

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ

ΘΕΜΑ: <<ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ>>

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΑΡΓΥΡΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Α.Μ. : 3633

ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΗΓΑΚΗΣ ΗΡΑΚΛΗΣ

Χανιά, Ιούλιο; 2014

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί σημαντικά η ανάπτυξη και ενίοτε η χρήση των στοχαστικών μοντέλων προκειμένου να μελετηθούν διεξοδικά τα διάφορα προβλήματα που εμφανίζονται γενικώς στην καθημερινότητα και χρήζουν λύσης. Με την εξέλιξη της κοινωνίας και την ανάγκη του ανθρώπου να ανακαλύψει όλο και περισσότερα πράγματα είναι λογικό να προκύψουν και να δημιουργηθούν διάφορα προβλήματα/ζητήματα τα οποία άλλοτε η λύση τους είναι φανερή ενώ άλλοτε απαιτείται σειρά ενεργειών και εφαρμογών προκειμένου να επιλυθεί το εκάστοτε πρόβλημα. Σήμερα όπου η κοινωνία χαρακτηρίζεται από την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, σκοπός είναι όχι μόνο απλά η επίλυση τους, αλλά η ποιοτική λύση αυτών. Για το λόγο αυτό είχε αναπτυχθεί η επιστήμη δημιουργίας μοντέλων. Στόχος αυτής της επιστήμης είναι η προσομοίωση αυτών των προβλημάτων και ο χαρακτηρισμός τους από μαθηματικές ακολουθίες. Τα μοντέλα είναι στην ουσία μαθηματικές εξισώσεις στις οποίες εισάγουμε δεδομένα ώστε να περιγραφεί το τρέχον πρόβλημα και να ληφθούν οι όποιες αποφάσεις/συμπεράσματα για την επίλυση αυτού του προβλήματος.

Ο κύριος σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να περιγράψει τις σημαντικότερες κατηγορίες στοχαστικών μοντέλων που χρησιμοποιεί και εφαρμόζει η επιστήμη στη παρούσα φάση. Παράλληλα θα δοθεί έμφαση στα μοντέλα εκείνα που χρησιμοποιούνται στην χρηματοοικονομικά ζητήματα καθώς και σε διάφορα ζητήματα τα οποία αφορούν το φυσικό περιβάλλον. Τέλος, αφού κάνουμε αναφορά στα παραπάνω μοντέλα θα γίνει αξιολόγηση και σύγκριση αυτών.

Abstract

Nowadays, growth has significantly increased the use of stochastic models to study in detail the various problems and to require solutions. With the development of society, the human need to discover more and more, because of this, is logical to create various problems / issues that sometimes the solutions of them need a group of actions and applications in order to solve each problem. Today, society is characterized by rapidly changing technology, the aim is not only simple to solve, but the quality of those solutions. For this reason was developed science modeling. The aim of this science is the simulation of these problems and their characterization by mathematical sequences. The models are essentially mathematical equations in which we import data to describe the current problem, and take any decisions / conclusions to solve this problem.

The main purpose of this paper is to describe the main categories of stochastic models that used and applied by the science at this moment. It will focus on those models that used in financial matters, and various issues that have relationship with the natural environment. Finally, after making reference to those models, it will be reviewed and compared them.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1	
1. Μοντελοποίηση.....	7
1.1 Γενικά.....	8
2.2 Τα βασικά εργαλεία της στοχαστικής ανάλυσης.....	13
2.3 Οι γενικότεροι κανόνες στοχαστικής μοντελοποίησης.....	14
2.4 Τα βασικά βήματα για τη στοχαστική μοντελοποίηση.....	15
2.5 Τα βασικά αποτελέσματα για τη στοχαστική μοντελοποίηση.....	16
Κεφάλαιο 2	
2.1 Αυτό-παλίνδρομα Μοντέλα.....	18
2.2 Υπολογιστικά-Περιβαλλοντικά Μοντέλα.....	29
2.3 Οικονομετρικά ή Χρηματοοικονομικά Μοντέλα.....	33
Κεφάλαιο 3	
3.1 Εφαρμογή Χρηματοοικονομικού Μοντέλου ARCH/GARCH.....	42
3.2 Εφαρμογή Μοντέλου σε διατομικό μόριο Monte Carlo.....	50
3.3 Εφαρμογή Περιβαλλοντικού Μοντέλου SARMA.....	56
Κεφάλαιο 4.	
Συμπέρασμα- Συζήτηση.....	63

Υπόμνημα

Πίνακας 1.

Πίνακας 2.

Πίνακας 3.

Πίνακας 4.

Πίνακας 5.

Διάγραμμα 1.

Διάγραμμα 2.

Διάγραμμα 3.

Σχήμα 1.

Σχήμα 2.

Σχήμα 3.

Σχήμα 4.

Εισαγωγή

Ο όρος «στοχαστικό» χρησιμοποιείται για την περιγραφή φαινομένων ή γεγονότων στα οποία εμπεριέχεται κάποια τυχαιότητα. Το πρώτο βήμα είναι η κατανόηση της συμπεριφοράς ενός πραγματικού συστήματος και του σκοπού της μελέτης αυτού έτσι ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία ενός μοντέλου απλού αλλά και αρκετά αληθινού σε σχέση με το πραγματικό σύστημα, έτσι ώστε τα αποτελέσματα από την μελέτη του μοντέλου να είναι αξιόπιστα και ουσιαστικά. Το δεύτερο βήμα είναι η προσεκτική ανάλυση του μοντέλου και ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων. βασικός στόχος σχεδόν κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας είναι η διενέργεια προβλέψεων, δηλαδή η χρήση ενός εκτιμώμενου μοντέλου για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών των μεγεθών. Η πρόβλεψη είναι απαραίτητη γιατί αποτελεί το βασικό εργαλείο για κάθε μελλοντική εξέλιξη και απόφαση. Παράλληλα οι προβλέψεις που γίνονται πρέπει να είναι έγκυρες και όσο πιο κοντά στο μέλλον που θα προκύψει. Η ποιότητα της πρόβλεψης εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν οι πληροφορίες. Έτσι, η ανάγκη για έγκυρες, άρα και πρακτικά χρήσιμες προβλέψεις οδήγησε στην ανάπτυξη πολλών τεχνικών και μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας διαφόρων πρωτογενών πληροφοριών.

Κεφάλαιο 1

1.1 Μοντελοποίηση

Ορισμός

Πολλές φορές για να μελετήσουμε θεωρητικά ένα πραγματικό σύστημα, χρησιμοποιούμε ένα κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό είναι μια προσομοίωση του πραγματικού συστήματος, όπου οι σημαντικές σχέσεις μεταξύ των στοιχείων του έχουν αντικατασταθεί από αντίστοιχες μαθηματικές, ενώ τυχόν μη-σημαντικές έχουν αγνοηθεί. Τα περισσότερα από τα πραγματικά συστήματα είναι στοχαστικά, δηλαδή η λειτουργία τους επηρεάζεται σημαντικά από τον λεγόμενο παράγοντα «τύχη» ή με άλλα λόγια, η μελλοντική συμπεριφορά τους δεν μπορεί να προβλεφθεί επακριβώς, αλλά μόνο πιθανό-θεωρητικά. Οι στοχαστικές ανελίξεις (ακολουθίες ή οικογένειες τυχαίων μεταβλητών) είναι τα κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα (στοχαστικά μοντέλα) για να περιγράψουμε και να μελετήσουμε στοχαστικά συστήματα. Οι ανελίξεις αυτές είναι το δυναμικό μέρος της Θεωρίας Πιθανοτήτων. Η διαδικασία της αναζήτησης του μαθηματικού μοντέλου, ονομάζεται μοντελοποίηση.

Στάδια της μοντελοποίησης

Καταρχήν το πρώτο στάδιο μοντελοποίησης περιλαμβάνει την μορφοποίηση του προβλήματος. Αυτό δηλαδή αναφέρεται στην εξερεύνηση του προβλήματος και στον εντοπισμό των συνθηκών και των προϋποθέσεων που πρέπει να ισχύουν στον πραγματικό κόσμο. Τελικός σκοπός είναι η μαθηματικοποίηση του προβλήματος, δηλαδή το πέρασμα από τον πραγματικό κόσμο στο συμβολικό κόσμο των μαθηματικών.

Αφού εκφραστεί με μαθηματικό τρόπο το πρόβλημα, δηλαδή βρεθεί και σχηματιστεί η κατάλληλη εξίσωση έχουμε το επόμενο στάδιο, το οποίο είναι το στάδιο της επίλυσης του τρέχοντος προβλήματος.

Τέλος έχουμε το στάδιο της εφαρμογής, που στην ουσία περιέχει την ερμηνεία της λύσης του μαθηματικού προβλήματος, την επιβεβαίωση και εξήγηση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων ή των παρατηρήσεων και

τέλος τη διερεύνηση των χρήσεων ενός μοντέλου και σε άλλες περιπτώσεις στην πράξη. Δηλαδή γίνεται διαπίστωση αν το προηγούμενο στάδιο της εύρεσης της λύσης, όντως ισχύει.

Αρχές Μοντελοποίησης

Αρχή της Κατασκευής Μοντέλων: Η λύση που προτείνεται από τον λύτη, απαιτεί την οικοδόμηση μιας συγκεκριμένης περιγραφής, επεξήγησης ή πρόβλεψης για μια συγκεκριμένη μαθηματική κατάσταση. Πρέπει να αναφερθούν τα διαφορετικά είδη μαθηματικών ποσοτήτων, σχέσεων, διαδικασιών και μοτίβων, τα οποία λαμβάνονται υπόψη κατά την οικοδόμηση του μοντέλου.

Αρχή της Πραγματικότητας: Η δραστηριότητα μοντελοποίησης θα πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να μεταφραστεί από λύτες με διαφορετικά επίπεδα μαθηματικής ικανότητας. Επίσης, πρέπει να πρόκειται για δραστηριότητα που να μπορούν να τη συναντήσουν στην καθημερινότητα.

Αρχή της Αυτό-Αξιολόγησης: Η δραστηριότητα μοντελοποίησης πρέπει να περιέχει κριτήρια τα οποία οι λύτες από μόνοι τους μπορούν να προσδιορίσουν και κατά συνέπεια, να αξιολογήσουν και να αναθεωρήσουν τον τρέχοντα τρόπο σκέψης τους.

Αρχή της Τεκμηρίωσης: Οι λύτες πρέπει να ενθαρρύνονται στην πρόταση λύσεων οι οποίες αναδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο σκέφτονται για μια συγκεκριμένη προβληματική κατάσταση.

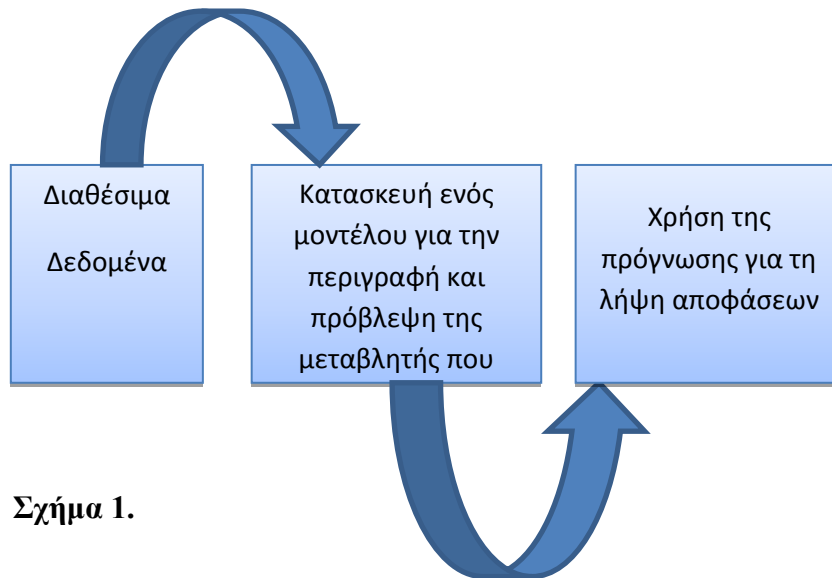
Αρχή της Συμμετοχικής Χρήσης και της Επαναχρησιμοποίησης: Οι λύτες καλούνται να φτάνουν σε λύσεις που μπορούν να μοιραστούν με τους συναδέλφους τους και συνάμα σε γενικά μοντέλα τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιήσουν.

Αρχή του Αποτελεσματικού Προτύπου: Η αρχή αυτή επιβεβαιώνει ότι μια δραστηριότητα μοντελοποίησης είναι όσο το δυνατόν πιο απλή, αλλά συνάμα και όσο το δυνατόν περισσότερης μαθηματικής αξίας.

Είδη Μοντέλων

Ανάλογα με τη φύση της αντικειμενικής συνάρτησης και των περιορισμών τα προβλήματα βελτιστοποίησης κατατάσσονται (Haimes, 1977) σε:

- Γραμμικά-Μη Γραμμικά (linear vs. nonlinear): Ένα γραμμικό μοντέλο αντιπροσωπεύεται μόνον από γραμμικές εξισώσεις, δηλαδή όλοι οι περιορισμοί και η αντικειμενική συνάρτηση είναι γραμμικές συναρτήσεις. Ένα μη-γραμμικό μοντέλο αντιπροσωπεύεται κατά ένα μέρος ή εξ' ολοκλήρου από μη γραμμικές συναρτήσεις.
- Ντετερμινιστικά-Στοχαστικά (deterministic vs. probabilistic/stochastic): Ντετερμινιστικό μοντέλο ή στοιχείο μοντέλου είναι εκείνο για το οποίο σε κάθε μεταβλητή και παράμετρο μπορεί να εκχωρηθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός ή σειρά αριθμών υπό ορισμένες συνθήκες (αίτιο- αποτέλεσμα). Στα στοχαστικά ή πιθανολογικά (probabilistic) μοντέλα εισάγεται η αρχή της αβεβαιότητας. Καμιά από τις μεταβλητές ή τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν οι σχέσεις input-out του συστήματος δεν είναι με ακρίβεια γνωστές.
- Στατικά-Δυναμικά (static vs. dynamic): Στατικά μοντέλα είναι εκείνα στα οποία δεν λαμβάνονται σαφώς υπόψη μεταβλητές που έχουν σχέση με το χρόνο. Τα δυναμικά μοντέλα περιλαμβάνουν διαφοροποιήσεις των παραμέτρων εξόδου ως προς το χρόνο. Τα στατικά προβλήματα βελτιστοποίησης είναι γνωστά και σαν προβλήματα μαθηματικού προγραμματισμού (mathematical programming), ενώ τα δυναμικά είναι γνωστά σαν προβλήματα βέλτιστου έλεγχου (optimal control problems).
- Διανεμημένων-Ενιαίων Παραμέτρων (distributed vs. lumped parameters): Ένα μοντέλο διανεμημένων παραμέτρων λαμβάνει υπόψη τις λεπτομερείς μεταβολές του συστήματος από σημείο σε σημείο. Για ένα μοντέλο ενιαίων παραμέτρων θεωρούμε ότι οι μεταβολές αγνοούνται και οι διάφοροι παράμετροι και εξηρημένες μεταβλητές μπορούν να θεωρηθούν ομογενείς σε ολόκληρο το σύστημα.



Σχήμα 1.

1.2 Παραδείγματα εφαρμογών στοχαστικής πρόβλεψης

- Πρόγνωση κλιματικών αλλαγών
- Πρόβλεψη διαμόρφωσης μελλοντικών κλιματικών χαρακτηριστικών με χρήση γνωστών (τρεχόντων και ιστορικών) πληροφοριών
- Απόφαση για τη λήψη ή μη μέτρων προφύλαξης
- Επιλογή κατάστασης θάλασσας σχεδιασμού
- Πρόβλεψη μεγίστων καταστάσεων θάλασσας που αναμένεται να ξεπεραστούν μια φορά κατά μέσο όρο στα επόμενα 100 χρόνια
- Εκτίμηση σχεδιαστικών παραμέτρων θαλάσσιας κατασκευής
- Εκτίμηση της πιθανότητας πλημμύρας λόγω ανύψωσης της στάθμης ενός ποταμού στα επόμενα n-χρόνια
- Πρόβλεψη της μέγιστης αναμενόμενης στάθμης ενός ποταμού λαμβάνοντας υπόψη κλιματικές αλλαγές όπως βροχοπτώσεις, ξηρασία, έργα απορροής
- Απόφαση για την κατασκευή ή όχι αντιπλημμυρικών έργων προστασίας
- Εκτίμηση της μεσοπρόθεσμης τιμής ταλάντωσης μιας μετοχής

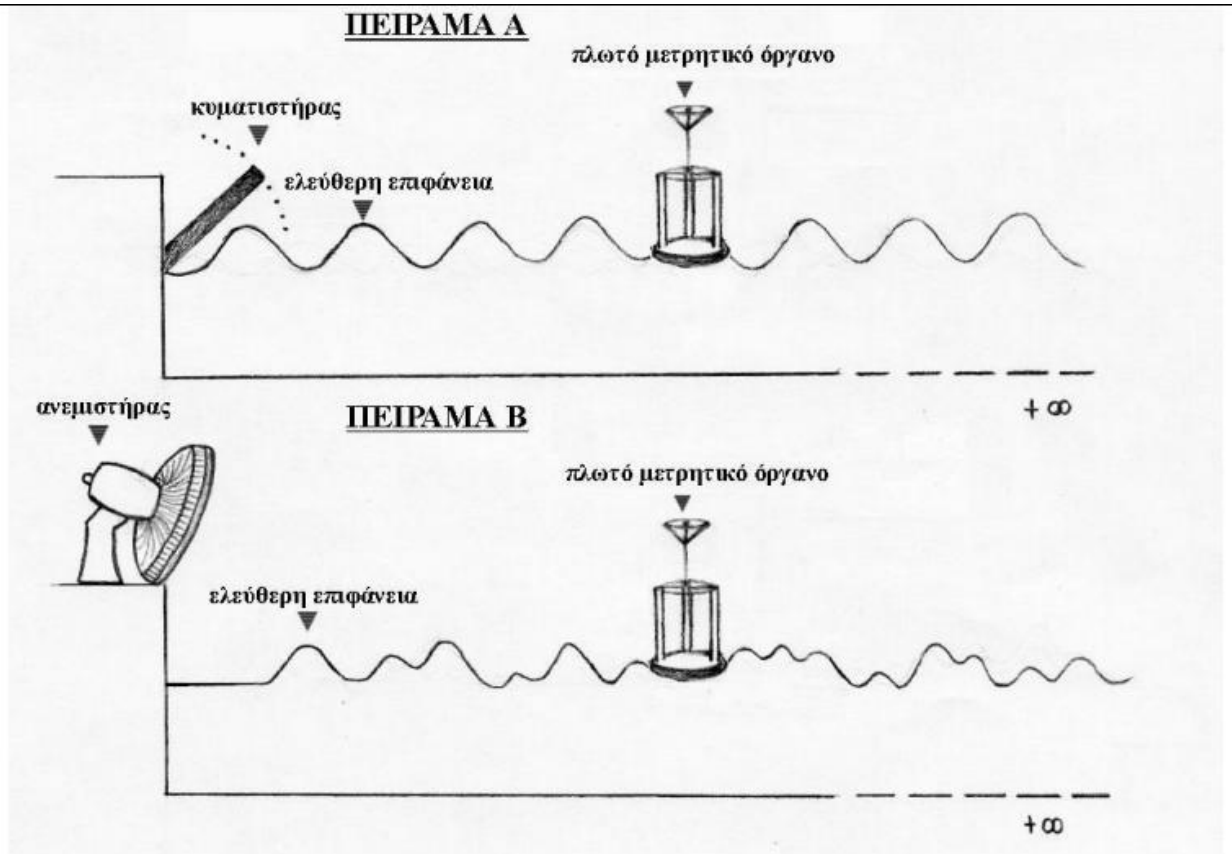
Πρόβλεψη της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της μετοχής λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά του γενικού δείκτη η κάποιων άλλων μετοχών του χρηματιστηρίου Αθηνών .

Απόφαση για την τοποθέτηση σε future stock options.

Στοχαστικότητα είναι η δυνατότητα μοντελοποίησης ενός φαινομένου με χρήση ενός πειράματος τύχης. Οι συνιστώσες ενός πειράματος τύχης είναι ο δειγματικός χώρος, το τυχαίο γεγονός, το μέτρο πιθανότητας. Κάποια πειράματα τύχης είναι επαναλαμβανόμενα αλλά τα περισσότερα δεν είναι. Παράγωγες έννοιες του πειράματος τύχης αποτελούν:

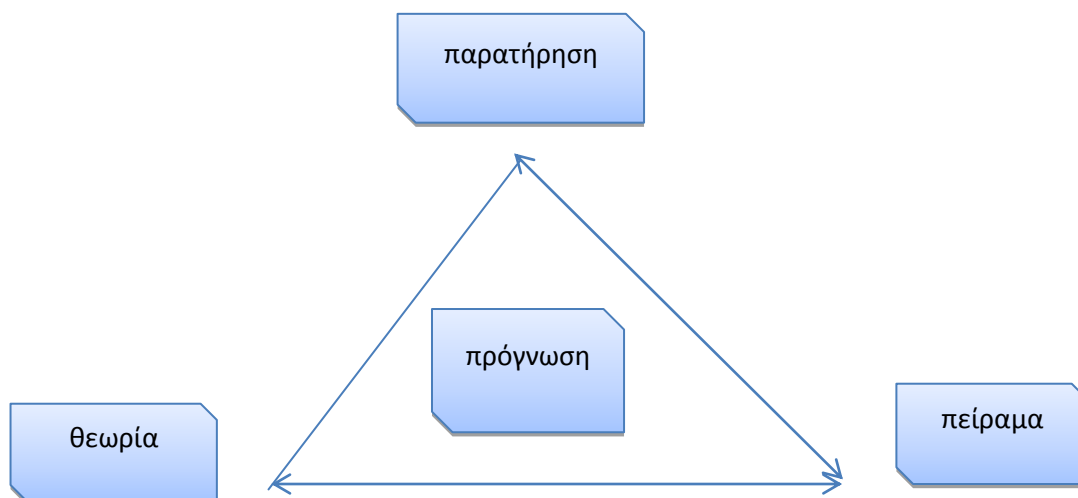
Τα τρία βασικά αξιώματα της θεωρίας πιθανοτήτων.

- Η τυχαία μεταβλητή.
- Η στοχαστική ακολουθία.
- Η στοχαστική διαδικασία (ανέλιξη).
- Το στοχαστικό πεδίο.



Σχήμα 2.

Αλληλεπίδραση παρατήρησης-πειράματος-θεωρίας



Σχήμα 3.

Τα στοχαστικά μεταβαλλόμενα μεγέθη μπορεί να είναι μονό-διάστατα και πολύ-διάστατα. Τα μεγέθη μπορεί να παίρνουν τιμές χωρίς αυτές να εξαρτώνται από μια άλλη μεταβλητή όπως η ρίψη ζαριού ή να εξαρτώνται από μια ή περισσότερες άλλες μεταβλητές οι οποίες είναι συνήθως είτε χρονικές είτε χωρικές. Κύρια δυσκολία είναι τα κλασσικά μαθηματικά τα οποία έχουν πλήρη αντιστοιχία με το στοχαστικό λογισμό, αλλά οι βασικές έννοιες του τελευταίου (μεταβλητή, όριο, ολοκλήρωμα, παράγωγος) και το αντίστοιχο υπόβαθρο είναι εντελώς διαφορετικά.

Όλα τα φαινόμενα μπορούν να μελετηθούν είτε ως στοχαστικά είτε ως μη- στοχαστικά. Αν η κλασσική επιστήμη προβλέπει με 'άπειρη' ακρίβεια τη συμπεριφορά ενός φαινομένου τότε αυτό μελετάται ως ντετερμινιστικό δηλαδή όσες φορές και αν επαναληφθεί το αντίστοιχο πείραμα σε ελεγχόμενες συνθήκες δίνει πάντα το ίδιο αποτέλεσμα. Αν η κλασσική επιστήμη δεν προβλέπει με 'ικανοποιητική' ακρίβεια τη συμπεριφορά ενός φαινομένου τότε αυτό μελετάται ως ντετερμινιστικό, είτε στοχαστικό είτε ως χαοτικό δηλαδή όσες φορές και αν επαναληφτεί το αντίστοιχο πείραμα σε ελεγχόμενες συνθήκες δίνει πάντα σχεδόν το ίδιο αποτέλεσμα. Αν η κλασσική επιστήμη δεν προβλέπει με 'σχετική' ακρίβεια τη συμπεριφορά ενός φαινομένου τότε αυτό μελετάται ως στοχαστικό δηλαδή όσες φορές και αν επαναληφτεί το αντίστοιχο πείραμα σε ελεγχόμενες συνθήκες δεν δίνει πάντα το ίδιο αποτέλεσμα. Τα δυνατά αποτελέσματα όμως, μετά από 'άπειρες και ομοιότροπες επαναλήψεις του πειράματος' παρουσιάζουν στατιστικές κανονικότητες δηλαδή μπορούν να μοντελοποιηθούν ως τυχαίες μεταβλητές, στοχαστικές διαδικασίες μέσω πειραμάτων τύχης. Για παράδειγμα οι επιφανειακοί κυματισμοί μπορούν να μελετηθούν είτε ως χαοτικό είτε ως στοχαστικό είτε ως αιτιοκρατικό φαινόμενο.

2.2 Τα βασικά εργαλεία της στοχαστικής ανάλυσης είναι:

- Η θεωρία των πιθανοτήτων όπως πείραμα τύχης, λογισμός πιθανοτήτων, θεώρημα Bayes, τυχαία μεταβλητή, κατανομές, ροπές.
- Η μαθηματική στατιστική.
- Η εφαρμοσμένη στατιστική όπως ο πληθυσμός και το δείγμα, η εκτίμηση, οι στατιστικοί έλεγχοι, τα γραμμικά μοντέλα.

- Οι στοχαστικές ανελίξεις όπως ο διαφορικός λογισμός, ο ολοκληρωτικός στοχαστικός λογισμός, η στασιμότητα, η εργοδικότητα, η κανονικότητα .
- Η γραμμική και μη γραμμική ανάλυση χρόνο-σειρών.
- Η θεωρία ακραίων τιμών.

2.3 Οι γενικότεροι κανόνες στοχαστικής μοντελοποίησης

Η μελέτη και η καλή γνώση των χρονικών κλιμάκων μεταβλητότητας και προεκβολής. Γενικά, όσο περισσότερα δεδομένα διαθέτουμε για όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τόσο το καλύτερο. Καμία εργασία με ανάλυση παλινδρόμησης δεν ανταποκρίνεται ακριβώς στο αντίστοιχο θεωρητικό υπόβαθρο οπότε δεν θα πρέπει να εμπιστεύεται τυφλά κανείς τα στατιστικά πακέτα εκτός της περίπτωσης της πολύ καλής γνώσης της θεωρίας. Επειδή καμία μέτρηση δεν έχει μηδενικό σφάλμα, μεγάλη ακρίβεια των δεδομένων μας δεν υφίσταται. Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση ομοειδών δεδομένων από διαφορετικές πηγές ή τουλάχιστον να λαμβάνεται υπόψη ότι γενικά χαρακτηρίζονται από διαφορετικά σφάλματα. Αν το προς μελέτη φαινόμενο έχει έννοιες από τη φυσική οι οποίες μας είναι γνωστές θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στη στοχαστική μελέτη, χωρίς όμως να εμπλακεί η φυσική τ΄ου φαινομένου με τους αριθμούς . Τέλος κάθε πρόγνωση που γίνεται σε επίπεδο προεκβολής αφορά μεγέθη που δεν έχουν παρατηρηθεί ακόμα, συνεπώς απαιτούνται ως συνοδευτικά άλλα απαραίτητα αποτελέσματα τουλάχιστον τα σχετικά μέτρα πιθανότητας και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης.

Γενικά, όσο περισσότερα δεδομένα έχουμε προς παρατήρηση τόσο το καλύτερο αφού το πλήθος του δείγματος ενισχύει τη στατική ισχύ των ελέγχων και των στατιστικών συμπερασμάτων άρα και των προβλέψεων. Οι τάσεις, οι περιοδικότητες, η εποχικότητα ακόμα και η κλιματική κλίμακα μεταβολής δηλαδή ο κύκλος ενός φαινομένου μεταβάλλουν σημαντικά τις προγνώσεις αν δεν ληφθούν υπόψη με τον κατάλληλο τρόπο. Τα μακροχρόνια δεδομένα παρέχουν καλύτερη εικόνα των παραπάνω χαρακτηριστικών σε συνδυασμό με την τάξη μεγέθους της κλίμακας μεταβλητότητας. Παρ' όλα αυτά ένα στατικό διάγραμμα συσχέτισης δεν μπορεί να αναδείξει αυτές τις ιδιαιτερότητες και έτσι μπορεί τελικά να είναι αποπροσανατολιστικό. Υπάρχουν πολλά

στατιστικά πακέτα όπως το statistica, e-views, spss, stata ακόμα και add-on στο Excel τα οποία βασίζονται σε διαφορετικές μεθόδους για τη μοντελοποίηση των τυχαίων μεταβλητών. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπάρχει καλή γνώση της αντίστοιχης θεωρίας. Το statustων στατιστικών πακέτων σε θεωρητικό επίπεδο αντανακλάται στο ανοιχτό σύστημα 'R'. Αν η μέτρηση έχει σφάλμα τότε, η εκάστοτε ανάλυση για παράδειγμα της παλινδρόμησης αποκτά τελείως διαφορετική σημασία. Αν τα δεδομένα έχουν διαφορετικά σφάλματα τότε επίσης η ανάλυση παλινδρόμησης γενικεύεται σε ανάλυση δομής (structural analysis) αποφεύγεται η χρήση ομοειδών δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Αν το φαινόμενο έχει γνωστή φυσική γίνεται η προσπάθεια για επιλογή στη στοχαστική μελέτη για παράδειγμα η φυσική του φαινομένου των κυματισμών υπαγορεύει ότι η σχέση που συνδέει το ύψος κύματος με την ταχύτητα του ανέμου είναι στην πραγματικότητα με το τετράγωνο της ταχύτητας του ανέμου. Θα πρέπει όμως να μην εμπλέκονται η φυσική με τους αριθμούς δηλαδή αν η αριθμητική σχέση ανάμεσα στο ύψος κύματος και την ταχύτητα του ανέμου λειτουργεί καλύτερα από στατιστική άποψη, τότε προτιμούμε αυτήν και όχι την αντίστοιχη με το τετράγωνο της ταχύτητας του ανέμου. Κάθε στοχαστική πρόγνωση που γίνεται σε επίπεδο προεκβολής αφορά μεγέθη που δεν έχουν παρατηρηθεί ακόμα. Λόγω αυτής της αβεβαιότητας απαιτούνται τουλάχιστον τα σχετικά μέτρα πιθανότητας και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης.

2.4 Τα βασικά βήματα για τη στοχαστική μοντελοποίηση:

- Πριν από οτιδήποτε άλλο: οπτικοποίηση των δεδομένων. Αν η μια μεταβλητή είναι ο χρόνος (χώρος) τότε πλοτάρετε την χρόνο (χώρο) σειρά. Διαφορετικά το διάγραμμα διασποράς ή το ιστόγραμμα συχνότητας εμφάνισης
- Βασική στατιστική ανάλυση. Η σχέση της μέσης τιμής με την διασπορά και τα 90% ποσοστιαία σημεία συχνά παρέχουν μια εικόνα της κατάστασης
- Η καλή γνώση της συμπεριφοράς του φαινομένου ή των αποτελεσμάτων που προσδοκούμε, καθορίζει τον τρόπο μοντελοποίησης του ως:

-Τυχαία μεταβλητή.

-Στοχαστική ακολουθία.

-Στοχαστική διαδικασία (πεδίο).

- Τα στοχαστικά μοντέλα όμως δεν παρέχουν δυνατότητα πρόγνωσης. Ο μόνος τρόπος είναι να μετασχηματίσουμε τα δεδομένα μας σε μορφή που να επιτρέπει την μοντελοποίηση τους και στη συνέχεια την πρόγνωση λόγου χάρη:

-Στην ανάλυση χρόνο-σειρών απαιτείται να είναι στάσιμο το βασικό φαινόμενο

-Στην πρόβλεψη ακραίων τιμών απαιτείται τα δεδομένα μας να αντιστοιχούν σε στατιστικά ανεξάρτητες μεταβλητές (στην πράξη είναι πολύ σπάνιο).

- Αν η διαδοχή στο χρόνο έχει σημασία χρειάζονται δυναμικά στοχαστικά μοντέλα όπως ανάλυση χρόνο-σειρών, ανάλυση ακραίων τιμών με μεταβλητές χρονικά παραμέτρους.
- Αν ο χρόνος δεν έχει σημασία απαιτούνται στατικά μοντέλα δηλαδή κλασσική στατιστική, π.χ.: ανάλυση παλινδρόμησης, ανάλυση ακραίων τιμών.
- Η πρόβλεψη ακραίων τιμών μπορεί να γίνει με δυναμικό ή στατικό τρόπο .
- Η προεκβολή δεν μπορεί να ξεπερνά το διπλάσιο διάστημα αναφοράς των δεδομένων. Στην πράξη η προεκβολή ξεπερνά το δεκαπλάσιο διάστημα αναφοράς.
- Η προεκβολή δεν έχει τέτοιους περιορισμούς (εκτός από την εμφάνιση erroneous values ή outliers).
- Τα παραγόμενα αποτελέσματα δεν είναι 'ακριβή' σχετίζονται πάντοτε με ένα μέτρο πιθανότητας. Αυτό πρέπει να αντανακλάται οπωσδήποτε στην ανάλυση μέσω της χρήσης διαστημάτων εμπιστοσύνης.

2.5 Τα βασικά αποτελέσματα για τη στοχαστική μοντελοποίηση:

- Η περιγραφή με πιθανό-θεωρητικούς νόμους της συμπεριφοράς μιας τυχαίας μεταβλητής (αθροιστική συνάρτηση κατανομής και συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας). Η πρόβλεψη αφορά απλά

στο συσχετισμό μιας συγκεκριμένης τιμής με την πιθανότητα εμφάνισης της.

- Η περιγραφή με n - διάστατους πιθανό-θεωρητικούς νόμους της συμπεριφοράς μιας τυχαίας μεταβαλλόμενης στο χώρο η το χρόνο ποσότητας. Η πρόβλεψη αφορά το συσχετισμό μιας συγκεκριμένης τιμής με την πιθανότητα εμφάνισης της σε δεδομένη χρονική στιγμή η δεδομένη θέση στο χώρο η και τα δυο.

Κεφάλαιο 2

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά σε κάποια συγκεκριμένα μοντέλα τα οποία ανήκουν κυρίως σε δύο κατηγορίες τα περιβαλλοντολογικά και τα αυτό-παλίνδρομα μοντέλα

2.1 Αυτό-παλίνδρομα Μοντέλα

ARMA (p,q) (Autoregressive Moving Average Processes)

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

Τα διανυσματικά αυτό-παλίνδρομα μοντέλα κινούμενου μέσου όρου (VARMA) είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιημένα μοντέλα για την πρόβλεψη μακροοικονομικών ή/και χρηματοοικονομικών χρόνο-σειρών. Είναι ευρέως γνωστό, ότι κάθε μια από τις συνιστώσες μεταβλητές ενός VARMA μοντέλου έχει μια “ισοδύναμη” μόνο- μεταβλητή αυτό-παλίνδρομα κινούμενου μέσου όρου (ARMA) παραμετροποίηση. Είναι αρκετά συχνό φαινόμενο οι εμπειρικοί ερευνητές να χρησιμοποιούν τα μόνο- μεταβλητά μοντέλα για να προβλέψουν τη μεταβλητή ενδιαφέροντος, αγνοώντας κατά συνέπεια τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος. Επομένως, θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί η σχετική προβλεπτική απόδοση των εναλλακτικών μοντέλων (μόνο- μεταβλητά και πολύ-μεταβλητά αυτό-παλίνδρομα μοντέλα). Η ερώτηση που τίθεται είναι εάν μια καλύτερη πρόβλεψη (δηλαδή πιο ακριβής από την άποψη ενός ειδικού κριτηρίου) της μεταβλητής ενδιαφέροντος λαμβάνεται με τη χρησιμοποίηση μόνο του παρελθόντος της (στα πλαίσια ενός μόνο- μεταβλητού μοντέλου) ή με τη χρησιμοποίηση του συνόλου των μεταβλητών του συστήματος (στα πλαίσια ενός πολύ-μεταβλητού μοντέλου). Γενικά, αναμένεται ότι το πολύ- μεταβλητού μοντέλο πρέπει να αποδώσει καλύτερα, δεδομένου ότι περιέχει τουλάχιστον τόσο πολλές πληροφορίες όσες και το μόνο-μεταβλητό μοντέλο και μια γενική αρχή λέει ότι ο ερευνητής δεν πρέπει να πετύχει λιγότερα με περισσότερες πληροφορίες. Σε πολλές περιπτώσεις, η α-συμπωτική θεωρία κατορθώνει να συγκρίνει τις δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις. Στην πράξη, η εκτίμηση και η πρόβλεψη της μεταβλητής ενδιαφέροντος εκτελούνται με τη χρησιμοποίηση ενός πεπερασμένου δείγματος, το οποίο μπορεί να είναι πολύ μικρό σε μερικές περιπτώσεις. Κατά συνέπεια, η ισχύς των α-συμπωτικών

αποτελεσμάτων πρέπει να εξεταστεί όταν χρησιμοποιούνται πεπερασμένα δείγματα για την εκτίμηση των μοντέλων. Αυτό το κεφάλαιο συγκρίνει την προβλεπτική ικανότητα ενός δι- μεταβλητού, στάσιμου, αυτό-παλίνδρομου μοντέλου μηδενικού μέσου (VAR(1) μοντέλο) με τις αντίστοιχες μόνο-μεταβλητές ARMA(2,1) παραμετροποιήσεις για κάθε μια από τις δύο συνιστώσες μεταβλητές. Εστιάζουμε κυρίως στην πρόβλεψη της πρώτης μεταβλητής της στοχαστικής διαδικασίας (αυτή είναι η μεταβλητή ενδιαφέροντος για αυτό το κεφάλαιο). Καταρχήν, υπολογίζουμε τη μόνο- μεταβλητή παραμετροποίηση της μεταβλητής ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια εξετάζεται η σχετική προβλεπτική ικανότητα των δύο εναλλακτικών παραμετροποιήσεων στις περιπτώσεις όπου οι παράμετροι των μοντέλων είναι γνωστές. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) των προβλέψεων χρησιμοποιείται ως μέτρο της ακρίβειας. Επιπλέον, όταν οι παράμετροι του VAR(1) είναι άγνωστες και πρέπει να εκτιμηθούν, η α-συμπωτική θεωρία χρησιμοποιείται για να συγκρίνει τη σχετική προβλεπτική απόδοση των δύο μοντέλων. Τέλος, η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo εφαρμόζεται για να ερευνηθεί η συμπεριφορά των μοντέλων σε πεπερασμένα δείγματα. Παράγονται μια σειρά από εναλλακτικές στοχαστικές διαδικασίες και πέντε διαφορετικά μεγέθη δείγματος και τέσσερις διαφορετικοί ορίζοντες πρόβλεψης εξετάζονται. Επιπλέον, το πείραμα Monte Carlo χρησιμοποιείται για να εξετάσει τη δυνατότητα των τριών πιο ευρέως χρησιμοποιημένων κριτηρίων επιλογής μοντέλων (δηλ. AIC (Akaike, 1974), SIC (Schwarz, 1978) και HQ (Hannan και Quinn, 1979, Quinn, 1980)) να επιλέξουν το σωστό μοντέλο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν οι παράμετροι του συστήματος είναι γνωστές, το VAR(1) μοντέλο δίνει καλύτερες προβλέψεις από το ARMA (2,1) μοντέλο σε όλες τις περιπτώσεις. Τα δύο μοντέλα γίνονται ισοδύναμα από την άποψη της πρόβλεψης της πρώτης συνιστώσας της στοχαστικής διαδικασίας, μόνο όταν δεν υπάρχει σχέση αιτιότητας κατά Granger από τη δεύτερη μεταβλητή του συστήματος προς τη μεταβλητή ενδιαφέροντος. Στην περίπτωση των άγνωστων και επομένως εκτιμημένων παραμέτρων, το VAR(1) μοντέλο παραμένει βέλτιστο για να προβλέψει τη μεταβλητή ενδιαφέροντος α- συμπωτικά, εκτός αν δεν υπάρχει καμία αιτιότητα κατά Granger από τη δεύτερη μεταβλητή του συστήματος προς τη μεταβλητή ενδιαφέροντος. Σε αυτή την περίπτωση, το μόνο- μμεταβλητό μοντέλο μπορεί να είναι ανώτερο. Τέλος, το

πείραμα Monte Carlo δείχνει ότι το VAR(1) μοντέλο είναι καλύτερο από το ARMA (2,1) μμοντέλο σε όλες τις περιπτώσεις, τόσο για τις βραχυπρόθεσμες όσο και για τις μακροπρόθεσμες προβλέψεις. Η απόδοση του μόνο- μεταβλητού μοντέλου είναι πολύ κακή, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μικρά δείγματα για την εκτίμηση των μοντέλων. Όσον αφορά στα κριτήρια επιλογής μοντέλων, το SIC συμπεριφέρεται καλύτερα από το AIC και το HQ, με το AIC όντας το χειρότερο κριτήριο δεδομένου ότι οδηγεί συχνά σε μοντέλα με επιπλέον όρους (overspecified models). Επιπλέον, η προσομοίωση διευκρινίζει ότι ένα “overspecified” μοντέλο οδηγεί πάντα σε χειρότερες προβλέψεις από το σωστό μοντέλο. Αφ' ετέρου, ένα “underspecified” μοντέλο μπορεί να δώσει καλύτερες προβλέψεις από το σωστό μοντέλο για μερικές ιδιαίτερες περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

Γενικά, η συνάρτηση αυτό-συσχετίσεως μιας ARMA (p,q) διαδικασίας θα συμπεριφέρεται όπως αυτή μιας AR (First Order Autoregressive Model) (p) διαδικασία, ενώ η συνάρτηση μερικής αυτό-συσχετίσεως θα συμπεριφέρεται όπως αυτή μιας MA(q) διαδικασίας για $k > q - p$. Συνοπτικά όλα τα παραπάνω και για τις σχέσεις των συναρτήσεων αυτό-συσχετίσεως και μερικής αυτό-συσχετίσεως μεταξύ των στάσιμων χρονολογικών σειρών φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

Διαδικασία	Συνάρτηση Αυτόσυσχετίσεως ρ_k	Συνάρτηση Μερικής Αυτόσυσχετίσεως φ_{kk}
Λευκός Θόρυβος	Μηδέν	Μηδέν
AR(p)	Φθίνει εκθετικά ή φθίνει ακλουθώντας ημιτονοειδή συμπεριφορά	Μηδενίζεται μετά από p υστερήσεις
MA(q)	Μηδενίζεται μετά από p υστερήσεις	Φθίνει εκθετικά
ARMA(p,q)	Φθίνει εκθετικά	Φθίνει εκθετικά

Πίνακας 1.

Έτσι, όπως γίνεται φανερό, για τον προσδιορισμό μοντέλου, χρησιμοποιούνται και οι μερικές δειγματικές αυτό-συσχετίσεις, με την βοήθεια των οποίων ορίζεται το είδος και η τάξη του προτεινόμενου μοντέλου. Βέβαια πάντα πρέπει να γίνεται η προσπάθεια για κατάληξη σε μοντέλα με μικρή τάξη.

Τέλος, για MA (Order Moving Average Model) (q) διαδικασίες η δειγματική συνάρτηση αυτό-συσχέτισης σταματά να είναι σημαντική από την υστέρηση $k > q$. Ενώ, για AR (p) διαδικασίες η δειγματική συνάρτηση αυτό-συσχέτισης ελαττώνεται ομαλά, ενώ η δειγματική συνάρτηση μερικής αυτό-συσχέτισης σταματά να είναι σημαντική από την υστέρηση $k > q$. Έτσι, όπως γίνεται αντιληπτό, οι δειγματικές αυτό-συσχετίσεις και οι μερικές αυτό-συσχετίσεις μαρτυρούν την ταυτότητα των αντιστοιχών πληθυσμιακών (θεωρητικών). Ξαναγυρίζοντας στις μεικτές διαδικασίες, μια ARMA (p, q) διαδικασία είναι στάσιμη όταν οι ρίζες του AR πολυωνύμου είναι έξω από τον μοναδιαίο κύκλο και αντιστρέψιμη όταν οι ρίζες του MA πολυωνύμου είναι έξω από τον μοναδιαίο κύκλο. Μπορεί, όπως ήδη έχει δείχτει, μια ARMA διαδικασία να γραφεί ως μια καθαρά MA διαδικασία ή μια AR διαδικασία. Η διαφορά είναι ότι χρειάζεται μια υψηλής τάξεως MA διαδικασία από ότι με μια AR διαδικασία, δηλαδή απαιτεί περισσότερους συντελεστές. Έτσι, γίνεται φανερό, η 'οικονομία' που επιτυγχάνεται με την χρήση των μεικτών διαδικασιών. Για παράδειγμα, μια ARMA(1,1) διαδικασία μπορεί να γραφεί ως μια MA(∞). Επίσης, στην συνάρτηση αυτό-συσχέτισης υπεισέρχεται ο συντελεστής από την MA(1) διαδικασία αλλά μόνο για την αυτό-συσχέτιση πρώτης τάξης (ρ_1). Οι υπόλοιπες αυτό-συσχετίσεις εξαρτώνται μόνο από το αυτό-παλίνδρομο μέρος.

FS-TAR/TARMA (Functional Series Time-Dependent Auto-Regressive Moving Average)

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η διατριβή αφορά στη μοντελοποίηση μη-στάσιμων τυχαίων ταλαντώσεων επί τη βάση μετρήσεων του σήματος της ταλάντωσης, μέσω μοντέλων FS-TAR/TARMA. Οι στόχοι της διατριβής περιλαμβάνουν την αποτίμηση της εφαρμοσιμότητας των μεθόδων FS-TAR/TARMA για την μοντελοποίηση και ανάλυση της

ταλάντωσης χρονικά μεταβαλλόμενων κατασκευών, καθώς και τη σύγκρισή τους με εναλλακτικές παραμετρικές μεθόδους του πεδίου του χρόνου. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται και στην αντιμετώπιση θεμάτων που σχετίζονται με την εκτίμηση μοντέλων FS-TAR/TARMA, καθώς και στην θεωρητική α -συμπωτική ανάλυση των ιδιοτήτων των εκτιμητριών που χρησιμοποιούνται. Η διατριβή αρχικά παρουσιάζει μια συγκριτική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας στο θέμα της μοντελοποίησης μη-στάσιμων ταλαντώσεων μέσω παραμετρικών μεθόδων του πεδίου του χρόνου, η οποία και επιδεικνύει τα πλεονεκτήματα των μεθόδων FS-TAR/TARMA. Στη συνέχεια αντιμετωπίζεται μια σειρά προβλημάτων που εμφανίζονται κατά την εκτίμηση (των παραμέτρων) και την επιλογή της δομής του μοντέλου. Η αποτελεσματικότητα των μεθόδων FS-TAR/TARMA για την μοντελοποίηση και ανάλυση μη-στάσιμων ταλαντώσεων επιδεικνύεται και πειραματικά μέσω εφαρμογής στην οποία πραγματοποιείται επιτυχής εξαγωγή των δυναμικών χαρακτηριστικών μιας εργαστηριακής χρονικά μεταβαλλόμενης κατασκευής. Στη συνέχεια, η διατριβή εστιάζει στην αναζήτηση ακριβέστερων εκτιμητριών, καθώς και στην α -συμπωτική ανάλυση των ιδιοτήτων των εκτιμητριών «γενικών» (όχι αναγκαστικά περιοδικά μεταβαλλόμενων) μοντέλων FS-TAR/TARMA. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι περιπτώσεις των εκτιμητριών σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων [Weighted Least Squares (WLS)], μέγιστης πιθανοφάνειας [Maximum Likelihood (ML)], καθώς και μια εκτιμήτρια πολλαπλών σταδίων [Multi Stage (MS)], η οποία αναπτύσσεται στην παρούσα διατριβή και είναι α -συμπωτικά ισοδύναμη με την εκτιμήτρια ML ενώ ταυτόχρονα χαρακτηρίζεται από μειωμένη υπολογιστική πολυπλοκότητα. Στη διατριβή αποδεικνύεται η συνέπεια (consistency) των εκτιμητριών αυτών και εξάγεται η α -συμπωτική κατανομή (asymptotic distribution) τους. Παράλληλα, αναπτύσσεται μια συνεπής εκτιμήτρια του α -συμπωτικού πίνακα συν-διασποράς και μια μέθοδος για τον έλεγχο εγκυρότητας των μοντέλων FS-TAR/TARMA. Η ορθότητα των αποτελεσμάτων της α -συμπωτικής ανάλυσης επιβεβαιώνεται μέσω μελετών Monte Carlo. Βάσει των παραπάνω, τα κύρια χαρακτηριστικά των μοντέλων FS-TARMA μπορούν να συνοψισθούν ως εξής: Είναι στοχαστικά παραμετρικά μοντέλα συγκεντρωμένων παραμέτρων Στοχαστικά καθώς περιλαμβάνουν τυχαίες μεταβλητές, οι οποίες αντικατοπτρίζουν τους συντελεστές αβεβαιότητας που υπάρχουν στα

σήματα ταλάντωσης και καθιστούν αδύνατη την ακριβή πρόβλεψη της απόκρισης των υπό μοντελοποίηση συστημάτων, και συγκεντρωμένων παραμέτρων κα πως περιγράφονται από πεπερασμένο αριθμό εξισώσεων διαφορών. • Είναι μοντέλα διακριτού χρόνου καθώς αναπαριστούν το ταλαντωτικό σήμα σε διακριτές χρονικές στιγμές (για παράδειγμα $t = 1, 2, \dots, N$), μέσω ενός σχετικά μικρού αριθμού παραμέτρων. Είναι γραμμικά μοντέλα απόκρισης, καθώς αναπαριστούν τα ταλαντωτικά σήματα μέσω γραμμικών σχέσεων που συμπεριλαμβάνουν παρελθοντικές τιμές μόνο των σημάτων απόκρισης και τυχαίων μεταβλητών. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε FS-TARMA μοντέλα παρουσιάζουν ένα πλήθος επιθυμητών ιδιοτήτων όπως [Poulimenos and Fassois, 2006, Conforto and D'Alessio, 1999b, Ben Mrad et al., 1998b, Petsounis and Fassois, 2000, Fouskitakis and Fassois, 2001, Niedzwiecki, 2000]:

- Επιβάλλουν την μέγιστη «δομή» στην εξέλιξη των παραμέτρων επιτυγχάνοντας υψηλό βαθμό οικονομίας παραμετροποίησης,
- είναι ικανές να ανιχνεύουν τόσο ομαλές/αργές όσο και απότομες/γρήγορες μεταβολές των παραμέτρων μέσω της κατάλληλης επιλογής των συναρτήσεων βάσης, και
- επιτυγχάνουν υψηλή ακρίβεια μμοντελοποίησης και ανάλυσης των αναπαραστάσεων των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής.

Πράγματι, οι μέθοδοι της αδόμητης εξέλιξης αποτυγχάνουν να μοντελοποιήσουν τα μεταβατικά φαινόμενα των μη-στάσιμων ταλαντώσεων και είναι κατάλληλες για την περιγραφή κυρίως «αργών» μεταβολών των χαρακτηριστικών του σήματος, απαιτούν συμβιβασμό μεταξύ της δυνατότητας ανίχνευσης και της επιτυγχανόμενης ακρίβειας, και δεν οδηγούν σε οικονομικές αναπαραστάσεις. Οι μέθοδοι της στοχαστικής εξέλιξης, από την άλλη μεριά προσφέρουν αυξημένη οικονομία, αλλά είναι κατάλληλες κυρίως για την περιγραφή στοχαστικών μεταβολών των χαρακτηριστικών του συστήματος. Τα πλεονεκτήματα των μοντέλων FS-TARMA έναντι εναλλακτικών μη-στάσιμων μοντέλων έχουν μάλιστα δειχθεί μέσω συγκριτικής μελέτης επί την βάση Monte Carlo πειραμάτων [Poulimenos and Fassois, 2006] αν και έως σήμερα τα αποτελέσματα αυτά δεν έχουν επιβεβαιωθεί από

πειραματική μελέτη. Τα μοντέλα FS-TARMA έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και την εξέλιξη της μη-στάσιμης στοχαστικής μοντελοποίησης σημάτων τα τελευταία σαράντα χρόνια. Τα συναρτησιακά μμοντέλα, στην απλούστερη μορφή των μοντέλων αυτό-παλινδρόμησης TAR εισήχθησαν το 1970 από τον Rao [Rao, 1970]. FS-TAR μοντέλα με παραμέτρους που ανήκουν σε υπό-χώρους πολυωνυμικών συναρτήσεων Legendre χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά εντός του πλαισίου της μοντελοποίησης και προσομοίωσης στοχαστικών σημάτων ταλάντωσης, και πιο συγκεκριμένα σειсмоγραφημάτων, σε άρθρο του Kozin το 1977 [Kozin, 1977]. Ωστόσο, τα συναρτησιακά μοντέλα δεν βρήκαν μεγάλη απήχηση στην διεθνή επιστημονική κοινότητα πριν τις αρχές της δεκαετίας του 1980, οπότε και πλήθος ερευνητών ξεκίνησε να μελετά τις ιδιότητες τους και να εξετάζει την ικανότητα τους για ακριβή μ, Clergeot, 1984, Charbonnier et al., 1987, Niedźwiecki, 1988]. Έκτοτε, τα μοντέλα FS-TAR/TARMA έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές γύρω από την δυναμική ανάλυση κατασκευών μέσω σημάτων ταλάντωσης, όπως για την ταλαντωτική ανάλυση περιστρεφόμενων μηχανών [Bardou and Sidahmed, 1994, Conforto and D'Alessio, 1999b, Zhang et al., 2010a], την μοντελοποίηση και την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας σε σύστημα ενεργητικής ανάρτησης αυτοκινήτου [Ben Mrad et al., 1998b], την μοντελοποίηση και την ανάλυση προσομοιωμένης ταλάντωσης ρομποτικού μηχανισμού [Petsounis and Fassois, 2000], και την μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση πρότυπης εργαστηριακής κατασκευής η οποία αναπαριστά σύστημα γέφυρας με βαρύ κινούμενο όχημα επί αυτής [Poulimenos and Fassois, 2009b] Παρ όλα αυτά, η πλειοψηφία των εργασιών που εξετάζουν ή εφαρμόζουν FS-TARMA μοντέλα περιορίζονται στην απλή βαθμωτή περίπτωση και την μοντελοποίηση μέσω ενός μόνο σήματος ταλάντωσης. Αν και η περίπτωση μοντελοποίησης πολλαπλών σημάτων ταλαντωτικής απόκρισης (διανυσματική ή πολύ-μεταβλητή) περίπτωση είναι πολύ πιο σημαντική από πρακτικής σκοπιάς, έως σήμερα έχει τύχει περιορισμένης προσοχής. Εν γένει, η διανυσματική αναγνώριση μπορεί να οδηγήσει σε πιο πλήρεις αναπαραστάσεις, μικρότερους χρόνους λήψης δεδομένων και χρόνων επεξεργασίας και επίσης αυξημένη ακρίβεια των μορφικών παραμέτρων [Fassois, 2001b]. Αν και η υποκατηγορία των διανυσματικών μ-μοντέλων FS-TAR έχει χρησιμοποιηθεί σε ένα γενικότερο πλαίσιο από τους Gersch and

Kitagawa [Gersch and Kitagawa, 1982] και τον Sato και τους συνεργάτες του [Sato et al., 2007] για την μοντελοποίηση και ανάλυση οικονομετρικών και βίο-ιατρικών χρόνο-σειρών αντίστοιχα, η περίπτωση των πληρέστερων διανυσματικών μ-μοντέλων FS-TARMA δεν έχει θωρηθεί έως σήμερα. Σχετικά με το πρόβλημα της επιλογής της δομής των μοντέλων FS-TARMA, και παρότι η σημαντικότερα του προβλήματος της επιλογής των κατάλληλων συναρτησιακών υπό-χώρων είχε υπογραμμιστεί σε πάρα πολλές δημοσιεύσεις από τα πρώτα χρόνια της ιστορίας των μοντέλων FS-TARMA, μόλις το 1993 οι Tsatsanis και Giannakis παρουσίασαν ένα πλήρες σχήμα για την επιλογή της δομής των μοντέλων βασισμένο στην έννοια της οπισθοδρομικής παλινδρόμησης [Tsatsanis and Giannakis, 1993]. Πιο συστηματική διερεύνηση του ζητήματος έχει λάβει χώρα την τελευταία δεκαετία. Για παράδειγμα, ένα απλοποιημένο σχήμα βασιζόμενο στην οπισθοδρομική παλινδρόμηση έχει προταθεί από τους Poulimenos και Fassois [Poulimenos and Fassois, 2003b] ενώ μια διαδικασία βασισμένη στην πρόσω παλινδρόμηση (forward regression) και την ορθογωνοποίηση κατά Gram-Schmidt έχει επίσης προταθεί από τους Wei και Billings [Wei and Billings, 2002]. Τέλος, πρόσφατα έχει προταθεί μια πιο αυτοματοποιημένη διαδικασία η οποία βασίζεται σε σχήμα βελτιστοποίησης ακεραίων και γενετικούς αλγορίθμους [Poulimenos and Fassois, 2003a]. Προφανώς, πέρα από την μέθοδο επιλογής της δομής του μοντέλου, η επιλογή της οικογένειας των συναρτήσεων βάσης για την προβολή των χρονικά μεταβαλλόμενων παραμέτρων ενός συναρτησιακού μοντέλου είναι επίσης κρίσιμης σημασίας. Οι βάσεις που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία περιλαμβάνουν πολυωνυμικές συναρτήσεις βάσης όπως Chebyshev [Fouskitakis and Fassois, 2002] και Legendre [Kozi, 1977, grenier, 1983b] τριγωνομετρικές συναρτήσεις βάσης [Petsounis and Fassois, 2000, Poulimenos and Fassois 2009a], διάφορες οικογένειες κυματιδίων [Tsatsanis and Giannakis, 1993, Li et al., 2011] και άλλες. Πρόσφατα, έχουν επίσης προταθεί μέθοδοι για την ταυτόχρονη χρήση δύο ή περισσότερων οικογενειών συναρτήσεων βάσης οι οποίες στοχεύουν στον συνδυασμό των ετερόκλητων χαρακτηριστικών τους σε περιπτώσεις με μεταβολές των χρονικά μεταβαλλόμενων παραμέτρων που περιλαμβάνουν συνδυασμό ομαλών και απότομων μεταβολών κατά την διάρκεια του πειράματος [Chon et al., 2005, Li et al., 2011]. Ωστόσο, το κοινό χαρακτηριστικό όλων των

προαναφερθέντων μελετών είναι ότι οι συναρτησιακοί υπό-χώροι τους οποίους θεωρούν, όπως κι αν αυτοί επιλέγονται, αποτελούνται πάντα από συναρτήσεις βάσης προκαθορισμένης μορφής, επιλεγμένων από ένα επίσης προκαθορισμένο σύνολο συναρτήσεων. Συνεπώς, η ακρίβεια της περιγραφής των δεδομένων είναι συνάρτηση της επιλεγμένης οικογένειας συναρτήσεων βάσης. Τέλος, όπως ήδη αναφέρθηκε ένας από τους σημαντικότερους τομείς στους οποίους βρίσκουν πρακτική εφαρμογή τα παραμετρικά μοντέλα κατασκευών είναι η διάγνωση βλαβών, η οποία είναι κρίσιμης σημασίας για λόγους που σχετίζονται τόσο με την ασφάλεια λειτουργίας όσο και το κόστος συντήρησης των κατασκευών. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην ανάπτυξη μεθόδων που βασίζονται σε μοντέλα τα οποία έχουν αναγνωριστεί επί τη βάση σημάτων ταλάντωσης. Ωστόσο, η ραγδαία εξέλιξη τέτοιων μεθόδων για την διάγνωση βλαβών σε στάσιμες κατασκευές δεν έχει ακολουθηθεί από αντίστοιχη εξέλιξη στην περίπτωση των εγγενώς μη-στάσιμων κατασκευών. Έως σήμερα μόνο ένας μικρός αριθμός εργασιών έχει παρουσιαστεί στην διεθνή βιβλιογραφία επί του θέματος. Για παράδειγμα ένα στατιστικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων το οποίο χρησιμοποιεί την ακολουθία των υπολοίπων ενός χρονικά μεταβαλλόμενου συναρτησιακού μοντέλου αυτό-παλινδρόμησης με εξωγενή διέγερση FS-TARX έχει εφαρμοστεί για την διάγνωση βλάβης στην εργαστηριακή προαναφερθείσα κατασκευή που προσομοιάζει την αλληλεπίδραση γέφυρας με βαρύ κινούμενο όχημα επί αυτής [Roulimenos and Fassois 2004b]. Επίσης, για την αποτίμηση της επίδρασης βλάβης στα μορφικά χαρακτηριστικά ενός ενισχυμένου πλαισίου σκυροδέματος έχει εφαρμοστεί μοντελοποίηση FS-TARX σε δεδομένα ταλάντωσης από τον Huang και τους συνεργάτες του [Huang et al., 2009]. . Εντούτοις, το κύριο μειονέκτημα των εργασιών που έχουν παρουσιασθεί έως σήμερα είναι ότι χρησιμοποιούν μοντέλα εισόδου-εξόδου, και έτσι απαιτούν πρόσβαση στην διέγερση της κατασκευής για την εφαρμογή τους. Τέτοια πληροφορία όμως συνήθως δεν είναι διαθέσιμη σε πρακτικές εφαρμογές. Λαβαίνοντας υπόψη τα παραπάνω, ως βασικός στόχος της παρούσας διατριβής ορίζεται η ανάπτυξη εξελιγμένων μεθόδων μοντελοποίησης FS-TARMA οι οποίες θα προσφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στις υπάρχουσες προσεγγίσεις και θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων που σχετίζονται τόσο με την αναγνώριση των δυναμικών χαρακτηριστικών

όσο και την διάγνωση βλαβών σε μη-στάσιμες κατασκευές. Πιο συγκεκριμένα, η διατριβή αυτή επικεντρώνεται στο πρόβλημα της βέλτιστης εκτίμησης των συναρτησιακών υπό-χώρων FS-TARMA μοντέλων, την μη-στάσιμη αναγνώριση κατασκευών επί τη βάση πολύ-μεταβλητών μετρήσεων ταλαντευτικής απόκρισης καθώς και την ανάπτυξη μια στατιστικής μεθόδου για την αποτελεσματική λύση του προβλήματος της διάγνωσης βλαβών σε εγγενώς μη-στάσιμες κατασκευές.

Συνοψίζοντας, οι συγκεκριμένοι στόχοι μπορούν να περιγραφούν ως ακολούθως:

- Πειραματική αποτίμηση και σύγκριση των κυριότερων μεθόδων στοχαστικής μοντελοποίησης μη-στάσιμων κυμάτων ταλάντωσης μέσω της εφαρμογής τους για την αναγνώριση μιας προτύπου εργαστηριακής κατασκευής. Περιγραφή των κυριότερων χαρακτηριστικών των μεθόδων και της εφαρμοσιμότητας τους, καθώς και διερεύνηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους.
- Η ανάπτυξη μιας διανυσματικής (πολύ-μεταβλητής) μεθόδου εκτίμησης μοντέλων FS-TARMA για την αναγνώριση των δυναμικών χαρακτηριστικών κατασκευών μέσα από διανυσματικά σήματα απόκρισης της ταλάντωσης. Ανάπτυξη αποδοτικών εργαλείων τόσο για το πρόβλημα εκτίμησης των παραμέτρων όσο και της επιλογής της δομής του μοντέλου. Αποτίμηση της μεθόδου μέσω εφαρμογής της για την αναγνώριση χρονικά μεταβαλλόμενης εργαστηριακής κατασκευής που προσομοιάζει κατασκευή γέφυρας με κινούμενο όχημα επί αυτής.
- Η εισαγωγή μιας καινοτόμου τάξης προσαρμόσιμων AFS-TARMA μοντέλων και η ανάπτυξη κατάλληλης μεθόδου για την αποτελεσματική εκτίμηση τους. Τα μοντέλα AFS-TARMA είναι προσαρμόσιμα υπό την έννοια ότι δεν βασίζονται συναρτήσεις βάσης προκαθορισμένης μορφής, αλλά αντιθέτως, χρησιμοποιούν συναρτήσεις βάσης με εκ των προτέρων άγνωστες ιδιότητες και οι οποίες μπορούν να προσαρμοστούν στα χαρακτηριστικά συγκεκριμένου στοχαστικού σήματος. Διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου μέσω της εφαρμογής της σε

αριθμητικές και πειραματικές μελέτες και συγκρίσεις με υπάρχουσες μη-στάσιμες μεθόδους αναγνώρισης σημάτων.

- Η παρουσίαση για πρώτη φορά μιας διεξοδικής επισκόπησης των μοντέλων FS-TARMA η οποία καλύπτει τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά ζητήματα των προβλημάτων της εκτίμησης των παραμέτρων και της επιλογής της δομής των μοντέλων FS-TARMA. Προβολή υποσχόμενων νέων μεθόδων οι οποίες ευελπιστούν να ξεπεράσουν προβλήματα προηγούμενων προσεγγίσεων. Διεξοδική σύγκριση και αποτίμηση των θεωρημένων μεθόδων επί τη βάση Monte Carlo πειραμάτων και σύγκριση με εναλλακτικές μη-στάσιμες μεθόδους.
- Η εισαγωγή μιας στατιστικής μεθόδου για την διάγνωση βλαβών σε εγγενώς μη-στάσιμες κατασκευές η οποία χρησιμοποιεί, για πρώτη φορά σε πρακτική εφαρμογή, τις α-συμπωτικές ιδιότητες μιας πρόσφατα εισηγημένης εκτιμήτριας FS-TAR πολλαπλών σταδίων [Poulimenos and Fassois, 2007]. Εφαρμογή, της μεθόδου για την διάγνωση βλαβών σε έναν χρονικά μεταβαλλόμενο μηχανισμό δύο βαθμών ελευθερίας ο οποίος αποτελείται από ισάριθμους ηλεκτρομαγνητικούς γραμμικούς κινητήρες. Αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου σε όρους ικανότητας επιτυχούς διάγνωσης για τα διάφορα σενάρια βλάβης που θεωρούνται.

ARIMA (p,d,q)

Τα αυτό-παλινδρομικά μοντέλα κινητού μέσου όρου (**ARIMA**) είναι στοχαστικά μαθηματικά με τα οποία προσπαθούμε να περιγράψουμε τη διαχρονική εξέλιξη κάποιου φυσικού μεγέθους. Δεδομένου ότι για την πλειοψηφία των φυσικών μεγεθών είναι αδύνατη η πλήρης γνώση και καταγραφή όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξη τους στο χρόνο, είναι πολύ δύσκολη η διαχρονική περιγραφή του μεγέθους από ένα ντετερμινιστικό μοντέλο. Από την άλλη μεριά, η εξάρτηση τέτοιων μεγεθών από μη ντετερμινιστικούς παράγοντες (π.χ. καιρός, τυχαία γεγονότα) καθιστά δυνατή την περιγραφή της διαχρονικής τους εξέλιξης από ένα στοχαστικό μοντέλο, με το οποίο μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα με την οποία η τιμή του μεγέθους βρίσκεται σε κάποιο διάστημα.

Τα στοχαστικά μοντέλα περιέχουν τον τυχαίο παράγοντα (τυχαίο σφάλμα ή σφάλμα πρόβλεψης), τις τιμές του μεγέθους οι οποίες εμφανίστηκαν σε προηγούμενες χρονικές στιγμές και ίσως κάποιους άλλους στοχαστικούς παράγοντες. Το μοντέλο που προκύπτει είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των παραπάνω ποσοτήτων. Γενικά, έχουν αναπτυχθεί πολλά και ποικίλα τέτοια μοντέλα για την περιγραφή των διακυμάνσεων κάποιου μεγέθους μέσα στο χρόνο. Τα μοντέλα ARIMA χρησιμοποιούνται ευρύτατα γιατί βρίσκουν εφαρμογή στη μελέτη πολλών μεγεθών και φαίνεται να δίνουν μια "καλή" εικόνα της διαχρονικής τους συμπεριφοράς, καθώς και ικανοποιητικά αποτελέσματα στην πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών του μεγέθους. Τα μοντέλα ARIMA έχουν μελετηθεί εκτεταμένα από τους Box και Jenkins, σε βαθμό που τα ονόματα των παραπάνω να είναι σχεδόν χρόνο-σειρών. Οι Box-Jenkins πρότειναν μια οικογένεια αλγεβρικών μοντέλων πρόβλεψης, από τα οποία μπορεί κάποιος να διαλέξει το "καταλληλότερο" για την πρόβλεψη μιας δεδομένης χρόνο-σειράς. Στα μοντέλα αυτά οι προβλέψεις βασίζονται αποκλειστικά στις παρελθούσες τιμές και τα εμφανισθέντα πρότυπα συμπεριφοράς της χρόνο-σειράς που εξετάζεται.

2.2 Υπολογιστικά-Περιβαλλοντικά Μοντέλα

Ανάμεσα στους επαγγελματίες περιβαλλοντολόγους έχουν τεκμηριωθεί εκτενώς και τυγχάνουν ευρείας χρήσης κάποια υπολογιστικά μοντέλα για υπολογισμούς χημικής ισορροπίας τα οποία έχουν εξεταστεί από τους Melchior και Bassett και λειτουργούν με παρόμοιες αρχές. Τρία από αυτά είναι:

MacμQL

Το MacμQL όπου αναπτύχθηκε από τον Mueller για τους υπολογιστές Macintosh. Ο Mueller πήρε το MICROQL από τον Westall και προσέθεσε ένα φιλικό προς το χρήστη σύστημα αλληλεπίδρασης ώστε να είναι χρηστικό. Το MacμQL όπως διαφαίνεται κ από το όνομα του είναι το μικρότερο από τα προγράμματα χημικής ισορροπίας που θα δούμε αλλά λειτουργεί σύμφωνα με τις ίδιες αρχές όπως και τα MINEQL+3.0, MINTEQA2 δηλαδή συναρτήσεις του νόμου των μαζών και συναρτήσεις ισοζυγίου μάζας, οι οποίες λύνονται επαναληπτικά με

χρήση μιας αριθμητικής τεχνικής Newton-Raphson. Ο κώδικας του προγράμματος είναι μικρός επειδή δεν περιλαμβάνει κάποια θερμοδυναμική βάση δεδομένων η οποία καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό αποθηκευτικού χώρου και επιβραδύνει την εκτέλεση του προγράμματος όταν υφίσταται αναζήτηση. Το MacμQL δεν περιλαμβάνει αντιστάθμιση ενεργότητας ή θερμοκρασίας. Ο χρήστης θα πρέπει να το καθορίσει αυτό προσδιορίζοντας τις καταστατικές σταθερές ισορροπίας K , όταν η ιοντική ισχύς και η θερμοκρασία του διαλύματος είναι γνωστές. Δεν υπάρχει κάποιος μεγάλος επεξεργαστής κειμένου για το πρόγραμμα ή κάποιος διαχειριστής δεδομένων εξόδου, αλλά υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθεί η βάση δεδομένων στο EXCEL και να εισαχθεί στο MacμQL. Για την έξοδο του λογισμικού, οι πίνακες με τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν σε κατάλληλη μορφή για τα Cricket Graph, EXCEL ή Kaleida Graph. Το MacμQL είναι κατάλληλο για εκμάθηση φοιτητών γιατί απαιτεί μια πλήρη γνώση των εξισώσεων της δράσης των μαζών, των θερμοδυναμικών δεδομένων και των ισοζυγίων μάζας, προκειμένου να ρυθμιστεί και να εκτελεστεί.

MINEQL+ 3.0

Το MINEQL+ 3.0 αναπτύχθηκε από τους Schecher και Mc Avoy, οι οποίοι ξεκίνησαν με το μοντέλο MINEQ του Westall και των συνεργατών του. Τρέχει σε λειτουργικά συστήματα DOS με Windows και περιλαμβάνει ένα διαχειριστή βάσης δεδομένων για γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων. Η ισχύς του προγράμματος έγκειται στην αλληλεπιδραστική του είσοδο και έξοδο των δεδομένων, καθιστώντας απλή τη διαδικασία σχεδιασμού δεδομένων πεδίου ταυτόχρονα με αποτελέσματα του μοντέλου για σύγκριση. Το MINEQL+ περιλαμβάνει το μοντέλο επιφανειακής συμπλοκοποίησης δύο στρωμάτων των Dzombak και Morel μαζί με άλλα σημαντικά θερμοδυναμικά δεδομένα σχετικά με τα ένυδρα σιδηρούχα οξείδια (HFO). Το μοντέλο των δύο στρωμάτων αποτελεί μια σύνθεση του διστρωματικού μοντέλου διάχυσης και της επιφανειακής καθίζησης ή της συν-καθίζησης σε υψηλές πυκνότητες προσρόφησης από τους Farley και τους Dzombak, Morel. Το πιο εκτεταμένο στοιχείο του MINEQL+ είναι η θερμοδυναμική του βάση δεδομένων. Περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα από το MINEQA1 τα οποία προήλθαν από το μοντέλο WATEQ του United States Geological Survey, καθώς και τη βάση δεδομένων του

MINEQL και μερικές άλλες. Είναι αρκετά φιλικό προς το χρήστη καθώς η βάση δεδομένων μπορεί να τροποποιηθεί και ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τη δική του βάση.

MINTEQA2

Το MINTEQA2 έχει υποστηριχθεί από το U.S. Environmental Protection Agency Environmental Research Laboratory, στο Athens της Georgia και αναπτύχθηκε αρχικά από το Battelle Pacific Northwest Laboratory. Το MINTEQA πήρε την καλύτερη βάση δεδομένων που θα ήταν διαθέσιμη από το WATEQ, το μοντέλο USGS, και το ένωσε με την αριθμητική μηχανή το MINEQL. Η πιο πρόσφατη εξέλιξη ήταν η προσθήκη ενός φιλικού προς το χρήστη αλληλεπιδραστικού προγράμματος, του PRODEF2, το οποίο βοηθάει το χρήστη να σχηματίσει μια συνεκτική βάση δεδομένων εισόδου, χωρίς να κάνει προφανή σφάλματα. Όπως και το MINEQL+3.0, είναι συμβατό με IBM, ή είναι διαθέσιμο για κεντρικούς σταθμούς εργασίας VAX. Δεν υπάρχουν δυνατότητες γραφικών μέσα στο PRODEF2, αλλά τα αρχεία μπορούν να εξαχθούν σε άλλα λογισμικά για τη σχεδίαση. Σε πολλούς χρήστες αρέσει η ευρεία γκάμα επιλογών που είναι διαθέσιμη στο MINTEQA2 για την προσρόφιση, συμπεριλαμβανομένου του απλού συντελεστή κατανομής στην ισορροπία, K_d . Και τα τρία μοντέλα είναι καλά τεκμηριωμένα και κατάλληλα για προβλήματα χημικής ισορροπίας σε φυσικά ύδατα.

Στη συνέχεια στον Πίνακα Σύγκρισης 1 που ακολουθεί, γίνεται σύγκριση μεταξύ των τριών μοντέλων που περιγράψαμε λεπτομερώς στις προηγούμενες παραγράφους.

	MacmQL	MINEQL ⁺ 3.0	MINTEQA2
Θερμοδυναμική βάση δεδομένων	OXI	NAI, 2300 ουσίες	NAI, 1000 ουσίες
Αντιστάθμιση θερμοκρασιών	OXI	van't hoff	van't hoff
Αντιστάθμιση ενεργότητας	OXI	NAI	NAI
Μοντέλα προσρόφησης	Σταθερή ηλεκτρική χωρητικότητα στρώμα διάχυσης τριπλό στρώμα	Langmuir Freundlich Σταθερή ηλεκτρική χωρητικότητα Μοντέλο τριπλού στρώματος Μοντέλο διπλού στρώματος	Model K_d Langmuir Freundlich Ανταλλαγή ιόντων Σταθερή ηλεκτρική χωρητικότητα Στρώμα διάχυσης Τριπλό στρώμα
Υπολογιστής	MACINTOSH	DOS Windows, συμβατό με IBM	DOS συμβατό με IBM ή σύστημα VAX
Αλληλεπιδραστικό	NAI	NAI	NAI, prodefa 2
Έξοδος	Πίνακες για εξαγωγή σε λογιστικά φύλλα	Δημιουργία γραφικών ή Πίνακες για εξαγωγή σε λογιστικά φύλλα	Πίνακες για εξαγωγή σε λογιστικά φύλλα
Δημιουργία βάσης δεδομένων από το χρήστη	NAI, Υποχρεωτικά	NAI, Προαιρετικά	NAI, Προαιρετικά

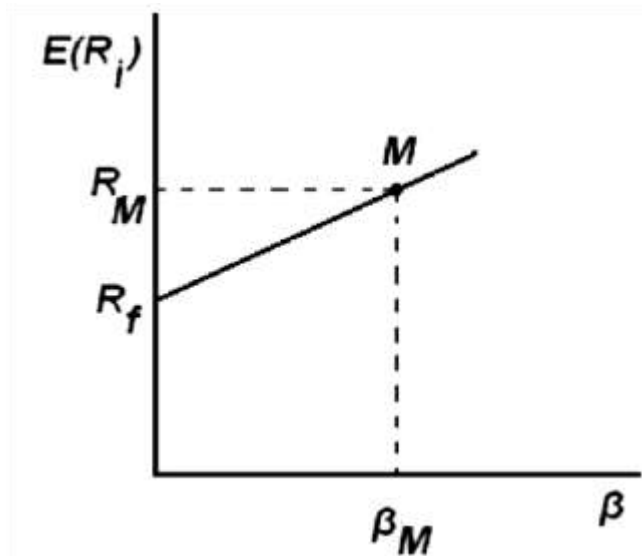
Πίνακας 2.

2.3 Οικονομετρικά ή Χρηματοοικονομικά Μοντέλα

CAPM (Capital Asset Pricing Model)

Το υπόδειγμα CAPM (capital asset pricing model) έχει καταξιωθεί στη σύγχρονη εφαρμοσμένη χρηματοοικονομική ως ένα ιδιαίτερα ευέλικτο, απλό και, συνεπώς, εύχρηστο υπόδειγμα για την εκτίμηση της σχέσης που διέπει την απόδοση και τον συνεπαγόμενο κίνδυνο που χαρακτηρίζει ένα υποκείμενο κεφαλαιακό στοιχείο (asset) και κατ' επέκταση την αποτίμηση της αξίας του στοιχείου αυτού (valuation). Η Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου του Harry Markowitz προτείνει μέσα από το Υπόδειγμα Αποτίμησης Κεφαλαιουχικών Στοιχείων- CAPM τον συντελεστή κινδύνου β για να περιγράψει τον κίνδυνο και ειδικότερα τον μη διαφοροποιήσιμο κίνδυνο, τον οποίο αντιμετωπίζουν όλοι οι επενδυτές ανεξαιρέτως. Ο συντελεστής β , μετρά τη σχετική μεταβλητότητα στην αναμενόμενη απόδοση της υποκείμενης μετοχής ως την συν-διακύμανση (covariance) μεταξύ της απόδοσης της μετοχής και της απόδοσης της χρηματιστηριακής αγοράς σε σχέση με τη διακύμανση (variance) της απόδοσης της χρηματιστηριακής αγοράς. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής ' β ' ορίζεται ως: Συντελεστής ' β ' = Covariance (i stock return, stock market return) / Variance (stock market return). Δεδομένου ότι ο συντελεστής ' β ' του χαρτοφυλακίου αγοράς είναι εξ ορισμού ίσος με τη μονάδα ($\beta_{\text{market}} = 1$), μετοχές που εμφανίζουν συντελεστή ' β ' υψηλότερο της μονάδας ($\beta > 1$) χαρακτηρίζονται ως 'επιθετικές' μετοχές. Για παράδειγμα, μία μετοχή που έχει συντελεστή $\beta = 1,45$, σε 1% αύξηση του Γενικού Δείκτη του Χ.Α. αναμένεται να έχει ως συνέπεια την επίτευξη απόδοσης 1,45% για τη μετοχή αυτή. Μετοχές που εμφανίζουν συντελεστή ' β ' χαμηλότερο της μονάδας ($\beta < 1$) χαρακτηρίζονται ως 'αμυντικές' μετοχές. Για παράδειγμα, μία μετοχή που έχει συντελεστή ' $\beta = 0,70$, σε 1% μείωση του Γενικού Δείκτη του Χ.Α. θα έχει ως συνέπεια τη μείωση της απόδοσης κατά 0,70% για τη μετοχή αυτή. Αν και θεωρητικά θα μπορούσε μία μετοχή να έχει αρνητικό συντελεστή ' β ' (μετοχές που κινούνται αντίθετα από την αγορά, counter-cyclical), ο συντελεστής ' β ' για την πλειονότητα των μετοχών είναι θετικός. Η επί πλέον απόδοση πάνω από την χωρίς κίνδυνο απόδοση ενός χρεογράφου προσδιορίζεται

από το βήτα. Στο διάγραμμα που ακολουθεί το M αντιπροσωπεύει το βήτα της αγοράς και εξορισμού είναι ίσο με την μονάδα.



Σχήμα 4.

Η αξιοποίηση του υποδείγματος CAPM ως εμπειρικού εργαλείου αποτίμησης

βασίζεται στην κατανόηση των ακόλουθων παραμέτρων:

- του κινδύνου που συνδέεται με την απόδοση μίας μετοχής (διαφοροποιήσιμος και μη-διαφοροποιήσιμος κίνδυνος)
- του κινδύνου μίας μετοχής σε σχέση με το συνολικό κίνδυνο της αγοράς (συντελεστής 'β')
- της γραμμικής συνάρτησης που συνδέει απόδοση μετοχής και συντελεστή 'β' Παρά τη θεωρητική απλότητα και εμπειρική κομψότητά του, το υπόδειγμα CAPM βασίζεται σε μία σειρά από ισχυρές υποθέσεις. Το υπόδειγμα υποθέτει ότι οι τιμές των χρηματοοικονομικών στοιχείων (μετοχών) διαμορφώνονται σε μία χρηματιστηριακή αγορά που λειτουργεί αποτελεσματικά από άποψη αντικειμενικής διάχυσης σημαντικής πληροφόρησης προς τους επενδυτές (efficient-market hypothesis). Επίσης, αναπόφευκτα, η εμπειρική εφαρμογή του υποδείγματος βασίζεται σε ιστορικές αποδόσεις και ιστορική μεταβλητότητα,

που όμως (σε αντίθεση με τη θεωρητική θεμελίωση) δεν αποτελούν απαραίτητα ικανοποιητικά

στοιχεία προβλεψιμότητας των αποδόσεων των μετοχών σε μελλοντικό χρονικό ορίζοντα.

Συνοψίζονται οι κύριες υποθέσεις στις οποίες βασίζεται το CAPM:

- Τα μηδενικά κόστη συναλλαγών
- η μηδενική φορολόγηση επενδύσεων και αποδόσεων
- οι ομογενείς προσδοκίες επενδυτών
- η διαθεσιμότητα επενδυτικών στοιχείων μηδενικού κινδύνου
- ο δανεισμός με επιτόκιο μηδενικού κινδύνου.

Σύμφωνα με τη θεωρία, όλοι οι επενδυτές θεωρείται ότι είναι πανομοιότυποι και έχουν ορθολογικές προσδοκίες. Αυτό συνεπάγεται ότι σε μια αποτελεσματική αγορά, οι επενδυτές αποτιμούν με τρόπο πλήρη και άμεσο την πληροφορία που τους παρέχεται και έτσι οι τιμές των περιουσιακών στοιχείων αντικατοπτρίζουν ανά πάσα στιγμή τις θεμελιώδεις τιμές και δεν παρατηρείται απόκλιση από αυτές. Στην περίπτωση αυτή, η αγορά διέπεται από απλές γραμμικές σχέσεις και ο συντελεστής κινδύνου β είναι σταθερός και δεν μεταβάλλεται διαχρονικά. Αν εξετάσει κανείς αυτές τις προϋποθέσεις βλέπει ότι το Μοντέλο Αποτίμησης Περιουσιακών Στοιχείων περιορίζει την κατάσταση σε μια ακραία περίπτωση, όπου ο καθένας έχει τις ίδιες

πληροφορίες και όλοι συμφωνούν για τις μελλοντικές προοπτικές των μετοχών. Δηλαδή η αγορά είναι τέλεια και δεν υπάρχουν εμπόδια στις επενδύσεις. Η έλξη του CAPM από τις αγορές στηρίζεται στο γεγονός ότι προσφέρει ισχυρές και διαισθητικές προβλέψεις για το πώς να μετρήσει κανείς τον κίνδυνο και τη σχέση μεταξύ των αναμενόμενων αποδόσεων και του κινδύνου. Τα εμπειρικά προβλήματα του CAPM ενδέχεται να αντανακλούν τις θεωρητικές αστοχίες ως αποτέλεσμα πολλών απλοποιημένων υποθέσεων. Επίσης οι χρηματιστηριακές αγορές διαπιστώνεται ότι λειτουργούν στην πραγματικότητα με ιδιαίτερα σύνθετο και – κυρίως – μη γραμμικό δυναμικό τρόπο (non-linear dynamics). Η εξίσωση που περιγράφει το CAPM είναι η

ακόλουθη:

$$R_{it} = R_{ft} + b_{it} (R_{mt} - R_{ft}) + e_{it} \text{ ή}$$

$$R_{it} - R_{ft} = b_{it} (R_{mt} - R_{ft}) + e_{it}$$

όπου:

R_{it} = Οι ποσοστιαίες μεταβολές των αποδόσεων ενός χρεογράφου.

R_{ft} = Οι ποσοστιαίες μεταβολές των αποδόσεων του ακίνδυνου επιτοκίου.

b_{it} = Ο συντελεστής ευαισθησίας ενός χρεογράφου.

R_{mt} = Οι ποσοστιαίες μεταβολές των αποδόσεων του γενικού δείκτη της αγοράς, που χρησιμοποιείται ως δείκτης για το χαρτοφυλάκιο της αγοράς.

$R_{it} - R_{ft}$ = Η υπερβάλλουσα απόδοση ή υπέρ-απόδοση ενός χρεογράφου.

$R_{mt} - R_{ft}$ = Η υπερβάλλουσα απόδοση ή υπέρ-απόδοση του γενικού δείκτη τιμών του Χ.Α.Α.

e_{it} = Ο διαταρακτικός όρος της γραμμικής παλινδρόμησης

Μοντέλα τιμολόγησης-APT (Arbitrage Pricing Theory)

Διεύρυνση του υποδείγματος CAPM αποτελεί το πρώτο υπόδειγμα που θα ελέγξουμε το οποίο ανήκει στην κατηγορία υποδειγμάτων APT και βασίζεται στα θεμελιώδη μεγέθη της ελληνικής οικονομίας και του τραπεζικού κλάδου. Το υπόδειγμα APT υποστηρίζει ότι οι αποδόσεις των μετοχών μπορούν να εκτιμηθούν σε σχέση με τις μη αναμενόμενες μεταβολές στις μακροοικονομικές μεταβλητές. Η μη αναμενόμενη μεταβολή, είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματοποιηθείσας τιμής μιας μεταβλητής και της αναμενόμενης τιμής της. Σύμφωνα με τη θεωρία, η μείωση της οικονομικής δραστηριότητας, επιφέρει και μείωση των τραπεζικών εργασιών και σύμφωνα με τα ανωτέρω, αναμένουμε πτώση της κερδοφορίας των τραπεζών και της απόδοσης των αντίστοιχων μετοχών τους.

Όπως το C.A.P.M., έτσι και το A.P.T. είναι ένα μοντέλο αποτίμησης χρεογράφων, όταν η αγορά βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας. Το 1976 ο Stephen Ross διατύπωσε πρώτος το μοντέλο αυτό. Στην αρχή ήταν μια θεωρία για να στηριχτούν επάνω της κάποια υποδείγματα. Η θεωρία αυτή κατά βάση στηρίζεται στην κερδοσκοπία.

Το A.P.T. βασίζεται στον Νόμο της Μοναδικής Τιμής, ο οποίος υποστηρίζει ότι σε ισορροπία :

α. δυο αγαθά (πχ. μετοχές) τα οποία είναι ταυτόσημα δεν είναι δυνατό να πωλούνται σε διαφορετικές τιμές και

β. ένα αγαθό δεν είναι δυνατό να πωλείται σε δυο διαφορετικές αγορές σε διαφορετικές τιμές.

Ανάλυση του μοντέλου

Ως μοντέλο, έχει αρκετές ομοιότητες με το C.A.P.M., αλλά και πολύ ουσιώδες διαφορές. Η πρώτη και ίσως σημαντικότερη διαφορά είναι ότι δεν στηρίζεται σε ακραίες παραδοχές για τις προτιμήσεις των επενδυτών. Η μόνη του προϋπόθεση είναι ότι οι επενδυτές προτιμούν υψηλότερα επίπεδα εισοδήματος. Το A.P.T. είναι ένα παραγοντικό μοντέλο, διότι παραδέχεται ότι η απόδοση των μετοχών εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες εκτός από την πορεία του Χαρτοφυλακίου της Αγοράς. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η μεταβολή στο Ακαθάριστο Εθνικό Εισόδημα (ΑΕΠ), οι μεταβολές στα επιτόκια, το επίπεδο του πληθωρισμού κτλ.

Στα παραγοντικά μοντέλα αντί να ονομάζεται κίνδυνος αγοράς, ονομάζεται παραγοντικός κίνδυνος και αντί ειδικός κίνδυνος, μη παραγοντικός κίνδυνος. Παράγοντες κινδύνου για μια συγκεκριμένη απόδοση μπορεί να είναι πάνω από ένας, οι οποίοι παράγοντες δεν είχαν αναφερθεί για αυτό θεωρήθηκε ως βάση διατύπωσης υποδειγμάτων.

Η συνήθης διατύπωση είναι ότι η απόδοση ενός κεφαλαιουχικού περιουσιακού στοιχείου, είναι ένας γραμμικός συνδυασμός αυτών των παραγόντων. Το γραμμικό υπόδειγμα APT, αποτελεί στην ουσία υποκατάστατο του υποδείγματος CAPM το οποίο αναλύει και

ερμηνεύει τη διαστρωματική μεταβλητότητα των προσδοκώμενων χρηματιστηριακών αποδόσεων. Η κερδοσκοπία (arbitrage) προκύπτει όταν επενδυτής μπορεί με μηδενική επένδυση να δημιουργήσει χαρτοφυλάκιο με εξασφαλισμένο κέρδος. Σύμφωνα με τη θεωρία που διέπει τα υποδείγματα APT, είναι δυνατό κάποια αγαθά να μην είναι ορθώς τιμολογημένα. Το μοντέλο εξετάζει τη σχέση μεταξύ της αναμενόμενης απόδοσης της μετοχής και του συντελεστή βήτα (β). Η θεωρία εκκινεί από την βασική υπόθεση του τέλει ανταγωνισμού των αγορών και ότι όλοι οι επενδυτές έχουν παρόμοιες προσδοκίες.

Η αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου βρίσκεται με την εξής σχέση:

$$E(R_f) = R_f + (\lambda_1 - R_f)\beta_{i1} + (\lambda_2 - R_f)\beta_{i2} + \dots + (\lambda_n - R_f)\beta_{in}$$

Όπου:

λ_1, λ_2 , η μοναδιαία απόδοση για δεδομένο κίνδυνο

β_1, β_2 , η ευαισθησία περιουσιακού στοιχείου σε σχέση με τον κίνδυνο (για κάθε ένα παράγοντα κινδύνου)

$(\lambda_1 - R_f)$ ασφάλιστρο κινδύνου

Όλα τα υπόλοιπα $(\lambda_n - R_f)\beta_{in}$ είναι άλλες μορφές απόδοσης που απαιτούνται για κάποιο κίνδυνο που προσδιορίζονται από άλλους παράγοντες.

Προσδιορισμός των παραγόντων

Το 1986 ο Richard Roll, ο Stephen Ross και ο Nai-Fu Chen προσδιόρισαν τους ακόλουθους μακροοικονομικούς παράγοντες στην εξήγηση των αποδόσεων των χρεογράφων (security returns):

1. μη αναμενόμενη μεταβολή στον πληθωρισμό
2. μη αναμενόμενη μεταβολή στα επιτόκια
3. μη αναμενόμενη μεταβολή στο Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν

4. αιφνιδιαστικές μετατοπίσεις στην καμπύλη παραγωγής
5. απρόβλεπτη μεταβολή στην εμπιστοσύνη των επενδυτών λόγω των αλλαγών στο ασφάλιστρο προεπιλογής.

MONTELA ARCH/GARCH

(Generalised Autoregressive Conditional Heteroskedasticity)

Τα ARCH/GARCH μοντέλα που ετυμολογικά σημαίνουν αυτό-παλίνδρομος παράγοντας ετεροσκεδαστικότητας και γενικευμένος αυτό-παλίνδρομος παράγοντας ετεροσκεδαστικότητας αντίστοιχα, κατασκευάστηκαν για να αντιμετωπίζουν τη μεταβολή του μεγέθους της διακύμανσης μέσα στο χρόνο και έχουν γίνει ευρέως διαδεδομένα εργαλεία για την επεξεργασία και ανάλυση ετεροσκεδαστικών χρόνο-σειρών.

Η χρήση τους στοχεύει στη μέτρηση της μεταβλητότητας και της προσέγγισής της ως προς μια τυπική απόκλιση η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις χρηματοοικονομικές αποφάσεις που αφορούν ανάλυση κινδύνου, επιλογή χαρτοφυλακίου και τιμολόγηση ομολογιών.

Θα προσαρμόσουμε τη θεωρητική βάση των μοντέλων ARCH/GARCH στην προκείμενη χρηματοοικονομική των αποδόσεων και του κινδύνου της μετοχής της Εθνικής Τράπεζας. Συνεπώς η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η r_{nbg} , η μέση τιμή είναι m και η διακύμανση είναι h . Τότε η απόδοση r ισούται με την μέση τιμή του r , συν την τυπική απόκλιση του r (τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης) συν τον διαταρακτικό όρο για τη δεδομένη χρονική περίοδο.

Η οικονομετρική πρόκληση είναι να προσδιορίσουμε τον τρόπο που θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα για να προβλέψουμε το μέσο και την διακύμανση της απόδοσης δεδομένων των ιστορικών στοιχείων. Πολλές προσπάθειες είχαν γίνει κατά το παρελθόν για την προσέγγιση της μέσης τιμής της απόδοσης, με σκοπό να προβλεφθούν οι μελλοντικές

αποδόσεις, στην πραγματικότητα όμως καμία μέθοδος δεν ήταν διαθέσιμη για την πρόβλεψη της διακύμανσης, μέχρι την παρουσίαση των μοντέλων ARCH. Τα μέχρι τότε περιγραφικά εργαλεία ήταν η κινητή τυπική απόκλιση. Αυτή ήταν η τυπική απόκλιση που υπολογιζόταν με την χρήση ενός αριθμού που στηριζόταν στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις. Αυτός ήταν ο πρόδρομος για το πρώτο μοντέλο ARCH, αφού υπέθετε ότι η διακύμανση της αυριανής απόδοσης είναι ένας ισοσταθμικός μέσος όρος των τετραγώνων των καταλοίπων των τελευταίων 22 ημερών. Η ισοσταθμική όμως προσέγγιση έδειχνε αναξιόπιστη, αφού η λογική έλεγε ότι οι πιο πρόσφατες παρατηρήσεις θα έπρεπε να φέρουν υψηλότερο ποσοστό στάθμισης. Το ARCH μοντέλο, που παρουσιάστηκε από τον Engle το 1982, αντιμετωπίζει αυτές τις σταθμίσεις ως παραμέτρους που πρέπει να εκτιμηθούν και αφήνει τα δεδομένα να μας οδηγήσουν στις βέλτιστες σταθμίσεις που θα χρησιμοποιηθούν στην πρόβλεψη της διακύμανσης.

Μια αξιόπιστη γενίκευση αυτού του μοντέλου είναι η παραμετροποίηση GARCH, η οποία παρουσιάστηκε από τον Bollerslev το 1986. Αυτό το μοντέλο είναι επίσης ένας σταθμικός μέσος όρος των ιστορικών τετραγώνων των καταλοίπων, τα οποία φέρουν φθίνουσες σταθμίσεις που συγκλίνουν στο μηδέν αλλά δεν γίνονται μηδέν.

Με τη χρήση των μοντέλων GARCH τα μοντέλα έχουν αξία προβλεψιμότητας ακόμα και στην πιο απλή τους μορφή και επίσης έχουν αποδειχθεί αρκετά αξιόπιστα στην πρόβλεψη της διακύμανσης. Η πιο ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή GARCH, ισχυρίζεται ότι η καλύτερη πρόβλεψη της διακύμανσης στην επόμενη περίοδο είναι ένας σταθμικός μέσος όρος της μακροχρόνιας μέσης διακύμανσης, της εκτίμησης της διακύμανσης για τη δεδομένη περίοδο και των νέων δεδομένων αυτής της περιόδου που προσδιορίζονται από τα πιο πρόσφατα τετράγωνα των καταλοίπων. Για να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι χρησιμοποιούμε το h για να ορίσουμε τη διακύμανση των καταλοίπων μιας παλινδρόμησης της μορφής:

$$r_t = m_t + \sqrt{h_t}$$

Σε αυτήν την περίπτωση η διακύμανση των ε_t είναι 1. Το μοντέλο GARCH για τη διακύμανση έχει την εξής μορφή:

$$h_{t+1} = \omega + a(r_t - m_t)^2 + bh_t = \omega + ah_t\varepsilon_t^2 + bh_t$$

όπου h_{t+1} είναι η διακύμανση, το ω είναι ο σταθερός όρος, το γινόμενο $ah_t e_t^2$ είναι ο παράγοντας ARCH και το γινόμενο bh_t είναι ο παράγοντας GARCH.

Ο αναλυτής πρέπει να εκτιμήσει τους συντελεστές ω , a και b , αφού γνωρίζει τη διακύμανση και τα καταλοίπα της προηγούμενης περιόδου. Οι σταθμίσεις είναι $(1-a-b, b, a)$ και η μακροχρόνια μέση διακύμανση είναι η τετραγωνική ρίζα της σχέσης $\omega/(1-a-b)$. Οι περιορισμοί που θα πρέπει να ισχύουν είναι πρώτον το άθροισμα $a+b$ να είναι μικρότερο του 1 και εκφράζει την επιρροή κινδύνου που ασκεί η προηγούμενη περίοδος στην παρούσα περίοδο και δεύτερον αφού οι σταθμίσεις είναι θετικές τότε θα πρέπει να ισχύει $a > 0$, $b > 0$, $\omega > 0$. Το μοντέλο GARCH το οποίο μόλις περιγράψαμε χαρακτηριστικά αποκαλείται GARCH (1,1). Οι αριθμοί στην παρένθεση περιγράφουν τον αριθμό των αυτό-παλίνδρομων υστερήσεων ή τους όρους ARCH και τον αριθμό των υστερήσεων κινητών μέσων όρων ή τους όρους GARCH. Μερικές φορές απαιτούνται πάνω από μια υστέρηση για να προκύψει μια καλή πρόβλεψη διακύμανσης.

Αν και το μοντέλο αυτό είναι δομημένο για να δώσει πρόβλεψη για μια μελλοντική χρονική περίοδο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει πρόβλεψη για μεταγενέστερες περιόδους εφόσον επαναλάβουμε την παραπάνω διαδικασία. Μετά την επιγραμματική παρουσίαση της διαδικασίας προκύπτει το ερώτημα για το πώς ο αναλυτής μπορεί να εκτιμήσει μια εξίσωση όπως η GARCH (1,1) όταν η μόνη μεταβλητή για την οποία υπάρχουν δεδομένα είναι η r_t που είναι η απόδοση της μετοχής. Η απάντηση έχει δύο πτυχές. Είτε θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας αντικαθιστώντας το h_t με την διακύμανση σ^2 στην κανονική πιθανοφάνεια μεγιστοποιώντας την με έμφαση στις παραμέτρους, είτε θα μπορούσαμε να κάνουμε χρήση του στατιστικού πακέτου E-views για να προβούμε στην εκτίμηση του GARCH μοντέλου που είναι και η ευκολότερη οδός. Για κάθε σύνολο παραμέτρων και μια αρχική εκτίμηση διακύμανσης της πρώτης παρατήρησης, η οποία συνήθως είναι η παρατηρούμενη διακύμανση των καταλοίπων, μπορούμε να προβλέψουμε την διακύμανση της δεύτερης παρατήρησης. Η εξίσωση GARCH παίρνει τον σταθμικό μέσο όρο της διακύμανσης, το τετράγωνο των καταλοίπων της πρώτης παρατήρησης και την αρχική διακύμανση και εκτιμά την διακύμανση της δεύτερης

παρατήρησης. Η εκτίμηση αυτή αποτελεί στοιχείο προς χρήση για την εκτίμηση της τρίτης παρατήρησης και ούτω καθεξής. Κατ' αυτόν τον τρόπο δομείται μια σειρά από προβλέψεις της διακύμανσης. Η σειρά αυτή είναι μεγάλη όταν τα καταλοίπα μηδενίζονται σχετικά σύντομα. Πράγματι είναι πολύ πιθανό η πραγματική διακύμανση να αποκλίνει από την πρόβλεψη του αναλυτή. Για να εντοπιστεί αυτό το ενδεχόμενο και να αποφευχθεί, υπάρχει ποικιλία διαγνωστικών ελέγχων στην σύγχρονη βιβλιογραφία. Ο απλούστερος είναι να δομήσουμε την σειρά των καταλοίπων ε_t που υποτίθεται ότι έχει σταθερό μέσο και διακύμανση αν το μοντέλο είναι σωστά ορισμένο. Επίσης ο έλεγχος της αυτό-συσχέτισης των τετραγώνων των καταλοίπων μπορεί να αναχαιτίσει τυχόν αποτυχίες του μοντέλου. Για να κατανοήσουμε καλύτερα την όλη διαδικασία θα εφαρμόσουμε την παραπάνω διαδικασία στην εφαρμογή που πραγματευόμαστε.

Κεφάλαιο 3

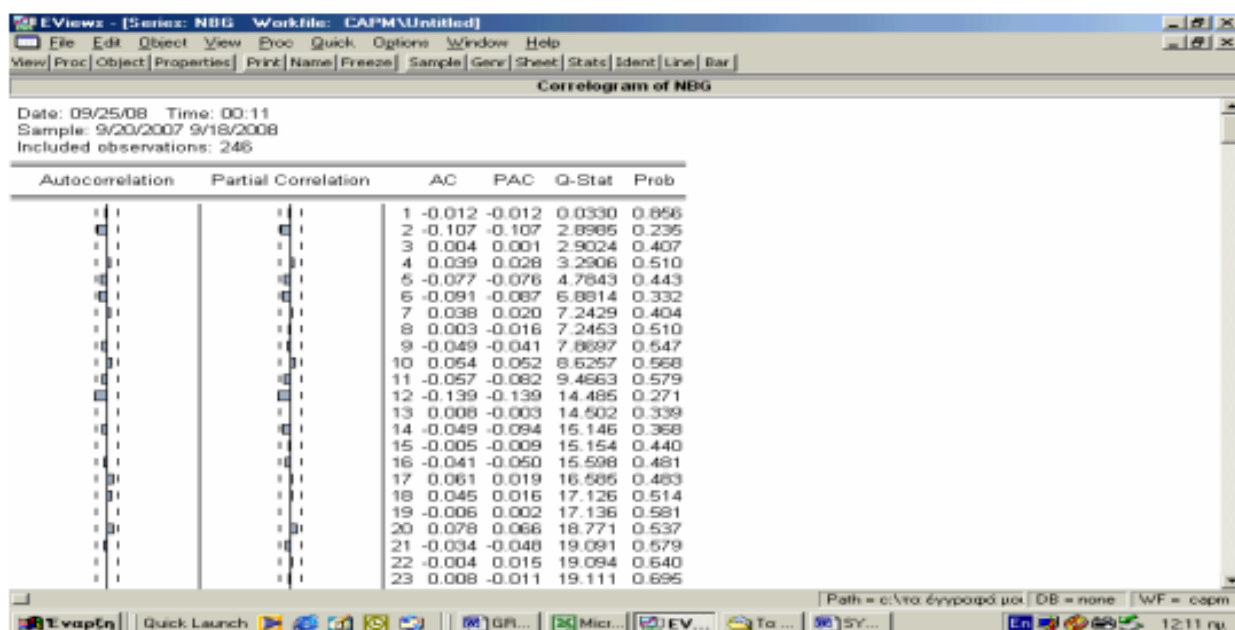
3.1 Εφαρμογή μοντέλου

Εφαρμογή οικονομικών μοντέλων

Η παρακάτω εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου αφορά την διακύμανση των αποδόσεων, της μετοχής nbg με μοντελα arch/garch. Μετά την διενέργεια των ελέγχων White στα δύο μοντέλα που εξετάζουμε για την ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας, διαπιστώσαμε ότι στην περίπτωση του μοντέλου $r_{\text{cyprus}} = a + b r_{\text{gindex}} + u$ μπορούμε να δεχθούμε την ισχύ της υπόθεσης της ομοσκεδαστικότητας, ενώ στην περίπτωση του μοντέλου $r_{\text{nbg}} = a + b r_{\text{gindex}} + u$ απορρίπτουμε την αρχική υπόθεση αφού τα αποτελέσματα του ελέγχου White μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο είναι ετεροσκεδαστικό, δηλαδή ότι η διακύμανση της απόδοσης της μετοχής της Εθνικής Τράπεζας δεν είναι σταθερή αλλά

μεταβάλλεται μέσα στην χρονική περίοδο την οποία μελετάμε. Στην συνέχεια θα εφαρμόσουμε την διαδικασία που περιγράψαμε στη θεωρητική περιγραφή της χρήσης των μοντέλων GARCH έτσι ώστε να μπορέσουμε να προβλέψουμε τη διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής r_{nbg} την επόμενη περίοδο. Όπως έχουμε προαναφέρει στην εμπειρική ανάλυση η σειρά r_{nbg} δεν πάσχει από αυτό-συσχέτιση και

αποδεικνύεται από την παρουσίαση των τετραγώνων των αποδόσεων της μετοχής.



Πίνακας 3

Παρατηρούμε ότι δεν έχουμε το φαινόμενο των fat tails, δηλαδή η αυτό-συσχέτιση από την πρώτη μέχρι την τελευταία παρατήρηση κινούνται γύρω από το μηδέν και έχουν την μορφή λευκού θορύβου. Συνεπώς μπορούμε να προχωρήσουμε στη δόμηση του μοντέλου GARCH το οποίο θα μας βοηθήσει να προβλέψουμε το $\text{var}(r_{\text{nbg}})$ στην επόμενη περίοδο. Η μορφή της εξίσωσης είναι η εξής:

$$h(\text{nbg}_{t+1}) = \omega + a(r_{\text{nbg}} - m_{\text{nbg}})^2 + b h_{\text{nbg}} = \omega + a h_{\text{nbg}} u^2 + b h_{\text{nbg}}$$

όπου $h(\text{nbg}_{t+1})$ είναι η εκτιμώμενη διακύμανση της απόδοσης της μετοχής της Εθνικής Τράπεζας την επόμενη περίοδο. Ο συντελεστής ω είναι ο σταθερός όρος, r_{nbg} είναι η απόδοση της μετοχής, m_{nbg} είναι η μέση τιμή της απόδοσης της μετοχής και h_{nbg} είναι η διακύμανση των αποδόσεων της μετοχής. Ο όρος $(r_{\text{nbg}} - m_{\text{nbg}})^2$ είναι το τετράγωνο των καταλοίπων και το γινόμενο $a h_{\text{nbg}} u^2$ είναι η συνιστώσα ARCH του μοντέλου. Το γινόμενο $b h_{\text{nbg}}$ είναι η συνιστώσα GARCH του μοντέλου. Θα πρέπει για να υπολογίσουμε την προβλεπόμενη διακύμανση $h(\text{nbg}_{t+1})$ να εκτιμήσουμε τους συντελεστές ω , a , b . Για να έχει ισχύ το μοντέλο θα πρέπει να ισχύουν οι εξής περιορισμοί:

α. $a + b < 1$, το άθροισμα εκφράζει την επιρροή της μεταβλητότητας των παρατηρήσεων της προηγούμενης περιόδου.

β. $a > 0, b > 0, \omega > 0$, δηλαδή οι σταθμίσεις θα πρέπει να είναι θετικές.

Το παραπάνω μοντέλο GARCH είναι της μορφής (1,1) συνεπώς θα εκτιμήσουμε τους συντελεστές με τη βοήθεια του στατικού λογισμικού E-views εφαρμόζοντας τη μέθοδο ARCH-Autoregressive Conditional Heteroskedasticity με 1 συνιστώσα ARCH και 1 συνιστώσα GARCH σε δείγμα παρατηρήσεων από τις 20/09/2007 ως τις 18/09/2008. Τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε από την παλινδρόμηση της προβλεπόμενης διακύμανσης είναι τα παρακάτω.

	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.091555	0.185177	-0.494417	0.6210
Variance Equation				
C(2)	12.00700	0.620040	19.36489	0.0000
C(3)	0.990491	0.001207	820.8090	0.0000
C(4)	-0.053094	0.023683	-2.241846	0.0250
C(5)	0.111831	0.067073	1.284331	0.1990
C(6)	0.607009	0.337061	1.800888	0.0717
R-squared	-0.000294	Mean dependent var	-0.142724	
Adjusted R-squared	-0.021134	S.D. dependent var	2.987938	
S.E. of regression	3.019346	Akaike info criterion	4.863290	
Sum squared resid	2187.948	Schwarz criterion	4.948786	
Log likelihood	-692.1847	Durbin-Watson stat	2.018255	

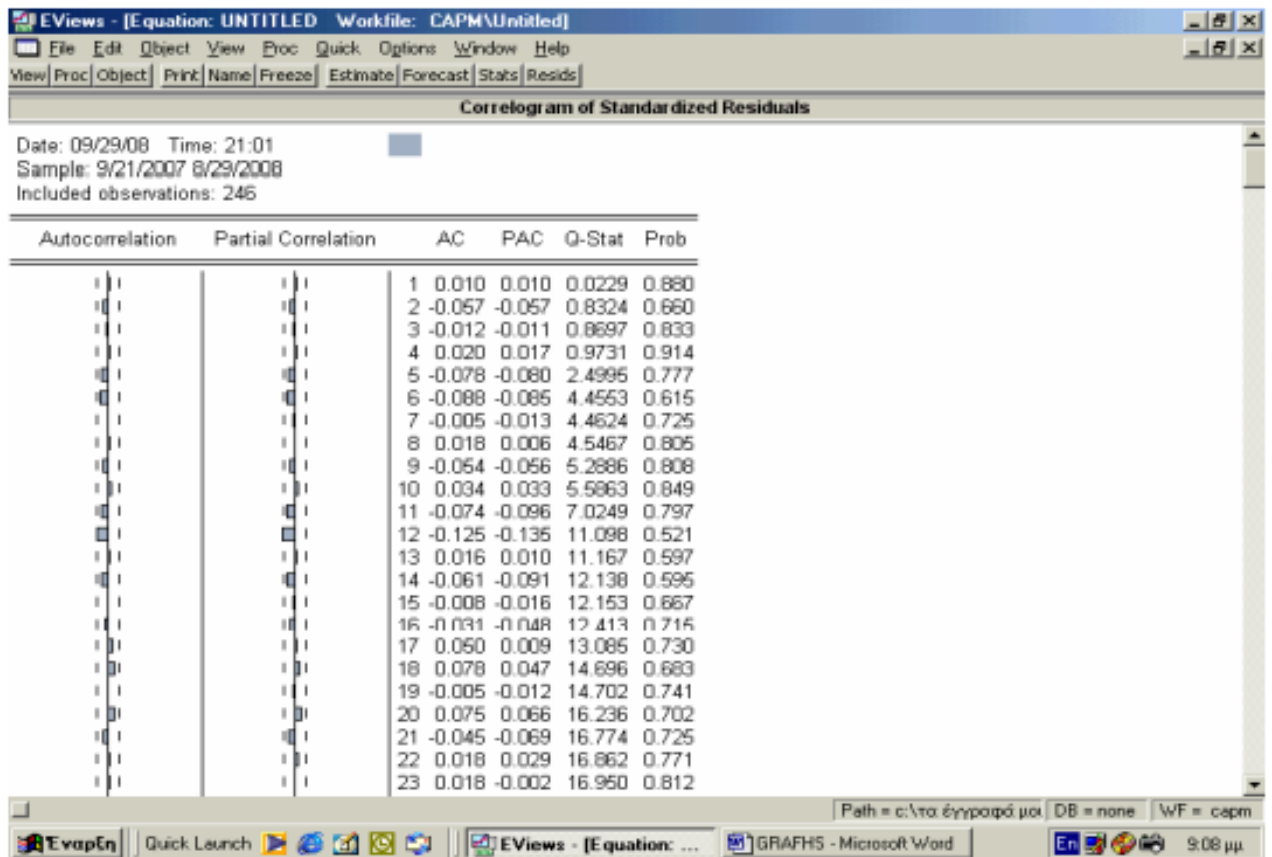
Πίνακας 4.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα ο συντελεστής C(2) αντιστοιχεί στον σταθερό όρο ω και ισούται με 8,89, ο συντελεστής C(3) αντιστοιχεί στην εκτιμήτρια a και ισούται με 0,5 και ο συντελεστής C(4) αντιστοιχεί στην εκτιμήτρια b και ισούται με 0,04. Παρατηρούμε ότι ο περιορισμός $a+b < 1$, ισχύει αφού $a+b=0,54$ όπως επίσης και ο περιορισμός $\omega > 0, a > 0, b > 0$ ισχύει αφού $\omega=8,89, a=0,5, b=0,04$. Συνεπώς το μοντέλο μας έχει ισχύ και άρα έχουμε μια reverting διαδικασία. Ακόμα και οι τρεις συντελεστές είναι στατιστικά σημαντικοί αφού οι t στατιστικές είναι και οι τρεις μεγαλύτερες από 2.

Συνεπώς η εξίσωση GARCH παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$h(nb_{g_{t+1}}) = 0,088 + 0,043 - 0,0035 = 0,128$$

οι z-στατιστικές του πίνακα είναι ο λόγος των συντελεστών προς τις τυπικές αποκλίσεις, ενώ τον πίνακα συμπληρώνουν τα p-values. Όπως έχουμε προαναφέρει, η πρόβλεψη της διακύμανσης των αποδόσεων της Εθνικής Τράπεζας για την επόμενη περίοδο υπάρχει ενδεχόμενο να αποκλίνει από την πραγματική διακύμανση. Για να περιορίσουμε αυτό το ενδεχόμενο πρέπει να εξετάσουμε ως προς την αυτό-συσχέτιση την σειρά των standardized residuals. Για να έχουμε μια σαφή εικόνα προβάλλουμε, με τη βοήθεια του E-views, το κορρελόγραμμα των καταλοίπων.



Πίνακας 5

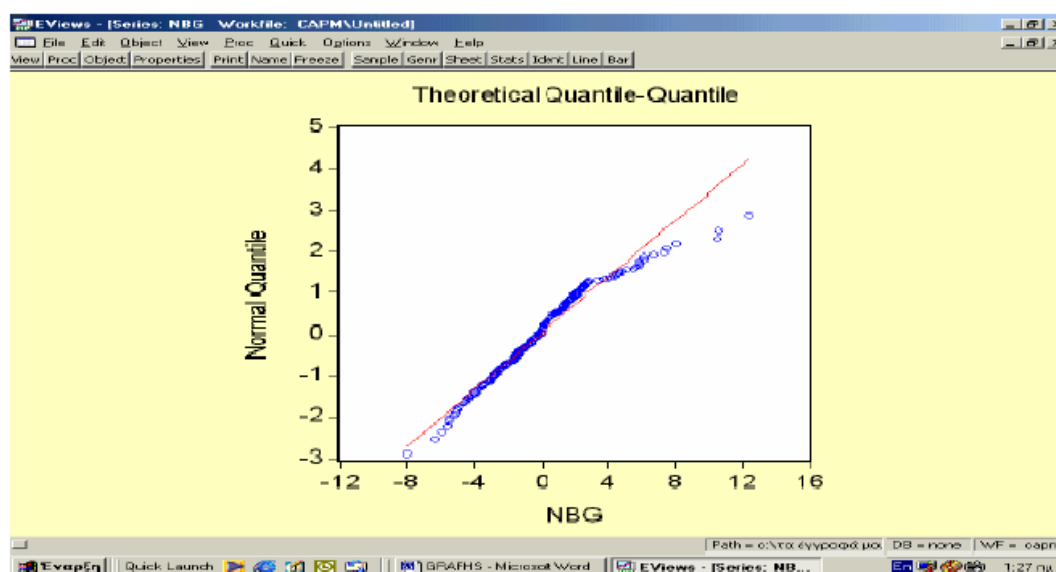
Παρατηρούμε ότι οι αυτό-συσχετίσεις είναι πάλι μειωμένες και κινούνται γύρω από το μηδέν. Επιπλέον είναι μικρότερες από τις αυτό-συσχετίσεις των καταλοίπων της σειράς αποδόσεων της μετοχής. Οι τιμές p-values κυμαίνονται από το 0.6 και πάνω, κάτι που μας παραπέμπει στο να αποδεχθούμε την υπόθεση της μη ύπαρξης καταλοίπων ARCH. Η πρόβλεψη της διακύμανσης για την επόμενη παρατήρηση είναι 0.128, πολύ μεγαλύτερη από την τυπική απόκλιση των αποδόσεων της μετοχής.

Για να ελέγξουμε αν τα κατάλοιπα ακολουθούν κανονική κατανομή υπολογίζουμε τη στατιστική Jacque Bera:

$$dB = n \left[\frac{SK^2}{6} + \frac{(KU^3)^2}{24} \right] = 246 \left[\frac{0,83^2}{6} + \frac{(4,97-3)^2}{24} \right] = 246(0,11+0,16) = 66,42$$

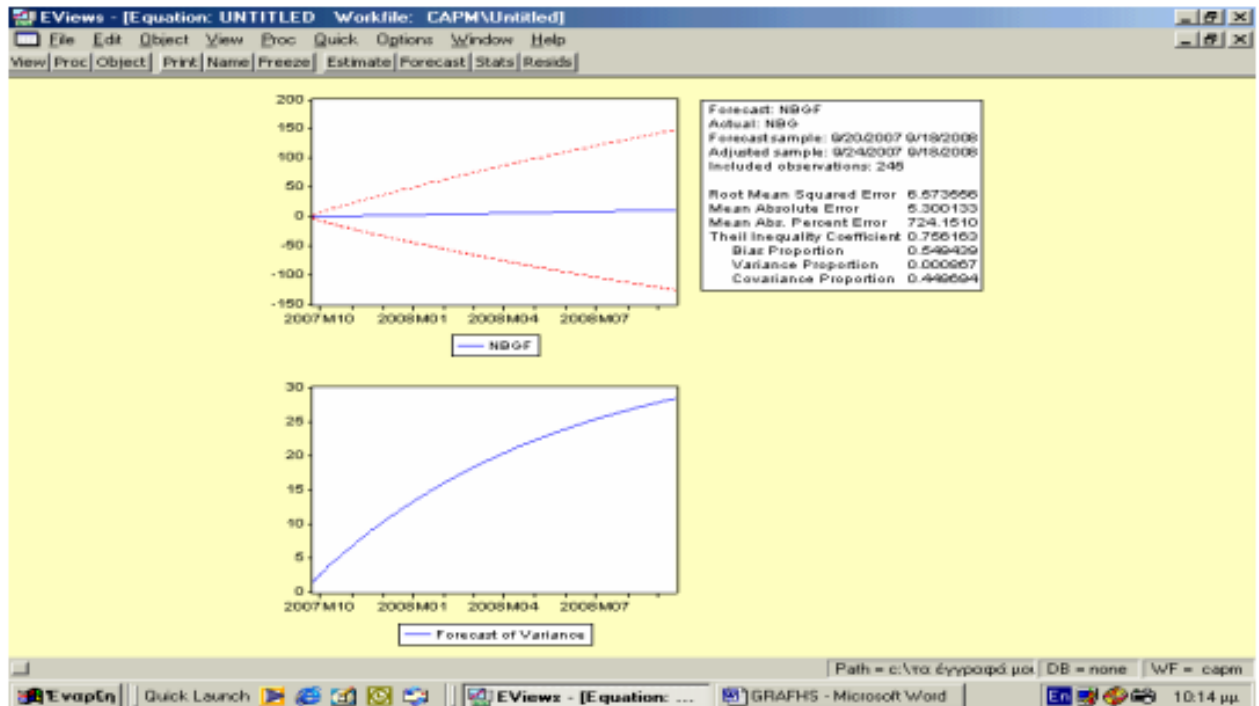
Η στατιστική JB ακολουθεί την κατανομή χ^2 με δύο βαθμούς ελευθερίας. Εάν $JB > \chi^2(2)$ τότε απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση ότι τα κατάλοιπα κατανέμονται κανονικά. Στην περίπτωση των καταλοίπων της σειράς nbg αυτό ισχύει $66,42 > 7,378$ που είναι κριτική τιμή $\chi^2(2)$, συνεπώς τα κατάλοιπα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή.

Παρακάτω παρουσιάζουμε τη μορφή με την οποία κατανέμονται τα κατάλοιπα γύρω από την κανονική κατανομή.



Διάγραμμα 1.

Επίσης η τελική μας πρόβλεψη για την απόδοση της μετοχής της Εθνικής Τράπεζας όπως επίσης και για την μέση διακύμανση της απόδοσης παρουσιάζονται από το παρακάτω γράφημα.



Διάγραμμα 2.

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να προβλέψουμε τη διακύμανση των αποδόσεων της μετοχής nbg και της κάθε μετοχής επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία GARCH για επιπλέον μελλοντικές παρατηρήσεις. Εφόσον λοιπόν μπορούμε να κάνουμε τέτοιου είδους αξιόπιστες προβλέψεις για μια μετοχή κατ' επέκταση μπορούμε να προβλέψουμε και την μεταβλητότητα ενός μείγματος μετοχών ενός χαρτοφυλακίου το οποίο για δεδομένο επίπεδο κινδύνου θα βοηθά να επιλέγουμε περιουσιακά στοιχεία ανάλογα με τις επενδυτικές μας ανάγκες και το επενδυτικό μας προφίλ. Επίσης μπορούμε να εξετάζουμε ορθολογικά τις πληροφορίες που διαχέονται στην αγορά και να δεχόμαστε ή να απορρίπτουμε ισχυρισμούς όχι με αίσθηση αλλά με ακρίβεια.

Το μοντέλο GARCH (1,1) είναι η απλούστερη και πιο αξιόπιστη μέθοδος από τις μεθόδους που υπάρχουν στην διεθνή βιβλιογραφία για να εκτιμούν και να προβλέπουν την μεταβλητότητα. Σαφέστατα το μοντέλο μπορεί να επεκταθεί και να τροποποιηθεί με πολλούς τρόπους. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε επιγραμματικά κάποιες από τις βασικές διαφορετικές εκδοχές του σκεπτικού των μοντέλων ARCH/GARCH.

Το μοντέλο GARCH (1,1) μπορεί να γενικευθεί υπό την μορφή GARCH (q,p), δηλαδή υπό τη μορφή ενός μοντέλου με μεγαλύτερο αριθμό υστερήσεων. Τα μοντέλα υψηλότερης τάξης συχνά χρησιμοποιούνται για

δεδομένα μεγαλύτερων χρονικών περιόδων, όπως δεκαετίες από ημερήσιες παρατηρήσεις είτε ένα έτος από ωριαίες παρατηρήσεις. Με τις επιπλέον υστερήσεις τα μοντέλα μας επιτρέπουν να ομαλοποιούμε την πορεία των ιστορικών δεδομένων και να τα κάνουμε περισσότερο προβλέψιμα. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το GARCH (2,2) το οποίο και παρουσιάστηκε από τους Engle και Lee το 1999 το οποίο και αποκαλείται «μοντέλο συνιστωσών». Παρόλα αυτά τα μοντέλα ARCH/GARCH δεν εξετάζουν την κατεύθυνση των αποδόσεων παρά μόνο το μέγεθος. Οι επιστημονικές έρευνες όμως έχουν δείξει ότι η κατεύθυνση, όντως επηρεάζει τη μεταβλητότητα. Υπάρχει ποικιλία ασύμμετρων μοντέλων GARCH συμπεριλαμβανομένων και EGARCH μοντέλων σύμφωνα με τον Nelson (1991), των TARARCH μοντέλων τα οποία παρουσιάστηκαν από τους Rabemananjara και Zakoian το 1993, τους Glosten και Jagannathan το 1993 και μια συλλογή και σύγκριση από τον Engle το 1993. Ο στόχος της ανάλυσης της μεταβλητότητας θα πρέπει να είναι η εξήγηση των αιτιών που προκαλούν τη μεταβλητότητα.

Αν και οι χρόνο-σειρές είναι πολύτιμο υλικό για την επίτευξη προβλέψεων δεν μας ικανοποιούν την ανάγκη για αιτιολόγηση της μεταβλητότητας. Η στρατηγική εκτίμησης που ακολουθούν τα μοντέλα ARCH/GARCH στηρίζεται στην ύπαρξη προδιαγεγραμμένων ή εξωγενών μεταβλητών. Εφαρμόζουμε για την εκτίμηση της διακύμανσης την ίδια διαδικασία που εφαρμόζουμε και για την εκτίμηση της μέσης τιμής. Με αυτό τον τρόπο εξάγουμε συμπεράσματα και δεχόμαστε ή απορρίπτουμε υποθέσεις για να καταλήξουμε στην βελτιστοποίηση του μοντέλου. Αυτή η διαδικασία όμως δεν μπορεί να μας βοηθήσει στο να διαλευκάνουμε ποια είναι η βασική αιτία του κινδύνου (μεταβλητότητα). Σαφώς και η μεταβλητότητα μπορεί να οφείλεται σε πληροφορίες που διαχέονται στην αγορά, το timing όμως κατά το οποίο διαδίδονται οι πληροφορίες μπορεί να μην αποτελεί αιτία με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι προβλέψιμες συνιστώσες της μεταβλητότητας. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι για παράδειγμα οι οικονομικές ανακοινώσεις. Επίσης παρατηρείται το φαινόμενο, τα νέα τα οποία επηρεάζουν τη μεταβλητότητα σε μια αγορά X να προκαλούνται από νέα τα οποία αφορούν μια αγορά Y. Π.χ. η απόδοση και ο τζίρος του Χρηματιστηρίου Αθηνών Αξιών να μεταβάλλεται ανοδικά ή καθοδικά από προσδοκίες οι οποίες δημιουργήθηκαν στους επενδυτές από την ανακοίνωση γεγονότων

στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Ο Engle, ο Ito και ο Lin ονόμασαν τα φαινόμενα αυτού του είδους «κύματα έντασης» και «βροχή μετεωριτών».

Παρόμοιοι προβληματισμοί προκύπτουν όταν εξετάζουμε τη μεταβλητότητα διαφορετικών τίτλων κεφαλαίου οι οποίοι κινούνται μέσα στην αγορά. Ένα εύλογο ερώτημα είναι το αν υπάρχει σχέση αιτιότητας μεταξύ των μεταβολών των αποδόσεων μιας μετοχής με τις μεταβολές των αποδόσεων μιας άλλης μετοχής. Σύμφωνα με την ανάπτυξη του υποδείγματος τιμολόγησης περιουσιακών στοιχείων από τον W. Sharpe, ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται οι αποδόσεις μιας μετοχής επηρεάζεται έντονα από τον τρόπο που μεταβάλλονται οι αποδόσεις της αγοράς ως σύνολο. Ακόμα η μεταβλητότητα μιας μετοχής διαχωρίζεται σε clusters μέσα στο χρόνο στα οποία παρουσιάζεται μια συγκεκριμένη συμπεριφορά (risky periods – safe periods). Όλοι αυτοί οι προβληματισμοί κέντρισαν το ενδιαφέρον των επιστημόνων οι οποίοι ξεκίνησαν να μελετούν πολύ-μεταβλητά μοντέλα στα οποία δεν είναι μόνο η μεταβλητότητα υπό εξέταση αλλά και οι αυτό-συσχετίσεις. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλά είδη μοντέλων ARCH με μεγαλύτερο αριθμό μεταβλητών τα οποία όμως ενέχουν μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας στην εκτίμηση και τη παραμετροποίηση.

Τέτοια μοντέλα μας παραπέμπουν στη μελέτη εξισώσεων τύπου VAR(vector auto regression) οι οποίες μπορούν να εφαρμοσθούν και να ελεγχθούν για την εκτιμητική αξιοπιστία τους σε αναρίθμητα παραδείγματα τίτλων κεφαλαίου με κυμαινόμενη αξία. Όσο και αν φαίνεται η ανάλυση αυτή και η οικονομετρική προσέγγιση υπέρ το δέον αναλυτική και λεπτομερής για έναν οικονομολόγο, είναι πολύτιμη για την παρουσίαση επιχειρημάτων και τη λήψη χρηματοοικονομικών αποφάσεων.

Η μέτρηση και η διαχείριση του κινδύνου αποτελεί δομικό στοιχείο για την επιτυχία και την ευστοχία οποιασδήποτε απόφασης αφορά την τιμολόγηση κεφαλαίου, την διαχείριση χαρτοφυλακίου, την αξιολόγηση εναλλακτικών επενδύσεων και γενικότερα για οποιαδήποτε απόφαση η οποία διέπεται από κάποιο βαθμό αβεβαιότητας.

Τα μοντέλα GARCH είναι ένα ευρέως διαδεδομένο εργαλείο προσδιορισμού του κινδύνου και σε συνδυασμό με την υπάρχουσα τεχνολογία ο αναλυτής μπορεί με την χρήση τους να φτάσει σε αξιόπιστα συμπεράσματα και να είναι αποτελεσματικός μέσο των αποφάσεων του

οι οποίες θα στηρίζονται σε ορθολογικά επιχειρήματα και όχι στην αίσθηση. Το αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι οι χρηματοοικονομικές εφαρμογές, οι παραπάνω διαδικασίες όμως μπορούν να βοηθήσουν ένα στέλεχος να προσεγγίζει οποιοδήποτε θέμα το οποίο ενέχει αβεβαιότητα όπως π.χ. μελλοντικές πωλήσεις, χρηματικές ροές, την επίδραση της διαφήμισης στην ένταση της κυκλοφορίας ενός προϊόντος, την επίδραση της αλλαγής της τιμής στις πωλήσεις ενός προϊόντος και άλλα πολλά ζητήματα που αφορούν την επιτυχία μιας επιχείρησης. Μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης ανάλυση παρόμοιων ζητημάτων με τη χρήση μη γραμμικών μοντέλων (δυναμικά μοντέλα) τα οποία και αγγίζουν ρεαλιστικότερα το επιστημονικό πεδίο της διαχείρισης χαρτοφυλακίου και γενικότερα την ανάλυση και επεξεργασία των time series data.

3.2 Εφαρμογή μοντέλου

Εφαρμογή Monte Carlo

Ορίζεται ως η μίμηση της συμπεριφοράς ενός πολύπλοκου μοντέλου με πιθανό-κεντρικό τρόπο και η χρήση στοχαστικών τεχνικών για τη μελέτη μη στοχαστικών μαθηματικών προβλημάτων (Δελαπόρτας, 1994). Τα στοχαστικά μοντέλα εξελίσσονται τυχαία ως προς το χρόνο ή οποιαδήποτε άλλη παράμετρο, περιγράφουν τη διαδοχική εξέλιξη ως προς την όποια παράμετρο και εκφράζονται από μια συλλογή τυχαίων καταστάσεων, σε κοινό χώρο πιθανοτήτων (Γκανάτσιου & Τζορτζιός, 2003). Η ανάπτυξη της στατιστικής θεωρίας στις αρχές του 20ου αιώνα, στα μαθηματικά και των ιδεών που πηγάζουν από αυτή, οδήγησε στην ανάπτυξη στοχαστικών μοντέλων στις φυσικές επιστήμες για φαινόμενα που δεν μπορούσαν να εκφραστούν μαθηματικά, με αναλυτικό τρόπο. Μια σημαντική θεωρία στην οποία εφαρμόζονται για πρώτη φορά στοχαστικές τεχνικές είναι η θεωρία των «Στοχαστικών - Μαρκοβιανών Ανελιξεων» (Stochastic-Markov Process Theory) ή όπως έχει επικρατήσει «Αλυσίδες Μαρκοφ» (Markov Chain) (Γκανάτσιου & Τζορτζιός, 2003, Δελαπόρτας, 1994). Η θεωρία αυτή βρίσκει εφαρμογή με πολύ καλά αποτελέσματα για τη μελέτη φυσικών φαινομένων και είναι η θεωρητική βάση για τη μέθοδο Monte Carlo (Voulgarakis, 2002). Δημιουργήθηκε από το Ρώσο μαθηματικό Μαρκοφ (1856-1922) από τις μελέτες του για τον τρόπο αλλαγής σε ένα λογοτεχνικό κείμενο, των

φωνηέντων σε σχέση με τα σύμφωνα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται προσπάθεια να προβλεφθεί η εξέλιξη ενός τυχαίου φαινομένου.

Λαμβάνοντας υπόψη το βασικό μηχανισμό του μελετώμενου συστήματος.

Ιδανικά αέρια

Ο αριθμός των μορίων κάποιου αερίου είναι μεγάλος και η απόσταση που τα χωρίζει υπό ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγάλη συγκρινόμενη με το μέγεθος των μορίων. Αυτό σημαίνει ότι τα μόρια καταλαμβάνουν έναν αμελητέο όγκο στο δοχείο που βρίσκονται ο περισσότερος χώρος είναι κενός, ανάμεσα στα μόρια. Μια βασική επιστημονική υπόθεση που έχει γίνει για προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά των αερίων είναι η υπόθεση του ιδανικού αερίου όπου παρουσιάζεται πιο απλοποιημένη συμπεριφορά. Είναι γνωστό από τη Θερμοδυναμική (Serway, 2003) ότι ένα ιδανικό αέριο μπορεί να περιγράψει μακροσκοπικά από τρεις ιδιότητες, τη πίεση (p), τη θερμοκρασία (T) και τον όγκο (V) του αερίου. Η «Καταστατική εξίσωση των αερίων» μας δίνει ότι:

$$pV = nRT = \text{σταθ. } pV = NkT. = \text{σταθ}$$

R: η σταθερά των ιδανικών αερίων, n: ο αριθμός των mole, N: ο συνολικός αριθμός των μορίων, k: η σταθερά Boltzmann. Η εσωτερική ενέργεια των μορίων του αερίου δίνεται θεωρητικά από τη σχέση:

$$U = \frac{3}{2} nRT$$

Η πίεση (p) που ασκούν τα μόρια συγκρούμενα με τα τοιχώματα του δοχείου είναι:

$$p = \frac{Nmv^2}{3V}$$

V: ο όγκος του δοχείου που περιέχεται το αέριο.

Η θερμοκρασία του αερίου υπολογίζεται λύνοντας τη σχέση 1β ως προς T.

Με δεδομένο ότι τα μόρια του αερίου συγκρούονται συνεχώς οπότε και αλλάζουν την ταχύτητα κινήσεώς τους μπορούμε να πούμε ότι οι ταχύτητες των μορίων ενός αερίου δεν είναι ίδιες αλλά κατανέμονται σε μια περιοχή τιμών. Οι Maxwell - Boltzmann προσδιόρισαν την κατανομή των τιμών των ταχυτήτων θεωρητικά πριν ακόμα υπάρξει η δυνατότητα για πειραματικές μετρήσεις. Η κατανομή Maxwell - Boltzmann ομοιάζει

με την κανονική κατανομή οπότε για τη δημιουργία του μοντέλου θα χρησιμοποιήσουμε την ιδιότητα αυτή ώστε η γεννήτρια τυχαίων αριθμών που θα δίνει κίνηση στο εκάστοτε μόριο να παρουσιάζει κατανομή τιμών ίδια με αυτή της κανονικής κατανομής. Η ποσότητα u^2 ονομάζεται μέσο τετράγωνο της ταχύτητας και ορίζεται:

$$\overline{u^2} = \frac{\sum u_i^2}{N}$$

Μια πολύ χρήσιμη ποσότητα για τη μοριακή δυναμική των αερίων είναι η ενεργός ταχύτητα (u_{rms}) των μορίων:

$$u_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{\sum u_i^2}{N}}$$

Η παρακάτω σχέση περιγράφει τη δύναμη που αναπτύσσεται σε ένα μόριο όταν αυτό αντιδρά ελαστικά με τα τοιχώματα του δοχείου.

$$F = \sum_{i=1}^N \frac{mu_{xi}^2}{d} \quad F = \sum_{i=1}^N \frac{mu_{xi}^2}{d}$$

Όπου d η οριζόντια απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων του δοχείου. Ως μοντέλο που περιγράφει τη ταλάντωση του μορίου θεωρούμε δύο τουλάχιστον άτομα συνδεδεμένα μεταξύ τους με ένα φανταστικό ελατήριο. Η δύναμη που ασκείται στα μόρια δίνεται από το νόμο του Hook με k το συντελεστή ταλάντωσης και x την απόσταση ταλάντωσης. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η συνολική κινητική ενέργεια ενός αερίου N μορίων που κινούνται και ταλαντώνονται χωρίς να περιστρέφονται εκφράζεται από:

$$U = \sum_i^N E_{\text{κι}} + E_{\text{ε}} = \sum_i^N \frac{1}{2} m_i u_i^2 + \frac{1}{2} k_i x_i^2$$

Μοντέλο διατομικού αερίου

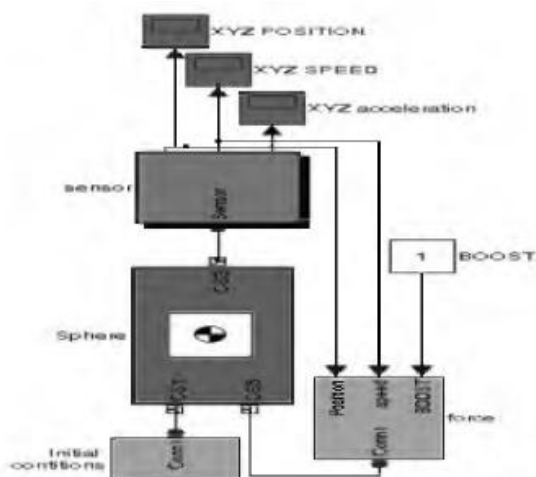
Προκειμένου να δημιουργήσουμε το μοντέλο ενός διατομικού αερίου θα εργαστούμε με το λογισμικό Simulink του Matlab. Το Simulink είναι ουσιαστικά γλώσσα προγραμματισμού (MathWorks 2002) και συνδυάζει ευκολία χρήσης για δημιουργία μοντέλων, αξιοπιστία ως προς τα φυσικά συστήματα, εποπτικότητα προγραμματισμού, (Kalagasidis et al., 2006), τεράστιες δυνατότητες γραφικών απεικονίσεων σε 2, 3 διαστάσεις και σε

εικονική πραγματικότητα (Hanselman, 2001) ενώ προσφέρεται σε ένα διαδραστικό περιβάλλον.

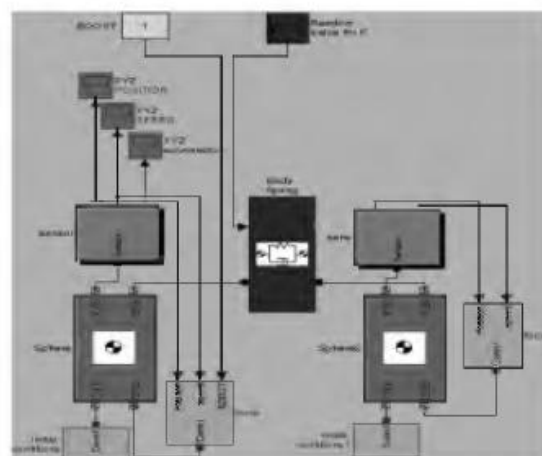
Από τη βιβλιογραφία (Serway, 2003) γνωρίζουμε ότι η μάζα κάθε μορίου είναι $33,55 \times 10^{-25}$ gr. Από τη σχέση 5β υπολογίζουμε ότι η ενεργός ταχύτητα των μορίων είναι $1,93 \times 10^3$ m/sec για θερμοκρασία $T=300^\circ\text{K}$. Δημιουργώντας ένα μοντέλο που περιλαμβάνει 8 μόρια ο αριθμός των mol θα είναι $n=1,33 \times 10^{-23}$ mol, από τη σχέση 2 υπολογίζουμε εσωτερική ενέργεια $U=4,98 \times 10^{-23}$ J και από τη σχέση 1α πίεση $p=1,23 \times 10^{24}$ N/m². Οι παραπάνω τιμές είναι θεωρητικές και περιμένουμε να επαληθευτούν από τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Αλγόριθμος

- Δημιουργούμε σφαίρα μάζας $m=16,75 \times 10^{-25}$ gr με το μπλοκ «body»



Εικόνα 1. Μοντέλο σφαίρας



Εικόνα 2. Μοντέλο διατομικού μορίου

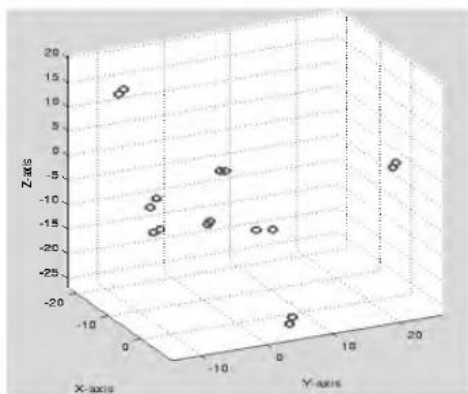
- Ορίζουμε αρχικές συνθήκες μηδενικής βαρύτητας, θέσης και βαθμών ελευθερίας από τα μπλοκ «environment, linear position, joint, ground»
- Δίνουμε κίνηση στη σφαίρα με τιμές από τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών χρησιμοποιώντας το μπλοκ «body actuator». Η κατανομή των τιμών είναι Gaussian μιας και η θεωρητική κατανομή ταχυτήτων Maxwell – Boltzmann των μορίων προσομοιάζει αυτή της κατανομής Gauss.
- Παρεμβάλουμε ένα πολλαπλασιαστή boost ώστε να μεταβάλουμε την

ασκούμενη δύναμη.

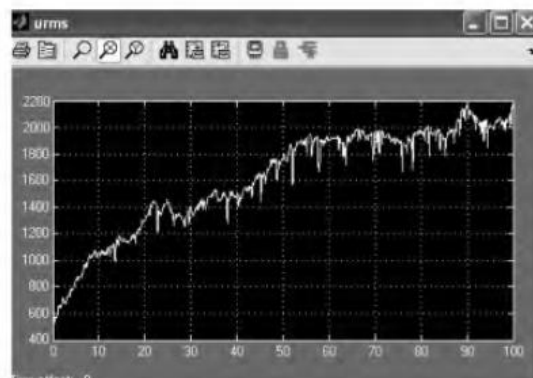
- Δημιουργούμε δεύτερη σφαίρα μάζας $m=16,75 \times 10^{-25}$ gr. Συνδέουμε τις δύο σφαίρες με το μπλοκ «body spring» (Εικ. 2).
- Συνδέουμε την τιμή του συντελεστή ταλάντωσης (κ) με γεννήτρια τυχαίων αριθμών.
- Κάθε φορά που μια σφαίρα πλησιάζει στο όριο των 30 m που είναι τα όρια του «δοχείου» ασκείται πάνω τους δύναμη από τη σχέση 7, τέτοια ώστε να εξουδετερώνει την κάθετη στο επίπεδο ορμή και να της προσδίδει μια αντίθετη κατεύθυνση.
- Αναπαράγουμε το παρόν μοντέλο ώστε να δημιουργήσουμε και άλλα μόρια.
- Δημιουργώντας αλγόριθμους από τις εξισώσεις υπολογισμού μέσης (Εξ. 4) και ενεργής ταχύτητας (Εξ. 5γ), εσωτερικής ενέργειας (Εξ. 7) και πίεσης (Εξ. 3) και κάνοντας λήψη των δεδομένων κίνησης των σφαιρών από τα μπλοκ «body sensor» υπολογίζουμε τα σχετικά μεγέθη.
- Οι βαθμοί ελευθερία είναι 6 σε X, Y, Z
- Ο χρόνος προσομοίωσης είναι 100 sec.

Αποτελέσματα

Η κίνηση των μορίων παρουσιάζεται με τρισδιάστατο γράφημα (Εικ. 3) όπου τα μόρια φαίνονται να κινούνται σε πραγματικό χρόνο και να ταλαντεύονται τα άτομά τους.



Εικόνα 3. Τρισδιάστατο γράφημα

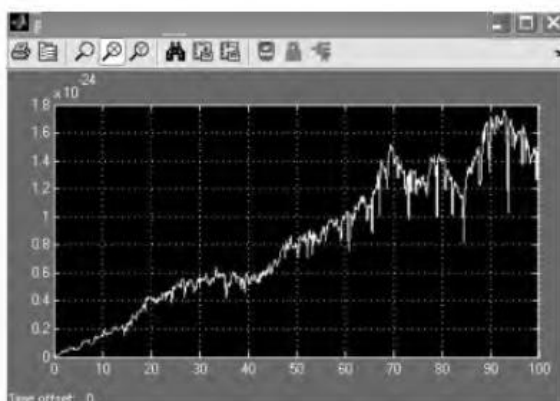


Εικόνα 4. Ταχύτητα μορίων (m/sec)

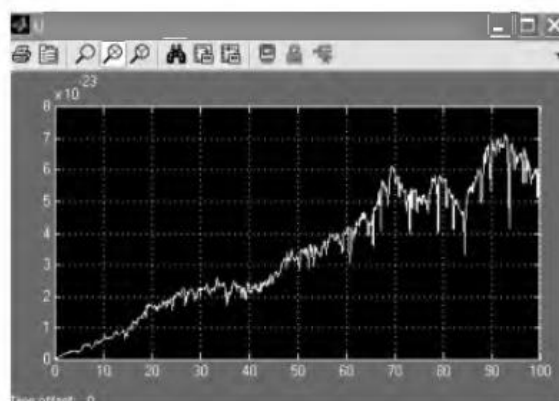
Η ενεργός ταχύτητα των μορίων παρουσιάζεται σε γράφημα (Εικ. 4) και σε πραγματικό χρόνο. Η θεωρητική τιμή είναι 1902m/sec για $T=300^{\circ}\text{K}$ και όπως βλέπουμε στο γράφημα προσεγγίζεται σχετικά.

Η πίεση που ασκεί το αέριο στην επιφάνεια του δοχείου προκύπτει θεωρητικά από τη σχέση 1 και είναι $p=1,23 \times 10^{24} \text{ N/m}^2$, τιμή η οποία προσεγγίζεται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Εικ. 5).

Η εσωτερική ενέργεια του συστήματος παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα (Εικ. 6). Η θεωρητική τιμή είναι $U=4,98 \times 10^{23} \text{ J}$. και σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο προσεγγίζει τις θεωρητικές τιμές.



Εικόνα 5. Πίεση στα τοιχώματα (N/m^2)



Εικόνα 6. Εσωτερική ενέργεια (J)

Η μέθοδος Monte Carlo μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία προσομοιώσεων μοριακής δυναμικής. Λόγω των περιορισμών που επιβάλλει η πεπερασμένη υπολογιστική δύναμη δεν είχαμε την δυνατότητα να δημιουργήσουμε περισσότερα μόρια και έτσι να έχουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα προσέγγισαν τις θεωρητικές τιμές αποδεικνύοντας την αξιοπιστία της μεθόδου. Με περισσότερα μόρια και μεγαλύτερη συχνότητα των τυχαίων αριθμών, θυμίζουμε ότι στην πραγματικότητα συμβαίνουν εκατομμύρια συγκρούσεις ανά δευτερόλεπτο, τα αποτελέσματα θα ήταν ακόμη περισσότερο κοντά στις θεωρητικές τιμές. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορεί να απεικονίζονται τρισδιάστατα και να προσφέρουν την καλύτερη δυνατή οπτικοποίηση της συμπεριφοράς των μορίων διατομικού αερίου. Τα αποτελέσματα προσέγγισαν τα πραγματικά συστήματα. Λόγω της μεθόδου Monte Carlo κάθε φορά παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά των μορίων. Έτσι οι ενδιαφερόμενοι που θα χρησιμοποιήσουν την προσομοίωση θα έχουν μια

δυναμική εμπειρία της συμπεριφοράς διατομικών μορίων αερίου. Μπορεί να εξηγήσει φυσικά φαινόμενα με διαφορετικό - μοριακό - τρόπο, καταφέροντας έτσι να γίνουν τα φαινόμενα κατανοητά σε μεγαλύτερο μέρος ενδιαφερόμενων.

Πέραν της ρεαλιστικής προσέγγισης του μοντέλου οι δυνατότητες του Simulink το καθιστούν εξαιρετικά διαδραστικό μιας και ανά πάσα στιγμή ο χρήστης μπορεί να επέμβει σε οποιαδήποτε παράμετρο και να δει τη συμπεριφορά του αερίου. Το μοντέλο που προτείνουμε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διδασκαλία φυσικής και χημείας σε δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση. Μπορεί επίσης να επεκταθεί σε μεγάλο μέρος θερμοδυναμικών διαδικασιών και να προσαρμοστεί σε ειδικές καταστάσεις.

3.3 Εφαρμογή Μοντέλου SARMA

Τα έντομα ανήκουν στους ποικιλόθερμους οργανισμούς και οι πληθυσμοί τους επηρεάζονται σημαντικά από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και ειδικότερα τη θερμοκρασία. Σε εύκρατα κλίματα, όπως της χώρας μας, παρατηρούνται συνήθως περισσότερες από μια γενεές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ωστόσο έχουν παρατηρηθεί και διακυμάνσεις από έτος σε έτος και ανάλογα με την περιοχή και το είδος πληθυσμού (Damos and Savouroulou-Soultani 2007,2008a,b, 2010, 2012).

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να διερευνηθεί η ύπαρξη περιοδικότητας στην εμφάνιση ενηλίκων αρσενικών των λεπιδοπτέρων *Anarsia lineatella* (Lepidoptera: Gelechiidae), *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) και *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae). Σημειώνεται ότι τα είδη αυτά συμπεριλαμβάνονται στους σημαντικότερους εχθρούς της ροδακινιάς και ο μέχρι στιγμής συμβατικός τρόπος καταπολέμησης τους βασίζεται στην εφαρμογή χημικών ουσιών ημερολογιακά σε συνδυασμό με τα φαινολογικά στάδια του ξενιστή. Μεταξύ των μειονεκτημάτων του τρόπου αυτού καταπολέμησης είναι η χρήση συμβατικών, και συνήθως μη-εκλεκτικών χημικών σκευασμάτων, σε χρόνους όπου μπορεί και να μην παρατηρούνται γενεές. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες καθώς και επιπλέον οικονομική επιβάρυνση για τον παραγωγό δεδομένου ότι αρκετοί από

τους ψεκασμούς αυτούς είναι μη -επιβεβλημένοι. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η περιγραφή της πληθυσμιακής εμφάνισης των τριών ειδών και η διερεύνηση της περιοδικότητας στην εμφάνισή τους βασιζόμενες σε ανάλυση χρονοσειρών. Το σύνολο των δεδομένων, τα οποία συλλέγονται διαχρονικά κατά το διάστημα της τελευταίας δεκαετίας, εκφράζουν την εξέλιξη των πληθυσμών της μεταβλητής εντόμου στην περιοχή παρατήρησης. Η εποχική εμφάνιση των πληθυσμών εντόμων θεωρείται ως στάσιμη χρονοσειρά και προσεγγίζεται ως μια στοχαστική διαδικασία που εξελίσσεται σε διακριτό χρόνο. Κατά συνέπεια η εποχική εμφάνιση των πληθυσμών περιγράφεται με την βοήθεια αυτοπαλινδρομικών στοχαστικών μοντέλων (Wei 2006).

Για την παρακολούθηση της πτήσης των ενήλικων αρσενικών, χρησιμοποιήθηκαν φερομονικές παγίδες τύπου Δέλτα (Pherecon® Pheromone traps), που στο εσωτερικό τους περιείχαν εξατμιστήρες φερομόνης φύλου. Οι παγίδες τοποθετούνταν στις αρχές Απριλίου σε ύψος δύο περίπου μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους ενώ η παρακολούθηση περιλάμβανε τον έλεγχο όλων των παγίδων

κάθε τρεις ημέρες. Οι εξατμιστήρες με τη συνθετική φερομόνη αντικαθίσταντο με νέους κάθε 20 ημέρες περίπου, ενώ η αντικατάσταση κολλητικών επιφανειών των παγίδων γινόταν όποτε κρινόταν απαραίτητο. Συνολικά τοποθετήθηκαν παγίδες σε 13 διαφορετικές περιοχές παρατήρησης (8 για το *A.orana*, 3 για το *A.lineatella* και 2 για το *G.molesta*) που ανήκουν στην επικράτεια των γεωργικών συνεταιρισμών παραγωγής ροδάκινου Αλιάκμονα, Μέσης και Άμμου του νομού Ημαθίας. Το σύνολο των δεδομένων που συλλέχθηκαν διαχρονικά (2004-2011) αποτελεί τις χρονοσειρές που αναλύθηκαν. Θεωρούμε τη χρονική εξέλιξη του πληθυσμού ενός είδους εντόμου X ως χρονοσειρά, δηλαδή πραγματοποίηση στοχαστικής διαδικασίας σε διακριτό χρόνο. Συγκεκριμένα οι διαδοχικές μετρήσεις του πληθυσμού για πεπερασμένο χρόνο αποτελούν τη χρονοσειρά :

$$X_1, X_2, \dots, X_n = \{X_t\}_1^n$$

για κάποια υστέρηση τ είναι (Wei2006):

όπου S_x είναι η διασπορά της $\{x_t\}_1^n$

Για την εκτίμηση της τάξης του αυτοπαλινδρομικού μέρους του μοντέλου, δηλαδή της μέγιστης υστέρησης της X , χρησιμοποιείται η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF). Η εκτίμηση της γίνεται με χρήση αυτοπαλινδρομικών μοντέλων αυξανόμενης τάξης p , $AR(p)$:

$$x(t) = \varphi_0 + \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \dots + \varphi_p X_{t-p}$$

όπου $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ είναι οι συντελεστές του $AR(p)$ και ε_t λευκός θόρυβος με μέση τιμή 0 και διασπορά σ^2 . Οι συντελεστές του $AR(p)$ υπολογίζονται από την προσαρμογή του μοντέλου στην

$$x(t) = \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \dots + \varphi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

με κάποια μέθοδο εκτίμησης παραμέτρων, όπως των ελαχίστων τετραγώνων. Για κάθε υστέρηση p , η μερική αυτοσυσχέτιση εκτιμάται από το συντελεστή p του $AR(p)$ (οι δύο δείκτες p δηλώνουν το συντελεστή για υστέρηση p στο μοντέλο τάξης p).

Η τάξη p του AR μέρους και q του MA μέρους, και κατ' επέκταση των P και Q , μπορούν να διερευνηθούν από την τάξη (υστέρηση) που η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης, αντίστοιχα, γίνονται στατιστικά ασήμαντες. Γενικά όταν έχουμε να επιλέξουμε μεταξύ διαφόρων μοντέλων, που η πολυπλοκότητα τους δίνεται από τον αριθμό των συντελεστών του k , χρησιμοποιείται κάποιο κριτήριο πληροφορίας, όπως του Akaike (Akaike 1974):

$$AIC(k) = n \log S^2_\varepsilon + 2k$$

Όπου S^2_ε είναι η εκτίμηση της διασποράς των σφαλμάτων, δηλαδή του σ^2_ε . Το πιο κατάλληλο μοντέλο είναι αυτό που δίνει την ελάχιστη τιμή του $AIC(k)$. Αντίστοιχα μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κριτήριο πληροφορίας σφάλματος FPE (Final Prediction Error):

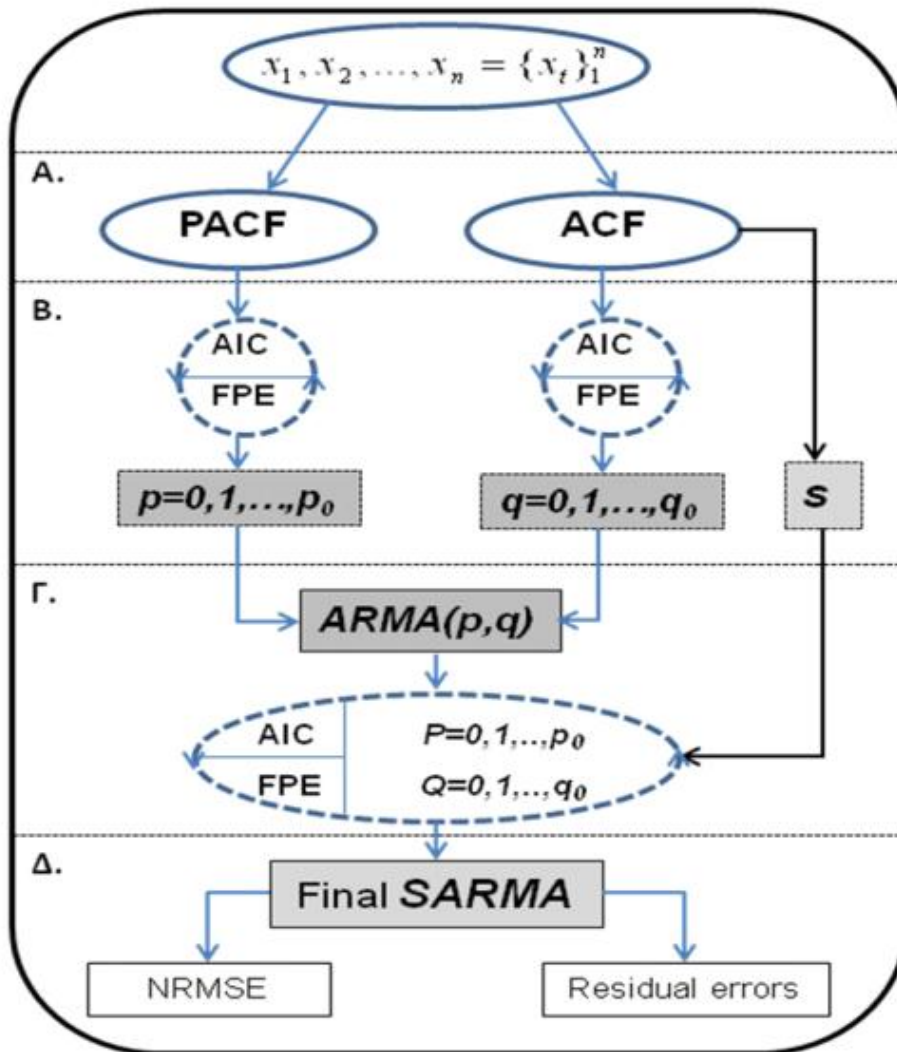
$$FPE(k) = s^2_\varepsilon \left(\frac{n+k}{n-k} \right)$$

Τέλος, ως μέτρο σφάλματος πρόβλεψης για κάθε μοντέλο χρησιμοποιήθηκε η ρίζα του μέσουκανονικοποιημένου τετραγωνικού σφάλματος (Normalized Root Mean Square Error):

$$\text{NRMSE} = \frac{\sum_{t=l+1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{\sum_{t=l+1}^n (x_t - \bar{x})^2},$$

όπου \hat{x}_t η εκτίμηση (πρόβλεψη) του x_t

γνωρίζοντας τη χρονοσειρά ως τη χρονική στιγμή $t-1$, και l η μεγαλύτερη υστέρηση στο μοντέλο (για το SARMA(p,q)x(P,Q)S είναι P_s+p). Τιμές του NRMSE κοντά στο 0 δηλώνουν πολύ καλή πρόβλεψη ενώ τιμές του NRMSE κοντά στο 1 δηλώνουν ότι η πρόβλεψη είναι τόσο καλή όσο αν προβλέπαμε με τη μέση τιμή γνωρίζοντας τη χρονοσειρά ως τη χρονική στιγμή $t-1$, και l η μεγαλύτερη υστέρηση στο μοντέλο (για το SARMA(p,q)x(P,Q)S είναι P_s+p). Τιμές του NRMSE κοντά στο 0 δηλώνουν πολύ καλή πρόβλεψη ενώ τιμές του NRMSE κοντά στο 1 δηλώνουν ότι η πρόβλεψη είναι τόσο καλή όσο αν προβλέπαμε με τη μέση τιμή.



Διάγραμμα 3.

Για την εκτίμηση του $SARMA(p, q) \times (P, Q)_s$ θα πρέπει να προσδιορίσουμε την περίοδο s και τις τάξεις p, q, P, Q . Μπορεί να γίνει πλήρης διερεύνηση για όλους του

συνδυασμούς των p, q, P, Q (αλλά και s) με κάποιο κριτήριο πληροφoρίας, αλλά εδώ επιλέγουμε μια βηματική διαδικασία ως εξής

A. Αρχικά εκτιμάται η περίοδος s (αν υπάρχει) από τη μορφή της ACF. Επίσης δίνεται μια πρώτη εκτίμηση του επιπέδου τιμών των τάξεων p και q του AR και MA από τις στατιστικά σημαντικές υστερήσεις των PACF και ACF, αντίστοιχα.

B. Με βάση τα επίπεδα τιμών που υπολογίστηκαν στο A, επιλέγονται οι μέγιστες τάξεις p_0 και q_0 για τη διερεύνηση του $ARMA(p, q)$ από τα

κριτήρια πληροφορίας AIC και FPE. Υπολογίζονται τα AIC και FPE για τα μοντέλα ARMA(p,q), για όλους τους συνδυασμούς των τάξεων p και q από μηδέν ως p₀ και q₀, αντίστοιχα. Για τις 13 χρονοσειρές των πληθυσμών εντόμων, οι σημαντικές υστερήσεις για ACF και PACF ήταν τις περισσότερες φορές μικρές, ως και τρία, και για αυτό θέσαμε p₀=q₀=3. Από το ελάχιστο των AIC και FPE ορίζουμε το ARMA(p,q) για κάθε χρονοσειρά.

Γ. Έχοντας ορίσει για κάθε χρονοσειρά την περίοδο s (στο A) και τις τάξεις p και q (στο B), υπολογίζουμε τα AIC και FPE για τα μοντέλα SARMA(p,q)x(P,Q)^s, δηλαδή για συνδυασμούς των P και Q από 0 ως 3. Από το ελάχιστο των AIC και FPE ορίζουμε το τελικό μοντέλο SARMA(p,q)x(P,Q)^s για κάθε χρονοσειρά.

Δ. Για κάθε βέλτιστο μοντέλο SARMA(p,q)x(P,Q)^s που επιλέχτηκε για κάθε χρονοσειρά στο Γ, υπολογίζουμε το NRMSE ως δείκτη προσαρμοστικότητας (προβλεψιμότητας) του μοντέλου. Επίσης εξετάζουμε την επάρκεια του μοντέλου, δηλαδή αν τα σφάλματα προσαρμογής του μοντέλου είναι λευκός θόρυβος με σταθερή διασπορά (residual errors), σχηματίζοντας το γράφημα διασποράς κανονικοποιημένων σφαλμάτων προς τις προσαρμοσμένες τιμές και το γράφημα ιστορίας των σφαλμάτων. Λογική πορεία βελτιστοποίησης παραμέτρων και κατασκευής αυτοπαλίνδρομων στοχαστικών μοντέλων για την περιγραφή πληθυσμών εντόμων.

Τέλος η πληθυσμιακή εξέλιξη εντόμων και περιοδικότητα της στοχαστικής διαδικασίας με βάση τη μορφή της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (ACF) διερευνήθηκε η ύπαρξη περιοδικότητας 1 και η τάξη του MA μέρους στις χρονοσειρές πληθυσμών εντόμων (βήμα A). Για το σύνολο των περιοχών που μελετήθηκαν και που αφορούσαν στους πληθυσμούς εντόμων των ειδών *A. orana* (X_i) και *A. lineatella* (Y_i) παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αυτοσυσχέτιση κυρίως στις δύο πρώτες υστερήσεις και κάποια ασθενής περιοδικότητα, ενώ για τον πληθυσμό του είδους *G. molesta* (Z_i) η αυτοσυσχέτιση ήταν πιο έντονη αλλά δεν παρουσίαζε κάποια περιοδικότητα. Διευκρινίζεται ότι χρησιμοποιείται ο όρος "περιοδικότητα" αντί του όρου "εποχικότητα", γιατί στην πληθυσμιακή εξέλιξη και εμφάνιση ζωντανών οργανισμών, όπως τα έντομα, δεν υπάρχει δεδομένη σταθερή περίοδος από έτος σε έτος ώστε να χαρακτηριστεί ως εποχική με

καθαρά στατιστικούς όρους. *G.molesta* (Z1). Για το είδος *A.orana* η περιοδικότητα βρέθηκε να είναι γύρω στο 16 σε όλες τις 8 περιοχές, ενώ για τα άλλα δύο είδη βρέθηκε να είναι γύρω στο 8. Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (ACF) ως προς την υστέρηση (lag) για μια αντιπροσωπευτική χρονοσειρά του είδους *A.orana* στο (α), *A.lineatella* στο (β) και *G.molesta* στο (γ).

Κεφάλαιο 4.

Στο κεφάλαιο αυτό , που είναι άλλωστε και το τελικό κεφάλαιο της παρούσας εργασίας θα γίνει αναφορά για τα διάφορα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Η στοχαστικότητα όπως ξέρουμε είναι μια έννοια που στην ουσία δεν χαρακτηρίζεται από 100% ακρίβεια. Όπως όλοι γνωρίζουμε κάτι το οποίο δεν είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο δεν θεωρείται απολύτως έγκυρο, έτσι με την σειρά τους δεν μπορούν να προσδιοριστούν από απόλυτη εγκυρότητα τα στοχαστικά μοντέλα.

Στην αρχή της παρούσας εργασίας αναφέραμε γενικά για το τι εστί στοχαστικά μοντέλα και το πως λειτουργούν και χρησιμοποιούνται αυτά. Όπως έχει αναφερθεί, ιδιαίτερα μάλιστα στο αρχικό κεφάλαιο, στην ουσία η όλη διεργασία του μοντέλου είναι η συλλογή και η δημιουργία δεδομένων ώστε να γίνει μια έγκυρη και σωστή μελλοντική πρόβλεψη.

Στις μέρες μας έχει αποδειχθεί ότι η επιστήμη των μοντέλων έχει εξελιχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τόσο που πλέον τα μοντέλα μπορεί τις περισσότερες φορές να θεωρηθούν απόλυτα έγκυρα. Αυτό άλλωστε αποδείχθηκε και στις εφαρμογές που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στην ουσία δηλαδή μπορεί τα αποτελέσματα των στοχαστικών μοντέλων, σε οποιονδήποτε τομέα και αν εφαρόστηκαν είτε χρηματοοικονομικό είτε περιβαλλοντικό με βάση το επίπεδο της εξέλιξης τους, μπορούν να χαρακτηριστούν από ικανοποιητική ακρίβεια σε βαθμό τέτοιο ώστε να βγουν έγκυρα συμπεράσματα χρήσιμα, τόσο για την καθημερινότητα όσο και για την επιστήμη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akaike H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Control.*, 19, 716-723.

Box G. E. P., Jenkins G. M. and Reinsel G. C. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, 3rd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Damos P. and Savopoulou-Soultani M. (2007). Flight patterns of *Anarsia lineatella* (Lepidoptera: Gelechiidae) in relation to degree-days heat accumulation in northern Greece. *Com. Agr. and Biol. Sci.*, 72, 465-468, Ghent University.

Damos P. and Savopoulou-Soultani M. (2008a). Development and validation of models in forecasting the seasonal emergency and population dynamics of the peach twig borer *Anarsia lineatella* (Lepidoptera: Gelechiidae) in northern Greece. In *proceedings of XXIII International Congress of Entomology*, 6-12 July, South Africa, Durban, ICE, 1, pp 267.

Damos P. and Savopoulou-Soultan, M. (2008b). Temperature dependent bionomics and modeling of *Anarsia lineatella* (Lepidoptera: Gelechiidae) in the laboratory. *J. Econ. Entomol.* 101, 1557- 1567.

Damos P. and Savopoulou -Soultani M. (2009). Population dynamics of *Anarsia lineatella* (Lep: Gelechiidae) in relation to crop damage and development of economic injury levels. *J. Appl. Entomol.*, 134, 105-115.

Damos P. and Savopoulou-Soultani M. (2010). Development and statistical evaluation of models in forecasting major lepidopterous peach pest complex for integrated pest management programs. *Crop protection*, 29, 1190-1199.

Damos P. and Savopoulou-Soultani M. (2012). *Microlepidoptera of Economic Significance in Fruit Production: Challenges, Constrains and Future Perspectives for Integrated Pest*

Management. In: *Moths: Types, Ecological Significance and Control*. Editor: Luis Cauteruccio, Nova Science Publications, (Chapter 3: in press).

Donner R. V., Small M., Donges J. F., Marwan N., Zou Y., Xiang R., and Kurths J. (2011).

Recurrence-based time series analysis by means of complex network methods *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21(4), 1019–1046

Wei W. W. S. (2006). *Time series analysis. Univariate and multivariate methods*. Pearson Addison Wesley. 2ndEd. NY.

[1] R. Engle, (2001) «The use of ARCH/GARCH models in applied econometrics» *'Journal of Economic Perspectives*, 15:4, pp.157'

[2] R. Engle, T. Ito, W. Lin (1990) «Meteor Showers or Heat Waves? Heteroskedastic Intra-Daily Volatility in the Foreign Exchange Market» *'Econometrica* 58:3, pp.525'

[3] L.J. Gitman, M.D. Joehnk (1998) «ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ Ι» 6η έκδοση, 'ΕΛΛΗΝ'.

L.Glosten, J. Ravi, D. Runkle (1993) «On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess returns on stocks» 'Journal of Finance, 48:5, pp.1779'.

Gujarati (2004) «Basic Econometrics» 4η έκδοση, 'The McGraw-Hill Companies'.

[Κ. Συριόπουλος (1999) « Διεθνείς κεφαλαιαγορές : Θεωρία και ανάλυση», Ανικούλα, Θεσσαλονίκη.

D. Nelson (1991) «Conditional Heteroscedasticity in Asset Returns: A new approach» 'Econometrica 59:2, pp.347'

[8] R. Rabemananjara, J. M. Zakoian (1993) « Threshold ARCH models and Asymmetries in Volatility» 'Journal of applied Econometrics 8:1, pp.31'

Ι. Χαλκιάς (2002) «Στατιστική. Μέθοδοι Ανάλυσης για επιχειρηματικές αποφάσεις» 2η έκδοση, 'Rosili'.

Ainsworth S. (1999). The functions of multiple representations, Computers and Education,33, 131-152.

Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle, Science Education,73, 481-500.

Hanselman, D. C. (2001). Mastering Matlab 6: a Comprehensive Tutorial and Reference.Upper Saddle River: Prentice Hall.

(2006). The International Building Physics Toolbox in Simulink, Energy and Buildings,Elsevier B.V.

Lee, O., Eichinger, D.C., Anderson, C.W., Berkheimer, G.D., & Blakeslee, T.D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules, Journal of Research in Science Teaching, 30, 249-270.

Schlesinger, M.E., and Meehl, G.A., J. *Geophys. Res.*, 89,9475 (1984).

Moore, B. III, and Bolin, B., *Oceanus*, 29, 16-29 (1986/87)

Mann, C.C.,*Science*, 253, 736 (1991)

Brasseur, G., and Solomon, S., *Aeronomy of the Middle Atmosphere*, Reidel Publishers,New York (1986)

Ball ,J.W., Nordstrom, D.K., and Zachman, D.W., *WATEQIVF*, U.S. Geological Survey Open File Report 87-50 (1987)

Felmy, A.R., Girvin, D., and Jenne, E.A., *MINTEQ: A Computer Program for Calculating Aqueous Geochemical Equilibria*, U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA (1984)

Scheltcher, W.D., and Mc Avoy, DC, *MINEQL⁺:A Chemical Equilibrium Program for Personal Computers*, Version 3.0, Environmental Research Software, Hallowell, ME (1994)

Dzombak, D.A., and Morel, F.M.M., *Surface Complexation Modeling*, Wiley, New York (1990)

[Spanos and Failla, 2005] Spanos, P. and Failla, G. (2005). Wavelets: Theoretical Concepts and Vibrations Related Applications. *The Shock and Vibration Digest*, 37(5):359–375.

[Cohen, 1995] Cohen, L. (1995). *Time Frequency Analysis*. Prentice Hall PTR.

[Poulimenos and Fassois, 2007] Poulimenos, A. and Fassois, S. (2007). Asymptotic Analysis of NonStationary Functional Series TAR Estimators. In *15th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED '07)*, Athens, Greece.

[Priestley, 1988] Priestley, M. (1988). *Non-Linear and Non-Stationary Time Series Analysis*. Academic Press.

[Rao, 1970] Rao, T. (1970). The Fitting of Non-Stationary Time-Series Models with Time-Dependent Parameters. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 32(2):312–322.

[Poulimenos and Fassois, 2006] Poulimenos, A. and Fassois, S. (2006). Parametric Time-Domain Methods for Non-Stationary Random Vibration Modelling and Analysis – A critical survey and comparison. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(4):763–816.

[Fouskitakis and Fassois, 2002] Fouskitakis, G. and Fassois, S. (2002). Functional Series TARMA Modelling and Simulation of Earthquake Ground Motion [Fouskitakis and Fassois, 2002] Fouskitakis, G. and Fassois, S. (2002). Functional Series TARMA Modelling and Simulation of Earthquake Ground Motion. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(2):399–420,.

[Fouskitakis and Fassois, 2001] Fouskitakis, G. and Fassois, S. (2001). On the Estimation of NonStationary Functional Series TARMA Models: An isomorphic matrix algebra based method. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, 123(4):601–610

[Fassois, 2001a] Fassois, S. (2001a). Identification, Model-Based Methods. In Braun, S., Ewins, D., and Rao, S., editors, *Encyclopedia of Vibration*, pages 673–685. Academic Press.

[Fassois, 2001b] Fassois, S. (2001b). MIMO LMS-ARMAX Identification of Vibrating Structures – Part I: The method. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 15:723–735.

[Huang et al., 2009] Huang, C., Hung, S., Su, W., and Wu, C. (2009). Identification of Time-Variant Modal Parameters Using Time-Varying Autoregressive with Exogenous Input and Low-Order Polynomial Function. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24(7):470–491

[Bardou and Sidahmed, 1994] Bardou, O. and Sidahmed, M. (1994). Early Detection of Leakages in the Exhaust and Discharge Systems of Reciprocating Machines by Vibration Analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 8(5):551–570.

[Wei and Billings, 2002] Wei, H.-L. and Billings, S. (2002). Identification of Time-Varying Systems Using Multiresolution Wavelet Models. *International Journal of Systems Science*, 4

[Tsatsanis and Giannakis, 1993] Tsatsanis, M. and Giannakis, G. (1993). Time-Varying System Identification and Model Validation Using Wavelets. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 41(12):3512–3523

[Gersch and Kitagawa, 1982] Gersch, W. and Kitagawa, G. (1982). *A Time-Varying Multivariate Autoregressive Modeling of Econometric Time Series*. Statistical Research Division RR82/07, Bureau of the Census.

[Ben Mrad et al., 1998b] Ben Mrad, R., Fassois, S., and Levitt, J. (1998b). A Polynomial-Algebraic Method for Non-Stationary TARMA Signal Analysis – Part II: Application to modeling and prediction of power consumption in automobile active suspension systems. *Signal Processing*, 65(1):21–38.

[Poulimenos and Fassois, 2004b] Poulimenos, A. and Fassois, S. (2004b). Vibration-Based On-Line Method. In *2nd European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2004)*, Munich, Germany

[Chon et al., 2005] Chon, K., Zhao, H., Zou, R., and Ju, K. (2005). Multiple Time-Varying Dynamic Analysis Using Multiple Sets of Basis Functions. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 52(5):956–960.

[Petsounis and Fassois, 2000] Petsounis, K. and Fassois, S. (2000). Non-Stationary Functional Series TARMA Vibration Modelling and Analysis in a Planar Manipulator. *Journal of Sound and Vibration*, 231(5):1355–1376.

[Hammond and White, 1996] Hammond, J. and White, P. (1996). The Analysis of Non-Stationary Signals Using Time-Frequency Methods. *Journal of Sound and Vibration*, 190(3):419–447.

- [Niedzwiecki, 2000] Niedzwiecki, M. (2000). *Identification of Time-Varying Processes*. John Wiley.
- [Charbonnier et al., 1987] Charbonnier, R., Barlaud, M., Alengrin, G., and Menez, J. (1987). Results on AR-Modelling of Nonstationary Signals. *Signal Processing*, 12(2):143–151.
- [Li et al., 2011] Li, Y., Wei, H.-L., Billings, S., and Sarrigiannis, P. (2011). Time-Varying Model Identification for Time-Frequency Feature Extraction from EEG Data. *Journal of Neuroscience Methods*, 196(1):151–158.
- [Clergeot, 1984] Clergeot, H. (1984). Filter-Order Selection in Adaptive Maximum Likelihood Estimation. *IEEE Transactions on Information Theory*, 30(2):199–210
- [Conforto and D’Alessio, 1999b] Conforto, S. and D’Alessio, T. (1999b). Spectral Analysis for Nonstationary Signals from Mechanical Measurements: A parametric approach. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 13(3):395–411.
- [Zhang et al., 2010a] Zhang, L., Xiong, G., Liu, H., Zou, H., and Guo, W. (2010a). Time-frequency Representation Based on Time-varying Autoregressive Model With Applications to Non-stationary Rotor Vibration Analysis. *Sadhana*, 35:215–232.