



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΙΜΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

COMMODITIES' TREND FORECASTING USING A  
HUBRID SYSTEM

ΦΡΑΝΤΖΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

A.M. 2013019011

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΤΣΑΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	4
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	6
ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	40
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	41
Θεωρία κυμάτων Elliott.....	41
Εξήγηση συμπεριφοράς Κυμάτων .....	43
Ασαφής λογική (Fuzzy Logic).....	46
Νευρωνικά δίκτυα.....	53
Νεύρο-ασαφή συστήματα (υβριδικά συστήματα) .....	59
Χρήσιμες Πληροφορίες .....	59
Προσαρμοστικό νεύρο-ασαφές σύστημα (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System - ANFIS) .....	64
Το μοντέλο PATSOS .....	66
Το μοντέλο WASP .....	68
Επιλογή μοντέλου .....	71
Αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής και είδος.....	71
Μεταβλητές του συστήματος και αριθμός επαναλήψεων.....	73
Επεξήγηση της διαδικασίας του Συστήματος WASP .....	74
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	76
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ και ΒΗΜΑ .....	76
ΕΙΣΟΔΟΙ - ΕΞΟΔΟΙ .....	77
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ WASP_PATSOS .....	77
ΕΝΝΑΛΑΚΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	78
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	80
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	94

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της παρούσας εργασίας είναι η πρόβλεψη των τιμών των προϊόντων με τη βοήθεια ενός καινοτόμου υβριδικού συστήματος. Το υβριδικό αυτό σύστημα ονομάζεται WASP\_PATSOS και αποτελείται από ένα νευρο-ασαφή ελεγκτή και χρήση κυμάτων Elliot. 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, χυμός πορτοκάλι, ζάχαρη ΗΠΑ, φυσικό αέριο Λονδίνου, καφές Λονδίνου, κακάο Λονδίνου, εκπομπές διοξειδίου, σόγια ΗΠΑ, σογιέλαιο ΗΠΑ, σιτάρι Λονδίνου, παλλάδιο και βοδινό κρέας. Χρησιμοποιήσαμε δεδομένα από τον Ιανουάριο του 2006 μέχρι και το Μάιο του 2014. Η εκπαίδευση του μοντέλου γίνεται μέχρι 60 συνεδριάσεις πριν τις 30 Μαΐου του 2014 και η αξιολόγησή του στις 60 αυτές εναπομείναντες. Παράλληλα γίνεται σύγκριση του νέου αυτού μοντέλου με άλλες μεθόδους πρόβλεψης με σκοπό την αξιολόγησή του και βάσει άλλων τεχνικών. Τα αποτελέσματα μας έδειξαν ότι το νέο μοντέλο που δημιουργήσαμε είναι κατάλληλο για την πρόβλεψη της τάσης των τιμών των προϊόντων καθώς επίσης ότι τις περισσότερες φορές υπερτερεί των άλλων έξι μοντέλων που συγκρίναμε.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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. Και 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 έλλειψη ζήτησης. Επίσης μία επιχείρηση θα ήθελε να γνωρίζει το πως θα εξελιχθούν 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 δολαρίου 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 διεθνής 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 εμπορεύματά 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 διεθνής αγορές προϊόντων και της διακύμανσής τους, καθώς επίσης και την πρόβλεψη των τιμών 25 διαφορετικών προϊόντων. Η πρόβλεψη αυτή θα γίνει με τη βοήθεια των νευρο-ασαφών τεχνικών και θεωρίας κυμάτων Elliot. Έπειτα γίνεται σύγκριση του μοντέλου με έξι διαφορετικά μοντέλα με σκοπό να δούμε αν υπερτερεί από τα ήδη υπάρχοντα. Τα έξι αυτά μοντέλα είναι: τα νευρο-ασαφή συστήματα ANFIS και PATSOS, τα μοντέλα παλινδρόμησης AR και ARMA, το BoxJenkins και το υβριδικό σύστημα WASP.

Η εργασία αυτή προσφέρει στην βιβλιογραφία με ποικίλους τρόπους. Αρχικά είναι ένα μοντέλο που μόλις τώρα αναπτύχθηκε και δεν έχει ξαναχρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Επίσης είναι η πρώτη φορά που γίνεται η σύγκριση τόσων διαφορετικών μοντέλων σε πρόβλεψη τιμών προϊόντων και συνεισφέρει στη βιβλιογραφία ως μια ακόμα πηγή διότι παρατηρήθηκε ότι εργασίες που κάνουν πρόβλεψη της τάσης της τιμών τόσων προϊόντων σπανίζουν.

Η υπόλοιπη εργασία οργανώνεται ως εξής: στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που έχουμε κάνει σε εργασίες με παρόμοιο θέμα, στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφουμε τα δεδομένα, στο τέταρτο παρουσιάζουμε τη μεθοδολογία που έχουμε χρησιμοποιήσει και στο πέμπτο τα αποτελέσματα. Τέλος το κεφάλαιο έξι περιέχει τα συμπεράσματα της συνολικής έρευνας.

## ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ 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 λεπτομέρειες 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 περιληπτικά 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 προσομοίωσης 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 για 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 προσδοκώμενης τιμής. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι οι επιρροές της προσδοκώμενης 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 ελαττώματα 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 αντιστροφών 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 συνέβη 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 βασισμένοι 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 Αύγουστο 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 περιπτώσεις, το RMSE είναι το χαμηλότερο και το Dstat 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 υποκινούμενες 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 αυτοπαλίνδρομες 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 αυτοπαλίνδρομες 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 ανίχνευσαν μια δομική αλλαγή στο μοντέλο. Για να εξετάσουν την πρόβλεψη της απόδοσης, χρησιμοποίησαν το μοντέλο του τυχαίου περιπάτου (RWM) ως σημείο αναφοράς, και αξιολόγησαν 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 συμβόλαια 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. Mutaoglu και άλλοι, το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Η πρόβλεψη των διακυμάνσεων των τιμών πολύτιμων μετάλλων που χρησιμοποιούν τις θέσεις εμπορίου». 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 αργούπετρελαίου χρησιμοποιώντας high – and low inventory variables. Ο λόγος ήταν ότι τα αποθέματα (έχουν μια ελάχιστη διαχειρίσιμη απαίτηση) ή δεν μπορούν να διαχειριστούν σωστά, και για 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, δυο μη γραμμικές μεταβλητές του αποθέματος προσδιορίστηκαν και εξήχθησαν 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. 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 επέκτεινε 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 νευρο-ασαφούς 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. Μεβάσητοέργοτων 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 σιγμοειδής, τις διπολικές σιγμοειδείς και την υπερβολική εφαπτομένη, προκειμένου να δοκιμάσουν την ευελιξία του μοντέλου. Επιπλέον, η ευρωστία πρόβλεψης ελέγχεται μέσω διαφόρων επιπέδων κρυμμένων κόμβων 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 Πολυκριτήρια 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 τρεχουσών 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 αλληλοεπιδρώντων 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 του αργού 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. Pouliasis 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 heavytails στην κατανομή των αποδόσεων του πετρελαίου. Έτσι, στην εργασία τους χρησιμοποιούν μοντέλα μεταβλητότητας 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 τα 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 αυτοπαλίνδρομο ετεροσκεδαστικό (ARCH) μοντέλο χρησιμοποιείται για να ληφθούν υπόψη τα σχηματισμένα δεδομένα μεταβλητότητας. 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 ηδμεταβλητή 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 συμβολαίων 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 Lypny, 1997 ).

- Οι Li Liu και Jieqiu Wan το 2012 δημοσίευσαν το άρθρο "Μια μελέτη της αστάθειας των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης των καυσίμων της Σαγκάη 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 αυτοπαλίνδρομων 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 αναπτυγμένες 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 απαραίτητης 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 αυτοπαλίνδρομου 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 πετρέλαιο 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 αυτοπαλίνδρομων 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 ή 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. Εισηγάγαν 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 εναλλασσόμενων 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 αυτοπαλινδρομα 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-γραμμική 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 συνεχή 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 διαπραγματευόταν 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 αυτοπαλίνδρομο 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 προβλεπτικότητας 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 προβλεπτικότητα 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 σχεδιασθεί 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 Πολυκριτήρια Ανάλυση με βάση γραμμική μεθοδολογία συνόλου για Value at Risk εκτιμήσεις (MRNEVaR). Η Πολυκριτήρια 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 μελετών 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 προβλεπτικότητας. 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 άξιζε 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, συμπεριλαμβανομένου 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 βραχυπρόθεσμα 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-συμμεταβλητότητας 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 επανεξεταστεί. 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 επιπέδου ακρίβειας προβλέψεων. Για την πρόβλεψη της βραχυπρόθεσμης απόδοσης του αργού πετρελαίου σύγκριναν 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 σχηματισμένων 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 πρόβλεψη 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 αποδώσει 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 διεξήλθε 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 μέσων 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, αποδόθηκε 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 εξοριζόμενων 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 προβλεπτικής ικανότητας 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.

που λαμβάνονται από εναλλακτικές τεχνικές.

- Οι Ατσαλάκης, Δημητρακάκης και Ζοπουνίδης το 2011 δημοσίευσαν το μοντέλο WASP για την πρόβλεψη των τιμών των μετοχών. Είναι ένα υβριδικό μοντέλο που συνδυάζει το ANFIS μοντέλο με τη θεωρία κυμάτων Elliot. Τα αποτελέσματα έδειξαν εξαιρετική ακρίβεια πρόβλεψης.

- Οι Ατσαλάκης, Βαλαβάνης και Ζοπουνίδης το 2009 παρουσίασαν το μοντέλο PATSOS για την πρόβλεψη των τιμών του χρηματιστηρίου. Το PATSOS αποτελείται από δύο ANFIS μοντέλα. Το ένα λειτουργεί ως ελεγκτής και το δεύτερο είναι στην ουσία η διαδικασία που κάνει την πρόβλεψη. Με αυτό τον τρόπο κατάφεραν να αυξήσουν αρκετά την ακρίβεια της πρόβλεψης.

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Εικοσιπέντε χρονοσειρές δεδομένων διαφορετικών προϊόντων που διαπραγματεύονται στις διεθνείς αγορές χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία που καλύπτουν μια περίοδο από τον Ιανουάριο του 2006 μέχρι το Μάιο του 2014. Οι χρονοσειρές ακολουθούν τυχαίο περίπατο και δεν υπάρχει ντετερμινιστική τάση. Οι τιμές δεν είναι σταθερές, αλλά η πρώτες διαφορές (αποδόσεις) φαίνονται στάσιμες. Το μέσο μη-σταθερό χαρακτηριστικό της σειράς τιμών μετριάζεται με την διαφοροποίηση των αρχικών σειρών.

Παρόλο που δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τρόπος σχετικά με το πώς χωρίζονται τα στοιχεία για νευρο-ασαφή εφαρμογές, η γενική πρακτική είναι να διαθέσει κανείς περισσότερα δεδομένα για το μοντέλο κατασκευής και επιλογής. Οι περισσότερες μελέτες στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούν κατάλληλη αναλογία του διαχωρισμού των δεδομένων για την κατάρτιση (στο δείγμα) και αξιολόγησης (από δείγματα) όπως 70: 30%, 80: 20%, ή 90: 10%. Σε αυτή τη μελέτη έχουμε επιλέξει 60 παρατηρήσεις για την από την αξιολόγηση του δείγματος που αντιστοιχούν σε τρεις μήνες επενδυτικό ορίζοντα (εκτός από τα Σαββατοκύριακα). Τα υπόλοιπα στοιχεία αφορούν τις υπόλοιπες παρατηρήσεις δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εντός δείγματος εκπαίδευση και την αξιολόγηση του μοντέλου. Το προτεινόμενο μοντέλο εφαρμόζεται σε 25 βασικά προϊόντα που απαριθμούνται κατωτέρω: βαμβάκι ΗΠΑ, χρυσό, ασήμι, χαλκό, πλατίνα, το πετρέλαιο Brent, αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης, καφέ ΗΠΑ, καλαμπόκι ΗΠΑ, σιτάρι ΗΠΑ, Λονδίνο ζάχαρη, κακάο ΗΠΑ, χυμό πορτοκαλιού, ζάχαρη ΗΠΑ, πετρέλαιο εσωτερικής καύσης Λονδίνου, καφέ Λονδίνου, κακάο Λονδίνου, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, σόγια Ηνωμένων Πολιτειών, σογιέλαιο ΗΠΑ, σιτάρι Λονδίνου, παλλάδιο και ζώντα βοοειδή.

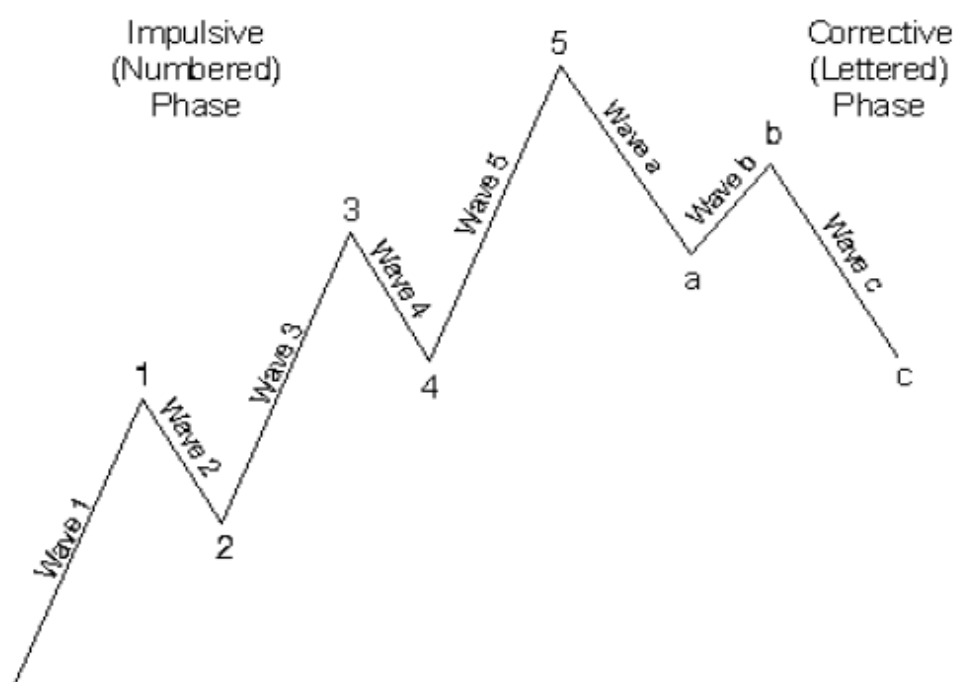


## ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το μοντέλου που κατασκευάστηκε και παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία είναι ένα υβριδικό μοντέλο το οποίο συνδυάζει τη θεωρία κυμάτων του Elliott, τα νευρωνικά δίκτυα και την ασαφή λογική.

### Θεωρία κυμάτων Elliott

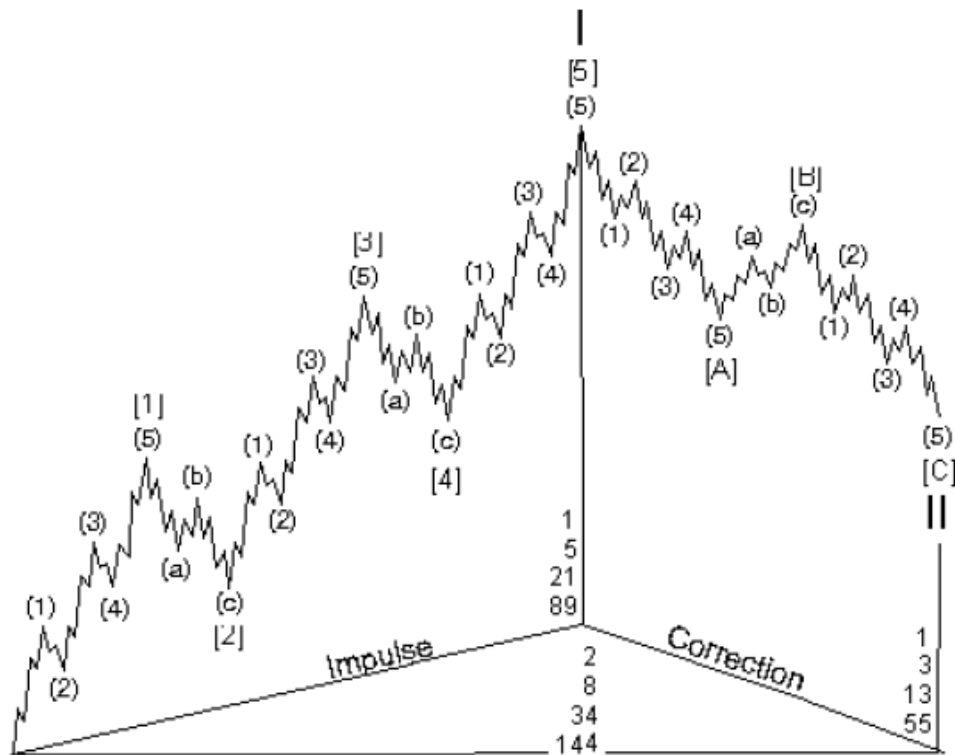
Η θεωρία των κυμάτων Elliott αναπτύχθηκε από τον Ralph Nelson Elliott, τη δεκαετία του 1930. Ο Elliott υποστήριξε ότι οι τάσεις των μετοχών ακολουθούν συγκεκριμένες πορείες (patterns), οι οποίες είναι προβλέψιμες τόσο μακροπρόθεσμα, όσο και βραχυπρόθεσμα. Ο Elliott, δημοσίευσε τις ιδέες του στο βιβλίο του, "Η αρχή των κυμάτων Elliott" το 1938. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από μετοχές, παρατήρησε ότι η φαινομενικά χαοτική πορεία των μετοχών, αποκαλύπτει μια αρμονία που βρίσκει κανείς στη φύση. Η ανακάλυψη του Elliott βασίστηκε αποκλειστικά στην παρατήρηση. Σε μεταγενέστερο χρόνο, προσπάθησε να εξηγήσει την ρίζα της συμπεριφοράς αυτής των μετοχών, βασιζόμενος σε ψυχολογικούς λόγους. Το κυριότερο σημείο της θεωρίας του Elliott είναι το γεγονός ότι η επαναλαμβανόμενη πορεία αποτελείται από οκτώ κύματα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο κύκλος των οκτώ κυμάτων περιλαμβάνει τα κύματα 1, 3, 5 που ακολουθούν την τάση (ανοδική τάση στο σχήμα), τα κύματα 2,4 ως μικρές διορθώσεις ενάντια την τάση. Τα κύματα a,b,c αποτελούν την διόρθωση

της τάσης, με τα κύματα a,c να έχουν αντίθετη πορεία σε σχέση με την τάση, και το κύμα b να αποτελεί διόρθωση στην διόρθωση. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2 ο κύκλος των 8 κυμάτων επαναλαμβάνεται στο ίδιο μοτίβο και δημιουργεί έναν υπερκύκλο (super cycle).



Διάγραμμα 2

Ο Elliott αναφέρει την ύπαρξη 9 κύκλων, διαφορετικής διάρκειας, εκ των οποίων ο μεγαλύτερος συμπεριλαμβάνει τους μικρότερους. Οι κύκλοι αυτοί σε διαβάθμιση από το μεγαλύτερο στο μικρότερο είναι οι ακόλουθοι:

- Grand Supercycle
- Supercycle
- Cycle
- Primary
- Intermediate
- Minor
- Minute
- Minuette
- Subminuette

Οι χρονικές διάρκειες των κύκλων κυμαίνονται από λεπτά μέχρι δεκαετίες. Για κάθε κύκλο ισχύουν κάποιοι κανόνες, όσον αφορά τη διάρκεια και το μέγεθος ενός κύματος. Οι κυριότεροι κανόνες συνοψίζονται στους ακόλουθους:

- Το δεύτερο κύμα δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το πρώτο, και δεν μπορεί να επιστρέφει σε τιμή μικρότερη από την αρχή του πρώτου κύματος..
- Το τρίτο κύμα δεν είναι ποτέ το μικρότερο σε σύγκριση με το πρώτο και το πέμπτο.
- Το τέταρτο κύμα δεν επιστρέφει σε επίπεδα χαμηλότερα από το τέλος του πρώτου κύματος. Το ίδιο ισχύει και για το κύμα Α.
- Συνήθως το τρίτο κύμα παρουσιάζει την μεγαλύτερη δυναμική, εκτός από τις περιπτώσεις που το πέμπτο κύμα είναι εκτεταμένο(φαινόμενο κατά το οποίο το πέμπτο κύμα αποτελείται από 5 κύματα).
- Το πέμπτο κύμα πρέπει να οδηγεί σε υψηλότερο σημείο από το τρίτο

### Εξήγηση συμπεριφοράς Κυμάτων

Κύμα 1ο: Εμπειρικά, περίπου τα μισά από τα πρώτα κύματα, αποτελούν μέρος της διαδικασίας στήριξης (του προηγούμενου κύματος), και για αυτό το λόγο ακολουθεί μια σημαντική διόρθωση από το κύμα 2. Κατά τη διάρκεια του πρώτου κύματος, επικρατούν συνήθως οι “ανοιχτές πωλήσεις” καθώς η πλειοψηφία θεωρεί ότι η γενικότερη τάση είναι πτωτική, και ότι απλά το πρώτο κύμα είναι η τελευταία ευκαιρία για σύντομο κέρδος. Τα άλλα μισά από τα πρώτα κύματα δημιουργούνται ως αποτέλεσμα μεγάλων επιπέδων στήριξης που δημιουργήθηκαν από τα προηγούμενα κύματα. Σε αυτήν την περίπτωση τα κύματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυναμική και μικρότερη διόρθωση

Κύμα 2ο: Τα δεύτερα κύματα, συνήθως επιστρέφουν περίπου στα επίπεδα του πρώτου κύματος, εξανεμίζοντας τα κέρδη του πρώτου κύματος. Η πλειονότητα των επενδυτών θεωρεί ότι η αγορά έχει γυρίσει σε επίπεδα στήριξης.

Κύμα 3ο: Τα τρίτα κύματα αποτελούν τις κυριότερες επιδιώξεις των επενδυτών. Έχουν δυναμική, και η τάση είναι ορατή. Η αυτοπεποίθηση των επενδυτών επιστρέφει. Γενικότερα επικρατεί ένα κλίμα εφορίας, το οποίο ανατροφοδοτεί τις αυξητικές τάσεις, μέχρι και αυτό το κύμα να ξεθυμάνει. Αξίζει να σημειωθεί ότι το τρίτο κύμα, είναι το πιο αναγνωρίσιμο στις αγορές από τους επενδυτές που αποφασίζουν με βάση τα κύματα Elliott. Το θετικότερο σημείο του 3ου κύματος, για τους παραπάνω επενδυτές είναι το γεγονός ότι βρίσκονται σε ετοιμότητα, αναμένοντας το πέρας του 4ου κύματος, ώστε να επενδύσουν στην αρχή του 5ου κύματος. Αυτό γίνεται για το λόγο ότι δύσκολα μπορεί κανείς να εντοπίσει το τρίτο κύμα από την αρχή του, και έτσι το να περιμένει κανείς τη λήξη του 3ου, είναι πιο σίγουρη τακτική, αν μπορεί κανείς να μιλήσει για σιγουριά στις αγορές.

Κύμα 4ο: Τα τέταρτα κύματα είναι και αυτά με τη σειρά τους ιδιαίτερα αναγνωρίσιμα, και προβλέψιμα. Κατά τη διάρκεια αυτού του κύματος, οι μετοχές παρουσιάζουν πτωτική πορεία, ακόμα και αυτές που γενικότερα δεν ακολουθούν την γενική τάση της αγοράς. Ωστόσο το τρίτο κύμα είναι ικανό να επηρεάσει ακόμα και αυτές τις μετοχές λόγω της δυναμικής του, επομένως ακόμα και αυτές ακολουθούν το κλίμα της διόρθωσης.

Κύμα 5ο: Τα πέμπτα κύματα, έχουν πάντα μικρότερη δυναμική από τα τρίτα, όμως όπως προαναφέρθηκε, ενδείκνυνται λόγω της υψηλής προβλεπτικότητας των τρίτων κυμάτων. Συνήθως το πέμπτο κύμα φτάνει τουλάχιστον όσο ψηλά όσο και το 3ο, με τις περισσότερες φορές να ξεπερνάει αυτό το όριο. Οι επενδυτές θεωρούν το πέμπτο κύμα ως μια καλή ευκαιρία για σύντομα κέρδη, και όσο πλησιάζει το πέμπτο κύμα στα επίπεδα του τρίτου, οι θέσεις αρχίζουν να κλείνουν, και οι επενδυτές ετοιμάζονται για την διόρθωση.

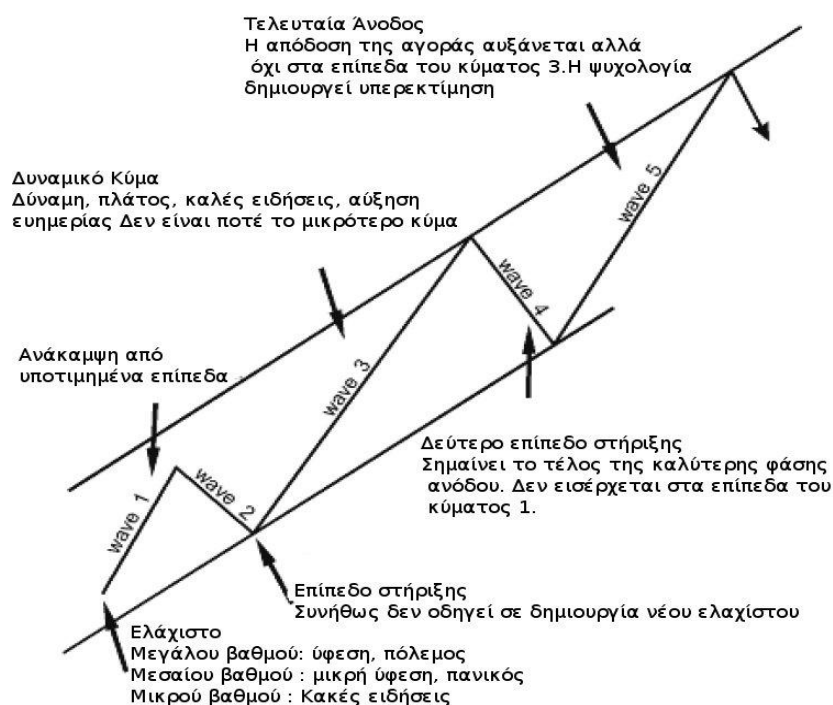
Κύμα Α : Τα κύματα άλφα, αποτελούν την αρχή της διόρθωσης. Οι περισσότεροι επενδυτές θεωρούν ότι το κύμα άλφα, είναι απλά μια διόρθωση που θα οδηγήσει σε υψηλότερα επίπεδα την αγορά. Για αυτό το λόγω αρχίζουν να επενδύουν περιμένοντας το επόμενο βήμα. Έτσι ξεκινάει το κύμα Β.

Κύμα Β: Τα κύματα Β αποτελούν τη μεγαλύτερη παγίδα για τους επενδυτές. Και μια καταπληκτική ευκαιρία για τους κερδοσκόπους. Συνήθως η άνοδος προέρχεται από έναν περιορισμένο αριθμό μετοχών, με αποτέλεσμα την παραπλάνηση πολλών επενδυτών ότι το κλίμα ανόδου είναι γενικότερο. Το κύμα Β είναι συνήθως το κύμα κατά το οποίο ένας έμπειρος αναλυτής θα αναρωτηθεί ότι “κάτι δεν πάει καλά”. Το κύμα Β συνήθως είναι μικρότερο από το κύμα Α.

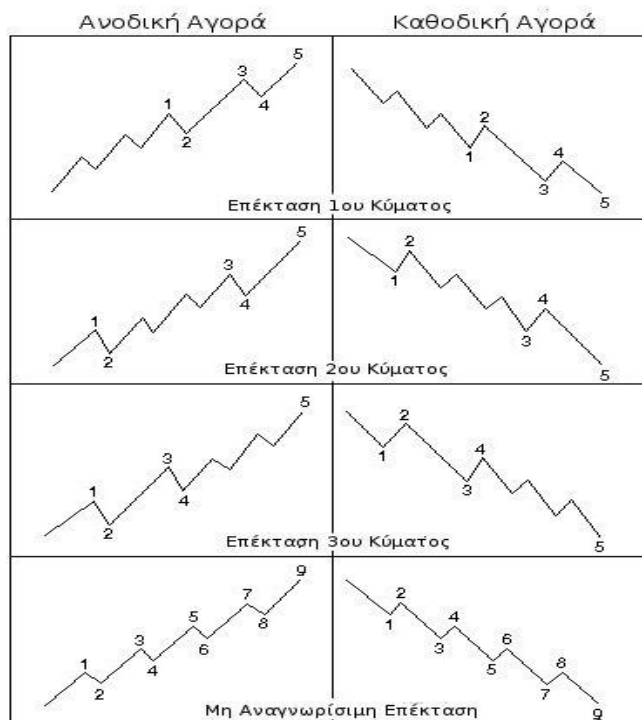
Κύμα C : Τα κύματα C προκαλούνται συνήθως από τις κινήσεις πανικού εξαιτίας του κύματος Β. Οι επενδυτές ρευστοποιούν, και ένα κλίμα απαισιοδοξίας ανατροφοδοτεί την πτωτική πορεία. Το κύμα C είναι συγκρίσιμα αντίθετο του κύματος 3. Ακριβώς λόγω της ανεξέλεγκτης πορείας του κύματος αυτού, είναι δύσκολη η αναγνώριση του νέου κύματος 1, δηλαδή ο διαχωρισμός του μεταξύ προσωρινής διόρθωσης ή αλλαγής κλίματος.

Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 3. Αξίζει να τονισθεί ότι η παραπάνω εξηγήσεις αφορούν την περίπτωση που η τάση είναι ανοδική. Τα αντίθετα ισχύουν σε περίπτωση καθοδικής τάσης. Σε αυτήν την περίπτωση τα κύματα 1,3,5 είναι καθοδικά, και τα 2,4 οι διορθώσεις. Επίσης, η παραπάνω ανάλυση αποτελεί την απλούστερη μορφή εμφάνισης κυμάτων. Πολλές φορές συναντάται το φαινόμενο, κάποιο από τα κύματα να είναι εκτεταμένο (extended).

Σε αυτήν την περίπτωση κάποιο από τα 3 κύματα τάσης, αποτελείτε από πέντε μικρότερα όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.



Διάγραμμα 3



Διάγραμμα 4

## 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 ασαφούς 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  $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X, \mu_A(x) \in [0,1]\}$  στην συνεχή.

$A = \sum \mu_A(x) / X$  στη 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 κλασσικά 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 αληθείας της  $p \rightarrow q$  καθορίζεται ως  $\min(\mu_p, 1 - \mu_q)$ .

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

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

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

Πρόταση:  $\text{AN } x \text{ είναι } A \text{ ΤΟΤΕ } y \text{ είναι } B$

Γεγονός:  $x \text{ είναι } A$

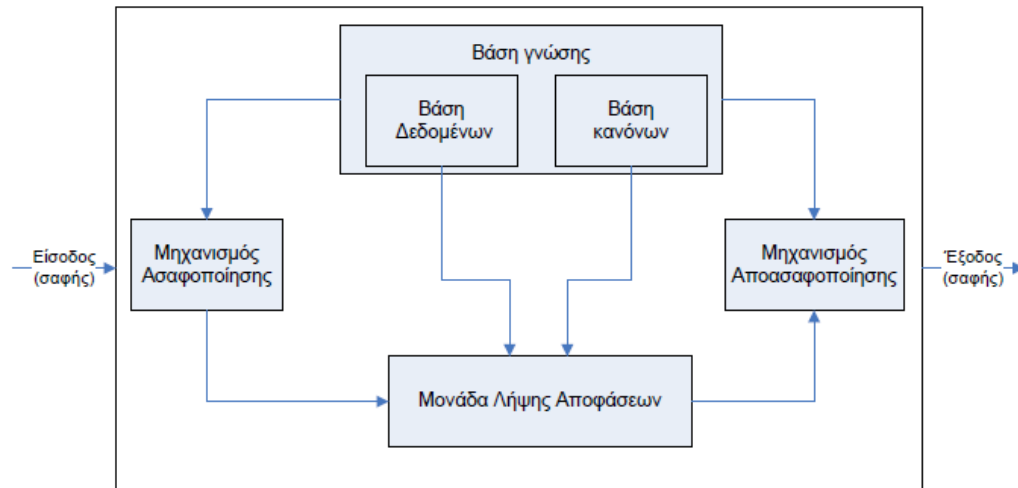
Συμπέρασμα:  $y \text{ είναι } B$

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.





Διάγραμμα 5 : Διαγραμματική απεικόνιση της δομής ενός ασαφούς ελεγκτή

### Ασαφοποίηση εισόδων

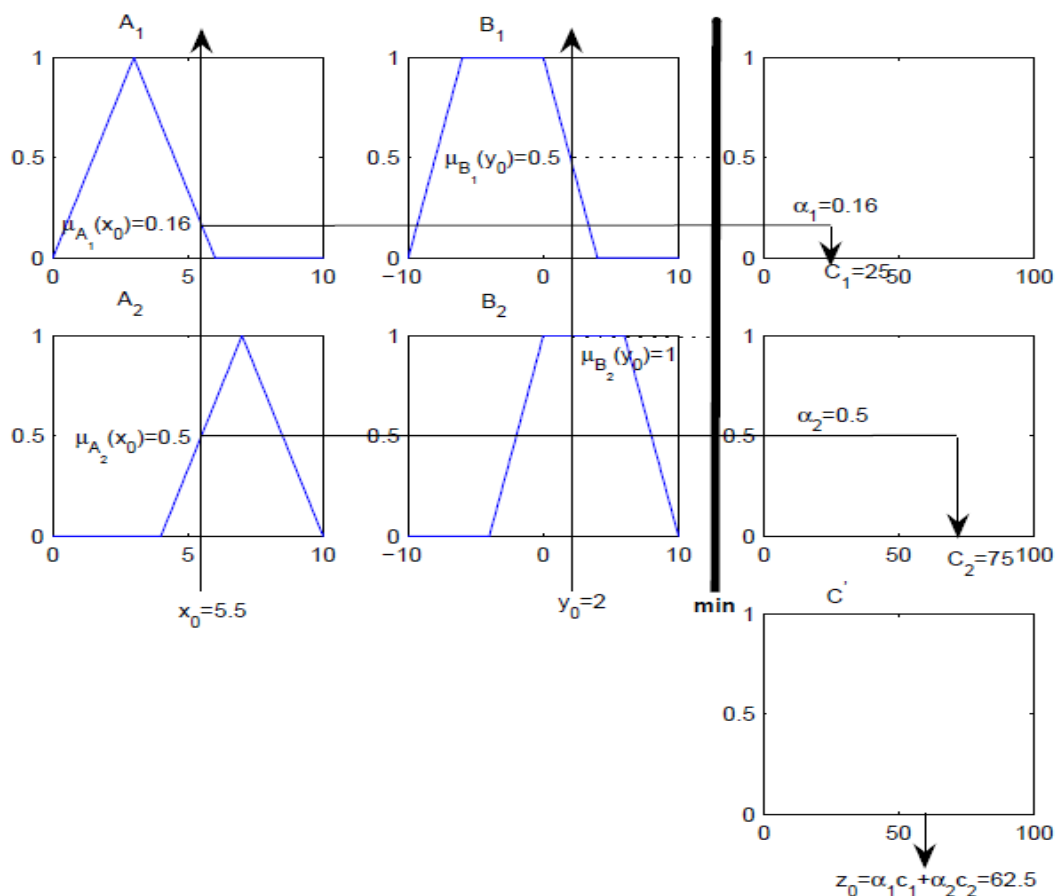
Οι είσοδοι σε έναν ασαφή ελεγκτή είναι σήματα άρα σαφείς μεταβλητές, γι αυτό και απαιτείται σαν πρώτο βήμα η ασαφοποίησή των. Η ασαφοποίηση μπορεί να γίνει είτε με χρήση πίνακα τιμών είτε μέσα από μια αποτίμηση μιας συνάρτησης.

### Μηχανισμός συμπερασμού

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

Τελεστής "ΚΑΙ"	Τελεστής "OR"	Τελεστής συνεπαγωγής	Τελεστής σύνθεσης
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.



Διάγραμμα 6 : 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.

### Αποασαφοποίηση εξόδων

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

- Κέντρουβάρους (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 γι  $i = 1, \dots, N$  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;

## 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.  

$$gbellmf(x, a, b, c) = \frac{1}{b} \exp\left(-\left|\frac{x - ca}{b}\right|\right)$$

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

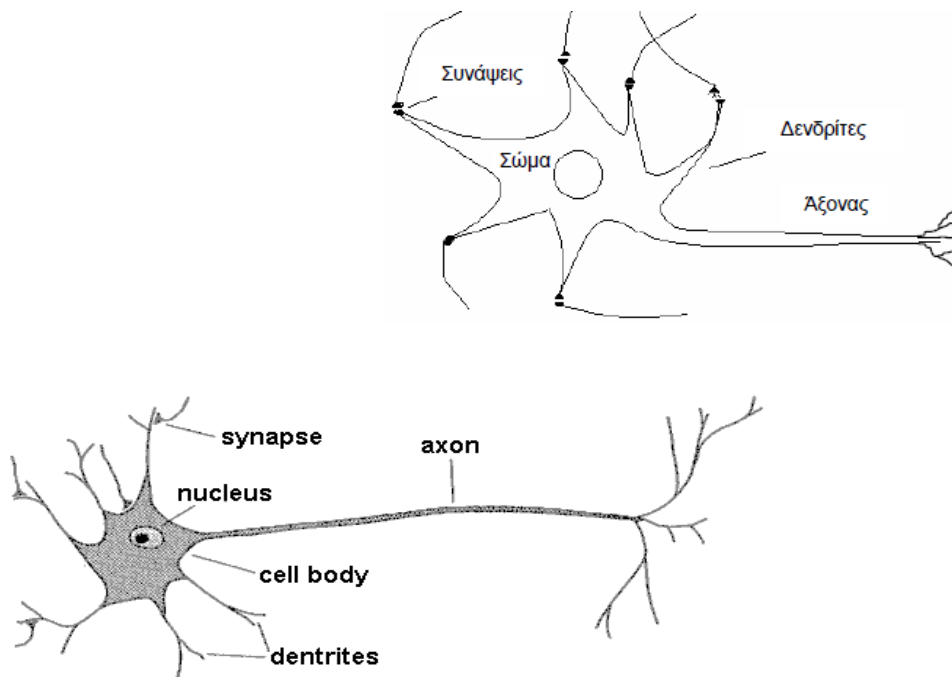
$$gaussmf(x, c, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x - c)^2}{2\sigma^2}\right)$$

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.

## 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 1010 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.



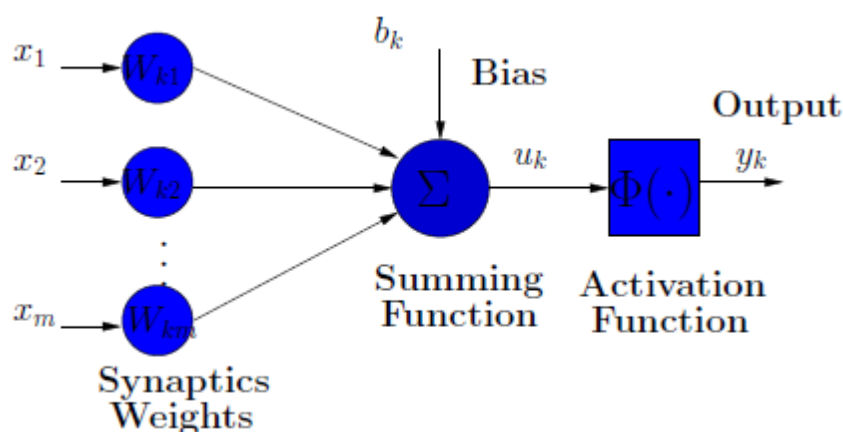
Διάγραμμα 7: Νεύρωνες

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.



Διάγραμμα 8 : 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).  $\Phi u=1, u \geq 0$ , else
2. Piecewise Linear Function.  $\Phi u=1, u \geq 12$ ,  $0, 12 > u > -12$ , else
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.  $\Phi u = \frac{1}{1 + e^{-au}}$

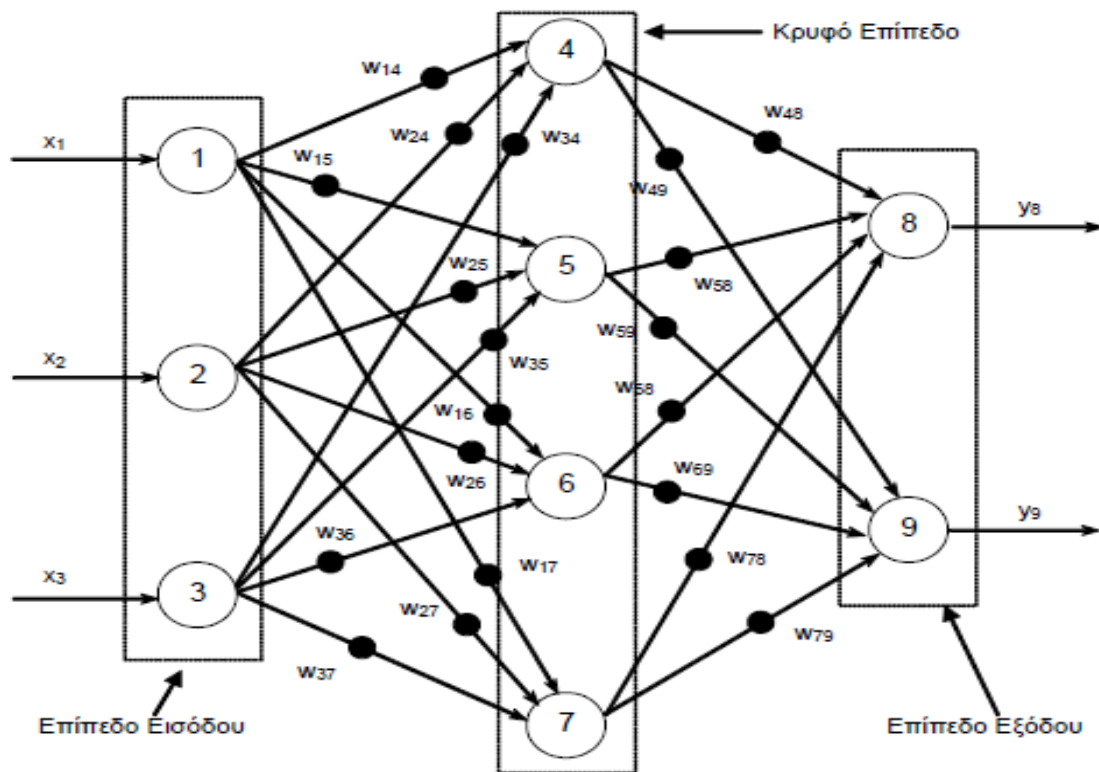
### Αρχιτεκτονικές Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

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 (SingleLayer 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.



Διάγραμμα 9 : 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:

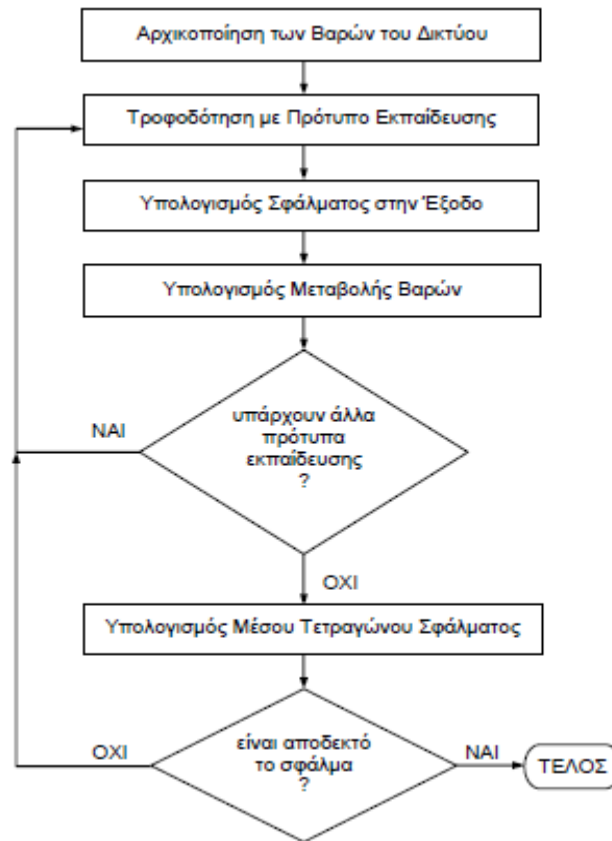
1. εκπαίδευση με επίβλεψη (supervised learning). Διαδικασία στην οποία απαιτείται κάποιο διάνυσμα εξόδου το οποίο αντιστοιχεί στις επιθυμητές τιμές. Οι μέθοδοι που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι η εκμάθηση με διόρθωση σφάλματος (error correction learning), η στοχαστική εκμάθηση (stochastic learning) 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.

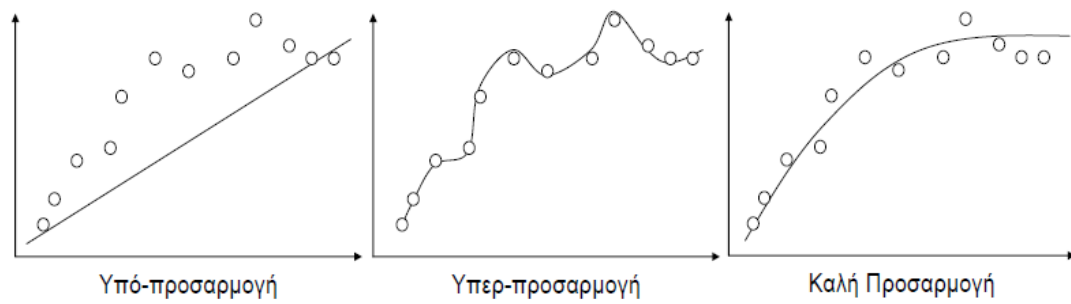


2. Διαδικασία βελτιστοποίησης επικλινούς καθόδου (gradient descent optimization procedure) που ελαχιστοποιεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $E$  μεταξύ της εξόδου του δικτύου και της επιθυμητής εξόδου, για τα  $p$  διανύσματα εκπαίδευσης



Διάγραμμα 10: 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 προσαρμόσεται πολύ καλά στα δεδομένα εκπαίδευσης και μόνο σε αυτά. Οι αναφορές μικρός και μεγάλος αριθμός εποχών είναι σχετικές και αναφέρονται στο εκάστοτε πρόβλημα.



Διάγραμμα 11: Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εκπαιδευμένων ΤΝΔ

## 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 υπολογιστικά 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). Εμπλεκώντας 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) τοποιοδημιουργήθηκε 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 αλγόριθμο 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 μέρη: 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

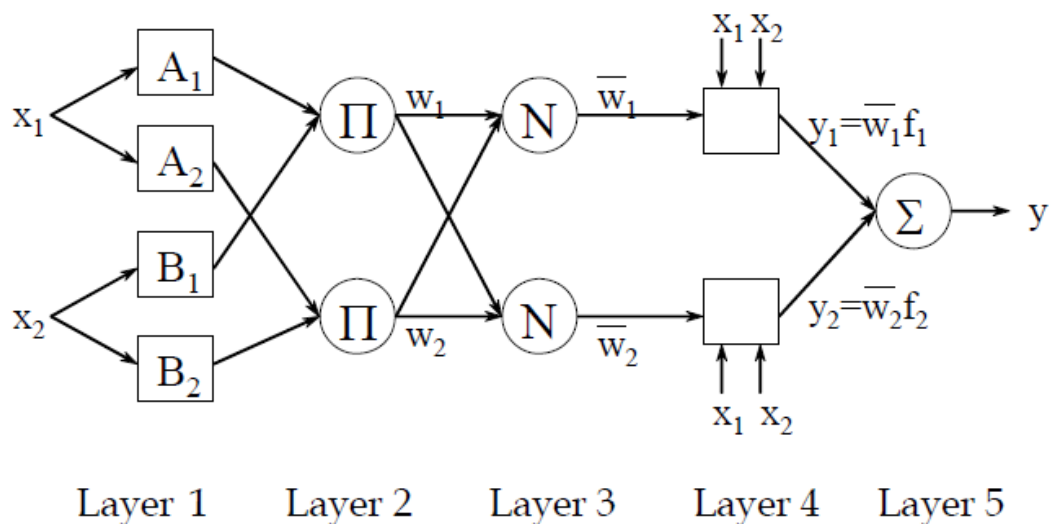
- Το Neuro-Fuzzy Classification (NEFCLASS), (Nauck, 1995). Εξάγει ασαφείς κανόνες από τα δεδομένα τα οποία μπορούν να διαιρεθούν σε σαφείς περιοχές (ταξινόμηση). Η βάση δεδομένων του συστήματος προσεγγίζει μια άγνωστη συνάρτηση  $\phi$  η οποία αναπαριστά το πρόβλημα της ταξινόμησης και αντιστοιχίζει 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.

#### 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.



Διάγραμμα 12 : 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).

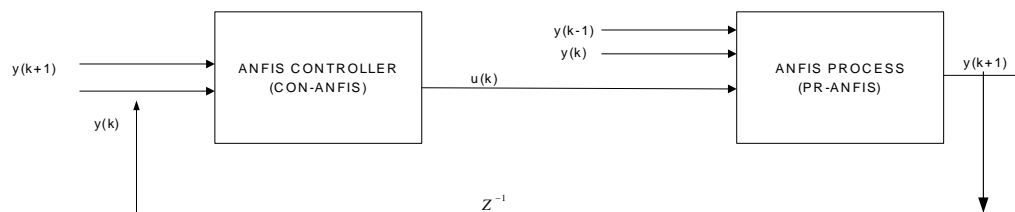
Ο ελεγκτής αναπαριστάται από ένα νεύρο-ασαφές μοντέλο, το οποίο αναπτύσσεται με βάση την αρχιτεκτονική του ανάστροφου ελέγχου (inverse control) και εκπαιδεύεται, ώστε να παράγει ενέργειες ελέγχου που οδηγούν τη διαδικασία σε μία επιθυμητή τροχιά. Ως επιθυμητή τροχιά ορίζεται η κατεύθυνση της τιμής της 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 εκλεκτέ 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 ( $y_d(k+1)$ ) .

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 χρηματιστηρίου .

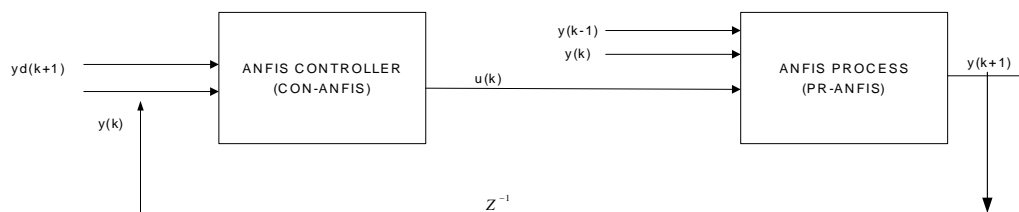
Χαρακτηριστικά	CON-ANFIS	PR-ANFIS
Τύπος ασαφούς μηχανισμού συμπερασμού	Sugeno	Sugeno
Αριθμός εισόδων	2	3
Ονομασία 1ης εισόδου	$y(k)$	$y(k)$
Ονομασία 2ης εισόδου	$y(k+1)$	$y(k-1)$
Ονομασία 3ης εισόδου	-	$u(k)$
Αριθμός εξόδων	1	1
Ονομασία εξόδου	$u(k)$	$y(k+1)$

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.



Διάγραμμα 13: Το σύστημα ελέγχου PATSOS κατά την φάση της εκπαίδευσης



Διάγραμμα 14: 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.

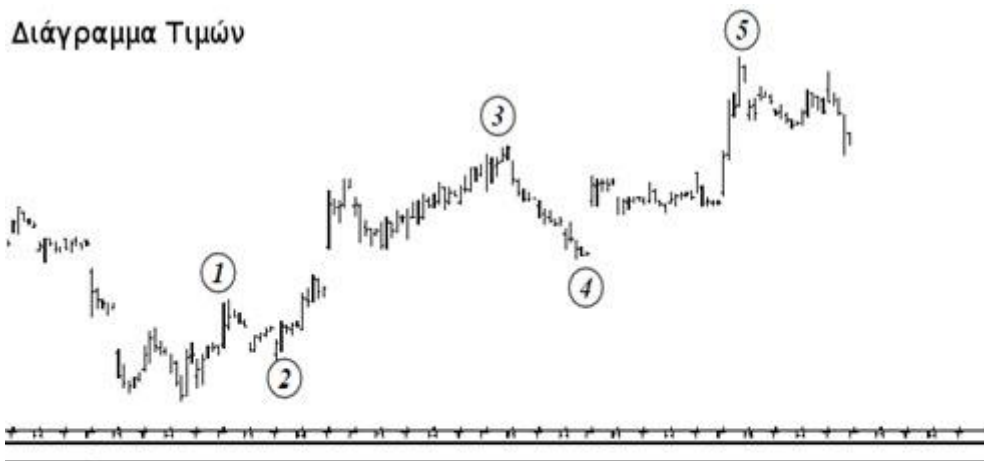
Οι δύο προσεγγίσεις πρόβλεψης των τιμών των μετοχών, η θεμελιώδης και η τεχνική ανάλυση, έχουν διαφορετική σημασία όταν εξετάζονται υπό το πρίσμα του ορίζοντα πρόβλεψης. Στην πραγματικότητα ο ερευνητής μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε ή και όλες τις πληροφορίες οι οποίες αξιόπιστα βοηθούν στη λύση 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.

## Το μοντέλο WASP

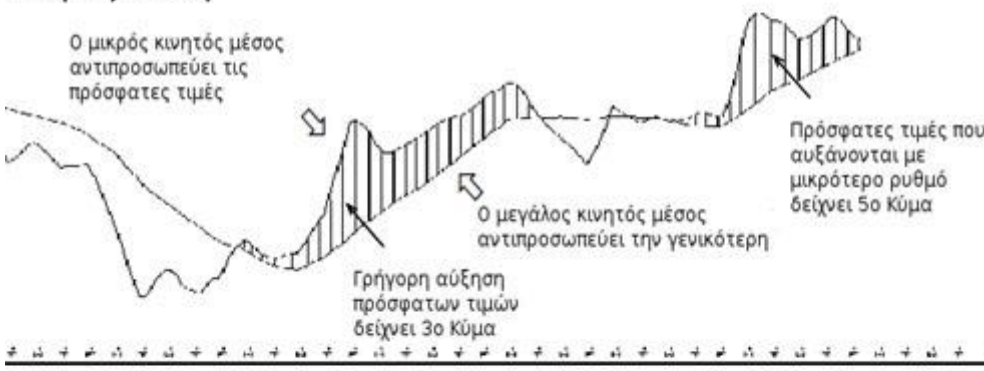
Επειδή το μεγαλύτερο πρόβλημα των κυμάτων Elliott είναι η μέτρηση τους, καθώς το ίδιο διάγραμμα μπορεί να ερμηνευτεί με διαφορετικούς τρόπους, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες διαφοροποιήσεις των προβλέψεων, το μοντέλο WASP χρησιμοποιεί ένα δείκτη, ο οποίος θα είναι ικανός να παρέχει ενδείξεις αναφορικά με το μέτρημα των κυμάτων. Όπως είχε αναφερθεί στην ανάλυση της θεωρίας Elliott, ο πιο εύκολος και σίγουρος τρόπος επένδυσης είναι ο εντοπισμός του 3ου κύματος, το οποίο είναι συνήθως το εμφανέστερο, και η επένδυση στο μικρότερο 5ο κύμα. Έτσι η έρευνα οδηγήθηκε προς αυτήν την κατεύθυνση. Κατά τη διάρκεια του 3ου κύματος, ακριβώς επειδή παρουσιάζει μια ισχυρή δυναμική, οι πρόσφατες μεταβολές της μετοχής, θα είναι αντίστοιχα ισχυρότερες από τις παλαιότερες, γεγονός που φαίνεται από απλούς δείκτες κινητών μέσων όρων. Ο δείκτης ονομάστηκε ElliottWaveOscillator και προκύπτει από τη διαφορά δυο

κινητών μέσων όρων. Έχει επικρατήσει να χρησιμοποιούνται οι κινητοί μέσοι των 5 και 35 ημερών. Έτσι σε ένα ανοδικό κύμα, ο κινητός των 5 ημερών θα είναι μεγαλύτερος του κινητού των 35 ημερών, και συνεπώς ο Elliottwaveoscillator θετικός. Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι όταν ο δείκτης είναι θετικός και μεγάλος, τότε το πιο πιθανό είναι η μετοχή να βρίσκεται σε ένα 3ο κύμα. Από την τελευταία πρόταση προκύπτει και η καταλληλότητα της ασαφούς λογικής, καθώς τα όρια του δείκτη δεν μπορούν να είναι προκαθορισμένα σε μέγεθος διότι εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Στο διάγραμμα 29 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα του δείκτη σε συνδυασμό με την πορεία της μετοχής.

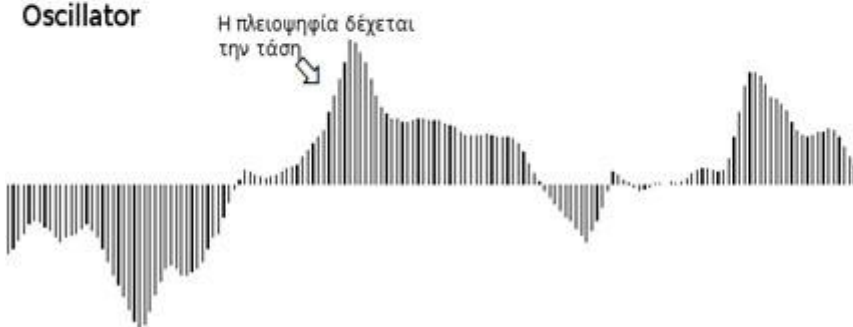
Διάγραμμα Τιμών



Μικρός και Μεγάλος  
Κινητός Μέσος



Elliott Wave  
Oscillator



Διάγραμμα 15

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ο E.W.O τείνει να παρουσιάζει κορυφές ταυτόχρονα με τις τιμές της μετοχής. Επίσης οι περιπτώσεις όπου η τιμή του δείκτη αυξάνεται με υψηλότερο ρυθμό, αποτελούν ενδείξεις 3ων Κυμάτων. Ο Δείκτης E.W.O είναι ένας δείκτης, ο οποίος βρίσκεται στη λογική της ασαφούς λογικής, από τη στιγμή που εκφράζει διαφορετικές καταστάσεις ανάλογα με το μέγεθος του. Για παράδειγμα, όταν ο δείκτης E.W.O γίνεται θετικός, βρισκόμαστε σε ανοδική πορεία. Όταν ο δείκτης είναι υψηλός, βρισκόμαστε σε 3ο ανοδικό κύμα. Όπως γίνεται αντιληπτό από το παραπάνω διάγραμμα όμως, η πτώση της μετοχής ξεκινάει, παρόλο που ο δείκτης είναι ακόμα θετικός. Αυτό είναι λογικό, αφού όπως αναφέρθηκε, ο δείκτης βασίζεται σε κινητούς μέσους. Στο τελικό σύστημα λοιπόν, πρέπει πέρα από το δείκτη, να υπάρχει και άλλη μια μεταβλητή εισόδου, που να διαχωρίζει με κάποιο τρόπο την ανοδική και τη καθοδική περίοδο της μετοχής, όταν ο δείκτης είναι θετικός. Μια σκέψη ήταν η χρησιμοποίηση του αριθμού των ημερών από την τελευταία φορά που ο δείκτης άλλαξε πρόσημο. Ένας τέτοιος κανόνας υπόθεσης θα είχε την ακόλουθη μορφή

“όταν ο EWO είναι υψηλός, και έχουν περάσει λίγες μέρες...”

Ο παραπάνω κανόνας θα αντιστοιχούσε σε θετικό αποτέλεσμα, δηλαδή σήμα αγοράς, καθώς αντιστοιχεί σε περίπτωση αρχής τρίτου κύματος. Αν οι ημέρες ήταν πολλές, τότε το πιο πιθανό είναι το κύμα να οδηγείται στο τέλος του, με αποτέλεσμα να ακολουθεί μια διόρθωση. Σε αυτήν την περίπτωση το μοντέλο WASP θα έδινε σήμα πώλησης

Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά, ωστόσο, ο δείκτης παρουσίασε προβλήματα αναφορικά με την εκπαίδευση του συστήματος. Ο δείκτης αυτός θα ήταν κρισιμότερος στη δημιουργία ενός μακροπρόθεσμου συστήματος με την χρησιμοποίηση όχι του δείκτη E.W.O(5/35), αλλά ενός αντίστοιχου για μεγαλύτερη περίοδο όπου οι κύκλοι των κυμάτων είναι πιο σταθεροί, και παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνάφεια με τη θεωρία της σειράς Fibonacci. Ένα τέτοιο σύστημα δεν μπορεί να δημιουργηθεί ακόμα, καθώς τα δεδομένα δεν είναι αρκετά για την ίδρυση συστημάτων πρόβλεψης μηνιαίων αποδόσεων, καθώς για δεδομένα 20 ετών αντιστοιχούν περίπου 5.000 παρατηρήσεις, δηλαδή περίπου 200 μηνιαίες παρατηρήσεις, αριθμός πολύ μικρός για να χωριστεί σε δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου. Για το λόγο αυτό η ιδέα χρησιμοποίησης του διαστήματος των ημερών από την ημέρα εναλλαγής του δείκτη εγκαταλείφθηκε. Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε τελικά είναι οι υστερήσεις του E.W.O, δηλαδή  $EW(5/35)(t-1)$ . Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν κανόνες που περιλαμβάνουν την αλλαγή της τάσης. Η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε διόρθωση είτε σε τερματισμό του κύματος. Ένας τέτοιος κανόνας υπόθεσης είναι ο ακόλουθος:

“Όταν ο δείκτης EWO είναι υψηλός, και την προηγούμενη μέρα ήταν μεγαλύτερος ...”

Ένας τέτοιος κανόνας θα αντιπροσώπευε είτε μια διόρθωση στο ανοδικό κύμα, είτε τον τερματισμό του κύματος. Σε κάθε περίπτωση το αποτέλεσμα αναμένεται καθοδικό. Για τον καλύτερο διαχωρισμό μεταξύ διόρθωσης και τερματισμού του κύματος χρησιμοποιήθηκε και η δεύτερη υστέρηση του δείκτη. Έτσι είναι δυνατόν να δημιουργηθούν οι δυο ακόλουθοι κανόνες υπόθεσης:

1. “Όταν ο δείκτης EWO είναι υψηλός, την προηγούμενη μέρα ήταν μεγαλύτερος και πριν δυο μέρες ακόμα μεγαλύτερος...”

Και

2. “Όταν ο δείκτης EWO είναι υψηλός, την προηγούμενη μέρα ήταν μικρότερος και πριν δυο μέρες υψηλός...”

Στην πρώτη περίπτωση το πιο πιθανό σενάριο είναι ο τερματισμός του κύματος, σε αντίθεση με την δεύτερη περίπτωση όπου το πιθανότερο σενάριο είναι η διόρθωση.

#### Επιλογή μοντέλου

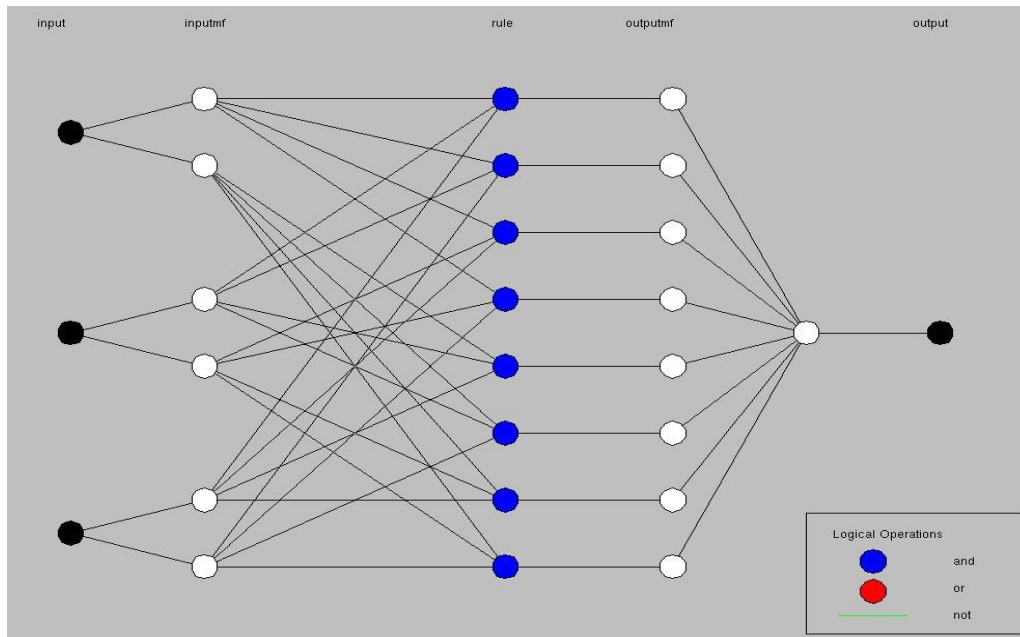
Η διαδικασία της επιλογής του μοντέλου, δηλαδή ο καθορισμός των παραμέτρων του ANFIS αποτελείται κυρίως από μια διαδικασία συνεχών δοκιμών. Μέσα από αυτή τη διαδικασία επιλέγονται τα ακόλουθα

- Ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής
- Η επιλογή του είδους των συναρτήσεων συμμετοχής
- Η επιλογή των μεταβλητών του συστήματος.
- Ο αριθμός των επαναλήψεων

#### Αριθμός συναρτήσεων συμμετοχής και είδος

Ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα εκπαίδευσης του συστήματος. Πολύ μεγάλος αριθμός έχει ως επακόλουθο την δημιουργία πολλών κανόνων, με αποτέλεσμα την αργή εκπαίδευση. Ο σκοπός όμως είναι να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός κατακερματισμός του χώρου των μεταβλητών ώστε να δημιουργηθούν κανόνες που να έχουν μια λογική υπόσταση και να δίνουν το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα. Στην μεθοδολογία που αναπτύχθηκε πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές, αναφορικά με τον αριθμό των συναρτήσεων συμμετοχής. Επιλέχθηκε τελικώς να χρησιμοποιηθούν δυο

συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε δεδομένο εισόδου. Το παραπάνω συμπέρασμα οδήγησε σε καλύτερα αποτελέσματα, δεδομένης της φιλοσοφίας του EWO, ο οποίος διαφοροποιείτε ανάλογα με το πρόσημο. Η δομή των 9 μοντέλων παρουσιάζεται στο διάγραμμα 30 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 16

Η αρχιτεκτονική ANFIS, όπως έχει προαναφερθεί είναι τύπου Sugeno. Οι μεταβλητές εισόδου έχουν μετατραπεί σε ασαφής μεταβλητές. Η έξοδος όμως είναι μιας σαφής συνάρτηση. Η συνάρτηση εξόδου είναι ένα πολυώνυμο πρώτου βαθμού, και για το λόγο αυτό το μοντέλο Sugeno είναι πρώτου βαθμού. Τα κάθε σύστημα δημιουργεί τους 8 παρακάτω κανόνες.

Εάν  $EWO(5/35)t$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-1)$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-2)$  είναι Μικρό, τότε το (1)

Εάν  $EWO(5/35)t$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-1)$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-2)$  είναι Μεγάλο, τότε το (2)

Εάν  $EWO(5/35)t$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-1)$  είναι Μεγάλο και  $EWO(5/35)(t-2)$  είναι Μικρό, τότε το (3)

Εάν  $EWO(5/35)t$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-1)$  είναι Μεγάλο και  $EWO(5/35)(t-2)$  είναι Μεγάλο, τότε το (4)

Εάν  $EWO(5/35)t$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-1)$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-2)$  είναι Μικρό, τότε το (5)

Εάν  $EWO(5/35)t$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-1)$  είναι Μικρό και  $EWO(5/35)(t-2)$  είναι Μεγάλο, τότε το (6)



*Εάν  $EW(5/35)_t$  είναι Μικρό και  $EW(5/35)_{(t-1)}$  είναι Μεγάλο και  $EW(5/35)_{(t-2)}$  είναι Μικρό, τότε το (7)*

*Εάν  $EW(5/35)_t$  είναι Μικρό και  $EW(5/35)_{(t-1)}$  είναι Μεγάλο και  $EW(5/35)_{(t-2)}$  είναι Μεγάλο, τότε το (8)*

Αναφορικά με το είδος των συναρτήσεων συμμετοχής, το πεδίο είναι πιο θολό. Δεν υπάρχει κάποιος κανόνας που να υπαγορεύει το ορθότερο σχήμα. Η τριγωνική και η τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής, παρουσιάζουν τους καλύτερους χρόνους εκπαίδευσης λόγω της απλής μορφής τους. Στο σύστημα WASP όπως θα φανεί στη συνέχεια δεν χρησιμοποιείται κάποια defacto συνάρτηση συμμετοχής. Μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία επιλέγονται κάθε φορά οι συναρτήσεις που εξηγούν καλύτερα τις τελευταίες παρατηρήσεις, με σκοπό ο συνδυασμός διαφορετικών μοντέλων να δώσει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

#### Μεταβλητές του συστήματος και αριθμός επαναλήψεων

Οι μεταβλητές του συστήματος είναι σημαντικό να έχουν καθοριστεί πριν την διαδικασία επιλογής μοντέλου, τουλάχιστον σε γενικό επίπεδο. Ωστόσο παρουσιάζονται ακόμα επιλογές και δυνατότητες διαφοροποιήσεων. Στην συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκε η περίπτωση αντικατάστασης της δεύτερης μεταβλητής εισόδου. Έτσι αντί για την τιμή του δείκτη  $EW(5/35)_{(t-1)}$  εξετάστηκαν οι περιπτώσεις της τιμής του δείκτη με καθυστέρηση δυο και τριών ημερών ( $EW(5/35)_{(t-2)}$  και  $EW(5/35)_{(t-3)}$ ). Η λογική δεν διαφέρει πολύ από την αρχική, απλά διευρύνει την εξέτασης της περιόδου, αναφορικά με τη διαφοροποίηση μεταξύ διόρθωσης ή τερματισμού κύματος. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν τελικά είναι ο δείκτης ElliotWaveOscillator και οι δυο υστερήσεις του. Αναφορικά με την έξοδο, μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι ημερήσιες αποδόσεις. Αυτό όμως θα έχει ως αποτέλεσμα, το μοντέλο να προσπαθήσει να προβλέψει το ύψος των αποδόσεων καθώς με αυτήν την έξοδο θα έχει εκπαιδευτεί. Αυτό που έχει περισσότερη σημασία είναι όμως οι πρόβλεψη της τάσης της μετοχής. Συνεπώς το πρόβλημα μπορεί να μετατοπιστεί σε πρόβλημα κατηγοριοποίησης, μεταξύ ανοδικών και πτωτικών συνεδριάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με την μετατροπή των αποδόσεων σε μονάδα για θετικές αποδόσεις, και την τιμή -1 για αρνητικές αποδόσεις. Με αυτόν τρόπο, θετικές τιμές πρόβλεψης υποδεικνύουν ανοδική τάση και αρνητικές τιμές, πτωτική.

Τέλος, όσον αφορά τον αριθμό των επαναλήψεων, πάλι δεν υπάρχει κάποιος κανόνας σχετικά με τον άριστο αριθμό επαναλήψεων. Το μοντέλο χρησιμοποιεί 15 επαναλήψεις, και τις εξής συναρτήσεις συμμετοχής καθώς και διαφορετικό βήμα:

Βήμα : (0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 0.5)

Συναρτήσεις Συμμετοχής : (Bell, Gauss, Gauss2, Triangular, Trapezoid, Pi).

## Επεξήγηση της διαδικασίας του Συστήματος WASP

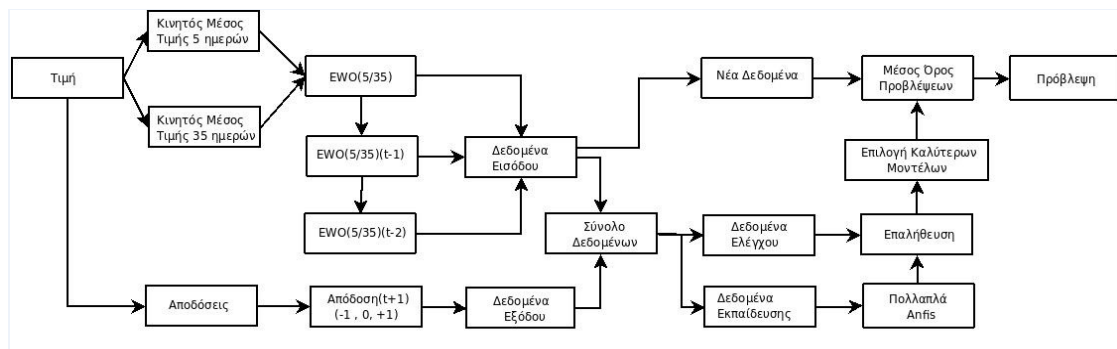
Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην περίπτωση πρόβλεψης μετοχών αποτελεί το γεγονός ότι οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι προσαρμόζουν σε κάθε επανάληψη τις παραμέτρους με βάση το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Στην αναζήτηση όμως ενός μοντέλου ικανού να προβλέπει την κατεύθυνση μιας μετοχής, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα δεν είναι ο καταλληλότερος δείκτης μέτρησης της επιτυχίας του μοντέλου.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η τελική επιλογή των παραπάνω παραμέτρων πρέπει να γίνει με βάση το ποσοστό των σωστών προβλέψεων της τάσης, και την απόδοση του κεφαλαίου κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης στα εκτός δείγματος δεδομένα. Ανάμεσα στις δυο τελευταίες μεταβλητές, πάλι μπορεί να παρουσιαστεί περίπτωση όπου ένα μοντέλο με μικρότερο ποσοστό ευστοχίας να παρουσιάσει καλύτερες αποδόσεις. Όμως ένα μοντέλο που δίνει υψηλό ποσοστό έχει αυξημένη πιθανότητα να δώσει καλύτερες αποδόσεις στο μέλλον. Το ποσοστό ευστοχίας εύρεσης της τάσης ονομάζεται HitRate και δίνεται από τον τύπο

$$HitRate = \frac{h}{n}$$

όπου  $h$  ο αριθμός των σωστών προβλέψεων της τάσης, και  $n$  ο αριθμός των παρατηρήσεων. Η εκπαίδευση ενός μοντέλου με σκοπό την αριστοποίηση του ποσοστού ευστοχίας είναι ένα εξαιρετικά δύσκολο εγχείρημα τόσο πρακτικά όσο και υπολογιστικά.

Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει κάθε μοντέλο πρόγνωσης, ανεξαρτήτου ποσοστού ευστοχίας και απόδοσης κεφαλαίου είναι η διαχρονικότητα. Στατιστικά ένας επενδυτής που αποφασίζει τυχαία τις κινήσεις αγοράς ή πώλησης (τυχαία ρίψη νομίσματος) μπορεί κάποια περίοδο να παρουσιάσει εξαιρετικά ποσοστά ευστοχίας και απόδοσης, Αυτό όμως δεν καθιστά τον τρόπο πρόβλεψης του κατάλληλο. Η εύρεση ενός μοντέλου πρόβλεψης που να παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα διαχρονικά είναι εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση. Αναφορικά με τα νευρο-ασαφή συστήματα πρόβλεψης, η διαφοροποίηση των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα. Το μοντέλο WASP ακολουθεί μια διαφορετική μεθοδολογία σχετικά με την τελική πρόβλεψη. Ο τρόπος με τον οποίον προκύπτει η πρόβλεψη για την τάση της μετοχής την επόμενη μέρα, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 17.



Διάγραμμα 17

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε αποτελείται από δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο εκπαιδεύονται 42 συστήματα Anfis με διαφορετικές συναρτήσεις συμμετοχής και διαφορετικό βήμα (StepSize). Στη συνέχεια τα συστήματα αυτά αξιολογούνται με βάση το ποσοστό ευστοχίας των δεδομένων ελέγχου (εκτός δείγματος), και επιλέγονται τα 9 καλύτερα. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των 9 προβλέψεων για κάθε παρατήρηση των δεδομένων ελέγχου. Τα δεδομένα της τελευταίας ημέρας, εισάγονται επίσης στα 9 μοντέλα, δίνοντας διαφορετικές προβλέψεις, των οποίων ο μέσος όρος αποτελεί την τελική πρόβλεψη. Οι επαναλήψεις που πραγματοποιούνται κάθε φορά, έχουν σκοπό να σαρώσουν τις περιπτώσεις που παρουσιάζει η κάθε μετοχή. Ο λόγος που επιλέχθηκε να γίνουν λίγες επαναλήψεις (epochs) για διαφορετικά βήματα, σε αντίθεση με πολλές επαναλήψεις για κάποιο καθορισμένο βήμα επιλογή των καλύτερων μοντέλων με βάση το ποσοστό ευστοχίας πρόβλεψης (HitRate), κριτήριο που θεωρείται πιο κρίσιμο στην επιλογή ενός μοντέλου πρόβλεψης μετοχών, από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, που καλείτε να ελαχιστοποιήσει ο αλγόριθμος, όπως αναλύθηκε προηγουμένως.

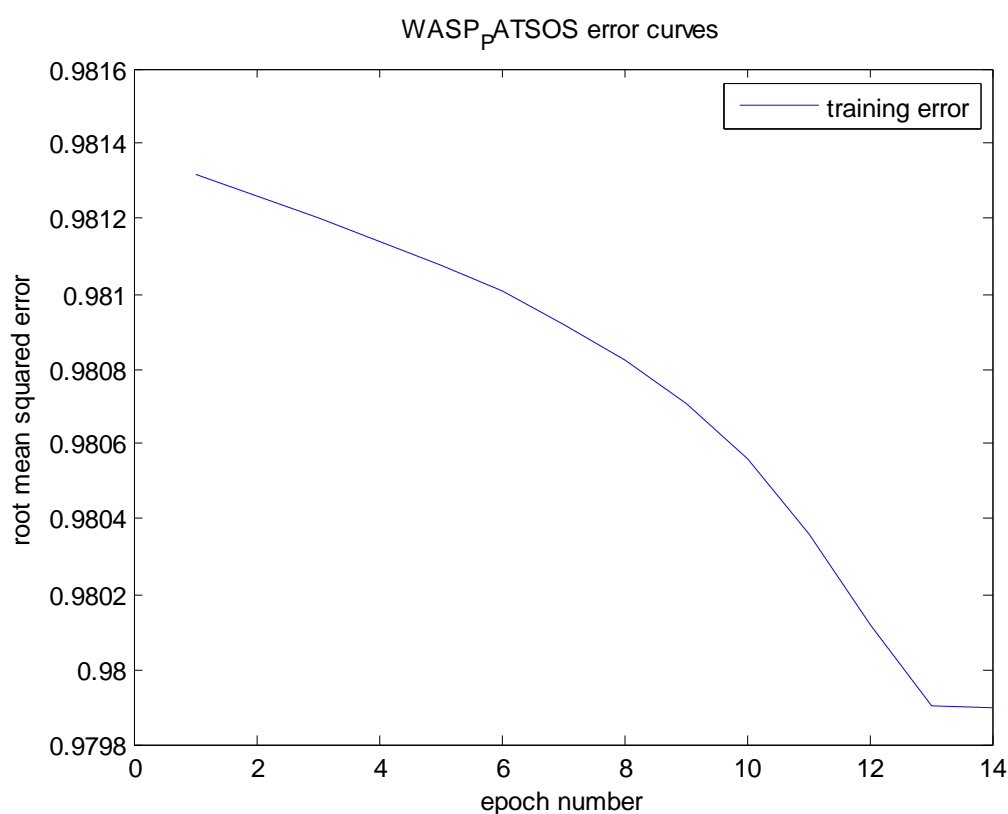
Η λογική του συστήματος βασίζεται στο γεγονός ότι για κάθε περίοδο, και για κάθε μετοχή, θα επιλέγονται τα 9 μοντέλα που δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τις τελευταίες μέρες. Έτσι μειώνεται ο κίνδυνος που προκύπτει από την χρησιμοποίηση ενός και μόνο μοντέλου. Είναι λογικό να περιμένει κανείς ότι στα δεδομένα ελέγχου, το αποτέλεσμα της απόδοσης και του hitrate θα βρίσκεται μεταξύ των ορίων του πρώτου και του τελευταίου υπό-μοντέλου από τα 9 καλύτερα. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τόσο το Hit-Rate όσο και η απόδοση του κεφαλαίου αυξήθηκαν με τη χρησιμοποίηση του μέσου όρου των προβλέψεων.

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το μοντέλου χρησιμοποιεί για να κάνει πρόβλεψη της τάσης της τιμής των προϊόντων για την επόμενη μέρα το μοντέλο WASP σε συνδυασμό με το μοντέλο PATSOS. Δηλαδή το νέο σύστημα που δημιουργήσαμε λειτουργεί με τον τρόπο που λειτουργεί το WASP αλλά δεν χρησιμοποιεί το ANFIS μοντέλο για τις προβλέψεις του αλλά το PATSOS.

## ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ και ΒΗΜΑ

Λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος της πρόβλεψης το σφάλμα το οποίο προσπαθεί να μειώσει ο προσαρμοστικός αλγόριθμος είναι μεγάλο, και η διόρθωση μικρή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 18 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 18

Τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψαν για βήμα 0.1, στα δεδομένα του χρυσού, χρησιμοποιώντας ενδεικτικά την καμπανοειδή μορφή ως συνάρτηση συμμετοχής. Το σφάλμα ξεκινάει από την τιμή 0.9813, και η εκπαίδευση ολοκληρώνεται στο 0.9799. Πρόκειται για μια μείωση της τάξης του 0,14%. Στις 13 πρώτες επαναλήψεις το σφάλμα μειώνεται στην τιμή 0.9799 και δεν μειώνεται σημαντικά στη συνέχεια. Στην περίπτωση των 200 επαναλήψεων το hit-rate είναι

μικρότερο σε αντίθεση με αυτό των στις 14 επαναλήψεων. Η ταχύτητα εκπαίδευσης στην δεύτερη περίπτωση είναι σαφώς μικρότερη. Το σφάλμα έχει τόσο υψηλές τιμές λόγω της μετατροπής των αποδόσεων σε +1 και -1. Επίσης δεν θα είχε νόημα να διερευνηθεί κάποιος συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων, καθώς αυτός θα ίσχυε μόνο για την συγκεκριμένη περίοδο. Για αυτόν τον λόγο επιλέχθηκαν οι 14 επαναλήψεις, και η επανάληψη τους με διαφορετικά επίπεδα βήματος (StepSize). Έτσι προκύπτουν μοντέλα τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα σφάλματος, και με την διαδικασία που εξηγείται στην ακόλουθη παράγραφο επιλέγονται κάθε φορά τα καλύτερα δυνατά. Οι επαναλήψεις γίνονται για τις ακόλουθες τιμές βήματος και συναρτήσεως συμμετοχής.

Βήμα: (0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 0.5)

Συναρτήσεις Συμμετοχής: (Bell, Gauss, Gauss2, Pi).

## ΕΙΣΟΔΟΙ - ΕΞΟΔΟΙ

Οι εισοδοι εξακολουθούν να είναι οι τιμές του ElliotWaveOscillator όπως και στο μοντέλο WASP. Το μοντέλο PATSOS χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά ANFISμοντέλα. Τον ελεγκτή και την διαδικασία. Για τον ελεγκτή οι εισοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διαφορά των μέσων όρων που χρησιμοποιεί το WASP τις στιγμές  $t$  και  $t+1$ . Σαν έξοδος του ελεγκτή ήταν η διαφορά των δύο αυτών τιμών όπως ορίζει το PATSOS.

Στη συνέχεια για ο δεύτερο ANFIS, τη διαδικασία, επιλέξαμε τέσσερις εισόδους και όχι τρεις όπως είναι στο PATSOS. Ο λόγος ήταν διότι το WASP χρησιμοποιεί τρεις εισόδους από τον EWO και θέλαμε και εμείς το ίδιο. Οπότε εφόσον το PATSOS δέχεται σαν είσοδο και την έξοδο του ελεγκτή ο τελικός αριθμός εισόδων έγινε τέσσερις. Σαν έξοδο έχουμε την τάση την επόμενη μέρα.

Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται 35 φορές με διαφορετικές συναρτήσεις συμμετοχής και διαφορετικό βήμα (StepSize).

## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ WASP\_PATSOS

Έπειτα από την εκτέλεση των παραπάνω επαναλήψεων και την αξιολόγησή τους επιλέγονται τα 9 καλύτερα. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των 9 προβλέψεων για κάθε παρατήρηση των δεδομένων ελέγχου. Οι επαναλήψεις που πραγματοποιούνται κάθε φορά, έχουν σκοπό να σαρώσουν τις περιπτώσεις που παρουσιάζει η κάθε μετοχή. Η επιλογή των καλύτερων μοντέλων με βάση το ποσοστό ευστοχίας πρόβλεψης (HitRate), κριτήριο που θεωρείται πιο κρίσιμο στην επιλογή ενός μοντέλου πρόβλεψης προϊόντων, από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, που καλείτε να ελαχιστοποιήσει ο αλγόριθμος, όπως αναλύθηκε προηγουμένως.

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 WASP\_PATSOS με τις πραγματικές τιμές. Επίσης, θα προσομοιώσουμε το σύστημα, επενδύοντας ένα κεφάλαιο και πραγματοποιώντας αγοροπωλησίες προϊόντων σύμφωνα με την κατεύθυνση της μετοχής που προβλέπει το σύστημα. Εάν η τάση είναι ανοδική αγοράζουμε. Διαφορετικά πουλάμε. Αν το προϊόν έχει πωληθεί και η επόμενη πρόβλεψη είναι καθοδική, δεν πραγματοποιείται καμία συναλλαγή, έως ότου η πρόβλεψη είναι ανοδική, οπότε ξαναγοράζεται 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 60 χρηματιστηριακές συνεδριάσεις. Και το  $ROE$  είναι το βασικό μας κριτήριο διότι μας ενδιαφέρει πόσα θα είναι τα χρήματά μας μετά το τέλος μιας χρονικής περιόδου.

Επίσης το ποσοστό ευστοχίας εύρεσης της τάσης  $HitRate$  που έχει αναφερθεί παραπάνω στην περιγραφή του WASP παρουσιάζεται στα αποτελέσματα διότι είναι και αυτό ένας σημαντικός δείκτης αποτελεσματικότητας.

## ΕΝΝΑΛΑΚΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Η παραπάνω αξιολόγηση σύμφωνα με το  $ROE$  γίνεται και σε ακόμη 6 διαφορετικά μοντέλα. Αυτά είναι τα εξής:

- ANFIS
- AR (Autoregressive model)
- ARMA (Autoregressive Moving Average model)
- BoxJenkins
- PATSOS
- WASP

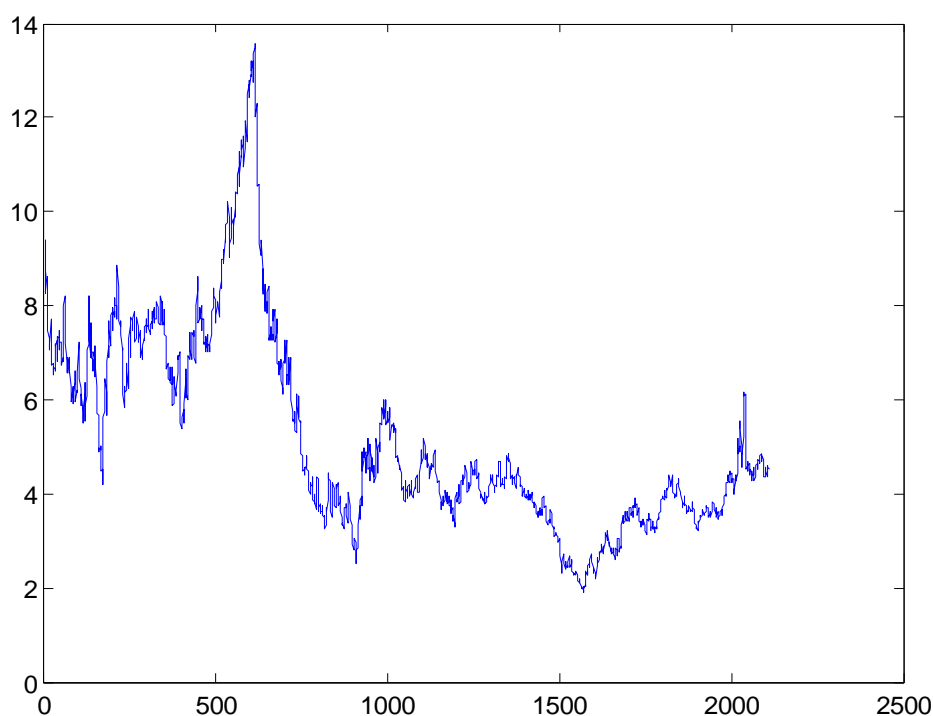
Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι θέλουμε να συγκρίνουμε την απόδοση του νέου μοντέλου με αυτή των παραπάνω ώστε να δούμε κατά πόσο ή όχι έχουμε

προσφέρει ένα μοντέλο το οποίο είναι καλύτερο αυτών που ήδη υπάρχουν έτσι ώστε να το χρησιμοποιήσουμε.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

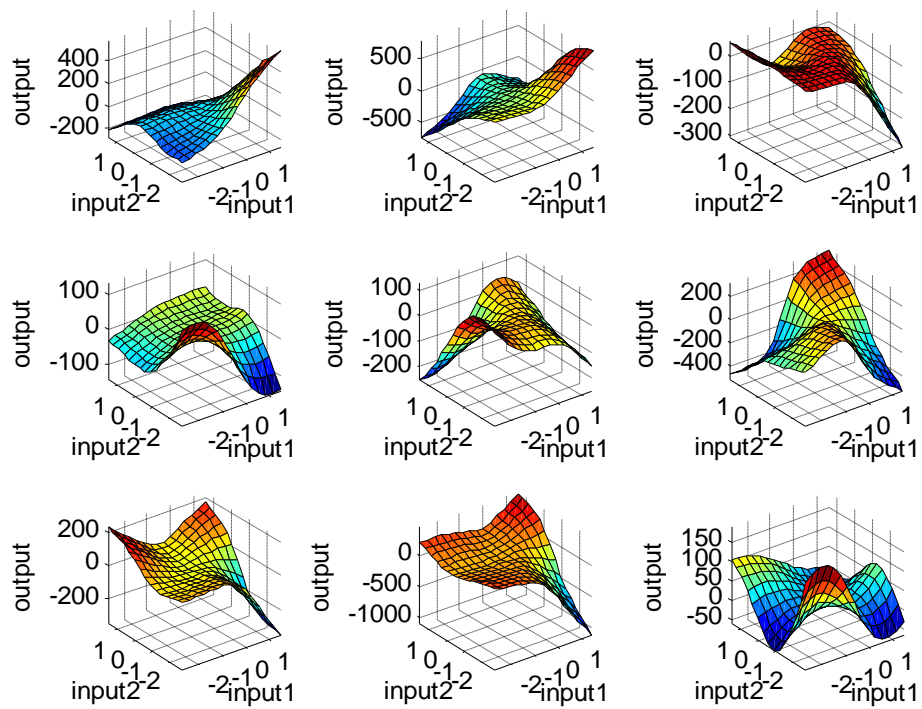
Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα από την εκτέλεση του αλγορίθμου ο οποίος χρησιμοποίησε ιστορικά δεδομένα προϊόντων από τις Ιανουάριο του 2006 μέχρι το Μάιο του 2014. Η εκπαίδευση του μοντέλου έγινε από την αρχή της περιόδου έως 60 συνεδριάσεις πριν τον τέλος της περιόδου. Η αξιολόγηση του έγινε συγκρίνοντας 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, χυμός πορτοκάλι, ζάχαρη ΗΠΑ, υγραέριο 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 φυσικό αέριο (NaturalGas). Τα γραφήματα που θα ακολουθήσουν παρουσιάζουν τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου.

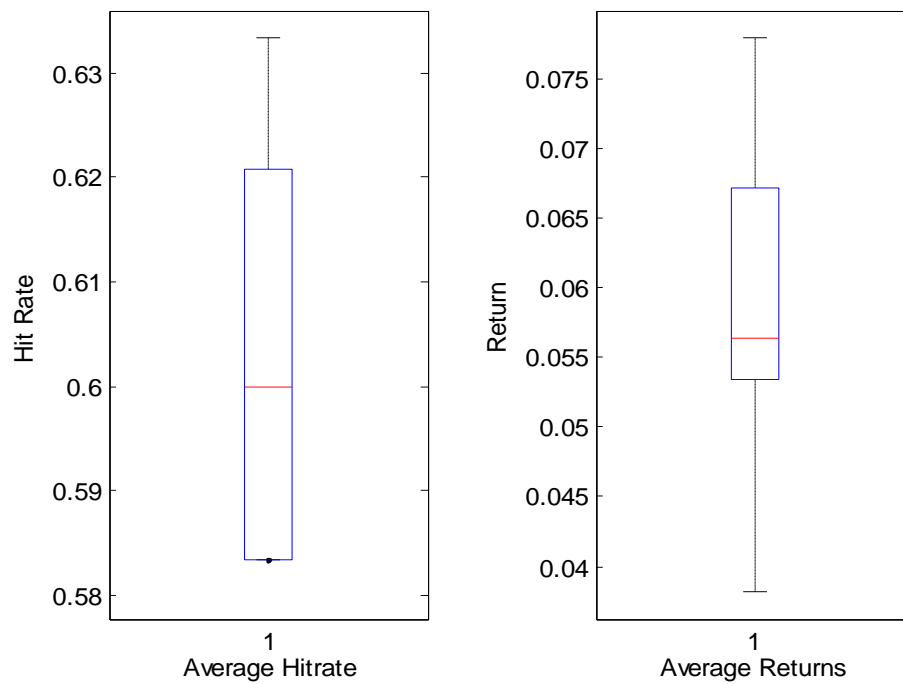


Διάγραμμα 19: Αναπαράσταση ημερήσιων τιμών κλεισίματος του φυσικού αερίου από τις 26 Ιανουαρίου 2006 μέχρι τις 30 Μαΐου 2014.



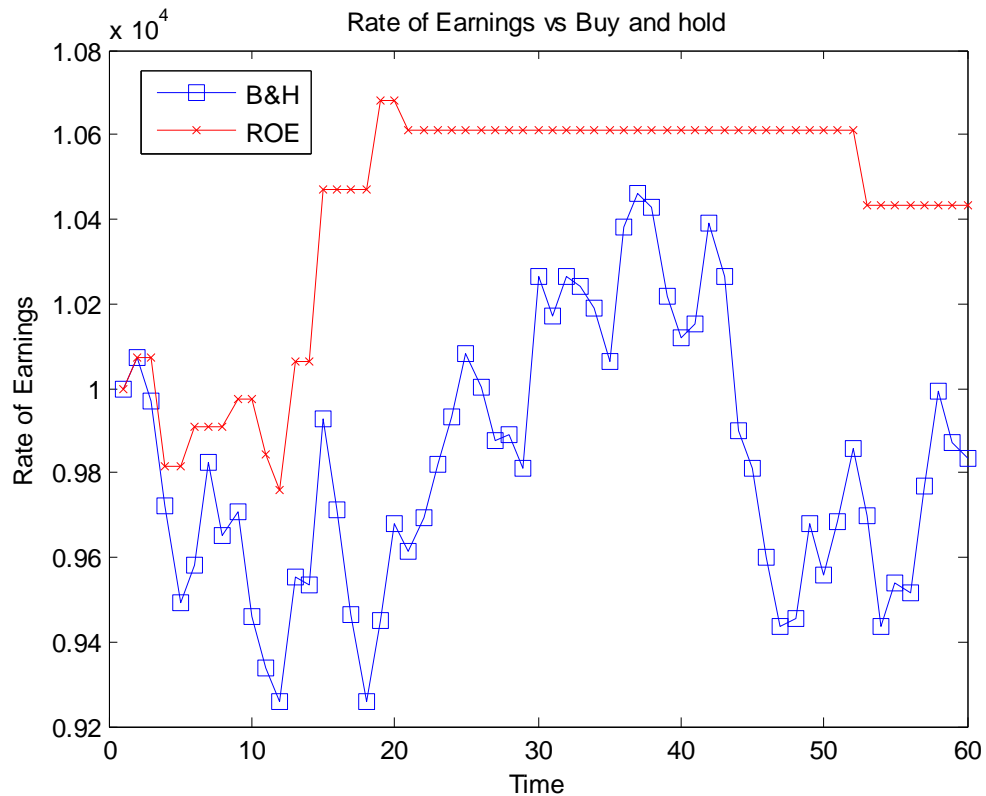


Διάγραμμα 20: Αναπαράσταση των δεδομένων των 9 καλύτερων μοντέλων. Όσο πιο ομαλή είναι η επιφάνεια τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη του κάθε μοντέλου.



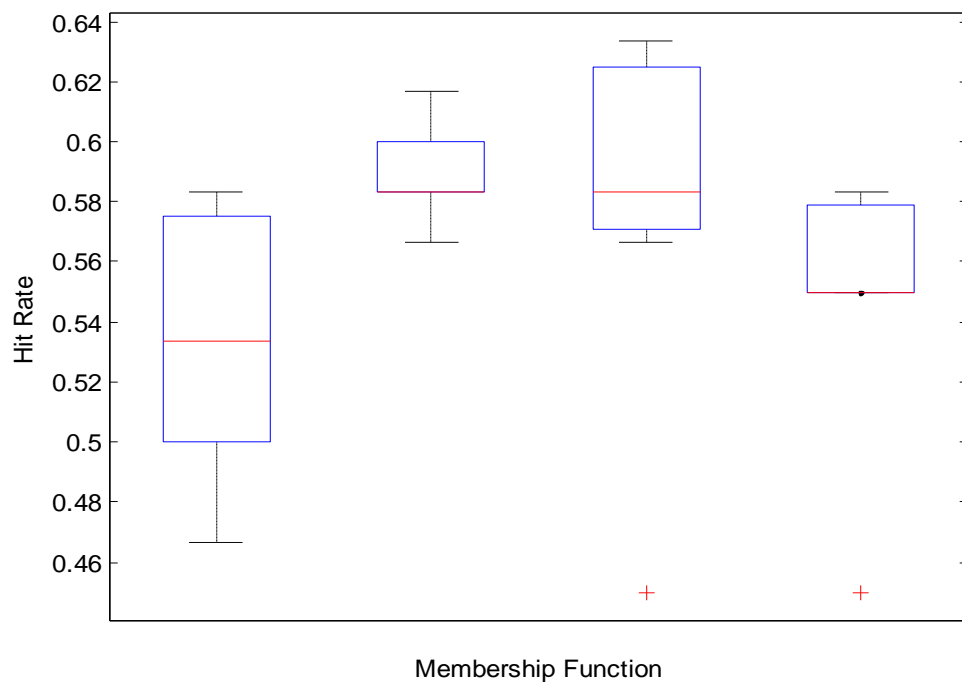
Διάγραμμα 21

Στο παραπάνω διάγραμμα στα μπλε πλαίσια παρουσιάζεται το εύρος της διακύμανσης των HitRate και ROE καθώς και με κόκκινο χρώμα η μέση τιμή των 35 μοντέλων



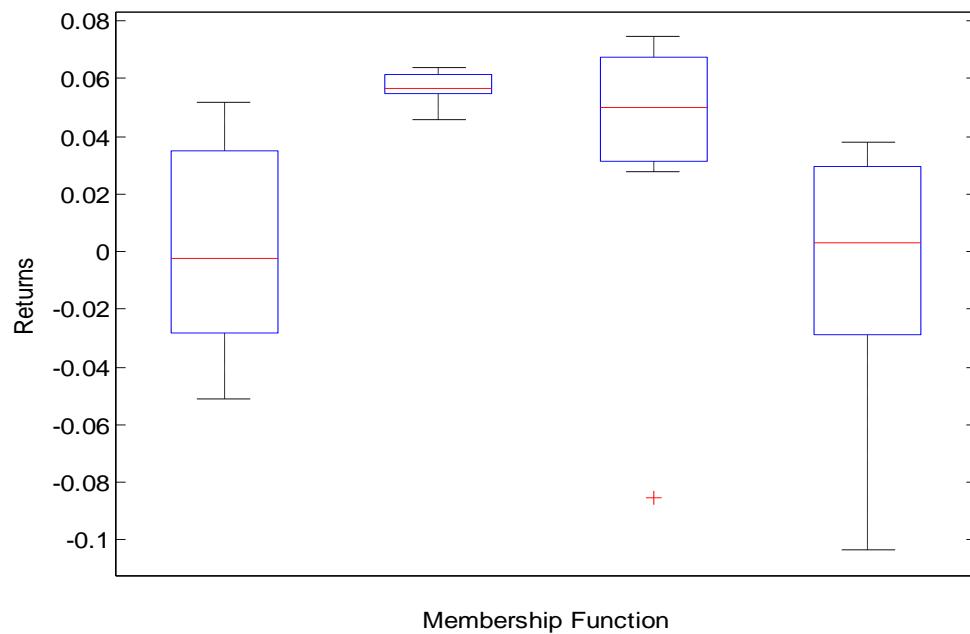
Διάγραμμα 22

Στο παραπάνω διάγραμμα αναπαριστάται η εξέλιξη των ROE και B&H strategy στις 60 εκτός δείγματος ημέρες συναλλαγών. Η ευθεία γραμμή στο ROE δείχνει ότι έχουμε πουλήσει και περιμένουμε τότε θα έχουμε ένδειξη για άνοδο.



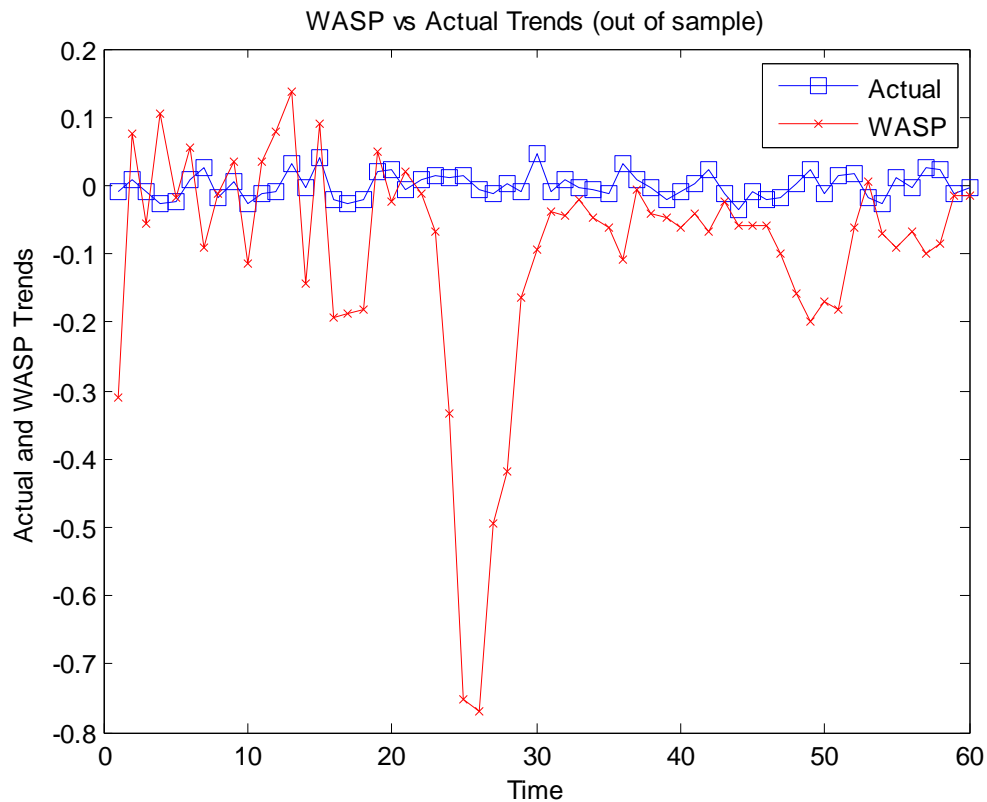
Διάγραμμα 23

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται για τις τέσσερις συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιούμε το HitRate της κάθε μίας για τα διαφορετικά stepsize που χρησιμοποιούμε. Τα μπλε πλαίσια δείχνουν το εύρος του HitRate και με κόκκινο η μέση τιμή τους.



Διάγραμμα 24

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται για τις τέσσερις συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιούμε η απόδοση της κάθε μίας για τα διαφορετικά stepsize που χρησιμοποιούμε. Τα μπλε πλαίσια δείχνουν το εύρος του ROE και με κόκκινο η μέση τιμή του.



Διάγραμμα 25

Το παραπάνω διάγραμμα αναπαριστά την τάση των τιμών του WASP\_PATSOS σε σχέση με την πραγματική τάση. Οι τιμές κάτω από το 0 σημαίνουν ότι θα έχουμε πτώση της τιμής και για πάνω από το 0 άνοδο.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου σε μορφή πινάκων για κάθε προϊόν. Τα αποτελέσματα θα αφορούν όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω τα εξής: το ποσοστό επιτυχίας τάσης (hitrate), τη στρατηγική αγοράς και διακράτηση (buyandhold) καθώς και την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου (ROE).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

<b>Gold</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>Silver</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	48.33%	-1.61%	-7.11%		ANFIS	48.33%	-3.44%	-7.51%
AR	43.33%	-6.80%	-7.11%		AR	48.33%	-4.67%	-7.51%
ARMA	40.00%	-4.76%	-7.11%		ARMA	45.00%	-5.17%	-7.51%
BoxJenkins	63.33%	<b>0.89%</b>	-7.11%		BoxJenkins	61.67%	<b>1.48%</b>	-7.51%
PATSOS	43.33%	-6.51%	-7.11%		PATSOS	46.67%	-5.95%	-7.51%
WASP	55%	-1.69%	-7.11%		WASP	51.67%	-2.92%	-7.51%
WASP_PATSOS	58.33%	-3.11%	-7.11%		WASP_PATSOS	53.33%	-4.76%	-7.51%

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

<b>Copper</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>Platinum</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	40%	1.94%	6.31%		ANFIS	56.67%	2.50%	1.20%
AR	41.67%	2.25%	6.31%		AR	61.67%	<b>4.24%</b>	1.20%
ARMA	41.67%	2.81%	6.31%		ARMA	58.33%	2.12%	1.20%
BoxJenkins	51.67%	6.82%	6.31%		BoxJenkins	55%	1.74%	1.20%
PATSOS	48.33%	6.66%	6.31%		PATSOS	60%	2.14%	1.20%
WASP	61.67%	<b>7.47%</b>	6.31%		WASP	45%	-2.70%	1.20%
WASP_PATSOS	63.33%	7.29%	6.31%		WASP_PATSOS	56.67%	3.06%	1.20%

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

<b>Palladium</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>London Gas Oil</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	58.33%	3.69%	7.01%		ANFIS	48.33%	1.36%	-0.08%
AR	48.33%	0.88%	7.01%		AR	41.67%	-1.12%	-0.08%
ARMA	50.00%	1.14%	7.01%		ARMA	43.33%	-1.07%	-0.08%
BoxJenkins	33.33%	2.21%	7.01%		BoxJenkins	53%	<b>2.83%</b>	-0.08%
PATSOS	46.67%	3.26%	7.01%		PATSOS	48.33%	-0.50%	-0.08%
WASP	71.67%	<b>13.74%</b>	7.01%		WASP	51.67%	-1.40%	-0.08%
WASP_PATSOS	60.00%	4.43%	7.01%		WASP_PATSOS	56.67%	2.71%	-0.08%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Crude Oil	HIT RATE	ROE	B&H		Brent Oil	HIT RATE	ROE	B&H
ANFIS	50%	1.51%	1.57%		ANFIS	50%	3.73%	2.37%
AR	56.67%	0.61%	1.57%		AR	48.33%	3.71%	2.37%
ARMA	60.00%	3.23%	1.57%		ARMA	50.00%	4.32%	2.37%
BoxJenkins	55%	<b>5.75%</b>	1.57%		BoxJenkins	67%	<b>7.76%</b>	2.37%
PATSOS	41.67%	-1.82%	1.57%		PATSOS	48.33%	-0.55%	2.37%
WASP	63.33%	3.47%	1.57%		WASP	46.67%	1.61%	2.37%
WASP_PATSOS	58.33%	4.79%	1.57%		WASP_PATSOS	48.33%	-0.42%	2.37%

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Natural Gas	HIT RATE	ROE	B&H		Heatng oil	HIT RATE	ROE	B&H
ANFIS	51.67%	-2.08%	-1.64%		ANFIS	55%	-0.70%	-4.11%
AR	53.33%	-3.68%	-1.64%		AR	58.33%	3.30%	-4.11%
ARMA	56.67%	1.92%	-1.64%		ARMA	58.33%	<b>3.48%</b>	-4.11%
BoxJenkins	50%	4.34%	-1.64%		BoxJenkins	45%	-1.35%	-4.11%
PATSOS	46.67%	1.01%	-1.64%		PATSOS	46.67%	-4.81%	-4.11%
WASP	33.33%	-12.23%	-1.64%		WASP	51.67%	-0.77%	-4.11%
WASP_PATSOS	58.33%	<b>4.35%</b>	-1.64%		WASP_PATSOS	50%	-2.24%	-4.11%

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

CarbonEmissions	HIT RATE	ROE	B&H		US Wheat	HIT RATE	ROE	B&H
ANFIS	41.67%	-2.80%	-27.29%		ANFIS	35%	-7.70%	-3.88%
AR	38.33%	-8.45%	-27.29%		AR	45.00%	-1.94%	-3.88%
ARMA	50.00%	-8.55%	-27.29%		ARMA	40.00%	-7.29%	-3.88%
BoxJenkins	38%	3.01%	-27.29%		BoxJenkins	42%	1.19%	-3.88%
PATSOS	46.67%	1.97%	-27.29%		PATSOS	65%	<b>9.81%</b>	-3.88%
WASP	58.33%	<b>4.11%</b>	-27.29%		WASP	46.67%	-2.54%	-3.88%
WASP_PATSOS	50%	-11.05	-27.29%		WASP_PATSOS	56.67%	5.15%	-3.88%

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

<b>London Wheat</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>US Corn</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	45%	-0.87%	-9.75%		ANFIS	55%	<b>5.63%</b>	-4.46%
AR	38.33%	-2.88%	-9.75%		AR	36.67%	-7.28%	-4.46%
ARMA	40.00%	-2.66%	-9.75%		ARMA	41.67%	-3.77%	-4.46%
BoxJenkins	41.67%	-3.86%	-9.75%		BoxJenkins	51.67%	-0.06%	-4.46%
PATSOS	50%	<b>-0.02</b>	-9.75%		PATSOS	40%	-5.93%	-4.46%
WASP	55%	-2%	-9.75%		WASP	56.67%	-0.81	-4.46%
WASP_PATSOS	58.33%	-0.70%	-9.75%		WASP_PATSOS	56.67%	3.87%	-4.46%

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

<b>US Soybeans</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>US Coffee C</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	51.67%	<b>5.37%</b>	2.15%		ANFIS	48.33%	-1.41%	-9.66%
AR	45.00%	1.76%	2.15%		AR	50.00%	0.90%	-9.66%
ARMA	40.00%	-5.40%	2.15%		ARMA	53.33%	3.41%	-9.66%
BoxJenkins	51.67%	5.00%	2.15%		BoxJenkins	50%	-2.12%	-9.66%
PATSOS	51.67%	5.31%	2.15%		PATSOS	55.00%	<b>11.65%</b>	-9.66%
WASP	51.67%	-0.38	2.15%		WASP	60%	2.30%	-9.66%
WASP_PATSOS	51.67%	2.62	2.15%		WASP_PATSOS	55%	6.92%	-9.66%

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

<b>US Soybean Oil</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>US Cotton No2</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	66.67%	<b>2.96%</b>	-13.24%		ANFIS	45.00%	-6.65%	-5.31%
AR	38.33%	-11.64%	-13.24%		AR	35.00%	-13.45%	-5.31%
ARMA	40.00%	-12.79%	-13.24%		ARMA	36.67%	-12.30%	-5.31%
BoxJenkins	61.67%	-2.14%	-13.24%		BoxJenkins	56.67%	<b>6.03%</b>	-5.31%
PATSOS	58.33%	-1.24%	-13.24%		PATSOS	38.33%	-11.81	-5.31%
WASP	55%	-6.90%	-13.24%		WASP	43.33%	-3.42	-5.31%
WASP_PATSOS	58.33%	-0.25	-13.24%		WASP_PATSOS	61.67%	4.07	-5.31%

ΠΙΝΑΚΑΣ 10

<b>US Cocoa</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>London Cocoa</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	43.33%	1.32%	2.65%		ANFIS	48.33%	1.95%	6.44%
AR	53.33%	1.55%	2.65%		AR	53.33%	3.55%	6.44%
ARMA	51.67%	-0.06%	2.65%		ARMA	45.00%	1.81%	6.44%
BoxJenkins	55%	2.71%	2.65%		BoxJenkins	45%	<b>5.88%</b>	6.44%
PATSOS	55%	0.50%	2.65%		PATSOS	56.67%	4.49%	6.44%
WASP	60%	<b>6.78%</b>	2.65%		WASP	48.33%	5.60%	6.44%
WASP_PATSOS	60%	3.82%	2.65%		WASP_PATSOS	45%	1.70%	6.44%

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

<b>London Coffee</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>US Sugar No11</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	63.33%	5.30%	-6.20%		ANFIS	56.67%	<b>4.86%</b>	-3.12%
AR	60.00%	4.57%	-6.20%		AR	48.33%	-6.36	-3.12%
ARMA	61.67%	<b>7.19%</b>	-6.20%		ARMA	50.00%	-6.36%	-3.12%
BoxJenkins	61.67%	3.34%	-6.20%		BoxJenkins	53%	-2.27%	-3.12%
PATSOS	63.33%	3.79%	-6.20%		PATSOS	46.67%	-1.12%	-3.12%
WASP	46.67%	-4.68%	-6.20%		WASP	46.67%	-5.72	-3.12%
WASP_PATSOS	48.33%	-0.54	-6.20%		WASP_PATSOS	51.67%	2.42%	-3.12%

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

<b>London Sugar</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>		<b>Orange Juice</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
ANFIS	48.33%	4.11%	-3.03%		ANFIS	50%	0.89%	2.80%
AR	48.33%	3.38%	-3.03%		AR	45.00%	-2.66%	2.80%
ARMA	61.67%	6.08%	-3.03%		ARMA	48.33%	-4.05%	2.80%
BoxJenkins	60%	<b>9.75%</b>	-3.03%		BoxJenkins	63.33%	<b>14.20%</b>	2.80%
PATSOS	48.33%	0.97%	-3.03%		PATSOS	50.00%	-1.66	2.80%
WASP	48.33%	-3.17%	-3.03%		WASP	55.00%	2.10%	2.80%
WASP_PATSOS	53.33%	-4.12%	-3.03%		WASP_PATSOS	56.67%	4.49%	2.80%



ΠΙΝΑΚΑΣ 13

<b>Live Cattle</b>	<b>HIT RATE</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>
<b>ANFIS</b>	58.33%	-2.70%	-3.18%
<b>AR</b>	51.67%	-3.09%	-3.18%
<b>ARMA</b>	53.33%	-1.47%	-3.18%
<b>BoxJenkins</b>	50%	<b>1.68%</b>	-3.18%
<b>PATSOS</b>	56.67%	-1.77%	-3.18%
<b>WASP</b>	58.33%	-3.28	-3.18%
<b>WASP_PATSOS</b>	55%	-4.63%	-3.18%

Από τους παραπάνω πίνακες λόγω της πληθώρας μοντέλων είναι δύσκολο να διακρίνουμε πιο από τα μοντέλα είναι καλύτερο και σαν αποτέλεσμα δεν μπορούμε να πούμε αν το WASP\_PATSOS υπερτερεί έναντι των άλλων. Για αυτό το λόγο κατηγοριοποιήσαμε εν μέρει τα αποτελέσματα. Αναφορικά με το HitRate και το ROE. Δηλαδή ποιο μοντέλο είχε το υψηλότερο HitRate περισσότερες φορές, και ποιο μοντέλο είχε το πρώτου υψηλότερο και δεύτερο υψηλότερο ROE. Ο λόγος για αυτή την ξεχωριστή κατηγοριοποίηση είναι ότι ανάμεσα σε επτά διαφορετικά μοντέλα η δεύτερη θέση έχει και αυτή αρκετή σημασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14

	<b>1st place hitrate</b>
<b>ANFIS</b>	4
<b>AR</b>	2
<b>ARMA</b>	2
<b>BoxJenkins</b>	5
<b>PATSOS</b>	4
<b>WASP</b>	8
<b>WASP_PATSOS</b>	9

Το WASP\_PATSOS παρατηρούμε ότι σε 9 από περιπτώσεις έχει το υψηλότερο HitRate. Επίσης σε 6 ακόμα περιπτώσεις είναι δεύτερο. Επιπλέον μόνο σε 2 περιπτώσεις το μοντέλο έχει HitRate κάτω του 50% και σε άλλες 2 έχει ακριβώς 50%. Σε όλες τις άλλες είναι σημαντικά πάνω του 50% με μέγιστο το 63,33%. Οπότε βάσει αυτών των ευρημάτων μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το μοντέλο μας έχει μεγάλη προβλεπτική ικανότητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 15

	1st and 2nd place ROE
<b>ANFIS</b>	7
<b>AR</b>	2
<b>ARMA</b>	5
<b>BoxJenkins</b>	11
<b>PATSOS</b>	4
<b>WASP</b>	7
<b>WASP_PATSOS</b>	14

Ο πίνακας 15 μας δείχνει σε πόσες από τις 25 περιπτώσεις προϊόντων τα μοντέλα έχουν την πρώτη και τη δεύτερη θέση όσον αφορά την απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου (ROE). Το μοντέλο μας πάνω από τις μισές φορές έχει το υψηλότερο ROE. Και το πιο σημαντικό εύρημα είναι ότι μόνο σε δύο περιπτώσεις το μοντέλο δίνει λιγότερα κέρδη από ότι θα αποκομίζαμε αν χρησιμοποιούσαμε την στρατηγική αγοράς και διακράτησης (B&H). Σε μία περίπτωση ενώ η B&H έχει θετικό πρόσημο το μοντέλο μας έχει ζημίες και σε δύο άλλες περιπτώσεις ενώ η B&H έχει αρνητικό πρόσημο το μοντέλο μας έχει ακόμη μεγαλύτερες ζημίες. Στις υπόλοιπες 20 το WASP\_PATSOS ξεπερνά την B&H.

Παρακάτω στον Πίνακα 16 παρουσιάζουμε συνοπτικά για κάθε προϊόν το μοντέλο που έχει δώσει το υψηλότερο ROE καθώς και οι επιμέρους επιδόσεις HitRate και B&H. Αυτό που επικρατεί είναι το BoxJenkins. Αυτό δεν σημαίνει ότι το μοντέλο που παρουσιάζει το μεγαλύτερο HitRate έχει αρκετά μεγαλύτερη διαφορά από το δεύτερο. Για αυτό άλλωστε κάναμε και τον Πίνακα 15.

ΠΙΝΑΚΑΣ 16

	<b>Hit Rate</b>	<b>ROE</b>	<b>B&amp;H</b>	<b>Model</b>
<b>Gold</b>	63.33%	0.89%	-7.11%	BoxJenkins
<b>Silver</b>	61.67%	1.48%	-7.51%	BoxJenkins
<b>Copper</b>	61.67%	7.47%	6.31%	WASP
<b>Platinum</b>	61.67%	4.24%	1.20%	AR
<b>Palladium</b>	71.67%	13.74%	7.01%	WASP
<b>Crude Oil</b>	55%	5.75%	1.57%	BoxJenkins
<b>Brent Oil</b>	67%	7.76%	2.37%	BoxJenkins
<b>Natural Gas</b>	58.33%	4.55%	-1.64%	WASP_PATSOS
<b>Heatng oil</b>	58.33%	3.48%	-4.11%	ARMA
<b>London Gas Oil</b>	53%	2.83%	-0.08%	BoxJenkins
<b>CarbonEmissions</b>	58.33%	4.11%	-27.29%	WASP
<b>US Wheat</b>	65%	9.81%	-3.88%	PATSOS
<b>London Wheat</b>	50%	-0.02	-9.75%	PATSOS
<b>US Corn</b>	55%	5.63%	-4.46%	ANFIS
<b>US Soybeans</b>	51.67%	5.37%	2.15%	ANFIS
<b>US Soybean Oil</b>	66.67%	2.96%	-13.24%	ANFIS
<b>US Cotton No2</b>	56.67%	6.03%	-5.31%	BoxJenkins
<b>US Cocoa</b>	60%	6.78%	2.65%	WASP
<b>London Cocoa</b>	45%	5.88%	6.44%	BoxJenkins
<b>US Coffee C</b>	55.00%	11.65%	-9.66%	PATSOS
<b>London Coffee</b>	61.67%	7.19%	-6.20%	ARMA
<b>US Sugar No11</b>	56.67%	4.86%	-3.12%	ANFIS
<b>London Sugar</b>	60%	9.75%	-3.03%	BoxJenkins
<b>Orange Juice</b>	63.33%	14.20%	2.80%	BoxJenkins
<b>Live Cattle</b>	50%	1.68%	-3.18%	BoxJenkins

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια όλο και μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής κοινότητας και του επιχειρηματικού κόσμου χρησιμοποιηθεί 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 βελτιώσει την απόδοση του συστήματος.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε την ασαφή λογική, τα νευρωνικά δίκτυα και την θεωρία κυμάτων Elliot για την πρόβλεψη των τιμών των προϊόντων που διαπραγματεύονται στις αγορές για να δημιουργήσουμε το σύστημα WASP\_PATSOS. Το σύστημα αυτό ενσωματώνει και συνδυάζει δύο νέες μεθοδολογίες πρόβλεψης που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Το μοντέλο PATSOS από τους Ατσαλάκη και Βαλαβάνη (2009), και το μοντέλο WASP από τους Ατσαλάκη, Δημητρακάκη και Ζοπουνίδη (2011). Το μοντέλο μας χρησιμοποιώντας εισόδους από τον EWO που δημιουργήθηκε στο μοντέλο WASP κάνει πρόβλεψη με τη βοήθεια ενός νευρο-ασαφή ελεγκτή που είναι το μοντέλο PATSOS.

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 63,33%. Τα υπόλοιπα 5 προϊόντα κυμάνθηκαν μεταξύ 45% και 50%. Επίσης τα αποτελέσματα της απόδοσης των επενδυμένων κεφαλαίων ήταν εξίσου καλά. Μόνο για 5 από τα 25 προϊόντα η απόδοση ήταν αρνητική μικρότερη αυτής της στρατηγικής B&H. Στα υπόλοιπα 20 εάν κάναμε συναλλαγές σύμφωνα με το μοντέλο θα είχαμε μεγαλύτερα κέρδη από αυτά που θα είχαμε αν χρησιμοποιούσαμε την στρατηγική B&H ή θα είχαμε περιορίσει τις απώλειες μας ή σε 7 περιπτώσεις ενώ η B&H είναι αρνητική το μοντέλο μας, δίνει κέρδη κάτι που είναι αξιοσημείωτο.

Έγινε επίσης σύγκριση της απόδοσης των επενδυμένων κεφαλαίων του WASP\_PATSOS με 6 διαφορετικά μοντέλα πρόβλεψης. Σε 9 περιπτώσεις προϊόντων το μοντέλο μας είχε το υψηλότερο HitRate. Επίσης ερευνήσαμε το πλήθος των περιπτώσεων στο οποίο τα μοντέλα είχαν το υψηλότερο και το δεύτερο υψηλότερο ROE. Το WASP\_PATSOS ήταν το πρώτο με 14 εμφανίσεις.

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.. Επίσης ένας νέος τρόπος εντοπισμού του κύματος στο οποίο βρίσκεται η τιμή του προϊόντος να βοηθούσε σημαντικά στον εντοπισμό της επόμενης τάσης της τιμής.

Για μελλοντική έρευνα εκτός από ημερήσια δεδομένα, το προτεινόμενο σύστημα θα μπορούσε να επεκταθεί και να εφαρμοστεί σε δεδομένα εισόδου ανά εβδομάδα ή μήνα όπου ο EWO θα εκφράζει μεγαλύτερα κύματα.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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. Atsalakis G. et al (2011): Elliott Wave Theory and neuro-fuzzy systems, in stock market prediction: The WASP system. *Expert Systems with Applications*
5. 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.
6. 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.
7. Cabedo J. & Moya I. (2003): "Estimating oil price "Value at Risk" using the historical simulation approach". *Energy Economics* 25 239–253
8. Chen D. & Bessler D. (1990): "Forecasting monthly cotton price: Structural and time series approaches". *International Journal of Forecasting* 6 103–113.
9. Cheong C. (2009): "Modeling and forecasting crude oil markets using ARCH-type models". *Energy Policy* 37 2346–2355.
10. 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.
11. 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.
12. 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

13. Garcia-Martos C. et al. (2012): "Modeling and forecasting fossil fuels, CO<sub>2</sub> and electricity prices and their volatilities". *Applied Energy*
14. Haidar I. & Wolff R. (2007): "Forecasting Crude Oil Price". <http://www.usaee.org/usaee2011/submissions/OnlineProceedings/Forecasting%20Crude%20Oil%20Price%20%28Revisited%29.pdf>
15. He Kaijian et al. (2012): "Crude oil price analysis and forecasting using wavelet decomposed ensemble model". *Energy* 46 564-574.
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. 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.
18. 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
19. Hwa E. (1984): "A Model of Rice and quantity adjustments in primary commodity markets". *Journal of Policy Modeling* 7620-305.
20. Jammazi R. & Chaker A. (2011): "Crude oil price forecasting: Experimental evidence from wavelet decomposition and neural network modeling". *Energy Economics* 34 828–841.
21. Kaboudan M. A. (2001): "Compumetric Forecasting of Crude Oil Prices". Paper presented at Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation Seoul, Korea.
22. Kang S. et al. (2009): "Forecasting volatility of crude oil markets". *Energy Economics* 31 119–125
23. Knetsch T. (2006): "Forecasting the price of crude oil via convenience yield". *Series 1: Economic Studies* No 12
24. Kohzadi N. et al. (1996): "A comparison of artificial neural network and time series models for forecasting commodity prices". *Neurocomputing* 10 169-181.

25. Kumar M. (1991): "The forecasting accuracy of crude oil futures prices". International Monetary Fund, Research Department.
26. Lanza A. et al. (2005): "Modeling and forecasting cointegrated relationships among heavy oil and product prices". *Energy Economics* 27 831– 848.
27. Li G. et al. (2010): "Short-Term Price Forecasting For Agro-products Using Artificial Neural Networks". *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 1 278–287.
28. Li J. & Thompson H. (2010): "A note on the oil price trend and GARCH shocks". *The Energy Journal*, Vol. 31, No. 3.
29. Malik Farooq & Nasereddin M. (2006): "Forecasting output using oil prices: A cascaded artificial neural network approach". *Journal of Economics and Business* 58 168–180.
30. Murat A. & Tokat E. (2009): "Forecasting oil price movements with crack spread futures". *Energy Economics* 31 85–90.
31. Mutafoğlu T. (2012): "Forecasting precious metal price movements using trader positions". *Resources Policy* 37 273–280.
32. Nomikos N. & Pouliasis P. (2011) : "Forecasting petroleum futures markets volatility: The role of regimes and market conditions". *Energy Economics* 33 321–337.
33. Parisi A. (2008): "Forecasting gold price changes: Rolling and recursive neural network models". *J. of Multi. Fin. Manag.* 18 477–487.
34. Pierdzioch C. et al. (2012): "Forecasting metal prices: Do forecasters herd?" *Journal of Banking & Finance*.
35. Protopapadakis Eytichios: " Forecasting in crisis period". Technical University of Crete.
36. Sadorsky P. (2006): "Modeling and forecasting petroleum futures volatility". *Energy Economics* 28 467–488.
37. Shafiee S. & Topal E. (2010): "An overview of global gold market and gold price forecasting ". *Elsevier, Resources Policy* 35 178–189.



38. Shiang T. (2010): "Forecasting volatility with smooth transition exponential smoothing in commodity market". University Putra Malaysia
39. 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.
40. Souza e Silva E. (2010): "Forecasting oil price trends using wavelets and hidden Markov models". *Energy Economics* 32 1507–1519.
41. 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.
42. Wei Y. (2012): "Forecasting volatility of fuel oil futures in China: GARCH-type, SV or realized volatility models?" *Physica A* 391 5546–5556.
43. Wei Yu, Yudong Wang, Dengshi Huang (2010): "Forecasting crude oil market volatility: Further evidence using GARCH-class models". *Energy Economics* 32 1477–1484.
44. 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.
45. Ye P. et al.(2006): " Forecasting Crude Oil spot price by WNN using OECD petroleum inventory levels". *Energy Policy*.
46. Yea M. et al. (2006): "Forecasting short-run crude oil price using high- and low-inventory variables". *Energy Policy* 34 2736–2743.
47. Yea M. et al. (2005): "A monthly crude oil spot price forecasting model using relative inventories". *International Journal of Forecasting* 21 491– 501.
48. Yu L. et al. (2008): "Forecasting crude oil price with an EMD-based neural network ensemble learning paradigm ".*Energy Economics* 30 2623–2635.
49. Zamani Mehrzad (2004): "An Econometrics Forecasting Model of Short Term Oil Spot Price". 6th IAEE European Conference

50. Zhou S. et al. (2012): "A dynamic meta-learning rate-based model for gold market forecasting ". Expert Systems with Applications 39 6168–6173.

51. 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.

52. Zunino L. et al. (2010): "Commodity predictability analysis with a permutation information theory approach". Physica A 390 876–890.