των παρελθοντικών τιμών των σφαλμάτων.

Μοντέλα GARCH

- Ο Engle το 1982 εισήγαγε τα ARCH μοντέλα για να παρουσιάσει τη χρονική μεταβολή της υπό συνθήκη διακύμανσης.
- Ο Bollerslev το 1986 πρότεινε το γενικευμένο ARCH μοντέλο για τη μελέτη της στοχαστικής μεταβλητότητας.

Γενικά ένα GARCH(1,1) είναι επαρκές για να αντλήσει την συσσωμάτωση της μεταβλητότητας (το volatility clustering) από τα δεδομένα.

GARCH(1,1)

Μέσος : $r_t = \mu + \varepsilon_t$

Διακύμανση : $\sigma_t^2 = \omega + \alpha\varepsilon_{t-1}^2 + \beta\sigma_{t-1}^2$

όπου $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, r_t η απόδοση που μελετάμε στο χρόνο t , μ η μέση απόδοση και ε_t τα κατάλοιπα.

➤ Το GARCH-in-mean model είναι μία παραλλαγή του μοντέλου GARCH και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κινδύνου των αποδόσεων (risk return).

GARCH-in-Mean(1,1)

$$\text{Μέσος : } r_t = \mu + \lambda \sigma_t^2 + \varepsilon_t$$

$$\text{Διακύμανση : } \sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

όπου $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, r_t η απόδοση που μελετάμε στο χρόνο t , μ η μέση απόδοση και ε_t τα κατάλοιπα.

Η παράμετρος λ στην εξίσωση του μέσου καλείται risk-premium. Μάλιστα, εφόσον είναι αρνητική και στατιστικά σημαντική, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει αρνητική σχέση μεταξύ απόδοσης και κινδύνου.

➤ Ο Nelson το 1991 πρότεινε το Exponential GARCH Model, το οποίο είναι μία λογαριθμική μορφή του μοντέλου GARCH και λαμβάνει υπόψη τα ασύμμετρα χαρακτηριστικά της υπό συνθήκη μεταβλητότητας.

E-GARCH(1,1)

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \beta \log(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{u_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} + \alpha \left[\frac{|u_{t-1}|}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right]$$

όπου γ η ασύμμετρη σχέση ανάμεσα στο u_{t-1} και στο σ_t^2

και α το μέγεθος του leverage effect.

Αν το γ είναι αρνητικό και στατιστικά σημαντικό έχουμε leverage effects.

➤ Ο Zakoian το 1994 πρότεινε το Threshold GARCH Model, το οποίο αναγνωρίζει την σχέση μεταξύ ασύμμετρης μεταβλητότητας και απόδοσης.

Threshold-GARCH(1,1)

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \gamma u_{t-1}^2 I_{t-1}$$

όπου $I_{t-1} = \begin{cases} 1, & \text{αν } u_{t-1} < 0 \\ 0, & \text{αν } u_{t-1} \geq 0 \end{cases}$ και γ ο επιπλέον κίνδυνος.

Αν το γ είναι θετικό και στατιστικά σημαντικό έχουμε leverage effects.

Τα μοντέλα αυτά διαμορφώθηκαν με σκοπό να προβλέπουν τη χρονικά μεταβαλλόμενη υπό συνθήκη διακύμανση μιας χρονολογικής σειράς. Επίσης, υπάρχουν τα πολυμεταβλητά GARCH που χρησιμοποιούνται για να εκτιμήσουν και να προβλέψουν διακυμάνσεις και συνδιακυμάνσεις (Panagiotidis, 2018)

3.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ARCH-GARCH

Εφόσον το μοντέλο μας δεν είναι γραμμικό, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (OLS). Χρησιμοποιούμε την μέθοδο Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Η μέθοδος αυτή βρίσκει τις πιο πιθανές τιμές των παραμέτρων που προκύπτουν από τα πραγματικά δεδομένα.

Ορίζουμε αρχικά τις κατάλληλες εξισώσεις για την μέση τιμή και την διακύμανση, και έπειτα ορίζουμε την συνάρτηση μέγιστης πιθανοφάνειας, με σκοπό να την μεγιστοποιήσουμε. Όπως ήδη προαναφέρθηκε, ένα Υπόδειγμα GARCH(1,1) είναι κατάλληλο και επαρκές για την μελέτη της μεταβλητότητας.

Ο υπολογιστής μεγιστοποιεί την συνάρτηση και μας δίνει τις τιμές των παραμέτρων και τα τυπικά σφάλματα.

Επεκτάσεις των ARCH-GARCH μοντέλων

Ασύμμετρα GARCH (E-GARCH, Threshold GARCH)

Με τα μοντέλα GARCH μπορεί να παραβιάζονται οι περιορισμοί μη-αρνητικότητας. Υπάρχει δηλαδή περίπτωση να βρούμε αρνητική διακύμανση, που είναι λάθος. Τα μοντέλα GARCH δεν υπολογίζουν τα leverage effects. Γνωρίζουμε όμως ότι τα αρνητικά και θετικά νέα επηρεάζουν αντίστοιχα τον κίνδυνο.

Τα ασύμμετρα GARCH λαμβάνουν υπόψη τις διαφορετικές πληροφορίες δηλαδή τα θετικά και τα αρνητικά νέα της Αγοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Στην εργασία αυτή θα χρησιμοποιήσουμε ημερήσια δεδομένα που θα καλύψουν δύο χρονικές περιόδους. Η βασική μεταβλητή μας είναι η τιμή κλεισίματος του κρυπτονομίσματος Bitcoin.

Επιπλέον υποθέτουμε ότι οι μεταβλητές Αργό Πετρέλαιο (Brent oil prime in USD per barrel), Χρυσός (Gold price in USD), Χρηματιστηριακός Δείκτης Dow Jones (Dow Jones NYSE Index), Τιμή συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου (EUR/USD exchange rate), Τιμή Συναλλάγματος Κινεζικού Γουάν/Δολαρίου (CNY/USD exchange rate) και Τιμή Συναλλάγματος Ιαπωνικού Γιεν/Δολαρίου (JPY/USD exchange rate) επηρεάζουν την τιμή του Bitcoin. Χρησιμοποιώντας Υποδείγματα VAR θα μελετήσουμε την αλληλεπίδραση μεταξύ των προαναφερθέντων μεταβλητών και του κρυπτονομίσματος Bitcoin. (Theodore Panagiotidis, 2018)

Αρχικά θα εκτιμήσουμε τα μοντέλα με ένα δείγμα που καλύπτει την περίοδο 18-Ιουλίου-2010 έως 30-Δεκεμβρίου-2016, κι έπειτα ενημερώνουμε το δείγμα, περιλαμβάνοντας την περίοδο 1-Ιανουαρίου-2017 έως 31-Δεκεμβρίου-2018. Η πρώτη περίοδος αιχμαλωτίζει την περίοδο αύξησης της τιμής του Bitcoin ενώ η δεύτερη την προσαρμογή που ακολούθησε.

Πίνακας 4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΠΗΓΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ
Bitcoin	YAHOO FINANCE	BITCOIN USD (BTC-USD)
Crude oil prices	FEDERAL RESERVE BANK OF ST.LOUIS	DCOILBRETEU
Gold prices	FEDERAL RESERVE BANK OF ST.LOUIS	GOLDAMGBD228NLBM
Dow Jones Industrial Average	FEDERAL RESERVE BANK OF ST.LOUIS	DJIA
China-US exchange rate	FEDERAL RESERVE BANK OF ST.LOUIS	DEXCHUS
Euro-US exchange rate	FEDERAL RESERVE BANK OF ST.LOUIS	DEXUSEU
Japan-US exchange rate	FEDERAL RESERVE BANK OF ST.LOUIS	DEXJPUS

ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

Πίνακας 4.2

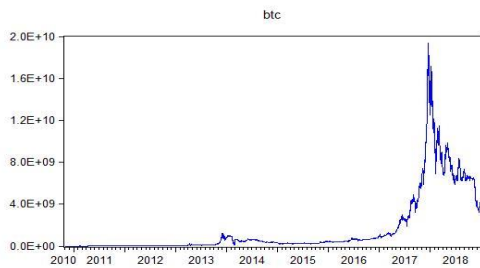
	Bitcoin	Gold	Crude Oil	Dow Jones	China-US xγ	Euro-US xγ	Japan-US xγ
Mean	0.007924	-3.02E-05	-0.000181	0.000246	3.55E-06	-5.37E-05	0.000100
Median	0.001854	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Maximum	13.98725	0.050705	0.098961	0.048643	0.018161	0.030643	0.033428
Minimum	-13.96131	-0.089128	-0.082452	-0.061196	-0.012417	-0.026724	-0.034977
Std. Dev.	0.678490	0.008126	0.015750	0.007533	0.001500	0.004664	0.004906
Skewness	2.895351	-0.787956	0.218951	-0.632245	0.614167	-0.030547	0.159848
Kurtosis	416.2646	15.63680	8.522493	12.14123	19.74956	6.866779	9.894062
Jarque-Bera	21153356	19933.66	3765.880	10432.23	34410.89	1827.090	5818.834
Probability	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	23.55062	-0.089200	-0.532623	0.723541	0.010389	-0.157415	0.294066
Sum Sq. Dev.	1367.695	0.194728	0.730261	0.166758	0.006583	0.063757	0.070549
Observations	2972	2950	2945	2940	2928	2932	2932

Από τις περιγραφικές στατιστικές των αποδόσεων του παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε τα εξής:

- Οι μέσες αποδόσεις των μεταβλητών είναι αρκετά μικρές και μάλιστα υπάρχουν και αρνητικές.
- Οι αποδόσεις των μεταβλητών Bitcoin, Crude Oil, China-US exchange rate και Japan-US exchange rate ακολουθούν κατανομή με θετική ασυμμετρία (ασυμμετρία δεξιά), ενώ οι αποδόσεις των μεταβλητών Gold, Dow Jones και Euro-US exchange rate ακολουθούν κατανομή με αρνητική ασυμμετρία (ασυμμετρία αριστερά). Η ασυμμετρία των κατανομών υποδεικνύει ότι δεν ακολουθούν κανονικές-τυπικές κατανομές.
- Οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών είναι επίσης μικρές, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να έχουμε μικρές αποδόσεις αλλά και ο κίνδυνος είναι μικρός.
- Από τον συντελεστή Jarque-Bera διαπιστώνουμε επίσης ότι οι κατανομές των αποδόσεων δεν είναι οι τυπικές.

Γραφικές Παραστάσεις Μεταβλητών

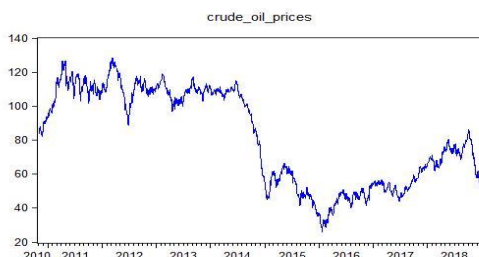
Γράφημα 4.1 Bitcoin



Γράφημα 4.2 china-us xr



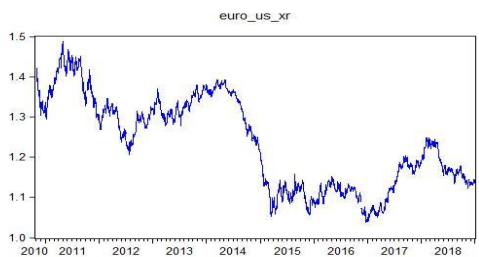
Γράφημα 4.3 crude oil prices



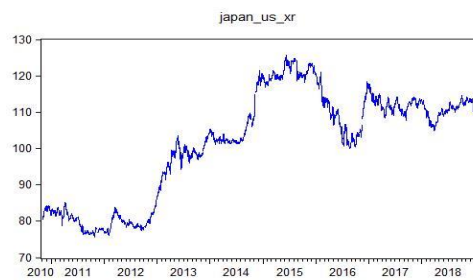
Γράφημα 4.4 gold prices



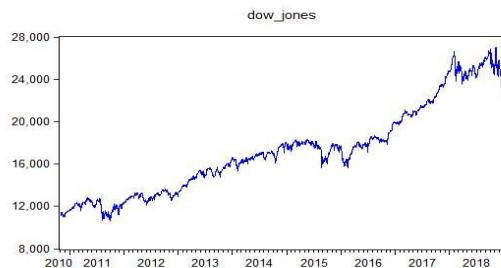
Γράφημα 4.5 euro-us xr



Γράφημα 4.6 japan-us xr



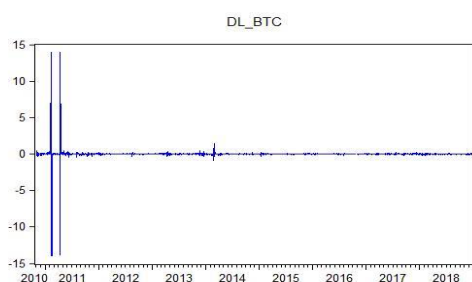
Γράφημα 4.7 dow jones index



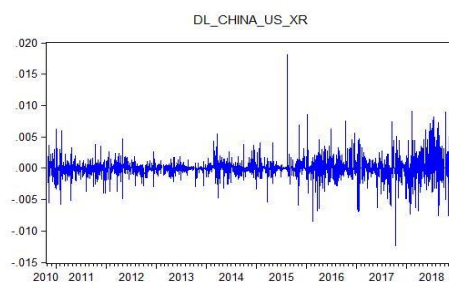
Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις συμπεραίνουμε ότι οι μεταβλητές παρουσιάζουν τάση.

Γραφικές Παραστάσεις Αποδόσεων

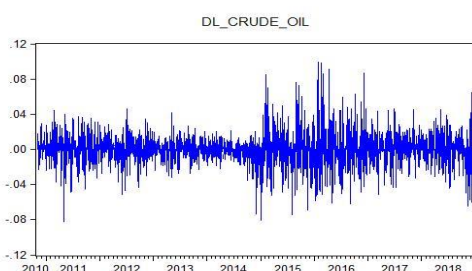
Γράφημα 4.8 dl_Bitcoin



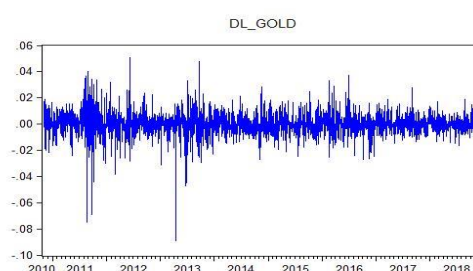
Γράφημα 4.9 dl_china-us xr



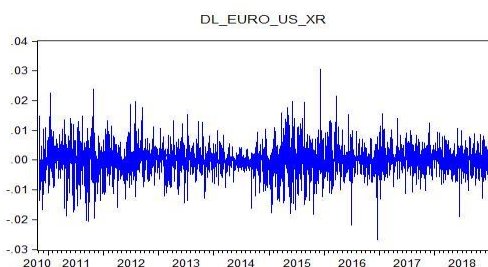
Γράφημα 4.10 dl_crude oil prices



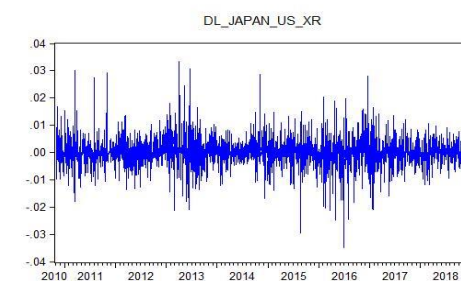
Γράφημα 4.11 dl_gold prices



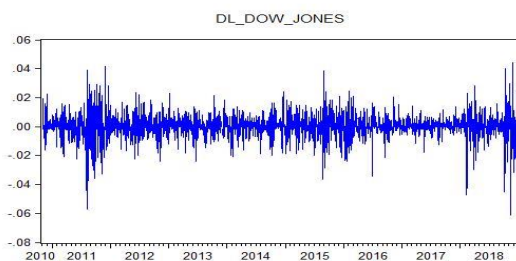
Γράφημα 4.12 dl_euro-us xr



Γράφημα 4.13 dl_japan-us xr



Γράφημα 4.14 dl_dow jones index



Από τις γραφικές παραστάσεις των αποδόσεων των μεταβλητών παρατηρούμε ότι έχουμε αφαιρέσει την τάση παίρνοντας πρώτες λογαριθμικές διαφορές. Ωστόσο πρέπει να το επαληθεύσουμε με ελέγχους στασιμότητας.

ΣΥΝΟΨΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Αρχικά ελέγχουμε την Στασιμότητα των μεταβλητών μας με τον επαυξημένο έλεγχο Dickey-Fuller (ADF Test) και έπειτα εκτιμούμε με Υποδείγματα VAR τις σχέσεις των μεταβλητών, αφού συμβουλευτούμε τα Κριτήρια Πληροφοριών (Lag Length Criteria). Μετά ελέγχουμε το βαθμό συσχέτισης των μεταβλητών κι εν συνεχεία ελέγχουμε αν υπάρχει αιτιότητα κατά Granger μεταξύ των μεταβλητών. Επόμενο βήμα είναι η χρήση των Impulse Responses και Variance Decomposition για να προσδιορίσουμε την μεταβλητότητα (volatility) της απόδοσης του Bitcoin.

Τέλος χρησιμοποιούμε τα Υποδείγματα GARCH για να μοντελοποιήσουμε την μεταβλητότητα (volatility), δηλαδή τον κίνδυνο της απόδοσης του βασικού μας κρυπτονομίσματος, που είναι και ο σκοπός της εργασίας.

4.1 ΔΕΙΓΜΑ 2010 – 2016

Η πρώτη εκτίμηση αιχμαλωτίζει την περίοδο αύξησης της τιμής του Bitcoin.

4.1.1 ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Αρχικά ελέγχουμε την στασιμότητα των μεταβλητών μας καθώς τα υποδείγματα που θα χρησιμοποιήσουμε απαιτούν την χρήση στάσιμων μεταβλητών. Εάν για παράδειγμα έχουμε Φαινομενική Παλινδρόμηση, μπορεί να εμφανιστεί μεγάλο R^2 και να νομίζουμε ότι εξηγήσαμε την μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής. Στην πραγματικότητα δεν θα έχουμε εξηγήσει τίποτα. Επίσης εάν έχουμε μη-στάσιμες μεταβλητές δεν μπορούμε να κάνουμε ελέγχους υποθέσεων καθώς η στατιστική-t δεν ακολουθεί την κατανομή t . Επιπλέον η στασιμότητα μιας σειράς επηρεάζει την συμπεριφορά και τις ιδιότητές της. Για παράδειγμα ένα σοκ επηρεάζει επ' άπειρον μία μη-στάσιμη σειρά.

Ορισμός Στασιμότητας

Εάν σε μία μη-στάσιμη σειρά πρέπει να πάρουμε d φορές διαφορές μέχρι να γίνει στάσιμη, λέμε ότι η σειρά αυτή είναι integrated τάξης d . Γράφουμε $y_t \sim I(d)$. Μία $I(0)$ σειρά είναι στάσιμη, δηλαδή περνάει συχνά από τον μέσο της. Μία $I(1)$ σειρά έχει μία μοναδιαία ρίζα.

Μορφές ΜΗ-Στασιμότητας

- Τυχαίος Περίπατος : $Y_t = \mu + Y_{t-1} + U_t$, AR(1)

Παίρνουμε πρώτες λογαριθμικές διαφορές.

- Με Τάση : $Y_t = \alpha + \beta t + U_t$

Δουλεύουμε με τα κατάλοιπα.

- Γενική περίπτωση : $Y_t = \mu + \phi Y_{t-1} + U_t$

$\phi = 1 \rightarrow$ Random Walk

$\phi < 1 \rightarrow$ stationary, το χθες επηρεάζει το σήμερα με φθίνοντα ρυθμό

$\phi > 1 \rightarrow$ explosive

(Panagiotidis, 2018)

Θα χρησιμοποιήσουμε τον επαυξημένο έλεγχο Dickey-Fuller για να ελέγξουμε την στασιμότητα των μεταβλητών, καθώς αυτός διορθώνει αυτόματα την αυτοσυσχέτιση μεταξύ των καταλοίπων.

Πίνακας 4.3 ADF-test

Null Hypothesis : the_variable has a unit root		Exogenous : Constant, Linear Trend	
		t-Statistic	Prob.*
BTC_UNTIL_2016	ADF test statistic	-2.078864	0.5568
CHINA_US_XR_2016	ADF test statistic	-0.064905	0.9954
GOLD_PRICES_2016	ADF test statistic	-2.683886	0.2434
CRUDE_OIL_2016	ADF test statistic	-2.704677	0.2347
EURO_US_XR_2016	ADF test statistic	-2.295660	0.4356
DOW_JONES_2016	ADF test statistic	-3.421139	0.0488
JAPAN_US_XR_2016	ADF test statistic	-1.617820	0.7860

Η μηδενική υπόθεση του επαυξημένου ελέγχου Dickey-Fuller είναι :
 H_0 : η μεταβλητή έχει μοναδιαία ρίζα \rightarrow πρέπει να πάρουμε πρώτες λογαριθμικές διαφορές (αποδόσεις) .

Σε όλους τους παραπάνω ελέγχους παρατηρούμε ότι $p_value > 0.1$, οπότε δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας 10 % .
 Δηλαδή οι μεταβλητές μας είναι μη-στάσιμες . Για τον λόγο αυτό παίρνουμε πρώτες λογαριθμικές διαφορές.

Η απόδοση εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό και υπολογίζεται λογαριθμικά:

$$r_t = \ln\left(\frac{p_t}{p_{t-1}}\right) = \ln p_t - \ln p_{t-1}$$

όπου p_t η τιμή της σειράς τη χρονική στιγμή t . Η λογαριθμική απόδοση διευκολύνει τους μαθηματικούς υπολογισμούς και αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στο ρυθμό μεταβολής των τιμών, δηλαδή :

$$r_t = \ln\left(\frac{p_t}{p_{t-1}}\right) = \frac{p_t - p_{t-1}}{p_{t-1}}$$

Θα χρησιμοποιήσουμε τον επαυξημένο έλεγχο Dickey-Fuller για να ελέγξουμε την στασιμότητα των αποδόσεων των μεταβλητών μας.

Πίνακας 4.4 ADF-test

Null Hypothesis : the_variable has a unit root			
Exogenous : Constant, Linear Trend			
		t-Statistic	Prob.*
DL_BTC_UNTIL_ '16	ADF test statistic	-18.96249	0.0000
DL_CHINA_US_XR_ '16	ADF test statistic	-22.05739	0.0000
DL_GOLD_PRICES_ '16	ADF test statistic	-23.29643	0.0000
DL_CRUDE_OIL_ '16	ADF test statistic	-44.30702	0.0000
DL_EURO_US_XR_ '16	ADF test statistic	-18.99472	0.0000
DL_DOW_JONES_ '16	ADF test statistic	-49.72226	0.0000
DL_JAPAN_US_XR_ '16	ADF test statistic	-23.57444	0.0000

Σε όλους τους παραπάνω ελέγχους παρατηρούμε ότι $p_value < 0.5$, οπότε απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας 5 %.

Δηλαδή οι μεταβλητές μας είναι στάσιμες.

Από εδώ και στο εξής δουλεύουμε με τις αποδόσεις των μεταβλητών.

4.1.2 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ VAR

Τα Υποδείγματα Παλινδρόμησης Συστημάτων περιέχουν περισσότερες από μία εξαρτημένες μεταβλητές και έχουν την εξής μορφή :

VAR (k)

$$Y_{1t} = \beta_{10} + \beta_{11} Y_{1t-1} + \dots + \beta_{1k} Y_{1t-k} + \alpha_{11} Y_{2t-1} + \dots + \alpha_{1k} Y_{2t-k} + U_{1t}$$

$$Y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21} Y_{2t-1} + \dots + \beta_{2k} Y_{2t-k} + \alpha_{21} Y_{1t-1} + \dots + \alpha_{2k} Y_{1t-k} + U_{2t}$$

όπου $E(U_{it}) = 0$ και $E(U_{1t}, U_{2t}) = 0$.

Τα Υποδείγματα VAR επιτρέπουν στην τιμή μιας μεταβλητής να εξαρτάται όχι μόνο από τις δικές της υστερήσεις αλλά και από υστερήσεις άλλων μεταβλητών. Επιπλέον όλες οι μεταβλητές τους είναι ενδογενείς και όταν δεν υπάρχουν ταυτόχρονοι όροι αριστερά και δεξιά της εξίσωσης, μπορούμε να εκτιμήσουμε κάθε εξίσωση του Υποδείματος ξεχωριστά με ελάχιστα τετράγωνα (OLS).

Παρόλο που τα Υποδείγματα VAR είναι α-θεωρητικά υποδείγματα και υπάρχει δυσκολία στην οικονομική ερμηνεία των συντελεστών, οι προβλέψεις τους είναι συνήθως καλύτερες από τις προβλέψεις άλλων μοντέλων. Ωστόσο, πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι δεν γνωρίζουμε τον κατάλληλο αριθμό των υστερήσεων και ότι συνήθως ο αριθμός των μεταβλητών είναι μεγάλος.

- ✓ Για να φτιάξουμε τα Υποδείγματα VAR ελέγχουμε αρχικά την συσχέτιση των αποδόσεων των μεταβλητών.

Πίνακας Συσχετίσεων 4.5

	DL_BTC	DL_CHINA_XR	DL_CRUDE_OIL	DL_DOW_JONES	DL_EURO_XR	DL_GOLD	DL_JAPAN_XR
DL_BTC	1.000000	0.072934	0.012458	0.010384	-0.012311	0.017285	0.012121
DL_CHINA_XR	0.072934	1.000000	0.050779	0.029825	-0.015642	-0.056736	0.006151
DL_CRUDE_OIL	0.012458	0.050779	1.000000	0.163545	0.140145	0.023313	0.050795
DL_DOW_JONES	0.010384	0.029825	0.163545	1.000000	0.162881	0.037076	0.183554
DL_EURO_XR	-0.012311	-0.015642	0.140145	0.162881	1.000000	0.138917	-0.312816
DL_GOLD	0.017285	-0.056736	0.023313	0.037076	0.138917	1.000000	-0.101745
DL_JAPAN_XR	0.012121	0.006151	0.050795	0.183554	-0.312816	-0.101745	1.000000

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων των μεταβλητών.

Πιο συγκεκριμένα :

- Υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων των μεταβλητών Bitcoin και συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου.
- Υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων όλων των υπολοίπων μεταβλητών και της απόδοσης του Bitcoin.

Για παράδειγμα, αν η απόδοση του Bitcoin αυξηθεί κατά 1% τότε η απόδοση του Αργού Πετρελαίου θα αυξηθεί κατά 1.2%.

- ✓ Παίρνουμε ένα Υπόδειγμα VAR με όλες τις αποδόσεις των μεταβλητών μας ως ενδογενείς μεταβλητές σε εβδομαδιαία κλίμακα. Ελέγχουμε αρχικά το Υπόδειγμα μας με εβδομαδιαία δεδομένα καθώς η συχνότητα τους πρέπει να είναι χαμηλή.

Πίνακας 4.6 Κριτήρια Πληροφορίας

VAR Lag Order Selection Criteria

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	9169.675	NA	1.85e-34*	-57.80867*	-57.72567*	-57.77552*
1	9205.757	70.34284	2.01e-34	-57.72717	-57.06314	-57.46192
2	9232.430	50.82134	2.31e-34	-57.58631	-56.34124	-57.08897
3	9254.357	40.81158	2.74e-34	-57.41550	-55.58941	-56.68607
4	9292.515	69.33363*	2.94e-34	-57.34710	-54.93998	-56.38557
5	9316.480	42.48677	3.46e-34	-57.18915	-54.20100	-55.99553

Από το κριτήριο Schwarz των Κριτηρίων Πληροφορίας συμπεραίνουμε ότι πρέπει να πάρουμε μία υστέρηση για κάθε μεταβλητή του Υποδείγματος VAR.

Αιτιότητα κατά Granger

Η αιτιότητα κατά Granger μας δείχνει την συσχέτιση μεταξύ της τρέχουσας τιμής μιας μεταβλητής και των υστερήσεων άλλων μεταβλητών. Η μηδενική υπόθεση του ελέγχου υποστηρίζει ότι όλοι οι συντελεστές των υστερήσεων είναι μηδενικοί, δηλαδή δεν υπάρχει αιτιότητα μεταξύ των μεταβλητών.

- ✓ Στη συνέχεια παίρνουμε ένα Υπόδειγμα VAR με ημερήσιες αποδόσεις και ελέγχουμε την αιτιότητα μεταξύ των μεταβλητών.

Πίνακας 4.7 Κριτήρια Πληροφορίας

VAR Lag Order Selection Criteria

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	36971.94	NA	6.39e-26	-38.14751	-38.12739	-38.14011
1	39407.23	4850.481	5.44e-27	-40.61014	-40.44921	-40.55096
2	40485.31	2139.465	1.88e-27	-41.67214	-41.37039	-41.56117
3	40928.26	875.8463	1.25e-27	-42.07870	-41.63613	-41.91594
4	41158.60	453.7975	1.04e-27	-42.26584	-41.68246	-42.05130
5	41349.04	373.8001	8.98e-28	-42.41181	-41.68761*	-42.14547
6	41484.25	264.4227	8.22e-28	-42.50078	-41.63576	-42.18266
7	41613.25	251.3430*	7.57e-28*	-42.58333*	-41.57751	-42.21343*

Από το κριτήριο Schwarz των Κριτηρίων Πληροφορίας συμπεραίνουμε ότι πρέπει να πάρουμε 5 υστερήσεις για κάθε μεταβλητή του Υποδείγματος VAR.

Ελέγχοντας έπειτα την αιτιότητα κατά Granger μεταξύ των αποδόσεων των μεταβλητών μας, με την βοήθεια του Υποδείγματος VAR με ημερήσια δεδομένα που κατασκευάσαμε παραπάνω, παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζεται αιτιότητα μεταξύ των αποδόσεων που μελετάμε.

Αφαιρώντας μία υστέρηση κάθε φορά, οδηγούμαστε σε ένα Υπόδειγμα VAR με μία υστέρηση για τις αποδόσεις Bitcoin και συναλλάγματος Κίνας/Δολαρίου. Παρατηρούμε ότι υπάρχει αιτιότητα κατά Granger σε επίπεδο σημαντικότητας 10% με κατεύθυνση από την απόδοση συναλλάγματος Κίνας/Δολαρίου προς την απόδοση του Bitcoin, αφού $p\text{-value} = 0.0575 < 10\%$.

Πίνακας 4.8 Granger Causality

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Dependent variable: DL_BTC_UNTIL_2016

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
DL_CHINA_XR_UNTIL_2016	3.607504	1	0.0575
All	3.607504	1	0.0575

4.1.3 IMPULSE RESPONSES

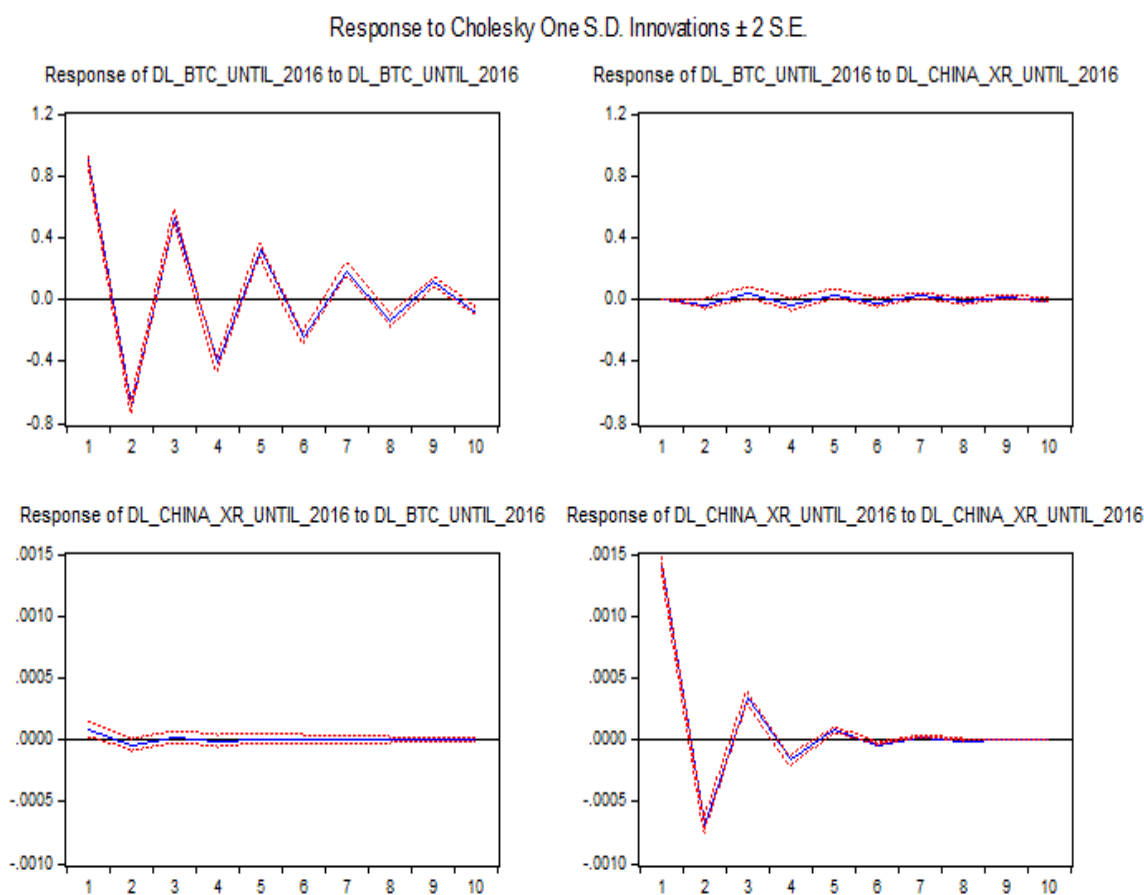
Στον τυχαίο όρο κάθε εξίσωσης ενσωματώνουμε ένα σοκ και μελετάμε τα

- αποτελέσματα με την πάροδο του χρόνου.
- Τα Impulse Responses βρίσκουν την αιτιότητα μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των σοκ σε κάθε μεταβλητή.

Παίρνοντας Impulse Responses στο αρχικό Υπόδειγμα VAR με όλες τις μεταβλητές, παρατηρούμε ότι τα διαφορετικά σοκ δεν επηρεάζουν την απόδοση του Bitcoin.

Στη συνέχεια παίρνοντας Impulse Responses στο VAR των μεταβλητών Bitcoin και συνάλλαγμα Κίνας/Δολαρίου, μεταξύ των οποίων υπάρχει αιτιότητα όπως αποδείχθηκε παραπάνω, παρατηρούμε ότι σοκ στην μεταβλητή Bitcoin επηρεάζουν θετικά την ίδια μεταξύ των χρονικών περιόδων.

Γράφημα 4.15 Impulse Responses



4.1.4 VARIANCE DECOMPOSITION

Στον πίνακα Variance Decomposition βλέπουμε το ποσοστό της διακύμανσης κάθε μεταβλητής που επηρεάζεται από την διακύμανση των άλλων και την αναλογία των μεταβολών της εξαρτημένης μεταβλητής που οφείλονται στα δικά της σοκ, έναντι στα σοκ των άλλων μεταβλητών.

Το σοκ στην i-μεταβλητή προφανώς θα επηρεάσει άμεσα την i-μεταβλητή, αλλά θα μεταφερθεί και σε όλες τις άλλες μεταβλητές μέσω της δυναμικής δομής του Υποδείγματος VAR.

Πίνακας 4.9 Variance Decomposition

Variance Decomposition of DL_BTC							
Period	DL_BTC	DL_CHINA_XR	DL_CRUDE_OIL	DL_DOW_JONES	DL_EURO_XR	DL_GOLD	DL_JAPAN_XR
1	100.0000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	99.82267	0.076250	0.058393	7.54E-08	0.003060	0.002392	0.037237
3	99.67041	0.173251	0.068427	0.000145	0.004921	0.005587	0.077257
4	99.55497	0.252223	0.071043	0.000401	0.005755	0.008382	0.107221
5	99.47613	0.307901	0.071735	0.000663	0.006050	0.010459	0.127060
6	99.42528	0.344498	0.071888	0.000876	0.006120	0.011869	0.139468
7	99.39356	0.367615	0.071896	0.001029	0.006116	0.012777	0.147006
8	99.37418	0.381866	0.071874	0.001131	0.006094	0.013341	0.151516
9	99.36249	0.390514	0.071852	0.001196	0.006073	0.013684	0.154192
10	99.35549	0.395711	0.071836	0.001236	0.006058	0.013890	0.155774
11	99.35133	0.398813	0.071826	0.001260	0.006048	0.014012	0.156707
12	99.34887	0.400656	0.071820	0.001275	0.006042	0.014085	0.157257

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι μελλοντικά αυξάνονται αισθητά 40% και 15% αντίστοιχα, τα ποσοστά διακυμάνσεων των αποδόσεων συναλλάγματος Κίνας/Δολαρίου και Ιαπωνίας/Δολαρίου που επηρεάζουν την διακύμανση της απόδοσης του Bitcoin.

4.2 ΔΕΙΓΜΑ 2010 – 2018

Η δεύτερη εκτίμηση αιχμαλωτίζει την προσαρμογή της τιμής του Bitcoin.

4.2.1 ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Θα χρησιμοποιήσουμε τον επαυξημένο έλεγχο Dickey-Fuller για να ελέγξουμε την στασιμότητα των μεταβλητών, καθώς αυτός διορθώνει αυτόματα την αυτοσυσχέτιση μεταξύ των καταλοίπων.

Πίνακας 4.10 ADF-test

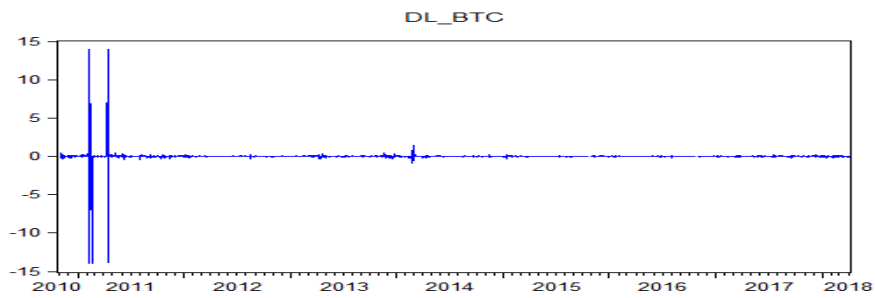
Null Hypothesis : the _variable has a unit root		Exogenous : Constant, Linear Trend	
		t-Statistic	Prob.*
BTC_UNTIL_2018	ADF test statistic	-2.597897	0.2813
CHINA_US_XR_2018	ADF test statistic	-1.956143	0.6243
GOLD_PRICES_2018	ADF test statistic	-2.348570	0.4068
CRUDE_OIL_2018	ADF test statistic	-2.088598	0.5514
EURO_US_XR_2018	ADF test statistic	-1.780141	0.7144
DOW_JONES_2018	ADF test statistic	-2.497028	0.3296
JAPAN_US_XR_2018	ADF test statistic	-1.089371	0.9293

Η μηδενική υπόθεση του επαυξημένου ελέγχου Dickey-Fuller είναι :
 H_0 : η μεταβλητή έχει μοναδιαία ρίζα \rightarrow πρέπει να πάρουμε πρώτες λογαριθμικές διαφορές. (αποδόσεις) .

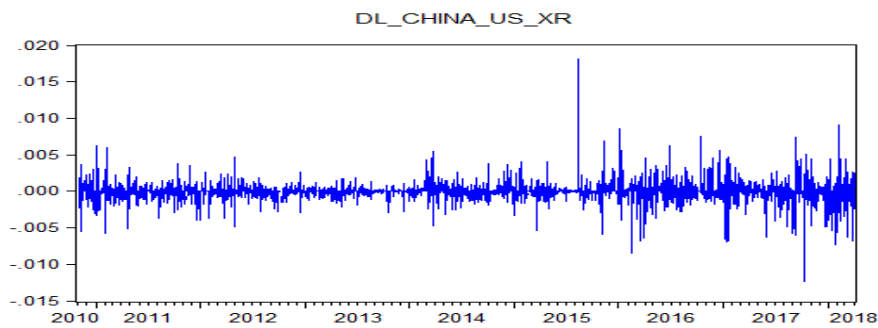
Σε όλους τους παραπάνω ελέγχους παρατηρούμε ότι $p\text{-value} > 0.1$, οπότε δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας 10 % .
Δηλαδή οι μεταβλητές μας είναι μη-στάσιμες .
Για τον λόγο αυτό παίρνουμε πρώτες λογαριθμικές διαφορές.

Γραφικές Παραστάσεις Αποδόσεων των Μεταβλητών

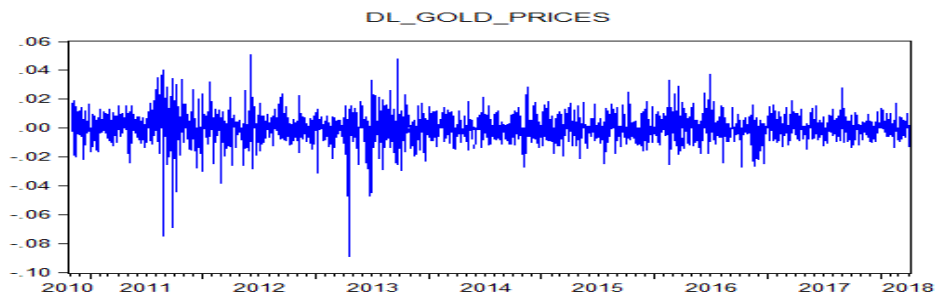
Γράφημα 4.16 dl_Bitcoin



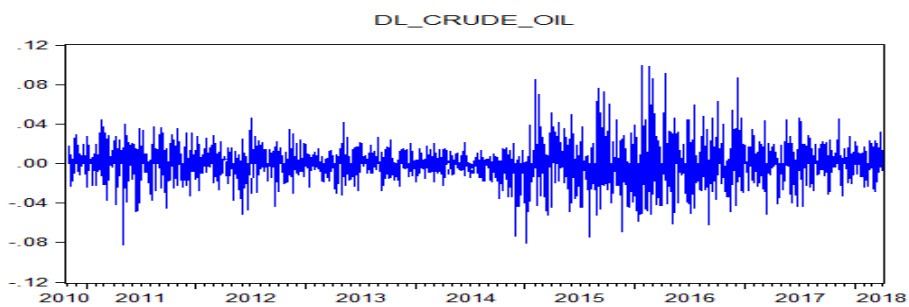
Γράφημα 4.17 dl_china-us xr



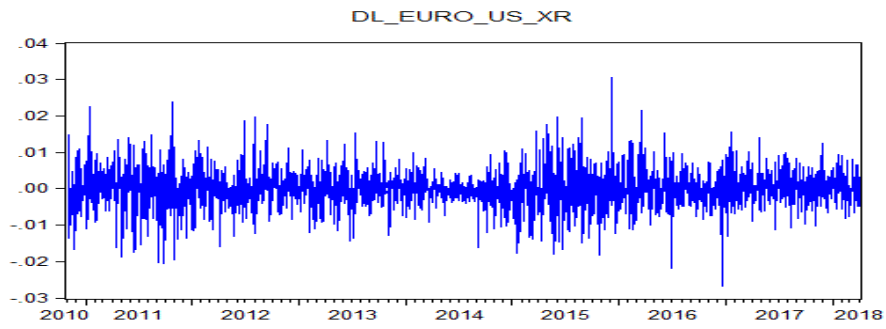
Γράφημα 4.18 dl_gold prices



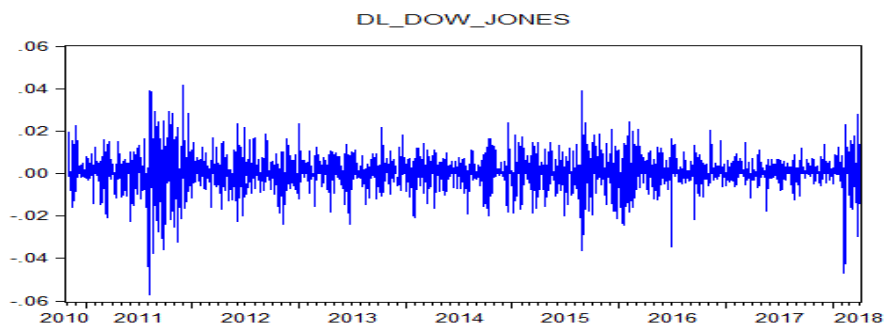
Γράφημα 4.19 dl_crude oil prices



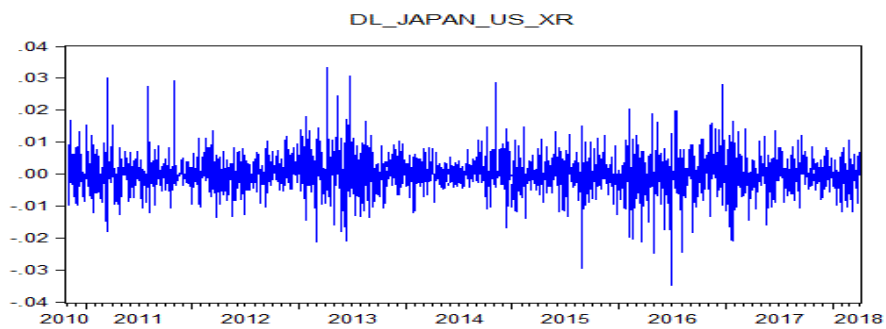
Γράφημα 4.20 dl_euro-us xr



Γράφημα 4.21 dl_dow jones index



Γράφημα 4.22 dl_japan-us xr



Από τις Γραφικές Παραστάσεις των αποδόσεων των μεταβλητών παρατηρούμε ότι έχουμε αφαιρέσει την τάση.

Θα χρησιμοποιήσουμε τον επαυξημένο έλεγχο Dickey-Fuller για να ελέγξουμε την στασιμότητα των αποδόσεων των μεταβλητών μας.

Πίνακας 4.11 ADF-test

Null Hypothesis : the_ variable has a unit root	
Exogenous : Constant, Linear Trend	

		t-Statistic	Prob.*
DL_BTC_UNTIL_'18	ADF test statistic	-23.91214	0.0000
DL_CHINA_US_XR_'18	ADF test statistic	-49.11254	0.0000
DL_GOLD_PRICES_'18	ADF test statistic	-52.65602	0.0000
DL_CRUDE_OIL_'18	ADF test statistic	-49.51911	0.0000
DL_EURO_US_XR_'18	ADF test statistic	-53.14430	0.0000
DL_DOW_JONES_'18	ADF test statistic	-53.54442	0.0000
DL_JAPAN_US_XR_'18	ADF test statistic	-52.01436	0.0000

Σε όλους τους παραπάνω ελέγχους παρατηρούμε ότι $p\text{-value} < 0.01$, οπότε απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας 1 %.

Δηλαδή οι μεταβλητές μας είναι στάσιμες.

Από εδώ και στο εξής δουλεύουμε με τις αποδόσεις των μεταβλητών.

4.2.2 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ VAR

- ✓ Για να φτιάξουμε τα Υποδείγματα VAR ελέγχουμε αρχικά την συσχέτιση των αποδόσεων των μεταβλητών.

Πίνακας Συσχετίσεων 4.12

	DL_BTC	DL_CHINA_US_XR	DL_CRUDE_OIL	DL_DOW_JONES	DL_EURO_US_XR	DL_GOLD_PRICES	DL_JAPAN_US_XR
DL_BTC	1.000000	0.047684	0.014525	0.004871	-0.009629	0.014643	0.005821
DL_CHINA_US_XR	0.047684	1.000000	-0.032921	-0.033817	-0.013329	-0.031005	-0.014747
DL_CRUDE_OIL	0.014525	-0.032921	1.000000	0.273949	0.146290	0.059957	0.074537
DL_DOW_JONES	0.004871	-0.033817	0.273949	1.000000	0.139540	0.007370	0.216153
DL_EURO_US_XR	-0.009629	-0.013329	0.146290	0.139540	1.000000	0.208736	-0.329844
DL_GOLD_PRICES	0.014643	-0.031005	0.059957	0.007370	0.208736	1.000000	-0.195479
DL_JAPAN_US_XR	0.005821	-0.014747	0.074537	0.216153	-0.329844	-0.195479	1.000000

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων των μεταβλητών.

Πιο συγκεκριμένα :

- Υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων των μεταβλητών Bitcoin και συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου.
- Υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων όλων των υπολοίπων μεταβλητών και της απόδοσης του Bitcoin.

Για παράδειγμα, αν η απόδοση του Bitcoin αυξηθεί κατά 1% τότε η απόδοση του Χρυσού θα αυξηθεί κατά 1.4%.

- ✓ Παίρνουμε ένα Υπόδειγμα VAR με όλες τις αποδόσεις των μεταβλητών μας ως ενδογενείς μεταβλητές σε εβδομαδιαία κλίμακα. Ελέγχουμε αρχικά το Υπόδειγμα μας με εβδομαδιαία δεδομένα καθώς η συχνότητα τους πρέπει να είναι χαμηλή.

Πίνακας 4.13 Κριτήρια Πληροφορίας

VAR Lag Order Selection Criteria

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	11129.56	NA	1.41e-34*	-58.08127*	-58.00912*	-58.05265*
1	11168.37	75.98716*	1.48e-34	-58.02803	-57.45077	-57.79904
2	11192.03	45.47710	1.69e-34	-57.89574	-56.81338	-57.46638
3	11213.37	40.22610	1.96e-34	-57.75129	-56.16383	-57.12157
4	11246.55	61.33471	2.13e-34	-57.66868	-55.57612	-56.83859
5	11268.48	39.73052	2.46e-34	-57.52730	-54.92964	-56.49685

Από το κριτήριο Schwarz των Κριτηρίων Πληροφορίας συμπεραίνουμε ότι πρέπει να πάρουμε μία υστέρηση για κάθε μεταβλητή του Υποδείγματος VAR.

Αιτιότητα κατά Granger

Ελέγχοντας έπειτα την αιτιότητα κατά Granger μεταξύ των αποδόσεων των μεταβλητών μας, με την βοήθεια του Υποδείγματος VAR που κατασκευάσαμε παραπάνω, παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζεται αιτιότητα μεταξύ των αποδόσεων που μελετάμε.

- ✓ Στη συνέχεια παίρνουμε ένα Υπόδειγμα VAR με ημερήσιες αποδόσεις και ελέγχουμε την αιτιότητα μεταξύ των μεταβλητών.

Πίνακας 4.14 Κριτήρια Πληροφορίας

VAR Lag Order Selection Criteria

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	52375.67	NA	3.70e-28	-43.29779	-43.28103	-43.29169
1	52933.71	1112.376	2.43e-28	-43.71865	-43.58459*	-43.66990*
2	52961.87	55.96807	2.47e-28	-43.70142	-43.45005	-43.61001
3	53038.89	152.6537	2.42e-28	-43.72459	-43.35591	-43.59052
4	53101.74	124.1946	2.39e-28	-43.73604	-43.25006	-43.55931
5	53127.74	51.21890	2.44e-28	-43.71702	-43.11373	-43.49763
6	53154.70	52.96282	2.48e-28	-43.69880	-42.97820	-43.43675
7	53291.29	267.5312*	2.31e-28*	-43.77122*	-42.93332	-43.46651

Από το κριτήριο Schwarz των Κριτηρίων Πληροφορίας συμπεραίνουμε ότι πρέπει να πάρουμε 1 υστέρηση για κάθε μεταβλητή του Υποδείγματος VAR.

Ελέγχοντας την Αιτιότητα κατά Granger στο Υπόδειγμα VAR με μία υστέρηση για κάθε μεταβλητή, παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζεται αιτιότητα. Από τα Κριτήρια Πληροφορίας παρατηρούμε ωστόσο ότι τρία από αυτά συμφωνούν στις 7 υστερήσεις για τις μεταβλητές του Υποδείγματος VAR.

Ξεκινάμε να ελέγχουμε την αιτιότητα παίρνοντας ένα Υπόδειγμα VAR με 7 υστερήσεις. Παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζεται Αιτιότητα κατά Granger μεταξύ των μεταβλητών.

Στη συνέχεια, παίρνοντας VAR με μία λιγότερη υστέρηση κάθε φορά οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι με 4 υστερήσεις για κάθε μεταβλητή και σε επίπεδο σημαντικότητας 10% παρατηρείται Granger Causality με κατεύθυνση από την απόδοση του Bitcoin προς την απόδοση του Συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου, αφού $p\text{-value} = 0.065 < 10\%$.

Πίνακας 4.15 Granger Causality

VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Dependent variable: DL_EURO_US_XR

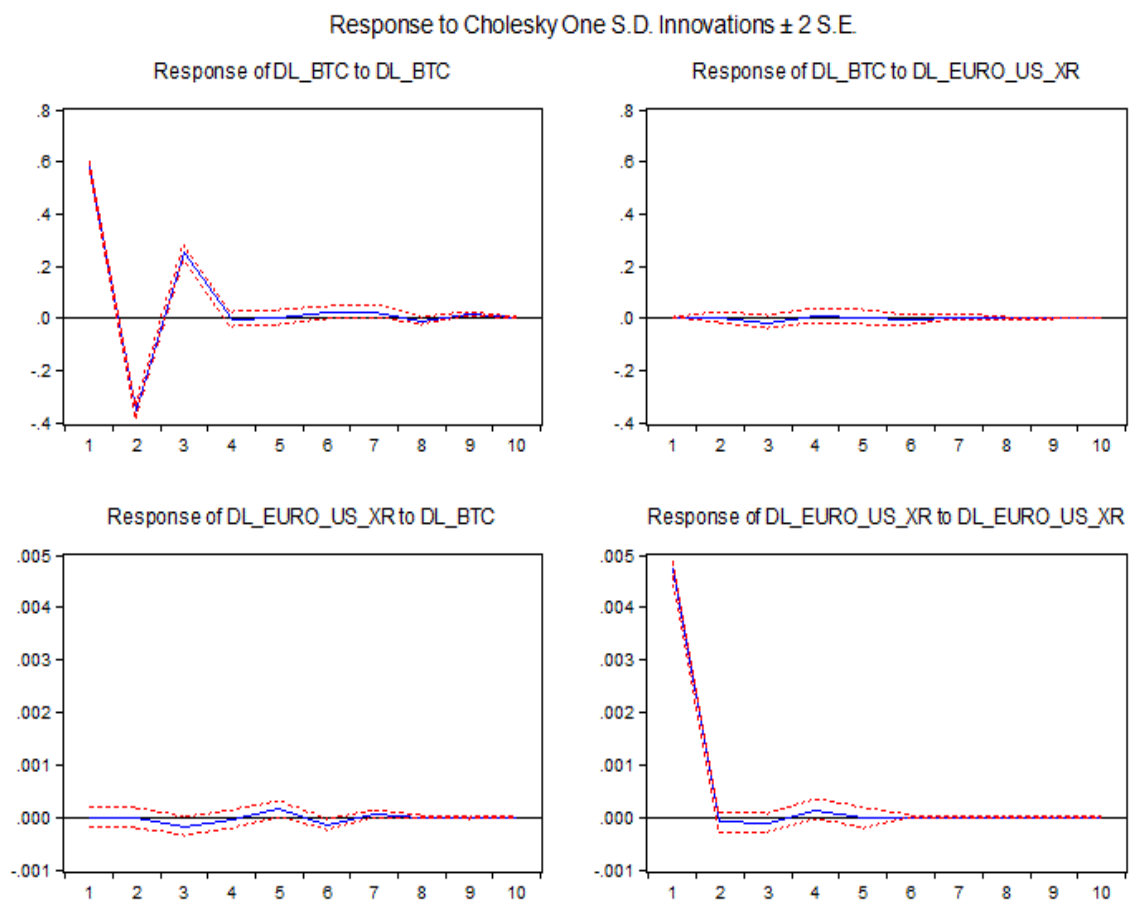
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
DL_BTC	8.849232	4	0.0650
All	8.849232	4	0.0650

4.2.3 IMPULSE RESPONSES

Παίρνοντας Impulse Responses στο αρχικό Υπόδειγμα VAR με όλες τις μεταβλητές, παρατηρούμε ότι τα διαφορετικά σοκ δεν επηρεάζουν την απόδοση του Bitcoin.

Στη συνέχεια παίρνοντας Impulse Responses στο Υπόδειγμα VAR των αποδόσεων των μεταβλητών Bitcoin και Συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου, μεταξύ των οποίων παρατηρείται αιτιότητα κατά Granger όπως αποδείχθηκε παραπάνω, παρατηρούμε ότι σοκ στην μεταβλητή Bitcoin επηρεάζουν θετικά την ίδια τις πρώτες περιόδους.

Γράφημα 4.23 Impulse Responses



4.2.4 VARIANCE DECOMPOSITION

Από τον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι η μεταβολή των ποσοστών των διακυμάνσεων που μελλοντικά επηρεάζουν την διακύμανση του Bitcoin είναι αμελητέα.

Πίνακας 4.16 Variance Decomposition

Variance Decomposition of DL_BTC:							
Period	DL_BTC	DL_CHINA _US_XR	DL_CRUDE _OIL	DL_DOW _JONES	DL_EURO _US_XR	DL_GOLD _PRICES	DL_JAPAN _US_XR
1	100.0000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	99.91457	0.013344	0.046263	2.69E-05	0.000724	0.004432	0.020643
3	99.89386	0.016703	0.055637	0.000365	0.001877	0.006174	0.025379
4	99.88778	0.017695	0.058409	0.000493	0.002298	0.006734	0.026595
5	99.88590	0.018004	0.059266	0.000532	0.002435	0.006910	0.026958
6	99.88530	0.018101	0.059535	0.000544	0.002479	0.006965	0.027072
7	99.88512	0.018132	0.059620	0.000548	0.002493	0.006983	0.027108
8	99.88506	0.018141	0.059647	0.000549	0.002497	0.006988	0.027119
9	99.88504	0.018144	0.059655	0.000549	0.002498	0.006990	0.027122
10	99.88503	0.018145	0.059658	0.000549	0.002499	0.006991	0.027123
11	99.88503	0.018146	0.059659	0.000549	0.002499	0.006991	0.027124
12	99.88503	0.018146	0.059659	0.000549	0.002499	0.006991	0.027124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ GARCH

- Ένα γενικευμένο GARCH(1,1) υπόδειγμα έχει την έξης μορφή :

$$\text{Μέσος : } r_t = \mu + \varepsilon_t$$

$$\text{Διακύμανση : } \sigma_t^2 = \omega + \alpha\varepsilon_{t-1}^2 + \beta\sigma_{t-1}^2$$

όπου $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, r_t η απόδοση που μελετάμε στο χρόνο t , μ η μέση απόδοση και ε_t τα κατάλοιπα.

A. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2016

Πίνακας 5.1 GARCH(1,1)

Dependent Variable: DL_BTC_UNTIL_2016

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.06E-06	0.000102	0.010359	0.9917
Variance Equation				
C	0.000161	2.63E-05	6.129922	0.0000
RESID(-1)^2	0.814109	0.066324	12.27470	0.0000
GARCH(-1)	0.523736	0.012120	43.21376	0.0000

Παρατηρούμε ότι οι συντελεστές (ω , α , β) στην εξίσωση της διακύμανσης είναι θετικοί και στατιστικά σημαντικοί.

B. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2018

Πίνακας 5.2 GARCH(1,1)

Dependent Variable: DL_BTC

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.001962	0.000104	18.89127	0.0000
Variance Equation				
C	0.000144	2.78E-05	5.189843	0.0000
RESID(-1)^2	0.801068	0.068671	11.66533	0.0000
GARCH(-1)	0.591289	0.013526	43.71528	0.0000

Παρατηρούμε επίσης ότι οι συντελεστές (ω , α , β) στην εξίσωση της διακύμανσης είναι θετικοί και στατιστικά σημαντικοί.

- Ένα GARCH-in-Mean(1,1) υπόδειγμα έχει την εξής μορφή :

$$\text{Μέσος : } r_t = \mu + \lambda \sigma_t^2 + \varepsilon_t$$

$$\text{Διακύμανση : } \sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

όπου $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, r_t η απόδοση που μελετάμε στο χρόνο t , μ η μέση απόδοση και ε_t τα κατάλοιπα.

Η παράμετρος λ στην εξίσωση του μέσου καλείται risk-premium.

A. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2016

Πίνακας 5.3 GARCH-in-Mean(1,1)

Dependent Variable: DL_BTC_UNTIL_2016

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
@SQRT(GARCH)	2.73E-05	0.004467	0.006113	0.9951
C	1.60E-06	0.000180	0.008885	0.9929
Variance Equation				
C	0.000173	2.90E-05	5.967961	0.0000
RESID(-1)^2	0.771982	0.066992	11.52356	0.0000
GARCH(-1)	0.540843	0.012839	42.12566	0.0000

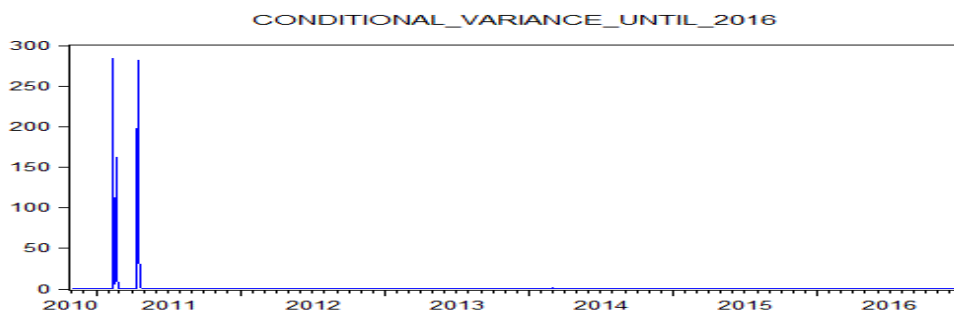
Οι παράμετροι ω (σταθερός όρος), α (όρος ARCH), β (όρος GARCH) που μελετάμε είναι στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο σημαντικότητας 1%.

Από την Variance Equation παρατηρούμε ότι ο συντελεστής β (Variable_GARCH(-1), Coefficient = 0.540843) είναι μικρότερος από τον συντελεστή α (Variable_RESID(-1)^2, Coefficient = 0.771982), το οποίο σημαίνει ότι η αγορά έχει μνήμη μικρότερη από μία χρονική περίοδο και ότι η αστάθεια-μεταβλητότητα (volatility) επηρεάζεται περισσότερο από νέες μεταβολές στην αγορά και λιγότερο από προηγούμενες τιμές της.

Τα μεγέθη α και β καθορίζουν την αστάθεια της χρονοσειράς. Το άθροισμα των συντελεστών α και β είναι μεγαλύτερο της μονάδας και δηλώνει ότι ο κίνδυνος είναι έντονος και παραμένει για αρκετές χρονικές περιόδους.

Η βραχυχρόνια υπό-συνθήκη διακύμανση δίνεται στο παρακάτω γράφημα :

Γράφημα 5.1 Conditional Variance



Η μακροχρόνια (unconditional) διακύμανση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Var}(U_t) = \frac{\omega}{1-(\alpha+\beta)} \text{ όπου } \alpha+\beta < 1 .$$

Όμως όπως προαναφέρθηκε $\alpha+\beta > 1$, δηλαδή δεν ικανοποιείται ο περιορισμός της ΜΗ-αρνητικότητας για την μακροχρόνια διακύμανση. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει τάση (μη-στασιμότητα) στην μακροχρόνια διακύμανση και ότι οι προβλέψεις της υπό-συνθήκη διακύμανσης δεν συνεισφέρουν στην πρόβλεψη της μακροχρόνιας (unconditional) τιμής της με το πέρασμα του χρόνου.

✚ Επιπλέον έγινε ο έλεγχος ARCH-LM στα κατάλοιπα για να διαπιστώσουμε εάν υπάρχουν σε αυτά φαινόμενα ARCH.

Από τον παρακάτω πίνακα συμπεραίνουμε ότι γίνεται δεκτή η μηδενική υπόθεση αφού $p\text{-values} > 10\%$, οπότε δεν υπάρχουν ARCH-effects στα κατάλοιπα του μοντέλου GARCH-in-Mean(1,1), πράγμα που σημαίνει ότι η εξίσωση της διακύμανσης είναι καλώς ορισμένη για την Αγορά.

Πίνακας 5.4 Έλεγχος για ARCH-effects

Heteroskedasticity Test: ARCH

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	24.10679	16.91963	1.424782	0.1544
WGT_RESID^2(-1)	-0.000846	0.021087	-0.040141	0.9680

B. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2018

Πίνακας 5.5 GARCH-in-Mean(1,1)

Dependent Variable: DL_BTC

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
@SQRT(GARCH)	-0.006113	0.007305	-0.836786	0.4027
C	0.002019	0.000265	7.608241	0.0000
Variance Equation				
C	0.000143	2.75E-05	5.192105	0.0000
RESID(-1)^2	0.796761	0.068198	11.68303	0.0000
GARCH(-1)	0.593000	0.013482	43.98367	0.0000

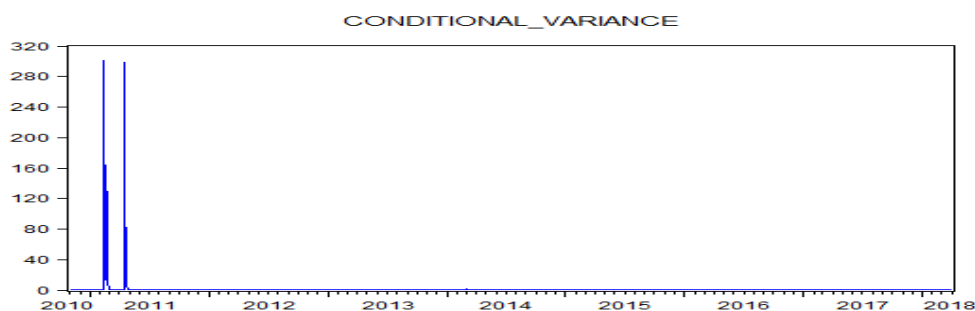
Οι παράμετροι ω (σταθερός όρος), α (όρος ARCH), β (όρος GARCH) που μελετάμε είναι στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο σημαντικότητας 1%.

Από την Variance Equation παρατηρούμε ότι ο συντελεστής β (Variable_GARCH(-1), Coefficient = 0.591289) είναι μικρότερος από τον συντελεστή α (Variable_RESID(-1)^2, Coefficient = 0.801068), το οποίο σημαίνει ότι η αγορά έχει μνήμη μικρότερη από μία χρονική περίοδο και ότι η αστάθεια-μεταβλητότητα (volatility) επηρεάζεται περισσότερο από νέες μεταβολές στην αγορά και λιγότερο από προηγούμενες τιμές της.

Το άθροισμα των συντελεστών α και β είναι μεγαλύτερο της μονάδας και δηλώνει ότι ο κίνδυνος είναι έντονος και παραμένει για αρκετές χρονικές περιόδους.

Η βραχυχρόνια υπό-συνθήκη διακύμανση δίνεται στο παρακάτω γράφημα :

Γράφημα 5.2 Conditional Variance



Η μακροχρόνια (unconditional) διακύμανση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Var}(U_t) = \frac{\omega}{1-(\alpha+\beta)} \text{ όπου } \alpha+\beta < 1 .$$

Όμως όπως προαναφέρθηκε $\alpha+\beta > 1$, δηλαδή δεν ικανοποιείται ο περιορισμός της ΜΗ-αρνητικότητας για την μακροχρόνια διακύμανση. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει τάση (μη-στασιμότητα) στην μακροχρόνια διακύμανση και ότι οι προβλέψεις της υπό-συνθήκη διακύμανσης δεν συνεισφέρουν στην πρόβλεψη της μακροχρόνιας (unconditional) τιμής της με το πέρασμα του χρόνου.

✚ Επιπλέον έγινε ο έλεγχος ARCH-LM στα κατάλοιπα για να διαπιστώσουμε εάν υπάρχουν σε αυτά φαινόμενα ARCH.

Από τον παρακάτω πίνακα συμπεραίνουμε ότι γίνεται δεκτή η μηδενική υπόθεση αφού $p\text{-value} > 10\%$, οπότε δεν υπάρχουν ARCH-effects στα κατάλοιπα του μοντέλου GARCH-in-Mean(1,1), πράγμα που σημαίνει ότι η εξίσωση της διακύμανσης είναι καλώς ορισμένη για την Αγορά.

Πίνακας 5.6 Έλεγχος για ARCH-effects

Heteroskedasticity Test: ARCH				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	16.07109	10.89628	1.474915	0.1404
WGT_RESID^2(-1)	-0.000732	0.019213	-0.038092	0.9696

ΑΣΥΜΜΕΤΡΑ GARCH

Επειδή τα μοντέλα GARCH δεν λαμβάνουν υπόψη τα leverage effects, χρησιμοποιούμε τα ασύμμετρα GARCH λαμβάνοντας υπόψη την ασυμμετρία.

- Ένα EGARCH(1,1) υπόδειγμα έχει την έξης μορφή :

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \beta \log(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{u_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} + \alpha \left[\frac{|u_{t-1}|}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right]$$

A. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2016

Πίνακας 5.7 EGARCH(1,1)

Dependent Variable: DL_BTC_UNTIL_2016

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	7.10E-08	3.74E-06	0.018982	0.9849
Variance Equation				
C(2)	-5.522393	0.072268	-76.41544	0.0000
C(3)	0.046588	0.005833	7.986790	0.0000
C(4)	8.85E-05	0.005842	0.015155	0.9879
C(5)	0.000395	0.010907	0.036176	0.9711

Από τον παραπάνω πίνακα παίρνουμε :

ω = Coef. of variable C(2) < 0, στατιστικά σημαντικός για ε.σ. 10%

β = Coef. of variable C(3) > 0, στατιστικά σημαντικός για ε.σ. 10%

γ = Coef. of variable C(4) > 0, στατιστικά μη-σημαντικός για ε.σ. 10%

α = Coef. of variable C(5) > 0, στατιστικά μη-σημαντικός για ε.σ. 10%

Ο συντελεστής γ είναι ο όρος ασυμμετρίας ή αλλιώς είναι γνωστός και ως leverage term, και μας δίνει την ασύμμετρη σχέση ανάμεσα στο u_{t-1} και στο σ_t^2 .

Το γ είναι θετικό και στατιστικά μη-σημαντικό, οπότε δεν έχουμε leverage effects.

✚ Επιπλέον έγινε ο έλεγχος ARCH-LM στα κατάλοιπα για να διαπιστώσουμε εάν υπάρχουν σε αυτά φαινόμενα ARCH.

Από τον παρακάτω πίνακα συμπεραίνουμε ότι γίνεται δεκτή η μηδενική υπόθεση αφού $p\text{-values} > 10\%$, οπότε δεν υπάρχουν ARCH-effects στα κατάλοιπα του μοντέλου EGARCH(1,1), πράγμα που σημαίνει ότι η εξίσωση της διακύμανσης είναι καλώς ορισμένη για την Αγορά.

Πίνακας 5.8 Έλεγχος για ARCH-effects

Heteroskedasticity Test: ARCH

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	104.8566	46.69042	2.245783	0.0248
WGT_RESID^2(-1)	0.011131	0.021085	0.527882	0.5976

B. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2018

Πίνακας 5.9 EGARCH(1,1)

Dependent Variable: DL_BTC

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-3.61E-06	7.26E-05	-0.049757	0.9603
Variance Equation				
C(2)	-10.20556	0.098489	-103.6210	0.0000
C(3)	0.013462	0.001548	8.696418	0.0000
C(4)	-0.002431	0.001138	-2.136629	0.0326
C(5)	-0.864776	0.010457	-82.69656	0.0000

Από τον παραπάνω πίνακα παίρνουμε :

ω = Coef. of variable C(2) < 0, στατιστικά σημαντικός για ε.σ. 5%

β = Coef. of variable C(3) > 0, στατιστικά σημαντικός για ε.σ. 5%

γ = Coef. of variable C(4) < 0, στατιστικά σημαντικός για ε.σ. 5%

α = Coef. of variable C(5) < 0, στατιστικά σημαντικός για ε.σ. 5%

Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής ασυμμετρίας γ (leverage term) είναι αρνητικός και στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Έτσι επιβεβαιώνεται η ύπαρξη leverage effect, δηλαδή η σχέση ανάμεσα στο volatility και τις αποδόσεις είναι αρνητική.

✚ Επιπλέον έγινε ο έλεγχος ARCH-LM στα κατάλοιπα για να διαπιστώσουμε εάν υπάρχουν σε αυτά φαινόμενα ARCH.

Από τον παρακάτω πίνακα συμπεραίνουμε ότι γίνεται δεκτή η μηδενική υπόθεση αφού $p\text{-values} > 5\%$, οπότε δεν υπάρχουν ARCH-effects στα κατάλοιπα του μοντέλου EGARCH(1,1), πράγμα που σημαίνει ότι η εξίσωση της διακύμανσης είναι καλώς ορισμένη για την Αγορά.

Πίνακας 5.10 Έλεγχος για ARCH-effects

Heteroskedasticity Test: ARCH

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	132.3262	72.53077	1.824414	0.0682
WGT_RESID^2(-1)	0.037023	0.019200	1.928318	0.0539

- Ένας εναλλακτικός τρόπος για να λάβουμε υπόψη την ασυμμετρία είναι το Υπόδειγμα TGARCH.

Η υπό-συνθήκη διακύμανση δίνεται από τον εξής τύπο :

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma \varepsilon_{t-1}^2 d_{t-1} + \beta \sigma_{t-1}^2$$

όπου και πάλι το γ είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας ή αλλιώς η παράμετρος leverage.

Σε αυτό το μοντέλο τα καλά νέα ($\varepsilon_{t-1} > 0$) επιδρούν διαφορετικά στην υπό-συνθήκη διακύμανση από ότι τα κακά νέα ($\varepsilon_{t-1} < 0$).

A. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2016

Πίνακας 5.11 TGARCH

Dependent Variable: DL_BTC_UNTIL_2016

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.08E-07	7.62E-05	0.001412	0.9989
Variance Equation				
C	0.000170	2.61E-05	6.514008	0.0000
RESID(-1)^2	0.792705	0.081257	9.755561	0.0000
RESID(-1)^2*(RESID(-1)<0)	-0.081854	0.148215	-0.552267	0.5808
GARCH(-1)	0.521043	0.011748	44.35211	0.0000

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι οι συντελεστές ω , α και β είναι στατιστικά σημαντικοί για επίπεδο σημαντικότητας 1% και μάλιστα :

$$\omega = 0.00017 > 0$$

$$\alpha = 0.792705 > 0$$

$$\beta = 0.521043 > 0$$

Ο συντελεστής $\gamma = -0.081854$ είναι στατιστικά μη-σημαντικός σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5% και 10%), οπότε δεν έχουμε leverage effects.

✚ Επιπλέον έγινε ο έλεγχος ARCH-LM στα κατάλοιπα για να διαπιστώσουμε εάν υπάρχουν σε αυτά φαινόμενα ARCH.

Από τον παρακάτω πίνακα συμπεραίνουμε ότι γίνεται δεκτή η μηδενική υπόθεση αφού $p\text{-values} > 5\%$, οπότε δεν υπάρχουν ARCH-effects στα κατάλοιπα του μοντέλου TGARCH, πράγμα που σημαίνει ότι η εξίσωση της διακύμανσης είναι καλώς ορισμένη για την Αγορά.

Πίνακας 5.12 Έλεγχος για ARCH-effects

Heteroskedasticity Test: ARCH

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	25.84446	18.34860	1.408525	0.1591
WGT_RESID^2(-1)	-0.000832	0.021087	-0.039460	0.9685

B. ΔΕΙΓΜΑ 2010-2018

Πίνακας 5.13 TGARCH

Dependent Variable: DL_BTC

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.001962	0.000116	16.93762	0.0000
Variance Equation				
C	0.000139	2.63E-05	5.283852	0.0000
RESID(-1)^2	0.929593	0.098853	9.403819	0.0000
RESID(-1)^2*(RESID(-1)<0)	-0.294924	0.147243	-2.002976	0.0452
GARCH(-1)	0.594787	0.013367	44.49561	0.0000

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι οι συντελεστές ω , α και β είναι στατιστικά σημαντικοί για επίπεδο σημαντικότητας 1% και μάλιστα :

$$\omega = 0.000139 > 0$$

$$\alpha = 0.929593 > 0$$

$$\beta = 0.594787 > 0$$

Ο συντελεστής $\gamma = -0.294924 < 0$ είναι στατιστικά σημαντικός για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Έχουμε λοιπόν leverage effect, δηλαδή η σχέση ανάμεσα στο volatility και τις αποδόσεις είναι αρνητική.

✚ Επιπλέον έγινε ο έλεγχος ARCH-LM στα κατάλοιπα για να διαπιστώσουμε εάν υπάρχουν σε αυτά φαινόμενα ARCH.

Από τον παρακάτω πίνακα συμπεραίνουμε ότι γίνεται δεκτή η μηδενική υπόθεση αφού $p\text{-values} > 10\%$, οπότε δεν υπάρχουν ARCH-effects στα κατάλοιπα του μοντέλου TGARCH, πράγμα που σημαίνει ότι η εξίσωση της διακύμανσης είναι καλώς ορισμένη για την Αγορά.

Πίνακας 5.14 Έλεγχος για ARCH-effects

Heteroskedasticity Test: ARCH

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	14.14678	9.513809	1.486974	0.1371
WGT_RESID^2(-1)	-0.000745	0.019213	-0.038779	0.9691

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία προσπαθήσαμε να μοντελοποιήσουμε την μεταβλητότητα (τον κίνδυνο) του κρυπτονομίσματος Bitcoin και τις επιπτώσεις της στην απόδοσή του. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μέσω των Υποδειγμάτων GARCH(1,1) και GARCH-in-Mean(1,1) δεν μπορούμε να προβλέψουμε την μακροχρόνια διακύμανση τόσο για το δείγμα 2010-2016, που αιχμαλωτίζει την περίοδο αύξησης της τιμής του Bitcoin, όσο και για το δείγμα 2010-2018, που αιχμαλωτίζει την προσαρμογή που ακολούθησε. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρούνται leverage effects για ολόκληρο το δείγμα 2010-2018 μέσω των ασύμμετρων Υποδειγμάτων EGARCH και TGARCH.

Αρχικά παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης του Bitcoin και των αποδόσεων των υπόλοιπων μεταβλητών (που αρχικά θεωρήσαμε ότι επηρεάζουν την τιμή του), εκτός από την απόδοση του συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου με την οποία υπάρχει αρνητική συσχέτιση και στα δύο δείγματα. Στη συνέχεια και σε επίπεδο σημαντικότητας 10% παρουσιάστηκε Αιτιότητα κατά Granger στο δείγμα έως 2016 με κατεύθυνση από την απόδοση συναλλάγματος Κίνας/Δολαρίου προς την απόδοση του Bitcoin και στο δείγμα έως 2018 με κατεύθυνση από την απόδοση του Bitcoin προς την απόδοση συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου.

Λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο Schwarz από τα Lag Length Criteria δημιουργήσαμε για το δείγμα έως 2016 ένα Υπόδειγμα VAR με ενδογενείς μεταβλητές την απόδοση του Bitcoin και την απόδοση του συναλλάγματος Κίνας/Δολαρίου, με 5 υστερήσεις για κάθε μεταβλητή και για το δείγμα έως 2018 ένα Υπόδειγμα VAR με ενδογενείς μεταβλητές την απόδοση του Bitcoin και την απόδοση του συναλλάγματος Ευρώ/Δολαρίου, με 1 υστέρηση για κάθε μεταβλητή.

Βάζοντας σοκ σε όλες τις μεταβλητές μέσω Impulse Responses παρατηρούμε ότι μόνο σοκ στην ίδια την απόδοση του Bitcoin επηρεάζει μελλοντικά την απόδοσή του. Από τους πίνακες Variance Decomposition συμπεραίνουμε ότι ενώ την πρώτη χρονική περίοδο η διακύμανση της απόδοσης του Bitcoin εξαρτάται αποκλειστικά από την ίδια την μεταβλητή, μελλοντικά αυξάνεται το ποσοστό της διακύμανσης που εξαρτάται από τις διακυμάνσεις των άλλων μεταβλητών.

Σχετικά με την μοντελοποίηση της μεταβλητότητας και τα Υποδείγματα GARCH παρατηρούμε ότι στα μοντέλα GARCH(1,1) και των δύο δειγμάτων το άθροισμα των συντελεστών α και β είναι μεγαλύτερο της μονάδας, συνεπώς δεν μπορούμε να προβλέψουμε την μακροχρόνια διακύμανση μέσω της βραχυχρόνιας. Στο μοντέλο GARCH-in-Mean(1,1) η παράμετρος λ (risk premium) είναι στατιστικά μη-σημαντική και για τα δύο δείγματα. Δεν μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε αν υπάρχει σχέση μεταξύ απόδοσης και κινδύνου. Παρατηρούνται leverage effects στο μοντέλο EGARCH του δείγματος 2010-2018, αφού ο συντελεστής ασυμμετρίας γ είναι αρνητικός και στατιστικά σημαντικός. Τέλος στο μοντέλο TGARCH για το δείγμα 2010-2018 και σε επίπεδο σημαντικότητας τουλάχιστον 5% παρατηρούνται επίσης leverage effects (risk premium αρνητικό και στατιστικά σημαντικό).

Θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθούν και να συγκριθούν τα αποτελέσματα μοντελοποίησης της μεταβλητότητας από άλλες μεθόδους όπως το Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) μοντέλο και το Implied Standard Deviation (ISD) Model.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anton Badev, M. C. (2014). *Bitcoin: Technical Background and Data Analysis*. Washington, D.C: Finance and Economics Discussion Series, Federal Reserve Board.
- Catania Leopoldo, G. S. (2018). *Predicting the Volatility of Cryptocurrency Time-Series*. CAMP Working Papers.
- Dr Garrick Hileman, M. R. (2017). *GLOBAL CRYPTOCURRENCY BENCHMARKING STUDY*. Cambridge: UNIVERSITY OF CAMBRIDGE Judge Business School.
- Giot, P. (2003). *Market Models: A Guide to Financial Data Analysis*. OXFORD ACADEMIC.
- Glaser Florian, Z. K. (2014). BITCOIN-ASSET OR CURRENCY ? REVEALING USERS' HIDDEN INTENTIONS. *Twenty Second European Conference on Information Systems*, (pp. 1-14). Frankfurt, DE.
- Hayes, A. (2014, October). What factors give cryptocurrencies their value: An empirical analysis. *SSRN* , pp. 1-6.
- Jaroslav Bukovina, M. M. (2016). *Sentiment and Bitcoin Volatility*. EconPapers.
- Jonathan Chiu, T. K. (2017, April). The Economics of Cryptocurrencies - Bitcoin and Beyond. *ELSEVIER* , pp. 1-40.
- Katsiampa, P. (2017). Volatility Estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models. *Economics Letters* .
- Lansky, J. (2018, January). Possible State Approaches to Cryptocurrencies. *JOURNAL OF SYSTEM INTEGRATION* , pp. 19-31.
- Marra, S. (2015, December). Predicting Volatility. *Lazard Asset Management* .
- Panagiotidis, T. (2018). Modelling long-run relationship in finance [Powerpoint slides]. Thessaloniki.
- Panagiotidis, T. (2018). Modelling volatility and correlation [Powerpoint slides]. Thessaloniki.
- SER-HUANG POON, C. W. (2003, June). Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review . *Journal of Economic Literature* , pp. 478-539.
- Suliman Zakaria, S. A. (2011, December). Modelling Stock Market Volatility Using Univariate GARCH Models: Evidence from Sudan and Egypt. *International Journal of Business and Social Science* .
- Theodore Panagiotidis, T. S. (2018, November). The effects of markets, uncertainty and search intensity on bitcoin returns. *ELSEVIER* , pp. 1-58.