

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ & ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
Π.Μ.Σ. ΑΝΑΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ
(Stress Testing VaR models)

ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΜΠΑΝΤΟΥΝΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τριμελής Επιτροπή:
Αικατερίνη Πανοπούλου (Επιβλέπων)
Μιχαήλ Γκλεζάκος
Τιμόθεος Αγγελίδης

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Νοέμβριος 2009

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Εισαγωγή	4
1 Εκτίμηση της Αξίας σε Κίνδυνο	13
1.1 Αξία σε Κίνδυνο (VaR)	13
1.2 Μοντέλα εκτίμησης VaR	17
1.2.1 Παραμετρικά Μοντέλα	18
1.2.2 Ιστορική Προσομοίωση & Άλλες Μέθοδοι	22
1.2.3 Θεωρία Ακραίων Τιμών	24
2 Εκ των υστέρων έλεγχος (Backtesting)	26
2.1 Backtesting για τα μοντέλα εκτίμησης του VaR	26
2.1.1 Η Μηδενική Υπόθεση	27
2.1.2 Unconditional Coverage Testing	28
2.1.3 Independence Testing	31
2.1.4 Conditional Coverage Testing	34
2.2 Μέθοδοι Backtesting	35
2.2.1 Έλεγχοι βασιζόμενοι στο μετασχηματισμό του Rosenblatt	35
2.2.2 Έλεγχοι βασιζόμενοι στο μετασχηματισμό του Berkowitz	37
3 Σενάρια Ακραίων Καταστάσεων (Stress Testing)	38
3.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	38

3.1.1	Ιστορικά Σενάρια	40
3.1.2	Υποθετικά Σενάρια	41
3.1.3	Αλγοριθμικές Προσεγγίσεις για το Stress Testing	42
3.2	Stress Testing βασισμένο σε μοντέλα	44
3.2.1	Αρχική Διαταραχή (Initial shock)	44
3.2.2	Μοντελοποίηση μετά τη Διαταραχή	45
4	Εμπειρική Ανάλυση	48
4.1	Ανάλυση Δεδομένων	48
4.2	Υπολογισμός του VaR και του ES	51
4.3	Backtesting των μοντέλων	55
4.4	Stress Testing των μοντέλων	59
	Επίλογος	78
	Παράρτημα	80
	Βιβλιογραφία	188

Περίληψη

Η Επιτροπή της Βασιλείας II για την Τραπεζική Εποπτεία (Basel Committee on Banking Supervision) κατέστησε το 1996 απαραίτητη την ύπαρξη εποπτικών κεφαλαίων (regulatory capital) προκειμένου να καλύπτεται το εκάστοτε κόστος, που πιθανολογείται ότι θα ανακύψει, από ενδεχόμενες μελλοντικές ακραίες καταστάσεις (stress testing). Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει κάποιος αντικειμενικός και πλήρως αξιόπιστος τρόπος διενέργειας stress testing. Η μεθοδολογία που εφαρμόζουμε, βασίζεται στα καταλληλότερα μοντέλα κινδύνου της αγοράς, παραμετρικά ή μη, που προέκυψαν από τον εκ των υστέρων έλεγχο (backtesting) και τα οποία δύνανται να ενσωματώσουν τη συσσώρευση μεταβλητότητας (volatility clustering) και τις βαριές ουρές. Χρησιμοποιώντας ημερήσια δεδομένα των κυριοτέρων συναλλαγματικών ισοτιμιών για μία δεκαετία, διαπιστώνουμε ότι τα αποτελέσματα των stress tests ασκούν μεγάλη επίδραση στα τρέχοντα επίπεδα των εποπτικών κεφαλαίων των ισοτιμιών για διάστημα μεγαλύτερο των 4 με 5 ημερών.

Λέξεις-Κλειδιά: VaR, Backtesting, Stress Testing, Regulatory Capital, Συναλλαγματικές Ισοτιμίες, Βασιλεία II, ARCH, Κίνδυνος Αγοράς.

Εισαγωγή

Η Αξία σε Κίνδυνο (*Value at Risk-VaR*) και τα σενάρια ακραίων καταστάσεων (*stress testing*) συνιστούν δύο έννοιες που σχετίζονται άρρηκτα μεταξύ τους και μάλιστα είναι πολύ επίκαιρες. Η κρίση στην παγκόσμια οικονομία και τα σημαντικά προβλήματα που επέφερε στα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα όλων των χωρών, συντέλεσαν στο να καταστεί επιτακτική η ανάγκη για σωστότερη και πιο αξιόπιστη εκτίμηση του ενδεχόμενου μελλοντικού κινδύνου, ούτως ώστε να υπάρχει η δυνατότητα λήψης έγκαιρων και αποτελεσματικών μέτρων. Ο λόγος είναι ότι οι μέχρι πριν την κρίση μελέτες δεν είχαν προβλέψει μία τόσο ακραία κατάσταση και συνεπώς δεν υπήρχαν η υποψία για τις επερχόμενες πολύ μεγάλες απώλειες. Έτσι, δεν είχαν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση της νέας αυτής πραγματικότητας, όπως η διασφάλιση των απαραίτητων κεφαλαίων που θα κάλυπταν τις ζημιές που προκλήθηκαν. Ας παρουσιάσουμε όμως μία-μία τις έννοιες, που συνιστούν απαραίτητα εργαλεία για την αποδοτικότερη διαχείριση του κινδύνου και εκτιμούν όσο το δυνατό σωστότερα τις ζημιές που πιθανολογείται ότι θα παρουσιαστούν.

Το πρώτο εργαλείο, που αναπτύχθηκε για να διευκολύνει στην πρόβλεψη και διαχείριση του κινδύνου, είναι το VaR. Αρχικά αμφισβητήθηκε αρκετά, σήμερα όμως είναι διεθνώς αποδεκτό και ευρέως εφαρμοζόμενο. Το VaR σε γενικές γραμμές ορίζεται ως μία κατηγορία πιθανοθεωρητικών μέτρων του κινδύνου της αγοράς (*market risk*). Ας θεωρήσουμε ένα χαρτοφυλάκιο με σταθερά περιουσιακά στοιχεία. Η τρέχουσα αξία του είναι γνωστή. Η αξία όμως, που θα έχει στην αγορά κάποια στιγμή στο μέλλον π.χ. σε μία ημέρα ή ένα μήνα, είναι μία τυχαία μεταβλητή. Ως τυχαία μεταβλητή μπορούμε να της αποδώσουμε μία κατανομή πιθανότητας. Συνεπώς, μία μετρική VaR συνιστά μία συνάρτηση αυτής της κατανομής και της τρέχουσας αξίας του χαρτοφυλακίου στην αγορά. Με αυτόν τον ορισμό, η διασπορά των αποδόσεων, η τυπική απόκλιση των τιμών και το 0.95 ποσοστημόριο των απωλειών αποτελούν όλα μετρικές VaR. Ένα μέτρο VaR ορίζεται ως οποιαδήποτε διαδικασία, που δεδομένης μίας μετρικής VaR, αποδίδει τιμές αυτής της μετρικής στο χαρτοφυλάκιο. Με άλλα λόγια αν θέλαμε να εξηγήσουμε απλούστερα τη σημασία του VaR, όπως την ξέρουμε σήμερα, θα λέγαμε ότι συνιστά μία ποσότητα χρημάτων. Βασίζεται βέβαια σε πιθανότητες οπότε δεν μπορούμε να στηριχθούμε σε αυτό με σιγουριά. Ουσιαστικά μετράει την

μεταβλητότητα (volatility) των περιουσιακών στοιχείων μίας εταιρείας. Έτσι, όσο υψηλότερο είναι το volatility τόσο υψηλότερη είναι κι η πιθανότητα απώλειας.

Κατά τη δεκαετία του 1990 το Value at Risk (VaR) υιοθετήθηκε ευρέως για τη μέτρηση του κινδύνου της αγοράς των χαρτοφυλακίων, που υπόκεινται σε συναλλαγές. Η αρχή εμφάνισής του όμως εντοπίζεται πιο παλιά, το 1922 στις κεφαλαιακές απαιτήσεις, που επέβαλε το Χρηματιστήριο της Νέας Υόρκης (New York Stock Exchange (NYSE)) στις εταιρείες που ήταν μέλη του. Όσο για τις ρίζες του βρίσκονται στη θεωρία χαρτοφυλακίου. Ένα “πρόχειρο” μέτρο VaR δημοσιεύθηκε το 1945 κι από εκεί κι έπειτα, με την πάροδο των ετών βελτιωνόταν παίρνοντας διάφορες μορφές, μέχρι που φθάνουμε στο 1998, όπου οι τράπεζες άρχισαν να χρησιμοποιούν δικά τους μέτρα VaR προκειμένου να υπολογίσουν τις κεφαλαιακές τους απαιτήσεις.

Τη δεκαετία του 1950 οι μελετητές της θεωρίας χαρτοφυλακίου χρησιμοποίησαν βασικά μαθηματικά για να αναπτύξουν κάποιες μορφές μέτρα VaR. Η μετάβαση από τη δεκαετία του 1970 σε αυτή του 1980, βρήκε τις αγορές να εμφανίζουν μεγαλύτερο volatility. Οι εταιρείες γίνονταν πιο μοχλευμένες (more leveraged) κι η ανάγκη για χρηματοοικονομικά μέτρα κινδύνου, όπως το VaR, συνεχώς μεγάλωνε. Οι διαθέσιμες πηγές που ήταν απαραίτητες, ώστε να εφαρμοστεί το VaR, αυξάνονταν. Ωστόσο, αυτό παρέμενε στα πρώιμα στάδια ενός θεωρητικού εργαλείου της θεωρίας χαρτοφυλακίου. Την ίδια στιγμή οι εταιρείες χρειαζόνταν έναν τρόπο να υπολογίσουν τον κίνδυνο της αγοράς, που θα αντιμετώπιζαν σε διαφορετικές κατηγορίες των περιουσιακών στοιχείων, αλλά δεν έβλεπαν πως θα μπορούσε το VaR να καλύψει αυτή τους την απαίτηση. Το 1994 η JP Morgan λάνσαρε τη δωρεάν υπηρεσία της RiskMetrics, έχοντας την πρόθεση να προωθήσει τη χρήση του VaR από τους επαγγελματίες σε χρηματοπιστωτικά ιδρύματα κι οργανισμούς. Το πακέτο περιλάμβανε τεχνική απόδειξη κι έναν πίνακα συνδιακύμανσης για εκατοντάδες παράγοντες οι οποίοι ανανεώνονταν καθημερινά στο διαδίκτυο. Τελικά, η αξία του VaR αναγνωρίστηκε από την επιτροπή της Βασιλείας (Basel Committee), που εξουσιοδότησε τη χρήση του από τις τράπεζες προκειμένου να υπολογίσουν τα εποπτικά τους κεφάλαια. Εντούτοις, επακολούθησε μία αντιπαράθεση σχετική με την υποκειμενικότητα του κινδύνου, κάτι που είχε πρωτοεπισημάνει ο Markowitz το 1952. Ο χρόνος θα δείξει αν η ευρεία χρήση του συνεισφέρει πράγματι στους κινδύνους τους οποίους καλείται να εκτιμήσει.

Η εξέλιξη του VaR δεν ήταν μόνο όμως, ως προς τη μορφή του, αλλά κι ως προς το όνομά

του, που διαρκώς δεχόταν τροποποιήσεις. Το πεδίο γύρω από την προέλευσή του είναι θολό. Πολλά παρόμοια ονόματα χρησιμοποιήθηκαν κατά τη δεκαετία του 1990, μεταξύ των οποίων τα “dollars-at-risk” (DaR), “capital-at-risk” (CaR), “income-at-risk” (IaR) και “earnings-at-risk” (EaR). Όπως φαίνεται όλοι συμφωνούσαν στο να περιέχεται ο “κίνδυνος”, αλλά δεν αποφάσιζαν τη λέξη που θα τον συνόδευε. Η λέξη “dollars” του DaR περιόριζε πολύ τη χρήση του από άλλες χώρες. Το “capital” του CaR συγκεκριμενοποιούσε την εφαρμογή του μόνο στο κεφάλαιο ενώ κάποιες από τις εφαρμογές του δεν ασχολούνται με αυτό. Όσο για τα προθέματα “income” και “earnings” των IaR και EaR είχαν λογιστική σημασία που δε σχετίζεται με τον κίνδυνο της αγοράς. Η εταιρεία πώλησης λογισμικού Wall Street Systems προεκτάθηκε ονομάζοντας το λογισμικό της “money-at-risk”. Τελικά η ασάφεια του όρου “value” ίσως να ήταν αυτή, που έκανε το “value-at-risk” τόσο ελκυστικό ώστε κατάφερε τελικά να επικρατήσει. Επίσης, η χρήση του στο Τεχνικό Δοκίμιο της RiskMetrics του προσέθεσε ακόμα περισσότερο κύρος. Περισσότερες λεπτομέρειες για την ιστορία του VaR υπάρχουν στην εργασία “History of Value-at-Risk: 1922-1998” του Glyn A. Holton, [26].

Σήμερα είμαστε υπό το καθεστώς της Βασιλείας II κι οδεύουμε προς την εφαρμογή της Βασιλείας III. Η Επιτροπή της Βασιλείας για την Τραπεζική Εποπτεία (Basel Committee on Banking Supervision) συστάθηκε το 1974 και μέλη της είναι οι κεντρικές τράπεζες κι άλλες τραπεζικές εποπτικές αρχές από τα κράτη-μέλη του “Group of Ten” (G10)¹, την Ελβετία, το Λουξεμβούργο και την Ισπανία. Δεν είναι διεθνής οργανισμός, αλλά μια οργάνωση χωρίς νομική προσωπικότητα, που λειτουργεί με την υποστήριξη της γραμματείας της Τράπεζας Διεθνών Διακανονισμών (Bank for International Settlements-BIS). Οι κανόνες που περιέχονται στις εκθέσεις της δεν έχουν νομική δεσμευτικότητα, αλλά αποτελούν γενικές κατευθυντήριες αρχές κι η αποδοχή τους από τις τραπεζικές εποπτικές αρχές ανά την υφήλιο είναι εξαιρετικά αυξημένη. Στόχοι της είναι η διασφάλιση της σταθερότητας του διεθνούς χρηματοπιστωτικού συστήματος, η διαμόρφωση ισοδύναμων όρων ανταγωνισμού κυρίως σε διεθνές επίπεδο μεταξύ των διεθνώς δραστηριοποιούμενων τραπεζών και μεταξύ των τραπεζών και των επενδυτικών εταιρειών. Στο μέχρι τώρα έργο

¹Βέλγιο, Καναδάς, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ιαπωνία, Ολλανδία, Σουηδία, Μεγάλη Βρετανία και Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

της συγκαταλέγονται η κατανομή αρμοδιοτήτων, η συνεργασία εποπτικών αρχών, οι μέθοδοι προληπτικής εποπτείας τραπεζών και χρηματοπιστωτικών ομίλων διαφόρων δραστηριοτήτων, η διαχείριση κινδύνων καθώς κι άλλα πολλά.

Το αρχικό κεφαλαιακό σύμφωνο της Βασιλείας (Basel Capital Accord) τέθηκε σε εφαρμογή στις αρχές του 1988. Προσδιόριζε κανονισμούς για τον υπολογισμό των ελάχιστων εποπτικών κεφαλαίων για τις τράπεζες στηριζόμενο σε ένα απλό σύνολο πολλαπλασιαστών, που εφαρμόζονταν σε στοιχεία ευάλωτα στον πιστωτικό κίνδυνο. Ο υπολογισμός των ελάχιστων αυτών κεφαλαίων δεν αντανακλούσε τους κινδύνους, που σχετιζόνταν με τις δραστηριότητες της τράπεζας στην αγορά, οι οποίες ήταν ακόμα πολύ μικρές. Στην πορεία όμως, οι παράγοντες κινδύνου γίνονταν όλο και πιο σημαντικοί για το προφίλ των σημαντικότερων τραπεζών κι έτσι στη δεκαετία του 1990 το σύμφωνο της Βασιλείας τροποποιήθηκε, ώστε να αντικατοπτρίζει την έκθεση των τραπεζών στον κίνδυνο της αγοράς. Το νέο σύμφωνο επέτρεψε στις τράπεζες να εκτελούν δικά τους εσωτερικά μοντέλα VaR, προκειμένου να υπολογίσουν τα ελάχιστα απαιτούμενα εποπτικά κεφάλαια (για την αντιμετώπιση του κινδύνου της αγοράς). Σύμφωνα λοιπόν, με τα νέα δεδομένα θα πρέπει το επίπεδο εμπιστοσύνης του VaR να είναι 99% κι ο χρονικός ορίζοντας δύο εβδομάδες (π.χ. 10 εργάσιμες ημέρες). Η κεφαλαιακή απαίτηση θα είναι τουλάχιστον 3 φορές η δεκαήμερη εκτίμηση του VaR για το μέσο όρο των τελευταίων 60 εργάσιμων ημερών. Ακόμη τα εσωτερικά μοντέλα θα πρέπει να εγκρίνονται στο σύνολό τους από τον υπεύθυνο της τράπεζας και να είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την από ημέρα σε ημέρα διαχείριση του κινδύνου, [2].

Μόλις κατασκευαστεί ένα μοντέλο κινδύνου είναι πολύ σημαντικό να ελεγχθεί η εγκυρότητα του προσεκτικά πριν αρχίσει η πρακτική εφαρμογή του, αλλά και να εξασφαλιστεί η τακτική αξιολόγηση της συμπεριφοράς του μετά την εκτέλεσή του. Ο συστηματικός έλεγχος που απαιτείται, επιτυγχάνεται με τον *εκ των υστέρων έλεγχο (backtesting)*. Το backtesting συνιστά μία εφαρμογή ποσοστικών μεθόδων για να αποφασιστεί αν οι προβλέψεις ενός VaR μοντέλου είναι συνεπείς με τις υποθέσεις στις οποίες βασίζεται το μοντέλο ή να κατατάξουμε μία ομάδα από τέτοια μοντέλα συγκρίνοντάς τα μεταξύ τους.

Οι εμπορικές τράπεζες των G-10 χωρών είναι υποχρεωμένες να εκτελούν ένα σύνολο από τυποποιημένα backtests, που συστάθηκαν το 1996 στην τροποποίηση του αρχικού συμφώνου της Βασιλείας. Τα κύρια χαρακτηριστικά των κανονισμών, που εντάχθηκαν στο νέο ρυθμιστικό πλαί-

σιο έχουν ως εξής. Οι τράπεζες οφείλουν να εφαρμόζουν και να επανυπολογίζουν τα καθημερινά μέτρα VaR στις ημερήσιες αποδόσεις. Επιπλέον, απαιτείται να χρησιμοποιούν δύο διαφορετικές σειρές αποδόσεων, αυτή με τις τρέχουσες καθαρές αποδόσεις για τις συναλλαγές της επόμενης ημέρας κι αυτή με τις θεωρητικές, που θα είχε πραγματοποιηθεί εάν η θέση στο κλείσιμο της προηγούμενης ημέρας είχε μεταφερθεί στην επόμενη ημέρα. Το backtesting πρέπει να διενεργείται σε καθημερινή βάση και να εντοπίζεται ο αριθμός των ημερών, που οι απώλειες (αν υπάρχουν) ξεπερνούν το VaR. Τα αποτελέσματα, που λαμβάνονται από τα backtests, αναλύονται από τους επόπτες προκειμένου να αξιολογηθούν τα μοντέλα κινδύνου και να καθοριστεί ο πολλαπλασιαστής που θα εφαρμοστεί. Λόγου χάρη, αν ο αριθμός των παραβιάσεων κατά τις προηγούμενες 250 ημέρες είναι μικρότερος του 5, τότε ο πολλαπλασιαστής είναι το 3, αν οι παραβιάσεις είναι 5, ο πολλαπλασιαστής είναι 3.40 και ούτω καθεξής. Από 10 και πάνω παραβιάσεις, ο πολλαπλασιαστής είναι το 4.

Όπως έχει διαφανεί οι προτάσεις αυτές της Βασιλείας παρουσιάζουν κάποιες αδυναμίες. Για παράδειγμα, τα μοντέλα είναι πιθανό να αποτύχουν στα εποπτικά backtests σε εξαιρετικά ασυνήθιστες συνθήκες, όπως ένα κραχ στην αγορά ή μία φυσική καταστροφή, οδηγώντας τις τράπεζες να υφίστανται μη εγγυημένες απώλειες. Ακόμη, οι κανόνες γύρω από τον πολλαπλασιαστή στον αριθμό των παραβιάσεων είναι αυθαίρετοι και υπάρχει η ανησυχία, ότι ένας υψηλός πολλαπλασιαστής (scaling factor) θα μπορούσε να αποθαρρύνει τις τράπεζες από την ανάπτυξη κι εκτέλεση καλής πρακτικής, [22]. Κατά καιρούς βέβαια, κάποια από τα υπάρχοντα μειονεκτήματα ξεπεράστηκαν ή έγιναν βήματα βελτίωσής τους. Ωστόσο, θα παραμένουν πάντοτε ουσιαστικά και βαθύτερα προβλήματα, όπως το ότι οι ρυθμιστικές συστάσεις θα είναι αναπόφευκτα πρόχειρες, ανελαστικές, πέρα από κάθε καλή πρακτική στην αγορά κι ενδεχομένως να εμποδίζουν την παραγωγικότητα.

Ένα σημαντικό σημείο που διαπίστωσαν οι εταιρείες, ότι δεν καλυπτόταν από τα διάφορα στατιστικά μοντέλα, όπως το VaR, ήταν το τι συμβαίνει σε εξαιρετικές περιστάσεις. Εξ ορισμού, οι εξαιρετικές περιστάσεις υφίστανται σπάνια και τα στατιστικά συμπεράσματα είναι ανακριβή εάν δεν υπάρχει επαρκής αριθμός παρατηρήσεων. Τα τεστ σε ακραίες καταστάσεις (stress tests) καλύπτουν κατά ένα μέρος αυτό το κενό, συμπληρώνοντας το VaR, προσφέροντας μία ποσοτική εικόνα της έκθεσης σε ένα πιθανό ακραίο γεγονός. Εν όψει της απουσίας ενός αξιόπιστου στατιστικού μέτρου της πιθανότητας εμφάνισης ενός τέτοιου γεγονότος, το stress testing αφήνεται

στην κρίση των διαχειριστών κινδύνου (risk managers) και των στελεχών οι οποίοι θα αξιολογήσουν τότε και σε ποιο βαθμό χρειάζεται η εταιρεία να τροποποιήσει ή να περιορίσει την έκθεσή της σε ακραίους κινδύνους. Ακόμα και στην περίπτωση, που ένα στατιστικό μοντέλο οικοδομηθεί με τρόπο που θα προβλέπει με ακρίβεια ακραίες καταστάσεις, οι risk managers φαίνεται να προτιμούν τη χρήση των stress test καθώς οι υποθέσεις ενός μοντέλου δεν είναι διαφανείς, [19].

Το stress testing είναι ιδιαίτερα αναγκαίο μετά από μεγάλης διάρκειας ευνοϊκές οικονομικές περιόδους, που οποιαδήποτε αρνητική συνθήκη έχει λησμονηθεί και υπάρχει το ενδεχόμενο να εφησυχάσουμε υποτιμώντας τον κίνδυνο. Αποτελεί επίσης, εργαλείο-κλειδί για τη διοικητική κινδύνων (risk management) σε παραγωγικές περιόδους που η καινοτομία οδηγεί σε νέα προϊόντα, που αναπτύσσονται ταχύτατα και για τα οποία διαθέτουμε περιορισμένα ή καθόλου δεδομένα απωλειών. Βάσει του Πυλώνα I της Βασιλείας II οι τράπεζες χρησιμοποιούν την Προσέγγιση Εσωτερικών Μοντέλων (Internal Models Approach) για να καθορίσουν το κεφάλαιο για τον κίνδυνο της αγοράς και να έχουν κατά μέρος ένα αυστηρό πρόγραμμα stress testing.

Μέχρι και τις μέρες μας έχουν συμβεί παγκοσμίως πολλά ακραία γεγονότα, που προκάλεσαν σοβαρότατες απώλειες σε χρηματοπιστωτικά ιδρύματα αλλά συχνά και στην οικονομία ολόκληρων κρατών. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι η οικονομική κρίση του 1997-1998 στην Ασία, η υποτίμηση του Μεξικάνικου πέσο στις 14 Δεκεμβρίου του 1994, η Ρώσικη υποτίμηση στις 21 Αυγούστου του 1998, το κραχ του 1987 (“Μαύρη Δευτέρα του 1987”), η κρίση του Ευρωπαϊκού Μηχανισμού Ισοτιμιών (European Exchange Rate Mechanism (ERM)) το 1992, καθώς κι οι φυσικές καταστροφές όπως η πτώση των δίδυμων πύργων στις Η.Π.Α. στις 11 Σεπτεμβρίου του 2001.

Για το κραχ του 1987 κατηγορήθηκαν κυρίως οι στρατηγικές που ακολουθούσαν οι ασφαλιστικές εταιρείες στα χαρτοφυλάκιά τους κι οι οποίες βασίζονταν σε δικαιώματα προαίρεσης (options). Ακολουθώντας τις ποικίλες μελέτες για το κραχ, οι ρυθμιστικές αρχές συνέστησαν πρόσθετα μέτρα για τη λειτουργία των αγορών μετοχών για να μετριαστεί ο μελλοντικός κίνδυνος. Το 1988 η Επιτροπή της Βασιλείας εισήγαγε μία νέα εποχή διεθνούς συνεργασίας στο πλαίσιο των διεθνών χρηματοοικονομικών ρυθμίσεων. Το ενδιαφέρον της Επιτροπής στράφηκε αμέσως στα παράγωγα, υποκινούμενο από την ανησυχία για την απήχηση και τη σταθερότητα του διεθνούς χρηματοοικονομικού συστήματος. Την ίδια χρονιά, το Εμπορικό Χρηματιστήριο του Σι-

κάγο (Chicago Mercantile Exchange) υιοθέτησε ένα σύστημα για τον καθημερινό προσδιορισμό απαιτήσεων περιθωρίου (margin requirements), το ονομαζόμενο Σύστημα Τυπικής Ανάλυσης Χαρτοφυλακίου (Standard Portfolio Analysis System-SPAN[®]), το οποίο στηρίζεται στο γνωστό τύπο stress test, την ανάλυση σεναρίων (scenario analysis). Από τότε το SPAN χρησιμοποιείται από πολλά χρηματιστήρια παραγώγων.

Τη δεκαετία του 1990 συνέβη μία σειρά από οικονομικές καταρρεύσεις εταιρειών, που συνδέονταν με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, με τη χρήση παραγώγων. Κάποιες από τις εταιρείες είναι γνωστές, όπως η Orange County, η Procter and Gamble, η Gibson Greetings και η Barings κι άλλες είναι λιγότερο γνωστές, όπως η Metallgesellschaft, η Sumitomo, η Daiwa Bank και η SK Securities. Καθώς λοιπόν λάμβαναν χώρα όλα αυτά, οι ρυθμιστικές αρχές πρότειναν τρόπους βελτίωσης των εσωτερικών ελέγχων κινδύνου. Σε όλες τις εκθέσεις και τους κανονισμούς, που επακολούθησαν, οι συστάσεις για καλύτερη πρακτική, συχνά περιλάμβαναν και μία αναφορά της σημασίας του ρόλου του stress testing στην αναγνώριση “κρυμμένων” κινδύνων. Οι συστάσεις αυτές ήταν που οδήγησαν το stress testing σε μία κυρίαρχη θέση μεταξύ των εργαλείων διοικητικής κινδύνου. Η Επιτροπή της Βασιλείας το 1996, όπως ήταν αναμενόμενο, κατέστησε το stress testing ως προαπαιτούμενο για τις τράπεζες κατά την εφαρμογή της προσέγγισης του κεφαλαίου για τον κίνδυνο της αγοράς από τα εσωτερικά μοντέλα, [2].

Όπως έχει αποδειχθεί μέχρι σήμερα, το stress testing, εάν χρησιμοποιηθεί από τους κατάλληλους ανθρώπους, μπορεί να βοηθήσει με ποικίλους τρόπους στη διαχείριση του κινδύνου. Ενδεικτικά, είναι χρήσιμο στην αναγνώριση των συνεπειών μεγάλων κινήσεων στην αγορά, αναγνωρίζει και ποσοτικοποιεί την έκθεση στη ρευστότητα, εξετάζει τις συνέπειες από τις αλλαγές στο volatility κι επισημαίνει αδυναμίες στον τρόπο που διαχειριστήκαμε τον κίνδυνο. Παράλληλα όμως υπάρχουν και κάποιες δυσκολίες κατά την εφαρμογή του. Γενικά, δεν είναι τόσο ευθύ όσο φαίνεται. Επιπλέον, τα stress tests στηρίζονται σε ένα μεγάλο αριθμό αποφάσεων για την επιλογή των σεναρίων και των παραγόντων κινδύνου (risk factors) που θα διαταραχθούν, για το πως οι παράγοντες αυτοί θα συνδυαστούν, για το εύρος των τιμών που θα ληφθεί υπόψη, για την επιλογή χρονικού ορίζοντα κι άλλα. Βασικό μειονέκτημα είναι και το ότι τα αποτελέσματα εξαρτώνται κάθε φορά από το σενάριο κι επομένως κατ’ επέκταση από την εμπειρία και τις γνώσεις των ανθρώπων, που διενεργούν τα stress tests. Ακόμη, ενδέχεται να είναι υπολογιστικά δαπανηρά

και να παρουσιάσουν υπολογιστικά προβλήματα. Τέλος, αντιμετωπίζεται πάντα η δυσκολία στο πώς θα κριθεί η σημασία των αποτελεσμάτων αφού τα stress tests δεν παρέχουν καμία ένδειξη πιθανότητας.

Το τελευταίο χρονικό διάστημα, όπως αναφέραμε, χαρακτηρίζεται από έντονες μεταβολές στην αγορά κι από μεγάλες απώλειες που υφίστανται τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα παγκοσμίως. Το μέγεθος και η διάρκεια της κρίσης οδήγησε πολλές τράπεζες και ρυθμιστικές αρχές να αναρωτηθούν κατά πόσο οι πρακτικές stress testing ήταν επαρκείς πριν την κρίση κι εάν ήταν ικανές να προσαρμοστούν στις ραγδαία μεταβαλλόμενες συνθήκες. Ιδιαίτερα, δεν ήταν μόνο η κρίση πιο σοβαρή από αυτό που είχαν δηλώσει οι τράπεζες ότι ανέμεναν βάσει των αποτελεσμάτων του stress testing, αλλά ήταν και οι αδυναμίες στις πρακτικές stress testing που αποκαλύφθηκαν από τις αντιδράσεις στα εξελισσόμενα γεγονότα. Παρόλο που η κρίση εξακολουθεί να μας ταλανίζει, οι τράπεζες και οι ρυθμιστές έχουν ήδη λάβει κάποια μαθήματα από το συμβάν αυτό που ανέκυψε και θα συνεχίσουν να μαθαίνουν κι άλλα στην πορεία. Όσο για την Επιτροπή της Βασιλείας συνεργάστηκε με τη βιομηχανία εξετάζοντας πρακτικές stress testing για την περίοδο αυτή και το αποτέλεσμα καταγράφεται στην εργασία με τίτλο “Principles for sound stress testing practices and supervision”, που εκδόθηκε από την Τράπεζα Διεθνών Διακανονισμών (Bank for International Settlements), το Μάιο του 2009, [12].

Υπό τις παρούσες συνθήκες, οι αδυναμίες στις πρακτικές stress testing που ήρθαν στο φως, ήταν αρκετές κι εντοπίζονται σε τέσσερις ευρύτερες περιοχές: στη χρήση του stress testing και στην ολοκλήρωση διαχείρισης του κινδύνου, στις μεθοδολογίες stress testing, στην επιλογή σεναρίων και στο stress testing για συγκεκριμένους κινδύνους και προϊόντα. Οι τράπεζες αναγνωρίζουν ότι το υπάρχον πλαίσιο πρέπει να βελτιωθεί τόσο ως προς την παρουσίαση του κινδύνου, όσο κι ως προς το εύρος των κινδύνων που θα λαμβάνονται υπόψη. Σε γενικές γραμμές θεωρούν, ότι η περαιτέρω βελτίωση που είναι αναγκαία θα περιλαμβάνει τα εξής σημεία: (i) διαρκή επιθεώρηση των σεναρίων κι εύρεση καινούριων, (ii) εξέταση νέων προϊόντων προκειμένου να ανακαλυφθούν ενδεχόμενοι κίνδυνοι, (iii) βελτίωση της αναγνώρισης και άθροισης των συσχετισμένων κινδύνων μεταξύ των βιβλίων καθώς και των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στον κίνδυνο της αγοράς, τον πιστωτικό και στον κίνδυνο ρευστότητας και (iv) εκτίμηση κατάλληλων χρονικών οριζόντων.

Λαμβάνοντας υπόψη το τι ισχύει μέχρι σήμερα, στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται κι ανα-

λύεται το θεωρητικό πλαίσιο των εννοιών *VaR*, *Backtesting* και *Stress Testing* καθώς και τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι κριτικές, που έχουν κατά καιρούς γίνει γύρω από τη χρηστικότητα και τα οφέλη τους. Στη συνέχεια, εκτελείται μία πρακτική εφαρμογή των εννοιών αυτών για τις τρεις σημαντικότερες και με μεγαλύτερη ρευστότητα ισοτιμίες στις διεθνείς χρηματαγορές. Οι ισοτιμίες είναι ευρώ/δολλάριο Η.Π.Α., ευρώ/γιεν Ιαπωνίας και ευρώ/λίρα Αγγλίας και εξετάζονται για τα τελευταία 10 χρόνια. Στο χρονικό διάστημα που μελετάμε, συμπεριλαμβάνεται και η περίοδος της κρίσης, που προαναφέραμε ότι διανύουμε έως τώρα. Έτσι, διαπιστώνουμε και στην πράξη τις επιρροές ενός ακραίου και σπάνιου γεγονότος η έκταση του οποίου πρώτα δεν αναμενόταν. Υπολογίζουμε το *VaR*, διενεργούμε *backtesting* κι έπειτα επιλέγουμε να εφαρμόσουμε μία από όλες τις μέχρι τώρα γνωστές μεθόδους *stress testing*. Στο τέλος παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα, που προκύπτουν μετά το πέρας όλης της διαδικασίας.

Κεφάλαιο 1

Εκτίμηση της Αξίας σε Κίνδυνο

Ένα σημαντικό εργαλείο της Διοικητικής Κινδύνου (*Risk Management*) συνιστά η Αξία σε Κίνδυνο, δηλαδή το *VaR* (*Value at Risk*). Οι τράπεζες και γενικότερα τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα είναι εκτεθειμένα σε διάφορα είδη κινδύνων, όπως ο κίνδυνος της αγοράς (*market risk*), ο πιστωτικός κίνδυνος (*credit risk*), ο λειτουργικός κίνδυνος (*operational risk*), ο κίνδυνος ρευστότητας (*liquidity risk*), ο νομικός κίνδυνος (*legal risk*) και ο κίνδυνος της φήμης (*reputational risk*). Το *VaR* χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο, για τη μέτρηση του κινδύνου της αγοράς (*market risk*), γιατί γι' αυτόν διαθέτουμε περισσότερα δεδομένα, γίνεται πιο εύκολα κατανοητός και η ιδέα εκτίμησής του εφαρμόζεται και στα άλλα είδη κινδύνου. Στο κεφάλαιο αυτό, ορίζεται κι αναλύεται διεξοδικά σε θεωρητική βάση η μεθοδολογία με την οποία εκτιμάται το *VaR*.

1.1 Αξία σε Κίνδυνο (*VaR*)

Με βάση το σύμφωνο της Επιτροπής της Βασιλείας για την εποπτεία των τραπεζών το *VaR* καθίσταται το σύννηθες εργαλείο για τη μέτρηση του κινδύνου της αγοράς και για την επίτευξη του εκτός δείγματος (*out-of-sample*) *backtesting* προκειμένου να προειδοποιηθεί η τράπεζα για τον κίνδυνό της. Το αποτέλεσμα αυτής της συμφωνίας είναι ότι τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα οφείλουν να αναφέρουν το *VaR* τους, το οποίο θα ορίζεται ως το δεσμευμένο ποσοστημόριο

(conditional quantile) με πιθανότητα κάλυψης (coverage probability) α της κατανομής των αποδόσεων του επενδυτικού τους χαρτοφυλακίου, [24].

Το VaR είναι ένα στατιστικό μέτρο κινδύνου που εκτιμά τη μέγιστη απώλεια, που είναι δυνατό να εμφανιστεί σε ένα χαρτοφυλάκιο για ένα συγκεκριμένο διάστημα εμπιστοσύνης. Συνοδεύεται πάντοτε από μία πιθανότητα, η οποία μας δείχνει πόσο πιθανό είναι οι απώλειες να είναι μικρότερες από το δεδομένο ποσό. Ουσιαστικά, είναι μία νομισματική ποσότητα, που ενδέχεται να χαθεί σε μία συγκεκριμένη προσδιορισμένη περίοδο. Η χρονική αυτή περίοδος εξαρτάται από την περίοδο που το χαρτοφυλάκιο θεωρείται σταθερό. Γενικά, ο επίσημος ορισμός του VaR είναι ο εξής:

Ως Αξία σε Κίνδυνο ορίζεται η μέγιστη χρηματική ποσότητα που μπορεί να χαθεί από ένα χαρτοφυλάκιο σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο και για ένα δεδομένο διάστημα εμπιστοσύνης.

Το VaR τυπικά υπολογίζεται για διάστημα μίας ημέρας, γνωστό ως “περίοδος διακράτησης” (“holding period”) και για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Το 95% διάστημα εμπιστοσύνης σημαίνει ότι υπάρχει (κατά μέσο όρο) 95% πιθανότητα η απώλεια του χαρτοφυλακίου να είναι μικρότερη από το υπολογισμένο VaR ή αλλιώς, ότι περίπου στο 5% των περιπτώσεων αναμένεται η επιχείρηση να χάσει περισσότερο από το ποσό που δίνει το VaR. Το 5% ισοδυναμεί με 1 στις 20 ημέρες. Συνεπώς, ο τυπικός ορισμός του VaR είναι ο ακόλουθος:

Η μέγιστη ποσότητα χρημάτων που μπορεί να χαθεί σε ένα χαρτοφυλάκιο εντός 24 ωρών με διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Η “holding period” συνιστά ένα από τα σημαντικά σημεία του ορισμού. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ισούται με μία ημέρα, που είναι και το πιο σύνηθες. Η περίοδος που διαλέγουμε κάθε φορά έχει σημαντική επίδραση στο VaR που υπολογίζουμε. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος τόσο μεγαλύτερο είναι το VaR, κάτι το οποίο είναι λογικό αν αναλογιστούμε ότι διαισθητικά θα περιμέναμε μεγαλύτερη αλλαγή στις τιμές σε περίοδο ενός μήνα, από ότι σε περίοδο 24 ωρών.

Ένα σημαντικό στοιχείο, που δεν είναι εμφανές στον ορισμό του VaR, είναι ότι κατά τον υπολογισμό του λαμβάνεται υπόψη η διασπορά του χαρτοφυλακίου. Ως γνωστό, ο κίνδυνος ενός

χαρτοφυλακίου μειώνεται αν επενδύσουμε σε έναν αριθμό περιουσιακών στοιχείων, αν δηλαδή το χαρτοφυλάκιο έχει διασπορά. Αυτό μας οδηγεί σε έναν από τους περιορισμούς του VaR που είναι, ότι ενώ μας ενημερώνει για το γεγονός ότι μία απώλεια μεγαλύτερη από το υπολογισμένο VaR, θα συμβεί κατά μέσο όρο σε 1 ημέρα στις 20 (όταν το VaR υπολογίζεται για 95% διάστημα εμπιστοσύνης), εντούτοις δε μας δίνει καμία πληροφορία για το πόσο μεγάλη θα είναι. Με άλλα λόγια, δε μας δείχνει ποια θα είναι η μέγιστη απώλεια του χαρτοφυλακίου μας. Για το λόγο αυτό χρειαζόμαστε την ανάπτυξη σεναρίων ακραίων καταστάσεων (stress testing) προκειμένου να πάρουμε απάντηση στο ερώτημά μας. Επομένως, το VaR καθίσταται ανεπαρκές να βοηθήσει μόνο του στην αποτελεσματική διοικητική του κινδύνου της αγοράς, [14].

Επιπρόσθετα, στο πλαίσιο κριτικής του VaR τονίζονται τα μειονεκτήματά του σε δύο επίπεδα. Από τη μία πλευρά αμφισβητήθηκε διότι παραβιάζονται βασικές στατιστικές υποθέσεις, καθώς δεν ήταν εφικτό να συλλάβουν πολλά από τα χαρακτηριστικά των χρηματαγορών. Επίσης, πολλοί ερευνητές έδειξαν ότι διαφορετικές τεχνικές διοικητικής κινδύνου παράγουν διαφορετικές προβλέψεις για το VaR κι επομένως αυτές οι εκτιμήσεις κινδύνου μπορεί να είναι ανακριβείς. Επιπλέον, στο σύννητες μέτρο VaR θεωρείται, ότι οι αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων είναι κανονικά κατανομημένες, ενώ είναι ευρέως γνωστό, ότι εμφανίζουν μη μηδενική ασυμμετρία και υπερβάλλουσα κυρτότητα. Άρα λοιπόν, το μέτρο VaR είτε υποτιμά είτε υπερεκτιμά τον πραγματικό κίνδυνο.

Από την άλλη, παρόλο που το VaR είναι χρήσιμο στα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα προκειμένου να κατανοήσουν τον κίνδυνο που αντιμετωπίζουν, πιστεύεται σε μεγάλο βαθμό, ότι δε συνιστά το καλύτερο μέτρο κινδύνου. Για παράδειγμα, ο Artzner κι άλλοι (1997, 1999, [6], [7]) έδειξαν ότι δεν έχει την ιδιότητα του sub-additivity, π.χ. το VaR ενός χαρτοφυλακίου μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των μεμονωμένων VaR.

Η ανάγκη λοιπόν για εξάλειψη των παραπάνω μειονεκτημάτων οδήγησε τον Delbaen (2002, [20]), τον Artzner κι άλλους (1997, [6]) να εισάγουν την έννοια της *Αναμενόμενης Απώλειας (Expected Shortfall-ES)* ως μέτρο κινδύνου, το οποίο ισούται με την αναμενόμενη αξία της απώλειας, δεδομένου ότι αυτή συνέβη και ξεπέρασε την τιμή του VaR. Επιπλέον, οι Basak και Shapiro (2001, [9]) πρότειναν μία εναλλακτική διαδικασία διοικητικής κινδύνου, που ονομάστηκε *Περιορισμένες Αναμενόμενες Απώλειες βασισμένες στη Διοικητική Κινδύνου (Limited Expected Losses)*

based Risk Management-LEL RM), η οποία εστιάζεται στην αναμενόμενη απώλεια αν και εφόσον αυτή συμβεί. Ταυτόχρονα απέδειξαν, ότι η προτεινόμενη αυτή διαδικασία παράγει απώλειες μικρότερες από αυτές που παράγουν οι τεχνικές διοικητικής κινδύνου που βασίζονται στο VaR, [3].

Πιο αναλυτικά, το Expected Shortfall (ES) ορίζεται ως

$$ES_t^p = E_{t-1}[R_t | R_t < -VaR_t^p]$$

όπου το αρνητικό πρόσημο μπροστά από το VaR είναι απαραίτητο, γιατί το VaR συνήθως ορίζεται ως θετικός αριθμός και R_t είναι οι αποδόσεις. Το σχήμα της ουράς μίας κατανομής είναι διδιάστατο και μας δίνει πληροφορίες για το εύρος των απωλειών στον άξονα x και τις αντίστοιχες πιθανότητες για κάθε απώλεια στον άξονα y. Το μέτρο κινδύνου Expected Shortfall “αθροίζει” αυτές τις δύο διαστάσεις σε ένα μόνο αριθμό υπολογίζοντας το μέσο των αποτελεσμάτων της ουράς, σταθμισμένο από τις αντίστοιχες πιθανότητες. Έτσι, αν για παράδειγμα το VaR μας δίνει την απώλεια η οποία μπορεί να ξεπεραστεί μόνο στο 1% των περιπτώσεων, το ES μας δίνει την αναμενόμενη απώλεια δεδομένου, ότι εμφανίζεται πράγματι απώλεια στο 1% της ουράς. Διαπιστώνουμε λοιπόν, ότι το ES μας ενημερώνει για το τι να περιμένουμε στις άσχημες περιπτώσεις, πόσο μεγάλη δηλαδή θα είναι η απώλεια, ενώ το VaR μας πληροφορεί μόνο, για το ότι θα πρέπει να αναμένουμε ότι θα υπάρξει απώλεια μεγαλύτερη από τον εαυτό του, χωρίς όμως να μας δίνει πόσο μεγάλη θα είναι αυτή. Επιπλέον, το ES έχει ισχύ σε γενικότερες συνθήκες από το VaR. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό, ότι το ES είναι πιο ελκυστικό και συνεπές μέτρο κινδύνου από το VaR. Ωστόσο, τα οφέλη στη διοικητική κινδύνου από τη χρήση του ES είναι ουσιαστικά, όταν η εκτίμηση που παρέχει είναι ακριβής. Σε κάποιες περιπτώσεις βέβαια, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο συνδυασμός των δύο αυτών μέτρων για να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα.

Τα είδη κινδύνου για την εκτίμηση των οποίων συνιστά πολύτιμο εργαλείο το VaR είναι ο κίνδυνος της αγοράς, ο πιστωτικός κίνδυνος και ο λειτουργικός κίνδυνος.

Ο κίνδυνος της αγοράς (*market risk*) είναι ο κίνδυνος της απώλειας που προκύπτει από τη μεταβολή στην αξία των διαπραγματευσιμων περιουσιακών στοιχείων. Παραδείγματος χάρη, έστω ότι μία τράπεζα έχει μία θέση ενός εκατομμυρίου ουγκιών χρυσού, τότε είναι εκτεθειμένη στον

κίνδυνο να μειωθεί η αξία του χρυσού. Υπάρχουν πολλά στοιχεία όπως τα επιτόκια, οι ισοτιμίες και οι μετοχές και μία σχεδόν άπειρη ποικιλία χρηματοοικονομικών προϊόντων, τα οποία προκαλούν έκθεση στον κίνδυνο της αγοράς.

Ο πιστωτικός κίνδυνος (*credit risk*) είναι ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος τον οποίο καλείται να αντιμετωπίσει μία τράπεζα όταν έχει συνάψει συμφωνία με μία εταιρεία η οποία στην πορεία χρεοκοπεί ή όταν σύμφωνα με την τάση της αγοράς η εταιρεία αυτή το πιο πιθανό είναι να χρεοκοπήσει. Ωστόσο, απώλειες ενδέχεται να εμφανιστούν πριν να συμβεί στην πράξη η χρεοκοπία. Γενικότερα, ο πιστωτικός κίνδυνος πηγάζει από το γεγονός, ότι οι αντισυμβαλλόμενοι μπορεί να μη θέλουν ή να μην είναι ικανοί να εκπληρώσουν τις προσυμφωνημένες υποχρεώσεις τους.

Ο λειτουργικός κίνδυνος (*operational risk*) προκαλείται από ανθρώπινα ή τεχνικά λάθη ή ατυχήματα όπως απάτη, ανεπαρκείς έλεγχοι, λανθασμένες διαδικασίες, απώλεια δεδομένων λόγω βλάβης στο λειτουργικό σύστημα κ.λπ.

1.2 Μοντέλα εκτίμησης VaR

Έστω, ότι p_t είναι η τιμή ενός στοιχείου του χαρτοφυλακίου μας (π.χ. μίας μετοχής, μίας συναλλαγματικής ισοτιμίας, ενός χρηματιστηριακού δείκτη τιμών, κ.λπ.) στο τέλος της ημέρας t και $y_t = \log \frac{p_t}{p_{t-1}}$ είναι οι ημερήσιες λογαριθμικές αποδόσεις (log-returns). Για θέσεις “long”, το εκτιμώμενο για την ημέρα $(t-1)$ ημερήσιο VaR_t με coverage probability $\alpha\%$ ορίζεται ως

$$Pr[y_t \leq -VaR_t(\alpha)] = \alpha \quad (1.1)$$

Επομένως, οι απώλειες αναμένεται να ξεπεράσουν το υπολογισμένο VaR μόνο στο $\alpha\%$ των περιπτώσεων.

Ακολούθως, περιγράφονται ξεκάθαρα τα παραμετρικά (*parametric models*) και τα μη παραμετρικά μοντέλα (*non-parametric models*), καθώς και η μέθοδος της Θεωρίας των Ακραίων Τιμών (*Extreme Value Theory-EVT*), που χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπολογιστεί το VaR.

1.2.1 Παραμετρικά Μοντέλα

Τα παραμετρικά μοντέλα διαφέρουν στον τρόπο, που η δεσμευμένη/μη δεσμευμένη μεταβλητότητα (conditional/unconditional volatility) και η κατανομή των αποδόσεων έχουν εκτιμηθεί και προσδιορισθεί αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι η διαδικασία, από την οποία παράγονται δεδομένα κάνοντας χρήση των λογαριθμικών αποδόσεων, περιγράφεται ως εξής:

$$\begin{aligned}y_t &= c + \varepsilon_t \\ \varepsilon_t &= z_t \sigma_t \\ z_t &\stackrel{i.i.d.}{\sim} f(E(z_t) = 0, V(z_t) = 1; \theta) \\ \sigma_t^2 &= g(I_{t-1}; w)\end{aligned}\tag{1.2}$$

όπου c είναι η σταθερή μέση απόδοση, ε_t ένας διαταρακτικός όρος με δεσμευμένη διασπορά που μεταβάλλεται με το χρόνο σ_t^2 , $f(\cdot)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της z_t , η οποία έχει αντίστοιχη συνάρτηση κατανομής την $F(\cdot)$, θ είναι ο παράγοντας των αγνώστων παραμέτρων των $f(\cdot)$, $g(\cdot)$, είναι θετικός, μεταβάλλεται με το χρόνο και είναι μετρήσιμη συνάρτηση του συνόλου πληροφοριών I_{t-1} που διατίθενται τη χρονική στιγμή $t - 1$ και w είναι ο παράγοντας των αγνώστων παραμέτρων για τη δεσμευμένη διασπορά. Για οποιαδήποτε δεδομένη ημέρα $t - 1$, το ημερήσιο παραμετρικό $VaR_t(\alpha)$ υπολογίζεται ως:

$$VaR_t(\alpha) = c + F_\alpha^{-1}(z_t; \theta) \sigma_t\tag{1.3}$$

όπου $F_\alpha^{-1}(z_t; \theta)$ είναι το α° ποσοστημόριο της υποτιθέμενης συνάρτησης κατανομής F και σ_t είναι η προβλεπόμενη τυπική απόκλιση για την ημέρα t , δεδομένων των εκτιμωμένων παραμέτρων θ και w για την ημέρα $t - 1$. Στην πράξη εύκολα προκύπτει, ότι $c = 0$ για τις ημερήσιες αποδόσεις, κάτι το οποίο είναι λογικό για τον ημερήσιο ορίζοντα. Συνεπώς, για να υπολογίσουμε το VaR πρέπει να εκτιμηθεί η τυπική απόκλιση και να επιλεγεί η F .

Μοντέλα Κινούμενου Μέσου & Εκθετικού Σταθμισμένου Κινούμενου Μέσου (Moving Average & Exponential Weighted Moving Average Models)

Η απλούστερη εκτιμήτρια αντιστοιχεί στην περίπτωση που οι αποδόσεις είναι ανεξάρτητες και ταυτόνομες (iid) κι έτσι παίρνουμε την $\sigma_t = \sigma$, όπου σ είναι η αδέσμευτη τυπική απόκλιση, να εκτιμηθεί ως κινούμενος μέσος (*Moving Average-MA*). Η δεύτερη εκτιμήτρια είναι το μοντέλο του *Εκθετικού Σταθμισμένου Κινούμενου Μέσου (Exponential Weighted Moving Average-EWMA)*, που έχει χρησιμοποιηθεί από την *RiskMetricsTM*, π.χ.

$$\sigma_t^2 = (1 - \lambda)\varepsilon_{t-1}^2 + \lambda\sigma_{t-1}^2 \quad (1.4)$$

όπου $\lambda = 0.94$. Τα MA και EWMA μοντέλα χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί το VaR υποθέτοντας ότι η $f(\cdot)$ είναι η κανονική αδέσμευτη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.

GARCH, EGARCH, APARCH Μοντέλα

Ένα άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι το *GARCH(p,q)*, το οποίο προτάθηκε από τον Bollerslev το 1986, [15], όπου

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p b_i \sigma_{t-i}^2 \quad (1.5)$$

και $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$ για $i = 1, \dots, q$ και $b_i \geq 0$ για $i = 1, \dots, p$. Το *GARCH(p,q)* περιέχει το μοντέλο *ARCH(q)* του Engle, [23], (1982), στην περίπτωση που $p = 0$ και το μοντέλο EWMA, στην περίπτωση που $q = p = 1$, $\alpha_0 = 0$, $\alpha_1 = 0.06$ και $b_1 = 0.94$.

Προκειμένου να συλλάβουμε την ισχύ της παρουσίας του παράγοντα μόχλευσης (leverage effect) στα στοιχεία του εκάστοτε χαρτοφυλακίου που μελετάμε, λαμβάνουμε υπόψη μας δύο επιπλέον εκτιμήτριες. Το εκθετικό μοντέλο *GARCH (Exponential GARCH-EGARCH)* που εισήγαγε

ο Nelson, [30], (1991) και το ασύμμετρης δύναμης ARCH μοντέλο (*asymmetric power ARCH-APARCH*) που εισήγαγε ο Ding, [21], (1993). Το EGARCH(p,q) μοντέλο περιγράφεται ως εξής:

$$\log(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \left(\alpha_i \left| \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}} \right| + \gamma_i \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}} \right) + \sum_{i=1}^p (b_i \log(\sigma_{t-i}^2)) \quad (1.6)$$

όπου το γ_i περιλαμβάνει τον παράγοντα ασυμμετρίας.

Το μοντέλο APARCH(p,q) περιγράφεται ως:

$$\sigma_t^\delta = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i (|\varepsilon_{t-i}| - \gamma_i \varepsilon_{t-i})^\delta + \sum_{i=1}^p b_i \sigma_{t-i}^\delta \quad (1.7)$$

όπου $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$, $-1 < \gamma_i < 1$, $b_i > 0$ και $\delta > 0$.

Το μοντέλο APARCH εμπεριέχει τα περισσότερα από τα μοντέλα που έχουμε παρουσιάσει μέχρι τώρα. Για παράδειγμα, αν $\delta = 2$ και $\gamma_i = 0$ η σχέση (1.7) είναι ισοδύναμη με το μοντέλο GARCH.

Για να υπολογίσουμε το VaR, καθένα από τα μοντέλα GARCH, EGARCH και APARCH εκτιμάται ξεχωριστά για τρεις εναλλακτικές δεσμευμένες συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των αποδόσεων: την κανονική κατανομή (standard normal)¹, τη Student's-t² και τη Γενικευμένη Κατανομή Σφάλματος (Generalized Error Distribution-GED).³ Οι δύο τελευταίες συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας χρησιμεύουν στο να λάβουμε υπόψη μας εκείνα τα χαρακτηριστικά των κατανομών των στοιχείων του χαρτοφυλακίου μας, που διαφέρουν από την κανονική κατανομή.⁴ Μία Student's-t κατανομή $f(z_t; \nu)$ με $\nu > 2$ βαθμούς ελευθερίας δίνεται από τη σχέση:

$$f(z_t; \nu) = \frac{\Gamma((\nu + 1)/2)}{\Gamma(\nu/2) \sqrt{\pi(\nu - 2)}} \left(1 + \frac{z_t^2}{\nu - 2} \right)^{-\frac{\nu+1}{2}} \quad (1.8)$$

¹Πιο αναλυτική παρουσίαση γίνεται από τον Engle, [23], 1982.

²Περισσότερα υπάρχουν π.χ. στον Bollerslev, [16], 1987.

³Για περισσότερες πληροφορίες μπορεί κάποιος να ανατρέξει στον Nelson, [30], 1991.

⁴Ένας risk manager θα χρησιμοποιούσε λεπτόκυρτες κατανομές προκειμένου να συμπεριλάβει τα ακραία γεγονότα.

όπου $\Gamma(\cdot)$ είναι η συνάρτηση Γάμμα και z_t τυχαία μεταβλητή με μέσο 0 και τυπική απόκλιση 1. Το χαρακτηριστικό σημείο της Student's-t κατανομής είναι ότι η τυχαία μεταβλητή z υψώνεται σε δύναμη και δεν είναι εκθετική όπως στην κανονική κατανομή. Αυτό καθιστά δυνατή την ύπαρξη παχύτερων ουρών από αυτές τις κανονικής κατανομής, π.χ. υψηλότερες τιμές της $f(\cdot)$ όταν η z είναι μακριά από το 0.

Η κατανομή είναι συμμετρική γύρω από το 0 κι ο μέσος, η διασπορά, η ασυμμετρία (skewness) και η υπερβάλλουσα κύρτωση (excess kurtosis) της κατανομής είναι:

$$\mu = 0$$

$$\sigma^2 = 1$$

$$\gamma_1 \equiv E(z^3)/\sigma^3 = 0$$

$$\gamma_2 \equiv E(z^4)/\sigma^4 - 3 = 6/(\nu - 4).$$

Ας σημειωθεί, ότι το ν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 4 ώστε να ορίζεται καλά η κύρτωση. Επίσης, για μεγάλες τιμές του ν η κατανομή θα έχει excess kurtosis ίσο με 0 κι αποδεικνύεται ότι συγκλίνει στην κανονική κατανομή καθώς το ν τείνει στο άπειρο.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(z_t; \nu, \lambda)$ της κατανομής GED δίνεται από τη σχέση:

$$f(z_t; \nu, \lambda) = \frac{\nu \exp(-0.5 |z_t/\lambda|^\nu)}{\lambda 2^{(1+1/\nu)} \Gamma(\nu^{-1})} \quad (1.9)$$

όπου οι παράμετροι $\lambda \equiv \sqrt{2^{-2/\nu} \Gamma(\nu^{-1}) \Gamma(3\nu^{-1})}$ και $\nu > 0$ ελέγχουν το πάχος των ουρών.

Η κατανομή GED είναι πιο ευέλικτη από τη Student's-t⁵, αφού μπορεί να συμπεριλάβει αμφότερα κατανομές με λεπτές και με παχιές ουρές.

⁵Εκτενής ανάλυση γύρω από τα διάφορα μοντέλα μεταβλητότητας (volatility models) και τις υποθέσεις γύρω από τις κατανομές, γίνεται από τους Αγγελίδη και Δεγιαννάκη, [4], 2007.

Μέθοδος Variance-Covariance

Η παραμετρική ή αναλυτική μέθοδος *Variance-Covariance* συνιστά την πιο δημοφιλή τεχνική εκτίμησης του VaR κι είναι αλλιώς γνωστή ως μέθοδος συσχέτισης (correlation method). Υποθέτει ότι οι αποδόσεις είναι κανονικά κατανομημένες, οι συσχετίσεις μεταξύ των παραγόντων κινδύνου είναι σταθερές και το δέλτα (ή η ευαισθησία των τιμών σε αλλαγές των παραγόντων κινδύνου) κάθε χαρτοφυλακίου είναι σταθερό. Κάνοντας χρήση της μεθόδου αυτής, η μεταβλητότητα (volatility) κάθε παράγοντα κινδύνου εξάγεται από την περίοδο των ιστορικών παρατηρήσεων. Συνεπώς, λαμβάνονται υπόψη τα ιστορικά δεδομένα των αποδόσεων. Η πιθανή επίδραση κάθε στοιχείου του χαρτοφυλακίου στην αξία του συνολικού χαρτοφυλακίου προκύπτει από το δέλτα του στοιχείου (σε σχέση με τον εκάστοτε παράγοντα κινδύνου) και το volatility του συγκεκριμένου παράγοντα κινδύνου, [17]. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλότητά της και το μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι η υπόθεση της κανονικής κατανομής για τις αποδόσεις ενδέχεται να μην είναι ρεαλιστική.

1.2.2 Ιστορική Προσομοίωση & Άλλες Μέθοδοι

Η απλούστερη μέθοδος, που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το VaR, είναι η μη παραμετρική μέθοδος της *Ιστορικής Προσομοίωσης* (*Historical Simulation-HS*). Το μοντέλο σε αυτή την περίπτωση υπολογίζει τις πιθανές απώλειες με τη βοήθεια πραγματικών ιστορικών αποδόσεων. Με βάση την Ιστορική Προσομοίωση, το VaR ισούται με το αντίστοιχο ποσοστημόριο των T παρελθοντικών αποδόσεων, π.χ.:

$$VaR_t = F_a^{-1}(\{y_i\}_{i=t-1-T}^{t-1}) \quad (1.10)$$

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη κυρίως για μη κανονικές κατανομές και συνεπώς αιτιολογεί την ύπαρξη παχίων ουρών κι ασυμμετρίας. Επίσης, αντίθετα με άλλες μεθόδους, δεν είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του πίνακα συνδιακύμανσης (covariance matrix). Το γεγονός αυτό, απλοποιεί τους υπολογισμούς σε περιπτώσεις χαρτοφυλακίων με μεγάλο αριθμό στοιχείων και

δείγματα μικρής χρονικής περιόδου. Το μόνο που χρειάζεται είναι η χρονοσειρά των αποδόσεων του συνολικού χαρτοφυλακίου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι, ότι δε στηρίζεται σε κάποιο συγκεκριμένο παραμετρικό μοντέλο, όπως το GARCH(1,1) για τη μεταβλητότητα (volatility) και την κανονική κατανομή για τις τυποποιημένες αποδόσεις (standardized returns), είναι όπως λέγεται “model free”.

Πέρα όμως από τη χρησιμότητά της παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Κατ’ αρχήν, θεωρεί ως δεδομένο ότι διαθέτουμε επαρκή ιστορικά δεδομένα για τις μεταβολές των τιμών. Για παράδειγμα, για να έχουμε 1000 ανεξάρτητες προσομοιώσεις, παίρνοντας ημερήσιες τιμές, χρειαζόμαστε δεδομένα 4 συνεχόμενων ετών, κάτι το οποίο δεν είναι πάντοτε εφικτό, καθώς μπορεί να μη διαθέτουμε τιμές για όλα τα έτη ή για κάποιο στοιχείο μπορεί να μην έχουμε καθόλου ιστορικά δεδομένα. Δεύτερον, υποθέτει ότι το παρελθόν αναπαριστά το κοντινό μέλλον επαρκώς. Έτσι, αν παραλειφθούν σημαντικά γεγονότα, οι ουρές δε θα παρουσιαστούν σωστά και το ανάποδο. Το δείγμα μπορεί να περιλαμβάνει γεγονότα, που μπορεί να μην ξαναεμφανιστούν στο μέλλον. Ακόμη, είναι πολύ αργή στο να ενσωματώσει κάποιες αλλαγές (“breaks”) που εμφανίζονται στη δομή, οι οποίες ελέγχονται καλύτερα από αναλυτικές μεθόδους, όπως της RiskMetrics.

Μία άλλη σημαντική μέθοδος είναι η *Φιλτραρισμένη Ιστορική Προσομοίωση (Filtered Historical Simulation-FHS)*, η οποία προτάθηκε από τους Barone-Adesi, [8], (1999). Αποτελεί ένα συνδυασμό μη-παραμετρικής ιστορικής προσομοίωσης κι ενός παραμετρικού μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, το VaR υπολογίζεται ως

$$VaR_t = F_a^{-1}(\{z_{t-i}\}_{i=t-1-T}^{t-1}; \theta) \sigma_t \quad (1.11)$$

όπου $z_{t-i} = \varepsilon_{t-i} / \sigma_{t-i}$ είναι τα τυποποιημένα κατάλοιπα (standardized residuals). Είναι πιθανό να βελτιώσει τις εκτιμήσεις για το VaR, αφού περιλαμβάνει τα κύρια χαρακτηριστικά της εμπειρικής κατανομής (μη-μηδενική ασυμμετρία, παχιές ουρές και συσσωρεύσεις μεταβλητότητας (volatility clustering)).⁶

⁶Περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στο βιβλίο του Christoffersen, [18].

Τέλος, μία αξιοσημείωτη μέθοδος, που εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό, είναι η *Monte Carlo Μέθοδος Προσομοίωσης* (*Monte Carlo Simulation Method*) η οποία είναι πιο ευέλικτη από τις δύο προηγούμενες. Όπως και η Ιστορική Προσομοίωση, επιτρέπει στον risk manager να χρησιμοποιήσει πραγματικές ιστορικές κατανομές κι έτσι δεν αναγκάζεται να υποθέσει, ότι οι αποδόσεις ακολουθούν την κανονική κατανομή. Στη συνέχεια, ένας μεγάλος αριθμός τυχαία παραγομένων προσομοιώσεων “τρέχει” για το προσεχές χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας εκτιμήσεις για τη μεταβλητότητα (volatility) και τη συσχέτιση (correlation), που έχουν επιλεγεί από τον εκάστοτε risk manager. Κάθε μία από αυτές τις προσομοιώσεις θα είναι διαφορετική, αλλά στο σύνολό τους θα αθροίζουν στις επιλεγμένες στατιστικές παραμέτρους (π.χ. ιστορικές κατανομές, μεταβλητότητα κι εκτιμήσεις για τη συσχέτιση). Έχει διαπιστωθεί, ότι η προσομοίωση Monte Carlo συνιστά μία πιο ρεαλιστική μέθοδο κι επομένως καθίσταται πιθανότερο να εκτιμήσει το VaR με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ωστόσο, η εκτέλεσή της απαιτεί υπολογιστές με μεγάλες δυνατότητες και μέχρι να ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα. Εκτενέστερη ανάλυση για τη μέθοδο αυτή, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, υπάρχει στα βιβλία “Value At Risk” του Philippe Jorion και “An Introduction to Value-at-Risk” του Moorad Choudhry, [28], [17].

1.2.3 Θεωρία Ακραίων Τιμών

Η Θεωρία Ακραίων Τιμών (*Extreme Value Theory-EVT*) λαμβάνει υπόψη μόνο τις πιο ακραίες παρατηρήσεις για τις οποίες ενδιαφέρονται περισσότερο οι risk managers. Στην περίπτωση, που η κατανομή των αποδόσεων έχει παχιές ουρές, το VaR υπολογίζεται βασιζόμενο στην EVT μέθοδο από τον τύπο:

$$VaR_t(\alpha) = \sigma_t u \left(\frac{\alpha}{T_u/T} \right)^{-\tau} \quad (1.12)$$

όπου T_u είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων πέρα από ένα “κατώφλι” (threshold) u το οποίο έχουμε υποθέσει ότι είναι ίσο με 5% του συνολικού μεγέθους T του δείγματος και τ είναι η εκτιμήτρια Hill της ουράς, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$\tau = \frac{1}{T_u} \sum_{i=1}^{T_u} \ln(y_i/u). \quad (1.13)$$

Λεπτομερής περιγραφή της μεθόδου EVT γίνεται από τους McNeil και Frey, [29] κι από τον Christoffersen, [18].

Κεφάλαιο 2

Εκ των υστέρων έλεγχος (Backtesting)

Τα μοντέλα εκτίμησης του VaR είναι χρήσιμα εφόσον είναι ικανά να προβλέψουν τον κίνδυνο σε μεγάλο βαθμό και μέσα σε λογικά πλαίσια. Για το λόγο αυτό, η εφαρμογή τους πρέπει πάντοτε να συνοδεύεται από μία αξιολόγηση. Η αξιολόγηση είναι μία γενική διαδικασία ελέγχου για το αν ένα μοντέλο είναι κατάλληλο ή όχι. Μία τέτοια διαδικασία είναι ο εκ των υστέρων έλεγχος, δηλαδή το *backtesting*. Ουσιαστικά, ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστεί η σύγκριση των προβλέψεων του κάθε μοντέλου για το VaR, με την απόδοση που έχει το χαρτοφυλάκιο τελικά στην πράξη καθώς και διάφορες τεχνικές προκειμένου να επιτευχθεί αυτό.

2.1 Backtesting για τα μοντέλα εκτίμησης του VaR

Γνωρίζουμε ότι ισχύει, πως το μέτρο VaR_{t+1}^p δηλώνει ότι η πραγματική απόδοση θα είναι χειρότερη από την εκτίμηση VaR_{t+1}^p μόνο κατά ένα $p * 100\%$ των περιπτώσεων. Αν παρατηρήσουμε μία χρονοσειρά παρελθοντικών προβλέψεων για το VaR και των αντίστοιχων πραγματικών παρελθοντικών αποδόσεων, μπορούμε να ορίσουμε την ακολουθία (“hit sequence”) των παραβιάσεων (violations) του VaR ως εξής:

$$I_{t+1} = \begin{cases} 1, & \text{αν } R_{PF,t+1} < -VaR_{t+1}^p \\ 0, & \text{αν } R_{PF,t+1} > -VaR_{t+1}^p \end{cases} \quad (2.1)$$

Το 1 εμφανίζεται στην ακολουθία την ημέρα $t+1$ αν η απώλεια εκείνη την ημέρα ήταν μεγαλύτερη από το VaR που είχε προβλεφθεί. Αντίθετα, αν το VaR δεν έχει ξεπεραστεί τότε η ακολουθία μας δίνει 0. Όταν κάνουμε λοιπόν backtesting σε ένα μοντέλο κινδύνου, κατασκευάζουμε μία αντίστοιχη ακολουθία $\{I_{t+1}\}_{t=1}^T$ για T ημέρες αναφέροντας πότε οι απώλειες ξεπέρασαν τις προβλέψεις του VaR.

2.1.1 Η Μηδενική Υπόθεση

Έστω, ότι έχουμε επιλέξει να εργαστούμε με το καλύτερο μοντέλο για την εκτίμηση του VaR. Τότε, χρησιμοποιώντας όλες τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες σε εμάς κατά τη στιγμή που γίνεται η εκτίμησή του, δε θα πρέπει να είμαστε ικανοί να προβλέψουμε πότε θα παραβιαστεί. Η πρόβλεψή μας για μία παραβίαση του VaR, θα είναι απλά το ποσοστό $100 * p\%$ κάθε ημέρα. Αν μπορούσαμε να προβλέψουμε τις παραβιάσεις, τότε οι πληροφορίες αυτές θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να κατασκευαστεί ένα καλύτερο μοντέλο κινδύνου. Με άλλα λόγια, η ακολουθία (hit sequence) των παραβιάσεων θα πρέπει να είναι εντελώς απρόβλεπτη και συνεπώς κατανομημένη ανεξάρτητα στο χρόνο ως μία τυχαία μεταβλητή Bernoulli. Έτσι παίρνουμε

$$H_0 : I_{t+1} \sim i.i.d. \text{ Bernoulli}(p)$$

Εάν το p αντιστοιχεί στο μισό, τότε η i.i.d. κατανομή Bernoulli περιγράφει την κατανομή, που προκύπτει από τις ρίψεις ενός αμερόληπτου νομίσματος, όταν δηλαδή έχουμε τα ισοπίθανα ενδεχόμενα να εμφανιστεί είτε “κορώνα” είτε “γράμματα”. Η κατανομή Bernoulli γράφεται

$$f(I_{t+1}; p) = (1 - p)^{1-I_{t+1}} p^{I_{t+1}} \quad (2.2)$$

Όταν κάνουμε backtesting σε διάφορα μοντέλα κινδύνου, το p δε θα αντιστοιχεί στο μισό, αλλά θα είναι της τάξης του 0.01 ή του 0.05 ανάλογα με το πεδίο κάλυψης (coverage rate) του VaR. Η ακολουθία επιτυχιών λοιπόν, από ένα σωστά ορισμένο μοντέλο κινδύνου, θα πρέπει να μοιάζει

με την ακολουθία τυχαίων ρίψεων ενός νομίσματος που δείχνει π.χ. “κορώνα” το 1% ή το 5% των φορών, ανάλογα με το πεδίο κάλυψης του VaR.

2.1.2 Unconditional Coverage Testing

Αρχικά θέλουμε να εξετάσουμε αν το κλάσμα των παραβιάσεων που λαμβάνουμε από ένα μοντέλο κινδύνου, το οποίο το ονομάζουμε π , είναι ουσιαστικά διαφορετικό από το κλάσμα p που αναμένουμε. Η μελέτη αυτή καλείται *unconditional coverage hypothesis*. Προκειμένου να το ερευνήσουμε γράφουμε την πιθανοφάνεια μιας i.i.d. Bernoulli(π) ακολουθίας επιτυχιών ως εξής

$$L(\pi) = \prod_{t=1}^T (1 - \pi)^{1-I_{t+1}} \pi^{I_{t+1}} = (1 - \pi)^{T_0} \pi^{T_1} \quad (2.3)$$

όπου T_0 και T_1 είναι οι αριθμοί 0 και 1 στο δείγμα. Εύκολα μπορούμε να εκτιμήσουμε το π από τη σχέση $\hat{\pi} = T_1/T$, η οποία μας δίνει το κλάσμα που παρατηρήσαμε από τις παραβιάσεις στην ακολουθία. Μεταφέροντας τις ML εκτιμήσεις στην προηγούμενη συνάρτηση πιθανοφάνειας, καταλήγουμε στη βέλτιστη πιθανοφάνεια που είναι

$$L(\hat{\pi}) = (1 - T_1/T)^{T_0} (T_1/T)^{T_1}. \quad (2.4)$$

Υπό την unconditional coverage μηδενική υπόθεση ότι $\pi = p$, όπου p είναι το γνωστό πεδίο κάλυψης του VaR, έχουμε την πιθανοφάνεια

$$L(p) = \prod_{t=1}^T (1 - p)^{1-I_{t+1}} p^{I_{t+1}} = (1 - p)^{T_0} p^{T_1} \quad (2.5)$$

και μπορούμε να ελέγξουμε την unconditional coverage υπόθεση χρησιμοποιώντας ένα λόγο ελέγχου πιθανοφάνειας που είναι ο ακόλουθος

$$LR_{uc} = -2\ln[L(p)/L(\hat{\pi})]. \quad (2.6)$$

Ασυμπτωτικά έχουμε, ότι καθώς ο αριθμός των παρατηρήσεων, T , τείνει στο άπειρο, ο έλεγχος (test) θα ακολουθεί μία κατανομή χ^2 με 1 βαθμό ελευθερίας. Αντικαθιστώντας στις συναρτήσεις πιθανοφάνειας προκύπτει η σχέση

$$LR_{uc} = -2\ln \left[(1-p)^{T_0} p^{T_1} / \left\{ (1-T_1/T)^{T_0} (T_1/T)^{T_1} \right\} \right] \sim \chi_1^2. \quad (2.7)$$

Έστω, ότι επιλέγουμε για επίπεδο σημαντικότητας το 10% για τον έλεγχο, τότε από την κατανομή χ_1^2 θα έχουμε την κριτική τιμή (critical value) 2.7055. Αν η τιμή του ελέγχου LR_{uc} είναι μεγαλύτερη από την τιμή 2.7055, τότε απορρίπτουμε το μοντέλο εκτίμησης του VaR για επίπεδο εμπιστοσύνης 10%. Εναλλακτικά, μπορούμε να υπολογίσουμε το P-value, που σχετίζεται με το test statistic μας. Το P-value ορίζεται ως η πιθανότητα να πάρουμε ένα δείγμα, το οποίο συμμορφώνεται ακόμα λιγότερο στη μηδενική υπόθεση, από ότι το δείγμα που πήραμε στην πράξη, θεωρώντας ότι η μηδενική υπόθεση ισχύει. Σε αυτή την περίπτωση, το P-value υπολογίζεται ως

$$\text{P-value} \equiv 1 - F_{\chi_1^2}(LR_{uc}) \quad (2.8)$$

όπου το $F_{\chi_1^2}(\ast)$ δηλώνει την αθροιστική συνάρτηση κατανομής μίας μεταβλητής χ^2 με ένα βαθμό ελευθερίας. Αν το P-value είναι κάτω από το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης, τότε απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση. Εάν παραδείγματος χάρη, από τον έλεγχο μας προκύψει η τιμή 3.5, τότε το αντίστοιχο P-value είναι

$$\text{P-value} = 1 - F_{\chi_1^2}(3.5) = 1 - 0.9386 = 0.0614. \quad (2.9)$$

Αν είχαμε επίπεδο εμπιστοσύνης 10% τότε θα απορρίπταμε τη μηδενική υπόθεση, ενώ αν το επίπεδο εμπιστοσύνης μας ήταν μόνο 5%, τότε δε θα απορρίπταμε τη μηδενική υπόθεση ότι το μοντέλο κινδύνου είναι σωστό κατά μέσο όρο.

Η επιλογή του επιπέδου σημαντικότητας αντιστοιχεί στην αξιολόγηση του κόστους δύο τύπων λάθους. Ο πρώτος τύπος είναι να απορρίψουμε ένα σωστό μοντέλο (Type I Error) κι ο δεύτερος να αποτύχουμε να απορρίψουμε, δηλαδή να δεχτούμε, ένα λάθος μοντελο (Type II Error). Αυξά-

νοντας το επίπεδο σημαντικότητας, οδηγούμαστε σε μεγαλύτερα λάθη τύπου I αλλά σε μικρότερα τύπου II και το ανάποδο. Συνήθως, στις ακαδημαϊκές εργασίες, χρησιμοποιούνται τα διαστήματα εμπιστοσύνης 1%, 5% ή 10%. Στο risk management τα σφάλματα τύπου II μπορεί να είναι πολύ δαπανηρά κι έτσι ένα επίπεδο σημαντικότητας 10% μπορεί να είναι κατάλληλο.

Συχνά, δε διαθέτουμε μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων για το backtesting, οπότε λογικά δεν έχουμε ούτε μεγάλο αριθμό παραβιάσεων (violations), T_1 , που είναι οι πληροφοριακές παρατηρήσεις. Επομένως, πολλές φορές είναι προτιμότερο να βασιστούμε στα προσομοιωμένα P-values που προκύπτουν από το Monte Carlo simulation, παρά σε αυτά που προκύπτουν από την κατανομή χ^2 . Τα προσομοιωμένα P-values για την τιμή ενός συγκεκριμένου ελέγχου, μπορούν να υπολογιστούν παράγοντας 999 δείγματα τυχαίων, ανεξάρτητων και ισόνομων μεταβλητών Bernoulli(p), όπου το μέγεθος του δείγματος ισούται με το πραγματικό μέγεθος του δείγματος. Δεδομένων αυτών των τεχνητών δειγμάτων, μπορούμε να υπολογίσουμε 999 προσομοιωμένα test statistics, που τα καλούμε $\{\widetilde{LR}_{uc}(i)\}_{i=1}^{999}$. Στη συνέχεια, τα προσομοιωμένα P-values υπολογίζονται ως το μέρος των προσομοιωμένων τιμών των LR_{uc} , που είναι μεγαλύτερο από τις πραγματικές τιμές των LR_{uc} ελέγχων. Έτσι, γράφουμε

$$P\text{-value} = \frac{1}{1000} \left\{ 1 + \sum_{i=1}^{999} \mathbf{1} \left(\widetilde{LR}_{uc}(i) > LR_{uc} \right) \right\} \quad (2.10)$$

όπου το $\mathbf{1}(\ast)$ παίρνει την τιμή 1 αν ο ισχυρισμός είναι αληθής και 0 αν δεν είναι.

Είναι λοιπόν αντιληπτό, ότι προκειμένου να είμαστε ικανοί να πάρουμε αποτελέσματα από αυτούς τους ελέγχους, θα πρέπει σε πρώτη φάση να έχουμε δείγματα, στα οποία θα υπάρχουν στην πράξη παραβιάσεις του VaR. Με άλλα λόγια, χρειαζόμαστε hit sequences που θα έχουν κάποια 1. Αν για παράδειγμα, απορρίψουμε προσομοιωμένα δείγματα που εμφανίζουν μία ή καμία παραβίαση του VaR, πριν να διενεργήσουμε τον έλεγχο, τότε είναι πιθανό να καταστήσουμε το τεστ υπό τη δέσμευση, ότι παρατηρούμε από δύο παραβιάσεις και πάνω.

2.1.3 Independence Testing

Ας φανταστούμε, ότι όλες οι παραβιάσεις του VaR ή “hits” σε ένα δείγμα συμβαίνουν περίπου την ίδια χρονική στιγμή. Τότε δε θα ήμασταν ευχαριστημένοι από ένα VaR με μία σωστή μέση κάλυψη. Λόγου χάρη, αν ένα 5% VaR έδωσε ακριβώς 5% παραβιάσεις, αλλά όλες αυτές συνέβησαν σε διάστημα 3 εβδομάδων, τότε ο κίνδυνος της χρεοκοπίας είναι μεγαλύτερος από ότι αν οι παραβιάσεις ήταν τυχαία διασπαρμένες στο χρόνο. Συνεπώς, θα επιθυμούσαμε να απορρίψουμε μοντέλα εκτίμησης του VaR, που συνεπάγονται παραβιάσεις που συμβαίνουν σε κοντινά χρονικά διαστήματα (clustered). Clustering μπορεί εύκολα να συμβεί σε VaR που προκύπτουν από τη μέθοδο της Ιστορικής Προσομοίωσης (Historical Simulation), αν η απόδοση του χαρτοφυλακίου έχει clustered variance, κάτι το οποίο είναι συνηθισμένο στις αποδόσεις περιουσιακών στοιχείων.

Αν οι παραβιάσεις του VaR συμβαίνουν σε κοντινά χρονικά διαστήματα (clustered), τότε ο risk manager μπορεί ουσιαστικά να προβλέψει, ότι εάν σήμερα συμβαίνει μία παραβίαση, τότε αύριο είναι παραπάνω από $p * 100\%$ πιθανό να συμβεί επίσης μία παραβίαση. Είναι εμφανές, ότι κάτι τέτοιο δεν είναι ικανοποιητικό. Σε μία τέτοια κατάσταση, ο risk manager θα πρέπει να αυξήσει το VaR ώστε να μειώσει την υπό συνθήκη πιθανότητα (conditional probability) μίας παραβίασης, στο p που είχε “υποσχεθεί”.

Στόχος, είναι να ανατύξουμε έναν έλεγχο που θα μπορεί να απορρίψει τα μοντέλα εκτίμησης VaR που εμφανίζουν παραβιάσεις σε κοντινά χρονικά διαστήματα. Ας υποθέσουμε λοιπόν, ότι η ακολουθία επιτυχιών (hit sequence) είναι χρονικά εξαρτημένη και μπορεί να περιγραφεί από την καλούμενη πρώτης τάξης ακολουθία Markov (first-order Markov sequence) με πίνακα μετάβασης πιθανοτήτων

$$\Pi_1 = \begin{bmatrix} 1 - \pi_{01} & \pi_{01} \\ 1 - \pi_{11} & \pi_{11} \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

Οι παραπάνω πιθανότητες μετάβασης δηλώνουν, ότι δεδομένου ότι σήμερα δεν υπάρχει παραβίαση του VaR (δηλαδή $I_t = 0$), τότε η πιθανότητα να συμβεί αύριο μία παραβίαση (δηλαδή $I_{t+1} = 1$) είναι π_{01} . Η πιθανότητα δε, να υπάρξει αύριο μία παραβίαση δεδομένου ότι και σήμερα έχουμε παραβίαση είναι

$$\pi_{11} = Pr(I_t = 1 \text{ και } I_{t+1} = 1). \quad (2.12)$$

Η πρώτης τάξης Μαρκοβιανή αλυσίδα στηρίζεται στην υπόθεση, ότι μόνο το αποτέλεσμα της σημερινής ημέρας χρειάζεται για να βρούμε το αυριανό αποτέλεσμα. Καθώς μόνο δύο αποτελέσματα είναι πιθανά (το 0 και το 1), οι δύο πιθανότητες π_{01} και π_{11} επαρκούν για να περιγράψουν όλη τη διαδικασία. Έχουμε λοιπόν, ότι η πιθανότητα μία μη-παραβίαση να ακολουθεί μία μη-παραβίαση είναι $1 - \pi_{01}$ και η πιθανότητα μίας μη-παραβίασης να ακολουθεί μία παραβίαση είναι $1 - \pi_{11}$.

Αν παρατηρήσουμε ένα δείγμα T παρατηρήσεων, τότε μπορούμε να γράψουμε τη συνάρτηση πιθανοφάνειας της πρώτης τάξεως Μαρκοβιανής διαδικασίας ως εξής

$$L(\Pi_1) = (1 - \pi_{01})^{T_{00}} \pi_{01}^{T_{01}} (1 - \pi_{11})^{T_{10}} \pi_{11}^{T_{11}} \quad (2.13)$$

όπου T_{ij} , $i, j = 0, 1$ είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων με ένα j να ακολουθεί ένα i . Παίρνοντας τις πρώτες παραγώγους κατά αντιστοιχία με τα π_{01} και π_{11} και θέτοντας αυτές τις παραγώγους ίσες με μηδέν, μπορούμε να λύσουμε ως προς τις εκτιμήτριες Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood estimates)

$$\hat{\pi}_{01} = \frac{T_{01}}{T_{00} + T_{01}},$$

$$\hat{\pi}_{11} = \frac{T_{11}}{T_{10} + T_{11}}. \quad (2.14)$$

Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη, ότι οι πιθανότητες πρέπει να αθροίζονται στο 1 έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις

$$\hat{\pi}_{00} = 1 - \hat{\pi}_{01}$$

$$\hat{\pi}_{10} = 1 - \hat{\pi}_{11} \quad (2.15)$$

οι οποίες μας οδηγούν στον πίνακα των εκτιμημένων πιθανοτήτων μετάβασης

$$\hat{\Pi}_1 \equiv \begin{bmatrix} \hat{\pi}_{00} & \hat{\pi}_{01} \\ \hat{\pi}_{10} & \hat{\pi}_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \hat{\pi}_{01} & \hat{\pi}_{01} \\ 1 - \hat{\pi}_{11} & \hat{\pi}_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{T_{00}}{T_{00}+T_{01}} & \frac{T_{01}}{T_{00}+T_{01}} \\ \frac{T_{10}}{T_{10}+T_{11}} & \frac{T_{11}}{T_{10}+T_{11}} \end{bmatrix}. \quad (2.16)$$

Επιτρέποντας εξάρτηση στην ακολουθία των επιτυχιών (hit sequence) σημαίνει, ότι επιτρέπεται το π_{01} να είναι διαφορετικό από το π_{11} . Ουσιαστικά, το ανησυχητικό είναι η θετική εξάρτηση, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα, η πιθανότητα μία παραβίαση του VaR να ακολουθεί μία παραβίαση (π_{11}) να είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα μία παραβίαση να ακολουθεί μία μη-παραβίαση (π_{01}). Αν από την άλλη, οι επιτυχίες (παραβιάσεις) είναι ανεξάρτητες κατά το πέρασμα του χρόνου, τότε η πιθανότητα να συμβεί μία παραβίαση αύριο, δεν εξαρτάται από το αν υπάρχει σήμερα παραβίαση ή όχι και μπορούμε να γράψουμε $\pi_{01} = \pi_{11} = \pi$. Υπό την υπόθεση λοιπόν, της ανεξαρτησίας, ο πίνακας μετάβασης γίνεται

$$\hat{\Pi} = \begin{bmatrix} 1 - \hat{\pi} & \hat{\pi} \\ 1 - \hat{\pi} & \hat{\pi} \end{bmatrix}. \quad (2.17)$$

Μπορούμε να ελέγξουμε την υπόθεση ανεξαρτησίας ότι $\pi_{01} = \pi_{11}$ με τη βοήθεια του λόγου ελέγχου πιθανοφάνειας (likelihood ratio test)

$$LR_{ind} = -2 \ln \left[L(\hat{\pi}) / L(\hat{\Pi}_1) \right] \sim \chi_1^2 \quad (2.18)$$

όπου $L(\hat{\pi})$ είναι η πιθανοφάνεια υπό την εναλλακτική υπόθεση, από τον έλεγχο LR_{uc} .

Σε μεγάλα δείγματα, η κατανομή του στατιστικού ελέγχου LR_{ind} είναι επίσης η χ^2 με ένα βαθμό ελευθερίας. Παρόλα αυτά μπορούμε, όπως και στα προηγούμενα, να υπολογίσουμε το P-value κάνοντας προσομοίωση. Παράγουμε και πάλι 999 τεχνητά δείγματα, ανεξάρτητων και ισόνομων μεταβλητών Bernoulli, υπολογίζουμε 999 τεχνητούς στατιστικούς ελέγχους και βρίσκουμε το μέρος των τιμών των προσομοιωμένων ελέγχων, που είναι μεγαλύτερες από την τιμή του πραγματικού ελέγχου.

Τελειώνοντας, όταν διενεργούμε LR_{ind} ελέγχους, ενδέχεται να συγαντήσουμε δείγματα όπου $T_{11} = 0$. Σε αυτή την περίπτωση, απλά υπολογίζουμε τη συνάρτηση πιθανοφάνειας από τη σχέση

$$L(\hat{\Pi}_1) = (1 - \hat{\pi}_{01})^{T_{00}} \hat{\pi}_{01}^{T_{01}}. \quad (2.19)$$

2.1.4 Conditional Coverage Testing

Πέραν των όσων αναπτύξαμε στις προηγούμενες παραγράφους, αναπτύχθηκε τελευταία ενδιαφέρον να ελεγχθεί ταυτόχρονα, αν οι παραβιάσεις του VaR είναι ανεξάρτητες κι αν ο μέσος αριθμός των παραβιάσεων είναι σωστός. Μπορούμε να ελέγξουμε μαζί την ύπαρξη ανεξαρτησίας και τη σωστή κάλυψη, χρησιμοποιώντας τον έλεγχο υπό συνθήκη κάλυψης (*conditional coverage test*)

$$LR_{cc} = -2 \ln \left[L(p) / L(\hat{\Pi}_1) \right] \sim \chi_2^2 \quad (2.20)$$

ο οποίος αντιστοιχεί στον έλεγχο της ισότητας $\pi_{01} = \pi_{11} = p$.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο έλεγχος LR_{cc} λαμβάνει την πιθανοφάνεια από τη μηδενική υπόθεση του ελέγχου LR_{uc} και την αναμιγνύει με την πιθανοφάνεια από την εναλλακτική υπόθεση του ελέγχου LR_{ind} . Επομένως, έχουμε ότι

$$\begin{aligned}
LR_{cc} &= -2 \ln \left[L(p)/L(\hat{\Pi}_1) \right] \\
&= -2 \ln \left[\{L(p)/L(\hat{\pi})\} \{L(\hat{\pi})/L(\hat{\Pi}_1)\} \right] \\
&= -2 \ln [L(p)/L(\hat{\pi})] - 2 \ln [L(\hat{\pi})/L(\hat{\Pi}_1)] \\
&= LR_{uc} + LR_{ind}.
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Έτσι, ο από κοινού έλεγχος (joint test) της υπό συνθήκη κάλυψης (conditional coverage), μπορεί να υπολογιστεί απλά αθροίζοντας τους δύο μεμονωμένους ελέγχους για την αδέσμευτη κάλυψη (unconditional coverage) και την ανεξαρτησία. Τέλος, όπως αναφέραμε και παραπάνω, το P-value μπορεί να υπολογιστεί με προσομοίωση.

2.2 Μέθοδοι Backtesting

Εκτός από τη μέθοδο backtesting του Christoffersen, [18], που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο και η οποία ανήκει στην κατηγορία των ελέγχων που βασίζονται στη συχνότητα εμφάνισης των απωλειών, που ξεπερνούν το VaR (exceedances), έχουν αναπτυχθεί μεθοδολογίες στηριζόμενες στην ισότητα των κατανομών (distribution equality). Τα τεστ συχνότητας, όπως του Christoffersen, επικεντρώνονται αποκλειστικά στη συχνότητα των παραβιάσεων και αγνοούν οποιαδήποτε πληροφορία για τα μεγέθη τους. Ωστόσο, τα μεγέθη των παραβιάσεων είναι χρήσιμα στην αξιολόγηση της επάρκειας ενός μοντέλου. Για το λόγο αυτό, επιδιώκουμε να συγκρίνουμε τις αποδόσεις με τις αντίστοιχες προβλέψεις, υπό την προϋπόθεση ότι οι προβλέψεις μεταβάλλονται από τη μία ημέρα στην άλλη.

2.2.1 Έλεγχοι βασιζόμενοι στο μετασχηματισμό του Rosenblatt

Η σύγκριση των πραγματικών αποδόσεων με τις αντίστοιχες προβλέψεις, επιτυγχάνεται με την μετατροπή των δεδομένων μας με τρόπο ώστε να τα χρησιμοποιούμε είτε μέσω των ποσοστημορίων των προβλέψεών τους είτε μέσω των προβλέψεων των τιμών των αθροιστικών πιθανοτήτων.

Έτσι, αν x_t είναι η απόδοση της t -ημέρας και η παρατήρηση αυτή σχετίζεται με μία αθροιστική συνάρτηση κατανομής $F_t(\cdot)$ που έχει προβλεφθεί και η οποία το πιθανότερο είναι να αλλάζει από μέρα σε μέρα, τότε η τροποποιημένη παρατήρηση δίνεται από την τιμή της $F_t(\cdot)$ εκτιμημένη για την x_t :

$$p_t = F_t(x_t). \quad (2.22)$$

Αν για παράδειγμα, το μοντέλο μας ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή, τότε μία απόδοση 1.645 θα αντιστοιχούσε στο 0.95 και μία απώλεια -1.645 στο 0.05. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι γνωστός ως μετασχηματισμός *Rosenblatt* (*Rosenblatt transformation*) και εξασφαλίζει, ότι τα δεδομένα μας τυποποιούνται (standardized) σε μονάδες της ίδιας μετρικής. Η τυποποίηση αυτή καθιστά τις παρατηρήσεις μας άμεσα συγκρίσιμες μεταξύ τους, κάτι που σε διαφορετική περίπτωση δε θα ήταν εφικτό.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για την κατανομή των απωλειών στις ουρές των κατανομών κι όχι για ολόκληρη την κατανομή των αποδόσεων. Ας υποθέσουμε, ότι έχουμε τροποποιήσει όλα μας τα δεδομένα με το μετασχηματισμό του *Rosenblatt*. Έστω ότι έχει προβλεφθεί πως οι τροποποιημένες αποδόσεις θα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή $U(0, 1)$ υπό τη μηδενική υπόθεση κι επιλέγουμε να διώξουμε όλες τις παρατηρήσεις εκτός από αυτές που σχετίζονται με τις απώλειες που ξεπερνούν το VaR. Αν το μοντέλο είναι καλό, τα εμπειρικά ποσοστημόρια που απομένουν θα πρέπει να ακολουθούν προσεγγιστικά την ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα $[0, 1 - \alpha]$. Επομένως, είμαστε σε θέση να προβάλλουμε τις παρατηρήσεις των ουρών στα σημεία των ποσοστημορίων τους κι όχι στα σημεία των ποσοστημορίων ολόκληρης της κατανομής των αποδόσεων. Η κατανομή, που θα προκύψει για τις απώλειες στις ουρές είναι η ομοιόμορφη $U(0, 1)$ υπό τη μηδενική υπόθεση.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι ανεξάρτητα από το αν μας ενδιαφέρει ολόκληρη η κατανομή των αποδόσεων ή μόνο η κατανομή των απωλειών στις ουρές, μπορούμε πάντοτε να αποκτήσουμε μία τροποποιημένη σειρά *Rosenblatt*, η οποία κατανέμεται όπως μία τυποποιημένη ομοιόμορφη μεταβλητή υπό τη μηδενική υπόθεση. Έτσι, μπορούμε να αξιολογήσουμε το μοντέλο μας και να διαπιστώσουμε αν είναι επαρκές, εφαρμόζοντας μία κατάλληλη ισότητα κατανομών.

2.2.2 Έλεγχοι βασιζόμενοι στο μετασχηματισμό του Berkowitz

Η διαδικασία ελέγχου του κατάλληλου μοντέλου μπορεί να βελτιωθεί υποβάλλοντας τη σειρά μας σε έναν άλλο μετασχηματισμό. Αντί να ελέγξουμε την πρόβλεψη, ότι τα ποσοστημόρια των προβλέψεων, p_t , θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα $U(0, 1)$ υπό τη μηδενική υπόθεση, ο Berkowitz (2001), [13], πρότεινε να τροποποιήσουμε τα p_t , έτσι ώστε να ακολουθούν την τυποποιημένη κανονική κατανομή υπό τη μηδενική υπόθεση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν εφαρμόσουμε το μετασχηματισμό της αντίστροφης κανονικής κατανομής, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός, ότι αν τα p_t είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα, τότε τα $z_t = \Phi^{-1}(p_t)$ ακολουθούν την τυποποιημένη κανονική κατανομή $N(0, 1)$. Με άλλα λόγια, ο μετασχηματισμός Berkowitz (*Berkowitz transformation*) μετατρέπει μία ομοιόμορφη σειρά σε μία τυποποιημένη κανονική, δίνοντάς μας τη δυνατότητα να εξετάσουμε την καταλληλότητα του μοντέλου στα πλαίσια του ελέγχου για την τυποποιημένη κανονική. Το σημαντικό στο μετασχηματισμό του Berkowitz είναι ότι πλέον τα δεδομένα μας ακολουθούν την κανονική κατανομή η μελέτη της οποίας είναι πιο προσιτή κι εύκολη καθότι διαθέτουμε περισσότερα ισχυρά στατιστικά εργαλεία σε σχέση με την ομοιόμορφη κατανομή.

Λεπτομερής ανάλυση για τους μετασχηματισμούς Rosenblatt και Berkowitz, υπάρχει στο βιβλίο του Kevin Dowd “Measuring Market Risk”, [22].

Κεφάλαιο 3

Σενάρια Ακραίων Καταστάσεων (Stress Testing)

Με βάση το σύμφωνο της Βασιλείας II οι επιχειρήσεις (π.χ. οι τράπεζες) οφείλουν να διασφαλίζουν την ύπαρξη εποπτικών κεφαλαίων (*regulatory capital*) ώστε να καθίστανται ικανές να αντεπεξέλθουν στο κόστος, που προβλέπεται ότι θα προκύψει, από την ενδεχόμενη εμφάνιση ακραίων καταστάσεων (*stress testing*). Τα σενάρια ακραίων καταστάσεων (*stress tests*) συνιστούν ένα σημαντικό εργαλείο για τη Διοικητική Κινδύνων (*Risk Management*) αφού μετρούν την πιθανή επίδραση απίθανων, ωστόσο εύλογων γεγονότων ή κινήσεων στην αξία των χαρτοφυλακίων, που είναι εκτεθειμένα σε κινδύνους. Στις ακόλουθες παραγράφους παρουσιάζουμε διάφορες μεθόδους που έχουν κατά καιρούς εφαρμοστεί για τη διενέργεια ενός stress testing καθώς και τη μέθοδο που ακολουθήσαμε η οποία βασίζεται σε μοντέλα κινδύνου κι αφορά στον κίνδυνο της αγοράς.

3.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Το stress testing λαμβάνεται υπόψη ως χρήσιμο συμπλήρωμα του Value at Risk καθώς το τελευταίο δε δίνει πλήρεις πληροφορίες για τους κινδύνους ενός χαρτοφυλακίου. Έτσι λοιπόν,

πρέπει τα stress tests να αποτελούν μέρος μίας λογικής οικονομικής προσέγγισης ώστε να οδηγηθούμε στις κατάλληλες αποφάσεις. Ωστόσο, στην πράξη η χρήση των αποτελεσμάτων των τεστ είναι κατά ένα μέρος αυθαίρετη. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές stress testing. Η επιλογή του τεστ που θα εφαρμοστεί κάθε φορά για ένα συγκεκριμένο χρηματοπιστωτικό ίδρυμα και για μία συγκεκριμένη κατάσταση είναι προϊόν διαφόρων παραγόντων, όπως οι ρυθμιστικές απαιτήσεις. Επίσης σημαντικό είναι και το κόστος σε χρόνο και πόρους που απαιτούνται προκειμένου να παραχθούν τα αποτελέσματα του stress test. Επιπλέον, η εκάστοτε επιλογή αντανακλά τις ιδιαίτερες ανάγκες αυτών που θα χρησιμοποιήσουν το τεστ, οι οποίες εξαρτώνται από την πολυπλοκότητα του χαρτοφυλακίου, τη συχνότητα με την οποία διαπραγματεύεται, τη ρευστότητα των στοιχείων που εμπεριέχει, το volatility των αγορών στις οποίες διαπραγματεύονται τα στοιχεία και τις στρατηγικές που ακολουθούνται. Στο σημείο αυτό να τονίσουμε, ότι δεν υφίσταται καλύτερος ή σωστός τρόπος stress test. Το πλαίσιο στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα είναι αυτό που θα μας καθορίσει την προσέγγιση που θα ακολουθήσουμε.

Οι μέθοδοι για stress testing συνήθως χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, στα ιστορικά σενάρια, στα υποθετικά σενάρια και στους αλγόριθμους. Τα ιστορικά σενάρια συνιστούν μία προσπάθεια επαναδημιουργίας ενός συγκεκριμένου οικονομικού περιβάλλοντος από το παρελθόν. Αντίθετα, τα υποθετικά μπορούν να αναπαραστήσουν είτε μία πλήρη οικονομική ιστορία που δεν έχει ακόμα διαδραματιστεί είτε ένα σύνολο από αυθαίρετες κινήσεις των παραγόντων. Οι δε αλγόριθμοι προσπαθούν συστηματικά να αναγνωρίσουν το σύνολο των αλλαγών των παραγόντων (εντός κάποιων ορίων) που οδηγούν στη χειρότερη περίπτωση απώλειας. Στην περίπτωση, που “ωθούμε” τους παράγοντες το αποτέλεσμα ενδέχεται να μην ανταποκρίνεται σε ένα πιθανό οικονομικό συμβάν.

Μία ακόμα γνωστή μέθοδος, που δύναται να χρησιμοποιηθεί και για stress testing είναι η Θεωρία Ακραίων Τιμών (Extreme Value Theory-EVT). Η EVT βασίζεται σε κάποιους νόμους για όρια που εφαρμόζονται στις ακραίες παρατηρήσεις ενός δείγματος. Οι νόμοι αυτοί επιτρέπουν την παραμετρική εκτίμηση σε υψηλά ποσοστημόρια των κατανομών των απωλειών, χωρίς να γίνονται κάποιες ουσιαστικές υποθέσεις για τη μορφή της κατανομής των αποδόσεων στο σύνολό της. Η εφαρμογή της EVT στο stress testing είναι σχεδόν άμεση. Πρώτον, πρέπει να υποθεθεί, ότι τα ιστορικά δεδομένα που χρειάστηκαν για την εκτίμηση είναι αντιπροσωπευτικά

(π.χ. προέρχονται από την κατανομή που σχετίζεται με την εξέταση του ακραίου γεγονότος που θέλουμε να μελετήσουμε). Δεύτερον, το μέγεθος του δείγματος των ιστορικών δεδομένων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο, για να παράγει αρκετές παρατηρήσεις στα άκρα, ώστε να πάρουμε καλές εκτιμήσεις για τις παραμέτρους της ουράς της κατανομής. Τέλος να αναφέρουμε, ότι έχουν αναπτυχθεί δύο μορφές EVT για τη μέτρηση του κινδύνου στα χρηματοοικονομικά, η μία είναι η λεγόμενη *block maxima* προσέγγιση και η άλλη η *peak over threshold*. Η διαφορά τους έγκειται στον ορισμό τους για τα ακραία γεγονότα. Η *block maxima* ενδείκνυται για την εκτίμηση των απωλειών των stress test ενώ η *peak over threshold* εφαρμόζεται καλύτερα στην εκτίμηση του VaR.

Πλήρης ανάλυση για την έννοια του stress testing καθώς και ολοκληρωμένη περιγραφή των μεθόδων διενέργειάς του υπάρχει στο κεφάλαιο III.A.4 του βιβλίου “The Professional Risk Managers’ Handbook, A Comprehensive Guide to Current Theory and Best Practices”, που εκδόθηκε από τις Alexander Carol και Sheedy Elizabeth, [2]. Στις παραγράφους που έπονται παρουσιάζεται μία ενδεικτική περιγραφή κάθε μίας από τις μεθόδους.

3.1.1 Ιστορικά Σενάρια

Τα ιστορικά σενάρια, ως ένα είδος stress testing, στοχεύουν να ποσοτικοποιήσουν τις δυνατές απώλειες βασιζόμενα στην επανεκτέλεση ενός συγκεκριμένου ιστορικού γεγονότος της αγοράς, που χρήζει ιδιαίτερης σημασίας. Οι διαταραχές (shocks) των σεναρίων, που καθορίζουν τη μετέπειτα επίδραση στην αξία του χαρτοφυλακίου, αντλούνται από ιστορικά συμβάντα που έχουν παρατηρηθεί στις χρηματοοικονομικές αγορές. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα stress test των οποίων τα shock βασίζονται, για παράδειγμα, σε εξειδικευμένες μεταβολές του πίνακα συνδιακύμανσης των αποδόσεων των στοιχείων του χαρτοφυλακίου ή σε τιμές ή επιτόκια που μεταβάλλονται κατά έναν αυθαίρετο αριθμό τυπικών αποκλίσεων. Ο τύπος αυτός των σεναρίων απαιτείται από την Επιτροπή της Βασιλείας, η οποία επισημαίνει, ότι τα σενάρια μπορούν να περιλαμβάνουν τον έλεγχο του παρόντος χαρτοφυλακίου έναντι παλαιών περιόδων ιδιαίτερης αναταραχής, όπως π.χ. το κραχ του 1987 στις μετοχές ή το φθινόπωρο στις αγορές ομολόγων το πρώτο τέταρτο του 1994, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα και τις μεγάλες μεταβολές των τιμών

και την έντονη μείωση της ρευστότητας που σχετίζεται με αυτά τα γεγονότα (Basel Committee on Banking Supervision, 1996).

Η μεθοδολογία που περιγράψαμε έχει κάποια υπέρ και κάποια κατά. Το κύριο πλεονέκτημά της είναι ότι το σενάριο που μελετάμε έχει συμβεί και στην πραγματικότητα. Όσο για τα μειονεκτήματά της εστιάζονται στο ότι τα shock που εφαρμόζουμε μπορεί να είναι πολυάριθμα και τα αποτελέσματα δεν είναι δυνατό να ερμηνευθούν με βάση τις πιθανότητες και δεν είναι εγγυημένο ότι περιλαμβάνουν τη χειρότερη πιθανή περίπτωση. Επιπλέον, σημαντικά στοιχεία σε αυτά τα τεστ συνιστούν η επιλογή της κατάλληλης ιστορικής χρονικής περιόδου κι ο προσδιορισμός των shock. Ένα ιστορικό γεγονός μπορεί να οριστεί με έναν από τους δύο ακόλουθους τρόπους. Σύμφωνα με τον πρώτο, το συμβάν ορίζεται σε σχέση με μία πολύ γνωστή περίοδο κρίσης όπως η Ασιατική κρίση του 1997. Στο δεύτερο τρόπο, το γεγονός προσδιορίζεται εξετάζοντας τις ιστορικές κινήσεις των παραγόντων του κινδύνου της αγοράς σε σχέση με κάποιο όριο των μετοχών, που έχει επιλεγεί από αυτόν που διενεργεί το τεστ. Όσον αφορά δε στα shock μπορούμε να επιλέξουμε είτε τη σχετική τιμή τους είτε την απόλυτη.

3.1.2 Υποθετικά Σενάρια

Τα ιστορικά γεγονότα δεν είναι επαρκή στο να απεικονίσουν μία επερχόμενη κρίση. Εξάλλου, το ότι συνέβη κάτι στο παρελθόν δε σημαίνει απαραίτητα ότι θα συμβεί και στο μέλλον. Αντίθετα, μπορεί να παρουσιαστούν πρωτόγνωρες καταστάσεις. Για το λόγο αυτό είναι επιθυμητό να διενεργήσουμε stress tests, που θα στηρίζονται σε υποθετικά οικονομικά σενάρια. Το ιδανικό σε αυτή την περίπτωση είναι να θεωρήσουμε ένα σενάριο, που θα βασίζεται σε ένα δομικό μοντέλο των χρηματοοικονομικών αγορών ανά τον κόσμο και στο οποίο ο προσδιορισμός ενός συνόλου shock, που θα απαρτίζουν τα δεδομένα στο μοντέλο, θα οδηγήσει σε πλήρη προσδιορισμό των αντιδράσεων των αγορών σε παγκόσμιο επίπεδο. Δυστυχώς όμως, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Ωστόσο, καλό είναι να το έχουμε κατά νου κάθε φορά που κατασκευάζουμε ένα σενάριο.

Ένα τεστ αυτής της μορφής μπορεί να προκύψει είτε από έναν τροποποιημένο πίνακα συνδιακύμανσης είτε απλά προσδιορίζοντας υποθετικά shock στους παράγοντες της αγοράς. Για την επι-

λογή των πιθανών shock μπορούμε να καθοδηγηθούμε από την πραγματική ιστορική συμπεριφορά των τιμών κατά το παρελθόν. Ακόμη, μερικές φορές είναι επιθυμητό απλά να κατασκευάσουμε κάτι σαν τεχνητά shock, με μία μέθοδο που καλείται *ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis)*. Σε αυτή την περίπτωση σοκάρονται ένας ή λίγοι παράγοντες κινδύνου και η συσχέτιση τυπικά αγνοείται. Είναι εύκολο να εφαρμοστεί κάτι τέτοιο, αλλά παρέχει μόνο μία μερική εικόνα και είναι αναγκαίο να λειτουργήσει πολύ η κρίση του risk manager γι' αυτό και η ανάλυση ευαισθησίας δεν προτιμάται συχνά. Επίσης, ο Kupiec (1998) πρότεινε μία μεθοδολογία, που την ονόμασε "stress VaR" και αποτελεί ένα μείγμα του χειρισμού του πίνακα συνδιακύμανσης και των οικονομικών σεναρίων. Η προσέγγισή του μπορεί να εφαρμοστεί και στο πρόβλημα προσδιορισμού των shock λόγω χαμένων ιστορικών δεδομένων σε κάποια ιστορικά σενάρια. Επιπρόσθετα, μπορεί να προσδιορίσει μερικώς σενάρια που ερευνούν "τι θα συνέβαινε αν" και να χρησιμοποιήσει τη δομή του VaR για να καθορίσει τις πιθανότερες τιμές των παραγόντων που απομένουν στο σύστημα.

Όλες οι προαναφερθείσες περιπτώσεις συνιστούν είδη υποθετικών σεναρίων, τα οποία είναι σχετικά εύκολα στην εφαρμογή, πολύ ευέλικτα και μπορούν να είναι και λεπτομερή. Πέρα όμως από αυτά τα πλεονεκτήματα έχουν και κάποια αρνητικά σημεία. Όπως συμβαίνει και με τα ιστορικά σενάρια δεν εγγυώνται ότι συμπεριλαμβάνουν τη χειρότερη περίπτωση. Σε αυτό έρχεται να προστεθεί η περιορισμένη πληροφόρηση για τον κίνδυνο και το ότι συχνά αυτά τα τεστ υποστηρίζονται κι ενισχύονται από την εμπειρία του εκάστοτε risk manager που τα εκτελεί.

3.1.3 Αλγοριθμικές Προσεγγίσεις για το Stress Testing

Ένα από τα ελλείμματα των ιστορικών και των υποθετικών σεναρίων είναι ότι αυτός που τα εφαρμόζει, διαθέτει μόνο ένα ασαφές επίπεδο εμπιστοσύνης για την έκταση των πιθανών απωλειών στις οποίες είναι εκτεθειμένο το χαρτοφυλάκιο. Στόχος είναι να εξαλειφθεί αυτή η αδυναμία των προηγούμενων μεθόδων ώστε να οδηγούμαστε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα. Κατασκευάζουμε λοιπόν, ένα διερευνητικό αλγόριθμο, που θα αναγνωρίζει το χειρότερο αποτέλεσμα για το χαρτοφυλάκιο, εντός βέβαια ενός εφικτού πλαισίου, το οποίο επιτυγχάνεται με βελτιστοποίηση.

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις της διαδικασίας αυτής γνωστές ως *ώθηση ενός παράγοντα (factor*

push) και μέγιστη απώλεια (*maximum loss*). Ο πρώτος τύπος stress test καλείται factor push, διότι περιλαμβάνει την ώθηση ενός μεμονωμένου παράγοντα κινδύνου της αγοράς κατά τρόπο ώστε να οδηγείται το χαρτοφυλάκιο σε απώλεια. Βασικό μειονέκτημα συνιστά το γεγονός ότι αγνοεί τις συσχετίσεις μεταξύ των παραγόντων κινδύνου. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι η εξειδίκευση των μεταβολών των παραγόντων, που πραγματοποιείται κατά το stress test ενδέχεται να εισάγει μία καθόλου εύλογη δυναμική στην αγορά. Ακόμη, δε λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεπιδράσεις (cross effects) που παρουσιάζονται στα στοιχεία των οποίων η αξία επηρεάζεται από πολλαπλούς παράγοντες κινδύνου.

Ο δεύτερος τρόπος προσέγγισης, το σενάριο μέγιστης απώλειας, ορίζεται από το σύνολο των μεταβολών των παραγόντων κινδύνου της αγοράς (market risk factors), που προκαλεί τη μεγαλύτερη απώλεια στο χαρτοφυλάκιο. Απαραίτητη όμως είναι η προϋπόθεση, ότι οι μεταβολές αυτές είναι επιτρεπτές και υπόκεινται σε κάποιο εφικτό περιορισμό. Ο περιορισμός αυτός είναι αναγκαίος γιατί εφόσον οι ενδεχόμενες απώλειες δε χρειάζεται να είναι εντός κάποιων ορίων, η απουσία του μπορεί να οδηγήσει σε απίθανα αποτελέσματα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το σενάριο μέγιστης απώλειας εξαρτάται από τη δομή του χαρτοφυλακίου και δε σχετίζεται με κάποιο συγκεκριμένο οικονομικό περιβάλλον εκτός από αυτό που αντανακλάται από τη στατιστική περιγραφή της ανάλυσης που κάνουμε. Ωστόσο το ερώτημα που αναδύεται είναι το πόσο άσχημα είναι πιθανό να εξελιχθούν τα πράγματα. Όσον αφορά στα θετικά και τα αρνητικά των δύο αυτών τρόπων για stress testing έχουμε, ότι η προσέγγιση push factor υπερέχει ως προς το ότι απαιτεί ελάχιστα ποιοτικά στοιχεία ενώ το σενάριο μέγιστης απώλειας ως προς το ότι έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίσει κάποιες φορές τη χειρότερη περίπτωση σε ένα πιθανά υπαρκτό σύνολο. Και οι δύο προσεγγίσεις όμως της μεθόδου, παρουσιάζουν από δύο αδυναμίες έκαστη. Η push factor δεν εγγυάται, ότι μας δείχνει ποιο είναι το χειρότερο ενδεχόμενο κι αγνοεί τις συσχετίσεις. Όσο για τη μέγιστη απώλεια υποθέτει, ότι τα δεδομένα από κανονικές περιόδους σχετίζονται και είναι υπολογιστικά πολύ απαιτητική.

3.2 Stress Testing βασισμένο σε μοντέλα

Η μεθοδολογία που εφαρμόσαμε για το stress testing, στηρίζεται στα καταλληλότερα μοντέλα κινδύνου που προέκυψαν από την εφαρμογή του backtesting. Η διαδικασία που ακολουθούμε, αποτελείται από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, προσδιορίζουμε ένα αρχικό shock, το οποίο βασίζεται σε μία κατανομή με βαριές ουρές κι έπειτα καταγράφουμε το αποτέλεσμα, που ακολουθεί το αρχικό shock και μπορεί να εκτείνεται για μερικές ώρες ή ημέρες. Εναλλακτικά, μπορούμε να επιλέξουμε ένα υποθετικό αρχικό shock και να χρησιμοποιήσουμε τα κατάλληλα μοντέλα μόνο για να αναλύσουμε τις μετέπειτα συνέπειές του. Ωστόσο, με τη μέθοδο αυτή δε θα ασχοληθούμε καθόλου σε ό,τι ακολουθεί.

3.2.1 Αρχική Διαταραχή (Initial shock)

Πρώτο μας μέλημα όταν ξεκινάμε τη διενέργεια ενός stress test είναι να θεωρήσουμε μία αρχική διαταραχή (initial shock event) η οποία θα επηρεάσει τα δεδομένα μας. Ένα τέτοιο shock βασίζεται είτε σε ένα ιστορικό είτε σε ένα υποθετικό γεγονός το οποίο προσδιορίζεται από τους αναλυτές ή τη διοίκηση ή τις εποπτικές αρχές (regulators). Ένας εναλλακτικός τρόπος είναι να θεωρήσουμε ένα ακραίο αποτέλεσμα όπως αυτό ορίζεται από ένα μοντέλο κινδύνου.

Για μία θέση long το VaR_α δηλώνει την απώλεια που ενδέχεται να συμβεί και μπορεί να ξεπεραστεί μόνο στο $\alpha\%$ των περιπτώσεων. Συνεπώς για τα stress tests, που βασίζονται σε κάποια μοντέλα, το α ισούται με την πιθανότητα να συμβεί ένα shock σε μία συγκεκριμένη ημέρα, όπου το μέγεθος του shock είναι $-VaR_{1,\alpha}$. Κατ' αντιστοιχία, για μία θέση short το μέγεθος του αρχικού shock στις αποδόσεις ισούται με $VaR_{1,(1-\alpha)}$. Μία τυπική τιμή για το α είναι 0.0002 κι αντιστοιχεί σε μία απώλεια για την οποία είμαστε 99.98% σίγουροι ότι δε θα ξεπεραστεί μέσα σε μία ημέρα. Σε γενικές γραμμές, το α προσδιορίζεται ώστε να αντανakλά το προφίλ μίας επιχείρησης ως προς τον κίνδυνο (risk profile) κι ως προς το στόχο της για την αξιολόγησή της στην πιστοληπτική ικανότητα (credit rating).

Υπό το πρίσμα της εμπειρικής προσέγγισης, το αρχικό shock ε^* για μία θέση long είναι απλά, το α ποσοστημόριο της εμπειρικής κατανομής (ή το $(1 - \alpha)$ ποσοστημόριο για μία θέση

short) χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο δείγμα δεδομένων. Συνιστάται για ημερήσιες αποδόσεις να χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις 10 ή παραπάνω ετών. Στην περίπτωση, που υποθέτουμε ότι οι αποδόσεις ακολουθούν μία συγκεκριμένη κατανομή, τότε το αρχικό shock παράγεται από αυτήν την κατανομή. Παραδείγματος χάρη, αν έχουμε την κατανομή Student's-t, τότε το αρχικό shock είναι:

$$\varepsilon_T^* = t_\nu^{-1}(\alpha)((\nu - 2)/\nu)^{1/2}\bar{\sigma}_T, \quad (3.1)$$

όπου $\bar{\sigma}_T$ είναι η τυπική απόκλιση του ισοσταθμισμένου δείγματος, που προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα δεδομένα μέχρι τη στιγμή T . Το αρχικό shock μπορεί επίσης να οριστεί χρησιμοποιώντας τη Θεωρία Ακραίων Τιμών (EVT). Σύμφωνα με τους Gencay και Selcuk (2004), [25], οι εκτιμήσεις του VaR που στηρίζονται στη Θεωρία Ακραίων Τιμών είναι συχνά πιο ακριβείς για μικρές τιμές του α στις αναπτυσσόμενες αγορές. Υπό την EVT το αρχικό shock για μία θέση long είναι:

$$\varepsilon_T^* = -u - \beta\xi^{-1}[(n\alpha)^{-\xi}n_u^\xi - 1], \quad (3.2)$$

όπου u είναι το κατώφλι (threshold), ξ και β είναι ο δείκτης της ουράς και οι παράμετροι κλίμακας (tail index and scale parameters) της γενικευμένης κατανομής Pareto αντίστοιχα, n είναι το μέγεθος του δείγματος και n_u είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων που ξεπερνούν το κατώφλι.

3.2.2 Μοντελοποίηση μετά τη Διαταραχή

Εφόσον έχουμε προσδιορίσει το αρχικό shock, με τον τρόπο που αναλύσαμε, στη συνέχεια αξιολογούμε τη συμπεριφορά που ακολουθεί μετά από αυτό, χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο μοντέλο κινδύνου. Οι συνέπειες ενός shock μπορεί να περιλαμβάνουν κάποια ή όλα τα ακόλουθα: περαιτέρω μεγάλες μεταβολές στην ίδια αγορά (όπως προβλέπεται από το volatility clustering), μεγάλες μεταβολές σε άλλες αγορές, υψηλότερες συσχετίσεις (correlations) μεταξύ των αγορών, αυξημένη τεχμαρτή μεταβλητότητα (implied volatility) σε αγορές δικαιωμάτων προαίρεσης (option markets) και περιορισμένη ρευστότητα στην αγορά (market liquidity).

Οι αποδόσεις αξιολογούνται για $h - 1$ ημέρες μετά από το αρχικό shock, το οποίο συμβαίνει τη χρονική στιγμή T , έτσι ώστε όλο το stress test, συμπεριλαμβανομένου του αρχικού shock, να έχει έναν ορίζοντα h ημερών. Η απώλεια που προκύπτει από το stress test (“stress loss”) για μία θέση long είναι -1 φορές το μικρότερο ρ ποσοστημόριο των προσομοιωμένων h ημερήσιων αποδόσεων, όταν αυτές κατατάσσονται από τη μεγαλύτερη στη μικρότερη. Στην περίπτωση μίας short θέσης ακολουθούμε την ίδια τακτική μόνο που οι προσομοιωμένες αποδόσεις (path returns) πολλαπλασιάζονται πρώτα με το -1 .

Μία αξιόλογη μέθοδος εκτίμησης πιθανών μονοπατιών αποδόσεων (asset price paths), που εμφανίζονται μετά το shock, είναι η προσομοίωση Monte Carlo. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ενώ η προσομοίωση έχει επικριθεί για τους απαιτητικούς υπολογισμούς της, όσον αφορά στα stress tests (και σε αντίθεση με την εκτίμηση του VaR) δε χρειάζεται να γίνουν σε καθημερινή βάση. Εξάλλου, η προσομοίωση έχει πολλά πλεονεκτήματα για το stress testing, μεταξύ των οποίων είναι η ικανότητά της να συγκρίνει την επίδραση των σταδιακών στρατηγικών αντιστάθμισης του κινδύνου (hedging strategies) με αυτή των άμεσων στρατηγικών, στις αποδόσεις χαρτοφυλακίων. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε, ότι η μέγιστη απώλεια δεν είναι απαραίτητο να συμβεί στο τέλος του ορίζοντα κινδύνου (risk horizon). Αντίθετα, συνήθως συμβαίνει σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο. Επιπλέον, η προσομοίωση δίνει τη δυνατότητα στους αναλυτές να εκτιμήσουν ένα ευρύ φάσμα πιθανών μονοπατιών, συμπεριλαμβανομένων αυτών με ενδιάμεσες απώλειες, εκτιμώντας τις υποδείξεις τους για περιθώρια (margin calls) και ρευστότητα σε κεφάλαια (funding liquidity).

Έχει αποδειχθεί, ότι από όλες τις προσεγγίσεις για την πρόβλεψη ακραίων κινδύνων, τα conditional μοντέλα κινδύνου είναι τα πιο κατάλληλα, [1]. Για το λόγο αυτό, στα ακόλουθα περιγράφεται η μεθοδολογία για stress testing μόνο για conditional μοντέλα. Την πρώτη ημέρα του test, δηλαδή τη στιγμή T , θεωρούμε ότι η τυπική απόκλιση είναι ίση με τη μακροχρόνια (long-term) τιμή της σ_T , προκειμένου να αντανακλά τις “τυπικές” συνθήκες αγοράς, αλλά υπάρχει μία ακραία παραβίαση, η οποία αντιστοιχεί στο αρχικό shock, που ορίστηκε στα προηγούμενα. Τη χρονική στιγμή $T + 1$, δηλαδή τη δεύτερη ημέρα του test, η διασπορά θα αυξηθεί σημαντικά ως αντίδραση στο γεγονός που την τάραξε (shock event). Προσαρμόζοντας την εξίσωση (1.5) για ένα GARCH(1,1) μοντέλο, η διασπορά την ημέρα $T + 1$ ορίζεται ως

$$\hat{\sigma}_{T+1}^2 = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \varepsilon_T^{*2} + \hat{b}_1 \bar{\sigma}_T^2. \quad (3.3)$$

Από εκεί κι έπειτα η προσομοίωση εξελίσσεται με το συνήθη τρόπο, π.χ, για $i = 1, \dots, h - 1$:

$$\hat{\sigma}_{T+i+1}^2 = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \varepsilon_{T+i}^2 + \hat{b}_1 \hat{\sigma}_{T+i}^2 \quad (3.4)$$

με παραβιάσεις που προέρχονται από την κατανομή που επιλέξαμε π.χ. την κανονική, την εμπειρική ή τη Student's-t, προσαρμοσμένες στην κατάλληλη υπό συνθήκη διασπορά (conditional variance) κι εφαρμόζοντας την εξίσωση (1.5) για να προσδιοριστεί η διασπορά των ακολούθων ημερών τις οποίες διαρκεί το stress test. Τελειώνοντας προσομοιώνουμε 30000 μονοπάτια το καθένα με $h - 1$ πραγματοποιήσεις κι αθροίζουμε τις ημερήσιες αποδόσεις από κάθε μονοπάτι για να πάρουμε την προσομοιωμένη απόδοση της h ημέρας, έχοντας υποθέσει ότι το χαρτοφυλάκιο διατηρήθηκε σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια του stress test, [1].

Κεφάλαιο 4

Εμπειρική Ανάλυση

Σε ό,τι προηγήθηκε, περιγράφηκε κι αναλύθηκε διεξοδικά το θεωρητικό πλαίσιο της Αξίας σε Κίνδυνο (VaR), των μεθόδων αξιολόγησης των μοντέλων εκτίμησης κινδύνου (Backtesting) και της μελέτης των καταλληλότερων μοντέλων σε ακραίες καταστάσεις (Stress Testing). Στα ακόλουθα, παρουσιάζεται μία πρακτική εφαρμογή εκτίμησης του VaR καθώς κι η εύρεση των επαρκών μοντέλων εκτίμησης του VaR, με τη βοήθεια της μεθόδου του Christoffersen για backtesting. Τέλος, επιλέγοντας τα επαρκέστερα μοντέλα, που προέκυψαν από το backtesting, ελέγχουμε τη συμπεριφορά των δεδομένων μας σε περίπτωση εμφάνισης ακραίων καταστάσεων (Stress Testing).

4.1 Ανάλυση Δεδομένων

Στο χαρτοφυλάκιό μας επιλέξαμε να έχουμε τρεις συναλλαγματικές ισοτιμίες μεταξύ του ευρώ (Euro €) και των τριών πιο ισχυρών νομισμάτων της παγκόσμιας αγοράς, του αμερικάνικου δολλαρίου (USD \$), της αγγλικής λίρας (GBP £) και του ιαπωνικού γιεν (JPY ¥). Ο λόγος που αποφασίσαμε να μελετήσουμε τις συγκεκριμένες ισοτιμίες είναι η σπουδαιότητά τους στα χαρτοφυλάκια διεθνών χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων. Επιπλέον, θέλαμε να δούμε την εξέλιξη του ευρώ έναντι των άλλων σημαντικών νομισμάτων, καθότι συνιστά ουσιαστικά ένα νέο νόμισμα

στις διεθνείς χρηματαγορές. Το δείγμα μας περιλαμβάνει ημερήσιες τιμές από την 1/1/1999 μέχρι σήμερα (19/3/2009), δηλαδή 2665 παρατηρήσεις για κάθε περίπτωση. Προκειμένου να οδηγηθούμε σε γενικότερα συμπεράσματα οι τρεις αυτές ισοτιμίες δε μελετώνται ως τμήμα ενός χαρτοφυλακίου στο οποίο συμμετέχουν κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό, αλλά η κάθε μία ξεχωριστά, καθώς επίσης εξετάζονται και οι αντίστοιχες “αντίθετες” θέσεις τους (long position/short position).

Αρχικά, μελετήσαμε το γράφημα των τιμών για κάθε ένα ζευγάρι νομισμάτων. Για την ισοτιμία JPY/EUR παρατηρούμε στο Γράφημα 1.1 του Παραρτήματος Α1, ότι εμφανίζει μικρές αυξομειώσεις, οι οποίες για ένα σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, στην αρχή της περιόδου που μελετάμε, έχουν πτωτική τάση ενώ στη συνέχεια παρουσιάζουν εμφανώς σταθερή άνοδο. Ωστόσο, πλησιάζοντας στο σήμερα διαπιστώνουμε μία κατακόρυφη πτώση, η οποία είναι αναμενόμενη δεδομένης της υπάρχουσας οικονομικής κρίσης σε διεθνές επίπεδο. Άρα, σύμφωνα με τα δεδομένα μας, σήμερα (19/3/2009) το ιαπωνικό γιεν έχει ισχυροποιηθεί έναντι του ευρώ. Οι τιμές κυμαίνονται από 89.35, που είναι η χαμηλότερη, μέχρι 169.47, που είναι η μεγαλύτερη και ο μέσος όρος τους είναι 130.77. Η περαιτέρω ανάλυση που θα κάνουμε πραγματοποιείται, στις αντίστοιχες ποσοστιαίες λογαριθμικές αποδόσεις. Όπως διαπιστώνουμε από το Γράφημα 1.2 της σειράς των αποδόσεων, καθώς κι από τα περιγραφικά στατιστικά μέτρα (Πίνακες 1.1 και 1.2 του Παραρτήματος Β1), πλησιάζοντας στο σήμερα είναι αισθητή η πτώση και η εμφάνιση ακραίων τιμών. Η μεγαλύτερη απόδοση, που εμφανίζεται είναι 4.73%, η χαμηλότερη -7.04% , κατά μέσο όρο οι αποδόσεις κυμαίνονται στο -0.004% κι έχουν τυπική απόκλιση 0.78. Υπάρχει αρνητική ασυμμετρία -0.57 , δηλαδή η πιθανότητα να πάρουμε τιμές κάτω από το μέσο (στη συγκεκριμένη περίπτωση αρνητικές) είναι μεγαλύτερη από ότι να πάρουμε πάνω. Ακόμη, η κατανομή είναι λεπτόκυρτη και παρουσιάζει αρκετές ακραίες τιμές, έχει δηλαδή βαριές ουρές, γεγονός που διαφαίνεται από τη θετική υπερβάλλουσα κύρτωση η τιμή της οποίας είναι 9.47.

Με ακριβώς αντίθετη τάση, αλλά με την ύπαρξη και πάλι ακραίων τιμών πλησιάζοντας στο σήμερα, διαφαίνεται ότι κινήθηκαν τα άλλα δύο νομίσματα στην πορεία που ακολούθησαν στο χρόνο σε σχέση με το ευρώ. Συγκεκριμένα, οι τιμές της ισοτιμίας GBP/EUR (Παράρτημα Α3: Γράφημα 3.1) αυξάνονται σταδιακά και μάλιστα πιο έντονα προς το τέλος. Οι τιμές βρίσκονται μεταξύ 0.57 και 0.98 και κατά μέσο όρο είναι 0.68 (Παράρτημα Β3: Πίνακας 3.1). Διαπιστώ-

νουμε λοιπόν, ότι η λίρα Αγγλίας αποδυναμώνεται έναντι του ευρώ. Ανάλογα συμπεράσματα, προκύπτουν κι από τη μελέτη της σειράς των αντίστοιχων ποσοστιαίων λογαριθμικών αποδόσεων (Παράρτημα Α3: Γράφημα 3.2). Η μέγιστη απόδοση που παίρνουμε είναι 3.09%, η ελάχιστη -2.73%, η κατά μέσο όρο 0.01% και η τυπική απόκλιση αυτών είναι 0.49 (Παράρτημα Β3: Πίνακας 3.2). Όπως λογικά αναμενόταν, έχουμε θετική ασυμμετρία 0.30 και θετική υπερβάλλουσα κύρτωση 6.94. Εφόσον η ιστοιμία παρουσιάζει συνεχή αύξηση είναι εύλογο να περιμένουμε, ότι η πιθανότητα να έχουμε απόδοση πάνω από το μέσο και μάλιστα θετική είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα να έχουμε απόδοση μικρότερη από το μέσο. Επιπλέον, η κατανομή είναι λεπτόκυρτη με βαριές ουρές.

Σε παρόμοια συμπεράσματα οδηγούμαστε και από την παρατήρηση της σειράς των τιμών της ιστοιμίας USD/EUR. Η διαφορά με τη λίρα Αγγλίας είναι, ότι δεν είναι τόσο καθαρά ανοδική η πορεία της ιστοιμίας. Παρουσιάζει αρκετές αυξομειώσεις μέχρι το τέλος, παρόλα αυτά όμως οι τιμές της τελευταίας περιόδου είναι εμφανώς μεγαλύτερες από αυτές της αρχικής. Συνεπώς, το αμερικάνικο δολλάριο εξασθενεί έναντι του ευρώ. Η μεγαλύτερη τιμή που εμφανίζεται είναι 1.60, η μικρότερη 0.83 και ο μέσος όρος τους είναι 1.16 (Παράρτημα Α5: Γράφημα 5.1 και Παράρτημα Β5: Πίνακας 5.1). Τώρα, όσον αφορά στις ποσοστιαίες λογαριθμικές αποδόσεις κυμαίνονται μεταξύ του -3.92% και του 4.51%, κατά μέσο όρο είναι 0.004% και έχουν τυπική απόκλιση 0.63. Τέλος, στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε θετική ασυμμετρία 0.19 και θετική υπερβάλλουσα κύρτωση 6.19. Τα δύο αυτά μεγέθη είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα για την ιστοιμία GBP/EUR. Ωστόσο και πάλι η κατανομή είναι λεπτόκυρτη, με βαριές ουρές και η πιθανότητα να έχουμε απόδοση μεγαλύτερη από το μέσο και συγκεκριμένα θετική, είναι μεγαλύτερη από το να έχουμε μικρότερη από το μέσο (Παράρτημα Α5¹: Γράφημα 5.2 και Παράρτημα Β5²: Πίνακας 5.2).

¹Τα Γραφήματα των Παραρτημάτων Α2, Α4 και Α6 αφορούν στις αντίθετες θέσεις των ιστοιμιών. Ο λόγος που δεν παρουσιάζονται και δεν αναλύονται ανωτέρω τα γραφήματα των τιμών και των αποδόσεων των θέσεων αυτών είναι γιατί ισχύουν τα ακριβώς αντίθετα.

²Οι Πίνακες των Παραρτημάτων Β2, Β4 και Β6 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του backtesting για τις αντίθετες θέσεις. Παραλείψαμε να παρουσιάσουμε τους Πίνακες με τα περιγραφικά στατιστικά μέτρα καθότι ισχύουν τα αντίθετα.

4.2 Υπολογισμός του VaR και του ES

Το επόμενο βήμα μας κατά τη μελέτη των τριών ισοτιμιών είναι ο υπολογισμός των μέτρων κινδύνου Value at Risk (VaR) και Expected Shortfall (ES). Επιλέξαμε η πρώτη εκτίμηση για κάθε ένα από τα δύο μεγέθη να προκύψει από τις πρώτες 1800 παρατηρήσεις του δείγματός μας. Έτσι, λαμβάνοντας πάντα υπόψη 1800 παρατηρήσεις, οι οποίες μετακυλίνουν από ημέρα σε ημέρα (“rolling window”), εκτιμούμε το VaR και το ES για τις 864 ημέρες, που έπονται των αρχικών 1800. Με άλλα λόγια, το “rolling sample” των 1800 παρατηρήσεων χρησιμεύει στο να παράξει τις 864 “out-of-sample” εκτιμήσεις για το VaR και το ES. Για κάθε ισοτιμία παράγουμε 95% και 99% ημερήσιες ποσοστιαίες προβλέψεις και για τα δύο μέτρα κινδύνου.

Επιπλέον, εκτιμήσαμε και τα δύο μέτρα με τη βοήθεια των παραμετρικών μοντέλων ARCH, EGARCH και APARCH για τρεις εναλλακτικές conditional συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας, την τυποποιημένη κανονική (standard normal), τη Student’s-t και τη GED (Generalized Error Distribution). Επίσης, εφαρμόσαμε τη μέθοδο της Ιστορικής Προσομοίωσης (Historical Simulation) για τρία διαφορετικά μεγέθη δειγμάτων, ένα των 250 παρατηρήσεων (περίπου 1 έτος), ένα των 500 (περίπου 2 έτη), καθώς και ένα για ολόκληρο το δείγμα μας (2664 παρατηρήσεις). Στόχος μας είναι να δούμε αν και σε ποιο βαθμό επηρεάστηκαν τα αποτελέσματα για τα δύο μέτρα κινδύνου, από τα διαφορετικά μεγέθη δειγμάτων. Ακόμη, συμπεριλάβαμε και το συνδυασμό της μη-παραμετρικής ιστορικής προσομοίωσης με το παραμετρικό μοντέλο ARCH(1) για την κανονική κατανομή, δηλαδή τη μέθοδο GARCH Normal Filtered (αντιστοιχεί στη μέθοδο Filtered Historical Simulation που ορίσαμε στην παράγραφο 1.2.2). Τέλος, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο Exponential Weighted Moving Average, που εφάρμοσε η RiskMetrics, τη μέθοδο Variance-Covariance και τη Θεωρία Ακραίων Τιμών (Extreme Value Theory (EVT)), η οποία εφαρμόστηκε για το παραμετρικό μοντέλο ARCH(1), όπου η conditional κατανομή των αποδόσεων έχει θεωρηθεί, ότι είναι η κανονική. Από την ανάλυση, που παραθέσαμε στην παράγραφο 1.2.3, γίνεται αντιληπτό ότι εφόσον η EVT υπολογίζει μόνο τις ακραίες τιμές, μέσω αυτής μπορούμε να εκτιμήσουμε μόνο το VaR κι όχι το ES. Για κάθε ένα από τα προαναφερθέντα μοντέλα, υπολογίστηκαν στο EVIEWS το VaR και το ES με τη βοήθεια προγράμματος.³

³Το πρόγραμμα μας παραχώρησε ο κύριος Τιμόθεος Αγγελίδης.

Συγκεκριμενοποιώντας τώρα τα δεδομένα μας, τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά μας θα μελετήσουμε κάθε μία ιστοιμία ξεχωριστά. Έτσι, για την ιστοιμία JPY/EUR στα γραφήματα 1.3 έως 1.34 του Παραρτήματος Α1 βλέπουμε τις γραμμικές γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων του VaR για τα διάφορα μοντέλα, που αναφέραμε παραπάνω, με τη βοήθεια των οποίων υπολογίστηκε. Αντίστοιχα, στα γραφήματα 1.35 έως 1.64 του Παραρτήματος Α1 υπάρχουν οι γραφικές παραστάσεις για το ES. Όσον αφορά στο VaR σε γενικές γραμμές παρατηρούμε, ότι σε όλα τα μοντέλα οι απώλειες που εκτιμάται ότι μπορεί να έχουμε στο μέλλον, αυξάνονται απότομα και σε μεγάλο βαθμό πλησιάζοντας στο σήμερα και είναι μεγαλύτερες για επίπεδο εμπιστοσύνης 99% από ότι για 95%. Η τελευταία διαπίστωση ήταν αναμενόμενη αφού το επίπεδο εμπιστοσύνης 99% αντιστοιχεί στο άκρο της ουράς της κατανομής κι έτσι αναμένεται να έχουμε πιο ακραίες τιμές, δηλαδή μεγαλύτερες απώλειες. Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματά μας, τις μεγαλύτερες απώλειες προβλέπουν τα μοντέλα ARCH και APARCH για αποδόσεις που ακολουθούν την conditional κατανομή Student's-t καθώς και το GARCH Normal Filtered για επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Οι μεγαλύτερες τιμές που δίνουν είναι -10.031 , -10.48 και -10.086 αντίστοιχα. Τις μικρότερες απώλειες για το ίδιο επίπεδο εμπιστοσύνης παίρνουμε από τα μοντέλα Variance-Covariance (μέγιστη τιμή: -1.715) και Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (μέγιστη τιμή: -2.181). Αξίζει δε να σημειωθεί, ότι και για τα δύο αυτά μοντέλα και για τα δύο επίπεδα εμπιστοσύνης οι χειρότερες απώλειες εμφανίζονται τις τελευταίες ημέρες και ιδιαίτερα την τελευταία. Επίσης, για τη μέθοδο της Ιστορικής Προσομοίωσης διαπιστώνουμε ότι τα αποτελέσματα για το VaR επηρεάζονται από το μέγεθος του δείγματος που παίρνουμε σε κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις (250, 500 και 2664) αφού παίρνουμε διαφορετικά αποτελέσματα. Επιπλέον, είναι η μόνη μέθοδος που το γράφημα του VaR, ανεξαρτήτως δείγματος, εμφανίζει “σκαλοπάτια”, δηλαδή κατά διαστήματα το σχήμα του είναι σαν τμήμα κύβου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι στο εκάστοτε “κινούμενο δείγμα” (“moving sample”) εμπεριέχονται ή αποκλείονται μεγάλες απώλειες, γι’ αυτό και το φαινόμενο είναι πιο έντονο στο γράφημα της Ιστορικής Προσομοίωσης με το μικρότερο δείγμα (250) από το οποίο έχουν παραλειφθεί αρκετές σημαντικές απώλειες.

Στα ίδια ακριβώς συμπεράσματα με το VaR μας οδηγεί και το Expected Shortfall. Οι μεγαλύτερες απώλειες προβλέπονται πάλι από τα μοντέλα ARCH-Student's-t (-13.278), APARCH-Student's-t (-13.814) και GARCH Normal Filtered (-13.225) για επίπεδο εμπιστοσύνης 99%.

Όμοια, οι μικρότερες απώλειες (στο 99%) δίνονται από τις μεθόδους Variance-Covariance (-1.964) και Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (-3.134). Η μόνη διαφορά είναι, ότι τώρα οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες για το VaR. Γενικότερα παρατηρούμε, ότι οι απώλειες που προβλέπονται από το ES είναι μεγαλύτερες από αυτές που εκτιμώνται από το VaR για όλα τα μοντέλα και για τα δύο επίπεδα εμπιστοσύνης. Η τελευταία διαπίστωση ήταν αναμενόμενη καθώς από τον ορισμό του ES γνωρίζουμε, ότι μας δείχνει πόσο ενδέχεται να χάσουμε κατά μέσο όρο δεδομένου ότι θα έχουμε απώλειες.

Για την αντίθετη θέση (EUR/JPY) της ίδιας ισοτιμίας, οι γραφικές παραστάσεις των VaR και ES παρουσιάζονται αντιστοίχως στα γραφήματα 2.1 έως 2.32 και 2.33 έως 2.62 του Παραρτήματος Α2. Η συμπεριφορά των αποτελεσμάτων μας και για τα δύο μέτρα κινδύνου είναι όμοια με αυτών για τη θέση JPY/EUR. Οι μεγαλύτερες απώλειες για το VaR δίνονται από τα μοντέλα ARCH-t (-10.032), APARCH-t (-10.48) και οι μικρότερες απώλειες προκύπτουν από τα Variance-Covariance (-1.715) και Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (-1.859) για διάστημα εμπιστοσύνης 99%. Σε αντίθεση με την Ιστορική Προσομοίωση για όλο το δείγμα για τη θέση JPY/EUR, τώρα η χειρότερη απώλεια προβλέπεται να συμβεί τις πρώτες ημέρες κι όχι τις τελευταίες. Για το ES έχουμε πάλι τα ARCH-t (-13.279), APARCH-t (-13.814) για τις μεγαλύτερες απώλειες και τα Variance-Covariance (-1.964) και Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (-2.492) για τις μικρότερες απώλειες, για διάστημα εμπιστοσύνης 99%. Επιπρόσθετα, σε όλα τα παραπάνω και στις δύο θέσεις της ισοτιμίας οι μεγαλύτερες τιμές, που αναφέρουμε ότι προκύπτουν, συνιστούν την 761^η εκτίμηση από τις 864.

Εντελώς αντίστοιχη πορεία ακολουθούν τα VaR και ES για την ισοτιμία GBP/EUR. Τα αποτελέσματα για το VaR φαίνονται στα γραφήματα 3.3 – 3.34 και για το ES στα αμέσως επόμενα 3.35 – 3.64 του Παραρτήματος Α3. Οι ενδεχόμενες μελλοντικές απώλειες σε όλα τα μοντέλα συσσωρεύονται πλησιάζοντας στο σήμερα και μάλιστα αυξάνονται αισθητά. Επιπλέον, οι τιμές τους είναι μεγαλύτερες για το επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Με σημαντική διαφορά τις μεγαλύτερες απώλειες παίρνουμε από το μοντέλο APARCH-t με μέγιστη τιμή την -13.571. Τις μικρότερες απώλειες παίρνουμε από τα μοντέλα Variance-Covariance (-1.102) και Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (-1.199) και εμφανίζονται τις τελευταίες ημέρες και μάλιστα του Variance-Covariance την τελευταία ημέρα. Για το ES οι χειρότερες απώλειες προκύπτουν και

πάλι από το APARCH-t με χειρότερη από όλες την -25.255 . Οι μικρότερες απώλειες (σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%) δίνονται από τα Variance-Covariance (-1.262) και Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (-1.69). Επίσης επιβεβαιώνεται, ότι οι τιμές που προέκυψαν για το ES είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του VaR. Ανάλογες παρατηρήσεις κάνουμε και για την αντίθετη θέση EUR/GBP, τα γραφήματα της οποίας είναι τα $4.1 - 4.32$ για το VaR και $4.33 - 4.62$ για το ES στο Παράρτημα A4. Η μέγιστη τιμή δίνεται από το APARCH-t και για τα δύο μέτρα κινδύνου. Για το VaR είναι -13.569 και για το ES, -25.251 . Οι μικρότερες τιμές (στο 99%) δίνονται από τα Variance-Covariance (VaR= -1.102 , ES= -1.262) και Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (VaR= -1.425 , ES= -1.991). Ακόμη διαπιστώνουμε, ότι οι μεγαλύτερες απώλειες και για τις δύο θέσεις προβλέπεται να συμβούν την 831^η ημέρα του out-of-sample δείγματος.

Συνεχίζοντας, παραθέτουμε τα γραφήματα της USD/EUR που είναι η τρίτη ισοτιμία, που μελετήσαμε. Για το VaR είναι τα $5.3 - 5.34$ και για το ES τα $5.35 - 5.64$ του Παραρτήματος A5. Οι απώλειες, όπως και στις παραπάνω περιπτώσεις, παρουσιάζονται προς το τέλος του χρονικού διαστήματος που μελετάμε. Η χειρότερη απώλεια είναι πιθανό να εμφανιστεί την 813^η ημέρα και σύμφωνα με το VaR, είναι -4.841 και δίνεται, σε αντίθεση με τις προηγούμενες ισοτιμίες από το EGARCH-t, για επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Για το ES η αντίστοιχη τιμή είναι -6.063 και προκύπτει πάλι από το ίδιο μοντέλο. Οι μικρότερες απώλειες στο ίδιο διάστημα εμπιστοσύνης, όπως και στις άλλες δύο ισοτιμίες, παράγονται από τη μέθοδο Variance-Covariance (VaR= -1.446 , ES= -1.656) και την Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (VaR= -1.653 , ES= -2.119) και εμφανίζονται τις τελευταίες ημέρες και ουσιαστικά την τελευταία. Κατ' αντιστοιχία, για την αντίθετη θέση EUR/USD, έχουμε τα γραφήματα $6.1 - 6.32$ για το VaR και $6.33 - 6.62$ για το ES (Παράρτημα A6). Σύμφωνα λοιπόν με το VaR, το μέγιστο που μπορεί να χάσουμε δίνεται από το μοντέλο της RiskMetrics (-4.025) και από το EGARCH-t (-3.83) ενώ για το ES οι αντίστοιχες τιμές είναι -4.609 και -4.625 και προκύπτουν από τα ίδια μοντέλα. Όλες αυτές οι απώλειες εμφανίζονται την 801^η ημέρα. Το δε μικρότερο ποσοστό που μπορούμε να χάσουμε (στο 99%), δίνεται από το Variance-Covariance (VaR= -1.446 , ES= -1.656) και την Historical Simulation για ολόκληρο το δείγμα (VaR= -1.553 , ES= -2.024).

Γενικεύοντας, καταλήξαμε για τις τρεις ισοτιμίες και για τις δύο θέσεις της κάθε μίας στα ακόλουθα συμπεράσματα. Σε όλες τις περιπτώσεις και ανεξαρτήτως μοντέλου μεταξύ των τριών

κατανομών, που επιλέξαμε να εργαστούμε, αυτή που δίνει πιο ακραίες τιμές είναι η Student's-t. Το μοντέλο που κατά βάση έχει τα δυσμενέστερα αποτελέσματα είναι το APARCH για την κατανομή Student's-t. Η μέθοδος που εκτιμά τις μικρότερες απώλειες σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% είναι η Variance-Covariance και η μεγαλύτερη πρόβλεψη που δίνει εμφανίζεται πάντοτε την τελευταία ημέρα. Επιπλέον, η εκτίμηση που προκύπτει από κάθε μέτρο κινδύνου για το μοντέλο αυτό είναι η ίδια και για τις δύο θέσεις. Όσον αφορά στη μέθοδο της Ιστορικής Προσομοίωσης για τα τρία διαφορετικά δείγματα, που τη μελετήσαμε, παίρνουμε διαφορετικές εκτιμήσεις. Οι χειρότερες απώλειες προκύπτουν κάθε φορά από την Ιστορική Προσομοίωση για δείγμα 250 ημερών, έπειτα από αυτή με δείγμα 500 ημερών και τέλος από αυτή που μελετά ολόκληρο το δείγμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα δύο πρώτα δείγματα είναι ελλιπή αφού είναι μικρότερα από το ολόκληρο και συνεπώς οι προβλέψεις που προκύπτουν και για τα δύο μέτρα κινδύνου δεν είναι τόσο αξιόπιστες όσο αυτές για όλο το δείγμα. Ακόμη, η συγκεκριμένη μέθοδος, για οποιοδήποτε δείγμα κι αν πάρουμε, είναι πολύ αργή στην “ενημέρωση” του VaR όταν το volatility της αγοράς αυξάνεται. Αξίζει επίσης να αναφέρουμε, ότι και το VaR αλλά και το ES εκτιμούν ότι οι πιο ακραίες απώλειες θα συμβούν πλησιάζοντας στο σήμερα, δηλαδή προς το τέλος του δείγματος των 864 ημερών. Τέλος, διαπιστώνουμε ότι το Expected Shortfall είναι πιο συντηρητικό μέτρο κινδύνου και για τα δύο διαστήματα εμπιστοσύνης καθώς προβλέπει πάντα μεγαλύτερο ποσοστιαίο χάσιμο από αυτό που εκτιμά το Value at Risk.

4.3 Backtesting των μοντέλων

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε τα καλύτερα και τα χειρότερα μοντέλα κινδύνου, που προκύπτουν από αυτά που μελετήσαμε παραπάνω. Με άλλα λόγια, διενεργήσαμε backtests, μόνο για το VaR (δε μελετήσαμε περαιτέρω το ES), χρησιμοποιώντας τα τεστ του Christoffersen. Αρχικά, κατασκευάσαμε μία ακολουθία παραβιάσεων του VaR (hit sequence) η οποία παίρνει την τιμή 0, όταν η ημερήσια απώλεια δεν ξεπερνάει την αντίστοιχη πρόβλεψη του VaR και την τιμή 1, όταν την ξεπερνάει. Ακολούθως, με τον τρόπο που περιγράψαμε στις παραγράφους 2.1.2, 2.1.3 και 2.1.4 υπολογίσαμε τα P-Values για τα τεστ του Christoffersen, για την αδέσμευτη κά-

λυση (unconditional coverage), την ανεξαρτησία (independence) και την υπό συνθήκη κάλυψη (conditional coverage). Στο σημείο αυτό να διευκρινίσουμε, ότι το πρώτο τεστ, που είναι το unconditional coverage, αναπτύχθηκε αρχικά από τον Kupiec το 1995. Την προαναφερθείσα διαδικασία την ακολουθήσαμε για όλες τις ισοτιμίες και τις δύο θέσεις τους και για όλα τα μοντέλα, μέσω των οποίων εκτιμήσαμε το VaR, στα προηγούμενα. Στα καταλληλότερα μοντέλα οδηγηθήκαμε από τις περιπτώσεις, που η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται για τα περισσότερα από τα τρία τεστ, για επίπεδο εμπιστοσύνης 10%. Επιλέξαμε να εργαστούμε σε επίπεδο σημαντικότητας 10% κι όχι για κάποιο μικρότερο, προκειμένου να είμαστε πιο συντηρητικοί και να αποφύγουμε τα σφάλματα τύπου II, τα οποία ενδέχεται να αποβούν δαπανηρά για έναν risk manager. Να επισημάνουμε, ότι οι risk managers που χρησιμοποιούν αυτά τα τεστ, δεν μπορούν να ταξινομήσουν τα καταλληλότερα μοντέλα, γιατί ένα μοντέλο με μεγαλύτερο P-Value δε είναι απαραίτητα καλύτερο από τα άλλα κι έτσι δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως το πιο αξιόπιστο.

Θα αναλύσουμε λοιπόν τα αποτελέσματά μας, που βρίσκονται στο Παράρτημα Β, για κάθε μία ισοτιμία. Στην αριστερή στήλη οι πίνακες έχουν τα νούμερα, που προέκυψαν κατόπιν υπολογισμών και για τους τρεις ελέγχους της μεθόδου του Christoffersen, για δύο επίπεδα εμπιστοσύνης αναφορικά με τον υπολογισμό του VaR, 95% και 99%. Συγκεκριμένα, τα T_0 και T_1 αντιστοιχούν στο πλήθος των 0 και 1 της “hit sequence”. Τα T_{00} , T_{01} , T_{10} και T_{11} είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων που ένα 0 ακολουθείται είτε από ένα άλλο είτε από ένα 1 και ένα 1 ακολουθείται είτε από ένα 0 είτε από ένα 1, αντιστοίχως. Το π ισούται με $\frac{T_1}{T_0+T_1}$, το π_{01} ισούται με $\frac{T_{01}}{T_0}$ και το π_{11} ισούται με $\frac{T_{11}}{T_1}$. Τα δε LR_{uc} , LR_{ind} και LR_{cc} είναι τα στατιστικά μέτρα που μας δίνουν τα P-Values για τους ελέγχους του Christoffersen. Στη δεξιά στήλη οι πίνακες μας δίνουν για ποιόν ή για ποιούς από τους τρεις ελέγχους απορρίπτεται ή προκρίνεται κάθε μοντέλο. Ο πρώτος έλεγχος LR_{uc} εξετάζει αν ο μέσος αριθμός των παραβιάσεων του VaR είναι στατιστικά ίσος με τον αναμενόμενο αριθμό, ενώ ο δεύτερος LR_{ind} , αν οι παραβιάσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Τέλος, ο τρίτος LR_{cc} συνιστά το συνδυασμό των δύο προηγούμενων, δηλαδή ελέγχει ταυτόχρονα εάν οι παραβιάσεις είναι ανεξάρτητες κι αν ο μέσος αριθμός τους ισούται με τον αναμενόμενο.

Για την ισοτιμία JPY/EUR, στα ακόλουθα, θα αναφερόμαστε στους Πίνακες 1.3 έως 1.34 του Παραρτήματος Β1. Διαπιστώνουμε, ότι τα καλύτερα μοντέλα προκύπτουν για την κατανομή Student's-t και είναι το EGARCH-t, το APARCH-t και το αμέσως επόμενο είναι το ARCH-t.

Όσον αφορά στα EGARCH-t και APARCH-t περνάνε και τους τρεις ελέγχους, οι οποίοι αντιστοιχούν στο VaR που υπολογίστηκε για διάστημα εμπιστοσύνης 95% καθώς και τον έλεγχο ανεξαρτησίας για διάστημα εμπιστοσύνης 99%. Το ARCH-t περνάει μόνο τους ελέγχους LR_{ind} και LR_{cc} για διάστημα εμπιστοσύνης 95% και τον έλεγχο LR_{ind} για το 99%. Τα χειρότερα μοντέλα, για τα οποία απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και για τους τρεις ελέγχους και για 95% και για 99% είναι η Ιστορική Προσομοίωση για όλο το δείγμα και η μέθοδος Variance-Covariance. Στο σημείο αυτό αξίζει να παρατηρήσουμε, ότι τα APARCH-t και ARCH-t ήταν τα δύο από τα τρία μοντέλα, που κατά τον υπολογισμό του VaR, έδωσαν τις μεγαλύτερες εκτιμήσεις για απώλειες. Επίσης, η μέθοδος της Ιστορικής Προσομοίωσης για όλο το δείγμα και η μέθοδος Variance-Covariance, ήταν αυτές που προέβλεψαν τις μικρότερες απώλειες σε επίπεδο σημαντικότητας 99%.

Τα αποτελέσματά μας για την αντίθετη θέση EUR/JPY βρίσκονται στους Πίνακες 2.1 έως 2.32 του Παραρτήματος Β2. Τα μοντέλα που προκύπτουν ως πιο κατάλληλα από τα τεστ είναι αυτό της RiskMetrics και το EGARCH-Normal. Έπονται το ARCH-t, το EGARCH-GED και το APARCH-t. Ανάμεσά τους ξεχωρίζει το APARCH-t, το οποίο είναι αποδεκτό κι από τους τρεις ελέγχους, που αντιστοιχούν σε επίπεδο εμπιστοσύνης υπολογισμού του VaR 99%. Αντίθετα, αυτά που δεν περνούν κανένα έλεγχο είναι η Ιστορική Προσομοίωση για όλο το δείγμα κι η GARCH Normal Filtered. Όπως παρατηρούμε, υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις στα καλύτερα και στα χειρότερα μοντέλα ανάμεσα στις δύο θέσεις της ίδιας ισοτιμίας.

Στο Παράρτημα Β3 οι Πίνακες 3.3 – 3.34 περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα της ισοτιμίας GBP/EUR ενώ οι Πίνακες 4.1 – 4.32 (Παράρτημα Β4) τα αντίστοιχα της θέσης EUR/GBP. Τα μοντέλα, που είναι τα πλέον επαρκέστερα, καθώς περνούν όλους τους ελέγχους, για υπολογισμό του VaR τόσο στο 95% όσο και στο 99%, είναι της RiskMetrics και το EGARCH-GED. Τα αμέσως επόμενα καλύτερα είναι το EGARCH-Normal και το EGARCH-t, καθώς και τα δύο περνούν και τους τρεις ελέγχους για VaR υπολογισμένο στο 95% κι έναν από τους τρεις για VaR, που υπολογίστηκε στο 99% (τον LR_{uc} και τον LR_{ind} αντίστοιχα). Στο αντίθετο άκρο βρίσκεται το Historical Simulation 2 (για δείγμα 500 ημερών), το οποίο απορρίπτεται παντού. Όσο για την αντίθετη θέση, τα καλύτερα μοντέλα είναι το ARCH-t και το EGARCH-t αφού δεν απορρίπτονται από κανέναν έλεγχο. Τα δε αναξιόπιστα, που δεν περνούν κανένα από τα τεστ,

είναι το Historical Simulation All (για όλο το δείγμα) και το Variance-Covariance.

Όσο για την ισοτιμία USD/EUR και την αντίθετη θέση της EUR/USD, τα συμπεράσματά μας βγαίνουν από τους Πίνακες 5.3 – 5.34 και 6.1 – 6.32, των Παραρτημάτων Β5 και Β6, αντίστοιχα. Το επικρατέστερο μοντέλο για την USD/EUR είναι το ARCH-t, καθώς είναι αποδεκτό από όλους τους ελέγχους. Τα αμέσως επόμενα είναι αυτό της RiskMetrics, το οποίο απορρίπτεται μόνο για τον έλεγχο LR_{uc} για VaR στο 99% και το EGARCH-Normal, το οποίο απορρίπτεται για τον ίδιο έλεγχο, αλλά για VaR στο 95%. Επίσης, αξιόπιστα θεωρούνται και τα EGARCH-t και APARCH-t αφού για VaR στο 99% είναι αποδεκτά και για τα τρία κριτήρια ενώ για VaR στο 95% απορρίπτονται για τα LR_{uc} και LR_{cc} . Η μέθοδος, που προκύπτει ως λιγότερο αξιόπιστη είναι η Extreme Value Theory, που περνάει μόνο το τεστ LR_{ind} για VaR στο 99%. Τέλος, για την EUR/USD το καλύτερο μοντέλο είναι και πάλι το ARCH-t αφού απορρίπτεται μόνο για τον έλεγχο LR_{ind} για VaR που υπολογίστηκε για διάστημα εμπιστοσύνης 99%. Το αμέσως επόμενο είναι το EGARCH-Normal που είναι αποδεκτό και στα τρία τεστ για VaR στο 95% και δεν είναι αποδεκτό μόνο για τα LR_{uc} και LR_{cc} για VaR στο 99%. Τα μοντέλα, που περνούν μονάχα έναν έλεγχο και χαρακτηρίζονται ως λιγότερο αξιόπιστα είναι το Historical Simulation 2 (για δείγμα 500 ημερών), το ARCH-GED, το GARCH Normal Filtered, το APARCH-t και το APARCH-GED.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, καταλήγουμε στις εξής γενικές διαπιστώσεις για τα δεδομένα μας. Τα μοντέλα, τα οποία εμφανίζονται να πληρούν τα περισσότερα από τα κριτήρια του Christoffersen και στις τρεις ισοτιμίες και για τις δύο θέσεις, είναι το ARCH και το EGARCH. Η δε πιο αξιόπιστη κατανομή για τις παραβιάσεις προέκυψε ότι είναι η Student's-t. Αντίθετα, εντελώς ανεπαρκή προκύπτουν σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις τα απλούστερα μοντέλα, δηλαδή η Ιστορική Προσομοίωση και το Variance-Covariance. Η μοναδική περίπτωση, που δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο το οποίο να απορρίπτεται για όλους τους ελέγχους είναι η ισοτιμία EUR/USD για την οποία ως λιγότερο κατάλληλα παρουσιάζονται τα πιο σύνθετα παραμετρικά μοντέλα, όπως το APARCH, το GARCH Normal Filtered και το ARCH. Ακόμη παρατηρούμε, ότι για τις θέσεις της ίδιας ισοτιμίας δεν είναι απαραίτητο ότι θεωρούνται επαρκέστερα τα ίδια ακριβώς μοντέλα. Βέβαια, παρά το γεγονός ότι κάποια από τα μοντέλα που επεξεργαστήκαμε πέρασαν όλους τους ελέγχους για VaR και του 95% και του 99% και κάποια άλλα δεν πέρασαν κανέναν, δεν είμαστε

σε θέση να πούμε με σιγουριά ποια είναι ακατάλληλα μοντέλα κινδύνου.

4.4 Stress Testing των μοντέλων

Το τελευταίο και σημαντικότερο στάδιο κατά τη μελέτη μας για τις τρεις ισοτιμίες είναι η εκτέλεση σεναρίων ακραίων καταστάσεων, δηλαδή το λεγόμενο stress testing. Στόχος μας είναι να ελέγξουμε αν το VaR, που υπολογίσαμε με τα προαναφερθέντα μοντέλα, προβλέπει επαρκώς τις ενδεχόμενες μελλοντικές απώλειες, ακόμα και στην περίπτωση εμφάνισης κάποιου σχεδόν απίθανου γεγονότος ικανού ωστόσο να ταραξεί σημαντικά την εξέλιξη των μελλοντικών αποδόσεων. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό ακολουθήσαμε τη μεθοδολογία, που εφάρμοσαν οι Alexander Carol και Sheedy Elizabeth στην εργασία τους με τίτλο “Developing a stress testing framework based on market risk models”, [1].

Ξεκινήσαμε λοιπόν, θεωρώντας ένα αρχικό shock (initial shock) ε^* , το οποίο επιλέξαμε να παραχθεί είτε από την εμπειρική κατανομή είτε από την κατανομή Student's-t. Στην περίπτωση της εμπειρικής κατανομής το αρχικό shock για μία θέση long είναι το α ποσοστημόριο της ενώ για την κατανομή Student's-t προκύπτει από τη σχέση 3.1, που δίνεται στην παράγραφο 3.2.1. Στην παρούσα εργασία επιλέξαμε ως α το 0.0002 και το 0.0005, δηλαδή αναφερόμαστε σε απώλειες για τις οποίες είμαστε βέβαιοι κατά 99.98% και 99.95% αντιστοίχως, ότι δεν πρόκειται να ξεπεραστούν μέσα σε μία ημέρα. Ο Πίνακας 1, που ακολουθεί παρουσιάζει τις δύο αυτές εναλλακτικές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό του αρχικού shock για τις long θέσεις της καθεμιάς ισοτιμίας και για τις δύο τιμές του α .

Πίνακας 1. Εκτίμηση του αρχικού shock για τα stress tests

Αρχικό shock ανά μοντέλο		Short JPY/ Long EUR (%)	Short GBP/ Long EUR (%)	Short USD/ Long EUR (%)
$\alpha=0.0002$	Εμπειρική	-6.99	-2.73	-3.88
	Student 's-t	-7.61	-4.84	-4.77
$\alpha=0.0005$	Εμπειρική	-6.12	-2.73	-2.96
	Student 's-t	-6.01	-3.83	-3.93

Ορίσαμε το αρχικό shock χρησιμοποιώντας όλα τα δεδομένα μας μέχρι και το Μάρτιο του 2009. Από τα αποτελέσματά μας διαπιστώνουμε, ότι σε όλες τις περιπτώσεις η κατανομή Student's-t δίνει τα μεγαλύτερα κατά απόλυτη τιμή shocks. Η μοναδική εξαίρεση παρουσιάζεται στην ισοτιμία short JPY/long EUR για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.0005$, όπου η εμπειρική κατανομή μας δίνει λίγο μεγαλύτερο shock από το αντίστοιχο της Student's-t. Επίσης, όπως ήταν αναμενόμενο, τα shocks που προέρχονται από την ίδια κατανομή για $\alpha=0.0002$ είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για $\alpha=0.0005$.

Το επόμενο βήμα μας ήταν να εφαρμόσουμε μία στρατηγική μοντελοποίησης των αποτελεσμάτων μας μετά το shock (after shock), κατάλληλη για τα δεδομένα που επεξεργαστήκαμε. Εργαστήκαμε μόνο για conditional μοντέλα κινδύνου και συγκεκριμένα για το ARCH-Student's-t και για άλλα δύο, τα οποία σύμφωνα με το backtesting που διενεργήσαμε νωρίτερα, προέκυψαν ως τα καταλληλότερα για κάθε ισοτιμία. Η μελέτη μας έγινε για τις long θέσεις αφού, όπως γνωρίζουμε, η διαδικασία που ακολουθείται είναι εντελώς ανάλογη και για τις αντίστοιχες short θέσεις.

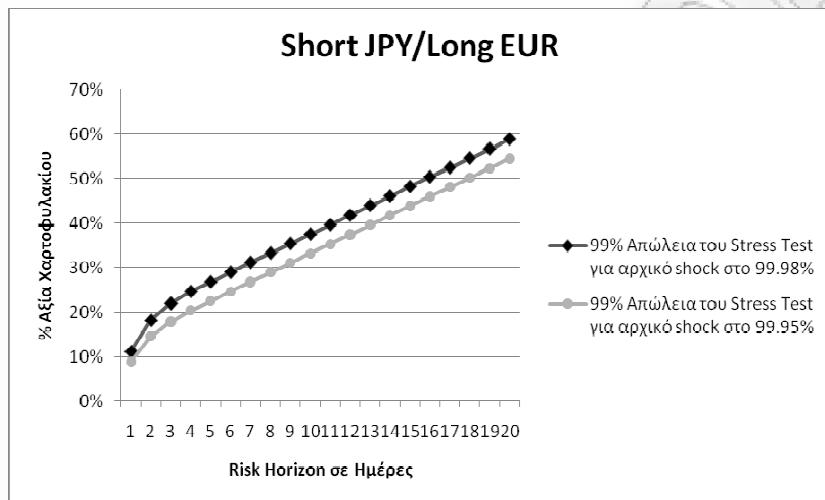
Έτσι, ακολουθώντας τη μέθοδο των Alexander και Sheedy, που αναφέραμε στην παράγραφο 3.2.2, εκτιμήσαμε τις διασπορές που προκύπτουν για κάθε μοντέλο για κάθε μία ημέρα του stress test με βάση το εκάστοτε αρχικό shock είτε αυτό προέρχεται από την εμπειρική κατανομή είτε από τη Student's-t. Κατόπιν προσομοιώσαμε με τη μέθοδο Monte Carlo, 30000 μονοπάτια πιθανών αποδόσεων των ισοτιμιών μας για χρονικό ορίζοντα 20 ημερών, δηλαδή για άλλες 19 ημέρες πέραν της ημέρας του αρχικού shock. Επιλέξαμε, η διάρκεια του stress test μας να είναι 20 ημέρες κι όχι μία, ούτως ώστε να συμπεριλαμβάνονται πιθανές καθυστερήσεις στο κλείσιμο μίας θέσης. Με άλλα λόγια, οι 20 ημέρες συνιστούν την περίοδο διακράτησης (holding period), δηλαδή το διάστημα που απαιτείται μέχρι να αντισταθμιστεί πλήρως (fully hedged) το χαρτοφυλάκιο έναντι περαιτέρω απωλειών. Τελειώνοντας, υπολογίσαμε την αθροιστική κατανομή των απωλειών προκειμένου να διαπιστώσουμε πόση ενδέχεται να είναι η συνολική απώλεια, σύμφωνα με το stress test για κάθε μία από τις ημέρες διάρκειάς του. Πιο συγκεκριμένα, καταλήξαμε σε απώλειες για τις οποίες είμαστε κατά 99% βέβαιοι, ότι δεν πρόκειται να ξεπεραστούν σε μία ημέρα, δεδομένου ότι το αρχικό shock είμαστε είτε 99.98% είτε 99.95% σίγουροι ότι δεν πρόκειται να επιφέρει μεγαλύτερη απώλεια μέσα σε μία ημέρα, από αυτή που εκτιμήσαμε. Τα βήματα αυτά τα εφαρ-

μόσαμε αναλυτικά σε έναν κώδικα στο EViews, ο οποίος τροποποιείται κάθε φορά ως προς τις παραμέτρους του, ανάλογα με το μοντέλο και ως προς τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται οι τυποποιημένες (standardized) αποδόσεις, ανάλογα με την κατανομή που μελετάμε. Οι κώδικες, που χρησιμοποιήσαμε για όλες τις πιθανές περιπτώσεις, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ του Παραρτήματος, στο τέλος της εργασίας.

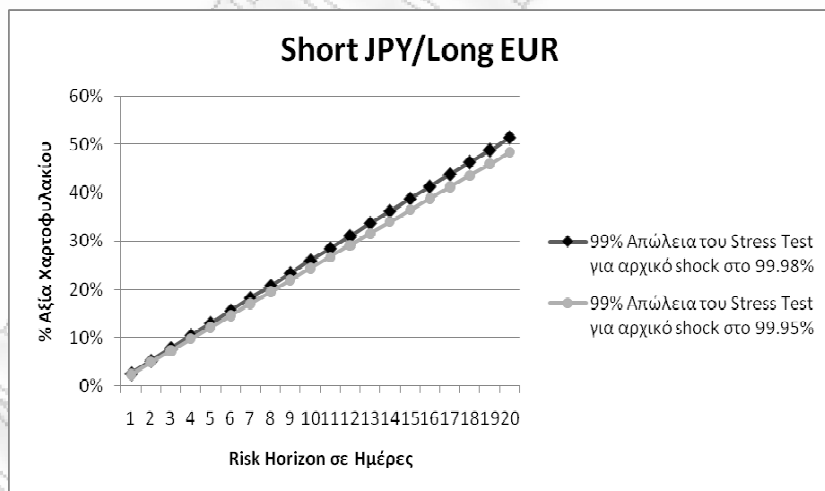
Αναλύοντας τώρα κάθε μία ισοτιμία ξεχωριστά έχουμε τα ακόλουθα. Για την short JPY/long EUR διενεργήσαμε stress testing βασισμένο σε τρία Conditional t και σε τρία Conditional Empirical μοντέλα, στο ARCH, στο EGARCH και στο APARCH. Τα αποτελέσματά μας φαίνονται στα επόμενα γραφήματα.

Γράφημα 1. Απώλειες ανά ημέρα που προκύπτουν από τα Stress Tests

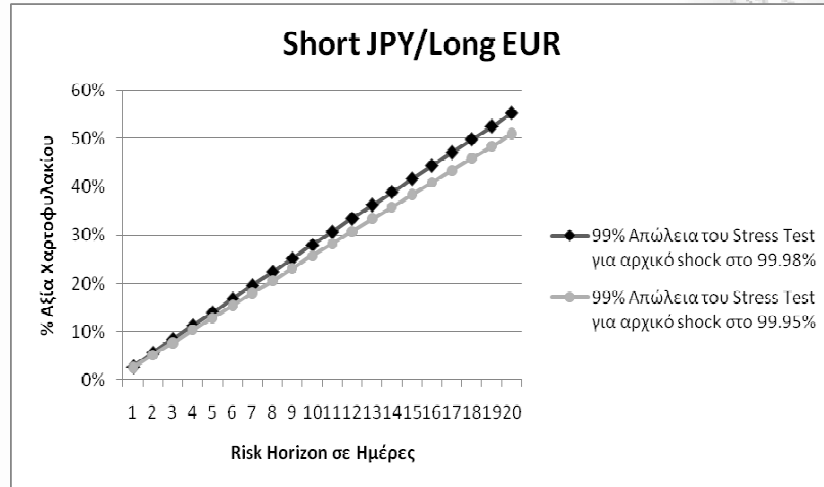
Γράφημα 1.1. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο ARCH-t



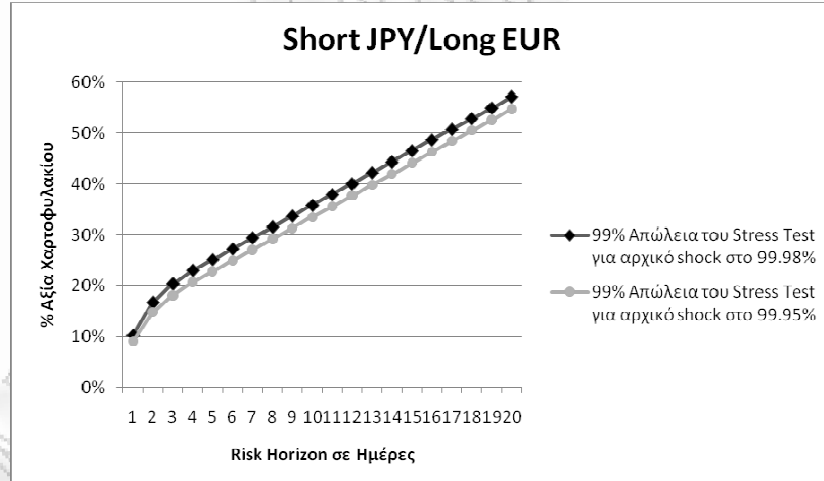
Γράφημα 1.2. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο EGARCH-t



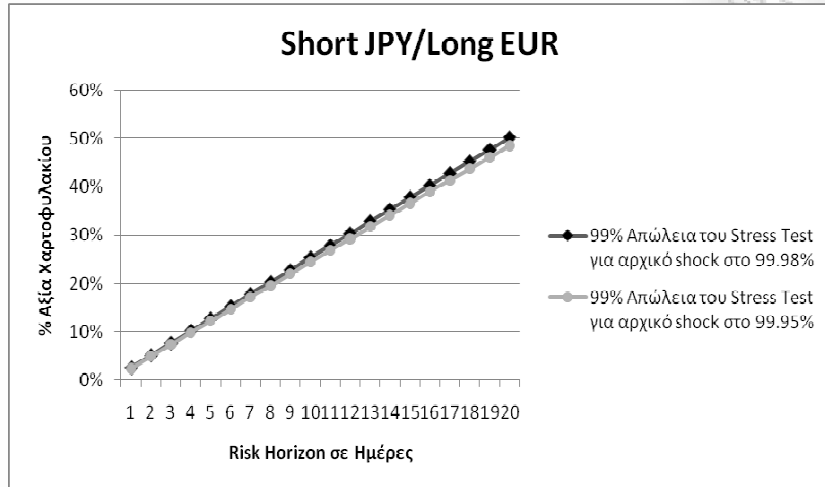
Γράφημα 1.3. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο APARCH-t



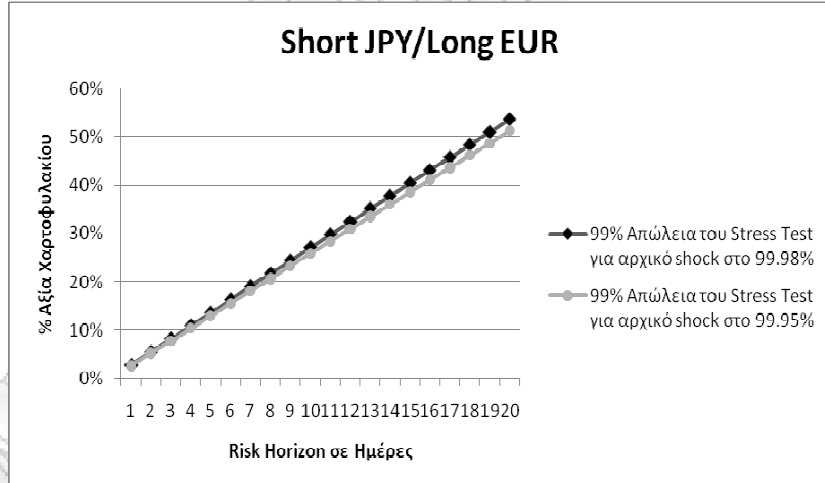
Γράφημα 1.4. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο ARCH-t



Γράφημα 1.5. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο EGARCH-t



Γράφημα 1.6. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο APARCH-t



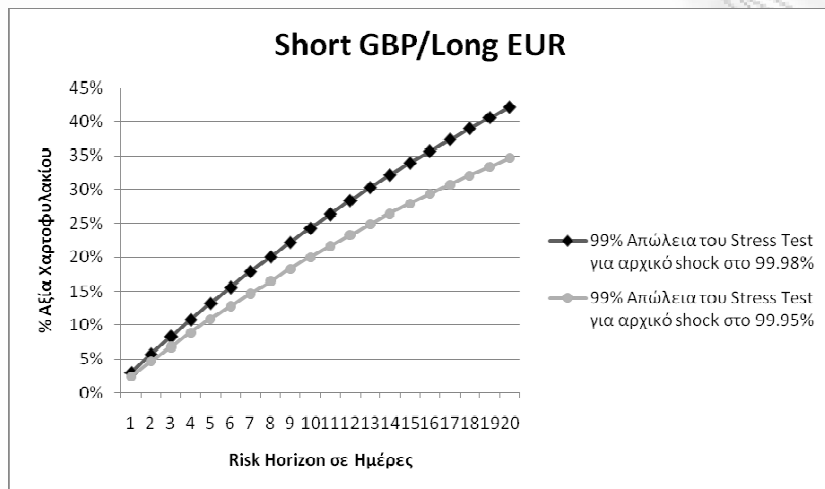
Στον οριζόντιο άξονα κάθε γραφήματος έχουμε το χρονικό ορίζοντα του stress test, στον κάθετο την αξία του χαρτοφυλακίου ως ποσοστό και οι γραφικές παραστάσεις μας δείχνουν την 99% απώλεια του stress test (stress loss), η οποία αντιστοιχεί σε αρχικό shock στο 99.98% και στο 99.95% ποσοστημόριο. Σε γενικές γραμμές διαπιστώνουμε, ότι σχεδόν σε όλο το χρονικό διάστημα των 20 ημερών και για όλα τα μοντέλα κινδύνου, το αρχικό shock στο 99.98% ποσοστημόριο μας οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες του stress test. Ακόμη, το ARCH-t δίνει από την πρώτη κιόλας ημέρα μεγαλύτερες απώλειες από τα άλλα δύο μοντέλα ανεξάρτητα από την κατανομή που προέρχεται το αρχικό shock. Ενδεικτικά την πρώτη ημέρα για το ARCH-t η 99% απώλεια, για αρχικό shock από τη Student's-t, στο 99.98% ποσοστημόριο αντιστοιχεί στο 11.12% της αξίας του χαρτοφυλακίου ενώ για το EGARCH-t αντιστοιχεί στο 2.60% και για το APARCH-t στο 2.80%. Στη δε εμπειρική κατανομή οι αθροιστικές απώλειες είναι σχεδόν ταυτόσημες καθ' όλη τη διάρκεια του τεστ, ιδίως στο EGARCH-t και στο APARCH-t. Επιπλέον για όλα τα μοντέλα παρατηρούμε, ότι για αρχικό shock στο 99.98% από τη Student's-t, οι απώλειες ως ποσοστά επί της αξίας του χαρτοφυλακίου είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες για αρχικό shock από την εμπειρική κατανομή. Αντίθετα, για αρχικό shock στο 99.95% από τη Student's-t, οι απώλειες είναι ελαφρώς μικρότερες από τις αντίστοιχες για αρχικό shock από την εμπειρική κατανομή. Ο λόγος που συνέβη αυτό είναι το γεγονός ότι, ένα μεγάλο αρχικό shock εύλογα επιφέρει μετέπειτα μεγάλες απώλειες. Επομένως, εφόσον στη μία περίπτωση η Student's-t έχει δώσει μεγαλύτερο αρχικό shock από αυτό της εμπειρικής (Πίνακας 1), συνεπάγεται ότι και οι απώλειες που προκύπτουν στην πορεία του stress test θα είναι μεγαλύτερες. Εντελώς ανάλογα, για αρχικό shock στο 99.95% προέκυψε ότι η Student's-t δίνει λίγο μικρότερο αποτέλεσμα από την εμπειρική, συνεπώς και οι επερχόμενες απώλειες είναι ελάχιστα μικρότερες.

Αν τώρα θελήσουμε να συγκρίνουμε τις απώλειες, που προέκυψαν από τα stress tests μας για τα τρία conditional μοντέλα, με την εποπτική κεφαλαιακή επάρκεια, όπως αυτή προβλέπεται από τη Βασιλεία II (regulatory capital requirements), έχουμε τις παρακάτω παρατηρήσεις. Κατ' αρχήν εκφράσαμε την κεφαλαιακή επάρκεια ως ποσοστό της αξίας του χαρτοφυλακίου και την υπολογίσαμε για κάθε μοντέλο κινδύνου ως $-3*VaR_{0.01,10-day}$. Για το ARCH-t λοιπόν, βρήκαμε ότι το κεφάλαιο που απαιτείται ισούται με το 20.55% της αξίας του χαρτοφυλακίου. Όπως διαπιστώνουμε όμως βλέποντας τα Γραφήματα 1.1 και 1.4, το κεφάλαιο, ο υπολογισμός του

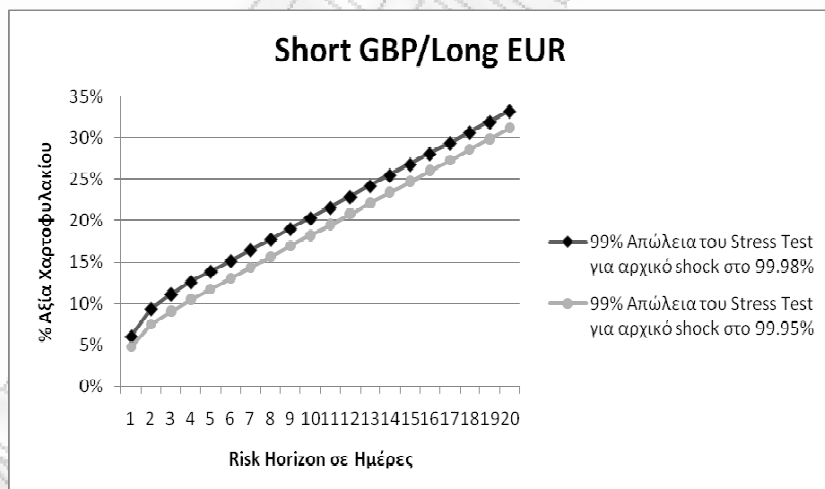
οποίου έγινε με βάση το VaR κάθε μοντέλου, δεν επαρκεί παρά μόνο τις πρώτες ημέρες. Έτσι, από το Γράφημα 1.1 οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι το κεφάλαιο ξεπερνάει τις απώλειες του stress test αν ο χρονικός ορίζοντας δεν είναι πέρα από 2 ή 4 ημέρες (ανάλογα με το μέγεθος του αρχικού shock). Στο δε Γράφημα 1.4 μόνο τις τρεις πρώτες ημέρες το κεφάλαιο καλύπτει τις απώλειες του stress test και για τα δυο διαφορετικά shock. Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι αν θέλουμε να είμαστε καλυμμένοι για ένα διάστημα μεγαλύτερο των 2 ή 3 ή 4 ημερών θα πρέπει να αυξήσουμε το εποπτικό κεφάλαιο. Για το δεύτερο μοντέλο, το EGARCH-t, υπολογίσαμε ότι το κεφάλαιο που απαιτείται αντιστοιχεί στο 12.99% του χαρτοφυλακίου και είναι επαρκές έναντι των επερχόμενων απωλειών του stress test μόνο για τις 4 ή 5 πρώτες ημέρες για αρχικό shock στο 99.98% ή στο 99.95% αντίστοιχα (Γράφημα 1.2). Όσο για την περίπτωση που το shock προέρχεται από την εμπειρική κατανομή το κεφάλαιο είναι αρκετό για την κάλυψη των απωλειών για διάστημα 5 ημερών (Γράφημα 1.5). Τέλος για το APARCH-t, η βασιζόμενη στο VaR κεφαλαιακή επάρκεια είναι το 19.92% της αξίας του χαρτοφυλακίου και ξεπερνά τις απώλειες από πιθανές ακραίες καταστάσεις για χρονικό ορίζοντα 7 ημερών ανεξάρτητα από το μέγεθος του αρχικού shock και από την κατανομή προέλευσής του (Γράφημα 1.3 και Γράφημα 1.6).

Όσον αφορά στη δεύτερη ισοτιμία, δηλαδή την short GBP/long EUR, τα stress test μας, έγιναν για το μοντέλο της RiskMetrics, για το ARCH-t και για το EGARCH-GED. Επιδιώξαμε να παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά τριών αρκετά διαφορετικών μοντέλων και μάλιστα το ARCH και το EGARCH διαφέρουν και ως προς τις conditional κατανομές τους. Οι εκτιμήσεις (τιμές), που προέκυψαν μας οδήγησαν στα ακόλουθα γραφήματα.

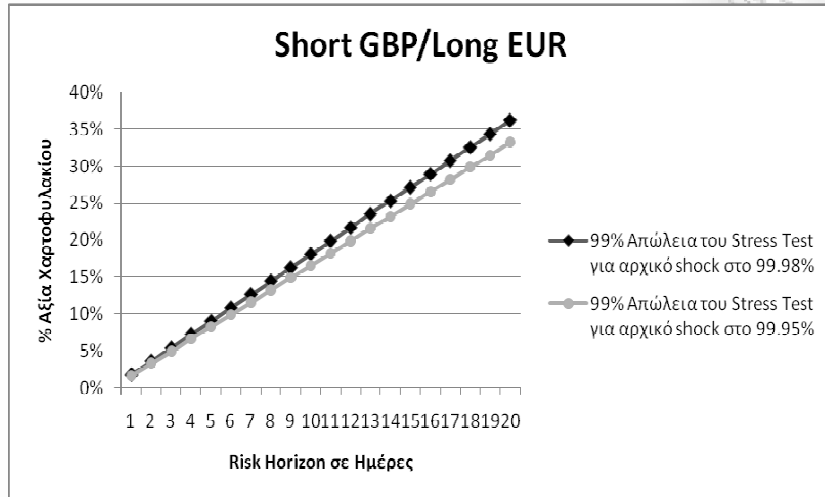
Γράφημα 1.7. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο RiskMetrics



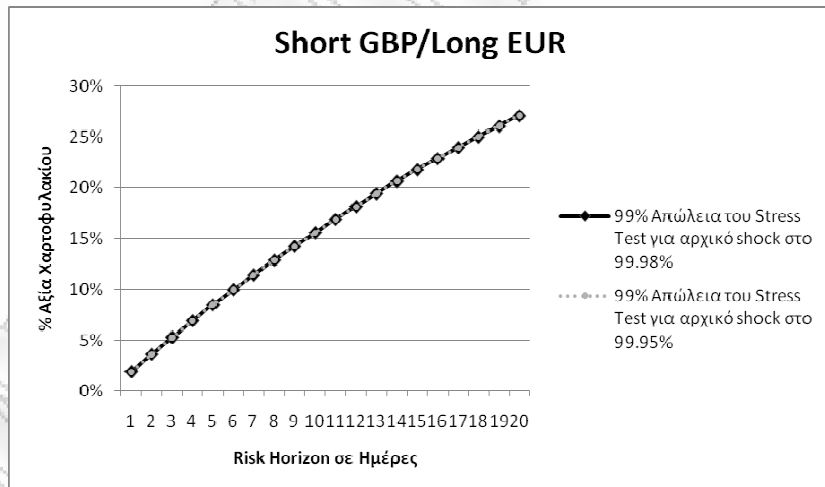
Γράφημα 1.8. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο ARCH-t



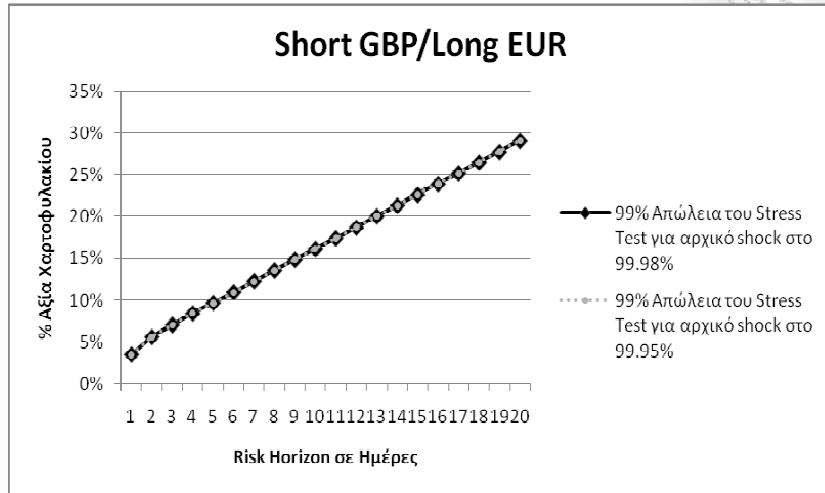
Γράφημα 1.9. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο EGARCH-GED



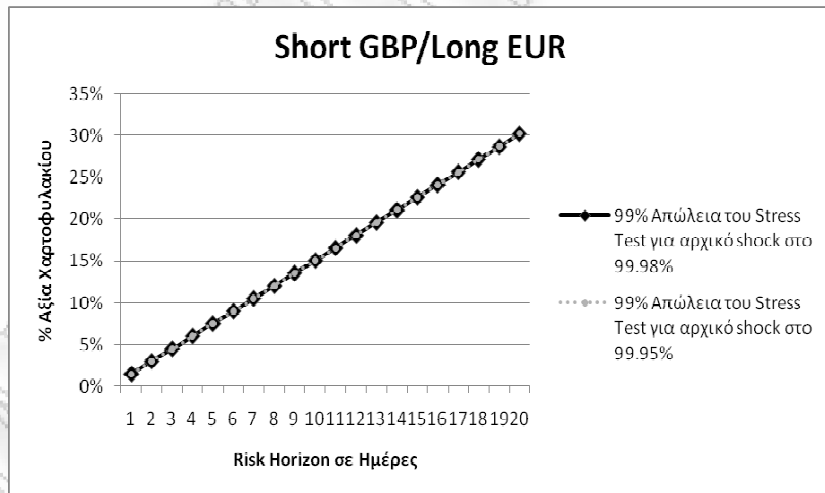
Γράφημα 1.10. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο RiskMetrics



Γράφημα 1.11. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο ARCH-t



Γράφημα 1.12. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο EGARCH-GED

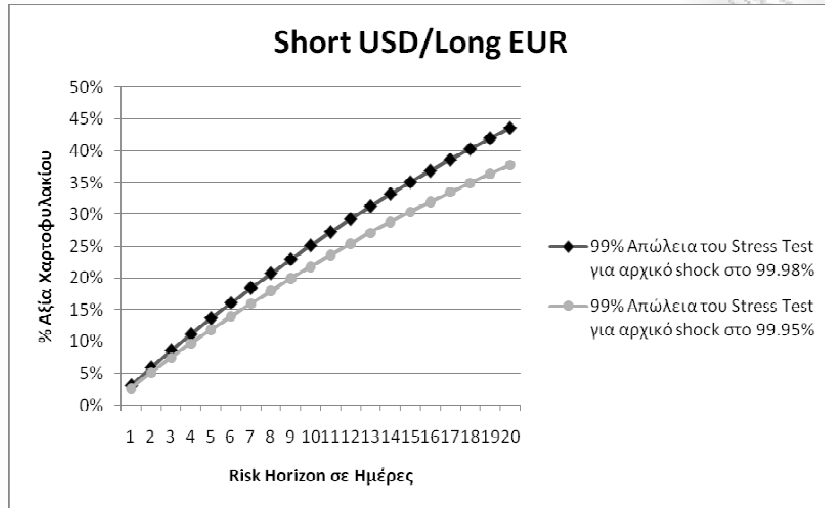


Μία πρώτη παρατήρηση είναι ότι για αρχικό shock από τη Student's-t, το μοντέλο της RiskMetrics από ένα χρονικό σημείο κι έπειτα δίνει μεγαλύτερες απώλειες από τα άλλα δύο μοντέλα και παρουσιάζει σημαντική διαφορά μεταξύ των απωλειών για αρχικό shock διαφορετικού μεγέθους, η οποία αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Τις πρώτες ημέρες, μεγαλύτερες απώλειες εκτιμώνται από το ARCH-t και η διαφορά ανάμεσα στις απώλειες που δίνουν ανά ημέρα τα διαφορετικού μεγέθους shock, είναι σχεδόν σταθερή. Παραδείγματος χάρη, το μοντέλο της RiskMetrics την 20^η ημέρα για shock στο 99.98% έδωσε απώλεια της τάξης του 42.18% ενώ για shock στο 99.95% η απώλεια ήταν 34.69%. Οι αντίστοιχες τιμές για το ARCH-t είναι 33.25% και 31.18% και για το EGARCH-GED 36.16% και 33.20%. Την 1^η ημέρα του τεστ για shock στο 99.98% το ARCH-t εκτίμησε απώλεια 5.98% ενώ το μοντέλο της RiskMetrics και το EGARCH-GED εκτίμησαν 2.98% και 1.80% αντιστοίχως. Σε αντίθεση με πριν, οι απώλειες των τριών μοντέλων, όταν το αρχικό shock επιλέχθηκε από την εμπειρική κατανομή, ταυτίζονται σχεδόν απόλυτα καθ' όλη τη διάρκεια του τεστ για τα δύο διαφορετικού μεγέθους shock. Επίσης, και για τα τρία μοντέλα, οι απώλειες που εκτιμήθηκαν είναι μεγαλύτερες για shock στο 99.98% από ότι στο 99.95% και για shock από τη Student's-t από ότι από την εμπειρική.

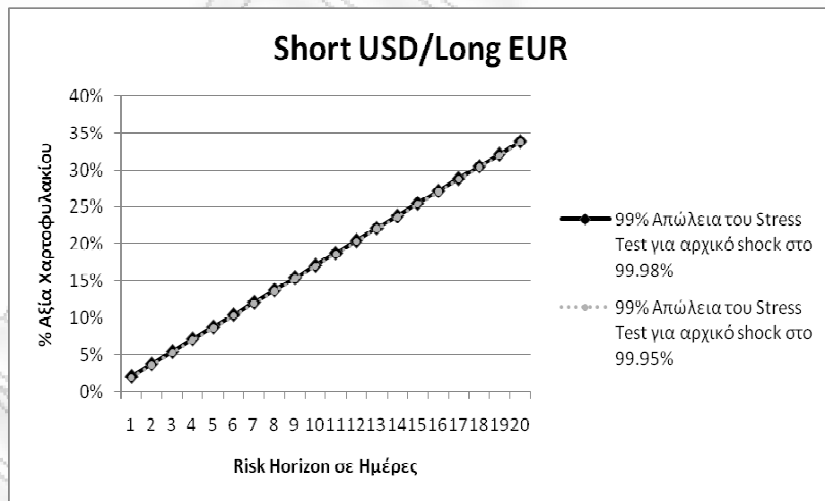
Για το εποπτικό κεφάλαιο που βασίζεται στο VaR του κάθε μοντέλου, έχουμε τα εξής. Από το μοντέλο της RiskMetrics προέκυψε, ότι το αναγκαίο κεφάλαιο συνιστά το 7.10% της αξίας του χαρτοφυλακίου. Από το γράφημα 1.7 όμως διαπιστώνουμε, ότι το ποσοστό αυτό καλύπτει τις απώλειες μόνο για τις πρώτες 2 ή 3 ημέρες για τα δύο εναλλακτικά shock ενώ στο Γράφημα 1.10 βλέπουμε ότι αν η διάρκεια του τεστ δεν ξεπερνά τις 4 ημέρες τότε το κεφάλαιο καθίσταται επαρκές και για τα δύο shock. Από το ARCH-t καταλήξαμε ότι χρειαζόμαστε κεφάλαιο ίσο με 12.22% το οποίο ξεπερνά τις απώλειες είτε αν ο χρονικός ορίζοντας δεν υπερβαίνει τις 3 ή τις 5 ημέρες (Γράφημα 1.8) είτε αν δεν είναι πέρα από τις 6 ημέρες (Γράφημα 1.11). Όσο για το EGARCH-GED η κεφαλαιακή επάρκεια προσδιορίσαμε ότι ισούται με το 7.93% και όπως φαίνεται στο Γράφημα 1.9, μας εξασφαλίζει για χρονικό διάστημα που δεν είναι μεγαλύτερο από 4 ημέρες για shock από την κατανομή Student's-t ή 5 ημέρες για shock από την εμπειρική (Γράφημα 1.12).

Ολοκληρώσαμε τη διαδικασία του stress testing για την ισοτιμία short USD/long EUR για το μοντέλο της RiskMetrics και τα μοντέλα ARCH-t και EGARCH-Normal. Έτσι, έχουμε τα παρακάτω γραφήματα.

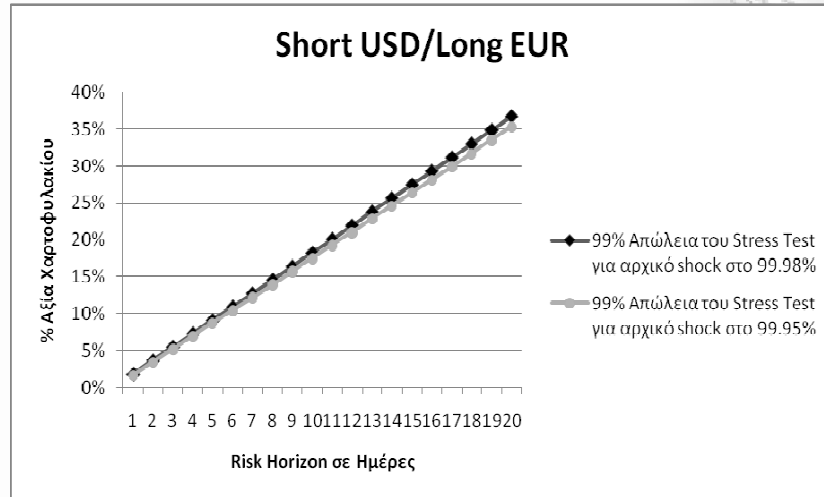
Γράφημα 1.13. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο RiskMetrics



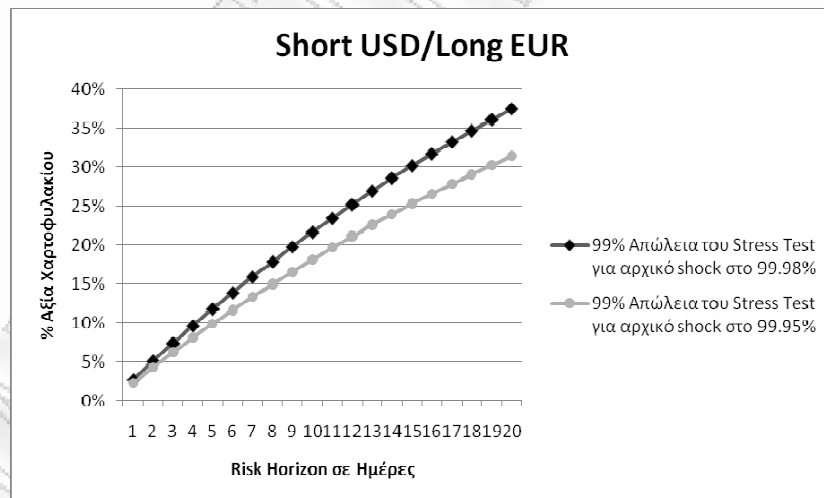
Γράφημα 1.14. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο ARCH-t



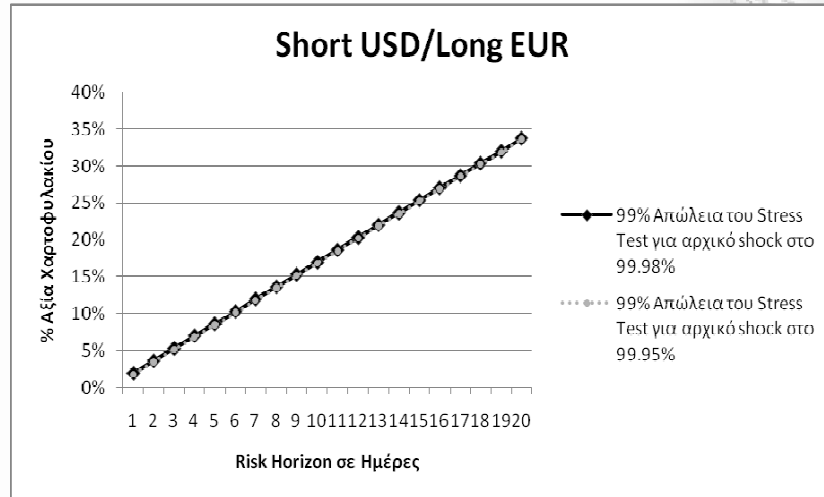
Γράφημα 1.15. Απώλειες για αρχικά shocks από την Student 's-t για το μοντέλο EGARCH-Normal



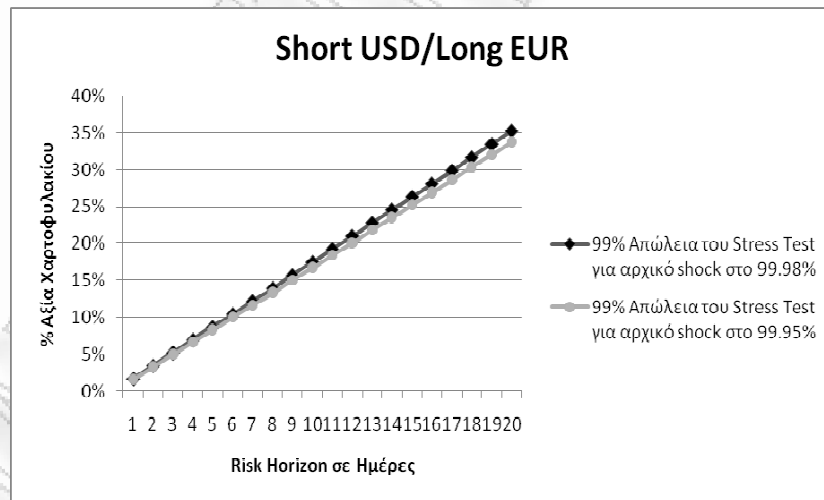
Γράφημα 1.16. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο RiskMetrics



Γράφημα 1.17. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο ARCH-t



Γράφημα 1.18. Απώλειες για αρχικά shocks από την Εμπειρική για το μοντέλο EGARCH-Normal



Όπως και στην ισοτιμία short GBP/long EUR έτσι κι εδώ από το μοντέλο της RiskMetrics παίρνουμε μεγαλύτερες απώλειες από ότι από τα άλλα δύο, σχεδόν σε όλο το διάστημα του τεστ και για τις δύο περιπτώσεις αλλά και για τα δύο μεγέθη του shock. Έτσι, π.χ. την τελευταία ημέρα η 99% απώλεια για shock στο 99.98% από την Student's-t είναι 43.62% για το RiskMetrics ενώ για το ARCH-t 33.86% και για το EGARCH-Normal 36.69%. Για shock στο 99.95% τα αντίστοιχα αποτελέσματα είναι 37.74%, 33.72% και 35.30%. Ως προς τη γραφική τους παράσταση, οι απώλειες δίνουν την ίδια εικόνα συγκρίνοντας κάθε φορά μεταξύ τους τα γραφήματα που προέρχονται από το ίδιο μοντέλο με shock όμως από τις δύο διαφορετικές κατανομές. Ακόμη, οι απώλειες που προκλήθηκαν από τα διαφορετικού μεγέθους shock είναι περίπου ίσες μεταξύ τους ανά ημέρα στο ARCH-t, φαινόμενο που παρατηρείται στο μοντέλο αυτό ανεξάρτητα από το αν το shock προήλθε από τη Student's-t ή από την εμπειρική. Επιπρόσθετα ισχύει και πάλι η αναμενόμενη διαπίστωση, ότι μεταξύ των ποσοστιαίων απωλειών που προκύπτουν από τα δύο μεγέθη αρχικού shock, τα μεγαλύτερα προκαλούνται από shock στο 99.98% ποσοστημόριο. Ταυτόχρονα ανάμεσα στα shock των δύο κατανομών τα μεγαλύτερα ποσοστά τα παίρνουμε από τη Student's-t.

Τελειώνοντας υπολογίσαμε, στηριζόμενοι στο VaR, ότι το κεφάλαιο που οφείλουμε να έχουμε προκειμένου να καλύψουμε τις απώλειές μας, είναι 11.29% για το RiskMetrics. Σύμφωνα με το Γράφημα 1.13 είναι επαρκές αν το τεστ μας δεν ξεπερνάει τις 4 ημέρες ενώ από το Γράφημα 1.16 βλέπουμε ότι δεν πρέπει να παρέρχονται είτε οι 4 είτε οι 5 ημέρες (ανάλογα με το ποσοστημόριο που επιλέξαμε το shock). Για το ARCH-t το αντίστοιχο ποσοστό επί του χαρτοφυλακίου μας, που πρέπει να διαθέτουμε, είναι 16.45% και όπως διαπιστώνουμε αν ο χρονικός μας ορίζοντας δεν υπερβαίνει τις 9 ημέρες τότε οι απώλειες δεν είναι μεγαλύτερες από το κεφάλαιό μας (Γραφήματα 1.14 και 1.17). Για το δε EGARCH-Normal το εποπτικό κεφάλαιο υπολογίσαμε ότι είναι 13.85% και μας καλύπτει είτε αν ενδιαφερόμαστε για διάστημα μέχρι και 7 ημερών (Γράφημα 1.15 και Γράφημα 1.18 για shock στο 99.98%) είτε μέχρι και 8 (Γράφημα 1.18 για shock στο 99.95%).

Θέλοντας να εξάγουμε κάποια γενικά συμπεράσματα, που προέκυψαν από την εφαρμογή του stress testing στα δεδομένα μας, μπορούμε να πούμε τα ακόλουθα. Όσο μεγαλύτερο είναι το αρχικό shock τόσο μεγαλύτερες είναι και οι μετέπειτα απώλειες που προκαλεί. Για το λόγο αυτό εφόσον το shock (ανεξάρτητα από το αν προέρχεται από την κατανομή Student's-t ή την εμπειρική), που υπολογίστηκε στο 99.98% ποσοστημόριο είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο

στο 99.95% ποσοστημόριο, οδηγεί και σε μεγαλύτερες μελλοντικές απώλειες. Ακόμη, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις η Student's-t μας έδωσε μεγαλύτερο κατά απόλυτη τιμή αρχικό shock και κατ' επέκταση μεγαλύτερα ποσοστά απωλειών στην πορεία από ότι η εμπειρική. Συγκρίνοντας τώρα, τα μοντέλα ως προς το μέγεθος των απωλειών, που εκτίμησαν βλέπουμε πως τα μεγαλύτερα αποτελέσματα παίρνουμε από το μοντέλο της RiskMetrics και από το ARCH-t. Ιδιαίτερα όσον αφορά στο ARCH-t παρατηρούμε, ότι οι απώλειες από ημέρα σε ημέρα για τα δύο διαφορετικού μεγέθους αρχικά shock, ανεξάρτητα από την κατανομή προέλευσής τους, είναι σχεδόν ίσες ή ακριβώς ίσες. Συνεπώς, τα γραφήματα των αθροιστικών απωλειών για τα διαφορετικού μεγέθους αρχικά shock, για το συγκεκριμένο μοντέλο και στις τρεις ισοτιμίες, εξελίσσονται παράλληλα στο χρόνο. Συγκεκριμένα δε, στις ισοτιμίες short GBP/long EUR (μόνο για shock από την εμπειρική) και short USD/long EUR ταυτίζονται σχεδόν απόλυτα. Αιτία αυτής της συμπεριφοράς είναι η εξ ορισμού μορφή του μοντέλου σύμφωνα με την οποία η αρχική επίδραση του shock χάνεται στην πορεία, γιατί κατά την εξέλιξή του δεν επηρεάζεται από τις προηγούμενες διακυμάνσεις παρά μόνο από το χρόνο. Αυτό γίνεται άμεσα κατανοητό από τον τύπο του ARCH(1), που είναι ο εξής:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2.$$

Κλείνοντας αξίζει να επισημάνουμε, ότι θα μπορούσαμε να διενεργήσουμε τα stress test για μικρότερο χρονικό ορίζοντα από τις 20 ημέρες, π.χ. γύρω στις 4 με 5 ημέρες. Ο λόγος είναι, ότι ένα μικρό χρονικό διάστημα είναι συνήθως αρκετό για να αντισταθμίσουμε τις θέσεις μας στις κύριες ισοτιμίες, όπως είναι οι τρεις που μελετήσαμε, μια και εμφανίζουν μεγάλη ρευστότητα. Ωστόσο σε περιόδους κρίσης (μία τέτοια περίοδο διανύουμε και στο διάστημα που επεξεργαστήκαμε) όπου η ρευστότητα είναι περιορισμένη οφείλουμε να είμαστε πιο προσεκτικοί στην επιλογή της διάρκειας του stress testing μας, οπότε μεγαλύτερη διάρκεια θα ήταν ενδεχομένως πιο ασφαλής και αξιόπιστη. Τέλος, διαπιστώνουμε ότι το εποπτικό κεφάλαιο που υπολογίσαμε στηριζόμενοι στο VaR κάθε μοντέλου ξεχωριστά, δεν είναι ικανό να καλύψει τις απώλειες 20 ημερών. Κατά μέσο όρο μετά τις 4 με 5 ημέρες η αξία των απωλειών είναι σαφώς μεγαλύτερη. Κάτι τέτοιο βέβαια, είναι λογικό δεδομένου, ότι ιδίως κατά το τελευταίο διάστημα του δείγματός μας, παρουσιάζεται υψηλό volatility και υπάρχει μία γενικότερη ύφεση. Επιπλέον, επιλέξαμε να υπολογίσουμε την

εποπτική κεφαλαιακή επάρκεια με τον τύπο $-3 * VaR_{0.01,10-day}$, η χρήση του οποίου προϋποθέτει, ότι η αγορά είναι υπό ευνοϊκές συνθήκες, κάτι που δεν ισχύει στη συγκεκριμένη περίπτωση. Ο γενικότερος τύπος, που ισχύει σύμφωνα με τη Βασιλεία II, είναι

$$\begin{aligned} & \max[\text{η πιο πρόσφατη εκτίμηση του } -VaR_{0.01,10\text{-day}}, \\ & k * \text{μέσος όρος των } -VaR_{0.01,10\text{-day}} \text{ για τις τελευταίες 60 ημέρες}], \end{aligned} \quad (4.1)$$

όπου k είναι ένας πολλαπλασιαστής ο οποίος επιλέγεται από τη ρυθμιστική αρχή κάθε τόπου και η μικρότερη τιμή που μπορεί να λάβει είναι 3. Όπως καταλαβαίνουμε λοιπόν, με τα υπάρχοντα δεδομένα καθίσταται αναγκαία η αύξηση των κεφαλαίων, που οφείλουμε να διαθέτουμε με βάση τη Βασιλεία II, ώστε να είμαστε ικανοί να αντεπεξέλθουμε στις επερχόμενες δυσμενείς απώλειες που εκτιμά το stress testing.

Επίλογος

Τα σενάρια ακραίων καταστάσεων (stress testing) συνιστούν σε καθημερινή βάση μία καθιερωμένη κι αναπόσπαστη συνιστώσα της διοικητικής κινδύνων για χαρτοφυλάκια που εκτίθενται στον κίνδυνο της αγοράς. Τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα σήμερα, κατόπιν συστάσεως της Βασιλείας II, είναι αναγκασμένα από τις εποπτικές και ρυθμιστικές αρχές να διενεργούν stress tests και να ελέγχουν τα εκάστοτε αποτελέσματά τους σε σχέση με την κεφαλαιακή τους επάρκεια (regulatory capital). Ωστόσο, οι μέθοδοι stress testing που εφαρμόζονται μέχρι στιγμής, έχουν δεχτεί κριτικές σε πολλά επίπεδα. Κατ' αρχήν, είναι αδύνατο να γνωρίζουμε τα ακραία γεγονότα που δύνανται να συμβούν, καθώς και την πιθανότητα εμφάνισής τους κι έτσι είναι βάσιμο το ενδεχόμενο να αγνοήσουμε κάποιες σπάνιες αλλά εύλογες περιπτώσεις. Επίσης, συχνά τα τεστ αποτυγχάνουν να ενσωματώσουν τα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν οι αγορές σε περιόδους κρίσης, όπως η αυξημένη πιθανότητα περαιτέρω μεγάλων κινήσεων, η αυξημένη επιρροή στις κινήσεις μεταξύ των αγορών, η μεγαλύτερη τεχμαρτή μεταβλητότητα (implied volatility) και η περιορισμένη ρευστότητα.

Ο πρωταρχικός στόχος μας στην παρούσα εργασία ήταν η εύρεση καταλλήλων μοντέλων κινδύνου στα οποία θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε stress tests στο πλαίσιο των μοντέλων του κινδύνου της αγοράς (market risk models). Κατόπιν, αφότου καταλήξαμε στα ιδανικότερα μοντέλα, κύριο μέλημά μας ήταν να διενεργήσουμε stress testing και να διαπιστώσουμε αν και σε ποιο βαθμό τα αποτελέσματα των τεστ μας επέδρασαν στις εποπτικές κεφαλαιακές απαιτήσεις (regulatory capital requirements) βάσει της Βασιλείας II.

Σε πρώτη φάση υπολογίσαμε την Αξία σε Κίνδυνο (Value at Risk-VaR) για δεκαέξι δεσμευμένα (conditional) μοντέλα κινδύνου κάποια εκ των οποίων ήταν παραμετρικά (π.χ. το ARCH-Normal) και κάποια μη παραμετρικά (π.χ. η Ιστορική Προσομοίωση για όλο το δείγμα). Οι conditional κατανομές, που ακολουθούσαν οι παρατηρήσεις μας, ήταν η κανονική (Normal), η Student's-t και η GED (Generalized Exponential Distribution). Η ανάλυσή μας έγινε για τις ημερήσιες αποδόσεις των συναλλαγματικών ισοτιμιών EUR/JPY, EUR/GBP και EUR/USD από τον Ιανουάριο του 1999 έως το Μάρτιο του 2009. Στη συνέχεια, εκτελέσαμε ελέγχους

αδέσμευτης κάλυψης (unconditional coverage), ανεξαρτησίας (independence) και υπό συνθήκη κάλυψης (conditional coverage), σε επίπεδο σημαντικότητας 95% και 99% για 864 εκτός δείγματος (out-of-sample) αποδόσεις για κάθε μοντέλο. Η διαδικασία αυτή αποτελεί τον εκ των υστέρων έλεγχο (backtesting) και την εφαρμόσαμε προκειμένου να μειώσουμε το λεγόμενο “κίνδυνο του μοντέλου” (model risk), που ενυπάρχει γενικότερα στα μοντέλα κινδύνου. Έτσι οδηγηθήκαμε στα πιο αξιόπιστα μοντέλα, τα οποία κι από τις τρεις ισοτιμίες προέκυψε ότι είναι το ARCH και το EGARCH για την κατανομή Student’s-t. Ταυτόχρονα, καταλήξαμε στο ότι συνήθως τα απλούστερα μη παραμετρικά μοντέλα, όπως λόγω χάρη η Ιστορική Προσομοίωση και η μέθοδος Variance-Covariance παρουσιάζονται ανεπαρκή στις εκτιμήσεις τους.

Στο επόμενο και σημαντικότερο βήμα πραγματοποιήσαμε stress tests στα τρία καλύτερα μοντέλα, που βρήκαμε για κάθε μία ισοτιμία. Η προσέγγιση που χρησιμοποιήσαμε απαρτίζεται από δύο στάδια. Στο πρώτο θεωρήσαμε μία αρχική διαταραχή (initial shock event) η οποία προήλθε είτε από την εμπειρική κατανομή είτε από την Student’s-t και σχετίζεται με την πιθανότητα εμφάνισής της. Όπως προέκυψε, η Student’s-t δίνει σχεδόν πάντα τα μεγαλύτερα κατά απόλυτη τιμή shock. Ακόμη διαπιστώσαμε, ότι όσο μεγαλύτερο είναι το αρχικό shock τόσο μεγαλύτερες είναι και οι μετέπειτα απώλειες που προκαλεί. Ακολούθως, λαμβάνοντας υπόψη καθένα από τα τρία μοντέλα κινδύνου μοντελοποιήσαμε τις συνέπειες του αρχικού shock με τη βοήθεια της προσομοίωσης Monte-Carlo για χρονικό ορίζοντα 20 ημερών. Εντούτοις, εφόσον εργαστήκαμε για ισοτιμίες με μεγάλη ρευστότητα θα ήταν ικανοποιητικός κι ένας μικρότερος χρονικός ορίζοντας 4 ή 5 ημερών αν και κάτι τέτοιο δεν ενδείκνυται για περιπτώσεις μεγάλης κρίσης.

Τελειώνοντας, συγκρίναμε την κεφαλαιακή επάρκεια, που υπολογίσαμε στηριζόμενοι στο VaR κάθε μοντέλου ξεχωριστά ακολουθώντας τις συστάσεις της Βασιλείας II, με τις απώλειες που προβλέφθηκαν από το stress testing. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας, το εποπτικό κεφάλαιο δεν ήταν ικανό να καλύψει τις απώλειες 20 ημερών αφού μετά το πέρας των 4 με 5 ημερών η αξία των απωλειών ήταν σαφώς μεγαλύτερη. Συνεπώς, είναι επιτακτική η ανάγκη για αύξηση των κεφαλαίων, που οφείλουμε να διαθέτουμε, ώστε να είμαστε σε θέση να καλύψουμε τις απώλειες που εκτιμήθηκαν από τα stress tests.

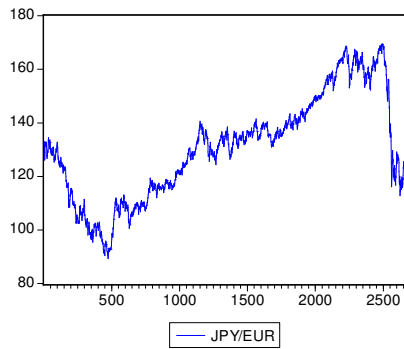
Παράρτημα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

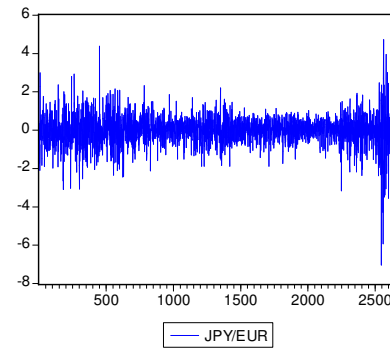
A1. Ισοτιμία Γεν Ιαπωνίας/Ευρώ

Short JPY/ Long EUR

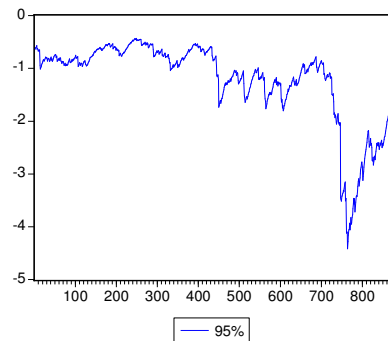
Γράφημα 1.1. Τιμές



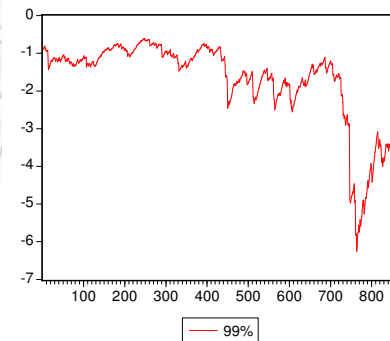
Γράφημα 1.2. Ποσοστιαίες Λογαριθμικές Αποδόσεις



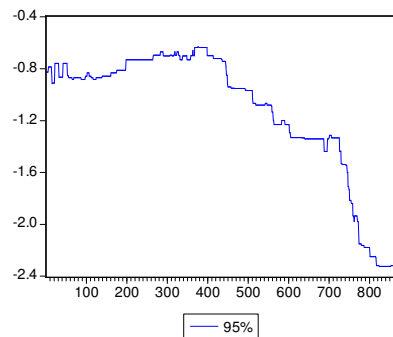
Γράφημα 1.3. VaR για το RiskMetrics



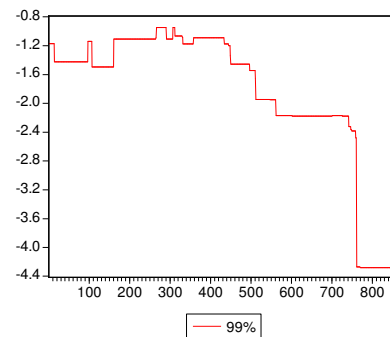
Γράφημα 1.4. VaR για το RiskMetrics



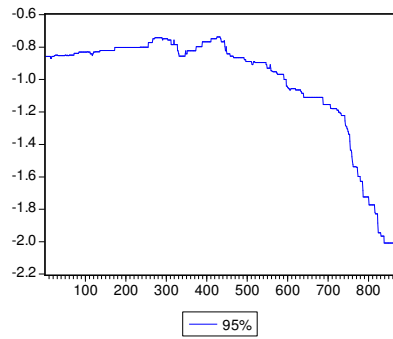
Γράφημα 1.5. VaR για το Historical Simulation 1



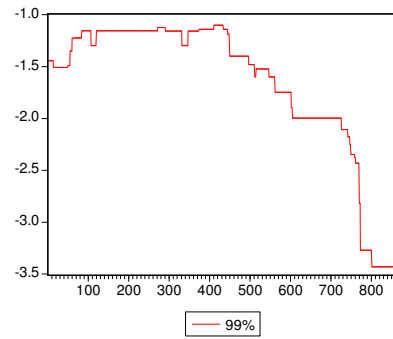
Γράφημα 1.6. VaR για το Historical Simulation 1



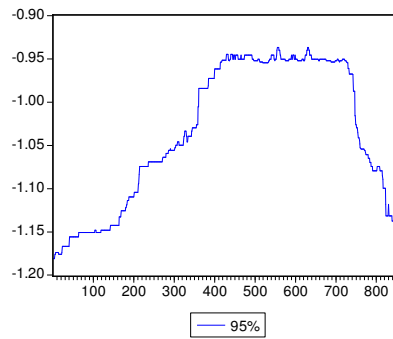
Γράφημα 1.7. VaR για το Historical Simulation 2



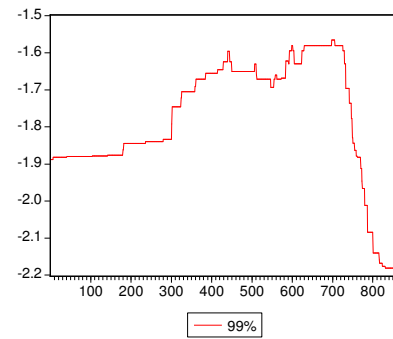
Γράφημα 1.8. VaR για το Historical Simulation 2



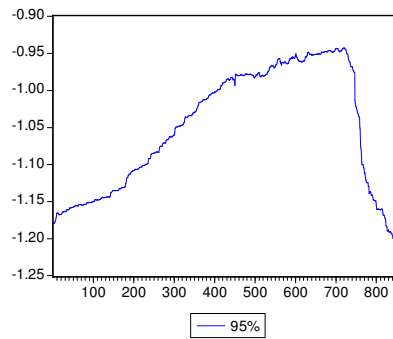
Γράφημα 1.9. VaR για το Historical Simulation All



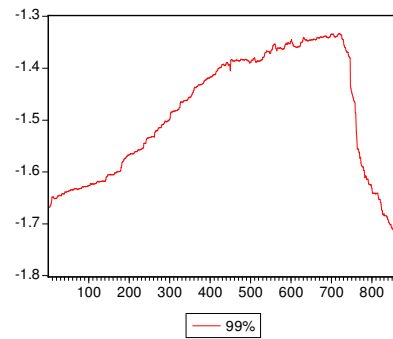
Γράφημα 1.10. VaR για το Historical Simulation All



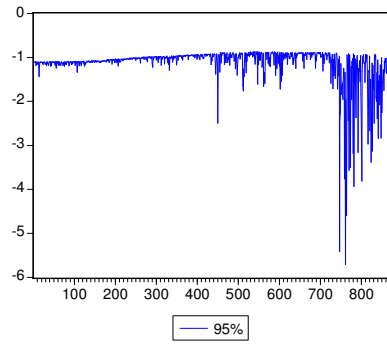
Γράφημα 1.11. VaR για το Variance-Covariance



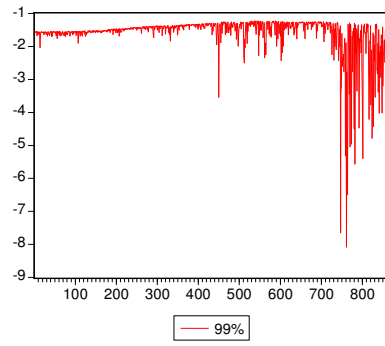
Γράφημα 1.12. VaR για το Variance-Covariance



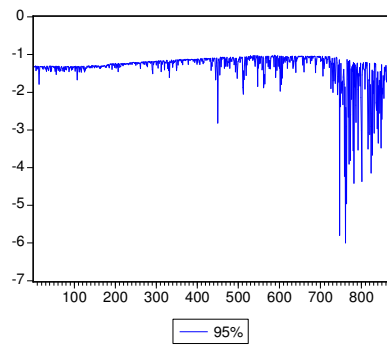
Γράφημα 1.13. VaR για το ARCH Normal



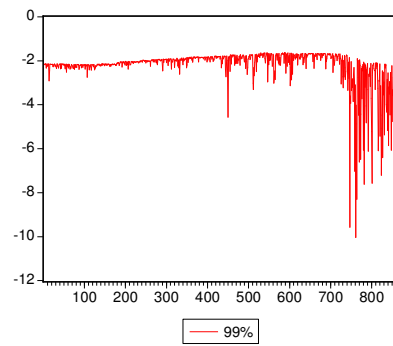
Γράφημα 1.14. VaR για το ARCH Normal



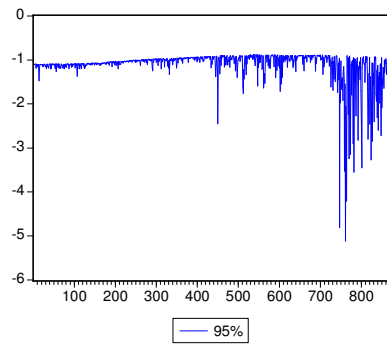
Γράφημα 1.15. VaR για το ARCH Student-t



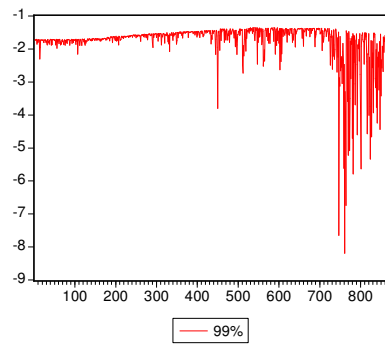
Γράφημα 1.16. VaR για το ARCH Student-t



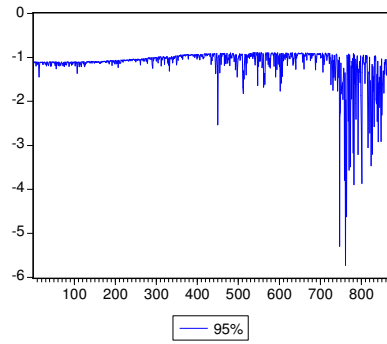
Γράφημα 1.17. VaR για το ARCH GED



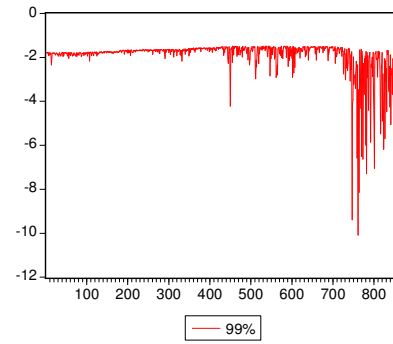
Γράφημα 1.18. VaR για το ARCH GED



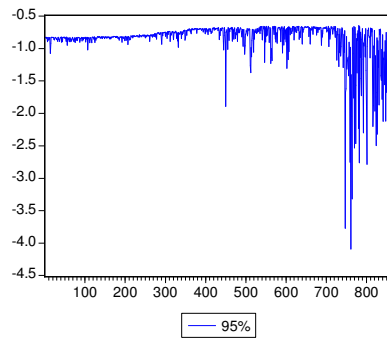
Γράφημα 1.19. VaR για το GARCH Normal Filtered



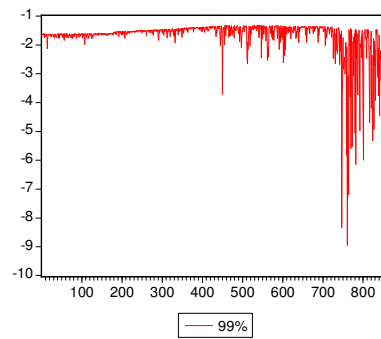
Γράφημα 1.20. VaR για το GARCH Normal Filtered



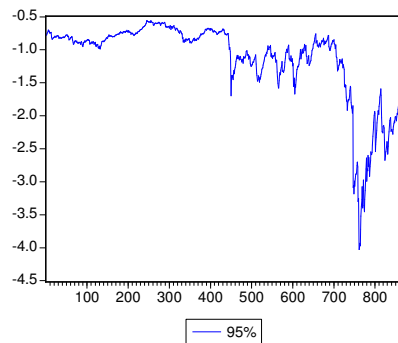
Γράφημα 1.21. VaR για το ARCH EVT



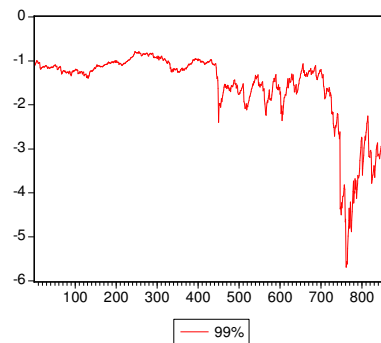
Γράφημα 1.22. VaR για το ARCH EVT



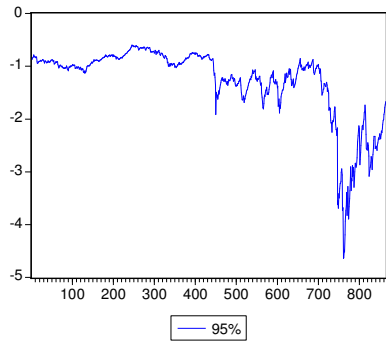
Γράφημα 1.23. VaR για το EGARCH Normal



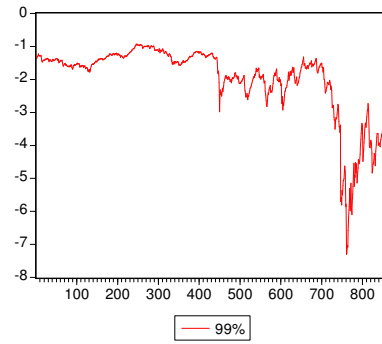
Γράφημα 1.24. VaR για το EGARCH Normal



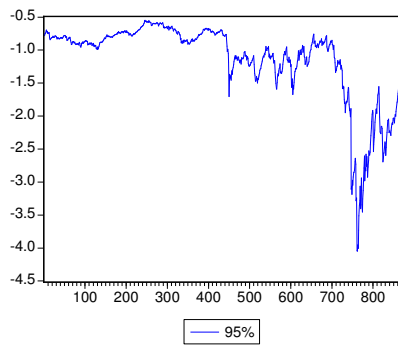
Γράφημα 1.25. VaR για το EGARCH Student-t



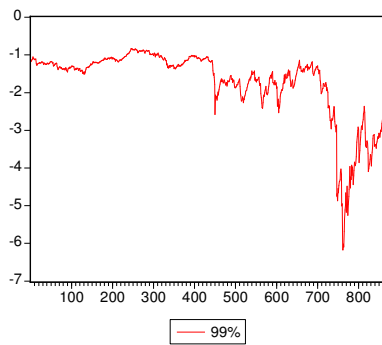
Γράφημα 1.26. VaR για το EGARCH Student-t



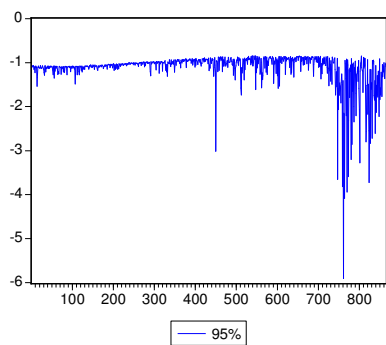
Γράφημα 1.27. VaR για το EGARCH GED



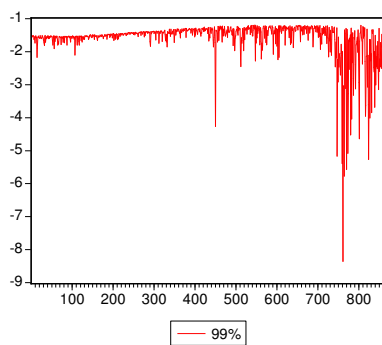
Γράφημα 1.28. VaR για το EGARCH GED



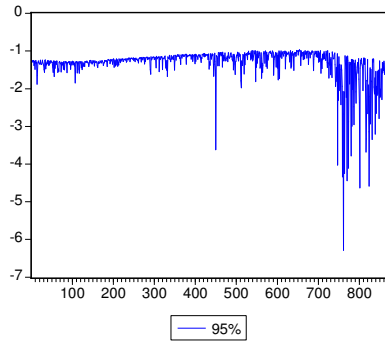
Γράφημα 1.29. VaR για το GARCH Normal APARCH



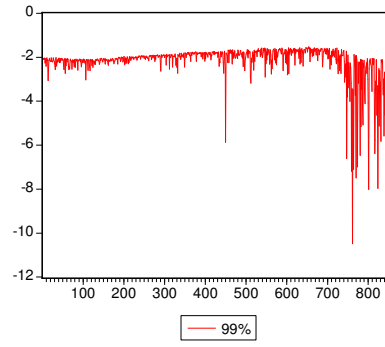
Γράφημα 1.30. VaR για το GARCH Normal APARCH



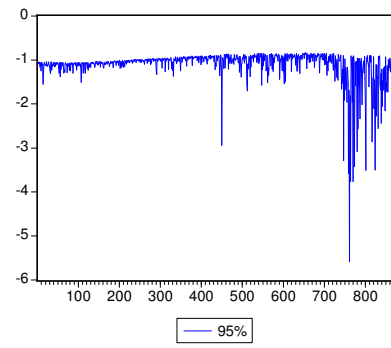
Γράφημα 1.31. VaR για το GARCH Student APARCH



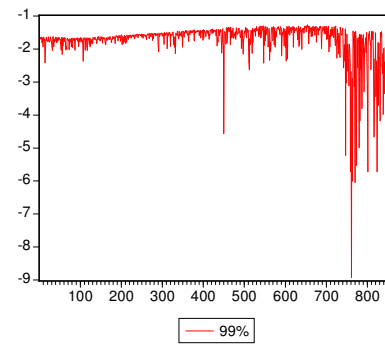
Γράφημα 1.32. VaR για το GARCH Student APARCH



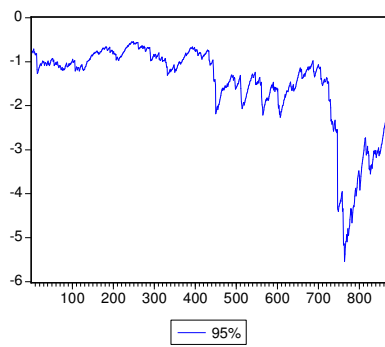
Γράφημα 1.33. VaR για το GARCH GED APARCH



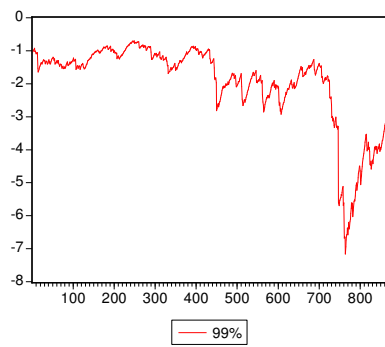
Γράφημα 1.34. VaR για το GARCH GED APARCH



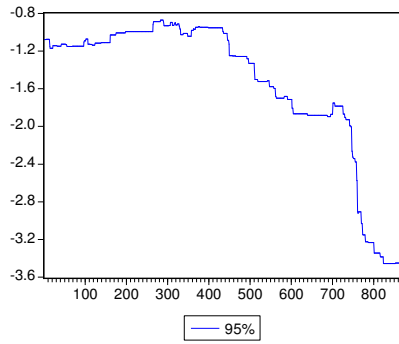
Γράφημα 1.35. ES για το RiskMetrics



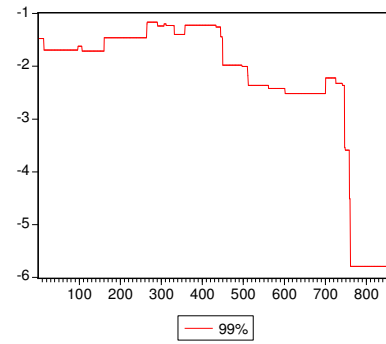
Γράφημα 1.36. ES για το RiskMetrics



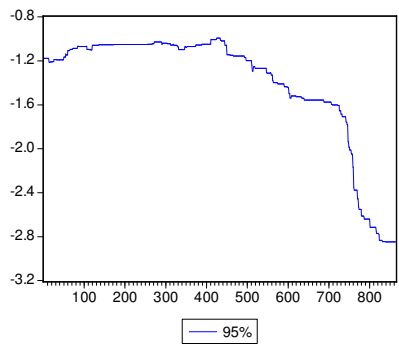
Γράφημα 1.37. ES για το Historical Simulation 1



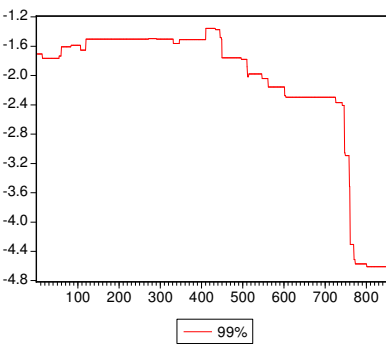
Γράφημα 1.38. ES για το Historical Simulation 1



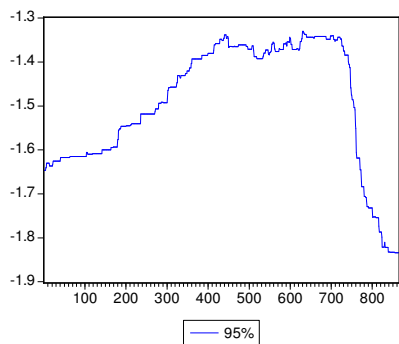
Γράφημα 1.39. ES για το Historical Simulation 2



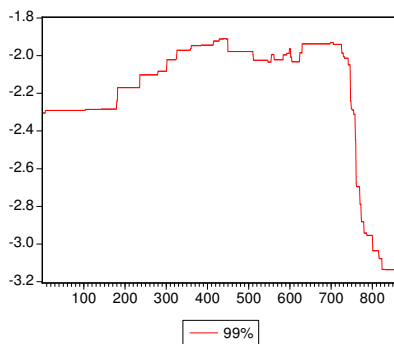
Γράφημα 1.40. ES για το Historical Simulation 2



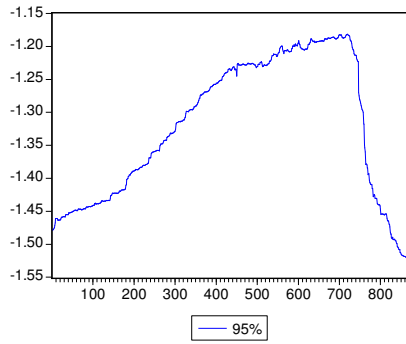
Γράφημα 1.41. ES για το Historical Simulation All



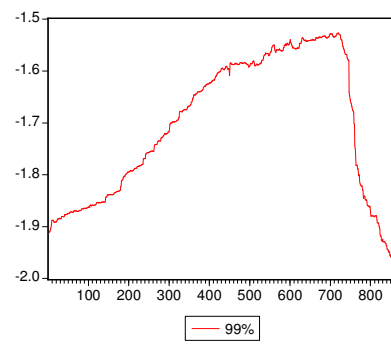
Γράφημα 1.42. ES για το Historical Simulation All



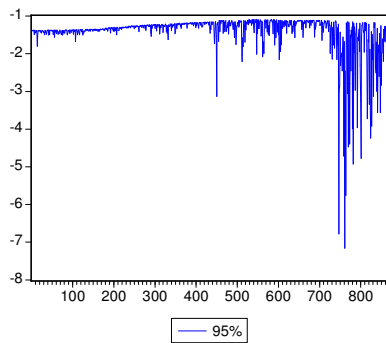
Γράφημα 1.43. ES για το Variance-Covariance



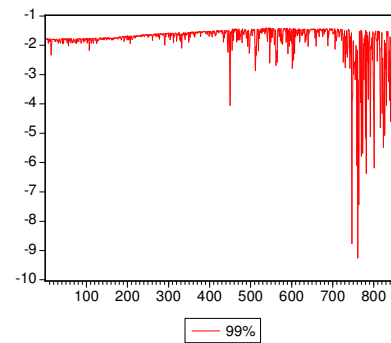
Γράφημα 1.44. ES για το Variance-Covariance



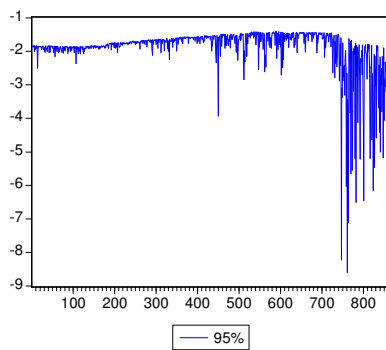
Γράφημα 1.45. ES για το ARCH Normal



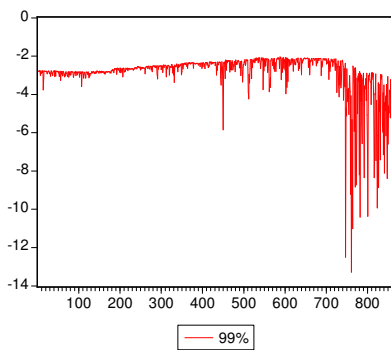
Γράφημα 1.46. ES για το ARCH Normal



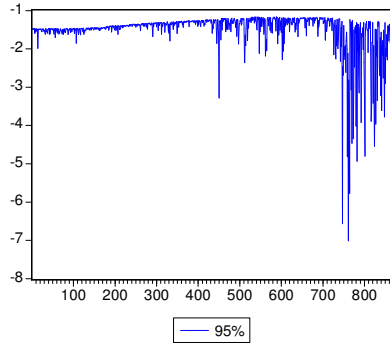
Γράφημα 1.47. ES για το ARCH Student-t



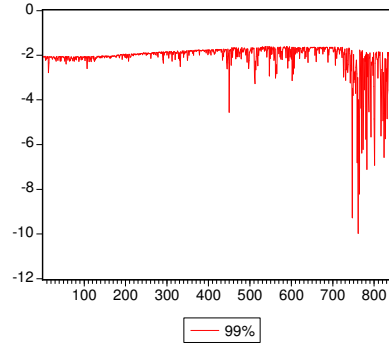
Γράφημα 1.48. ES για το ARCH Student-t



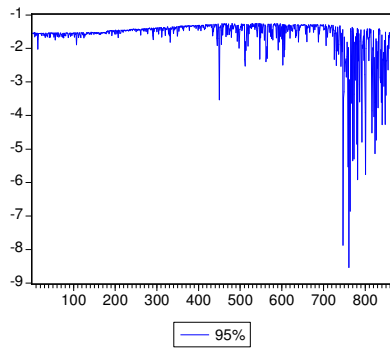
Γράφημα 1.49. ES για το ARCH GED



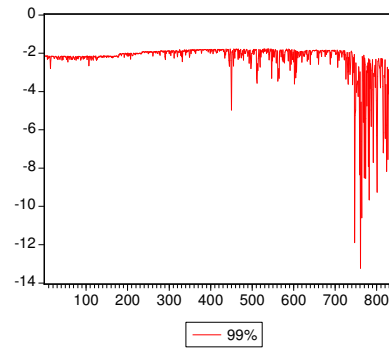
Γράφημα 1.50. ES για το ARCH GED



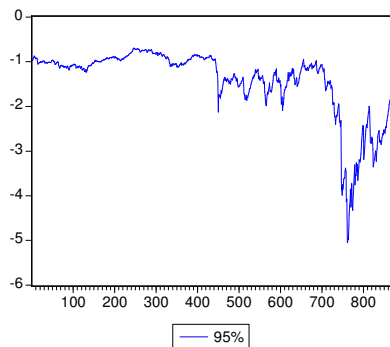
Γράφημα 1.51. ES για το GARCH Normal Filtered



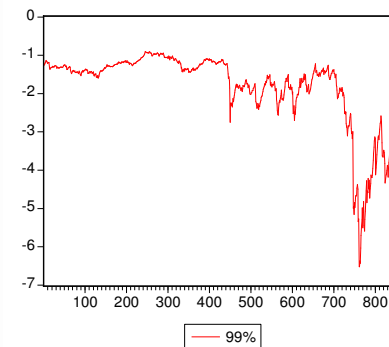
Γράφημα 1.52. ES για το GARCH Normal Filtered



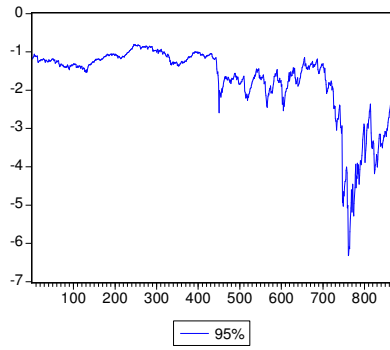
Γράφημα 1.53. ES για το EGARCH Normal



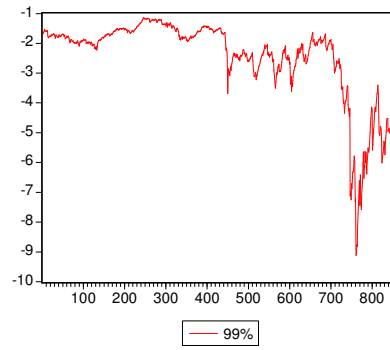
Γράφημα 1.54. ES για το EGARCH Normal



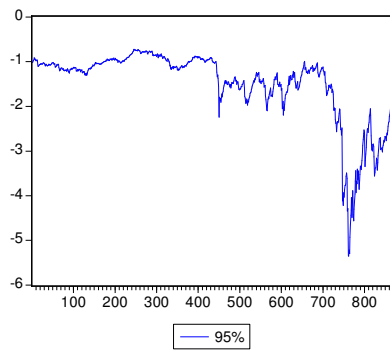
Γράφημα 1.55. ES για το EGARCH Student-t



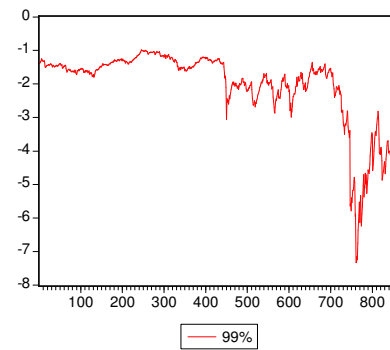
Γράφημα 1.56. ES για το EGARCH Student-t



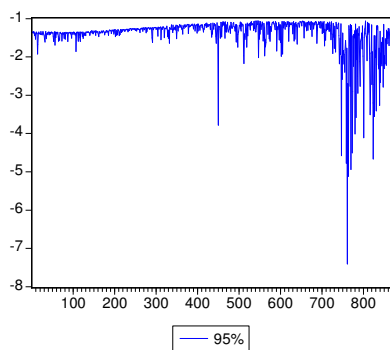
Γράφημα 1.57. ES για το EGARCH GED



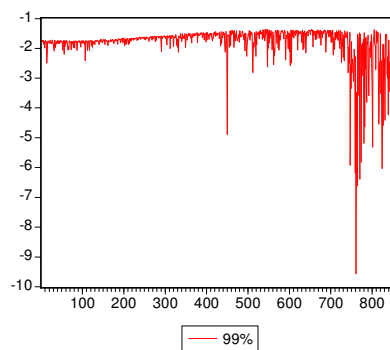
Γράφημα 1.58. ES για το EGARCH GED



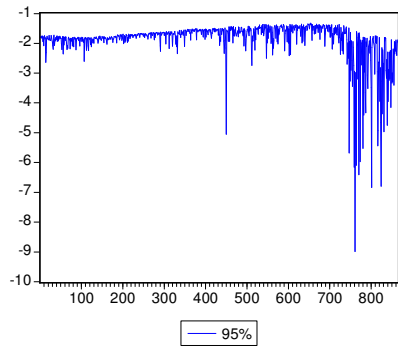
Γράφημα 1.59. ES για το GARCH Normal APARCH



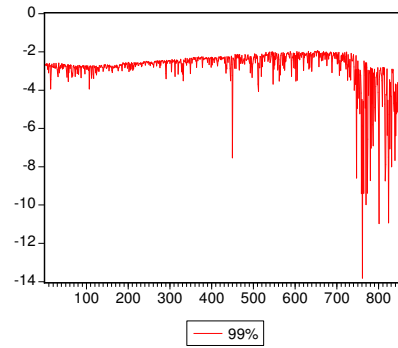
Γράφημα 1.60. ES για το GARCH Normal APARCH



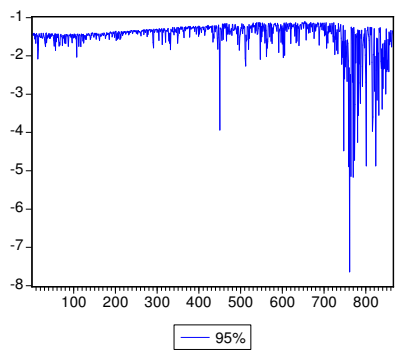
Γράφημα 1.61. ES για το GARCH Student APARCH



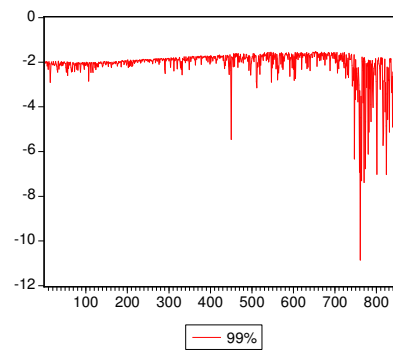
Γράφημα 1.62. ES για το GARCH Student APARCH



Γράφημα 1.63. ES για το GARCH GED APARCH



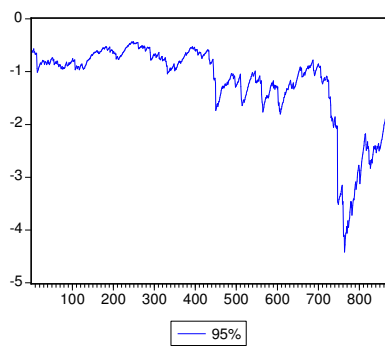
Γράφημα 1.64. ES για το GARCH GED APARCH



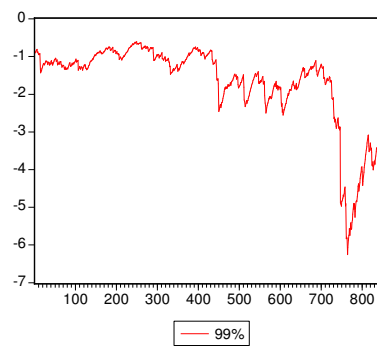
A2. Ισοτιμία Ευρώ/Γεν Ιαπωνίας

Short EUR /Long JPY

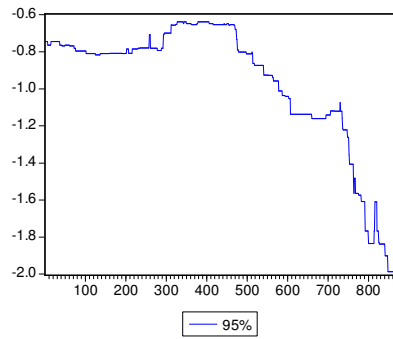
Γράφημα 2.1. VaR για το RiskMetrics



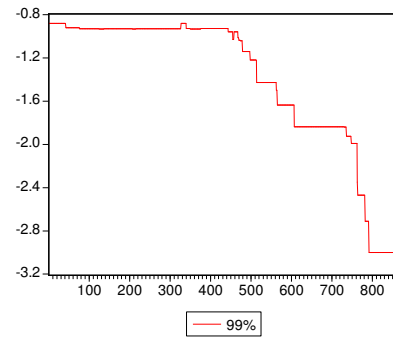
Γράφημα 2.2. VaR για το RiskMetrics



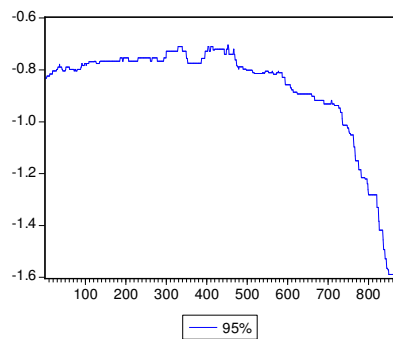
Γράφημα 2.3. VaR για το Historical Simulation 1



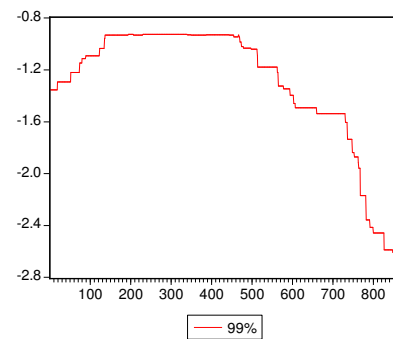
Γράφημα 2.4. VaR για το Historical Simulation 1



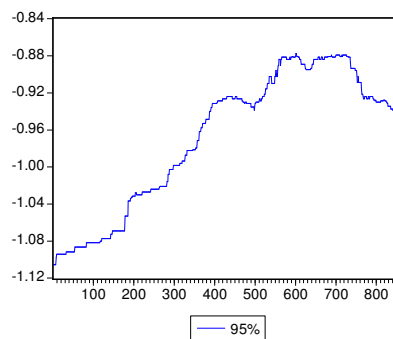
Γράφημα 2.5. VaR για το Historical Simulation 2



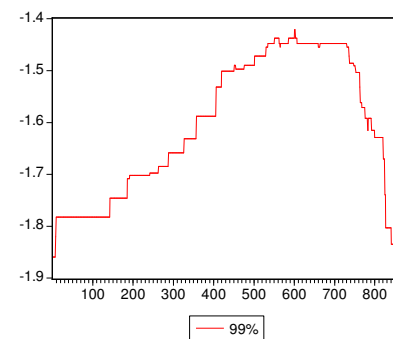
Γράφημα 2.6. VaR για το Historical Simulation 2



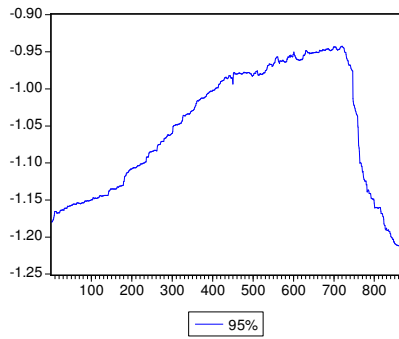
Γράφημα 2.7. VaR για το Historical Simulation All



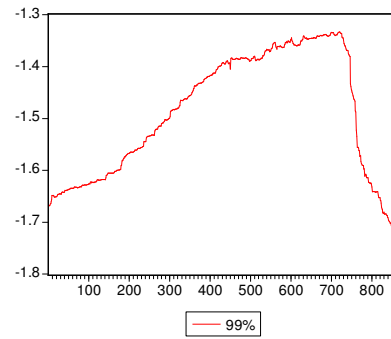
Γράφημα 2.8. VaR για το Historical Simulation All



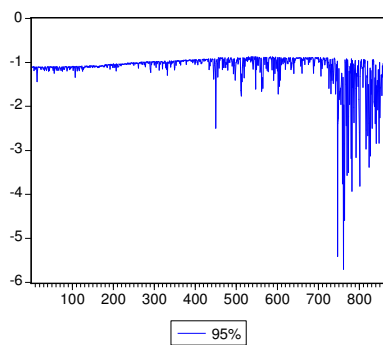
Γράφημα 2.9. VaR για το Variance-Covariance



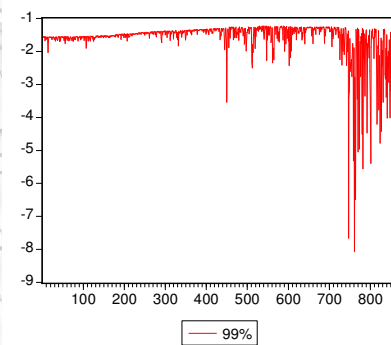
Γράφημα 2.10. VaR για το Variance-Covariance



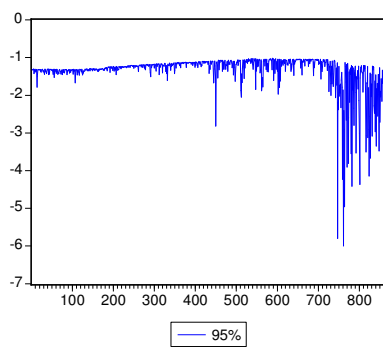
Γράφημα 2.11. VaR για το ARCH Normal



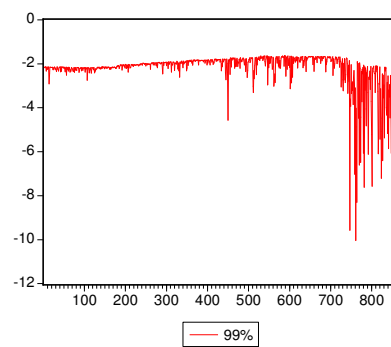
Γράφημα 2.12. VaR για το ARCH Normal



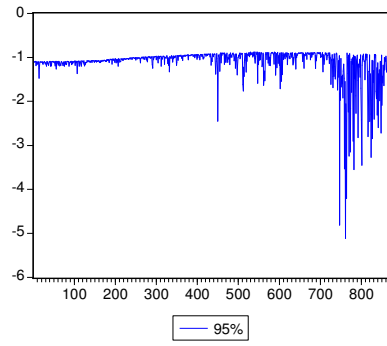
Γράφημα 2.13. VaR για το ARCH Student-t



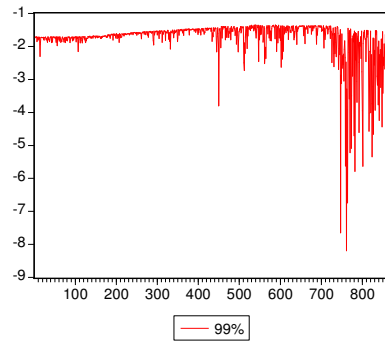
Γράφημα 2.14. VaR για το ARCH Student-t



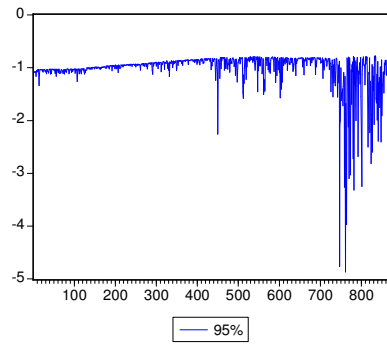
Γράφημα 2.15. VaR για το ARCH GED



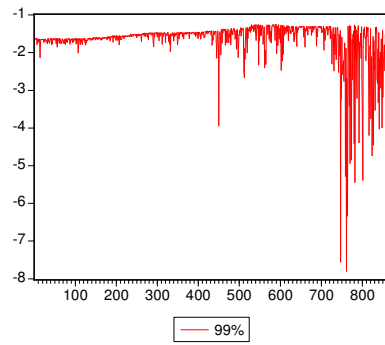
Γράφημα 2.16. VaR για το ARCH GED



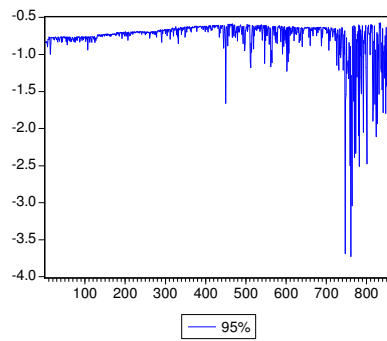
Γράφημα 2.17. VaR για το GARCH Normal Filtered



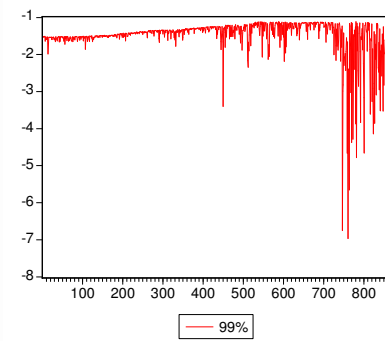
Γράφημα 2.18. VaR για το GARCH Normal Filtered



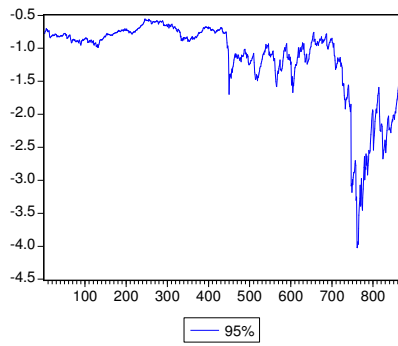
Γράφημα 2.19. VaR για το ARCH EVT



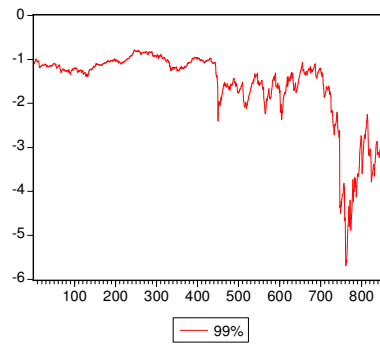
Γράφημα 2.20. VaR για το ARCH EVT



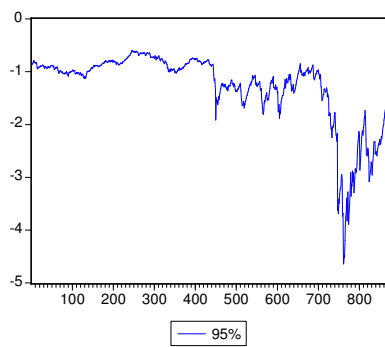
Γράφημα 2.21. VaR για το EGARCH Normal



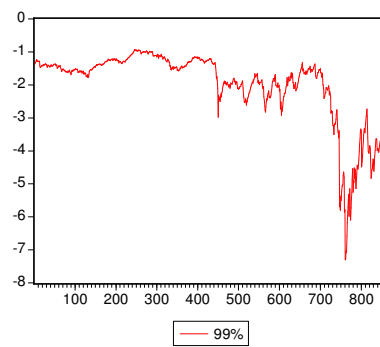
Γράφημα 2.22. VaR για το EGARCH Normal



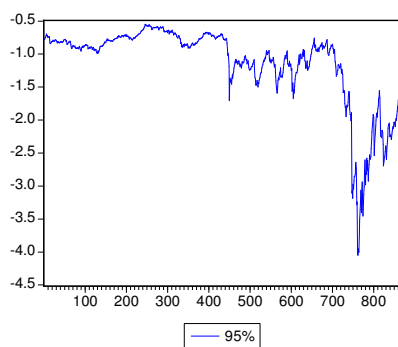
Γράφημα 2.23. VaR για το EGARCH Student-t



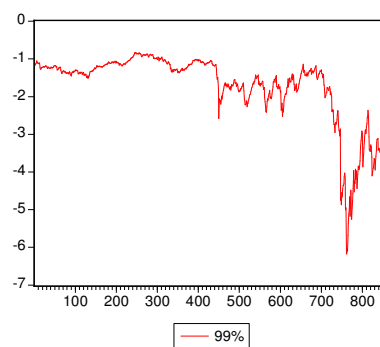
Γράφημα 2.24. VaR για το EGARCH Student-t



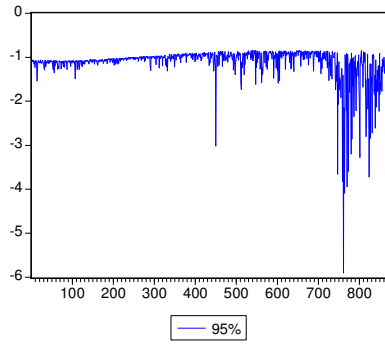
Γράφημα 2.25. VaR για το EGARCH GED



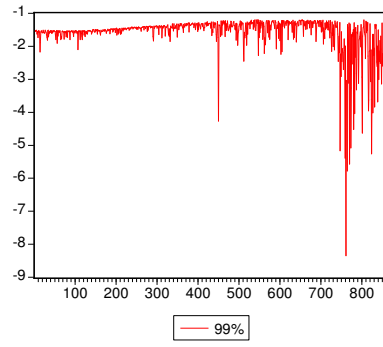
Γράφημα 2.26. VaR για το EGARCH GED



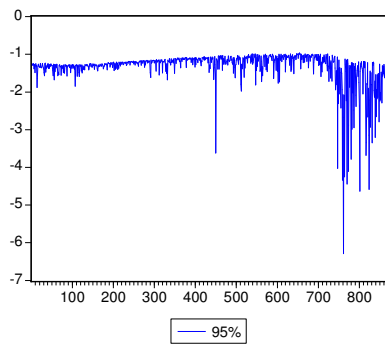
Γράφημα 2.27. VaR για το GARCH Normal APARCH



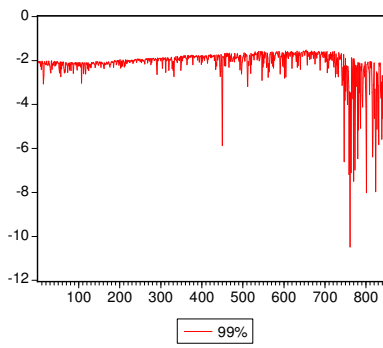
Γράφημα 2.28. VaR για το GARCH Normal APARCH



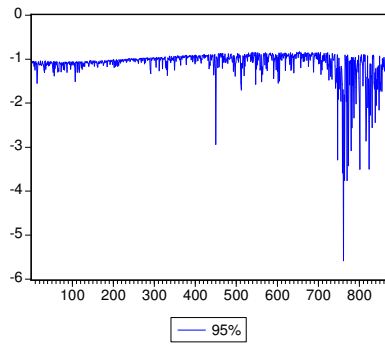
Γράφημα 2.29. VaR για το GARCH Student APARCH



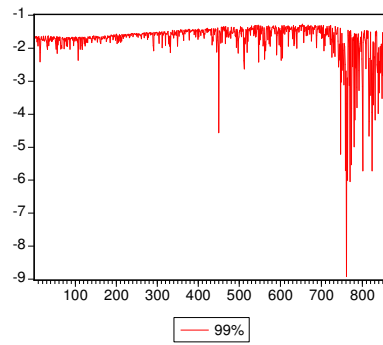
Γράφημα 2.30. VaR για το GARCH Student APARCH



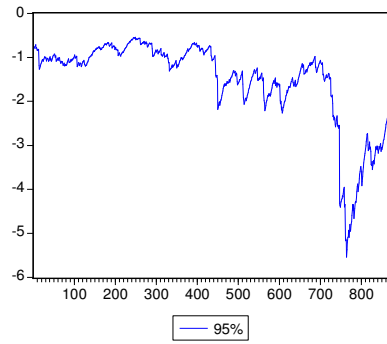
Γράφημα 2.31. VaR για το GARCH GED APARCH



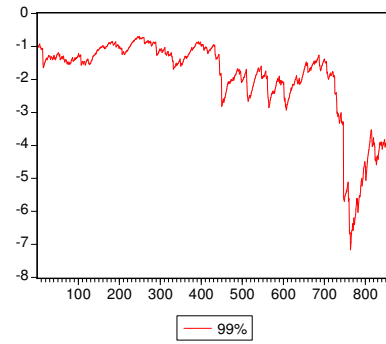
Γράφημα 2.32. VaR για το GARCH GED APARCH



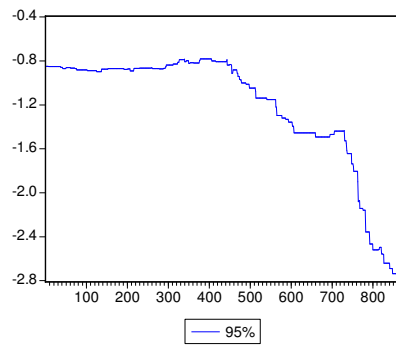
Γράφημα 2.33. ES για το RiskMetrics



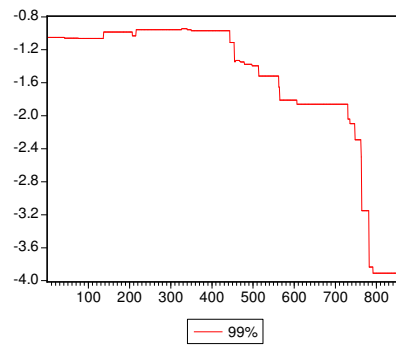
Γράφημα 2.34. ES για το RiskMetrics



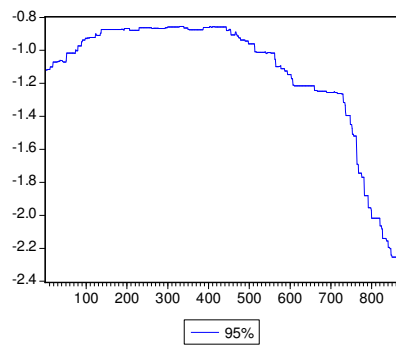
Γράφημα 2.35. ES για το Historical Simulation 1



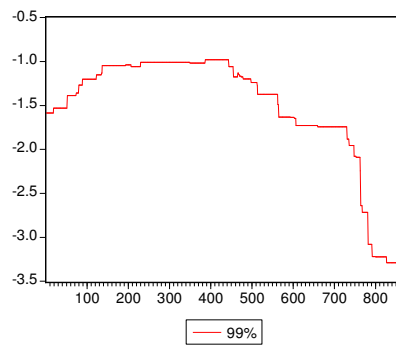
Γράφημα 2.36. ES για το Historical Simulation 1



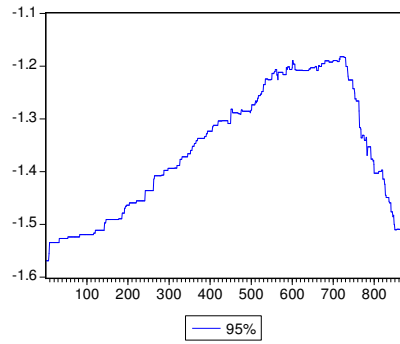
Γράφημα 2.37. ES για το Historical Simulation 2



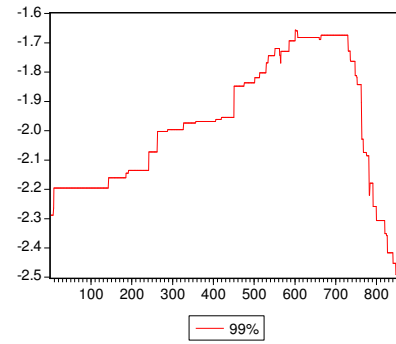
Γράφημα 2.38. ES για το Historical Simulation 2



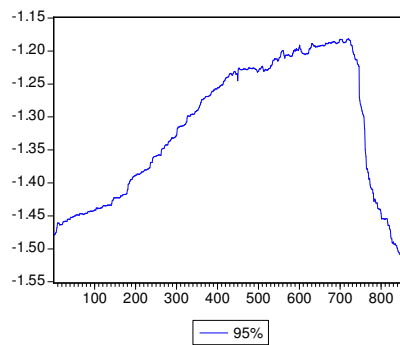
Γράφημα 2.39. ES για το Historical Simulation All



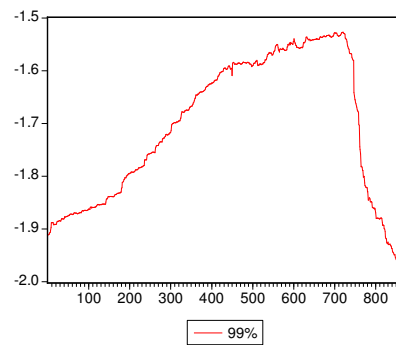
Γράφημα 2.40. ES για το Historical Simulation All



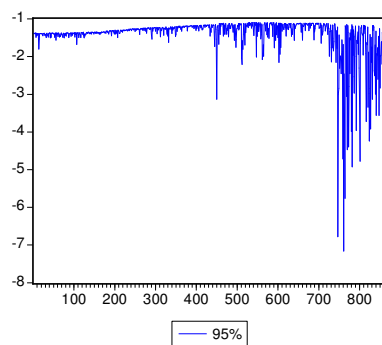
Γράφημα 2.41. ES για το Variance-Covariance



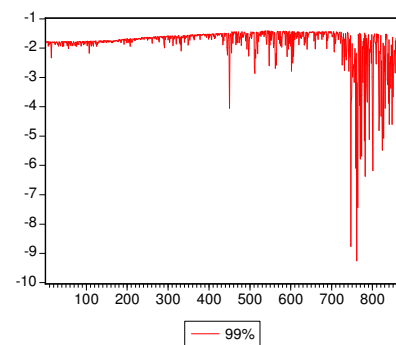
Γράφημα 2.42. ES για το Variance-Covariance



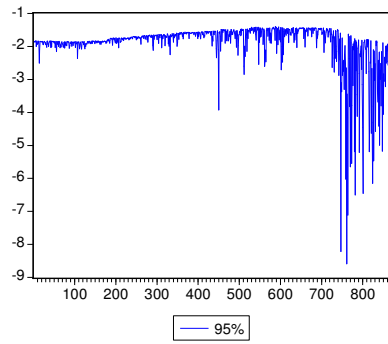
Γράφημα 2.43. ES για το ARCH Normal



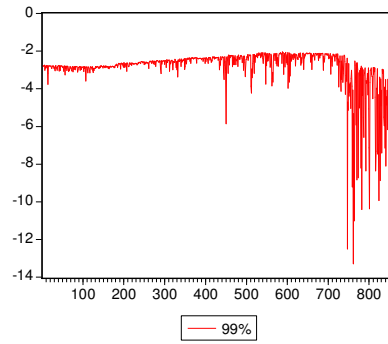
Γράφημα 2.44. ES για το ARCH Normal



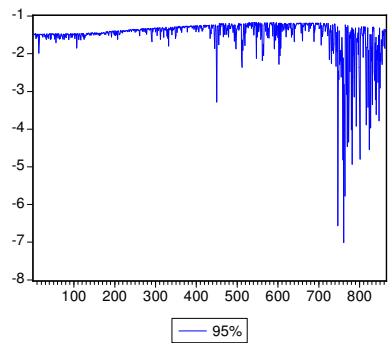
Γράφημα 2.45. ES για το ARCH Student-t



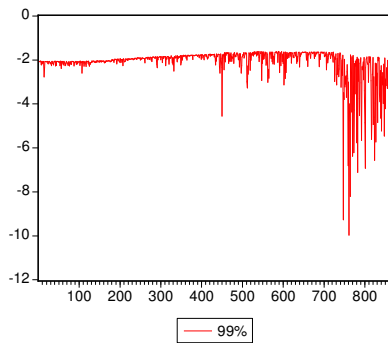
Γράφημα 2.46. ES για το ARCH Student-t



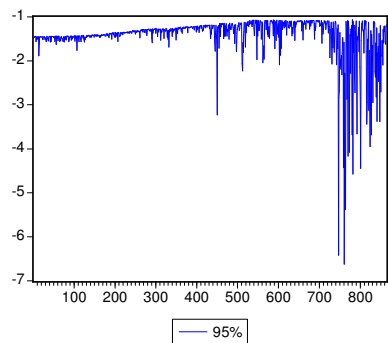
Γράφημα 2.47. ES για το ARCH GED



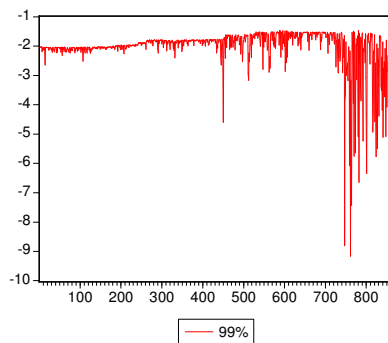
Γράφημα 2.48. ES για το ARCH GED



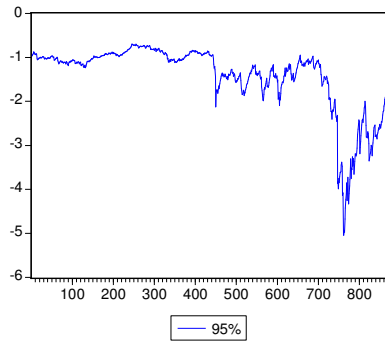
Γράφημα 2.49. ES για το GARCH Normal Filtered



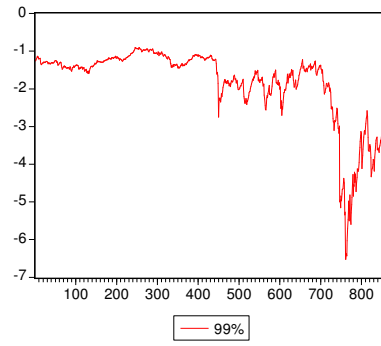
Γράφημα 2.50. ES για το GARCH Normal Filtered



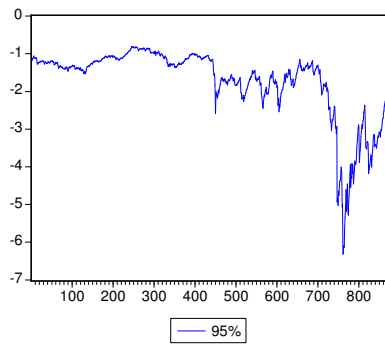
Γράφημα 2.51. ES για το EGARCH Normal



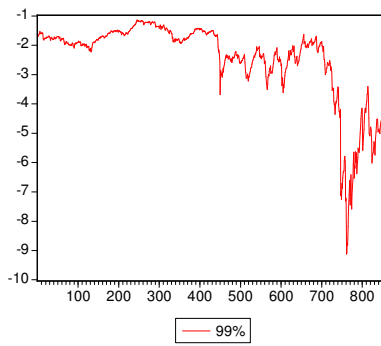
Γράφημα 2.52. ES για το EGARCH Normal



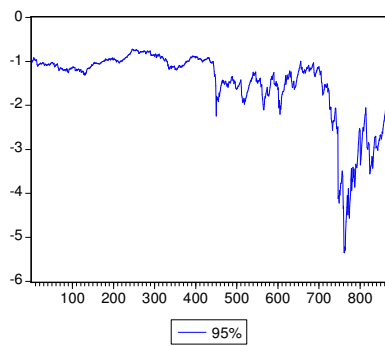
Γράφημα 2.53. ES για το EGARCH Student-t



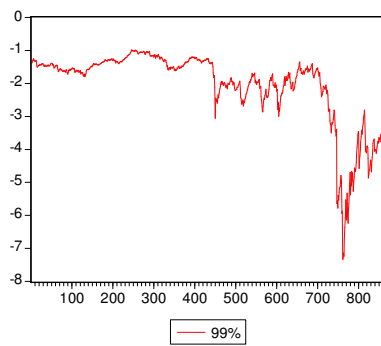
Γράφημα 2.54. ES για το EGARCH Student-t



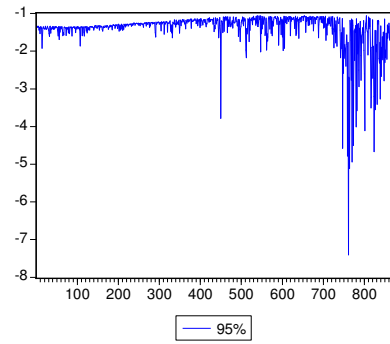
Γράφημα 2.55. ES για το EGARCH GED



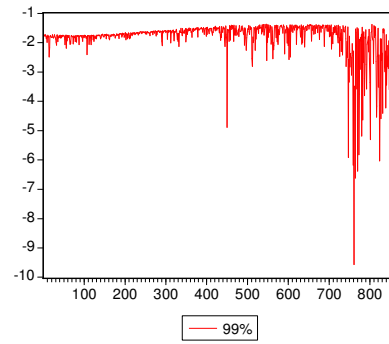
Γράφημα 2.56. ES για το EGARCH GED



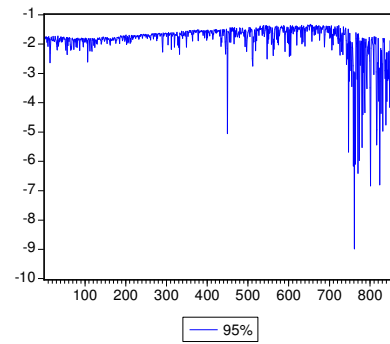
Γράφημα 2.57. ES για το GARCH Normal APARCH



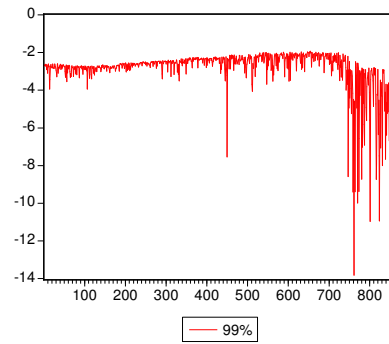
Γράφημα 2.58. ES για το GARCH Normal APARCH



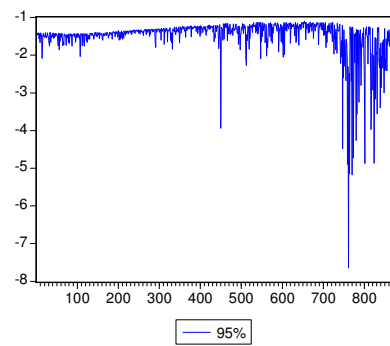
Γράφημα 2.59. ES για το GARCH Student APARCH



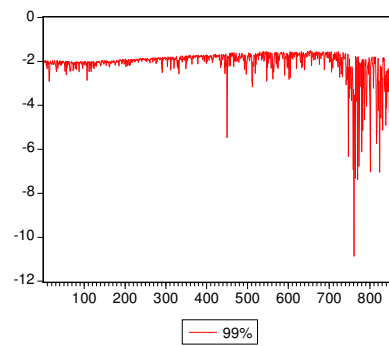
Γράφημα 2.60. ES για το GARCH Student APARCH



Γράφημα 2.61. ES για το GARCH GED APARCH



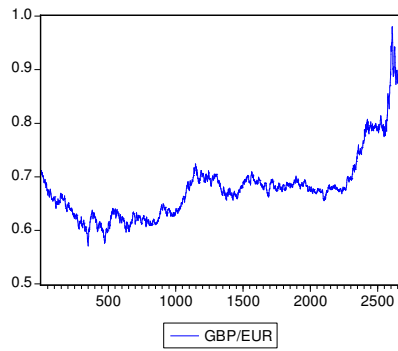
Γράφημα 2.62. ES για το GARCH GED APARCH



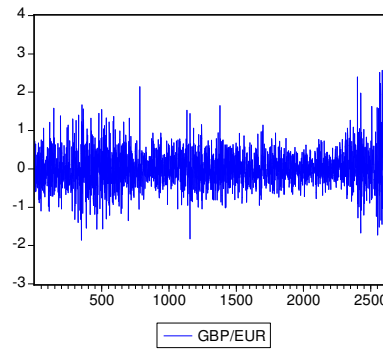
A3. Ισοτιμία Λίρα Μεγάλης Βρετανίας/Ευρώ

Short GBP/Long EUR

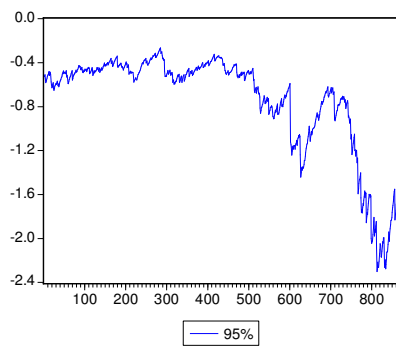
Γράφημα 3.1. Τιμές



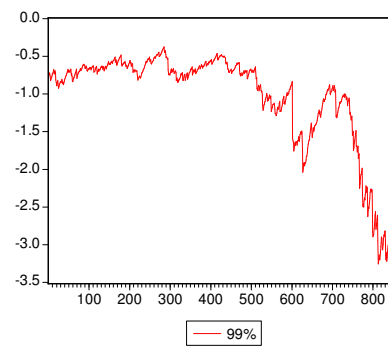
Γράφημα 3.2. Ποσοστιαίες Λογαριθμικές Αποδόσεις



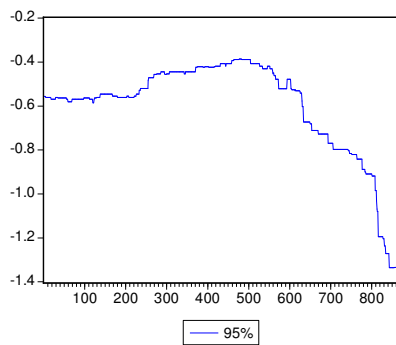
Γράφημα 3.3. VaR για το RiskMetrics



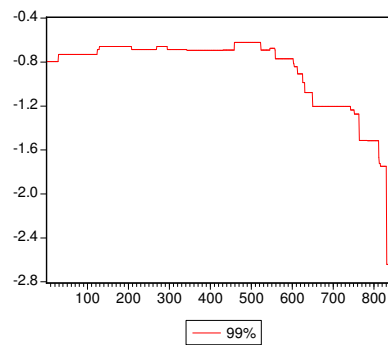
Γράφημα 3.4. VaR για το RiskMetrics



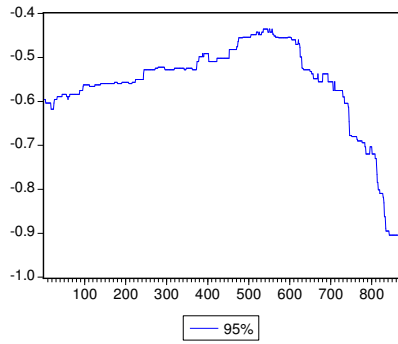
Γράφημα 3.5. VaR για το Historical Simulation 1



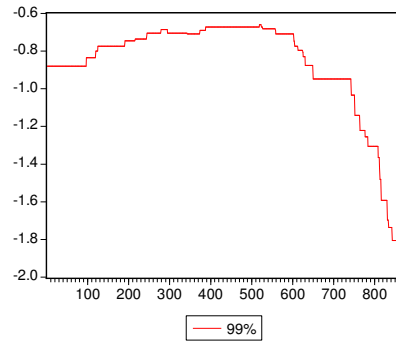
Γράφημα 3.6. VaR για το Historical Simulation 1



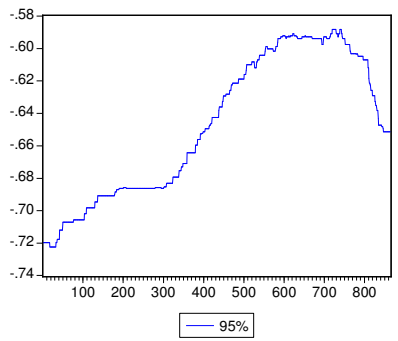
Γράφημα 3.7. VaR για το Historical Simulation 2



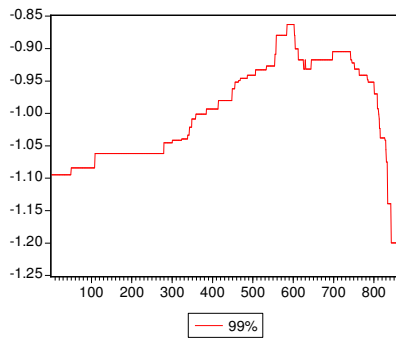
Γράφημα 3.8. VaR για το Historical Simulation 2



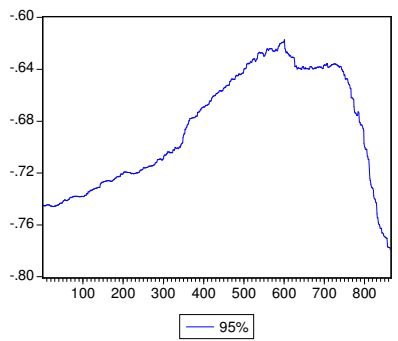
Γράφημα 3.9. VaR για το Historical Simulation All



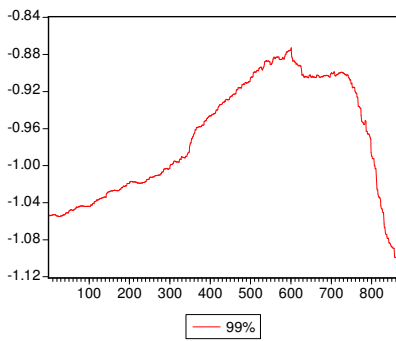
Γράφημα 3.10. VaR για το Historical Simulation All



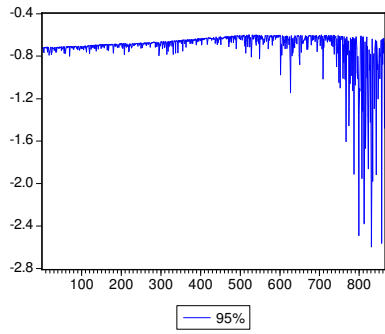
Γράφημα 3.11. VaR για το Variance-Covariance



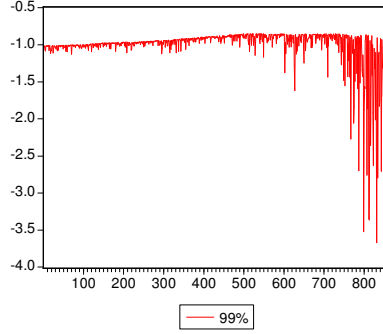
Γράφημα 3.12. VaR για το Variance-Covariance



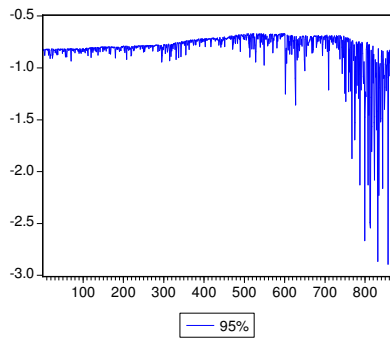
Γράφημα 3.13. VaR για το ARCH Normal



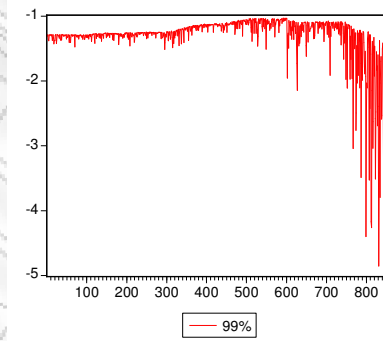
Γράφημα 3.14. VaR για το ARCH Normal



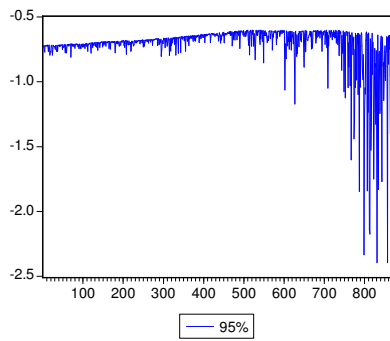
Γράφημα 3.15. VaR για το ARCH Student-t



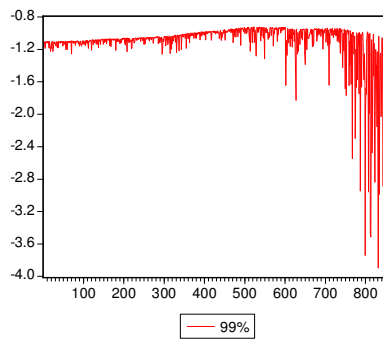
Γράφημα 3.16. VaR για το ARCH Student-t



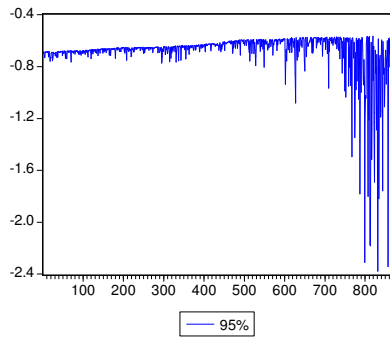
Γράφημα 3.17. VaR για το ARCH GED



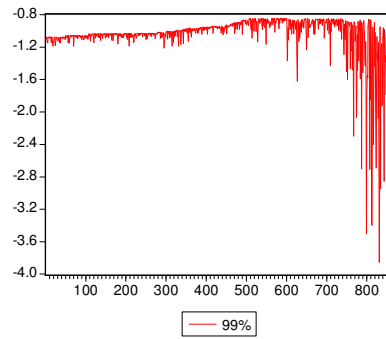
Γράφημα 3.18. VaR για το ARCH GED



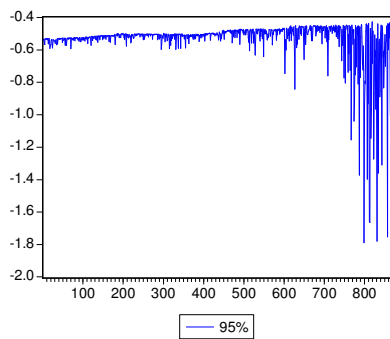
Γράφημα 3.19. VaR για το GARCH Normal Filtered



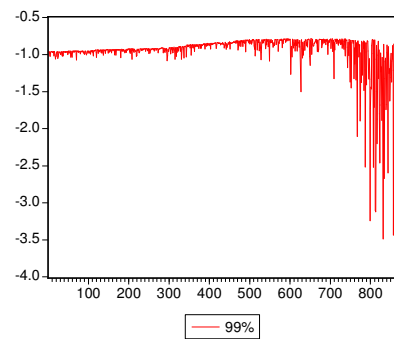
Γράφημα 3.20. VaR για το GARCH Normal Filtered



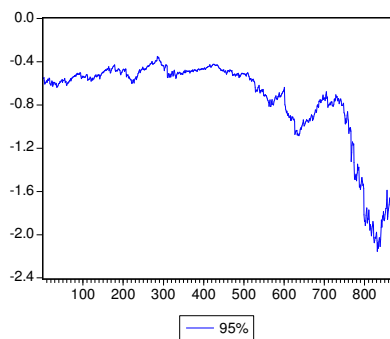
Γράφημα 3.21. VaR για το ARCH EVT



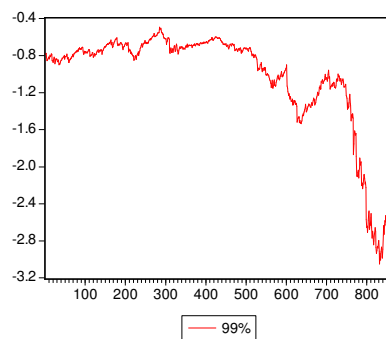
Γράφημα 3.22. VaR για το ARCH EVT



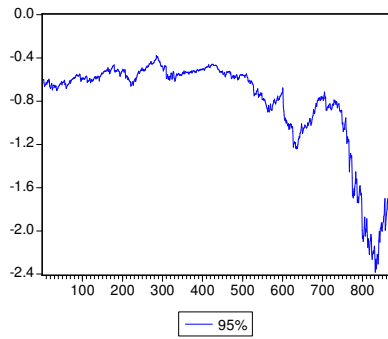
Γράφημα 3.23. VaR για το EGARCH Normal



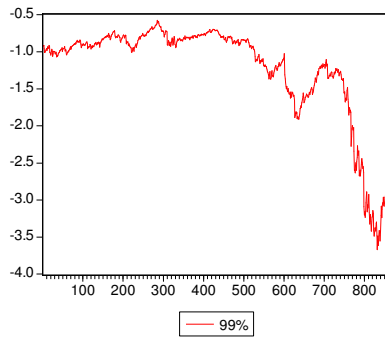
Γράφημα 3.24. VaR για το EGARCH Normal



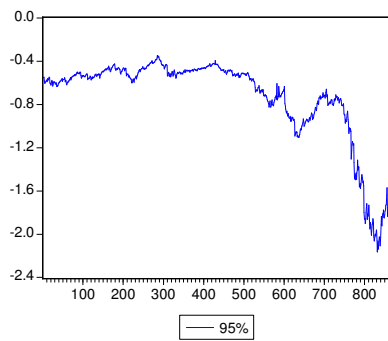
Γράφημα 3.25. VaR για το EGARCH Student-t



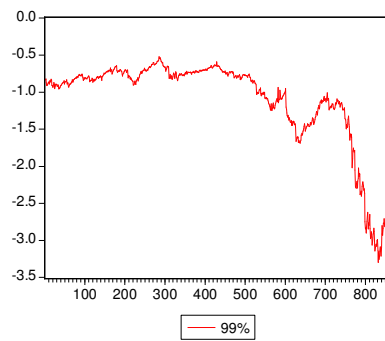
Γράφημα 3.26. VaR για το EGARCH Student-t



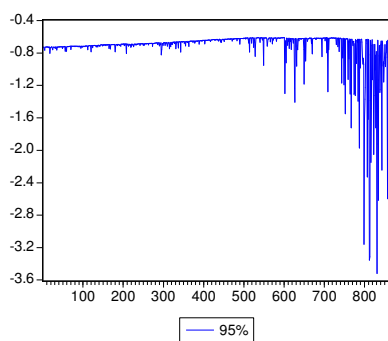
Γράφημα 3.27. VaR για το EGARCH GED



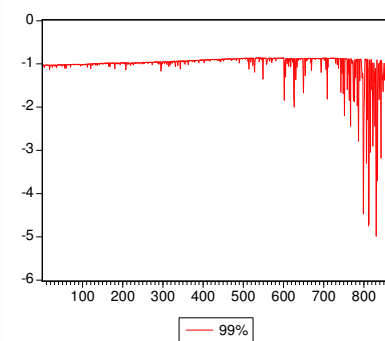
Γράφημα 3.28. VaR για το EGARCH GED



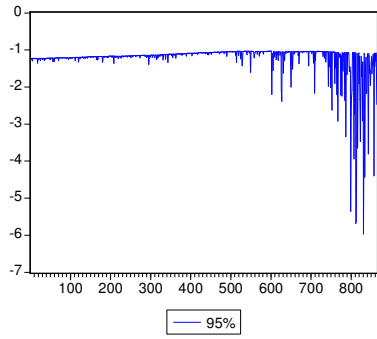
Γράφημα 3.29. VaR για το GARCH Normal APARCH



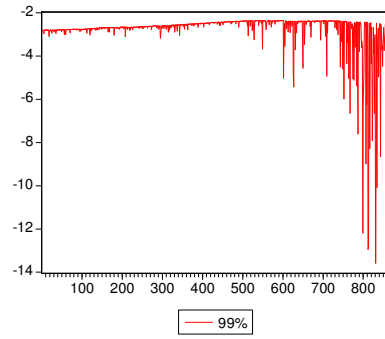
Γράφημα 3.30. VaR για το GARCH Normal APARCH



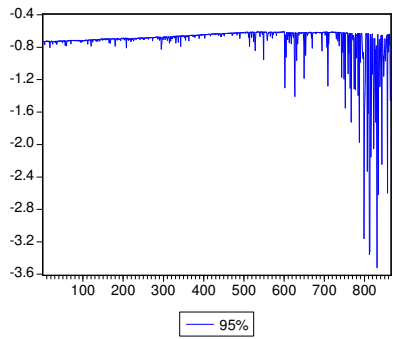
Γράφημα 3.31. VaR για το GARCH Student APARCH



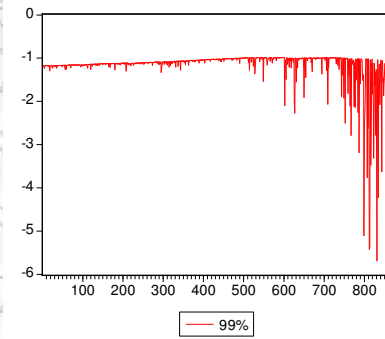
Γράφημα 3.32. VaR για το GARCH Student APARCH



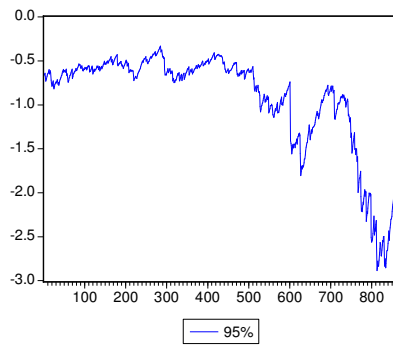
Γράφημα 3.33. VaR για το GARCH GED APARCH



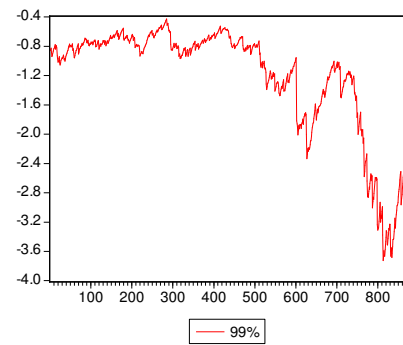
Γράφημα 3.34. VaR για το GARCH GED APARCH



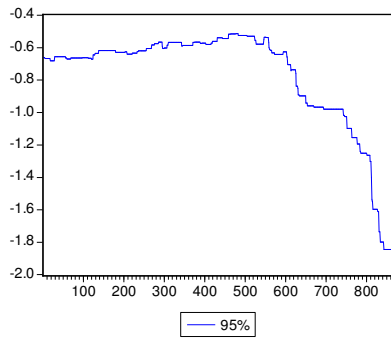
Γράφημα 3.35. ES για το RiskMetrics



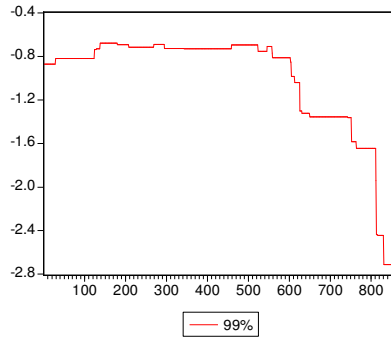
Γράφημα 3.36. ES για το RiskMetrics



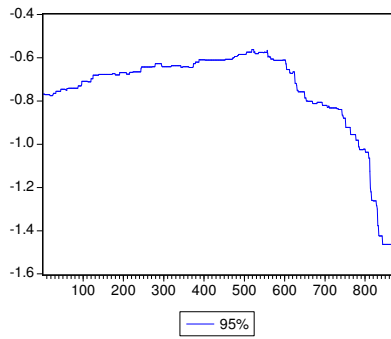
Γράφημα 3.37. ES για το Historical Simulation 1



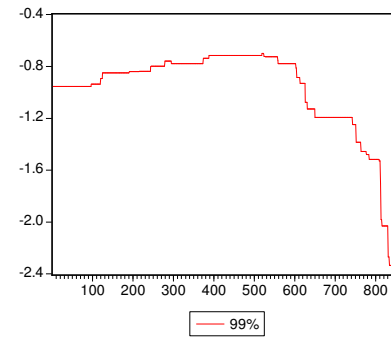
Γράφημα 3.38. ES για το Historical Simulation 1



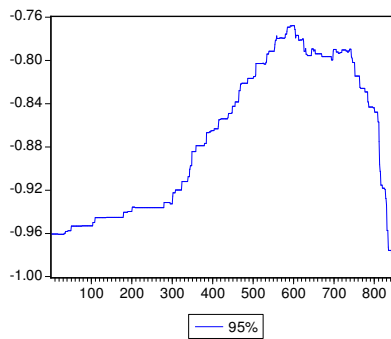
Γράφημα 3.39. ES για το Historical Simulation 2



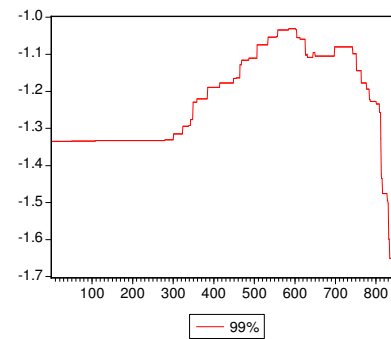
Γράφημα 3.40. ES για το Historical Simulation 2



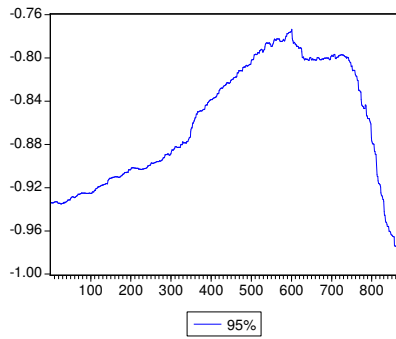
Γράφημα 3.41. ES για το Historical Simulation All



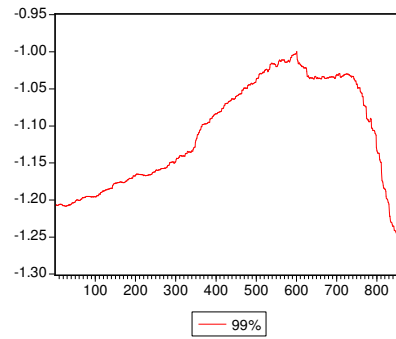
Γράφημα 3.42. ES για το Historical Simulation All



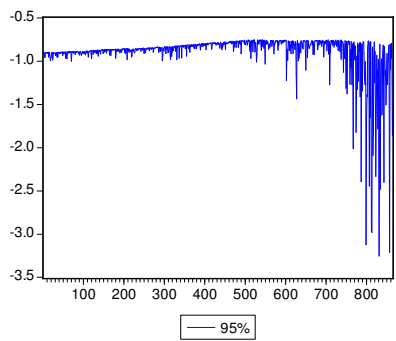
Γράφημα 3.43. ES για το Variance-Covariance



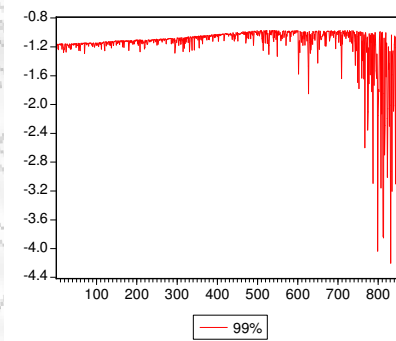
Γράφημα 3.44. ES για το Variance-Covariance



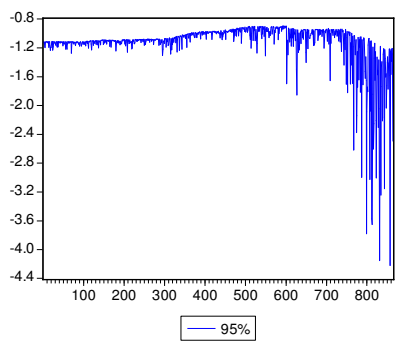
Γράφημα 3.45. ES για το ARCH Normal



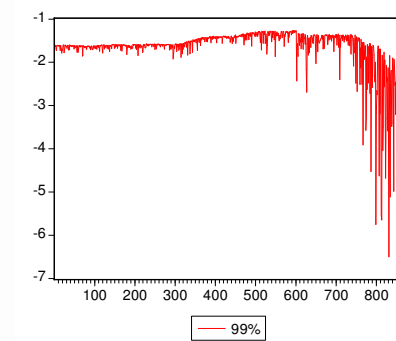
Γράφημα 3.46. ES για το ARCH Normal



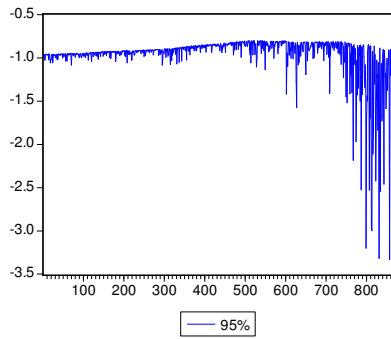
Γράφημα 3.47. ES για το ARCH Student-t



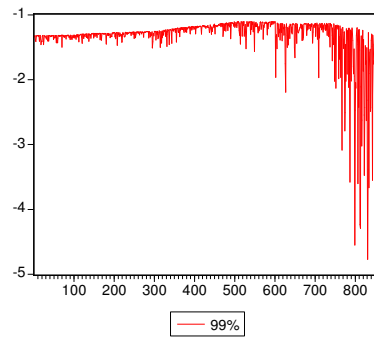
Γράφημα 3.48. ES για το ARCH Student-t



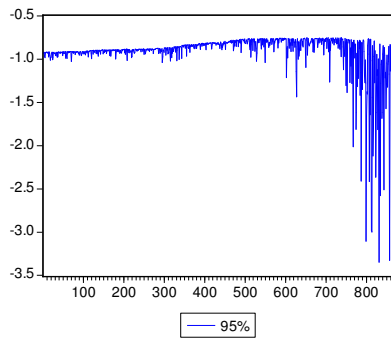
Γράφημα 3.49. ES για το ARCH GED



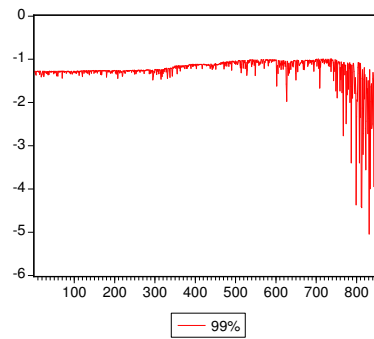
Γράφημα 3.50. ES για το ARCH GED



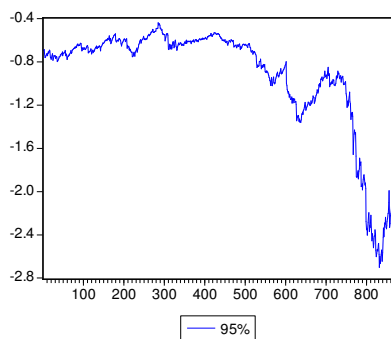
Γράφημα 3.51. ES για το GARCH Normal Filtered



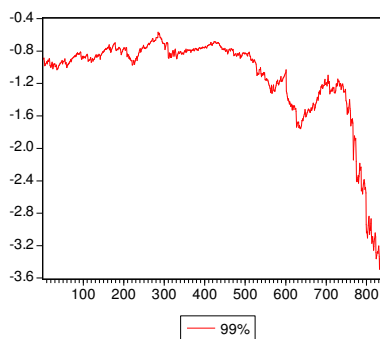
Γράφημα 3.52. ES για το GARCH Normal Filtered



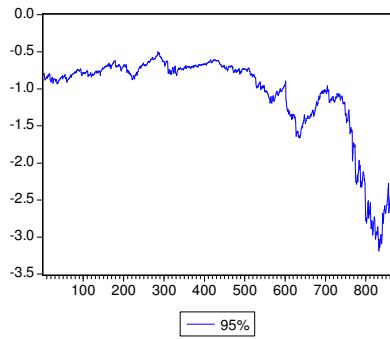
Γράφημα 3.53. ES για το EGARCH Normal



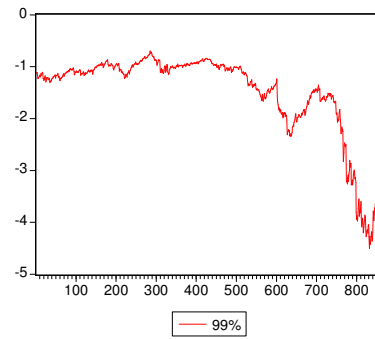
Γράφημα 3.54. ES για το EGARCH Normal



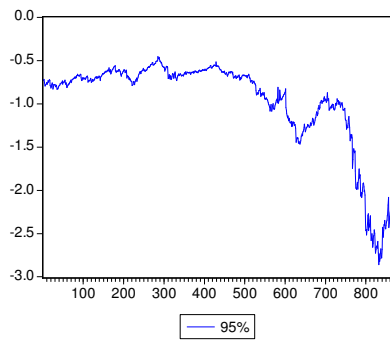
Γράφημα 3.55. ES για το EGARCH Student-t



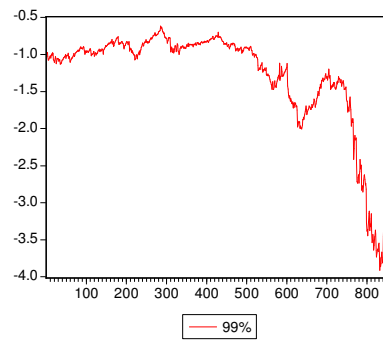
Γράφημα 3.56. ES για το EGARCH Student-t



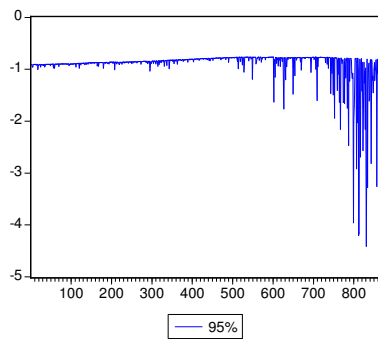
Γράφημα 3.57. ES για το EGARCH GED



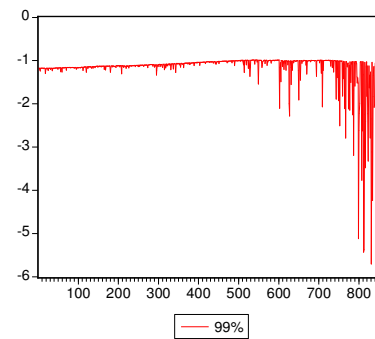
Γράφημα 3.58. ES για το EGARCH GED



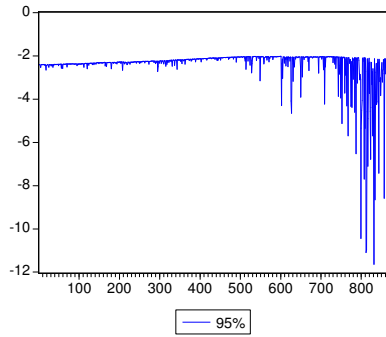
Γράφημα 3.59. ES για το GARCH Normal APARCH



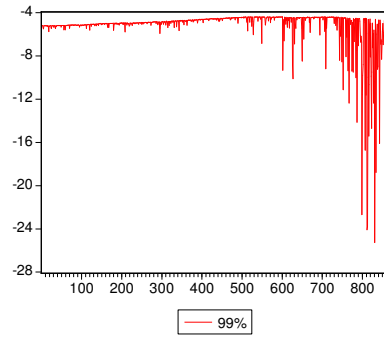
Γράφημα 3.60. ES για το GARCH Normal APARCH



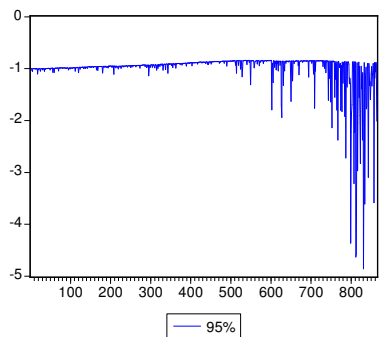
Γράφημα 3.61. ES για το GARCH Student APARCH



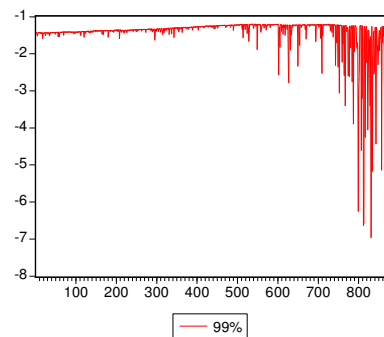
Γράφημα 3.62. ES για το GARCH Student APARCH



Γράφημα 3.63. ES για το GARCH GED APARCH



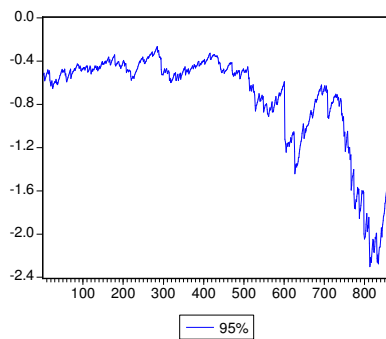
Γράφημα 3.64. ES για το GARCH GED APARCH



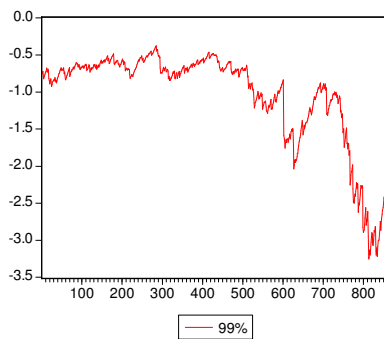
A4. Ισοτιμία Ευρώ/Λίρα Μεγάλης Βρετανίας

Short EUR/Long GBP

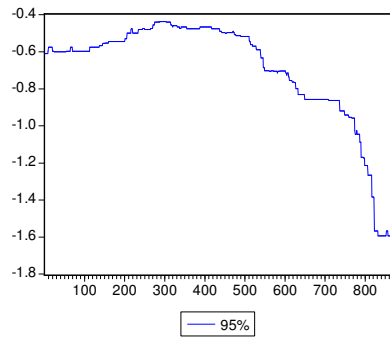
Γράφημα 4.1. VaR για το RiskMetrics



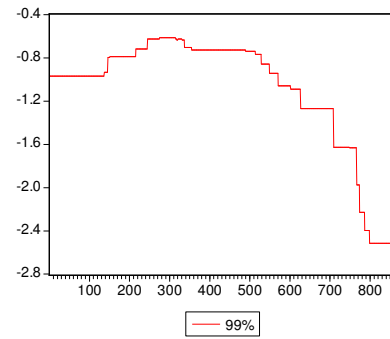
Γράφημα 4.2. VaR για το RiskMetrics



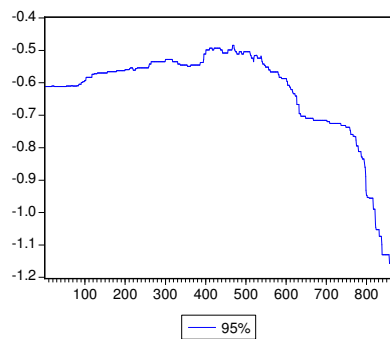
Γράφημα 4.3. VaR για το Historical Simulation 1



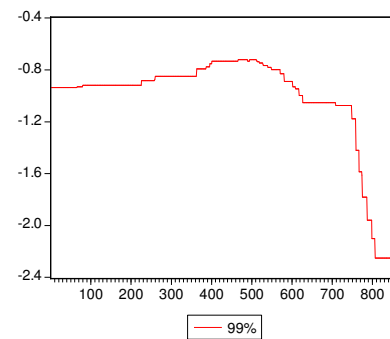
Γράφημα 4.4. VaR για το Historical Simulation 1



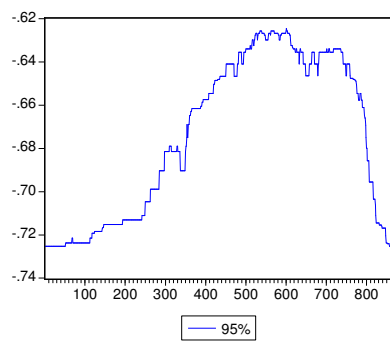
Γράφημα 4.5. VaR για το Historical Simulation 2



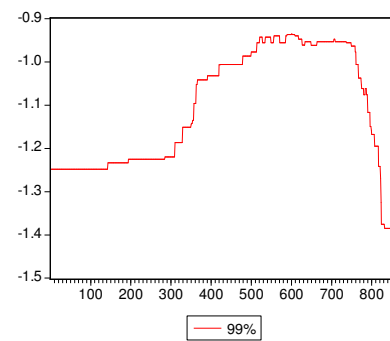
Γράφημα 4.6. VaR για το Historical Simulation 2



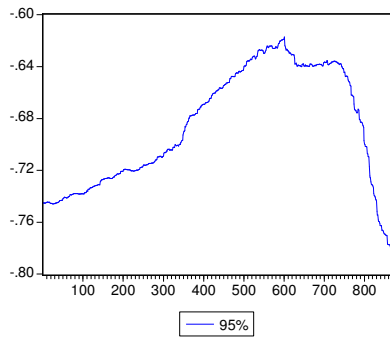
Γράφημα 4.7. VaR για το Historical Simulation All



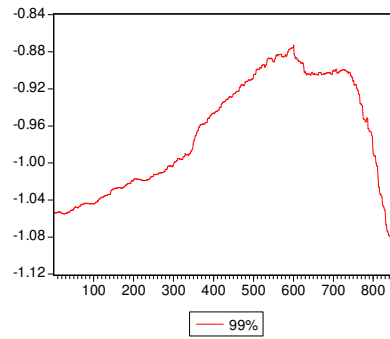
Γράφημα 4.8. VaR για το Historical Simulation All



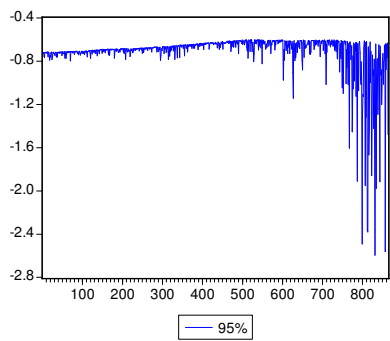
Γράφημα 4.9. VaR για το Variance-Covariance



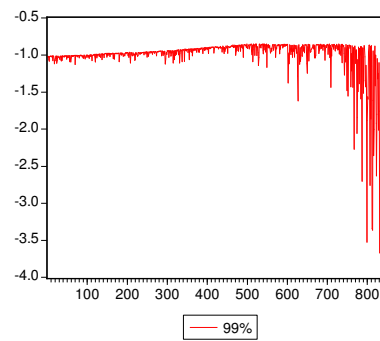
Γράφημα 4.10. VaR για το Variance-Covariance



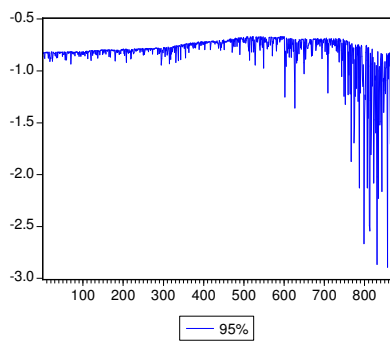
Γράφημα 4.11. VaR για το ARCH Normal



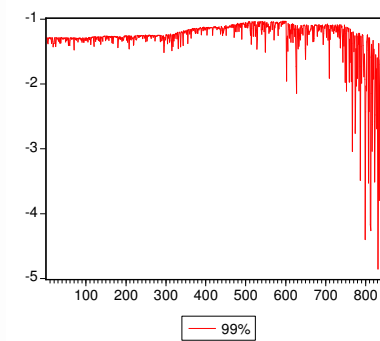
Γράφημα 4.12. VaR για το ARCH Normal

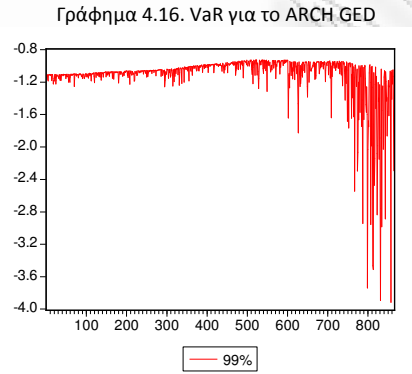
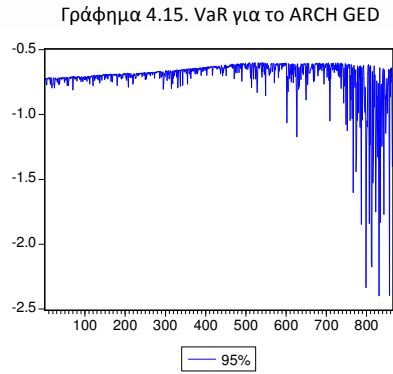


Γράφημα 4.13. VaR για το ARCH Student-t

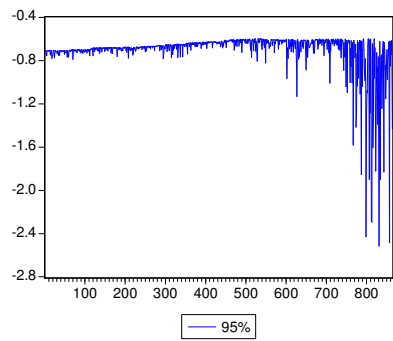


Γράφημα 4.14. VaR για το ARCH Student-t

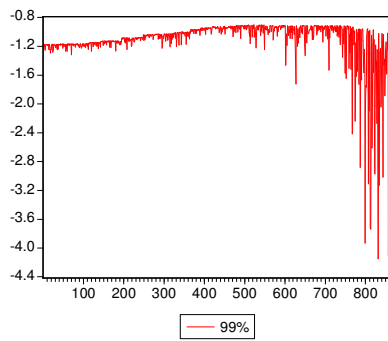




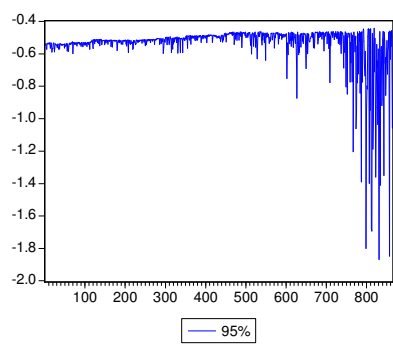
Γράφημα 4.17. VaR για το GARCH Normal Filtered



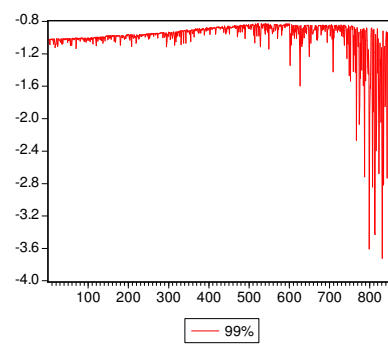
Γράφημα 4.18. VaR για το GARCH Normal Filtered



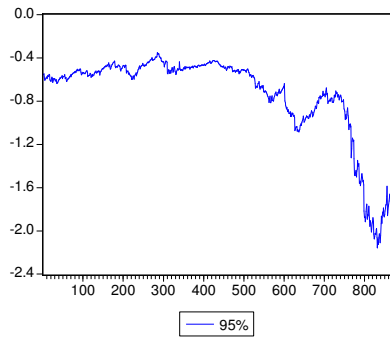
Γράφημα 4.19. VaR για το ARCH EVT



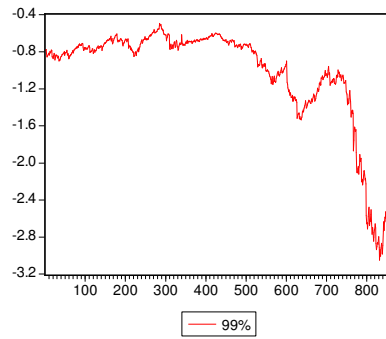
Γράφημα 4.20. VaR για το ARCH EVT



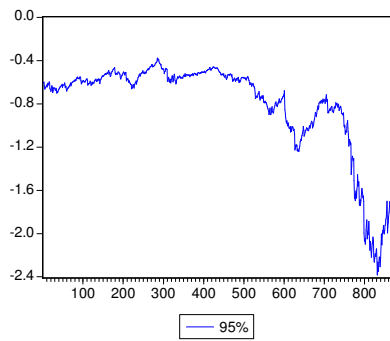
Γράφημα 4.21. VaR για το EGARCH Normal



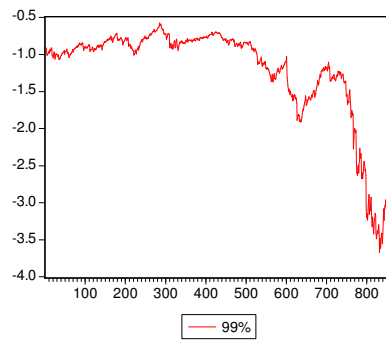
Γράφημα 4.22. VaR για το EGARCH Normal



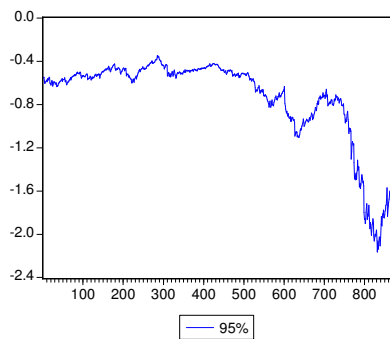
Γράφημα 4.23. VaR για το EGARCH Student-t



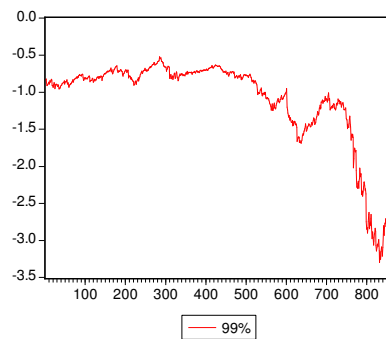
Γράφημα 4.24. VaR για το EGARCH Student-t



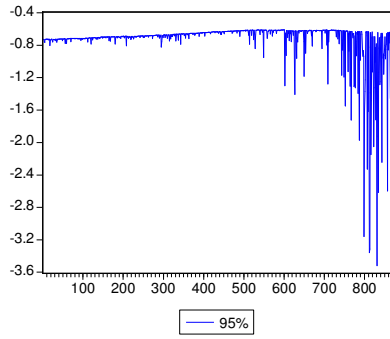
Γράφημα 4.25. VaR για το EGARCH GED



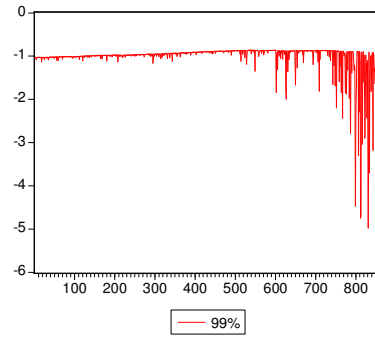
Γράφημα 4.26. VaR για το EGARCH GED



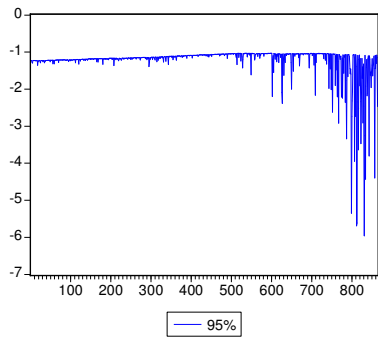
Γράφημα 4.27. VaR για το GARCH Normal APARCH



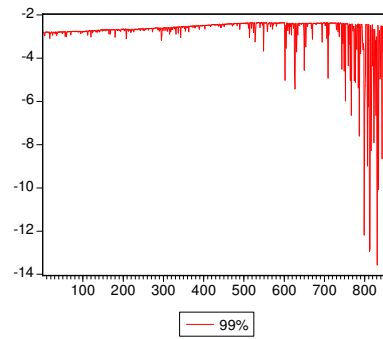
Γράφημα 4.28. VaR για το GARCH Normal APARCH



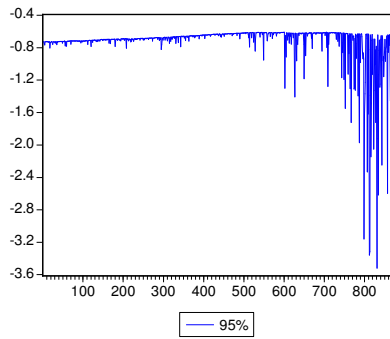
Γράφημα 4.29. VaR για το GARCH Student APARCH



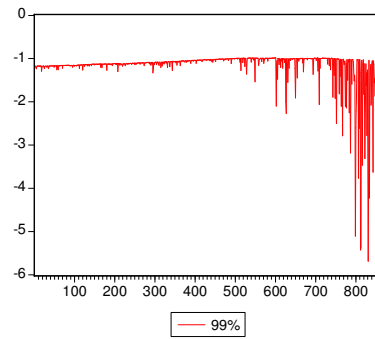
Γράφημα 4.30. VaR για το GARCH Student APARCH



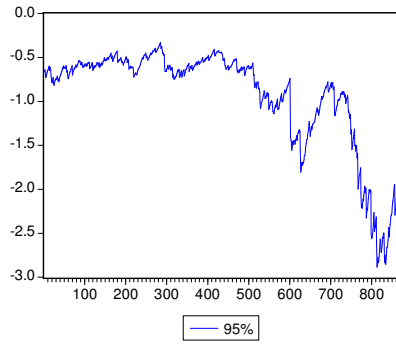
Γράφημα 4.31. VaR για το GARCH GED APARCH



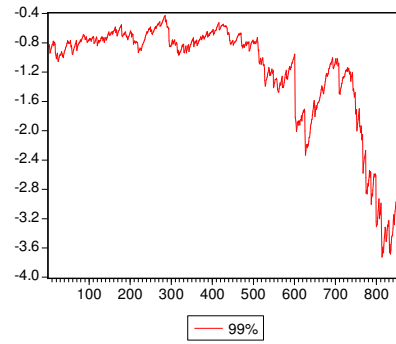
Γράφημα 4.32. VaR για το GARCH GED APARCH



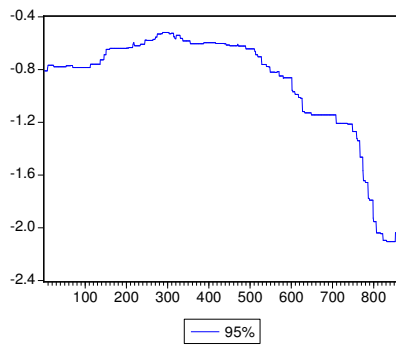
Γράφημα 4.33. ES για το RiskMetrics



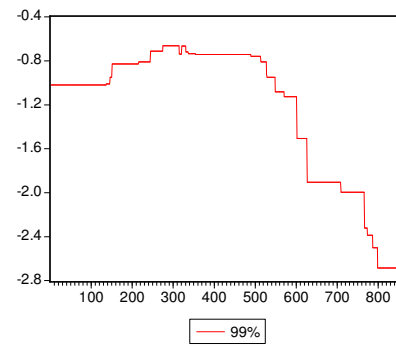
Γράφημα 4.34. ES για το RiskMetrics



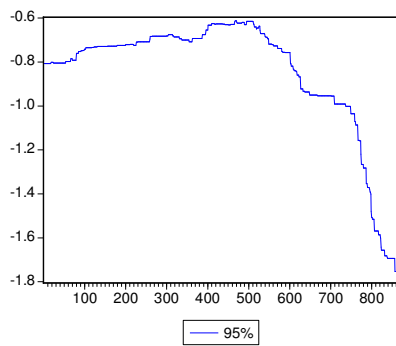
Γράφημα 4.35. ES για το Historical Simulation 1



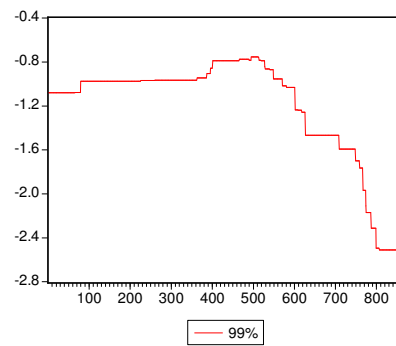
Γράφημα 4.36. ES για το Historical Simulation 1



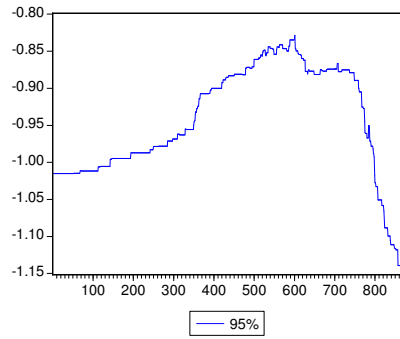
Γράφημα 4.37. ES για το Historical Simulation 2



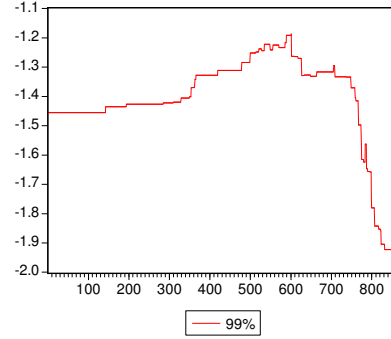
Γράφημα 4.38. ES για το Historical Simulation 2



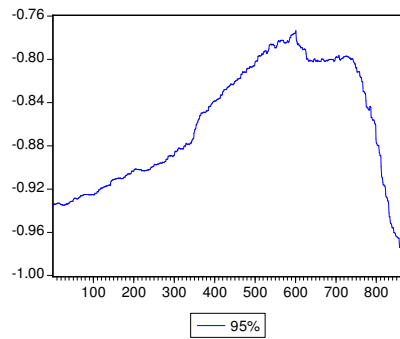
Γράφημα 4.39. ES για το Historical Simulation All



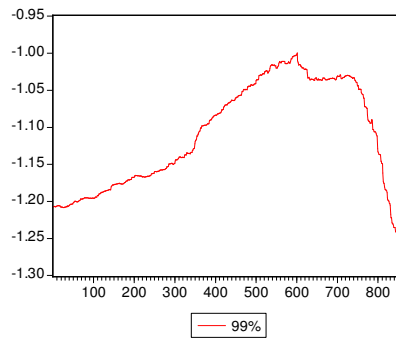
Γράφημα 4.40. ES για το Historical Simulation All



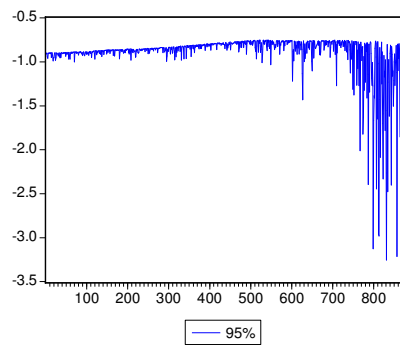
Γράφημα 4.41. ES για το Variance-Covariance



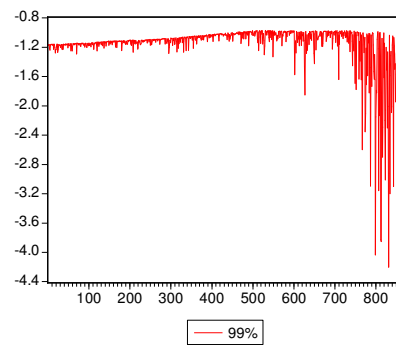
Γράφημα 4.42. ES για το Variance-Covariance



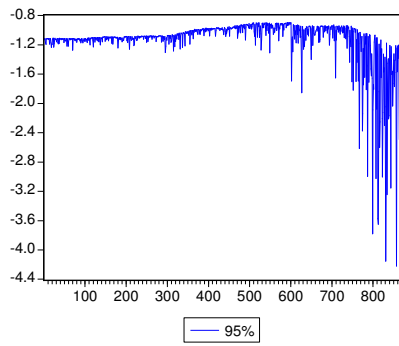
Γράφημα 4.43. ES για το ARCH Normal



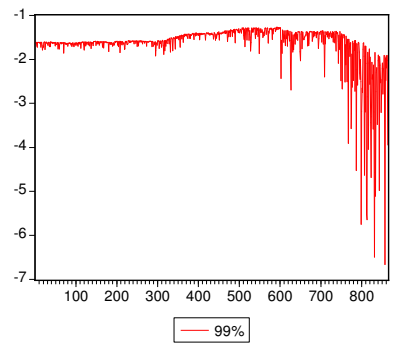
Γράφημα 4.44. ES για το ARCH Normal



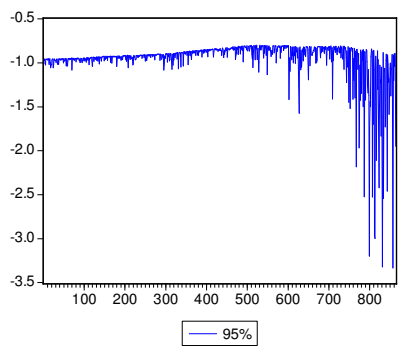
Γράφημα 4.45. ES για το ARCH Student-t



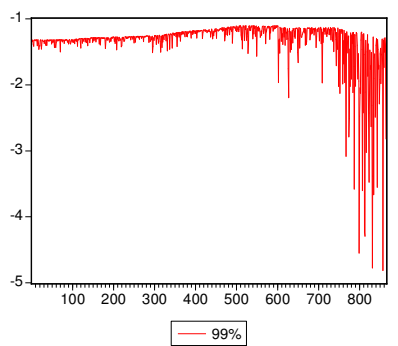
Γράφημα 4.46. ES για το ARCH Student-t



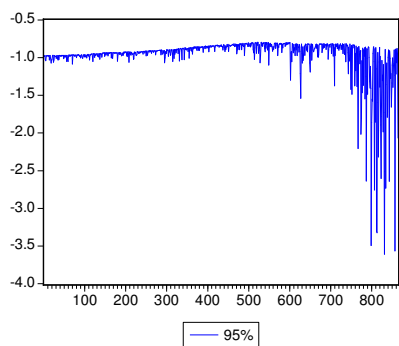
Γράφημα 4.47. ES για το ARCH GED



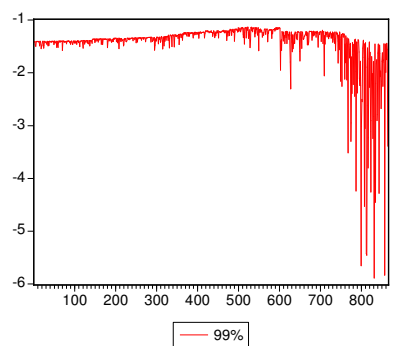
Γράφημα 4.48. ES για το ARCH GED



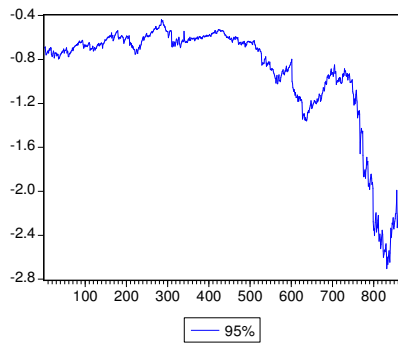
Γράφημα 4.49. ES για το GARCH Normal Filtered



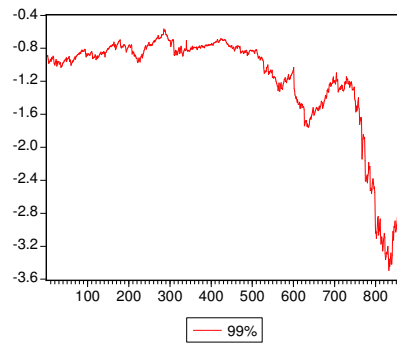
Γράφημα 4.50. ES για το GARCH Normal Filtered



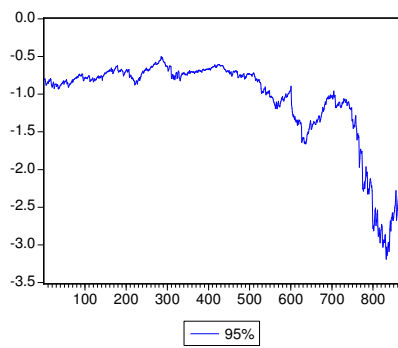
Γράφημα 4.51. ES για το EGARCH Normal



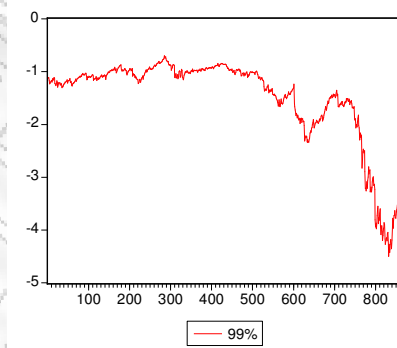
Γράφημα 4.52. ES για το EGARCH Normal



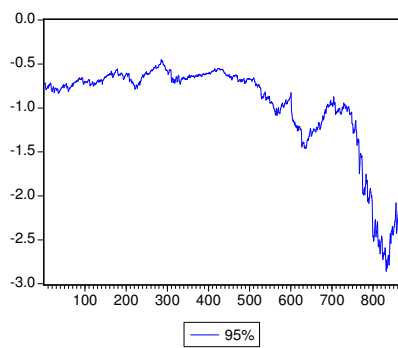
Γράφημα 4.53. ES για το EGARCH Student-t



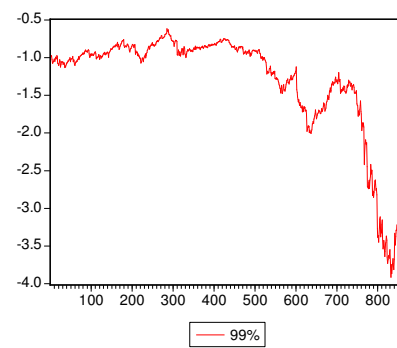
Γράφημα 4.54. ES για το EGARCH Student-t



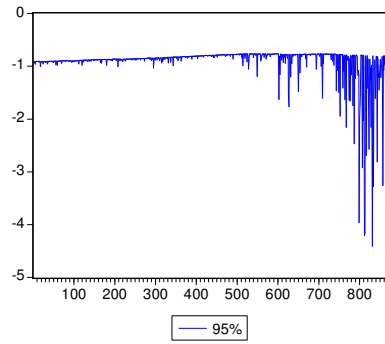
Γράφημα 4.55. ES για το EGARCH GED



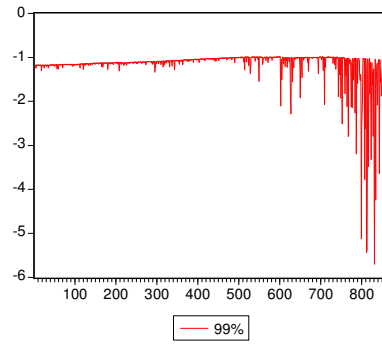
Γράφημα 4.56. ES για το EGARCH GED



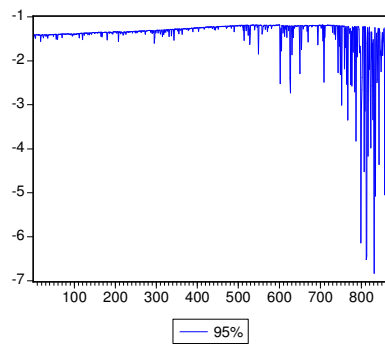
Γράφημα 4.57. ES για το GARCH Normal APARCH



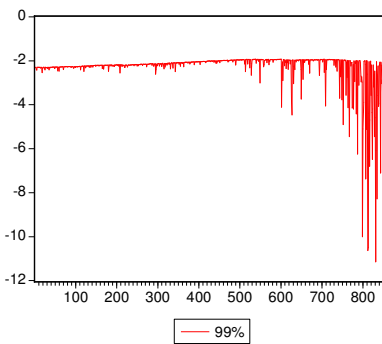
Γράφημα 4.58. ES για το GARCH Normal APARCH



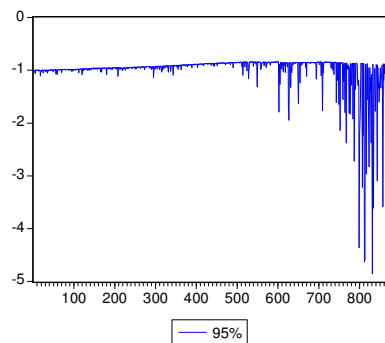
Γράφημα 4.59. ES για το GARCH Student APARCH



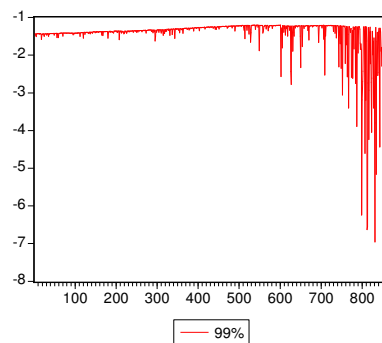
Γράφημα 4.60. ES για το GARCH Student APARCH



Γράφημα 4.61. ES για το GARCH GED APARCH



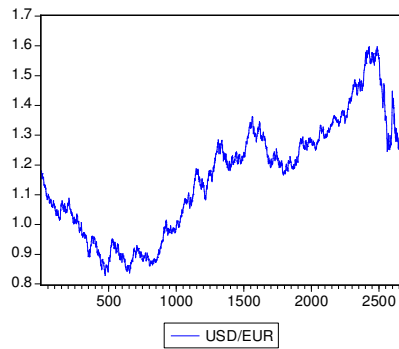
Γράφημα 4.62. ES για το GARCH GED APARCH



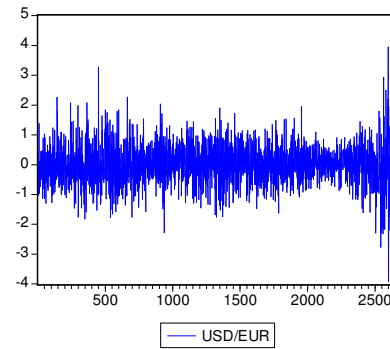
A5. Ισοτιμία Δολλάριο Η.Π.Α./Ευρώ

Short USD/Long EUR

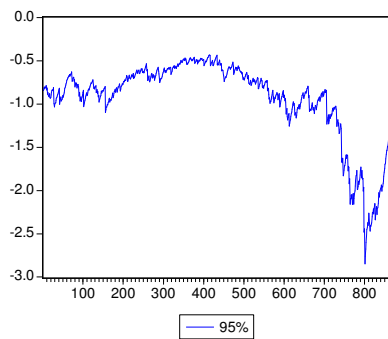
Γράφημα 5.1. Τιμές



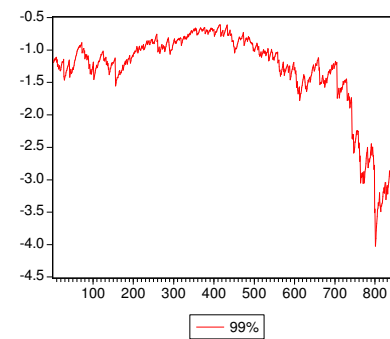
Γράφημα 5.2. Ποσοστιαίες Λογαριθμικές Αποδόσεις



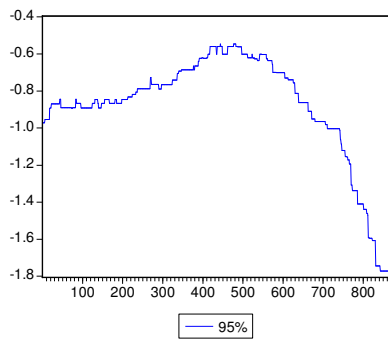
Γράφημα 5.3. VaR για το RiskMetrics



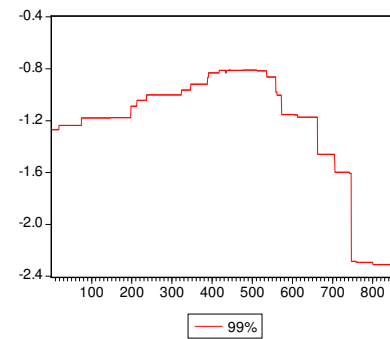
Γράφημα 5.4. VaR για το RiskMetrics



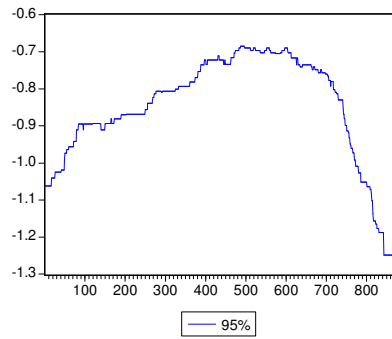
Γράφημα 5.5. VaR για το Historical Simulation 1



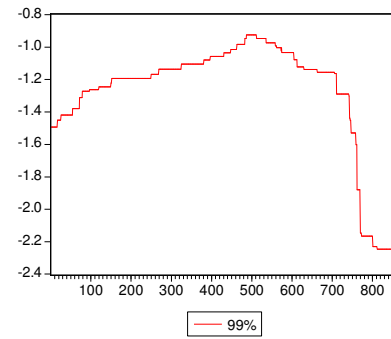
Γράφημα 5.6. VaR για το Historical Simulation 1



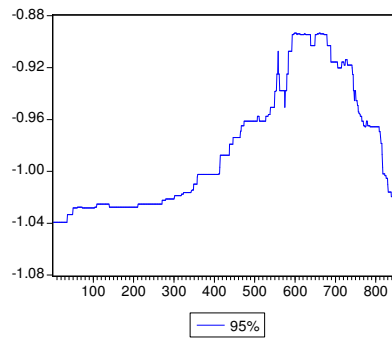
Γράφημα 5.7. VaR για το Historical Simulation 2



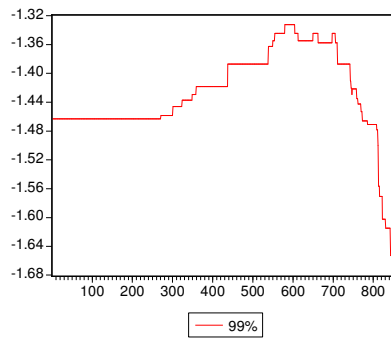
Γράφημα 5.8. VaR για το Historical Simulation 2



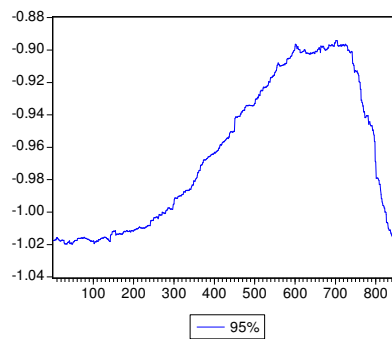
Γράφημα 5.9. VaR για το Historical Simulation All



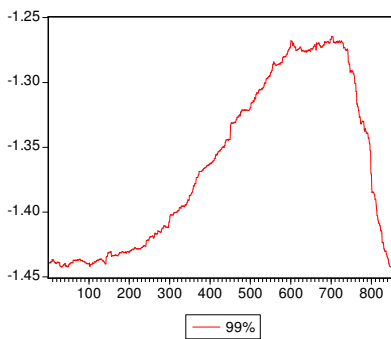
Γράφημα 5.10. VaR για το Historical Simulation All



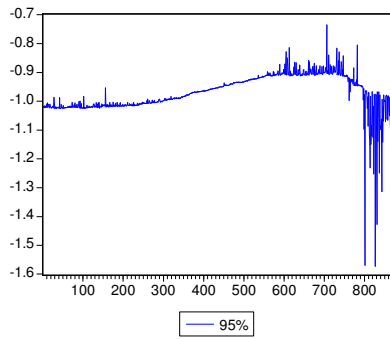
Γράφημα 5.11. VaR για το Variance-Covariance



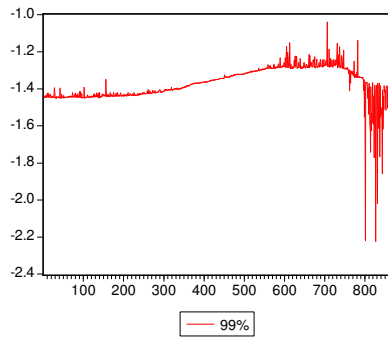
Γράφημα 5.12. VaR για το Variance-Covariance



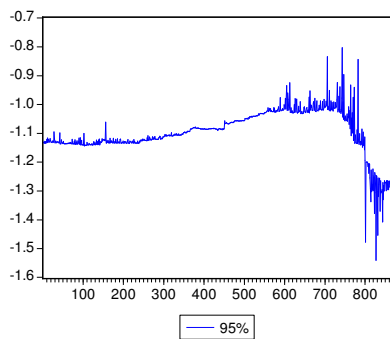
Γράφημα 5.13. VaR για το ARCH Normal



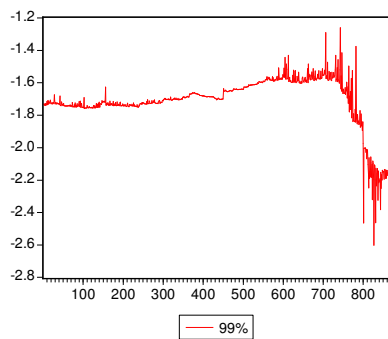
Γράφημα 5.14. VaR για το ARCH Normal



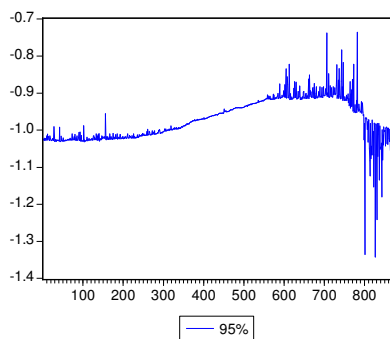
Γράφημα 5.15. VaR για το ARCH Student-t



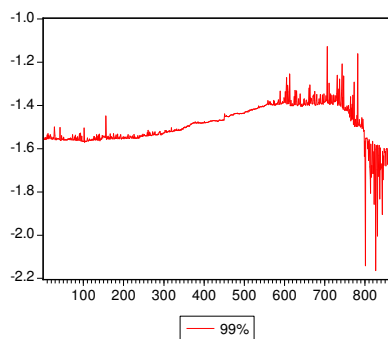
Γράφημα 5.16. VaR για το ARCH Student-t



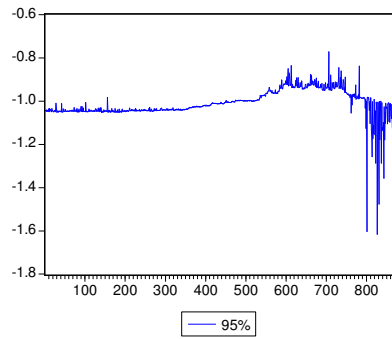
Γράφημα 5.17. VaR για το ARCH GED



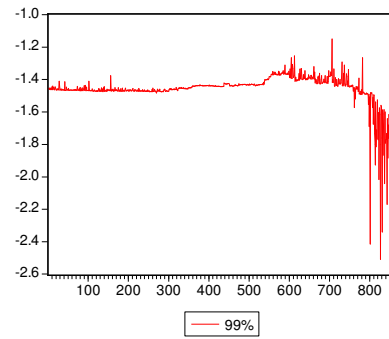
Γράφημα 5.18. VaR για το ARCH GED



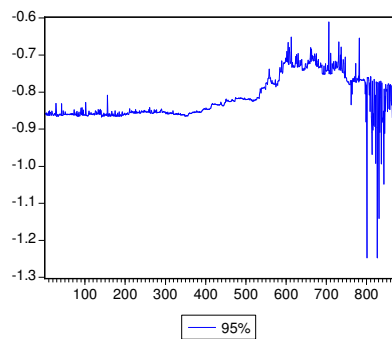
Γράφημα 5.19. VaR για το GARCH Normal Filtered



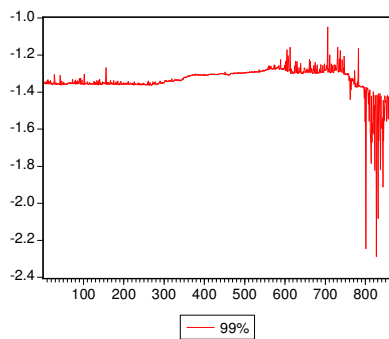
Γράφημα 5.20. VaR για το GARCH Normal Filtered



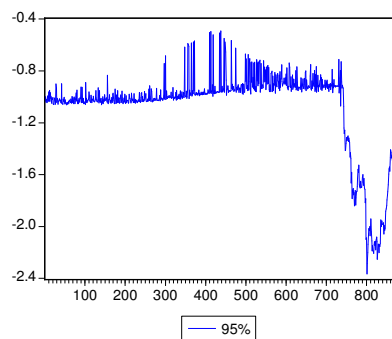
Γράφημα 5.21. VaR για το ARCH EVT



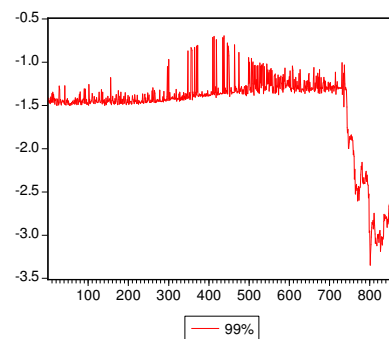
Γράφημα 5.22. VaR για το ARCH EVT



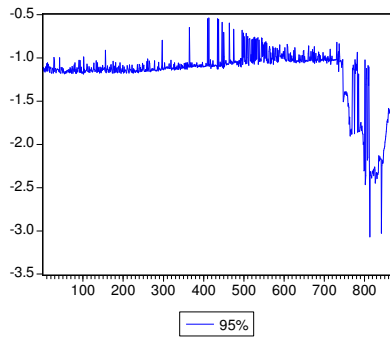
Γράφημα 5.23. VaR για το EGARCH Normal



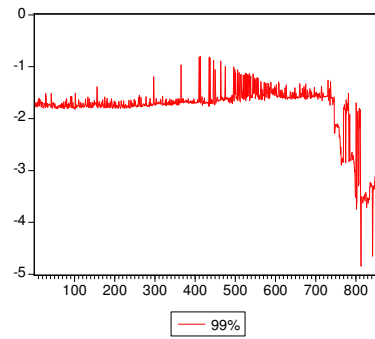
Γράφημα 5.24. VaR για το EGARCH Normal



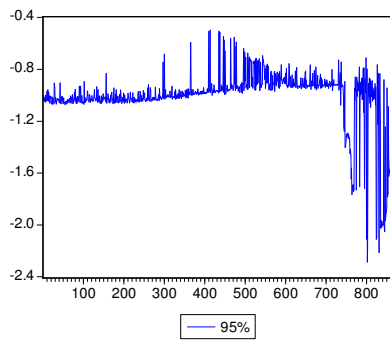
Γράφημα 5.25. VaR για το EGARCH Student-t



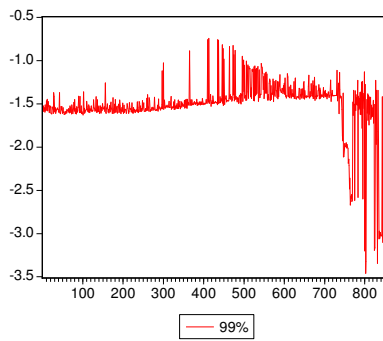
Γράφημα 5.26. VaR για το EGARCH Student-t



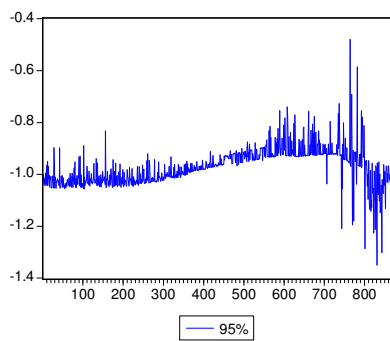
Γράφημα 5.27. VaR για το EGARCH GED



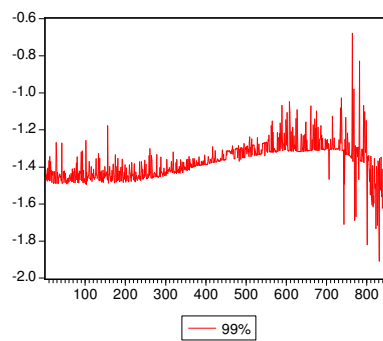
Γράφημα 5.28. VaR για το EGARCH GED



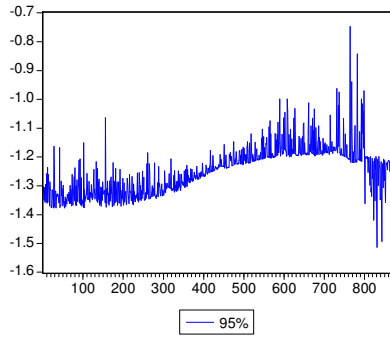
Γράφημα 5.29. VaR για το GARCH Normal APARCH



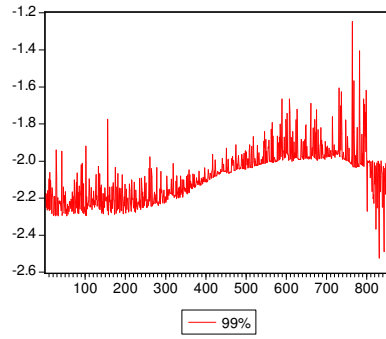
Γράφημα 5.30. VaR για το GARCH Normal APARCH



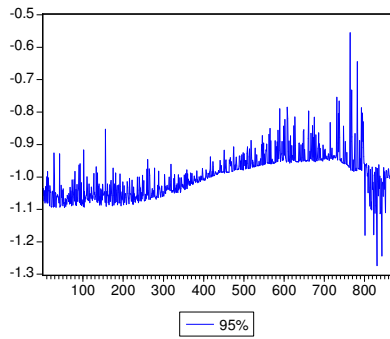
Γράφημα 5.31. VaR για το GARCH Student APARCH



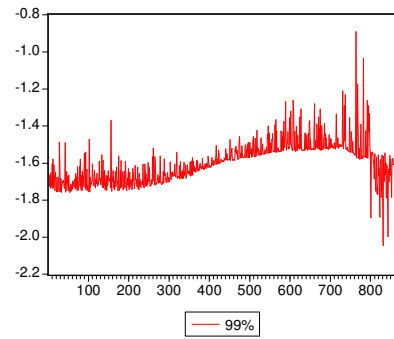
Γράφημα 5.32. VaR για το GARCH Student APARCH



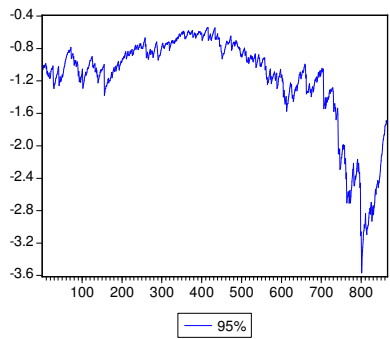
Γράφημα 5.33. VaR για το GARCH GED APARCH



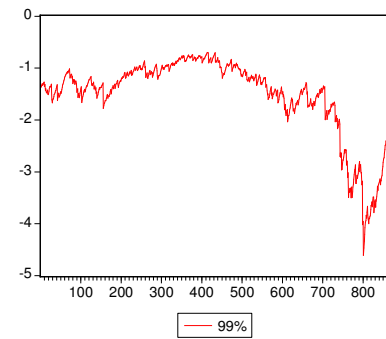
Γράφημα 5.34. VaR για το GARCH GED APARCH



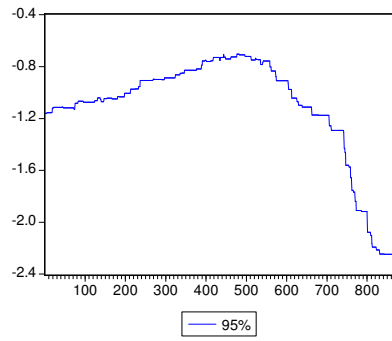
Γράφημα 5.35. ES για το RiskMetrics



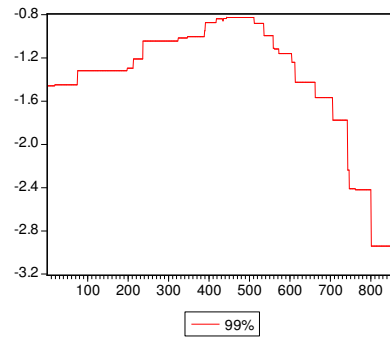
Γράφημα 5.36. ES για το RiskMetrics



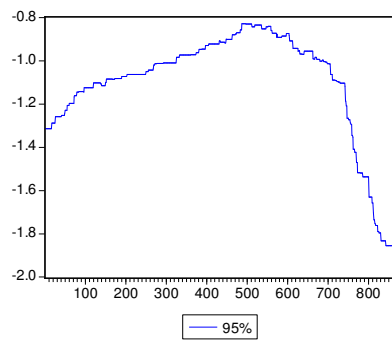
Γράφημα 5.37. ES για το Historical Simulation 1



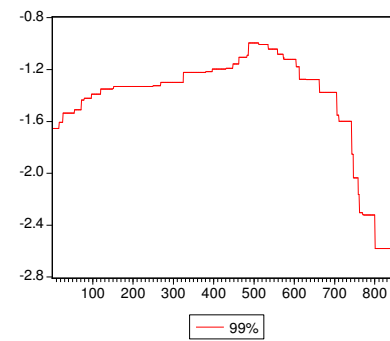
Γράφημα 5.38. ES για το Historical Simulation 1



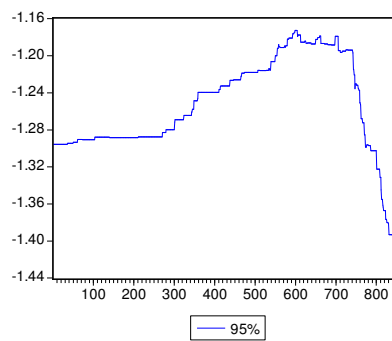
Γράφημα 5.39. ES για το Historical Simulation 2



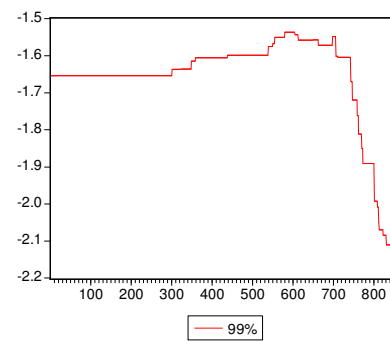
Γράφημα 5.40. ES για το Historical Simulation 2



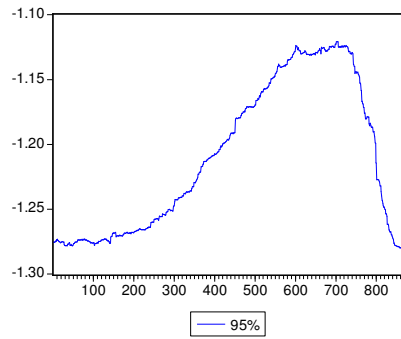
Γράφημα 5.41. ES για το Historical Simulation All



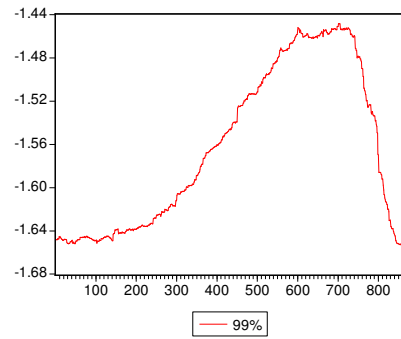
Γράφημα 5.42. ES για το Historical Simulation All



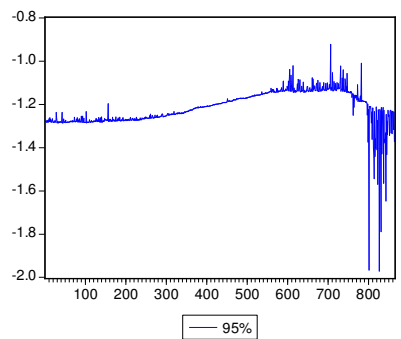
Γράφημα 5.43. ES για το Variance-Covariance



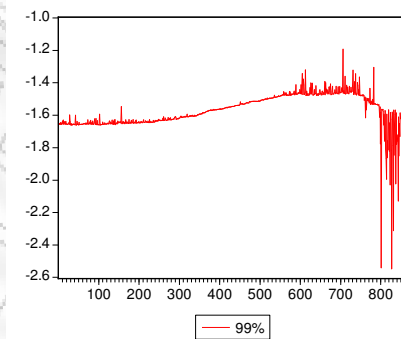
Γράφημα 5.44. ES για το Variance-Covariance



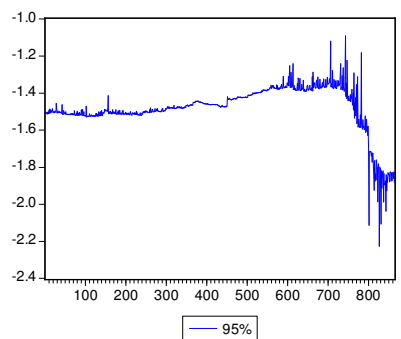
Γράφημα 5.45. ES για το ARCH Normal



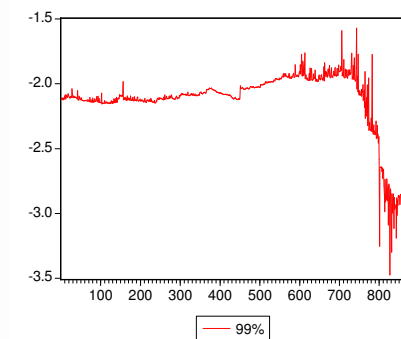
Γράφημα 5.46. ES για το ARCH Normal



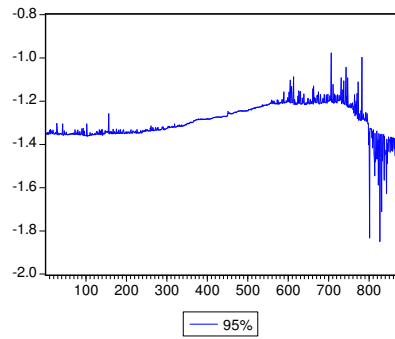
Γράφημα 5.47. ES για το ARCH Student-t



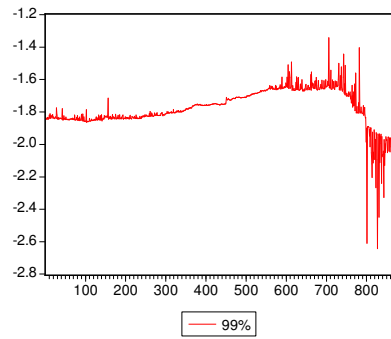
Γράφημα 5.48. ES για το ARCH Student-t



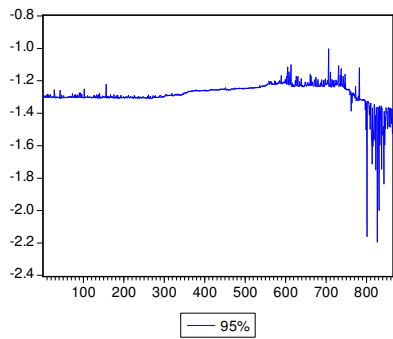
Γράφημα 5.49. ES για το ARCH GED



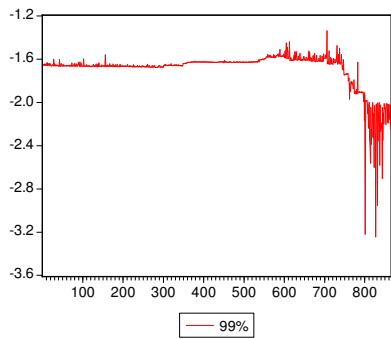
Γράφημα 5.50. ES για το ARCH GED



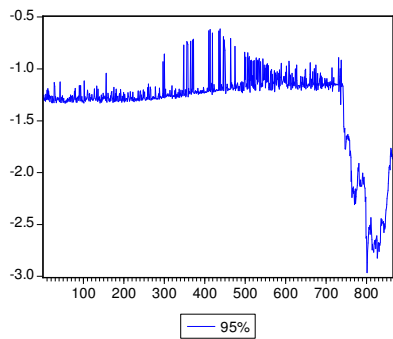
Γράφημα 5.51. ES για το GARCH Normal Filtered



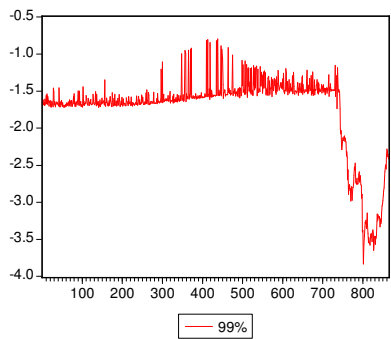
Γράφημα 5.52. ES για το GARCH Normal Filtered



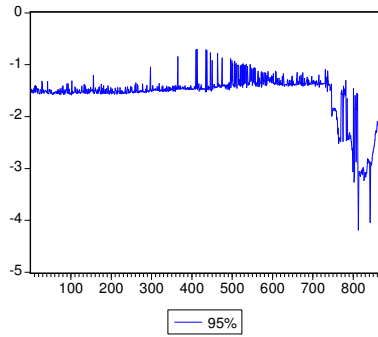
Γράφημα 5.53. ES για το EGARCH Normal



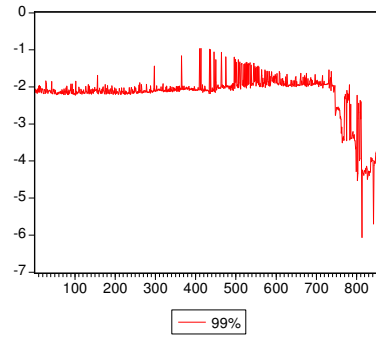
Γράφημα 5.54. ES για το EGARCH Normal



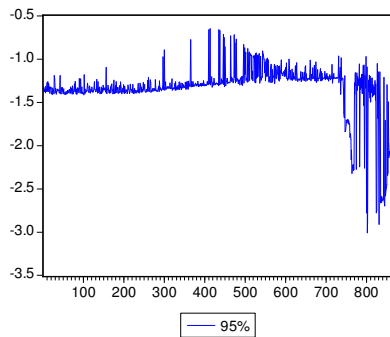
Γράφημα 5.55. ES για το EGARCH Student-t



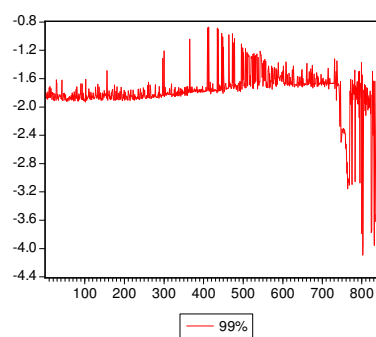
Γράφημα 5.56. ES για το EGARCH Student-t



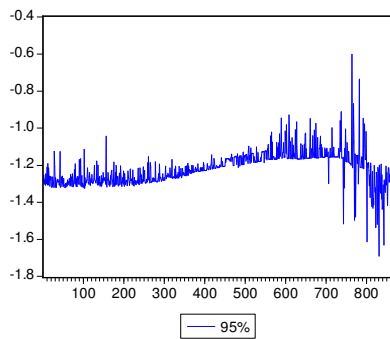
Γράφημα 5.57. ES για το EGARCH GED



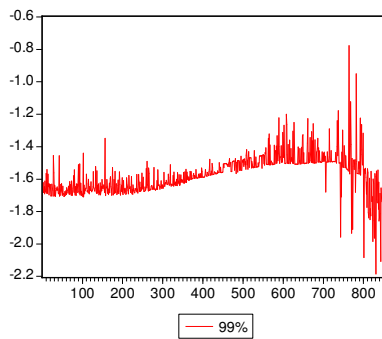
Γράφημα 5.58. ES για το EGARCH GED



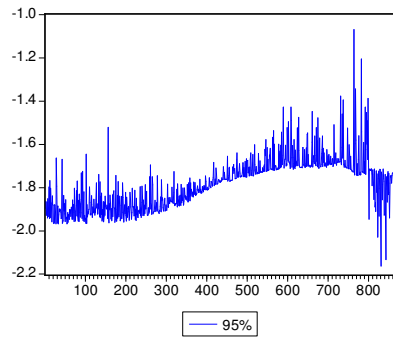
Γράφημα 5.59. ES για το GARCH Normal APARCH



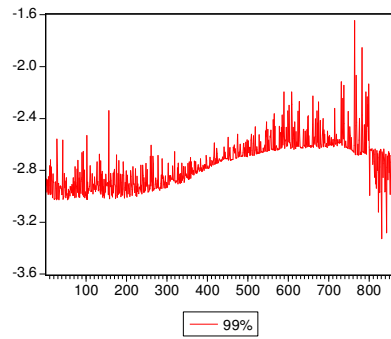
Γράφημα 5.60. ES για το GARCH Normal APARCH



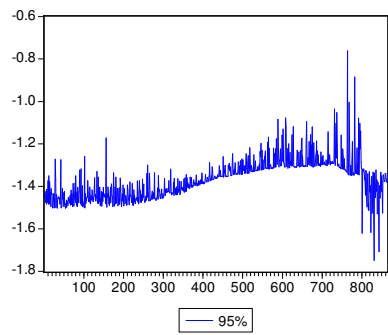
Γράφημα 5.61. ES για το GARCH Student APARCH



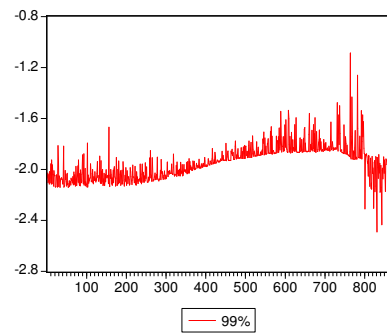
Γράφημα 5.62. ES για το GARCH Student APARCH



Γράφημα 5.63. ES για το GARCH GED APARCH



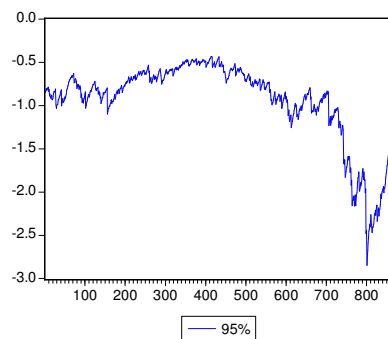
Γράφημα 5.64. ES για το GARCH GED APARCH



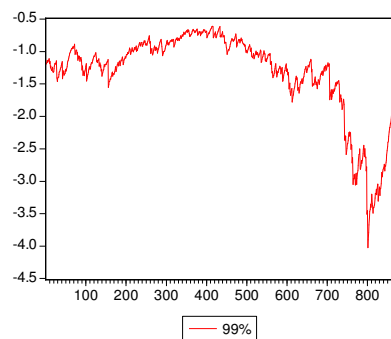
Α6. Ισοτιμία Ευρώ/Δολλάριο Η.Π.Α.

Short EUR/Long USD

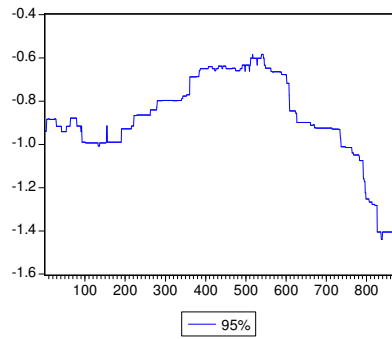
Γράφημα 6.1. VaR για το RiskMetrics



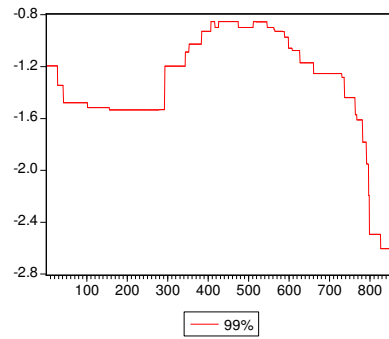
Γράφημα 6.2. VaR για το RiskMetrics



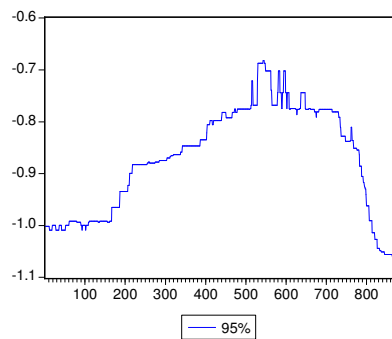
Γράφημα 6.3. VaR για το Historical Simulation 1



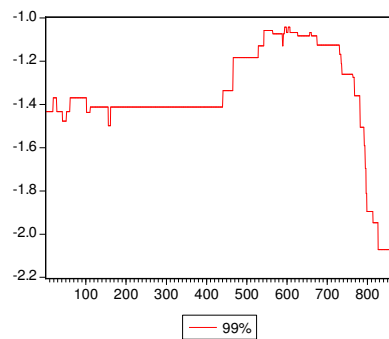
Γράφημα 6.4. VaR για το Historical Simulation 1



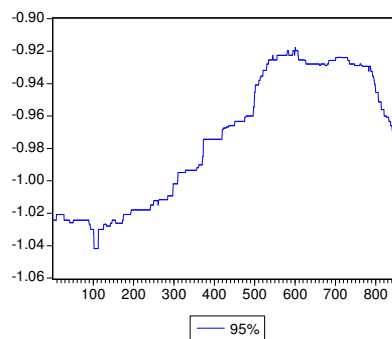
Γράφημα 6.5. VaR για το Historical Simulation 2



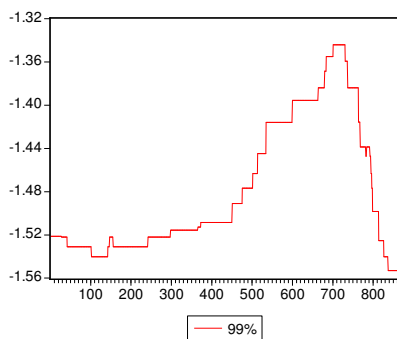
Γράφημα 6.6. VaR για το Historical Simulation 2



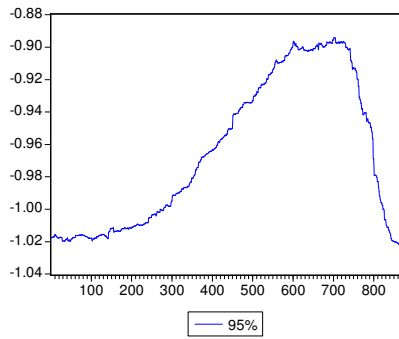
Γράφημα 6.7. VaR για το Historical Simulation All



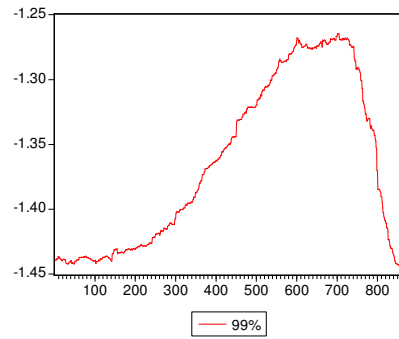
Γράφημα 6.8. VaR για το Historical Simulation All



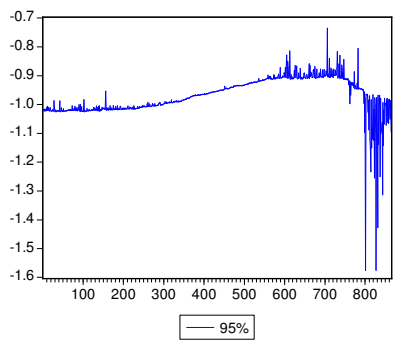
Γράφημα 6.9. VaR για το Variance-Covariance



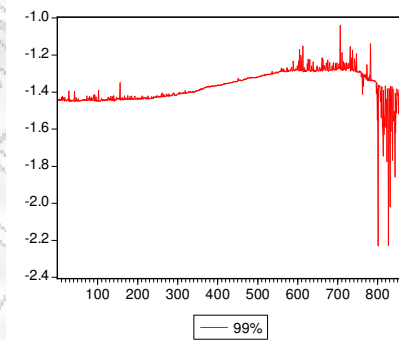
Γράφημα 6.10. VaR για το Variance-Covariance



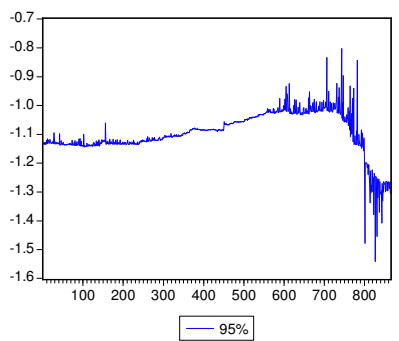
Γράφημα 6.11. VaR για το ARCH Normal



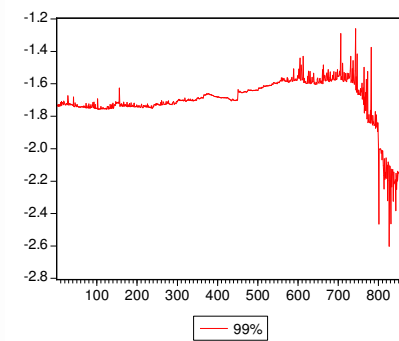
Γράφημα 6.12. VaR για το ARCH Normal



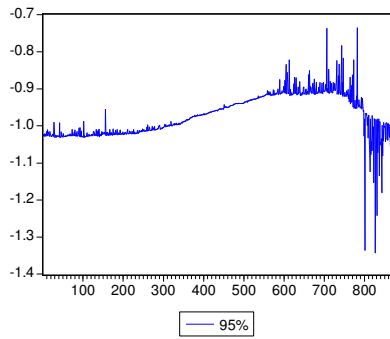
Γράφημα 6.13. VaR για το ARCH Student-t



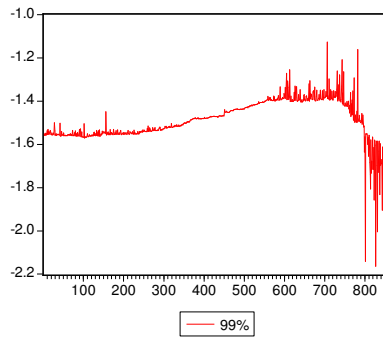
Γράφημα 6.14. VaR για το ARCH Student-t



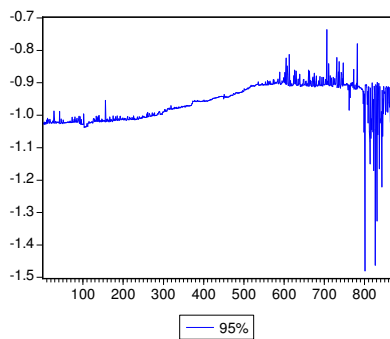
Γράφημα 6.15. VaR για το ARCH GED



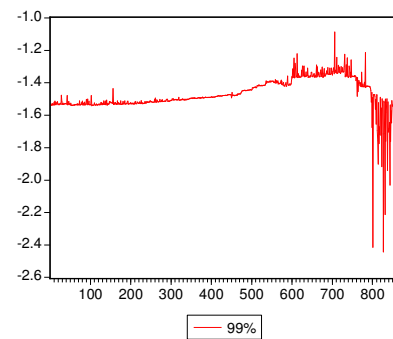
Γράφημα 6.16. VaR για το ARCH GED



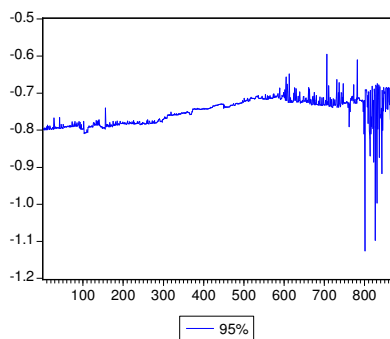
Γράφημα 6.17. VaR για το GARCH Normal Filtered



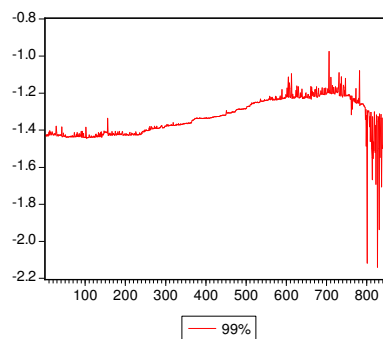
Γράφημα 6.18. VaR για το GARCH Normal Filtered



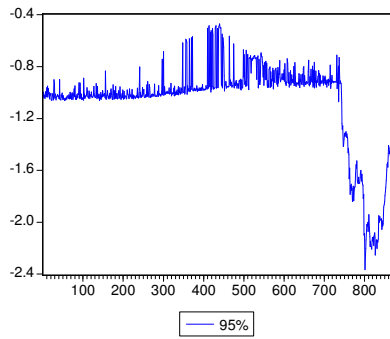
Γράφημα 6.19. VaR για το ARCH EVT



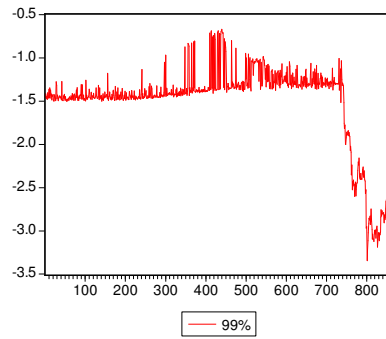
Γράφημα 6.20. VaR για το ARCH EVT



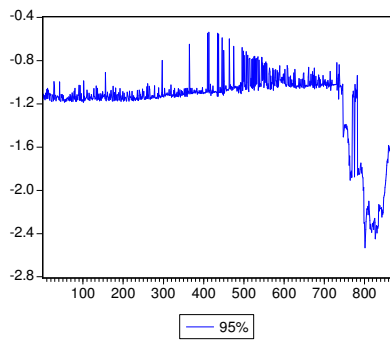
Γράφημα 6.21. VaR για το EGARCH Normal



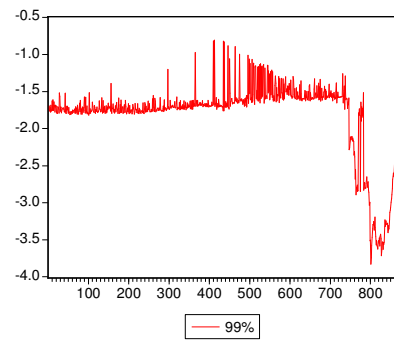
Γράφημα 6.22. VaR για το EGARCH Normal



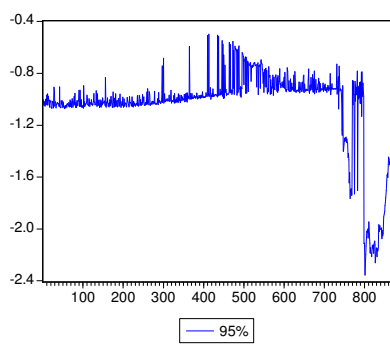
Γράφημα 6.23. VaR για το EGARCH Student-t



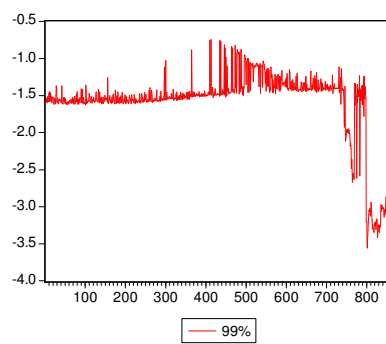
Γράφημα 6.24. VaR για το EGARCH Student-t



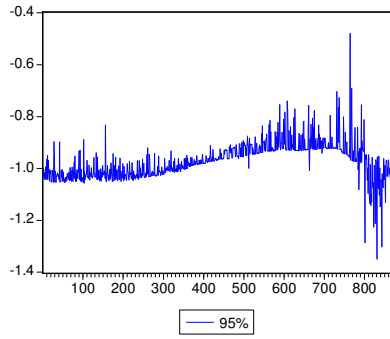
Γράφημα 6.25. VaR για το EGARCH GED



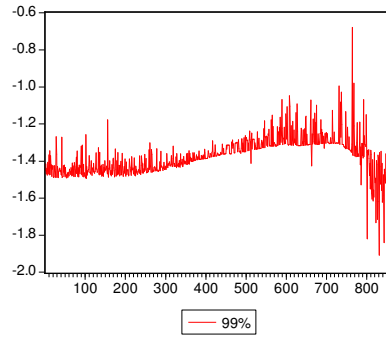
Γράφημα 6.26. VaR για το EGARCH GED



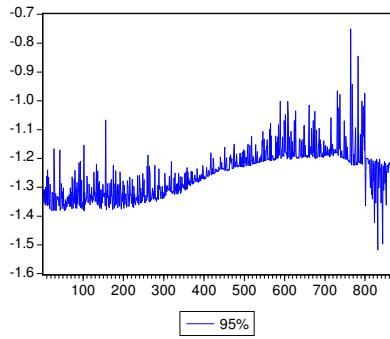
Γράφημα 6.27. VaR για το GARCH Normal APARCH



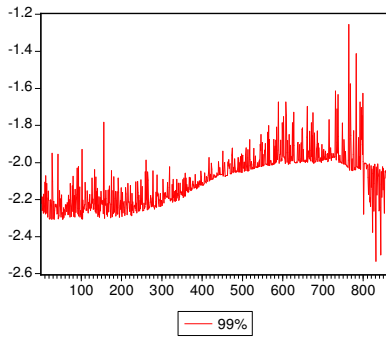
Γράφημα 6.28. VaR για το GARCH Normal APARCH



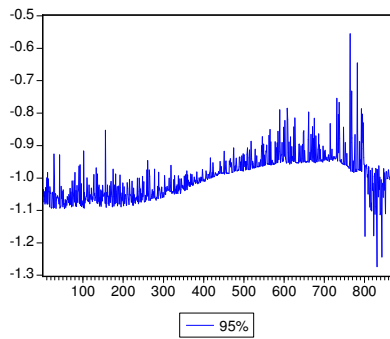
Γράφημα 6.29. VaR για το GARCH Student APARCH



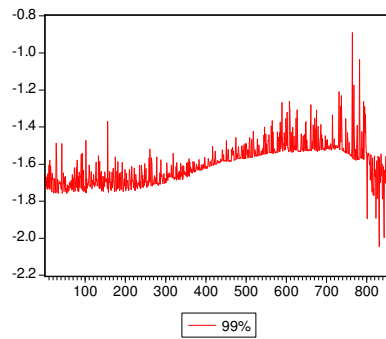
Γράφημα 6.30. VaR για το GARCH Student APARCH



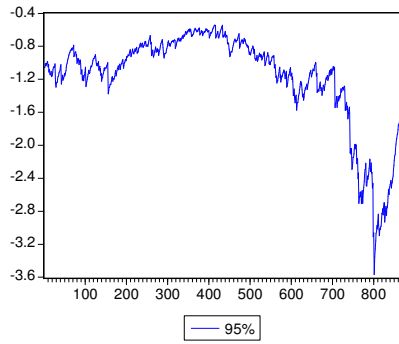
Γράφημα 6.31. VaR για το GARCH GED APARCH



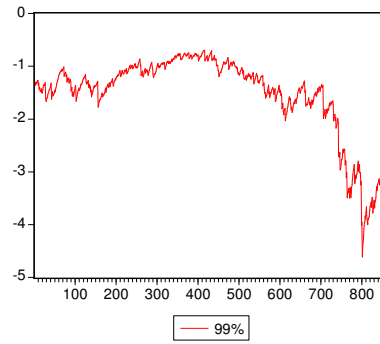
Γράφημα 6.32. VaR για το GARCH GED APARCH



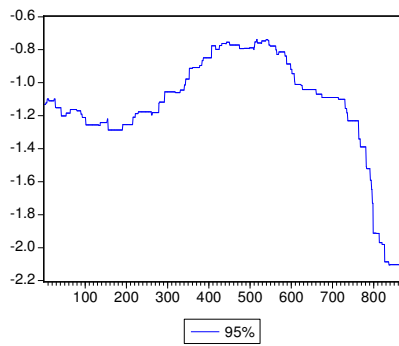
Γράφημα 6.33. ES για το RiskMetrics



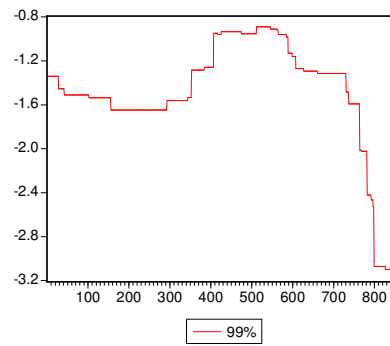
Γράφημα 6.34. ES για το RiskMetrics



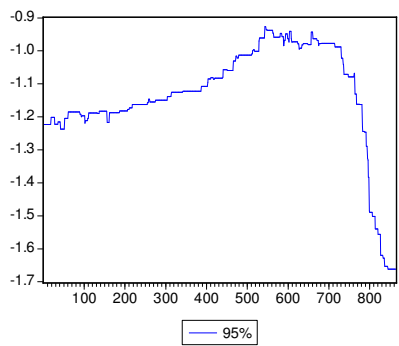
Γράφημα 6.35. ES για το Historical Simulation 1



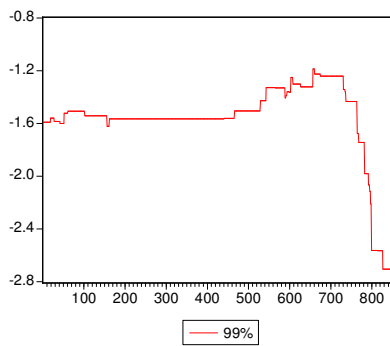
Γράφημα 6.36. ES για το Historical Simulation 1



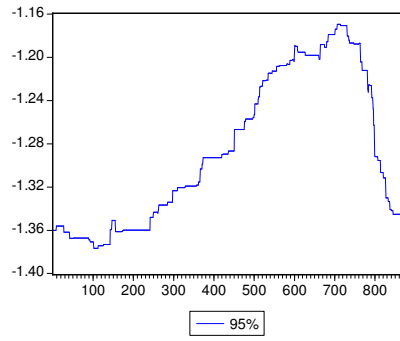
Γράφημα 6.37. ES για το Historical Simulation 2



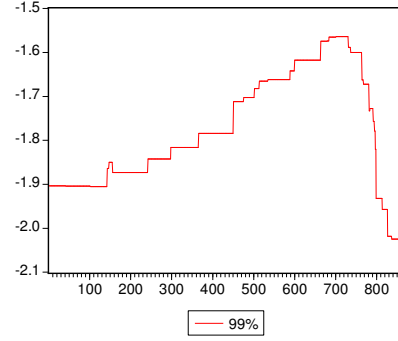
Γράφημα 6.38. ES για το Historical Simulation 2



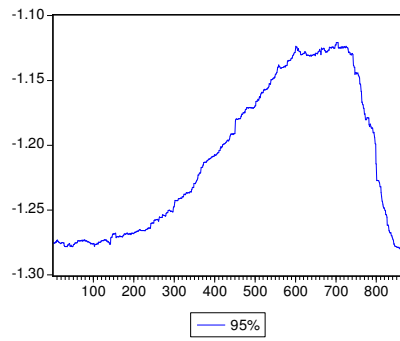
Γράφημα 6.39. ES για το Historical Simulation All



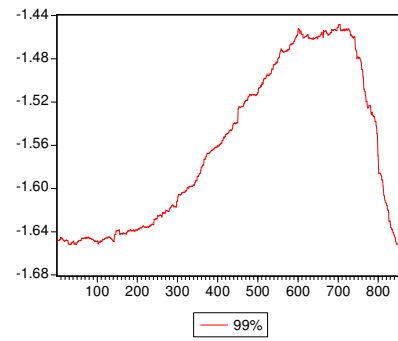
Γράφημα 6.40. ES για το Historical Simulation All



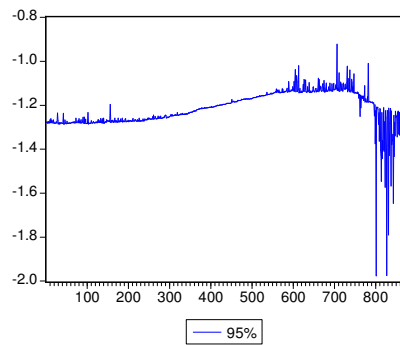
Γράφημα 6.41. ES για το Variance-Covariance



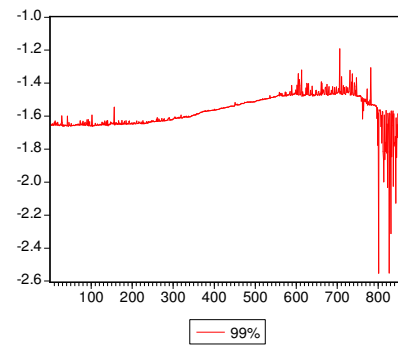
Γράφημα 6.42. ES για το Variance-Covariance



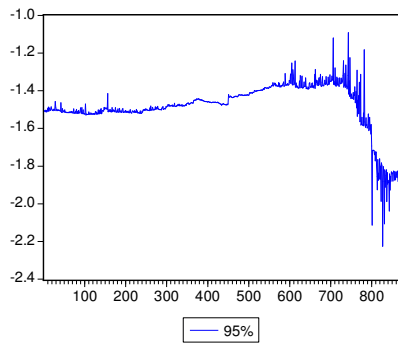
Γράφημα 6.43. ES για το ARCH Normal



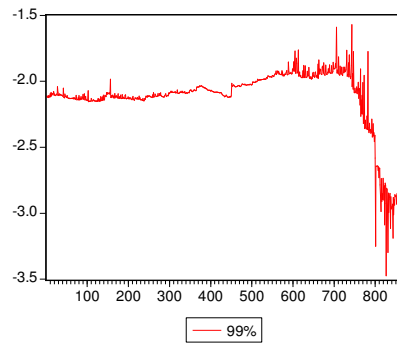
Γράφημα 6.44. ES για το ARCH Normal



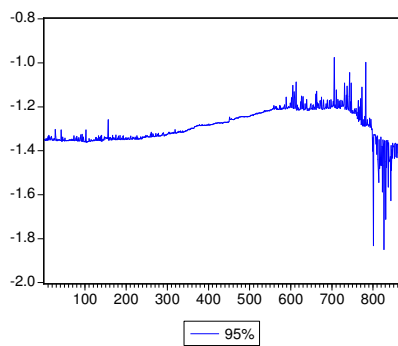
Γράφημα 6.45. ES για το ARCH Student-t



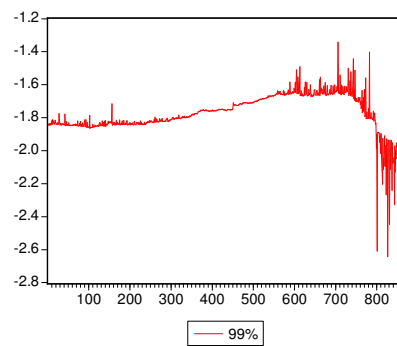
Γράφημα 6.46. ES για το ARCH Student-t



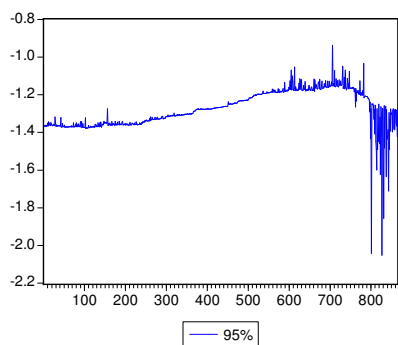
Γράφημα 6.47. ES για το ARCH GED



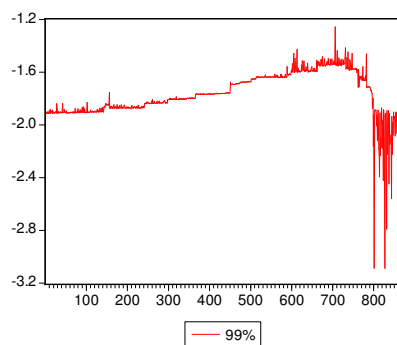
Γράφημα 6.48. ES για το ARCH GED



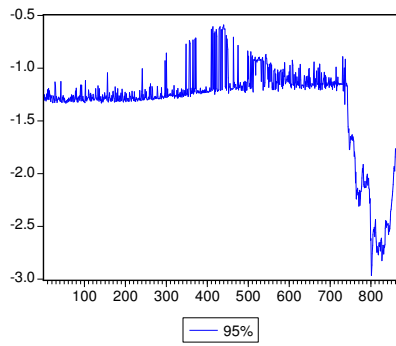
Γράφημα 6.49. ES για το GARCH Normal Filtered



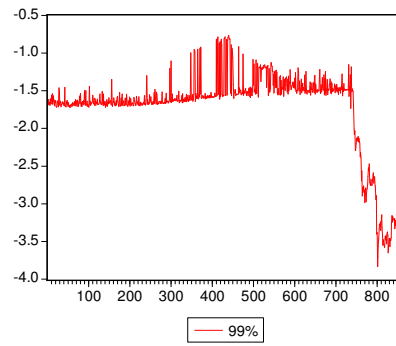
Γράφημα 6.50. ES για το GARCH Normal Filtered



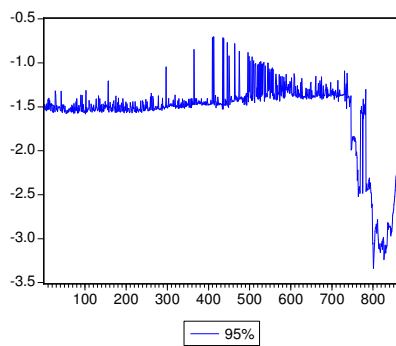
Γράφημα 6.51. ES για το EGARCH Normal



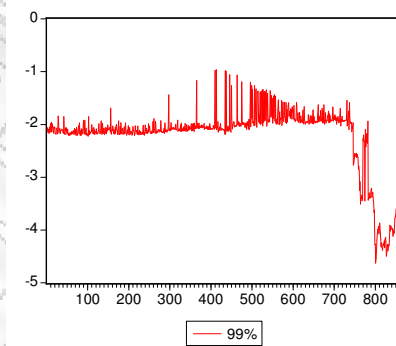
Γράφημα 6.52. ES για το EGARCH Normal



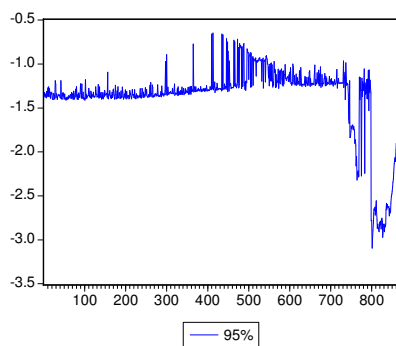
Γράφημα 6.53. ES για το EGARCH Student-t



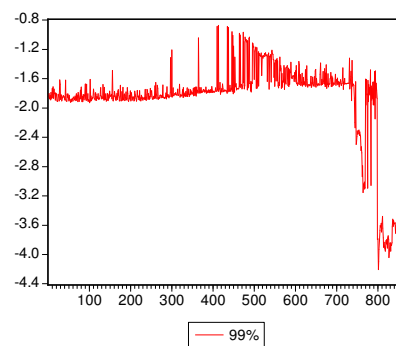
Γράφημα 6.54. ES για το EGARCH Student-t



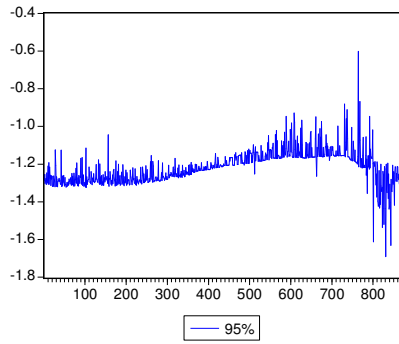
Γράφημα 6.55. ES για το EGARCH GED



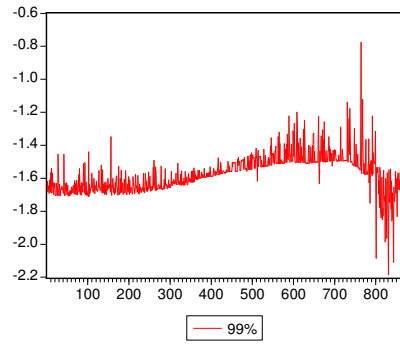
Γράφημα 6.56. ES για το EGARCH GED



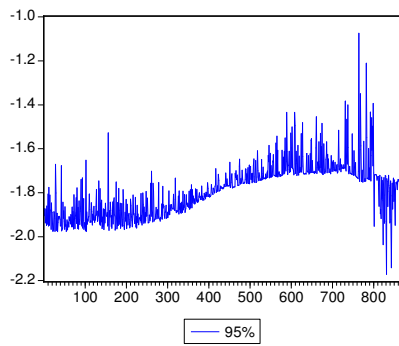
Γράφημα 6.57. ES για το GARCH Normal APARCH



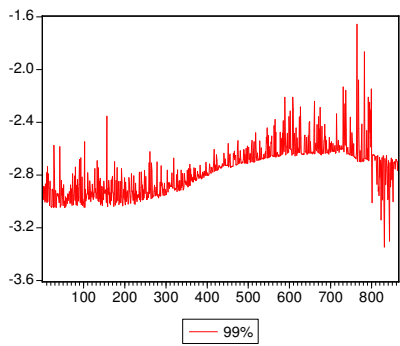
Γράφημα 6.58. ES για το GARCH Normal APARCH



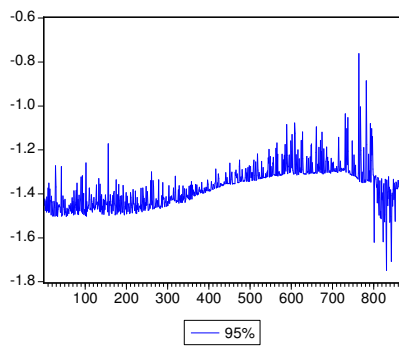
Γράφημα 6.59. ES για το GARCH Student APARCH



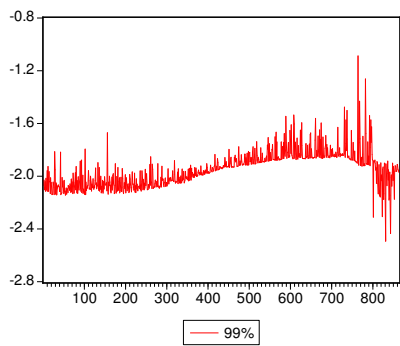
Γράφημα 6.60. ES για το GARCH Student APARCH



Γράφημα 6.61. ES για το GARCH GED APARCH



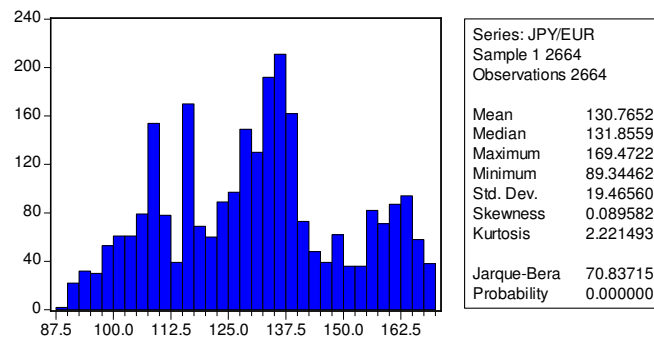
Γράφημα 6.62. ES για το GARCH GED APARCH



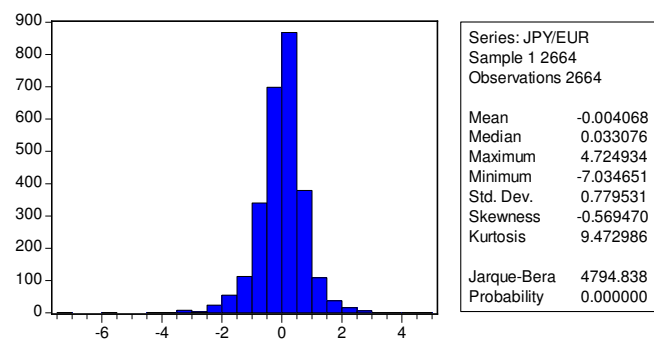
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Β1. Ισοτιμία Γεν Ιαπωνίας/Ευρώ

Πίνακας 1.1. Περιγραφικά Στατιστικά Μέτρα για τις Τιμές



Πίνακας 1.2. Περιγραφικά Στατιστικά Μέτρα για τις Ποσοστιαίες Λογαριθμικές Αποδόσεις



Πίνακας 1.3. Test Statistics για το RiskMetrics

95%		99%	
T_0	805	T_0	843
T_1	58	T_1	20
T_{00}	751	T_{00}	825
T_{01}	54	T_{01}	18
T_{10}	54	T_{10}	18
T_{11}	4	T_{11}	2
π	0,067207416	π	0,023174971
π_{01}	0,067080745	π_{01}	0,021352313
π_{11}	0,068965517	π_{11}	0,1
LR_{uc}	4,878846753	LR_{uc}	11,03149901
LR_{ind}	0,003042972	LR_{ind}	3,026535286
LR_{cc}	4,881889726	LR_{cc}	14,0580343

Πίνακας 1.4. Chi-Test για το RiskMetrics

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.5. Test Statistics για το Historical Simulation 1

95%		99%	
T_0	795	T_0	842
T_1	68	T_1	21
T_{00}	736	T_{00}	823
T_{01}	59	T_{01}	19
T_{10}	59	T_{10}	19
T_{11}	9	T_{11}	2
π	0,078794902	π	0,02433372
π_{01}	0,074213836	π_{01}	0,022565321
π_{11}	0,132352941	π_{11}	0,095238095
LR_{uc}	12,91718067	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	2,501350324	LR_{ind}	2,704641526
LR_{cc}	15,418531	LR_{cc}	15,49428447

Πίνακας 1.6. Chi-Test για το Historical Simulation 1

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.7. Test Statistics για το Historical Simulation 2

95%		99%	
T_0	781	T_0	839
T_1	82	T_1	24
T_{00}	715	T_{00}	817
T_{01}	66	T_{01}	22
T_{10}	66	T_{10}	22
T_{11}	16	T_{11}	2
π	0,095017381	π	0,027809965
π_{01}	0,084507042	π_{01}	0,026221692
π_{11}	0,195121951	π_{11}	0,083333333
LR_{uc}	29,46480249	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	8,590802667	LR_{ind}	1,882063812
LR_{cc}	38,05560515	LR_{cc}	20,5150888

Πίνακας 1.8. Chi-Test για το Historical Simulation 2

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.9. Test Statistics για το Historical Simulation All

95%		99%	
T_0	785	T_0	833
T_1	78	T_1	30
T_{00}	721	T_{00}	807
T_{01}	64	T_{01}	26
T_{10}	64	T_{10}	26
T_{11}	14	T_{11}	4
π	0,090382387	π	0,034762457
π_{01}	0,081528662	π_{01}	0,031212485
π_{11}	0,179487179	π_{11}	0,133333333
LR_{uc}	24,15896393	LR_{uc}	32,55620463
LR_{ind}	6,78503958	LR_{ind}	5,476770742
LR_{cc}	30,94400352	LR_{cc}	38,03297537

Πίνακας 1.10. Chi-Test για το Historical Simulation All

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.11. Test Statistics για το Variance-Covariance

95%		99%	
T_0	788	T_0	820
T_1	75	T_1	43
T_{00}	727	T_{00}	787
T_{01}	61	T_{01}	33
T_{10}	61	T_{10}	33
T_{11}	14	T_{11}	10
π	0,086906141	π	0,049826188
π_{01}	0,077411168	π_{01}	0,040243902
π_{11}	0,186666667	π_{11}	0,23255814
LR_{uc}	20,47452282	LR_{uc}	70,77375796
LR_{ind}	8,217269938	LR_{ind}	18,41306385
LR_{cc}	28,69179276	LR_{cc}	89,1868218

Πίνακας 1.12. Chi-Test για το Variance-Covariance

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.13. Test Statistics για το ARCH Normal

95%		99%	
T_0	796	T_0	830
T_1	67	T_1	33
T_{00}	735	T_{00}	797
T_{01}	61	T_{01}	33
T_{10}	61	T_{10}	33
T_{11}	6	T_{11}	0
π	0,077636153	π	0,038238702
π_{01}	0,076633166	π_{01}	0,039759036
π_{11}	0,089552239	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	11,96200737	LR_{uc}	40,48519535
LR_{ind}	0,138297417	LR_{ind}	2,62478817
LR_{cc}	12,10030479	LR_{cc}	43,10998352

Πίνακας 1.14. Chi-Test για το ARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.15. Test Statistics για το ARCH Student-t

95%		99%	
T_0	808	T_0	847
T_1	55	T_1	16
T_{00}	757	T_{00}	831
T_{01}	51	T_{01}	16
T_{10}	51	T_{10}	16
T_{11}	4	T_{11}	0
π	0,06373117	π	0,018539977
π_{01}	0,063118812	π_{01}	0,018890201
π_{11}	0,072727273	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	3,163693957	LR_{uc}	5,07877393
LR_{ind}	0,076632588	LR_{ind}	0,604522375
LR_{cc}	3,240326545	LR_{cc}	5,683296305

Πίνακας 1.16. Chi-Test για το ARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.17. Test Statistics για το ARCH GED

95%		99%	
T_0	795	T_0	835
T_1	68	T_1	28
T_{00}	733	T_{00}	807
T_{01}	62	T_{01}	28
T_{10}	62	T_{10}	28
T_{11}	6	T_{11}	0
π	0,078794902	π	0,032444959
π_{01}	0,077987421	π_{01}	0,033532934
π_{11}	0,088235294	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	12,91718067	LR_{uc}	27,61226755
LR_{ind}	0,087776489	LR_{ind}	1,87819639
LR_{cc}	13,00495716	LR_{cc}	29,49046394

Πίνακας 1.18. Chi-Test για το ARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.19. Test Statistics για το GARCH Normal Filtered

95%		99%	
T_0	796	T_0	844
T_1	67	T_1	19
T_{00}	735	T_{00}	825
T_{01}	61	T_{01}	19
T_{10}	61	T_{10}	19
T_{11}	6	T_{11}	0
π	0,077636153	π	0,022016222
π_{01}	0,076633166	π_{01}	0,022511848
π_{11}	0,089552239	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	11,96200737	LR_{uc}	9,375769265
LR_{ind}	0,138297417	LR_{ind}	0,855522502
LR_{cc}	12,10030479	LR_{cc}	10,23129177

Πίνακας 1.20. Chi-Test για το GARCH Normal Filtered

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.21. Test Statistics για το ARCH EVT

95%		99%	
T_0	760	T_0	837
T_1	103	T_1	26
T_{00}	676	T_{00}	811
T_{01}	84	T_{01}	26
T_{10}	84	T_{10}	26
T_{11}	19	T_{11}	0
π	0,119351101	π	0,030127462
π_{01}	0,110526316	π_{01}	0,031063321
π_{11}	0,184466019	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	64,00908917	LR_{uc}	22,96386906
LR_{ind}	4,215540917	LR_{ind}	1,615552581
LR_{cc}	68,22463009	LR_{cc}	24,57942164

Πίνακας 1.22. Chi-Test για το ARCH EVT

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.23. Test Statistics για το EGARCH Normal

95%		99%	
T_0	798	T_0	836
T_1	65	T_1	27
T_{00}	740	T_{00}	811
T_{01}	58	T_{01}	25
T_{10}	58	T_{10}	25
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,075318656	π	0,031286211
π_{01}	0,072681704	π_{01}	0,029904306
π_{11}	0,107692308	π_{11}	0,074074074
LR_{uc}	10,14920321	LR_{uc}	25,24982662
LR_{ind}	0,952219684	LR_{ind}	1,242248111
LR_{cc}	11,1014229	LR_{cc}	26,49207473

Πίνακας 1.24. Chi-Test για το EGARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.25. Test Statistics για το EGARCH Student-t

95%		99%	
T_0	815	T_0	847
T_1	48	T_1	16
T_{00}	772	T_{00}	832
T_{01}	43	T_{01}	15
T_{10}	43	T_{10}	15
T_{11}	5	T_{11}	1
π	0,05561993	π	0,018539977
π_{01}	0,052760736	π_{01}	0,017709563
π_{11}	0,104166667	π_{11}	0,0625
LR_{uc}	0,554532933	LR_{uc}	5,07877393
LR_{ind}	1,864857812	LR_{ind}	1,088318698
LR_{cc}	2,419390745	LR_{cc}	6,167092628

Πίνακας 1.26. Chi-Test για το EGARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.27. Test Statistics για το EGARCH GED

95%		99%	
T_0	799	T_0	840
T_1	64	T_1	23
T_{00}	742	T_{00}	819
T_{01}	57	T_{01}	21
T_{10}	57	T_{10}	21
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,074159907	π	0,026651217
π_{01}	0,071339174	π_{01}	0,025
π_{11}	0,109375	π_{11}	0,086956522
LR_{uc}	9,292484641	LR_{uc}	16,5945482
LR_{ind}	1,112812814	LR_{ind}	2,134135213
LR_{cc}	10,40529746	LR_{cc}	18,72868341

Πίνακας 1.28. Chi-Test για το EGARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.29. Test Statistics για το GARCH Normal APARCH

95%		99%	
T_0	795	T_0	830
T_1	68	T_1	33
T_{00}	733	T_{00}	797
T_{01}	62	T_{01}	33
T_{10}	62	T_{10}	33
T_{11}	6	T_{11}	0
π	0,078794902	π	0,038238702
π_{01}	0,077987421	π_{01}	0,039759036
π_{11}	0,088235294	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	12,91718067	LR_{uc}	40,48519535
LR_{ind}	0,087776489	LR_{ind}	2,62478817
LR_{cc}	13,00495716	LR_{cc}	43,10998352

Πίνακας 1.30. Chi-Test για το GARCH Normal APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.31. Test Statistics για το GARCH Student APARCH

95%		99%	
T_0	810	T_0	846
T_1	53	T_1	17
T_{00}	761	T_{00}	829
T_{01}	49	T_{01}	17
T_{10}	49	T_{10}	17
T_{11}	4	T_{11}	0
π	0,061413673	π	0,019698725
π_{01}	0,060493827	π_{01}	0,020094563
π_{11}	0,075471698	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	2,213425151	LR_{uc}	6,393207929
LR_{ind}	0,182012682	LR_{ind}	0,683261113
LR_{cc}	2,395437832	LR_{cc}	7,076469043

Πίνακας 1.32. Chi-Test για το GARCH Student APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 1.33. Test Statistics για το GARCH GED APARCH

95%		99%	
T_0	793	T_0	837
T_1	70	T_1	26
T_{00}	730	T_{00}	811
T_{01}	63	T_{01}	26
T_{10}	63	T_{10}	26
T_{11}	7	T_{11}	0
π	0,081112399	π	0,030127462
π_{01}	0,079445145	π_{01}	0,031063321
π_{11}	0,1	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	14,92288979	LR_{uc}	22,96386906
LR_{ind}	0,343542996	LR_{ind}	1,615552581
LR_{cc}	15,26643278	LR_{cc}	24,57942164

Πίνακας 1.34. Chi-Test για το GARCH GED APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

B2. Ισοτιμία Ευρώ/Γεν Ιαπωνίας

Πίνακας 2.1. Test Statistics για το RiskMetrics

95%		99%	
T_0	827	T_0	855
T_1	36	T_1	8
T_{00}	791	T_{00}	847
T_{01}	36	T_{01}	8
T_{10}	36	T_{10}	8
T_{11}	0	T_{11}	0
π	0,041714948	π	0,009269988
π_{01}	0,043530834	π_{01}	0,009356725
π_{11}	0,000000000	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	1,318404941	LR_{uc}	0,047617024
LR_{ind}	3,135210673	LR_{ind}	0,149709785
LR_{cc}	4,453615614	LR_{cc}	0,197326809

Πίνακας 2.2. Chi-Test για το RiskMetrics

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 2.3. Test Statistics για το Historical Simulation 1

95%		99%	
T_0	801	T_0	838
T_1	62	T_1	25
T_{00}	746	T_{00}	815
T_{01}	55	T_{01}	23
T_{10}	55	T_{10}	23
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,07184241	π	0,028968714
π_{01}	0,06866417	π_{01}	0,027446301
π_{11}	0,112903226	π_{11}	0,08
LR_{uc}	7,680803669	LR_{uc}	20,75724303
LR_{ind}	1,474593254	LR_{ind}	1,650182678
LR_{cc}	9,155396922	LR_{cc}	22,40742571

Πίνακας 2.4. Chi-Test για το Historical Simulation 1

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.5. Test Statistics για το Historical Simulation 2

95%		99%	
T_0	785	T_0	834
T_1	78	T_1	29
T_{00}	716	T_{00}	807
T_{01}	69	T_{01}	27
T_{10}	69	T_{10}	27
T_{11}	9	T_{11}	2
π	0,090382387	π	0,033603708
π_{01}	0,087898089	π_{01}	0,032374101
π_{11}	0,115384615	π_{11}	0,068965517
LR_{uc}	24,15896393	LR_{uc}	30,04854745
LR_{ind}	0,609165795	LR_{ind}	0,902181101
LR_{cc}	24,76812973	LR_{cc}	30,95072856

Πίνακας 2.6. Chi-Test για το Historical Simulation 2

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.7. Test Statistics για το Historical Simulation All

95%		99%	
T_0	801	T_0	837
T_1	62	T_1	26
T_{00}	749	T_{00}	814
T_{01}	52	T_{01}	23
T_{10}	52	T_{10}	23
T_{11}	10	T_{11}	3
π	0,07184241	π	0,030127462
π_{01}	0,064918851	π_{01}	0,027479092
π_{11}	0,161290323	π_{11}	0,115384615
LR_{uc}	7,680803669	LR_{uc}	22,96386906
LR_{ind}	6,229347545	LR_{ind}	4,031346307
LR_{cc}	13,91015121	LR_{cc}	26,99521536

Πίνακας 2.8. Chi-Test για το Historical Simulation All

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.9. Test Statistics για το Variance-Covariance

95%		99%	
T_0	810	T_0	832
T_1	53	T_1	31
T_{00}	766	T_{00}	805
T_{01}	44	T_{01}	27
T_{10}	44	T_{10}	27
T_{11}	9	T_{11}	4
π	0,061413673	π	0,035921205
π_{01}	0,054320988	π_{01}	0,032451923
π_{11}	0,169811321	π_{11}	0,129032258
LR_{uc}	2,213425151	LR_{uc}	35,13294179
LR_{ind}	8,241410702	LR_{ind}	5,043783462
LR_{cc}	10,45483585	LR_{cc}	40,17672525

Πίνακας 2.10. Chi-Test για το Variance-Covariance

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.11. Test Statistics για το ARCH Normal

95%		99%	
T_0	819	T_0	842
T_1	44	T_1	21
T_{00}	781	T_{00}	822
T_{01}	38	T_{01}	20
T_{10}	38	T_{10}	20
T_{11}	6	T_{11}	1
π	0,050984936	π	0,02433372
π_{01}	0,046398046	π_{01}	0,023752969
π_{11}	0,136363636	π_{11}	0,047619048
LR_{uc}	0,017516606	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	5,007516496	LR_{ind}	0,38857543
LR_{cc}	5,025033102	LR_{cc}	13,17821838

Πίνακας 2.12. Chi-Test για το ARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.13. Test Statistics για το ARCH Student-t

95%		99%	
T_0	833	T_0	859
T_1	30	T_1	4
T_{00}	806	T_{00}	855
T_{01}	27	T_{01}	4
T_{10}	27	T_{10}	4
T_{11}	3	T_{11}	0
π	0,034762457	π	0,004634994
π_{01}	0,032412965	π_{01}	0,004656577
π_{11}	0,1	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	4,700698803	LR_{uc}	3,133444532
LR_{ind}	2,701023492	LR_{ind}	0,037252753
LR_{cc}	7,401722294	LR_{cc}	3,170697285

Πίνακας 2.14. Chi-Test για το ARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 2.15. Test Statistics για το ARCH GED

95%		99%	
T_0	819	T_0	847
T_1	44	T_1	16
T_{00}	781	T_{00}	831
T_{01}	38	T_{01}	16
T_{10}	38	T_{10}	16
T_{11}	6	T_{11}	0
π	0,050984936	π	0,018539977
π_{01}	0,046398046	π_{01}	0,018890201
π_{11}	0,136363636	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,017516606	LR_{uc}	5,07877393
LR_{ind}	5,007516496	LR_{ind}	0,604522375
LR_{cc}	5,025033102	LR_{cc}	5,683296305

Πίνακας 2.16. Chi-Test για το ARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.17. Test Statistics για το GARCH Normal Filtered

95%		99%	
T_0	808	T_0	844
T_1	55	T_1	19
T_{00}	760	T_{00}	827
T_{01}	48	T_{01}	17
T_{10}	48	T_{10}	17
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,06373117	π	0,022016222
π_{01}	0,059405941	π_{01}	0,02014218
π_{11}	0,127272727	π_{11}	0,105263158
LR_{uc}	3,163693957	LR_{uc}	9,375769265
LR_{ind}	3,195237686	LR_{ind}	3,375634325
LR_{cc}	6,358931643	LR_{cc}	12,75140359

Πίνακας 2.18. Chi-Test για το GARCH Normal Filtered

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.19. Test Statistics για το ARCH EVT

95%		99%	
T_0	763	T_0	839
T_1	100	T_1	24
T_{00}	679	T_{00}	818
T_{01}	84	T_{01}	21
T_{10}	84	T_{10}	21
T_{11}	16	T_{11}	3
π	0,115874855	π	0,027809965
π_{01}	0,110091743	π_{01}	0,025029797
π_{11}	0,16	π_{11}	0,125
LR_{uc}	58,43405807	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	1,976945682	LR_{ind}	4,841799376
LR_{cc}	60,41100376	LR_{cc}	23,47482436

Πίνακας 2.20. Chi-Test για το ARCH EVT

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.21. Test Statistics για το EGARCH Normal

95%		99%	
T_0	822	T_0	859
T_1	41	T_1	4
T_{00}	781	T_{00}	855
T_{01}	41	T_{01}	4
T_{10}	41	T_{10}	4
T_{11}	0	T_{11}	0
π	0,047508691	π	0,004634994
π_{01}	0,049878345	π_{01}	0,004656577
π_{11}	0,000000000	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,114584537	LR_{uc}	3,133444532
LR_{ind}	4,091721907	LR_{ind}	0,037252753
LR_{cc}	4,206306443	LR_{cc}	3,170697285

Πίνακας 2.22. Chi-Test για το EGARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 2.23. Test Statistics για το EGARCH Student-t

95%		99%	
T_0	843	T_0	861
T_1	20	T_1	2
T_{00}	823	T_{00}	859
T_{01}	20	T_{01}	2
T_{10}	20	T_{10}	2
T_{11}	0	T_{11}	0
π	0,023174971	π	0,002317497
π_{01}	0,023724792	π_{01}	0,00232288
π_{11}	0,000000000	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	16,1896106	LR_{uc}	7,46292762
LR_{ind}	0,949080738	LR_{ind}	0,009291529
LR_{cc}	17,13869134	LR_{cc}	7,47221915

Πίνακας 2.24. Chi-Test για το EGARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.25. Test Statistics για το EGARCH GED

95%		99%	
T_0	823	T_0	861
T_1	40	T_1	2
T_{00}	783	T_{00}	859
T_{01}	40	T_{01}	2
T_{10}	40	T_{10}	2
T_{11}	0	T_{11}	0
π	0,046349942	π	0,002317497
π_{01}	0,048602673	π_{01}	0,00232288
π_{11}	0,000000000	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,24785028	LR_{uc}	7,46292762
LR_{ind}	3,889746095	LR_{ind}	0,009291529
LR_{cc}	4,137596374	LR_{cc}	7,47221915

Πίνακας 2.26. Chi-Test για το EGARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.27. Test Statistics για το GARCH Normal APARCH

95%		99%	
T_0	818	T_0	841
T_1	45	T_1	22
T_{00}	780	T_{00}	822
T_{01}	38	T_{01}	19
T_{10}	38	T_{10}	19
T_{11}	7	T_{11}	3
π	0,052143685	π	0,025492468
π_{01}	0,046454768	π_{01}	0,022592152
π_{11}	0,155555556	π_{11}	0,136363636
LR_{uc}	0,082384189	LR_{uc}	14,6454363
LR_{ind}	7,077296359	LR_{ind}	5,767922386
LR_{cc}	7,159680548	LR_{cc}	20,41335869

Πίνακας 2.28. Chi-Test για το GARCH Normal APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 2.29. Test Statistics για το GARCH Student APARCH

95%		99%	
T_0	832	T_0	857
T_1	31	T_1	6
T_{00}	805	T_{00}	851
T_{01}	27	T_{01}	6
T_{10}	27	T_{10}	6
T_{11}	4	T_{11}	0
π	0,035921205	π	0,006952491
π_{01}	0,032451923	π_{01}	0,007001167
π_{11}	0,129032258	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	3,976074216	LR_{uc}	0,906267182
LR_{ind}	5,043783462	LR_{ind}	0,084014687
LR_{cc}	9,019857678	LR_{cc}	0,99028187

Πίνακας 2.30. Chi-Test για το GARCH Student APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 2.31. Test Statistics για το GARCH GED APARCH

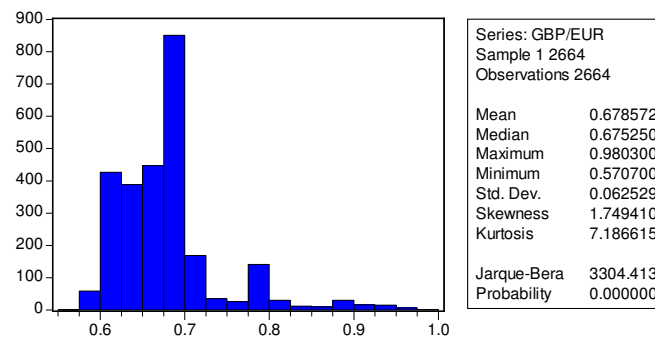
95%		99%	
T_0	818	T_0	844
T_1	45	T_1	19
T_{00}	780	T_{00}	827
T_{01}	38	T_{01}	17
T_{10}	38	T_{10}	17
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,052143685	π	0,022016222
π_{01}	0,046454768	π_{01}	0,02014218
π_{11}	0,155555556	π_{11}	0,105263158
LR_{uc}	0,082384189	LR_{uc}	9,375769265
LR_{ind}	7,077296359	LR_{ind}	3,375634325
LR_{cc}	7,159680548	LR_{cc}	12,75140359

Πίνακας 2.32. Chi-Test για το GARCH GED APARCH

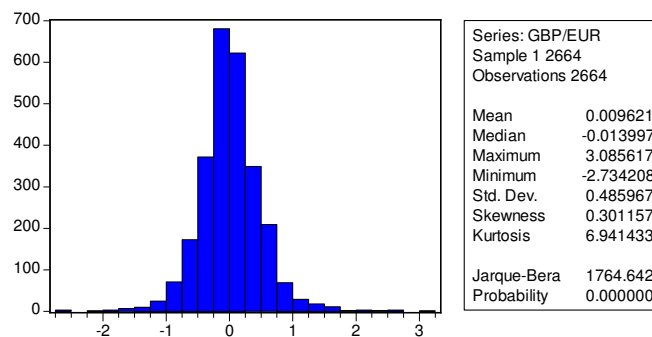
Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

B3. Ισοτιμία Λίρα Μεγάλης Βρετανίας/Ευρώ

Πίνακας 3.1. Περιγραφικά Στατιστικά Μέτρα για τις Τιμές



Πίνακας 3.2. Περιγραφικά Στατιστικά Μέτρα για τις Ποσοστιαίες Λογαριθμικές Αποδόσεις



Πίνακας 3.3. Test Statistics για το RiskMetrics

95%		99%	
T_0	824	T_0	851
T_1	39	T_1	12
T_{00}	788	T_{00}	839
T_{01}	36	T_{01}	12
T_{10}	36	T_{10}	12
T_{11}	3	T_{11}	0
π	0,045191194	π	0,013904983
π_{01}	0,04368932	π_{01}	0,014101058
π_{11}	0,076923077	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,433551367	LR_{uc}	1,185201703
LR_{ind}	0,801463918	LR_{ind}	0,338436596
LR_{cc}	1,235015285	LR_{cc}	1,523638299

Πίνακας 3.4. Chi-Test για το RiskMetrics

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 3.5. Test Statistics για το Historical Simulation 1

95%		99%	
T_0	801	T_0	843
T_1	62	T_1	20
T_{00}	746	T_{00}	825
T_{01}	55	T_{01}	18
T_{10}	55	T_{10}	18
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,07184241	π	0,023174971
π_{01}	0,06866417	π_{01}	0,021352313
π_{11}	0,112903226	π_{11}	0,1
LR_{uc}	7,680803669	LR_{uc}	11,03149901
LR_{ind}	1,474593254	LR_{ind}	3,026535286
LR_{cc}	9,155396922	LR_{cc}	14,0580343

Πίνακας 3.6. Chi-Test για το Historical Simulation 1

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.7. Test Statistics για το Historical Simulation 2

95%		99%	
T_0	797	T_0	839
T_1	66	T_1	24
T_{00}	741	T_{00}	818
T_{01}	56	T_{01}	21
T_{10}	56	T_{10}	21
T_{11}	10	T_{11}	3
π	0,076477404	π	0,027809965
π_{01}	0,070263488	π_{01}	0,025029797
π_{11}	0,151515152	π_{11}	0,125
LR_{uc}	11,03919849	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	4,629596205	LR_{ind}	4,841799376
LR_{cc}	15,6687947	LR_{cc}	23,47482436

Πίνακας 3.8. Chi-Test για το Historical Simulation 2

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.9. Test Statistics για το Historical Simulation All

95%		99%	
T_0	810	T_0	839
T_1	53	T_1	24
T_{00}	767	T_{00}	818
T_{01}	43	T_{01}	21
T_{10}	43	T_{10}	21
T_{11}	10	T_{11}	3
π	0,061413673	π	0,027809965
π_{01}	0,05308642	π_{01}	0,025029797
π_{11}	0,188679245	π_{11}	0,125
LR_{uc}	2,213425151	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	10,93578375	LR_{ind}	4,841799376
LR_{cc}	13,1492089	LR_{cc}	23,47482436

Πίνακας 3.10. Chi-Test για το Historical Simulation All

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.11. Test Statistics για το Variance-Covariance

95%		99%	
T_0	817	T_0	839
T_1	46	T_1	24
T_{00}	779	T_{00}	818
T_{01}	38	T_{01}	21
T_{10}	38	T_{10}	21
T_{11}	8	T_{11}	3
π	0,053302433	π	0,027809965
π_{01}	0,046511628	π_{01}	0,025029797
π_{11}	0,173913043	π_{11}	0,125
LR_{uc}	0,194144864	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	9,342548265	LR_{ind}	4,841799376
LR_{cc}	9,53669313	LR_{cc}	23,47482436

Πίνακας 3.12. Chi-Test για το Variance-Covariance

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.13. Test Statistics για το ARCH Normal

95%		99%	
T_0	820	T_0	841
T_1	43	T_1	22
T_{00}	784	T_{00}	820
T_{01}	36	T_{01}	21
T_{10}	36	T_{10}	21
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,049826188	π	0,025492468
π_{01}	0,043902439	π_{01}	0,024970273
π_{11}	0,162790698	π_{11}	0,045454545
LR_{uc}	0,000549484	LR_{uc}	14,6454363
LR_{ind}	8,093913997	LR_{ind}	0,296679558
LR_{cc}	8,094463482	LR_{cc}	14,94211586

Πίνακας 3.14. Chi-Test για το ARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.15. Test Statistics για το ARCH Student-t

95%		99%	
T_0	830	T_0	852
T_1	33	T_1	11
T_{00}	802	T_{00}	841
T_{01}	28	T_{01}	11
T_{10}	28	T_{10}	11
T_{11}	5	T_{11}	0
π	0,038238702	π	0,012746234
π_{01}	0,03373494	π_{01}	0,012910798
π_{11}	0,151515152	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	2,725604297	LR_{uc}	0,604897295
LR_{ind}	7,226923353	LR_{ind}	0,284045448
LR_{cc}	9,95252765	LR_{cc}	0,888942743

Πίνακας 3.16. Chi-Test για το ARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 3.17. Test Statistics για το ARCH GED

95%		99%	
T_0	820	T_0	849
T_1	43	T_1	14
T_{00}	784	T_{00}	835
T_{01}	36	T_{01}	14
T_{10}	36	T_{10}	14
T_{11}	7	T_{11}	0
π	0,049826188	π	0,01622248
π_{01}	0,043902439	π_{01}	0,016489988
π_{11}	0,162790698	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,000549484	LR_{uc}	2,840582263
LR_{ind}	8,093913997	LR_{ind}	0,461740595
LR_{cc}	8,094463482	LR_{cc}	3,302322858

Πίνακας 3.18. Chi-Test για το ARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 3.19. Test Statistics για το GARCH Normal Filtered

95%		99%	
T_0	816	T_0	842
T_1	47	T_1	21
T_{00}	776	T_{00}	822
T_{01}	40	T_{01}	20
T_{10}	40	T_{10}	20
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,054461182	π	0,02433372
π_{01}	0,049019608	π_{01}	0,023752969
π_{11}	0,14893617	π_{11}	0,047619048
LR_{uc}	0,351835207	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	6,147719155	LR_{ind}	0,38857543
LR_{cc}	6,499554362	LR_{cc}	13,17821838

Πίνακας 3.20. Chi-Test για το GARCH Normal Filtered

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.21. Test Statistics για το ARCH EVT

95%		99%	
T_0	788	T_0	839
T_1	75	T_1	24
T_{00}	724	T_{00}	816
T_{01}	64	T_{01}	23
T_{10}	64	T_{10}	23
T_{11}	11	T_{11}	1
π	0,086906141	π	0,027809965
π_{01}	0,081218274	π_{01}	0,027413588
π_{11}	0,146666667	π_{11}	0,041666667
LR_{uc}	20,47452282	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	3,177045033	LR_{ind}	0,15315336
LR_{cc}	23,65156786	LR_{cc}	18,78617835

Πίνακας 3.22. Chi-Test για το ARCH EVT

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.23. Test Statistics για το EGARCH Normal

95%		99%	
T_0	822	T_0	852
T_1	41	T_1	11
T_{00}	784	T_{00}	843
T_{01}	38	T_{01}	9
T_{10}	38	T_{10}	9
T_{11}	3	T_{11}	2
π	0,047508691	π	0,012746234
π_{01}	0,04622871	π_{01}	0,01056338
π_{11}	0,073170732	π_{11}	0,181818182
LR_{uc}	0,114584537	LR_{uc}	0,604897295
LR_{ind}	0,545632846	LR_{ind}	7,59244607
LR_{cc}	0,660217382	LR_{cc}	8,197343365

Πίνακας 3.24. Chi-Test για το EGARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.25. Test Statistics για το EGARCH Student-t

95%		99%	
T_0	829	T_0	860
T_1	34	T_1	3
T_{00}	797	T_{00}	857
T_{01}	32	T_{01}	3
T_{10}	32	T_{10}	3
T_{11}	2	T_{11}	0
π	0,039397451	π	0,003476246
π_{01}	0,038600724	π_{01}	0,003488372
π_{11}	0,058823529	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	2,195852774	LR_{uc}	4,957225212
LR_{ind}	0,309833306	LR_{ind}	0,020930274
LR_{cc}	2,50568608	LR_{cc}	4,978155486

Πίνακας 3.26. Chi-Test για το EGARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.27. Test Statistics για το EGARCH GED

95%		99%	
T_0	823	T_0	856
T_1	40	T_1	7
T_{00}	786	T_{00}	849
T_{01}	37	T_{01}	7
T_{10}	37	T_{10}	7
T_{11}	3	T_{11}	0
π	0,046349942	π	0,00811124
π_{01}	0,044957473	π_{01}	0,00817757
π_{11}	0,075	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,24785028	LR_{uc}	0,332426816
LR_{ind}	0,666834025	LR_{ind}	0,114487256
LR_{cc}	0,914684305	LR_{cc}	0,446914072

Πίνακας 3.28. Chi-Test για το EGARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model

Πίνακας 3.29. Test Statistics για το GARCH Normal APARCH

95%		99%	
T_0	819	T_0	842
T_1	44	T_1	21
T_{00}	781	T_{00}	822
T_{01}	38	T_{01}	20
T_{10}	38	T_{10}	20
T_{11}	6	T_{11}	1
π	0,050984936	π	0,02433372
π_{01}	0,046398046	π_{01}	0,023752969
π_{11}	0,136363636	π_{11}	0,047619048
LR_{uc}	0,017516606	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	5,007516496	LR_{ind}	0,38857543
LR_{cc}	5,025033102	LR_{cc}	13,17821838

Πίνακας 3.30. Chi-Test για το GARCH Normal APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.31. Test Statistics για το GARCH Student APARCH

95%		99%	
T_0	850	T_0	863
T_1	13	T_1	0
T_{00}	837	T_{00}	863
T_{01}	13	T_{01}	0
T_{10}	13	T_{10}	0
T_{11}	0	T_{11}	0
π	0,015063731	π	0,000000000
π_{01}	0,015294118	π_{01}	0,000000000
π_{11}	0,000000000	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	30,20236018	LR_{uc}	17,34687951
LR_{ind}	0,39766256	LR_{ind}	0
LR_{cc}	30,60002274	LR_{cc}	17,34687951

Πίνακας 3.32. Chi-Test για το GARCH Student APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 3.33. Test Statistics για το GARCH GED APARCH

95%		99%	
T_0	819	T_0	848
T_1	44	T_1	15
T_{00}	781	T_{00}	833
T_{01}	38	T_{01}	15
T_{10}	38	T_{10}	15
T_{11}	6	T_{11}	0
π	0,050984936	π	0,017381228
π_{01}	0,046398046	π_{01}	0,017688679
π_{11}	0,136363636	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,017516606	LR_{uc}	3,891782713
LR_{ind}	5,007516496	LR_{ind}	0,530688051
LR_{cc}	5,025033102	LR_{cc}	4,422470764

Πίνακας 3.34. Chi-Test για το GARCH GED APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

B4. Ισοτιμία Ευρώ/Λίρα Μεγάλης Βρετανίας

Πίνακας 4.1. Test Statistics για το RiskMetrics

95%		99%	
T_0	805	T_0	841
T_1	58	T_1	22
T_{00}	752	T_{00}	819
T_{01}	53	T_{01}	22
T_{10}	53	T_{10}	22
T_{11}	5	T_{11}	0
π	0,067207416	π	0,025492468
π_{01}	0,065838509	π_{01}	0,026159334
π_{11}	0,086206897	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	4,878846753	LR_{uc}	14,6454363
LR_{ind}	0,332541093	LR_{ind}	1,151142008
LR_{cc}	5,211387847	LR_{cc}	15,79657831

Πίνακας 4.2. Chi-Test για το RiskMetrics

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.3. Test Statistics για το Historical Simulation 1

95%		99%	
T_0	799	T_0	844
T_1	64	T_1	19
T_{00}	742	T_{00}	826
T_{01}	57	T_{01}	18
T_{10}	57	T_{10}	18
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,074159907	π	0,022016222
π_{01}	0,071339174	π_{01}	0,021327014
π_{11}	0,109375	π_{11}	0,052631579
LR_{uc}	9,292484641	LR_{uc}	9,375769265
LR_{ind}	1,112812814	LR_{ind}	0,616905063
LR_{cc}	10,40529746	LR_{cc}	9,992674327

Πίνακας 4.4. Chi-Test για το Historical Simulation 1

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.5. Test Statistics για το Historical Simulation 2

95%		99%	
T_0	783	T_0	839
T_1	80	T_1	24
T_{00}	717	T_{00}	817
T_{01}	66	T_{01}	22
T_{10}	66	T_{10}	22
T_{11}	14	T_{11}	2
π	0,092699884	π	0,027809965
π_{01}	0,084291188	π_{01}	0,026221692
π_{11}	0,175	π_{11}	0,083333333
LR_{uc}	26,75676944	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	5,916842415	LR_{ind}	1,882063812
LR_{cc}	32,67361185	LR_{cc}	20,5150888

Πίνακας 4.6. Chi-Test για το Historical Simulation 2

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.7. Test Statistics για το Historical Simulation All

95%		99%	
T_0	792	T_0	834
T_1	71	T_1	29
T_{00}	735	T_{00}	809
T_{01}	57	T_{01}	25
T_{10}	57	T_{10}	25
T_{11}	14	T_{11}	4
π	0,082271147	π	0,033603708
π_{01}	0,071969697	π_{01}	0,029976019
π_{11}	0,197183099	π_{11}	0,137931034
LR_{uc}	15,97259152	LR_{uc}	30,04854745
LR_{ind}	10,3831106	LR_{ind}	5,935395439
LR_{cc}	26,35570212	LR_{cc}	35,98394289

Πίνακας 4.8. Chi-Test για το Historical Simulation All

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.9. Test Statistics για το Variance-Covariance

95%		99%	
T_0	793	T_0	825
T_1	70	T_1	38
T_{00}	736	T_{00}	794
T_{01}	57	T_{01}	31
T_{10}	57	T_{10}	31
T_{11}	13	T_{11}	7
π	0,081112399	π	0,044032445
π_{01}	0,071878941	π_{01}	0,037575758
π_{11}	0,185714286	π_{11}	0,184210526
LR_{uc}	14,92288979	LR_{uc}	54,93936707
LR_{ind}	8,70093714	LR_{ind}	11,06317753
LR_{cc}	23,62382693	LR_{cc}	66,00254461

Πίνακας 4.10. Chi-Test για το Variance-Covariance

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.11. Test Statistics για το ARCH Normal

95%		99%	
T_0	797	T_0	834
T_1	66	T_1	29
T_{00}	738	T_{00}	806
T_{01}	59	T_{01}	28
T_{10}	59	T_{10}	28
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,076477404	π	0,033603708
π_{01}	0,074027604	π_{01}	0,033573141
π_{11}	0,106060606	π_{11}	0,034482759
LR_{uc}	11,03919849	LR_{uc}	30,04854745
LR_{ind}	0,804852891	LR_{ind}	0,000708323
LR_{cc}	11,84405138	LR_{cc}	30,04925578

Πίνακας 4.12. Chi-Test για το ARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.13. Test Statistics για το ARCH Student-t

95%		99%	
T_0	820	T_0	850
T_1	43	T_1	13
T_{00}	781	T_{00}	837
T_{01}	39	T_{01}	13
T_{10}	39	T_{10}	13
T_{11}	4	T_{11}	0
π	0,049826188	π	0,015063731
π_{01}	0,047560976	π_{01}	0,015294118
π_{11}	0,093023256	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,000549484	LR_{uc}	1,934716394
LR_{ind}	1,455456598	LR_{ind}	0,39766256
LR_{cc}	1,456006083	LR_{cc}	2,332378954

Πίνακας 4.14. Chi-Test για το ARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 4.15. Test Statistics για το ARCH GED

95%		99%	
T_0	798	T_0	842
T_1	65	T_1	21
T_{00}	741	T_{00}	821
T_{01}	57	T_{01}	21
T_{10}	57	T_{10}	21
T_{11}	8	T_{11}	0
π	0,075318656	π	0,02433372
π_{01}	0,071428571	π_{01}	0,024940618
π_{11}	0,123076923	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	10,14920321	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	1,988103999	LR_{ind}	1,047614559
LR_{cc}	12,13730721	LR_{cc}	13,83725751

Πίνακας 4.16. Chi-Test για το ARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.17. Test Statistics για το GARCH Normal Filtered

95%		99%	
T_0	796	T_0	840
T_1	67	T_1	23
T_{00}	737	T_{00}	817
T_{01}	59	T_{01}	23
T_{10}	59	T_{10}	23
T_{11}	8	T_{11}	0
π	0,077636153	π	0,026651217
π_{01}	0,074120603	π_{01}	0,027380952
π_{11}	0,119402985	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	11,96200737	LR_{uc}	16,5945482
LR_{ind}	1,5587816	LR_{ind}	1,259681233
LR_{cc}	13,52078897	LR_{cc}	17,85422943

Πίνακας 4.18. Chi-Test για το GARCH Normal Filtered

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.19. Test Statistics για το ARCH EVT

95%		99%	
T_0	756	T_0	834
T_1	107	T_1	29
T_{00}	668	T_{00}	806
T_{01}	88	T_{01}	28
T_{10}	88	T_{10}	28
T_{11}	19	T_{11}	1
π	0,123986095	π	0,033603708
π_{01}	0,116402116	π_{01}	0,033573141
π_{11}	0,177570093	π_{11}	0,034482759
LR_{uc}	71,7503422	LR_{uc}	30,04854745
LR_{ind}	2,948133843	LR_{ind}	0,000708323
LR_{cc}	74,69847605	LR_{cc}	30,04925578

Πίνακας 4.20. Chi-Test για το ARCH EVT

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.21. Test Statistics για το EGARCH Normal

95%		99%	
T_0	807	T_0	842
T_1	56	T_1	21
T_{00}	756	T_{00}	822
T_{01}	51	T_{01}	20
T_{10}	51	T_{10}	20
T_{11}	5	T_{11}	1
π	0,064889919	π	0,02433372
π_{01}	0,063197026	π_{01}	0,023752969
π_{11}	0,089285714	π_{11}	0,047619048
LR_{uc}	3,69742492	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	0,533545893	LR_{ind}	0,38857543
LR_{cc}	4,230970813	LR_{cc}	13,17821838

Πίνακας 4.22. Chi-Test για το EGARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.23. Test Statistics για το EGARCH Student-t

95%		99%	
T_0	818	T_0	851
T_1	45	T_1	12
T_{00}	777	T_{00}	839
T_{01}	41	T_{01}	12
T_{10}	41	T_{10}	12
T_{11}	4	T_{11}	0
π	0,052143685	π	0,013904983
π_{01}	0,050122249	π_{01}	0,014101058
π_{11}	0,088888889	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	0,082384189	LR_{uc}	1,185201703
LR_{ind}	1,093421587	LR_{ind}	0,338436596
LR_{cc}	1,175805776	LR_{cc}	1,523638299

Πίνακας 4.24. Chi-Test για το EGARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model

Πίνακας 4.25. Test Statistics για το EGARCH GED

95%		99%	
T_0	807	T_0	849
T_1	56	T_1	14
T_{00}	756	T_{00}	835
T_{01}	51	T_{01}	14
T_{10}	51	T_{10}	14
T_{11}	5	T_{11}	0
π	0,064889919	π	0,01622248
π_{01}	0,063197026	π_{01}	0,016489988
π_{11}	0,089285714	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	3,69742492	LR_{uc}	2,840582263
LR_{ind}	0,533545893	LR_{ind}	0,461740595
LR_{cc}	4,230970813	LR_{cc}	3,302322858

Πίνακας 4.26. Chi-Test για το EGARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model

Πίνακας 4.27. Test Statistics για το GARCH Normal APARCH

95%		99%	
T_0	800	T_0	833
T_1	63	T_1	30
T_{00}	744	T_{00}	805
T_{01}	56	T_{01}	28
T_{10}	56	T_{10}	28
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,073001159	π	0,034762457
π_{01}	0,07	π_{01}	0,033613445
π_{11}	0,111111111	π_{11}	0,066666667
LR_{uc}	8,469520472	LR_{uc}	32,55620463
LR_{ind}	1,286857865	LR_{ind}	0,755535816
LR_{cc}	9,756378337	LR_{cc}	33,31174045

Πίνακας 4.28. Chi-Test για το GARCH Normal APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 4.29. Test Statistics για το GARCH Student APARCH

95%		99%	
T_0	830	T_0	853
T_1	33	T_1	10
T_{00}	800	T_{00}	843
T_{01}	30	T_{01}	10
T_{10}	30	T_{10}	10
T_{11}	3	T_{11}	0
π	0,038238702	π	0,011587486
π_{01}	0,036144578	π_{01}	0,011723329
π_{11}	0,090909091	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	2,725604297	LR_{uc}	0,209009757
LR_{ind}	1,917555872	LR_{ind}	0,234471958
LR_{cc}	4,643160169	LR_{cc}	0,443481714

Πίνακας 4.30. Chi-Test για το GARCH Student APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 4.31. Test Statistics για το GARCH GED APARCH

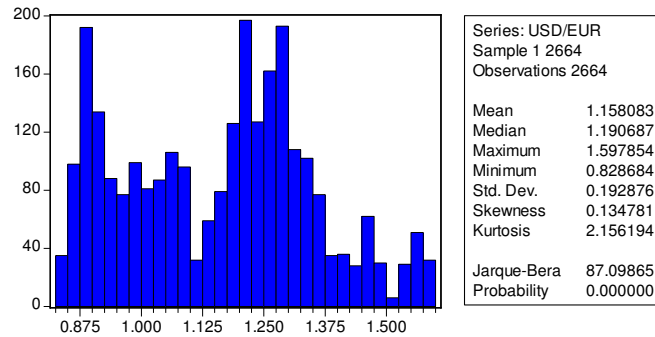
95%		99%	
T_0	800	T_0	843
T_1	63	T_1	20
T_{00}	744	T_{00}	823
T_{01}	56	T_{01}	20
T_{10}	56	T_{10}	20
T_{11}	7	T_{11}	0
π	0,073001159	π	0,023174971
π_{01}	0,07	π_{01}	0,023724792
π_{11}	0,111111111	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	8,469520472	LR_{uc}	11,03149901
LR_{ind}	1,286857865	LR_{ind}	0,949080738
LR_{cc}	9,756378337	LR_{cc}	11,98057975

Πίνακας 4.32. Chi-Test για το GARCH GED APARCH

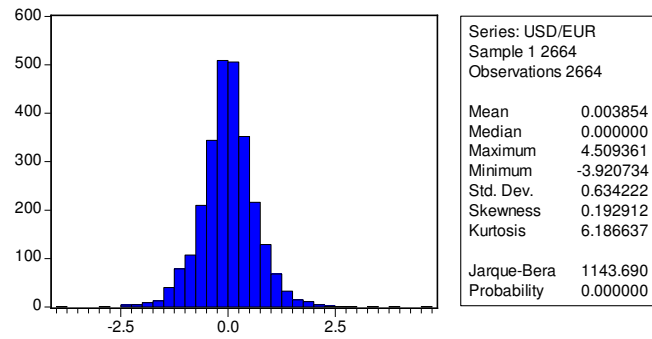
Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

B5. Ισοτιμία Δολλάριο Η.Π.Α./Ευρώ

Πίνακας 5.1. Περιγραφικά Στατιστικά Μέτρα για τις Τιμές



Πίνακας 5.2. Περιγραφικά Στατιστικά Μέτρα για τις Ποσοστιαίες Λογαριθμικές Αποδόσεις



Πίνακας 5.3. Test Statistics για το RiskMetrics

	95%	99%
T_0	813	T_0 849
T_1	50	T_1 14
T_{00}	765	T_{00} 835
T_{01}	48	T_{01} 14
T_{10}	48	T_{10} 14
T_{11}	2	T_{11} 0
π	0,057937428	π 0,01622248
π_{01}	0,05904059	π_{01} 0,016489988
π_{11}	0,04	π_{11} 0,000000000
LR_{uc}	1,091451887	LR_{uc} 2,840582263
LR_{ind}	0,346796046	LR_{ind} 0,461740595
LR_{cc}	1,438247933	LR_{cc} 3,302322858

Πίνακας 5.4. Chi-Test για το RiskMetrics

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model

Πίνακας 5.5. Test Statistics για το Historical Simulation 1

95%		99%	
T_0	807	T_0	848
T_1	56	T_1	15
T_{00}	755	T_{00}	833
T_{01}	52	T_{01}	15
T_{10}	52	T_{10}	15
T_{11}	4	T_{11}	0
π	0,064889919	π	0,017381228
π_{01}	0,064436183	π_{01}	0,017688679
π_{11}	0,071428571	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	3,69742492	LR_{uc}	3,891782713
LR_{ind}	0,04102663	LR_{ind}	0,530688051
LR_{cc}	3,738451549	LR_{cc}	4,422470764

Πίνακας 5.6. Chi-Test για το Historical Simulation 1

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 5.7. Test Statistics για το Historical Simulation 2

95%		99%	
T_0	798	T_0	843
T_1	65	T_1	20
T_{00}	739	T_{00}	823
T_{01}	59	T_{01}	20
T_{10}	59	T_{10}	20
T_{11}	6	T_{11}	0
π	0,075318656	π	0,023174971
π_{01}	0,073934837	π_{01}	0,023724792
π_{11}	0,092307692	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	10,14920321	LR_{uc}	11,03149901
LR_{ind}	0,274701131	LR_{ind}	0,949080738
LR_{cc}	10,42390434	LR_{cc}	11,98057975

Πίνακας 5.8. Chi-Test για το Historical Simulation 2

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.9. Test Statistics για το Historical Simulation All

95%		99%	
T_0	812	T_0	843
T_1	51	T_1	20
T_{00}	768	T_{00}	824
T_{01}	44	T_{01}	19
T_{10}	44	T_{10}	19
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,059096176	π	0,023174971
π_{01}	0,054187192	π_{01}	0,022538553
π_{11}	0,137254902	π_{11}	0,05
LR_{uc}	1,424012138	LR_{uc}	11,03149901
LR_{ind}	4,52737066	LR_{ind}	0,494988251
LR_{cc}	5,951382799	LR_{cc}	11,52648726

Πίνακας 5.10. Chi-Test για το Historical Simulation All

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.11. Test Statistics για το Variance-Covariance

95%		99%	
T_0	811	T_0	840
T_1	52	T_1	23
T_{00}	768	T_{00}	818
T_{01}	43	T_{01}	22
T_{10}	43	T_{10}	22
T_{11}	9	T_{11}	1
π	0,060254925	π	0,026651217
π_{01}	0,053020962	π_{01}	0,026190476
π_{11}	0,173076923	π_{11}	0,043478261
LR_{uc}	1,798253644	LR_{uc}	16,5945482
LR_{ind}	8,772988201	LR_{ind}	0,218450949
LR_{cc}	10,57124184	LR_{cc}	16,81299915

Πίνακας 5.12. Chi-Test για το Variance-Covariance

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.13. Test Statistics για το ARCH Normal

95%		99%	
T_0	811	T_0	840
T_1	52	T_1	23
T_{00}	768	T_{00}	818
T_{01}	43	T_{01}	22
T_{10}	43	T_{10}	22
T_{11}	9	T_{11}	1
π	0,060254925	π	0,026651217
π_{01}	0,053020962	π_{01}	0,026190476
π_{11}	0,173076923	π_{11}	0,043478261
LR_{uc}	1,798253644	LR_{uc}	16,5945482
LR_{ind}	8,772988201	LR_{ind}	0,218450949
LR_{cc}	10,57124184	LR_{cc}	16,81299915

Πίνακας 5.14. Chi-Test για το ARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.15. Test Statistics για το ARCH Student-t

95%		99%	
T_0	828	T_0	853
T_1	35	T_1	10
T_{00}	796	T_{00}	843
T_{01}	32	T_{01}	10
T_{10}	32	T_{10}	10
T_{11}	3	T_{11}	0
π	0,040556199	π	0,011587486
π_{01}	0,038647343	π_{01}	0,011723329
π_{11}	0,085714286	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	1,727345811	LR_{uc}	0,209009757
LR_{ind}	1,483234032	LR_{ind}	0,234471958
LR_{cc}	3,210579843	LR_{cc}	0,443481714

Πίνακας 5.16. Chi-Test για το ARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 5.17. Test Statistics για το ARCH GED

95%		99%	
T_0	812	T_0	844
T_1	51	T_1	19
T_{00}	769	T_{00}	826
T_{01}	43	T_{01}	18
T_{10}	43	T_{10}	18
T_{11}	8	T_{11}	1
π	0,059096176	π	0,022016222
π_{01}	0,052955665	π_{01}	0,021327014
π_{11}	0,156862745	π_{11}	0,052631579
LR_{uc}	1,424012138	LR_{uc}	9,375769265
LR_{ind}	6,753618555	LR_{ind}	0,616905063
LR_{cc}	8,177630693	LR_{cc}	9,992674327

Πίνακας 5.18. Chi-Test για το ARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.19. Test Statistics για το GARCH Normal Filtered

95%		99%	
T_0	817	T_0	844
T_1	46	T_1	19
T_{00}	777	T_{00}	826
T_{01}	40	T_{01}	18
T_{10}	40	T_{10}	18
T_{11}	6	T_{11}	1
π	0,053302433	π	0,022016222
π_{01}	0,048959608	π_{01}	0,021327014
π_{11}	0,130434783	π_{11}	0,052631579
LR_{uc}	0,194144864	LR_{uc}	9,375769265
LR_{ind}	4,253308614	LR_{ind}	0,616905063
LR_{cc}	4,447453478	LR_{cc}	9,992674327

Πίνακας 5.20. Chi-Test για το GARCH Normal Filtered

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.21. Test Statistics για το ARCH EVT

95%		99%	
T_0	794	T_0	840
T_1	69	T_1	23
T_{00}	736	T_{00}	818
T_{01}	58	T_{01}	22
T_{10}	58	T_{10}	22
T_{11}	11	T_{11}	1
π	0,07995365	π	0,026651217
π_{01}	0,073047859	π_{01}	0,026190476
π_{11}	0,15942029	π_{11}	0,043478261
LR_{uc}	13,90428252	LR_{uc}	16,5945482
LR_{ind}	5,232497837	LR_{ind}	0,218450949
LR_{cc}	19,13678036	LR_{cc}	16,81299915

Πίνακας 5.22. Chi-Test για το ARCH EVT

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.23. Test Statistics για το EGARCH Normal

95%		99%	
T_0	830	T_0	851
T_1	33	T_1	12
T_{00}	798	T_{00}	839
T_{01}	32	T_{01}	12
T_{10}	32	T_{10}	12
T_{11}	1	T_{11}	0
π	0,038238702	π	0,013904983
π_{01}	0,038554217	π_{01}	0,014101058
π_{11}	0,03030303	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	2,725604297	LR_{uc}	1,185201703
LR_{ind}	0,06294916	LR_{ind}	0,338436596
LR_{cc}	2,788553457	LR_{cc}	1,523638299

Πίνακας 5.24. Chi-Test για το EGARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 5.25. Test Statistics για το EGARCH Student-t

95%		99%	
T_0	837	T_0	854
T_1	26	T_1	9
T_{00}	812	T_{00}	845
T_{01}	25	T_{01}	9
T_{10}	25	T_{10}	9
T_{11}	1	T_{11}	0
π	0,030127462	π	0,010428737
π_{01}	0,029868578	π_{01}	0,010538642
π_{11}	0,038461538	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	8,313810196	LR_{uc}	0,015801558
LR_{ind}	0,058863766	LR_{ind}	0,18969906
LR_{cc}	8,372673962	LR_{cc}	0,205500619

Πίνακας 5.26. Chi-Test για το EGARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 5.27. Test Statistics για το EGARCH GED

95%		99%	
T_0	820	T_0	846
T_1	43	T_1	17
T_{00}	782	T_{00}	830
T_{01}	38	T_{01}	16
T_{10}	38	T_{10}	16
T_{11}	5	T_{11}	1
π	0,049826188	π	0,019698725
π_{01}	0,046341463	π_{01}	0,01891253
π_{11}	0,11627907	π_{11}	0,058823529
LR_{uc}	0,000549484	LR_{uc}	6,393207929
LR_{ind}	3,179390479	LR_{ind}	0,912078043
LR_{cc}	3,179939964	LR_{cc}	7,305285972

Πίνακας 5.28. Chi-Test για το EGARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.29. Test Statistics για το GARCH Normal APARCH

95%		99%	
T_0	814	T_0	842
T_1	49	T_1	21
T_{00}	772	T_{00}	822
T_{01}	42	T_{01}	20
T_{10}	42	T_{10}	20
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,056778679	π	0,02433372
π_{01}	0,051597052	π_{01}	0,023752969
π_{11}	0,142857143	π_{11}	0,047619048
LR_{uc}	0,801354328	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	5,299409873	LR_{ind}	0,38857543
LR_{cc}	6,100764201	LR_{cc}	13,17821838

Πίνακας 5.30. Chi-Test για το GARCH Normal APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 5.31. Test Statistics για το GARCH Student APARCH

95%		99%	
T_0	837	T_0	854
T_1	26	T_1	9
T_{00}	813	T_{00}	845
T_{01}	24	T_{01}	9
T_{10}	24	T_{10}	9
T_{11}	2	T_{11}	0
π	0,030127462	π	0,010428737
π_{01}	0,028673835	π_{01}	0,010538642
π_{11}	0,076923077	π_{11}	0,000000000
LR_{uc}	8,313810196	LR_{uc}	0,015801558
LR_{ind}	1,437269417	LR_{ind}	0,18969906
LR_{cc}	9,751079613	LR_{cc}	0,205500619

Πίνακας 5.32. Chi-Test για το GARCH Student APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 5.33. Test Statistics για το GARCH GED APARCH

95%		99%	
T_0	815	T_0	847
T_1	48	T_1	16
T_{00}	773	T_{00}	832
T_{01}	42	T_{01}	15
T_{10}	42	T_{10}	15
T_{11}	6	T_{11}	1
π	0,05561993	π	0,018539977
π_{01}	0,051533742	π_{01}	0,017709563
π_{11}	0,125	π_{11}	0,0625
LR_{uc}	0,554532933	LR_{uc}	5,07877393
LR_{ind}	3,572932169	LR_{ind}	1,088318698
LR_{cc}	4,127465102	LR_{cc}	6,167092628

Πίνακας 5.34. Chi-Test για το GARCH GED APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Β6. Ισοτιμία Ευρώ/Δολλάριο Η.Π.Α.

Πίνακας 6.1. Test Statistics για το RiskMetrics

95%		99%	
T_0	804	T_0	847
T_1	59	T_1	16
T_{00}	747	T_{00}	832
T_{01}	57	T_{01}	15
T_{10}	57	T_{10}	15
T_{11}	2	T_{11}	1
π	0,068366165	π	0,018539977
π_{01}	0,070895522	π_{01}	0,017709563
π_{11}	0,033898305	π_{11}	0,0625
LR_{uc}	5,525312065	LR_{uc}	5,07877393
LR_{ind}	1,415334746	LR_{ind}	1,088318698
LR_{cc}	6,940646811	LR_{cc}	6,167092628

Πίνακας 6.2. Chi-Test για το RiskMetrics

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.3. Test Statistics για το Historical Simulation 1

95%		99%	
T_0	805	T_0	837
T_1	58	T_1	26
T_{00}	751	T_{00}	812
T_{01}	54	T_{01}	25
T_{10}	54	T_{10}	25
T_{11}	4	T_{11}	1
π	0,067207416	π	0,030127462
π_{01}	0,067080745	π_{01}	0,029868578
π_{11}	0,068965517	π_{11}	0,038461538
LR_{uc}	4,878846753	LR_{uc}	22,96386906
LR_{ind}	0,003042972	LR_{ind}	0,058863766
LR_{cc}	4,881889726	LR_{cc}	23,02273282

Πίνακας 6.4. Chi-Test για το Historical Simulation 1

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.5. Test Statistics για το Historical Simulation 2

95%		99%	
T_0	806	T_0	839
T_1	57	T_1	24
T_{00}	757	T_{00}	816
T_{01}	49	T_{01}	23
T_{10}	49	T_{10}	23
T_{11}	8	T_{11}	1
π	0,066048667	π	0,027809965
π_{01}	0,060794045	π_{01}	0,027413588
π_{11}	0,140350877	π_{11}	0,041666667
LR_{uc}	4,269350382	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	4,305890703	LR_{ind}	0,15315336
LR_{cc}	8,575241085	LR_{cc}	18,78617835

Πίνακας 6.6. Chi-Test για το Historical Simulation 2

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.7. Test Statistics για το Historical Simulation All

95%		99%	
T_0	817	T_0	846
T_1	46	T_1	17
T_{00}	778	T_{00}	830
T_{01}	39	T_{01}	16
T_{10}	39	T_{10}	16
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,053302433	π	0,019698725
π_{01}	0,047735618	π_{01}	0,01891253
π_{11}	0,152173913	π_{11}	0,058823529
LR_{uc}	0,194144864	LR_{uc}	6,393207929
LR_{ind}	6,602008358	LR_{ind}	0,912078043
LR_{cc}	6,796153223	LR_{cc}	7,305285972

Πίνακας 6.8. Chi-Test για το Historical Simulation All

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.9. Test Statistics για το Variance-Covariance

95%		99%	
T_0	815	T_0	843
T_1	48	T_1	20
T_{00}	774	T_{00}	824
T_{01}	41	T_{01}	19
T_{10}	41	T_{10}	19
T_{11}	7	T_{11}	1
π	0,05561993	π	0,023174971
π_{01}	0,050306748	π_{01}	0,022538553
π_{11}	0,145833333	π_{11}	0,05
LR_{uc}	0,554532933	LR_{uc}	11,03149901
LR_{ind}	5,713734894	LR_{ind}	0,494988251
LR_{cc}	6,268267826	LR_{cc}	11,52648726

Πίνακας 6.10. Chi-Test για το Variance-Covariance

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.11. Test Statistics για το ARCH Normal

95%		99%	
T_0	817	T_0	844
T_1	46	T_1	19
T_{00}	777	T_{00}	827
T_{01}	40	T_{01}	17
T_{10}	40	T_{10}	17
T_{11}	6	T_{11}	2
π	0,053302433	π	0,022016222
π_{01}	0,048959608	π_{01}	0,02014218
π_{11}	0,130434783	π_{11}	0,105263158
LR_{uc}	0,194144864	LR_{uc}	9,375769265
LR_{ind}	4,253308614	LR_{ind}	3,375634325
LR_{cc}	4,447453478	LR_{cc}	12,75140359

Πίνακας 6.12. Chi-Test για το ARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.13. Test Statistics για το ARCH Student-t

95%		99%	
T_0	829	T_0	854
T_1	34	T_1	9
T_{00}	798	T_{00}	846
T_{01}	31	T_{01}	8
T_{10}	31	T_{10}	8
T_{11}	3	T_{11}	1
π	0,039397451	π	0,010428737
π_{01}	0,037394451	π_{01}	0,009367681
π_{11}	0,088235294	π_{11}	0,111111111
LR_{uc}	2,195852774	LR_{uc}	0,015801558
LR_{ind}	1,692099652	LR_{ind}	3,111599832
LR_{cc}	3,887952426	LR_{cc}	3,12740139

Πίνακας 6.14. Chi-Test για το ARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 6.15. Test Statistics για το ARCH GED

95%		99%	
T_0	816	T_0	847
T_1	47	T_1	16
T_{00}	776	T_{00}	833
T_{01}	40	T_{01}	14
T_{10}	40	T_{10}	14
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,054461182	π	0,018539977
π_{01}	0,049019608	π_{01}	0,016528926
π_{11}	0,14893617	π_{11}	0,125
LR_{uc}	0,351835207	LR_{uc}	5,07877393
LR_{ind}	6,147719155	LR_{ind}	4,613972136
LR_{cc}	6,499554362	LR_{cc}	9,692746066

Πίνακας 6.16. Chi-Test για το ARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.17. Test Statistics για το GARCH Normal Filtered

95%		99%	
T_0	815	T_0	845
T_1	48	T_1	18
T_{00}	774	T_{00}	829
T_{01}	41	T_{01}	16
T_{10}	41	T_{10}	16
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,05561993	π	0,020857474
π_{01}	0,050306748	π_{01}	0,018934911
π_{11}	0,145833333	π_{11}	0,111111111
LR_{uc}	0,554532933	LR_{uc}	7,827720996
LR_{ind}	5,713734894	LR_{ind}	3,754473934
LR_{cc}	6,268267826	LR_{cc}	11,58219493

Πίνακας 6.18. Chi-Test για το GARCH Normal Filtered

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.19. Test Statistics για το ARCH EVT

95%		99%	
T_0	788	T_0	839
T_1	75	T_1	24
T_{00}	723	T_{00}	817
T_{01}	65	T_{01}	22
T_{10}	65	T_{10}	22
T_{11}	10	T_{11}	2
π	0,086906141	π	0,027809965
π_{01}	0,08248731	π_{01}	0,026221692
π_{11}	0,133333333	π_{11}	0,083333333
LR_{uc}	20,47452282	LR_{uc}	18,63302499
LR_{ind}	1,973470791	LR_{ind}	1,882063812
LR_{cc}	22,44799362	LR_{cc}	20,5150888

Πίνακας 6.20. Chi-Test για το ARCH EVT

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.21. Test Statistics για το EGARCH Normal

95%		99%	
T_0	824	T_0	848
T_1	39	T_1	15
T_{00}	788	T_{00}	834
T_{01}	36	T_{01}	14
T_{10}	36	T_{10}	14
T_{11}	3	T_{11}	1
π	0,045191194	π	0,017381228
π_{01}	0,04368932	π_{01}	0,016509434
π_{11}	0,076923077	π_{11}	0,066666667
LR_{uc}	0,433551367	LR_{uc}	3,891782713
LR_{ind}	0,801463918	LR_{ind}	1,286153731
LR_{cc}	1,235015285	LR_{cc}	5,177936444

Πίνακας 6.22. Chi-Test για το EGARCH Normal

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Don't Reject VaR Model
LR_{cc}	Don't Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.23. Test Statistics για το EGARCH Student-t

95%		99%	
T_0	833	T_0	856
T_1	30	T_1	7
T_{00}	806	T_{00}	850
T_{01}	27	T_{01}	6
T_{10}	27	T_{10}	6
T_{11}	3	T_{11}	1
π	0,034762457	π	0,00811124
π_{01}	0,032412965	π_{01}	0,007009346
π_{11}	0,1	π_{11}	0,142857143
LR_{uc}	4,700698803	LR_{uc}	0,332426816
LR_{ind}	2,701023492	LR_{ind}	4,120526112
LR_{cc}	7,401722294	LR_{cc}	4,452952928

Πίνακας 6.24. Chi-Test για το EGARCH Student-t

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don't Reject VaR Model
LR_{ind}	Don't Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don't Reject VaR Model

Πίνακας 6.25. Test Statistics για το EGARCH GED

95%		99%	
T_0	825	T_0	853
T_1	38	T_1	10
T_{00}	793	T_{00}	844
T_{01}	32	T_{01}	9
T_{10}	32	T_{10}	9
T_{11}	6	T_{11}	1
π	0,044032445	π	0,011587486
π_{01}	0,038787879	π_{01}	0,010550996
π_{11}	0,157894737	π_{11}	0,1
LR_{uc}	0,672967311	LR_{uc}	0,209009757
LR_{ind}	7,768424329	LR_{ind}	2,706272711
LR_{cc}	8,44139164	LR_{cc}	2,915282467

Πίνακας 6.26. Chi-Test για το EGARCH GED

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Don' t Reject VaR Model

Πίνακας 6.27. Test Statistics για το GARCH Normal APARCH

95%		99%	
T_0	817	T_0	842
T_1	46	T_1	21
T_{00}	779	T_{00}	822
T_{01}	38	T_{01}	20
T_{10}	38	T_{10}	20
T_{11}	8	T_{11}	1
π	0,053302433	π	0,02433372
π_{01}	0,046511628	π_{01}	0,023752969
π_{11}	0,173913043	π_{11}	0,047619048
LR_{uc}	0,194144864	LR_{uc}	12,78964295
LR_{ind}	9,342548265	LR_{ind}	0,38857543
LR_{cc}	9,53669313	LR_{cc}	13,17821838

Πίνακας 6.28. Chi-Test για το GARCH Normal APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Don' t Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.29. Test Statistics για το GARCH Student APARCH

95%		99%	
T_0	835	T_0	857
T_1	28	T_1	6
T_{00}	813	T_{00}	852
T_{01}	22	T_{01}	5
T_{10}	22	T_{10}	5
T_{11}	6	T_{11}	1
π	0,032444959	π	0,006952491
π_{01}	0,026347305	π_{01}	0,005834306
π_{11}	0,214285714	π_{11}	0,166666667
LR_{uc}	6,359485207	LR_{uc}	0,906267182
LR_{ind}	14,54852432	LR_{ind}	4,764544561
LR_{cc}	20,90800953	LR_{cc}	5,670811743

Πίνακας 6.30. Chi-Test για το GARCH Student APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Reject VaR Model	LR_{uc}	Don' t Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

Πίνακας 6.31. Test Statistics για το GARCH GED
APARCH

95%		99%	
T_0	821	T_0	848
T_1	42	T_1	15
T_{00}	786	T_{00}	835
T_{01}	35	T_{01}	13
T_{10}	35	T_{10}	13
T_{11}	7	T_{11}	2
π	0,048667439	π	0,017381228
π_{01}	0,042630938	π_{01}	0,015330189
π_{11}	0,166666667	π_{11}	0,133333333
LR_{uc}	0,03253721	LR_{uc}	3,891782713
LR_{ind}	8,636917891	LR_{ind}	5,102563949
LR_{cc}	8,6694551	LR_{cc}	8,994346662

Πίνακας 6.32. Chi-Test για το GARCH GED
APARCH

Significance	10%	Significance	10%
LR_{uc}	Don't Reject VaR Model	LR_{uc}	Reject VaR Model
LR_{ind}	Reject VaR Model	LR_{ind}	Reject VaR Model
LR_{cc}	Reject VaR Model	LR_{cc}	Reject VaR Model

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Κώδικες σε EViews

Κώδικας 1. RiskMetrics

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t=7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t=0.624246654
'define GARCH parameters
scalar g1=0
scalar g2=0.06
scalar g3=0.94
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= g1+g2*e_t^2+g3*s_t
'define horizon provlepsis
!h=20
series t_1=@nrnd
series r_t_1
for lo=1 to !mc
r_t_1(lo)=sqr(s_t_1(lo))*t_1(lo)
next

'enarxi MC

for !i=2 to !h
statusline !i
!k=!i-1
series t_!i=@nrnd
series s_t_!i
series r_t_!i
for !j=1 to !mc
s_t_!i(!j)= g1+g2*s_t_!k(!j)*t_!i(!j)+g3*s_t_!k(!j)
r_t_!i(!j)=sqr(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses

scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m= cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 2. ARCH Normal

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t=7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t=0.624246654
'define ARCH parameters
scalar g1=0.437915
scalar g2=0.306506
scalar g3=0
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= g1+g2*e_t^2+g3*s_t
'define horizon provlepsis
!h=20
series t_1=@nrnd
series r_t_1
for !o=1 to !mc
r_t_1(!o)=sqr(s_t_1(!o))*t_1(!o)
next

'enarxi MC

for !i=2 to !h
statusline !i
!k=!i-1
series t_!i=@nrnd
series s_t_!i
series r_t_!i
for !j=1 to !mc
s_t_!i(!j)= g1+g2*r_t_!i(!j)^2+g3*s_t_!i(!j)
r_t_!i(!j)=sqr(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses
scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 3. ARCH Student 's-t

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t=7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t=0.624246654
'define ARCH parameters
scalar g1=0.444806
scalar g2=0.300312
scalar g3=0
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= g1+g2*(e_t)^2+g3*s_t
'define horizon provlepsis
!h=20
'define degrees of freedom
scalar df=4.4008
series t_1=@rtdist(df)*sqr((df-2)/df)
series r_t_1
for lo=1 to !mc
r_t_1(lo)=@sqrt(s_t_1(lo))*t_1(lo)
next

'earxi MC

for li=2 to !h
statusline !i
!k=li-1
series t_li=@rtdist(df)*sqr((df-2)/df)
series s_t_li
series r_t_li
for lj=1 to !mc
s_t_li(lj)= g1+g2*r_t_li(lj)^2+g3*s_t_li(lj)
r_t_li(lj)=@sqrt(s_t_li(lj))*t_li(lj)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses
scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 4. ARCH GED

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t=7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t=0.624246654
'define ARCH parameters
scalar g1=0.426721
scalar g2=0.293761
scalar g3=0
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= g1+g2*(e_t)^2+g3*s_t
'define horizon provlepsis
!h=20
'define degrees of freedom
scalar df=1.1705
series t_1=@rged(df)
series r_t_1
for lo=1 to !mc
r_t_1(lo)=@sqrt(s_t_1(lo))*t_1(lo)
next

'earxi MC

for li=2 to !h
statusline !i
!k=li-1
series t_li=@rged(df)
series s_t_li
series r_t_li
for lj=1 to !mc
s_t_li(lj)= g1+g2*r_t_li(lj)^2+g3*s_t_li(lj)
r_t_li(lj)=@sqrt(s_t_li(lj))*t_li(lj)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses
scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 5. EGARCH Normal

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t= 4.768390727
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t= 0.402470731
'define EGARCH parameters
scalar g1=-0.051851
scalar g2=0.065868
scalar g3=-0.005898
scalar g4=0.997721
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= exp(g1)*exp(g2*abs(e_t/sqr(s_t)))*exp(g3*e_t/sqr(s_t))*s_t^g4
'define horizon provlepsis
!h=20
series t_1=@nrnd
series r_t_1
for !o=1 to !mc
r_t_1(!o)=@sqrt(s_t_1(!o))*t_1(!o)
next

'enarxi MC

for !i=2 to !h
statusline !i
!k=!i-1
series t_!i=@nrnd
series s_t_!i
series r_t_!i
for !j=1 to !mc
s_t_!i(!j)=
exp(g1)*exp(g2*abs(r_t_!k(!j)/sqr(s_t_!k(!j))))*exp(g3*r_t_!k(!j)/sqr(s_t_!k(!j)))*s_t_!k(!j)^g4
r_t_!i(!j)=@sqrt(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses
scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```


Κώδικας 6. EGARCH Student 's-t

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t= 7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t= 0.624246654
'define EGARCH parameters
scalar g1=-0.090318
scalar g2=0.106794
scalar g3=-0.041125
scalar g4=0.988893
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= exp(g1)*exp(g2*abs(e_t/sqr(s_t)))*exp(g3*e_t/sqr(s_t))*s_t^g4
'define horizon provlepsis
!h=20
'define degrees of freedom
scalar df=8.1235
series t_1=@rtdist(df)*sqr((df-2)/df)
series r_t_1
for lo=1 to !mc
r_t_1(lo)=@sqrt(s_t_1(lo))*t_1(lo)
next

'enary MC

for !i=2 to !h
statusline !i
!k=!i-1
series t_!i=@rtdist(df)*sqr((df-2)/df)
series s_t_!i
series r_t_!i
for !j=1 to !mc
s_t_!i(!j)=
exp(g1)*exp(g2*abs(r_t_!k(!j)/sqr(s_t_!k(!j))))*exp(g3*r_t_!k(!j)/sqr(s_t_!k(!j)))*s_t_!k(!j)^g4
r_t_!i(!j)=@sqrt(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses

scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 7. EGARCH GED

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t=4.841941353
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t=0.237109634
'define ARCH parameters
scalar g1=-0.070488
scalar g2=0.085756
scalar g3=-0.000793
scalar g4=0.996567
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= exp(g1)*exp(g2*abs(e_t/sqr(s_t)))*exp(g3*e_t/sqr(s_t))*s_t^g4
'define horizon provlepsis
!h=20
'define degrees of freedom
scalar df=1.4850
series t_1=@rged(df)
series r_t_1
for lo=1 to !mc
  r_t_1(lo)=@sqrt(s_t_1(lo))*t_1(lo)
next

'enary MC

for !i=2 to !h
  statusline !i
  !k=!i-1
  series t_!i=@rged(df)
  series s_t_!i
  series r_t_!i
  for !j=1 to !mc
    s_t_!i(!j)=
    exp(g1)*exp(g2*abs(r_t_!k(!j)/sqr(s_t_!k(!j))))*exp(g3*r_t_!k(!j)/sqr(s_t_!k(!j)))*s_t_!k(!j)^g4
    r_t_!i(!j)=@sqrt(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
  next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses

scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
  scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
  !j=!m-1
  scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 8. APARCH Normal

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t=7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t=0.624246654
'define APARCH parameters
scalar g1=0.007953
scalar g2=0.054877
scalar g3=0.409054
scalar g4=0.944789
scalar g5= 1.137991
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= (g1+g2*(abs(e_t)-g3*e_t)^g5+g4*@sqrt(s_t)^g5)^(2/g5)
'define horizon provlepsis
!h=20
series t_1=@nrnd
series r_t_1
for !o=1 to !mc
r_t_1(!o)=@sqrt(s_t_1(!o))*t_1(!o)
next

'earxi MC

for !i=2 to !h
statusline !i
!k=!i-1
series t_!i=@nrnd
series s_t_!i
series r_t_!i
for !j=1 to !mc
s_t_!i(!j)= (g1+g2*(abs(r_t_!k(!j))-g3*r_t_!k(!j))^g5+g4*@sqrt(s_t_!k(!j))^g5)^(2/g5)
r_t_!i(!j)=@sqrt(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses
scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 9. APARCH Student 's-t

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t= 7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t= 0.624246654
'define EGARCH parameters
scalar g1=0.007094
scalar g2=0.055318
scalar g3=0.338506
scalar g4=0.943226
scalar g5=1.315040
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= (g1+g2*(abs(e_t)-g3*e_t)^g5+g4*@sqrt(s_t)^g5)^(2/g5)
'define horizon provlepsis
!h=20
'define degrees of freedom
scalar df=8.1430
series t_1=@rtdist(df)*sqr((df-2)/df)
series r_t_1
for !o=1 to !mc
r_t_1(!o)=@sqrt(s_t_1(!o))*t_1(!o)
next

'endarxi MC

for !i=2 to !h
statusline !i
!k=!i-1
series t_!i=@rtdist(df)*sqr((df-2)/df)
series s_t_!i
series r_t_!i
for !j=1 to !mc
s_t_!i(!j)= (g1+g2*(abs(r_t_!k(!j))-g3*r_t_!k(!j))^g5+g4*@sqrt(s_t_!k(!j))^g5)^(2/g5)
r_t_!i(!j)=@sqrt(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses

scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Κώδικας 10. APARCH GED

```
'stress testing
rndseed 10
'define mc draws
!mc=30000
'workfile
workfile u 1 !mc

'define initial shock
scalar e_t= 7.606013029
'define long-run variance (oxi conditional st dev)
scalar s_t= 0.624246654
'define EGARCH parameters
scalar g1=0.007599
scalar g2=0.055123
scalar g3=0.378659
scalar g4=0.944127
scalar g5=1.202994
'calculate one-step ahead variance
series s_t_1= (g1+g2*(abs(e_t)-g3*e_t)^g5+g4*@sqrt(s_t)^g5)^(2/g5)
'define horizon provlepsis
!h=20
'define degrees of freedom
scalar df=1.4869
series t_1=@rged(df)
series r_t_1
for !o=1 to !mc
r_t_1(!o)=@sqrt(s_t_1(!o))*t_1(!o)
next

'earxi MC

for !i=2 to !h
statusline !i
!k=!i-1
series t_!i=@rged(df)
series s_t_!i
series r_t_!i
for !j=1 to !mc
s_t_!i(!j)= (g1+g2*(abs(r_t_!k(!j))-g3*r_t_!k(!j))^g5+g4*@sqrt(s_t_!k(!j))^g5)^(2/g5)
r_t_!i(!j)=@sqrt(s_t_!i(!j))*t_!i(!j)
next
next

'calculate stress loss 1% & cumulative distribution of stress losses

scalar loss_1=@quantile(r_t_1,0.01)
scalar cumloss_1=loss_1
for !m= 2 to !h
scalar loss_!m=@quantile(r_t_!m,0.01)
!j=!m-1
scalar cumloss_!m = cumloss_!j + loss_!m
next
```

Βιβλιογραφία

- [1] ALEXANDER C., SHEEDY E., *Developing a Stress Testing framework based on Market Risk Models*, Journal of Banking and Finance, Elsevier, 2007.
- [2] ALEXANDER C., SHEEDY E. (Eds.), *The Professional Risk Managers' Handbook*, The Professional Risk Managers' International Association, 2004. DOWD K., ROWE D., *Introduction to Value at Risk Models* and SCHACHTER B., *Stress Testing*.
- [3] ANGELIDIS T., DEGIANNAKIS S., *Backtesting VaR Models: An Expected Shortfall Approach*, Available at SSRN, 2006.
- [4] ANGELIDIS T., DEGIANNAKIS S., *Econometric Modeling of Value-at-Risk*, In New Econometric Modeling Research, (ed.) Toggins, W.T., Nova Science Publishers, Inc., USA, forthcoming, 2007.
- [5] ANGELIDIS T., SKIADOPOULOS G., *Measuring the Market Risk of Freight Rates: A Value-at-Risk Approach*, Forthcoming in the International Journal of Theoretical and Applied Finance, 2007.
- [6] ARTZNER P., DELBAEN F., EBER J.-M. and HEALTH D., *Thinking Coherently*, Risk, 10, 1997, pp. 68-71.
- [7] ARTZNER P., DELBAEN F., EBER J.-M. and HEALTH D., *Coherent Measures of Risk*, Mathematical Finance, 9, 1999, pp. 203-228.
- [8] BARONE-ADESI G., GIANNOPOULOS K. and VOSPER L., *VaR without Correlations for Nonlinear Portfolios*, Journal of Futures Markets, 19, 1999, pp. 583-602.

- [9] BASAK S. and SHAPIRO A., *Value-at-Risk-Based Risk Management: Optimal Policies and Asset Prices*, Review of Financial Studies, 14, 2001, pp. 371-405.
- [10] BASEL COMMITTEE ON BANKING SUPERVISION, *Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risks*, Bank for International Settlements, 1996.
- [11] BASEL COMMITTEE ON BANKING SUPERVISION, *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework Comprehensive Version*, (Bank for International Settlements, Basel), 2006.
- [12] BASEL COMMITTEE ON BANKING SUPERVISION, *Principles for sound stress testing practices and supervision*, Bank for International Settlements, Basel, Switzerland, May 2009.
- [13] BERKOWITZ J., *Testing Density Forecasts, with Applications to Risk Management*, Journal of Business and Economic Statistics 19, 2001, pp. 465-474.
- [14] BEST P., *Implementing Value at Risk*, John Wiley & Sons, 1998.
- [15] BOLLERSLEV T., *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*, Journal of Econometrics, 31, 1986, pp. 307-327.
- [16] BOLLERSLEV T., *A Conditional Heteroskedastic Time Series Model for Speculative Prices and Rates of Return*, Review of Economics and Statistics, 69, 1987, pp. 542-547.
- [17] CHOUDHRY M., *An Introduction to Value-at-Risk*, John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [18] CHRISTOFFERSEN P. F., *Elements of Financial Risk Management*, McGill University and CIRANO, December 5, 2002.
- [19] COMMITTEE ON THE GLOBAL FINANCIAL SYSTEM, *Stress Testing by Large Financial Institutions: Current Practice and Aggregation Issues*, Bank for International Settlements, Basel, Switzerland, 2000, pp. 7-8.

- [20] DELBAEN F., *Coherent Risk Measures on General Probability Spaces*, Advances in Finance and Stochastics, Essays in Honour of Dieter Sondermann, in: K. Sandmann and P. J. Schönbucher (eds.), Springer, 2002, pp. 1-38.
- [21] DING Z., GRANGER C.W.J. and ENGLE R.F., *A Long Memory Property of Stock Market Returns and a New Model*, Journal of Empirical Finance, 1, 1993, pp. 83-106.
- [22] DOWD K., *Measuring Market Risk*, Wiley Finance, 2002.
- [23] ENGLE R.F., *Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of U.K. Inflation*, Econometrica, 50, 1982, pp. 987-1008.
- [24] ESCANCIANO J. C., OLMO J., *Robust Backtesting Tests for Value at Risk Models*, 2008.
- [25] GENÇAY, RAMAZAN, SELÇUK, FARUK, *Extreme Value Theory and VaR: Relative Performance in Emerging Markets*, International Journal of Forecasting 20, 2004, pp. 287-303.
- [26] HOLTON G.A., *History of Value-at-Risk: 1922-1998*, Working Paper, Contingency Analysis, United States, 2002.
- [27] HULL J., *Risk Management and Financial Institutions*, Pearson Prentice Hall, 2006.
- [28] JORION P., *Value at Risk*, McGraw Hill, 2007.
- [29] McNEIL A.J. and FREY R., *Estimation of Tail-Related Risk Measures for Heteroskedastic Financial Time Series: An Extreme Value Approach*, Journal of Empirical Finance, 7, 2000, pp. 271-300.
- [30] NELSON D., *Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach*, Econometrica, 59, 1991, pp. 347-370.