



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΙΜΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΜΕ ΝΕΥΡΟ-ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ

COMMODITIE'S TREND FORECASTING BY A NEURO-FUZZY CONTROLLER

ΦΡΑΝΤΖΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

A.M. 2007010016

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΤΣΑΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Περιεχόμενα

Περίληψη

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Κεφάλαιο 2: Θεωρητική Περιγραφή Νευρο-Ασαφών Συστημάτων

Ασαφής Λογική

Νευρωνικά δίκτυα

Νευροασαφή συστήματα

Προσαρμοστικό νευροασαφές σύστημα ANFIS

Το μοντέλο PATSOS

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα

Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της παρούσας εργασίας είναι η πρόβλεψη των τιμών των προϊόντων με τη βοήθεια ενός νευρο-ασαφή ελεγκτή. Τα προϊόντα αυτά είναι: βαμβάκι ΗΠΑ, χρυσός, ασήμι, χαλκός, πλατίνα, αργό πετρέλαιο, επεξεργασμένο πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης, καφές ΗΠΑ, καλαμπόκι ΗΠΑ, σιτάρι, ΗΠΑ, κακάο ΗΠΑ, ζάχαρη Λονδίνου, χημός πορτοκάλι, ζάχαρη ΗΠΑ, φυσικό αέριο Λονδίνου, καφές Λονδίνου, κακάο Λονδίνου, εκπομπές διοξειδίου, σόγια ΗΠΑ, σογιέλαιο ΗΠΑ, σιτάρι Λονδίνου, παλλάδιο και βοδινό κρέας. Χρησιμοποιούμε δεδομένα από τις 14 Οκτωβρίου 2009 μέχρι τις 28 Σεπτεμβρίου 2012. Η εκπαίδευση του μοντέλου γίνεται μέχρι 60 συνεδριάσεις πριν τις 28 Σεπτεμβρίου 2012 και η αξιολόγησή του στις 60 αυτές εναπομείναντες.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που έχουμε κάνει. Η ανασκόπηση αυτή περιέχει 49 περιλήψεις, μία για κάθε εργασία που βρέθηκε με θέμα την πρόβλεψη τιμής ή μεταβλητότητας προϊόντων. Η κάθε περίληψη περιέχει μία σύντομη περιγραφή του κάθε μοντέλου, των δεδομένων, της αξιολόγησης του καθώς και συμπεράσματα και σκέψεις για περεταίρω έρευνα. Το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει τη θεωρητική περιγραφή των νευρο-ασαφών συστημάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μορφή πινάκων και γραφημάτων από την εφαρμογή του μοντέλου. Έπειτα στο τέταρτο ακολουθούν τα συμπεράσματα και τέλος η βιβλιογραφία.

Ο οποιοσδήποτε θα ήθελε να προβλέψει το μέλλον. Αν αυτό μπορούσε να επιτευχθεί πολλά πράγματα στον κόσμο μας θα ήταν εντελώς διαφορετικά. Οι χώρες, οι κοινωνίες, οι οικονομίες, τα πάντα. Μία προσέγγιση για να κάνει κανείς πρόβλεψη θα μπορούσε να ήταν η παρακολούθηση των γεγονότων που διαδραματίζονται σε μία κοινωνία. Η ιστορία επαναλαμβάνεται τις περισσότερες φορές οπότε γνωρίζοντας τι έχει γίνει στο παρελθόν μπορεί να προβλεφθεί ένα επόμενο γεγονός. Όμως τα πάντα εξελίσσονται και πλέον κανείς σχεδόν δεν μπορεί να κάνει μία πρόβλεψη βασιζόμενος μόνο σε γεγονότα και επίσης κανένας άνθρωπος δεν μπορεί να επεξεργάζεται ένα τεράστιο όγκο δεδομένων και πληροφοριών. Παρόλα αυτά προσπάθειες πρόβλεψης γίνονται από μία τεράστια μερίδα της κοινωνίας και οι προσπάθειες αυτές αρκετές φορές είναι πολύ επιτυχημένες. Ο λόγος είναι ότι πλέον χρησιμοποιούνται μοντέλα εξελιγμένα τα οποία προσπαθούν να κάνουν τον υπολογιστή να σκέφτεται όπως ο άνθρωπος. Ακόμα μέσα σε όλα αυτά προσθέτονται έννοιες ασαφής λογικής και διαφόρων συστημάτων.

Αποτελέσματα προβλέψεων συναντάμε συνεχώς στη ζωή μας. Για παράδειγμα, καθημερινά όλοι παρατηρούν τα δελτία καιρού από τις μετεωρολογικές υπηρεσίες οι οποίες χρησιμοποιούν ειδικά μοντέλα πρόβλεψης. Άμεσα ενδιαφερόμενοι από αυτή την πρόβλεψη θα μπορούσαν είναι οι αγρότες οι οποίοι σε μία εκτίμηση ότι ο καιρός την επόμενη μέρα θα είναι πολύ άσχημος, θα μπορούσαν να κάνουν κινήσεις για να προστατέψουν τις καλλιέργειές τους. Ή οι αρχές ενός κράτους για να μεριμνήσουν για την προστασία των πολιτών από έναν για παράδειγμα τυφώνα. Επίσης όσοι ασχολούνται με τον τουρισμό και τα ταξίδια είναι άμεσα ενδιαφερόμενοι.

Μία άλλη ομάδα που θα είχε άμεσο και μεγάλο όφελος από μια επιτυχή πρόβλεψη είναι οι επιχειρήσεις. Για παράδειγμα σε μια επιχείρηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν πολύ χρήσιμο να γνωρίζει το ποσό της απαιτούμενης κατανάλωσης ενέργειας για τους επόμενους 3 μήνες για μία συγκεκριμένη περιοχή που τροφοδοτεί. Τα πλεονεκτήματα θα ήταν η αποφυγή παραγωγής επιπλέον ενέργειας η οποία ίσως να μην μπορεί να αποθηκευτεί, αλλά και η πρόληψη ώστε να μην υπάρξει έλλειμμα ζήτησης. Επίσης μία επιχείρηση θα ήθελε να γνωρίζει το πως θα εξελιθούν οι πωλήσεις της ώστε να είναι θέση να κάνει τις κατάλληλες κινήσεις που χρειάζονται, αν χρειάζονται, για να μεγιστοποιήσει τα έσοδα της.

Ένας άλλος τομέας που τρέφει ένα εξαιρετικά μεγάλο ενδιαφέρον για την πρόβλεψη είναι αυτός των επενδύσεων σε χρηματαγορές. Ένας επενδυτής γνωρίζοντας την τάση της τιμής μιας μετοχής σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα θα έχει τη δυνατότητα να κάνει την σωστή επιλογή. Δηλαδή εάν γνωρίζει ότι η τιμή της μετοχής του θα είναι μεγαλύτερη τότε θα την κρατήσει. Διαφορετικά θα την πουλήσει. Επίσης στις αγορές συναλλάγματος κάποιος εάν γνωρίζει ότι η τιμή του δολλαρίου για παράδειγμα θα ανέβει σε σχέση με το ευρώ και έχει χρήματα σε ευρώ τότε θα τον συνέφερε μία αλλαγή του νομίσματος των χρημάτων του.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν στις διεθνείς αγορές τα προϊόντα. Χρυσός, ασήμι, πλατίνα, κακάο, ρύζι, χαλκός, σόγια και άλλα. Η σωστή πρόβλεψη των τιμών τους μπορεί να βοηθήσει επενδυτές στην αποκόμιση κέρδους διαπραγματεύοντας τα, ή επιχειρηματίες και εταιρίες για να προμηθευτούν σε λογικές τιμές τις πρώτες ύλες ή τα εμπορεύματα τους. Είτε αυτό είναι μακροπρόθεσμα είτε βραχυπρόθεσμα.

Η εργασία αυτή έχει σκοπό την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά την

πρόβλεψη τιμών προϊόντων τα οποία διαπραγματεύονται στις διεθνείς αγορές προϊόντων και της διακύμανσης τους, καθώς επίσης και την πρόβλεψη των τιμών 25 διαφορετικών προϊόντων. Η πρόβλεψη αυτή θα γίνει με τη βοήθεια των νευρο-ασαφών τεχνικών για ένα χρονικό ορίζοντα 60 ημερών με δεδομένα από τον Οκτώβριο του 2009 μέχρι και το Σεπτέμβριο του 2012. Παρατηρήθηκε ότι στη διεθνή βιβλιογραφία δεν υπάρχει κάποια αντιστοίχη έρευνα. Αυτό όμως που βρέθηκε ήταν πρόβλεψη είτε της τιμής είτε της διασποράς των τιμών των προϊόντων με διαφορετικές μεθόδους και ποτέ για τόσα προϊόντα. Για αυτό το λόγο καταλήξαμε στο θέμα της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να αναφερθούμε σε μερικές τεχνικές οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη τιμών όχι σε προϊόντα αλλά σε μετοχές. Αυτές είναι οι εξής: Τεχνικά Νευρωνικά Δίκτυα, Multiple linear regression, Autoregressive integrated moving average model (ARIMA), Genetic Algorithm και άλλες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα νευρωνικά δίκτυα και τα νευρο-ασαφή μοντέλα είναι καταλληλότερα για πρόβλεψη των τιμών και των τάσεων των μετοχών και ξεπερνούν τα παραδοσιακά μοντέλα δίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης. Αυτός είναι ένας ακόμα λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούμε ένα νευρο-ασαφές μοντέλο για την πρόβλεψη των τιμών των προϊόντων. Για περισσότερες λεπτομέριες βλέπε *Surveying stock market forecasting techniques – Part II: Soft computing methods* George S. Atsalakis, Kimon P. Valavanis

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει γίνει εκτενής έρευνα για την πρόβλεψη των τιμών και της διακύμανσης των προϊόντων την οποία περηληπτικά παρουσιάζουμε παρακάτω.

- Ο Erch-Cheng Hwa, σε άρθρο του παρουσίασε ένα δυναμικό μοντέλο που παρουσιάζει την προσαρμογή των τιμών και των ποσοτήτων στις βασικές αγορές αγαθών. Το μοντέλο είναι κατασκευασμένο σε ένα ασταθές πλαίσιο δίνοντας έμφαση κυρίως στην προσαρμογή της τιμής. Πέραν της τιμής, συμπεριλαμβάνονται εξισώσεις για την κατανάλωση και παραγωγή αγαθών. Η εμπειρική ανάλυση του μοντέλου γίνεται χρησιμοποιώντας δεδομένα ενός χρόνου από 6 βασικά αγαθά: καφέ, κακάο, λάστιχο, χαλκό, κασσίτερο και ζάχαρη. Η ανάλυση συμπεριλαμβάνει τον προσδιορισμό της τιμής, της κατανάλωσης και της παραγωγής, τα τεστ προσομοιώσεως των δομικά ολοκληρωμένων μοντέλων για τα αγαθά, την προέλευση των δυναμικών αποτελεσμάτων των τιμών των προϊόντων σε σχέση με το παγκόσμιο εισόδημα, τον παγκόσμιο πληθωρισμό και την παραγωγή αγαθών. Οι δυναμικές προσομοιώσεις δείχνουν ότι το μοντέλο ανιχνεύει την κίνηση των ενδογενών μεταβλητών πολύ καλά αν και λάθη προκύπτουν για την τιμή και τις μετοχές ορισμένων αγαθών. Όμως όταν το μοντέλων διαταράσσεται από αλλαγές των εξωγενών μεταβλητών οι δυναμικές προσομοιώσεις επιβεβαιώνουν την κοινή αντίληψη για επαναλαμβανόμενη οικονομική άνοδο των τιμών των βασικών αγαθών. Αυτά τα ευρήματα δίνουν αξιοπιστία και φερεγγυότητα στο κατασκευασμένο μοντέλο. Γενικώς το μοντέλο εντοπίζει ικανοποιητικά τη δυναμική των παγκόσμιων τιμών των αγαθών και γ'αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο εργαλείο για ανάλυση και πρόβλεψη. Τέλος προτείνει δύο τρόπους για να βελτιωθεί το μοντέλο. Πρώτον, εάν η αποφασιστικότητα των παρατηρούμενων μετοχών βελτιωνόταν και δεύτερον εάν δινόταν περισσότερη προσοχή στην δυναμική της προσδοκούμενης τιμής. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι οι επιρροές της προσδοκούμενης τιμής των αγαθών είναι σποραδικές και όχι συστηματική.

- Ο Shahriar Shafiee και Erkan Topal το Μάιο του 2010 δημοσίευσαν το άρθρο "Περίληψη της παγκόσμιας αγοράς χρυσού και πρόβλεψη της τιμής του". Η αιτία ήταν ότι η παγκόσμια αγορά χρυσού, πρόσφατα έχει προσελκύσει πολύ προσοχή και η τιμή του είναι σχετικά υψηλότερη από αυτή που θα έπρεπε να είναι αν αναλογιστούμε την ιστορική του τάση. Για τις εταιρίες εξόρυξης, η μείωση του ρίσκου και της αβεβαιότητας

στις διακυμάνσεις της τιμής του χρυσού δημιουργεί οικονομικό ρίσκο. Οι μελλοντικές επενδύσεις και η αξιολόγηση αποφάσεων βασίζονται στην πρόβλεψη της μελλοντικής τάσης των τιμών. Στο πρώτο κομμάτι της εργασίας, γίνεται μια περίληψη της παγκόσμιας αγοράς του χρυσού και των ιστορικών τάσεων της τιμής του από τον Ιανουάριο του 1968 μέχρι το Δεκέμβριο του 2008. Αυτό ακολουθείται από μια έρευνα στη σχέση μεταξύ της τιμής του χρυσού και μεταβλητών που επηρεάζουν, όπως η τιμή του πετρελαίου και ο παγκόσμιος πληθωρισμός τα τελευταία 40 χρόνια. Το δεύτερο κομμάτι θέτει μια τροποποιημένη οικονομετρική έκδοση της μακροπρόθεσμης τάσης του reverting jump και dip diffusion model για την πρόβλεψη των τιμών φυσικών αγαθών. Αυτή η μέθοδος αναδεικνύει τα ελλωτάματα προηγούμενων μοντέλων, όπως jumps και dips σαν παραμέτρους και μονάδες αξιολόγησης για μακροπρόθεσμες τάσεις. Το μοντέλο προτείνει ότι τα ιστορικά δεδομένα από τα ορυκτά αγαθά έχουν τρεις όρους που εκφράζουν τη διακύμανση των τιμών: τη μακροπρόθεσμη τάση αντίστροφων στοιχείων, τη διάδοση στοιχείων και την άνοδο ή πτώση στοιχείων. Το μοντέλο υπολογίζει τον κάθε όρο ξεχωριστά για να εκτιμήσει τη μελλοντική τιμή των ορυκτών αγαθών. Η μελέτη εκτιμά επίσης την μελλοντική τιμή του χρυσού βασιζόμενη σε ιστορικά δεδομένα όπως αναφέρθηκε νωρίτερα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι θεωρώντας τη τρέχουσα άνοδο της τιμής η οποία ξεκίνησε τον 2007 συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο όπως συνέβει το 1978 η τιμή του χρυσού θα παραμένει αφύσικα υψηλή μέχρι το τέλος του 2014. Έπειτα η τάση θα αντιστραφεί μακροπρόθεσμα μέχρι το 2018.

- Οι Kaijian He και άλλοι, τον Αύγουστο του 2012 για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της πρόβλεψης της τιμής του αργού πετρελαίου με βαθύτερη κατανόηση της μικροδομής της αγοράς, δημοσίευσαν ένα άρθρο που προτείνει το συνολικό wavelet decomposed μοντέλο. Το προτεινόμενο μοντέλο ακολουθεί την ετερογενή υπόθεση της αγοράς που υποθέτει την ασταθή και δυναμική αλλαγή φύσης της υποκείμενης δομής της αγοράς και παρουσιάζει την wavelet ανάλυση για να αναλύσει τη δυναμική της υποκείμενης διαδικασίας παραγωγής δεδομένων σε βελτιωμένη κλίμακα. Το συνολικό μοντέλο παρουσιάζεται για να μειώσει την εκτίμηση προκατάληψης καταλήγοντας στη χρήση διαφορετικών wavelet οικογενειών συνάγοντας τη γενική τάση της αγοράς. Τα συνολικά μέλη επιλέγονται δυναμικά βασιζόμενα στο δείγμα απόδοσης μεταξύ πινάκων πρόβλεψης βασιζόμενοι σε διαφορετικές οικογένειες wavelet. Τα αποτελέσματα από την εμπειρική ανάλυση δείχνουν την ανώτερη απόδοση του προτεινόμενου αλγόριθμου σε σχέση με μοντέλα με σημεία αναφοράς όσον αφορά και επίπεδο αλλά και κατεύθυνση ακρίβειας πρόβλεψης. Το προτεινόμενο μοντέλο μπορεί αποτελεσματικά να εξάγει και να μοντελοποιήσει τη χρονική ασταθή μικροδομή της ετερογενούς αγοράς, του οποίου ο ακριβής χαρακτηρισμός αποβαίνει σε περεταίρω βελτίωση της ανάλυσης και πρόβλεψης της αγοράς.

- Τον Αυγουστο του 2008 ο Lean Yu και άλλοι, δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη της τιμής του αργού πετρελαίου με EMD νευρωνικά δίκτυα". Στη μελέτη τους,

ένας εμπειρικός τρόπος αποσύνθεσης βασιζόμενος σε νευρωνικά δίκτυα προτείνεται για πρόβλεψη της παγκόσμιας τιμής του αργού πετρελαίου. Για αυτό το σκοπό, οι αρχικές τιμές του αργού πετρελαίου διαιρέθηκαν σε ένα πεπερασμένο, και συχνά μικρό αριθμό, intrinsic mode functions (IMFs). Έπειτα, ένα προωθητικό νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκε για να μοντελοποιήσει κάθε ένα από τα εξαγόμενα IMFs, έτσι ώστε οι τάσεις από αυτά να μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια. Τέλος, τα αποτελέσματα των προβλέψεων όλων των IMFs συνδυάστηκαν με ένα προσαρμοστικό γραμμικό νευρωνικό δίκτυο (Adaptive Linear Neural Network (ALNN)), για να δημιουργήσει ένα συνολικό αποτέλεσμα για τις αρχικές τιμές του αργού πετρελαίου. Χρησιμοποιήθηκαν τιμές από το West Texas Intermediate (WTI) και από το Brent για να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου EMD νευρωνικού δικτύου, και απέδωσε καλύτερα μεταξύ των EMD–FNN–Averaging, EMD–ARIMA–ALNN, EMD–ARIMA–Averaging, Single FNN, Single ARIMA. Σε όλες τις πετυπτώσεις, το RMSE είναι το χαμηλότερο και το D_{stat} είναι το υψηλότερο, πράγμα που σημαίνει ότι το βασιζόμενο στο EMD νευρωνικό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μία πολλά υποσχόμενη μεθοδολογία για την πρόβλεψη της παγκόσμιας τιμής του αργού πετρελαίου.

- Ο Christian Pierdzioch και άλλοι, το 2012 έγραψαν το άρθρο "Πρόβλεψη τιμών των μετάλλων: Συγκλίνουν οι προβλέψεις?". Ο λόγος ήταν ότι οι η πρόβλεψη των μελλοντικών τάσεων των τιμών των μετάλλων έχει γίνει δύσκολη καθώς οι τιμές πρόσφατα έχουν βιώσει πρόσφατα σημαντικές αυξομειώσεις και έντονες ανατροπές. Τα MME ήταν γεμάτα από αναφορές που κατηγορούν για υποθετικές δραστηριότητες ανταλλαγής και συγκέντρωσης μετοχών σαν κύριες πηγές αυτής της αστάθειας των τιμών. Και για να απαντηθεί η ερώτηση , εάν αυτή η συγκέντρωση οφείλεται σε αυτούς που προβλέπουν. Οπότε μελέτησαν τη μηνιαία ερευνητικά δεδομένα των τιμών των προβλέψεων για εννέα μέταλλα από το Consensus Economics Forecast (CEF) για τη χρονική περίοδο 1995-2011. Οι προβλέψεις ήταν διαθέσιμες σε τέσσερις διαφορετικούς ορίζοντες: ενός μηνός, τριών μηνών, ενός έτους και δύο ετών. Το κύριο εύρημα ήταν πως αυτοί που έκαναν προβλέψεις εμφανίζονταν να μη συγκεντρώνουν. Τα ευρήματα δηλώνουν ότι η μη συγκέντρωση από αυτούς που προβλέπουν αποτελεί μια πηγή παρατηρούμενης διατομεακής ετερογένειας των προβλέψεων. Σαν αποτέλεσμα , οι προβλέψεις των τιμών των μετάλλων δίνει, για έναν εξωτερικό παρατηρητή, μια πιο διασκορπισμένη και έως τώρα, λιγότερο λεπτομερή αναφορά των αναμενόμενων μελλοντικών κινήσεων των τιμών των μετάλλων, από ότι θα ήταν εάν αυτοί που προβλέπουν και ανήκουν στον ιδιωτικό τομέα έκαναν μη υποκεινούμενες προβλέψεις. Τέλος προτείνουν ότι θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί εάν γενικά η μη σύγκλιση αυτών που προβλέπουν σχετίζεται με την αστάθεια της χρηματιστηριακής αγοράς και της αστάθειας των τιμών των μετάλλων συγκεκριμένα.

- Οι Dean T. Chen και David A. Bessler το 1990 δημοσίευσαν το άρθρο «Πρόβλεψη μηνιαίας τιμής του βαμβακιού: Δομικές και χρονοσειριακές προσεγγίσεις». Η

μελέτη τους επιχειρεί να συνδυάσει τις διαρθρωτικές και διανυσματικές αυτοπαλινδρομικές προσεγγίσεις των οικονομετρικών μοντέλων εργασίας σε μοντέλα για την πρόβλεψη της μηνιαίας τιμής του βαμβακιού, χρησιμοποιώντας το περιβάλλον του υποτομέα του βαμβακιού των ΗΠΑ. Η αγορά βαμβακιού είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, επειδή έχει υποστεί πρόσφατα μια σημαντική αλλαγή πολιτικής, που μπορεί να είναι δύσκολο να συλληφθεί από οποιοδήποτε μοντέλο σε εκ των προτέρων προβλέψεις. Δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους επιλέχθηκαν για έλεγχο: μια περίοδος μεγάλων πολιτικών διαταραχών, και μια περίοδος με φυσιολογικές συνθήκες αγοράς. Η μελέτη επίσης ερευνά μια σύνθετη προσέγγιση, χρησιμοποιώντας διανυσματικές αυτοπαλινδρομικές για να καθορίσει τις μελλοντικές τιμές των εξωγενών μεταβλητών του δομικού μοντέλου. Πολυδιάστατες διαδικασίες ελέγχου υιοθετήθηκαν για την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν την ανώτερη απόδοση του δομικού μοντέλου στο χειρισμό της περιόδου μεγάλων πολιτικών διαταραχών, ενώ η προσέγγιση χρονοσειρών δείχνει μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη φυσιολογικών κινήσεων των τιμών. Παρά το γεγονός ότι η σύνθετη προσέγγιση απέτυχε να δείξει βελτίωση στην ακρίβεια πρόβλεψης, μια κοινή προδιαγραφή του δομικού μοντέλου και οι ιδιότητες των χρονοσειρών εξωγενών μεταβλητών μπορεί να χρήζουν περαιτέρω έρευνες.

- Οι Atilim Murat και Ekin Tokat το 2008 έγραψαν το άρθρο " Πρόβλεψη της κίνησης της τιμής του πετρελαίου με προθεσμιακή εξάπλωση ρωγμών". Ο λόγος ήταν ότι η σημασία του πετρελαίου και ακραία αστάθεια των τιμών του αύξησε τη ζήτηση για αντιστάθμιση των κινδύνων και λειτουργίες διαχείρισης. Στις αγορές πετρελαίου, η εξάπλωση ρωγμών αναφέρεται στη σχέση των τιμών του αργού προϊόν. Οι βιομηχανίες διύλισης ήταν σημαντικοί παράγοντες στις αγορές πετρελαίου και είχαν εκτεθεί κατά κύριο λόγο στη διάδοση ρωγμών. Με άλλα λόγια, η δραστηριότητα διύλισης ουσιαστικά οδηγήθηκε από τον σκοπό της προστασίας της διάδοσης ρωγμών. Επιπλέον, οι καταναλωτές πετρελαίου συμμετείχαν ενεργά στην αγορά αντιστάθμισης πετρελαίου και είχαν συχνά εκτεθεί στη διάδοση ρωγμών. Από μια άλλη σκοπιά, τα κεφάλαια για την αντιστάθμιση των κινδύνων χρησιμοποιούσαν σε μεγάλο βαθμό crack spread futures για να κερδοσκοπήσουν στις αγορές πετρελαίου. Με βάση τον υψηλό όγκο των συμβολαίων crack spread στις αγορές πετρελαίου, το ερώτημα οι Murat και Tokat θέλησαν να θέσουν είναι εάν τα crack spread θα μπορούσαν να είναι μια καλή ένδειξη των κινήσεων των τιμών του πετρελαίου. Ερεύνησαν πρώτον, αν υπάρχει αιτιώδης σχέση μεταξύ των crack spread futures και των αγορών πετρελαίου σε λάθος πλαίσιο διόρθωσης. Βρήκαν την αιτιώδη επίδραση των crack spread futures στην αγορά του πετρελαίου τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα μετά τον Απρίλιο του 2003, όπου θα ανιχνεύσαν μια δομική αλλαγή στο μοντέλο. Για να εξετάσουν την πρόβλεψη της απόδοσης, χρησιμοποίησαν το μοντέλο του τυχαίου περιπάτου (RWM) ως σημείο αναφοράς, και αξιολογήσαν επίσης τη δύναμη της πρόβλεψης των crack spread futures έναντι των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του αργού πετρελαίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι: α) τόσο τα crack spread futures και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης αργού

πετρελαίου ξεπέρασαν την RWM και β) τα crack spread futures απέδωσαν σχεδόν τόσο καλό όσο τα συμβολαία μελλοντικής εκπλήρωσης αργού πετρελαίου στην πρόβλεψη των κινήσεων στις αγορές πετρελαίου. Τέλος, αναφέρουν ότι η πρόβλεψη της απόδοσης του προτεινόμενου μοντέλου επιβεβαιώνει τις πολύτιμες πληροφορίες για τα crack spread futures στην αγορά. Στο πλαίσιο αυτό, η έρευνα θα μπορούσε να αποτελέσει αφετηρία για την ανάλυση των crack spread και παράγωγων προϊόντων του σε πρόβλεψη της τιμής του πετρελαίου και τη διαχείριση των κινδύνων.

- Ο Takvor H. Mutafoğlu και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Η πρόβλεψη των διακυμάνσεων των τιμών πολύτιμων μετάλλων που χρησιμοποιούν τις θέσεις εμπόρου». Ο λόγος ήταν ότι στις αρχές της δεκαετίας του 2000, οι αγορές πολύτιμων μετάλλων εισήλθαν σε μια νέα φάση, όπου μια σταθερή αύξηση των τιμών είχε παρατηρηθεί μέχρι τον Οκτώβριο του κραχ του 2008. Δεδομένου του μεγέθους και της σημασίας των πολύτιμων μετάλλων στην αγορά, καθώς και η ικανότητα κάλυψης των πολύτιμων μετάλλων λόγω της χαμηλής συσχέτισης τους με τις αγορές μετοχών (Draper et al., 2006), το ερώτημα που ήθελαν να θέσουν είναι κατά πόσο trader positions προβλέπουν την κατεύθυνση των τιμών του χρυσού, της πλατίνας και του ασημιού. Το περιεχόμενο της πρόβλεψης της Commodity Futures Trading Commission's Commitment of Traders αναφέρει για τις τιμές της πλατίνας, του ασημιού και του χρυσού χρησιμοποιώντας trader positions έχει διερευνηθεί σε ένα πλαίσιο VAR. Δοκιμές αιτιότητας Granger διεξήχθησαν για να καθοριστεί αν υπάρχει σχέση μεταξύ των trader positions και των τιμών στην αγορά. Εξέταση των ακραίων trader positions σχετικά με τις κινήσεις των τιμών διεξήχθη επίσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση της αγοράς ήταν μια σημαντική παράμετρος για την εξήγηση των trader positions για όλους τους τύπους έμπορος σε κάθε μία από τις αγορές πολύτιμων μετάλλων υπό εξέταση μετά την έναρξη της δεκαετίας του 2000, όπου εντόπισε ένα διαρθρωτικό διάλειμμα για κάθε μία από τις υπό μελέτη αγορές. Οι έμποροι βρέθηκαν να λειτουργούν αρνητικά διότι πωλούσαν όταν οι τιμές είχαν αυξηθεί στην αγορά. Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με την προηγούμενη βιβλιογραφία, μια θετική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων και θέσεων που κατέχονται από μη εμπορικούς και μη-αναφερόμενους εμπόρους βρέθηκε. Ωστόσο, trader's net positions δεν οδηγούν σε αποδόσεις της αγοράς γενικότερα. Παρά το γεγονός ότι, η προβλεπτική ικανότητα των COT δεδομένων για τις αποδόσεις της αγοράς βρίσκεται για να είναι αδύναμη όσον αφορά την αιτιότητα Granger, η σημαντική επίδραση των ακραίων θέσεων για τις επιστροφές χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση του μηχανισμού αλληλεπίδρασης μεταξύ trader's positions και αποδόσεων στην αγορά πολύτιμων μετάλλων, έτσι ώστε οι επενδυτές να μπορούν να επωφεληθούν από αυτές τις πληροφορίες για να αναθεωρήσουν τις θέσεις τους σε σχέση με ακραίες trader positions, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να λειτουργήσει σε άλλες αγορές πολύτιμων μετάλλων και για ανακαλύψει τα κοινά χαρακτηριστικά του COT data, αν υπάρχουν.

- Ο Michael Yea και άλλοι, το 2006 ανέπτυξαν ένα βραχυπρόθεσμο μοντέλο πρόβλεψης της τιμής του αργού πετρελαίου χρησιμοποιώντας high – and low inventory variables. Ο λόγος ήταν ότι τα αποθέματα (έχουν μια ελαχιστη διαχειρισιμη απαιτηση) ή δεν μπορούν να διαχειριστούν σωστά, και γι αυτό μια μη γραμμική σχέση μεταξύ του επιπέδου του αποθέματος και της τιμής των προϊόντων ήταν απαραίτητη να βρεθεί. Χρησιμοποιήθηκε για το βραχυπρόθεσμο προσδιορισμό της τιμής του αργού πετρελαίου. Για να βρεθεί αυτή η μη γραμμική σχέση, δύο μη γραμμικές μεταβλητές του αποθέματος προσδιορίστηκαν και εξηχθήσαν από το μηνιαίο κανονικό και σχετικό επίπεδο της OECD από το 1991 μέχρι τον Οκτώβριο του 2003. Αρχικά, οι προβλέψεις αξιολογούνται με μη γραμμικά μοντέλα συγκρίνοντας αποτελέσματα χρησιμοποιώντας μόνο το αργό πετρέλαιο με εκείνα που χρησιμοποιούν το σύνολο αργού πετρελαίου και προϊόντων του. Έπειτα τα αποτελέσματα από το μη γραμμικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στην εργασία συγκρίνονται με εκείνα από ένα γραμμικό μοντέλο το οποίο έχει αναπτυχθεί στο παρελθόν (βλέπε Yeetal., 2005). Αυτή η μη γραμμικότητα αναμένεται να ψυχολογήσει σε κάποιο βαθμό την τάση της αγοράς και τις προσδοκίες των αγοραστών βραχυπρόθεσμα. Τέλος τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε η εργασία είναι ότι το μη γραμμικό μοντέλο συμπεριφέρεται καλύτερα όσον αφορά τη διασπορά και το εύρος των τιμών στο οποίο καταλήγει σε σχέση με το γραμμικό μοντέλο. Προτείνουν ότι θα ήταν καλό να ερευνηθεί το πιθανό διαφορετικό αποτέλεσμα στην τιμή της αγοράς από το διαχωρισμό των κρατικών και βιομηχανικών αποθεμάτων διαχωρίζοντας τα αποθέματα του αργού πετρελαίου και των προϊόντων.

- Ο Yu Wei το 2011 δημοσίευσε το άρθρο "Πρόβλεψη μεταβλητότητας των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης πετρελαίου στην Κίνα: GARCH-τύπου, SV ή μοντέλα αστάθειας". Αναφέρει ότι στις περισσότερες προηγούμενες εργασίες στην πρόβλεψη της μεταβλητότητας στην αγορά πετρελαίου, ημερήσιες αποδόσεις ελήφθησαν σαν αντικαταστάσεις της απαραίτητης πραγματικής μεταβλητότητας. Ωστόσο, όπως παρουσιάστηκε από τους Andersen και Bollerslev (1998), αυτές οι αντικαταστάσεις με πολύ υψηλό επίπεδο μέτρησης θα μπορούσε κάλλιστα να ξεπεραστεί με μια λεγόμενη μεταβλητότητα (RV) που υπολογίζεται από το άθροισμα των τετραγώνων των αποδόσεων εντός της ημέρας. Με αυτό το κίνητρο, ο Wei επεκτείνει περαιτέρω προηγούμενα έργα με τη χρήση ενδοσυνεδριακών δεδομένων υψηλής συχνότητας για να συγκρίνει τις επιδόσεις των τριών τυπικά μοντέλων μεταβλητότητας στην καθημερινή πρόβλεψη της μεταβλητότητας από δείγμα των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης πετρελαίου για το Shanghai Futures Exchange (SHFE): GARCH τύπου, στοχαστική μεταβλητότητα (SV) και μοντέλα αστάθειας. Θέτοντας το RV ως αντιπροσωπευτικό της πραγματικής καθημερινής μεταβλητότητας και στη συνέχεια τον υπολογίζοντας σφάλματα πρόβλεψης, διαπίστωσε ότι η πραγματοποιηθείσα μεταβλητότητα βασιζόμενη στα ενδοημερήσια δεδομένα υψηλής συχνότητας παράγει πολύ πιο ακριβείς προβλέψεις μεταβλητότητας από τον GARCH τύπο και τα SV μοντέλα που βασίζονται σε ημερήσιες αποδόσεις. Επιπλέον, το μοντέλο SV ξεπερνά πολλά γραμμικά και μη γραμμικά GARCH τύπου μοντέλα που εμφανίζουν μεγάλη μεταβλητότητα και / ή τα ασύμμετρα αποτέλεσμα μόχλευσης της

μεταβλητότητας. Αυτά τα αποτελέσματα επίσης αποδεικνύουν ότι μια πληθώρα πληροφοριών μεταβλητότητας είναι διαθέσιμη σε ενδοημερήσια δεδομένα υψηλής συχνότητας, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή πιο ακριβή μοντέλων πρόβλεψης της μεταβλητότητας του λαδιού. Περαιτέρω έρευνα για τις αγορές του πετρελαίου σε συνδυασμό με τα προβλήματα, όπως η πρόβλεψη Value-at-Risk, την πρόβλεψη επιλεγμένων τιμών, spill-over μεταβλητότητα και η αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης κινδύνου των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση των (πολυμεταβλητών) RV ή SV μοντέλα.

- Ο Ali Azadeh και άλλοι, το 2011 δημοσίευσαν το άρθρο "Ένας ευέλικτος μαθηματικός αλγόριθμος νευρωνασαφούς δικτύου προγραμματισμού για τη βελτίωση της εκτίμησης της τιμής του πετρελαίου και πρόβλεψή της». Ανέπτυξαν τον αλγόριθμο για την πρόβλεψη της τιμής του πετρελαίου η οποία είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που έχει επιπτώσεις στην εγχώρια και παγκόσμια οικονομία. Επίσης, οι διακυμάνσεις της τιμής του πετρελαίου θα μπορούσαν με κάποιο τρόπο να οδηγήσουν στη μεταβολή στην τιμή άλλων προϊόντων και ως εκ τούτου σε κέρδος από διάφορες εταιρείες. Έτσι, η εργασία τους παρουσιάζει έναν ευέλικτο αλγόριθμο που βασίζεται σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN) και ασαφούς παλινδρόμησης (FR) για να αντιμετωπίσει τη βέλτιστη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της τιμής του πετρελαίου σε αβέβαια, και σύνθετα περιβάλλοντα. Η προμήθεια του πετρελαίου, η δυναμικότητα απόσταξης αργού πετρελαίου, η κατανάλωση πετρελαίου από μη μέλη του ΟΟΣΑ, η ικανότητα διύλισης των ΗΠΑ και η πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα ενσωματώνονται στους οικονομικούς δείκτες. Ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) και τεστ πολλαπλής πεδίων του Duncan (DMRT) εφαρμόστηκαν για να δοκιμαστεί η σημασία των προβλέψεων που λαμβάνονται από ANN και FR μοντέλα. Το συμπέρασμα είναι ότι τα επιλεγμένα μοντέλα ANN υπερβαίνουν κατά πολύ τα μοντέλα FR όσον αφορά την μέσο ποσοστιαίο απόλυτο σφάλμα (MAPE). Επιπλέον, η συσχέτιση Spearman εφαρμόζεται για την επαλήθευση και την επικύρωση των αποτελεσμάτων. Ο προτεινόμενος ευέλικτος ANN-FR αλγόριθμος μπορεί να τροποποιηθεί εύκολα και να εφαρμοστεί και σε άλλα πολύπλοκα, μη-γραμμικά και αβέβαια σύνολα δεδομένων.

- Ο Michael Ye και άλλοι, το 2005 ανέπτυξαν ένα μοντέλο πρόβλεψης το οποίο χρησιμοποιεί relative inventories για να προβλέψει τη μηνιαία τιμή του αργού πετρελαίου. Ο στόχος αυτού του μοντέλου είναι να παρέχει μια δυναμική πρόβλεψη των μηνιαίων West Texas Intermediate (WTI) τιμών για την περίοδο μετά τον Πόλεμο του Κόλπου χρησιμοποιώντας άμεσα διαθέσιμα στοιχεία (WTI τιμές και του ΟΟΣΑ αποθέματα πετρελαίου) εύκολα διαθέσιμα και που μπορούν να εφαρμοστούν σε εφαρμογές λογιστικών φύλλων. Έτσι, το μοντέλο είναι διαισθητικά ελκυστικό και χρήσιμο για τη βιομηχανία και των φορέων λήψης αποφάσεων για την πρόβλεψη των τιμών και τη διερεύνηση των επιπτώσεων στην τιμή των μεταβαλλόμενων βασικών μεγεθών της αγοράς, όπως είναι τα αποθέματα πετρελαίου, την παραγωγή, τις εισαγωγές και τη

ζήτηση. Η βασική ιδέα στην οποία βασίζεται το μοντέλο πρόβλεψης είναι η φυσική θεωρία. Το μοντέλο παρέχει εντός δείγματος και εκτός δείγματος καλές δυναμικές προβλέψεις για τη μετά τη χρονική περίοδο πολέμου. Εντός δείγματος και εκτός δείγματος προβλέψεις από το μοντέλο συγκρίθηκαν με εκείνες που προέρχονται από άλλα μοντέλα. Το μοντέλο προοριζόταν για την εξάσκηση στις προβλέψεις και σχεδιάστηκε ώστε να είναι αρκετά απλό για να εφαρμοστεί εύκολα σε ένα υπολογιστικό φύλλο ή άλλο πακέτο λογισμικού, με τις μεταβλητές εύκολα να ενημερώνονται. Η απλότητα και την ευκολία της προσθήκης νεότερων πληροφοριακών στοιχείων έκανε αυτό το μοντέλο ελκυστικό για τη διερεύνηση διαφόρων σεναρίων για να δούμε τις επιπτώσεις που οι αλλαγές της αγοράς μπορεί να έχουν οι μηνιαίες τιμές αργού πετρελαίου, τα αποθέματα, η παραγωγή, οι εισαγωγές, ή τη ζήτηση. Τέλος, η δομή του μοντέλου μπορεί εύκολα να ενημερώνεται περιοδικά εάν υπάρξει μια θεμελιώδης αλλαγή στην αγορά ή μια αλλαγή στο κανονικό επίπεδο των αποθεμάτων.

- Οι Rania Jammazi και Chaker Aloui το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο «Πρόβλεψη της τιμής του αργού πετρελαίου: Πειραματική απόδειξη από wavelet αποσύνθεση και μοντελοποίηση νευρωνικών δικτύων». Σε γενικές γραμμές η πρόβλεψη των τιμών του πετρελαίου έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητας του μηχανισμού της αγοράς πετρελαίου. Επιπλέον, η πρόσφατη πετρελαϊκή κρίση και οι επιπτώσεις της έχουν φέρει στο προσκήνιο τη συζήτηση για την κατανόηση της συμπεριφοράς που διέπουν τις αναμενόμενες τιμές του πετρελαίου. Συνδυάζοντας τις δυναμικές ιδιότητες των πολυστρωματικών προς τα πίσω διαδόσεων νευρωνικών δικτύων και την πρόσφατη Harr A trous wavelet αποσύνθεση, ένα υβριδικό μοντέλο HTWMPNN υλοποιήθηκε από τους Jammazi και Aloui για να επιτύχει την πρόβλεψη της τιμής του αργού πετρελαίου. Ενώ οι πρόσφατες μελέτες επικεντρώνονται στον προσδιορισμό του καλύτερου μοντέλου πρόβλεψης από τη σύγκριση των διαφόρων νευρικών αρχιτεκτονικών ή εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές αποσύνθεσης στο ANN, η ουσία αυτής της εργασίας είναι να επικεντρωθεί στο θέμα της επιλογής συνάρτησης μεταφοράς που παρέχει ισχυρές προσομοιώσεις τόσο εντός όσο και εκτός δείγματος. Με βάση το έργο των Yonaba, H., Anctil, F., και Fortin, B. (2010) “Comparing Sigmoid Transfer Functions for Neural Network Multistep Ahead Stream flow forecasting”. Journal of Hydrologic Engineering, April, 275–283, χρησιμοποίησαν τρεις παραλλαγές της λειτουργίας ενεργοποίησης: τη σιγμοειδή, τις διπολικές σιγμοειδείς και την υπερβολική εφαιπτομένη, προκειμένου να δοκιμάσουν την ευελιξία του μοντέλου. Επιπλέον, η ευρωστία πρόβλεψης ελέγχεται μέσω διαφόρων επιπέδων κρυμμένων κόμων εισόδου. Συγκριτικά, τα αποτελέσματα των HTW-MBPNN αποδίδουν καλύτερα από το συμβατικό BPNN. Τα συμπεράσματα προσθέτουν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για τις προηγούμενες μελέτες επιβεβαιώνοντας την αρχή του Occam, ειδικά όταν κατασκευάζονται προσομοιώσεις εκπαιδευοντας και ελέγχοντας φάσεις ταυτόχρονα. Τέλος, καταλληλότερη δύναμη πρόβλεψης βρίσκεται σύμφωνα με το wavelet σήμα της τιμής του πετρελαίου η οποία φαίνεται να είναι η πιο κοντινή στις πραγματικές προσδοκίες των μελλοντικών διακυμάνσεων των τιμών του πετρελαίου.

- Ο Kaijian He και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Συνολική πρόβλεψη του Value at Risk μέσω πολλαπλής ανάλυσης βασιζόμενη σε αγορές μετάλλων". Η αιτία ήταν ότι οι αγορές μετάλλων στην εποχή των διαρθρωτικών αλλαγών και της παγκοσμιοποίησης έχουν δει ένα πολύ ανταγωνιστικό και ευμετάβλητο περιβάλλον της αγοράς. Η σωστή μέτρηση και διαχείριση των κινδύνων στις αγορές μετάλλων είναι ζωτικής σημασίας για τους επενδυτές που ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς της οικονομίας λόγω του μοναδικού ρόλου τους ως σημαντικές εισροές της βιομηχανίας στη διαδικασία κατασκευής. Αν και παραδοσιακές μεθοδολογίες διαχείρισης κινδύνων έχουν δουλέψει στο παρελθόν, τώρα πρέπει να αντιμετωπίσουν την πρόκληση των ταχέως μεταβαλλόμενων συνθηκών της αγοράς είναι απαραίτητη. Οι αγορές τώρα απαιτούν μεθοδολογίες που εκτιμούν πιο αξιόπιστα και ακριβή Vars. Έτσι He, Keung και Yen στην εργασία τους προτείνουν μια Πολυκριτηριακή ανάλυση (MRA) με βάση τη συνολική μη-γραμμική μεθοδολογία για Value at Risk εκτιμήσεις (MRNEVaR). Η MRA χρησιμοποιώντας wavelet ανάλυση εισάγεται για να αναλύσει τη δυναμική εξέλιξη των κινδύνων σε μια πεπερασμένη κλίμακα τιμών και παρέχουν γνώσεις σχετικά με τις διάφορες πτυχές της υποκείμενης εξέλιξης του κινδύνου. Η μη γραμμική προσέγγιση χρησιμοποιώντας τεχνητά νευρωνικά δίκτυα εισάγεται για τον προσδιορισμό των βέλτιστων βαρών και να σταθεροποιήσει τις προβλέψεις. Οι επιδόσεις του προτεινόμενου MRNEVaR και του πιο παραδοσιακού ARMA-GARCH VaR αξιολογούνται και συγκρίνονται κατά τη διάρκεια εμπειρικών μελετών σε τρεις μεγάλες αγορές μετάλλων με χρήση Kupiec back testing and Diebold–Mariano διαδικασίες. Τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι οι εκτιμήσεις VaR που παράγονται από MRNEVaR παρέχουν ανώτερες προβλέψεις που είναι πολύ πιο αξιόπιστες και ακριβείς από τις παραδοσιακές μεθόδους. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι και η μεταβλητότητα και η squared return, παρέχουν τη μέτρηση των πραγματικών κινδύνων. Η τρέχουσα απόδοση του MRNEVaR περιορίζεται από την προκατάληψη των τρέχουσων προσεγγίσεων σε μετρήσεις μεταβλητότητας. Με πιο ακριβείς πληρεξούσια για την πραγματική υποκείμενη μεταβλητότητα, η απόδοση του MRNEVaR θα μπορούσε να βελτιωθεί περαιτέρω.

- Ο Edmundo G. de Souza e Silva και άλλοι, το 2010 ανέπτυξαν ένα μοντέλο πρόβλεψης των τάσεων των τιμών του πετρελαίου με χρήση wavelet και κρυμμένων μοντέλων Markov. Ο λόγος ήταν ότι η τιμή του αργού πετρελαίου καθορίζεται από την ισορροπία της προσφοράς και της ζήτησης. Αυτή η ισορροπία είναι αρκετά περίπλοκη λόγω του μεγάλου αριθμού και της πολυπλοκότητας, των αλληλεπιδρώντων παραγόντων που μπορούν να την επηρεάσουν. Όπως πόλεμοι και γεωπολιτικές εντάσεις, οικονομική ανάπτυξη, ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων πετρελαίου, ανάπτυξη νέων πηγών ενέργειας, καιρικές συνθήκες και άλλα παραδείγματα. Για τους προαναφερθέντες λόγους, η πρόβλεψη των τάσεων των τιμών του πετρελαίου μέσω μιας θεμελιώδους προσέγγισης είναι ένα δύσκολο έργο. Μια εναλλακτική λύση είναι να χρησιμοποιηθεί μέθοδος χρονοσειρών, με την οποία η παρελθοντική συμπεριφορά της τιμής αναλύεται εύκολα, και

χρησιμοποιείται για να προβλέψει τις μελλοντικές κινήσεις της. Στην παρούσα εργασία, διερευνήθηκε η χρησιμότητα ενός μη-γραμμικού μοντέλου χρονοσειρών, που είναι γνωστή ως κρυφό μοντέλο Markov (HMM), για να προβλέψουν τις μελλοντικές κινήσεις των τιμών τουαργού πετρελαίου. Χρησιμοποιώντας ένα HMM, ανέπτυξαν μια μεθοδολογία πρόβλεψης που αποτελείται από τρία βασικά βήματα. Πρώτον, χρησιμοποιώντας wavelet για να απομακρύνουν κινήσεις τιμών σε υψηλή συχνότητα, η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως θόρυβος. Στη συνέχεια, η HMM χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της κατανομής πιθανοτήτων της επιστρεφόμενης τιμής κατά τη διάρκεια των επόμενων F ημερών. Τρίτον, από αυτή τη κατανομή, κατέληξαν στις μελλοντικές τάσεις των τιμών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η HMM αποδίδει σημαντικά καλύτερα από απλές χρησιμοποιούμενες οικονομικές στρατηγικές προβλέψεων, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι υπάρχουσες χρονικές συσχετίσεις των τιμών του πετρελαίου μπορούν να προβλεφθούν καλύτερα με το χρησιμοποιούμενο μοντέλο HMM. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι HMM είναι ένα καλό μοντέλο πρόβλεψης για την πρόβλεψη των τάσεων των τιμών του πετρελαίου, καθώς και ότι η de-wavelet noising διαδικασία είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την οικονομική εξομάλυνση των δεδομένων. Τέλος, πρότειναν για μελλοντική έρευνα τη χρήση του μοντέλου για άλλα αγαθά ώστε να προβλεφθεί η τάση τους.

- Οι Nikos K. Nomikos και Panos K. Roulisas το 2009 δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης μεταβλητότητας του πετρελαίου στις αγορές: Ο ρόλος των καθεστώτων και οι συνθήκες της αγοράς". Στο ευμετάβλητο κόσμο των ενεργειακών αγορών, η ποσοτικοποίηση και η άμβλυνση του κινδύνου των τιμών, μια σειρά από προκλήσεις που εμποδίζονται λόγω της εξάρτησης από το χρόνο της μεταβλητότητας, της μη γραμμικής δυναμικής και heavy tails στην κατανομή των αποδόσεων του πετρελαίου. Έτσι, στην εργασία τους χρησιμοποιούν μοντέλα μεταβλητότητα για να περιγράψουν την εξάρτηση από το χρόνο σε αγορές πετρελαίου. Χρησιμοποιώντας ένα δείγμα των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης NYMEX και ICE, καθιέρωσαν την ύπαρξη μιας διαδικασίας και συνέδεσαν αυτή τη διαδικασία σε βασικά μεγέθη της αγοράς. Η διατύπωση αυτή οδηγεί σε δύο διαφορετικές καταστάσεις: μια πολύ επίμονη διαδικασία υπό όρους αστάθειας, που χαρακτηρίζεται από μεγάλη μνήμη και χαμηλή ευαισθησία στις κρίσεις της αγοράς, και μια σχετικά βραχύβια μη στάσιμη διαδικασία με λιγότερη μνήμη, αλλά μεγαλύτερη ευαισθησία σε κρίσεις. Επιπλέον, για να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ ανισορροπίας και την αστάθειας των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του πετρελαίου σε υψηλά και χαμηλά επίπεδα μεταβλητότητας, χρησιμοποίησαν επαυξημένα μοντέλα GARCH για να προσδιορίσει με ρεαλιστικό τρόπο το ενδεχόμενο ποικίλων απαντήσεων μεταβλητότητας για να προσδιορίσουν τις ξαφνικές μεταβολές των καμπυλών. Η απόδοση αυτών των μοντέλων σε σχέση με σημεία αναφοράς, χρησιμοποιώντας τόσο τις στατιστικές δοκιμές και συναρτήσεις διαχείρισης κινδύνου απωλειών. Για να δοκιμαστεί η ευρωστία στρατηγικών πρόβλεψης, έκαναν επίσης έναν έλεγχο της πραγματικότητας που χρησιμοποιώντας την στατική προσέγγιση εκκίνησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα Mix-GARCH και MRS-GARCH μοντέλα είναι

καλύτερα στο να εντοπίζει την αντίσταση της αστάθειας από τα μοντέλα GARCH, και επίσης έχουν την τάση να αποδίδουν καλύτερα σε μια βάση εκτός δείγματος. Ενεργειακοί οικονομολόγοι και οικονομικοί αναλυτές θα πρέπει να εξετάσουν αυτά τα χαρακτηριστικά κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης της αστάθειας των τιμών του πετρελαίου, δεδομένου ότι το Mix-GARCH-X μοντέλο για όλα τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου επιδεικνύουν καλύτερη και πιο ακριβή πρόβλεψη από ό, τι τα άλλα μοντέλα, όσον αφορά την εξισορρόπηση της πρόβλεψη των σφαλμάτων. Προτείνουν περαιτέρω έρευνα, με τη χρησιμοποίηση συναρτήσεων λειτουργιών διαχείρισης κινδύνου.

- Ο Mohamed El Hédi Aroui και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν άρθρο "Πρόγνωση των όρων μεταβλητότητας της τιμής του πετρελαίου και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης με τις structuralbreaks και μεγάλα μοντέλα μνήμης". Ο λόγος ήταν ότι η κατανόηση της μεταβλητότητας της τιμής του πετρελαίου έχει μεγάλο ενδιαφέρον για επενδυτές και για τη χάραξη πολιτικής, ιδίως στο πλαίσιο των μεγάλων διακυμάνσεων της τιμής του πετρελαίου των τελευταίων δεκαετιών. Έτσι, στην εργασία τους επεκτείνουν προηγούμενες μελέτες ερευνώντας τη σημασία των structuralbreaks και μοντέλων μεγάλης μνήμης στη μοντελοποίηση και την πρόβλεψη της μεταβλητότητας της τιμής του πετρελαίου και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης χρησιμοποιώντας μια ποικιλία μοντέλων του τύπου GARCH. Τα αποτελέσματά τους μπορούν να συνοψιστούν ως εξής. Κατ' αρχάς, παρείχαν στοιχεία της αστάθειας των παραμέτρων σε πέντε από τα εννέα GARCH μοντέλα με βάση διαδικασίες μεταβλητότητας των τιμών της ενέργειας. Δεύτερον, η μεγάλη μνήμη παρουσιάζεται αποτελεσματικά σε όλες τις σειρές και ένα μοντέλο FIGARCH φάνηκε να ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα, αλλά και ο βαθμός της μεταβλητότητας μειώθηκε σημαντικά μετά την προσαρμογή των structural breaks. Τέλος, η εκτός δείγματος ανάλυση έδειξε ότι τα μοντέλα μεταβλητότητας αστάθειας και μεγάλης μνήμης χαρακτηριστικά των δεδομένων παρείχαν τις καλύτερες προβλέψεις μεταβλητότητας για τις περισσότερες περιπτώσεις.

- Ο Chin Wen Cheong το 2007 ανέπτυξε ένα μοντέλο πρόβλεψης χρησιμοποιώντας ARCH-τύπου μοντέλα για το αργό πετρέλαιο. Οπότε δημοσίευσε το άρθρο "Μοντελοποίηση και πρόβλεψη της τιμής του αργού πετρελαίου χρησιμοποιώντας ARCH-τύπου μοντέλα". Η μελέτη του Wen Cheong εξέτασε τη χρονική μεταβολή των δύο μεγάλων αγορών αργού πετρελαίου, του West Texas Intermediate (WTI) και της Ευρωπαϊκής Brent. Ένα ευέλικτο αυτοπαλινδρομικό ετεροσκεδαστικό (ARCH) μοντέλο χρησιμοποιείται για να ληφθούν υπόψη τα σχηματοποιημένα δεδομένα μεταβλητότητας, όπως μεταβλητότητα clustering, ασυμμετρικά news impact and long memory, μεταξύ άλλων. Τα εμπειρικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η ένταση της μακράς μεταβλητότητας στην WTI είναι μεγαλύτερη από ό, τι στο Brent. Επίσης, διαπίστωσε ότι για το WTI, η εκτίμηση και υποτίμηση της απότομης μεταβολής του WTI έχουν παρόμοιο αντίκτυπο στην προκείμενη αστάθεια. Ωστόσο, ένα αποτέλεσμα μόχλευσης βρέθηκε σε Brent. Παρά το γεγονός ότι τόσο η εκτίμηση και διαγνωστικές αποτιμήσεις είναι υπέρ ενός ασύμμετρα

μεγάλου μοντέλου ARCH, μόνο τα μοντέλα WTI παρέχουν ανώτερη στα εκτός δείγματος πρόβλεψη. Από την άλλη πλευρά, από τις εμπειρικές εκτός δείγματος προβλέψεις, φαίνεται ότι η απλούστερη φειδωλή γενικευμένη ARCH παρέχει τις καλύτερες προβλεπόμενες εκτιμήσεις για τα δεδομένα Brent του αργού πετρελαίου.

- Ο Perry Sadorsky το 2006 δημοσίευσε το άρθρο "Μοντελοποίηση και πρόβλεψη της μεταβλητότητας συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του πετρελαίου». Ένας μεγάλος όγκος βιβλιογραφίας έχει προκύψει για τη μοντελοποίηση και την πρόβλεψη μεταβλητότητα στις χρηματοπιστωτικές αγορές. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της έρευνας έχει επικεντρωθεί στις αγορές μετοχών ή αγορές συναλλάγματος. Έτσι προβλέψεις της μεταβλητότητας των τιμών του πετρελαίου είναι σημαντικές εισροές για μακροοικονομικά μοντέλα, οικονομικούς υπολογισμούς εκτίμησης κινδύνου αγοράς, όπως value at risk, και τύπους αποτίμησης δικαιωμάτων προαίρεσης για τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης. Η εργασία του Sadorsky χρησιμοποιεί διάφορα μονοπαραγοντικά και πολυπαραγοντικά στατιστικά μοντέλα για την εκτίμηση και πρόβλεψη της καθημερινής μεταβλητότητας των τιμών των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του πετρελαίου. Οι εκτός δείγματος προβλέψεις αξιολογούνται χρησιμοποιώντας δοκιμές ακρίβειας πρόβλεψης και δοκιμές χρονισμού της αγοράς. Το TGARCH-μοντέλο ταιριάζει καλά για τη μεταβλητότητα του πετρελαίου θέρμανσης και του φυσικού αερίου και το μοντέλο GARCH ταιριάζει καλά για τη μεταβλητότητα του αργού πετρελαίου και της αμόλυβδης βενζίνης. Τα απλά μέσα κινούμενα μοντέλα φαίνεται να ταιριάζουν καλά σε ορισμένες περιπτώσεις. Παρά την αυξημένη πολυπλοκότητα, όπως τα μοντέλα στο χώρο κατάστασης, διανυσματική αυτοπαλινδρόμηση και η διμεταβλητή GARCH δεν αποδίδουν τόσο καλά όσο το ενιαίο μοντέλο εξίσωσης GARCH. Τα περισσότερα μοντέλα αποδίδουν καλύτερα από τον τυχαίο περίπατο και υπάρχουν ενδείξεις για το χρονοδιάγραμμα της αγοράς. Παραμετρικές και μη-παραμετρικές τιμές σε μέτρα κινδύνου υπολογίζονται και συγκρίνονται. Μη-παραμετρικά μοντέλα ξεπερνούν τα παραμετρικά μοντέλα από την άποψη του αριθμού των υπερβάσεων σε backtests. Τα αποτελέσματα αυτά είναι χρήσιμα για όποιον χρειάζεται προβλέψεις της μεταβλητότητας συμβολαίου μελλοντικής εκπλήρωσης του πετρελαίου.

- Ο Gan-qiong Li και άλλοι, το 2010 δημοσίευσαν το άρθρο «Βραχυπρόθεσμες προβλέψεις των τιμών των αγροπροϊόντων χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων". Ο λόγος ήταν ότι το να γίνουν ακριβείς προβλέψεις για τις βραχυπρόθεσμες τιμές αγοράς των αγροτικών προϊόντων δεν είναι ένα ασήμαντο έργο, καθώς πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν πρέπει να ληφθούν υπόψη, ειδικά πολλοί απρόβλεπτοι παράγοντες που είναι δύσκολο να είναι γνωστοί εκ των προτέρων έχουν μια σημαντική επίδραση στην διακύμανση των βραχυπρόθεσμων τιμών. Η ανάλυση χρονοσειρών έχει συχνά χρησιμοποιηθεί στη διαμόρφωση βραχυπρόθεσμων προβλέψεων των τιμών. Κατά τα τελευταία χρόνια μία νέα τεχνική των τεχνητών νευρωνικών δικτύων η ANN έχει προταθεί ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη μοντελοποίηση και την πρόγνωση. Σε αυτή τη μελέτη ένα προωθητικό μοντέλο ANN έχει αναπτυχθεί για τις

βραχυπρόθεσμες προβλέψεις των τιμών της ντομάτας και σε σύγκριση με το μοντέλο χρονοσειρών ARIMA. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν καθημερινή χονδρική τιμή, εβδομαδιαία χονδρική τιμή και μηνιαία τιμή χονδρικής που συλλέγονται από το 1996 έως και το 2010. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ANN μοντέλο ξεπέρασε προφανώς το μοντέλο χρονοσειρών για την πρόβλεψη των τιμών πριν από μία ημέρα ή μία εβδομάδα. Μία καλή συσχέτιση μεταξύ της μοντελοποιημένη και των πραγματικών τιμών παρατηρήθηκε από το προωθητικό μοντέλο ANN, με σχετικό σφάλμα μικρότερο από 5,0%. Τέλος, προτείνουν να ελαχιστοποιηθεί η αστάθεια των νευρωνικών δικτύων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εάν κάποιος μπορούσε να συνεχίσει μερικές φορές ακόμα την εκπαίδευση και την πρόβλεψη, και χρησιμοποιήστε τη μέση τιμή κάθε φοράς ως την προβλεπόμενη τελική έξοδο.

- Οι Bing Xu και Jamal Ouenniche το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Μια γενική ανάλυση δεδομένων με βάση το πλαίσιο για τη σχετική αξιολόγηση της επίδοσης των ανταγωνιστικών μοντέλων πρόβλεψης της μεταβλητότητας της τιμής του αργού πετρελαίου". Είναι ήδη γνωστό ότι οι προβλέψεις της μεταβλητότητας των τιμών του αργού πετρελαίου, αποτελούν σημαντικές εισροές για πολλές διαδικασίες λήψης αποφάσεων σε τομείς εφαρμογής όπως η μακροοικονομική χάραξη πολιτικής, η διαχείριση του κινδύνου, οι επιλογές τιμολόγησης και διαχείρισης χαρτοφυλακίου. Παρά το γεγονός ότι ένας μεγάλος αριθμός από μοντέλα πρόβλεψης έχουν σχεδιαστεί για την πρόβλεψη της αστάθειας των τιμών του αργού πετρελαίου, μέχρι στιγμής η σχετική αξιολόγηση της απόδοσης των ανταγωνιστικών μοντέλων πρόβλεψης παραμένει μια άσκηση που είναι μονοδιάστατη στη φύση. Ποιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες μελέτες τείνουν να χρησιμοποιούν διάφορα κριτήρια και μέτρα για την αξιολόγηση της σχετικής απόδοσης αυτών των μοντέλων, αλλά τα ανταγωνιστικά μοντέλα είναι πάντα ανάλογα με τη μέτρηση της απόδοσης. Έτσι, οδηγώντας γενικώς σε διαφορετικές κατατάξεις για διαφορετικά κριτήρια και σε μια κατάσταση όπου δεν μπορεί κανείς να λάβει τεκμηριωμένη απόφαση ως προς το ποιο μοντέλο αποδίδει καλύτερα σε σχέση με τα κριτήρια υπό εξέταση. Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι να προτείνει ένα υπεραποδοτικό DEA βασιζόμενο μοντέλο ως ένα πολυδιάστατο πλαίσιο για την αξιολόγηση των επιδόσεων των ανταγωνιστικών μοντέλων πρόβλεψης της αστάθειας των τιμών του αργού του πετρελαίου, η οποία προσφέρει μια μοναδική κατάταξη με βάση πολλαπλά κριτήρια απόδοσης. Αξιολόγησαν τη σχετική αξιολόγηση των επιδόσεων δεκατεσσάρων μοντέλων πρόβλεψης σχετικά με την αστάθεια των τιμών του αργού πετρελαίου, με βάση τρία κριτήρια που χρησιμοποιούνται συνήθως στην κοινότητα πρόβλεψης. Δηλαδή το goodness-of-fit, το biasedness και correct sign. Έχουν επιλέξει να εξετάσουν διάφορα μέτρα για κάθε κριτήριο για να μάθουν την ευρωστία της πολυδιάστατης κατάταξης σε σχέση με διάφορα μέτρα. Τα αποτελέσματα δείχνουν κατ'αρχάς, ότι το προτεινόμενο πολυδιάστατο πλαίσιο παρέχει ένα πολύτιμο εργαλείο για να συλλάβει την αληθινή φύση της σχετικής απόδοσης των ανταγωνιστικών μοντέλων πρόβλεψης και δεύτερον, οι πολυδιάστατες κατατάξεις από τα καλύτερα και τα χειρότερα μοντέλα φαίνεται να είναι ανθεκτικές σε αλλαγές στα περισσότερα μέτρα απόδοσης.

Ωστόσο, το SMA20 φαίνεται να είναι το καλύτερο σε όλες τις περιπτώσεις και ανεξάρτητα από το είδος της πόλωσης που θα μπορούσε κανείς να προτιμά. Τέλος, τα εμπειρικά αποτελέσματα φαίνεται να δείχνουν ότι, με εξαίρεση το CGARCH, η οικογένεια των μοντέλων GARCH έχει μια μέση απόδοση συγκρίνοντας την εξομάλυνση με μοντέλα όπως το SMA20, το SES και το AR (5), γεγονός που υποδηλώνει ότι η διαδικασία παραγωγής των δεδομένων έχει σχετικά μακρά μνήμη.

- Οι Wai Mun Fong και Kim Hock See το 2002 δημοσίευσαν το άρθρο "Ένα μοντέλο Markov εναλλαγής της εξαρτημένης αστάθειας των συσμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης των τιμών του αργού πετρελαίου". Οι εμπειρικές μελέτες δείχνουν ότι οι τιμές των εμπορευμάτων μπορεί να είναι εξαιρετικά ασταθής κατά καιρούς. Ο Webb (1987) περιγράφει ένα τέτοιο περιστασιακό ξέσπασμα της μεταβλητότητας ως ενδείξεις "αστάθειας" της αγοράς. Ξαφνικές αλλαγές στην μεταβλητότητα έχουν επίσης σημαντικές επιπτώσεις στην τιμολόγηση των παραγώγων επί εμπορευμάτων και την κατασκευή των δεικτών βέλτιστης αντιστάθμισης. Έτσι, η εργασία τους εξετάζει τη χρονική συμπεριφορά της μεταβλητότητας των ημερήσιων αποδόσεων του αργού πετρελαίου χρησιμοποιώντας ένα γενικευμένο μοντέλο αλλαγής πολιτικής που επιτρέπει απότομες αλλαγές στην μέση τιμή και διασπορά, τη GARCH δυναμική, βάση με γνώμονα τη χρονικά μεταβαλλόμενη πιθανότητα μετάβασης και leptokurtosis όρους. Αυτό το ευέλικτο μοντέλο τους επέτρεψε να συλλάβουν πολλά σύνθετα χαρακτηριστικά της υπό όρους μεταβλητότητας μέσα σε ένα σχετικά φειδωλό περιβάλλον. Έδειξαν ότι οι αλλαγές πολιτικής είναι παρούσες στα στοιχεία και επικρατούν των επιδράσεων GARCH. Εντός της υψηλής μεταβλητότητας, μία αρνητική βάση είναι πιο πιθανό να αυξήσει την επιμονή από μια θετική βάση, ένα εύρημα που συμφωνεί με προηγούμενες εμπειρικές έρευνες σχετικά με τη θεωρία της αποθήκευσης, π.χ. Fama και French (1988a, b) και Ng και Pirrong (1994). Η μεταβλητότητα που προσδιορίζεται από το μοντέλο τους συσχετίζεται καλά με σημαντικά γεγονότα που επηρεάζουν την προσφορά και τη ζήτηση του πετρελαίου. Οι δοκιμές εκτός δείγματος δείχνουν ότι το μοντέλο εναλλαγής αποδίδει αισθητά καλύτερα από τα μοντέλα μη εναλλαγής ανεξάρτητα από τα κριτήρια αξιολόγησης. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η εναλλαγή μοντέλων παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο για έναν οικονομικό ιστορικό που ενδιαφέρεται να μελετήσει τους παράγοντες πίσω από την εξέλιξη της μεταβλητότητας και για τους εμπόρους πετρελαίου ενδιαφερόμενους για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη μεταβλητότητας. Και τέλος, οι Mun Fong και Hock Δείτε προτείνουν ότι μια ενδιαφέρουσα κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι η εξερεύνηση της σχετικής απόδοσης των μοντέλων εναλλαγής στη δυναμική αντιστάθμιση σε σχέση με τις στρατηγικές οι οποίες χρησιμοποιούν μοντέλα με σταθερή συνδιακύμανση ή GARCH-συνδιακύμανση (βλ. Gagnon και Lynny, 1997).

- Οι Li Liu και Jieqiu Wan το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Μια μελέτη της αστάθειας των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης των καυσίμων της Σανγκάη που βασίζονται σε δεδομένα υψηλής συχνότητας: εξάρτηση μακράς κλίμακας, μοντελοποίηση

και πρόβλεψη". Ο λόγος ήταν ότι η ενέργεια διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία. Η δυναμική των τιμών της ενέργειας παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον μεταξύ των ερευνητών και των συμμετεχόντων στην αγορά. Η μεταβλητότητα είναι μια σημαντική είσοδος στην αποτίμηση δικαιωμάτων προαίρεσης και υπολογισμού της αξίας κινδύνου (VaR). Στις περισσότερες από τις προηγούμενες μελέτες, η οικογένεια των αυτοπαλινδρομικών ετεροσκεδαστικών (ARCH) μοντέλων που αρχικά προτάθηκε από τον Engle (1982) και Bollerslev (1986) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για να συλλάβει τη δυναμική της μεταβλητότητας των τιμών του πετρελαίου. Δυστυχώς, οι υπάρχουσες μελέτες πάσχουν από δύο προβλήματα. Κατ' αρχάς, οι ερευνητές προβλέπουν τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης του πετρελαίου και την αστάθεια των τιμών στις αναπτυσσόμενες αγορές όπως NYMEX. Υπάρχουν λίγα στοιχεία στην πρόβλεψη της μεταβλητότητας στις αναδυόμενες αγορές, αν και υπάρχει επίσης ένας μεγάλος όγκος των συμβολαίων που διαπραγματεύονται σε αναδυόμενες αγορές. Δεύτερον και πιο σημαντικό, οι GARCH-class μοντέλα είναι ανεπτυγμένα σε υπάρχουσες σχετικές μελέτες πάνω σε ημερήσιες αποδόσεις των τιμών. Στις περισσότερες προηγούμενες μελέτες για την πρόβλεψη της μεταβλητότητας των τιμών του πετρελαίου, οι τετραγωνικές ημερήσιες ή εβδομαδιαίες αποδόσεις λαμβάνονται ως πληρεξούσιες της παρατηρήσιμης πραγματικής μεταβλητότητας. Ωστόσο, είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι τετραγωνικές αποδόσεις παρέχουν μια κακή προσέγγιση της καθημερινής αστάθειας. Με αυτό το κίνητρο, διερεύνησαν τη δυναμική της ημερήσιας μεταβλητότητας των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης καυσίμων των τιμών του πετρελαίου της Σαγκάη που χρησιμοποιώντας 5-λεπτών δεδομένα υψηλής συχνότητας. Κατ' αρχάς, χρησιμοποιώντας μια μη παραμετρική μέθοδο, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η μέθοδος RV εμφανίζει ισχυρή εξάρτηση μακράς κλίμακας και η πρόσφατη οικονομική κρίση μπορεί να προκαλέσει χαμηλότερο βαθμό εξάρτησης μεγάλου βεληνεκούς. Δεύτερον, μοντελοποίησαν την καθημερινή μεταβλητότητα χρησιμοποιώντας μοντέλα RV και GARCH. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα μοντέλα RV για ενδοημερήσια δεδομένα ξεπερνούν συντριπτικά τα GARCH μοντέλα για τα καθημερινά στοιχεία για την πρόβλεψη της αστάθειας των τιμών των καυσίμων, ανεξάρτητα από το αντιπροσωπευτικό της πραγματικής μεταβλητότητας. Τέλος, διερευνήθηκε η κύρια πηγή αυτών των ασταθών τιμών και διαπίστωσε ότι η εμπορική δραστηριότητα έχει σημαντική συμβολή στην μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων.

- Ο H.F. Ζου και άλλοι, το 2007 δημοσίευσαν το άρθρο "Έρευνα και σύγκριση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και μοντέλων χρονοσειρών για πρόβλεψη των τιμών των κινέζικων σιτηρών και τροφίμων". Η πρόβλεψη χρονοσειράς είναι ένας σημαντικός τομέας της πρόβλεψης στην οποία οι παρατηρήσεις του παρελθόντος της ίδιας μεταβλητής συλλέγονται και αναλύονται για να αναπτυχθεί ένα μοντέλο που περιγράφει την υποκείμενη σχέση. Ένα από τα πιο σημαντικά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα χρονοσειρών είναι το ολοκληρωμένο αυτοπαλινδρομικό κινητού μέσου (ARIMA) μοντέλο. Έτσι, η εργασία συγκρίνει την απόδοση της πρόβλεψης ARIMA, των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και τα γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης για συνδυασμό των τιμών σιταριού στην

κινεζική αγορά. Τα αποτελέσματα δείχνουν οι προβλέψεις του μοντέλου των ΤΝΔ είναι πολύ πιο ακριβή από ό, τι τα παραδοσιακά μοντέλα ARIMA που χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς. Από την άλλη πλευρά, το συνδυασμένο μοντέλο χρησιμοποιώντας μέθοδο ίδιας βαρύτητας για να συνδυάσει τα μοντέλα ANN και ARIMA είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της πρόβλεψης σε μέτρα σφάλματος, και αυτό το μοντέλο υπερτερεί το ANN από άποψη των MAE, MSE και MAPE. Ωστόσο, όσον αφορά την εκτίμηση του σημείου καμπής και του υπολογιστή (MMRR), το μοντέλο ANN είναι απολύτως καλύτερο από το συνδυασμένο μοντέλο ή το ARIMA. Τα αποτελέσματα του σημείου καμπής και τα κριτήρια κέρδους αποδεικνύουν τη μεγάλη απόδοση της ικανότητα πρόβλεψης του μοντέλου ANN στην ιλιγγιώδη αγορά σίτου. Εν τω μεταξύ, η ουσία των νευρωνικών δικτύων και του ARIMA είναι ότι μπορούν να συλλάβουν ένα στατιστικά σημαντικό αριθμό σημείων καμπής για την τιμή του σίτου, ενώ τα συνδυασμένα μοντέλα ARIMA δεν μπορούν. Οπότε μπόρεσαν να συμπεράνουν ότι τα αποτελέσματα της πρόβλεψης είναι διαφορετικά και αντικρουόμενα κατά την εφαρμογή ανόμοιων αξιολογήσεων πρόβλεψης (η ποσοτική και οι μετρήσεις σημεία καμπής) για να αξιολογηθεί η απόδοση των γραμμικών και μη γραμμικών μοντέλων. Έτσι, σε γενικές γραμμές το μοντέλο ANN είναι το καλύτερο μοντέλο, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια εναλλακτική μέθοδος για προβλεφθεί η μελλοντική τιμή των κινεζικών τροφίμων.

- Ο Yu Wei και άλλοι, το 2010 δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη της μεταβλητότητας στην αγορά αργού πετρελαίου: Περαιτέρω ενδείξεις χρησιμοποιώντας GARCH-class μοντέλα". Λόγω του σημαντικού ρόλου που διαδραματίζει το αργό πετρελαίο στην παγκόσμια οικονομία, οι πρόσφατες αυξήσεις της μεταβλητότητας των τιμών του πετρελαίου έχουν προκαλέσει μεγάλη ανησυχία μεταξύ των επιχειρήσεων, των καταναλωτών, και τις κυβερνήσεις. Η μεταβλητότητα των τιμών πετρελαίου είναι ένα βασικό στοιχείο σε τύπους αποτίμησης δικαιωμάτων προαίρεσης, κατανομής του χαρτοφυλακίου και μέτρησης των κινδύνων. Έτσι, η μοντελοποίηση και πρόβλεψη της μεταβλητότητας των τιμών του αργού πετρελαίου είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις και τις κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο. Το παρών άρθρο διευρύνει το έργο των Kang και άλλων (2009). Χρησιμοποίησαν ένα μεγαλύτερο αριθμό γραμμικών και μη γραμμικών γενικευμένων αυτοπαλινδρομικών υπό όρους μοντέλα ετεροσκεδαστικότητας (GARCH) τάξης για να συλλάβουν τα χαρακτηριστικά μεταβλητότητας δύο αγορών αργού πετρελαίου - Brent και West Texas Intermediate (WTI). Οι μίας, δύο, πέντε και είκοσι ημερών εκτός δείγματος προβλέψεις μεταβλητότητας των GARCH-class μοντέλων αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας την ανώτερη ικανότητα πρόβλεψης και με περισσότερες συναρτήσεις λειτουργίας απωλειών. Σε αντίθεση με τον Kang(2009), κανένα από τα GARCH μοντέλα σε αυτή την εργασία βρίσκεται να είναι απολύτως ανώτερο από τα άλλα. Το αποτέλεσμα αυτό μας υπενθυμίζει ότι ένα μοντέλο που αποδίδει πολύ καλά σε μια συγκεκριμένη αγορά ή κάτω από μια συγκεκριμένη λειτουργία η απώλεια, μπορεί να μην είναι αξιόπιστο σε άλλες αγορές ή υπό άλλες λειτουργίες απώλειας. Έτσι, οι ενεργειακοί οικονομολόγοι και οι οικονομικοί αναλυτές θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί όταν

χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη κατηγορία-GARCH μοντέλων για την πρόβλεψη της μεταβλητότητας του αργού πετρελαίου. Μη γραμμικά GARCH-class μοντέλα φαίνεται να είναι καλύτερες επιλογές από τα γραμμικά, ειδικά για μακροχρόνια πρόβλεψη της μεταβλητότητας. Προτείνουν ότι η ενεργειακοί οικονομολόγοι, οι υπεύθυνοι χάραξης ενεργειακής πολιτικής και επαγγελματίες δεν θα πρέπει να επιλέγουν αυθαίρετα ένα μοντέλο πρόβλεψης μεταβλητότητας με αναφορά στην υπάρχουσα έρευνα. Το ποιο μοντέλο μπορεί να εμπιστευθεί εξαρτάται όχι μόνο από το δείγμα των δεδομένων, αλλά και την αντιστοιχία του συγκεκριμένου σκοπού πρόβλεψης με την εξεταζόμενη συνάρτηση απώλειας.

- Ο Antonino Parisi και άλλοι, το 2008 δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη αλλαγών της τιμής του χρυσού: Rolling και αναδρομικά μοντέλα νευρωνικών δικτύων". Η εργασία τους παρουσιάζει και αναλύει μια εναλλακτική μέθοδο για την μοντελοποίηση των προσδοκιών της συνεχούς αλλαγής των προσδοκιών μέσω της χρήσης των αναδρομικών και κυματιζόμενων νευρωνικών δικτύων που ακολουθούν μια διαδικασία προσαρμογής, έτσι ώστε να προβλέπεται η ένδειξη ένα βήμα μπροστά της διακύμανσης της τιμής του χρυσού. Τα νευρωνικά δίκτυα εκπαιδεύονται εκ νέου συνεχώς, προκειμένου να συλλάβουν τις μεταβαλλόμενες προσδοκίες των παραγόντων στη διαμόρφωση των τιμών του χρυσού. Ειδικότερα, η επαναληπτική λειτουργία προσθέτει, μέσω ενός επαναληπτικού αλγορίθμου, νέες πληροφορίες στο δίκτυο. Επίσης, η rolling λειτουργία στοχεύει στο να συλλάβει τη διαδικασία προσαρμοζόμενων προσδοκιών, μοντελοποιώντας το γεγονός ότι οι πράκτορες χρησιμοποιούν πρόσφατες πληροφορίες για να προσαρμόσουν τις προσδοκίες τους, θέτοντας τις λιγότερο πρόσφατες πληροφορίες στην άκρη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα rolling δίκτυα υπερβαίνουν τα αναδρομικά και τροφοδοτούν τα δίκτυα προς τα εμπρός όσον αφορά την πρόβλεψη της διακύμανσης των τιμών του χρυσού. Επιπλέον, ότι το rolling δίκτυο για ένα μέγεθος δείγματος από 29 παρατηρήσεις καταγράφει μια σημαντική προβλεπτική ικανότητα σε στατιστικούς όρους, φθάνοντας τις καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά την ένδειξη της πρόβλεψης. Έτσι, η προβλεπτική ικανότητα των δυναμικών δικτύων είναι σχετική, το οποίο τα τοποθετεί ως εναλλακτική λύση για την τεχνική ανάλυση και με τις συμβατικές τεχνικές προβλέψεις χρονολογικών σειρών, όπως τα μοντέλα ARIMA. Η χρήση των rolling νευρωνικών μοντέλων θα μπορούσε να βελτιώσει την ικανότητα πρόβλεψης των κινήσεων των τιμών του χρυσού, η οποία θα καταστήσει δυνατή την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση των κινδύνων που συνδέονται με τις συναλλαγές αυτού του μετάλλου. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που δείχνουν μια μέση πρόβλεψη 60,68% με τυπική απόκλιση 2,82% για το rolling δίκτυο, από τις δυναμικές νευρωνικών δικτύων σε bootstrap σειρά, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτή η τεχνική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε οικονομική σκηνή, η οποία επικυρώνει τη χρήση του για την πρόβλεψη των τιμών του χρυσού.

- Οι Farooq Malik και Mahdi Nasereddin το 2006 δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας τις τιμές του πετρελαίου: Μια κλιμακωτή

προσέγγιση τεχνητών νευρωνικών δικτύων ". Ο λόγος ήταν ότι η πρόβλεψη των μελλοντικών οικονομικών συνθηκών είναι επιτακτική ανάγκη δεδομένου ότι διάφορες πολιτικές επηρεάζουν την οικονομία με σημαντική χρονική υστέρηση. Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι οι τιμές του πετρελαίου επηρεάζουν το αποτέλεσμα της οικονομίας με ένα μη-γραμμικό τρόπο. Ωστόσο, δεν υπάρχει σαφής συμφωνία σχετικά με την άγνωστη αυτή λειτουργική μορφή. Προτάθηκε η εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη του ΑΕΠ, με τη χρήση των τιμών του πετρελαίου και χρησιμοποιώντας κλιμακωτή μάθηση. Βρήκαν ότι το μέσο απόλυτο σφάλμα πρόβλεψης και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα πρόβλεψης μειώνεται με την εφαρμογή κλιμάκωσης νευρωνικών δικτύων σε σχέση με τα συμβατικά τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και δημοφιλή γραμμικά μοντέλα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία ακολουθεί πραγματικά το πνεύμα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία είναι ουσιαστικά οδηγούμενα δεδομένα. Ο Malik και ο Nasereddin διαπίστωσαν ότι η κλιμάκωση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων δίνει το χαμηλότερο μέσο απόλυτο σφάλμα πρόβλεψης και το χαμηλότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα πρόβλεψης σε σχέση με τα συμβατικά τεχνητών νευρωνικών δικτύων και δημοφιλή γραμμικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα, που υποστηρίζονται από την οικονομική θεωρία, προτείνουν τη χρήση των τιμών του αργού πετρελαίου σε ένα μη-γραμμικό τρόπο σε πραγματικά μοντέλα πρόβλεψης. Εισήγαγαν μια βιώσιμη μέθοδο πρόβλεψης για μελλοντικές οικονομικές εφαρμογές που μπορούν να βελτιώσουν τις οικονομικές προβλέψεις που είναι απαραίτητες για την επιτυχία της οικονομικής πολιτικής και τη λήψη αποφάσεων. Για περεταίρω μελλοντική έρευνα θα ήταν καλό να συγκρίνουν τις καλύτερες προβλέψεις του μοντέλου τους με άλλα μη-γραμμικά μοντέλα (π.χ. μοντέλα Markov switching), με τη χρήση των τιμών του πετρελαίου σε άλλα υπάρχοντα μοντέλα για να δούμε αν οι προβλέψεις μπορούν να βελτιωθούν, και να πειραματίζονται με κλιμάκωση τεχνητών νευρωνικών δικτύων για την πρόβλεψη άλλων μεταβλητών.

- Ο Carolina Garcia-Martos και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Μοντελοποίηση και πρόβλεψη των ορυκτών καυσίμων, των εκπομπών CO₂, των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας και της μεταβλητότητας τους". Στο κείμενό τους, τονίζουν ότι στο τρέχον αβέβαιο περιβάλλον που επηρεάζει τόσο την παγκόσμια οικονομία και τον τομέα της ενέργειας, με τη ραγδαία αύξηση των τιμών του πετρελαίου και του φυσικού αερίου και την πολύ ασταθή πολιτική κατάσταση που επηρεάζει μερικούς από τις μεγαλύτερους παραγωγούς πρώτων υλών, υπάρχει ανάγκη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών και ισχυρών ποσοτικών εργαλείων που επιτρέπουν στο μοντέλο την πρόβλεψη των τιμών των ορυκτών καυσίμων, των δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ τιμές καθώς και των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό θα βελτιώσει την λήψη αποφάσεων για όλα τα μέσα που ασχολούνται με θέματα ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν έγγραφα που επικεντρώθηκαν στην μοντελοποίηση των τιμών των καυσίμων ορυκτών καυσίμων, των εκπομπών CO₂ και των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, η λογοτεχνία είναι σπάνια στις προσπάθειες να εξετάσει όλα αυτά μαζί. Η εργασία τους επικεντρώνεται στην οικοδόμηση ενός τόσο πολυπαραγοντικού μοντέλου για τις παραπάνω τιμές και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά της μονοδιάστατες, όσον αφορά την ακρίβεια πρόβλεψης (οι

μονοπαραγοντική και πολυπαραγοντική μοντέλα συγκρίνονται για ένα μεγάλο διάστημα της ημέρας, σε όλους τους 4 πρώτους μήνες του 2011), καθώς και την εξαγωγή κοινών χαρακτηριστικών της μεταβλητότητας των τιμών όλων αυτών των σχετικών μεγεθών. Τα κοινά χαρακτηριστικά της μεταβλητότητας που προκύπτει μέσω αυτής υπό όρους ομοσκεδαστικών παραγόντων δυναμικών μοντέλων επιτρέπουν να λύσουν το πρόβλημα της διάστασης που προκύπτει συνήθως κατά την εκτίμηση πολυμετάβλητων μοντέλων GARCH. Επιπλέον, οι κοινοί παράγοντες μεταβλητότητας που λαμβάνονται είναι χρήσιμοι για τη βελτίωση των προβλέψεων χρονικών διαστημάτων και έχουν μια ωραία οικονομική ερμηνεία. Εξάλλου, τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν και η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να είναι χρήσιμη ως σημείο εκκίνησης για τη διαχείριση των κινδύνων ή τη βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας στο σημερινό πλαίσιο των ενεργειακών αγορών.

- Ο Nowrouz Kohzadi και άλλοι, το 1996 δημοσίευσαν το άρθρο "Σύγκριση τεχνητών νευρωνικών δικτύων και μοντέλων χρονοσειρών για την πρόβλεψη των τιμών των βασικών εμπορευμάτων". Έκαναν την έρευνα, επειδή η πρόβλεψη των τιμών αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των εμπορικών συναλλαγών και την ανάλυση των τιμών. Ποσοτική ακρίβεια με μικρά σφάλματα, σε συνδυασμό με δύναμη πρόβλεψης εναλλασόμενων σημείων, είναι τόσο σημαντική για την αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης. Πολυάριθμες μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι οι μονοδιάστατες χρονοσειρές, όπως Box-Jenkins ARIMA μοντέλα είναι τόσο ακριβής όσο ακριβά γραμμικά παλινδρομικά ή διανυσματικά αυτοπαλινδρομικά μοντέλα. Ένα προωθητικό νευρωνικό δίκτυο το οποίο μπορεί να ευθύνεται για τις μη γραμμικές σχέσεις χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθούν στην απόδοση της πρόβλεψης της τιμής το ARIMA και τα νευρωνικά δίκτυα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι μηνιαίες τιμές των βοοειδή και του σίτου από το 1950 μέχρι το 1990. Το πείραμα επαναλήφθηκε εκτός δείγματος σε επτά περιόδους των τριών ετών από το 1970 μέχρι το 1990, χρησιμοποιώντας ένα συρόμενο παράθυρο ή με την προς τα εμπρός προσέγγιση. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, μέσο απόλυτο σφάλμα και το μέσο απόλυτο σφάλμα τοις εκατό ήταν όλα χαμηλότερα κατά μέσο όρο για το νευρωνικό δίκτυο από την πρόβλεψη για το ARIMA. Η μέση τιμή των νευρωνικών δικτύων και προβλέψεις ARIMA βρέθηκαν επίσης να είναι στατιστικώς διαφορετικές. Το νευρωνικό δίκτυο βρέθηκε επίσης για να συλλάβει ένα στατιστικά σημαντικό αριθμό των σημείων καμπής τόσο για το σιτάρι και τα βοοειδή, ενώ το μοντέλο ARIMA θα μπορούσε να συλλάβει μόνο για τα ζώντα βοοειδή. Ο λόγος γιατί το μοντέλο νευρωνικού δικτύου εκτελείται καλύτερα από την ARIMA μπορεί να είναι επειδή τα δεδομένα περιέχουν μια μη-γραμμικό ή χαοτική συμπεριφορά, η οποία δεν μπορεί πλήρως να συλλαμβάνεται από το γραμμικό μοντέλο ARIMA. Τέλος, τα αποτελέσματα νευρωνικών δικτύων είναι σύμφωνα με τις θεωρητικές αποδείξεις ότι ένα προωθητικό νευρωνικό δίκτυο με ένα μόνο κρυφό επίπεδο μπορεί με ακρίβεια και ικανοποιητικά να προσεγγίσει κάθε συνεχής λειτουργία. Δεδομένου ότι αυτή η μέθοδος πρόβλεψης δεν είναι προβληματική και χρησιμοποιεί μόνο τις προηγούμενες τιμές, πρότειναν ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλα προβλήματα πρόβλεψης όπως τα αποθέματα και άλλες οικονομικές τιμές.

- Ο Shifei Zhou, και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Ένα δυναμικό μετα-μαθητικό μοντέλο βασισμένο σε ποσοστά για την πρόβλεψη της αγοράς χρυσού". Η πρόβλεψη της τιμής του χρυσού γίνεται ολοένα και πιο σημαντική. Πάντοτε ο χρυσός διαπραγματεύεται ενεργά στις διεθνείς αγορές. Πολλά παράγωγα των συναλλαγών χρυσού στις διεθνείς αγορές χρυσού επίσης ανταλλάσσονται, όπως ο χρυσός μελλοντικής εκπλήρωσης, δικαιώματα προαίρεσης χρυσού, προθεσμιακές συμβάσεις χρυσού, και ούτω καθεξής. Στην εργασία τους, ένα βελτιωμένο EMD μετα-μαθητικό μοντέλο βασισμένο σε ποσοστά για την πρόβλεψη των τιμών χρυσού προτείνεται. Χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά τη μέθοδο EMD για να διαχωρίσουν τα δεδομένα χρονοσειρών σε διάφορες υποομάδες σειρών δεδομένων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων. Στη συνέχεια, ένα προς τα πίσω-διάδοση νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκε για να λειτουργήσει ως μοντέλο πρόβλεψης στο νέο σύστημα αφού το BPNN έχει μελετηθεί πολύ και χρησιμοποιούσε αλγόριθμους μάθησης. Μελετώντας μαθηματικά την ουσιαστική διαδικασία της BPNN, διατύπωσαν μια διαδικασία έκπτωσης για να δείξουν ότι η ηλεκτρονική μάθηση μπορεί να ενημερωθεί άμεσα. Καθώς ο ρυθμός μάθησης ήταν ενημερωμένες σε απευθείας σύνδεση, το βάρος ενημερωνόταν μετά από κάθε εισαγωγή δεδομένων. Αυτό εξασφάλισε ότι το μοντέλο BPNN ήταν σε θέση να διαφύγει από το τοπικό ελάχιστο της συνάρτησης σφάλματος και, κατά συνέπεια, ήταν σε θέση να δείχνουν μια καλή απόδοση από την άποψη της γρήγορη ταχύτητα σύγκλισης. Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι το σύστημα είχε προσφέρει καλά αποτελέσματα πρόβλεψης καθώς και όσον αφορά την ταχύτητα εκτέλεσης. Αν και εφαρμόστηκε ο νέος αλγόριθμος για την αγορά χρυσού και έλαβαν κάποια εντυπωσιακά αποτελέσματα, υπήρχε ακόμα κάποια βελτίωση που θα μπορούσε να γίνει. Η παγκόσμια meta-learning rate θα μπορούσε να μελετηθεί περαιτέρω για να δούμε εάν υπάρχει σχέση μεταξύ MAE και τα δείγματα δεδομένων. Εκτός αυτού, το μοντέλο τους μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε απόθεμα και αγορές εγγυήσεων.

- Οι Jing Li και Henry Thompson το 2010 δημοσίευσαν το άρθρο "Μια σημείωση σχετικά με την εξέλιξη των τιμών του πετρελαίου και GARCH shocks". Το άρθρο τους ερευνά την τάση της μηνιαίας πραγματική τιμή του πετρελαίου μεταξύ 1990 και 2008 με ένα γενικευμένο αυτοπαλινδρομικό υποθετικό ετεροσκεδαστικό (GARCH) μοντέλο. Η τάση και η μεταβλητότητα εκτιμάται ότι από κοινού με την εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας. Υπάρχει μεγάλη επιμονή στη διακύμανση των διαταραχών των τιμών του πετρελαίου, καθώς και μια δοκιμή μοναδιαίας ρίζας GARCH (GUR) που μπορεί να δώσει ενδεχομένως μια σημαντική αύξηση σε σχέση με την εξουσία της επαυξημένης Dickey-Fuller (ADF) δοκιμής. Μετά επιτρέποντας την μη γραμμικότητα, τα στοιχεία που υποστηρίζουν μια ντετερμινιστική τάση στην τιμή του πετρελαίου. Η ντετερμινιστική τάση υποδηλώνει ότι η επιρροή του σοκ των τιμών είναι παροδική και η πολιτική προσπάθεια να αποκατασταθεί μια προβλέψιμη τιμή μετά από ένα σοκ θα είναι αδικαιολόγητη σε μακροπρόθεσμη βάση. Όσον αφορά τη μεθοδολογία, τα ευρήματα αυτής της εργασίας

συμβάλλουν στην αυξανόμενη βιβλιογραφία που δείχνουν τα μοντέλα των τιμών μπορούν να βελτιωθούν επιτρέποντας μη γραμμικές προδιαγραφές.

- Οι Luciano Zunino και άλλοι, το 2011 δημοσίευσαν το άρθρο "Ανάλυση προβλεψιμότητας των εμπορευμάτων με προσέγγιση θεωρίας μετάθεσης πληροφοριών". Είναι ευρέως γνωστό ότι οι αγορές εμπορευμάτων δεν είναι απόλυτα αποτελεσματικές. Μεγάλης εμβέλειας εξάρτηση είναι παρούσα, και ως εκ τούτου η περίφημη κίνηση Brown των τιμών μπορεί να θεωρηθεί μόνο ως μια πρώτη προσέγγιση. Στην εργασία αυτή η προβλεψιμότητα στις αγορές εμπορευμάτων, χρησιμοποιώντας μια νέα προσέγγιση που προέρχεται από Θεωρία Πληροφορίας αναλύεται. Το επίπεδο πολυπλοκότητας-εντροπίας αιτιότητας έχει πρόσφατα αποδειχθεί ότι είναι ένα χρήσιμο στατιστικό εργαλείο για να διακρίνει το στάδιο της ανάπτυξης του χρηματιστηρίου επειδή οι διαφορές μεταξύ ανεπτυγμένων και αναδυόμενων χρηματιστηρίων μπορεί εύκολα να υφίστανται διακρίσεις και οπτικοποιούνται με αυτό το χώρο αναπαράστασης. Με την εκτίμηση της αλλαγής της εντροπίας και της στατιστικής πολυπλοκότητας των είκοσι βασικών μελλοντικών αγορών εμπορευμάτων κατά τη διάρκεια μιας περιόδου περίπου 20 ετών (1991.01.02-2009.09.01), θα μπορούσαν να καθορίζουν μια συνδυαζόμενη κατάταξη της αποτελεσματικότητας. Αυτή η κατάταξη ποσοτικοποιούσε την παρουσία των προτύπων και των κρυμμένων δομών σε προνομιακές αγορές. Επιπλέον, η χρονική εξέλιξη των προϊόντων στο επίπεδο της αιτιότητας πολυπλοκότητας-εντροπίας τους επιτρέπει να προσδιορίσουν χρονικά διαστήματα όπου η υποκείμενες δυναμικές ήταν περισσότερο ή λιγότερο προβλέψιμες. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εργασία τους, επιβεβαιώνουν τη χρησιμότητα της θεωρίας μετάθεσης πληροφοριών για την ανίχνευση και την ποσοτικοποίηση της παρουσίας των συσχετισμών και των κρυφών δομών, τονίζοντας τη σημασία της και ενθαρρύνοντας την εφαρμογή της σε άλλα επιστημονικά πεδία.

- Ο M. A. Kaboudan το 2001 δημοσίευσε το άρθρο "Υπολογιστική πρόβλεψη των τιμών του αργού πετρελαίου". Ο λόγος ήταν ότι η τιμή του αργού πετρελαίου (COP) είναι μια παγκοσμίως σημαντική μεταβλητή για την οποία χρειάζονται ακριβείς προβλέψεις από τους φορείς λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού των επιχειρήσεων, καθώς και τις κυβερνήσεις. Επιπλέον, οι προβλέψεις των τιμών που χρησιμοποιούνται στις προβλέψεις του ενεργειακού εφοδιασμού και της ζήτησης. Η εργασία αυτή περιέχει βραχυπρόθεσμα μηνιαίες προβλέψεις των τιμών του αργού πετρελαίου με τη χρήση υπολογιστικών μεθόδων. Υπολογιστικές μέθοδοι πρόβλεψης είναι αυτές που χρησιμοποιούν υπολογιστές για τον προσδιορισμό του υποκείμενου μοντέλου που παράγει την πρόβλεψη. Συνήθως, τα μοντέλα πρόβλεψης έχουν σχεδιαστεί ή καθορίζονται από τους ανθρώπους και όχι τις μηχανές. Υπολογιστικές μέθοδοι εφαρμόζονται για να καθοριστεί εάν τα μοντέλα που παρέχουν παράγουν αξιόπιστες προβλέψεις. Οι προβλέψεις που παράγονται από δύο υπολογιστικές μεθόδους GP (γενετικού προγραμματισμού) και ANN (τεχνητά νευρωνικά δίκτυα) - συγκρίνονται και

αξιολογούνται σε σχέση με τον τύπο πρόβλεψης του τυχαίου περιπάτου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η γενετική προγραμματισμού έχει πλεονέκτημα σε σχέση με τις προβλέψεις τυχαίου περιπάτου, ενώ οι προβλέψεις του νευρωνικού δικτύου αποδείχθηκαν κατώτερες. Επίσης, επισημαίνει ότι οι προσπάθειες για την παραγωγή προβλέψεων για περισσότερο από ένα μήνα χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση.

- Ο Kaijian He και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Συνολική πρόβλεψη της Value at Risk βασιζόμενη μέσω μεθοδολογία πολλαπλής ανάλυσης σε αγορές μετάλλων". Επισημαίνουν ότι στις κρίσεις σε όλο τον κόσμο, οι αγορές μετάλλων στην εποχή των διαρθρωτικών αλλαγών και της παγκοσμιοποίησης έχουν δει ένα πολύ ανταγωνιστικό και ευμετάβλητο περιβάλλον της αγοράς. Η σωστή μέτρηση και διαχείριση των κινδύνων στις αγορές μετάλλων είναι ζωτικής σημασίας για τους επενδυτές που ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς της οικονομίας λόγω του μοναδικού ρόλου τους ως σημαντικές εισροές της βιομηχανίας στη διαδικασία κατασκευής. Αν και παραδοσιακές μεθοδολογίες διαχείρισης κινδύνων έχουν εργαστεί στο παρελθόν, ο He και άλλοι, αντιμετώπιζαν την πρόκληση των ταχέως μεταβαλλόμενων συνθηκών της αγοράς. Οι αγορές απαιτούν τις μεθοδολογίες που εκτιμούν περισσότερο αξιόπιστα και ακριβή Vars. Η εργασία τους προτείνει μια Πολυκριτηριακή Ανάλυση με βάση γραμμική μεθοδολογία συνόλου για Value at Risk εκτιμήσεις (MRNEVaR). Η Πολυκριτηριακή ανάλυση με χρήση κυματιδίων εισάγεται για να αναλύσει τη δυναμική εξέλιξη των κινδύνων σε ένα μικρότερο πεδίο και παρέχουν γνώσεις σχετικά με τις διάφορες πτυχές της υποκείμενης εξέλιξης του κινδύνου. Η μη γραμμική προσέγγιση χρησιμοποιώντας την τεχνική του συνόλου τεχνητών νευρωνικών δικτύων εισάγεται για τον προσδιορισμό των βέλτιστων βαρών και για να σταθεροποιήσει τις προβλέψεις. Οι επιδόσεις του προτεινόμενου MRNEVaR και πιο παραδοσιακού ARMA-GARCH VaR αξιολογούνται και συγκρίνονται κατά τη διάρκεια εμπειρικών μελέτων σε τρεις μεγάλες αγορές μετάλλων με χρήση Kupiec δοκιμαστικών ελέγχων και Diebold-Mariano διαδικασιών δοκιμής. Τα πειραματικά αποτελέσματα σε μεγάλες αγορές μετάλλων επιβεβαιώνουν ότι το προτεινόμενο MRNEVaR βελτιώνει την ανθεκτικότητα, την αξιοπιστία και την ακρίβεια των βέλτιστων εκτιμήσεων στη μέτρηση του κινδύνου της αγοράς. Διαπιστώθηκε επίσης ότι και η μεταβλητότητα και η τετραγωνική επιστροφή παρέχουν θορυβώδη μέτρηση των πραγματικών κινδύνων. Η απόδοση του MRNEVaR περιορίζεται από την προκατάληψη με τις τρέχουσες προσεγγίσεις σε μετρήσεις μεταβλητότητας. Τέλος, προτείνουν ότι με πιο ακριβή πληρεξούσια για την πραγματική υποκείμενη μεταβλητότητα, η απόδοση του MRNEVaR θα μπορούσε να βελτιωθεί περαιτέρω.

- Ο Ye Pang και άλλοι, το 2007 δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη της τιμής του αργού πετρελαίου του WNN χρήση πετρελαίου του OECD". Γενικά η πρόβλεψη της τιμής του αργού του πετρελαίου έχει προσελκύσει μεγαλύτερη προσοχή από ακαδημαϊκούς και τις επιχειρήσεις τις τελευταίες δεκαετίες. Πολλές μελέτες έχουν επισημάνει ότι οι πιθανές αλλαγές στην παγκόσμια προσφορά και ζήτηση του

πετρελαίου έχει οδηγήσει σε ερωτήσεις σχετικά με τις επιπτώσεις για την τιμή του αργού πετρελαίου. Επιπλέον, τα επίπεδα των αποθεμάτων πετρελαίου είναι ένα μέτρο ισορροπίας, ή ανισορροπίας, μεταξύ της παραγωγής και της ζήτησης πετρελαίου που μπορούν να αντανakλούν πιέσεις ρευστότητας της αγοράς σε τιμές του αργού πετρελαίου, και έτσι παρέχουν μια καλή πρόβλεψη της αγοράς του αργού διακύμανσης των τιμών του πετρελαίου σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Έτσι, στη μελέτη τους, ένα μοντέλο πρόβλεψης βασιζόμενο σε Wavelet Neural Network (WNN) προτάθηκε για να προβλέψει τη μηνιαία τιμή του αργού πετρελαίου. Σε αυτό το νέο μοντέλο, του OECD βιομηχανικά επίπεδα αποθεμάτων πετρελαίου χρησιμοποιήθηκαν ως ανεξάρτητη μεταβλητή, και Wavelet Neural Network (WNN) χρησιμοποιήθηκε για να μοντελοποιηθεί η μη γραμμική σχέση μεταξύ αποθεμάτων και των τιμών. Για σκοπούς επαλήθευσης, η WestTexasIntermediate (WTI) τιμή του αργού πετρελαίου χρησιμοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα προβλέψεων του μοντέλου τους και τα στατιστικά στοιχεία, σε σύγκριση με τα άλλα δύο μοντέλα, αποδεικνύουν ότι το μοντέλο τους μπορεί να χαρτογραφήσει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ των αποθεμάτων και των τιμών spot πολύ καλύτερα. Επιπλέον, εντός δείγματος και απόδοση πρόβλεψης εκτός δείγματος έδειξαν επίσης ότι το WNN με βάση το μοντέλο πρόβλεψης θα μπορούσε να παράγει πιο ακριβή αποτελέσματα από άλλες προβλέψεις μη γραμμικών και γραμμικών μοντέλων, ακόμη και όταν το μήκος του ορίζοντα πρόβλεψης ήταν σχετικά μικρό ή μεγάλο.

- Ο Andrea Corroia το 2008 δημοσίευσε το άρθρο «Πρόβλεψη των κινήσεων των τιμών του πετρελαίου αξιοποιώντας τις πληροφορίες στην προθεσμιακή αγορά». Η μελέτη του προτείνει ένα μοντέλο πρόβλεψης των εβδομαδιαίων κινήσεων του αργού πετρελαίου του West Texas Intermediate, η οποία εκμεταλλεύεται τις πληροφορίες που παρέχονται από την προθεσμιακή αγορά, μέσω της δυναμικής σχέσης μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Το κόστος του μοντέλου χρησιμοποιείται για να δικαιολογήσει την ύπαρξη μιας μακροχρόνιας σχέσης μεταξύ των υπαρχών και προθεσμιακών τιμών. Η λογική είναι ότι αν η σχέση μεταξύ των υπαρχουσών και προθεσμιακών τιμών δείχνουν μια μακροχρόνια ισορροπία, βραχυχρόνιες αποκλίσεις από την ισορροπία αυτή θα αντισταθμιστούν από ένα ορισμένο βαθμό της μέσης αναστροφής σε τωρινή-μελλοντική βάση. Χρησιμοποιώντας εβδομαδιαία στοιχεία από το 1986, βρήκαν στοιχεία της συνολοκλήρωσης μεταξύ τρέχουσας τιμής του πετρελαίου και της τιμής από 1,2,3 και 4-μηνών συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Με δεδομένη την ύπαρξη αυτής της μακροχρόνιας ισορροπίας, ένα λανθασμένο διανυσματικό μοντέλο διόρθωσης (VECM) εκτιμήθηκε. Σύμφωνα με την εντός δείγματος απόδοση του προτεινόμενου μοντέλου, οι πληροφορίες που παρέχονται από την αγορά συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του πετρελαίου μπορεί να εξηγήσουν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των κινήσεων των τιμών του πετρελαίου. Το εκτιμώμενο μοντέλο σε σύγκριση με ένα μοντέλο του τυχαίου περιπάτου (RWM) σε μια άσκηση πρόβλεψης εκτός δείγματος για να ελεγχθεί η υπόθεση της μη προβλεψιμότητας. Διαπιστώθηκε ότι η VECM υπερτερεί από την RWM στην πρόβλεψη 1-μήνα μελλοντικής εκπλήρωσης διακυμάνσεων των τιμών των συμβάσεων ($\Delta F(t, 1)$), τόσο από την άποψη της απόδοσης πρόβλεψης

σημείου και όσον αφορά την ικανότητά χρονισμού της αγοράς. Τέλος, η απόδοση της VECM συγκρίνεται με εκείνη ενός VAR σε διαφορές (VARD). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η VECM ξεπερνά τη VARD, τόσο εντός δείγματος όσο και εκτός δείγματος και επιβεβαιώνουν την αξία των πληροφοριών που είναι ενσωματωμένες στη μακροχρόνια σχέση τωρινών και μελλοντικών.

- Ο Alessandro Lanza και άλλοι, το 2005 δημοσίευσαν το άρθρο "Μοντελοποίηση και πρόβλεψη συνολοκληρωμένων σχέσεων μεταξύ πετρελαίου και των τιμών των προϊόντων". Πρόσφατα, αρκετές μελέτες έχουν συμβάλει στην ερευνά της σχέσης μεταξύ της τιμής του αργού πετρελαίου και των τιμών των προϊόντων διύλισης. Ωστόσο, πολύ λιγότερη προσοχή έχει δοθεί στην κατανόηση της δυναμικής των τιμών αργού πετρελαίου διαφορετικής ποιότητας, ακόμη και αν η ποιότητα (και, κατά συνέπεια, η τιμή) του αργού πετρελαίου στη διάθεση των διυλιστηρίων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τις στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τα διυλιστήρια σε όλο τον κόσμο. Κατά συνέπεια, μια βαθύτερη κατανόηση της δυναμικής των τιμών του αργού πετρελαίου είναι ζωτικής σημασίας για τη σύγχρονη βιομηχανία πετρελαίου. Έτσι, η εργασία τους ερευνά το αργό πετρέλαιο και τη δυναμική των τιμών των προϊόντων. Παρουσιάζουν μια σύγκριση μεταξύ μια σειράς δέκα τιμών του αργού πετρελαίου και μιας δεκαεσάρων τιμών των προϊόντων πετρελαίου σε δύο διακριτές περιοχές (Ευρώπη και Αμερική) κατά την περίοδο 1994-2002. Παρέχουν μια πλήρη ανάλυση του αργού πετρελαίου και τη δυναμική των τιμών των προϊόντων με τη χρήση συνολοκλήρωσης και υποδειγμάτων διόρθωσης σφάλματος (ECM). Στη συνέχεια χρησιμοποιούν τις προδιαγραφές ECM για να προβλέψουν τις τιμές του αργού πετρελαίου πάνω στον ορίζοντα Ιανουαρίου 2002 - Ιουνίου 2002. Τα εμπειρικά στοιχεία έδειξαν ότι οι τιμές των προϊόντων είναι στατιστικά σχετιζόμενα με τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη επεξήγηση της προσαρμογής σε αγορές πετρελαίου. Η σημασία των τιμών των προϊόντων σε μακροχρόνια σχέση είναι ειδική για κάθε τομέα: στην ΕΕ ισχυρότερη, πιο αδύναμη σε ΑΜ. Το σχετικό μείγμα προϊόντος εξαρτήθηκε επίσης από την περιοχή της αγοράς και τα χαρακτηριστικά του επιλεγμένου αργού. Επίσης θα αξίζει να υπογραμμιστεί ότι οι μακροχρόνιοι συντελεστές προσαρμογής ήταν ευαίσθητοι με τη σοβαρότητα του συγκεκριμένου αργού. Τέλος, η σύγκριση της ECM με ένα αφελές (βραχυχρόνιο) μοντέλο δείχνει ότι η συνολοκλήρωση βελτιώνει οριακά στατικές προβλέψεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

- Ο W.K. Buchanan και άλλοι, το 2001 δημοσίευσαν το άρθρο «Προς τα που το φυσικό αέριο: μια προσπάθεια να προβλεφθεί η κατεύθυνση των φυσικών διακυμάνσεων των τιμών του φυσικού αερίου με τις trader positions». Η έρευνά τους παρέχει μια μέθοδο πρόβλεψης της κατεύθυνσης των κινήσεων των τιμών στην αγορά του φυσικού αερίου για τον επόμενο μήνα σύμφωνα με τις θέσεις των συμμετεχόντων στην αγορά συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Οι Cumby και Modest (Cumby, RE, Modest, DM, 1987 Δοκιμές για την ικανότητά χρονισμού της αγοράς:.. Ένα πλαίσιο για την

αξιολόγηση και πρόγνωση. Εφημερίδα των Financial Economics 19, 169-189), εφόσον το σκηνικό για την ανάλυση των θέσεων στην αγορά συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης των μεγάλων hedgers και των κερδοσκοπών να καταλήξει σε συμπεράσματα των κινήσεων των τιμών της αγοράς. Η προτεινόμενη μεθοδολογία προτάθηκε ως μέσο για τους δήμους που εισέρχονται στην αγορά φυσικού αερίου για να βελτιώσουν την παραγγελία τους από τις ποσότητες του φυσικού αερίου για τους επόμενους μήνες, προκειμένου να επωφεληθούν από τις προβλεπόμενες πιθανές τάσεις των τιμών. Τέλος με σύγκριση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης μεθοδολογίας, η σχετική αξία των πρόσθετων δεδομένων θα γίνουν εμφανείς και μπορεί να παρέχει πρόσθετες αποδείξεις για τον λεπτό συντονισμό της διαδικασίας.

- Ο John Wei-Shan Hu και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Εφαρμογή Νευρωνικών Δικτύων σε τιμές Πρόβλεψης του αργού πετρελαίου". Η παγκόσμια οικονομία βίωσε μια διαταραγμένη ανησυχία τα τελευταία πέντε χρόνια, λόγω των μεγάλων αυξήσεων των τιμών του πετρελαίου και των τρομοκρατικών επιθέσεων. Ενώ η ακριβής πρόβλεψη της τιμής του πετρελαίου είναι σημαντική αλλά είναι εξαιρετικά δύσκολη, η μελέτη τους επιχειρεί να προβλέψει με ακρίβεια τις τιμές του αργού πετρελαίου, υιοθετώντας τρία δημοφιλή νευρωνικά δίκτυα, συμπεραλαμβανομένου τη μέθοδο του πολυστρωματικού νευρωνικού δικτύου, το επαναλαμβανόμενο Elman νευρωνικό δίκτυο ERNN, και το επαναλαμβανόμενο ασαφές νευρωνικό RFNN δίκτυο. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση των νευρωνικών δικτύων για την πρόβλεψη των τιμών των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης αργού πετρελαίου ήταν κατάλληλη και η συνεπής μάθηση επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας διαφορετικούς χρόνους κατάρτισης. Επιπλέον, τα περαιτέρω αποτελέσματα έδειξαν ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, η απόδοση της μάθησης θα μπορούσε να βελτιωθεί με την αύξηση του χρόνου εκπαίδευσης. Επιπλέον, το RFNN είχε την καλύτερη προβλεπτική ικανότητα και το MLP είχε τη χειρότερη από τα τρία βασικά νευρωνικά δίκτυα. Αυτό το εύρημα έδειξε ότι, κάτω από ERNNs και RFNNs, η προβλεπτική ικανότητα βελτιώθηκε όταν αυξάνεται ο χρόνος εκπαίδευσης. Μία εξαιρετική περίπτωση που εμπλέκει το BPNs, υποδηλώνει ότι η προβλεπτική ικανότητα βελτιώθηκε κατά τη μείωση του χρόνου εκπαίδευσης. Για να συνοψίσουμε, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η RFNN ξεπέρασε τα άλλα δύο νευρωνικά δίκτυα στην πρόβλεψη αργού πετρελαίου.

- Ο Mehrzad Zamani το 20004 δημοσίευσε το άρθρο "Οικονομετρική μοντελοποίηση για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη των τιμών του πετρελαίου". Είναι ευρέως γνωστό ότι η πρόβλεψη των τιμών του αργού πετρελαίου βιώνεται ως ένα πολύπλοκο εγχείρημα. Η πολυπλοκότητα του ειδικά βραχυπρόθεσμο σχετίζεται με κάποια απρόβλεπτα χαρακτηριστικά τόσο σε οικονομικά όσο και πολιτικά θέματα. Όσον αφορά τους παράγοντες που αλλάζουν, το αβέβαιο μέλλον και την ευαισθησία της αγοράς δημιουργούν κάποιες δυσκολίες στην πρόβλεψη. Έτσι ο Zamani στην εργασία του παρουσιάζει σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα τριών μηνών ένα μοντέλο πρόβλεψης του

WTI χρησιμοποιώντας τα αποθέματα του OECD, ζήτηση από μη μέλη του OECD και προσφορά του OPEC με βάση τη μεθοδολογία της οικονομετρίας. Τα επίπεδα των αποθεμάτων περιλαμβάνουν SPR και βιομηχανικά είναι σημαντικά μέτρα για την ισορροπία ή ανισορροπία στην αγορά πετρελαίου του OECD και η παροχή του OPEC είναι η πιο σημαντική επιρροή για τη διαχείριση των τιμών του πετρελαίου και της ζήτησης των μη μελών του OECD και θεωρείται ως δείκτης της αγοράς για την περιοχή αυτή. Σε αυτή τη μελέτη οι σχέσεις οικονομετρίας μεταξύ αυτών των μεταβλητών μελετήθηκε. Δεδομένου ότι τα εμπορικά αποθέματα και SPR ακολουθούν διαφορετικούς στόχους, έχουν μελετηθεί ξεχωριστά. Στη συνέχεια, το μοντέλο πρόβλεψης των τιμών έχει αναπτυχθεί με βάση χρονική υστέρηση τιμών των βιομηχανικών αποθεμάτων, ζήτηση από μη μέλη του OECD και προσφορά του OPEC. Το μοντέλο αυτό είναι χρήσιμο κυρίως για τη OPEC στη διερεύνηση των επιπτώσεων των διάφορων ανώτατων ορίων παραγωγής για τις μελλοντικές τιμές του πετρελαίου.

- Οι J. David Cabedo και Ismael Moya δημοσίευσαν το άρθρο "Εκτίμηση των τιμών του πετρελαίου" Value at Risk "με την ιστορική προσέγγιση προσομοίωσης". Ο λόγος ήταν ότι μετά το τέλος του δέκατου ένατου αιώνα, το πετρέλαιο ήταν η κύρια πηγή ενέργειας για την ανθρωπότητα, και είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος φυσικός πόρος για την παραγωγή ενέργειας. Στην εργασία τους, προτείνουν τη χρήση του Value at Risk (VaR) για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου των τιμών του πετρελαίου. VaR παρέχει μια εκτίμηση για τη μέγιστη μεταβολή της τιμής του πετρελαίου που συνδέεται με ένα επίπεδο πιθανότητας, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου. Αναλύουν τρεις μεθόδους υπολογισμού VaR: τυπική προσέγγιση Ιστορικής Προσομοίωσης, προσέγγιση Ιστορικής Προσομοίωσης με προβλέψεις ARMA (HSAF), που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία, και η μέθοδος μεταβλητότητας-συμεταβλητότητας που βασίζεται σε μοντέλα προβλέψεων ARCH. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν δείχνουν ότι η μεθοδολογία HSAF παρέχει μια καλύτερη εκτίμηση VaR από αυτή που προβλέπεται από την ιστορική προσέγγιση προσομοίωσης. Το ποσοστό των ημερών όταν VaR είναι υψηλότερη από την πραγματική μεταβολή των τιμών είναι σύμφωνα με το υποτιθέμενο επίπεδο πιθανότητας. Επιπλέον, η HSAF μεθοδολογία παρουσιάζει μια πιο ευέλικτη ποσοτικοποίηση της, η οποία ταιριάζει καλύτερα στις συνεχείς διακυμάνσεις των τιμών. Τέλος, οι VaR εκτιμήσεις υπολογίζονται από τη μεθοδολογία HSAF που παρέχει μια πιο αποτελεσματική ποσοτικοποίηση του κινδύνου από αυτή που προβλέπεται από τα μοντέλα ARCH.

- Οι Imad Haidar και Rodney C. Wolff δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη των τιμών του αργού πετρελαίου". Ο λόγος ήταν ότι οι πρόσφατες αλλαγές της συμπεριφοράς των τιμών του αργού πετρελαίου μεταξύ 2007 και 2009 αναβίωσε την ερώτηση σχετικά με τις υποκείμενες δυναμικές που διέπουν τις τιμές του αργού πετρελαίου. Ακόμα πιο σημαντικά, η εξαιρετική ερώτηση για το αν μπορούμε να προβλέψουμε την τιμή του αργού πετρελαίου και τις αποδόσεις του ή δεν πρέπει να

επανεξητάσθη. Ο στόχος της εργασίας τους είναι να παρουσιαστεί μια ανάλυση του αργού πετρελαίου ημερησίως τιμής / απόδοσης. Ο στόχος είναι να βρεθούν αν οι διαρθρωτικές αλλαγές στην αγορά του αργού πετρελαίου είχαν επηρεάσει την ικανότητα να προβλέπονται ημερήσιες αποδόσεις. Επίσης, υποστηρίζουν εάν εξακολουθεί να υπάρχει ένα χάσμα μεταξύ των υπολογιστικών μεθόδων και των παραδοσιακών στατιστικών μεθόδων για την πρόβλεψη χρονοσειρών. Ως εκ τούτου, στο άρθρο προσπαθούν να κάνουν μια προσπάθεια να δοθεί η δέουσα προσοχή στις στατιστικές ιδιότητες των χρονοσειρών στη διαδικασία οικοδόμησης των μοντέλων ελαφρού υπολογισμού. Ως εκ τούτου, η έρευνα αρχίζει με δοκιμές για μη-γραμμικότητα στη δομή αυτών των σειρών χρησιμοποιώντας το πιο αξιόπιστη δοκιμή για iid, τη BDS δοκιμή. Το σύστημα Fuzzy Classifier για μη-γραμμικότητα (FCS) που προτάθηκε από τον Kaboudan (1999) και το πεδίο του χρόνου δοκιμής για μη-γραμμικότητα που εισήγαγαν οι Barnett και Wolff (2005) χρησιμοποιήθηκαν επίσης. Επίσης, εκτιμούν τους εκθέτες Lyapunov για τη διερεύνηση της ύπαρξης του χάους στην τιμή του αργού πετρελαίου και των αποδόσεών του. Οι δοκιμές δείχνουν με συνέπεια ότι με την πάροδο του χρόνου οι δυναμικές δυνάμεις που οδηγούσαν την τιμή του αργού πετρελαίου και των αποδόσεων ήταν μη-γραμμικές, πιθανώς χαμηλών διαστάσεων. Επιπλέον, η δοκιμή FCS παρουσιάζει ενδείξεις υψηλού επιπέδου του θορύβου που σημαίνει ότι η εξομάλυνση ή μείωση του θορύβου είναι αναγκαία για την επίτευξη οποιουδήποτε επίπεδου ακρίβειας προβλέψεων. Για την πρόβλεψη της βραχυπρόθεσμης απόδοσης του αργού πετρελαίου συγκρίναν την απόδοση των μοντέλων ARIMA, τύπου EGARCH, και ANN. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι είναι δυνατόν να προβλεφθεί η τιμή του αργού πετρελαίου με τη χρήση μη-γραμμικά μοντέλα δεδομένου ότι τα μέτρα ελέγχου του θορύβου χρησιμοποιούνται. Τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης κάποια στοιχεία για την αποτελεσματική πολυ-βηματική πρόβλεψη (έως και 26 βήματα) για την εξομάλυνση ημερήσιων αποδόσεων. Τέλος, αναμένουν ότι η ανάλυση που παρουσιάζεται στην εργασία τους, θα είναι χρήσιμη για τους ερευνητές / ενεργειακούς οικονομολόγους που ενδιαφέρονται για την πρόβλεψη της τιμής του αργού πετρελαίου και της απόδοσης του.

- Ο Thomas A. Knetsch το 2006 δημοσίευσε το άρθρο "Πρόβλεψη της τιμής του αργού πετρελαίου μέσω απόδοση ευκολίας". Ο βιομηχανοποιημένος κόσμος εξαρτάται από το αργό πετρέλαιο ως κεντρική πηγή του ενεργειακού εφοδιασμού. Δεδομένου ότι η οικονομική δραστηριότητα και ο πληθωρισμός επηρεάζονται από την τιμή του πετρελαίου, οι μακροοικονομικές προβλέψεις βασίζονται σε μελλοντική εξέλιξή του. Η τιμή του πετρελαίου συνήθως καθορίζεται έξω από τον πυρήνα των μακροοικονομικών ασκήσεων προβολής. Ως εκ τούτου, προκειμένου να προβλεφθεί η τιμή του αργού πετρελαίου, η παρούσα εργασία αναπτύσσει μια τεχνική που βασίζεται στην παρούσα αξία του μοντέλου ορθολογικής τιμολόγησης των βασικών προϊόντων. Η προσέγγιση προτείνει τη μετατόπιση του προβλήματος της πρόγνωσης στην οριακή απόδοση ευκολίας που μπορεί να προέρχεται από τη σχέση κόστους μεταφοράς. Σε μια αναδρομική ανάλυση εκτός δείγματος, η ακρίβεια της πρόβλεψης σε ορίζοντες εντός ενός έτους ελέγχεται από τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, καθώς και το μέσο

σφάλμα και τη συχνότητα μιας σωστής πρόβλεψης της κατεύθυνσης της αλλαγής. Για όλα τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται, το προτεινόμενο εργαλείο πρόβλεψης ξεπερνά την προσέγγιση που χρησιμοποιεί προθεσμιακές τιμές ως άμεσους προάγγελους των μελλοντικών τιμών. Vis-a-vis, το μοντέλο τυχαίου περιπάτου, δεν βελτιώνουν σημαντικά την ακρίβεια της πρόβλεψης, αλλά παρέχουν πολύτιμες δηλώσεις σχετικά με την κατεύθυνση της αλλαγής.

- Ο Sang Hoon Kang και άλλοι, και άλλοι, το 2009 δημοσίευσαν το άρθρο "Πρόβλεψη της μεταβλητότητας στις αγορές αργού πετρελαίου". Η μοντελοποίηση και η πρόβλεψη της μεταβλητότητας της τιμής του πετρελαίου είναι σημαντικές εισροές σε μακροοικονομικά μοντέλα τύπων αποτίμησης δικαιωμάτων προαίρεσης και μοντέλα επιλογής χαρτοφυλακίου. Το άρθρο ερευνά την αποτελεσματικότητα ενός μοντέλου μεταβλητότητας για τρεις αγορές αργού πετρελαίου - Brent, Dubai και West Texas Intermediate (WTI) - σε σχέση με την ικανότητά του να προβλέψει και να εντοπίσει αστάθεια σχηματοποιημένων δεδομένα, ιδίως την επιμονή ασταθούς ή μακροπρόθεσμης μνήμης. Στο πλαίσιο αυτό, εκτιμούν την ανθεκτικότητα της αστάθειας των τριών τιμών του αργού πετρελαίου με τη χρήση μοντέλων υπό όρους μεταβλητότητας. Τα μοντέλα CGARCH και FIGARCH ήταν καλύτερα εξοπλισμένα για να συλλάβουν την επιμονή από το GARCH και το IGARCH μοντέλο. Ακόμη πιο σημαντικό, το FIGARCH μοντέλο για το αργό πετρέλαιο στο Brent και το Ντουμπάι προσφέρει ανώτερη απόδοση σε εκτός δείγματος προβλέψεις μεταβλητότητας, ενώ το CGARCH μοντέλο για το WTI αποκαλύπτει μια καλύτερη πρόβλεψη ακρίβειας από ό,τι άλλα μοντέλα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι ενεργειακοί οικονομολόγοι, δείκτες ενεργειακής πολιτικής, και οι οικονομικοί αναλυτές θα πρέπει να εξετάσουν την εμμονή ή μεγάλη μνήμη στη μεταβλητότητα των τιμών του αργού πετρελαίου, καθώς τα μοντέλα CGARCH και FIGARCH παρέχουν την καλύτερη προβλέψη για το αργό πετρέλαιο.

- Ο Tan Suk Shiang το 2010 δημοσίευσε το άρθρο "Πρόβλεψη μεταβλητότητας με ομαλή εκθετική μεταβατική εξομάλυνση στην αγορά εμπορευμάτων". Τα τελευταία χρόνια, τα εμπορεύματα βρίσκονται στο επίκεντρο της προσοχής από τους εμπόρους, τους επενδυτές, τους φορείς χάραξης πολιτικής, τους κερδοσκόπους και τους παραγωγούς. Ο στόχος της μελέτης είναι να συγκρίνει την προβλεπτική ακρίβεια της μεθόδου *ad hoc* δηλαδή Ομαλή Εκθετική μεταβατική εξομάλυνση (STES) με στατιστικά μοντέλα και συγκεκριμένα τα μοντέλα παραλλαγών GARCH στην αγορά των βασικών προϊόντων και να διερευνήσουν τις πληροφορίες που περιέχονται σε δεδομένα υψηλής συχνότητας για να εξηγηθούν σύμφωνα με την ακρίβεια της πρόβλεψης της μεταβλητότητας. Επίσης, ο Shiang είχε δοκιμάσει την ακρίβεια της πρόβλεψης μεταβλητότητας 5 ειδών STES μοντέλων στην αγορά εμπορευμάτων. Η υπεραπόδοση των STES αποκάλυψε ότι τα ειδικά χαρακτηριστικά, όπως η εποχικότητα και η μεταβλητότητα και αντίστροφο αποτέλεσμα μόχλευσης που βρέθηκαν στις αγορές εμπορευμάτων προσαρμόζονται καλά σε STES μοντέλα. Η προβλεπτική ικανότητα του STES έχει αποδειχθεί ισχυρότερη από ό,τι τα δημοφιλή μοντέλα όπως τα GARCH. Τα συνολικά αποτελέσματα έδειξαν ότι, STES μοντέλα

έχουν πολύ καλές επιδόσεις στις μεθόδους αξιολόγησης και συγκεκριμένα σε RMSE. Η χαμηλότερη τιμή RMSE φαίνεται σε Daily-GARCH και Daily-STES ενώ η εφαρμοσμένη διακύμανση ως υποκατάστατο για την πραγματική διακύμανση έδειξε ότι η υψηλή συχνότητα των δεδομένων παρέχει καλύτερες προβλέψεις μεταβλητότητας των αποδόσεων σε σύγκριση με το τετραγωνικό σφάλμα ως πραγματική διακύμανση. Αυτό σημαίνει ότι καθημερινά γεγονότα δίνουν επαρκείς πληροφορίες για τη διαδικασία πρόβλεψης. Ενώ τα αποτελέσματα για τα μοντέλα χωρίς παλινδρόμηση ή με επιπλέον μεταβλητή μετάβαση έχουν δείξει ότι, η επιστροφή των άλλων βασικών προϊόντων δεν έχει καμία επίδραση στην πρόβλεψη της μεταβλητότητας είτε στην απόδοση του αργού πετρελαίου ή χρυσού σε τόσο RV όσο και σε τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιήθηκε ως αντιπροσωπευτικό της πραγματικής διακύμανσης. Παρ' όλα αυτά, μόνο η απόδοση του χρυσού έχει σημαντικό αντίκτυπο για να αποδόσει τη μεταβλητότητα του αργού πετρελαίου όταν το τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιείται ως πραγματική διακύμανση. Προτείνουν ότι ένα ευρύτερο φάσμα βασικών προϊόντων θα πρέπει να διερευνηθεί κατά STES σε βάθος για το μελλοντική έρευνα.

- Ο Manmohan Σ. Kumar το 1991 έγραψε το άρθρο «Ακρίβεια πρόβλεψης των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης των τιμών του αργού πετρελαίου». Το άρθρο του αναλύει την ανάπτυξη των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του αργού πετρελαίου στις αγορές και εξετάζει την ακρίβεια των προβλέψεων που λαμβάνονται με τη χρήση τιμών συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Μια σειρά από εμπειρικές ασκήσεις διεξήχθη για να αξιολογηθεί η "αμεροληψία", και η ακρίβεια των προβλέψεων. Ένα εκτεταμένο σύνολο δεδομένων, που καλύπτουν την περίοδο από την έναρξη των συναλλαγών του αργού πετρελαίου στο New York Mercantile Exchange από το 1990, χρησιμοποιήθηκε για το σκοπό αυτό. Μια ανάλυση μέσω ακραίων αποδόσεων που θα μπορούσε να προέρχονται από εκμετάλλευση συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης δεν φαίνεται να δείχνει κάποια συστηματική μεροληψία στις προθεσμιακές τιμές. Το αποτέλεσμα αυτό συμπληρώνει τα αποτελέσματα της σύγκρισης των προβλέψεων με χρήση συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης με προβλέψεις που χρησιμοποιούν το μοντέλο τυχαίου περιπάτου, το οποίο έδειξε ότι το προηγούμενο παρείχε πιο ακριβείς προβλέψεις για όλους τους χρονικούς ορίζοντες πρόβλεψης. Καθώς το μήκος του ορίζοντα πρόβλεψης αυξάνεται, η ακρίβεια των δύο τύπων των προβλέψεων ελαττώθηκε σημαντικά. Η ανάλυση του εντός μηνός τιμών των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης πρότεινε κάποια οριακή βελτίωση στην ακρίβεια πρόβλεψης για μακρινούς ορίζοντες, σε σύγκριση με το τέλος του κύκλου των τιμών του μήνα. Προβλέψεις συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης των τιμών ήταν επίσης πιο ακριβείς σε σύγκριση με τις προβλέψεις που λαμβάνονται χρονικά μοντέλα καθώς και επικριτικές και οικονομετρικές προβλέψεις. Συνδυάζοντας τις προβλέψεις από εναλλακτικές τεχνικές, απεδώθηκε μόνο μια οριακή βελτίωση όσον αφορά την διακύμανση των σφαλμάτων πρόβλεψης. Τα εμπειρικά αποτελέσματα υποδεικνύουν έντονα ότι οι τιμές των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης παρείχαν προβλέψεις που ήταν, σε γενικές γραμμές, ανώτερες από αυτές που λαμβάνονται από εναλλακτικές τεχνικές για βραχυπρόθεσμους ορίζοντες. Για

περισσότερους μακρινούς ορίζοντες, η ακρίβειά τους δεν μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο, ακόμη και για αυτούς τους ορίζοντες οι προβλέψεις μελλοντικής εκπλήρωσης δεν ήταν χειρότερες, και ήταν συχνά καλύτερες, σε σύγκριση με εκείνες που λαμβάνονται από εναλλακτικές τεχνικές.

- Η Margarete E. Slade το 1982 δημοσίευσε το άρθρο "Τάσεις των τιμών των φυσικών πόρων: Μια ανάλυση σε πεδίο χρόνου". Η εργασία αυτή ήταν μια προσπάθεια να συμβιβάσει τις θεωρητικές προβλέψεις της αύξησης των τιμών με την πάροδο του χρόνου με εμπειρικά ευρήματα της πτώσης των πραγματικών τιμών. Ένα μοντέλο για την μακροπρόθεσμη εξέλιξη των τιμών των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων (τα ορυκτά προϊόντα) όταν δεν υπήρχε εξωγενής τεχνολογική εξέλιξη και ενδογενείς αλλαγές στο βαθμό των εξορυσσόμενων μεταλλευμάτων προτείνει ένα U-shaped time path για τις σχετικές τιμές. Η ανάλυση της μακροχρόνια σχέσης των κινήσεων των τιμών των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων εμπορευμάτων αποκάλυψε ότι, με ένα γραμμικό μοντέλο, οι εκτιμώμενοι συντελεστές τάσεων ήταν τόσο θετικοί όσο και αρνητικοί και ήταν σημαντικοί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 90% σε λίγο μόνο πάνω από το μισό του των περιπτώσεων που εξετάστηκαν. Ως εκ τούτου, καμία γενίκευση δεν μπορεί να γίνει σχετικά με την έλλειψη φυσικών πόρων από ένα γραμμικού μοντέλου. Σε αντίθεση, με ένα τετραγωνικό μοντέλο, ενσωματωμένες τάσεις για τις τιμές όλων των μεγάλων μετάλλων και καυσίμων έδειξαν την προβλεπόμενη κυρτή καμπυλότητα-αρχικά πτωτική αλλά έπειτα αυξήθηκε- και όλοι εκτός από έναν από τα εκτιμώμενους συντελεστές των τετραγωνισμένων όρων ήταν στατιστικά σημαντικοί στο 90% του επιπέδου εμπιστοσύνης. Οι ενσωματωμένες γραμμικές τάσεις των μοντέλων υποτιμούν τις σχετικές τιμές όλων των μεγάλων μετάλλων και των καυσίμων τα τελευταία χρόνια της περιόδου 1870-1978, επειδή οι τιμές όλων των εμπορευμάτων έχουν περάσει τα ελάχιστα σημεία των U καμπυλών και έχουν αρχίσει να αυξάνουν. Ως εκ τούτου, αν η έλλειψη αυτή μετράται από τις σχετικές τιμές, τα στοιχεία δείχνουν ότι οι μη ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι αρχίζουν να σπανίζουν. Το μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ είναι πολύ απλό και αφελές. Παραβλέπει πολλές σημαντικές πτυχές της σχέσης βιομηχανία ορυκτών -κόστους και τιμολόγησης, όπως περιβαλλοντικούς κανονισμούς, φορολογική πολιτική, τη δομή της αγοράς, καθώς και έλεγχο των τιμών. Παρ' όλα αυτά, εμφανίστηκε ένα ξεκάθαρο πρότυπο των κινήσεων των τιμών των ορυκτών αγαθών, καθώς και χρήσιμες γενικεύσεις για τη μακροχρόνια σχέση της συμπεριφορά των τιμών μπορεί να γίνει από αυτό το απλό μοντέλο.

- Ο Paolo Agnolucci το 2009 δημοσίευσε το άρθρο «Μεταβλητότητα συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του αργού πετρελαίου: Μια σύγκριση της προβλεπτική ικανότητα του GARCH και μοντέλων τεκμαρτής μεταβλητότητας". Ενώ τα μοντέλα GARCH έχουν ένα καλό ιστορικό στην παροχή ακριβών εκτιμήσεων για την μεταβλητότητα των αποδόσεων από χρηματοοικονομικά περιουσιακά στοιχεία, οι επιδόσεις τους χειροτερεύουν όταν αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προβλέψεων. Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης WTI εισηγμένα στο NYMEX

διαπραγματεύονται πιο πολύ στον τομέα της ενέργειας. Το άρθρο του Agnolucci συγκρίνει την προβλεπτική ικανότητα των δύο προσεγγίσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μεταβλητότητας: GARCH τύπου μοντέλα, όπου οι προβλέψεις λαμβάνονται μετά από εκτίμηση των μοντέλων χρονολογικών σειρών, καθώς και ένα μοντέλο μεταβλητότητας όταν οι προβλέψεις που λαμβάνονται αναστρέφουν ένα από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τις επιλογές τιμών . Παρά το γεγονός ότι ο κύριος σκοπός της έρευνας είναι να αξιολογηθεί όποιο μοντέλο παράγει την καλύτερη πρόβλεψη της μεταβλητότητας για το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης WTI, αξιολογούνται σύμφωνα με τα στατιστικά και κριτήρια βασισμένα σε παλινδρόμησης, που εξετάζει κατά πόσο η μεταβλητότητα των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του πετρελαίου επηρεάζεται από ασύμμετρες συνέπειες, εάν οι παράμετροι των μοντέλων GARCH επηρεάζονται από την κατανομή των σφαλμάτων και αν επιτρέπουν σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο Longrun mean στη μεταβλητότητα να παράγει κάποια βελτίωση σε σχέση με τις προβλέψεις που λαμβάνονται από τα μοντέλα GARCH. Τέλος προτείνει ότι θα ήταν χρήσιμο να εκτιμηθεί η ακρίβεια των μοντέλων πρόβλεψης με βάση ολοκληρωμένη μεταβλητότητα, κατά πόσον είναι δυνατόν να επωφεληθούν από λανθασμένες επιλογές αφού ληφθούν υπόψη το κόστος των συναλλαγών αν η σύγκριση των μοντέλων πρόβλεψης της μεταβλητότητας επηρεάζεται από το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε κατά την άσκηση και τον αντίκτυπο των πιο εξελιγμένων μοντέλων αποτίμησης δικαιωμάτων προαίρεσης για την ανάλυση που αναφέρθηκαν στο παρόν έγγραφο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΝΕΥΡΟ-ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ασαφής λογική (Fuzzy Logic)

Στα μέσα του 1960 ο Lotfi A. Zadeh του πανεπιστημίου Berkeley της Καλιφόρνια εφηύρε την θεωρία των ασαφών συνόλων, η οποία λέει ότι συνήθως στον κόσμο που ζούμε τα αντικείμενα γύρω μας ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής. Πχ. η κλάση των "ψηλών ανθρώπων" δεν έχει αυστηρό κριτήριο συμμετοχής. Ο ασαφής ορισμός κλάσεων παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην ανθρώπινη επικοινωνία. Το 1965 ο Zadeh θεμελίωσε πλήρως την θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφής λογικής ολοκληρώνοντας την δουλειά αρκετών άλλων μαθηματικών μέχρι τότε. Η θεωρία του Zadeh δέχθηκε μεγάλη αμφισβήτηση κυρίως στην Αμερική. Την δεκαετία του 1970 ο Ebrahim H. Mamdani, μηχανικός στο πανεπιστήμιο Queen Mary του Λονδίνου δοκίμασε για πρώτη φορά την ασαφή λογική για την ανάπτυξη ενός ελεγκτή ατμομηχανής.

Η θεωρία συνόλων αρχικά αναπτύχθηκε από τον Cantor (1845-1918). Η θεωρία του δέχθηκε μεγάλη αμφισβήτηση και τελικά πέθανε το 1918 σε ψυχιατρική κλινική. Σύνολο είναι οποιαδήποτε συλλογή - ομάδα ομοειδών πραγμάτων (πραγμάτων που έχουν ή ικανοποιούν μία συγκεκριμένη ιδιότητα). Τα μέλη της ομάδας αυτής καλούνται στοιχεία του συνόλου. Το πλήθος των στοιχείων ενός συνόλου καλείται πληθικός αριθμός του συνόλου (συμβολίζεται συνήθως με N). Υπάρχουν πεπερασμένα και άπειρα σύνολα, ανάλογα με το αν ο πληθικός τους αριθμός είναι πεπερασμένος ή άπειρος.

Ένα ασαφές σύνολο (fuzzy set) ορίζεται ως ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών $(x, \mu_A(x))$ όπου $x \in X$ και $\mu_A(x) \in [0,1]$. Το σύνολο X αποτελεί ένα ευρύτερο σύνολο αναφοράς (universe of discourse) που περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα στα οποία μπορεί να γίνει αναφορά. Η τιμή $\mu_A(x)$ λέγεται συνάρτηση συμμετοχής (membership function) ή βαθμός αληθείας (degree of truth), συμβολίζει το βαθμό συμμετοχής του x στο A και παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Η διαφορά των ασαφών συνόλων συγκριτικά με την κλασική θεωρία συνόλων είναι ότι στη δεύτερη ισχύει $\mu_A(x) \in \{0,1\}$, δηλαδή το x είτε ανήκει στο A [$\mu_A(x)=1$] ή δεν ανήκει [$\mu_A(x)=0$]. Το ασαφές σύνολο ορίζεται ως: A στην διακριτή και $A = \sum \mu_A(x)/X$ στην διακριτή και $A = \int \mu_A(x)/X$ στην περίπτωση που το X είναι ένα συνεχές διάστημα.

Συνεπαγωγές

Έστω οι προτάσεις $p = "x \text{ ανήκει στο σύνολο } A"$ και $q = "y \text{ ανήκει στο σύνολο } B"$ όπου A και B είναι κλασικά σύνολα. Η πρόταση " p συνεπάγεται q " που θα συμβολίζεται $R : p \rightarrow q$, ερμηνεύεται ως $\neg(p \wedge \neg q)$ δηλαδή ότι δεν μπορεί να αληθεύει το p και να μην αληθεύει το q . Η πλήρης ερμηνεία της συνεπαγωγής είναι ότι ο βαθμός αλήθειας της $p \rightarrow q$ καθορίζει κατά πόσο

το q αληθεύει τουλάχιστον κατά τον ίδιο βαθμό όσο το p. Έτσι σύμφωνα με την κλασσική λογική ο πίνακας αλήθειας της φυσικής συνεπαγωγής είναι ο ακόλουθος

p	q	$p \rightarrow q$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

Μια επέκταση της φυσικής συνεπαγωγής $R : p \rightarrow q$ χρησιμοποιώντας ασαφή σύνολα A και B είναι η σχέση R μεταξύ των A και B

$$\mu_R(x, y) = 1, 1, \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \text{ } 0, \mu_A(x) < \mu_B(y)$$

που ονομάζεται αυστηρή συνεπαγωγή. Ο πιο διαδεδομένος τελεστής συνεπαγωγής στα ασαφή σύνολα είναι αυτός του Mamdani που ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\mu_R(x, y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}.$$

Στην συμπερασματική συλλογιστική, δεδομένων αληθών προτάσεων το συμπέρασμα που βγαίνει δεν μπορεί να είναι ψευδές. Κλασσικό παράδειγμα συμπερασματικής συλλογιστικής είναι το ακόλουθο:

Πρόταση: Όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί

Γεγονός: Ο Σωκράτης είναι άνθρωπος

Συμπέρασμα: Ο Σωκράτης είναι θνητός

Ο έλεγχος διαδικασιών ή συστημάτων με ασαφείς ελεγκτές προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων λεκτικών κανόνων που περιγράφουν τις αντιδράσεις ενός ανθρώπου χειριστή. Αυτοί οι κανόνες περιγράφονται από ένα σύνολο προτάσεων της μορφής "ΑΝ A τότε B". Είναι προφανές ότι σε πολύπλοκες διαδικασίες δεν είναι γνωστοί όλοι οι κανόνες εκ των προτέρων. Άρα ζητείτε ένας μηχανισμός που μπορεί να παίρνει αποφάσεις με ελλιπή στοιχεία, κάτι που η ασαφής λογική αποδεικνύεται ότι μπορεί να κάνει.

Στον προσεγγιστικό συλλογισμό και την ασαφή λογική ο σημαντικότερος κανόνας συνεπαγωγής είναι ο Generalized Modus Ponens (GMP) για τον οποίο ισχύει

ΠρότασηR: $\text{AN } x \text{ είναι } A \text{ TOTE } y \text{ είναι } B$

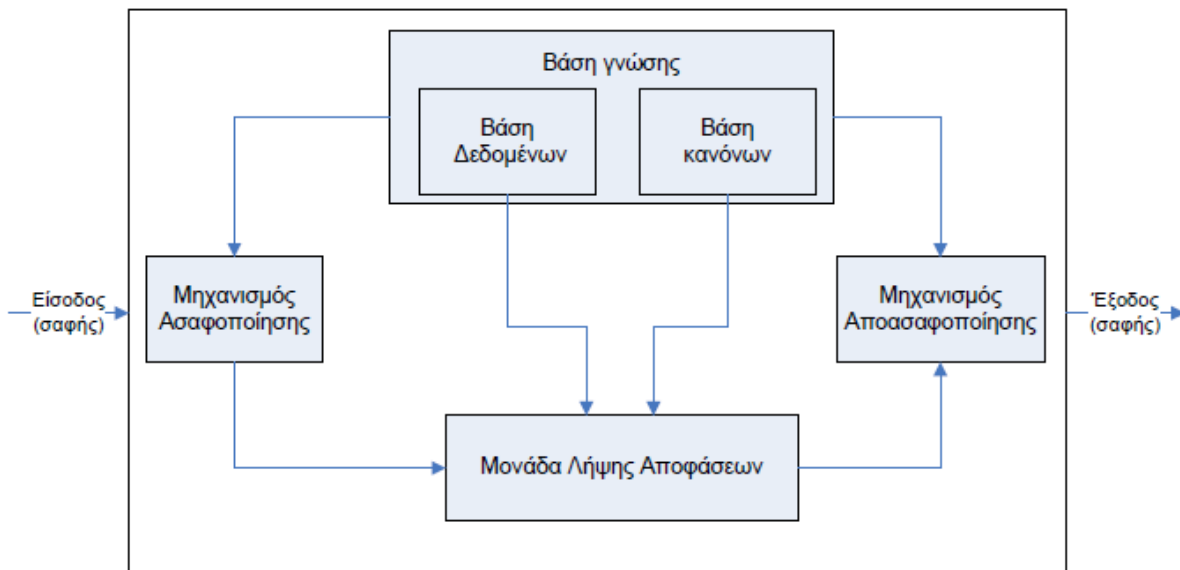
Γεγονός: $x \text{ είναι } A$

Συμπέρασμα: $y \text{ είναι } B$

Στόχος είναι η εύρεση ενός συμπεράσματος έχοντας σαν δεδομένα τα αίτια. Το συμπέρασμα B' προκύπτει από την σύνθεση του A' και του πίνακα αλήθειας της συνεπαγωγής. Η σύνθεση όπως έχουμε ήδη πει μπορεί να οριστεί με διάφορους τελεστές. Αν τώρα έχουμε παραπάνω από μία συνεπαγωγές $R^1, R^2, \dots, R^n$ τότε ο συνδυασμός αυτών των σχέσεων γίνεται με "OR" συνήθως χρησιμοποιώντας τον τελεστή $\max$.

Τα βασικά στοιχεία ενός ασαφούς ελεγκτή είναι τα ακόλουθα:

- Βάση γνώσης. Σε αυτήν είναι αποθηκευμένοι οι κανόνες ελέγχου για το έλεγχο της διαδικασίας.
- Ασαφή σύνολα. Έχοντας ορίσει τα ασαφή σύνολα είναι δυνατή η μετάφραση των λεκτικών κανόνων της βάσης γνώσης σε μαθηματικούς κανόνες.
- Ασαφοποιητής. Αναλαμβάνει την μετατροπή των πραγματικών τιμών των μεταβλητών εισόδου του ελεγκτή σε ασαφή σύνολα.
- Μηχανισμός συμπερασμού. Εκεί παράγονται μέσω συνεπαγωγών τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων.
- Αποασαφοποιητής. Τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων μετατρέπονται σε πραγματικούς αριθμούς έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση της δράσης ελέγχου στην διαδικασία.



Εικόνα : Διαγραμματική απεικόνιση της δομής ενός ασαφούς ελεγκτή

Ασαφοποίηση εισόδων

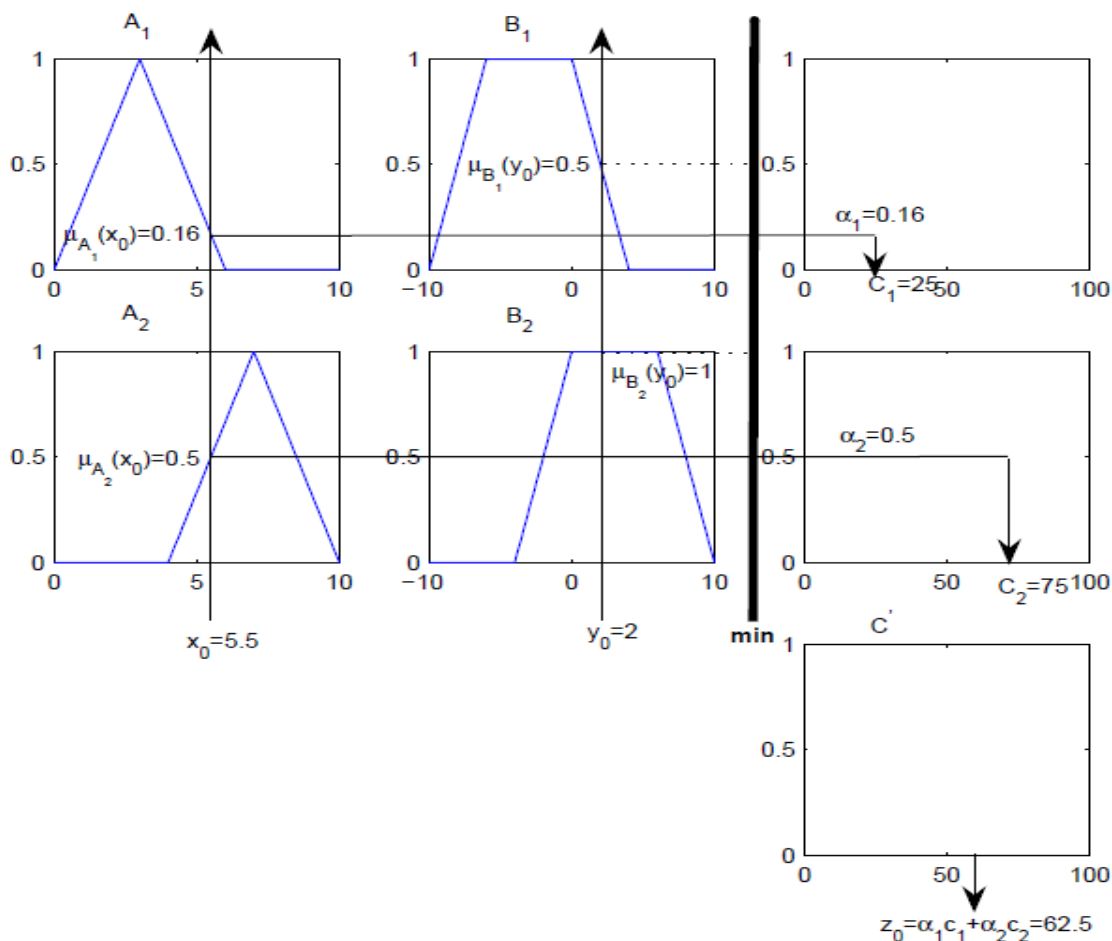
Οι είσοδοι σε έναν ασαφή ελεγκτή είναι σήματα άρα σαφείς μεταβλητές, γι αυτό και απαιτείται σαν πρώτο βήμα η ασαφοποίησή των. Η ασαφοποίηση μπορεί να γίνει είτε με χρήση πίνακα τιμών είτε μέσα από μια αποτίμηση μιας συνάρτησης.

Μηχανισμός συμπερασμού

Ο μηχανισμός συμπερασμού για να οριστεί πλήρως χρειάζεται να οριστεί ο τελεστής συνεπαγωγής, ο τελεστής σύνθεσης που χρησιμοποιείται, το συνδυαστικό μεταξύ των η κανόνων, και ο τελεστής "ΚΑΙ" που ενώνει τις προϋποθέσεις των κανόνων.

<u>Τελεστής "ΚΑΙ"</u>	<u>Τελεστής "OR"</u>	<u>Τελεστής συνεπαγωγής</u>	<u>Τελεστής σύνθεσης</u>
Mamdani (max)	Mamdani (min)	Αυστηρή	Mamdani (max – min)
Probor	Larsen (prod)	Gödel	Larsen (max – prod)
		Larsen (prod)	max – average
		Mamdani (min)	

Το ασαφές μοντέλο τύπου Sugeno προτάθηκε από τους Tagaki, Sugeno και Kang σε μια προσπάθεια να αναπτύξουν μια συστηματική προσέγγιση που θα τους επιτρέψει την παραγωγή ασαφών κανόνων από ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων εισόδου-εξόδου. Ένας τυπικός ασαφής κανόνας για το ασαφές μοντέλο τύπου Sugeno έχει την ακόλουθη μορφή: Αν x είναι A και y είναι B , τότε $z = f(x,y)$, όπου τα A και B είναι ασαφή σύνολα στην υπόθεση (antecedent), ενώ το $z = f(x,y)$ είναι μια σαφής (crisp) συνάρτηση στην απόδοση (consequent). Συνήθως το $f(x,y)$ είναι ένα πολυώνυμο των μεταβλητών εισόδου x και y , αλλά μπορεί να είναι οποιαδήποτε συνάρτηση, αρκεί να μπορεί να περιγράψει κατάλληλα την έξοδο του μοντέλου εντός της ασαφούς περιοχής που καθορίζεται από την υπόθεση (antecedent) του κανόνα.



Εικόνα : Απλοποιημένος Sugeno-Takagi ελεγκτής

Ο στόχος είναι να παραχθεί ένα ασαφές σύνολο σαν απόφαση του ελεγκτή. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν Sugeno μηχανισμό συμπερασμού είναι περισσότερο ακριβή αλλά απαιτούν περισσότερο υπολογιστικό χρόνο. Ενώ αυτά που χρησιμοποιούν Mamdani

ερμηνεύονται περισσότερο και απαιτούν λιγότερο υπολογιστικό χρόνο αλλά είναι λιγότερο ακριβή.¹

Αποασαφοποίηση εξόδων

Για να προκύψει τελικά μια σαφής ενέργεια ελέγχου πρέπει στο ασαφές σύνολο C να εφαρμοστεί μια από τις παρακάτω τεχνικές αποασαφοποίησης.

- Κέντρου βάρους (Center of area - Centroid). Η έξοδος υπολογίζεται από τον τύπο $z = \frac{\sum y_i \mu_{C y_i}}{\sum \mu_{C y_i}}$
- Αποασαφοποίηση μικρότερου των μεγίστων (Smallest of maxima – SOM). Είναι το μικρότερο σε απόλυτη τιμή από τα y_i που έχουν την μέγιστη τιμή συμμετοχής στο C .
- Αποασαφοποίηση μεγαλύτερου των μεγίστων (Largest of maxima – LOM). Είναι το μεγαλύτερο σε απόλυτη τιμή από τα y_i που έχουν την μέγιστη τιμή συμμετοχής στο C .
- Αποασαφοποίηση μέσου των μεγίστων (Middle of maxima - MOM). Είναι ο μέσος όρος όλων των στοιχείων y_i $i = 1, \dots, N$ που παίρνουν την μέγιστη τιμή στο C . $z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$

Ανάλυση κανόνων

Η σχεδίαση ενός ασαφούς ελεγκτή εντοπίζεται κυρίως στην εύρεση κατάλληλων κανόνων, έτσι ώστε το κλειστό σύστημα να ικανοποιεί κάποιες δεδομένες προϋποθέσεις. Στην θεωρία των ασαφών ελεγκτών δεν υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες έτσι ώστε να σχεδιαστεί ένας τέτοιος ελεγκτής, σε αντίθεση με την γραμμική θεωρία αυτομάτου ελέγχου όπου υπάρχουν τεχνικές όπως ο γεωμετρικός τόπος ριζών, τα διαγράμματα Nyquist κλπ. Το πρόβλημα είναι ότι η σχέση εισόδου εξόδου του ελεγκτή είναι μη γραμμική και πολύ δύσκολη να περιγραφεί μαθηματικά. Παρόλα αυτά δημιουργήθηκαν κάποια test με σκοπό να δείχνουν αν μια βάση κανόνων πληρεί κάποια βασικά κριτήρια. Τα βασικά κριτήρια για την ανάλυση των κανόνων είναι τα ακόλουθα.

1. Πληρότητα - Είναι αρκετοί οι κανόνες που δημιουργήθηκαν;
2. Συνέπεια - Μήπως οι κανόνες αλληλοσυγκρούονται;
3. Πλεονασμός - Μήπως υπάρχουν στη βάση κανόνων κάποιοι περιττοί κανόνες;
4. Αλληλεπίδραση - Υπάρχουν κάποιοι κανόνες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους;

1

☐ Jang, 1997

Συναρτήσεις συμμετοχής

Συναρτήσεις συμμετοχής γενικευμένης καμπανοειδούς μορφής (Generalized bell Mfs). Η γενικευμένη καμπανοειδής συνάρτηση συμμετοχής προσδιορίζεται από τρεις παραμέτρους $\{a, b, c\}$, όπου η παράμετρος b είναι συνήθως θετική.

$$gbellmf(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{b^2}\right)}$$

Συναρτήσεις συμμετοχής γκαουσιανής μορφής (Gaussian Mfs). Μια Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής προσδιορίζεται από δύο παραμέτρους $\{c, \sigma\}$

$$gaussmf(x, c, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Το δυσκολότερο σημείο είναι η επιλογή των ασαφών μεταβλητών, των τιμών τους και των κανόνων με τους οποίους θα συνδυαστούν. Ο προσδιορισμός των διαφόρων συναρτήσεων συμμετοχής συνήθως γίνεται αυτόματα με τη χρήση τεχνικών των νευρωνικών δικτύων. Άλλα σημεία που απαιτούν προσοχή είναι η επιλογή κατάλληλου τελεστή συνεπαγωγής, της μεθόδου αποασαφοποίησης κλπ. Ένα από τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα σύστημα ασαφούς συλλογιστικής είναι η σταθερότητα, δηλαδή η ικανότητά του να εμφανίζει καλή συμπεριφορά σε όλο το φάσμα τιμών εισόδου. Συνήθως η σταθερότητα συμπεριλαμβάνεται σαν ασαφής μεταβλητή στην περιγραφή του συστήματος και οι σχετικοί κανόνες ρυθμίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος σε ακραίες καταστάσεις.

Ασαφής λογική και προβλέψεις

Ο Hiemstra Y. (1994) παρουσίασε μια γενική προσέγγιση στη χρηματιστηριακή πρόβλεψη και εισήγαγε ένα σύστημα υποστήριξης πρόβλεψης με ασαφή λογική. Το μοντέλο προβλέπει τριμηνιαίες χρηματιστηριακές αποδόσεις. Η ιδέα είναι να συγκρίνει τις επενδυτικές συνθήκες με την αποτίμηση της χρηματιστηριακής αγοράς. Οι εισοδοί του μοντέλου είναι ο πληθωρισμός, η τάση του πληθωρισμού, η τάση ανάπτυξης του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος, ο ρυθμός ανάπτυξη του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος, η τάση των επιτοκίων καταθέσεων και η αποτίμηση της αγοράς. Για τον υπολογισμό της αποτίμησης της αγοράς το μοντέλο πολλαπλασιάζει τον πολλαπλασιαστή κερδών με το επιτόκιο καταθέσεων. Το μοντέλο προσομοιώθηκε με δεδομένα του χρηματιστηριακού δείκτη S&P500, καλύπτοντας την περίοδο 1979-1989. Τα αποτελέσματα έδειξαν αποδεκτή αποδοτικότητα του μοντέλου. Το βασικό μοντέλο έδωσε συντελεστή συσχέτισης 0,17 κατά την προσομοίωση, ο οποίος είναι αρκετά ικανοποιητικός και συγκρίνεται με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών.

Ο Ghoshray S. (1996) χρησιμοποίησε ένα ασαφές μοντέλο επαναδημιουργίας βασιζόμενο σε ασαφή πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης για να προβλέψει τις τιμές συναλλάγματος. Χρησιμοποίησε χρονολογικές σειρές τιμών συναλλάγματος πολλών ευρωπαϊκών νομισμάτων έναντι του δολαρίου Αμερικής (US\$). Παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η εμπέδωση (n), η

χρονική υστέρηση (t) και το διάνυσμα των γειτονικών δεδομένων, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των νομισμάτων αυξάνει και επιβεβαιώνεται η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου.

Οι Chen T. et al. (1999) εφάρμοσαν ασαφή λογική για να προβλέψουν την τιμή και τις πωλήσεις στη βιομηχανία των ημιαγωγών. Χρησιμοποίησαν ασαφή παρεμβολή (fuzzy interpolation FI) και ασαφή γραμμική παλινδρόμηση (fuzzy linear regression FLR). Τα αποτελέσματα των προβλέψεων συγκρίνονται με άλλες παραδοσιακές τεχνικές.

Οι Setnes M. et al. (1999) εξέτασαν την εφαρμογή των ασαφών μοντέλων Takagi- Sugeno (TS) στο πρόβλημα της ανάλυσης των χρηματιστηρίων. Διαφορετικές αρχιτεκτονικές αξιολογήθηκαν στο γερμανικό χρηματιστηριακό δείκτη Dutch AEX. Ο στόχος ήταν να μοντελοποιηθούν μακροχρόνιες σχέσεις μεταξύ δεικτών των αγορών και μακροοικονομικών μεταβλητών. Υπήρξε η υπόθεση ότι δεν ήταν γνωστή προηγούμενη γνώση της συμπεριφοράς των αγορών. Για να αξιολογήσει το προτεινόμενο Takagi-Sugeno σύστημα, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης και ένα μοντέλο διακράτησης. Το TS είχε καλύτερο συνολικό αποτέλεσμα σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα, σύμφωνα με διάφορα κριτήρια αξιολόγησης. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις το μοντέλο διακράτησης είναι καλύτερο με κριτήριο αξιολόγησης τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Παρά την έλλειψη ακριβών προβλέψεων, το μοντέλο έχει οικονομική αξία με βάση το πρόσημο της πρόβλεψης. Το TS μοντέλο, όταν συνδυαστεί με κανόνες συναλλαγών, αποδίδει περισσότερο από το δείκτη της αγοράς, δίνοντας απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου 79.60%, χρησιμοποιώντας σταθμισμένα δεδομένα και το R^2 ως κριτήριο επιλογής.

Ο Ettes D. (2000) ανέλυσε την αξιοπιστία των συστημάτων συναλλαγών τα οποία χρησιμοποιούν μοντέλα πρόβλεψης. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα μοντέλα βελτιστοποιούν την ελαχιστοποίηση του τετραγώνου του σφάλματος πρόβλεψης των μελλοντικών τιμών των μετοχών. Για να αυξήσει την αξιοπιστία, πρότεινε μια προσέγγιση η οποία βελτιστοποιεί την κατάταξη των μοντέλων με τη χρήση ενός στόχου κέρδους. Δύο διαφορετικοί στόχοι κερδών χρησιμοποιήθηκαν: ένας άμεσος στόχος κερδών και ένας στόχος ο οποίος περιλαμβάνει ανάλυση ευαισθησίας της συνάρτησης κέρδους. Για την κατάταξη των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των γενετικών αλγόριθμων (GA). Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν Takagi-Sugeno, ασαφή μοντέλα και singleton ασαφή μοντέλα. Η κατάταξη των μοντέλων βελτιστοποιήθηκε με τη χρήση πραγματικού κώδικα γενετικών αλγόριθμων. Όταν τα μοντέλα Takagi-Sugeno και τα singleton ασαφή μοντέλα συγκρίθηκαν, φάνηκε ότι τα singleton δίνουν καλύτερα αποτελέσματα.

Ο Huarng K. (2001) πρότεινε την κατανομή του μέσου όρου του μήκους της διαφοράς των τιμών, για να βελτιώσει την πρόβλεψη σε ασαφείς χρονολογικές σειρές. Ημερήσια δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν από το χρηματιστήριο της Taiwan (TAIEX), για να αποδειχθεί η επίδραση του ιδανικού μήκους των διαστημάτων στα αποτελέσματα της πρόβλεψης. Τα αποτελέσματα πρόβλεψης από τη χρήση του μοντέλου CHEN με διάφορα διαστήματα μήκους συγκρίνονται με αυτά της κατανομής του μέσου όρου του μήκους του διαστήματος και τα τελευταία δίνουν προβλέψεις καλύτερες από πολλά τυχαία επιλεγμένα διαστήματα για πρόβλεψη του TAIEX.

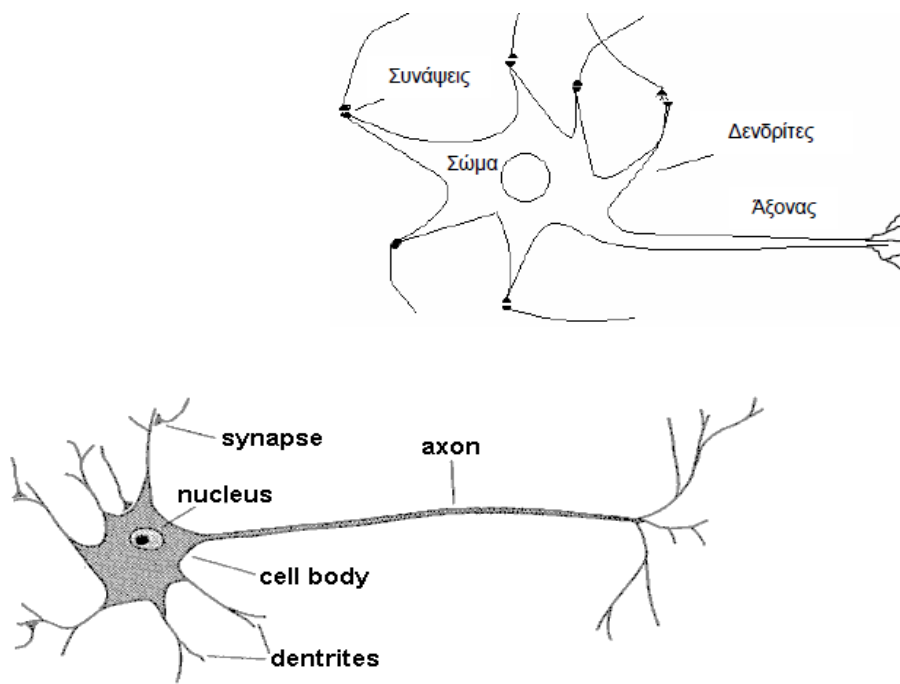
Οι Tay N.S.P. et al. (2001) επεκτείνουν το Santa Fe Artificial Stock Market Model (SFASM) το οποίο μελετήθηκε από τον LeBaron. Οι στόχοι ήταν να μοντελοποιηθεί μια inductive reasoning διαδικασία και να ερευνηθούν οι επιπτώσεις της στη συνολική συμπεριφορά της αγοράς και ιδιαίτερα στη συμπεριφορά των μετοχών. Οι ειδικοί αναφέρουν τις προσδοκίες τους, χρησιμοποιώντας ένα γενετικό ασαφές σύστημα ταξινόμησης. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι το μοντέλο είναι ικανό να παράγει συμπεριφορές οι οποίες έχουν ομοιότητες με αυτές των πραγματικών χρηματαγορών.

Οι Dourra H. et al. (2002) πρότειναν τη χρήση τεχνικής ανάλυσης με ασαφή λογική, για να δημιουργήσουν έναν ασαφή δείκτη ο οποίος προτείνει αγορά πώληση ή διακράτηση μετοχών. Χρησιμοποίησαν τη μέθοδο συμπερασμού Mamdani. Το μοντέλο αποτελείται από μερικές εισόδους, μία έξοδο και μερικούς ασαφείς κανόνες οι οποίοι εκφράζουν τη σχέση μεταξύ χρηματοοικονομικών δεικτών. Θεμελιώδεις δείκτες χρησιμοποιούνται με ασαφή λογική για μακροχρόνιες προβλέψεις και τεχνικοί δείκτες για βραχυχρόνιες προβλέψεις. Οι τεχνικοί δείκτες μετατρέπονται σε εισόδους οι οποίες τροφοδοτούν το ασαφές σύστημα. Δεδομένα τριών ετών διαφορετικών εταιρειών χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του συστήματος. Οι επενδυτικές αποδόσεις ήταν πολύ καλές.

Ο Wang Y.F. (2002) πρότεινε ένα ασαφές σύστημα (fuzzy grey) πρόβλεψης της τιμής της μετοχής ανά πάσα στιγμή, το οποίο προέβλεπε και την τάση. Το πλεονέκτημα της χρήσης ασαφούς grey πρόβλεψης είναι ότι απαιτούνται ελάχιστες εισοδοί, για να προβλέψουν τη συμπεριφορά της μετοχής. Τα δεδομένα αξιολόγησης του μοντέλου προέρχονται από το Χρηματιστήριο της Taiwan και αφορούν χρονικό διάστημα ανά 5 λεπτά. Το αδύνατο σημείο του συστήματος ήταν ότι οι περισσότερες παράμετροι πρέπει να είναι προκαθορισμένες και δεν μπορούν να αλλαχθούν από το χρήστη. Για περαιτέρω ανάπτυξη πρέπει να αναπτυχθεί ένα περισσότερο φιλικό περιβάλλον για το χρήστη.

Νευρωνικά δίκτυα

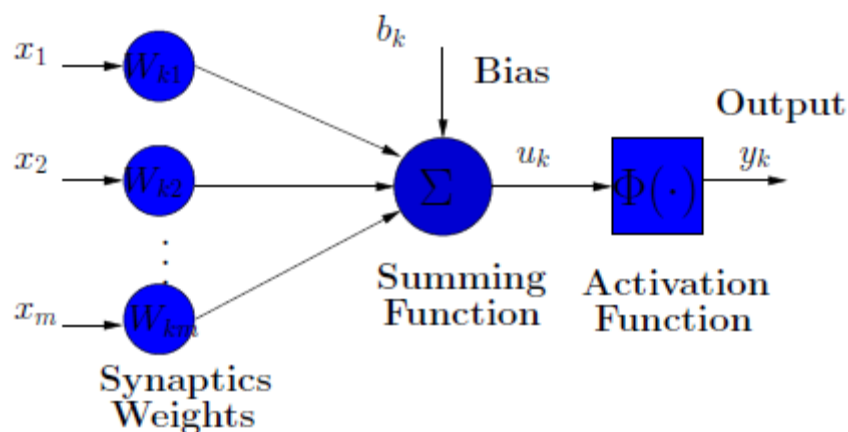
Η μελέτη υπολογιστικών συστημάτων που βασίζονται σε πρότυπα του ανθρώπινου εγκεφάλου έκανε τα πρώτα της βήματα το 1943 από τους McCulloch και Pitts οι οποίοι σχεδίασαν το πρώτο νευρωνικό δίκτυο. Η πολυπλοκότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι τέτοια έτσι ώστε απαγορεύει την πλήρη κατανόησή του. Ακόμα και η κατανόηση της λειτουργίας ενός νευρώνα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι φοβερά πολύπλοκη. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από 10^{10} νευρώνες, με κάθε νευρώνα να έχει αρκετές χιλιάδες συνδέσεις. Βασικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι η αναγνώριση προτύπων (pattern recognition), ο συνειρμός, η πολυπλοκότητα και η ανεκτικότητα στο θόρυβο.



Ένας νευρώνας ενεργοποιείται όταν το σήμα εισόδου του γίνεται μεγαλύτερο από μία τιμή. Οι συνάψεις (συνδέσεις νευρώνων) μπορεί να είναι είτε διεγερτικές είτε ανασταλτικές. Ο νευρώνας έχει ένα κυτταρικό σώμα, μια δενδρική δομή εισόδων τους δενδρίτες και δενδρική δομή εξόδων τους άξονες. Οι άξονες συνδέονται με δενδρίτες άλλων νευρώνων μέσω των συνάψεων. Τα ηλεκτροχημικά σήματα εισόδων διαδίδονται από τους δενδρίτες στο κυτταρικό σώμα και έπειτα μέσω των αξόνων σε άλλους νευρώνες. Αντίστοιχες δομές ακολουθούνται και στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο από υπολογιστικούς κόμβους (νευρώνες, νευρώνια), συνδεδεμένους μεταξύ τους. Είναι εμπνευσμένο από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), το οποίο προσπαθούν να προσομοιώσουν. Στην ουσία πρόκειται για ένα συστήματα επεξεργασίας της πληροφορίας που αποτελείται από στρώματα (layers) κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από στοιχεία επεξεργασίας που καλούνται νευρώνες.

Οι νευρώνες είναι τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Υπάρχουν δύο είδη νευρώνων, οι νευρώνες εισόδου και οι υπολογιστικοί νευρώνες: Οι νευρώνες εισόδου δεν υπολογίζουν τίποτα, μεσολαβούν ανάμεσα στις εισόδους του δικτύου και τους υπολογιστικούς νευρώνες. Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν τις εισόδους τους με τα συναπτικά βάρη και υπολογίζουν το άθροισμα του γινομένου. Κάθε νευρώνας εκτελεί μία προκαθορισμένη μαθηματική λειτουργία και παράγει μία και μόνη έξοδο. Το άθροισμα που προκύπτει είναι το όρισμα της συνάρτησης ενεργοποίησης. Ο κάθε νευρώνας λειτουργεί ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους.



Εικόνα : Μοντέλο νευρώνα

Η συνάρτηση ενεργοποίησης ορίζει την έξοδο του νευρώνα σε σχέση με την δυνατότητα ενεργοποίησης στην είσοδό του. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι συναρτήσεων ενεργοποίησης :

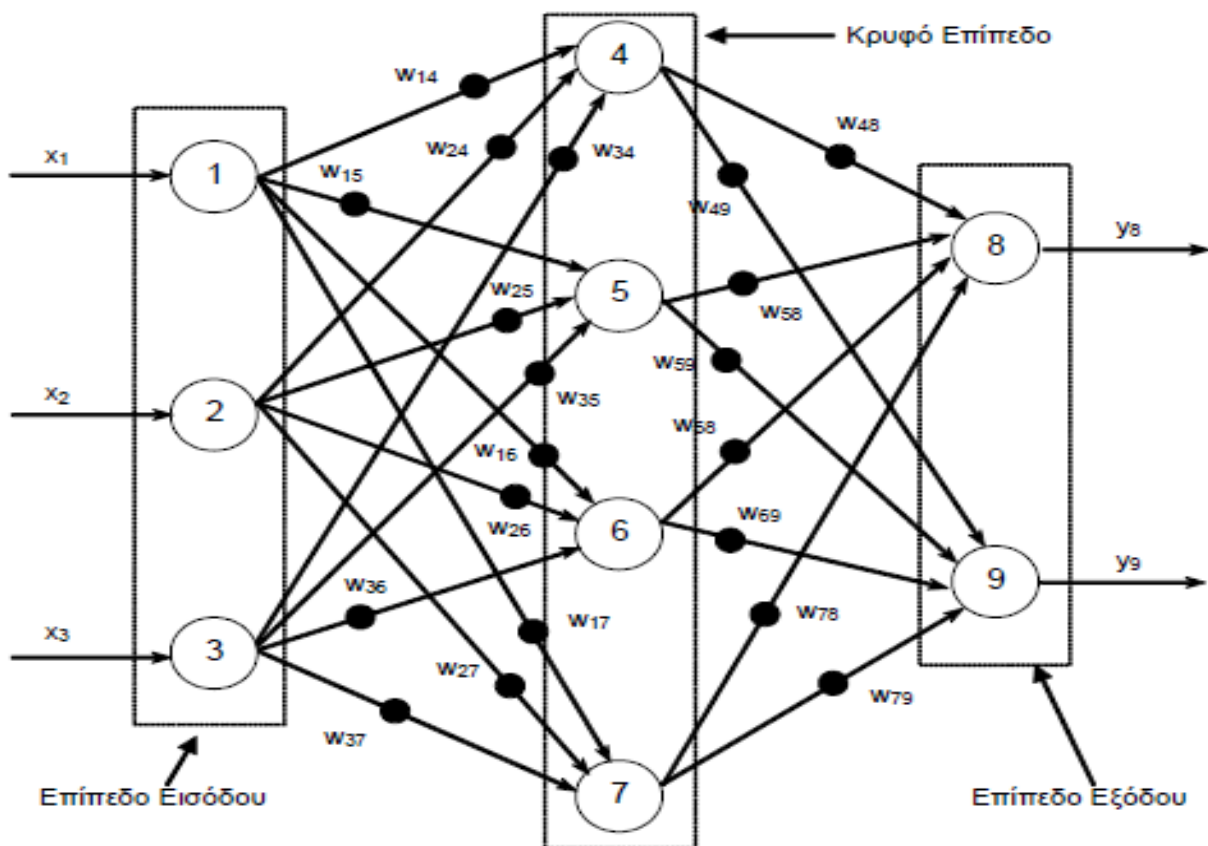
1. Η συνάρτηση κατώφλι (Threshold function). $\Phi u=1, u \geq 0, \text{ else } 0$
2. Piecewise Linear Function. $\Phi u=1, u \geq 12, 0 \leq u < 12, \text{ else } 0$
3. Σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης. Η σιγμοειδής συνάρτηση είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη συνάρτηση ενεργοποίησης για την κατασκευή ΤΝΔ. Ορίζεται ως μια γνησίως αύξουσα συνάρτηση που είναι ομαλή και ασυμπτωτική. $\Phi u = \frac{1}{1 + e^{-au}}$

Αρχιτεκτονικές Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Ο τρόπος με τον οποίο οι νευρώνες ενός ΤΝΔ είναι δομημένοι είναι στενά συνδεδεμένος με τον αλγόριθμο εκπαίδευσης που χρησιμοποιείται για το δίκτυο. Γενικά υπάρχουν τρεις βασικές διαφορετικές κλάσεις αρχιτεκτονικών δικτύου.

1. Feedforward Δίκτυα Ενός Επιπέδου (Single Layer Feedforward networks). Στα νευρωνικά δίκτυα οι νευρώνες του δικτύου οργανώνονται σε διάφορα επίπεδα. Η πιο απλή μορφή νευρωνικού δικτύου με επίπεδα είναι ένα νευρωνικό δίκτυο με ένα επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα επίπεδο με κόμβους εισόδου που προβάλλονται σε ένα επίπεδο εξόδου με νευρώνες (όπου γίνονται οι υπολογισμοί), ενώ το αντίθετο δεν ισχύει, δεν μπορούμε δηλαδή να πάμε από τους νευρώνες εξόδου στους κόμβους εισόδου. Σε αυτή την περίπτωση, το δίκτυο είναι ένα αυστηρά εμπρόσθιας τροφοδότησης (feedforward) δίκτυο και καλείται *Feedforward Δίκτυο Ενός Επιπέδου*. Με τον όρο ένα επίπεδο εννοούμε το επίπεδο εξόδου που περιέχει και τους νευρώνες όπου γίνονται οι υπολογισμοί. Σημειώνεται ότι δεν υπολογίζεται το επίπεδο εισόδου με τους κόμβους εισόδου γιατί σε αυτό δεν γίνονται καθόλου υπολογισμοί.

2. Feedforward Δίκτυα Πολλαπλών Επιπέδων (Multilayer Feedforward Networks). Η δεύτερη κλάση εμπρόσθιας τροφοδότησης νευρωνικών δικτύων διαφέρει από την πρώτη στην ύπαρξη ενός ή περισσότερων κρυφών επιπέδων, των οποίων οι νευρώνες καλούνται *κρυφοί νευρώνες*. Η λειτουργία των κρυφών νευρώνων είναι να παρεμβάλλονται μεταξύ των κόμβων εισόδου και των νευρώνων εξόδου του δικτύου. Με την προσθήκη ενός ή περισσότερων κρυφών επιπέδων, το δίκτυο έχει την δυνατότητα να προσεγγίζει συναρτήσεις μεγαλύτερης πολυπλοκότητας. Οι κόμβοι εισόδου στο επίπεδο εισόδου του δικτύου παρέχουν τα στοιχεία των προτύπων εισόδου, με την μορφή διανυσμάτων, που γίνονται είσοδοι στους νευρώνες του δεύτερου επιπέδου, δηλαδή του πρώτου κρυφού επιπέδου. Τα σήματα εξόδου των νευρώνων του δεύτερου κρυφού επιπέδου, γίνονται σήματα εισόδου στο τρίτο επίπεδο και συνεχίζεται κατά αυτό τον τρόπο η ροή των σημάτων μεταξύ των επιπέδων του δικτύου μέχρι να φτάσουν στο επίπεδο εξόδου. Συνήθως, οι νευρώνες σε κάθε επίπεδο του δικτύου, παίρνουν σαν είσοδο, τα σήματα εξόδου από τους νευρώνες του προηγούμενου επιπέδου μόνο. Το σύνολο των σημάτων εξόδου στο επίπεδο εξόδου (τελευταίο επίπεδο του δικτύου), αποτελεί και την απάντηση του δικτύου για τα δεδομένα που εισάγονται στους κόμβους εισόδου. Γενικά ένα δίκτυο με m κόμβους εισόδου, h_1 νευρώνες στο πρώτο κρυφό επίπεδο, h_2 νευρώνες στο δεύτερο κρυφό επίπεδο, κ.λπ. h_n νευρώνες στο n -οστό κρυφό επίπεδο και q νευρώνες στο επίπεδο εξόδου, αναφέρεται σαν ένα $m - h_1 - h_2 - \dots - h_n - q$ δίκτυο.
3. Αναδρομικά Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Recurrent Neural Networks). Ένα Αναδρομικό Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ΑΤΝΔ) διαφέρει από ένα Feedforward δίκτυο στο γεγονός ότι περιέχει έναν τουλάχιστον βρόγχο ανατροφοδότησης. Αυτό σημαίνει ότι σε έναν τουλάχιστον νευρώνα, το σήμα εξόδου του επηρεάζει το σήμα που έρχεται στην είσοδο του νευρώνα. Για παράδειγμα, ένα ΑΤΝΔ μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο επίπεδο νευρώνων όπου κάθε νευρώνας επιστρέφει το σήμα εξόδου του σαν σήμα εισόδου σε όλους τους άλλους νευρώνες του επιπέδου.



Εικόνα : Παράδειγμα ΤΝΔ

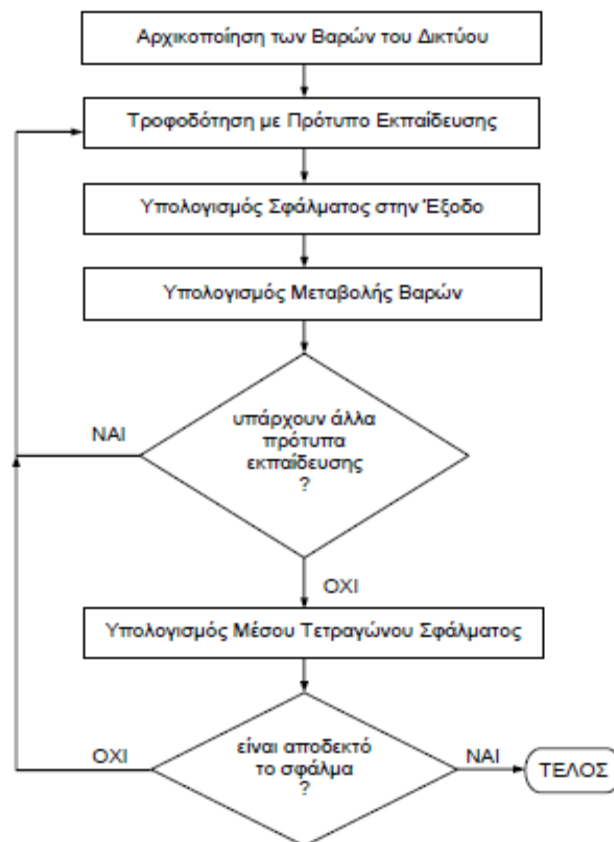
Τα βάρη αποτελούν τα στοιχεία μνήμης της αντίστοιχης διάταξης νευρώνων. Οι τιμές που παίρνουν τα βάρη καθορίζονται από την διαδικασία μάθησης. Όλες οι μέθοδοι εκμάθησης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

1. εκπαίδευση με επίβλεψη (supervised learning). Διαδικασία στην οποία απαιτείται κάποιο διάνυσμα εξόδου το οποίο αντιστοιχεί στις επιθυμητές τιμές. Οι μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι η εκμάθηση με διόρθωση σφάλματος (error correction learning), η στοχαστική εκμάθηση (stochastic learning) και τα hardwired systems
2. εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning). Διαδικασία η οποία βασίζεται μόνο στην τοπική πληροφορία κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης. Παραδείγματα αλγορίθμων εκπαίδευσης χωρίς επίβλεψη είναι ο αλγόριθμος Hebbian, ο διαφορικός αλγόριθμος Hebbian και Min-Max αλγόριθμος.

Παρακάτω παρατίθεται η διαδικασία εκπαίδευσης με τη μορφή σχεδιαγράμματος. Η όλη διαδικασία βασίζεται στην ανάστροφη μετάδοση του σφάλματος (back propagation):

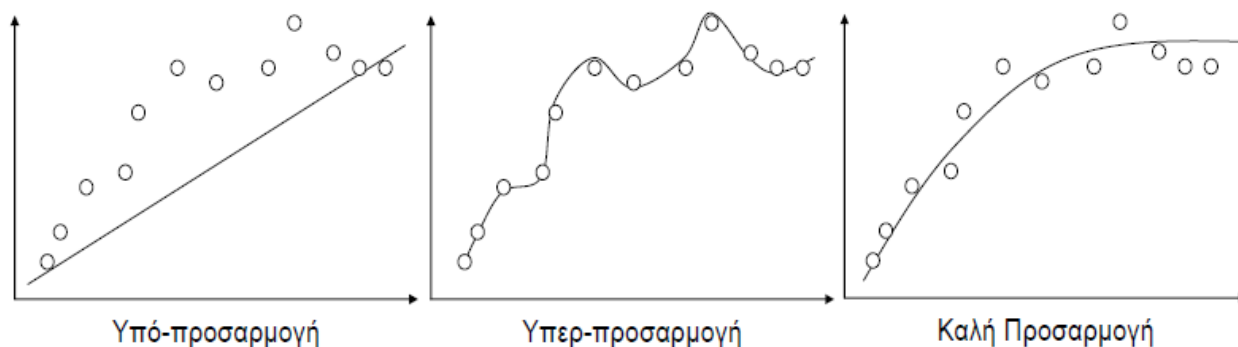
1. Η αναπροσαρμογή των βαρών γίνεται από το επίπεδο εξόδου προς το εισόδου.

2. Διαδικασία βελτιστοποίησης επικλινούς καθόδου (gradient descent optimization procedure) που ελαχιστοποιεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα E μεταξύ της εξόδου του δικτύου και της επιθυμητής εξόδου, για τα p διανύσματα εκπαίδευσης



Εικόνα Διαδικασία εκπαίδευσης ενός ΤΝΔ

Η εκπαίδευση ενός δικτύου τελειώνει όταν τα αποτελέσματα που δίνει βρίσκονται εντός κάποιων προδιαγραφών που δίνονται από τον χρήστη ή/και την μορφή του προβλήματος. Εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας στην εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου είναι ο αριθμός εποχών εκπαίδευσης. Ως εποχή (epoch) εννοούμε την χρήση όλων των δεδομένων εκπαίδευσης (από το δίκτυο) για μία φορά. Μικρός αριθμός εποχών εκπαίδευσης συνήθως οδηγεί σε άσχημα αποτελέσματα ενώ αντίθετα μεγάλος αριθμός εποχών εκπαίδευσης οδηγεί στην υπερεκπαίδευση και απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό χρόνο. Υπερεκπαίδευση έχουμε όταν το νευρωνικό δίκτυο προσαρμοστεί πολύ καλά στα δεδομένα εκπαίδευσης και μόνο σε αυτά. Οι αναφορές μικρός και μεγάλος αριθμός εποχών είναι σχετικές και αναφέρονται στο εκάστοτε πρόβλημα.



Εικόνα : Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εκπαιδευμένων ΤΝΔ

Νευρωνικά δίκτυα και προβλέψεις

Μία περίληψη των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των μη συμβατικών τεχνικών με έμφαση στα νευρωνικά δίκτυα περιγράφεται από τον Corr, (1994). Οι μη συμβατικές τεχνικές αποδίδουν εξίσου καλά αποτελέσματα με τις οικονομετρικές τεχνικές, λόγω της γενικευμένης λειτουργίας που επιτελούν μέσω της δυνατότητας να μιμούνται μια ευρεία ποικιλία μορφών (Curry, 2002). Ενώ λειτουργούν ως γενικευμένα μοντέλα, δεν εγγυώνται ικανοποιητικά

αποτελέσματα σε προβλέψεις εκτός δεδομένων (out of sample). Παρόλα αυτά όμως, δίνουν καλύτερες αποδόσεις από τα συμβατικά μοντέλα στις περιπτώσεις όπου τα δεδομένα υποκρύπτουν μη γραμμικές σχέσεις, πράγμα το οποίο είναι το σύνηθες σε περιπτώσεις που μοντελοποιείται η απόκριση της αγοράς. Επιπλέον τα κρυφά επίπεδα των νευρωνικών δικτύων αναπτύσσουν μια εσωτερική αντιπροσώπευση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, με αποτέλεσμα να μην έχουν ανάγκη ορισμένες προϋποθέσεις που απαιτούν τα μοντέλα παλινδρόμησης, όπως είναι η έλλειψη συγγραμμικότητας μεταξύ των μεταβλητών, η ομαλότητα του θορύβου κλπ.

Επίσης τα νευρωνικά δίκτυα αποδίδουν ικανοποιητικά και σε περιπτώσεις έλλειψης κάποιων δεδομένων σε αντίθεση με τα μοντέλα παλινδρόμησης όπου δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα (Venugopal, 1994). Ο Corr et al. (1994) συμπέραναν ότι τα νευρωνικά δίκτυα είναι κατάλληλα για πολύπλοκα φαινόμενα για τα οποία υπάρχουν ικανοποιητικά μέτρα μέτρησης

της απόδοσης τους, αλλά δεν υπάρχει γνώση, για να κατανοηθούν οι σχέσεις εντός αυτών των φαινομένων. Επίσης διατύπωσαν, την άποψη ότι είναι ιδανικά για πρόβλεψη και πρόγνωση.

Από την άλλη μεριά, η κύρια ανεπάρκεια των νευρωνικών δικτύων αφορά την αιτιακή μοντελοποίηση και τον έλεγχο των υποθέσεων. Υπάρχουν, όμως, αρκετά επιτυχή αιτιακά μοντέλα που χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα. Τα οικονομετρικά μοντέλα ερμηνεύουν πολύ ευκολότερα τα αποτελέσματα και επιτρέπουν τον έλεγχο υποθέσεων. Η χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων για χρηματοοικονομικές προβλέψεις συναντάται σε πλήθος ερευνών. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές.

Οι Kimoto T. et al. (1990) πρότειναν ένα σύστημα πρόβλεψης του χρόνου αγοράς και πώλησης στο χρηματιστήριο του Τόκιου. Ο στόχος ήταν να προβλέψουν την καλύτερη χρονική στιγμή αγοράς και πώλησης για ένα μήνα, βασιζόμενοι σε ένα νευρωνικό δίκτυο με τρία επίπεδα. Το σύστημα πρόβλεψης χρησιμοποιούσε ένα εβδομαδιαίο κινητό μέσο όρο για κάθε δείκτη, για να ελαχιστοποιήσει την επίδραση του τυχαίου περιπάτου των τιμών. Για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας του συστήματος πραγματοποιήθηκε προσομοίωση αγοράς- πώλησης. Το σύστημα πρόβλεψης έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα κατά την προσομοίωση.

Οι Baba N. et al. (1992) εφάρμοσαν ένα νευρωνικό δίκτυο για να προβλέψει τις τιμές των μετοχών. Το νευρωνικό δίκτυο είχε δύο κρυφά επίπεδα, 15 εισόδους και μία έξοδο. Ο στόχος ήταν να επιτευχθεί μία τιμή πρόβλεψης κοντά στο 1 όταν η τιμή της μετοχής είναι υψηλή και 0 όταν η τιμή της μετοχής είναι χαμηλή. Σχεδόν όλες οι προβλέψεις ήταν κοντά στο 1 και η πραγματική αύξηση της τιμής της μετοχής ήταν 20% στους δύο επόμενους μήνες με αποτέλεσμα οι προβλέψεις να είναι ικανοποιητικές.

Οι Schumann M. et al. (1993) σύγκριναν τις προβλέψεις ενός νευρωνικού δικτύου και ενός μοντέλου APMA για το γερμανικό δείκτη DAX και τη μετοχή Hochtief. Τα αποτελέσματα δεν δίνουν ξεκάθαρο συμπέρασμα εάν θα πρέπει να προτιμάται η τεχνική ανάλυση ή η θεμελιώδης ανάλυση στην πρόβλεψη. Άλλο ένα αδύνατο σημείο είναι ο χρόνος που απαιτείται για να προσαρμοστεί το ARIMA, καθώς και ο καθορισμός των δεδομένων μάθησης του ANN.

Ο Wikowska D. (1995) προσπάθησε να προβλέψει τις τιμές μετοχών σε τρεις γνωστές εταιρείες (Wedel Works, Okocim, Zywiec), εισηγμένες στο χρηματιστήριο της Βαρσοβίας, αναπτύσσοντας ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο, για να προβλέπει τις τιμές στις επόμενες δέκα συνεδριάσεις. Γνωρίζοντας τις σχέσεις μεταξύ των τιμών των μετοχών στο χρηματιστήριο, ο συγγραφέας ανέπτυξε 6 νευρωνικά δίκτυα τα οποία αποτελούνται από ένα κρυμμένο επίπεδο. Στο πρώτο δίκτυο χρησιμοποιεί 5 μεταβλητές εισόδου: τιμές 4 μετοχών και την ισοτιμία δολαρίου και ζλότυ. Στο δεύτερο δίκτυο οι μετοχές μειώνονται σε 3 (OKO, WED και ZYW) και στο τρίτο δίκτυο σε δύο (OKO and ZYW). Στα τελευταία τρία δίκτυα διαφέρει μόνο η έξοδος από το πρώτο, έχοντας μια μεταβλητή εξόδου η οποία είναι είτε η OKO, WED είτε η ZYW. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με ένα οικονομετρικό μοντέλο, το οποίο περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ των τιμών των μετοχών και της τιμής του δολαρίου. Οι παράμετροι του μοντέλου υπολογίστηκαν με τη χρήση της μεθόδου OLS. Για την αξιολόγηση των προβλέψεων υπολογίστηκαν τα σφάλματα πρόβλεψης. Τα νευρωνικά δίκτυα έδωσαν προβλέψεις αρκετά κοντά στις πραγματικές τιμές για όλα τα δίκτυα και τις μεταβλητές εξόδου.

Οι Chenoweth T. et al. (1996) πρότειναν ένα υβριδικό μη γραμμικό σύστημα για την πρόβλεψη του δείκτη S&P500 με τη χρήση δύο νευρωνικών δικτύων, από τα οποία το ένα εκπαιδεύεται με δεδομένα από ανοδική αγορά και το άλλο εκπαιδεύεται με δεδομένα από καθοδική αγορά. Ο στόχος του συστήματος είναι να αποκτήσει μεγαλύτερες ετήσιες αποδόσεις με ταυτόχρονη μείωση των συναλλαγών, για να μειωθεί το κόστος συναλλαγών. Η έξοδος του συστήματος είναι η πρόβλεψη των κινήσεων του δείκτη S&P500. Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, αλλά δεν υποστηρίζεται εάν το προτεινόμενο σύστημα είναι αποδοτικότερο από τη στρατηγική διακράτησης, όταν ληφθεί υπόψη το κόστος συναλλαγών. Η σύγκριση των

αποτελεσμάτων του υβριδικού συστήματος με ένα απλό σύστημα δείχνει ότι το υβριδικό αποκτά υψηλότερες αποδόσεις με λιγότερες συναλλαγές.

Οι Podding T. et al. (1996) παρουσίασαν μια οικονομική προσέγγιση σε ανάλυση χρηματαγορών υψηλής ολοκλήρωσης με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Ανέπτυξαν ένα παγκόσμιο μοντέλο ("world") αποτελούμενο από μετοχές, ομόλογα και συνάλλαγμα των Η.Π.Α., της Ιαπωνίας και της Γερμανίας. Ο στόχος ήταν να καθοριστεί η συνολική τιμή ισορροπίας των περιουσιακών στοιχείων (asset), χρησιμοποιώντας δια συνδεόμενα μοντέλα αγοράς. Η απόδοση των μεμονωμένων μοντέλων των αγορών συγκρίνεται με την απόδοση των ολοκληρωμένων μοντέλων, χρησιμοποιώντας μια εκτός δείγματος προσέγγιση. Χρησιμοποιήθηκαν 126 μηνιαίες χρονολογικές σειρές (Ιανουάριος 1978- Μάιος 1994). Οι χρονολογικές σειρές αφορούσαν τιμές περιουσιακών στοιχείων (asset), εθνικά και διεθνή μακροοικονομικά δεδομένα και άλλες σημαντικές χρονολογικές σειρές. Η έξοδος του μοντέλου ήταν οι εξαμηνιαίες αποδόσεις κάθε περιουσιακού στοιχείου έξι μήνες μετά. Τα μεμονωμένα μοντέλα δεν παρέχουν περισσότερης απόδοσης από το απλοϊκό μοντέλο. Το μοντέλο καμία βάση γενικής παλινδρόμησης αποδίδει περισσότερο από το απλοϊκό μοντέλο. Τα διασυνδεόμενα μοντέλα είναι ανώτερα από τα μοντέλα των μεμονωμένων αγορών.

Οι Wittkemper H.G. et al. (1996) χρησιμοποίησαν διάφορες μεθόδους για να συγκρίνουν το μελλοντικό συστηματικό κίνδυνο β (beta) και κατέταξαν τις προβλέψεις με βάση τη μέση απόλυτη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές. Επτά παραδοσιακά μοντέλα συγκρίθηκαν με δύο διαφορετικούς τύπους νευρωνικών δικτύων. Το γενικό παλίνδρομο νευρωνικό δίκτυο ήταν αναγκαίο για την ανάλυση, διότι ο αριθμός των δεδομένων δεν ήταν αρκετός για τη χρήση της μεθόδου της οπίσθιας τροφοδότησης στη φάση της εκπαίδευσης. Το γενικό παλίνδρομο νευρωνικό δίκτυο με το προηγούμενο β ως τη μόνη μεταβλητή εισόδου απέδωσε καλύτερα από το δίκτυο το οποίο χρησιμοποιούσε θεμελιώδεις μεταβλητές.

Οι Atiya A. et al. (1997) ανέπτυξαν μια μέθοδο πρόβλεψης των τιμών των μετοχών με νευρωνικά δίκτυα. Η πρόβλεψή τους βασίζεται σε θεμελιώδη δεδομένα των επιχειρήσεων, όπως είναι : τα κέρδη ανά μετοχή, ο πολλαπλασιαστής κερδών, τα μερίσματα, οι πωλήσεις και τα περιθώρια κέρδους. Το κριτήριο σύγκρισης της μεθόδου είναι τα ετήσια κέρδη. Τα αποτελέσματα του νευρωνικού δικτύου είναι σταθερά ανώτερα από τη στρατηγική αγοράς και διακράτησης.

Οι Kim S.H. et al. (1998) εξέτασαν έναν αριθμό σχετικών μοντέλων και παρουσίασαν μια αρχιτεκτονική πρόβλεψης με τη χρήση ενός arrayed probabilistic network APN, με τη χρήση ενός "mistake chart" για να συγκρίνουν την ακρίβεια των συστημάτων μάθησης. Αξιολόγησαν αρκετά μοντέλα οπίσθιας τροφοδότησης έναντι ενός recurrent νευρωνικού δικτύου (RNN) καθώς και των PNN, APN. Η μελέτη αφορούσε την περίπτωση του Χρηματιστηρίου της Σιγκαπούρης προβλέποντας την τιμή του δείκτη PI σε όρους αλλαγής από την τωρινή τιμή του (FPI). Με το APN ως μοντέλο πρόβλεψης, ο στόχος ήταν να προβλεφθεί η ανοδική ή καθοδική αγορά. Το APN δίκτυο υπεραπέδωσε σε σχέση με τα δίκτυα οπίσθιας τροφοδότησης και το recurrent νευρωνικό δίκτυο.

Ο Kim S.S. (1998) παρουσίασε ένα recurrent νευρωνικό δίκτυο (TDRNN) με χρονική υστέρηση ως μοντέλο πρόβλεψης. Το TDRNN, το πολλαπλό recurrent νευρωνικό δίκτυο (MRNN), το προσαρμοστικό νευρωνικό δίκτυο με χρονική υστέρηση (ATNN) που πρότεινε ο Lin και το νευρωνικό δίκτυο με χρονική υστέρηση (TDNN) που προτάθηκε από τον Warble εφαρμόστηκαν στην πρόβλεψη της χαοτικής χρονολογικής σειράς των Mackey Glass και στο δείκτη του χρηματιστηρίου της Κορέας. Το κανονικοποιημένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (NMSE) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των προβλέψεων των δικτύων. Τα δεδομένα εκπαίδευσης αφορούν τις τιμές των πρώτων 250 δεικτών του χρηματιστηρίου της Κορέας. Τα δεδομένα αξιολόγησης αφορούν τους δεύτερους 150 δείκτες. Τα δίκτυα αξιολογήθηκαν στην πρόβλεψη της χαοτικής χρονολογικής σειράς έξι βήματα μπροστά. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το TDRNN είναι ικανό να προβλέψει την τάση της χρηματιστηριακής αγοράς με καλύτερη ακρίβεια από τα δίκτυα ATNN and TDNN.

Ο Min Q. (1999) μοντελοποίησε τις σχέσεις μεταξύ των υπεραποδόσεων και των μεταβλητών πρόβλεψης. Εξετάστηκε η προβλεψιμότητα του δείκτη S&P500 χρησιμοποιώντας γραμμική παλινδρόμηση και μη γραμμικά νευρωνικά δίκτυα σε μηνιαίες παρατηρήσεις ενός σετ εννέα χρηματοοικονομικών και οικονομικών μεταβλητών. Το γραμμικό μοντέλο και το νευρωνικό δίκτυο υπολογίστηκαν με δεδομένα έξι ετών και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν, για να προβλέψουν τις αποδόσεις στο έβδομο έτος. Πέντε παραδοσιακά μέτρα σφάλματος χρησιμοποιήθηκαν για να εξακριβωθεί η ακρίβεια της πρόβλεψης: RMSE, MAE, CORR, Sign. Το νευρωνικό μοντέλο υπερτερεί και εντός και εκτός δείγματος του γραμμικού μοντέλου καθώς δίνει μικρότερο σφάλμα RMSE, MAE, MAPE και υψηλότερη Pearson συσχέτιση.

Οι Quah T.S. et al. (1999) χρησιμοποίησαν ένα νευρωνικό δίκτυο για να προβλέψουν την απόδοση των μετοχών στο χρηματιστήριο Σιγκαπούρης. Ιστορικά δεδομένα, από χρηματοοικονομικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στο μοντέλο και ως έξοδος χρησιμοποιήθηκε η απόδοση της μετοχής. Ο σκοπός ήταν να επιλεγθούν μετοχές που θα υπερβαίνουν σε απόδοση τη συνολική αγορά και να αποφύγουν μετοχές που θα υστερούν σε απόδοση. Η έξοδος ήταν η διαφορά μεταξύ της απόδοσης των μετοχών και της απόδοσης της συνολικής αγοράς. Τα χαρτοφυλάκια που επιλέχθηκαν υπεραπέδωσαν κατά 69.23% σε σχέση με το χαρτοφυλάκιο αξιολόγησης.

Ο Walezak S. (1999) χρησιμοποίησε ένα νευρωνικό δίκτυο για να αξιολογήσει την άποψη ότι οι αναπτυσσόμενες χρηματιστηριακές αγορές, όπως της Σιγκαπούρης, επηρεάζονται από εξωτερικά σήματα και προσπάθησε να εκμεταλλευτεί τυχόν πλεονεκτήματα στις συναλλαγές από τέτοια σήματα. Η τεχνική των νευρωνικών δικτύων, όπως αυτή εφαρμόστηκε στην αναπτυσσόμενη χρηματιστηριακή αγορά της Σιγκαπούρης, συγκρίθηκε με μια περισσότερο αναπτυγμένη αγορά, όπως αυτή του δείκτη Dow Jones. Εννέα διαφορετικά σετ μεταβλητών εισόδου χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο πρόβλεψης, για να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της χρηματιστηριακής αγοράς της Σιγκαπούρης. Κάθε νέος δείκτης που εισαγόταν ως μεταβλητή εισόδου αυξάνει το μέγεθος του διανύσματος εισόδου κατά έξι μεταβλητές. Όλα τα μοντέλα έδωσαν έξοδο που προβλέπει την τιμή του δείκτη ύστερα από πέντε ημέρες. Το ετήσιο ποσοστό απόδοσης του επενδυμένου κεφαλαίου 62% αποδεικνύει τα πλεονεκτήματα των νευρωνικών δικτύων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα εξωτερικά σήματα βελτιώνουν τις προβλέψεις στις

αναπτυσσόμενες αγορές όπως της Σιγκαπούρης, αλλά δεν έχουν επίδραση στην πρόβλεψη του Dow Jones.

Οι Harvey C.R. et al. (2000) ερεύνησαν εάν οι αποδόσεις στις αναπτυσσόμενες χρηματιστηριακές αγορές μπορούσαν να προβλεφθούν καλύτερα χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα παρά γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης. Η ανάλυση συγκρίνει ένα νευρωνικό μοντέλο με τη στρατηγική αγοράς και διακράτησης και τη στρατηγική αγοραπωλησιών με βάση ένα μοντέλο παλινδρόμησης. Τρία μέτρα απόδοσης χρησιμοποιήθηκαν: οι συνολικές αποδόσεις, η κατεύθυνση της αγοράς και η μεταβολή της κατεύθυνσης της αγοράς. Το νευρωνικό δίκτυο υπεραποδίδει σε σχέση και με τις δύο ανωτέρω στρατηγικές.

Οι Motiwalla L. et al. (2000) εξέτασαν τα στοιχεία της προβλεψιμότητας της μεταβλητότητας των αποδόσεων του Αμερικάνικου χρηματιστηρίου με τη χρήση ενός νευρωνικού δικτύου και ενός μοντέλου παλινδρόμησης. Η απόδοση της επένδυσης κρίνεται χρησιμοποιώντας διάφορα μέτρα, όπως: οι συνολικές αποδόσεις, οι μέσες αποδόσεις, και οι αποδόσεις σταθμισμένες με τον κίνδυνο. Χρησιμοποίησαν μηνιαία δεδομένα έντεκα αμερικάνικων δεικτών. Οι αποδόσεις των δεικτών αυτών αποτελούν την έξοδο του μοντέλου. Χρησιμοποιήθηκαν 28 μεταβλητές εισόδου, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διάφορα επιτόκια καταθέσεων σε επίπεδα και στην πρώτη και δεύτερη διαφορά τους και τιμές των προηγούμενων τιμών. Για τη μέτρηση της απόδοσης του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η στρατηγική αγοράς και διακράτησης και δύο στρατηγικές αγοράς και πώλησης μετοχών. Το νευρωνικό μοντέλο είναι περισσότερο αποδοτικό σε σχέση με το μοντέλο παλινδρόμησης καθώς έδωσε περισσότερα κερδοφόρα σήματα.

Οι Yiwen Y. et al. (2000) προέβλεψαν την τάση του χρηματιστηρίου της Σαγκάης. Ανέλυσαν το δείκτη SSE μέχρι τέταρτης τάξης κύματα. Στη συνέχεια, σχεδίασαν ένα νευρωνικό δίκτυο οπίσθιας τροφοδότησης με ρυθμό μάθησης 0,1 με moment παράμετρο 0,09 και με δομή επιπέδων 6-10-1, λαμβάνοντας τα επαναδημιουργηθέντα διανύσματα ως πολλαπλές εισόδους. Τα δεδομένα εκπαίδευσης σταματούν 5 συνεδριάσεις (μία εβδομάδα) πριν και η τάση προβλέπεται για τις επόμενες 44 (2 μήνες) συνεδριάσεις. Τα αποτελέσματα της πρόβλεψης της τάσης του SSE είναι ικανοποιητικά.

Ο Andreou A. S. (2000) παρουσίασε διαφορετικές αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων, για να προβλέψει τις τιμές μετοχών στο χρηματιστήριο της Κύπρου. Επίσης, εξετάστηκε η επίδραση οικονομικών και πολιτικών παραγόντων από το εθνικό και διεθνές περιβάλλον. Οι εφαρμογή των μοντέλων έγινε με δεδομένα του γενικού δείκτη CSE και με δεδομένα αντιπροσωπευτικών μετοχών από πέντε κλάδους της αγοράς. Τα αποτελέσματα της έρευνας προσδιόρισαν την κατάλληλη αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου, τις κατάλληλες εισόδους και τις κατάλληλες συναρτήσεις μεταφοράς. Όλες οι δοκιμές με δεδομένα, παρείχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα πρόβλεψης.

Οι Fernandez-Rodriguez F. et al. (2000) ερεύνησαν την κερδοφορία που μπορεί να επιτύχουν τα νευρωνικά δίκτυα στις αγορές μετοχών. Οι προβλέψεις των νευρωνικών δικτύων χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή μιας στρατηγικής αγορών και πωλήσεων. Η κερδοφορία της συγκρίνεται με την κερδοφορία της στρατηγικής αγοράς και διακράτησης. Τα δεδομένα αφορούν το χρηματιστήριο της Μαδρίτης, ενώ οι εισοδοί του μοντέλου είναι οι παρελθοντικές αποδόσεις

των προηγούμενων εννέα συνεδριάσεων. Η έξοδος του μοντέλου είναι μια τιμή στο διάστημα (-1, 1). Μία τιμή μεγαλύτερη του 0 αποτελεί σήμα αγοράς, ενώ μια τιμή μικρότερη από 0 αποτελεί σήμα πώλησης. Το πρόσημο πρόβλεψης για τις συνιστώμενες εντολές αγοραπωλησιών πλησιάζει σε επιτυχία 54%-58%, το οποίο δίνει καλύτερη απόδοση σε σχέση με την τυχαία πορεία των τιμών. Χωρίς τον υπολογισμό του κόστους συναλλαγών η στρατηγική αγοραπωλησιών είναι πάντα πιο κερδοφόρα από τη στρατηγική διακράτησης για καθοδική και πλάγια αγορά. Όταν η αγορά είναι ανοδική, η στρατηγική διακράτησης δίνει καλύτερες αποδόσεις από τη στρατηγική αγοραπωλησιών μετοχών με βάση τα σήματα που δίνει το νευρωνικό δίκτυο.

Ο Casas C.A. (2001) εκπαιδευσε ένα νευρωνικό δίκτυο, για να υποστηρίξει μια τακτική τοποθέτησης κεφαλαίων σε μετοχές, σε ομόλογα και στην αγορά χρήματος. Το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύτηκε για να προβλέψει την πιθανότητα ότι κάθε μία τοποθέτηση θα υπεραποδίδει σε σχέση με τις δύο άλλες στο τέλος του μήνα. Η στρατηγική προσομοιώθηκε για περίοδο ενός έτους. Οι εισοδοί του μοντέλου αποτελούνταν από τεχνικούς και θεμελιώδεις παράγοντες και η έξοδος από το ποσοστό της απόδοσης της κάθε τοποθέτησης. Κατά την περίοδο της προσομοίωσης η στρατηγική υπεραπέδωσε σε σχέση με το δείκτη S&P500 Index κατά 1,792 μονάδες βάσης.

Οι Baba N. et al. (2002) χρησιμοποίησαν ένα νευρωνικό δίκτυο και τη μέθοδο temporal Difference Learning Method, για να αναπτύξουν ένα έξυπνο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, ώστε να προβλέπει την τιμή των μετοχών στο χρηματιστήριο του Τόκιο ένα μήνα μπροστά. Επιλέχθηκαν 16 εταιρείες οι μετοχές των οποίων διαπραγματεύονται στο χρηματιστήριο. Δεκατέσσερις (14) μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν ως παράγοντες κλειδιά για την αλλαγή της τιμής κάθε μετοχής. Τα δεδομένα εκπαίδευσης αφορούν πέντε έτη. Το σύστημα παρήγαγε ικανοποιητικά κέρδη στο χρηματιστήριο του Τόκιο ακόμα και την περίοδο που το χρηματιστήριο υπέφερε από βαθιά πτώση. Η TD-Learning Method μπορεί να είναι μία σημαντική προσέγγιση για προσαρμογή στις ξαφνικές αλλαγές του χρηματιστηριακού περιβάλλοντος.

Ο Kyong. J.O. (2002) πρότεινε ένα σύστημα συναλλαγών για μετοχές βασιζόμενο σε χαοτική ανάλυση και σε μη γραμμικά μοντέλα. Αποτελείται από τέσσερις φάσεις: καθορίζει τη χρονική υστέρηση των εισόδων με τη χρήση χαοτικής ανάλυσης, προσδιορίζει σημεία αναστροφής της τάσης μιας μετοχής, προβλέπει τα σημεία αλλαγής με τη χρήση νευρωνικού δικτύου οπίσθιας τροφοδότησης και προβλέπει την τιμή της μετοχής με τη χρήση ενός νευρωνικού δικτύου οπίσθιας τροφοδότησης (BPN). Τα δεδομένα αφορούν 3069 ημερήσιες παρατηρήσεις κατά την περίοδο 1990- 2000 του δείκτη KOSPI. Για τη μέτρηση της απόδοσης του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το απόλυτο ποσοστό σφάλματος. Το προτεινόμενο μοντέλο δίνει σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα σε βαθμό σημαντικότητας 1%, σε σχέση με το βασικό μοντέλο BPN.

Οι Chen A.S. et al. (2003) ανέπτυξαν ένα πιθανολογικό νευρωνικό δίκτυο (PNN), για να προβλέψουν την κατεύθυνση του δείκτη του χρηματιστηρίου της Taiwan. Το PNN έχει τρία επίπεδα σε σύγκριση με τα τέσσερα επίπεδα που έχει το βασικό PNN. Η απόδοση του συγκρίνεται με αυτή της generalized methods of moments (GMM) με φίλτρο Kalman. Οι προβλέψεις των διαφόρων στρατηγικών συναλλαγών συγκρίνονται με τη στρατηγική διακράτησης, με την τυχαία πορεία των τιμών και το παραμετρικό GMM. Το μοντέλο PNN, με

οποιοδήποτε χρονικό επενδυτικό ορίζοντα, είναι ικανό να προβλέψει τη σωστή κατεύθυνση σε περισσότερες από το 50% των περιπτώσεων σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Το μοντέλο GMM-με φίλτρο Kalman προβλέπει σωστή κατεύθυνση πάνω από 50% σε επίπεδο σημαντικότητας 10% μόνο για πρόβλεψη έξι μήνες μπροστά. Οι κανόνες συναλλαγών του PNN υπεραποδίδουν σε σχέση με το μοντέλο GMM-Kalman, το μοντέλο τυχαίας πορείας των τιμών και τη στρατηγική αγοράς και διακράτησης. Επιπρόσθετα το PNN με πολλαπλά κατώφλια εντολών αποδίδει καλύτερα από ένα κατώφλι εντολών.

Οι Thawornwong S. et al. (2004) παρουσίασαν μία έρευνα της δυνατότητας πρόβλεψης πρόσφατων μεταβλητών στην ακρίβεια της πρόβλεψης. Το πρόσημο της πρόβλεψης χρησιμοποιείται ως απόφαση συναλλαγής. Ένας επαγωγικός αλγόριθμος δενδρικής μορφής χρησιμοποιήθηκε για να επιλεγεί το σετ των μεταβλητών. Το νευρωνικό δίκτυο που δημιούργησαν έχει ένα κρυφό επίπεδο, που χρησιμοποιεί ως συνάρτηση μεταφοράς μια σιγμοειδή υπερβολική εφαπτόμενη συνάρτηση. Τα μοντέλα πρόβλεψης συγκρίθηκαν με ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Η κερδοφορία των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο σύγκρισης των μοντέλων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περισσότερες σωστές προβλέψεις της κατεύθυνσης της αγοράς δεν συνεπάγονται υψηλότερη κερδοφορία. Το νευρωνικό δίκτυο δίνει μεγαλύτερη κερδοφορία σε σύγκριση με τη στρατηγική αγοράς και διακράτησης.

Νεύρο-ασαφή συστήματα (υβριδικά συστήματα)

Χρήσιμες Πληροφορίες

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια πολύ ελκυστική μέθοδο αναγνώρισης προτύπων, αλλά δεν προσφέρονται για την εξήγηση της διαδικασίας λήψης της απόφασης. Μπορούν να θεωρηθούν ως μαύρο κουτί (black box), όπου η εξαγωγή γνώσης από το εκπαιδευμένο δίκτυο είναι αρκετά δύσκολη. Όπως είναι φυσικό, θα ήταν επιθυμητό να υπήρχε πρόσβαση στο συλλογιστικό μηχανισμό των νευρωνικών δικτύων, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ευκολότερης διαχείρισης και κατασκευής τους. Από την άλλη πλευρά, η επιβολή εξωτερικής γνώσης στο σώμα ενός νευρωνικού δικτύου αναφορικά με ένα συγκεκριμένο πρόβλημα είναι αρκετά δύσκολη. Ένα ακόμα μειονέκτημα που εμφανίζουν τα νευρωνικά δίκτυα είναι ότι γενικά δεν είναι γνωστή η ακριβής μορφή της αρχιτεκτονικής του δικτύου και, συνεπώς, η δομή του καθορίζεται μόνο μέσω πειραματικών διαδικασιών.

Η ασαφής λογική μπορεί να εξηγήσει τη συμπεριφορά της λειτουργίας ενός συστήματος χρησιμοποιώντας κανόνες, και έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί ακρίβεια της πληροφορίας. Στις περιπτώσεις, όμως, που δεν υπάρχει διαθέσιμη εξωτερική γνώση, η δυνατότητα εφαρμογής των ασαφών συστημάτων περιορίζεται. Επίσης, διάφορα ζητήματα εμφανίζουν δυσκολίες, όπως ο ακριβής διαμερισμός του χώρου εισόδων και εξόδων ενός προβλήματος σε ασαφή σύνολα, οι τιμές των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής και ο ακριβής αριθμός των ασαφών κανόνων, που έχουν ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της σημαντικής ισχύος που χαρακτηρίζει την ασαφή λογική.

Τα νευρωνικά δίκτυα και τα ασαφή συστήματα μπορούν να θεωρηθούν ως ισοδύναμες μέθοδοι, όσον αφορά τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων. Όλοι οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στη γένεση νέων συνδυασμών των μεθόδων αυτών με κύριο στόχο την εξουδετέρωση όλων των παραπάνω μειονεκτημάτων. Τα υβριδικά συστήματα υπολογιστικής νοημοσύνης (hybrid computational intelligent systems) περιλαμβάνουν μια σύνθεση των δύο παραπάνω μεθόδων. Τα συστήματα που βασίζονται στην ασαφή λογική και αυτά που βασίζονται στα ANN έχουν πολύ διαφορετικές (αντίθετες αν προτιμάτε) απαιτήσεις κατά την εφαρμογή τους. Για παράδειγμα τα ασαφή συστήματα είναι κατάλληλα όταν υπάρχει αρκετή γνώση ειδικού για την εξεταζόμενη διαδικασία, ενώ τα συστήματα ANN είναι χρήσιμα σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν αρκετά μετρήσιμα δεδομένα για την εξεταζόμενη διαδικασία. Και οι δύο προσεγγίσεις κατασκευάζουν μη-γραμμικά συστήματα βασισμένα πάνω σε συνεχείς μεταβλητές, με τη διαφορά ότι η μεταχείριση των νευρωνικών συστημάτων γίνεται με τρόπο αριθμητικό-ποσοτικό, ενώ η μεταχείριση των ασαφών συστημάτων γίνεται με τρόπο συμβολικό-ποιοτικό. Τα νεύρο-ασαφή συστήματα, όμως, παρουσιάζουν τόσο συμβολικά όσο και αριθμητικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, μπορούν μέσω λειτουργιών βάσει κανόνων να κάνουν επεξεργασία των μεταχειρισμένων από αυτά συμβόλων (symbolic processing via rule-base operations). Από την άλλη πλευρά, οι συναρτήσεις συμμετοχής επιτρέπουν στα ασαφή συστήματα την αριθμητική επεξεργασία των καθορισμένων λεκτικών μεταβλητών που μεταχειρίζονται. Κατά συνέπεια, η

σύνθεση νευρωνικών και ασαφών συστημάτων οδηγεί σε μια νέα κατάσταση όπου το ασαφές σύστημα παρέχει ένα ισχυρό υπόβαθρο για την αναπαράσταση της γνώσης των ειδικών, ενώ τα ANN παρέχουν ικανότητες μάθησης και είναι κατάλληλα για υπολογιστικές αποτελεσματικές εφαρμογές μέσω Η/Υ. Η σημασία της σύνθεσης αυτής εξάγεται και από τις διαφορές των ξεχωριστών αυτών συστημάτων, καθώς τα ANN δεν παρέχουν ένα ισχυρό πλαίσιο για αναπαράσταση γνώσης, ενώ οι ελεγκτές ασαφούς λογικής δεν διακρίνονται για την ικανότητα αυτόματης μάθησης. Τα υβριδικά νεύρο-ασαφή συστήματα μπορούν να δημιουργηθούν με τρεις τρόπους:

1. Neural Fuzzy System: Σε αυτού του είδους τα συστήματα τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ως εργαλεία μέσα σε ένα ασαφές μοντέλο.
2. Fuzzy Neural Networks: Τα δίκτυα αυτά ουσιαστικά συνιστούν την ασαφοποίηση του συμβατικού μοντέλου νευρωνικού δικτύου.
3. Fuzzy-neural Hybrid System: Τα συστήματα αυτά συνίστανται στην ενσωμάτωση τεχνολογίας ασαφούς λογικής και νευρωνικών δικτύων σε υβριδικά συστήματα.

Για τις δύο πρώτες κατηγορίες, η σύνθεση νεύρο-ασαφών συστημάτων προκύπτει παρέχοντας σε ένα νευρωνικό δίκτυο την ικανότητα χειρισμού ασαφούς πληροφορίας (fuzzy-neural network - FNN) και ενισχύοντας ένα ασαφές σύστημα με νευρωνικά δίκτυα, προκειμένου να βελτιωθούν χαρακτηριστικά, όπως η ευελιξία, η ταχύτητα και η προσαρμοστικότητα (neural-fuzzy systems – NFS). Σε ένα FNN οι είσοδοι και τα βάρη των συνδέσεων και οι έξοδοι του δικτύου αποτελούν ασαφή υποσύνολα ή ένα σύνολο από τιμές συμμετοχής σε ασαφή σύνολα. Για τη μοντελοποίηση αυτών των δικτύων χρησιμοποιούνται λεκτικές τιμές, όπως "μικρό, μεσαίο, μεγάλο", ή ασαφείς αριθμοί. Νευρωνικά δίκτυα που χρησιμοποιούν ασαφείς νευρώνες χαρακτηρίζονται επίσης FNN, καθώς θεωρούνται ικανά να επεξεργαστούν ασαφείς πληροφορίες. Ένα νεύρο-ασαφές σύστημα (NFS) από την άλλη πλευρά έχει ως σκοπό την πραγματοποίηση της διαδικασίας ασαφούς συλλογιστικής (fuzzy reasoning), όπου τα βάρη των συνδέσεων του δικτύου αντιστοιχούν στις παραμέτρους της ασαφούς συλλογιστικής. Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μάθησης της μορφής backpropagation, το NFS μπορεί να αναγνωρίσει ασαφείς κανόνες και να "μάθει" τις συναρτήσεις συμμετοχής της ασαφούς συλλογιστικής. Συγκεκριμένα το NFS θα πρέπει να είναι ικανό να "μάθει" λεκτικούς κανόνες και συναρτήσεις συμμετοχής ή να βελτιστοποιεί τους ήδη υπάρχοντες κανόνες ή συναρτήσεις συμμετοχής. Υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις:

- 1) Το σύστημα ξεκινά χωρίς κανόνες και δημιουργεί νέους κανόνες μέχρι το πρόβλημα της μάθησης να επιλυθεί. Η δημιουργία ενός νέου κανόνα προκύπτει από ένα πρότυπο εκμάθησης που δεν καλύπτεται αρκετά από την τρέχουσα βάση κανόνων.
- 2) Το σύστημα ξεκινά με όλους εκείνους τους κανόνες που μπορούν να δημιουργηθούν από το διαμερισμό των μεταβλητών και διαγράφοντας ανεπαρκείς κανόνες από τη βάση κανόνων με βάση την αξιολόγηση της απόδοσής τους.

- 3) Το σύστημα ξεκινά με μια βάση κανόνων που αποτελείται από σταθερό αριθμό κανόνων. Κατά τη διαδικασία της εκμάθησης οι κανόνες αντικαθίστανται μέσω μιας διαδικασίας βελτιστοποίησης.

Αναφορικά με την τρίτη προσέγγιση, τόσο οι τεχνικές ασαφούς λογικής, όσο και οι τεχνικές των νευρωνικών δικτύων παίζουν καθοριστικό ρόλο σε ένα υβριδικό σύστημα. Εκτελούν τις δραστηριότητές τους για διαφορετικές λειτουργίες του συστήματος. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει το ANFIS (Adaptive Network based Fuzzy Inference System Adaptive ή αλλιώς Adaptive Neuro Fuzzy Inference System). Εμπερικλείοντας το σύστημα ασαφούς συμπερασμού σε ένα πλαίσιο προσαρμοστικών δικτύων (adaptive networks), προκύπτει η δομή του ANFIS (Jang, 1997).

Τα πρόσφατα αναπτυγμένα νεύρο-ασαφή συστήματα, που ενσωματώνουν τις επιθυμητές αρχές τόσο των ασαφών συστημάτων όσο και των νευρωνικών δικτύων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ασαφών κανόνων με "φυσικό" τρόπο. Η μάθηση στα νεύρο-ασαφή συστήματα καταλήγει σε κατανοήσιμους λεκτικούς κανόνες της μορφής "εάν - τότε". Είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην επεξήγηση της συλλογιστικής που κρύβεται πίσω από κάθε αποτέλεσμα τους, ενώ οι κανόνες "εάν - τότε" που παράγουν είναι αρκετά απλοί, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα έμπειρο σύστημα, σε περίπτωση που χρειαστεί. Οι κανόνες αυτής της μορφής, επίσης, επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών δεδομένων.

Πέρα από τους κανόνες στους οποίους καταλήγουν τα νεύρο-ασαφή συστήματα, εξωτερικά καθορισμένες οδηγίες μπορούν να εισαχθούν ως "εάν - τότε" κανόνες. Το σύστημα χρησιμοποιεί και τα δύο σύνολα, δηλαδή εκείνα που δημιουργούνται από παραδείγματα εκμάθησης και εκείνα που καθορίζονται από το χρήστη ως οδηγίες για σκοπούς ταξινόμησης. Η διαδικασία παροχής οδηγιών είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου πρόσθετη πληροφόρηση παρέχεται από τον ειδικό στο συγκεκριμένο αντικείμενο που εξετάζεται. Συνήθως στις πραγματικές εφαρμογές, οι οδηγίες αυτές παρέχουν πληροφορίες που δεν είναι διαθέσιμες στο σύνολο των δεδομένων εκμάθησης, και είναι το αποτέλεσμα της εμπειρικής γνώσης του ειδικού που ασχολείται πολλά χρόνια με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Ανάλογη παροχή οδηγιών σε νευρωνικό δίκτυο δεν είναι εύκολο να υπάρξει, παρά το ότι μια χρονοβόρα κατάλληλη προσαρμογή των βαρών από το χρήστη θα μπορούσε να την καταστήσει δυνατή. Εξαιτίας της ασαφопоίησης των δεδομένων εισόδου, οι μεταβλητές εισόδου στο νεύρο-ασαφές σύστημα παίρνουν μερικές ασαφοποιημένες τιμές (π.χ. μικρό, μεσαίο, μεγάλο), αντί για μια μεγάλη γκάμα πραγματικών αριθμητικών τιμών. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται μεγάλη μείωση του χρόνου μάθησης για το νεύρο-ασαφές σύστημα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των νεύρο-ασαφών συστημάτων συνοψίζονται στα ακόλουθα:

1. Κατασκευή ευέλικτου, μη-τυπικού μοντέλου για τα δεδομένα εκπαίδευσης με τη μορφή ασαφών κανόνων (fuzzy rules).
2. Χρησιμοποίηση a priori γνώσης για το πρόβλημα.

3. Η αρχική γνώση μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί βάσει των δεδομένων εκπαίδευσης με νευρωνικούς αλγόριθμους μάθησης.
4. Η γνώση είναι άμεσα προσπελάσιμη με τη μορφή κανόνων (rules). Οι κανόνες είναι της μορφής : Εάν (if) <συνθήκες (conditions) > τότε (then) <αποτελέσματα (consequents)>.
5. Ο τρόπος διατύπωσης των κανόνων είναι πολύ κοντά στην κοινή ανθρώπινη λογική και συνεπώς η δυνατότητα των ασαφών συστημάτων για παροχή επεξηγήσεων του τρόπου εξαγωγής ενός συμπεράσματος είναι εξαιρετικά αποτελεσματική.

Τα κυριότερα ολοκληρωμένα νεύρο-ασαφή συστήματα που παρουσιάζονται στην διεθνή βιβλιογραφία είναι :

- Το Adaptive Network based Fuzzy Inference System (ANFIS) το οποίο δημιουργήθηκε από τον J.-S.R. Jang (Jang, 1993). Το ANFIS ανήκει στα προσαρμοστικά δίκτυα (adaptive networks), τα οποία ομοιάζουν με τα νευρωνικά δίκτυα. Το προσαρμοστικό δίκτυο αποτελείται από τους προσαρμοστικούς και τους μη προσαρμοστικούς κόμβους (adaptive, non-adaptive nodes). Ουσιαστικά το προσαρμοστικό δίκτυο είναι ένα πολύ-επίπεδο δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης (multi-layer feed-forward network), στο οποίο κάθε κόμβος εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία πάνω στα εισερχόμενα σήματα και πάνω στο σύνολο των παραμέτρων που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο κόμβο. Οι κόμβοι συνδέονται μέσω κατευθυντήριων συνδέσμων (directional links). Μερικοί ή όλοι οι κόμβοι είναι προσαρμόσιμοι, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το αποτέλεσμα καθενός από αυτούς τους κόμβους εξαρτάται από τις παραμέτρους που σχετίζονται με αυτόν τον κόμβο, και ο κανόνας μάθησης προσδιορίζει πώς αυτοί οι παράμετροι θα πρέπει να μεταβληθούν για την ελαχιστοποίηση ενός προκαθορισμένου μέτρου σφάλματος. Το είδος της λειτουργίας του κάθε κόμβου μπορεί να ποικίλει από κόμβο σε κόμβο, και η επιλογή της λειτουργίας ενός κόμβου εξαρτάται από τη συνολική επεξεργασία πάνω στις εισόδους και την έξοδο που το προσαρμοστικό δίκτυο πρέπει να εκτελέσει.
- Το Mamdani Integrated Neuro-Fuzzy System το οποίο δημιουργήθηκε από τους E.H. Mamdani and S. Assilian (Mamdani, 1975). Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμό μάθησης back-propagation προκειμένου να προσαρμόσει τις παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής.
- Το Takagi-Sugeno Integrated Neuro-fuzzy system, (Sugeno, 1985) το οποίο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο μάθησης backpropagation για την προσαρμογή των συναρτήσεων συμμετοχής και την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για τον υπολογισμό του γραμμικού μέρους των κανόνων.
- Το Fuzzy Adaptive Learning Control Network (FALCON), (Lin, 1991). Χρησιμοποιεί το μηχανισμό συμπερασμού Mamdani με αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων. Ο αλγόριθμος μάθησης είναι υβριδικός και εξελίσσεται σε δύο φάσεις. Στην αρχική φάση καθορίζονται τα κέντρα και τα βάρη των συναρτήσεων συμμετοχής με τεχνικές μάθησης self-organized. Στη δεύτερη φάση εφαρμόζεται ο αλγόριθμος backpropagation για την προσαρμογή των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής.
- Το FuNe το οποίο δημιουργήθηκε από τους S.K. Halgamuge and M. Glesner (Halgamuge, 1994). Παράγει ασαφείς κανόνες με την χρήση δεδομένων βασιζόμενο στις τεχνικές μάθησης των νευρωνικών δικτύων. Στην πρώτη φάση εξάγονται τυχαίοι κανόνες και στην δεύτερη φάση με τη χρήση των δεδομένων εκπαίδευσης οι κανόνες βελτιστοποιούνται.

Δεν υπάρχουν περιορισμοί στον αριθμό των μεταβλητών εισόδου και εξόδου. Κάθε μεταβλητή μπορεί να έχει μέχρι τρεις ασαφείς εισόδους.

- Το GARIC (General Approximate Reasoning-based Intelligent Control) το οποίο δημιουργήθηκε από τους H.R. Berenji and P. Khedkar (Berenji, 1992). Αποτελείται από ένα νεύρο-ασαφές δίκτυο το οποίο μαθαίνει με τη χρήση μεθόδων βαθμωτή κατάβαση. Περιλαμβάνει τρία κύρια τμήματα: α) Action Evaluation Network (AEN), β) Action Selection Network (ASN) και γ) Stochastic Action Modifier (SAM).
- Το Neuro-Fuzzy Controller (NEFCON) το οποίο δημιουργήθηκε από τους D. Nauck, and R. Kruse (Nauck, 1994). Έχει την δυνατότητα να μαθαίνει ασαφή σύνολα και ασαφείς κανόνες χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό συμπερασμού Mamdani. Η διαδικασία μάθησης χωρίζεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση το σύστημα μαθαίνει τους κανόνες και στη δεύτερη φάση βελτιστοποιεί τους κανόνες μεταβάλλοντας τα ασαφή σύνολα των κανόνων. Η μάθηση των κανόνων γίνεται με δύο μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι η incremental και χρησιμοποιείται όταν η σωστή έξοδος δεν είναι γνωστή, οπότε οι κανόνες δημιουργούνται με βάση υπολογισμένες τιμές της εξόδου. Καθώς εξελίσσεται η εκπαίδευση όλο και περισσότεροι κανόνες προστίθενται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των δεδομένων. Η δεύτερη μέθοδος είναι η decremental στην οποία αρχικά οι κανόνες δημιουργούνται λόγω της ασαφούς διαίρεσης των διαστημάτων των μεταβλητών και στη συνέχεια κατά την διαδικασία της μάθησης απαλείφονται οι κανόνες που δεν χρησιμοποιούνται. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν ένα ασαφές σφάλμα E, το οποίο αποτυπώνει την ποιότητα του συστήματος, για να δημιουργηθούν και να βελτιστοποιηθούν οι κανόνες. Οι συναρτήσεις συμμετοχής των κανόνων μεταβάλλονται σύμφωνα με τον αλγόριθμο Fuzzy Error Backpropagation
- Το Neuro-Fuzzy Classification (NEFCLASS), (Nauck, 1995). Εξάγει ασαφείς κανόνες από τα δεδομένα τα οποία μπορούν να διαιρεθούν σε σαφείς περιοχές (ταξινόμηση). Η βάση δεδομένων του συστήματος προσεγγίζει μια άγνωστη συνάρτηση ϕ η οποία αναπαριστά το πρόβλημα της ταξινόμησης και αντιστοιχίζει κάθε τιμή της εισόδου x στην τάξη της C_i
- Το Neuro-Fuzzy Function Approximation (NEFPROX), (Nauck, 1999). Αποτελεί μια τροποποιημένη έκδοση του NEFCON χωρίς την reinforcement μάθηση και χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει μια συνάρτηση. Σε σχέση με το ANFIS μπορεί να χρησιμοποιήσει εκτός από Sugeno και Mamdani μηχανισμό συμπερασμού.
- Το Fuzzy Inference Environment Software with Tuning (FINEST), (Tano, 1996). Βελτιστοποιεί το μηχανισμό συμπερασμού μόνο του. Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο backpropagation για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων.
- Το Self Constructing Neural Fuzzy Inference Network (SONFIN), (Feng, 1998). Χρησιμοποιεί ένα Takagi-Sugeno μηχανισμό συμπερασμού. Οι ασαφείς κανόνες δημιουργούνται και προσαρμόζονται καθώς η διαδικασία μάθησης εξελίσσεται και ταυτόχρονα δημιουργούνται η δομή και οι παράμετροι του συστήματος.
- Το Fuzzy Net (FUN), (Sulzberger, 1993). Μπορεί να αναπαραστήσει λογικές εκφράσεις μέσω ασαφών κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής σε ένα δίκτυο με βάση τις συναρτήσεις ενεργοποίησης κάποιων ειδικών νευρώνων.
- Τα Evolving Fuzzy Neural Networks (EFuNN) and Dynamic Evolving Fuzzy Neural Networks (dmFFuNNs), (Kasabov, 1998). Και τα δύο συστήματα βασίζονται στη μεθοδολογία Evolving Connectionist Systems (ECOS) καθώς χρησιμοποιούν υβριδικό (με επίβλεψη και χωρίς επίβλεψη) αλγόριθμο μάθησης

Εφαρμογές

Οι Wong F.S. et al. (1992) παρουσίασαν ένα έξυπνο σύστημα επιλογής μετοχών (ISS) το οποίο επεκτείνει τα νευρωνικά δίκτυα, για να χειριστούν ασαφείς πιθανολογικές και Boolean πληροφορίες. Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ενός έμπειρου συστήματος, των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και της ασαφούς λογικής. Για τη δοκιμή του ISS συστήματος χρησιμοποιείται μια βάση δεδομένων 800 μετοχών με 3 ετών δεδομένα τα οποία είναι οι είσοδοι του μοντέλου: ο συντελεστής β (beta), σχέση τιμή προς λογιστική αξία, ο μέσος όρος τριών ετών της τιμής προς τη λογιστική αξία, ο πολλαπλασιαστής κερδών, ο τζίρος των μετοχών, ο μέσος τζίρος τριών ετών των μετοχών, ο ρυθμός κερδών, η τιμή του μοντέλου προεξόφλησης μερισμάτων, το περιθώριο κέρδους profit margin και οι αποδόσεις του τρέχοντος έτους. Η έξοδος είναι οι αποδόσεις. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά.

Οι Nishina T. et al. (1997) πρότειναν ένα νεύρο-ασαφές σύστημα FINN το οποίο μπορεί αυτόματα να καταταμίσει πρότυπα εισόδων-εξόδων και να εξαγάγει σαφείς κανόνες «εάν - τότε». Το FINN προβλέπει την τάση των τιμών των μετοχών της επόμενης μέρας. Τα δεδομένα δέκα εισόδων χωρίστηκαν σε δύο ίσες ομάδες: η πρώτη χρησιμοποιήθηκε για να εκπαιδευτεί το μοντέλο και η δεύτερη για να αξιολογηθεί. Οι τιμές πρόβλεψης του FINN είναι αρκετά κοντά στις πραγματικές τιμές. Οι τιμές πρόβλεψης του FINN είναι περισσότερο κοντά στις πραγματικές, σε σύγκριση με ένα νευρωνικό δίκτυο οπίσθιας τροφοδότησης (BP).

Οι Kuo R.J. et al. (1998) πρότειναν ένα έξυπνο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων συναλλαγών για την χρηματιστηριακή αγορά, το οποίο λαμβάνει υπόψη του ποιοτικούς και ποσοτικούς παράγοντες. Αποτελείται από τέσσερις φάσεις: συγκέντρωση παραγόντων, μοντέλο ποιοτικών παραγόντων, μοντέλο ποσοτικών παραγόντων και το νεύρο-ασαφές μοντέλο ολοκλήρωσης. Οι ποσοτικοί παράγοντες είναι είσοδοι του ποσοτικού νευρωνικού μοντέλου και κανονικοποιούνται στο διάστημα [0,1]. Τα ποιοτικά δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε έξι κατηγορίες: πολιτικοί παράγοντες, χρηματοοικονομικοί, οικονομικοί, τεχνικοί, διάφοροι και διεθνείς παράγοντες, ώστε να δημιουργηθεί το ερωτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα της μεθόδου Delphi αποτελούν μη ποσοτικές επιδράσεις πάνω στην τάση των τιμών των μετοχών. Η έρευνα επιβεβαιώνει δύο διαφορετικές εξόδους. Οι έξοδοι εξαρτώνται από τους δείκτες της σημερινής συνεδρίασης και των τριών προηγούμενων συνεδριάσεων. Η αξιολόγηση δείχνει ότι το μοντέλο αποδίδει καλύτερα από ένα απλό μοντέλο νευρωνικών δικτύων.

Ο Rast M. (1999) παρουσίασε μια περίπτωση όπου μελετάει και συγκρίνει ένα νεύρο-ασαφές μοντέλο (FNN) και την κλασική προσέγγιση των νευρωνικών δικτύων κατά τη διάρκεια του κραχ του 1987 και του 1988. Για τη σύγκριση των νευρωνικών δικτύων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης DAX. Ο δείκτης κανονικοποιήθηκε με τις πληρωμές μερισμάτων. Εάν το δίκτυο προβλέπει θετική αλλαγή της τιμής, οδηγεί σε σήμα αγοράς. Σήμα πώλησης εμφανίζεται, εάν το δίκτυο προβλέπει πτώση της τιμής του δείκτη. Σύμφωνα με τα σήματα αυτά, η αποδοτικότητα του συστήματος αυξάνει, όταν η πρόβλεψη του δικτύου είναι σωστή. Οι κανόνες δημιουργούν μία περισσότερο σταθερή ποιότητα πρόβλεψης, ενώ η απόδοση δεν είναι τόσο καλή όσο με τη

χρήση κλασικών νευρωνικών δικτύων. Το FNN αποδίδει καλύτερα από την κλασική προσέγγιση μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, ενώ σε συνήθεις καταστάσεις έχει υψηλότερη ποιότητα πρόβλεψης.

Οι Siekmann S. et al. (1999) μελέτησαν μεθόδους για να προβλέψουν την τιμή του γερμανικού δείκτη DAX. Δημιουργήθηκαν από ειδικούς γλωσσικοί κανόνες οι οποίοι μετατράπηκαν σε νευρωνικό δίκτυο. Οι παράμετροι του νευρωνικού δικτύου αντιπροσωπεύουν γλωσσικές μεταβλητές και βελτιστοποιούνται με τη χρήση ιστορικών δεδομένων. Το μοντέλο αποτελείται από εννέα κανόνες και η λειτουργία του είναι πολύ εύκολη. Για τη σύγκριση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν ένα γραμμικό μοντέλο, η στρατηγική αγοράς και διακράτησης και η απλή πρόβλεψη. Η συμπεριφορά κατά το διάστημα διακύμανσης της αγοράς είναι πολύ ενθαρρυντική, επειδή το μοντέλο προβλέπει πολλές φορές σωστή κατεύθυνση του δείκτη.

Οι Kim K. et al. (2000) πρότειναν ένα γενετικό αλγόριθμο (GA) για τη βελτιστοποίηση των βαρών ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ANN) για να προβλέψουν την τιμή ενός δείκτη. Οι GA χρησιμοποιήθηκαν όχι μόνο για να βελτιώσουν τον αλγόριθμο μάθησης, αλλά και για να μειώσουν την πολυπλοκότητα των χαρακτηριστικών του διαστήματος (complexity in feature space). Οι GA βελτιστοποιούν συγχρόνως τα βάρη των συνδέσεων μεταξύ των επιπέδων του νευρωνικού δικτύου και των κατωφλίων για διαχωρισμό του διαστήματος. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τεχνικούς δείκτες και κατεύθυνση συναλλαγής των ημερήσιων τιμών του δείκτη του χρηματιστηρίου της Κορέας KOSPI. Τρία μοντέλα συγκρίθηκαν μεταξύ τους: το GAFD, το BPLT και το GALT. Το GAFD είχε υψηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης από το BPLT και το GALT. Το GAFD αποδίδει καλύτερα από τα άλλα δύο μοντέλα με βαθμό στατιστικής σημασίας 1%.

Οι Wu X. et al. (2001) πρότειναν ένα νεύρο-ασαφές σύστημα εμπρόσθιας τροφοδότησης FFNF για χρηματοοικονομικές εφαρμογές. Το σύστημα ενσωματώνει μια τεχνική ασαφών κανόνων και μια τεχνική νευρωνικών δικτύων, για να προβλέψει τη μηνιαία τάση του δείκτη S&P500. Ως είσοδοι του μοντέλου χρησιμοποιούνται: ο δείκτης τιμών καταναλωτή, σημαντικοί οικονομικοί δείκτες, το επιτόκιο των ομοσπονδιακών κεφαλαίων, η τιμή του S&P500 μία συνεδρίαση πριν, δύο συνεδριάσεις πριν, τρεις συνεδριάσεις πριν, ο συνολικός δείκτης βιομηχανικής παραγωγής, τα τραπεζικά επιτόκια δανεισμού και το ποσοστό της ανεργίας. Η έξοδος του μοντέλου είναι η τιμή κλεισίματος του δείκτη S&P500. Το FFNF είχε καλύτερα αποτελέσματα από ένα νευρωνικό δίκτυο της μορφής BPNN.

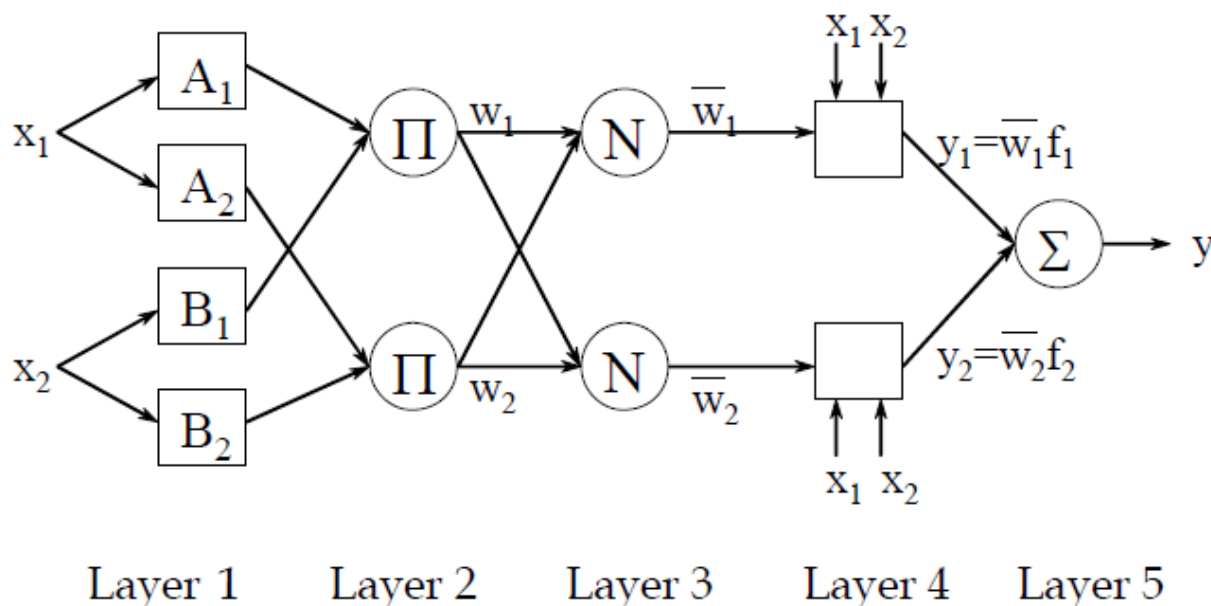
Οι Abraham A. et al. (2001) χρησιμοποίησαν ένα υβριδικό μοντέλο εύκαμπτης υπολογιστικής για αυτόματο υπολογισμό προβλέψεων στο χρηματιστήριο. Το σύστημα βασίζεται σε ένα τεχνικό νευρωνικό δίκτυο ANN το οποίο εκπαιδεύτηκε με τον αλγόριθμο conjugate και σε ένα νεύρο-ασαφές σύστημα για ανάλυση του χρηματιστηρίου.

Προσαρμοστικό νεύρο-ασαφές σύστημα (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System - ANFIS)

Το ANFIS θεωρείται ότι ανήκει στα προσαρμοστικά δίκτυα (adaptive networks), τα οποία είναι αρκετά όμοια με τα νευρωνικά δίκτυα. Το προσαρμοστικό δίκτυο αποτελείται από τους προσαρμοστικούς και τους μη προσαρμοστικούς κόμβους (adaptive, non-adaptive nodes). Ουσιαστικά το προσαρμοστικό δίκτυο είναι ένα πολύ-επίπεδο δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης (multi-layer feed-forward network), στο οποίο κάθε κόμβος εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία πάνω στα εισερχόμενα σήματα και πάνω στο σύνολο των παραμέτρων που αντιστοιχούν

στο συγκεκριμένο κόμβο. Οι κόμβοι συνδέονται μέσω κατευθυντήριων συνδέσμων (directional links). Μερικοί ή όλοι οι κόμβοι είναι προσαρμόσιμοι, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το αποτέλεσμα καθενός από αυτούς τους κόμβους εξαρτάται από τις παραμέτρους που σχετίζονται με αυτόν τον κόμβο, και ο κανόνας μάθησης προσδιορίζει πώς αυτοί οι παράμετροι θα πρέπει να

μεταβληθούν για την ελαχιστοποίηση ενός προκαθορισμένου μέτρου σφάλματος. Το είδος της λειτουργίας του κάθε κόμβου μπορεί να ποικίλει από κόμβο σε κόμβο, και η επιλογή της λειτουργίας ενός κόμβου εξαρτάται από τη συνολική επεξεργασία πάνω στις εισόδους και την έξοδο που το προσαρμοστικό δίκτυο πρέπει να εκτελέσει. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο Σχήμα που παρουσιάζει τη δομή αυτού του δικτύου οι σύνδεσμοί του απλά υποδεικνύουν την κατεύθυνση της ροής των σημάτων ανάμεσα στους κόμβους, ενώ σταθμικά βάρη δεν σχετίζονται με τους συνδέσμους.



Εικόνα : Η αρχιτεκτονική δομή του ANFIS

Για την απεικόνιση των διαφορετικών ικανοτήτων προσαρμοστικότητας χρησιμοποιούνται τόσο κυκλικοί όσο και τετράγωνοι κόμβοι στην αναπαράσταση του δικτύου. Ένας τετράγωνος κόμβος περιλαμβάνει παραμέτρους (adaptive node), ενώ ο κυκλικός κόμβος δεν έχει καμία παράμετρο (fixed node). Το σύνολο των παραμέτρων ενός προσαρμοστικού δικτύου είναι η ένωση των συνόλων των παραμέτρων του κάθε ενός προσαρμοστικού κόμβου. Οι παράμετροι αυτοί ενημερώνονται κατάλληλα, σύμφωνα με τα δοσμένα δεδομένα εκπαίδευσης και μία gradient based διαδικασία μάθησης, προκειμένου να επιτευχθεί μία επιθυμητή αντιστοίχιση μεταξύ των δεδομένων εισόδου-εξόδου.

Το Sugeno ασαφές μοντέλο είναι το μοντέλο που χρησιμοποιείται στο εκπαιδευόμενης ασαφούς λογικής δίκτυο ANFIS. Το ANFIS είναι μία συστηματοποιημένη προσπάθεια παραγωγής κανόνων της μορφής "εάν - τότε" από ζευγάρια εισόδου-εξόδου.

Το μοντέλο PATSOS

Το μοντέλο PATSOS συνιστά ένα σύστημα ελέγχου, που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της βραχυχρόνιας τάσης της τιμής των μετοχών, βάσει νεύρο-ασαφών μεθόδων. Το PATSOS αποτελεί σύνθεση δύο μοντέλων: τον ελεγκτή(CON-ANFIS) και την διαδικασία (PR-ANFIS).

Ο ελεγκτής αναπαριστάται από ένα νεύρο-ασαφές μοντέλο, το οποίο αναπτύσσεται με βάση την αρχιτεκτονική του ανάστροφου ελέγχου (inverse control) και εκπαιδεύεται, ώστε να παράγει ενέργειες ελέγχου που οδηγούν τη διαδικασία σε μία επιθυμητή τροχιά. Ως επιθυμητή τροχιά ορίζεται η κατεύθυνση της τιμής της μετοχής. Ο ελεγκτής έχει δύο εισόδους και μία έξοδο. Η έξοδος ($u(k)$) αντιστοιχεί σε κάποια ενέργεια ελέγχου, η οποία είναι μία από τις εισόδους στο μοντέλο της διαδικασίας. Οι είσοδοι είναι η μεταβολή στην τιμή κλεισίματος (της μετοχής, του μετάλλου κλπ.) την παρούσα χρονική στιγμή ($y(k)$) και την επόμενη ($y(k+1)$). Σε αυτή την έρευνα μια χρονική στιγμή αντιστοιχεί σε μία μέρα. Κατά την φάση εκπαίδευσης του εκλεκτή η τιμή της επόμενης μέρας υπάρχει διαθέσιμη. Αντίθετα, στην φάση εφαρμογής του μοντέλου, όπου η τιμή δεν είναι διαθέσιμη, χρησιμοποιούμε ένα σταθμισμένο κινούμενο μέσο 3, 5 ή 9 ημερών ($yd(k+1)$)².

Η διαδικασία (το μοντέλο του χρηματιστηρίου) αναπαριστάνεται από ένα νεύρο-ασαφές μοντέλο, το οποίο εκπαιδεύεται, για να προβλέπει την έξοδο της διαδικασίας ένα βήμα μπροστά, δηλαδή να προβλέπει την κατεύθυνση της τιμής της μετοχής στην επόμενη συνεδρίαση. Η διαδικασία έχει ως εισόδους τις: τιμή κλεισίματος $y(k)$, τιμή κλεισίματος της προηγούμενης $y(k-1)$ και την ενέργεια ελέγχου $u(k)$. Η έξοδος που παράγεται είναι η τιμή κλεισίματος της επομένης. Η διαδικασία (PR-ANFIS) αποτελεί ένα υποκατάστατο του μαθηματικού μοντέλου του χρηματιστηρίου³.

2

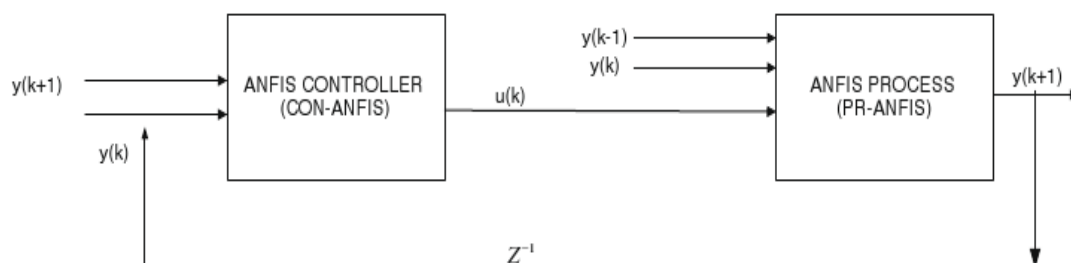
2 Norgaard, Ravn, and Poulsen (2003)

3

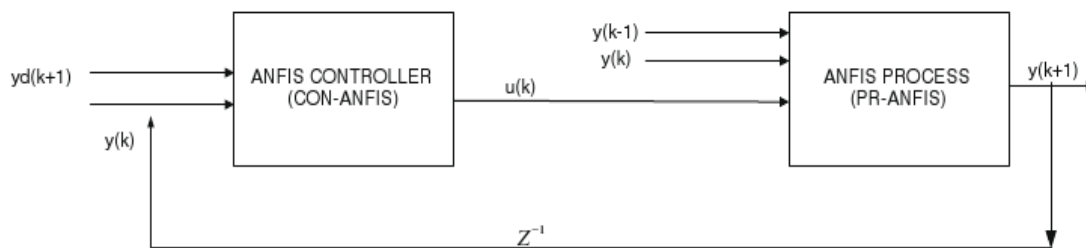
2 Το οποίο πρακτικά είναι αδύνατο να υπάρξει λόγω της πολυπλοκότητάς του.

Χαρακτηριστικά	CON-ANFIS	PR-ANFIS
Τύπος ασαφούς μηχανισμού συμπερασμού	Sugeno	Sugeno
Αριθμός εισόδων	2	3
Ονομασία 1ης εισόδου	$y(k)$	$y(k)$
Ονομασία 2ης εισόδου	$y(k+1)$	$y(k-1)$
Ονομασία 3ης εισόδου	-	$u(k)$
Αριθμός εξόδων	1	1
Ονομασία εξόδου	$u(k)$	$y(k+1)$
And method	Product	Product
Or method	Max	Max
Imp. method	Product	Product
Agg. method	Max	Max
Defuzz. method	Wtaver	Wtaver

Το σύστημα εκπαιδεύεται κάθε φορά μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή και κάνει μια εκτίμηση για την επόμενη. Σε αυτό το σημείο θα τονίσουμε ότι μας ενδιαφέρει η τάση της μετοχής και όχι η ακριβής πρόβλεψη.



Εικόνα : Το σύστημα ελέγχου PATSOS κατά την φάση της εκπαίδευσης



Εικόνα : Το σύστημα ελέγχου PATSOS κατά τη φάση της εφαρμογής

Παραπάνω προσδιορίστηκε η δομή (structure identification) του συστήματος PATSOS. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος πρόβλεψης είναι ότι δεν απαιτείται να είναι γνωστές εκ των προτέρων οι δυναμικές σχέσεις της διαδικασίας (του χρηματιστηρίου). Οι σχέσεις αυτές ενσωματώνονται στο μοντέλο μέσω της εκπαίδευσης του ελεγκτή ANFIS, κατά τον καθορισμό του ανάστροφου μοντέλου (inverse model) και κατά την εκπαίδευση του μοντέλου της διαδικασίας. Υποτίθεται ότι υπάρχουν οι ανάστροφες σχέσεις της διαδικασίας, όπως απαιτεί η χρήση της ανάστροφης μεθόδου μάθησης (inverse learning). Η κατανομή των δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στην αποτελεσματικότητα του συστήματος. Το ιδανικό είναι τα δεδομένα εκπαίδευσης να κατανέμονται κατά μήκος του διαστήματος εισόδου με κάποιο ομοιόμορφο τρόπο. Αυτό όμως δεν είναι δυνατό λόγω του ότι τα δεδομένα εισόδου ακολουθούν χρονολογική σειρά. Η εφαρμογή του υβριδικού κανόνα μάθησης, ο οποίος συνδυάζει την μέθοδο της απότομης κατάβασης (steepest descent) και τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, μειώνει σημαντικά το χρόνο εκπαίδευσης του συστήματος και εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος.

Η απόδοση του μοντέλου εξαρτάται από τα δεδομένα εκπαίδευσης, τις συναρτήσεις ενεργοποίησης, το είδος και το πλήθος των συναρτήσεων συμμετοχής, ο αριθμός επαναλήψεων της εκπαίδευσης (εποχές εκπαίδευσης). Ο χρόνος εκπαίδευσης του μοντέλου εξαρτάται από τις παραμέτρους λειτουργίας και από την υπολογιστική ισχύ του Η/Υ.

Οι δύο προσεγγίσεις πρόβλεψης των τιμών των μετοχών, η θεμελιώδης και η τεχνική ανάλυση, έχουν διαφορετική σημασία όταν εξετάζονται υπό το πρίσμα του ορίζοντα πρόβλεψης. Στην πραγματικότητα ο ερευνητής μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε ή και όλες τις πληροφορίες οι οποίες αξιόπιστα βοηθούν στη λύση του προβλήματος. Εάν ο ορίζοντας πρόβλεψης είναι δύο ή τρία έτη, είναι καλύτερα να ληφθούν υπόψη θεμελιώδη στοιχεία και οικονομικές αποδόσεις. Εάν ο ορίζοντας πρόβλεψης είναι οι επόμενοι τρεις μήνες ή συντομότερες περίοδοι, είναι καλύτερο να λαμβάνεται υπόψη η προσφορά και η ζήτηση η οποία ενσωματώνεται σε δείκτες της τεχνικής ανάλυσης και στις τιμές των μετοχών. Η πρόβλεψη της τιμής μιας μετοχής στην επόμενη συνεδρίαση θεωρείται από τις πιο δύσκολες προβλέψεις, πράγμα το οποίο απεικονίζεται στα χαμηλά ποσοστά ακρίβειας των ημερήσιων

προβλέψεων που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Αντιθέτως, η εβδομαδιαία ή μηνιαία πρόβλεψη επιτυγχάνεται ευκολότερα, καθόσον τα δεδομένα είναι περισσότερο κανονικοποιημένα, διότι αποφεύγονται οι συχνές και οξείες διακυμάνσεις των τιμών που παρατηρούνται στις ημερήσιες τιμές. Στη διατριβή αυτή ο ορίζοντας πρόβλεψης είναι η τιμή της μετοχής στην επόμενη συνεδρίαση και η περίοδος αξιολόγησης είναι το ημερολογιακό τρίμηνο, που αποτελείται από 60 συνεδριάσεις του χρηματιστηρίου.

Για να δημιουργηθεί ένα όσο το δυνατό καλύτερο μοντέλο, είναι σημαντικό ο αριθμός των δεδομένων εκπαίδευσης να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερος από τον αριθμό των παραμέτρων που θα υπολογιστούν. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε παράμετρο θα υπάρχει ένα μεγάλος αριθμός δεδομένων ο οποίος εξασφαλίζει την καλύτερη δυνατή εκπαίδευση των παραμέτρων. Συνήθως για ένα μοντέλο μιας εισόδου απαιτούνται τουλάχιστον 10 δεδομένα. Ομοίως για ένα μοντέλο 2 εισόδων απαιτούνται $10^2 = 100$ δεδομένα και για τρεις εισόδους $10^3 = 1.000$ δεδομένα (Jang, 1997).

Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται, προκειμένου να υπολογιστεί η μεταβολή της τιμής της μετοχής σε σχέση με την προηγούμενη συνεδρίαση, σύμφωνα με τη σχέση: $\text{pricerate} = \text{price} - \text{price}(k-1)$

Η τιμή του pricerate στο χρόνο (k) αποτελεί την είσοδο $y(k)$ και η τιμή του pricerate στο χρόνο (k-1) αποτελεί την είσοδο $y(k-1)$. Στη συνέχεια υπολογίζεται η τετραγωνική ρίζα της διαφοράς της μεταβολής της τιμής κλεισίματος της συνεδρίασης σε σχέση με την προηγούμενη συνεδρίαση για τον υπολογισμό του $u(k)$ με βάση τον τύπο $u(k) = y(k) - y(k-1)$. Από τα αρχικά δεδομένα υπολογίζεται ο κινητός μέσος των 3 τελευταίων συνεδριάσεων της τιμής κλεισίματος με βάση τη σχέση: $\text{SMA} = \frac{\text{now} + 2 \cdot \text{now} - \text{closing price}(j)}{3}$ όπου now είναι η χρονική στιγμή της τελευταίας (πιο πρόσφατης) τιμής κλεισίματος. Επειδή οι εισοδοί του μοντέλου αναφέρονται σε μεταβολές των τιμών των μετοχών, για να υπάρχει ομοιομορφία των δεδομένων, ακολουθεί ο υπολογισμός της μεταβολής του κινητού μέσου από τη σχέση: $\text{moving average} = \text{SMA}(k) - \text{SMA}(k-1)$

Ως κριτήρια για την επιλογή του αριθμού των επαναλήψεων εκπαίδευσης, υπολογίζονται η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και το ποσοστό της ακριβούς πρόβλεψης της τάσης της μετοχής. Η μικρή τιμή της ρίζας του μέσου

τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) καταδεικνύει ότι το μοντέλο έχει συλλάβει σε σημαντικό βαθμό τις δυναμικές σχέσεις μεταξύ των εισόδων και της εξόδου του ελεγκτή. Επίσης, αποδεικνύει ότι τα δεδομένα εκπαίδευσης περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία η οποία επηρεάζει την έξοδο του μοντέλου.

Δύο κατηγορίες παραμέτρων βελτιστοποιούνται κατά την εκπαίδευση των CON-Anfis (ελεγκτή) και PR-Anfis (διαδικασίας).

1. Οι παράμετροι της υπόθεσης των κανόνων $[c, \sigma]$, οι οποίες προσδιορίζουν το κέντρο και το πλάτος των συναρτήσεων συμμετοχής γκαουσσιανής μορφής. Οι παράμετροι είναι μη γραμμικές και προσαρμόζονται με τον αλγόριθμο οπισθόδρομης διάδοσης (backpropagation), ο οποίος χρησιμοποιεί τη μέθοδο απότομη κατάβαση.
2. Οι παράμετροι της απόδοσης των κανόνων $[p, q, r]$, οι οποίες αφορούν την έξοδο του συστήματος. Οι παράμετροι είναι γραμμικές και προσαρμόζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Εμφανίζονται στο τέταρτο επίπεδο, με τη μορφή βαρών (weights, w) των εξόδων. Ο αλγόριθμος μάθησης τείνει να βελτιστοποιεί τις προσαρμόσιμες παραμέτρους, ώστε η έξοδος του ANFIS να ταιριάζει με τα δεδομένα εκπαίδευσης (Ikonen, 1996). Ο βασικός κανόνας μάθησης ενός προσαρμοστικού δικτύου είναι ο αλγόριθμος backpropagation (Rumelhart, 1986), ο οποίος βασίζεται στην μέθοδο απότομη κατάβαση. Το ANFIS χρησιμοποιεί τον γρήγορο υβριδικό αλγόριθμο μάθησης, που πρότεινε ο Jang, (1991), ο οποίος συνδυάζει τη μέθοδο βαθμωτής κατάβασης και τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Η αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε με τον υπολογισμό ορισμένων δημοφιλών στατιστικών μέτρων μέτρησης του σφάλματος, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές σε παρόμοιες έρευνες⁵. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα μέτρα αυτά δεν είναι σημαντικά για τους οικονομικούς αναλυτές, τους επενδυτές και τους χρήστες συστημάτων πρόβλεψης της τάσης των τιμών. Αυτοί περισσότερο ενδιαφέρονται και επικεντρώνονται στην ακριβή πρόβλεψη της κατεύθυνσης της μετοχής παρά στην ελαχιστοποίηση των παρακάτω σφαλμάτων. Χρησιμοποιούνται όμως πολλές φορές για σύγκριση μοντέλων από την ακαδημαϊκή κοινότητα.

1. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE).

5

⁂ Makridakis et al., 1983 και Goh, 1996

$$MSE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^N e_t^2$$

2. Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N e_t^2}{N}}$$

3. Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE).

$$MAE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^N |e_t|$$

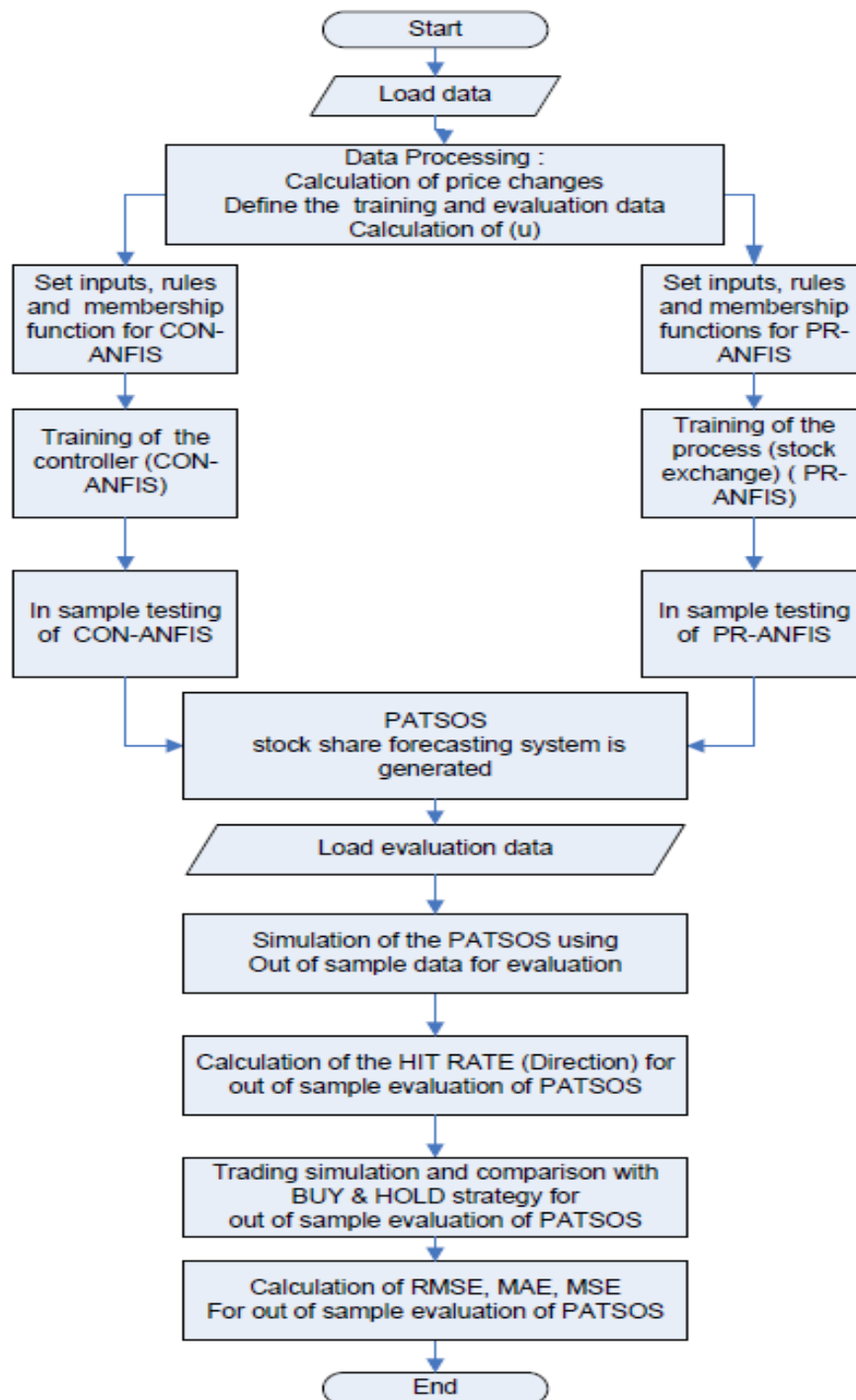
4. Απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου (ROE).

Υπάρχουν και μερικές άλλες, διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για να μετρήσουν την απόδοση των μοντέλων που υιοθετήθηκαν ευρέως στη βιβλιογραφία, όπως η συσχέτιση (CORR), η μέτρηση της κατεύθυνσης (HIT), ο συντελεστής ανισότητας Theil (Theil inequality coefficient), οι μετρήσεις των αποδόσεων κάθε μοντέλου μέσω διαφόρων εμπορικών συναλλαγών (RETURNS), η απόκλιση των αποδόσεων αυτών (STD-R) και ο λόγος Sharpe.

Ο προσδιορισμός της τάσης της τιμής δεν δίνει καμία πληροφορία για το μέγεθος της κίνησης της τιμής. Για την αξιολόγηση του συστήματος θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του PATSOS με τις πραγματικές τιμές. Επίσης, θα προσομοιώσουμε το σύστημα, επενδύοντας ένα κεφάλαιο και πραγματοποιώντας αγοροπωλησίες μετοχών σύμφωνα με την κατεύθυνση της μετοχής που προβλέπει το σύστημα. Εάν η τάση είναι ανοδική αγοράζουμε. Διαφορετικά πουλάμε. Αν η μετοχή έχει πωληθεί και η επόμενη πρόβλεψη είναι καθοδική, δεν πραγματοποιείται καμία συναλλαγή, έως ότου η πρόβλεψη είναι ανοδική, οπότε ξαναγοράζεται η μετοχή και ούτω καθ' εξής. Το τελικό κεφάλαιο συγκρίνεται με αυτό που θα είχαμε εάν εφαρμόζαμε την στρατηγική αγοράς και διακράτησης (Buy & Hold). Επίσης δεν λαμβάνονται υπόψη τα έξοδα συναλλαγής. Οι συναλλαγές αφορούν μόνο τοποθετήσεις με σκοπό το κέρδος από την άνοδο της τιμής της μετοχής (long positions). Δεν γίνονται συναλλαγές με σκοπό το κέρδος από την πτώση των τιμών (short-selling). Αυτό βεβαίως δεν αποκλείει στην πράξη να γίνονται και τα δύο παραπάνω είδη συναλλαγών, αποκομίζοντας μεγαλύτερα θετικά αποτελέσματα. Η προσομοίωση των συναλλαγών έγινε με ένα υποθετικό αρχικό κεφάλαιο 10.000 ευρώ. Στο τέλος της περιόδου προσομοίωσης η απόδοση του

κεφαλαίου δίνεται από την σχέση $ROE = I_{(k+n)} / I_k$ όπου ROE είναι η απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου, I_k είναι το ύψος του αρχικού κεφαλαίου που επενδύεται στη μετοχή στην αρχή της περιόδου και $I_{(k+n)}$ είναι το ύψος του κεφαλαίου που διαμορφώνεται στο τέλος της περιόδου μετά από η χρηματιστηριακές συνεδριάσεις.

Η όλη διαδικασία λειτουργίας του συστήματος PATSOS παρουσιάζεται αναλυτικά (για όλα τα στάδια) στο παρακάτω διάγραμμα ροής.

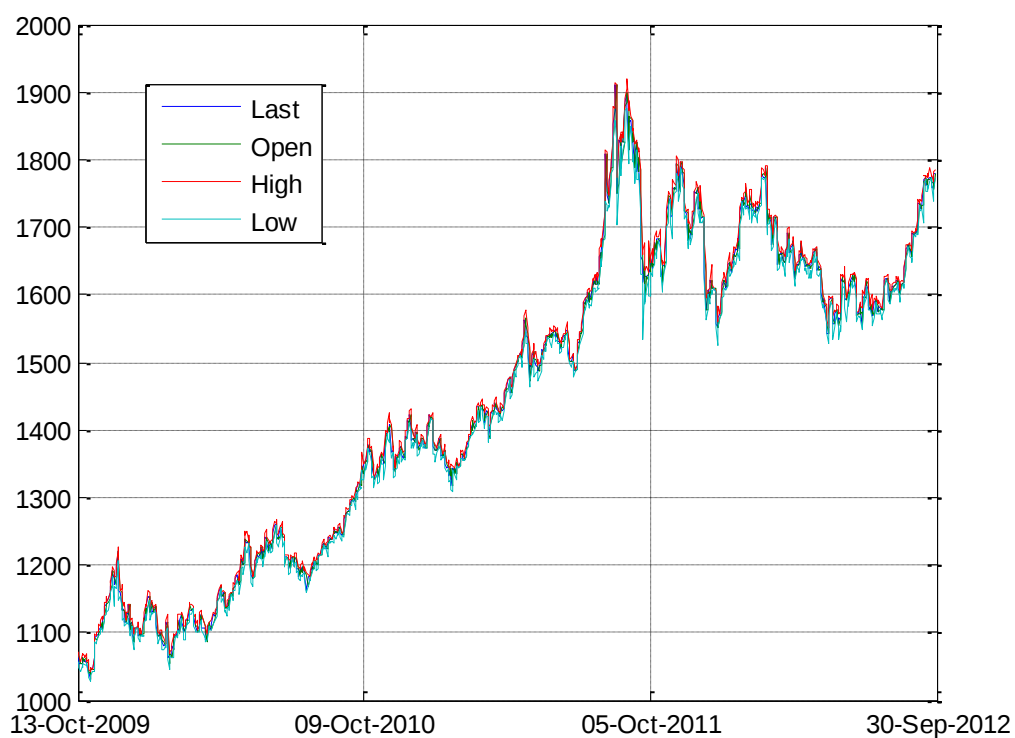


Για την όλη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab. Κάθε έκδοση από τη 7.14 και πάνω πρέπει να είναι συμβατή με τον κώδικα του μοντέλου PATSOS.

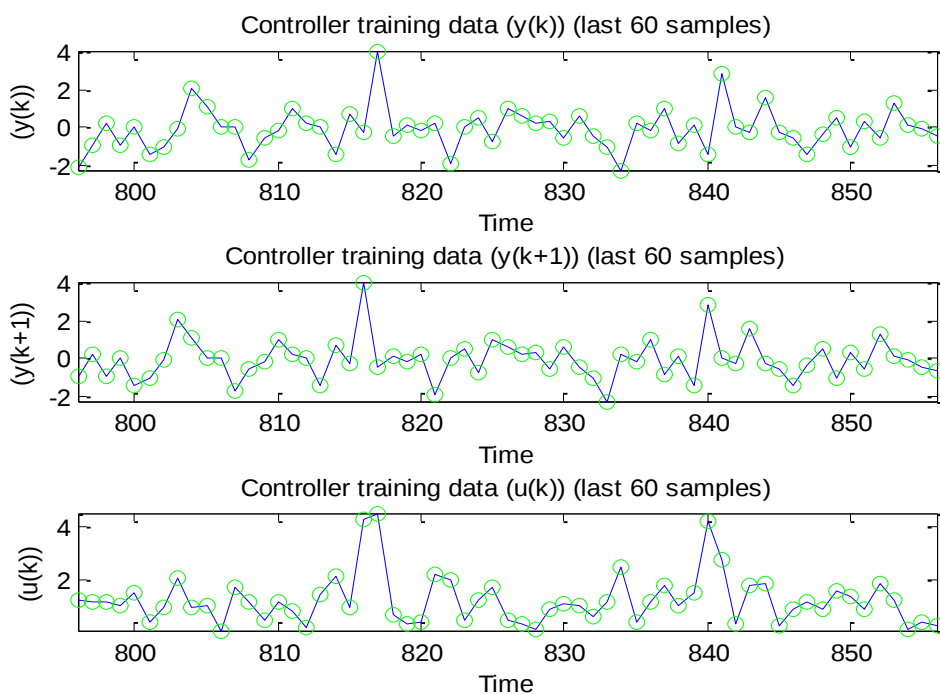
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα από την εκτέλεση του αλγορίθμου ο οποίος χρησιμοποίησε ιστορικά δεδομένα προϊόντων από τις 14 Οκτωβρίου 2009 έως τις 28 Σεπτεμβρίου 2012. Η εκπαίδευση του μοντέλου έγινε από την αρχή της περιόδου έως 60 συνεδριάσεις πριν τον τέλος της περιόδου. Η αξιολόγηση του έγινε συγκρίνοντας τις τιμές κλεισίματος των 60 τελευταίων συνεδριάσεων του κάθε προϊόντος με την πρόβλεψη του μοντέλου για ένα χρονικό ορίζοντα 60 ημερών. Τα προϊόντα που χρησιμοποιήσαμε στην έρευνα μας είναι: βαμβάκι ΗΠΑ, χρυσός, ασήμι, χαλκός, πλατίνα, αργό πετρέλαιο, επεξεργασμένο πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης, καφές ΗΠΑ, καλαμπόκι ΗΠΑ, σιτάρι, ΗΠΑ, κακάο ΗΠΑ, ζάχαρη Λονδίνου, χημός πορτοκάλι, ζάχαρη ΗΠΑ, γραέριο Λονδίνου, καφές Λονδίνου, κακάο Λονδίνου, εκπομπές διοξειδίου, σόγια ΗΠΑ, σογιέλαιο ΗΠΑ, σιτάρι Λονδίνου, παλλάδιο και βοδινό κρέας.

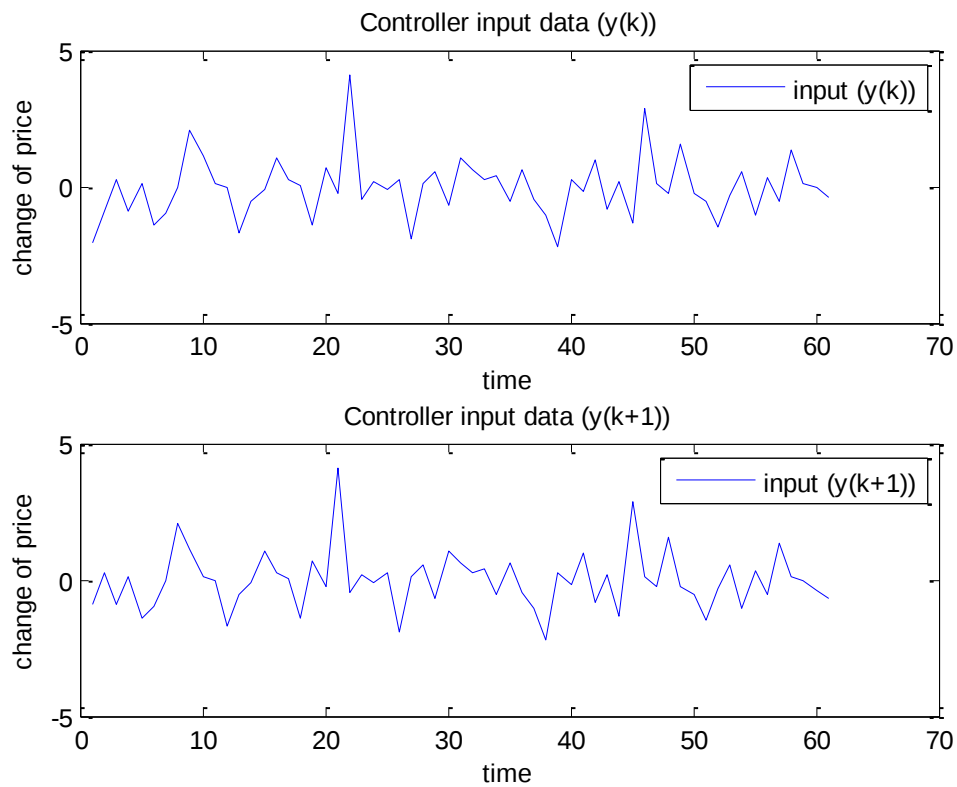
Θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα αποτελέσματα που έδωσε το μοντέλο για το χρυσό με 800 εποχές εκπαίδευσης και 1200 εποχές αξιολόγησης εκτός δείγματος. Τα γραφήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζουν τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου.



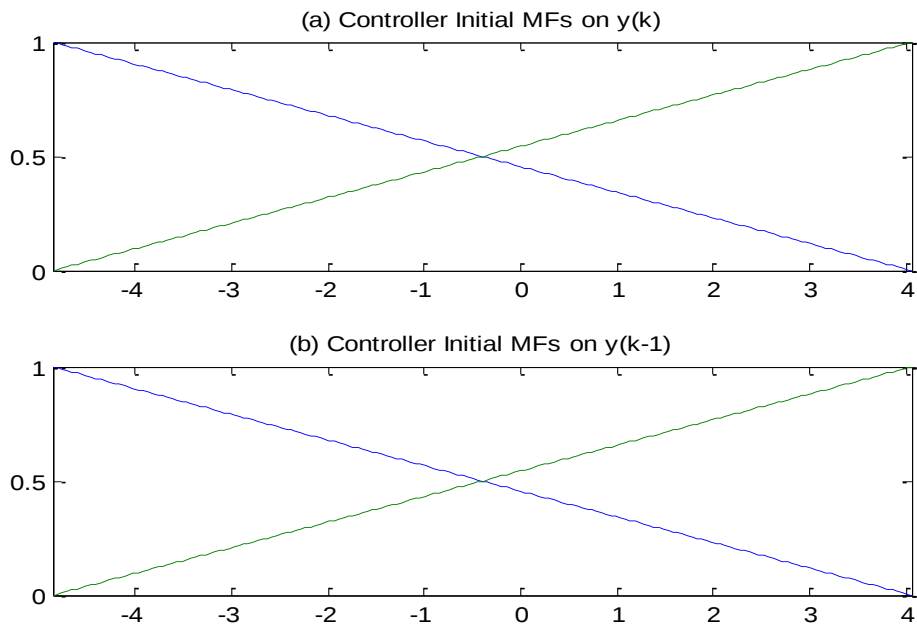
Γράφημα 1: Τιμές χρυσού.



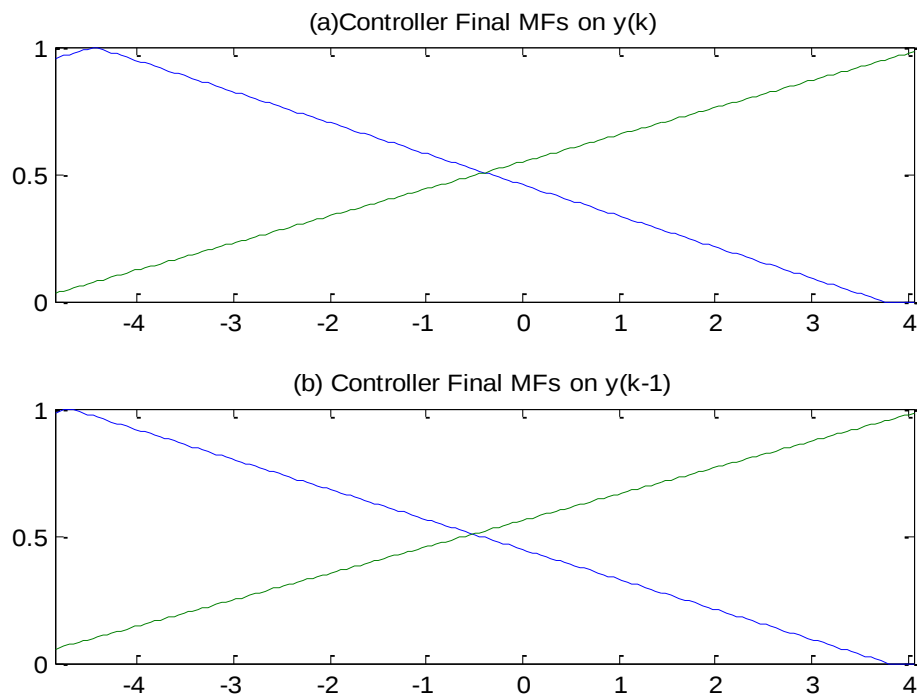
Γράφημα 2: Τα δεδομένα εκπαίδευσης του ελεγκτή (60 τελευταίες τιμές).



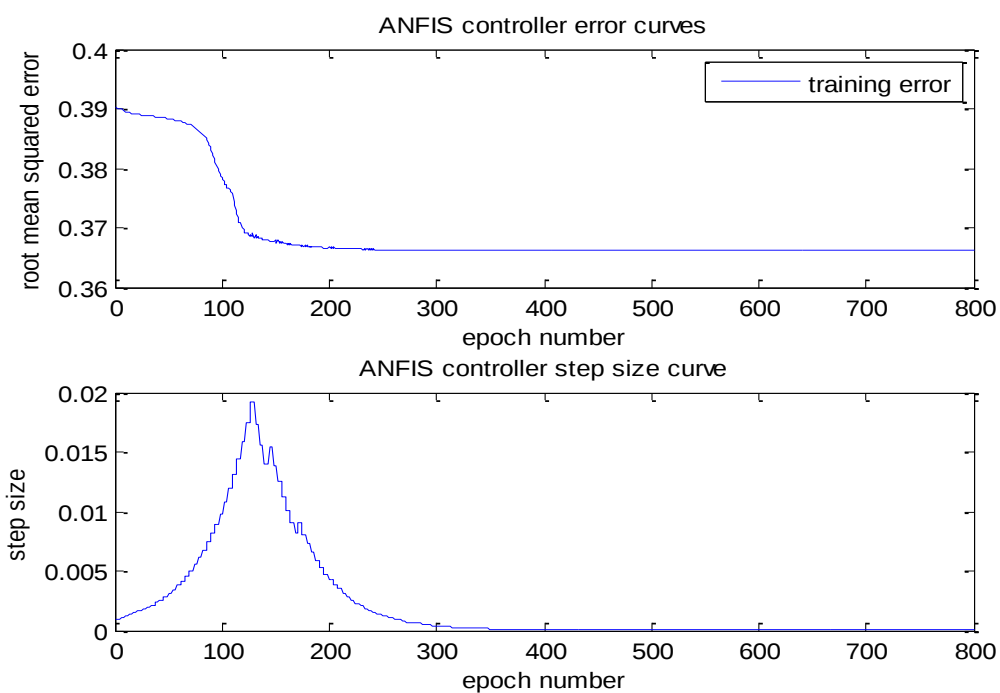
Γράφημα 3: δεδομένα εκπαίδευσης του ελεγκτή - μεταβολή στις τιμές.



Γράφημα 4: Διάγραμμα των συναρτήσεων συμμετοχής του CON-ANFIS πριν την εκπαίδευση.

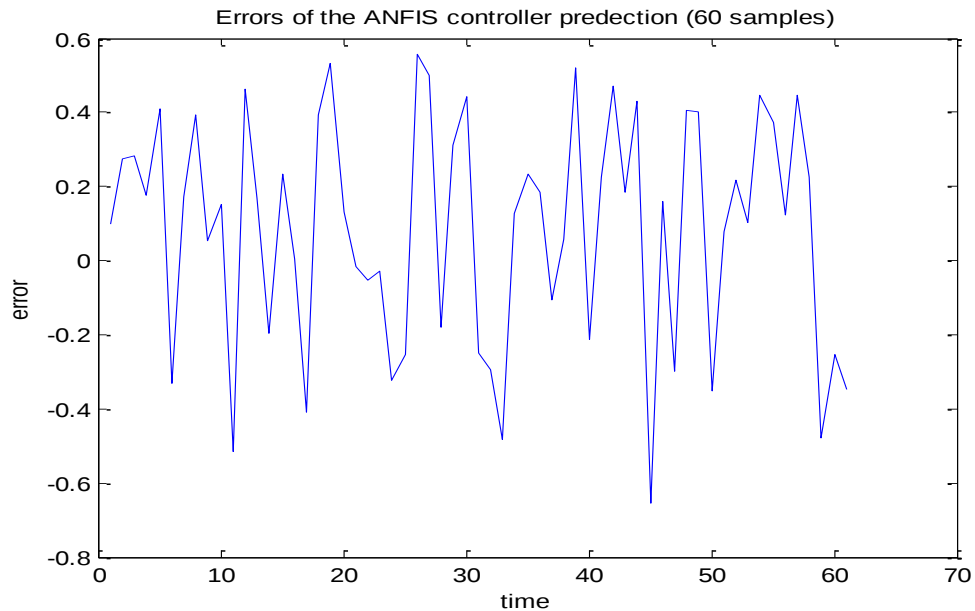


Γράφημα 5: Οι συναρτήσεις συμμετοχής όπως έχουν διαμορφωθεί μετά την εκπαίδευση του μοντέλου.

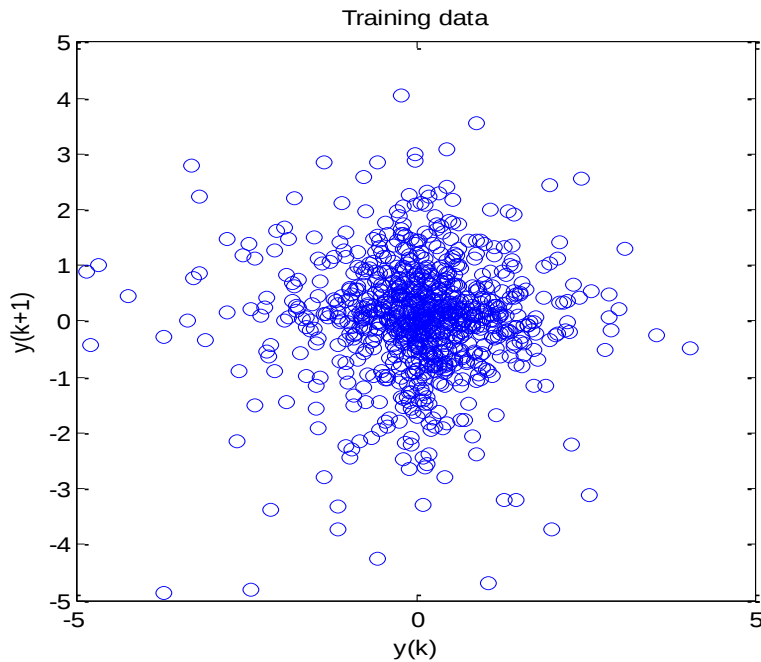


Γράφημα 6: Η εξέλιξη στην ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) και το βήμα μάθησης (step size) του CON-ANFIS κατά την εκπαίδευση του μοντέλου.

Αυτό που μπορούμε να διαπιστώσουμε από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι δεν υπάρχει βελτίωση όσον αφορά τη μάθηση από την 350^η φορά και έπειτα. Δηλαδή το μοντέλο δεν θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα όσες φορές και να το εκπαιδεύσουμε ακόμη. Οπότε θα μπορούσε να εξοικονομηθεί υπολογιστικός χρόνος εάν σταματούσαμε τη μάθηση στην 350^η επανάληψη.

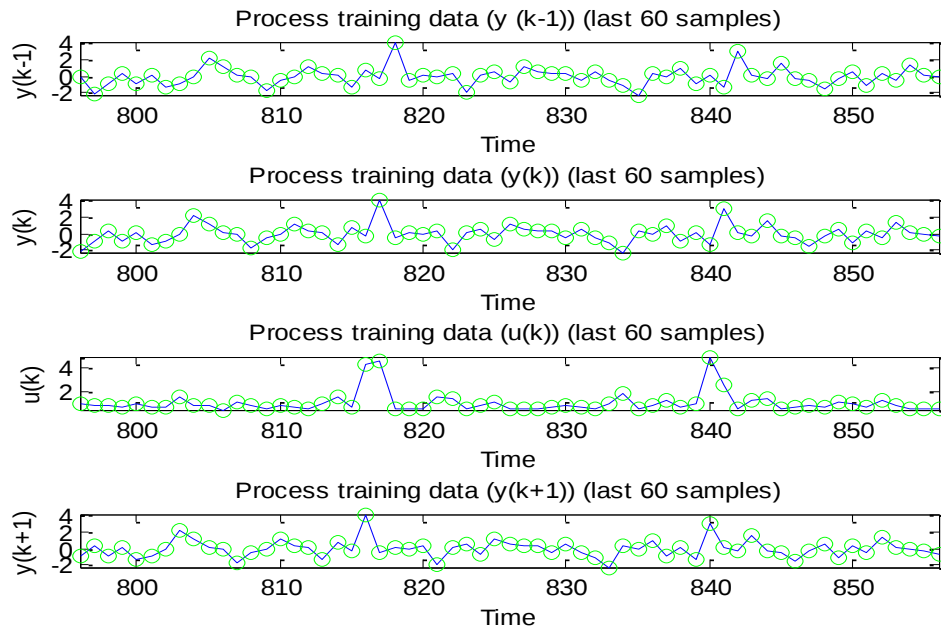


Γράφημα 7: Το σφάλμα του ελεγκτή για το σύνολο των τελευταίων 60 δειγμάτων της εντός δείγματος αξιολόγησης.

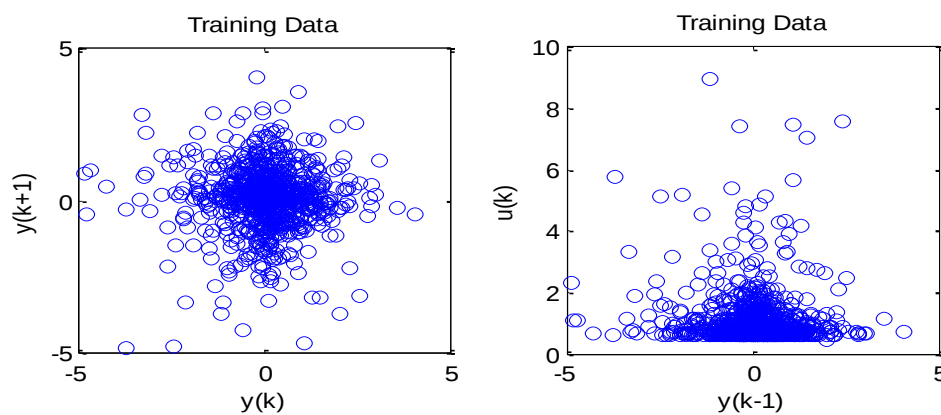


Γράφημα 8: 2-D απεικόνιση της διασποράς των δεδομένων εκπαίδευσης της διαδικασίας.

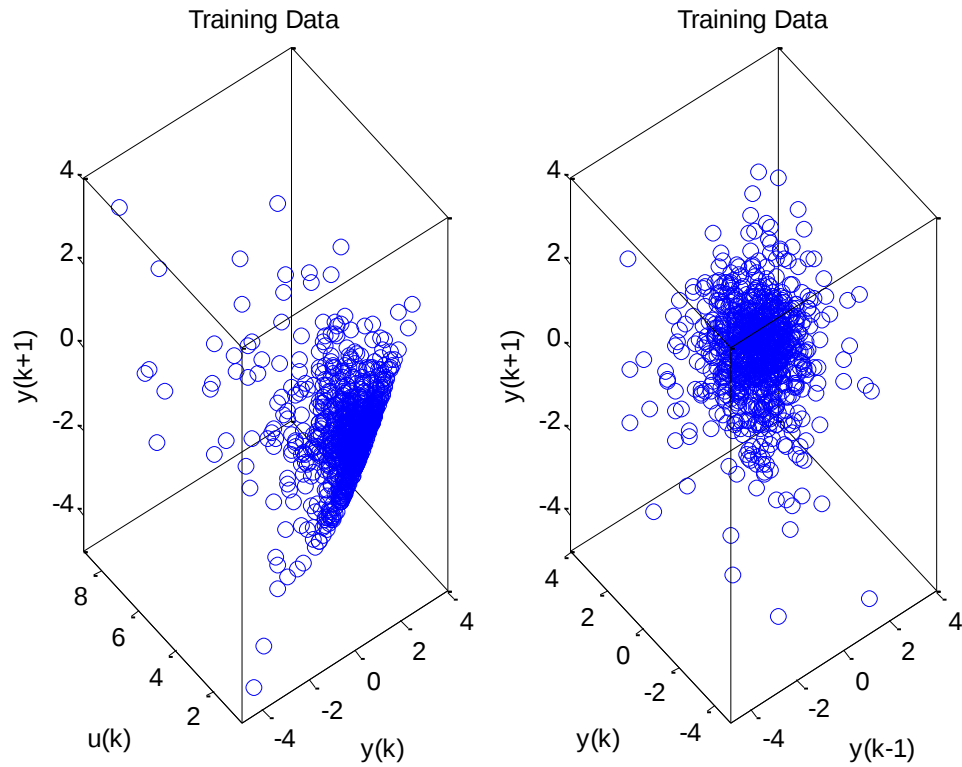
Γενικά είναι επιθυμητή η διασπορά των δεδομένων ώστε το μοντέλο να συλλάβει καλύτερα τις δυναμικές σχέσεις της όποιας διαδικασίας. Η ιδανική περίπτωση θα ήταν οι τιμές να καλύπτουν όλη την έκταση της επιφάνειας, γεγονός που είναι σχεδόν αδύνατο.



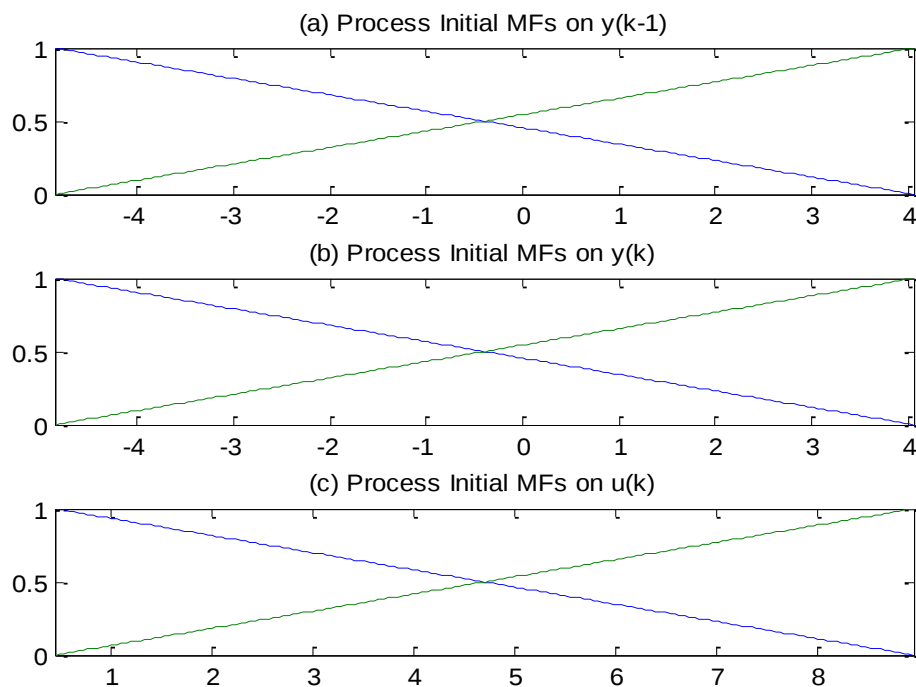
Γράφημα 9: Ενδεικτική παρουσίαση των τελευταίων 60 δεδομένων εκπαίδευσης της διαδικασίας.



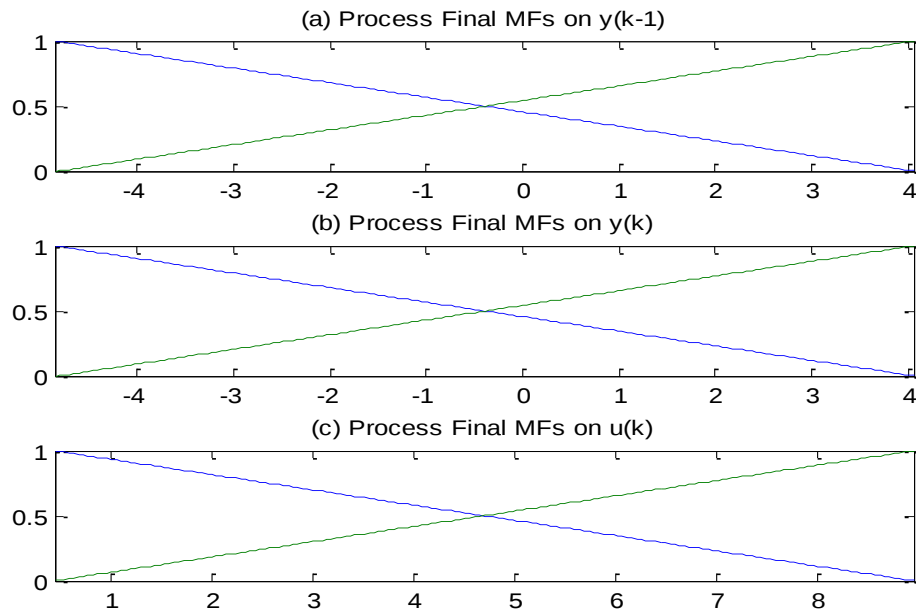
Γράφημα 10: Δυσδιάστατη παρουσίαση των δεδομένων εκπαίδευσης του PR-ANFIS.



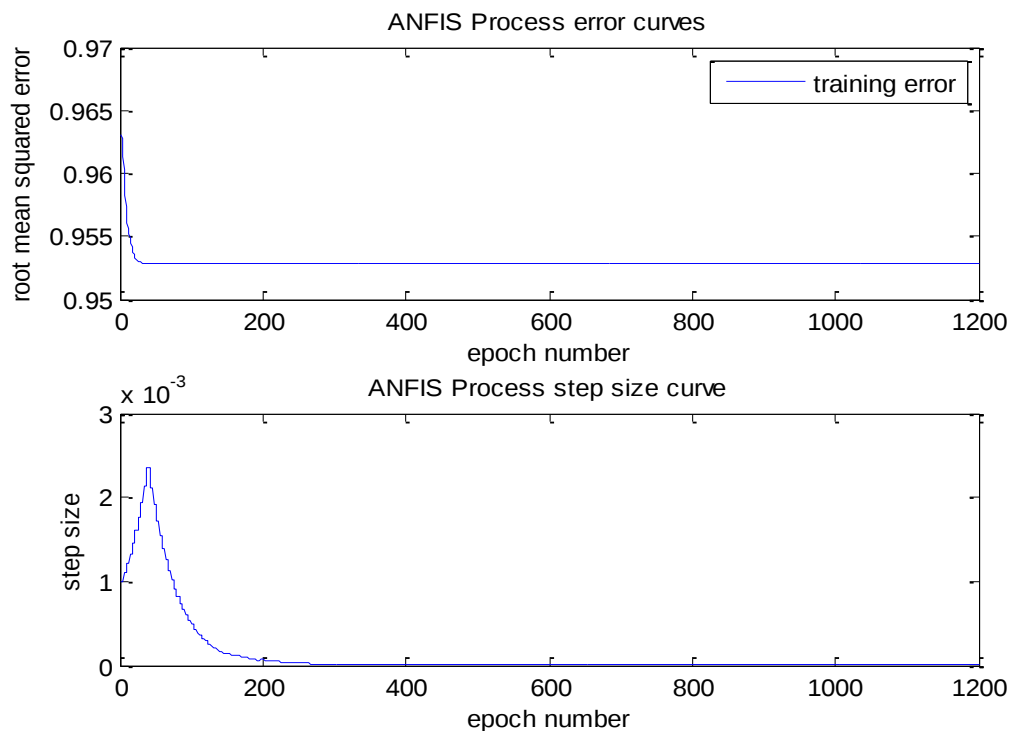
Γράφημα 11: Τρισδιάστατη παρουσίαση των δεδομένων εκπαίδευσης του PR-ANFIS



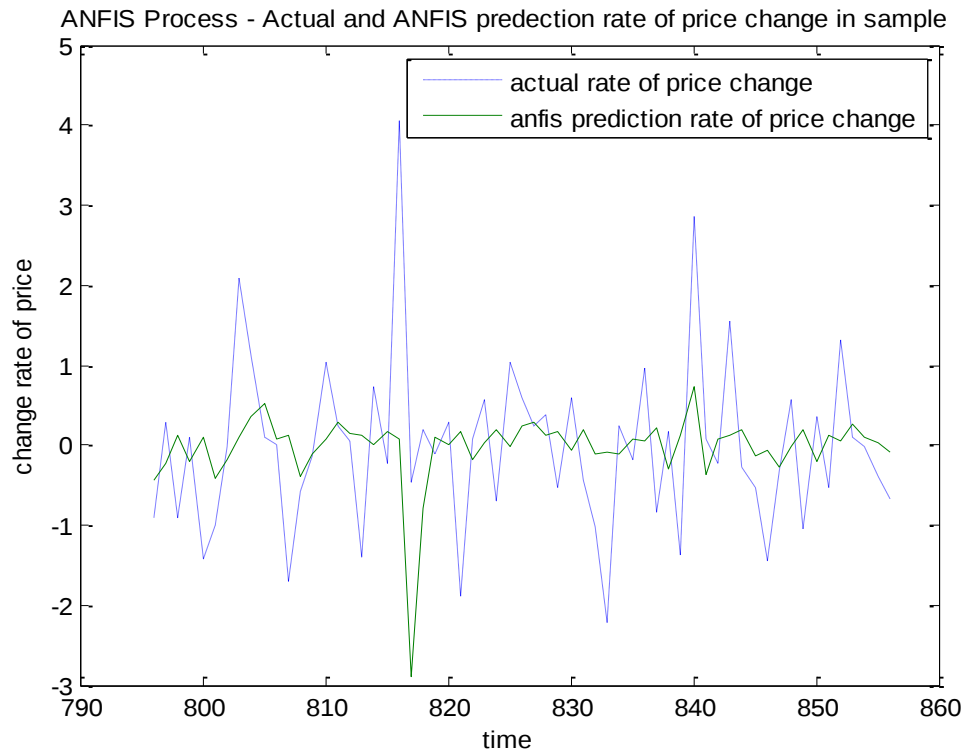
Γράφημα 12: Διάγραμμα των συναρτήσεων συμμετοχής του PR-ANFIS πριν από την εκπαίδευση όπως έχουν οριστεί από τον χρήστη.



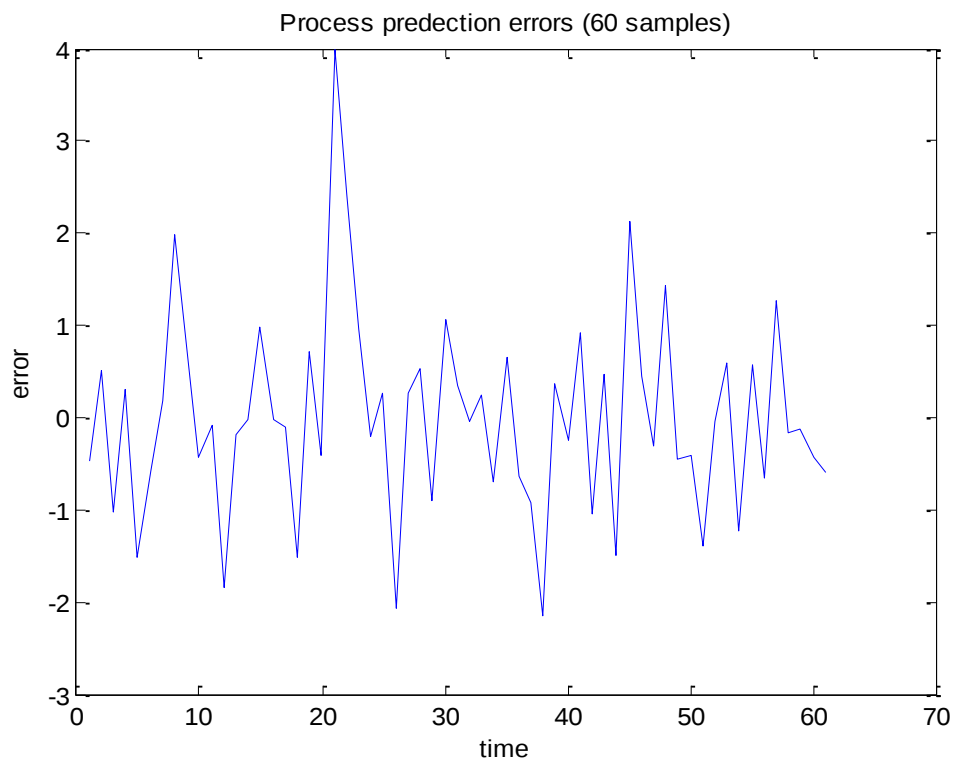
Γράφημα 13: Διάγραμμα των συναρτήσεων συμμετοχής του PR-ANFIS μετά την εκπαίδευση



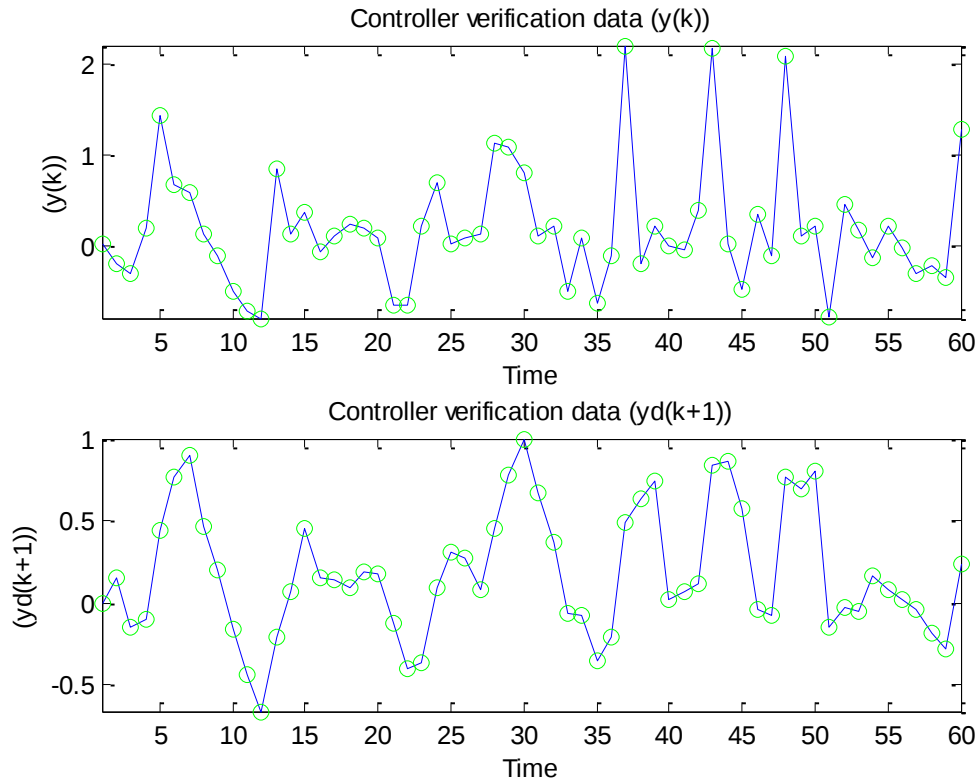
Γράφημα 14: Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) και το βήμα μάθησης (step size) του PR-ANFIS.



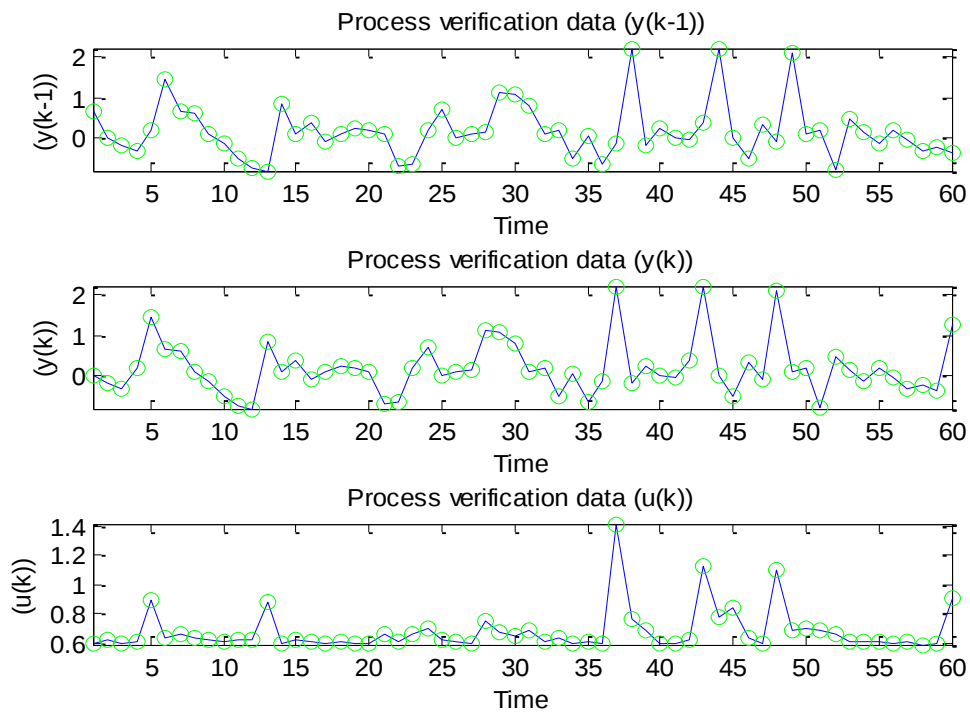
Γράφημα 15: Πραγματική τιμή του $\gamma(k+1)$ και έξοδος του PR-ANFIS για τα τελευταία 60 δείγματα.



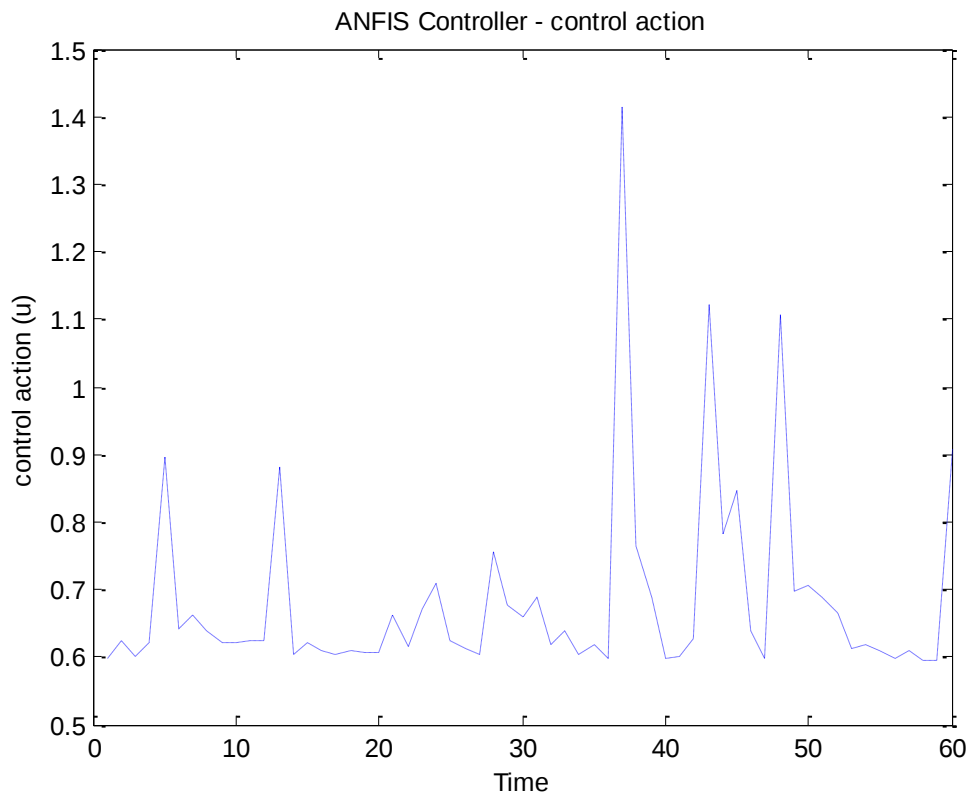
Γράφημα 16: Διάγραμμα σφάλματος της πρόβλεψης του PR-ANFIS



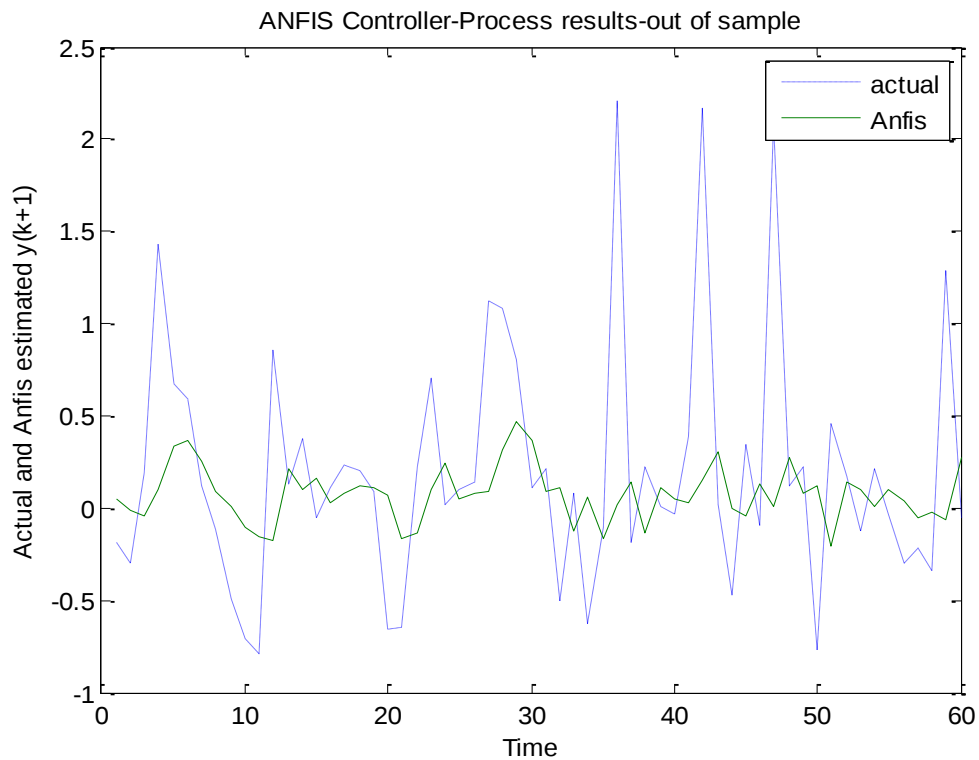
Γράφημα 17: Γραφική παράσταση των δεδομένων των εισόδων του ελεγκτή κατά την αξιολόγηση.



Γράφημα 18: Γραφική παράσταση των δεδομένων των εισόδων της διαδικασίας κατά την αξιολόγηση

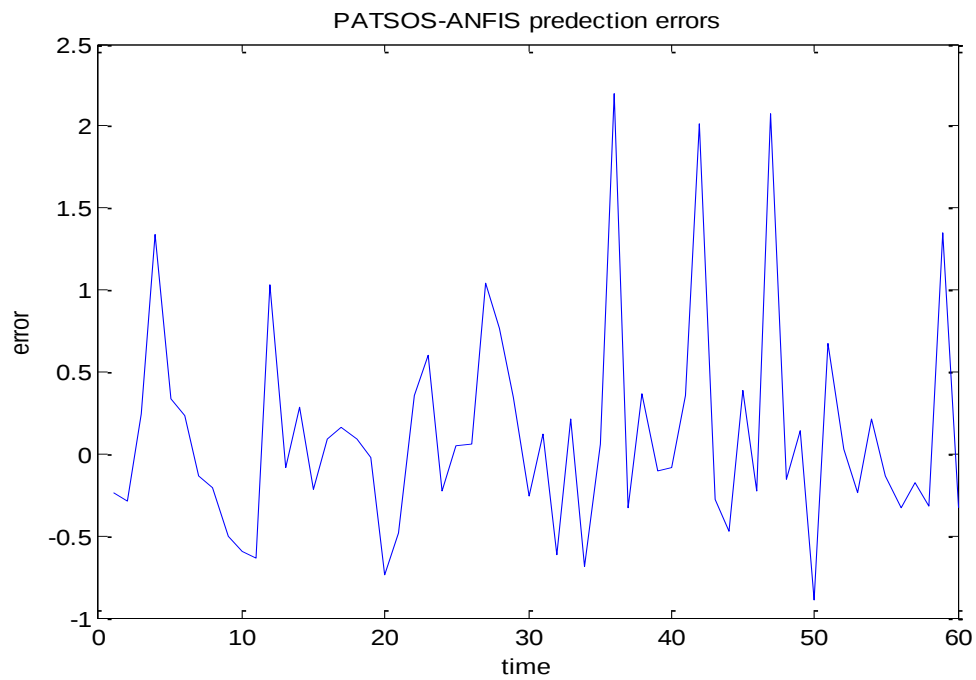


Γράφημα 19: Η ενέργεια ελέγχου που παράγει ο ελεγκτής του συστήματος

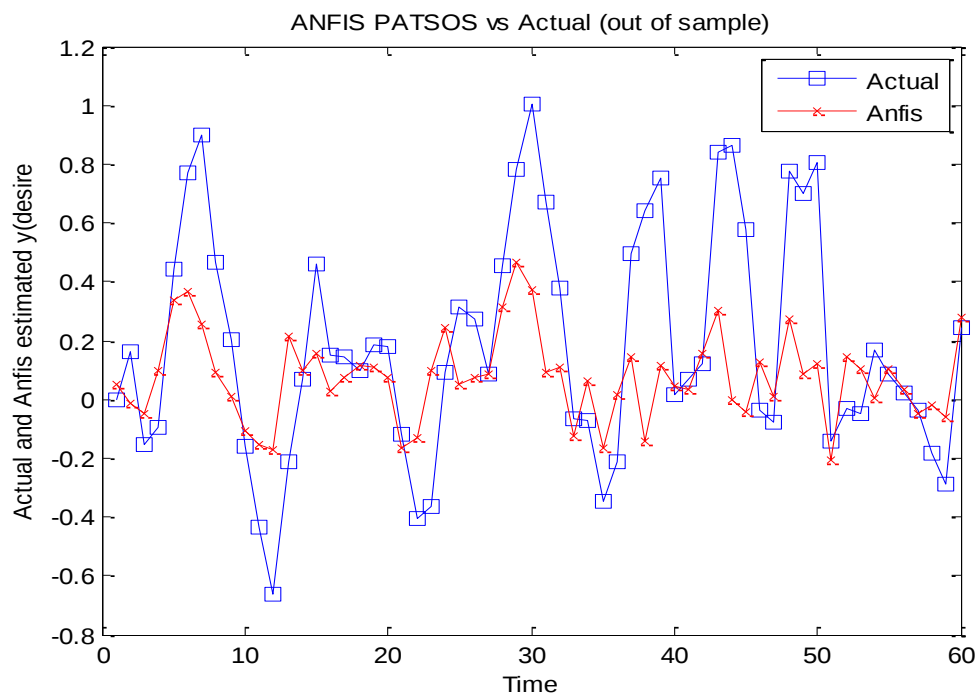


Γράφημα 20: Η ενέργεια ελέγχου που παράγει ο ελεγκτής του συστήματος PATSOS
εκτός δείγματος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



Γράφημα 21: Το σφάλμα της πρόβλεψης του συστήματος PATSONS



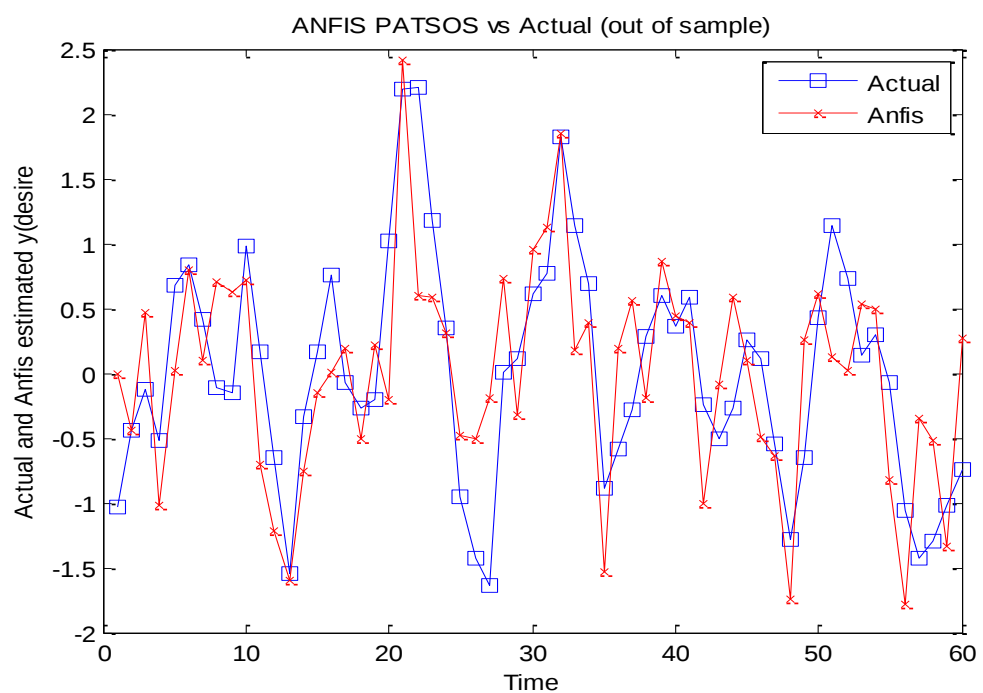
Γράφημα 22: Τάση των τιμών του PATSONS σε σχέση με την πραγματική τάση

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο στις περισσότερες περιπτώσεις συλλαμβάνει τη σωστή τάση και αυτό μας δείχνει την σχετικά μεγάλη αποδοτικότητα του.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου σε μορφή πινάκων. Τα αποτελέσματα θα αφορούν όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω τα εξής: το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE), τη ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE), το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE), την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου (ROE), το ποσοστό επιτυχίας τάσης (success trend), τον αριθμό των συναλλαγών που προτείνει το μοντέλο, τη στρατηγική αγοράς και διακράτηση (buy and hold), τη διαφορά απόδοση κεφαλαίου μείον τη στρατηγική αγοράς και διακράτησης, και το ποσοστό της διαφοράς αυτής σε σχέση με την στρατηγική αγοράς και διακράτησης (buy and hold) για κάθε ένα προϊόν, χρησιμοποιώντας 5 διαφορετικές συναρτήσεις συμμετοχής κάθε φορά. Επίσης θα παρουσιάσουμε και για κάθε προϊόν το διάγραμμα τάσης των τιμών του PATSOS σε σχέση με την πραγματική τάση, της συνάρτησης συμμετοχής που δίνει το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας όσον αφορά την τάση των τιμών.

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
USA cotton	0,0158	0,00025	0,0121	51,66	24	bell
	0,0158	0,00025	0,012	48,33	29	gauss
	0,0158	0,00025	0,0121	53,33	22	gauss2
	0,0159	0,00025	0,0121	53,33	25	trapez
	0,0156	0,00024	0,0121	50	24	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	0,11	2,093	-1,983	-94,74		bell
	-0,57	2,093	-2,663	-127,23		gauss
	0,04	2,093	-2,053	-98,09		gauss2
	1,14	2,093	-0,953	-45,53		trapez
	0,014	2,093	-2,079	-99,33		triang

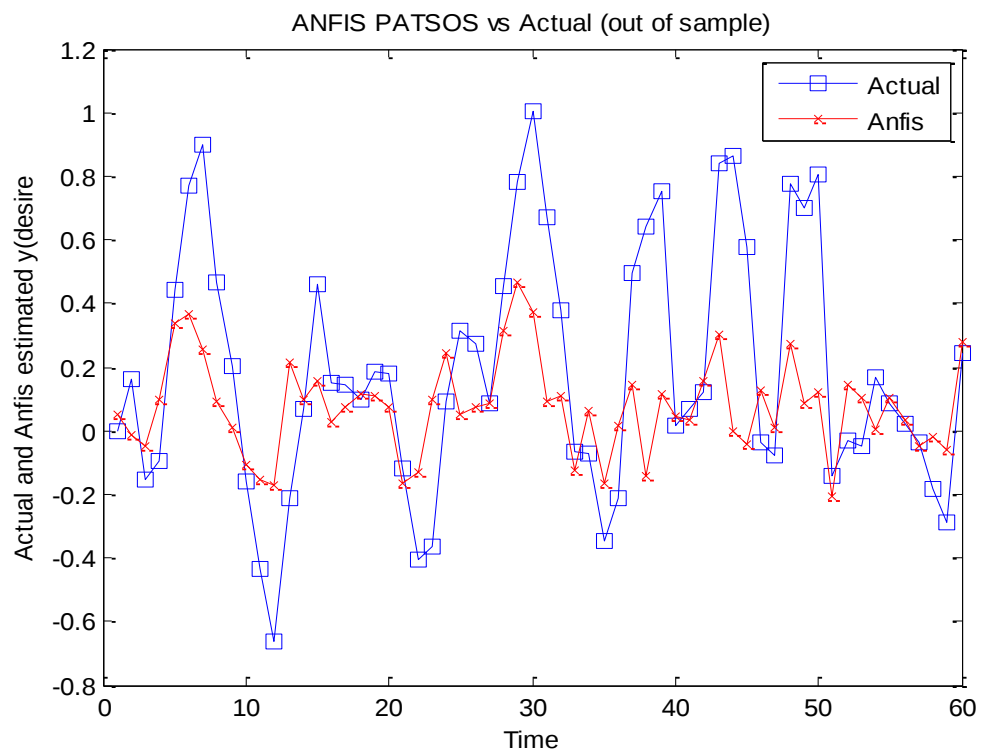
Παρατηρούμε από τον πίνακα ότι παρόλο που η επιτυχία της πρόβλεψης καθώς και η απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου είναι μεγαλύτερη με τη συνάρτηση trapezium και για αυτό το λόγο είναι προτιμότερη.



Γράφημα 23: Τάση των τιμών του βαμβακιού ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
Gold	0,0068	0,000047	0,0048	60	27	bell
	0,0068	0,000047	0,0049	60	21	gauss
	0,0068	0,000047	0,0048	58,33	27	gauss2
	0,0068	0,000046	0,0047	56,66	27	trapez
	0,0069	0,00005	0,4527	60	21	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	10,6	12,5249	-1,9197	-15,33		bell
	11,9	12,5249	-0,6349	-5,07		gauss
	10,2	12,5249	-2,3749	-18,96		gauss2
	7,89	12,5249	-4,6349	-37,01		trapez
	9,94	12,5249	-2,58	-20,60		triang

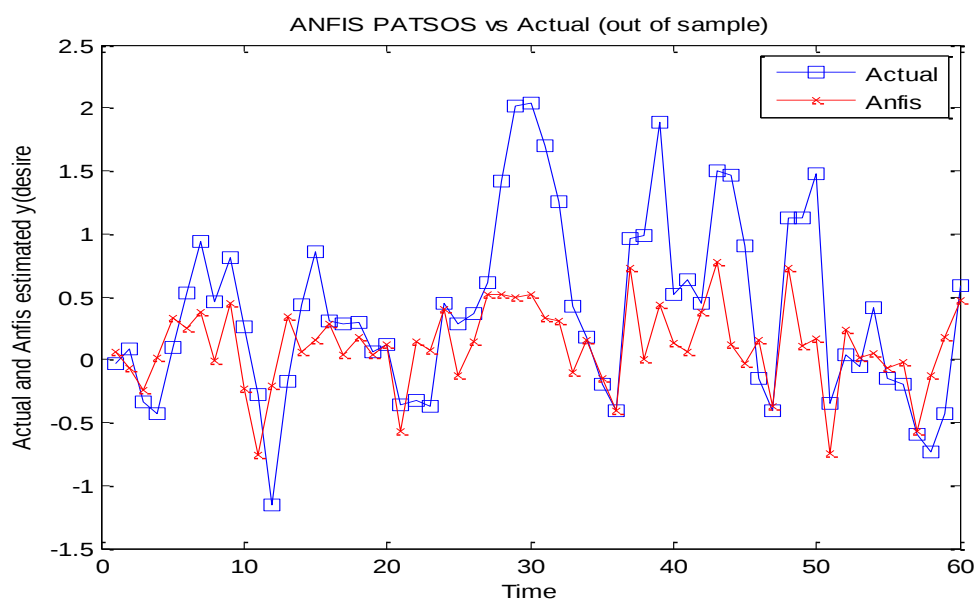
Από τα αποτελέσματα του πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση gauss έχει το μικρότερο RMSE, τη μεγαλύτερη επιτυχία πρόβλεψης αλλά και τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 24: Τάση των τιμών του χρυσού

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
Silver	0,0138	0,00019	0,0096	51,66	23	bell
	0,0139	0,00019	0,0097	48,33	29	gauss
	0,0137	0,00018	0,0095	45	33	gauss2
	0,0131	0,00017	0,0092	51,66	23	trapez
	0,0133	0,00017	0,0096	51,66	21	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	14,2	27,81	-13,63	-49,01		bell
	13,13	27,81	-14,68	-52,79		gauss
	11,8	27,81	-16,01	-57,57		gauss2
	17,98	27,81	-9,83	-35,35		trapez
	18,4	27,81	-9,45	-33,98		triang

Η συνάρτηση triangular δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά το την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου οπότε είναι η προτιμότερη. Επίσης έχει και τη μεγαλύτερη επιτυχία πρόβλεψης.

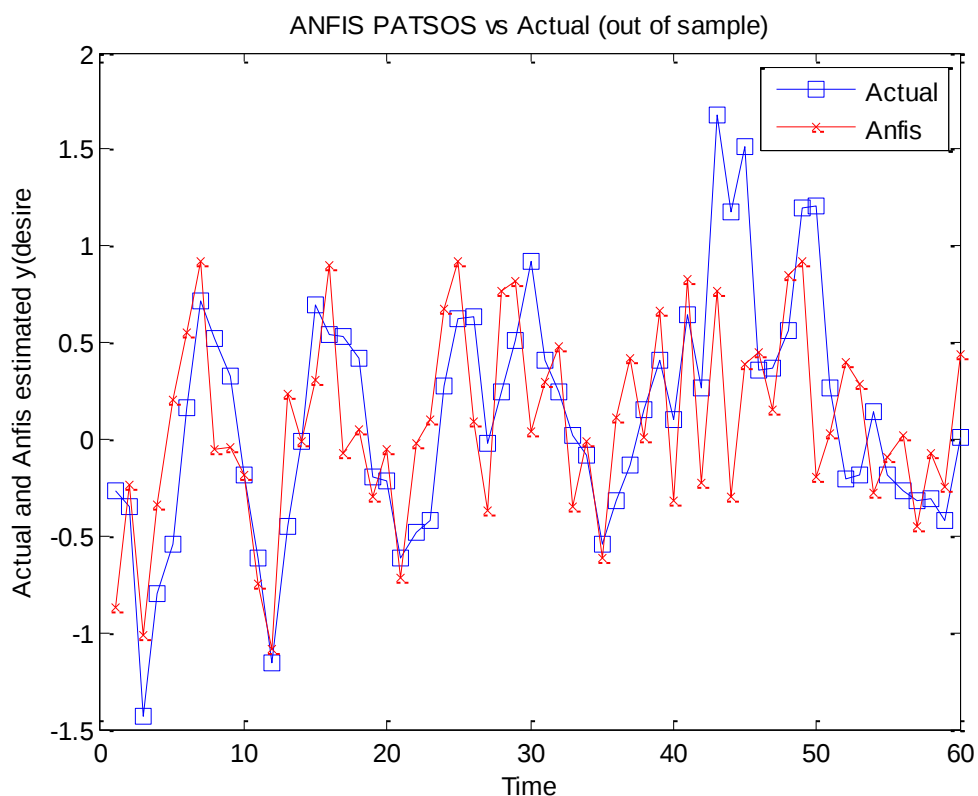


Γράφημα 25: Τάση των τιμών του ασημιού

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
Copper	0,0105	0,00011	0,0078	56,66	29	bell
	0,0103	0,0001	0,0076	63,33	27	gauss
	0,0104	1,063	0,0078	56,66	27	gauss2
	0,0105	0,00011	0,0078	61,66	25	trapez
	0,0107	0,00014	0,0079	63,33	25	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	3,15	9,4961	-6,3461	-66,83		bell

6,2	9,4961	-3,2961	-34,71	gauss
6,01	9,4961	-3,4861	-36,71	gauss2
5,71	9,4961	-3,7861	-39,87	trapez
7,77	9,4961	-1,7261	-18,18	triang

Από τον πίνακα η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η triangular γιατί δίνει την καλύτερη απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου καθώς και επιτυχία πρόβλεψης.

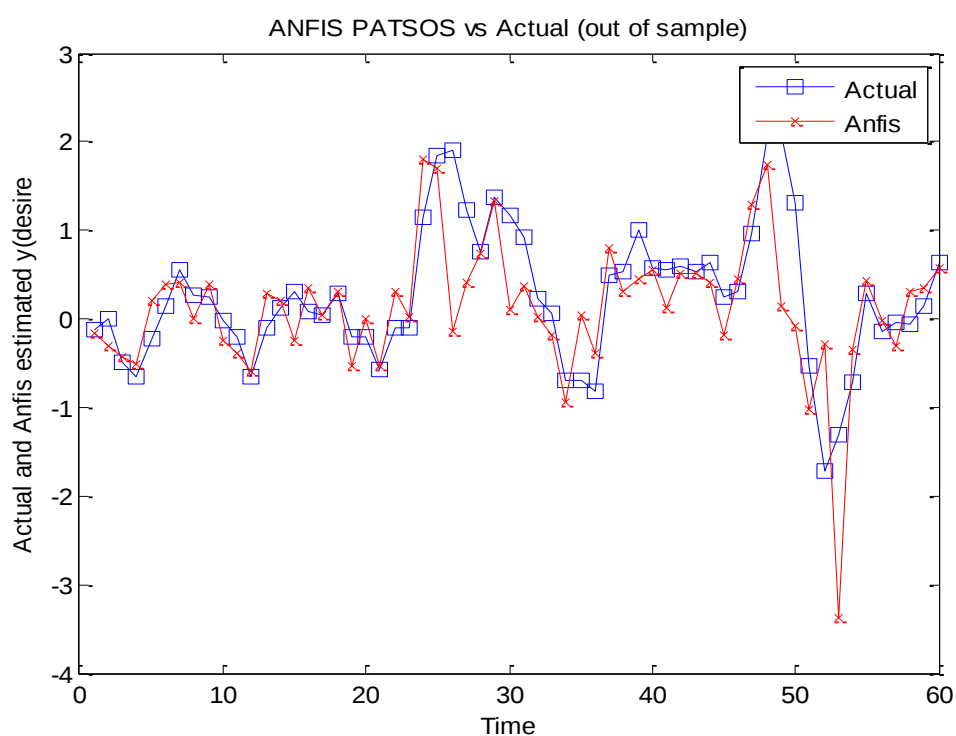


Γράφημα 26: Τάση των τιμών του χαλκού

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
Platinum	0,011	0,00012	0,0086	60	19	bell
	0,012	0,00014	0,0089	61,66	21	gauss
	0,011	0,00012	0,0087	58,33	21	gauss2
	0,0106	0,00011	0,0084	61,66	21	trapez
	0,011	0,00012	0,0086	61,66	21	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	18,2	18,0718	0,0982	0,543		bell
	20,8	18,0718	2,7282	15,09		gauss
	1,78	18,0718	-0,3218	-1,78		gauss2
	20,8	18,0718	2,7282	15,10		trapez

18,7	18,0718	0,6682	3,70	triang
------	---------	--------	------	--------

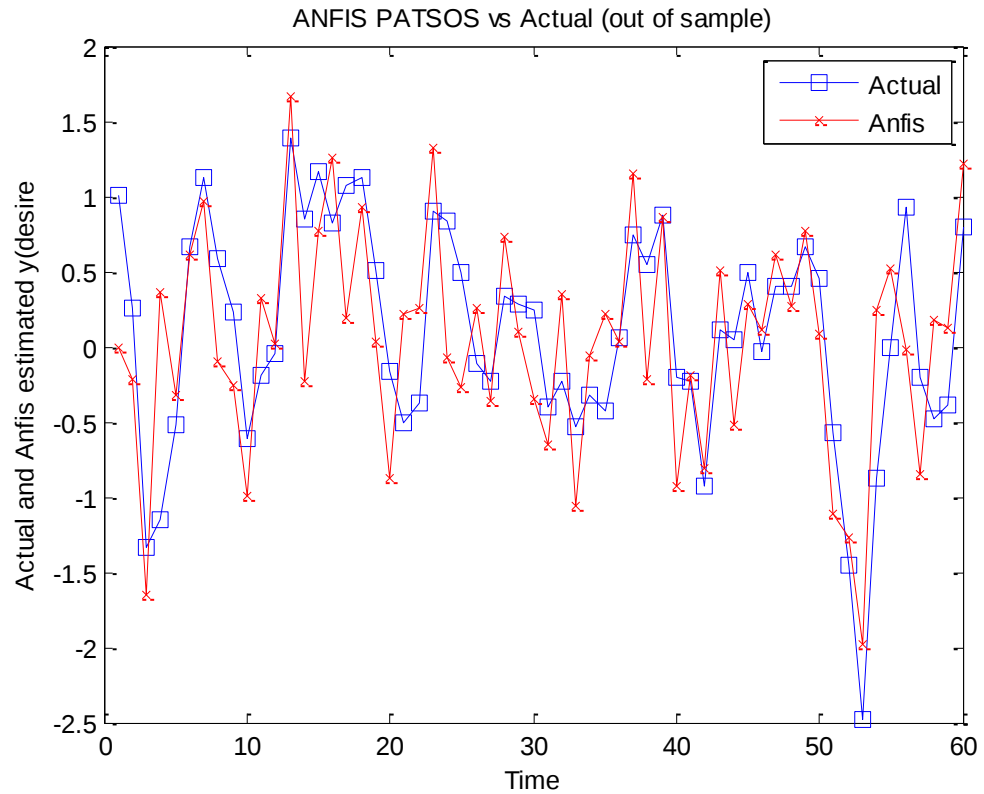
Μπορούμε να πούμε ότι η οι συναρτήσεις gauss και trapezius είναι η βέλτιστες διότι δίνουν τη μέγιστη επιτυχία πρόβλεψης και τη μεγαλύτερη απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου. Η trapezius δίνει απλά ελάχιστα μειωμένο σφάλμα σε σχέση με τη gauss.



Γράφημα 27: Τάση των τιμών της πλατίνας

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
Brent Oil	0,014	0,00019	0,011	51,66	31	bell
	0,014	0,00019	0,012	56,66	27	gauss
	0,014	0,0002	0,015	53,33	29	gauss2
	0,0143	0,0002	0,012	53,33	28	trapez
	0,0137	0,00018	0,011	50	33	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	4,99	5,6622	-0,6722	-11,87		bell
	9,48	5,6622	3,8178	67,42		gauss
	6,73	5,6622	1,0678	18,85		gauss2
	8,11	5,6622	2,4478	43,23		trapez
	3,80	5,6622	-1,8622	-32,88		triang

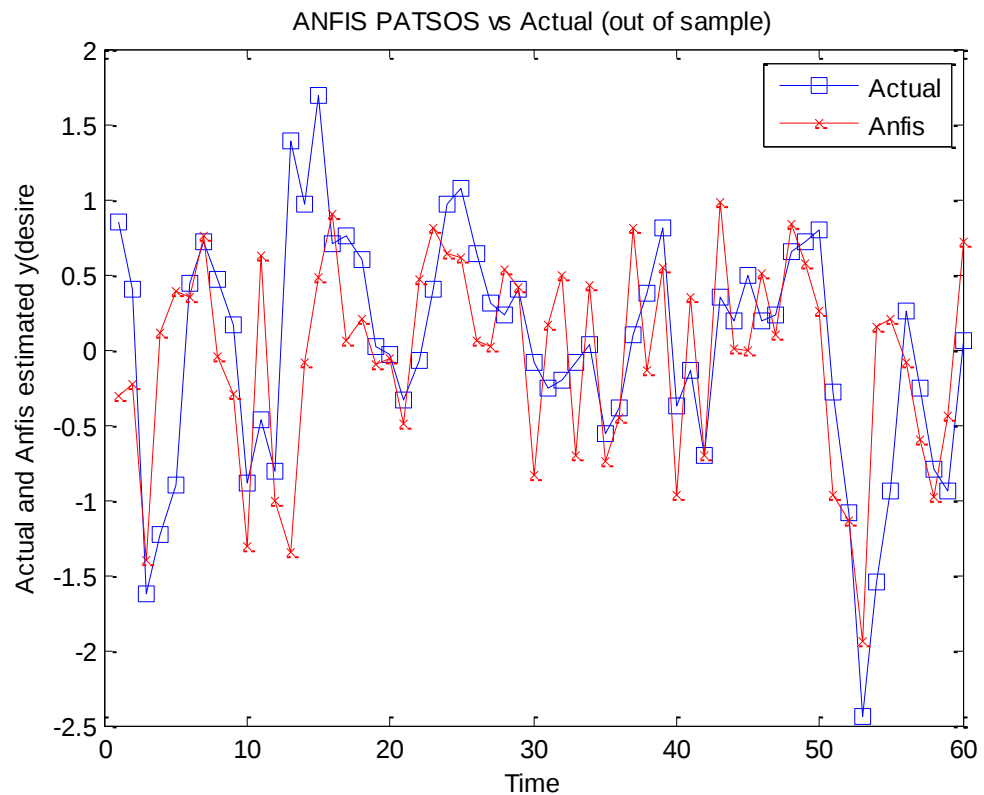
Η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η gauss διότι δίνει τη μεγαλύτερη απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου η οποία είναι πολύ υψηλότερη από αυτή άλλων συναρτήσεων και τη μέγιστη επιτυχία πρόβλεψης. Όσον αφορά το RMSE είναι σχεδόν ίδιο με της trapezius η οποία δίνει το μικρότερο.



Γράφημα 28: Τάση των τιμών του κατεργασμένου πετρελαίου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
CRUDE OIL	0,015	0,00023	0,011	45	27	bell
	0,015	0,00023	0,011	50	27	gauss
	0,015	0,00023	0,011	48,33	29	gauss2
	0,015	0,00022	0,011	48,33	29	trapez
	0,015	0,00023	0,011	46,66	25	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	-0,36	0,6356	-0,9956	-156,3		bell
	0,79	0,6356	0,1544	24,29		gauss
	0,11	0,6356	-0,5256	-82,69		gauss2
	-0,9	0,6356	-1,5356	-241,59		trapez
	-0,18	0,6356	-0,8156	-128,31		triang

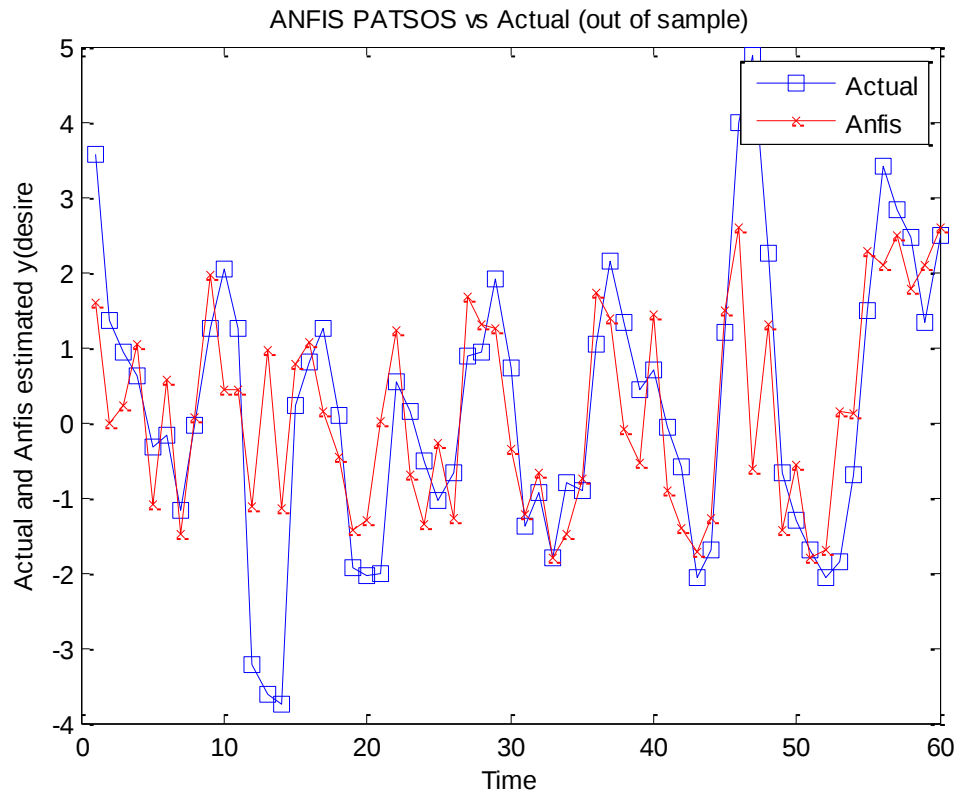
Η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η gauss διότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και για το RMSE, και για την επιτυχία πρόβλεψης και για την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 29: Τάση των τιμών του αργού πετρελαίου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
NATURAL GAS	0,031	0,0008	0,0025	53,33	21	bell
	0,03	0,0008	0,0022	53,33	23	gauss
	0,029	0,0008	0,0022	55	25	gauss2
	0,03	0,0009	0,0024	45	23	trapez
	0,003	0,0009	0,024	45	25	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	9,81	5,8881	3,9219	66,60		bell
	9,51	5,8881	3,6219	61,51		gauss
	13,3	5,8881	7,4019	125,70		gauss2
	-1,8	5,8881	-7,7181	-131,07		trapez
	-5,93	5,8881	-11,8181	-200,71		triang

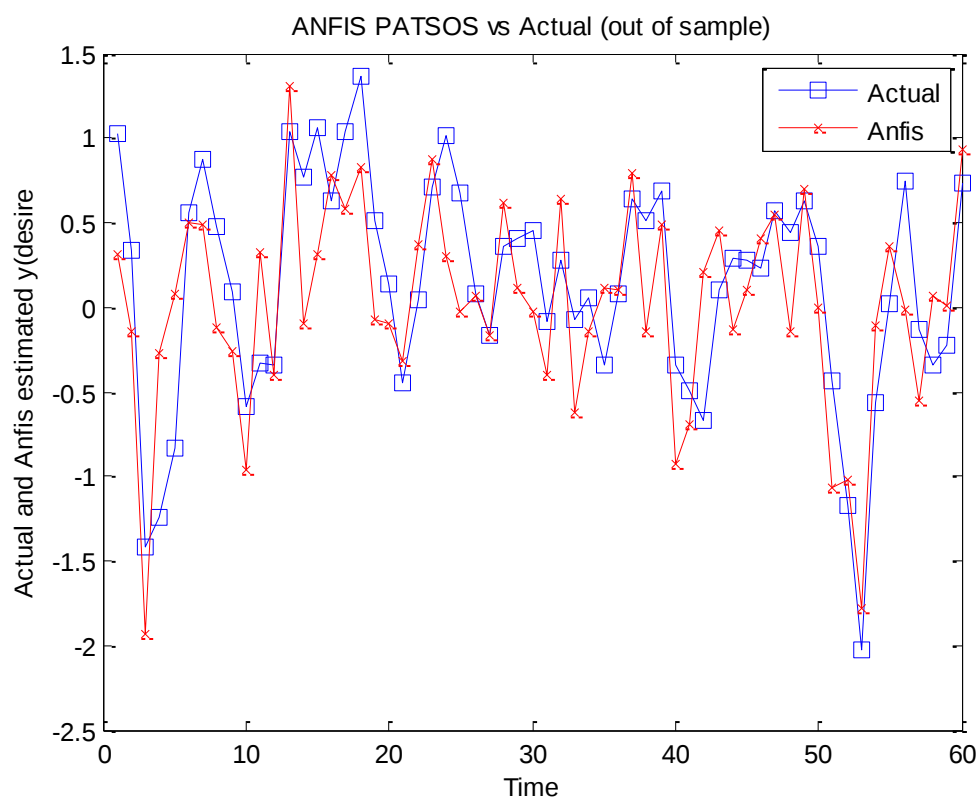
Η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η gauss 2 διότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και για το RMSE, και για την επιτυχία πρόβλεψης και για την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 30: Τάση των τιμών του φυσικού αερίου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
HEATING OIL	0,013	0,00016	0,0098	46,66	29	bell
	0,012	0,00015	0,0096	45	31	gauss
	0,012	0,00015	0,0097	46,66	29	gauss2
	0,012	0,00016	0,0096	45	29	trapez
	0,013	0,00017	0,0101	43,33	31	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	6,64	8,2802	-1,6402	-19,81		bell
	5,04	8,2802	-3,2402	-39,13		gauss
	7,92	8,2802	-0,3602	-4,35		gauss2
	5,37	8,2802	-2,9102	-35,14		trapez
	4,35	8,2802	-3,9302	-47,46		triang

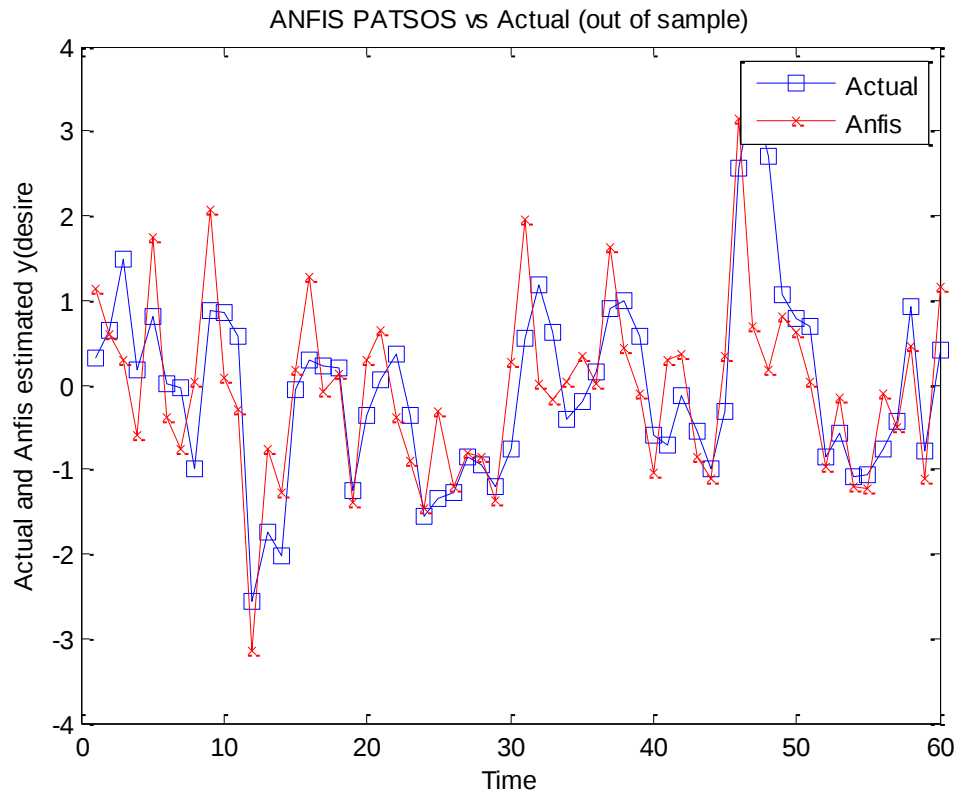
Η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η gauss 2 διότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και για το RMSE, και για την επιτυχία πρόβλεψης και για την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 31: Τάση των τιμών του πετρελαίου θέρμανσης

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
US	0,022	0,00048	0,017	50	25	bell
COFFEE	0,022	0,00048	0,017	46,66	25	gauss
	0,021	0,00047	0,017	45	27	gauss2
	0,022	0,0005	0,018	55	21	trapez
	0,022	0,00048	0,017	50	25	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	-5,27	-5,7767	0,5067	8,77		bell
	-4,56	-5,7767	1,2167	21,06		gauss
	-6,66	-5,7767	-0,8833	-15,29		gauss2
	4,08	-5,7767	9,8567	170,62		trapez
	-5,96	-5,7767	-0,1833	-3,17		triang

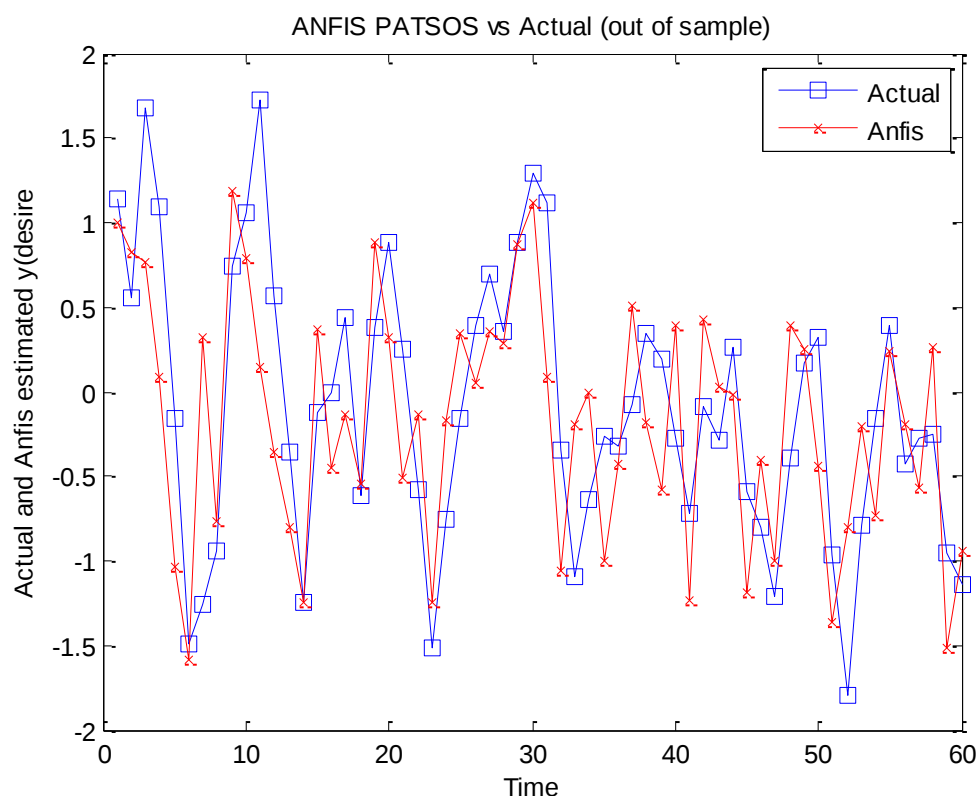
Η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η trapezium διότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα για την επιτυχία πρόβλεψης και για την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου και πολύ ικανοποιητικά όσον αφορά το σφάλμα.



Γράφημα 32: Τάση των τιμών του καφέ ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
US	0,0165	0,00027	0,013	55	28	bell
CORN	0,0164	0,00027	0,013	55	28	gauss
	0,0166	0,00028	0,013	51,66	28	gauss2
	0,0162	0,00026	0,013	55	28	trapez
	0,017	0,0003	0,014	53,33	30	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	-5,82	-7,9963	2,1763	27,21		bell
	-0,82	-7,9963	7,1763	89,74		gauss
	-5,42	-7,9963	2,5763	32,21		gauss2
	-0,82	-7,9963	7,1763	89,74		trapez
	-2,06	-7,9963	5,9363	74,23		triang

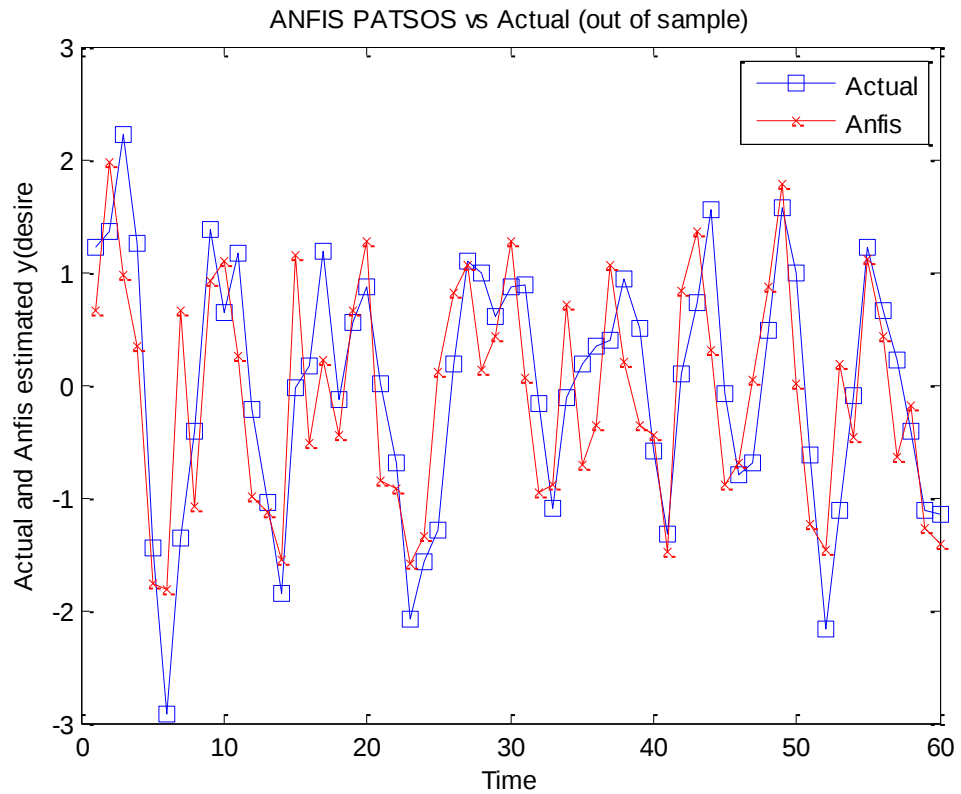
Παρατηρούμε στον πίνακα ότι η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η trapezoid η οποία συμπεριφέρεται βέλτιστα όσον αφορά το RMSE, την επιτυχία της πρόβλεψης και της απόδοσης του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 33: Τάση των τιμών του καλαμποκιού ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
US	0,022	0,00049	0,017	51,66	22	bell
WHEAT	0,022	0,00048	0,017	51,66	22	gauss
	0,022	0,0005	0,018	50	26	gauss2
	0,022	0,00049	0,017	51,66	22	trapez
	0,022	0,00048	0,017	51,66	20	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	-6,00	-5,8308	-0,1692	-2,90		bell
	-6,00	-5,8308	-0,1692	-2,90		gauss
	-4,43	-5,8308	1,4008	24,02		gauss2
	-4,46	-5,8308	1,3708	23,50		trapez
	-4,9	-5,8308	0,9308	15,96		triang

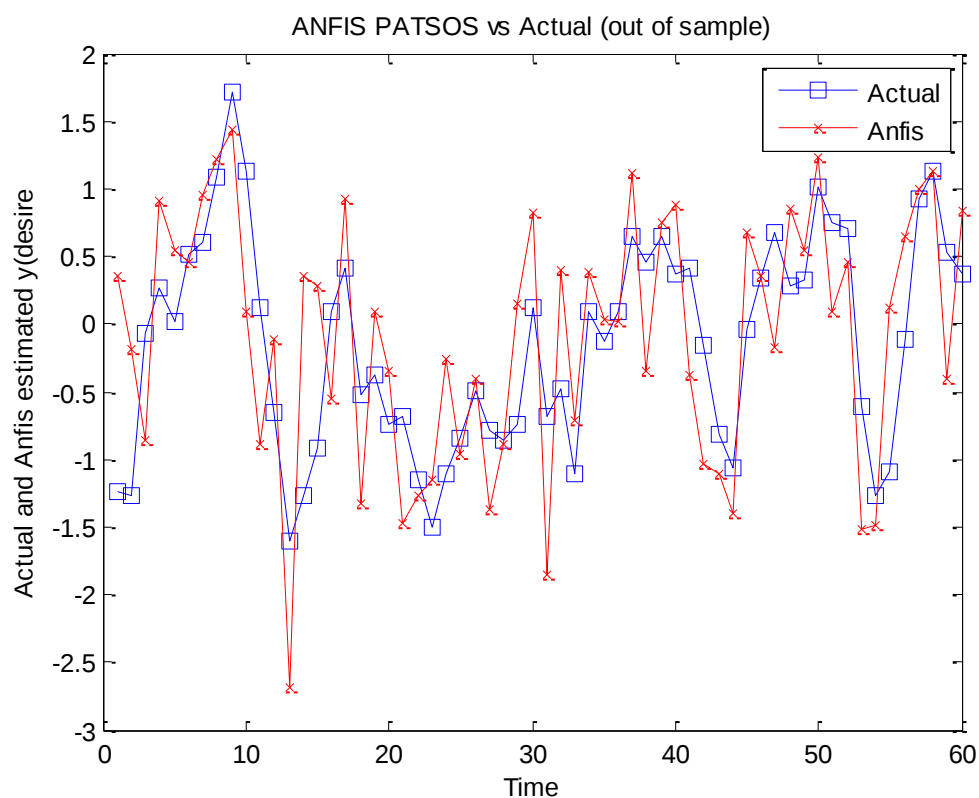
Παρατηρούμε στον πίνακα ότι η συνάρτηση που συμπεριφέρεται καλύτερα είναι η trapezius η οποία συμπεριφέρεται βέλτιστα όσον αφορά το RMSE, την επιτυχία της πρόβλεψης και της απόδοσης του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 34: Τάση των τιμών του σιταριού ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
LONDON SUGAR	0,014	0,0002	0,011	58,33	23	bell
	0,014	0,00021	0,011	58,33	23	gauss
	0,014	0,00019	1,11	56,66	27	gauss2
	0,014	0,0002	1,11	55	27	trapez
	0,014	0,00019	1,11	53,33	29	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	5,39	-7,2727	12,6627	174,11		bell
	5,39	-7,2727	12,6627	174,11		gauss
	2,54	-7,2727	9,8127	134,92		gauss2
	1,36	-7,2727	8,6327	118,70		trapez
	0,44	-7,2727	7,7127	106,05		triang

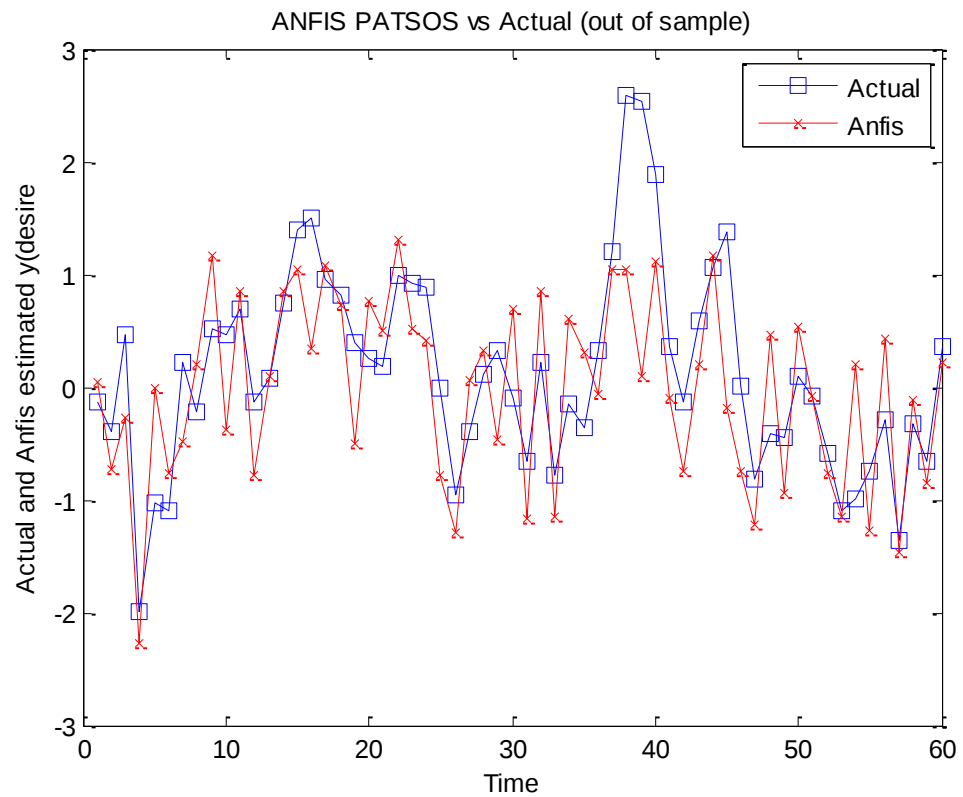
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση bell και η συνάρτηση gauss συμπεριφέρονται καλύτερα και στα 3 κριτήρια μας.



Γράφημα 35: Τάση των τιμών της ζάχαρης Λονδίνου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
US Cocoa	0,018	0,00032	0,014	40	31	bell
	0,018	0,00032	0,014	40	31	gauss
	0,018	0,00033	0,015	43,33	29	gauss2
	1,7882	0,00032	0,014	38,33	33	trapez
	0,018	0,00033	0,015	41,66	33	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	3,13	8,8729	-5,7429	-64,72		bell
	3,84	8,8729	-5,0329	-56,72		gauss
	5,31	8,8729	-3,5629	-40,15		gauss2
	1,76	8,8729	-7,1129	-80,16		trapez
	2,78	8,8729	-6,0929	-68,66		triang

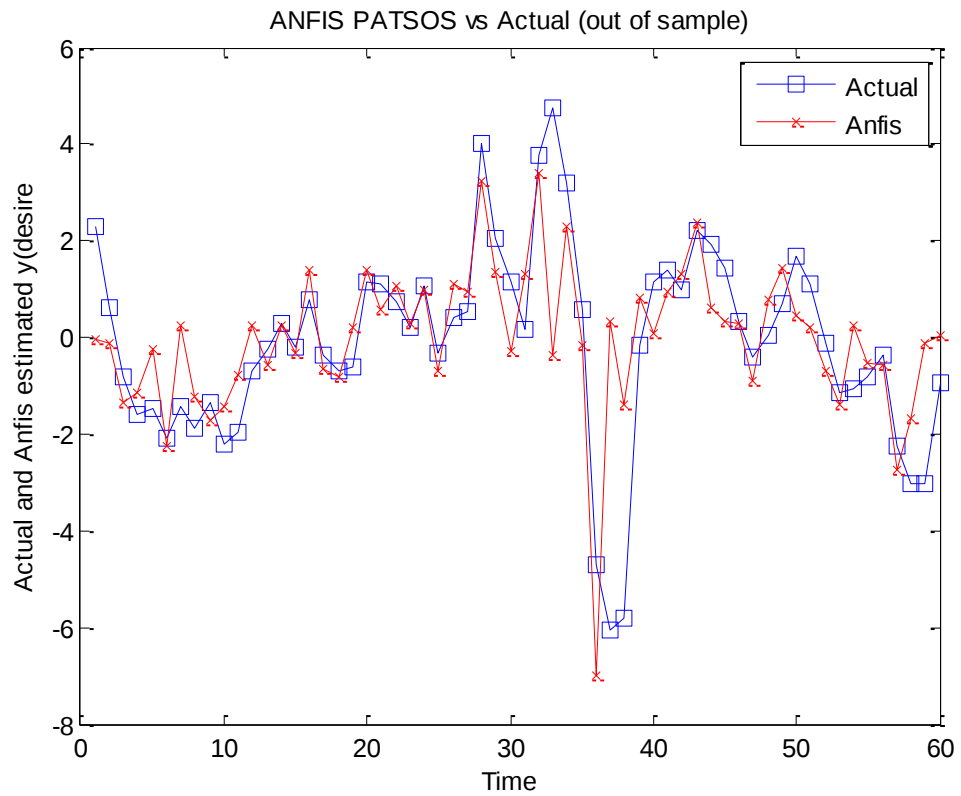
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση gauss 2 δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και για το RMSE, και για την επιτυχία πρόβλεψης και για την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 36: Τάση των τιμών του κακάο ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
Orange Juice	0,033	0,0011	0,022	58,33	25	bell
	0,032	0,001	0,022	55	27	gauss
	0,031	0,00096	0,021	55	25	gauss2
	0,033	0,0011	0,023	48,33	25	trapez
	0,034	0,0012	0,024	50	29	triang
	ROE_c	buy_hold	Difference	% of difference		
	17	-11,9875	28,9875	241,81		bell
	15,7	-11,9875	27,6775	230,88		gauss
	15,7	-11,9875	27,6675	230,80		gauss2
	-3,59	-11,9875	8,3975	70,05		trapez
	5,86	-11,9875	17,8475	148,88		triang

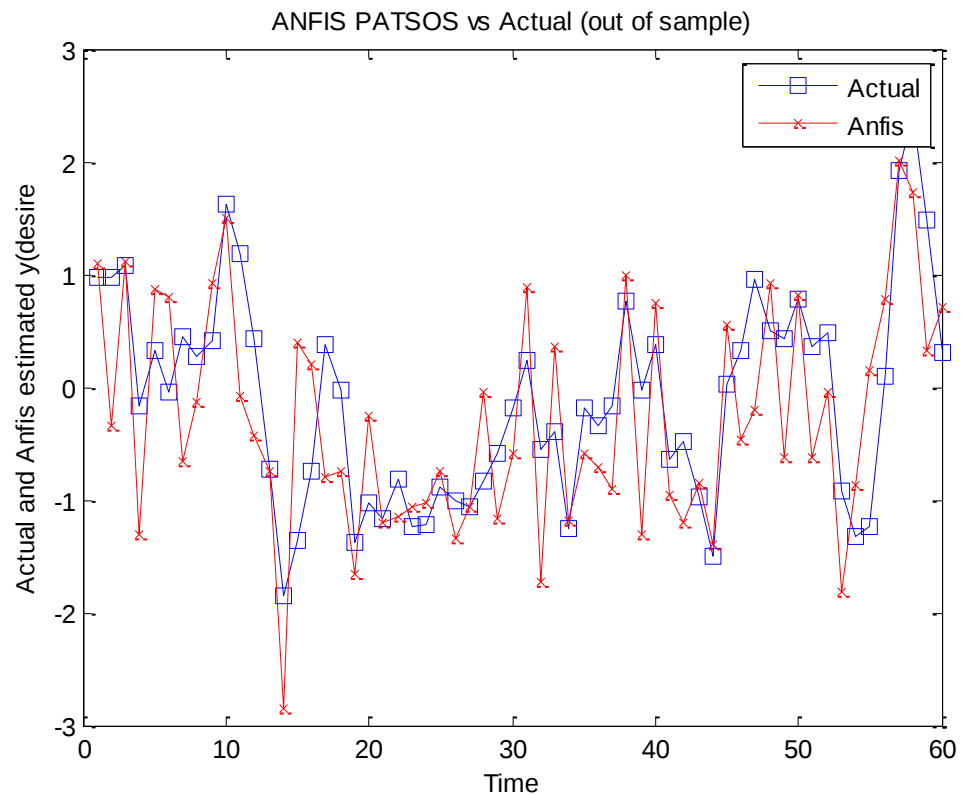
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση bell δίνει την καλύτερη επιτυχία πρόβλεψης και τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου. Οπότε είναι προτιμότερη από τις άλλες.



Γράφημα 37: Τάση των τιμών του χυμού πορτοκάλι

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
US Sugar	0,018	0,00034	0,014	43,33	29	bell
	0,018	0,00034	0,014	43,33	27	gauss
	0,018	0,00033	0,014	46,66	25	gauss2
	0,018	0,00033	0,014	46,66	29	trapez
	0,018	0,00034	0,014	48,33	27	triang
	% of					
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	-3,53	-9,1111	5,5811	61,25		bell
	-3,88	-9,1111	5,2311	57,41		gauss
	0,2186	-9,1111	9,3297	102,39		gauss2
	-1,18	-9,1111	7,9311	87,04		trapez
	0,09	-9,1111	9,2011	100,98		triang

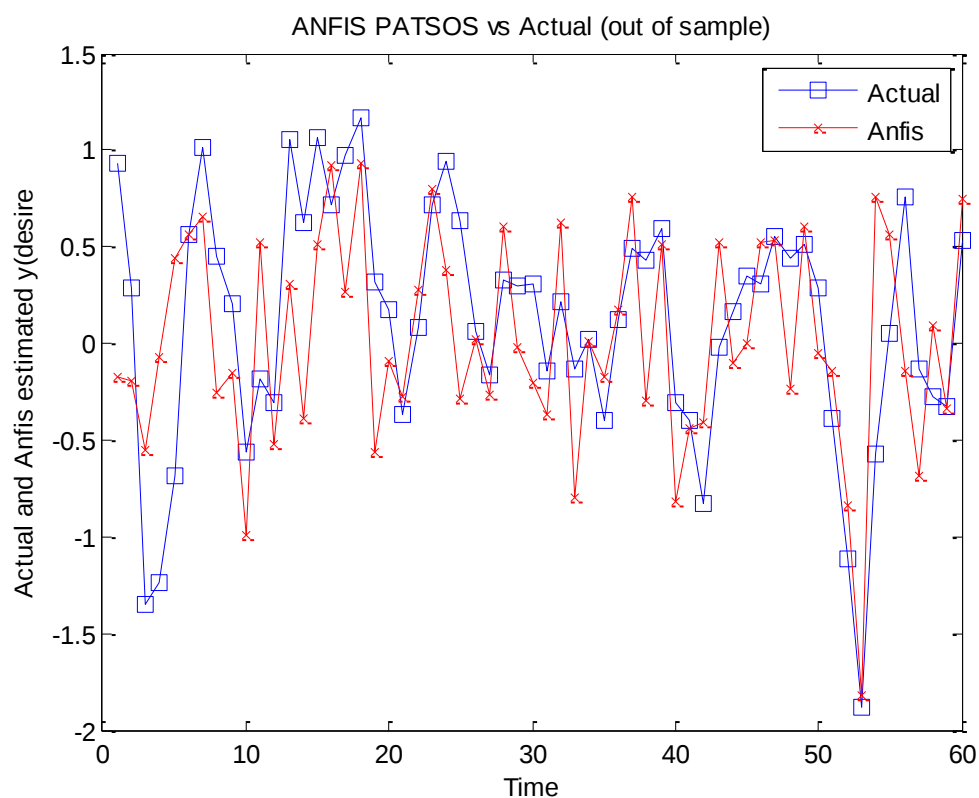
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση gauss 2 δίνει το ελάχιστο RMSE, τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου και τη δεύτερη καλύτερη επιτυχία πρόβλεψης.



Γράφημα 38: Τάση των τιμών της ζάχαρης ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
London Gas Oil	0,012	0,00015	0,01	38,33	35	bell
	0,012	0,00015	0,009	40	37	gauss
	0,013	0,00016	0,01	40	37	gauss2
	0,013	0,00016	0,01	45	31	trapez
	0,012	0,00015	0,01	50	29	triang
	% of					
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	-0,77	6,9068	-7,6768	-111,14		bell
	1,98	6,9068	-4,9268	-71,33		gauss
	2,73	6,9068	-4,1768	-60,47		gauss2
	3,25	6,9068	-3,6568	-52,94		trapez
	5,52	6,9068	-1,3868	-20,07		triang

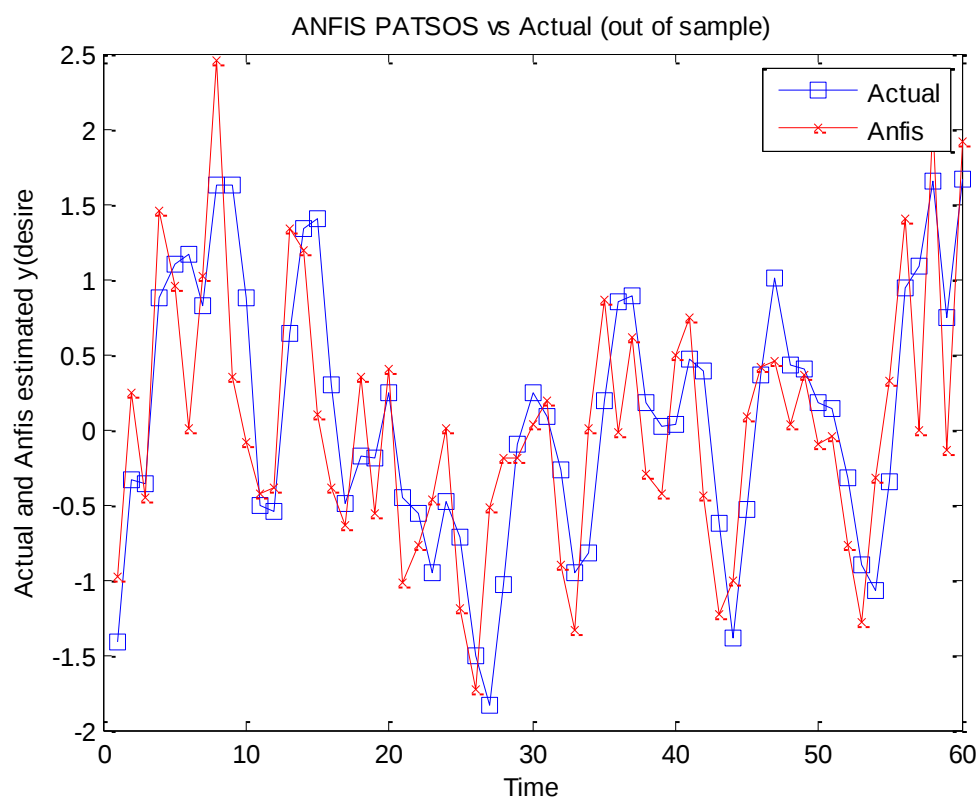
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση triangular συμπεριφέρεται σε όλα τα κριτήριά μας καλύτερα από κάθε άλλη.



Γράφημα 39: Τάση των τιμών του υγραερίου Λονδίνου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
London Coffee	0,014	0,00021	0,011	43,33	31	bell
	0,015	0,00022	0,012	45	27	gauss
	0,014	0,002	0,012	41,66	27	gauss2
	0,014	0,00022	0,012	43,33	29	trapez
	0,015	0,00021	0,011	43,33	33	triang
	% of					
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	4,41	7,8635	-3,4535	-43,91		bell
	5,81	7,8635	-2,0535	-26,11		gauss
	7,07	7,8635	-0,7935	-10,09		gauss2
	3,07	7,8635	-4,7935	-60,95		trapez
	4,37	7,8635	-3,4935	-44,42		triang

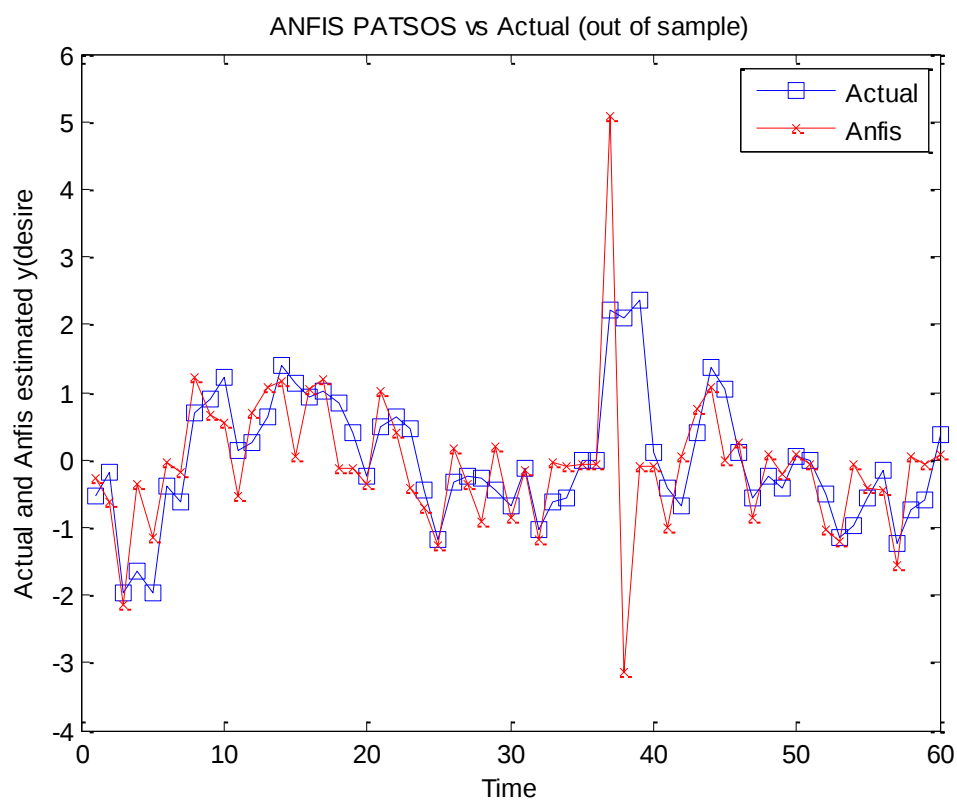
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση gauss 2 δίνει το ελάχιστο RMSE, και τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου, άρα και η προτιμότερη συνάρτηση.



Γράφημα 40: Τάση των τιμών του καφέ Λονδίνου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
London Cocoa	0.019	0.00035	0.013	50	25	bell
	0.018	0.00033	0.013	50	23	gauss
	0.017	0.00029	0.012	51.66	17	gauss2
	0.018	0.00031	0.013	50	25	trapez
	0.018	0.00033	0.013	50	25	triang
	% of					
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	7.1	2.193	4.907	223,75		bell
	7.18	2.193	4.987	227,40		gauss
	7.56	2.193	5.367	244,73		gauss2
	6.17	2.193	3.977	181,34		trapez
	11.37	2.193	9.177	418,46		triang

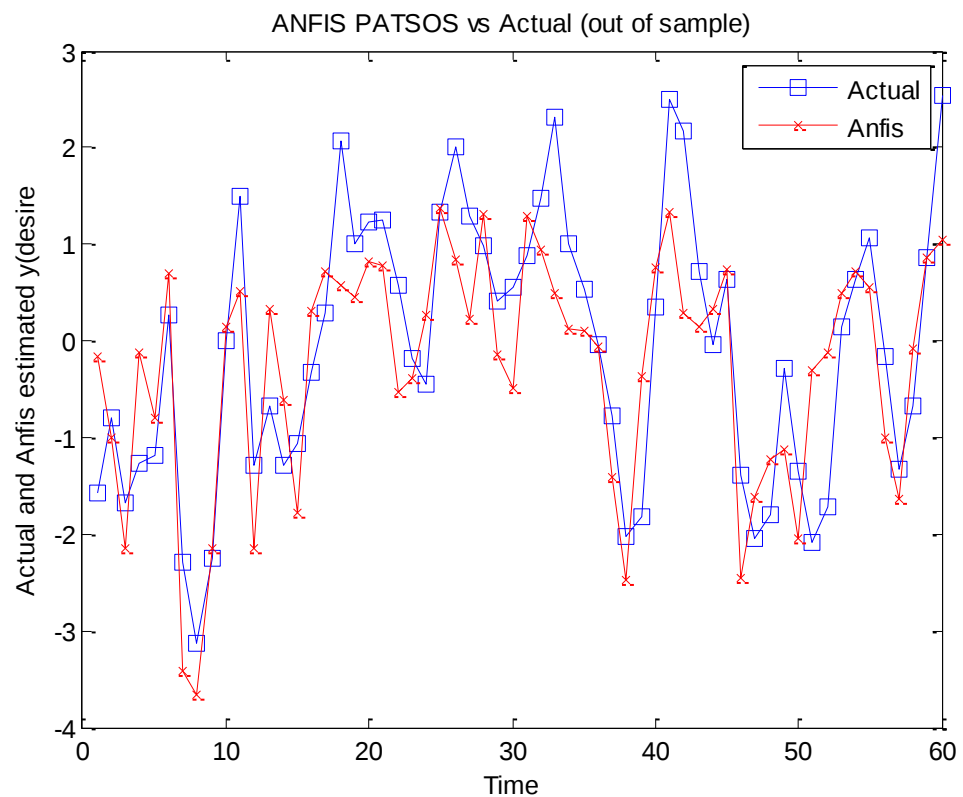
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση triangular δίνει τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου και επειδή το κεφάλαιο είναι το κύριο κριτήριο μας τη θεωρούμε ως καλύτερη.



Γράφημα 41: Τάση των τιμών του κακάο Λονδίνου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
Carbon Emissions	0.027	0.00073	0.02	53.33	19	bell
	0.028	0.00078	0.02	56.66	17	gauss
	0.028	0.00076	0.02	55	27	gauss2
	0.028	0.00078	0.021	60	19	trapez
	0.027	7.6118	0.022	53.33	19	triang
				% of		
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	1.86	1.2723	0.5877	46,19		bell
	3.43	1.2723	2.1577	169,59		gauss
	5.85	1.2723	4.5777	359,79		gauss2
	9.24	1.2723	7.9677	626,24		trapez
	1.44	1.2723	0.1677	13,18		triang

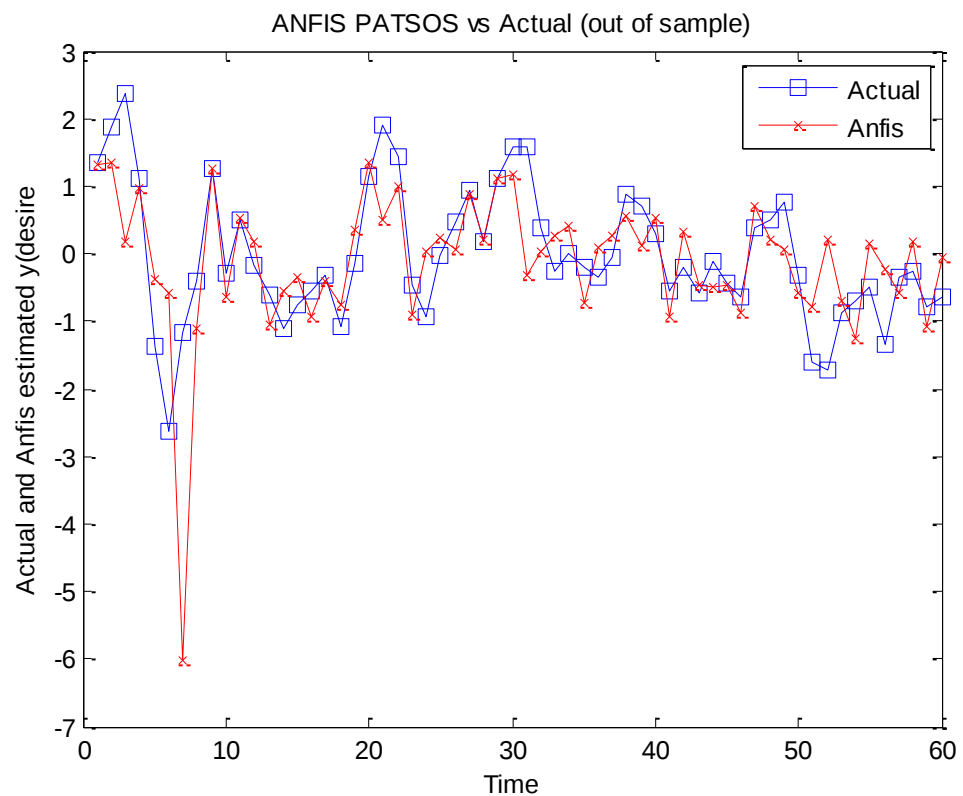
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση trapezius δίνει το ελάχιστο RMSE, καθώς και τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου. Την καλύτερη επιτυχία πρόβλεψης και η gauss.



Γράφημα 42: Τάση των τιμών εκπομπών διοξειδίου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
US Soybeans	0.018	0.00032	0.014	56.66	24	bell
	0.017	0.0003	0.013	50	26	gauss
	0.018	0.00033	0.014	53.33	22	gauss2
	0.017	0.0003	0.014	51.66	18	trapez
	0.017	0.0003	0.014	48.33	22	triang
				% of		
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	0.58	-8.0334	8.6134	107,21		bell
	-2.72	-8.0334	5.3134	66,14		gauss
	-97.0	-8.0334	7.0634	-1107,45		gauss2
	-4.52	-8.0334	3.5134	43,73		trapez
	-5.80	-8.0334	2.2334	27,80		triang

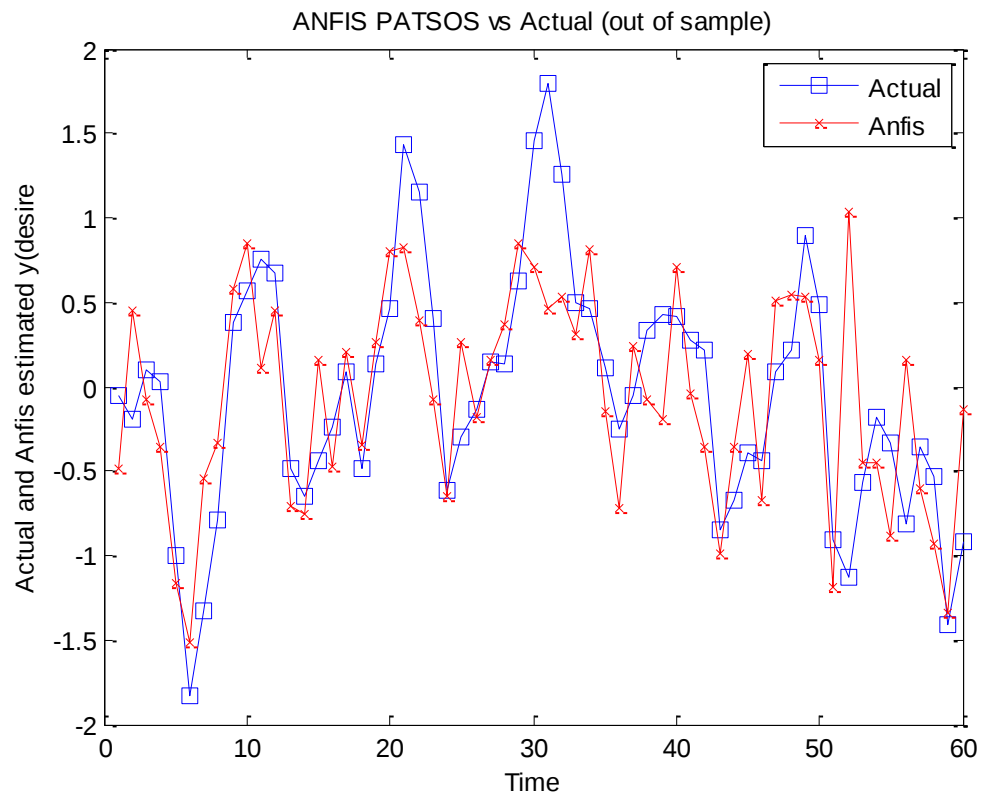
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση bell δίνει τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου και την καλύτερη επιτυχία πρόβλεψης.



Γράφημα 43: Τάση των τιμών της σόγιας ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
US Soybean Oil	0.014	0.00018	0.011	50	25	bell
	0.014	0.00018	0.011	50	25	gauss
	0.013	0.00017	0.011	48.33	24	gauss2
	0.013	0.00017	0.01	48.33	26	trapez
	0.013	0.00018	0.011	50	20	triang
	% of					
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	3.08	-3.7085	6.7885	-16,94		bell
	3.08	-3.7085	6.7885	-16,94		gauss
	1.24	-3.7085	4.9485	-66,56		gauss2
	1.38	-3.7085	5.0885	-62,78		trapez
	2.04	-3.7085	5.7485	-44,99		triang

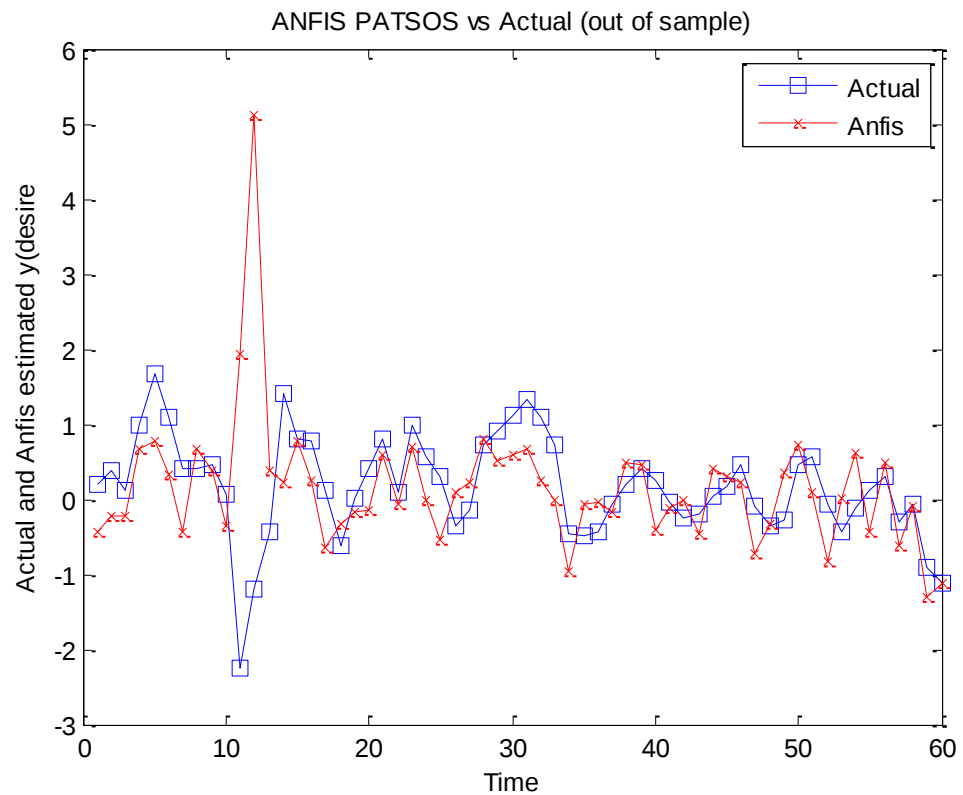
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι οι συναρτήσεις gauss και bell δίνουν τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου και έχουν την ίδια επιτυχία πρόβλεψης.



Γράφημα 44: Τάση των τιμών του σογιέλαιου ΗΠΑ

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	success_trend	buy_sell	MF type
London Wheat	0.019	0.00037	0.012	45	28	bell
	0.022	0.00046	0.013	48.33	24	gauss
	0.03	0.00094	0.014	48.33	24	gauss2
	0.017	0.00028	0.012	48.33	24	trapez
	0.015	0.00023	0.011	45	30	triang
	% of					
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	2.51	11.2514	-8.7414	-77,69		bell
	3.27	11.2514	-7.9814	-70,93		gauss
	3.27	11.2514	-7.9814	-70,93		gauss2
	3.27	11.2514	-7.9814	-70,93		trapez
	1.6	11.2514	-9.6514	-85,77		triang

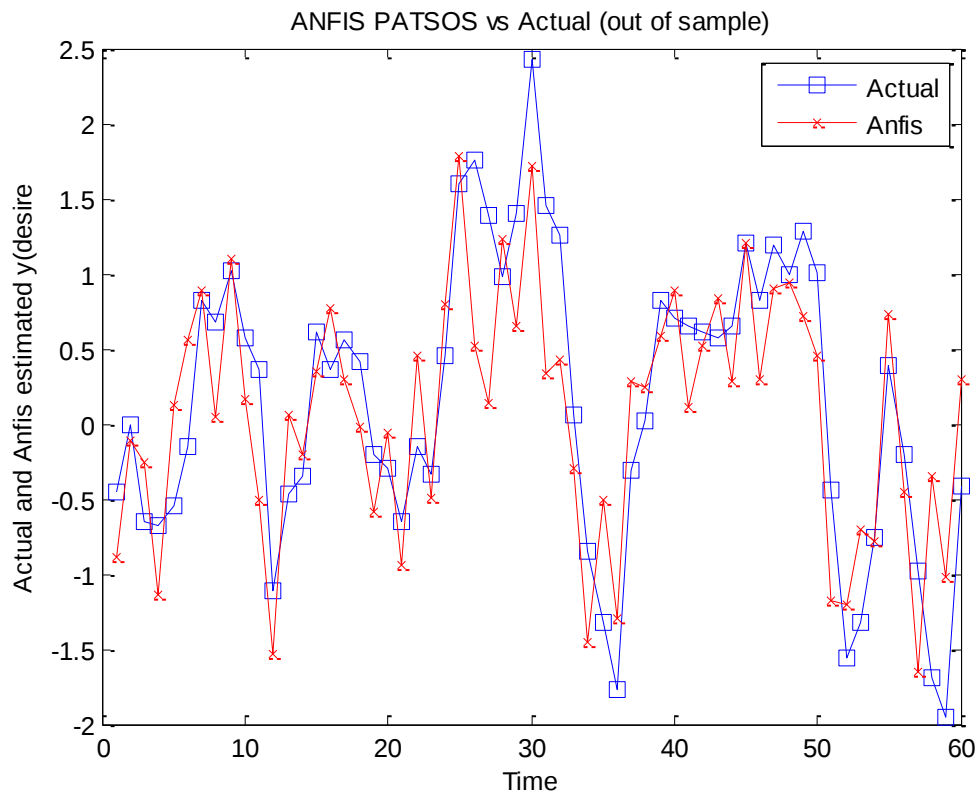
Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι η συνάρτηση trapezius δίνει την ίδια απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου και ίδια επιτυχία πρόβλεψης με τις gauss και gauss 2 αλλά έχει μικρότερο σφάλμα.



Γράφημα 45: Τάση των τιμών του σιταριού Λονδίνου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	sucess_trend	buy_sel 	MF type
Palladium	0.015	0.00022	0.012	63.33	17	bell
	0.015	0.00022	0.012	68.33	13	gauss
	0.015	0.00023	0.012	61.66	17	gauss2
	0.016	0.00025	0.012	65	15	trapez
	0.016	0.00024	0.012	65	15	triang
	% of					
	ROE_c	buy_hold	Difference	difference		
	22.34	10.9508	11.3892	104,00		bell
	25.1	10.9508	14.1392	129,20		gauss
	22.2	10.9508	11.2892	102,72		gauss2
	22.8	10.9508	11.8092	108,20		trapez
	23.7	10.9508	12.7092	116,42		triang

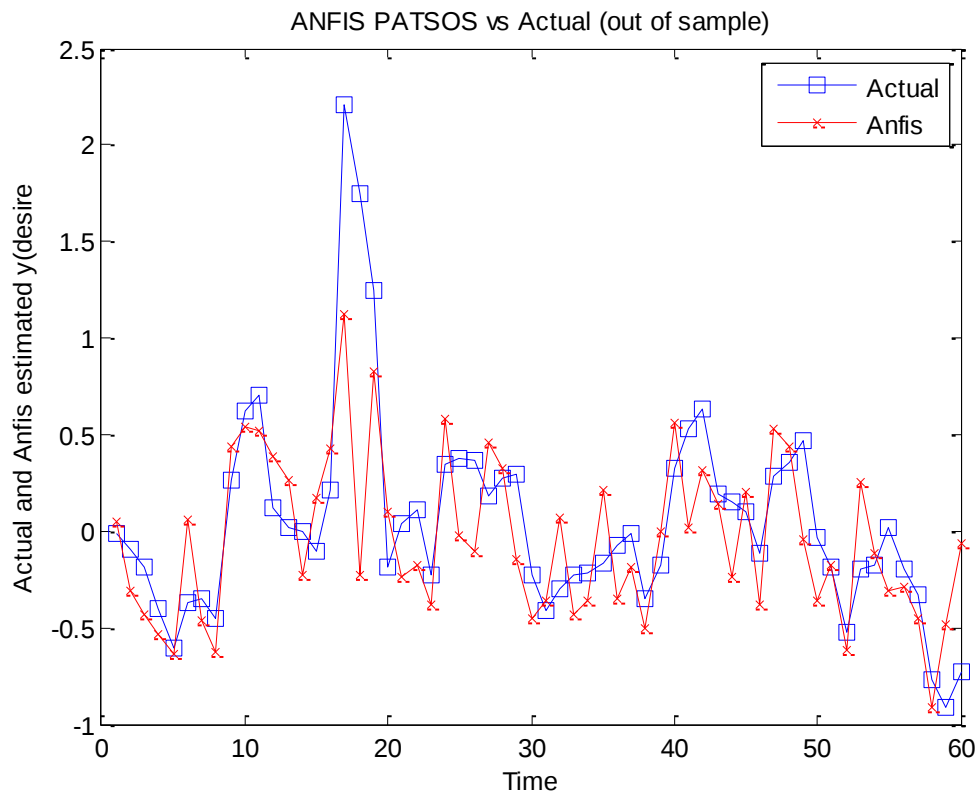
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση gauss αποδίδει καλύτερα σε όλα τα κριτήρια μας με πολύ υψηλή επιτυχία πρόβλεψης που φτάνει το 68,33%.



Γράφημα 46: Τάση των τιμών του παλλάδιου

	RMSE_anfis	MSE_anfis	MAE_anfis	sucess_trend	buy_sell	MF type
Live Cattle	0.01	0.00011	0.006	55	29	bell
	0.009	0.00009	0.006	55	26	gauss
	0.012	0.00013	0.0072	53.33	26	gauss2
	0.014	0.00021	0.0079	55	26	trapez
	0.029	0.00086	0.0099	51.66	28	triang
				% of difference		
	ROE_c	buy_hold	Difference			
	3.74	2.5002	1.2398	49,58		bell
	5.94	2.5002	3.4398	137,58		gauss
	5.69	2.5002	3.1898	127,58		gauss2
	6.22	2.5002	3.7198	148,78		trapez
	5.27	2.5002	2.7698	110,78		triang

Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η συνάρτηση gauss δίνει το ελάχιστο RMSE και η trapezious την καλύτερη επιτυχία πρόβλεψης και τη μεγαλύτερη απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου.



Γράφημα 47: Τάση των τιμών των βοηδών

Παρακάτω παρουσιάζουμε συγκεντρωτικά την απόδοση του μοντέλου όσον αφορά το RMSE, το success trend, το ROE καθώς και έναν τελικό πίνακα που περιέχει την απόδοση του κεφαλαίου σε σχέση με τη στρατηγική της αγοράς και διατήρησης για όλα τα προϊόντα.

	RMSE	
USA cutton	0.0156	trim
Brent Oil	0.0137	trim
US Corn	0.0162	trapmf
US Sugar No11	0.018	trim
US Soybeans	0.017	trapmf
Gold	0.0068	gauss
Crude Oil	0.015	gauss
US Wheat	0.022	trim
London Gas Oil	0.012	trim
US Soybean Oil	0.013	trim
Silver	0.0131	trim
Natural Gas	0.003	trim

London Sugar	0.014	bell
London Coffee	0.014	gauss2
London Wheat	0.015	trim
Copper	0.0103	gauss
Heating Oil	0.012	gauss2
US Cocoa	0.018	gauss2
London Cocoa	0.017	gauss2
Palladium	0.015	gauss
Platinum	0.0106	trapmf
US Coffee C	0.021	gauss2
Orange Juice	0.031	gauss2
Carbon Emissions	0.027	bell
Live Cattle	0.009	bell

	Success_trend	
USA cutton	53.33	bell
Brent Oil	56.66	gaus s
US Corn	55	trap mf
US Sugar No11	48.33	trim
US Soybeans	56.66	bell
Gold	60	trim
Crude Oil	50	gaus s
US Wheat	51.66	trim
London Gas Oil	50	trim
US Soybean Oil	50	bell
Silver	51.66	trim
Natural Gas	55	gaus s2
London Sugar	58.33	gaus s
London Coffee	45	gaus s
London Wheat	48.33	trap mf
Copper	63.33	trim
Heating Oil	46.66	gaus s2
US Cocoa	43.33	gaus s2
London Cocoa	51.66	gaus s2
Palladium	68.33	gaus s
Platinum	61.66	trap mf
US Coffee C	55	trap mf

Orange Juice	58.33	bell
Carbon Emissions	56.66	gauss
Live Cattle	55	gauss

	ROE	
USA cotton	1.14	trapez
Brent Oil	9.48	gauss
US Corn	-0.82	trapez
US Sugar No11	0.22	gauss 2
US Soybeans	0.58	bell
Gold	11.9	gauss
Crude Oil	0.79	gauss
US Wheat	-4.43	gauss 2
London Gas Oil	5.52	triang
US Soybean Oil	3.08	gauss
Silver	18.4	triang
Natural Gas	9.81	bell
London Sugar	5.39	gauss
London Coffee	7.07	gauss 2
London Wheat	3.27	trapez
Copper	7.77	triang
Heating Oil	7.92	gauss 2
US Cocoa	5.31	gauss 2
London Cocoa	11.37	triang
Palladium	25.1	gauss
Platinum	20.8	trapez
US Coffee C	4.08	trapez
Orange Juice	17	bell

Carbon Emissions	9.24	trapez
Live Cattle	6.22	trapez

Commodities	Type of MF's	ROE (%)	Buy and Hold (%)	Increase of Percentage (%)	Rate of Change of earnings (%)
USA cotton	trapez	1.14	2.093	-0.95	-45.53
Brent Oil	gauss	9.48	5.6622	3.82	67.42
US Corn	trapez	-0.82	-7.9963	7.18	89.74*
US Sugar No11	gauss2	0.2186	-9.1111	9.33	102.39*
US Soybeans	bell	0.58	-8.0334	8.61	107.21*
Gold	gauss	11.9	12.5249	-0.64	-5.07
Crude Oil	gauss	0.79	0.6356	0.15	24.29
US Wheat	gauss2	-4.43	-5.8308	1.4	24.02*
London Gas Oil	triang	5.52	6.9068	6.91	-20.07
US Soybean Oil	gauss	3.08	-3.7085	6.79	-16.94
Silver	triang	18.4	27.8064	-9.45	-33.98
Natural Gas	bell	9.81	5.8881	3.92	125.70
London Sugar	gauss	5.39	-7.2727	12.66	174.11*
London Coffee	gauss2	7.07	7.8635	7.86	-10.09
London Wheat	trapez	3.27	11.2514	-7.98	-70.93
Copper	triang	7.77	9.4961	-1.73	-18.18
Heating Oil	gauss2	7.92	8.2802	-0.36	-4.35
US Cocoa	gauss2	5.31	8.8729	-3.56	-40.15
London Cocoa	triang	11.37	2.193	2.19	418.46
Palladium	gauss	25.1	10.9508	14.14	129.20

Platinum	trapez	20.8	18.0718	2.73	15.10
US Coffee C	trapez	4.08	-5.7767	9.86	170.62*
Orange Juice	bell	17	-11.9875	28.99	241.81*
Carbon Emissions	trapez	9.24	1.2723	7.97	626.24
Live Cattle	trapez	6.22	2.5002	3.72	148.78

Ο παραπάνω πίνακας μας δείχνει για κάθε προϊόν την μεγαλύτερη απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου και με ποια συνάρτηση αποδίδεται. Στην τέταρτη στήλη παρουσιάζουμε το ποσοστό κέρδους χρησιμοποιώντας τη στρατηγική Buy and Hold. Έπειτα στην πέμπτη στήλη φαίνεται η διαφορά σε ποσοστιαίες μονάδες μεταξύ απόδοσης επενδυμένου κεφαλαίου και στρατηγικής Buy and Hold. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται η ποσοστιαία αύξηση του κέρδους συγκρίνοντας την απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου με τη στρατηγική Buy and Hold. Δηλαδή πόσο τοις εκατό παραπάνω χρήματα θα είχαμε εάν κάναμε αγοραπωλησίες βάση του μοντέλου και όχι εάν επενδύαμε τα χρήματα μας και πουλούσαμε στο πέρας των 60 ημερών. Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι σε 16 από τα 25 προϊόντα εάν συμβουλευτούμε το μοντέλο θα έχουμε μεγαλύτερο κέρδος ή θα μειώσουμε κατά ένα μεγάλο βαθμό τις απώλειες μας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια όλο και μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής κοινότητας και του επιχειρηματικού κόσμου χρησιμοποιεί τα νευρωνικά δίκτυα και την ασαφή λογική ως βοηθητικές μεθόδους για μια πληθώρα εφαρμογών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι μέθοδοι δεν είναι ανταγωνιστικές άλλων αλλά συμπληρωματικές. Το θεμιτό και βέλτιστο είναι να χρησιμοποιούνται παράλληλα με άλλες μεθόδους για τη λύση προβλημάτων.

Ο συνδυασμός της ασαφούς λογικής και των νευρωνικών δικτύων μπορεί σε λίγο χρόνο και με μειωμένο κόστος ανάπτυξης του μοντέλου να σχεδιάσει και να βελτιστοποιήσει τις συναρτήσεις συμμετοχής των οποίων οι γλωσσικές μεταβλητές καθορίζονται από ποσοτικά δεδομένα και παράλληλα να βελτίωση την απόδοση του συστήματος.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε για την πρόβλεψη των τιμών των προϊόντων που διαπραγματεύονται στις αγορές το σύστημα πρόβλεψης PATSOS. Το σύστημα αυτό ενσωματώνει μια νέα μεθοδολογία πρόβλεψης με τον σχεδιασμό και τη δημιουργία ενός προσαρμοστικού νεύρο-ασαφούς συστήματος ελέγχου που αποτελείται από το μοντέλο του ελεγκτή και το μοντέλο της διαδικασίας. Η διαδικασία μοντελοποιήθηκε με τη χρήση ενός νεύρο-ασαφούς συστήματος.

Τα αποτελέσματα είναι όσον αφορά την επιτυχία της πρόβλεψης πολύ ενθαρρυντικά διότι σε 20 από τα 25 προϊόντα το ποσοστό είναι πάνω από 50% με μέγιστο το 68,33%. Τα υπόλοιπα 5 προϊόντα κυμάνθηκαν μεταξύ 45% και 48,33%. Επίσης τα αποτελέσματα της απόδοσης των επενδυμένων κεφαλαίων ήταν εξίσου καλά. Μόνο για 2 από τα 25 προϊόντα η απόδοση ήταν αρνητική με ποσοστό ζημίας 0,82% και 4,43%, ενώ στα υπόλοιπα 23 ήταν θετική με ποσοστά κέρδους από οριακά ποσοστά της τάξεως του 0,22% μέχρι και 25,1% που έχει το παλλάδιο. Εγινε επίσης σύγκριση της απόδοσης των επενδυμένων κεφαλαίων με τη στρατηγική αγοράς και διατήρησης. Προέκυψε ότι για τα 16 από τα 25 προϊόντα εάν συμβουλευτούμε το μοντέλο θα έχουμε μεγαλύτερο κέρδος ή θα μειώσουμε κατά ένα μεγάλο βαθμό τις απώλειες μας. Ο κίνδυνος είναι μια παράμετρος η οποία δεν έχει ληφθεί υπόψη στο σύστημά μας. Αυτό θα πρέπει να γίνει είτε κατά την εκπαίδευση του μοντέλου είτε κατά την αξιολόγησή του με τη χρήση επενδυτικών στρατηγικών οι οποίες ενσωματώνουν διαφορετικά επίπεδα κινδύνου.

Η απόδοση του προτεινόμενου συστήματος πρόβλεψης είναι πιθανό να βελτιωθεί, εάν χρησιμοποιηθούν άλλες αρχιτεκτονικές ελέγχου κατά το σχεδιασμό του ελεγκτή, όπως: Internal model control, Feedback linearization, Feedforward with inverse model, Optimal control κλπ.. Η χρήση κάποιου γενετικού αλγορίθμου (πχ. Island Memetic) θα ήταν επίσης ενδιαφέρουσα σαν ιδέα αν και θα απαιτούσε πολύ χρόνο ακόμα και στα πλέον σύγχρονα Desktop PC. Επίσης θα πρέπει να εξεταστεί η

απόδοση του συστήματος εάν αντί για το ANFIS χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο νευρο-ασαφές σύστημα.

Εκτός από ημερήσια δεδομένα, το προτεινόμενο σύστημα θα μπορούσε να επεκταθεί και να εφαρμοστεί σε δεδομένα εισόδου ανά εβδομάδα ή μήνα. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δεδομένα εισόδου μικρότερων χρονικών περιόδων από τα ημερήσια, όπως ωριαία, πεντάλεπτα, λεπτού κ.λπ..

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Agnolucci P. (2009): "Volatility in crude oil futures: A comparison of the predictive ability of GARCH and implied volatility models". *Energy Economics* 31 316–321.
2. Atsalakis G. & Valavanis K. (2006): "Surveying stock market forecasting techniques – Part II: Soft computing methods". *Expert Systems with Applications* 36 5932–5941
3. Atsalakis George S., Valavanis Kimon P. (2009): "Using neuro-fuzzy techniques to predict the stock market trend". *Expert Systems with Applications* 36 10696–10707.
4. Azadeh A. et al. (2011): "A flexible neural network-fuzzy mathematical programming algorithm for improvement of oil price estimation and forecasting". *Computers & Industrial Engineering* 62 421–430.
5. Buchanan W.K. et al. (2001): "Which way the natural gas price: an attempt to predict the direction of natural gas spot price movements using trader positions". *Energy Economics* 23 279–293.
6. Cabedo J. & Moya I. (2003): "Estimating oil price "Value at Risk" using the historical simulation approach". *Energy Economics* 25 239–253
7. Chen D. & Bessler D. (1990): "Forecasting monthly cotton price: Structural and time series approaches". *International Journal of Forecasting* 6 103–113.
8. Cheong C. (2009): "Modeling and forecasting crude oil markets using ARCH-type models". *Energy Policy* 37 2346–2355.
9. Coppola A. (2008): "Forecasting oil price movements exploiting the information in the Futures Market". *The Journal of Futures Markets*, Vol. 28, No. 1, 34–56.
10. El Hédi Arouri M. et al. (2012): "Forecasting the conditional volatility of oil spot and futures prices with structural breaks and long memory models". *Energy Economics* 34 283–293.
11. Fong W. M. & See K. H. (2002): "A Markov switching model of the conditional volatility of crude oil futures prices". *Energy Economics* 24 71–95
12. Garcia-Martos C. et al. (2012): "Modeling and forecasting fossil fuels, CO₂ and electricity prices and their volatilities". *Applied Energy*
13. Haidar I. & Wolff R. (2007): "Forecasting Crude Oil Price".
<http://www.usaee.org/usaee2011/submissions/OnlineProceedings/Forecasting%20Crude%20Oil%20Price%20%28Revisited%29.pdf>
14. He Kaijian et al. (2012): "Crude oil price analysis and forecasting using wavelet decomposed ensemble model". *Energy* 46 564–574.

15. He K. et al. (2012): "Ensemble forecasting of Value at Risk via Multi Resolution Analysis based methodology in metals markets". *Expert Systems with Applications* 39 4258–4267.
16. He K. et al. (2012): "Ensemble forecasting of Value at Risk via Multi Resolution Analysis based methodology in metals markets". *Expert Systems with Applications* 39 4258–4267.
17. Hu J. et al. (2012): "Applying Neural Networks to Prices Prediction of Crude Oil Futures". Hindawi Publishing Corporation *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2012, Article ID 959040
18. Hwa E. (1984): "A Model of Rice and quantity adjustments in primary commodity markets". *Journal of Policy Modeling* 7620-305.
19. Jammazi R. & Chaker A. (2011): "Crude oil price forecasting: Experimental evidence from wavelet decomposition and neural network modeling". *Energy Economics* 34 828–841.
20. Kaboudan M. A. (2001): "Compumetric Forecasting of Crude Oil Prices". Paper presented at Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation Seoul, Korea.
21. Kang S. et al. (2009): "Forecasting volatility of crude oil markets". *Energy Economics* 31 119–125
22. Knetsch T. (2006): "Forecasting the price of crude oil via convenience yield". *Series 1: Economic Studies* No 12
23. Kohzadi N. et al. (1996):
"A comparison of artificial neural network and time series models for forecasting commodity prices". *Neurocomputing* 10 169-181.
24. Kumar M. (1991): "The forecasting accuracy of crude oil futures prices". *International Monetary Fund, Research Department*.
25. Lanza A. et al. (2005): "Modeling and forecasting cointegrated relationships among heavy oil and product prices". *Energy Economics* 27 831– 848.
26. Li G. et al. (2010): "Short-Term Price Forecasting For Agro-products Using Artificial Neural Networks". *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 1 278–287.
27. Li J. & Thompson H. (2010): "A note on the oil price trend and GARCH shocks". *The Energy Journal*, Vol. 31, No. 3.
28. Malik Farooq & Nasereddin M. (2006): "Forecasting output using oil prices: A cascaded artificial neural network approach". *Journal of Economics and Business* 58 168–180.

29. Murat A. & Tokat E. (2009): "Forecasting oil price movements with crack spread futures". *Energy Economics* 31 85–90.
30. Mutafoğlu T. (2012): "Forecasting precious metal price movements using trader positions". *Resources Policy* 37 273–280.
31. Nomikos N. & Pouliasis P. (2011) : "Forecasting petroleum futures markets volatility: The role of regimes and market conditions". *Energy Economics* 33 321–337.
32. Parisi A. (2008): "Forecasting gold price changes: Rolling and recursive neural network models". *J. of Multi. Fin. Manag.* 18 477–487.
33. Pierdzioch C. et al. (2012): "Forecasting metal prices: Do forecasters herd?" *Journal of Banking & Finance*.
34. Protopapadakis Eytichios: " Forecasting in crisis period". Technical University of Crete.
35. Sadorsky P. (2006): "Modeling and forecasting petroleum futures volatility". *Energy Economics* 28 467–488.
36. Shafiee S. & Topal E. (2010): "An overview of global gold market and gold price forecasting ". Elsevier, *Resources Policy* 35 178–189.
37. Shiang T. (2010): "Forecasting volatility with smooth transition exponential smoothing in commodity market". University Putra Malaysia
38. Slade M. (1982): "Trends in Natural resource commodity prices: An analysis of the time domain". *Journal of Environmental Economics and Management* 9, 122- 137 1982.
39. Souza e Silva E. (2010): "Forecasting oil price trends using wavelets and hidden Markov models". *Energy Economics* 32 1507–1519.
40. Wan J. & Li. L. (2012): "A study of Shanghai fuel oil futures price volatility based on high frequency data: Long-range dependence, modeling and forecasting". *Economic Modelling* 29 2245–2253.
41. Wei Y. (2012): "Forecasting volatility of fuel oil futures in China: GARCH-type, SV or realized volatility models?" *Physica A* 391 5546–5556.
42. Wei Yu, Yudong Wang, Dengshi Huang (2010): "Forecasting crude oil market volatility: Further evidence using GARCH-class models". *Energy Economics* 32 1477–1484.

43. Bing X. & Ouenniche J. (2012): "A data envelopment analysis-based framework for the relative performance evaluation of competing crude oil prices' volatility forecasting models". *Energy Economics* 34 576–583.
44. Ye P. et al.(2006): " Forecasting Crude Oil spot price by WNN using OECD petroleum inventory levels". *Energy Policy*.
45. Yea M. et al. (2006): "Forecasting short-run crude oil price using high- and low-inventory variables". *Energy Policy* 34 2736–2743.
46. Yea M. et al. (2005): "A monthly crude oil spot price forecasting model using relative inventories". *International Journal of Forecasting* 21 491– 501.
47. Yu L. et al. (2008): "Forecasting crude oil price with an EMD-based neural network ensemble learning paradigm ".*Energy Economics* 30 2623–2635.
48. Zamani Mehrzad (2004): "An Econometrics Forecasting Model of Short Term Oil Spot Price". 6th IAEE European Conference
49. Zhou S. et al. (2012): "A dynamic meta-learning rate-based model for gold market forecasting ". *Expert Systems with Applications* 39 6168–6173.
50. Zou H.F. et al. (2007): "An investigation and comparison of artificial neural network and time series models for Chinese food grain price forecasting". *Neurocomputing* 70 2913–2923.
51. Zunino L. et al. (2010): "Commodity predictability analysis with a permutation information theory approach". *Physica A* 390 876–890.