



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού Με Χρήση Νευρο-Ασαφούς Συστήματος

ΜΑΚΡΙΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΧΑΝΙΑ, 2011

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΙΜΗΣ ΧΡΥΣΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΝΕΥΡΟ-ΑΣΑΦΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΜΑΚΡΙΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Κωνσταντίνος Ζοπουνίδης, Καθηγητής

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ευάγγελος Γρηγορούδης, Επίκουρος Καθηγητής

Μιχάλης Δούμπος, Επίκουρος Καθηγητής

Κωνσταντίνος Ζοπουνίδης, Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ, ΜΑΪΟΣ 2011

Περίληψη

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ άλλοτε, η πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού αποτελεί αντικείμενο έρευνας για πολλούς επιστήμονες ανά τον κόσμο. Η ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης που αντικατοπτρίζει τη δομή της αγοράς χρυσού είναι αναγκαία λόγω της καθοριστικής σημασίας του χρυσού στη διαμόρφωση των οικονομικών και κοινωνικών πτυχών της κοινωνίας. Δεν είναι εξάλλου τυχαίο ότι η τιμή του χρυσού τα τελευταία χρόνια παρουσίασε θεαματική άνοδο εξαιτίας των πολύ σημαντικών οικονομικών, γεωπολιτικών και νομισματικών κινδύνων που αντιμετωπίζει το σύγχρονο παγκόσμιο χρηματοπιστωτικό σύστημα και γενικότερα η οικονομία αφού ο χρυσός αποτελεί το πλέον ασφαλέστερο επενδυτικό καταφύγιο.

Η διατριβή αυτή, που εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, μελετά ένα μοντέλο πρόβλεψης που δεν έχει ξαναχρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του κίτρινου μετάλλου. Πρόκειται για το Προσαρμοστικό Νευρο-Ασαφές Σύστημα Συμπερασμού (Adaptive Neural Fuzzy Inference, ANFIS), ένα από τα πρώτα υβριδικά νευρο-ασαφή συστήματα.

Το μοντέλο ANFIS, λοιπόν, που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της μελέτης αυτής αποτελείται από μία είσοδο (μια χρονοσειρά με παρελθοντικές τιμές χρυσού) και μια έξοδο (οι προβλεπόμενες από το μοντέλο τιμές χρυσού). Σε πρώτη φάση, μελετάται η απόδοση του μοντέλου ANFIS και υπολογίζονται οι τιμές των σφαλμάτων MSE, RMSE, MAE, MAPE για διάφορους συνδυασμούς παραμέτρων. Σε επόμενη φάση, το μοντέλο ANFIS συγκρίνεται με άλλα τρία μοντέλα πρόβλεψης (AR, ARMA, NN). Η αξιολόγηση των αποδόσεων τους γίνεται με βάση τη τιμή του σφάλματος RMSE.

Συμπερασματικά, το μοντέλο ANFIS είναι αυτό που υπερισχύει έναντι των μοντέλων AR, ARMA ως προς την ακρίβεια πρόβλεψης της τιμής του κίτρινου μετάλλου ενώ η υπεροχή του ή όχι έναντι του μοντέλου NN (Neural Network) εξαρτάται από τις τιμές των παραμέτρων του. Πιο συγκεκριμένα, για τύπο συνάρτησης συμμετοχής gauss2mf και αριθμό συναρτήσεων ίσο με πέντε το μοντέλο ANFIS δίνει πιο ακριβείς προβλέψεις συγκριτικά με το μοντέλο NN ενώ σε όλες τις άλλες περιπτώσεις συνδυασμού παραμέτρων του υπερισχύει το μοντέλο NN πάντα όμως με πολύ μικρή διαφορά.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της έρευνας αυτής στα πλαίσια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στο πρόσωπο του κ. Γιώργου Ατσαλάκη για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του καθόλη τη διάρκεια αυτής.

Είμαι ευγνώμων επίσης στους καθηγητές κ.Κωνσταντίνο Ζοπουνίδη, κ.Μιχάλη Δούμπο και κ.Ευάγγελο Γρηγορούδη για την συμμετοχή τους στην παρουσίαση και την αξιολόγηση αυτής.

Δεν θα μπορούσα βέβαια να παραλείψω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς στους φίλους μου για την αμέριστη ηθική στήριξη τους και ιδιαιτέρως σε έναν σημαντικό άνθρωπο στη ζωή μου που στέκεται πάντα δίπλα μου με απίστευτη υπομονή, κατανόηση και αγάπη.

Πρωτίστως όμως, αισθάνομαι την βαθύτατη ανάγκη να αφιερώσω αυτήν την εργασία σε έναν από τους πιο σημαντικούς και αγαπημένους ανθρώπους της ζωής μου, τον πατέρα μου, που αν και έφυγε πολύ νωρίς τον νιώθω πάντα δίπλα μου σαν φύλακα άγγελο μου. Ιδιαιτέρως, επίσης, ευχαριστώ την πολυαγαπημένη μου μητέρα και τις αδερφές μου που με στηρίζουν και με ενθαρρύνουν πάντα να τολμώ να κάνω νέα βήματα στη ζωή μου. Αφιερώνω, λοιπόν, την διατριβή αυτήν στην οικογένειά μου ως ελάχιστη έκφραση της ευγνωμοσύνης και της αγάπης μου.

Στον Πατέρα Μου

Περιεχόμενα

Εισαγωγή-Σκοπός Εργασίας	12
Διάρθρωση Εργασίας	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΧΡΥΣΟΣ	15
1.1 Γενικά για το Χρυσό	15
1.1.1 Ετυμολογία Χρυσού	17
1.1.2 Χαρακτηριστικά Χρυσού	18
1.1.3 Ιστορία Χρυσού	20
1.1.4 Χρήσεις Χρυσού	25
1.1.5 Χώρες που σχετίζονται με το Χρυσό	26
1.2 Τιμή Χρυσού	29
1.2.1 Τρόποι Επένδυσης Χρυσού	31
1.2.2 Ποιός αγοράζει και οδηγεί την τιμή του Χρυσού;	34
1.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του Χρυσού	37
1.3 Προσφορά Και Ζήτηση Χρυσού	44
1.3.1 Πόσος Χρυσός παραμένει να εξορυχθεί;	46
1.3.2 Προβλήματα στην αγορά Χρυσού	47
1.3.3 Κατά Κεφαλήν Απόθεμα Χρυσού	49
1.4 Ο Χρυσός Κανόνας (Gold Standard)	50
1.4.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Χρυσού Κανόνα	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΧΡΥΣΟΥ	54
2.1 Ορισμός Πρόβλεψης	54
2.2 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού	54
2.2.1 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2006-2007	56
2.2.2 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2007-2010	58
2.2.3 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2010	61
2.2.4 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2011	64
2.3 Προβλέψεις Διαφόρων Αναλυτών	65
2.4 Έρευνες Πρόβλεψης Τιμής Χρυσού	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	89
3.1 Ορισμός Νευρωνικών Δικτύων	89
3.2 Ιστορική Εξέλιξη Των Νευρωνικών Δικτύων	91
3.3 Δομές Νευρωνικών Δικτύων	93
3.3.1 Μοντέλο Απλού Νευρωνικού Δικτύου	98
3.3.2 Τοπολογίες Νευρωνικών Δικτύων	99
3.3 Εκπαίδευση Νευρωνικών Δικτύων	103
3.4 Διαδικασία Ανάπτυξης Ενός Νευρωνικού Δικτύου	106
3.6 Ιδιότητες Νευρωνικών Δικτύων	108
3.7 Εφαρμογές Νευρωνικών Δικτύων	110
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ	 115
4.1 Γενικά Για Την Ασαφή Λογική	115
4.1.1 Εφαρμογές Ασαφούς Λογικής	116
4.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Ασαφούς Λογικής.....	117
4.2 Ασαφή Σύνολα.....	118
4.2.1 Ορισμός Ασαφούς Συνόλου.....	118
4.2.2 Τύποι Συναρτήσεων Συμμετοχής	123
4.2.3 Ιδιότητες Ασαφούς Συνόλου.....	129
4.2.4 Λογικές Πράξεις Με Ασαφή Σύνολα	135
4.3 Ασαφείς Κανόνες Και Ασαφής Συλλογιστική.....	139
4.3.1 Ασαφείς Κανόνες (Fuzzy Rules)	139
4.3.1.1 Τύποι Ασαφών Κανόνων	143
4.3.2 Ασαφής Συλλογιστική	144
4.4 Ασαφή συστήματα	148
4.4.1 Γενικά Για Τα Ασαφή Συστήματα.....	148
4.4.2 Δομή Ασαφών Συστημάτων	149
4.4.3 Τεχνικές Συνεπαγωγής.....	152
4.4.4 Μέθοδοι Απο-ασαφοποίησης	155
4.4.5 Παραδείγματα Λειτουργίας Ασαφών Συστημάτων	157
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΝΕΥΡΟ-ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	 170
5.1 Γενικά.....	170
5.2 Δομές νευρο-ασαφών συστημάτων	171

5.3 Εκπαίδευση Νευρο-Ασαφών Συστημάτων	175
5.4 Adaptive Network based Fuzzy Inference System (ANFIS)	176
5.4.1 Ορισμός του ANFIS.....	176
5.4.2 Δομή του ANFIS.....	177
5.4.3 Εκπαίδευση του ANFIS	181
5.4.4 Περιορισμοί του ANFIS	182
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	183
6.1 Εισαγωγή	183
6.2 Δεδομένα πειράματος	184
6.3 Επεξεργασία.....	184
6.4 Αποτελέσματα πειράματος	187
6.4.1 Αριθμητικό Παράδειγμα Μοντέλου	209
6.4.2 Σύγκριση μοντέλων πρόβλεψης.....	215
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	222
7.1 Συμπεράσματα	222
7.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις.....	224
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	226

Ευρετήριο Πινάκων – Σχημάτων- Διαγραμμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΧΡΥΣΟΣ	15
Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Χρυσού.	18
Σχήμα 1: Οι Περίοδοι και Λόγοι Ανόδου της Τιμής του Χρυσού	24
Πίνακας 2: Οι δέκα κορυφαίες χώρες εξαγωγής χρυσού.	27
Πίνακας 3: Οι κορυφαίες 20 χώρες Κατανάλωσης και Παραγωγής Χρυσού	
(προσφοράς και ζήτησης) για το 2005.....	28
Διάγραμμα 1: Οι τιμές του χρυσού ως αντιστάθμιση του εγχώριου πληθωρισμού δέκα χωρών για την περίοδο 1976-2005.....	29
Σχήμα 2: Πυραμίδα Επένδυσης Χρυσού.	33
Διάγραμμα 2: Η σχέση τιμής Πετρελαίου και Χρυσού.	39
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΧΡΥΣΟΥ	54
Διάγραμμα 1: Μοντέλο Προσφοράς και Ζήτησης για το 2015	60
Διάγραμμα 2: Πρόβλεψη τιμής χρυσού σε δολάρια Η.Π.Α ανά ουγγιά για το	
2007-2010.....	61
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	89
Σχήμα 1: Το νευρωνικό δίκτυο.	94
Σχήμα 2: Ένας νευρώνας (κύκλος) με πολλές εισόδους (S1, S2, S3, ...), αντίστοιχα βάρη (W1, W2, W3, ...) και μια έξοδο.	94
Σχήμα 3: Συνάρτηση εξόδου και γραφική παράσταση κατωφλίου.	95
Σχήμα 4: Τα απλά νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από ένα επίπεδο εισόδου, ένα κρυφό επίπεδο και ένα επίπεδο εξόδου.	99
Σχήμα 5: Ένας νευρώνας με πολλές εισόδους, αντίστοιχα βάρη και μια έξοδο.	100
Σχήμα 6: Δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης.....	101
Σχήμα 7: Δομές ΤΝΔ διαφορετικών επιπέδων: α) 1-επίπεδο, β) 2-επίπεδα, γ)3- επίπεδα.....	102
Σχήμα 8 : Τρόπος λειτουργίας της εποπτευόμενης μάθησης.	105

Σχήμα 16: Εφαρμόζοντας το κριτήριο της ελάχιστης τιμής (min) μεταξύ του βαθμού συμμετοχής της πραγματικής γωνίας και της γωνιακής ταχύτητας, η έξοδος του συστήματος παίρνει την τιμή 0,4.	162
Σχήμα 17: Έξοδος του συστήματος (ταχύτητα) από την εφαρμογή της ελάχιστης τιμής στους κανόνες Α,Β,Γ αντίστοιχα.....	163
Σχήμα 18: Αποτέλεσμα (έξοδος συστήματος) από την επικάλυψη όλων των κανόνων (Α,Β,Γ).	163
Σχήμα 19: Το τελικό αποτέλεσμα δίνεται από το κέντρο βάρους της σκιασμένης περιοχής του γραφήματος της επικάλυψης όλων των κανόνων.	164
Σχήμα 20: Το σύστημα της πέδησης του αυτοκινήτου με δύο εισόδους.....	165
Σχήμα 21: Διαμερισμός της εισόδου «ταχύτητα» σε λεκτικούς όρους.	165
Σχήμα 22: Διαμερισμός της εισόδου «Απόσταση» σε λεκτικούς όρους.	166
Σχήμα 23: Διαμερισμός της εξόδου «Δύναμη πέδησης» σε λεκτικούς όρους.	166
Σχήμα 24: Γραφική παράσταση του ασαφούς κανόνα του παραδείγματος.	167
Σχήμα 25: Γραφική παράσταση του ασαφούς συμπερασμού του παραδείγματος. ...	168
Σχήμα 26: Ο μηχανισμός του ασαφούς συμπερασμού του παραδείγματος.	169

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΝΕΥΡΟ-ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 170

Σχήμα 1.α: Πρώτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.	172
Σχήμα 1.β: Δεύτερη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.....	173
Σχήμα 1.γ: Τρίτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.	173
Σχήμα 1.δ: Τέταρτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.....	173
Σχήμα 2: Ένα υβριδικό νευρο-ασαφές σύστημα με τρεις εισόδους και δυο εξόδους	175
Σχήμα 3: Ο μηχανισμός του ασαφούς συλλογισμού.	178
Σχήμα 4: Αρχιτεκτονική δομή ANFIS.....	178

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 183

Πίνακας 1: Οι παράμετροι του μοντέλου ANFIS.....	185
Σχήμα 1: Συνάρτηση Συμμετοχής Τύπου gbellmf.....	188
Πίνακας 2: Οι τιμές σφαλμάτων για τύπο συναρτήσεως gbellmf και για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 έως 5.	188
Σχήμα 2: Συνάρτηση Συμμετοχής Τύπου trimf.	189

10

Σχήμα 17 : Οι υπολογισμοί του ANFIS.....	209
Πίνακας 8 : Τιμές σφαλμάτων όλων των μοντέλων πρόβλεψης.	217
Σχήμα 18: α) Σύγκριση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης για το μοντέλο ARMA.....	219
β) Μεγέθυνση του διαγράμματος (α).....	219
Σχήμα 19: α) Σύγκριση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης για το μοντέλο AR.	220
β) Μεγέθυνση του διαγράμματος (α).....	220
Σχήμα 20 α) Σύγκριση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης για το μοντέλο NN..	221
β) Μεγέθυνση του διαγράμματος (α).....	221

Εισαγωγή-Σκοπός Εργασίας

Η δυνατότητα πρόβλεψης μελλοντικών τάσεων της παγκόσμιας αγοράς είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς μπορεί να οδηγήσει σε επιτυχημένες κινήσεις στην σκακιέρα των επενδύσεων. Κατά καιρούς έχουν προταθεί και αναπτυχθεί πολλά μοντέλα που προσπαθούν να προβλέψουν τις μελλοντικές τιμές μετοχών, συναλλάγματος και πολλών άλλων οικονομικών μεγεθών.

Η διατριβή αυτή, με θέμα την ‘Πρόβλεψη Χρυσού με χρήση νευρο-ασαφούς συστήματος’ που εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, διερευνά τη δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας ασαφούς λογικής και νευρωνικών δικτύων στον τομέα της πρόβλεψης. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα νευρο-ασαφές σύστημα πρόβλεψης, το μοντέλο ANFIS, με σκοπό την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού. Πρόκειται για ένα προσαρμοστικό νευρο-ασαφές σύστημα εξαγωγής συμπερασμάτων που έχει την ικανότητα να συνδυάζει τόσο τα πλεονεκτήματα της ασαφούς λογικής όσο και των νευρωνικών δικτύων. Η επιλογή του κίτρινου μετάλλου ως αντικείμενο μελέτης δεν ήταν τυχαία καθώς πρόκειται για ένα σπάνιο και πολύτιμο μέταλλο με καθοριστική επίδραση στη διαμόρφωση της παγκόσμιας οικονομίας. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια η τιμή του χρυσού παρουσίασε θεαματική άνοδο εξαιτίας των πολύ σημαντικών οικονομικών, γεωπολιτικών και νομισματικών κινδύνων που αντιμετωπίζει το σύγχρονο παγκόσμιο χρηματοπιστωτικό σύστημα και γενικότερα η οικονομία.

Αρχικά, λοιπόν, γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα μοντέλα πρόβλεψης που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού. Στη συνέχεια, ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή του θεωρητικού υπόβαθρου των ασαφών συνόλων και της νευρο-ασαφούς λογικής. Τέλος, περιγράφεται αναλυτικά το μοντέλο ANFIS και παρατίθενται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του. Παράλληλα, εφαρμόζονται και άλλα μοντέλα πρόβλεψης όπως αυτά των AR, ARMA, NN και συγκρίνονται τόσο μεταξύ τους όσο και με το μοντέλο ANFIS ώστε να προταθεί τελικά ένα αξιόπιστο μοντέλο για την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του κίτρινου μετάλλου.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου ANFIS αποδεικνύουν ότι το μοντέλο αυτό μπορεί να προβλέψει επιτυχώς την βραχυπρόθεσμη τάση της τιμής του κίτρινου μετάλλου. Τα αποτελέσματα αυτά είναι πράγματι πολύ ενθαρρυντικά και οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο ANFIS αποδίδει καλύτερα από τα μοντέλα πρόβλεψης AR, ARMA ενώ συγκριτικά με το μοντέλο των Νευρωνικών Δικτύων (NN) παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά και ανάλογα με το συνδυασμό των τιμών που αποδίδονται στις παραμέτρους του υπερσχύει ή όχι στην ακρίβεια πρόβλεψης της τιμής του χρυσού.

Διάρθρωση Εργασίας

Η δομή της διατριβής αυτής έχει ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται η εισαγωγή στο αντικείμενο της μελέτης, στο κίτρινο μέταλλο. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται η ετυμολογία του χρυσού, κάποια βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του, συνήθειες χρήσεις αυτού και αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, δίνεται ο ορισμός της πρόβλεψης της τιμής του χρυσού ενώ γίνεται και μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των προβλέψεων που έχουν γίνει σχετικά με την διακύμανση της τιμή αυτού από το 2006 μέχρι και σήμερα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται εισαγωγή στα νευρωνικά δίκτυα και πιο συγκεκριμένα στις ιδιότητες, τις εφαρμογές και τον τρόπο εκπαίδευσης αυτών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται η έννοια της ασαφούς λογικής, οι εφαρμογές και τα πλεονεκτήματα αυτής. Επίσης, γίνεται αναφορά στις βασικές έννοιες των ασαφών συνόλων και συστημάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται εισαγωγή στα νευρο-ασαφή συστήματα με εκτεταμένη αναφορά στο μοντέλο ANFIS και στα βασικά χαρακτηριστικά αυτού.

Στο έκτο κεφάλαιο, περιγράφεται λεπτομερώς το πειραματικό μέρος της μελέτης αυτής. Το κεφάλαιο αυτό, λοιπόν, αφιερώνεται κυρίως στην εφαρμογή του μοντέλου ANFIS, ενώ παράλληλα αναπτύσσονται και άλλα μοντέλα πρόβλεψης όπως τα AR, ARMA, NN. Τέλος, παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή και σύγκριση των μοντέλων ως προς την ακρίβεια τους στην πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού.

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο, διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το πειραματικό μέρος της έρευνας και γίνεται αναφορά σε πιθανές μελλοντικές προεκτάσεις αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ο ΧΡΥΣΟΣ



1.1 Γενικά για το Χρυσό

Κατά την περίοδο της αρχαιότητας, ο χρυσός απέκτησε ιδιαίτερη σημασία για τους λαούς και ειδικά για τους αρχαίους Έλληνες. Το μέταλλο αυτό ο άνθρωπος το εντόπισε στα ιζήματα των ποταμών. Η λάμψη που είχε καθώς και το έντονο χρώμα του θεωρείται βέβαιο ότι εντυπωσίαζαν τους ανθρώπους των πρωτόγονων κοινωνιών. Η σπουδαιότητα του ήταν τόσο μεγάλη που υπήρχαν μεγάλες εκδηλώσεις λατρείας γι' αυτόν που έφταναν ακόμα και σε περιπτώσεις πολέμου. [1.1]

Ο χρυσός είναι ένα σπάνιο μέταλλο και αυτό τον έχει κάνει πολύτιμο σε όλη την ιστορία. Φημίζεται για το μοναδικό μίγμα του που είναι σχεδόν άφθαρτο, την ομορφιά, σπανιότητα του καθώς και λόγω της ιδιότητάς του ως μέσο ανταλλαγής και κατεξοχήν ως νόμισμα παγκοσμίως για αιώνες. Οι αυτοκρατορίες και τα έθνη κατείχαν χρυσό για τις διεθνείς συναλλαγές τους, ως απόθεμα πλούτου, αύξηση ή ακόμη και διατήρηση της ισχύς τους. Το κίτρινο μέταλλο έχει χρησιμοποιηθεί επίσης ως ασφάλιση κατά των διακυμάνσεων και της υποτίμησης των χαρτονομισμάτων και για προστασία από άλλους μακροοικονομικούς και γεωπολιτικούς κινδύνους. Σε όλη την ιστορία, ίσως κανένα άλλο περιουσιακό στοιχείο στον κόσμο να μην είχε την καθολική θέλξη που έχει ο χρυσός και ιδιαίτερα τον τελευταίο καιρό εξαιτίας των πολύ σημαντικών μακροοικονομικών, γεωπολιτικών και νομισματικών κινδύνων που αντιμετωπίζει το σύγχρονο παγκόσμιο χρηματοπιστωτικό σύστημα. [1.2]

Σε κάποιο σημείο κατά τη διάρκεια της πρώιμης ιστορίας του ανθρώπινου γένους, ένας κανόνας τέθηκε σε λειτουργία: *"Αυτός που έχει το χρυσό, δημιουργεί τους κανόνες"*. Κατά τα τελευταία 40 χρόνια, οι κυβερνήσεις και οι κεντρικοί τραπεζίτες παγκοσμίως έχουν προσπαθήσει να ανακαλέσουν τον κανόνα αυτό. Ο λόγος για αυτό

είναι ότι έτσι μπορούν να ξεφορτωθούν τα χαρτονομίσματα. Μέχρι στιγμής, η προσπάθειά τους πετυχαίνει. Η ιστορία, λοιπόν, δείχνει ότι το χαρτονόμισμα συμπιέζεται πάντα με την πάροδο του χρόνου για να αντικατασταθεί από ένα νέο νόμισμα με βάση το χρυσό και / ή ασήμι.

Είναι δύσκολο να βρει κανείς χρυσό στο φυσικό κόσμο και ο περισσότερος, αν όχι όλος, έχει ήδη βρεθεί. Αυτός που απομένει βρίσκεται είτε βαθιά κάτω από την επιφάνεια της Γης είτε σε μεταλλεύματα που περιέχουν πολύ μικρές ποσότητες χρυσού. Οι πόροι αυτοί είναι συχνά σε απομακρυσμένες και εχθρικές περιοχές. Όλα αυτά σημαίνουν μια δαπανηρή διαδικασία εξόρυξης.

Τα γεγονότα δείχνουν ότι τα υπόλοιπα 49.000 τόνων χρυσού θα διατεθούν μόνο σε υψηλότερες τιμές όταν οι εταιρίες εξόρυξης θα μπορούν να αποκομίσουν κάποιο κέρδος από το χρυσό που αποσπούν από τα έγκατα της γης. Επί του παρόντος, πολλές εταιρίες χρυσού έχουν κηρύξει πτώχευση ενώ άλλες βρίσκονται σε επισφαλή θέση. Όλα αυτά συμβάλλουν στη μικρότερη προσφορά χρυσού βραχυπρόθεσμα και επομένως στην μείωση του κατά κεφαλήν αποθέματος χρυσού καθώς ο πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται. Αυτό δεν είναι μια κατάσταση που μπορεί να συνεχιστεί όμως επ' άπειρον. Το πρόβλημα που περιγράφεται εδώ θα υποστεί πολλές διακυμάνσεις

καθώς προχωρούμε προς την ημέρα όταν δεν θα υπάρχει χρυσός στο έδαφος για εξόρυξη. Οι μέθοδοι εξόρυξης θα βελτιωθούν και οι γεωλόγοι θα βρουν λίγο χρυσό αλλά με ολοένα αυξανόμενο κόστος. Τα λοιπά υλικά θα αντικαταστήσουν το χρυσό αλλά εξαιτίας των εγγενών ιδιοτήτων του αυτή η διαδικασία υποκατάστασης θα είναι δύσκολη ή και αδύνατη.



Τα αποθέματα χρυσού στον πλανήτη Γη είναι πεπερασμένα. Βασιζόμενοι σε αξιόπιστα δεδομένα, μπορούμε να προβλέψουμε μια σειρά ημερομηνιών (10 έως 20 ετών) οπότε θα εξαντληθεί ο χρυσός αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις. Ως εκ τούτου, οι σημερινές τάσεις δε θα πρέπει να συνεχιστούν επ' αόριστον και θα πρέπει να γίνουν αλλαγές. Τα σενάρια υποδηλώνουν ότι μια από αυτές τις αλλαγές θα είναι κατ' ανάγκη η υψηλότερη τιμή του χρυσού. Αυτό θα έχει το διπλό αποτέλεσμα της μείωσης της κατανάλωσης (ζήτησης) και της αύξησης της παραγωγής (προσφοράς).[1.1]

Με τον ίδιο τρόπο που το σπίτι της οικογένειας δε πρέπει να θεωρηθεί ως επένδυση, ο χρυσός δεν αποτελεί επένδυση αυτή καθαυτή, αλλά μια μορφή αποταμίευσης για τις δύσκολες μέρες. Πρέπει να αποθηκεύεται με ασφάλεια και δεν θα πρέπει να διατίθενται στο εμπόριο. Καθότι αποτελεί μια μορφή οικονομικής ασφάλισης, ο φυσικός χρυσός δεν θα πρέπει να είναι αντικείμενο διαπραγμάτευσης. Ανακεφαλαιώνοντας, ο χρυσός είναι χρήμα, είναι το απόλυτο ασφαλές καταφύγιο και ένας πολύ καλός τρόπος, αν όχι ο καλύτερος τρόπος, για τη διασφάλιση του πλούτου και για τη διοχέτευση του από τη μια γενιά στην επόμενη.[1.2]

1.1.1 Ετυμολογία Χρυσού

Η λέξη **‘Χρυσός’** απαντάται στην ελληνική γλώσσα από τα πανάρχαια χρόνια. Εικάζεται πως έχει μάλλον Χεττιτική και κατά δεύτερο λόγο Σημιτική προέλευση.[1.3]



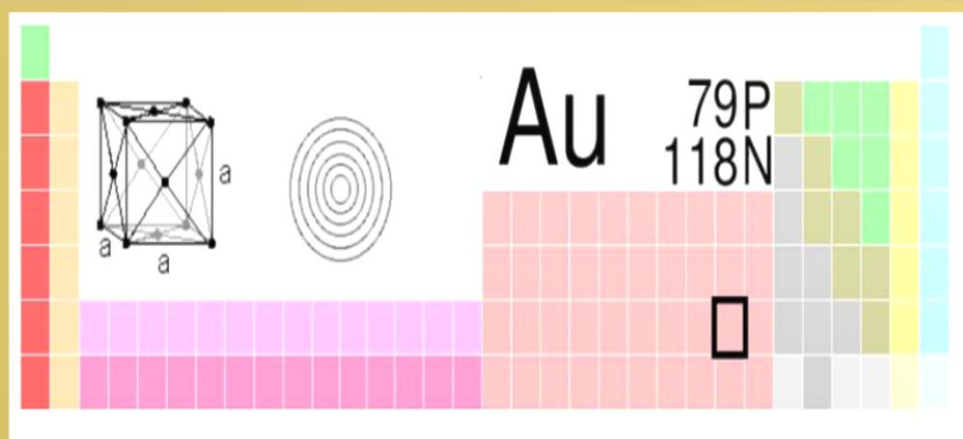
1.1.2 Χαρακτηριστικά Χρυσού

Το χημικό στοιχείο *Χρυσός* (στα λατινικά *Aurum*) είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 79 και ατομικό βάρος 196,966569. Έχει θερμοκρασία τήξης 1064,43 C° και θερμοκρασία βρασμού 2807 C°. Είναι μαλακό, πολύ ελατό και όλκιμο μέταλλο, μπορεί δηλαδή να γίνει (με κατεργασία) πάρα πολύ λεπτά φύλλα και λεπτά σύρματα. Θεωρείται το κατ' εξοχήν 'ευγενές' μέταλλο, πράγμα που από χημική άποψη σημαίνει ότι έχει μεγάλη χημική αδράνεια, π.χ. δεν σκουριάζει (οξειδωση) και δεν προσβάλλεται από ισχυρά οξέα, με εξαίρεση το βασιλικό ύδωρ. Είναι, μαζί με τον χαλκό τα μοναδικά έγχρωμα μέταλλα. Τα χαρακτηριστικά αυτά γνωρίσματα του χρυσού παρουσιάζονται ομαδοποιημένα στον *Πίνακα 1*. [1.3, 1.4]

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Χρυσού.

<u>Χρυσός</u>	
	
Ψήγματα χρυσού. Άνω: Ουάσιγκτον, Καλιφόρνια Κάτω: Βικτόρια (Αυστραλία)	

Ταυτότητα του στοιχείου	
Όνομα, σύμβολο	Χρυσός (Au)
Ατομικός αριθμός	79
Κατηγορία	Στοιχεία μετάπτωσης
ομάδα, περίοδος, τομέας	11 ,6, d
Ατομική μάζα	196.966569 g/mol
Ηλεκτρονική διαμόρφωση	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹
Αριθμός CAS	7440-57-5
Ατομικές ιδιότητες	
Ατομική ακτίνα	144 pm
Ομοιοπολική ακτίνα	136±6 pm
Ακτίνα van der Waals	166 pm
Ηλεκτραρνητικότητα	2,54 (κλίμακα Pauling)
Σταθερότερες βαθμίδες οξείδωσης	-1, 1, 2, 3, 4, 5
Ενέργειες ιονισμού	1η: 890,1 kJ / mol
	2η: 1980 kJ / mol
Φυσικά χαρακτηριστικά	
Κρυσταλλικό πλέγμα	κυβικό επικεντρικό
Σημείο τήξης	1064,18 ° C
Σημείο βρασμού	2856 ° C
Πυκνότητα	19,30 g/cm ³
Ειδική θερμοχωρητικότητα	(25 °C) 25,418 J/mol
Μαγνητική συμπεριφορά	διαμαγνητικό
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	(20 °C) 22,14 nΩ/m
Ειδική θερμική αγωγιμότητα	(300 K) 318 W/m
Σκληρότητα Mohs	2,5
Σκληρότητα Vickers	216 MPa
Σκληρότητα Brinell	25 HB MPa
Μέτρο ελαστικότητας όγκου	180GPa
Λόγος Poison	0.44
Ταχύτητα του ήχου	(λεπτή βέργα) 2030 m/s
Η κατάσταση αναφοράς είναι η πρότυπη κατάσταση (25°C, 1 Atm) εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά	



1.1.3 Ιστορία Χρυσού

Τόσο αρχαιολογικά όσο και ιστορικά, υπάρχουν αναφορές και μαρτυρίες για το χρυσό ότι ήταν ένα από τα πρώτα μέταλλα που ο άνθρωπος χρησιμοποίησε και μάλιστα σε αυτοφυή μορφή. Η λάμψη που είχε καθώς και το έντονο χρώμα του θεωρείται βέβαιο ότι εντυπωσίασαν τους ανθρώπους των πρωτόγονων κοινωνιών. Πολύ γρήγορα, ξεχώρισε και επικράτησε και λόγω των ιδιοτήτων που είχε ως μέταλλο. Ο χρυσός έχει το πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων μετάλλων ότι είναι εύκολο να κατεργαστεί και επιπλέον είναι ανθεκτικός στη διάβρωση οξέων.

Κατά την περίοδο της αρχαιότητας, ο χρυσός απέκτησε σημασία για τους λαούς και ειδικά για τους αρχαίους Έλληνες [1.4]. Στην αρχαία Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην περίοδο της Αθηναϊκής Δημοκρατίας, τα αντικείμενα που ήταν κατασκευασμένα από πολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός τα ονόμαζαν **‘φθόνος θεών’**. Σύμφωνα με αυτήν την έκφραση, η οποία αποτελούσε ένα άγραφο νόμο ανάμεσα στους πολίτες, όποιος κατείχε τέτοιου είδους αντικείμενα λόγω της οικονομικής του ευχέρειας θεωρούνταν ότι θα προκαλούσε τους θεούς και το φθόνο τους γιατί μόνο αυτοί κατείχαν το προνόμιο να ξεχωρίζουν. Φαίνεται, λοιπόν, ότι εκείνη την εποχή το συγκεκριμένο μέταλλο αποτελούσε έναν τρόπο έκφρασης εξουσίας αλλά και έκφρασης της οικονομικής ευχέρειας.[1.4]

Πριν από πολλές δεκαετίες, το πολύτιμο «κίτρινο» μέταλλο ήταν για τους ανά τον κόσμο επενδυτές ένας από τους πιο «πιστούς φύλακες» των επενδυτικών τους κεφαλαίων καθώς σε περιόδους αναταραχής, υψηλού πληθωρισμού και οικονομικών κρίσεων υιοθετούσε με αξιοθαύμαστο τρόπο το ρόλο του επενδυτικού «καταφυγίου» και με την



ανθεκτική συμπεριφορά της τιμής του κατόρθωνε να ελαχιστοποιεί τις όποιες απώλειες κεφαλαίου. Οι δύο πετρελαϊκές κρίσεις στη δεκαετία του 1970 αποτέλεσαν τις τελευταίες δύο λαμπρές περιόδους στη διαχρονική πορεία της τιμής του μετάλλου, ενώ κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών μετά το 1987, όπου έλαβε χώρα το τελευταίο ράλυ ανόδου της τιμής του χρυσού διανύοντας μία μακροχρόνια πτωτική πορεία, απώλεσε το μεγαλύτερο μέρος της παλαιάς του λάμψης και απομακρύνθηκε σημαντικά από τη θεωρία του επενδυτικού καταφυγίου η οποία το συνόδευε πιστά για αρκετές δεκαετίες. Σήμερα, ο χρυσός δεν αποτελεί πλέον την παραδοσιακή μορφή επένδυσης που μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικές αποδόσεις σε ετήσια βάση, εξακολουθεί όμως να έχει την ικανότητα προστασίας της αξίας ενός κεφαλαίου που έχει επενδυθεί στο εν λόγω μέταλλο και αποφυγής της οποιασδήποτε σημαντικής φθοράς του ιδιαίτερα σε περιόδους κρίσεων. Συνεπώς, ο χρυσός ενδείκνυται σήμερα ως μορφή επένδυσης μόνο εάν αναμένονται κρίσιμες οικονομικές περιόδους ή πολιτικές αναταραχές στο μέλλον.[1.10]

Από το 1833 ως το 1933 η τιμή του χρυσού ήταν σταθερή στα 20 δολάρια ανά ουγγιά περίπου ενώ από το 1934 ως το 1967 αυξήθηκε στα 35 δολάρια ανά ουγγιά. Η τιμή του χρυσού σταθεροποιήθηκε το 1934 και παρέμεινε σταθερή μέχρι το 1967. Ο χρυσός αποτελεί αντικείμενο εμπορίας στην αγορά από το 1967 με την τιμή του να αυξάνεται με ταχείες διακυμάνσεις από τότε. Η τιμή του χρυσού ήταν σχετικά επίπεδη από το 1980 ως το 2007. Αυτή η μακροχρόνια περίοδος συνέπεσε με μια περίοδο πολύ ενεργή ως προς την πώληση χρυσού στην βιομηχανία.

Το 2008 και στις αρχές του 2009 οι περισσότερες τιμές των μετάλλων έπεσαν και η παγκόσμια οικονομία βρισκόταν σε ύφεση. Πολλές εταιρίες εξόρυξης είχαν δυσκολίες να επιβιώσουν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Η τιμή και η συμπεριφορά παραγωγής του χρυσού όμως διαφέρει από τα περισσότερα άλλα ορυκτά. Κατά την οικονομική κρίση του 2008, η τιμή του χρυσού αυξήθηκε κατά 6%, ενώ πολλές βασικές τιμές άλλων ορυκτών έπεσαν με τις μετοχές τους να μειώνονται κατά 40% περίπου. [1.22]

Σύμφωνα με τη συνολική προσφορά χρυσού από το 2002 μέχρι το 2007, η συνολική προσφορά χρυσού στον κόσμο είναι περίπου 3500 τόνοι ετησίως. Η μεγαλύτερη πηγή του χρυσού, περίπου 2500 τόνοι, προήλθε από τις εξορύξεις. Η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή του χρυσού, περίπου 1000 τόνοι, ήρθε από τις πωλήσεις της κεντρικής τράπεζας και άλλες διαθέσεις. Από την άλλη, η συνολική ζήτηση χρυσού για την ίδια περίοδο είναι κατά μέσο όρο 2500 τόνοι για κοσμήματα και 1000 τόνοι για μικροεπενδύσεις και βιομηχανική παραγωγή. Μία από τις ιδιαιτερότητες του χρυσού είναι ότι η ζήτηση αυτού για κοσμήματα μπορεί να μετατραπεί τελικά σε προσφορά αυτού. Αυτό σημαίνει ότι ο χρυσός είναι μια ανανεώσιμη πηγή που δεν υποβαθμίζεται αλλά μπορεί θεωρητικά να ανακυκλωθεί και να συμβάλει στη μείωση της παγκόσμιας ζήτησης για νέα εξόρυξη. Με άλλα λόγια, τα αποθέματα χρυσού των κεντρικών τραπεζών και ο χρυσός στα κοσμήματα μπορεί να εξισώσει την προσφορά στην αγορά του χρυσού. Πιστεύεται ότι ο χρόνος εξάντλησης ή η αναλογία της παραγωγής μεταλλωρυχείων κατά μέσο όρο θα μειωθεί σε λιγότερο από 40 χρόνια. Τα αποθέματα χρυσού των κεντρικών τραπεζών είναι μια από τις μεγαλύτερες πηγές εφοδιασμού χρυσού στον κόσμο, με τις Ηνωμένες Πολιτείες να κατέχουν το μεγαλύτερο ποσό αποθεμάτων χρυσού στην κεντρική τράπεζα της χώρας τους σε σύγκριση με άλλες χώρες. Γενικότερα, το επίπεδο των αποθεμάτων χρυσού στην τράπεζα τα τελευταία 50 χρόνια έχει παραμείνει σταθερό σε περίπου 30.000 τόνους ανά χρόνο.[1.22]

Δυο σημαντικά άλματα στην τιμή του χρυσού σημειώθηκαν στις αρχές Ιανουαρίου του 1980 οπότε και έφτασε τα 300 δολάρια ανά ουγγιά ενώ βυθίστηκε σημαντικά στα μέσα Μαρτίου του ίδιου έτους. Το δεύτερο ιστορικό άλμα είναι σε εξέλιξη αυτή τη στιγμή. Ξεκινώντας το 2008, η αύξηση αυτή είναι πιο σημαντική και λιγότερο

ευμετάβλητη συγκριτικά με το πρώτο άλμα των τιμών που σημειώθηκε το 1980. Στο τρέχον άλμα, η τιμή του χρυσού έχει αυξηθεί κατά περίπου 700 δολάρια σε 6 χρόνια και συνεχώς αυξάνεται.

Υπάρχουν, πολλοί παράγοντες που συμβάλλουν στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες κλιμακώσεις των τιμών του χρυσού. Σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα, υπάρχουν δύο κύριοι λόγοι για τους οποίους οι τιμές του χρυσού αυξάνονται εντυπωσιακά. Πρώτον, σε μια περίοδο όπου οι παγκόσμιες χρηματοπιστωτικές αγορές συντρίβονται και η παγκόσμια οικονομία βρίσκεται σε ύφεση, οι επενδυτές εμπιστεύονται λιγότερο τις χρηματοπιστωτικές αγορές σαν αξιόπιστες επενδύσεις. Κατά συνέπεια, μεταβαίνουν σε οποιαδήποτε αγορά που δεν είναι απρόβλεπτη, όπως η αγορά χρυσού. Με άλλα λόγια, η αγορά χρυσού λειτουργεί ως ένα είδος ασφάλισης κατά των ακραίων διακυμάνσεων της αξίας των παραδοσιακών στοιχείων του ενεργητικού στις ασταθείς χρηματοπιστωτικές αγορές. Δεύτερον, η υποτίμηση του δολαρίου έναντι άλλων νομισμάτων καθώς και ο διεθνής πληθωρισμός με τις υψηλές τιμές του πετρελαίου είναι λόγοι για τους οποίους οι μεγάλες εταιρίες επιλέγουν το χρυσό ως αντιστάθμιση έναντι των διακυμάνσεων του δολαρίου ΗΠΑ και του πληθωρισμού. Σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, υπάρχουν τρεις κύριοι λόγοι για την αύξηση των τιμών του χρυσού. Πρώτον, η παραγωγή των ορυχείων έχει μειωθεί σταδιακά κατά τα τελευταία χρόνια. Δεύτερον, ο χρυσός είναι πιο ρευστός ή εμπορεύσιμος σε ασταθείς χρηματοπιστωτικές αγορές. Τρίτον, η επένδυση σε χρυσό γίνεται ευκολότερη μέσω των Exchange Traded Funds (ETFs) σε σύγκριση με άλλες αγορές χρηματοδότησης.

Η τιμή του πετρελαίου και τα ποσοστά πληθωρισμού είναι δυο μακροοικονομικές μεταβλητές που επηρεάζουν σημαντικά την τιμή του χρυσού. Μάλιστα, υπάρχει μια θετική συσχέτιση μεταξύ της τιμής του πετρελαίου και του χρυσού, με τη συσχέτιση αυτή κατά τις τέσσερις τελευταίες δεκαετίες να είναι πολύ υψηλή περίπου 85%.[1.22] Οι παράγοντες που ευνόησαν κατά καιρούς την Τιμή του Χρυσού ήταν οι εξής [1.10]:

- Οι υψηλές πληθωριστικές πιέσεις αποτελούσαν πάντα τους καλύτερους συμμάχους στην άνοδο της τιμής του μετάλλου.

- Οι πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 οδήγησαν σε περιόδους σταθερής ανόδου του γενικού επιπέδου των τιμών παγκοσμίως και ενίσχυσης των πληθωριστικών πιέσεων.
- Η αύξηση της τιμής του πετρελαίου.
- Οι πολεμικές αναταραχές δημιουργούν σχεδόν πάντα μεγάλες οικονομικές αναταραχές με αποτέλεσμα οι επενδυτές να καταφεύγουν στην παραδοσιακή ασφάλεια του χρυσού.
- Το αδύναμο δολάριο οδηγεί συνήθως τους επενδυτές στην αγορά χρυσού, λόγω των ανησυχιών για επικείμενη μείωση της αγοραστικής δύναμης του νομίσματος.
- Ο περιορισμός της προσφοράς χρυσού.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι περίοδοι ανόδου της τιμής του χρυσού και οι λόγοι που οδήγησαν στην άνοδο αυτήν.

Περίοδοι Ανόδου της Τιμής του Χρυσού	
1	Έτος 1974 [1η Πετρελαϊκή Κρίση]
2	Έτη 1979-1980 [2η Πετρελαϊκή Κρίση, άνοδος πληθωρισμού, εισβολή της Σοβιετικής Ένωσης στο Αφγανιστάν]
3	Μέσα 1982 – Αρχές 1983 [υψηλό χρέος του Τρίτου Κόσμου, έντονες πληθωριστικές προσδοκίες]
4	Αρχές 1985 – 1987 [αδύναμο δολάριο, πληθωριστικές προσδοκίες, χρηματιστηριακό κραχ]
Πηγή: Investment Research & Analysis Journal.	

Σχήμα 1: Οι Περίοδοι και Λόγοι Ανόδου της Τιμής του Χρυσού.

1.1.4 Χρήσεις Χρυσού

Μεγάλη είναι η αξία του χρυσού στην κατασκευή κοσμημάτων. Στην κοσμηματολογία συνήθως χρησιμοποιείται με προσμίξεις ενώ σπάνια ως καθαρός. Η καθαρότητά του μετράται είτε με καράτια (24 καράτια είναι ο καθαρός χρυσός) είτε με χιλιοστά (1000 χιλιοστά ο καθαρός χρυσός). Στα κοσμήματα χρησιμοποιείται η ποιότητα των 14 καρατιών (585 χιλιοστά) και η ποιότητα 18 καρατιών (750 χιλιοστά). Συνήθως είναι αποδεκτή μία φύρα 10% χρυσού για την επεξεργασία και το γυάλισμα των κοσμημάτων. Η αξία ενός κοσμήματος συνήθως καθορίζεται από το βάρος του καθαρού χρυσού, την εργασία του και την αξία των πολύτιμων λίθων που περιέχει. Πολλές φορές η αξία των λίθων αυτών είναι πολλαπλάσια του χρυσού.[1.3] Στην Ελλάδα η χρήση χρυσού φτάνει περίπου τους 14 τόνους κάθε χρόνο και χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή κοσμημάτων. Ο χρυσός αυτός είναι κυρίως εισαγόμενος από την Ελβετία. Οι ανάγκες της χρυσοχοίας δεν ήταν πάντα τόσο μεγάλες, αλλά αυξήθηκαν μετά το 1950 που ο κλάδος αναπτύχθηκε λόγω του τουρισμού [1.4]. Ωστόσο, βασικά μέταλλα επιστρωμένα με κράματα χρυσού χρησιμοποιούνται ευρέως σε ηλεκτρικά / ηλεκτρονικά προϊόντα και κοσμήματα για εξοικονόμηση χρυσού. Πολλά από αυτά τα προϊόντα συνεχώς επανασχεδιάζονται ώστε να διατηρούν υψηλό επίπεδο χρησιμότητας με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε χρυσό. Σε γενικές γραμμές, το παλλάδιο, η πλατίνα και το ασήμι μπορούν να υποκαταστήσουν το χρυσό.

Ο χρυσός χρησιμοποιείται και ως χρήμα. Κατέστη παράνομη η χρήση του στις ΗΠΑ πριν 41 χρόνια, αλλά τώρα είναι για μια ακόμη φορά αποδεκτό ως ένα δυνητικό νόμισμα. Η ζήτηση για το προϊόν αυτό βρίσκεται σε άνοδο [1.5]. Πρόκειται, λοιπόν, για ένα σημαντικό εμπόρευμα συναλλαγής που χρησιμοποιείται ως εξασφάλιση έναντι του πληθωρισμού [1.6], αντιστάθμιση έναντι των διακυμάνσεων της τιμής του δολαρίου των ΗΠΑ [1.7] εκτός από τις άλλες χρήσεις του σε κοσμήματα, σε βιομηχανικές χρήσεις και ως επένδυση. Μετά την κατάλυση της Bretton Woods συμφωνίας (1971-1973), ο επίσημος ρόλος του χρυσού στο διεθνές νομισματικό σύστημα έληξε και λόγω της εξάλειξης της σχέσης του δολαρίου των ΗΠΑ με το χρυσό η τιμή του κίτρινου μετάλλου σημείωσε μεγάλες διακυμάνσεις. Αναμφίβολα όμως ο χρυσός σαν αξία είναι σταθερή αλλά και ασφαλής. Μάλιστα, οι περιοχές που

έχουν κοιτάσματα χρυσού έχουν μια σημαντική πηγή για την οικονομία τους και ταυτόχρονα αποκτούν ιδιαίτερη σημασία γεωστρατηγικά.

Οι Levin και Wright (2006) [1.8], προσδιόρισαν ότι όσον αφορά την βραχυπρόθεσμη ζήτηση χρυσού υπάρχουν δυο κατηγορίες. Η πρώτη, αφορά την ζήτηση για χρήση ('use') σε κοσμήματα, ηλεκτρικά συστατικά κτλ και αποτελεί μια αρνητική συνάρτηση της τιμής του χρυσού. Η δεύτερη κατηγορία ζήτησης, αφορά τη ζήτηση για περιουσιακά στοιχεία σαν μια μορφή επένδυσης. Αυτή βασίζεται σε έναν αριθμό παραγόντων, όπως η προσδοκώμενη τιμή συναλλάγματος του δολαρίου, ο αναμενόμενος πληθωρισμός, τα έσοδα από άλλα περιουσιακά στοιχεία κ.α.

1.1.5 Χώρες που σχετίζονται με το Χρυσό

Οι συνολικοί πόροι του χρυσού παγκοσμίως υπολογίζονται σε 100.000 τόνους, εκ των οποίων το 15% έως 20% είναι υποπροϊόντα. Η Νότια Αφρική έχει περίπου το μισό του συνόλου των πόρων χρυσού παγκοσμίως ενώ η Βραζιλία και οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν περίπου το 9% η κάθε μία.

Οι 5 κορυφαίες χώρες παραγωγής χρυσού είναι η Κίνα, η ΗΠΑ, η Νότια Αφρική, η Αυστραλία και το Περού. Η Κίνα ήταν ο μεγαλύτερος παραγωγός χρυσού στον κόσμο για το 2007 και κατείχε τη θέση αυτή και το 2008. Η Αφρική συνέχιζε το 2009 να εμφανίζει πτώση της παραγωγής της, ενώ το ορυχείο παραγωγή της Αυστραλίας ήταν σε άνοδο και πάλι όπως ήταν και η παραγωγή της Ρωσίας. Στο Περού και την Ινδονησία η παραγωγή αυξήθηκε επίσης. Η Αυστραλία, Νότια Αφρική, Κίνα και Ηνωμένες Πολιτείες παρήγαγαν περισσότερο από το 40% του χρυσού παγκοσμίως το 2007.

Η παραγωγή χρυσού το 2009 αναμενόταν να είναι περίπου 2.488 τόνους, περίπου 3% πάνω από το 2008 που ήταν 2.416 τόνους και αναμενόταν να ανέβει τον επόμενο χρόνο κατά περίπου 2% στους 2.537 τόνους. Οι επιπλέον 50 τόνοι θα προέρχονται

από τις πολυάριθμες επεκτάσεις και τα νέα ορυχεία που προβλεπόταν να ανοίξουν στην Αυστραλία και τον Καναδά.[1.9]

Οι παρακάτω δέκα κορυφαίες χώρες εξαγωγής χρυσού (Πίνακας 2) επηρεάζουν τον εφοδιασμό-τροφοδοσία και το εμπόριο του χρυσού παγκοσμίως.

Πίνακας 2: Οι δέκα κορυφαίες χώρες εξαγωγής χρυσού.

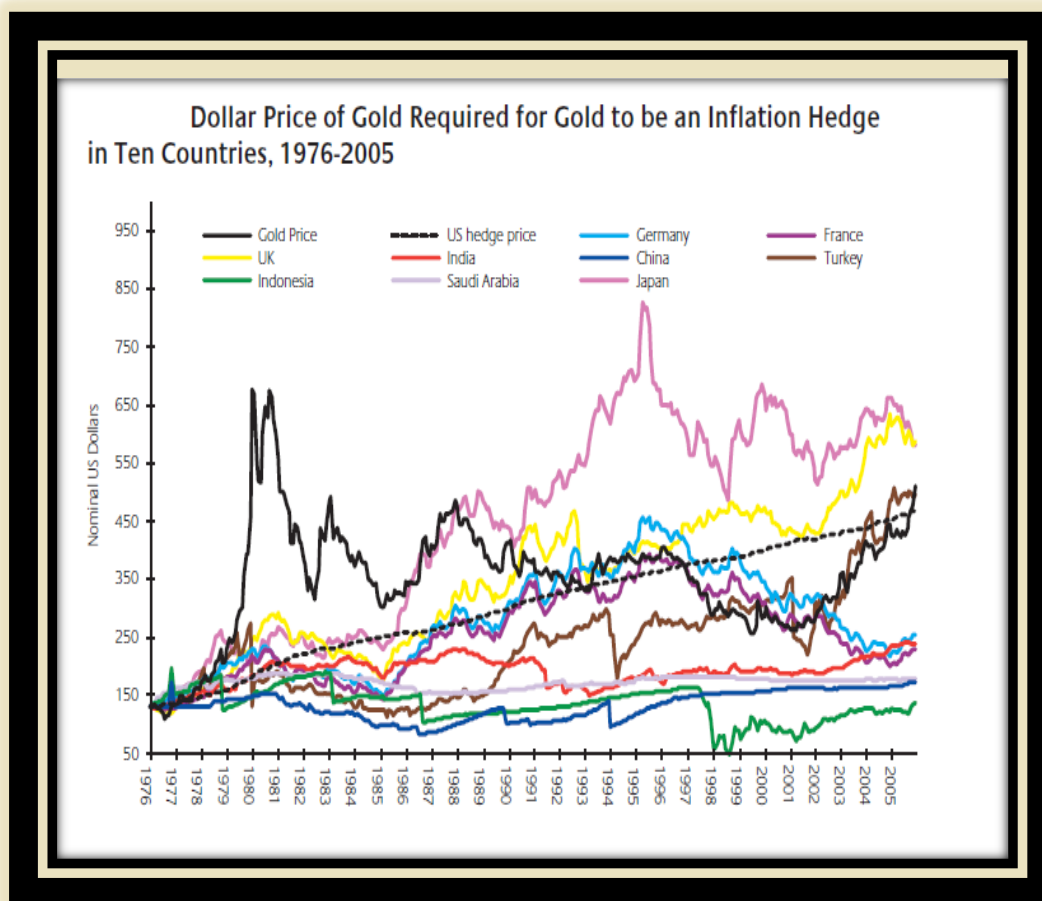
- 
1. [United States](#) ... US\$5.5 billion (23.2% of top ten gold exporters, up 25.2% from 2004)
 2. [Australia](#) ... \$4.4 billion (18.6%, up 7.1%)
 3. [Canada](#) ... \$3.7 billion (15.5%, up 28.4%)
 4. [Peru](#) ... \$3.1 billion (12.9%, up 30.1%)
 5. [Hong Kong](#) ... \$2.8 billion (11.8%, down 55.9%)
 6. [Japan](#) ... \$1.4 billion (6%, up 17.8%)
 7. [Germany](#) ... \$841.7 million (3.5%, up 22.7%)
 8. [Singapore](#) ... \$764.8 million (3.2%, up 14.2%)
 9. [Italy](#) ... \$628.7 million (2.6%, up 41%)
 10. [Colombia](#) ... \$627.2 million (2.6%, up 9%).

Ενδεικτικά παραθέτουμε τον παρακάτω Πίνακα 3 που δείχνει τις 20 κορυφαίες χώρες κατανάλωσης και παραγωγής χρυσού για το έτος 2005.

Πίνακας 3: Οι κορυφαίες 20 χώρες Κατανάλωσης και Παραγωγής Χρυσού (προσφοράς και ζήτησης) για το 2005.

Table 1: Top-20 Gold Producing Countries, 2005			Table 2: Top-20 Gold Consuming Countries, 2005		
Rank	Country	Production in Tonnes	Rank	Country	Jewellery Consumption (including scrap) tonnes
1	South Africa	296.3	1	India	587.1
2	Australia	262.9	2	United States	349.0
3	United States	261.7	3	China	241.2
4	China	224.1	4	Turkey	194.9
5	Peru	207.8	5	Saudi Arabia	146.2
6	Russia	175.5	6	United Arab Emirates	96.0
7	Indonesia	166.6	7	Indonesia	78.0
8	Canada	118.5	8	Egypt	75.3
9	Uzbekistan	79.3	9	Italy	71.0
10	Papua New Guinea	68.8	10	Pakistan	65.1
11	Ghana	62.8	11	Russia	64.5
12	Tanzania	48.9	12	UK & Ireland	59.4
13	Mali	45.9	13	Mexico	42.4
14	Brazil	44.9	14	Thailand	40.9
15	Chile	39.6	15	South Korea	37.6
16	Philippines	31.6	16	France	35.1
17	Mexico	30.6	17	Japan	34.0
18	Argentina	27.9	18	Brazil	33.3
19	Colombia	24.8	19	Vietnam	26.9
20	Venezuela	23	20	Germany	24.6
	Rest of World	277.8			
Source: GFMS Gold Survey 2006, April 2006			Source: GFMS Gold Survey 2006, April 2006		

Το Διάγραμμα 1 παρουσιάζει τις τιμές του χρυσού ως αντιστάθμιση του εγχώριου πληθωρισμού δέκα χωρών μεταξύ 1976 και 2005 εκφρασμένες σε τιμές δολαρίου. Το διάγραμμα αυτό δείχνει σαφώς ότι το μεγαλύτερο μέρος χρυσού καταναλώνουν οι χώρες Ινδία, Κίνα, Τουρκία, Σαουδική Αραβία και Ινδονησία πέρα από τις Η.Π.Α που ήταν λογικό να αγοράσουν χρυσό διότι ο χρυσός αποδείχθηκε περισσότερο από επαρκής ως αντιστάθμιση του πληθωρισμού.[1.9]



Διάγραμμα 1: Οι τιμές του χρυσού ως αντιστάθμιση του εγχώριου πληθωρισμού δέκα χωρών για την περίοδο 1976-2005.

1.2 Τιμή Χρυσού

Για διάφορους λόγους, μεταξύ των οποίων είναι η δυσκολία της ταχείας ανταλλαγής φθαρτών προϊόντων, ένα μόνιμο νόμισμα θα είναι πάντα αναγκαίο για την αντικατάσταση ένα καθαρού συστήματος ανταλλαγής. Αυτό το νόμισμα θα πρέπει να είναι σπάνιο και μοναδικό ώστε οι περισσότεροι άνθρωποι να μην χρειάζεται να σταματήσουν τη δουλειά τους για να το βρουν ή να το αναπαραγάγουν. Θα πρέπει να μη είναι φθαρτό αλλά αντιθέτως να είναι ανθεκτικό. Τέλος, θα πρέπει να αναγνωρίζεται ως ένα είδος που έχει αξία από μόνο του. Ο χρυσός, μαζί με άλλα πολύτιμα μέταλλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κοσμημάτων,

έχει όλα τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά για να αναλάβει την αξία του νομίσματος και γι' αυτό αποτέλεσε μέσο συναλλαγής σε μεγάλο μέρος του πλανήτη για εκατοντάδες χρόνια.

Σε όλο το σχετικά πρόσφατο παρελθόν, ο χρυσός αντιμετώπισε κάποιες αναδιαταράξεις κατά τη διάρκεια δύσκολων στιγμών. Ωστόσο, οι πρόσφατες τάσεις δεν απαιτούνται για να αποδείξουν την ικανότητά του χρυσού ως μια ισχυρή επένδυση σε μια αδύναμη οικονομία. Κατά τη διάρκεια της Μεγάλης Ύφεσης, ο χρυσός αποτέλεσε μια από τις πιο ακλόνητες επενδύσεις. Αυτό που είναι ίσως ακόμη πιο εντυπωσιακό είναι ότι οι επενδύσεις σε χρυσό αυξήθηκαν σε αξία όταν η ύφεση ήταν στη χειρότερη της φάση.

Ο χρυσός είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα γίνει το νόμισμα του κόσμου, και πάλι, εάν το τρέχον οικονομικό σύστημα καταρρεύσει. Εξακολουθεί να έχει όλα τα γνωρίσματα που απαιτούνται για να χρησιμεύσει ως ένα νόμισμα σε μια οικονομία ανταλλαγής, και επιπλέον οι επενδυτές τον έχουν ήδη αναγνωρίσει ως πολύτιμο. Δεν συνδέεται με κάποια συγκεκριμένη εταιρία ή κυβέρνηση, έτσι η τιμή του δεν μπορεί ποτέ να σβήσει εντελώς. Ο μόνος τρόπος που θα μπορούσε η τιμή του να μειωθεί εντελώς είναι αν θα έχανε ένα από τα παραπάνω ιδιαίτερα γνωρίσματα του που τον καθιστούν κατάλληλο για νόμισμα.[1.11]

Στις εργασίες της Τράπεζας της Ελλάδος περιλαμβάνεται και η αγοροπωλησία χρυσού σύμφωνα με τον ν.2771/99, άρθρο 15, παράγρ. 1, και τις εξ αυτού απορρέουσες διατάξεις της Τράπεζας. Στην ιστοσελίδα (<http://www.bankofgreece.gr/Pages/el/Markets/LIRA/default.aspx>) υπάρχουν τα δελτία τιμών που εκδίδει η Τράπεζα της Ελλάδος. Τα δελτία αυτά περιέχουν πληροφορίες σχετικές με τις τιμές αγοράς και πώλησης χρυσού και χρυσών νομισμάτων για συναλλαγές της Τράπεζας της Ελλάδος με ιδιώτες έναντι ευρώ. Σημειώνεται ότι το κάθε δελτίο τιμών ισχύει μέχρι την έκδοση νεότερου δελτίου. Στην περίπτωση των ράβδων ή πλακών χρυσού που αγοράζει η Τράπεζα της Ελλάδος, ο πελάτης καταθέτει τις ράβδους ή πλάκες χρυσού στην Τράπεζα της Ελλάδος προς έλεγχο της γνησιότητας, αφού προηγουμένως συμφωνηθεί η τιμή αγοράς. Μετά τον εργαστηριακό έλεγχο, και εφόσον διαπιστωθεί η καθαρή

περιεκτικότητα σε χρυσό, καταβάλλεται στον πελάτη το αντίτιμο σε ευρώ. Σε κάθε περίπτωση, ο πελάτης επιβαρύνεται με τα έξοδα ελέγχου.[1.12]

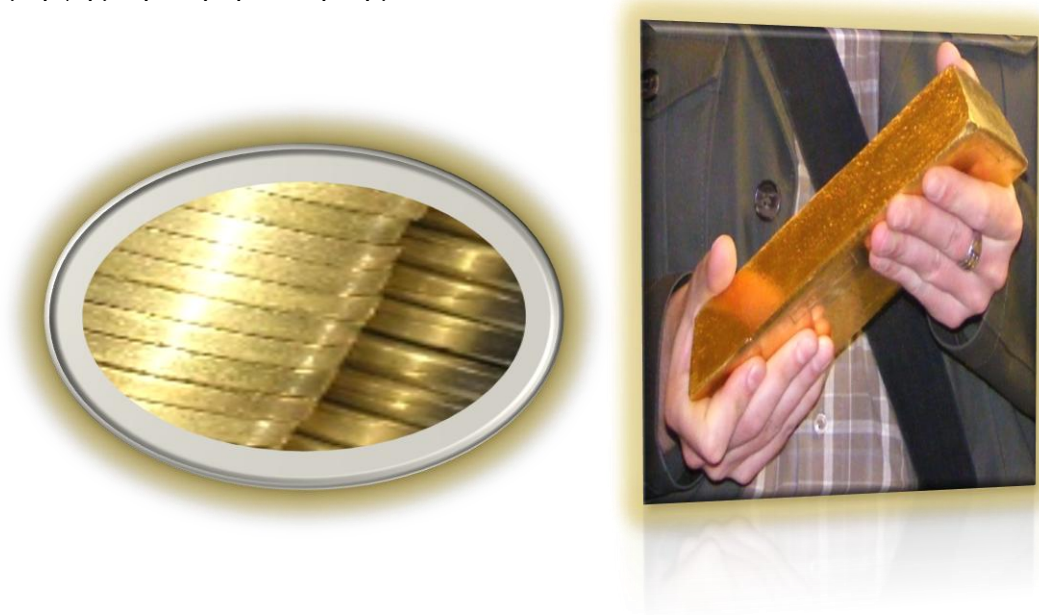
1.2.1 Τρόποι Επένδυσης Χρυσού

Ο χρυσός ήταν ανέκαθεν μια καλή επένδυση με την αξία του πάντοτε να αναγνωρίζεται ειδικά σε περιόδους οικονομικής αναταραχής, όπως κατά τη διάρκεια της Μεγάλης Ύφεσης. Τώρα, περισσότερο από ποτέ στην οικονομική κρίση σήμερα, πολλοί επενδύουν σε χρυσό ως ασφαλή επιλογή. Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί κάποιος να επενδύσει σε χρυσό. Το κίνητρο για την αγορά χρυσού είναι βασικό για να αποφασίσει κανείς με ποιον τρόπο θα επενδύσει σε χρυσό. Επιθυμεί να επενδύσει για μικρό ή για μεγάλο χρονικό διάστημα; Επιλέγει το χρυσό σαν μέσο αποταμίευσης ή ως ασφαλής οικονομική επιλογή; Όποιος και αν είναι ο λόγος, οι τρόποι που μπορεί να επιλέξει είναι οι κάτωθι:

- (Gold Accounts) Λογαριασμοί Χρυσού.
- (Gold Bars or Coins) Μπάρες ή Κέρματα Χρυσού.
- (Exchange Traded Funds) Διαπραγματεύσιμα Αμοιβαία Κεφάλαια.
- (Unit Trusts and Investment Trust) Εμπιστευτικές Επενδύσεις.
- (Mining Companies) Εταιρίες εξόρυξης.

Μάλιστα, οι μετοχές των εταιριών εξόρυξης παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο από ότι απλώς οι επενδύσεις σε χρυσό επειδή μπορεί να επηρεαστούν από άλλους φυσικούς παράγοντες της αγοράς. Η αύξηση της τιμής της μετοχής μπορεί πραγματικά να είναι μεγαλύτερη από την ανάπτυξη της τιμής του χρυσού ανά ουγγιά.[1.13]

Ο επενδυτής μπορεί να αποκτήσει φυσικά τον χρυσό (τον ίδιο τον χρυσό) με τη μορφή μικρών ράβδων ή κερμάτων.



Υπάρχουν όμως κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε αυτή τη μορφή επένδυσης σε χρυσό [1.14]. Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Μπορεί να κλαπεί.
- Η ασφάλιση του μπορεί να είναι δαπανηρή.
- Ο χρυσός δεν καταβάλλει τόκους ή μερίσματα, όπως τα ομόλογα ή τα αποθέματα.
- Ο χρυσός δεν είναι μια ρευστή επένδυση, υπό την έννοια ότι αν ένας κάτοχος χρυσού χρειάζεται μόνο ένα μικρό μέρος των ρευστών δεν μπορεί να κόψει μόνο ένα κομμάτι της μπάρας χρυσού.

Από την άλλη πλευρά, είναι παρήγορο να κατέχει κανείς χρυσό καθώς συνδέεται με κάποια πλεονεκτήματα:

- Είναι απτός.
- Είναι ασφαλής στο σπίτι ή σε ασφαλές χρηματοκιβώτιο.
- Δίνει μια αίσθηση σταθερότητας κατά τη διάρκεια μια οικονομικής κρίσης.

Όπως έχουμε δει, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα διάφορα κίνητρα για την αγορά χρυσού και τρόποι για την αγορά χρυσού - από το εμπόριο στις επενδύσεις και την

αποταμίευση. Έτσι προκύπτει η παρακάτω πυραμίδα επένδυσης χρυσού που δείχνει το ρίσκο του έκαστου τρόπου επένδυσης, το κίνητρο και τον τρόπο αγοράς αντίστοιχα.[1.2]



Σχήμα 2: Πυραμίδα Επένδυσης Χρυσού.

Κρατώντας τα πολύτιμα μέταλλα σε ένα χαρτοφυλάκιο μπορεί να προκύψουν ξεχωριστά οφέλη με τη μορφή κερδοσκοπικών κερδών, αύξηση των επενδύσεων, αντιστάθμισης έναντι των μακροοικονομικών και των γεωπολιτικών κινδύνων και / ή διατήρηση του πλούτου. Η παραδοσιακή θεωρία κατανομής περιουσιακών στοιχείων όπως απεικονίζεται στην πυραμίδα επένδυσης (Σχήμα 2), αποδίδει υψηλότερο κίνδυνο κερδοσκοπίας στην κορυφή και χαμηλότερο στο κάτω μέρος της.

Οι έμπειροι επενδυτές, εδώ και καιρό, γνωρίζουν ότι ο χρυσός και οι σχετικές με αυτόν επενδύσεις μπορούν να είναι ακλόνητες επενδυτικές επιλογές. Ο χρυσός είναι ακλόνητος (σταθερός) σε καιρούς παγκόσμιας γεωπολιτικής αστάθειας και όταν υπάρχει οικονομική αβεβαιότητα και υφέσεις. Χρησιμοποιώντας σωστά το χρυσό και τις σχετικές επενδύσεις του μπορεί να επιτευχθεί ένα σωστά διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο επενδύσεων.[1.2]

Κατά πόσον οι επενδυτές σε κάποια συγκεκριμένη χώρα κερδίζουν ή χάνουν από την εκμετάλλευση χρυσού εξαρτάται από την ημερομηνία έναρξης που ο χρυσός αγοράζεται και το μήκος της περιόδου εκμετάλλευσης του. Συγκεκριμένα, είναι πολύ πιο πιθανό να είναι κερδοφόρα η επένδυση σε χρυσό όταν η ονομαστική τιμή του χρυσού είναι κάτω από την τιμή αντιστάθμισης του πληθωρισμού. Αντίθετα, είναι πιο πιθανό να είναι ασύμφορη, όταν η ονομαστική τιμή του χρυσού είναι πάνω από την τιμή αντιστάθμισης του πληθωρισμού. [1.9]

1.2.2 Ποιος αγοράζει και οδηγεί την τιμή του Χρυσού;

Όταν η οικονομία βυθίζεται ή όταν η πολιτική αναταραχή συμβαίνει, ποιος αγοράζει χρυσό; Κατά τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση του ενδιαφέροντος μεταξύ των εμπόρων της αγοράς για την αγορά βασικών προϊόντων και κυρίως χρυσού:

- Οι απλοί άνθρωποι μπορούν να ανοίξουν πλατφόρμα συναλλαγών και να αγοράζουν και να πωλούν μελλοντικά συμβόλαια χρυσού.
- Η κυβέρνηση μπορεί να συσσωρεύσει χρυσό στα αποθέματα της. Ενώ το χαρτονόμισμα είναι καλό για την χρηματοδότηση τοπικών έργων, ο χρυσός είναι η καλύτερη μορφή πληρωμής σε συναλλαγές με άλλες χώρες.
- Οι τράπεζες μπορούν να προσθέσουν χρυσό στα αποθέματα τους.
- Στο χρηματιστήριο, οι μέτοχοι μπορούν να αγοράζουν και να πωλούν χρυσό με βάση τα εισηγμένα κεφάλαια στο χρηματιστήριο.

Όλες αυτές οι πηγές δημιουργούν μια αγορά και πώληση υπό πίεση που τελικά θα ανεβάσει την τιμή του χρυσού ή θα την ρίξει.[1.15]

Κάποια βασικά χαρακτηριστικά που αφορούν την αγορά χρυσού έχουν ως εξής:[1.16]

- Διάφορες κυβερνήσεις ανά τον κόσμο έχουν εκδώσει νομίσματα χρυσού τα οποία κυμαίνονται από 1 / 20, 1 / 10, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ και 1 ουγγιά κατά βάρος. Εκείνοι

που θέλουν να επενδύσουν σε χρυσό δεν θα πρέπει να συγχέουν τα χρυσά νομίσματα με αναμνηστικά κέρματα τα οποία έχουν διαφορετική αξία από τα κέρματα χρυσού.

- Οι μπάρες χρυσού μπορούν να αγοραστούν σε διάφορα μεγέθη και βάρη που κυμαίνονται από ένα γραμμάριο σε μια μικρή μπάρα που ζυγίζει λιγότερο από 1000g. Υπάρχουν περίπου 26 διαφορετικές χώρες οι οποίες παράγουν περισσότερους από 400 διαφορετικούς τύπους τυποποιημένων ράβδων χρυσού.
- Ο χρυσός βασίζεται σε Αμοιβαία Κεφάλαια. Πρόκειται για ένα συλλογικό επενδυτικό πρόγραμμα που συγκεντρώνει χρήματα από πολλούς επενδυτές που επενδύουν σε αποθέματα χρυσού. Το ταμείο διοικείται από έναν επαγγελματία. Υπάρχουν ωστόσο πολλές χρηματιστηριακές εταιρίες και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα μέσω των οποίων μπορεί κανείς να αγοράσει χρυσό με βάση τα Αμοιβαία Κεφάλαια.
- Η ασφαλέστερη μέθοδος για την αγορά και κατοχή μετοχών είναι η επένδυση σε μετοχές σε μια βάση που αφορά αποκλειστικά την υφιστάμενη τιμή της αγοράς του χρυσού.
- Ο πιο επικίνδυνος, αλλά δυνητικά επικερδής τρόπος επένδυσης σε χρυσό είναι τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (gold futures). Πρόκειται για μια νομική σύμβαση που δεσμεύει τον επενδυτή να αγοράσει ένα σταθερό ποσό χρυσού σε μια προκαθορισμένη τιμή στο μέλλον. Κάποιος μπορεί να επωφεληθεί από την πτώση της τιμής του χρυσού πουλώντας απότομα.
- Η αγορά χρυσού κοσμήματος είναι ένας σημαντικός τρόπος για την εξοικονόμηση και την επένδυση σε χρυσό σε αναπτυσσόμενες κυρίως οικονομίες.

Οι επενδυτές αγοράζουν χρυσό ως εξασφάλιση έναντι οποιασδήποτε οικονομικής, πολιτικής ή και νομισματικής κρίσης [1.17]. Επίσης αγοράζουν χρυσό για διαφοροποίηση και όταν η εμπιστοσύνη των επενδύσεων αυξάνεται επειδή έχουν την πεποίθηση ότι τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία σε αντίθεση με τα χρηματοοικονομικά είναι ο καλύτερος τρόπος για να προστατευτούν έναντι της ύφεσης και του πληθωρισμού. Η ανάπτυξη του χρυσού στην αγορά παρακολουθείται στενά από τους χρηματοοικονομικούς αναλυτές και τους φορείς χάραξης της

πολιτικής και η τιμή του θεωρείται ως ένα καλό κριτήριο της τάσης του πληθωρισμού.

Ο Ghosh [1.18], επισημαίνει ότι οι άνθρωποι αγοράζουν χρυσό για δύο λόγους:

- Ο πρώτος είναι η ζήτηση για χρήση αυτού, ο χρυσός χρησιμοποιείται άμεσα στην παραγωγή κοσμήματος, στα μετάλλια, στα νομίσματα, στα ηλεκτρικά εξαρτήματα, και αλλού.
- Ο δεύτερος είναι η ζήτηση για περιουσιακό στοιχείο οπότε και χρησιμοποιείται από κυβερνήσεις, διαχειριστές κεφαλαίων και ιδιώτες ως επενδύση. Η ζήτηση για χρυσό ως περιουσιακό στοιχείο κατά παράδοση συνδέεται με την άποψη ότι ο χρυσός παρέχει μια αποτελεσματική αντιστάθμιση κατά του πληθωρισμού και της υποτίμησης του εγχώριου νομίσματος.

Ο λόγος που οι επενδυτές περιλαμβάνουν το χρυσό στο χαρτοφυλάκιο τους οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρυσός είναι ένα πολύτιμο μέταλλο το οποίο λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο όπως ένα νόμισμα, και ως εκ τούτου, το καθένα έχει τη δική του αγοραστική δύναμη. Όταν η ικανότητα αντιστάθμισης ή η ικανότητα διατήρησης της αξίας των άλλων χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων, όπως το τοπικό νόμισμα εκφρασμένο σε μετοχές και ομόλογα, μειώνεται λόγω της υποτίμησης του τοπικού νομίσματος η τιμή του χρυσού στην τοπική αγορά εξακολουθεί να είναι ίδια με τη διεθνή τιμή του χρυσού. Με άλλα λόγια, η τιμή του χρυσού είναι λιγότερο ευάλωτη στις διακυμάνσεις του τοπικού νομίσματος των συναλλαγματικών ισοτιμιών. Ως εκ τούτου, αν θα μπορούσαμε να αποδείξουμε ότι ο χρυσός χρησιμεύει ως αντισταθμιστής στις συναλλαγματικές ισοτιμίες, τότε είναι πιο ουσιαστικό να προσθέσουμε το χρυσό στο χαρτοφυλάκιο ως μέτρο προστασίας του περιουσιακού στοιχείου. Αυτό σημαίνει ότι ο χρυσός έχει την ικανότητα να αντισταθμίζει τις αλλαγές της εσωτερικής και εξωτερικής αγοράς με την ισχύ του εγχώριου νομίσματος. Αυτό σημαίνει κατ' ουσίαν ότι όταν ο δείκτης τιμών στην εγχώρια αγορά αυξάνει, η τιμή του εγχώριου νομίσματος αυξάνεται ταυτόχρονα κατά το ίδιο ποσοστό. Αντίστοιχα, όταν το εγχώριο νόμισμα υποβιβάζεται έναντι ξένου

νομίσματος, η εγχώρια τιμή του χρυσού θα μειωθεί κατά τον ίδιο ακριβώς χρόνο και ρυθμό. [1.17]

1.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του Χρυσού

Αν κάποιος θελήσει να προβλέψει την μελλοντική τιμή του χρυσού, πρέπει να λάβει υπόψη του τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του χρυσού. Οι καθοριστικοί παράγοντες που διαμορφώνουν την τιμή του χρυσού είναι οι εξής [1.9]:

- **Το δολάριο**

Ο χρυσός είναι ένα αγαθό που χρησιμοποιείται ως «αντιστάθμιση» έναντι των διακυμάνσεων του δολαρίου των ΗΠΑ. Με απλά λόγια αυτό σημαίνει ότι όταν η αξία του δολαρίου πέφτει, η τιμή του χρυσού ανεβαίνει και το αντίστροφο. Επομένως, μια αύξηση στην αξία του δολαρίου των ΗΠΑ θα έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της αξίας του χρυσού και αυτό σημαίνει ότι αυτά τα δυο περιουσιακά στοιχεία εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση.

Η εκτιμώμενη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του ευρώ είναι επίσης αμφίβολη. Υπό αυτές τις συνθήκες, ο χρυσός αντιπροσωπεύει ένα πιο αξιόπιστο μέσο για τη διατήρηση του πλούτου σε σύγκριση με την εναλλακτική λύση εκμετάλλευσης δολαρίων εκφρασμένα σε περιουσιακά στοιχεία. Η τρέχουσα αβεβαιότητα για το δολάριο συμβάλλει στην καλύτερη προβολή της παραδοσιακής άποψης ότι ο χρυσός παρέχει μια αποτελεσματική "αντιστάθμιση" έναντι του πληθωρισμού και άλλων μορφών αβεβαιότητας.

• Ο φόβος του πληθωρισμού

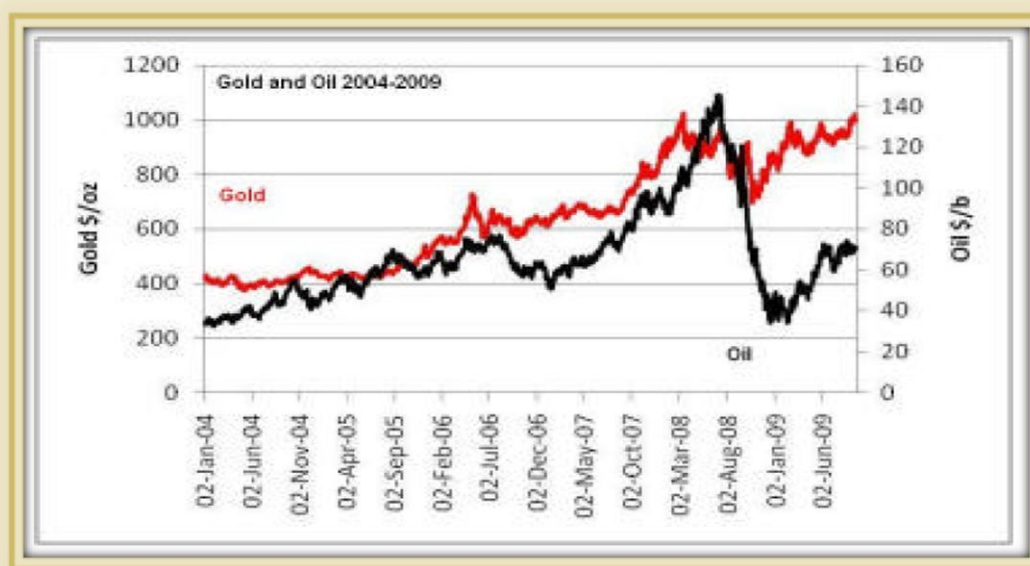
Ο παγκόσμιος πληθωρισμός καθώς και ο πληθωρισμός των Η.Π.Α θα μπορούσε να αυξήσει την τιμή του χρυσού καθώς τα υψηλά ποσοστά του οδηγούν στην ανάγκη εύρεσης ενός αντισταθμιστή του πληθωρισμού (inflation hedge). Η ανάγκη αυτή οδηγεί στην αύξηση της ζήτησης χρυσού και κατ' επέκταση και της τιμής αυτού. Παραδοσιακά, λοιπόν, ο χρυσός θεωρείται ως μέσο εξασφάλισης έναντι του πληθωρισμού και προβάλεται ο ισχυρισμός ότι μια αλλαγή στο ποσοστό του πληθωρισμού θα πρέπει να συνοδεύεται από μια αλλαγή στην τιμή του χρυσού. Μάλιστα μια μεταβολή της τρέχουσας τιμής του χρυσού συσχετίζεται θετικά με τη μεταβολή του ποσοστού του πληθωρισμού.

Εντούτοις, η πραγματικότητα είναι ότι παρόλο που ο χρυσός μπορεί να είναι μια αντιστάθμιση του πληθωρισμού σε μακροπρόθεσμη βάση, υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις για βραχυπρόθεσμη αστάθεια των τιμών του (Aggarwal, 1992). [1.8]

• Το Πετρέλαιο

Η αναγνωρισμένη τιμή χρυσού και πετρελαίου συχνά αναφέρεται ότι έχουν μια συμβιωτική σχέση και πιο συγκεκριμένα μια θετική συσχέτιση. Γιατί όμως μπορεί να υπάρχει μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο πολύ διαφορετικών ειδών; Ένας λόγος θα μπορούσε να είναι ότι η αύξηση του ενδιαφέροντος για κάθε εμπόρευμα οδηγεί σε μια διεύρυνση της αγοράς σε άλλα βασικά προϊόντα όπως το πετρέλαιο και τα πολύτιμα μέταλλα. Διαφορετικοί κύκλοι της αγοράς θα φέρουν επενδύσεις σε διαφορετικά τμήματα της αγοράς. Ένας δεύτερος λόγος που οι τιμές του χρυσού στον κόσμο είναι συνδεδεμένες ιστορικά με το πετρέλαιο είναι ότι καθώς τα προϊόντα πετρελαίου αυξάνονται, οι επενδυτές στρέφονται στην αγορά χρυσού ως μέσο αντιστάθμισης. Η αύξηση των τιμών του πετρελαίου οδηγεί γρήγορα σε οικονομική διεύρυνση του πληθωρισμού με τις ράβδους και τις μπάρες χρυσού να χρησιμοποιούνται για την προστασία από αυτόν. Αν το πετρέλαιο αυξάνεται συνεχώς, ο χρυσός μπορεί να κερδίσει σταθερότητα δημιουργώντας μια μακροπρόθεσμη τάση.

Μάλιστα η πτώση της τιμής του πετρελαίου στα μέσα Ιουλίου του 2009 συνέπεσε με την πτώση της τιμής του χρυσού. Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι οι τιμές χρυσού είναι μέχρι σήμερα καλύτερες από τις τιμές του πετρελαίου και αυτό χρησιμεύει για να τονώσει τις κακές οικονομικές συνθήκες που επικρατούν. Πράγματι, αν και υπάρχει μεγάλη αισιοδοξία σχετικά με την οικονομική ανάκαμψη, αν κρίνει κανείς από την βιομηχανία και τις τιμές των μετοχών το γεγονός ότι το πετρέλαιο είναι πολύ χαμηλότερα από τις υψηλές του τιμές και ο χρυσός είναι κοντά σε επίπεδα ρεκόρ εγείρει ερωτήματα ως προς το πόσο ισχυρές είναι οι προοπτικές για ανάκαμψη. Όταν το πετρέλαιο αρχίσει να τρέχει υψηλότερα ενόψει της οικονομικής ανάκαμψης τότε η άνοδος της τιμής του πετρελαίου είναι επίσης πιθανό να θεωρηθεί ως πληθωριστική η οποία με τη σειρά της είναι πιθανό να είναι υποστηρικτική και για τις τιμές του χρυσού. Το Διάγραμμα 2 δείχνει τη θετική συσχέτιση της τιμής πετρελαίου και χρυσού από το 2004 μέχρι το 2009.



Διάγραμμα 2: Η σχέση τιμής Πετρελαίου και Χρυσού.

- **Η ζήτηση για Κοσμήματα**

Οι υψηλές τιμές του χρυσού και οι επιπτώσεις της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης οδηγούν σε σημαντική πτώση της ζήτησης χρυσού στα κοσμήματα και στους βιομηχανικούς τομείς. Αναφορικά, κατά το δεύτερο τρίμηνο του 2009 η παγκόσμια

ζήτηση για χρυσό υποχώρησε κατά 9% από έτος σε έτος με την ζήτηση για κοσμήματα να μειώνεται κατά 22%. Από την άλλη, η βιομηχανική ζήτηση, η οποία αντιπροσωπεύει το 13% της χρήσης χρυσού υποχώρησε κατά 21%. Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος ήταν στην Ινδία, όπου σύμφωνα με το World Gold Συμβούλιο (WGC) οι εισαγωγές χρυσού κατά το πρώτο εξάμηνο του 2009 μειώθηκαν κατά 55% δηλαδή κατά 126 τόνους. Η ζήτηση από τους κατασκευαστές κοσμημάτων συνεχίζει να δίνει ελαστικές τιμές αλλά εκτός από την τιμή ο τομέας πλήττεται από την μείωση αγοράς ειδών πολυτέλειας.

Η ζήτηση χρυσού για κοσμήματα κορυφώθηκε το 2005 σε 2.707 τόνους, έπεσε στους 2.288 τόνους το 2006, ανέκαμψε το 2007 σε 2.404 τόνους, μειώθηκε σε 2.159 τόνους το 2008 και ήταν περίπου 2.000 τόνους το 2009. Μόλις ανακάμψει η παγκόσμια οικονομία αναμένεται μια ισχυρή ανάκαμψη και της ζήτησης κοσμημάτων από την Κίνα και την Ασία. Ακόμη και κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης όμως η κινεζική ζήτηση για κοσμήματα χρυσού κατάφερε να αυξηθεί κατά 6% το 2009.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του χρυσού είναι:

- Οι επίσημες πωλήσεις από την Κεντρική Τράπεζα.
- Η διαφοροποίηση της Κεντρικής Τράπεζας.
- Η παραγωγή και ζήτηση χρυσού.

Πολλοί οικονομικοί αναλυτές πιστεύουν ότι η τιμή του χρυσού προσδιορίζεται και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η παραγωγή των ορυχείων, η ζήτηση κατασκευής, καθώς και η ανάκτηση του από άχρηστα μέταλλα. Πολύ μεγαλύτερη επιρροή ασκείται από τις τάσεις των πωλήσεων και αγορών της Κεντρικής Τράπεζας. Το πιο σημαντικό από όλα όμως είναι η τάση της ζήτησης των επενδύσεων.

- Σύμφωνα με τον Kurtis Hemmerling (2009), οι προβλέψεις για τις υψηλές τιμές του χρυσού για το 2010 και την τρέχουσα τιμή του ανά ουγγιά μπορεί εν μέρει να δικαιολογηθούν από τους παρακάτω οικονομικούς παράγοντες [1.18]:

- **Αδυναμία του δολαρίου των ΗΠΑ.**
- **Αγορά χρυσού από τις Κεντρικές Τράπεζες.**
- **Αυξημένη συμμετοχή στις μελλοντικές εμπορικές συναλλαγές (Futures Gold).**
- **Αντιστάθμιση των παραγωγών χρυσού με τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης.**
- **Ανισορροπία στην προσφορά και ζήτηση χρυσού.**

Μάλιστα, ο Kurtis Hemmerling επισήμανε ότι οι προβλέψεις της τιμής χρυσού ανά ουγγιά αυξάνονται κατά τη διάρκεια πολιτικών και οικονομικών εντάσεων. Καθώς οι οικονομίες εκτροχιάζονται, οι επενδυτές θα στρέφονται συχνά προς το χρυσό ως ένα "ασφαλές καταφύγιο". Όσον αφορά την αλλαγή των επενδύσεων τους από νόμισμα σε μπάρες χρυσού θα τους εξασφαλίσει κάποια περιορισμένη προστασία από τα προβλήματα που μπορεί να διογκωθούν και τελικά οδηγήσουν στην υποτίμηση του δολαρίου.

➤ Κατά τον Peter Reeves (2008), οι παράγοντες που διαμορφώνουν την μελλοντική τιμή του χρυσού είναι [1.13]:

- **Η ζήτηση των επενδύσεων. (Investment Demand)**
- **Η θεμελιώδης αγορά. (Market Fundamental)**
- **Οι φυσικές συνθήκες της αγοράς. (Physical Market Conditions)**

Πιο συγκεκριμένα, η έλλειψη εμπιστοσύνης στην οικονομία των ΗΠΑ (κυρίως στις τράπεζες) σημαίνει ότι οι επενδυτές ψάχνουν "ασφαλέστερα στοιχήματα", όπως ο χρυσός. Όταν η ζήτηση του χρυσού αυξάνεται ενώ η προσφορά του παραμένει η ίδια, η τιμή του κίτρινου μετάλλου αυξάνεται. Η προσφορά χρυσού παραμένει αρκετά σταθερή επί του παρόντος επειδή η παραγωγή δεν έχει αυξηθεί σημαντικά. Αυτό συμβαίνει λόγω της έλλειψης νέων περιοχών εξόρυξης. Οι επενδυτές ωστόσο μπορούν να είναι ήσυχoi επειδή ακόμη και αν τα επίπεδα της παραγωγής αυξηθούν το γεγονός ότι το ποσό του χρυσού στον πλανήτη είναι περιορισμένο και τελικά θα εξαντληθεί, σημαίνει ότι η τιμή (στη θεωρία) του χρυσού πρόκειται να αυξηθεί στο μέλλον.

- Σύμφωνα με την Ναυτεμπορική, οι παράγοντες που συντελούν στην αύξηση της ζήτησης για το πολύτιμο μέταλλο ωθώντας προς τα πάνω τις τιμές του είναι διάφοροι:
- **Εξασθένηση του δολαρίου:** το δολάριο θεωρείται κυρίαρχο νόμισμα στα διεθνή συναλλαγματικά αποθέματα. Τα χαμηλά επιτόκια και το πακέτο οικονομικών μέτρων της αμερικανικής κυβέρνησης έχουν αποδυναμώσει το δολάριο. Εκείνοι που συνήθως επενδύαν στο αμερικανικό νόμισμα αναζητούν τώρα εναλλακτικές επενδύσεις με κυρίαρχες εκείνες του χρυσού.
 - **Κερδοσκοπία:** ένα μεγάλο μέρος των επενδύσεων σε χρυσό προέρχεται από θεσμικούς επενδυτές, όπως είναι τα αντισταθμιστικά ταμεία. Όταν οι τράπεζες προσφέρουν πολύ χαμηλά επιτόκια στις καταθέσεις και το κόστος δανεισμού είναι υπερβολικά υψηλό, τότε ο χρυσός καθίσταται πιο ελκυστικός.
 - **Κίνδυνος πληθωρισμού:** Ο χρυσός θεωρείται αντιστάθμισμα του πληθωρισμού. Το 2009 ο πληθωρισμός ήταν χαμηλός, όμως οι ανησυχίες περί πληθωριστικών πιέσεων το 2010 στρέφουν περισσότερους επενδυτές προς το πολύτιμο μέταλλο.
 - **Ψυχολογικός παράγοντας:** Ο χρυσός έχει μια «γνήσια» ποιότητα, όπως υποστηρίζει ο Άντριαν Ας του βρετανικού online χρηματιστηρίου χρυσού (BullionVault.com). Αυτό σημαίνει ότι προσελκύει μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε περιόδους αβεβαιότητας, αν και ο κ. Ας προειδοποιεί για το ενδεχόμενο αστάθειας των τιμών. Ο ίδιος συμπληρώνει επίσης ότι ο χρυσός έχει την τάση να διατηρεί την αξία του σε μακροπρόθεσμη βάση και ότι δεν συνδέεται με την αξία των μετρητών.
 - **Εποχικός παράγοντας:** Στους δυτικούς πολιτισμούς είναι σπάνιες οι αγορές χρυσού ως είδος επένδυσης. Σε χώρες όμως όπως η Κίνα και η Ινδία η αγορά χρυσού ως επένδυση είναι περισσότερο διαδεδομένη. Μάλιστα, σε ορισμένες χώρες αυξάνονται οι αγορές χρυσού την εποχή των εορταστικών εκδηλώσεων καθώς το πολύτιμο μέταλλο προσφέρεται κατά παράδοση ως δώρο.

Η πραγματικότητα για τους περισσότερους ανθρώπους δεν αλλάζει με την άνοδο του χρυσού. Μάλιστα, η υψηλή τιμή του πολύτιμου μετάλλου αποτελεί ένδειξη «μελανών

σημείων» για την παγκόσμια οικονομία. Από την άλλη πλευρά όμως, θα μπορούσαν να αποτελούν θετική εξέλιξη για εκείνους που διαθέτουν χρυσά κοσμήματα και θέλουν να τα πουλήσουν.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μελετών που έχουν προσπαθήσει να μοντελοποιήσουν τους καθοριστικούς παράγοντες της τιμής του χρυσού. Βασικά ακολουθούνται τρεις βασικές προσεγγίσεις: [1.8]

- Η πρώτη μοντελοποιεί τις διακυμάνσεις στην τιμή του χρυσού σε σχέση με τις διακυμάνσεις σε βασικές μακροοικονομικές μεταβλητές (eg Ariovich, 1983; Dooley, Isard and Taylor, 1995; Kaufmann and Winters, 1989; Sherman, 1982, 1983, 1986; Sjaastad and Scacciallani, 1996).
- Η δεύτερη προσέγγιση εστιάζεται στις εικασίες και στις ορθολογικές κινήσεις της τιμής του χρυσού (Baker and Van Tassel, 1985; Chua, Sick and Woodward, 1990; Diba and Grossman, 1984; Koutsoyiannis, 1983; Pindyck, 1993).
- Τέλος, η τρίτη εξετάζει τον χρυσό σαν αντιστάθμιση έναντι του πληθωρισμού με κύρια έμφαση στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες σχέσεις (Chappell and Dowd, 1997; Ghosh et al, 2004; Kolluri, 1981; Laurent, 1994; Mahdavi and Zhou, 1997; Moore, 1990; Ranson, 2005a, b).

Οι Levin, E.J. and Montagnoli, A. and Wright, R.E. (2006) [1.8], προχώρησαν στην επέκταση της τρίτης προσέγγισης. Συγκεκριμένα, ανέπτυξαν ένα θεωρητικό πλαίσιο με βάση την απλή οικονομία της "προσφοράς και ζήτησης" που είναι συνεπής με την άποψη ότι ο χρυσός αποτελεί μια αντιστάθμιση του πληθωρισμού σε μακροπρόθεσμη βάση, αλλά ταυτόχρονα επιτρέπει στην τιμή του σημαντικές διακυμάνσεις βραχυπρόθεσμα. Στη θεωρία, οι διακυμάνσεις στην τιμή του χρυσού αναμένεται να προκαλούνται από την πολιτική και οικονομική αναταραχή στις χρηματοπιστωτικές αγορές καθώς και από τις μεταβολές των συναλλαγματικών ισοτιμιών και των πραγματικών επιτοκίων. Το προτεινόμενο μοντέλο, υποθέτει ότι η τιμή του χρυσού προσδιορίζεται από την τιμή του δολαρίου των Η.Π.Α, τα παγκόσμια επίπεδα των τιμών, τον πληθωρισμό παγκοσμίως και στις Η.Π.Α, την μεταβλητότητα του πληθωρισμού, το παγκόσμιο εισόδημα, την τιμή του συναλλάγματος στις Η.Π.Α και παγκοσμίως, τα επίπεδα μίσθωσης του χρυσού, τις εναλλακτικές επενδύσεις, τον

πιστωτικό κίνδυνο, τον οικονομικό και πολιτικό κίνδυνο. Τα δεδομένα αφορούσαν μηνιαίες παρατηρήσεις από τον Ιανουάριο του 1976 μέχρι τον Αύγουστο του 2005. Για τον προσδιορισμό των καθοριστικών παραγόντων για την τιμή του χρυσού χρησιμοποιήθηκαν στατιστικές μέθοδοι οι λεγόμενες “cointegration regression techniques”. Αυτή η μέθοδος μπορεί να απομονώσει τους παράγοντες που σχετίζονται με τις κινήσεις μιας μεταβλητής βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα.

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν ήταν ότι υπάρχει μια θετική σχέση μεταξύ των διακυμάνσεων των τιμών του χρυσού και των μεταβολών του πληθωρισμού των ΗΠΑ, της μεταβλητότητας του πληθωρισμού και του πιστωτικού κινδύνου. Βρέθηκε επίσης μια αρνητική σχέση μεταξύ των μεταβολών στην τιμή του χρυσού με τις μεταβολές του αμερικανικού δολαρίου και με την τιμή μίσθωσης του χρυσού. Ωστόσο, βάσει των εμπειρικών αναλύσεων, δεν υπάρχει σημαντική σχέση μεταξύ των μεταβολών της τιμής του χρυσού και των μεταβολών του πληθωρισμού στον κόσμο, την μεταβλητότητα του πληθωρισμού παγκοσμίως και το παγκόσμιο εισόδημα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι συνεπή με την ευρέως διαδεδομένη πεποίθηση ότι υπάρχει μια μακροπρόθεσμη ένα προς ένα σχέση μεταξύ της τιμής του χρυσού και του γενικού επιπέδου τιμών στις ΗΠΑ. Συγκεκριμένα, μία ένα τοις εκατό αύξηση του πληθωρισμού των ΗΠΑ θέτει τη μακροπρόθεσμη τιμή του χρυσού σε ένα τοις εκατό αύξηση. [1.8]

1.3 Προσφορά Και Ζήτηση Χρυσού

Η προσφορά (supply) χρυσού προκύπτει από τρία μέρη:

- Εξόρυξη
- Ανακυκλώσιμο χρυσό
- Πωλήσεις της Κεντρικής Τράπεζας

Σύμφωνα με το **World Gold Συμβούλιο** κατά μέσο όρο τα πέντε έτη 2003-2007, το 60% χρυσού προερχόταν από τα ορυχεία, το 26% από ανακύκλωση χρυσού και το

14% από τις πωλήσεις 3.676 τόνων. Η ζήτηση κατά την ίδια περίοδο ήταν 68% για κοσμήματα, 19% για επενδύσεις και 13% από τη βιομηχανία. Κατά τη διάρκεια του 2008 η ζήτηση αλλάξε σημαντικά.

Η προσφορά χρυσού το 2009 παρέμεινε υπό πίεση με τη βιομηχανία εξόρυξης να συνεχίζει να μειώνεται σε ετήσια βάση. Η παραγωγή αυτή μπορεί να επηρεαστεί περαιτέρω από διαταραχές σε εξορυκτικές δραστηριότητες στη Νότια Αφρική και αλλού. Οι πρόσφατες πωλήσεις της Κεντρικής Τράπεζας το 2009 ήταν σημαντικά μικρότερες από τον μέσο όρο των 5 προηγούμενων ετών και αυτό θα μπορούσε να συμβάλλει στη συνέχιση των πιέσεων κατά της προσφοράς.

Το World Gold Council σημείωσε ότι η ζήτηση χρυσού το 2008 αυξήθηκε κατά 4% στους 3.658,6 τόνους. Η ζήτηση χρυσού για κοσμήματα το 2009 υποχώρησε κατά 11% στους 2.137,5 τόνους, η βιομηχανική και η οδοντιατρική ζήτηση χρυσού μειώθηκε κατά 7% στους 430,4 τόνους ενώ η επένδυση σε χρυσό αυξήθηκε κατά 64% στους 1.090,7 τόνους. Τα βασικά συστατικά της αύξησης των επενδύσεων σε χρυσό ήταν:

- Οι επενδύσεις λιανικής πώλησης σε μπάρες, κέρματα, μετάλλια και άλλες λιανικές επενδύσεις αυξήθηκαν κατά 87% στους 769,3 τόνους.
- Τα ETFs και παρόμοια προϊόντα αυξήθηκαν κατά 27% στους 321,4 τόνους.

Η υψηλή ζήτηση χρυσού, οφείλεται στις ανησυχίες των επενδυτών για τις εξελίξεις στις νομισματικές αγορές αλλά και στις ανησυχίες ότι η δημιουργία και η ενεργοποίηση του "πακέτου στήριξης" των οικονομιών από την Ευρωζώνη σταδιακά θα οδηγήσει σε αυξημένο επίπεδο πληθωρισμού στην ευρωπαϊκή ήπειρο.

Η αύξηση της ζήτησης χρυσού γενικά δεν αποτελεί ένα "σημάδι ηρεμίας" για τις χρηματοοικονομικές αγορές και υποδηλώνει μια έλλειψη εμπιστοσύνης προς τις εξελίξεις γύρω από το διεθνές χρηματοπιστωτικό σύστημα αλλά και για τις νομισματικές ισοτιμίες γενικότερα. Όπως έχει πολλές φορές επισημανθεί, οι σημερινές επιθέσεις εναντίον του ευρώ, ενδέχεται να αποτελούν απλά την πρώτη φάση ενός ευρύτερου "**νομισματικού πολέμου**", ο οποίος προκαλείται από τα ασθενή δημοσιονομικά στοιχεία και τον υπέρογκο δανεισμό της πλειοψηφίας των αναπτυγμένων οικονομιών. Τα υψηλά χρέη αφ' ενός μεν διατηρούν τα επιτόκια σε

χαμηλά επίπεδα, αφ' ετέρου δε εμποδίζουν την εκδήλωση υψηλών ρυθμών οικονομικής ανάπτυξης. Τα στοιχεία αυτά υποσκάπτουν την εμπιστοσύνη προς το νόμισμα της χώρας.

Μέσα απ' αυτή την οπτική, η λύση της επένδυσης σε χρυσό σε "ταραγμένους καιρούς" αναδύεται ως ένα **"επενδυτικό καταφύγιο"**. Μάλιστα, με την εμφάνιση πολλών αξιόπιστων επενδυτικών προϊόντων γύρω από την αγορά του χρυσού κατά τα τελευταία χρόνια (ETFs και Αμοιβαία Κεφάλαια), οι αγορές αυτές μπορούν πλέον να προσεγγισθούν και από απλούς ιδιώτες επενδυτές οι οποίοι θέλουν να προστατεύσουν ένα μέρος της θέσης τους. Οι διακυμάνσεις της τιμής του μετάλλου θα πρέπει να παρατηρούνται με προσοχή κατά το διάστημα αυτό, αφού ο χρυσός -κατά την χρηματοοικονομική ιστορία- έχει αποδειχθεί ως ένα **αξιόπιστο βαρόμετρο** των οικονομικών και χρηματοοικονομικών εξελίξεων.[1.19]

1.3.1 Πόσος Χρυσός παραμένει να εξορυχθεί;

Η πρόσφατη δημοσίευσή του USGS δηλώνει επίσημα ότι υπάρχουν διαθέσιμοι μόνο 49.000 τόνοι χρυσού για μελλοντική αξιοποίηση. Αυτό θα πρέπει να ανάψει μια λάμπα στη συνείδησή μας. Από την αυγή του πολιτισμού μας, 128.000 τόνοι χρυσού έχουν εξορυχθεί. Από το ποσό αυτό, μόνο 108.000 τόνοι περίπου παραμένουν. Αυτή είναι μια τρομακτική αποκάλυψη. Καταναλώνουμε χρυσό σε ποσοστό 3.000 τόνους ετησίως και αυτό σημαίνει ότι έχουμε μόνο περίπου 16 χρόνια στη διάθεση μας μέχρι να εξαντληθεί από τα ορυχεία. Δεν καθιστά αυτό προφανές το ύψος της ανοησίας των κυβερνήσεων παγκοσμίως σήμερα να σπαταλούν τα αποθεμάτα χρυσού; Δεν είναι επίσης προφανές ότι είναι ανοησία που μια επίσημη πολιτική μειώνει την τιμή του χρυσού, όταν αυξάνεται η κατανάλωση του και μετακινούμαστε προς την ημερομηνία κατά την οποία δε θα υπάρχει χρυσός;

Μια τεχνητά χαμηλή τιμή του χρυσού αυξάνει την κατανάλωση του, ενώ μειώνεται ταυτόχρονα η παραγωγή-προσφορά του λόγω μη επικερδών δραστηριοτήτων εξόρυξης. Μια κρίση είναι ζυθοποιία και λίγοι άνθρωποι γνωρίζουν τι συμβαίνει.

Αυτό είναι ένα επικίνδυνο σφάλμα το οποίο θα γίνει ακόμη χειρότερο από έναν ακόμη παράγοντα που πρέπει να εισαχθεί σε αυτό το σημείο, την αύξηση του πληθυσμού. Από όλες τις αλλαγές του 20ου αιώνα, καμιά δεν είναι πιο εκτεταμένη από ότι η έκρηξη του ανθρώπινου πληθυσμού. Εκατό χρόνια πριν 1,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζούσαν στη Γη. Το 1999, ο παγκόσμιος πληθυσμός έφτασε τα 6 δισεκατομμύρια. Η αύξηση του πληθυσμού επιταχύνθηκε κατά το μεγαλύτερο μέρος αυτού του αιώνα. Ο ρυθμός ανάπτυξης έχει αρχίσει να επιβραδύνεται, αλλά ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται ακόμη κατά 78 εκατομμύρια ετησίως. Όλοι αυτοί οι άνθρωποι καταναλώνουν πολλούς πόρους. Το προφανές συμπέρασμα που απορρέει από το σύνολο των προαναφερθέντων στοιχείων είναι ότι θα υπάρξει μείωση της προσφοράς του χρυσού λόγω της ταχύρυθμης αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Κάτι θα πρέπει να δώσουμε, και κατά πάσα πιθανότητα θα είναι η τιμή του χρυσού. Ένα λογικό συμπέρασμα είναι ότι ο χρυσός θα προχωρήσει σε τιμή κατά τα επόμενα έτη σε επίπεδα τα οποία θα μας καταπλήξουν.[1.1]

1.3.2 Προβλήματα στην αγορά Χρυσού

Πολλοί άνθρωποι που έχουν μελετήσει την αγορά χρυσού τα τελευταία χρόνια έχουν επικεντρωθεί σε σημαντικά θέματα, όπως [1.1]:

- Υπέργειες παροχές χρυσού.
- Κακή διαχείριση των αποθεμάτων χρυσού από τις Κεντρικές Τράπεζες.
- Η ετήσια ζήτηση για χρυσό έχει υπερβεί την ετήσια παραγωγή των ορυχείων για αρκετά χρόνια.
- Η κατάφορη χειραγώγηση των τιμών του χρυσού από τις κυβερνήσεις παγκοσμίως και τα μεγάλα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών σε μια προσπάθεια να σώσουν το σύστημα του χαρτονομίσματος.

Αυτά τα στοιχεία είναι ζωτικής σημασίας, αλλά έχουν κρύψει ένα άλλο σημαντικό κομμάτι του παζλ. Μέχρι τώρα, οι αναλυτές της αγοράς χρυσού έχουν παρατηρήσει μια προφανή ατελείωτη προσφορά χρυσού που προέρχεται από τα θησαυροφυλάκια των κεντρικών τραπεζών για την κάλυψη των αναγκών σε όλο τον κόσμο. Οι νεαροί κεντρικοί τραπεζίτες κατέληξαν στο εσφαλμένο συμπέρασμα ότι ο χρυσός δεν είναι πλέον αναγκαίος από νομισματική άποψη και θα πρέπει να χρησιμοποιείται αλλού, όπως σε βιομηχανικές χρήσεις, από οδοντιάτρους, για κοσμήματα, κλπ. Αυτή η άποψη, έχει δημιουργήσει τη ψευδαίσθηση της τεράστιας προσφοράς του πολύτιμου μετάλλου που δεν θα έχει προβλήματα εφοδιασμού στο μέλλον. Αυτό όμως είναι ένα σημαντικό λάθος που θα παγιδεύσει τον κόσμο τα επόμενα 10 έως 20 χρόνια λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα χρυσού στο φλοιό της γης για μελλοντικές δραστηριότητες εξόρυξης. Το ποσό που απομένει είναι λιγότερο από το μισό του ποσού που έχει ήδη βρεθεί και εμφανιστεί από τις αρχές του πολιτισμού. Είναι εμφανές εδώ και πολύ καιρό ότι οι κυβερνήσεις στον κόσμο σπαταλούν τα αποθέματα τους σε χρυσό. Το νομισματικό χρυσό δεν συνεχίζει απλά να είναι υπό κακή διαχείριση αλλά η διαχείριση αυτή έχει γίνει χειρότερη σήμερα.

Ο οικονομικός κόσμος σιγά-σιγά άρχισε να συνειδητοποιεί ότι λόγω της ανοησίας της Κεντρικής Τράπεζας σε συνδυασμό με την απληστία των επιχειρηματικών φορέων μεγάλο μέρος της παραγωγής (34.000 τόνων) έχει αφαιρεθεί από την κεντρική διεύθυνση της τράπεζας και μεγάλο μέρος αυτού του χρυσού δεν πρόκειται ποτέ να βρει το δρόμο της επιστροφής στα θησαυροφυλάκια της. Ο λόγος; Μεγάλο μέρος του χρυσού έχει χρησιμοποιηθεί για εμπορικές χρήσεις και δεν είναι πλέον σε μορφή ή θέση να επιστραφεί. Όλο αυτό το χάος έχει επιδεινωθεί από τη χαμηλή τιμή του χρυσού που δημιουργήθηκε από τον χειρισμό της παγκόσμιας κυβέρνησης, ο οποίος έχει οδηγήσει στην αύξηση της ετήσιας κατανάλωσης του μετάλλου. Το παραδοσιακό εμπόριο χρυσού έχει τόσο στρεβλωθεί από όλες αυτές τις μηχανορραφίες που πολλοί συνετοί παρατηρητές της αγοράς πιστεύουν ότι όλο το σύστημα είναι έτοιμο να ανατιναχθεί προκαλώντας σοβαρές αρνητικές συνέπειες όχι μόνο στη βιομηχανία χρυσού, αλλά και σε ολόκληρο το παγκόσμιο χρηματοπιστωτικό σύστημα. Ο κόσμος πιθανόν τα επόμενα 20 χρόνια ή λιγότερο, θα στερηθεί το χρυσό και τότε θα συνειδητοποιήσει ότι κάθε παλιό ή σημερινό απόθεμα χρυσού θα είναι όλο και πιο πολύτιμο και πολυπόθητο.[1.1]

1.3.3 Κατά Κεφαλήν Απόθεμα Χρυσού

Για να τοποθετήσουμε την εικόνα στην κατάλληλη προοπτική, έχουμε μετατρέψει το απόθεμα χρυσού σε ουγγιές από τόνους, στη συνέχεια, διαιρέσαμε το κατά προσέγγιση συνολικό απόθεμα χρυσού με το κατά προσέγγιση αριθμό των ανθρώπων στον κόσμο χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του 1999. Αυτό μας φέρνει αντιμέτωπους με ένα κατά κεφαλή απόθεμα χρυσού στη σημερινή εποχή των 0,58 ουγγιές, λιγότερο από μία ουγγιά ανά άτομο. Μεγάλο μέρος του κόσμου γίνεται όλο και πλουσιότερο και αυτό τονώνει περισσότερο τη ζήτηση από αυτήν την ομάδα. Ένας άλλος παράγοντας είναι οι νομικές αλλαγές που επιτρέπουν σε περισσότερους ανθρώπους στον κόσμο να έχουν στην ιδιοκτησία τους χρυσό, όπου στο παρελθόν τους είχε απαγορευθεί. Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι η Κίνα. Έχουν πολύ πρόσφατα αλλάξει τη νομοθεσία τους περί ιδιοκτησίας χρυσού για να καταστεί δυνατή η κατοχή χρυσού από τους Κινέζους. Αυτή είναι μια σημαντική εξέλιξη. Υπάρχουν περίπου 1,4 δισεκατομμυρία Κινέζων που μπορούν να κατέχουν πλέον χρυσό. Ένα άλλο γεγονός είναι ότι οι Ανατολίτες γενικά αγαπούν τα πολύτιμα μέταλλα.

Ας δούμε τους αριθμούς αυτούς λίγο περισσότερο. Ας υποθέσουμε ότι μόνο το ένα τρίτο των ανθρώπων που ζουν στη γη είναι αρκετά πλούσιοι για να έχουν δικό τους χρυσό. Αυτό μας αφήνει με δύο δισεκατομμύρια άνθρωπους. Χρησιμοποιώντας αυτό το ποσοστό του πληθυσμού με τους 108.000 τόνους διαθέσιμους, μας δίνει ένα κατά κεφαλήν αριθμό περίπου 1,7 ουγγιές χρυσού ανά άτομο. Αν σκεφτούμε πόσος χρυσός απαιτείται κατά κεφαλήν για βιομηχανική χρήση σε υπολογιστές, τηλέφωνα, άλλες ηλεκτρονικές και βιομηχανικές χρήσεις και τέλος για κοσμήματα, τούτο δείχνει πόσο λίγος χρυσός είναι διαθέσιμος. Δεν υπάρχει, λοιπόν, τεράστια ποσότητα χρυσού διαθέσιμη σήμερα, το μέλλον της προσφοράς είναι πεπερασμένο και όχι μεγάλο σε σχέση με το τι υπάρχει σήμερα, και εμείς παρόλα αυτά δεν χειριζόμαστε σωστά τους διαθέσιμους πόρους χρυσού. [1.1]

1.4 Ο Χρυσός Κανόνας (Gold Standard)

Ο **Χρυσός Κανόνας (gold standard)** είναι ένα σύστημα κατά το οποίο το διεθνές συνάλλαγμα συνδέεται με ένα συγκεκριμένο ποσό χρυσού. Κατά τον 20^ο αιώνα, πολλά έθνη το χρησιμοποίησαν για να ρυθμίσουν τις προμήθειες τους. Σήμερα πολλοί λίγοι είναι οι υποστηρικτές του συστήματος αυτού.

Σύμφωνα λοιπόν με μια πρόσφατη παρουσίαση από τον Tarik Abdel-Monem [1.20] του Πανεπιστημίου της Αϊόβα του Κέντρου Διεθνών Οικονομικών και Ανάπτυξης, ο Χρυσός Κανόνας (gold standard) είναι μια μέθοδος σταθεροποίησης του νομισματικού συστήματος μιας χώρας συνδέοντας τα χρήματα με τον χρυσό. Μια χώρα μπορεί μόνο να εκτυπώσει τόσα χρήματα όσο χρυσό έχει να επιστρέψει. Κάθε πρόσωπο που διατηρεί χρήματα σε μια χώρα σύμφωνα με τον κανόνα αυτόν θα μπορούσε (θεωρητικά) να εξαργυρώνει τα χρήματα αυτά για ένα ποσό χρυσού, ανάλογα με την αναλογία του δολαρίου με το χρυσό που έχει συμφωνηθεί.

Η αρχή του Χρυσού Κανόνα βασίζεται στο ότι η αξία του συναλλάγματος υποστηρίζεται από κάποιο βάρος χρυσού. Δομικά, κάνει αίσθηση να αντιστοιχίσεις την αξία του συναλλάγματος με μια απτή και ακριβή πηγή, διαφορετικά το συνάλλαγμα είναι απλώς χαρτί. Έτσι, αντιστοιχίζοντας το χαρτονόμισμα με ένα ποσό χρυσού δίνεται στον κάτοχο του χαρτονομίσματος το δικαίωμα να ανταλλάξει το χαρτονόμισμα του με χρυσό. Εάν μια τράπεζα δεν έχει χρυσό, τότε το χαρτονόμισμα δεν έχει αξία. Αλλά θεωρητικά, ο πραγματικός χρυσός ρέει διαμέσου των εθνών για να εξασφαλίσει ότι όλα τα συναλλάγματα μπορούν να υποστηριχτούν από αυτόν.

Ένας απλός τέτοιος κανόνας, είχε χρησιμοποιηθεί μεταξύ του 1879 και 1914 από πολλά έθνη. Υπό αυτό το σύστημα, όλα τα συναλλάγματα που συμμετείχαν μετατράπηκαν με βάση την αξία του χρυσού. Για παράδειγμα, εάν το συνάλλαγμα x ήταν ίσο με 100 μονάδα βάρους χρυσού και το συνάλλαγμα y με 50, τότε $1x$ ήταν ίσο με $2y$. Επειδή, τα συναλλάγματα μετατράπηκαν σε χρυσό, τα έθνη μπορούσαν να ανταλλάξουν χρυσό μεταξύ τους για να ρυθμίσουν την ισορροπία των μεταξύ τους πληρωμών.

Η χρήση όμως του προτύπου χρυσού στην πραγματικότητα προκάλεσε πολλά προβλήματα. Όταν ο χρυσός απομακρυνόταν από ένα έθνος η ιδανική ισορροπία δεν δημιουργόταν αμέσως. Αντιθέτως, αναταραχές και ανεργία προκλήθηκαν. Με το ξέσπασμα του πρώτου παγκόσμιου πολέμου το 1914, το διεθνές σύστημα εμπορίου κατέρρευσε και τα έθνη εκτίμησαν το συνάλλαγμα τους με χαρτονομίσματα. Μετά τον πόλεμο, πολλά έθνη προσπάθησαν να επαναφέρουν τον Χρυσό Κανόνα αλλά οι δραστικές αλλαγές στην οικονομία του χρυσού οδήγησαν σε αποτυχία των προσπαθειών τους. Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, το συνάλλαγμα αντικαταστάθηκε όχι με χρυσό αλλά με το συνάλλαγμα που επικράτησε μετά τον πόλεμο από τα συμμαχικά έθνη, κυρίως από το δολάριο των Η.Π.Α.

Εάν μια οικονομία χρειαζόταν εισροή χρήματος, η κυβέρνηση μπορούσε να ανταλλάξει το δολάριο στο δικό της συνάλλαγμα και έπειτα να εισάγει αυτό το χρήμα στην οικονομία της. Καθώς τα δολάρια ανταλλάσσονται με χρυσό, ο χρυσός έγινε το επικρατέστερο σύστημα ανταλλαγής για πολλά χρόνια. Αποτέλεσμα ήταν, οι Η.Π.Α να γίνουν το κέντρο της διεθνούς ανταλλαγής συναλλάγματος. Όμως, εξαιτίας του πληθωρισμού από τον πόλεμο στο Βιετνάμ, Οι Η.Π.Α δε μπορούσαν πλέον να ανταλλάσουν δολάρια με χρυσό και η δική τους παροχή χρυσού μειώθηκε γρήγορα. Έτσι, το 1971, ο πρόεδρος Richard Nixon τερμάτισε την κυριαρχία του χρυσού στο διεθνές σύστημα συναλλάγματος.

1.4.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Χρυσού Κανόνα

Ο Χρυσός Κανόνας συνδυάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατά την εφαρμογή του. [1.21]

- Τα πλεονεκτήματα του Χρυσού Κανόνα είναι ποικίλλα.
 - Περιορίζει την ικανότητα της κυβέρνησης να χειραγωγήσει την προσφορά χρήματος, το οποίο θεωρητικά οδηγεί σε μια πιο σταθερή οικονομία. Η

προσφορά χρήματος από την κυβέρνηση περιορίζεται από το ποσό του χρυσού που διαθέτει. Οι χώρες με πολύ χρυσό εκτυπώνουν πολύ χρήμα ενώ εκείνες που δεν έχουν χρυσό ψάχνουν γιαυτό.

- Μεγάλο μέρος της εξερεύνησης του κόσμου τον 17ο και 18ο αιώνα πραγματοποιήθηκε εξαιτίας του Χρυσού Κανόνα. Οι Ισπανοί, που ανακάλυψαν τον Νέο Κόσμο και διέπραξαν την σφαγή των γηγενών φυλών έψαχναν για χρυσό.
- Αποτρέπει το δημόσιο χρέος και τον πληθωρισμό. Τα παραγωγικά έθνη ανταμείβονται με βάση την παραγωγικότητά τους, έτσι όσο περισσότερο εξάγουν, τόσο περισσότερο χρήμα λαμβάνουν και γίνονται πλουσιότερα.

➤ Ο Χρυσός Κανόνας όμως συνδέεται και με πολλά μειονεκτήματα.

- Τείνει να ενθαρρύνει την εμμονή για εξεύρεση, αποθησαύριση, και συγκέντρωση χρυσού εις βάρος της ανάπτυξης της βιομηχανίας και του εμπορίου. Κάνοντας το μέγεθος μιας χώρας και την οικονομική υγεία της να εξαρτάται από την προμήθεια του χρυσού και όχι από την εργατικότητα και την επινοητικότητα των ανθρώπων της τείνει να αποθαρρύνει την καινοτομία και τη διατήρηση του καθεστώτος.
- Δημιουργεί επίσης βαθιές παγκόσμιες αδικίες που δεν αντιμετωπίζονται εύκολα. Χώρες που δεν έχουν χρυσό και χρυσορυχεία έχουν λίγες επιλογές για την απόκτηση χρυσού ως επιστροφή των χρημάτων τους. Έτσι, οδηγούνται σε πόλεμο εναντίον πλουσιότερων χωρών. Αποτέλεσμα να δημιουργείται παγκόσμια αστάθεια.
- Η ασφάλεια γίνεται ένα ιδιαίτερα κρίσιμο θέμα για τις χώρες που συγκεντρώνουν μεγάλες ποσότητες χρυσού, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί στη δημιουργία και διατήρηση ενός μεγάλου και ακριβού στρατού.
- Καθώς οι πλούσιες χώρες εμμένουν στη διατήρηση και την προστασία τους, οποιαδήποτε αστάθεια στην εν λόγω οικονομία της χώρας μπορεί επίσης να προκαλέσει στους πολίτες να απαιτήσουν χρυσό στη θέση του χρήματος, προκαλώντας εκτεταμένη κατάρρευση του χρηματοπιστωτικού συστήματος της χώρας.

Συμπερασματικά, ο Χρυσός Κανόνας δεν είναι ούτε καλός ούτε κακός. Προσελκύει το ενδιαφέρον σε περιόδους όπου η αξία του χαρτονομίσματος ενός έθνους μειώνεται. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, φαίνεται ότι επαναφέροντας τον κανόνα αυτόν, είναι ένας γρήγορος τρόπος για τη δημιουργία της χρηματοπιστωτικής σταθερότητας μέσω της πρακτικής της αντιστοιχίας των χρημάτων με το πολύτιμο μέταλλο. Παρά το γεγονός ότι ο Χρυσός Κανόνας δίνει την αίσθηση ότι δημιουργεί μια απλή και σταθερή οικονομία, η ιστορία των τραπεζών και της οικονομίας των ΗΠΑ αποκαλύπτει ότι στην πράξη κάτι τέτοιο δεν έχει συμβεί.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΧΡΥΣΟΥ

2.1 Ορισμός Πρόβλεψης

Η **πρόβλεψη (forecast)** είναι μια λειτουργία που εφαρμόζεται στον τομέα της διαχείρισης/διοίκησης για τη λήψη αποφάσεων. Περιγράφεται επίσης ως η διαδικασία εκτίμησης άγνωστων μελλοντικών καταστάσεων. Σε μια πιο γενική έννοια, είναι κοινώς γνωστή ως η πρόγνωση η οποία αναφέρεται στην εκτίμηση των χρονολογικών σειρών ή μακροχρόνιων τύπου δεδομένων. [2.1]

Η πρόβλεψη τιμής αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της οικονομικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Οι προβλέψεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τρόπους. Συγκεκριμένα, τα άτομα μπορούν να χρησιμοποιούν τις προβλέψεις για την απόκτηση εισοδήματος από κερδοσκοπικές δραστηριότητες, για τον καθορισμό βέλτιστων πολιτικών επιλογών, ή για τη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων.

2.2 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού

Η πρόβλεψη της τιμής του χρυσού δεν είναι εύκολο έργο, αντιθέτως είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί με επιτυχία. Δεν υπάρχει μια απλή φόρμουλα ή γράφημα να συμβουλευθεί κανείς για να μαντέψει τις τιμές χρυσού μελλοντικά. Το σύνολο της οικονομίας είναι παρόμοιο με έναν ζωντανό οργανισμό που αναπνέει με πολλά σύνθετα εξαρτήματα. Απομονώνοντας μία πτυχή γίνεται με κίνδυνο να γίνει ανακριβής η πρόβλεψη.

Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι ο χρυσός είναι η καλύτερη διατήρηση αγοραστικής δύναμης μακροπρόθεσμα. Ο χρυσός παρέχει επίσης υψηλή ρευστότητα, μπορεί δηλαδή να ανταλλάσσεται με χρήματα οποτεδήποτε οι κάτοχοι του το επιθυμούν.

Ωστόσο, σε κατάσταση υψηλής μεταβλητότητας η διακύμανση της τιμής του είναι συνηθισμένη. Οι επενδυτές διστάζουν να πάρουν την απόφαση ρευστότητας διότι μόνο η διαίσθησή τους δεν είναι αρκετή και μπορεί να τους οδηγήσει σε απώλεια. Για την παροχή, λοιπόν, καλύτερης πρόβλεψης για επενδύσεις χρυσού θα πρέπει να συσταθούν κατάλληλα μοντέλα πρόβλεψης.

Δεδομένου ότι το ράλι τιμών του χρυσού ξεκίνησε το 2001, οι τιμές αναρριχήθηκαν εξαιτίας πλήθους θεμάτων μεταξύ των οποίων:

- **Το Ασθενέστερο Δολάριο.**
- **Ο Αυξημένος Γεωπολιτικός Κίνδυνος.**
- **Οι Υψηλότερες Τιμές Του Πετρελαίου.**
- **Η Διαφοροποίηση Του Χαρτοφυλακίου.**
- **Οι Χαμηλότερες Από Τις Αναμενόμενες Επίσημες Πωλήσεις.**
- **Η Μείωση Της Παραγωγής Ορυχείων.**
- **Η Αξιόπιστη Και Ανθεκτική Ασιατική Ζήτηση Για Κοσμήματα.**

Η οικονομική κρίση είχε ως αποτέλεσμα την αναδιάρθρωση αυτών των παραγόντων και την ανάγκη για ένα ασφαλές καταφύγιο για τις επενδύσεις. Ωστόσο, η αγορά χρυσού έχει επίσης να υποστεί μια σημαντική πτώση της ζήτησης της στον κατασκευαστικό τομέα και ταυτόχρονα μια μεγάλη αύξηση της προσφοράς. Πράγματι, κοιτάζοντας κανείς την ισορροπία μεταξύ προσφοράς από την εξόρυξη και ζήτησης για κατασκευές, ο χρυσός ήταν σε πλεονασμό και στην περίπτωση αυτή αναμενόταν οι τιμές του να πέφτουν. Ωστόσο, οι αλλαγές στη ζήτηση των επενδύσεων και τις επίσημες πωλήσεις είχαν ένα απίστευτα θετικό αντίκτυπο στο χρυσό. Από αυτές τις επιρροές στην αγορά χρυσού, είναι οι αλλαγές στη ζήτηση των επενδύσεων που έχουν πραγματικά οδηγήσει τις τιμές χρυσού σε υψηλότερα επίπεδα. Δεδομένου του οικονομικού περιβάλλοντος και της κατάστασης της χρηματοπιστωτικής αγοράς, θεωρούμε ότι υπάρχει μεγάλο ενδεχόμενο για μεγαλύτερη αγορά επενδύσεων και όπως κάθε ράλι μπορεί να «τρέξει μακριά» σε ανοδική πορεία, είναι δυνατόν η επενδυτική ζήτηση να μπορέσει να κάνει το ίδιο δεδομένου του μεγέθους της χρηματοπιστωτικής αγοράς και του συγκριτικά μικρού μεγέθους της αγοράς του χρυσού.[2.2]

Από την αρχή του 2000, λοιπόν, οι τιμές των πολύτιμων μετάλλων έχουν εκτιναχθεί και πιθανολογείται η περαιτέρω αύξηση τους. Υπό αυτές τις συνθήκες, η πρόβλεψη της τιμής τους και ιδιαίτερα του χρυσού έχει σημαντικές επιπτώσεις όχι μόνο νομισματικά αλλά και οικονομικά [2.3]. Τα πολύτιμα μέταλλα έχουν μια οικονομική αξία εκτός από το να είναι εμπορεύματα και ιδιαίτερα ο χρυσός που θεωρείται ως μια εναλλακτική και μάλιστα ασφαλής επένδυση έναντι του αμερικανικού δολαρίου. Οι οικονομικοί δείκτες και οι πολιτικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μακροπρόθεσμη τιμολόγηση των εν λόγω προϊόντων. Παρόλο που η θεμελιώδης ανάλυση θα μπορούσε να εφαρμοστεί για τη μακρά διάρκειας τιμολόγηση του εν λόγω μετάλλου, η καθημερινή πρόβλεψη αυτής είναι πολύ δύσκολη, όπως υποστηρίζουν οι Baker και Van Tassel (1985) οι οποίοι υπογραμμίζουν επίσης ότι υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την βραχυπρόθεσμη κίνηση των τιμών του χρυσού.[2.4]

2.2.1 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2006-2007

Ο Chris Rumley στα πλαίσια μιας έρευνας του [2.5], προχώρησε στην πρόβλεψη της τιμής του χρυσού για τα έτη 2006 και 2007. Σύμφωνα λοιπόν με τις εκτιμήσεις του, η αυξημένη παγκοσμίως τιμή του πετρελαίου το 2006 και το ενδεχόμενο να σημειώσει επιπλέον αύξηση ενθάρρυνε την επενδυτική ζήτηση για χρυσό ως αντιστάθμιση έναντι του πληθωρισμού. Μετά την αρχική αδυναμία στις αρχές του 2007, η τιμή του χρυσού ανέκαμψε για να υπερβεί τα 660 δολάρια η ουγγιά στις αρχές Φεβρουαρίου. Σε αυτό συνέβαλαν παράγοντες όπως η αύξηση της επενδυτικής ζήτησης για χρυσό, η συνεχιζόμενη υποτονική ανάπτυξη της παγκόσμιας παραγωγής μεταλλευμάτων καθώς και η μείωση στον τομέα των πωλήσεων.

Το 2007, η τιμή του χρυσού στις διεθνείς αγορές προβλεπόταν να αυξηθεί κατά 11 τοις εκατό στο μέσο όρο των 670 δολαρίων η ουγγιά, κυρίως λόγω της αυξημένης επενδυτικής ζήτησης. Η αβεβαιότητα σχετικά με τις προοπτικές για τις κινήσεις των επιτοκίων στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι ανησυχίες σχετικά με το μεγάλο έλλειμμα τρεχουσών συναλλαγών στις ΗΠΑ και οι ενδείξεις ότι ορισμένες κεντρικές τράπεζες μπορούν να μειώσουν τις εκμεταλλεύσεις τους σε δολάρια, αναμενόταν να

ενθαρρύνουν την επενδυτική ζήτηση για το χρυσό από τα ταμεία ως αντιστάθμιση έναντι της δυνητικής υποτίμησης του δολαρίου των ΗΠΑ.

Επιπλέον, σύμφωνα με τις προβλέψεις του Chris Rumley η επενδυτική ζήτηση για χρυσό μπορούσε να υποστηριχθεί από τη γεωπολιτική αβεβαιότητα. Μια σειρά από άλλους παράγοντες στην αγορά του χρυσού αναμενόταν να στηρίξει τις τιμές κατά το υπόλοιπο του 2007. Από την πλευρά της προσφοράς, η παγκόσμια παραγωγή από τα ορυχεία προβλεπόταν να ανακάμψει σε περιορισμένη έκταση από την κάμψη της προηγούμενης χρονιάς και οι πωλήσεις χρυσού από τις κεντρικές τράπεζες να μειωθούν κάτω από 500 τόνους. Μάλιστα, οι τιμές του χρυσού σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του 2007 αναμενόταν να υποστούν χαλάρωση τα επόμενα πέντε χρόνια μέχρι το 2012.

Μια υποτιθέμενη σταδιακή χαλάρωση των τιμών σε πραγματικούς όρους για την πλειονότητα των ορυκτών εμπορευμάτων και της ενέργειας αναμενόταν να μειώσει το ενδιαφέρον χρηματοδότησης βασικών προϊόντων, εν γένει, συμπεριλαμβανομένου του χρυσού. Μια σειρά θεμελιωδών παραγόντων αναμενόταν επίσης να στηρίξουν την τιμή του χρυσού μεσοπρόθεσμα και να περιορίσουν τη μείωση της. Επιπλέον, οι μεγαλοπαραγωγοί χρυσού προβλεπόταν να συνεχίσουν να μειώνουν τα κερδοσκοπικά κεφάλαια τους. Στην περίπτωση της ζήτησης, η κατανάλωση χρυσού για κατασκευές ήταν πιθανό να υποστηριχθεί από τη συνεχιζόμενη αύξηση των εισοδημάτων των καταναλωτών στην Κίνα και την Ινδία, η οποία και θα οδηγούσε στην αύξηση της ζήτησης κοσμημάτων.

Ενώ οι τιμές χρυσού αναμενόταν να εξελιχθούν θετικά σε πραγματικούς όρους στο μέλλον, ένας αριθμός παραγόντων εξακολουθεί να έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει την εξέλιξη αυτή μεσοπρόθεσμα. Η αύξηση των γεωπολιτικών γεγονότων θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για αύξηση της ζήτησης επενδύσεων χρυσού. Μια ουσιαστική αύξηση της διαφοροποίησης της κεντρικής τράπεζας σε νομίσματα εκτός του δολαρίου των ΗΠΑ θα μπορούσε να οδηγήσει σε υποτίμηση το δολάριο των ΗΠΑ και αντίστοιχα σε αύξηση της τιμής του χρυσού. Ωστόσο, εάν οι πληθωριστικές πιέσεις είναι χαμηλότερες από ότι οι συμμετοχές στην

αγορά αναμένεται στο μέλλον η ζήτηση για χρυσό ως ισοστάθμιση έναντι του παγκόσμιου πληθωρισμού που προβλέπεται ότι θα μειωθεί.

Όλα τα παραπάνω βέβαια, προβλέψεις, παρατηρήσεις και συμπεράσματα παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στα πλαίσια της έρευνας του Chris Rumley [2.5]. Έτσι κάποια από αυτά επιβεβαιώθηκαν και άλλα πάλι όχι.

2.2.2 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2007-2010

Σύμφωνα με την έρευνα του David Davis [2.6], κατά το 2007 ήταν εμφανείς οι ανοδικές πιέσεις στην τιμή του χρυσού. Αυτές οφείλονταν στο οικονομικό περιβάλλον και ειδικότερα στη δύναμη του αμερικανικού δολαρίου, στις τιμές του πετρελαίου και βασικών εμπορευμάτων καθώς και στην αλλαγή της δυναμικής γύρω από την προσφορά και ζήτηση του χρυσού. Οι γεωπολιτικές εντάσεις που είχαν αυξηθεί οδήγησαν σε εντάσεις μεταξύ των ΗΠΑ και του Ιράν με αποτέλεσμα με τη σειρά τους την αύξηση των πιέσεων στην τιμή του χρυσού και της αστάθειας.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής, εξετάστηκε και ο ρόλος της εποχικότητας στη διαμόρφωση της τιμής του χρυσού. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια των ετών 2000-2007, η τιμή του χρυσού παρουσίασε κάποια εποχικότητα με μια ισχυρή τάση για υψηλότερες τιμές το Δεκέμβριο μέχρι τον Μάρτιο. Πιστεύεται ότι η έντονη εποχιακή ανοδική τάση των τιμών οφείλεται εν μέρει σε παρόμοιες εποχικές τάσεις της τιμής του πετρελαίου, αλλά συνδέεται και με την αυξημένη ζήτηση για χρυσό κατά την εορταστική περίοδο του γάμου στην Ινδία μαζί με την παραδοσιακή εποχική ζήτηση από τη Μέση Ανατολή. Πιστεύεται επίσης, ότι σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα, οι ανοδικές πιέσεις στην τιμή του χρυσού θα συνεχίσουν να ακολουθούν τις εποχικές τάσεις, την αδυναμία δολαρίου, τις υψηλότερες τιμές του πετρελαίου και την αύξηση των γεωπολιτικών τάσεων.

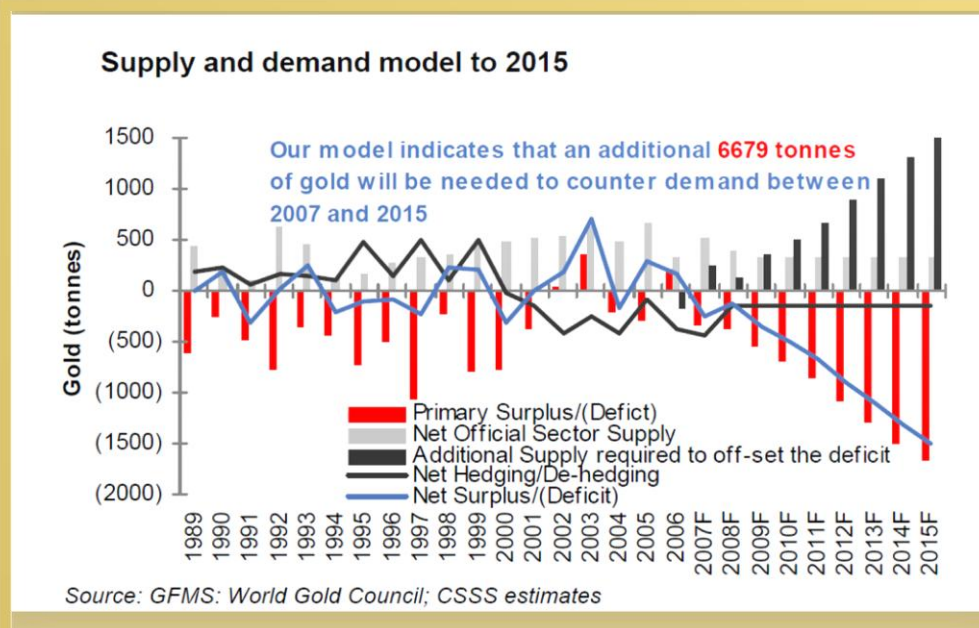
Οι μελέτες μέχρι το 2007 δείχνουν ότι η δυναμική που περιβάλλει την προσφορά και ζήτηση του χρυσού έχει αρχίσει να αλλάζει αμείλικτα προς μια μείωση της

προσφοράς του χρυσού και αύξηση της ζήτησης του για επενδύσεις οι οποίες θα επηρεάσουν τελικά την τιμή του. Σε μακροπρόθεσμη βάση, η παγκόσμια παραγωγή χρυσού (πρωτοβάθμια προσφορά) θα αρχίσει να μειώνεται καθώς η μείωση του αριθμού των νέων κοιτασμάτων αποτυγχάνει να αντισταθμίσει τα ορυχεία που φτωχαίνουν. Η πτώση στην παγκόσμια παραγωγή χρυσού πιθανώς θα επιταχυνθεί.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τη δημοσίευση του 2007 τα τελευταία 18 χρόνια εκτός από τρεις περιπτώσεις η παροχή του χρυσού είχε ελλειμματικό χαρακτήρα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση για επενδυτικούς σκοπούς, την κατανάλωση κοσμημάτων και τη μείωση της προσφοράς από τα ορυχεία, είχε ήδη αρχίσει από τότε.

Η έναρξη της οικονομικής κρίσης το καλοκαίρι του 2008, οδήγησε στην πτώση της τιμής του χρυσού. Αυτό ήταν πραγματικά μια έκπληξη, καθώς δεδομένης της κρίσης στις αγορές και του φόβου για το τραπεζικό σύστημα, ο χρυσός θα έπρεπε να είχε προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών. Παρατηρήθηκε πτώση της τιμής του χρυσού της τάξης των 682 δολαρίων ανά ουγγιά τον Οκτώβριο του 2008, πριν η αγορά για μια ακόμη φορά κυριαρχήσει και οι επενδυτές και οι έμποροι στραφούν στο χρυσό για την προστασία του κεφαλαίου τους από την αβεβαιότητα που στροβιλιζόταν γύρω από την οικονομική αγορά. [2.2]

Υπό αυτές τις συνθήκες η ανισορροπία προσφοράς και ζήτησης είχε αρχίσει να επιταχύνεται με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό σε ένα καθαρό έλλειμμα το οποίο με τη σειρά του αναμενόταν να θέσει σημαντικές ανοδικές πιέσεις στην τιμή του χρυσού. Το σενάριο αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω γράφημα (Διάγραμμα 1) της προσφοράς και ζήτησης. [2.6]



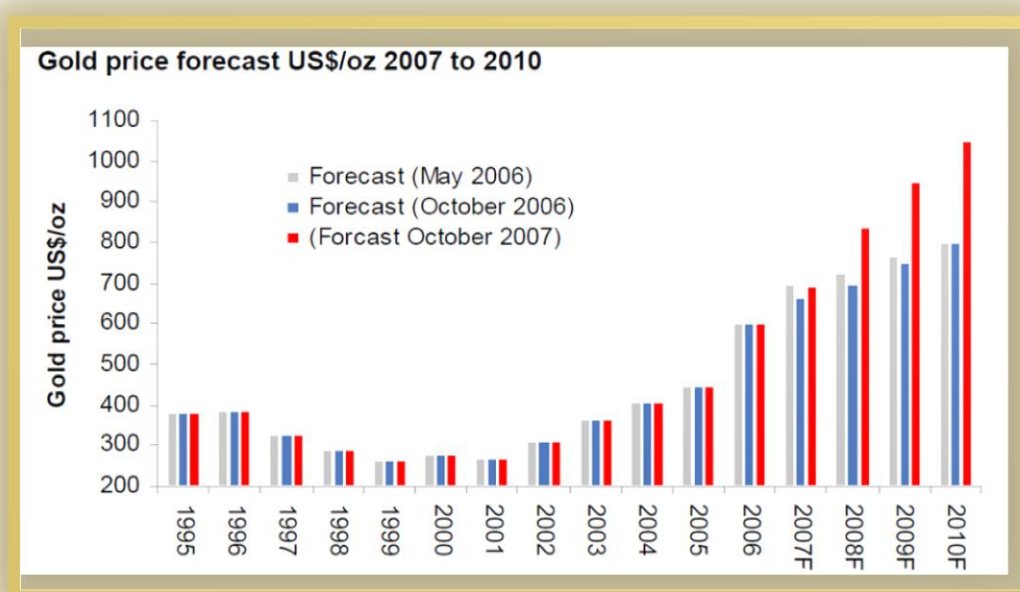
Διάγραμμα 1: Μοντέλο Προσφοράς και Ζήτησης για το 2015.

Με βάση τα σενάρια προσφοράς και ζήτησης, το μοντέλο που προτάθηκε στα πλαίσια αυτής της έρευνας προσδιορίζει ένα σημαντικό και αυξανόμενο καθαρό έλλειμμα μετά το 2009 – 2010. Αυτό εικάζεται να συνεχίσει να ασκεί ανοδική πίεση επί των τιμών σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Το μοντέλο δείχνει ακόμη ότι 6679 επιπλέον τόνοι χρυσού θα χρειαστούν για την αντιμετώπιση της ζήτησης χρυσού μεταξύ του 2007 και 2015.

Μετά την άνοδο στα 1.006 δολάρια ανά ουγγιά το Φεβρουάριο του 2009, οι τιμές χρυσού διακυμάνθηκαν σε ένα ευρύ φάσμα μεταξύ 865 και 990 δολαρίων ανά ουγγιά. Το γεγονός αυτό είναι μια προειδοποίηση ότι θα υπάρξει πρόβλημα στις χρηματοπιστωτικές αγορές. Το πρόβλημα αυτό θα εκδηλωθεί είτε με τη μορφή διπλής ύφεσης, κρίση στο δολάριο ή στα ομόλογα, είτε ως στασιμότητα στον πληθωρισμό ή ως αποπληθωρισμός. Η κατάσταση που επικρατούσε το 2009 ήταν εκείνη κατά την οποία η τιμή του δολαρίου έπεσε ξανά και οι μετοχές σημείωσαν δυναμική ανάκαμψη. Υπάρχουν πολλά διασταυρούμενα ρεύματα που επηρεάζουν την παγκόσμια οικονομία και που είναι πιθανό να κρατήσουν τις αγορές σε ταραχή και κίνδυνο. Σε αυτό το περιβάλλον, αναμένεται ο χρυσός να παραμείνει περιζήτητος σαν δοκιμασμένο και ασφαλές καταφύγιο. Σε κάποιο στάδιο μιας ευρείας βιώσιμης

οικονομικής ανάκαμψης είναι πιθανό να μειωθεί η ανάγκη για ασφαλές καταφύγιο των επενδύσεων και πιθανόν να δούμε τα χρήματα να μετακινούνται από το χρυσό. Πιστεύεται όμως ότι, πριν από αυτό, το οικονομικό περιβάλλον θα επιδεινωθεί περαιτέρω και η ζήτηση για χρυσό θα σημειώσει άνοδο. [2.2]

Ακολουθεί το Διάγραμμα 2 όπου απεικονίζεται η πρόβλεψη της τιμής του χρυσού από το 2007 ως το 2010 σύμφωνα πάντα με τις εκτιμήσεις που έχουν παρουσιαστεί στη συγκεκριμένη έρευνα. [2.6]



Διάγραμμα 2: Πρόβλεψη τιμής χρυσού σε δολάρια Η.Π.Α ανά ουγγιά για το 2007-2010.

2.2.3 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2010

Δεν είναι λίγα τα άρθρα που δημοσιεύονται και κάνουν λόγο για έναν νέο πυρετό για το χρυσό. Ο φόβος της οικονομικής κατάρρευσης έχει ενισχύσει τη λάμψη του χρυσού, με την τιμή του να ενισχύεται περισσότερο από 300% την τελευταία δεκαετία. Και ακριβώς όπως οι υψηλές τιμές των ακινήτων στις ΗΠΑ πριν από μερικά χρόνια δημιούργησαν ένα ανθηρό οικοσύστημα επιχειρηματιών που

εκμεταλλευόταν τη φούσκα, η απότομη αύξηση του χρυσού έχει οδηγήσει σε μια νέα σοδειά επιχειρήσεων και ατόμων που ψάχνουν για χρυσό.

Για την πρόβλεψη των τιμών του χρυσού το 2010, οι αναλυτές πρέπει να εξετάσουν τις παγκόσμιες οικονομικές τάσεις, τις τακτικές αντιστάθμισης που χρησιμοποιούνται κατά την πτώση του δολαρίου και τις τιμές του πληθωρισμού.

Ο χρυσός το 2010 διανύει μια πολύ ενδιαφέρουσα περίοδο αλλά υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων που επηρεάζουν την τιμή του. Ορισμένοι μάλιστα είναι αρκετά αντιφατικοί, όπως η εμφάνιση του αποπληθωρισμού και ο φόβος του πληθωρισμού. Πράγματι, τα μαζικά διεγερτικά πακέτα και τα υπό εγγύηση αγαθά που παρέχονται από τις κυβερνήσεις πληρώνονται κυρίως με δανεικά και τυπωμένο χρήμα και γ' αυτό υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα ως προς το τι θα ακολουθήσει.

Η παγκόσμια ανισορροπία ανάμεσα στις χώρες που έχουν τεράστια χρέη σε δολάριο και σε εκείνες με τεράστια αποθέματα, φαίνεται ότι βρίσκεται σε ένα δρόμο προς υποτίμηση του δολαρίου. Επιπλέον, το αδύναμο δολάριο ωθεί την ανταγωνιστική υποτίμηση του νομίσματος και δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η πίστη σε χαρτονομίσματα εξασθενεί και εκείνοι με τα χρήματα προσπαθούν να τα μετατρέψουν σε περιουσιακά στοιχεία με εγγενή αξία, εκ των οποίων ο χρυσός και άλλα βασικά προϊόντα βρίσκονται στην κορυφή της λίστας. Πράγματι, αυτό θα μπορούσε κάλλιστα να είναι αυτό που είναι η κινητήρια δύναμη για τα μέταλλα ακόμη και αν η ζήτηση είναι ασθενής και τα αποθέματα μειώνονται. Το γεγονός ότι οι πιστωτές του δολαρίου των ΗΠΑ μιλάνε για την ανάγκη ενός άλλου παγκόσμιου αποθεματικού νομίσματος δείχνει ότι χάνουν την πίστη τους στο δολάριο.

Σε γενικές γραμμές, δεδομένης της οικτρής κατάσταση των χρηματοπιστωτικών αγορών στον κόσμο κατά τα τελευταία έτη είναι αμφίβολο ότι η απότομη βραχυπρόθεσμη φούσκα του αποπληθωρισμού του δεύτερου εξαμήνου του 2008 και του πρώτου τριμήνου του 2009 θα επιλύσει το θέμα εντελώς. Υπάρχουν ακόμα πολλά άλυτα προβλήματα και ανισορροπίες που πρέπει να διευθετηθούν και καθώς δε φαίνεται να υπάρχει εύκολος τρόπος για να διορθωθούν το χρηματοπιστωτικό σύστημα και οι υπερχρεωμένες χώρες είναι πιθανόν να περάσουν περισσότερες κακουχίες στο μέλλον. Είναι πιθανόν επίσης ότι ανοίγει ένα μεγάλο παράθυρο ώστε

να λάμψει ο χρυσός τους επόμενους μήνες. Ως ένα σημείο, τα προβλήματα που έχει η παγκόσμια αγορά, κυρίως η Δύση, θα λυθούν και τότε αγαθά που παρέχουν ασφάλεια θα αρχίσουν να πωλούνται.

Ο αγώνας χρυσού συνεχίζεται με την τιμή του να ανεβαίνει στις αρχές του Οκτωβρίου, ενώ αναμένεται να φτάσει σε 850 με 1.400 δολάρια η ουγγιά το 2010. Ως την 1η Ιουλίου του 2010, οι τιμές του χρυσού κυμαίνονταν περίπου στα 1.200 δολάρια ανά ουγγιά.

Σε νέα ιστορικά υψηλά επίπεδα 30 ετών κινήθηκε τον Νοέμβριο του 2010 η τιμή του χρυσού, παρά την μικρή αποδυνάμωση του ευρώ έναντι του δολαρίου. Το ευρώ διαπραγματεύτηκε στις ασιατικές αγορές στο 1,395 δολάριο από 1,403 δολάριο που ήταν στη Νέα Υόρκη τον προηγούμενο μήνα. Ο χρυσός για άμεση παράδοση σημείωσε άνοδο έως 0.4 % φθάνοντας στα υψηλότερα επίπεδα όλων των εποχών και στα 1.398,60 δολάρια η ουγγιά. Μέσα σε εννέα εβδομάδες, ο χρυσός έχει καταρρίψει 23 φορές το ιστορικό του υψηλό. Μάλιστα, το 2010 ο χρυσός σημείωσε άνοδο 28% και οδεύει για το δέκατο διαδοχικό έτος κερδών καθώς οι επενδυτές αναζητούν εναλλακτικές λύσεις για να προστατευτούν από την απαξίωση των νομισμάτων ενώ τα επιτόκια των κεντρικών τραπεζών παραμένουν στα ιστορικά χαμηλά τους και οι κυβερνήσεις παγκοσμίως διοχετεύουν δισεκατομμύρια για την ανάκαμψη της παγκόσμιας οικονομίας.

Μετά την αναταραχή στις χρηματοπιστωτικές αγορές το προηγούμενο έτος (2009) μια ισχυρή ανάκαμψη φαίνεται αλλά με πολλά μεγάλα ζητήματα άλυτα η ανάκαμψη αυτή φαίνεται μη βιώσιμη. Οι προοπτικές για το χρυσό παραμένουν αισιόδοξες καθώς εξακολουθούν να παρέχουν κάλυψη κατά της αδυναμίας σε χαρτονομίσματα και της περαιτέρω αναταραχής στις αγορές. [2.2]

Γενικότερα, το 2010 ήταν γεμάτο ελπιδοφόρες προβλέψεις για την αγορά μετοχών και την οικονομική ανάκαμψη. Ενώ μπορεί να ήταν αδύνατο να προβλέψουμε ακριβώς την τιμή του χρυσού το 2010, ένα πράγμα ήταν σίγουρο, η μεγάλη μεταβλητότητα της τιμής του που ήταν αναμενόμενη.

2.2.4 Πρόβλεψη Τιμής Χρυσού για το 2011

Δεν υπάρχει καμία οριστική απάντηση του που θα βρίσκεται η τιμή του χρυσού το 2011. Το καλύτερο που ένας επενδυτής μπορεί να κάνει είναι να εξετάσει τις δυνατότητες- πιθανότητες που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα. Εάν ένας επενδυτής θεωρεί ότι το χαρτονόμισμα θα συνεχίσει την πτωτική του τάση, ποια θα ήταν η αισιόδοξη εκτίμηση για τις τιμές χρυσού ανά ουγγιά; Για να δοθεί απάντηση πρέπει κανείς να αναζητήσει την υψηλότερη τιμή που ο χρυσός έχει σημειώσει κατά το παρελθόν.

Άλλοι αναλυτές προτείνουν ότι επειδή η σημερινή οικονομική απόδοση είναι πολλές φορές μεγαλύτερη από ότι πριν από 30 χρόνια, η μέγιστη τιμή του χρυσού θα μπορούσε να φθάσει ακόμα και τα 5.000 δολάρια ανά ουγγιά. Από την άλλη πλευρά, το επιχείρημα αυτό θα μπορούσε να δικαιολογηθεί καθώς οι αγορές βασίζονται στην ψυχολογία και τα συναισθήματα της μάζας. Ορισμένοι θα μπορούσαν να υποστηρίξουν ότι ο μέσος άνθρωπος δεν θα πίστευε ότι η τιμή του χρυσού θα μπορούσε ποτέ να φτάσει μέχρι 5.000 δολάρια. Άλλοι αναλυτές πιστεύουν ότι καθώς η αγορά ανακάμπτει το 2011 και μετά, η τιμή του χρυσού θα υποχωρήσει δραματικά καθώς η οικονομική δυστυχία κυριαρχεί στο μυαλό των ανθρώπων.

Κανείς δεν έχει την πλήρη εικόνα σχετικά με το μέλλον των τιμών του χρυσού. Αν κάποιος αισθάνεται ότι η σημερινή οικονομική και πολιτική αναταραχή είναι ένα σημάδι των πραγμάτων που θα περάσει, τότε ο χρυσός θα μπορούσε κάλλιστα να συνεχίσει την άνοδο στην τιμή του. Από την άλλη, αν κάποιος αισθάνεται ότι η οικονομία θα συνεχίσει να συνέρχεται τότε θα πρέπει να είναι προσεκτικός όταν αγοράζει συναφείς επενδύσεις χρυσού.

Στην πραγματικότητα, η τιμή του χρυσού σήμερα (2011) έφθασε πάνω από το επίπεδο των 1.500 δολαρίων ανά ουγγιά, συνεχίζοντας το ράλι των διαδοχικών ρεκόρ που κάνει το τελευταίο διάστημα. Σύμφωνα μάλιστα με το πρακτορείο Bloomberg; η τιμή του χρυσού αυξήθηκε κατά 0,3% στα 1.500,43 δολάρια ανά ουγγιά λόγω της υποβάθμισης της πιστοληπτικής ικανότητας των ΗΠΑ από τον οίκο Standard & Poor's.

2.3 Προβλέψεις Διαφόρων Αναλυτών

Η τιμή του χρυσού για το 2010 προσδιορίστηκε από μια γκάμα προβλέψεων. Μια συλλογή από τις προβλέψεις και εκτιμήσεις αυτές αναφέρονται παρακάτω. [2.7]

➤ Goldman Sachs

Στις 3 Δεκέμβρη 2009, ο Goldman Sachs προέβλεψε αυτές τις μέσες τιμές για το χρυσό:

- 1.350 δολάρια ανά ουγγιά το 2010.
- 1425 δολάρια ανά ουγγιά το 2011.

Οι λόγοι που τον οδήγησαν στις εκτιμήσεις αυτές έχουν ως εξής:

1. Χαμηλά επιτόκια αναμένονται το 2010 κοντά στο μηδέν με αποτέλεσμα να υπάρξει υποστήριξη για το χρυσό.
2. Τα συγκρατημένα ποσοστά πληθωρισμού και η ανάκτηση της οικονομίας μπορεί να ασκήσουν καθοδικές πιέσεις στις τιμές χρυσού στο μέλλον.

➤ Canaccord Adams

Στις 3 Δεκεμβρίου 2009, ο Canaccord Adams οδηγήθηκε στην παρακάτω εικασία:

- Οι βραχυπρόθεσμες προοπτικές θα είναι στα 1.300 δολάρια ανά ουγγιά το 2010.

Οι λόγοι που τον οδήγησαν σε αυτήν την πρόβλεψη είναι οι εξής:

1. Τα παγκόσμια μέτρα για την ανάκαμψη οδηγούν στην υποτίμηση του νομίσματος.
2. Η πρόβλεψη της αύξησης του πληθωρισμού.
3. Ο χρυσός γίνεται ένας δημοφιλής τρόπος για επενδύσεις και αντιστάθμιση.

➤ **Natixis**

Στις 25 Νοεμβρίου του 2009, ο Natixis προέβλεψε ότι οι τιμές χρυσού κατά το 2010 θα είναι στα 950 δολάρια ανά ουγγιά.

Συνολικά, οι αναλυτές από τη μια πλευρά είχαν την αίσθηση ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες μπορεί να προτιμήσουν να επενδύσουν σε χρυσό σε αντίθεση με το νόμισμα που θα μπορούσε να στηρίξει τις τρέχουσες τιμές του χρυσού. Από την άλλη πλευρά, αν η οικονομία επιστρέψει σε κάποιο μέτρο ομαλότητας, η προσφορά και ζήτηση ενδέχεται να ωθήσει το χρυσό στην άκρη.

Όλες οι προβλέψεις όμως αναμένουν ο χρυσός να σημειώσει εκ νέου ρεκόρ με υψηλότερα επίπεδα κατά το τρέχον έτος, με μια προβλεπόμενη τιμή στα 1.394 δολάρια.

Κάποιες άλλες απόψεις που διατυπώθηκαν από τους εμπειρογνώμονες σχετικά με τα επίπεδα που θα κυμαίνονταν η τιμή του χρυσού το 2010 έχουν ως εξής:[2.8]

➤ **Philip Aubertin**

UBS Investment Bank, London



Σύμφωνα με τον Philip Aubertin, κατά τη διάρκεια του 2009 ο χρυσός έχει σαφώς περάσει από μια παραδειγματική αλλαγή και θα συνεχίσει να επωφελείται από τα χαμηλά επιτόκια και τους φόβους του πληθωρισμού. Έτσι, θα συνεχίσει να λάμπει ως διαφοροποιητής χαρτοφυλακίου σε συνδυασμό με το συνεχές ενδιαφέρον από την Κεντρική Τράπεζα. Τελικά, θα καταλήξει σε ισορροπία περίπου στα 1.225 δολάρια

κατά το 2010. Η τεράστια ρευστότητα του θα είναι άλλο ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του κίτρινου μετάλλου όπου αναμένονται μεγάλης κλίμακας κεφάλαια με τους διαχειριστές των αμοιβαίων κεφαλαίων να αποτελούν τους κύριους επενδυτές.

➤ Robin Bhar

Calyon Credit Agricole CIB



Κατά τον Robin Bhar, ο χρυσός αναμένεται να ανέβει τον πήχη λόγω μείωσης της παραγωγής των ορυχείων, ασθενέστερης ανακύκλωσης, χαμηλότερων πωλήσεων της Κεντρικής Τράπεζας και γεωπολιτικών εντάσεων. Άλλοι παράγοντες όπως το επενδυτικό ενδιαφέρον, θεωρούνται ότι στηρίζουν τον χρυσό μακροπρόθεσμα. Πρόσθετα στην ανησυχία για την αύξηση του δημόσιου χρέους, η Κεντρική Τράπεζα κάνει ενέσεις ρευστότητας και έτσι η ζήτηση για φυσικό χρυσό είναι κατανοητή. Για την απομάκρυνση της απειλής του αποπληθωρισμού, η νομισματική πολιτική θα παραμείνει χαλαρή το 2010. Το δολάριο των ΗΠΑ αναμένεται να παραμείνει υπό πίεση στις αρχές του 2010, αλλά θα δούμε κάποια ανάκαμψη το δεύτερο εξάμηνο του έτους αντικατοπτρίζοντας μια σχετικά ισχυρότερη κυκλική ανάκαμψη στις ΗΠΑ λόγω της πιο επιθετικής στάσης των αρχών της. Σύμφωνα με το σενάριο αυτό, αναμένεται ο χρυσός να κορυφωθεί γύρω στα μέσα του έτους και να εξασθενήσει στη συνέχεια.

➤ **Joerg Ceh**

Landesbank Baden-Wuerttemberg



Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Joerg Ceh, η μείωση των πωλήσεων από τις δυτικές εθνικές τράπεζες σε συνδυασμό με την αύξηση του αγοραστικού ενδιαφέροντος από τις αναδυόμενες αγορές θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια ανοδική τάση την τιμή του χρυσού κατά το πρώτο εξάμηνο του έτους 2010. Τα υψηλά ποσοστά ανεργίας και της παγκόσμιας συγκράτησης των μισθών θα έχουν ισχυρό αντίκτυπο στη ζήτηση της βιομηχανίας κοσμημάτων κατά το δεύτερο εξάμηνο του έτους.

➤ **Jeffrey Christian**

CPM Group, New York



Ο Jeffrey Christian αναμένει οι τιμές του χρυσού να ανέβουν υψηλότερα κατά τη διάρκεια των πρώτων μηνών του 2010 φτάνοντας επίπεδα ρεκόρ. Παρά τα σημάδια μια οικονομικής ανάκαμψης από όλο τον κόσμο, οι συνθήκες αναμένεται να παραμείνουν ευάλωτες. Οι επενδυτές θα συνεχίσουν να αγοράζουν χρυσό, όχι μόνο ως εξασφάλιση έναντι κάποιας δυνατής οικονομικής καταστροφής αλλά και ως

διασφάλιση από πολιτικά προβλήματα. Οι τιμές μπορεί να υποχωρήσουν κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2010 βασιζόμενες στις προσδοκίες ότι οι οικονομικές συνθήκες έχουν βελτιωθεί αλλά οι περισσότεροι επενδυτές αναμένεται να διατηρήσουν το χρυσό ως πιο μακροπρόθεσμη επένδυση.

➤ Suki Cooper

Barclays Capital, London



Το 2010, η φυσική εικόνα της τιμής του χρυσού είναι απίθανο να αλλάξει θετικά. Δύο είναι οι παράγοντες που μπορούν να συμβάλλουν ώστε ο χρυσός να συνεχίσει να λάμπει, το μέγεθος της αντοχής των επενδυτών και αν υπάρχει πλέον μια κίνηση στον επίσημο τομέα για χρυσό. Η πηγή εφοδιασμού δείχνει σημάδια στέρησης από την πλευρά της προσφοράς και μετάβαση στη πλευρά της ζήτησης τα επόμενα 20 χρόνια. Με δεδομένο ότι το 2009 έχει κυριαρχηθεί από τους επενδυτές που εκτείνονται από καταστήματα λιανικής σε ιδρύματα, η αγορά και οι τιμές αυτού θα κινηθούν υψηλότερα το 2010. Το ισχυρότερο δολάριο θα μπορούσε να ωθήσει περαιτέρω την ρευστοποίηση. Όμως, σε συνδυασμό με την υποστήριξη του χρυσού από τις Κεντρικές Τράπεζες, οι εξωτερικοί οδηγοί παραμένουν υποστηρικτές και αυτοί του περαιτέρω επενδυτικού ενδιαφέροντος για το χρυσό δεδομένης της αδυναμίας του δολαρίου, των ανησυχιών σχετικά με τον πληθωρισμό και την αβεβαιότητα που περιβάλλει την οικονομική ανάκαμψη. Μέχρις ότου αρθούν οι φόβοι αυτοί, η προσφυγή στο χρυσό είναι μάλλον απίθανο να σβήνει. Σε περίπτωση όμως που συμβεί κάτι τέτοιο, φυσικά η ζήτηση θα καθορίσει την τιμή του χρυσού.

➤ **Peter Fertig**

QCR Quantitative Commodity Research Ltd., Hainburg (Germany)



Κατά τον Peter Fertig, παρά την πρόσφατη άνοδο των εισαγωγών χρυσού από την Ινδία, η ζήτηση για κοσμήματα δεν είναι ο μεγάλος οδηγός που ωθεί την τιμή του χρυσού σε νέο ρεκόρ. Όπως και το 2009, θα είναι εκ νέου και για το 2010 η ζήτηση των επενδυτών που θα παίζει καθοριστικό ρόλο στην αύξηση της ζήτησης για χρυσό. Το δολάριο παραμένει ο μεγαλύτερος παράγοντας που διακινεί τις τιμές του χρυσού και σε αντίθεση με πέρυσι, θα μπορούσε να οδηγήσει σε αυξημένη αστάθεια την αγορά χρυσού.

- Κατά τον Philip Klapwijk [2.9] η πρόβλεψη του χρυσού για το έτος 2010 έχει ως εξής:

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	\$1.172
ΥΨΗΛΟΤΕΡΗ ΤΙΜΗ	\$ 1.340
ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΗ ΤΙΜΗ	\$ 990

Η ζήτηση για επένδυση το 2010 ενισχύεται από το μικρό ως αρνητικό ενδιαφέρον για την ακίνητη περιουσία, το νοσηρό δολάριο των Η.Π.Α και τον κίνδυνο για αυξανόμενο πληθωρισμό κυρίως στις Η.Π.Α. Το ύψος των χρημάτων που επενδύονται στην αγορά από μη παραδοσιακούς επενδυτές θα μπορούσε να βοηθήσει

στην αύξηση της τιμής του χρυσού πάνω από 1.300 δολάρια, ενώ αναμένεται μείωση της ζήτησης χρυσαφικών.

- Ο Jack Farchy [2.10] στο άρθρο που δημοσίευσε (15/04/10) υποστηρίζει ότι οι τιμές ρεκόρ του χρυσού δε πρόκειται να επιβιώσουν. Συγκεκριμένα, αναφέρει ότι η τρέχουσα τιμή του χρυσού δεν είναι βιώσιμη στο μακροπρόθεσμο πεδίο και οι τιμές θα πρέπει να υποχωρήσουν προκειμένου να τονωθεί η ζήτηση στην αγορά κοσμηματολογίας. Η ένωση που καταρτίζει τα ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία προσφοράς και ζήτησης του κλάδου προβλέπει ότι οι τιμές του κίτρινου μετάλλου ενδεχομένως να ενισχυθούν περαιτέρω βραχυ-μεσοπρόθεσμα και αναφέρει ότι είναι πολύ πιθανό η τιμή του χρυσού να ξεπεράσει τα 1.300 δολάρια ανά ουγγιά προς το τέλος του 2010. Ο χρυσός 'χτύπησε' το ιστορικό ρεκόρ των 1.226 δολαρίων το Δεκέμβριο του 2009 και κινείται αυτήν την περίοδο περί τα 1.150 δολάρια. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι επενδύσεις σε χρυσό υπερδιπλασιάστηκαν το 2009 στα 58 δισεκατομμύρια δολάρια. Όσον αφορά την προσφορά, οι υψηλές τιμές έχουν αυξήσει τον ρυθμό «ανακύκλωσης» του χρυσού, με τον όγκο του χρυσού να ανέρχεται στους 1.674 τόνους το 2009, υψηλότερα κατά 27% από το 2008. Η παραγωγή των ορυχείων, εν τω μεταξύ, αυξήθηκε κατά 7% στους 2.572 τόνους.

Σύμφωνα με μια άλλη έρευνα που δημοσιεύτηκε στις 07/06/10, η τιμή του χρυσού έχει εκτιναχθεί ως 370% την τελευταία δεκαετία. Γίνεται λόγος για ένα τεράστιο άλμα της τιμής του χρυσού μετά το σπάσιμο της περίφημης «φούσκας της τεχνολογίας» του Nasdaq το 2001. Το κίτρινο μέταλλο παραμένει μοναδική εγγύηση από τότε στην εμφάνιση προβλημάτων, όπως η κρίση κρατικού χρέους στον Δυτικό Κόσμο. [2.11]

2.4 Έρευνες Πρόβλεψης Τιμής Χρυσού

Η ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης που αντικατοπτρίζει τη δομή της αγοράς χρυσού είναι αναγκαία λόγω της σημασίας της τιμής του χρυσού στις οικονομικές και κοινωνικές πτυχές της κοινωνίας. Στην πραγματικότητα, πολλοί συγγραφείς έχουν εργαστεί πάνω σε αυτό. Μία από τις πρωτοποριακές μελέτες ήταν αυτή των Lipschitz & Otani (1977) οι οποίοι ανέπτυξαν ένα οικονομετρικό μοντέλο πρόβλεψης της τιμής του χρυσού. Υποστήριξαν ότι δεδομένου ότι τα αποθέματα χρυσού συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις ετήσιες ροές, οι τιμές του χρυσού θα προσαρμοστούν όταν οι επενδυτές απορροφήσουν το υφιστάμενο πλεόνασμα από την προσφορά αυτού. Επίσης, υπολόγισαν ένα μοντέλο ισορροπίας για το χαρτοφυλάκιο το οποίο συσχέτιζε τη ζήτηση για χρυσό με τους συντελεστές απόδοσης άλλων χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων όπως το ποσοστό του πληθωρισμού και την αναμενόμενη τιμή του χρυσού. Ένας άλλος ερευνητής, ο Abken (1980) απέδειξε ότι οι αλλαγές στην τιμή του χρυσού δεν είναι συνεπείς με την «ψυχολογία» αλλά με την οικονομική λογική. Συνέδεσε την αναμενόμενη αλλαγή της τιμής του χρυσού με το οριακό κόστος διαφύλαξης του χρυσού και υποστήριξε ότι τα αποθέματα του χρυσού υπερτερούν σημαντικά των ροών του χρυσού αλλά και ότι οι δυο ροές της προσφοράς και ζήτησης δεν επηρεάζονται σχετικά εύκολα από αλλαγές στην τιμή του χρυσού. [2.17]

Μια άλλη σημαντική έρευνα για την αγορά του χρυσού έγινε από τον Sherman (1983). Το δικό του οικονομετρικό μοντέλο περιλάμβανε μια μόνο εξίσωση με έξι μεταβλητές, το πραγματικό ποσοστό ευρωδολαρίου, το εμπορικό ισοζύγιο των ΗΠΑ, την σταθμισμένη συναλλαγματική ισοτιμία, το πραγματικό GNP/GDP (παγκοσμίως), τη ρευστότητα και τον απρόβλεπτο πληθωρισμό. Ωστόσο, τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι υπάρχει πολυσυγγραμμικότητα μεταξύ των επιτοκίων, του συναλλάγματος και του πληθωρισμού. [2.17]

Όσον αφορά τη βιβλιογραφία, οι περισσότεροι συγγραφείς έχουν εφαρμόσει τη θεμελιώδη (fundamental) προσέγγιση ανάλυσης στα μοντέλα πρόβλεψης που πρότειναν. Η θεμελιώδης ανάλυση [2.17] είναι στην ουσία μια οικονομική προσέγγιση που συνδέεται με την υποκείμενη κατάσταση προσφοράς και ζήτησης

στην αγορά. Η βασική αρχή αυτής της προσέγγισης είναι ότι είναι η σχέση της προσφοράς και ζήτησης που καθορίζει τις τιμές. Ως εκ τούτου, αν αυτή η σχέση είναι κατανοητή πιστεύεται ότι οι διακυμάνσεις των τιμών μπορούν να προβλεφθούν σωστά. Η προσέγγιση αυτή απαιτεί τη μοντελοποίηση του χρυσού στην αγορά με οικονομετρικές εξισώσεις που αντιστοιχούν στην προσφορά και ζήτηση ταυτόχρονα. Ωστόσο, μια προσεκτική ανάλυση των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με χρυσό δείχνει ότι είναι αδύνατο να καθοριστεί επακριβώς η σχέση αυτή λόγω της έλλειψης των στοιχείων της ποσότητας που αντιστοιχεί στην προσφορά και ζήτηση του χρυσού και έτσι αυτές οι οικονομετρικές προσεγγίσεις φαίνονται μη επιτυχείς.

Όταν λοιπόν τα ακριβή στοιχεία για τις ποσότητες χρυσού που ζητούνται και παρέχονται δεν είναι διαθέσιμα, οι αναλυτές συνήθως επικαλούνται μονομεταβλητές ή διμεταβλητές προβλέψεις χρονολογικών σειρών για τη μελέτη των επιμέρους επιπτώσεων άλλων οικονομικών παραγόντων στην τιμή του χρυσού. Οι οικονομικοί παράγοντες συνήθως περιλαμβάνουν την τιμή μελλοντικής εκπλήρωσης του χρυσού, το ποσοστό του πληθωρισμού και το επιτόκιο των ΗΠΑ, τη συναλλαγματική ισοτιμία των ΗΠΑ, την τρέχουσα τιμή του αργύρου, την τιμή του αργού πετρελαίου και άλλες συναφείς μεταβλητές όπως το ποσοστό ανεργίας, την προσφορά χρήματος, το προσωπικό εισόδημα, τις τιμές ομολόγων κλπ. Οι προβλέψεις, λοιπόν, για το χρυσό πραγματοποιούνται με βάση την επίδραση καθενός από αυτούς τους οικονομικούς παράγοντες. Ωστόσο, κάθε ένα από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην πρόβλεψη έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και περιορισμούς. Είναι πιθανό ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ένα από τα μοντέλα μπορεί να υποδεικνύει αύξηση της τιμής του χρυσού ενώ ένα άλλο πτώση αυτής.

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν στα πλαίσια της πρόβλεψης της τιμής χρυσού βασιζόμενες σε διάφορες μεθόδους πρόγνωσης.

➤ **Πρόβλεψη Τιμών Χρυσού Με Τη Μέθοδο Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης (Forecasting Gold Prices Using Multiple Linear Regression Method).**

Μετά την πτώση του δολαρίου, οι επενδυτές βάζουν τα χρήματά τους σε χρυσό επειδή ο χρυσός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο ως σταθεροποιητικός παράγοντας στο επενδυτικό χαρτοφυλάκιο. Λόγω της αύξησης της ζήτησης για χρυσό στη Μαλαισία και άλλα μέρη του κόσμου, είναι αναγκαίο να αναπτυχθεί ένα μοντέλο το οποίο να αντικατοπτρίζει τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του χρυσού στην αγορά και να προβλέπει τη διακύμανση στην τιμή του. Στόχος της παρούσας μελέτης [2.1] ήταν να αναπτυχθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης για την τιμή του χρυσού με βάση οικονομικούς παράγοντες όπως ο πληθωρισμός, οι διακυμάνσεις των τιμών συναλλάγματος και άλλα.

Η πλέον κατάλληλη προσέγγιση για τη μελέτη των τιμών του χρυσού είναι το μοντέλο **Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης (Multiple Linear Regression)**. Το MLR μοντέλο μελετά τη σχέση ανάμεσα σε μια απλή εξαρτημένη μεταβλητή και μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως εν προκειμένω την τιμή του χρυσού σαν την εξαρτημένη μεταβλητή. Σύμφωνα λοιπόν με την έρευνα αυτή, πολλοί παράγοντες και μεταξύ αυτών οικονομικοί καθορίζουν την τιμή του χρυσού. Παραμετροποιημένες εκτιμήσεις για το μοντέλο MLR διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας στατιστικά πακέτα με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) να υπολογίζεται για τη διασφάλιση της ακρίβειας των προβλέψεων. Τα δεδομένα της έρευνας είναι χρονοσειρές δεδομένων που καθορίζονται δύο φορές την ημέρα στο Λονδίνο. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν τέσσερα μοντέλα. Το πρώτο μελετά όλες τις πιθανές ανεξάρτητες μεταβλητές που είχαν αρχικά προσδιοριστεί και αποδείχτηκε ότι ήταν χρήσιμες για την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού. Το μοντέλο αυτό, φαίνεται να είναι χρήσιμο για την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού καθώς εξηγεί το 85,2% των διακυμάνσεων της τιμής του χρυσού μηνιαίως. Κατά το δεύτερο μοντέλο, το βήμα της παλινδρόμησης περιόρισε τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών σε τέσσερις με αποτέλεσμα να εξηγεί το 84.5% των διακυμάνσεων της τιμής του χρυσού μηνιαίως ενώ με το τρίτο μοντέλο το 70.8% αυτών. Τέλος, το τέταρτο μοντέλο περιελάμβανε τρεις μόλις ανεξάρτητες μεταβλητές και αποδείχτηκε ότι είναι το πλέον κατάλληλο και για το λόγο αυτό επιλέχθηκε και ως το τελικό μοντέλο. Από την άποψη της

πρόβλεψης, το τελευταίο επιτυγχάνει υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας στην πρόβλεψη. Το ποσό της διακύμανσης είναι περίπου 70% μηνιαίως. Οι συντελεστές παλινδρόμησης, επίσης, αποτελούν ένα μέσο για την αξιολόγηση της σχετικής σημασίας των επιμέρους (individual) μεταβλητών στη συνολική πρόβλεψη.

Οι τιμές του χρυσού είναι η ενιαία εξαρτημένη μεταβλητή σε αυτό το μοντέλο. Αρχικά έγινε εντοπισμός των οικονομικών παραγόντων που επηρεάζουν τις τιμές αυτές όπως προσδιορίστηκαν από εικασίες των εμπειρογνομόνων. Αυτοί οι παράγοντες χρησιμοποιήθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου MLR. Βάση των διαγραμμάτων διασποράς που προέκυψαν φαίνεται ότι υπάρχει αντιστοιχία-συσχέτιση μεταξύ των τιμών του χρυσού και κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής. Μάλιστα, ο πίνακας συσχέτισης δείχνει περαιτέρω εσωτερική συσχέτιση μεταξύ των δυνητικά ανεξάρτητων μεταβλητών και αυτό μαρτυρά την παρουσία πολλαπλής γραμμικότητας.

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου MLR, ωστόσο, προέκυψαν δυο προβλήματα, των συσχετιζόμενων σφαλμάτων καθώς τα δεδομένα που μελετήθηκαν είναι χρονοσειρές και της πολυσυγγραμμικότητας μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Για την επίλυση του δεύτερου, χρησιμοποιήθηκε η βηματική (σταδιακή) παλινδρόμηση ώστε να καταργηθεί η συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Οι βηματικές διαδικασίες αντιμετώπισαν με επιτυχία το πρόβλημα της πολυσυγγραμμικότητας μειώνοντας τον συνολικό αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών από οκτώ αρχικά σε τρεις. Η διαδικασία Prais-Winsten χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς για την εκτίμηση της παλινδρόμησης των στοιχείων και για την αντιμετώπιση του πρώτου προβλήματος. Έτσι, κατέληξαν στο ότι οι διαδικασίες αυτές είναι χρήσιμες για την εξάλειψη των συσχετιζόμενων σφαλμάτων. Συμπερασματικά, λοιπόν, το μοντέλο πρόβλεψης MLR που παρουσιάστηκε έδειξε ότι για την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού κατά μέσο όρο του επόμενου μήνα πρέπει να εξετάζονται τρεις βασικοί οικονομικοί δείκτες των Η.Π.Α (EUROUSD exchange rate, inflation rate, money supply in US).

➤ **Πρόβλεψη Των Τιμών Χρυσού Στην Ταϊλάνδη (Forecasting Thai Gold Prices).**

Η παρούσα έρευνα [2.8] εξετάζει την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού στην Ταϊλάνδη. Για την υλοποίηση της πρόβλεψης αυτής χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα πρόβλεψης, η Πολλαπλή Παλινδρόμηση (Multiple-Regression) και το μοντέλο ARIMA(1,1,1).

Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι το μοντέλο Box-Jenkins'ARIMA είναι το πιο ακριβές μοντέλο πρόβλεψης και κυριαρχεί των άλλων. Η ιδέα ότι το Box-Jenkins ' ARIMA μοντέλο έχει υψηλή προβλεψιμότητα στον προσδιορισμό της τιμής του χρυσού έχει γίνει αποδεκτή από πολλές χώρες συμπεριλαμβανομένης της Ταϊλάνδης. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ευρέως για να προβλέψει το μελλοντικό αποτέλεσμα για οικονομικούς και χρηματοδοτικούς σκοπούς αλλά στο γεωργικό τομέα χρησιμοποιείται επίσης για την πρόβλεψη της παραγωγικότητας των γαριδών σε παγκόσμια κλίμακα. Το μοντέλο ARIMA χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη δεδομένων, δεν χρησιμοποιεί ανεξάρτητες μεταβλητές και η πρόβλεψη προκύπτει από ιστορικά στοιχεία ενώ δεν παρέχει κανένα θεωρητικό υπόβαθρο. Πριν από τη χρήση των δεδομένων για την εφαρμογή του ARIMA μοντέλου, τα στοιχεία απαιτείται να ελεγχθούν ως προς τη σταθερότητα-στασιμότητα τους. Αυτό σημαίνει ότι αν π.χ οι τιμές του χρυσού Ταϊλάνδης είναι σταθερές, δεν επηρεάζονται από άλλους παράγοντες όπως η εποχικότητα, οι τάσεις κτλ. Το μειονέκτημα του είναι ότι το ακριβές αποτέλεσμα φαίνεται μόνο στον βραχυπρόθεσμο ορίζοντα.

Το μοντέλο Πολλαπλής Παλινδρόμησης (Multiple Regression) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθούν οι οικονομικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη τιμή του χρυσού Ταϊλάνδης. Οι παράγοντες αυτοί είναι η Παγκόσμια Τιμή του Χρυσού, η Συναλλαγματική Ισοτιμία Της Ταϊλάνδης και των ΗΠΑ, ο Δείκτη Τιμών Καταναλωτή και η Τρομοκρατία στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η μέθοδος ξεκινά με τη δημιουργία ανεξάρτητων μεταβλητών για δοκιμή. Πολλοί έλεγχοι πραγματοποιούνται για τον εντοπισμό τυχόν στατιστικών προβλημάτων. Στη συνέχεια, κάποιες μεταβλητές μπορεί να διαγραφούν από το μοντέλο εξαιτίας της έλλειψης σημαντικότητας τους ώστε τελικά το μοντέλο να ολοκληρωθεί και να είναι έτοιμο για πρόβλεψη.

Η έρευνα εστιάζει σε τρία γενικά στατιστικά προβλήματα, Αυτοσυσχέτιση, Πολυσυγγραμμικότητα και Ετεροσκεδαστικότητα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το μοντέλο ARIMA (1, 1, 1) είναι το πλέον κατάλληλο για την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Η άλλη μέθοδος, η Πολλαπλή Παλινδρόμηση, έδειξε ότι το δολάριο Αυστραλίας, το Ιαπωνικό Γιεν, το δολάριο των Η.ΠΑ και του Καναδά, η τιμή του πετρελαίου και η μελλοντική τιμή χρυσού έχουν επίπτωση στην αλλαγή της τιμής του χρυσού της Ταϊλάνδης. Μια πιο προσεκτική εξέταση έδειξε ότι, ταυτόχρονα, η χρήση των δυο αυτών μοντέλων για την παρακολούθηση της μελλοντικής κίνησης της τιμής του χρυσού της Ταϊλάνδης σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα αυξάνει την ακρίβεια πρόβλεψης. Επιπλέον, η έρευνα αυτή ισχυρίστηκε και απέδειξε ότι μόνο το απλό ARIMA μοντέλο έχει πολύ χαμηλό κόστος και είναι αποτελεσματικό ώστε να προβλέπει την τιμή του χρυσού.

➤ **A Note on the Accuracy of Business Economists Gold Price Forecasts**

Ο Selvanathan (1991), στα πλαίσια μιας έρευνας [2.12] που έκανε προσπάθησε να εκτιμήσει την ακρίβεια των προβλέψεων του Οικονομικού Κέντρου Έρευνας του πανεπιστημίου της Δυτικής Αυστραλίας για την μελλοντική τιμή του χρυσού. Το Οικονομικό αυτό Κέντρο Έρευνας (ERC) πραγματοποιούσε προβλέψεις της τιμής του χρυσού του Λονδίνου για την επόμενη βδομάδα ή μήνα βασιζόμενες στις εκτιμήσεις 13 ατόμων εξειδικευμένων στο κίτρινο μέταλλο. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα καθημερινά δεδομένα της τιμής του χρυσού εκφρασμένα σε δολάριο Αυσταλίας (A\$) από 3 Αυγούστου 1987 ως 20 Ιουλίου 1988. Εφαρμόζοντας το Box-Jenkins μοντέλο αποδείχθηκε ότι η σειρά των πραγματικών τιμών του χρυσού ακολουθεί ένα απλό τυχαίο βήμα (Simple Random Walk) και ότι οι προβλέψεις που προκύπτουν από αυτό το μοντέλο είναι πιο αξιόπιστες από αυτές του Οικονομικού Κέντρου Έρευνας (Economic Research Center). Το συμπέρασμα της έρευνας ήταν ότι η προσδοκώμενη αυριανή τιμή του χρυσού με βάση το μοντέλο SWR θα μπορούσε να είναι η ίδια με τη σημερινή τιμή. Μάλιστα το SWR μοντέλο έδωσε 67% μικρότερο σφάλμα πρόβλεψης από ότι το ERC. Τέλος, το SWR μοντέλο έχει επιπλέον το πλεονέκτημα ότι πρόκειται για ένα φτηνό τρόπο πρόβλεψης.

➤ **Ποσοτικό Εμπόριο Χρυσού Και Αργύρου Με Χρήση Μη Γραμμικών Μοντέλων (Quantitative trading of gold and silver using nonlinear models)**

Ο κύριος στόχος της παρούσας έρευνας [2.13] είναι να προβλέψει τις καθημερινές αποδόσεις του χρυσού και του αργύρου με προηγμένη ανάλυση αναγωγής, χρησιμοποιώντας διάφορα γραμμικά και μη γραμμικά μοντέλα. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται οι αποδόσεις γραμμικών και μη γραμμικών μοντέλων ώστε να βρεθεί ποιο ποσοτικό μοντέλο προβλέπει καλύτερα τις αποδόσεις αυτών των μετάλλων.

Τα μοντέλα ARMA χρησιμοποιούνται ως γραμμικά σημεία αναφοράς για σύγκριση με μη γραμμικά μοντέλα, όπως τα Nearest Neighbours (Πλησιέστεροι Γείτονες), MultiLayer Perceptron (MLP) και Higher Order Neural Networks (HONN) (Κανόνας Νευρωνικών Δικτύων) και αξιολογούνται με τη χρήση στατιστικών και οικονομικών κριτηρίων. Ο κύριος στόχος είναι να βρεθεί ποιο από αυτά τα μοντέλα δίνει τις καλύτερες αποδόσεις και αν τα μη γραμμικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των αποδόσεων στην αγορά πολύτιμων μετάλλων.

Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει μη γραμμικές τεχνικές σε σύγκριση με την παραδοσιακή γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης και κατέληξαν ότι τα πολύτιμα μέταλλα είναι μη γραμμικά. Οι Frank και Stengos (1989) χρησιμοποίησαν στοιχεία του χρυσού και ασημιού από το 1970 και 1980 και βρήκαν ότι υπάρχει μη γραμμικότητα στους συντελεστές απόδοσης των δύο αυτών μετάλλων [2.14]. Επιπλέον, ο Stengos (1996) πραγματοποίησε μια διεξοδική μελέτη πρόβλεψης της τιμής του χρυσού από καθημερινά στοιχεία από τον Ιανουάριο του 1975 έως τον Απρίλιο του 1993, χρησιμοποιώντας μη παραμετρικές μεθόδους πρόβλεψης και τις συνέκρινε με τα ARMA μοντέλα. Διαπίστωσε ότι οι μη παραμετρικές μέθοδοι λειτουργούν καλύτερα αν και το συνολικό αποτέλεσμα πρόβλεψης δεν είναι πολύ καλό. [2.15]

Ως πρότυπο αναφοράς στα πλαίσια αυτής της έρευνας χρησιμοποιήθηκε το **ARMA** μοντέλο που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν οι πληροφορίες περιορίζονται σε μία μόνο σταθερή σειρά ή όταν δεν υπάρχει σχετική οικονομική θεωρία. Το **ARMA** μοντέλο είναι ένα μοντέλο μονομεταβλητής χρονικής σειράς που συνδυάζει μια μέση κινούμενη διαδικασία με μια γραμμική εξίσωση διαφοράς. Χρησιμοποιεί μια

επαναληπτική προσέγγιση για τον εντοπισμό ενός πιθανού μοντέλου από μια γενική κατηγορία μοντέλων. Μερικές φορές, είναι δυνατόν δύο ή περισσότερα μοντέλα να μπορούν να προσεγγίσουν τη σειρά εξίσου καλά, στην περίπτωση αυτή το πιο φειδωλό μοντέλο θα πρέπει να επικρατήσει. Το μοντέλο αυτό (**ARMA**) συγκρίθηκε με το μη γραμμικό μοντέλο των Πλησιέστερων Γειτόνων (Nearest Neighbours Model). Πρόκειται για μια μη γραμμική και μη παραμετρική μέθοδο πρόβλεψης που βασίζεται στην ιδέα ότι τα κομμάτια της χρονικής σειράς στο παρελθόν έχουν μορφή που θα μπορούσε να έχει ομοιότητα με αυτής στο μέλλον. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί μια απόσταση που ονομάζεται Ευκλείδεια απόσταση και εφαρμόζεται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς στο άμεσο μέλλον. Η κύρια πτυχή του αλγορίθμου είναι λοιπόν η Ευκλείδεια απόσταση, που μπορεί να θεωρηθεί ως η απόσταση ανάμεσα στη πραγματική μορφή (patterns) και στους επιλεγμένους γείτονες. Ο χρήστης ορίζει παραμέτρους όπως ο αριθμός των γειτόνων K , το μήκος από το πλησιέστερο γείτονα- πρότυπο m και τη στάθμιση των τελικών τιμών σε έναν α γείτονα. Όταν το α είναι μεγαλύτερο του 1, μια μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στην ομοιότητα μεταξύ των πιο πρόσφατων παρατηρήσεων. Η Ευκλείδεια απόσταση μπορεί να ερμηνευθεί ως η προσαρμογή μιας ιστορικής μορφής στη πραγματική μορφή.

Το άλλο μοντέλο σύγκρισης ήταν το Multilayer Perceptron Model (MLP). Αυτό αποτελείται από τρία επίπεδα με μια συλλογή των κόμβων εισόδου γνωστή ως επίπεδο εισόδου, το επίπεδο εξόδου και το κρυφό επίπεδο. Το επίπεδο των εισροών και των εκροών χωρίζεται από ένα κρυφό επίπεδο που αποτελείται από έναν ή περισσότερους κρυφούς κόμβους. Οι κόμβοι σε γειτονικά επίπεδα είναι πλήρως συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Ο αριθμός των κόμβων του κρυφού επιπέδου καθορίζει το ποσό της πολυπλοκότητας που το μοντέλο μπορεί να χειριστεί. Κάθε νευρώνας στο επίπεδο εισόδου λαμβάνει τα δεδομένα, τα πολλαπλασιάζει με μια δύναμη που λέγεται «βάρος» και τα στέλνει σε έναν νευρώνα στο επόμενο επίπεδο. Το επίπεδο εισόδου μεταφέρει ένα σταθμισμένο άθροισμα των εισροών του σε ένα κρυφό επίπεδο. Το κρυφό επίπεδο περνά τις πληροφορίες μέσω μιας μη γραμμικής συνάρτησης ενεργοποίησης και τις μεταφέρει τελικά στο επίπεδο εξόδου, εάν η υπολογισθείσα τιμή είναι πάνω από ένα όριο. Η σχέση μεταξύ κάθε νευρώνα και άλλων νευρώνων στο επόμενο επίπεδο ακολουθεί μια «feed-forward» διαδικασία.

Τέλος, εξετάστηκε το Higher Order Neural Network Model (HONN) το οποίο ενώ έχει ήδη βιώσει κάποια επιτυχία στον τομέα της αναγνώρισης προτύπων η χρήση του στα οικονομικά είναι μέχρι σήμερα περιορισμένη. Το HONN χρησιμοποιεί κοινές λειτουργίες ενεργοποίησης μειώνοντας έτσι την ανάγκη καθορισμού των σχέσεων μεταξύ των εισροών κατά την εκπαίδευση. Επιπλέον, μειώνει τον αριθμό των ελεύθερων βαρών και άρα εκπαιδεύει ταχύτερα από το MLP μοντέλο. Το HONN στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί τη σιγμοειδή συνάρτηση μεταφοράς ώστε να είναι σε θέση να επιστήσει άμεσες συγκρίσεις μεταξύ των αρχιτεκτονικών των μοντέλων.

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα της έρευνας, με βάση τα δεδομένα των τιμών των εξεταζόμενων μετάλλων (Ιανουάριος του 2000 έως τον Μάιο του 2006) τα μη γραμμικά μοντέλα όπως το MLP and το HONN ξεπέρασαν σε απόδοση τα γραμμικά ARMA μοντέλα. Μάλιστα, το MLP μοντέλο ήταν οριακά καλύτερο από όλα. Οι επιδόσεις αυτών των μοντέλων, λοιπόν, έδειξαν την παρουσία μη γραμμικότητας στις τιμές των μετάλλων καθώς διαπιστώθηκε ότι τα μη γραμμικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για να παράγουν επιπλέον προβλέψεις στις αγορές του χρυσού και του αργύρου. Τέλος, επιβεβαιώθηκε η χρήση των NNR (Nearest Neighbours Model) μοντέλων σαν μια εναλλακτική για την παραδοσιακή πρόβλεψη της τιμής του χρυσού και του ασημιού.

➤ **Εμπορικό Προϊόν Με Χρήση Νευρωνικών Δικτύων : Μοντέλα Για Την Αγορά Χρυσού (Commodity Trading Using Neural Networks: Models for the Gold Market)**

Οι E. Brauner, J. Dayhoff και X.Sun (1997) [2.16] παρουσίασαν ένα μοντέλο εμπορίου που μετρά το κέρδος-απόδοση βασισμένο σε προβλέψεις της τιμής του χρυσού της επόμενης μέρας. Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο για να ελέξουν την απόδοση, εκτίμησαν μια σειρά από διαφορετικές τεχνικές πρόβλεψης χρονοσειρών. Εξαιτίας της μοναδικής τους ικανότητας να προσεγγίζουν τυχαίες μη-γραμμικές συναρτήσεις και της ικανότητας τους να μιμούνται τα κλασικά αναδρομικά μοντέλα,

οι τεχνικές των νευρωνικών δικτύων ήταν αυτές που τελικά αναπτύχθηκαν στην έρευνα αυτή.

Ο χρυσός ήταν το εμπόρευμα που επιλέχθηκε για τον έλεγχο των μοντέλων πρόβλεψης που παρουσιάστηκαν στα πλαίσια της έρευνας αυτής καθώς έχει μεγάλο εμπορικό ενδιαφέρον και αποτελεί το κλειδί σε πολλές οικονομικές αγορές. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των τιμών του χρυσού από επτά έτη, από το 1988 ως το 1994.

Στα πλαίσια της έρευνας αυτής, παρουσιάστηκαν τροποποιήσεις της standard back-propagation μεθόδου εκπαίδευσης καθώς και μια νέα μέθοδο για την εκπαίδευση δεδομένων σε μορφή χρονοσειρών. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τον προσδιορισμό των καλύτερων δυνατών συναρτήσεων σφάλματος που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην εκπαίδευση καθώς και στον καθορισμό της ποσότητας των δεδομένων του παρελθόντος που θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του δικτύου. Μάλιστα, όταν αυτές οι μέθοδοι συγκρίθηκαν με τις κλασικές στατιστικές μεθόδους παρατηρήθηκε μια σημαντική βελτίωση στην πρόβλεψη σε σχέση με το παρόμοιο μοντέλο αναδρομής. Το καλύτερο νευρωνικό δίκτυο που ελέγχθηκε από το μοντέλο που πρότειναν, έδινε μέσες ετήσιες εισπράξεις 20% πάνω από το κέρδος της αγοράς για μια περίοδο επτά ετών.

Μια δυσκολία κατά την πρόβλεψη της αυριανής τιμής με δεδομένα του παρελθόντος, είναι ότι οι αλλαγές στην τιμή τείνουν να είναι μόνο ένα μέρος του ποσοστού της τιμής του χρυσού. Έτσι, όταν υπολογίζεται η τελική τιμή ενός εμπορεύματος, όπως είναι ο χρυσός, οι καθημερινές διακυμάνσεις 'χάνονται'. Σε αντίθεση, εάν το ποσοστό της αλλαγής σε καθημερινή βάση κινείται σε τροχιά, τα δεδομένα αποκτούν αξία και ένα νευρωνικό δίκτυο ή στατιστικό εργαλείο μπορεί να κάνει καλύτερη δουλειά κατά την πρόβλεψη των αλλαγών αυτών από ότι κατά την πρόβλεψη της τελικής τιμής. Γι' αυτούς τους λόγους, ήταν η ποσοστιαία αλλαγή στην τιμή που χρησιμοποίησαν ως στόχο πρόβλεψης για την εκτίμηση του προτεινόμενου μοντέλου.

Κατά την κατασκευή και εκτίμηση του νευρωνικού δικτύου διαχώρισαν τα δεδομένα τους σε τρεις ομάδες (sets), την ομάδα εκπαίδευσης, την ομάδα επικύρωσης και την

ομάδα πρόβλεψης. Για την εκτίμηση της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου επέλεξαν ένα μοντέλο εμπορίου (trading model) παρά μια στατιστική μέτρηση όπως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Η ιδέα του μοντέλου αυτού βασιζόταν στην προσομοίωση των καθημερινών εμπορικών πρακτικών μιας μεγάλης εμπορικής φίρμας που αλλάζει τη θέση της σε καθημερινή βάση. Η υπόθεση του μοντέλου είναι ότι κατά το κλείσιμο μιας εμπορικής μέρας υπάρχει μια πρόβλεψη για το τι πρόκειται να κάνει η αγορά αύριο. Έτσι, αν έχει προβλεφθεί ότι η αγορά αύριο θα σημειώσει άνοδο, επιλέγεις να αγοράσεις το εμπόρευμα διαφορετικά να το πουλήσεις.

Το νευρωνικό δίκτυο, λοιπόν, που επέλεξαν ήταν τριών επιπέδων, πλήρως αλληλοσυνδεδεμένο, με ένα επίπεδο εισόδου, ένα κρυφό επίπεδο που αποτελούνταν από τρεις κόμβους και έναν κόμβο εξόδου που παρείχε την πρόβλεψη της ποσοστιαίας αλλαγής στην τιμή του χρυσού. Οι κόμβοι του επιπέδου εισόδου δεν χρησιμοποιούσαν συνάρτηση μετατροπής ενώ οι κόμβοι του κρυφού επιπέδου και του επιπέδου εξόδου χρησιμοποιούσαν τη σιγμοειδή συνάρτηση μετατροπής. Από τα δυο είδη συναρτήσεων σφάλματος που εφαρμόστηκαν, το τετραγωνικό σφάλμα και το απόλυτο σφάλμα, το τελευταίο ήταν σαφώς καλύτερο για την εκπαίδευση του δικτύου. Σαν βάση για σύγκριση, το πείραμα αναπαράχθηκε και με τη χρήση μιας κλασικής γραμμικής αναδρομής για την κατασκευή του μοντέλου. Η μόνη διαφορά ήταν ότι σε αυτήν την περίπτωση δεν απαιτούνταν δεδομένα επικύρωσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν τελικά ότι τα νευρωνικά δίκτυα πρόβλεψης είναι ικανά να παράγουν εκτιμήσεις πολύ καλύτερες από ότι τα κλασικά μοντέλα αναδρομής.

➤ **Πρόβλεψη Της Τρέχουσας Τιμής Χρυσού: Συνδυασμός Μοντέλων Πρόβλεψης Και Ένα Σύνθετο Μοντέλο Πρόβλεψης. (Forecasting the spot price of gold: combined forecast approaches versus a composite forecast approach)**

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής [2.17], έγινε αρχικά συνδυασμός διαφορετικών προβλέψεων σε μια ενιαία πρόβλεψη και μελετήθηκαν τρεις διαφορετικοί μέθοδοι για την ανάθεση βαρών σε κάθε μία από τις προβλέψεις αυτές. Η πρώτη μέθοδος (EW), η παραδοσιακή μέθοδος ισότητας των βαρών (Equal Weight μέθοδος), είναι η απλούστερη μέθοδος συνδυασμού προβλέψεων. Απλά υπολογίζει το μέσο όρο των

προβλέψεων που συνδυάζονται και δεν απαιτεί πληροφορίες σχετικά με την ακρίβεια ή τον συσχετισμό μεταξύ των λαθών τους. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος αντιμετωπίζει τις προβλέψεις σαν να είναι ανταλλάξιμες η μια με την άλλη. Στην πραγματικότητα, η υπόθεση αυτή θα μπορούσε να είναι λογική όταν τα μοντέλα έχουν παρόμοιες διακυμάνσεις σφάλματος, αλλά γενικά δεν είναι. Η άλλη μέθοδος του πίνακα διακύμανσης - συνδιασποράς (Variance- Covariance μέθοδος) VC, υπερτερεί της προηγούμενης (EW) καθώς οδηγεί σε μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) κατά την πρόβλεψη. Η μέθοδος VC λαμβάνει υπόψιν το σφάλμα του κάθε μοντέλου πρόβλεψης ξεχωριστά και έχει ως στόχο να αντλήσει τα βάρη εκείνα που ελαχιστοποιούν τα λάθη πρόβλεψης από τον συνδυασμό των διάφορων μοντέλων. Ένα από τα σοβαρά προβλήματα της μεθόδου (CV) είναι ότι μόνο το «δείγμα» του πίνακα διακύμανση-συνδιασποράς χρησιμοποιείται και όχι ο «πραγματικός» πίνακας. Ως εκ τούτου, η εκτίμηση των βαρών μπορεί να είναι αρκετά ασταθής εκτός εάν είναι διαθέσιμα μεγάλα και σταθερά σύνολα δεδομένων. Τέλος, η μέθοδος του πίνακα πιθανοτήτων (Odds Matrix μέθοδος) OM, υπολογίζει το πραγματικό βάρος με την αντικατάσταση του πίνακα των σφαλμάτων διακύμανσης-συνδιασποράς με έναν πίνακα πιθανοτήτων τα στοιχεία του οποίου αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα το εκάστοτε στοιχείο που αντιστοιχεί σε μια πρόβλεψη να ξεπερνά, να έχει δηλαδή χαμηλότερο απόλυτο σφάλμα πρόβλεψης από μια άλλη πρόβλεψη. Μεταξύ των συνδυασμένων μοντέλων πρόβλεψης, φαίνεται ότι η μέθοδος του πίνακα πιθανοτήτων για την ανάθεση βαρών παρέχει τις πλέον πιο ακριβείς προβλέψεις για την τρέχουσα τιμή του χρυσού.

Επιπλέον, στην μελέτη αυτή εφαρμόστηκε το στοχαστικό πολυμεταβλητό μοντέλο με τις προβλέψεις που προκύπτουν από αυτό το μοντέλο να είναι οι λεγόμενες σύνθετες (composite) προβλέψεις που εμπεριέχουν και τις συνέπειες της αλληλεπίδρασης μεταξύ των οικονομικών παραγόντων. Συγκεκριμένα, λοιπόν, εξετάζονται και συγκρίνονται οι προβλέψεις που δημιουργούνται από τη μονομεταβλητή ανάλυση με τη χρήση του μοντέλου ARIMA, τη διμεταβλητή ανάλυση με τον συνδυασμό προβλέψεων και τη πολυπαραγοντική ανάλυση με τις σύνθετες προβλέψεις. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία στο Χονγκ Κονγκ μελετήθηκε η μηνιαία χρονοσειρά της τρέχουσας τιμής του χρυσού για την περίοδο 1979 - 1988. Η αρχική σειρά των δεδομένων έδειξε ότι ούτε η μέση τιμή ούτε η διακύμανση ήταν σταθερές. Έτσι με τη

χρήση του λογαρίθμου επιτεύχθηκε η στασιμότητα της σειράς δεδομένων. Αρχικά, εφαρμόστηκε το μονομεταβλητό μοντέλο ARIMA (2, 1, 0) από το οποίο προέκυψε ότι οι αλλαγές της τιμής του χρυσού εξαρτώνται από τις προηγούμενες αλλαγές των τιμών του στο παρελθόν. Έπειτα, προκειμένου να κατασκευαστεί ένας συνδυασμός προβλέψεων, πολλά διμεταβλητά μοντέλα κατασκευάστηκαν για να δείξουν τις επιπτώσεις των οικονομικών παραγόντων ατομικά πάνω στην τρέχουσα τιμή του χρυσού. Έτσι, προτάθηκαν τα εξής πέντε μοντέλα:

Μοντέλο Α: Η τρέχουσα τιμή του χρυσού και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης της τιμής του.

Αυτό το μοντέλο προτείνει ότι τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης της τιμής του χρυσού επηρεάζουν την τρέχουσα τιμή του χρυσού, υπάρχει μάλιστα μια θετική συσχέτιση μεταξύ αυτών.

Μοντέλο Β: Η τρέχουσα τιμή του χρυσού και ο πληθωρισμός των ΗΠΑ.

Παραδοσιακά, ο χρυσός θεωρείται ως μέσο εξασφάλισης έναντι του πληθωρισμού και προβάλεται ο ισχυρισμός ότι μια αλλαγή στο ποσοστό του πληθωρισμού θα πρέπει να συνοδεύεται από μια αλλαγή στην τιμή του χρυσού. Το μοντέλο, λοιπόν, προτείνει ότι το ποσοστό του πληθωρισμού επηρεάζει την τρέχουσα τιμή του χρυσού και μάλιστα μια μεταβολή αυτής συσχετίζεται θετικά με τη μεταβολή του ποσοστού του πληθωρισμού.

Μοντέλο Γ: Η τρέχουσα τιμή του χρυσού και το επιτόκιο των ΗΠΑ.

Το μοντέλο αυτό έδειξε ότι το πληρεξούσιο του επιτοκίου έχει αρνητικό αντίκτυπο στην τιμή του χρυσού.

Μοντέλο Δ: Η τρέχουσα τιμή του χρυσού και η συναλλαγματική ισοτιμία των ΗΠΑ.

Το μοντέλο προτείνει ότι η συναλλαγματική ισοτιμία των ΗΠΑ έχει αρνητική επίδραση στην τιμή του χρυσού.

Μοντέλο Ε: Η τρέχουσα τιμή του χρυσού και του αργύρου.

Το μοντέλο έδειξε ότι η τιμή του αργύρου έχει θετική επίδραση στην τιμή του χρυσού.

Η προβλεπόμενη σειρά μοντέλων Α-Ε που παρουσιάστηκαν παραπάνω συνδυάστηκαν για την κατασκευή ενός συνδυασμού προβλέψεων με βάση τις τρεις μεθόδους ανάθεσης βαρών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συνδυασμοί μοντέλων πρόβλεψης, σε γενικές γραμμές, έχουν υψηλότερες επιδόσεις (από την άποψη του MSE) από το μονομεταβλητό μοντέλο ARIMA και τα δισδιάστατα μοντέλα. Με τη σειρά του, το σύνθετο μοντέλο πρόβλεψης ξεπερνά σε απόδοση τους συνδυασμούς μοντέλων πρόβλεψης. Από τους οικονομικούς παράγοντες που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε ότι τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης της τιμής του χρυσού, ο πληθωρισμός, η συναλλαγματική ισοτιμία, το επιτόκιο και η τρέχουσα τιμή που έχει το ασήμι είναι όλα σημαντικά για την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού, ενώ η τρέχουσα τιμή του αργού πετρελαίου, η βιομηχανική παραγωγή, το ποσοστό ανεργίας, η προσφορά χρήματος, οι τιμές των ομολόγων και το εισόδημα είναι ασήμαντα. Από τους πέντε σημαντικούς παράγοντες, η τιμή του χρυσού των μελλοντικών συμβολαίων εκπλήρωσης και η συναλλαγματική ισοτιμία είναι πιο κατατοπιστικά και ως εκ τούτου περισσότερο χρήσιμα στην παροχή ακριβών προβλέψεων για την τρέχουσα τιμή του χρυσού. Οι άλλοι τρεις παράγοντες, αν και σημαντικοί, δεν είναι τόσο κατατοπιστικοί και καθοριστικοί..

➤ **Πρόβλεψη Της Τιμής Του Χρυσού: Μια Προσέγγιση Με Αυστηρή Τήρηση Αρχών (Forecasting the Price of Gold: A Fundamentalist Approach)**

Κατά τη μελέτη αυτήν [2.18], χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση της τήρησης όλων των αρχών (fundamentalist approach) για την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού. Η προσέγγιση αυτή που βασίζεται στην προσφορά (τροφοδοσία) και τη μη κερδοσκοπική ζήτηση είναι κατάλληλη για την ανάλυση των διακυμάνσεων της τιμής σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Χρησιμοποιήθηκε, λοιπόν, η παλινδρόμηση (regression analysis) προκειμένου να γίνει μια πρόβλεψη της τιμής του χρυσού και των

παραγόντων που την επηρεάζουν. Συγκεκριμένα, η ανάλυση της παλινδρόμησης εφαρμόστηκε σε 144 παρατηρήσεις που αφορούσαν την τιμή του χρυσού κατά την περίοδο 1973-84. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι αλλαγές στην τιμή του χρυσού μπορούν να εξηγηθούν από τις αλλαγές στις τιμές βασικών προϊόντων-εμπορευμάτων, στις τιμές των Η.Π.Α, στην αξία του δολαρίου και στο μελλοντικό ποσοστό του πληθωρισμού. Επιβεβαιώθηκε η σχεδόν διεθνώς επικρατούσα άποψη της έλλειψης σημαντικής αρνητικής σχέσης μεταξύ του επιτοκίου και της τιμής του χρυσού και ενισχύθηκε η άποψη της παρόμοιας συμπεριφοράς της τιμής του χρυσού με εκείνη άλλων εμπορευμάτων καθώς η τιμή του χρυσού είναι πιο σταθερή από κάποια εμπορεύματα αλλά ταυτόχρονα πιο ασταθής από άλλα. Τέλος, τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης στήριζαν τη θεωρητική ανάλυση που οδηγούσε στην πρόβλεψη ότι μακροπρόθεσμα η τιμή του χρυσού θα αυξηθεί σε πραγματικούς όρους. Αν συμβεί μια πτώση στην αξία του δολαρίου αποδείχτηκε ότι το ποσοστό αύξησης της τιμής του χρυσού θα είναι μεγαλύτερο από εκείνο πτώσης της αξίας του δολαρίου. Επιπλέον, έγινε σαφές ότι η τιμή του χρυσού αναμένεται να αυξηθεί εάν υπάρχει μια γενική αύξηση των τιμών των βασικών εμπορευμάτων ενώ εν απουσία σημαντικών αλλαγών στην αξία του δολαρίου ή στις τιμές των βασικών εμπορευμάτων δεν φαίνεται πιθανή μια δραματική αύξηση της τιμής του χρυσού στο άμεσο μέλλον.

➤ **Μια Ανασκόπηση Της Αγοράς Εργασίας Παγκοσμίως Και Η Πρόβλεψη Της Τιμής Του Χρυσού (An overview of global gold market and gold price forecasting).**

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης της τιμής [2.19]. Η γεωμετρική κίνηση Brownian και η αντιστροφή του μέσου είναι δυο κλασικές μέθοδοι που θέτουν τη βάση για κάποιες νεότερες μεθόδους, όπως η στοχαστική πρόβλεψη των τιμών και η μέση αντιστροφή της απότομης αλλαγής (άλματος) της διάδοσης (mean reverting jump diffusion models). Τα μοντέλα αυτά επικεντρώνονται στην ιστορική εξέλιξη των τιμών και σε ένα τυχαίο όρο για την εκτίμηση των μελλοντικών τιμών. Επίσης, δεν λαμβάνουν υπόψιν τα άλματα ή τις βουτιές που εμφανίζουν οι τιμές. Το μοντέλο όμως της μέσης αντιστροφής της απότομης αλλαγής

(άλματος) της διάδοσης (mean reverting jump diffusion models) επιδιώκει να εισάγει έναν αριθμό αλμάτων-βημάτων ανά περίοδο στο μοντέλο. Αυτός ο τύπος μοντέλου περιλαμβάνει ελαφρώς τροποποιημένες παραδοχές από τα κλασικά μοντέλα. Η συμβολή του προτεινόμενου αυτού μοντέλου είναι να προσθέσει μεταβλητές που αντιστοιχούν σε άλματα και βουτιές στη στατιστική κατανομή πιθανοτήτων των πραγματικών στοιχείων. Αυτές οι δυο μεταβλητές διαχωρίζουν τη μακράς διάρκειας τάση μεταξύ της ομαλής-συνηθισμένης περιόδου και της περιόδου όπου παρατηρούνται άλματα ή βουτιές. Το μοντέλο χρησιμοποιεί ένα σταθερό οικονομετρικό μοντέλο για την πρόβλεψη των τιμών του χρυσού. Η στατική στοχαστική διαδικασία υποδηλώνει ότι η μέση τιμή και η διακύμανση μιας μεταβλητής είναι σταθερές στη διάρκεια του χρόνου. Επιπλέον, η συνδιακύμανση δύο διαφορετικών περιόδων εξαρτάται από το διάστημα (gap) ή την υστέρηση (lag) μεταξύ των περιόδων αυτών και όχι από τον πραγματικό χρόνο κατά τον οποίο η συνδιακύμανση υπολογίζεται.

Στα πλαίσια αυτής της έρευνας [2.19], λοιπόν, ο S.Shafiee και E.Topal αρχικά προσπάθησαν να επαλήθευσουν την εγκυρότητα του μοντέλου αυτού. Συγκεκριμένα, έγινε εφαρμογή του μοντέλου αυτού για την πρόβλεψη της τιμής του χρυσού από τον Ιανουάριο του 1999 ως τον Δεκέμβριο του 2008 με βάση τα δεδομένα από τον Ιανουάριο του 1968 ως τον Δεκέμβριο του 1998. Κατά την εφαρμογή, υπολογίστηκαν οι τρεις συντελεστές της εξίσωσης του μοντέλου. Ο πρώτος συντελεστής αφορά τη μακράς διάρκειας τάση των χρονοσειρών, ο δεύτερος που είναι ο συντελεστής διάδοσης υπολογίζει την διακύμανση ή έκταση των τυχαίων μετακινήσεων-τάσεων και ο τρίτος την περίοδο άλματος / βουτιάς. Πράγματι, οι προβλέψεις που έκανε το μοντέλο για την τιμή του χρυσού ήταν πολύ κοντά στις πραγματικές τιμές που σημειώθηκαν. Το μοντέλο προέβλεψε ότι η τιμή του χρυσού στο μέλλον θα αυξηθεί κατά τον ίδιο τρόπο με την ιστορική τάση των τιμών του. Επίσης, η τιμή θα αυξάνεται ή θα μειώνεται μηνιαίως με βήμα 25% του πρώτου συντελεστή. Τέλος, προσδιορίστηκε ότι η τιμή του χρυσού κατά τον Οκτώβριο του 2008 είναι σε άλμα και αυτό θα διαρκέσει μέχρι τον Δεκέμβριο του 2014. Μετά από αυτό, η τιμή του θα οπισθοχωρήσει μέχρι το τέλος του 2018. Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error) και το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error) που έδωσε το προτεινόμενο μοντέλο συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από

την εφαρμογή του μοντέλου ARIMA. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η πρόβλεψη με βάση το μοντέλο αυτό ήταν πολύ βελτιωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη του ARIMA καθώς έδωσε μικρότερα σφάλματα (RMSE, MAE).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 Ορισμός Νευρωνικών Δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν έναν σχετικά νέο τομέα των φυσικών επιστημών καθώς έχουν αναπτυχθεί και γίνει γνωστά τις τελευταίες δεκαετίες. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι οι αρχές και λειτουργίες τους βασίζονται και εμπνέονται από το νευρικό σύστημα των ζώντων οργανισμών. Το νευρικό σύστημα είναι υπεύθυνο για μια πλειάδα από εργασίες, όπως είναι η επαφή με τον εξωτερικό κόσμο, η μάθηση και η μνήμη ενώ αποτελείται από πολλά νευρωνικά δίκτυα που εξειδικεύονται σε αυτές τις διεργασίες. Η κεντρική μονάδα του νευρωνικού συστήματος είναι ο εγκέφαλος, μια πηγή φυσικής εξυπνάδας και ένας πραγματικά αξιόλογος υπολογιστής. Ο εγκέφαλος αποτελείται από νευρωνικά δίκτυα και διαχειρίζεται ημιτελείς πληροφορίες που αντιλαμβάνεται σε απίστευτα γρήγορο ρυθμό. Κάθε νευρωνικό δίκτυο συνίσταται από έναν αριθμό μονάδων που λέγονται νευρώνες ή νευρώνια. Ο νευρώνας αποτελεί μια ανεξάρτητη μονάδα του δικτύου και ο ρόλος του είναι να επεξεργάζεται συνεχώς και ασταμάτητα πληροφορίες λαμβάνοντας και στέλλοντας σήματα σε άλλους νευρώνες. Τα νευρωνικά δίκτυα των ζώντων οργανισμών ονομάζονται βιολογικά νευρωνικά δίκτυα και οι διεργασίες που επιτελούν είναι συνάμα περίπλοκες αλλά και τόσο χρήσιμες στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Μερικές από αυτές είναι εργασίες ρουτίνας για τον ανθρώπινο εγκέφαλο, όπως η αναγνώριση μιας εικόνας ή μιας φωνής. Τέτοιες όμως εργασίες που το μυαλό πραγματοποιεί με μεγάλη ευκολία, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές δεν μπορούν να τις διατελέσουν παρότι είναι πολύ πιο γρήγοροι από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη διαφορετική δομή των υπολογιστών από αυτή του μυαλού. Έτσι τίθεται εύλογα το ερώτημα: είναι δυνατή η κατασκευή ενός υπολογιστή με δομή παρόμοια με αυτή του εγκεφάλου; Αυτό έχει οδηγήσει στο να γίνουν κάποιες σκέψεις μήπως είναι εφικτό να δημιουργηθούν κάποια μοντέλα του νευρωνικού συστήματος του ανθρώπου τα οποία θα περιέχουν όλα τα χαρακτηριστικά που είναι γνωστά μέχρι σήμερα και τα οποία θα μπορούσαν από

μόνα τους να επιτελέσουν εργασίες με τον ίδιο τρόπο που γίνονται στα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks, ANN).

Πολλοί ερευνητές, λοιπόν, εμνευσμένοι από τα βιολογικά νευρικά συστήματα έχουν εξερευνήσει τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, μια μη λογαριθμική προσέγγιση για τη διαχείριση πληροφοριών. Αυτά μοντελοποιούν τον εγκέφαλο σαν ένα μη γραμμικό δυναμικό σύστημα συνεχούς χρόνου με σκοπό να μιμηθούν τον μηχανισμό του εγκεφάλου.

Η αρχική έμπνευση για τον όρο τεχνητά νευρωνικά δίκτυα προήλθε από την εξέταση του κεντρικού νευρικού συστήματος, των νευρώνων, των δενδρίτων και συνάψεων που αποτελούν τα βασικά στοιχεία των βιολογικών νευρωνικών δικτύων. Σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο οι απλοί τεχνητοί κόμβοι που ονομάζονται 'νευρώνες' ή 'μονάδες' είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα δίκτυο κόμβων μιμούμενοι τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα, εξ' ου και ο όρος 'τεχνητά νευρωνικά δίκτυα'. Επειδή η νευροεπιστήμη εξακολουθεί να είναι γεμάτη ερωτήματα σχετικά με τον εγκέφαλο, δεν υπάρχει ενιαίος επίσημος ορισμός του τι είναι ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Οι περισσότεροι θα συμφωνούσαν ότι συνεπάγεται ένα δίκτυο απλών στοιχείων επεξεργασίας που μπορούν να επιδείξουν πολύπλοκη συμπεριφορά που καθορίζεται από τις συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων και των παραμέτρων τους. Επί του παρόντος, ο όρος Τεχνητά Νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) τείνει να αναφέρεται κυρίως σε μοντέλα νευρωνικών δικτύων που εφαρμόζονται στον τομέα της στατιστικής, της γνωστικής ψυχολογίας και της τεχνητής νοημοσύνης.

Η συνολική λειτουργικότητα ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου καθορίζεται από την τοπολογία του δικτύου, τα χαρακτηριστικά των νευρώνων, τη μέθοδο εκπαίδευσης και από τα δεδομένα με τα οποία γίνεται η εκπαίδευση. Συχνά ο υπολογισμός που εκτελεί κάθε νευρώνιο είναι απλός και κοινός για όλα τα νευρώνια. Επειδή οι νευρώνες λειτουργούν παράλληλα (ταυτόχρονα) και ο αριθμός τους μπορεί να είναι πολύ μεγάλος, έστω N , αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα παράλληλου μαζικού υπολογισμού.

Συνοψίζοντας, ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network) που συνήθως ονομάζεται ‘Νευρωνικό Δίκτυο’ (Neural Network), είναι ένα μαθηματικό ή υπολογιστικό μοντέλο που είναι εμπνευσμένο από τη δομή ή / και τις λειτουργικές όψεις των βιολογικών νευρωνικών δικτύων. Αποτελείται από μια διασυνδεδεμένη ομάδα τεχνητών νευρώνων και επεξεργάζεται πληροφορίες χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση για τον υπολογισμό. Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να ερμηνευθούν και ως προσαρμόσιμες μηχανές που μπορούν να αποθηκεύουν γνώση μέσω της διαδικασίας εκμάθησης.

3.2 Ιστορική Εξέλιξη Των Νευρωνικών Δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα είναι μια πρόσφατη σχετικά ανακάλυψη αν και προηγήθηκαν της εφεύρεσης των υπολογιστών. Η εξέλιξη τους, από την αρχική ιδέα του νευροφυσιολόγου Heb (1949) για τη δομή και τη συμπεριφορά ενός βιολογικού νευρωνικού δικτύου ως το πιο πρόσφατο μοντέλο τους, πέρασε πολλά στάδια.

Υπήρχαν αρχικά κάποιες προσομοιώσεις με βάση την τυπική λογική. Πρώτοι οι νευρολόγοι McCulloch και Pitts (1943) ανέπτυξαν μοντέλα νευρωνικών δικτύων βασισμένοι στην κοινή λογική. Τα μοντέλα αυτά έκαναν πολλές υποθέσεις σχετικά με το πως λειτουργούν τα νεύρα. Τα δίκτυα αυτών ήταν απλοί νευρώνες με καθορισμένα όρια ενώ τα αποτελέσματά τους υλοποιούσαν απλές λογικές πράξεις.

Η επόμενη μεγάλη ανάπτυξη πάνω στα νευρωνικά δίκτυα, ήρθε το 1949 με την έκδοση του βιβλίου του Heb με τίτλο “The Organization of Behavior” στο οποίο έγινε για πρώτη φορά αναφορά ενός κανόνα μάθησης για συνοπτικές τροποποιήσεις. Το 1954, προτάθηκε από τον Gabor η ιδέα των μη γραμμικών προσαρμοζόμενων φίλτρων. Η αναφορά των Rochester, Holland, Habit και Duda (1956) είναι ίσως η πρώτη προσπάθεια για χρήση υπολογιστή που χρησιμοποιεί την εξομοίωση για να ελεγχθεί μια καλά σχηματισμένη νευρωνική θεωρία βασισμένη στο αίτημα μάθησης

του Heb. Το πρώτο νευρωνικό δίκτυο αναπτύχθηκε το 1958 από τον Frank Rosenblatt και ονομαζόταν Perceptron. Λόγω της μικρής όμως επεξεργαστικής ισχύος που ήταν διαθέσιμη την εποχή εκείνη, το ενδιαφέρον για αυτό έμεινε μειωμένο μέχρι τη στιγμή που παρουσιάστηκε ο αλγόριθμος ανάστροφου σφάλματος στα μέσα της δεκαετίας του 1980.

Κατά τη δεκαετία του '60 υπήρχε η πεποίθηση ότι τα νευρωνικά δίκτυα μπορούσαν να κάνουν τα πάντα. Τότε όμως εκδόθηκε το βιβλίο των Minsky και Papert που με τη βοήθεια των μαθηματικών απέδειξε ότι υπάρχουν όρια πάνω στο τι μπορεί να υπολογιστεί από τα αισθητήρια. Κατά την δεκαετία του '70, εγκαταλείφτηκε το ενδιαφέρον για τα νευρωνικά δίκτυα. Το 1980 όμως έγιναν πολλές εργασίες πάνω στην θεωρία αλλά και στον σχεδιασμό των νευρωνικών δικτύων. Ο Grossberg (1980) ανέπτυξε μια καινούργια αρχή αυτοοργάνωσης που συνδυάζει φιλτράρισμα από 'κάτω προς τα πάνω' και αντίθετη αύξηση σε μικρή μνήμη με από 'πάνω προς τα κάτω' ταίριασμα προτύπων και σταθεροποίηση του κώδικα μάθησης. Έβαλε επίσης τη βάση για μια νέα κατηγορία νευρωνικών δικτύων γνωστά σαν adaptive resonance theory (ART). Το 1982 ο Hopfield, χρησιμοποίησε την ιδέα μια συνάρτησης ενέργειας για να φτιάξει ένα νέο τρόπο κατανόησης του υπολογισμού που γίνεται από τα δίκτυα με συμμετρικές συνοπτικές συνδέσεις. Η τάξη των νευρωνικών δικτύων με ανατροφοδότηση έτυχε ιδιαίτερης προσοχής κατά τη δεκαετία του '80 και με το χρόνο έγιναν γνωστά σαν δίκτυα Hopfield.

Το 1986 η ανάπτυξη του αλγορίθμου πίσω διάδοσης (back-propagation algorithm) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Rumelhart. Αυτός ο αλγόριθμος έγινε πολύ δημοφιλής και έδωσε νέα ώθηση στις εφαρμογές των νευρωνικών δικτύων. Το 1988 ο Linsker περιέγραψε μια νέα αρχή για την αυτοοργάνωση σε ένα δίκτυο αισθητηρίων (perceptrons). Η αρχή αυτή σχεδιάστηκε ώστε να διατηρεί μέγιστη πληροφορία σχετικά με τα πρότυπα ενεργειών που υπόκεινται σε περιορισμούς. Ο Linsker χρησιμοποίησε αφηρημένες έννοιες πάνω στη θεωρία πληροφοριών ώστε να σχηματίσει την αρχή της διατήρησης μέγιστης πληροφορίας. Επίσης, το 1988 οι Broomhead και Lowe περιέγραψαν μία διαδικασία για το σχεδιασμό "προς τα εμπρός τροφοδότησης" (feedforward) δικτύων χρησιμοποιώντας συναρτήσεις ακτινικής

βάσης (Radial Basis Functions - RBF), που είναι μια παραλλαγή των πολυεπίπεδων αισθητηρίων.

Ανακεφαλαιώνοντας, σημαντική πρόοδος έχει σημειωθεί στον τομέα των νευρωνικών δικτύων, αρκετή για να προσελκύσει περαιτέρω ενδιαφέρον και χρηματοδότηση. Ξεκάθαρα, η σημερινή εποχή είναι η περίοδος μετάβασης στην τεχνολογία των νευρωνικών δικτύων.

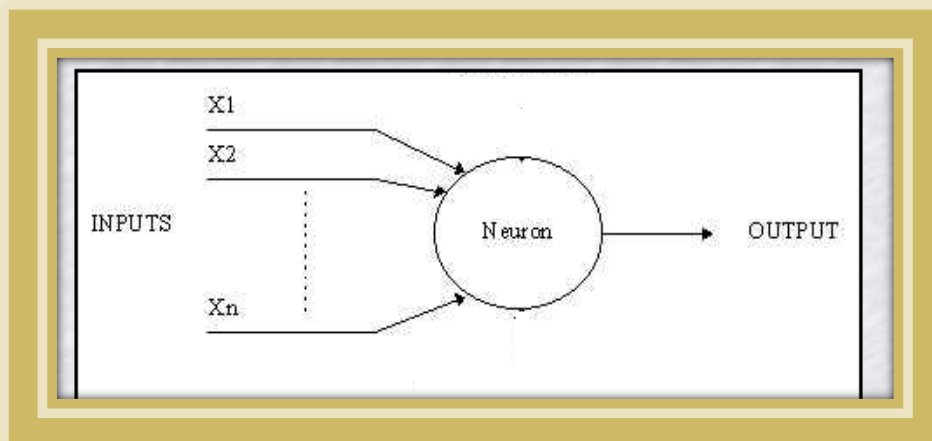
3.3 Δομές Νευρωνικών Δικτύων

Ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από ένα αριθμό στοιχείων, τους νευρώνες. Οι νευρώνες είναι τα δομικά στοιχεία του δικτύου και διακρίνονται στους:

- νευρώνες εισόδου,
- υπολογιστικούς νευρώνες.

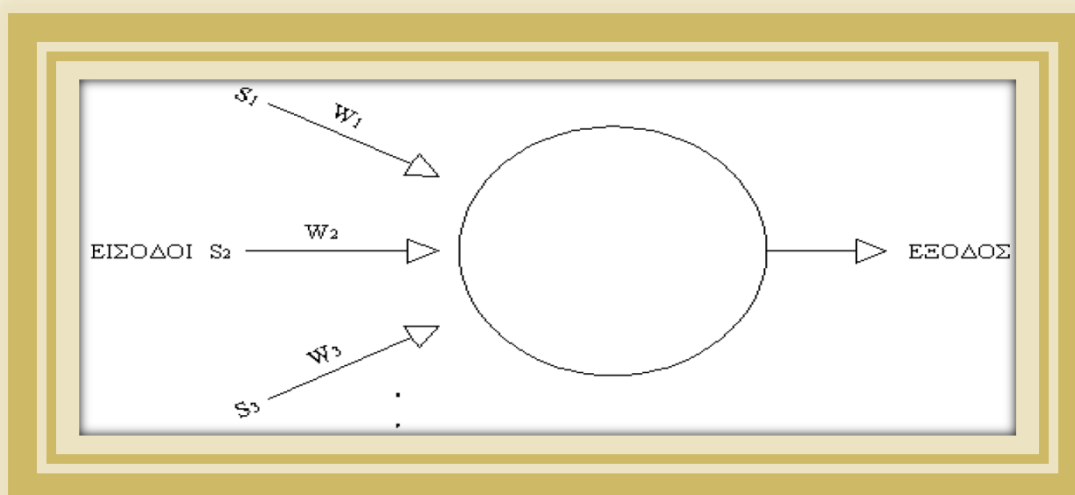
Η πρώτη κατηγορία νευρώνων, οι νευρώνες εισόδου, δεν πραγματοποιούν κανενός είδους υπολογισμό απλά μεσολαβούν ανάμεσα στις εισόδους του δικτύου και τους υπολογιστικούς νευρώνες. Από την άλλη, οι υπολογιστικοί νευρώνες, υπολογίζουν το άθροισμα του γινομένου που προκύπτει κατά τον πολλαπλασιασμό των εισόδων με τα αντίστοιχα συναπτικά βάρη. Το άθροισμα αυτό είναι το όρισμα της συνάρτησης μεταφοράς.

Σε κάθε νευρώνα λοιπόν καταφθάνει ένας αριθμός σημάτων τα οποία έρχονται σαν είσοδος σε αυτόν ενώ διαθέτει και μία μόνο έξοδο η οποία είναι συνάρτηση των σημάτων εισόδου (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Το νευρωνικό δίκτυο.

Κάθε σήμα που μεταδίδεται από ένα νευρώνα σε έναν άλλο μέσα στο νευρωνικό δίκτυο συνδέεται με την τιμή βάρους 'w' η οποία υποδηλώνει πόσο στενά είναι συνδεδεμένοι οι δύο νευρώνες που συνδέονται με το βάρος αυτό. Ουσιαστικά, το βάρος φανερώνει πόσο σημαντική είναι η συνεισφορά του συγκεκριμένου σήματος στη διαμόρφωση της δομής του δικτύου για τους δύο νευρώνες τους οποίους συνδέει. Θετική τιμή ενός βάρους αναπαριστά διέγερση της εισόδου ενώ αντίθετα μια αρνητική τιμή αναπαριστά αποδιέγερση της εισόδου. Συνεπώς, η απόλυτη τιμή του βάρους καθορίζει την ισχύ της σύνδεσης. Έτσι, όταν το w είναι μεγάλο (μικρό), τότε η συνεισφορά του σήματος είναι μεγάλη (μικρή). (Σχήμα 2)

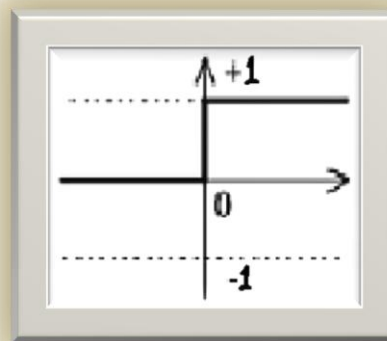


Σχήμα 2: Ένας νευρώνας (κύκλος) με πολλές εισόδους ($S_1, S_2, S_3, \dots$), αντίστοιχα βάρη ($W_1, W_2, W_3, \dots$) και μια έξοδο.

Η διαδικασία μετάδοσης του σήματος από νευρώνα σε νευρώνα γίνεται με τον εξής τρόπο: όλα τα σήματα που φθάνουν σε έναν νευρώνα αθροίζονται, υπόκεινται σε μία διαδικασία και τελικά παράγεται ως αποτέλεσμα της διαδικασίας μία έξοδος που είναι και το σήμα το οποίο μεταδίδεται περαιτέρω στους επόμενους νευρώνες. Ο τρόπος αυτός αποτελεί το γενικό κανόνα, όμως υπάρχουν ειδικότερα δύο διαδικασίες μετάδοσης.

Η πρώτη είναι δυαδική. Στην περίπτωση αυτή, ένας νευρώνας μπορεί να βρεθεί σε μία από δύο δυνατές καταστάσεις να είναι δηλαδή ενεργός ή αδρανής. Όταν ένας νευρώνας δέχεται διάφορα σήματα τότε υπολογίζει μία ποσότητα x από όλα τα δεδομένα που έχει και συγκρίνει την τιμή της ποσότητας αυτής με μία τιμή κατωφλίου θ , η οποία είναι χαρακτηριστική και προκαθορισμένη για τον νευρώνα αυτόν. Αν η τιμή της ποσότητας αυτής είναι μεγαλύτερη από την τιμή κατωφλίου θ , ο νευρώνας ενεργοποιείται. Αν είναι μικρότερη, ο νευρώνας παραμένει αδρανής δηλαδή δεν μεταδίδει κανένα σήμα περαιτέρω στο δίκτυο. Επειδή ο νευρώνας εδώ δρα ως δυαδικό στοιχείο, η έξοδος $f(x)$ (Σχήμα 3) θα είναι 1 όταν είναι ενεργοποιημένος και 0 όταν είναι αδρανής.

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x > \theta \\ 0, & x < \theta \end{cases}$$



Σχήμα 3: Συνάρτηση εξόδου και γραφική παράσταση κατωφλίου.

Στην δεύτερη διαδικασία μετάδοσης, δεν υπάρχει χαρακτηριστική τιμή κατωφλίου με την οποία γίνεται η σύγκριση της συνάρτησης $f(x)$. Η συγκεκριμένη συνάρτηση έχει μια ειδική μορφή. Χρησιμοποιούμε όλες τις τιμές των εισόδων και τις τιμές των βαρών w και υπολογίζουμε αριθμητικά την $f(x)$. Η γενική ονομασία της συνάρτησης $f(x)$ είναι **συνάρτηση μεταφοράς** (transfer function) ή **συνάρτηση ενεργοποίησης**

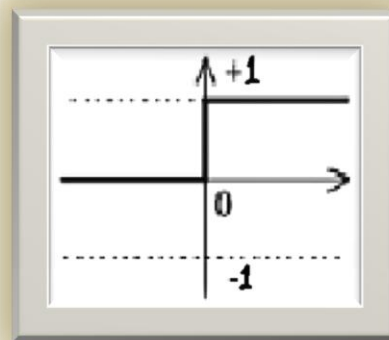
(activation function). Το κοινό χαρακτηριστικό που έχουν αυτές οι συναρτήσεις είναι ότι πρέπει να είναι πάντοτε μη γραμμικές. Δεν αρκούν γραμμικές συναρτήσεις γιατί τότε η έξοδος θα ήταν ευθέως ανάλογη με την είσοδο κάτι που δεν μπορεί να συμβεί στα νευρωνικά δίκτυα.

Η συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να έχει διάφορες μορφές. Αυτές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι εξής:

- **Βηματική (step transfer function)**

Η βηματική συνάρτηση ή συνάρτηση κατωφλίου δίνει στην έξοδο αποτέλεσμα (συνήθως 1) μόνο αν η τιμή που υπολογίζει ο αθροιστής (προσθέτει τα επηρεασμένα από τα βάρη σήματα εισόδου) είναι μεγαλύτερη από μια τιμή κατωφλίου θ .

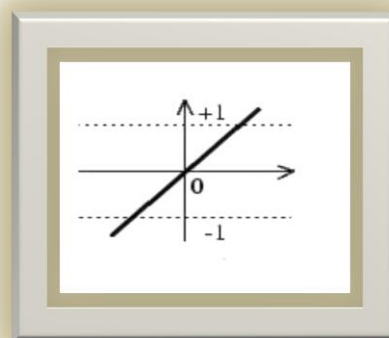
$$\phi(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$



- **Γραμμική (linear transfer function)**

Η έξοδος σε αυτήν την περίπτωση είναι ανάλογη της εισόδου.

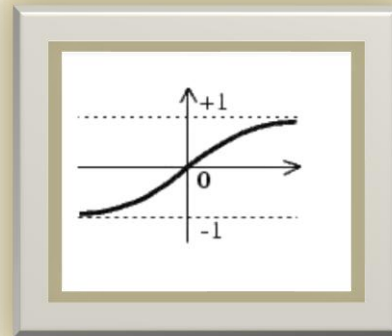
- $$\phi(x) = x$$



- **Στοχαστική (stochastic transfer function)**
- **Μη γραμμική (non-linear transfer function)**

Συνήθως στα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιείται η σιγμοειδής συνάρτηση καθώς επιτρέπει τη μοντελοποίηση μη γραμμικών φαινομένων.

$$\phi(x) = \frac{1}{1 + e^x}$$



Ένας νευρώνας μπορεί να δέχεται έναν αριθμό n εισόδων $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ και να παράγει μια έξοδο y . Κάθε νευρώνας χαρακτηρίζεται από μια πόλωση b η οποία μπορεί να είναι μηδενική ή μη. Σε κάθε μια από αυτές τις n εισόδους $x_1, x_2, \dots, x_n$ αντιστοιχεί ένα βάρος $w_1, w_2, \dots, w_n$. Έτσι, η συνολική είσοδος z του νευρώνα υπολογίζεται ως εξής:

$$z = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + \dots + w_n \cdot x_n + b$$

Ενώ η έξοδος y του νευρώνα ως εξής:

$$y = f(z) = f(w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + \dots + w_n \cdot x_n + b)$$

Διαφορετικά, η έξοδος y_k του k νευρώνα δίνεται από την εξίσωση:

$$y_k = \phi\left(\sum_{i=0}^N x_{ki} w_{ki}\right)$$

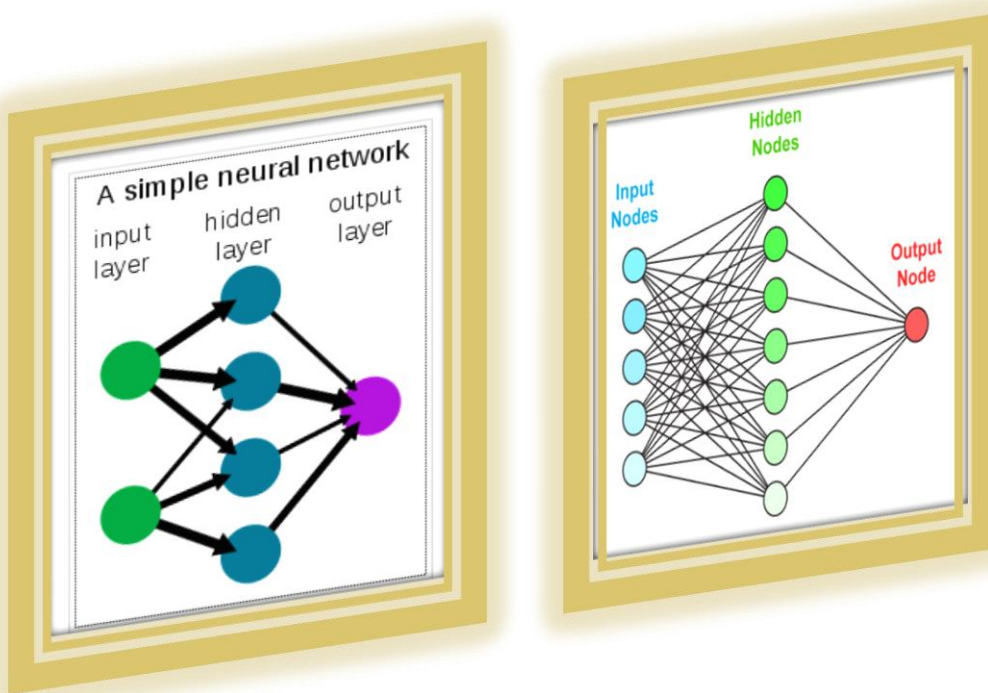
Όπου

- x_{ki} , η i -οστή είσοδος του k νευρώνα,
- w_{ki} , το i -οστό συναπτικό βάρος του k νευρώνα,
- $\phi(\cdot)$, η συνάρτηση μεταφοράς (ή συνάρτηση ενεργοποίησης) του νευρωνικού δικτύου.

3.3.1 Μοντέλο Απλού Νευρωνικού Δικτύου

Ένα απλό ΤΝΔ είναι μια μηχανή με πολλές εισόδους και μια μόνο έξοδο. Κατά την εκπαίδευση του δικτύου, ο νευρώνας εκπαιδεύεται ώστε να ενεργοποιείται ή όχι για ένα συγκεκριμένο σήμα εισόδου. Όταν ένα εκπαιδευμένο σήμα εισόδου αναγνωρίζεται στην είσοδο, η συνοδευόμενη με αυτό έξοδο γίνεται η τρέχουσα έξοδος του δικτύου. Από την άλλη, αν το σήμα αυτό δεν ανήκει στην λίστα των εκπαιδευμένων σημάτων εισόδου τότε ο κανόνας πυροδότησης χρησιμοποιείται για να αποφασιστεί η ενεργοποίηση του ή όχι.

Το πιο απλό νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από τρία στρώματα (Σχήμα 4). Το πρώτο στρώμα έχει νευρώνες εισόδου που στέλνουν δεδομένα μέσω συνάψεων στο αμέσως επόμενο στρώμα των νευρώνων και στη συνέχεια μέσω περισσότερων συνάψεων στο τρίτο στρώμα των νευρώνων, την έξοδο. Οι συνάψεις είναι οι παράμετροι που ονομάζονται 'βάρη' και χρησιμοποιούνται για να χειριστούν τα δεδομένα στους υπολογισμούς.



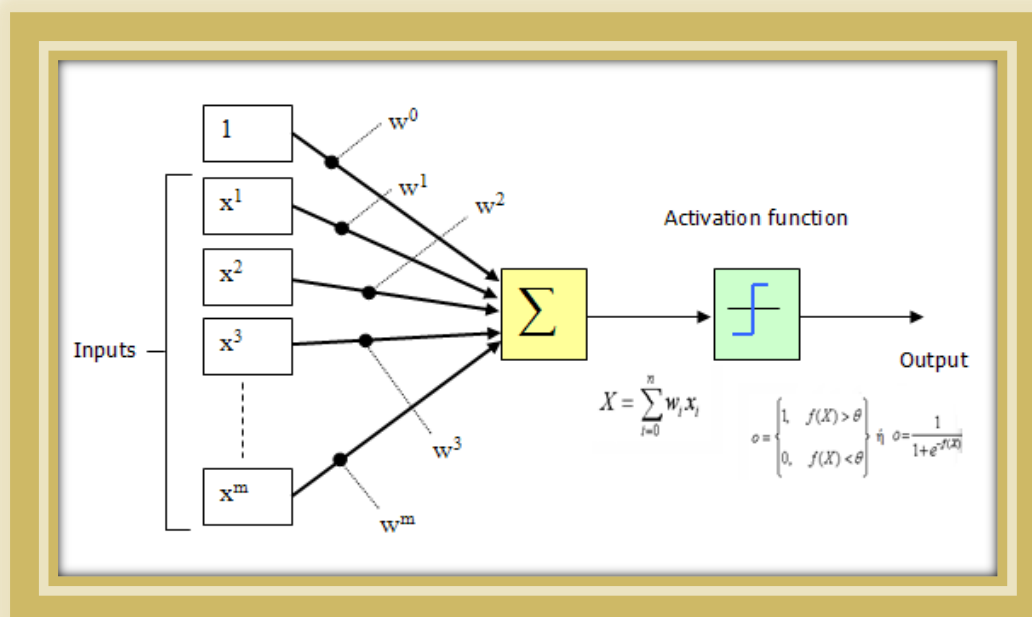
Σχήμα 4: Τα απλά νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από ένα επίπεδο εισόδου, ένα κρυφό επίπεδο και ένα επίπεδο εξόδου.

3.3.2 Τοπολογίες Νευρωνικών Δικτύων

Τα ΤΝΔ είναι συμπλέγματα νευρώνων δομημένα κατά στρώματα ή επίπεδα (layers). Μπορούν να αποτελούνται από ένα (μονοστρωματικά δίκτυα) ή περισσότερα επίπεδα (πολυστρωματικά δίκτυα).

➤ Μονοστρωματικό δίκτυο τύπου Perceptron

Το πρώτο είδος νευρωνικών δικτύων είναι το μονοστρωματικό δίκτυο τύπου Perceptron. Σε αυτό τον τύπο δικτύου το σταθμισμένο άθροισμα των εισόδων υπολογίζεται σε κάθε κόμβο και αν η τιμή ξεπερνά μια τιμή κατωφλίου ο νευρώνας ενεργοποιείται. Στη βιβλιογραφία ο όρος Perceptron συχνά αναφέρεται σε δίκτυα με έναν μόνο κόμβο. Παρακάτω (Σχήμα 5) παρουσιάζεται η απλούστερη μορφή νευρωνικού δικτύου, γνωστή ως αισθητήρας (Perceptron).



Σχήμα 5 : Ένας νευρώνας με πολλές εισόδους, αντίστοιχα βάρη και μια έξοδο.

Παρατηρείται ότι ο νευρώνας είναι μια θεμελιακή μονάδα επεξεργασίας πληροφορίας η οποία αποτελείται από τρία συστατικά στοιχεία:

- Ένα σύνολο κλάδων διασύνδεσης (συνάψεων).
- Ένα κόμβο άθροισης.
- Μια συνάρτηση ενεργοποίησης.

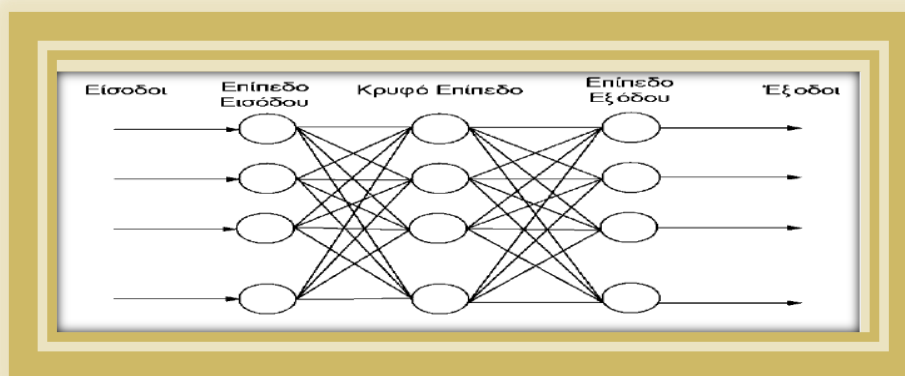
Κάθε κλάδος διασύνδεσης έχει ένα βάρος (weight) το οποίο είναι θετικό εάν η σύναψη είναι διεγερτικού τύπου (excitatory) και αρνητικό εάν η σύναψη είναι απαγορευτικού τύπου (inhibitory). Ο κόμβος άθροισης αθροίζει τα σήματα εισόδου πολλαπλασιαζόμενα με τα αντίστοιχα βάρη των συνάψεων. Συνεπώς, ο κόμβος

άθροισης είναι μια μονάδα γραμμικού συνδυασμού. Η συνάρτηση ενεργοποίησης (squashing function) περιορίζει το επιτρεπτό πλάτος του σήματος εξόδου σε κάποια πεπερασμένη τιμή (συνήθως στα κανονικοποιημένα διαστήματα $[0,1]$, $[-1,1]$). Τέλος, το μοντέλο του νευρωνίου περιέχει επίσης ένα κατώφλι θ που εφαρμόζεται εξωτερικά και πρακτικά υποβιβάζει την καθαρή είσοδο στην συνάρτηση ενεργοποίησης.

➤ Πολυστρωματικά δίκτυα

Στην περίπτωση των πολυστρωματικών δικτύων, το χαμηλότερο ή πρώτο στρώμα θεωρείται ότι περιέχει τους κόμβους των εισόδων και το υψηλότερο στρώμα τους κόμβους της εξόδου. Τα ενδιάμεσα ή μεσαία στρώματα ονομάζονται κρυφά ή κρυμμένα (hidden layers) και δεν επικοινωνούν άμεσα με το περιβάλλον. Τυπικά, οι νευρώνες σε κάθε επίπεδο έχουν σαν εισόδους τα σήματα εξόδου του προηγούμενου μόνο επιπέδου.

Η πιο απλή τοπολογία πολυστρωματικών δικτύων είναι αυτή των Δικτύων Πρόσθιας Τροφοδότησης (Feed-forward Networks). Σε αυτό τον τύπο δικτύων η πληροφορία ρέει μόνο προς τα εμπρός, από τα στρώματα εισόδου στα στρώματα εξόδου μέσω των κρυφών στρωμάτων (εάν υπάρχουν) χωρίς ανατροφοδότηση.



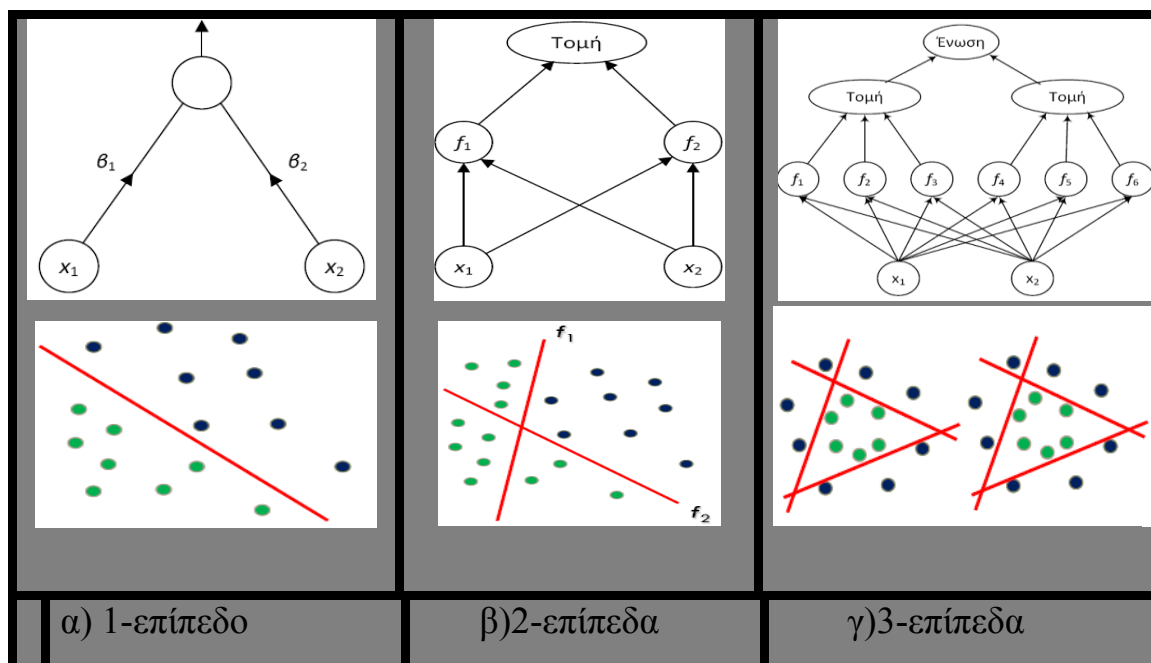
Σχήμα 6: Δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης.

Μια άλλη κατηγορία πολυστρωματικών δικτύων είναι αυτή των Δικτύων με Ανατροφοδότηση (Feedback Networks). Σε αυτά τα δίκτυα υπάρχει τουλάχιστον ένας κλειστός βρόχος με αποτέλεσμα δεδομένα από τα ανώτερα ιεραρχικά στάδια να τροφοδοτούνται στα κατώτερα στάδια. Γνωστά δίκτυα αυτού του είδους είναι τα

δίκτυα τύπου Hopfield, στα οποία όλες οι συνδέσεις είναι συμμετρικές. Οι κόμβοι εισόδου συνήθως δεν θεωρούνται ότι αποτελούν επίπεδο καθώς απλά δέχονται την είσοδο του δικτύου χωρίς να κάνουν κάποια επεξεργασία. Οι υπόλοιποι κόμβοι εκτελούν υπολογισμούς παράλληλα και ανήκουν είτε στο επίπεδο εξόδου είτε σε κάποιο κρυφό επίπεδο (τα επίπεδα που παρεμβάλλονται μεταξύ των εισόδων και των εξόδων καλούνται κρυφά επίπεδα).

Το Σχήμα 7 παρουσιάζει δομές ΤΝΔ διαφορετικών επιπέδων με γραμμικούς νευρώνες και τα αποτελέσματα που παράγουν.

Το μοντέλο του δυαδικού αισθητήρα χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση γραμμικά διαχωριζόμενων προτύπων, προτύπων δηλαδή που χωρίζονται στο δειγματοχώρο με γραμμικές συναρτήσεις. Μπορεί έτσι να ταξινομήσει ένα σύνολο εισόδων σε μία από τις κλάσεις 11 και 12. Ο κανόνας απόφασης για την ταξινόμηση είναι: ανάθεσε το σημείο που αναπαριστούν τα $x_1, x_2, \dots, x_n$ στην κλάση 11, αν $o = +1$ και στην κλάση 12 αν $o = -1$. Το μοντέλο δύο επιπέδων μπορεί να συνδυάζει γραμμές, οπότε μπορεί να ξεχωρίσει σημεία που περιλαμβάνονται σε ανοιχτές ή κλειστές κυρτές περιοχές. Το μοντέλο των τριών επιπέδων δημιουργεί πιο πολύπλοκα σχήματα.



Σχήμα 7: Δομές ΤΝΔ διαφορετικών επιπέδων: α) 1-επίπεδο, β) 2-επίπεδα, γ) 3-επίπεδα.

Τα νευρωνικά δίκτυα που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα σχήματα είναι εμπρόσθιας τροφοδότησης (feedforward) καθώς δύο οποιοιδήποτε νευρώνες συνδέονται με σύνδεση μιας κατεύθυνσης. Υπάρχουν ωστόσο και τα επαναλαμβανόμενα (recurrent) νευρωνικά δίκτυα τα οποία διαθέτουν συνδέσεις ανατροφοδότησης. Το δίκτυο Hopfield αποτελεί παράδειγμα χαρακτηριστικού επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου όπου όλοι οι νευρώνες συνδέονται με όλους τους υπόλοιπους με συνδέσεις ανατροφοδότησης.

Ο καθορισμός του βέλτιστου αριθμού κόμβων και συνδέσεων μιας τοπολογίας ΤΝΔ εξαρτάται από το συγκεκριμένο πρόβλημα. Έχει αποδειχτεί ωστόσο ότι ένα νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης με δύο κρυφά επίπεδα μπορεί να αναπαραστήσει οποιαδήποτε συνεχή σχεδίαση (Hecht-Nielsen 1987; Poggio 1983).

3.3 Εκπαίδευση Νευρωνικών Δικτύων

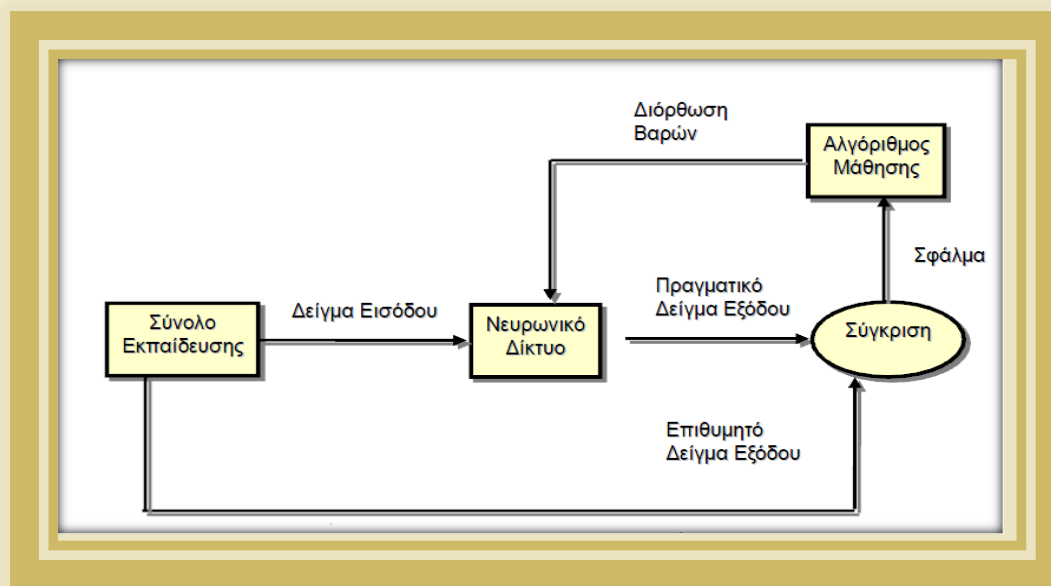
Προκειμένου να είναι σε θέση το νευρωνικό δίκτυο να λύνει προβλήματα πρέπει να εκπαιδευθεί κατάλληλα. Αυτό είναι και το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των νευρωνικών δικτύων, ότι δηλαδή μαθαίνουν ή εκπαιδεύονται. Το ΤΝΔ έχει την ικανότητα να μαθαίνει από το περιβάλλον του με παραδείγματα και να βελτιώνει την απόδοσή του μέσω της μάθησης. Τι εννοούμε όμως όταν λέμε ότι ένα νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται; Σύμφωνα με τους Mendel και McClaren, με σημείο αναφοράς τα νευρωνικά δίκτυα: Μάθηση ή Εκπαίδευση είναι μια διαδικασία με την οποία προσαρμόζονται οι ελεύθερες παράμετροι ενός νευρωνικού δικτύου μέσω μίας συνεχούς διαδικασίας διέγερσης από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το δίκτυο.

Πιο απλά η μάθηση επιτυγχάνεται μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας ρυθμίσεων της τιμής των συναπτικών βαρών και των κατωφλίων. Η μάθηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια αλγορίθμων που είναι γνωστοί ως κανόνες μάθησης ή αλγόριθμοι εκμάθησης (learning algorithms). Υπάρχει μεγάλη ποικιλία αλγορίθμων εκμάθησης, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο που εκφράζεται η ρύθμιση στο βάρος της σύνδεσης.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δέχονται ορισμένες εισόδους (inputs) και αντίστοιχα δίνουν ορισμένες εξόδους (outputs). Όταν λέμε εισόδους / εξόδους εννοούμε ότι παρουσιάζουμε στο δίκτυο κάποια σήματα τα οποία έχουν αριθμητικές τιμές. Οι αριθμοί αυτοί που δίνονται στην είσοδο του δικτύου αποτελούν κάποιο πρότυπο. Για ένα πρόβλημα μπορεί να απαιτούνται πολλά πρότυπα. Σε κάθε πρότυπο αντιστοιχεί και μία σωστή απάντηση, η οποία είναι το σήμα που πρέπει να πάρουμε στην έξοδο ή αλλιώς ο στόχος. Η εκπαίδευση πραγματοποιείται με το να παρουσιάσουμε μία ομάδα από τέτοια πρότυπα στο δίκτυο, αντιπροσωπευτικά ή παρόμοια με αυτά που θέλουμε να μάθει το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι δίνουμε στο δίκτυο ως εισόδους κάποια πρότυπα για τα οποία ξέρουμε ποια πρέπει να είναι η έξοδος στο δίκτυο, ξέρουμε δηλαδή ποιος είναι ο στόχος. Το δίκτυο χρησιμοποιεί την κατάλληλη συνάρτηση μεταφοράς $f(x)$ για να μεταδώσει το σήμα σε όλη τη δομή του από την είσοδο ως την έξοδο. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης το μόνο πράγμα που αλλάζει είναι οι τιμές των βαρών των συνδέσεων των νευρώνων. Το δίκτυο με τα δεδομένα αυτά τροποποιεί την εσωτερική του δομή ώστε να μπορεί να κάνει την ίδια αντιστοιχία που του δώσαμε εμείς. Ενώ αρχικά ξεκινάει με τιμές στα βάρη w που είναι τυχαίες, κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης μεταβάλλονται οι τιμές αυτές μέχρι να εκπαιδευθεί πλήρως. Ακολούθως, αφού βρει τη σωστή εσωτερική του δομή τότε θα μπορεί να λύνει και άλλα ανάλογα προβλήματα τα οποία δεν τα έχει δει προηγουμένως δηλαδή δεν έχει εκπαιδευθεί στα πρότυπα των προβλημάτων αυτών. Οποσδήποτε όμως, θα πρέπει τα προβλήματα αυτά να είναι της ίδιας φύσης και των ίδιων χαρακτηριστικών όπως αυτά της εκπαίδευσης και όχι διαφορετικά. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους πραγματοποιούνται οι αλλαγές στα βάρη κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης ενός δικτύου. Ο ένας τρόπος είναι η εποπτευόμενη μάθηση και ο άλλος η μη εποπτευόμενη μάθηση.

Η **εποπτευόμενη μάθηση** είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος στην εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων. Αρχικά δίνουμε τις τιμές των εισόδων και των στόχων που πρέπει να μάθει το δίκτυο δηλαδή παρουσιάζουμε τα πρότυπα στο δίκτυο. Ξεκινούμε με τυχαίες τιμές στα βάρη w . Κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης το δίκτυο αλλάζει τις τιμές των βαρών διορθώνοντας αυτές ανάλογα με το σφάλμα που παίρνουμε. Σαν σφάλμα νοείται η διαφορά από τον στόχο, το επιθυμητό δείγμα εξόδου. Ο σκοπός μας εδώ είναι τελικά να ελαχιστοποιήσουμε τη διαφορά (το σφάλμα) μεταξύ της

επιθυμητής εξόδου και της τρέχουσας τιμής της εξόδου μετά από διαδοχικές αλλαγές των βαρών (ανακυκλώσεις διορθώσεων). Το δίκτυο προσαρμόζεται με βάση τη σύγκριση της εξόδου και του στόχου μέχρι η έξοδος του δικτύου να συμφωνεί με το στόχο μέσω του αλγορίθμου μάθησης (Σχήμα 8). Μερικές φορές η διαδικασία αυτή μπορεί να απαιτεί μεγάλους αριθμούς διορθώσεων και επομένως μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους.



Σχήμα 8 : Τρόπος λειτουργίας της εποπτευόμενης μάθησης.

Στην **μη εποπτευόμενη μάθηση**, δίνουμε απλά την πληροφορία στο δίκτυο αλλά δεν δίνουμε αντίστοιχους στόχους όπως πριν και έτσι δεν γίνεται καμιά σύγκριση για την πορεία του σφάλματος. Το δίκτυο δε χρησιμοποιεί καμιά εξωτερική παράμετρο για την αλλαγή των βαρών. Χρησιμοποιεί έναν εσωτερικό έλεγχο, ψάχνει να βρει κάποιες τάσεις ή κανονικότητα στα σήματα εισόδου και προσπαθεί ώστε οι εξοδοί να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και οι εισοδοί. Λέμε ότι έτσι έχουμε αυτο-εποπτευόμενη εκπαίδευση διότι το δίκτυο ελέγχει τον εαυτό του και διορθώνει τα σφάλματα στα δεδομένα με ένα μηχανισμό ανάδρασης (feedback). Ο τρόπος αυτός δε συναντάται τόσο συχνά όπως η εποπτευόμενη μάθηση και δεν είναι απόλυτα κατανοητός, αλλά είναι πολύ χρήσιμος σε ορισμένες καταστάσεις που δεν υπάρχουν δεδομένα στο πρόβλημα.

Σε όλες τις περιπτώσεις, όταν το σύστημα σταματάει να αλλάζει τις τιμές των βαρών τότε θεωρούμε ότι η εκπαίδευση έχει επιτευχθεί. Αυτό συμβαίνει επειδή το λάθος στην έξοδο γίνεται μηδέν ή είναι πολύ κοντά στο μηδέν. Υπάρχουν ωστόσο πολυάριθμα προβλήματα κατά τη μάθηση αλγορίθμων. Σχεδόν κάθε αλγόριθμος θα λειτουργεί καλά με τη σωστή εκπαίδευση όσον αφορά ένα συγκεκριμένο σταθερό σύνολο δεδομένων. Ωστόσο, η επιλογή ενός αλγορίθμου για την εκπαίδευση σχετικά με αθέατα δεδομένα απαιτεί σημαντική εμπειρία.

3.4 Διαδικασία Ανάπτυξης Ενός Νευρωνικού Δικτύου

Η διαδικασία ανάπτυξης μιας εφαρμογής ΤΝΔ αποτελείται γενικά από τα εξής βήματα:

1. **Συλλογή δεδομένων:** συλλέγονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση και τη δοκιμή του δικτύου.
2. **Διαχωρισμός δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμής:** πρέπει από το σύνολο των δεδομένων να προσδιοριστούν τα δεδομένα εκείνα που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του δικτύου και να γίνει ένα σχέδιο για τη δοκιμή της απόδοσης του δικτύου. Τα διαθέσιμα δεδομένα, λοιπόν, διαιρούνται στα δεδομένα εκπαίδευσης και δοκιμής. Για ένα μέτριο μέγεθος συνόλου δεδομένων, το 80% των δεδομένων επιλέγονται τυχαία για την εκπαίδευση, το 10% για τη δοκιμή και τα υπόλοιπα 10% για τη δευτεροβάθμια δοκιμή.
3. **Αρχιτεκτονική δικτύου:** επιλέγεται η κατάλληλη κάθε φορά αρχιτεκτονική του δικτύου και μέθοδος εκπαίδευσης του. Σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή του ακριβή αριθμού των κόμβων και των επιπέδων της αρχιτεκτονικής του δικτύου.

4. **Συντονισμός των παραμέτρων και αρχικοποίηση των βαρών:** υπάρχουν παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν για τον συντονισμό του δικτύου στο επιθυμητό επίπεδο απόδοσης. Στο βήμα αυτό πραγματοποιείται η αρχικοποίηση των βαρών και των παραμέτρων του δικτύου και ακολουθείται η τροποποίηση τους κατά την ανατροφοδότηση της απόδοσης εκπαίδευσης. Συχνά, οι αρχικές τιμές είναι σημαντικές στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας και της διάρκειας της εκπαίδευσης.
5. **Μετασχηματισμοί δεδομένων:** τα δεδομένα της εφαρμογής μετασχηματίζονται στον τύπο και τη μορφή που απαιτείται από το εκάστοτε ΤΝΔ.
6. **Εκπαίδευση:** η εκπαίδευση καθοδηγείται επαναληπτικά με την παρουσίαση της εισόδου και της επιθυμητής ή γνωστής εξόδου των δεδομένων στο ΤΝΔ. Το ΤΝΔ υπολογίζει τα αποτελέσματα και προσαρμόζει τα βάρη έτσι ώστε τα υπολογισμένα αποτελέσματα να είναι μέσα σε μια αποδεκτή διαφορά από τα γνωστά αποτελέσματα για τις συγκεκριμένες εισόδους. Το βήμα αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι το σφάλμα που προκύπτει από τη σύγκριση της πραγματικής εξόδου με την επιθυμητή να πλησιάσει το μηδέν ή μέχρι να μη μπορούν να βελτιωθούν περαιτέρω οι τιμές των βαρών.
7. **Δοκιμή:** μόλις ολοκληρωθεί η εκπαίδευση, είναι απαραίτητο να δοκιμαστεί το δίκτυο. Η δοκιμή εξετάζει την απόδοση του δικτύου χρησιμοποιώντας τα παραγόμενα βάρη για να μετρήσει τη δυνατότητα του δικτύου να ταξινομήσει σωστά τα δεδομένα δοκιμής. Η δοκιμή μαύρου κουτιού (που συγκρίνει τα αποτελέσματα της δοκιμής με τα ιστορικά αποτελέσματα) είναι η βασική προσέγγιση για την επαλήθευση ότι οι είσοδοι παράγουν τα κατάλληλα αποτελέσματα.
8. **Εφαρμογή:** τώρα λαμβάνεται υπόψιν ένα σταθερό σύνολο βαρών και το δίκτυο μπορεί να αναπαραγάγει την επιθυμητή έξοδο για τις δοθείσες εισόδους. Το δίκτυο πλέον είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί σαν αυτόνομο σύστημα ή ως τμήμα ενός άλλου συστήματος λογισμικού όπου τα νέα δεδομένα εισόδου θα εφαρμοστούν σε αυτό και η έξοδός του θα είναι μια προτεινόμενη απόφαση.

Τα παραπάνω βήματα αποτελούν ένα κύκλο, δηλαδή ένα πέρασμα από την είσοδο μέχρι την έξοδο μέσω των κρυμμένων επιπέδων και από την έξοδο πάλι στην είσοδο. Μετά το τέλος του κύκλου διόρθωσης των βαρών, επαναλαμβάνεται η διαδικασία για πολλούς κύκλους, όσους χρειάζεται, έως ότου διαδοχικά το σφάλμα φθάσει να είναι αρκετά μικρό. Αν δεν μπορεί να επιτευχθεί ελάχιστο σφάλμα, τροποποιείται η δομή του δικτύου και ξεκινάει από την αρχή η εξέταση των δειγμάτων.

3.6 Ιδιότητες Νευρωνικών Δικτύων

Δεδομένου ότι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα προσπαθούν να μιμηθούν τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου, διαθέτουν παρόμοιες ιδιότητες με αυτόν. Οι πιο κοινές ιδιότητες είναι η ικανότητα τους να μαθαίνουν από εμπειρίες, η γενίκευση της υπάρχουσας γνώσης από προηγούμενες εμπειρίες και η εκτέλεση λογικών πράξεων. Συγκεκριμένα, ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο μοιάζει με ένα βιολογικό στο ότι αποκτά γνώση μέσα από τη διαδικασία μάθησης και χρησιμοποιεί τα συναπτικά (synaptic) βάρη, που είναι ουσιαστικά οι δυνάμεις σύνδεσης των νευρώνων, για την αποθήκευση της γνώσης αυτής.

Συγκρίνοντας τα μοντέλα των νευρωνικών δικτύων με τα στατιστικά, υπερτερούν τα πρώτα καθώς μοντελοποιούν ένα πολυδιάστατο πρόβλημα χωρίς να απαιτούν περίπλοκες υποθέσεις ανάμεσα στις μεταβλητές εισόδου. Τα συστήματα των ΤΝΔ έχουν λοιπόν τη δυνατότητα μοντελοποίησης πολύπλοκων συστημάτων και έχουν εφαρμοστεί με ιδιαίτερη επιτυχία σε τρεις κυρίως περιοχές, που όλες βασίζονται στην αναγνώριση προτύπων:

- Στην **κατάταξη** (classification): όπου τα δεδομένα εισόδου κατατάσσονται σε προκαθορισμένες ομάδες ή κλάσεις ανάλογα με τα πρότυπα που υπάρχουν στα δεδομένα εισόδου. Η εργασία αυτή είναι επιτυχής ακόμη και αν τα δεδομένα είναι ελλιπή ή ανακριβή. Χαρακτηριστικές εφαρμογές είναι η αναγνώριση χειρόγραφων χαρακτήρων, η αναγνώριση ήχων, αλλά και η κατηγοριοποίηση μετοχών ή επιχειρήσεων ανάλογα με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους.

- Στην **συσχετιζόμενη μνήμη** (*associative memory*): όπου παράγεται ένα πρότυπο από μια κατηγορία. Η εργασία αυτή είναι χρήσιμη όταν μόνο ένα μέρος ενός δείγματος είναι γνωστό και χρειάζεται να βρεθεί η πλήρης μορφή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανακατασκευή αλλοιωμένων εικόνων.
- Στην **ομαδοποίηση** (*clustering*): είναι παρόμοια με την κατάταξη αλλά οι κατηγορίες δεν έχουν προκαθοριστεί από πριν. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη συμπίεση ή το φιλτράρισμα των δεδομένων εισόδου χωρίς απώλεια σημαντικής πληροφορίας. Ένα παράδειγμα θα ήταν η ομαδοποίηση ομολόγων σε ομοιογενείς ομάδες επικινδυνότητας ανάλογα με τα οικονομικά δεδομένα.

Τα νευρωνικά δίκτυα που κατασκευάζονται είναι πολύ ανθεκτικά και διαθέτουν την ικανότητα γενίκευσης των παραδειγμάτων. Τα βασικά πλεονεκτήματα τους είναι ότι είναι ανεξάρτητα από τη συναρτησιακή μορφή και από τις διακυμάνσεις των παραμέτρων. Αν και η εκπαίδευση τους απαιτεί σημαντικό υπολογισμό, ο καθορισμός της βέλτιστης εναλλακτικής λύσης ή η ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων μπορεί να εκτελεστεί στους προσωπικούς υπολογιστές. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα διευκολύνει τις εφαρμογές των νευρωνικών δικτύων στα προβλήματα απόφασης πραγματικού χρόνου (όπως είναι οι εφαρμογές διαδικτύου για παράδειγμα).

Τα νευρωνικά δίκτυα λόγω της αξιόλογης ικανότητας τους να εξάγουν έννοιες από περίπλοκα ή ημιτελή δεδομένα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία προτύπων και την ανίχνευση τάσεων που είναι πολύ περίπλοκα για να γίνουν αντιληπτά από τον άνθρωπο ή άλλες υπολογιστικές τεχνικές. Ένα εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ‘ειδικός’ στην ανάλυση πληροφορίας. Άλλα πλεονεκτήματα των νευρωνικών δικτύων είναι τα εξής :

- Προσαρμοστική μάθηση: Η ικανότητα να μαθαίνουν να εκτελούν κάποια καθήκοντα βασισμένα στα δεδομένα μάθησης ή στην αρχική εμπειρία τους.
- Αυτο-οργάνωση: Ένα ΤΝΔ μπορεί να δημιουργήσει τη δική του οργάνωση ή αναπαράσταση της πληροφορίας που δέχεται κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης του.

- Λειτουργία σε πραγματικό χρόνο (real time): Οι υπολογισμοί των ΤΝΔ μπορούν να εκτελούνται παράλληλα. Μάλιστα, κατασκευάζονται ειδικά υπολογιστικά μηχανήματα που εκμεταλλεύονται αυτήν την ιδιότητα.
- Ανοχή κατά την κωδικοποίηση περιττής πληροφορίας: Μερική καταστροφή ενός δικτύου οδηγεί σε υποβάθμιση της λειτουργίας του. Παρόλα αυτά όμως, κάποιες ιδιότητες των δικτύων μπορούν να ανακτηθούν εκ νέου ακόμη και μετά από μια μεγάλη καταστροφή του δικτύου.
- Έχουν από τη φύση τους εφαρμογή σε μη γραμμικό έλεγχο. Αυτό προκύπτει από την ικανότητά τους να προσεγγίζουν μη γραμμικές σχέσεις εισόδου-εξόδου.

3.7 Εφαρμογές Νευρωνικών Δικτύων

Οι εφαρμογές των νευρωνικών δικτύων έχουν αυξηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια δίνοντας μεγάλες υποσχέσεις για ακόμα πιο ευρεία χρήση τους τα επόμενα χρόνια. Περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την αναγνώριση προτύπων, τον υπολογισμό συναρτήσεων, την βελτιστοποίηση, την πρόβλεψη, τον αυτόματο έλεγχο και πολλά άλλα.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα εφαρμογή τους συνίσταται στις τραπεζικές εργασίες, όπου μία δύσκολη απόφαση είναι ο υπολογισμός του παράγοντα επικινδυνότητας στις αιτήσεις για στεγαστικά δάνεια. Από τα δεκάδες στοιχεία που περιέχει μία τέτοια αίτηση, η τράπεζα θέλει να ξέρει τι πιθανότητα υπάρχει ο πελάτης να αδυνατεί να ανταποκριθεί στις πληρωμές του δανείου. Για το λόγο αυτό, τα στοιχεία που ενδιαφέρουν την τράπεζα είναι κυρίως το εισόδημα και η φερεγγυότητα του δανειολήπτη. Αν ο δανειολήπτης έχει και μεγάλο εισόδημα και είναι και πολύ φερέγγυος, η πιθανότητα να πληρωθεί το δάνειο είναι πολύ μεγάλη. Αν αντίστοιχα ο δανειολήπτης έχει μικρό εισόδημα και χαμηλή φερεγγυότητα, η πιθανότητα πλήρωσης του δανείου είναι μικρή. Για τις δύο αυτές περιπτώσεις, η απόφαση της

τράπεζας είναι μάλλον εύκολη για το αν θα δώσει το δάνειο. Τι γίνεται όμως όταν τα πράγματα δεν είναι και τόσο ξεκάθαρα; Ένα πρόγραμμα νευρωνικού δικτύου, που λέγεται ‘Νέστωρ’ εκπαιδεύεται σε μερικές χιλιάδες αιτήσεις, από τις οποίες οι μισές εγκρίθηκαν και οι μισές απορρίφθηκαν από την τράπεζα με απόφαση των υπαλλήλων της. Συγκρίνοντας με τα πραγματικά δεδομένα, για μία νέα αίτηση δανείου που γίνεται στην τράπεζα, το σύστημα ψάχνει να βρει στοιχεία και να αποφασίσει τι ακριβώς αποτελεί παράγοντα μεγάλης επικινδυνότητας. Με την εφαρμογή αυτού του νευρωνικού δικτύου η απόφαση για να δώσει ή όχι το δάνειο έχει μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας από άλλες μεθόδους.

Η πρόοδος στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα από τη δεκαετία του '90 κατέστησε δυνατό να αναπτυχθεί και να εφαρμοστεί η νέα μεθοδολογία και τεχνολογία για να εξαχθούν κανόνες απόφασης από τις διαθέσιμες πληροφορίες στο πεδίο της λήψης απόφασης με πολλαπλά κριτήρια. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα σαν μοντέλα αναπαράστασης και υπολογιστικά μοντέλα για την επίλυση των σύνθετων προβλημάτων έχουν ερευνηθεί για περισσότερο από 40 έτη. Τα ΤΝΔ έχουν την ιδιότητα να λύνουν νέα είδη προβλημάτων. Είναι μάλιστα ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην επίλυση προβλημάτων που οι λύσεις τους είναι δύσκολο, αν όχι απίθανο να οριστούν.

Τα νευρωνικά δίκτυα, από το αρχικό στάδιο της πρακτικής τους χρήσης, έχουν αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο για την ανάλυση σημάτων, την εξαγωγή χαρακτηριστικών, την ταξινόμηση δεδομένων, την αναγνώριση σχεδίων κτλ. Εξαιτίας της ικανότητας τους να εκπαιδεύονται και να μπορούν να κάνουν γενικεύσεις από δεδομένα που προκύπτουν μέσω παρατήρησης, τα δίκτυα αυτά έχουν εξαπλωθεί και βρίσκουν μεγάλη ανταπόκριση από μηχανικούς και ερευνητές σαν εργαλείο επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων. Και αυτό κυρίως διότι τα νευρωνικά δίκτυα μειώνουν σε τεράστιο βαθμό τον υπολογιστικό φόρτο για την επίλυση προβλημάτων και επιταχύνουν τη διαδικασία επίλυσης τους καθώς δουλεύουν παράλληλα. Αυτός ο λόγος ήταν αρκετός για να ξεφύγει η τεχνολογία δικτύων από τα εργαστήρια ερευνών και να διεισδύσει στη βιομηχανία, στις επιχειρήσεις κτλ. Για παράδειγμα, η προσέγγιση μέσω μεθοδολογιών νευρωνικών δικτύων έχει λύσει ουσιαστικά προβλήματα στην ανάλυση χρονοσειρών και πρόβλεψης χρησιμοποιώντας δεδομένα καταγεγραμμένα από παρατήρηση.

Η ευρεία εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων σε μία ποικιλία προβλημάτων διαφορετικών πεδίων τα κάνει πολύ ελκυστικά. Πέρα από τους τομείς που ήδη έχουν αναφερθεί, τα ΤΝΔ εφαρμόζονται και στους παρακάτω:

- **Οικονομία:** Οικονομική ανάλυση, πρόβλεψη τιμών συναλλάγματος.
- **Κοινωνική ασφάλιση:** Αξιολόγηση εφαρμοζόμενης πολιτικής, βελτιστοποίηση παραγωγής.
- **Βιομηχανία:** Βιομηχανικός έλεγχος διεργασιών, ανάλυση και σχεδίαση προϊόντων, συστήματα ποιοτικού ελέγχου, διάγνωση βλαβών διεργασιών και μηχανών, ανάλυση σχεδιασμού χημικών προϊόντων, δυναμική μοντελοποίηση συστημάτων χημικών διεργασιών, σχεδιασμός και διοίκηση.
- **Χρηματιστηριακές εφαρμογές:** Ανάλυση αγοράς, πρόβλεψη τιμών μετοχών.
- **Επιχείρηση:** Πρόβλεψη πωλήσεων, έλεγχος βιομηχανικής διαδικασίας, έρευνα πελατών, επικύρωση δεδομένων, ανάκτηση δεδομένων και αποθήκευση σε βάσεις δεδομένων, μάρκετινγκ.
- **Τηλεπικοινωνίες:** Συμπίεση εικόνας και δεδομένων, αυτοματοποιημένες υπηρεσίες πληροφοριών, μετάφραση πραγματικού χρόνου, αναγνώριση του ομιλητή, ανάκτηση τηλεπικοινωνιών μετά από κάποιο σφάλμα στο λογισμικό.
- **Επεξεργασία φωνής:** Αναγνώριση φωνής, συμπίεση φωνής, σύνθεση φωνής από κείμενο.
- **Ρομποτική:** Έλεγχος τροχιάς και σύστημα όρασης ρομπότ.
- **Ηλεκτρονική:** Πρόβλεψη ακολουθίας κωδίκων, μορφοποίηση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, έλεγχος διεργασιών, διάγνωση βλαβών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, μηχανική όραση, σύνθεση φωνής.
- **Γεωλογικές έρευνες:** Εντοπισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου, υποθαλάσσια ανίχνευση μεταλλευμάτων.

- **Αεροπορία:** Υψηλής απόδοσης αυτόματοι πιλότοι αεροπλάνων, προσομοιωτές πτήσης, συστήματα αυτομάτου ελέγχου αεροπλάνων, συστήματα ανίχνευσης βλαβών.
- **Αυτοκίνηση:** Αυτοκινούμενα συστήματα αυτόματης πλοήγησης, έλεγχος οχήματος.
- **Μεταφορές:** Συστήματα διάγνωσης βλαβών φρένων, χρονοπρογραμματισμός οχημάτων, συστήματα δρομολόγησης.
- **Άμυνα:** Πλοήγηση όπλων, ανίχνευση στόχων, νέα είδη αισθητήρων, σόναρ, ραντάρ, ψηφιακή επεξεργασία σημάτων, συμπίεση δεδομένων, εξαγωγή χαρακτηριστικών, αναγνώριση σήματος / εικόνας.

Ένας ιδιαίτερα ευαίσθητος και σημαντικός τομέας όπου χρησιμοποιούνται με μεγάλη επιτυχία τα ΤΝΔ είναι και αυτός της ιατρικής. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση τμημάτων του ανθρώπινου σώματος, την αναγνώριση ασθενιών με χρήση τομογραφιών, την ανάλυση καρκινικών κυττάρων, την ανάλυση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και ηλεκτροκαρδιογραφήματος, τη βελτιστοποίηση του χρόνου νοσηλείας, τη μείωση του νοσοκομειακού κόστους και τη βελτίωση της ποιότητας νοσοκομείων. Κυρίως όμως χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση του συστήματος του ανθρώπινου καρδιαγγειακού συστήματος. Η διάγνωση μπορεί να προκύψει με την κατασκευή ενός μοντέλου του ατομικού καρδιαγγειακού συστήματος και τη σύγκριση του με την φυσιολογική μέτρηση που παίρνεται από τον ασθενή σε πραγματικό χρόνο. Εάν η ρουτίνα εκτελεστεί κανονικά, ενδεχόμενες βλαβερές ενδείξεις μπορούν να ανιχνευτούν σε πρώιμο στάδιο και επομένως να αντιμετωπιστούν εγκαίρως. Επίσης, τα νευρωνικά δίκτυα βρίσκουν εφαρμογή και στην τηλε-ιατρική και πιστεύεται ότι θα έχουν ευρεία εφαρμογή και σε βιοιατρικά συστήματα τα επόμενα χρόνια.

Συμπερασματικά, λοιπόν, τα νευρωνικά δίκτυα έχουν αναπτυχθεί ταχύτατα με μεγάλη επιτυχία σε πολλούς τομείς και για το λόγο αυτό είναι μεγάλη και η χρηματοδότηση τους. Γενικότερα, η πρακτική χρήση των νευρωνικών δικτύων, υφίσταται λόγω των κάτωθι χαρακτηριστικών τους:

- Μη γραμμική συσχέτιση ανάμεσα σε ένα υποσύνολο της παρελθούσης δεδομένης χρονοσειράς και της μελλοντικής προς πρόβλεψη χρονοσειράς.
- Η ικανότητα να αντλεί ουσιώδεις λειτουργικές σχέσεις από τα δεδομένα οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν αυτές οι σχέσεις δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων ή είναι πολύ δύσκολο να περιγραφούν μαθηματικά ή όταν τα δεδομένα περιέχουν θόρυβο.
- Μοντελοποίηση αυθαίρετων συνεχών μη γραμμικών συναρτήσεων σε οποιοδήποτε βαθμό ακρίβειας.
- Το δίκτυο μαθαίνει από παραδείγματα ή δείγματα εκπαίδευσης κατασκευάζοντας ένα σχεδιασμό εισόδου-εξόδου για προβλήματα στο χέρι.
- Η προσαρμοστικότητα των νευρωνικών δικτύων, δηλαδή η δυνατότητα τους να διαμορφώνουν τα βάρη τους με βάση τις αλλαγές του περιβάλλοντος.
- Ένα νευρωνικό δίκτυο υλοποιημένο σε hardware έχει τη σημαντική ιδιότητα να είναι ‘ανεκτικό σε σφάλματα’, με την έννοια ότι η απόδοσή του δε μειώνεται κάτω από αντίξοες λειτουργικές συνθήκες.
- Η παράλληλη λειτουργία του Νευρωνικού Δικτύου κάνει δυνατή την υλοποίηση του σε VLSI (Very-large-scale integration) τεχνολογία έτσι ώστε τα νευρωνικά δίκτυα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- Ομοιομορφία ανάλυσης και σχεδιασμού καθώς χρησιμοποιείται ο ίδιος συμβολισμός σε όλα τα πεδία όπου εφαρμόζονται τα νευρωνικά δίκτυα.
- Η χρησιμότητα των τεχνητών νευρωνικών μοντέλων του δικτύου έγκειται στο γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραχθεί μια συνάρτηση από τις παρατηρήσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές όπου η πολυπλοκότητα των δεδομένων ή η εργασία καθιστούν τον σχεδιασμό μιας τέτοιας λειτουργίας με το χέρι ανέφικτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

4.1 Γενικά Για Την Ασαφή Λογική

Το ανθρώπινο μυαλό ερμηνεύει ανακριβείς και ανολοκλήρωτες πληροφορίες που δέχεται από τα αισθητήρια όργανα του. Η θεωρία ασαφούς λογικής παρέχει ένα συστηματικό τρόπο για τον υπολογισμό τέτοιου είδους πληροφορίας γλωσσικά και πραγματοποιεί αριθμητικούς υπολογισμούς χρησιμοποιώντας γλωσσικές ταμπέλες καθορισμένες από τις συναρτήσεις συμμετοχής. Πρώτος ο L.A. Zadeh το 1965 [4.1], εισήγαγε τον όρο της ασαφούς λογικής (fuzzy logic) θεμελιώνοντας την σαν μια μέθοδο διαχείρισης ανακριβών εννοιών που δεν είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν από τη θεωρία των πιθανοτήτων.

Η ασαφής λογική, λοιπόν, αφορά την αναπαράσταση ανακριβούς (imprecise) ή αδιευκρίνιστης (ambiguous) γνώσης. Χρησιμοποιεί την έννοια του βαθμού συμμετοχής /αληθείας και όχι τον κάθετο διαχωρισμό αλήθεια-ψεύδος και ασχολείται με την ασάφεια της γνώσης (θεωρία δυνατοτήτων) και όχι με την τυχαιότητα της (θεωρία πιθανοτήτων).[4.2]

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) είναι μια επέκταση της κλασικής αριστοτέλειας λογικής. Μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής «με κάποιο βαθμό αληθείας» και όχι απλά «αληθής ή ψευδής». Ξεκινά από το γεγονός ότι συνήθως στην πραγματικότητα δεν υπάρχει μόνο το «άσπρο ή μαύρο» όπως απαιτεί η δίτιμη λογική των κλασικών-παραδοσιακών μαθηματικών, αλλά συνήθως έχουμε διάφορες «αποχρώσεις του γκρι» όπως βέβαια και έγχρωμα φαινόμενα. Η ιδέα, λοιπόν, αυτή της ασαφούς λογικής (Zadeh, 1965) αποτέλεσε πραγματική επανάσταση στη θεωρία της λογικής των μαθηματικών και κατ' επέκταση των σύγχρονων επιστημών και της τεχνολογίας γιατί πράγματι υπερβαίνει τα εσκαμμένα και ξεφεύγει από το μοντέλο που κυριαρχούσε εδώ και 2500 χρόνια, δηλαδή από το παραδοσιακό αριστοτέλειο ασπρόμαυρο μοντέλο του «0-1», «αληθές-ψευδές».[4.3]

4.1.1 Εφαρμογές Ασαφούς Λογικής

Μετά την πρωτοποριακή εργασία του Lofti Zadeh [4.1] στα μέσα της δεκαετίας του 1960, η ασαφής λογική γνώρισε αλματώδη ανάπτυξη. Μάλιστα, δέκα χρόνια μετά την πρώτη διατύπωση της άρχισε να προκαλεί το ενδιαφέρον των επιστημόνων και σταδιακά αναγνωρίστηκε ευρέως από την επιστημονική κοινότητα έχοντας ως κύρια εφαρμογή τον έλεγχο συστημάτων [4.4-4.6]. Οι κύριοι λόγοι που συνέβαλαν στην αποδοχή των ασαφών συστημάτων ελέγχου σχετίζονταν με την ευκολία του σχεδιασμού τους και την απλότητα τους καθώς και με την ιδιότητα τους να ελέγχουν πολύπλοκες και συνεχώς μεταβαλλόμενες διαδικασίες. Τελευταία, η ασαφής λογική άρχισε να γίνεται περισσότερο γνωστή χάρη στην εκτεταμένη εφαρμογή της στον τομέα της μηχανικής επεξεργασίας και του ελέγχου στην Ιαπωνία καθώς συμβάλλει σημαντικά στο σχεδιασμό συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης. Χρησιμοποιώντας την, οι κατασκευαστές μπορούν να μειώσουν σημαντικά το χρόνο ανάπτυξης συστημάτων, να προσομοιώσουν πολύπλοκα μη-γραμμικά συστήματα, να αναπτύξουν εξελιγμένα συστήματα χρησιμοποιώντας μηχανικούς ελέγχους και όχι επιστήμονες ελέγχου και τέλος να πετύχουν τον έλεγχο χρησιμοποιώντας λιγότερο ακριβά ολοκληρωμένα κυκλώματα και αισθητήρες.

Στις μέρες μας, οι εφαρμογές της εμφανίζονται σχεδόν σε κάθε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αν και είναι γέννημα του δυτικού πολιτισμού και οι θεωρητικές της βάσεις τέθηκαν και αναπτύχθηκαν επίσης στη δύση, γνώρισε μεγάλη άνθηση και εφαρμογή παγκοσμίως. Εφαρμογές της ασαφούς λογικής εμφανίζονται σε πεδία μοντελοποίησης (Modeling), πρόβλεψης (Prediction), ελέγχου (control), κατάταξης δειγμάτων σε κατηγορίες (Classification), αναγνώρισης προτύπων (Pattern Recognition), συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems), θεωρίας δυνατοτήτων (Possibility Theory), βελτιστοποίησης (Optimization) κτλ [4.7-4.9]. Αναφορικά, τα ασαφή συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε [4.10]:

- Air Condition
- Αυτοκίνητα (ABS, αυτόματα κιβώτια)
- Κάμερες
- Ασανσέρ
- Βιντεοπαιχνίδια

- Και σε πολλά άλλα...

Υπάρχουν πέντε τύποι συστημάτων όπου η ασαφής λογική είναι απαραίτητη ή τουλάχιστον ωφέλιμη:

- Πολύπλοκα συστήματα που είναι δύσκολο ή αδύνατο να μοντελοποιηθούν.
- Συστήματα που ελέγχονται από ειδικούς εμπειρογνώμονες.
- Συστήματα με πολύπλοκα και συνεχή δεδομένα εισόδου και εξόδου.
- Συστήματα που χρησιμοποιούν την ανθρώπινη παρατήρηση ως δεδομένα εισόδου ή ως τη βάση για διατύπωση κανόνων.
- Συστήματα που είναι εκ φύσεως ασαφή, όπως εκείνα στις οικονομικές και κοινωνικές επιστήμες.

4.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Ασαφούς Λογικής

Τα βασικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση της ασαφούς λογικής μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω [4.2]:

- Χρήση λεκτικών όρων.
- Ευκολία στην αναπαράσταση της γνώσης εμπειρογνώμονα και κοινότυπου συλλογισμού.
- Ανεκτικότητα σε ανακριβή γνώση.
- Μοντελοποίηση μη γραμμικών συναρτήσεων.
- Ικανότητα μοντελοποίησης ιδιαίτερα πολύπλοκων επιχειρηματικών προβλημάτων.
- Βελτιωμένη γνωστική μοντελοποίηση έμπειρων συστημάτων.
- Ικανότητα μοντελοποίησης συστημάτων που εμπλέκουν πολλούς ειδικούς.
- Μειωμένη πολυπλοκότητα μοντέλου.

Οι σχεδιαστές με τη χρήση ασαφών συστημάτων μπορούν να συνειδητοποιήσουν το χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης, τα μοναδικά χαρακτηριστικά και την καλύτερη απόδοση του τελικού προϊόντος. Επιπλέον, τα προϊόντα μπορούν να εισαχθούν στην αγορά πιο γρήγορα, πιο οικονομικά και με πιο αποδοτικό τρόπο.[4.11]

Από την άλλη, τα μειονεκτήματα της ασαφούς λογικής περιλαμβάνουν [4.2]:

- Δυσκολία στον καθορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής.
- Μικρότερη απόδοση από τα αντίστοιχα μοντέλα που χρησιμοποιούν ακριβή αναπαράσταση.
- Έλλειψη αυστηρού τρόπους εγκυρότητας.

4.2 Ασαφή Σύνολα

4.2.1 Ορισμός Ασαφούς Συνόλου

Το ασαφές σύνολο είναι ίσως η βασικότερη έννοια του οικοδομήματος της ασαφούς λογικής. Ο Zadeh (1965) παρατήρησε ότι ο παραδοσιακός τρόπος περιγραφής ενός συστήματος που στηρίζεται στην αυστηρή λογική και ορίζει πως μια κατάσταση μπορεί να έχει δύο μόνο μορφές, ύπαρξη ή απουσία, συνεπάγεται απώλεια πληροφορίας καθώς η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται. Αν υιοθετηθεί λοιπόν ο τρόπος περιγραφής ενός συστήματος με τον αυστηρά αριθμητικό τρόπο υπάρχουν δύο επιλογές:

- α) απλό μαθηματικό μοντέλο με απώλεια πληροφορίας ιδιαίτερα στις οριακές καταστάσεις,
- β) μη απώλεια πληροφορίας με πολύπλοκο μαθηματικό μοντέλο (καταστάσεις).

Ο Zadeh διατύπωσε αυτό το αδιέξοδο με την περίφημη *Αρχή Ασυμβατότητας*[4.12]:

...καθώς η πολυπλοκότητα ενός συστήματος αυξάνεται, η ικανότητα για ακριβείς και ταυτόχρονα σημαντικές δηλώσεις που αφορούν τη συμπεριφορά του μειώνεται και πέρα από ένα σημείο η ακρίβεια και η σημαντικότητα αποτελούν σχεδόν αμοιβαία αποκλειόμενα χαρακτηριστικά...

Ο Zadeh συνειδητοποίησε ότι ο πυρήνας του αδιεξόδου είναι ο δυαδικός τρόπος αναπαράστασης της πληροφορίας κατά τον οποίο μια τιμή μιας μεταβλητής είτε ανήκει είτε δεν ανήκει σε ένα υποσύνολο του πεδίου ορισμού της. Πρότεινε, λοιπόν, ένα διευρυμένο τρόπο αναπαράστασης όπου μια τιμή ανήκει ταυτόχρονα σε πολλά υποσύνολα, στο κάθε ένα με ένα βαθμό συμμετοχής. Κάθε τέτοιο υποσύνολο που περιλαμβάνει στοιχεία όπου κάθε ένα από αυτά έχει ένα βαθμό συμμετοχής στο υποσύνολο είναι το **ασαφές σύνολο**.

Ένα κλασικό σύνολο είναι ένα σύνολο με αυστηρά καθορισμένα όρια και βρίσκει ποικίλες εφαρμογές στην επιστήμη των μαθηματικών και των υπολογιστών. Ένα κλασικό σύνολο, έστω A , ορίζεται μέσω της χαρακτηριστικής συνάρτησης (characteristic function) [4.2]:

$$f_A(x) : X \rightarrow \{0,1\}$$

Όπου

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{αν } x \in A \\ 0, & \text{αν } x \notin A \end{cases}$$

με X να είναι ο κόσμος αναφοράς (universe of discourse) ή το σύνολο αναφοράς και x ένα στοιχείο αυτού. Ωστόσο, ένα τέτοιου είδους σύνολο δεν μπορεί να εξηγήσει τη

φυσική ανθρώπινη αντίληψη και σκέψη που τείνει να είναι ανακριβής και αφηρημένη.

Σε αντίθεση λοιπόν με το κλασικό σύνολο, ένα **ασαφές σύνολο (fuzzy set)** όπως μαρτυρά και το όνομα του είναι ένα σύνολο χωρίς καθορισμένα όρια. Αυτό σημαίνει ότι η ομαλή μετάβαση από την κατάσταση «ανήκω σε ένα σύνολο» στην κατάσταση «δεν ανήκω σε ένα σύνολο» είναι σταδιακή και χαρακτηρίζεται από συναρτήσεις συμμετοχής που δίνουν στα ασαφή σύνολα ευελιξία κατά την μοντελοποίηση κοινώς χρησιμοποιούμενων γλωσσικών χαρακτηρισμών.

Ο καθορισμός ενός ασαφούς συνόλου δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια απλή επέκταση ενός κλασικού συνόλου του οποίου η χαρακτηριστική συνάρτηση επιτρέπεται να παίρνει τις τιμές 1 ή 0 για την περίπτωση που το στοιχείο x ανήκει ή όχι στο σύνολο X , σε αντίθεση με το ασαφές σύνολο όπου μπορεί να παίρνει τιμές μεταξύ 0 ή 1.

Για παράδειγμα [4.13], ένα προϊόν A έχει μια τιμή, π.χ. 110€. Το αντίστοιχο προϊόν B από μια ανταγωνιστική εταιρία κάνει 100€. Η κλασική λογική καθορίζει ότι η πρόταση « $To A$ είναι ακριβότερο από το B » είναι αληθής. Η ασαφής λογική όμως ορίζει ότι η παραπάνω πρόταση είναι αληθής μεν, αλλά με κάποιο βαθμό αληθείας π.χ. αληθής κατά 20%. Ας θεωρήσουμε ότι δεν λαμβάνουμε υπ' όψιν μόνο την τιμή του προϊόντος αλλά και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία είναι εγγενώς υποκειμενικά όπως:

- η ποιότητα,
- η καλαισθησία,
- η χρηστικότητα κλπ.

Η κλασική λογική δεν μπορεί να κωδικοποιήσει τα παραπάνω χαρακτηριστικά γιατί δεν υπάρχει σαφής ποσοτικοποίηση τους, δηλαδή δεν μπορεί να πει ότι η «ποιότητα» είναι ίση με 5. Η ασαφής όμως λογική μπορεί να κάνει κάτι τέτοιο καθώς χρησιμοποιεί λεκτικές μεταβλητές οι οποίες διαχωρίζονται στο χώρο ορισμού της. Κάποιες φορές δεν έχει σημασία, λοιπόν, η ακριβής τιμή αλλά ένας ποιοτικός

χαρακτηρισμός. Έτσι, η ασαφής λογική δημιουργεί την λεκτική μεταβλητή «τιμή» την οποία και διαχωρίζει σε κάποιες κατηγορίες, π.χ. στις εξής 5:

- «πολύ φτηνό»,
- «φτηνό»,
- «μέτριο»,
- «ακριβό»,
- «πολύ ακριβό»,

Κάθε κατηγορία είναι ένα «ασαφές σύνολο».

Είναι το προϊόν τελικά ακριβό ή φτηνό; Η ασαφής λογική απαντά ότι κατά 30% είναι «κανονικό» και κατά 5% «ακριβό». Η κλασική λογική δεν μπορεί να δώσει απάντηση.

Ένα **ασαφές σύνολο** (fuzzy set), λοιπόν, έστω A ορίζεται μέσω της συνάρτησης συμμετοχής [2,7,14]:

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

Όπου:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{αν } x \text{ ολικά στο } A \\ 0 & \text{αν } x \text{ καθόλου στο } A \\ (0,1) & \text{αν } x \text{ μερικώς στο } A \end{cases}$$

Το $\mu_A(x)$ είναι ένας πραγματικός αριθμός ($0 \leq \mu_A(x) \leq 1$) που παριστάνει τον βαθμό στον οποίο το x είναι στοιχείο του A και ονομάζεται **βαθμός συμμετοχής** (degree of

membership) ή βαθμός αλήθειας (degree of truth) ή τιμή συμμετοχής (membership value).

Έτσι, το ασαφές σύνολο [4.7,4.15],

- όταν το X είναι ένα σύνολο διακριτών αντικειμένων ορίζεται ως :

$$A = \sum_{x_i \in X} \mu_A(x_i) / x_i$$

- όταν το X είναι ένα συνεχές διάστημα ορίζεται ως :

$$A = \int_X \mu_A(x) / x$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα σύμβολα του αθροίσματος και της ολοκλήρωσης στις παραπάνω εξισώσεις έχουν νόημα για την ένωση των ζευγών και δεν υποδηλώνουν άθροισμα ή ολοκλήρωμα. Όπως και το σύμβολο «/» , δεν υποδηλώνει διαίρεση.

Η περιγραφή μιας μεταβλητής x με λεκτικούς όρους ονομάζεται διαμερισμός της μεταβλητής και η περιγραφή μιας αυστηρά αριθμητικής τιμής με λεκτικούς όρους όπως για παράδειγμα η ταχύτητα των 32 km/h ονομάζεται «ασαφοποίηση» (*fuzzyfication*) της crisp τιμής [4.24].

Στο σημείο αυτό [4.24], θα πρέπει να τονιστεί κάτι που συγχέεται συχνά ακόμα και από έμπειρους χρήστες της ασαφούς λογικής και αποτελεί το σημείο στο οποίο διαχωρίζεται η ασαφής λογική από τη στατιστική ανάλυση. Ένα ασαφές σύνολο εκφράζει κατανομή δυνατότητας (*possibility distribution*) και ένας βαθμός συμμετοχής μιας τιμής σε ένα ασαφές σύνολο αποτελεί το βαθμό βεβαιότητας (*degree of certainty*) ότι η πρόταση που διατυπώνουμε είναι αληθής (π.χ η ταχύτητα

των 32 km/h είναι μικρή. Βεβαιότητα: 40%) και όχι κατανομή πιθανότητας (probability distribution). Για την αποσαφήνιση της εννοιολογικής διαφοράς μεταξύ πιθανότητας και βεβαιότητας αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία το παράδειγμα με τα δέκα αυγά. Σύμφωνα με το παράδειγμα αυτό, η πιθανότητα κάποιος στο πρωινό του να έχει φάει δέκα αυγά είναι μικρή αντίθετα η βεβαιότητα ότι ο άνθρωπος μπορεί να φάει δέκα αυγά είναι μεγάλη.

4.2.2 Τύποι Συναρτήσεων Συμμετοχής

Όπως προαναφέρθηκε, η συνάρτηση συμμετοχής (Membership Function) ενός ασαφούς συνόλου επιτρέπεται να παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν τον βαθμό της συμμετοχής ενός στοιχείου στο δοθέν σύνολο. Ένα ασαφές σύνολο χαρακτηρίζεται πλήρως από τη συνάρτηση συμμετοχής του, ο καθορισμός της οποίας είναι υποκειμενικός. Έτσι, διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις συναρτήσεων συμμετοχής [4.14] :

□ Συναρτήσεις Συμμετοχής Με Μια Μόνο Είσοδο.

➤ Τριγωνική Συνάρτηση Συμμετοχής

Η μορφή αυτή Συνάρτησης Συμμετοχής, ορίζεται από τρεις παραμέτρους {a,b,c} (με $a < b < c$) που καθορίζουν τις συντεταγμένες x των τριών γωνιών του τριγώνου της ως εξής :

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b. \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c. \\ 0, & c \leq x. \end{cases}$$

➤ Τραπεζοειδής Συνάρτηση Συμμετοχής

Η μορφή αυτή Συνάρτησης Συμμετοχής, ορίζεται από τέσσερις παραμέτρους $\{a, b, c, d\}$ (με $a < b \leq c < d$) που καθορίζουν τις x συντεταγμένες των τεσσάρων γωνιών της.

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b. \\ 1, & b \leq x \leq c. \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d. \\ 0, & d \leq x. \end{cases}$$

➤ Γκαουσιανή Συνάρτηση Συμμετοχής

Η μορφή αυτή Συνάρτησης Συμμετοχής, ορίζεται από δύο παραμέτρους $\{c, \sigma\}$ όπου το c είναι το κέντρο της ΣΣ και σ είναι το πλάτος της.

$$\text{gaussian}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2}.$$

Η Γκαουσιανή και η καμπάνα μπορούν να χρησιμοποιούνται συχνά στα ασαφή σύνολα λόγω της ομαλότητάς τους. Έχουν δε το πλεονέκτημα να διατηρούν μη μηδενικές τιμές σε όλα τα σημεία.

➤ Γενικευμένη Συνάρτηση Συμμετοχής

Η μορφή αυτή Συνάρτησης Συμμετοχής, καθορίζεται από τρεις παραμέτρους $\{a, b, c\}$:

$$\text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}},$$

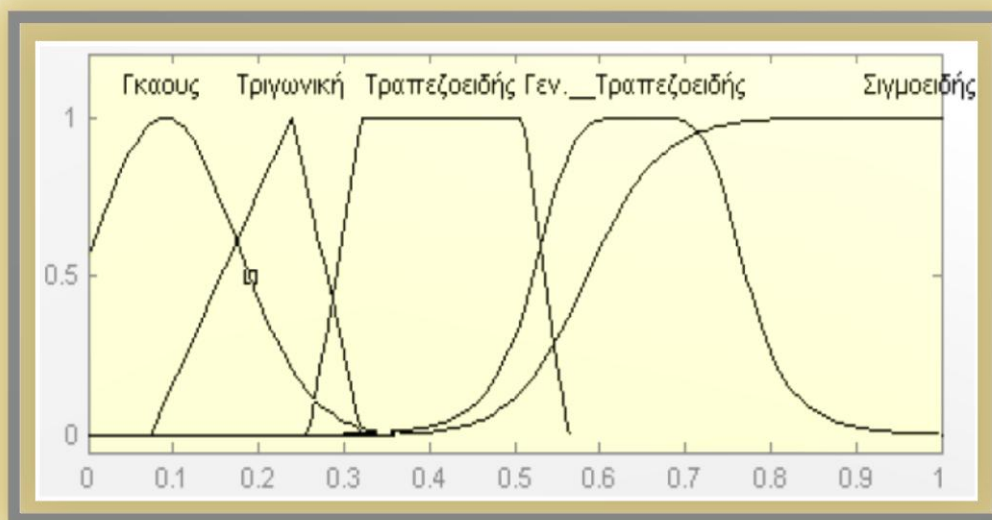
Η παράμετρος b είναι συνήθως θετική, διαφορετικά το σχήμα της συνάρτησης συμμετοχής είναι μια ανάποδη καμπάνα.

➤ Σιγμοειδής (Sigmoidal) Συνάρτηση Συμμετοχής

Η μορφή αυτή Συνάρτησης Συμμετοχής, καθορίζεται από δύο μεταβλητές όπου το a ελέγχει την κλίση στο σημείο συνάντησης $x=c$:

$$\text{sig}(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - c)]},$$

Ανάλογα με την τιμή που θα πάρει το a , η σιγμοειδής συνάρτηση συμμετοχής είναι ανοιχτή προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά και επομένως είναι κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί στην αναπαράσταση εννοιών όπως «πολύ μεγάλο» ή «πολύ μικρό». Οι συναρτήσεις αυτής της μορφής χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως συναρτήσεις ενεργοποίησης (activation function) των τεχνητών νευρωνικών δικτύων.



Σχήμα 1: Διάφοροι τύποι συναρτήσεων συμμετοχής.

Η τελευταία περίπτωση (σιγμοειδής συνάρτηση συμμετοχής) ονομάζεται αυστηρό ή crisp ασαφές σύνολο και είναι ένα εκφυλισμένο ασαφές σύνολο. Προσοχή όμως γιατί η συνάρτηση συμμετοχής πρέπει να έχει συγκεκριμένες ιδιότητες προκειμένου να αναπαραστήσει ένα ασαφές σύνολο: Το πεδίο τιμών της πρέπει να είναι το σύνολο $[0,1]$ και πρέπει να είναι κυρτή (convex) (Σημείωση: Η συνάρτηση συμμετοχής δεν είναι κυρτή με την αυστηρά ορισμένη μαθηματική έννοια του όρου. Μπορεί να είναι γνήσια αύξουσα μέχρι την μεγαλύτερη τιμή της και μετά γνήσια φθίνουσα μέχρι το τέλος του πεδίου ορισμού της. [4.24])

➤ **Αριστερή-Δεξιά (L-R MF) Συνάρτηση Συμμετοχής**

Η μορφή αυτή Συνάρτησης Συμμετοχής, καθορίζεται από τρεις παραμέτρους $\{\alpha, \beta, c\}$ ως εξής:

$$LR(x; c, \alpha, \beta) = \begin{cases} F_L\left(\frac{c-x}{\alpha}\right), & x \leq c. \\ F_R\left(\frac{x-c}{\beta}\right), & x \geq c, \end{cases}$$

□ Συναρτήσεις Συμμετοχής Δυο Διαστάσεων

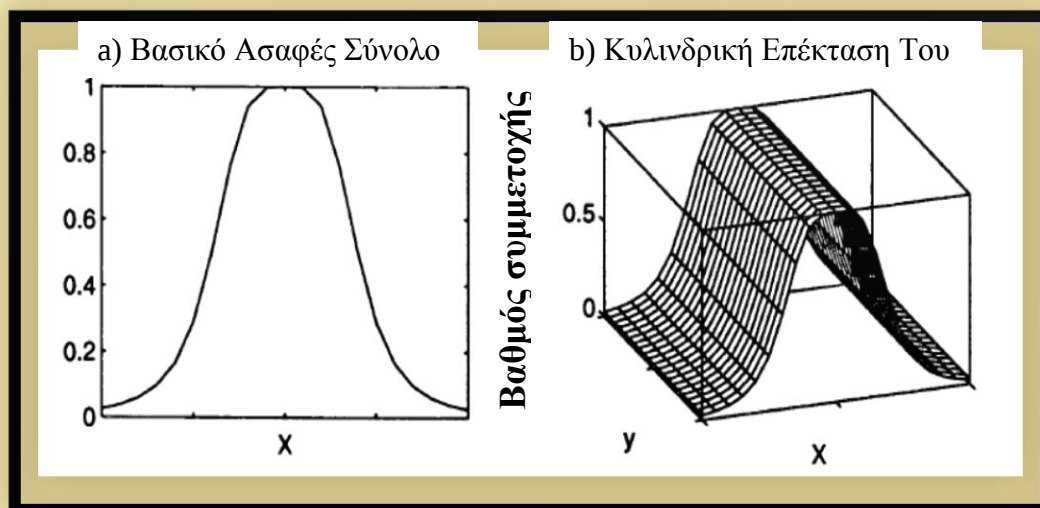
Ένας συνηθισμένος τρόπος για την μετατροπή μιας συνάρτησης συμμετοχής μιας διάστασης σε δυο διαστάσεων είναι με την εφαρμογή της κυλινδρικής επέκτασης.

➤ Κυλινδρική Επέκταση Μονοδιάστατου Ασαφούς Συνόλου

Εάν A είναι ένα ασαφές σύνολο στο X , τότε η κυλινδρική του επέκταση στο $X \times Y$ είναι ένα ασαφές σύνολο $c(A)$ που ορίζεται ως εξής :

$$c(A) = \int_{X \times Y} \mu_A(x) / (x, y).$$

Το Σχήμα 2 παρακάτω απεικονίζει την κυλινδρική επέκταση ενός συνόλου.



Σχήμα 2: α) Βασικό Σύνολο A .

β) Κυλινδρική Επέκταση Του A .

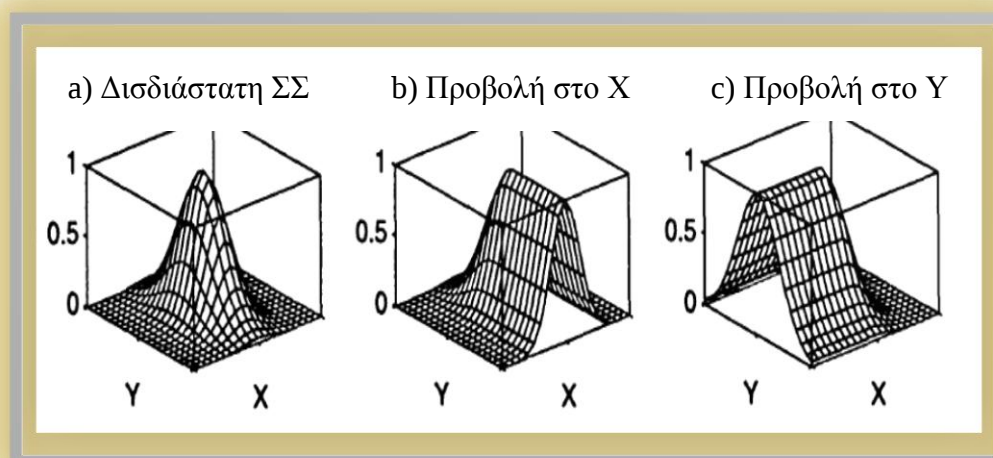
Από την άλλη, η λειτουργία της προβολής μειώνει τη διάσταση μιας δοθείσας συνάρτησης συμμετοχής.

➤ **Προβολή Ασαφών Συνόλων**

Έστω ότι R είναι ένα διδιάστατο ασαφές σύνολο στο $X \times Y$. Τότε οι προβολές του R πάνω στο X και Y ορίζονται ως εξής :

$$R_X = \int_X [\max_y \mu_R(x, y)] / x$$

$$R_Y = \int_Y [\max_x \mu_R(x, y)] / y,$$



Σχήμα 3: *a) Συνάρτηση Συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου R ,
b) Προβολή του στο X (R_x),
c) Προβολή του στο Y (R_y).*

Μιλώντας γενικά, μια συνάρτηση συμμετοχής δυο διαστάσεων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε σύνθετη και μη. Εάν μπορεί να εκφραστεί σαν μια αναλυτική

έκφραση δυο συναρτήσεων συμμετοχής μιας διάστασης τότε ονομάζεται συνθετική διαφορετικά μη συνθετική.

4.2.3 Ιδιότητες Ασαφούς Συνόλου

Στο σημείο αυτό θα γίνει αναφορά σε κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των ασαφή συνόλων.[4.2,4.7,4.14-4.16]

➤ ΥΠΕΡΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το σύνολο στο οποίο παίρνει τιμές η κάθε είσοδος αναφέρεται ως το **Υπερσύνολο Αναφοράς** (universe of discourse) του ασαφούς συνόλου.

➤ ΣΥΝΟΛΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Το σύνολο των στοιχείων του X που έχουν μη μηδενικό βαθμό συμμετοχής στο A , δηλαδή $\mu_A(x) > 0$, ονομάζεται **Σύνολο Στήριξης (support set)** του ασαφούς συνόλου A .

$$\text{support}(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\}.$$

➤ ΠΥΡΗΝΑΣ

Το σύνολο των στοιχείων του X που έχουν βαθμό συμμετοχής στο A ίσο με τη μονάδα, δηλαδή $\mu_A(x) = 1$, ονομάζεται **Πυρήνας (core)** του ασαφούς συνόλου A .

$$\text{core}(A) = \{x | \mu_A(x) = 1\}.$$

➤ **ΣΗΜΕΙΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ (Crossover)**

Ένα σημείο διασταύρωσης ενός ασαφούς συνόλου A είναι ένα σημείο-στοιχείο $x \in X$ για το οποίο ισχύει $\mu_A(x) = 0.5$.

$$\text{crossover}(A) = \{x | \mu_A(x) = 0.5\}.$$

➤ **ΥΨΟΣ (Height)**

Ύψος ασαφούς συνόλου ονομάζεται η μέγιστη τιμή της συνάρτησης συμμετοχής. Ένα κανονικό ασαφές σύνολο έχει ύψος 1 ενώ ένα ασαφές σύνολο με ύψος μικρότερο του 1 ονομάζεται υποκανονικό.

➤ **OPIA (boundaries)**

Τα σημεία του πεδίου ορισμού του ασαφούς συνόλου για τα οποία ισχύει $0 < \mu_x < 1$, ονομάζονται όρια του συνόλου.

➤ **KANONIKOTHTA**

Κανονικό ασαφές σύνολο (normal fuzzy set) ονομάζεται το ασαφές σύνολο για το οποίο υπάρχει τουλάχιστον μια τιμή στο πεδίο ορισμού του με βαθμό συμμετοχής

μονάδα. Με άλλα λόγια μπορούμε πάντα να βρούμε ένα στοιχείο $x \in X$ τέτοιο ώστε $\mu_A(x) = 1$.

$$\exists x_1 : \dots \mu_A(x_1) = 1$$

➤ ΚΥΡΤΟΤΗΤΑ (Convexity)

Ένα ασαφές σύνολο A είναι κυρτό αν και μόνο αν για κάθε x_1, x_2 και κάθε $\lambda \in [0, 1]$ ισχύει:

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)\}.$$

Το **κυρτό ασαφές σύνολο** (convex fuzzy set) έχει μονότονα αύξουσα ή μονότονα φθίνουσα συνάρτηση συμμετοχής.

➤ ΑΣΑΦΕΙΣ ΑΡΙΘΜΟΙ

Ένας ασαφής αριθμός είναι ένα ασαφές σύνολο στην πραγματική αράδα ($\mathbb{R}$) που ικανοποιεί τις συνθήκες ομαλότητας και κυρτότητας.

➤ ΑΣΑΦΕΣ ΔΥΝΑΜΟΣΥΝΟΛΟ

Το σύνολο όλων των ασαφών υποσυνόλων του X ονομάζεται **Ασαφές δυναμοσύνολο** $F(X)$.

➤ ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ

Το σύνολο A είναι υποσύνολο του B $A \subseteq B$ αν και μόνο αν:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x \in X$$

Σε περίπτωση που τα A και B δεν είναι ίσα ταυτόχρονα, τότε το A ονομάζεται **γνήσιο υποσύνολο** του B.

➤ ΚΕΝΟ ΑΣΑΦΕΣ ΣΥΝΟΛΟ

Κενό ονομάζεται ένα ασαφές σύνολο αν για κάθε στοιχείο x που ανήκει στο X η συνάρτηση συμμετοχής του A είναι μηδέν.

$$\mu_A(x) = 0 \cdots \forall x \in X$$

➤ ΙΣΟΤΗΤΑ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ

Δύο ασαφή σύνολα A και B λέγονται ίσα αν για κάθε στοιχείο x του X οι συναρτήσεις συμμετοχής των δυο συνόλων αυτών είναι ίσες:

$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \cdots \forall x \in X$$

Κάποιες βασικές ιδιότητες που έχουν τα ασαφή σύνολα είναι και οι παρακάτω:

➤ **ΑΝΤΙΜΕΤΑΘΕΤΙΚΟΤΗΤΑ**

$$\begin{aligned}A \cap B &= B \cap A \\ A \cup B &= B \cup A\end{aligned}$$

➤ **ΠΡΟΣΕΤΑΙΡΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**

$$\begin{aligned}A \cap (B \cap C) &= (A \cap B) \cap C \\ A \cup (B \cup C) &= (A \cup B) \cup C\end{aligned}$$

➤ **ΕΠΙΜΕΡΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**

$$\begin{aligned}A \cup (B \cap C) &= (A \cup B) \cap (A \cup C) \\ A \cap (B \cup C) &= (A \cap B) \cup (A \cap C)\end{aligned}$$

➤ **ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**

$$A \cap A = A, \quad A \cup A = A$$

➤ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ

$$\begin{aligned} A \cap \emptyset &= \emptyset, & A \cap X &= A \\ A \cup \emptyset &= A, & A \cup X &= X \end{aligned}$$

➤ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ

$$\neg(\neg A) = A$$

➤ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

$$A \subset B \text{ και } B \subset C \text{ τότε } A \subset C$$

➤ NOMOI DE MORGAN

$$\begin{aligned} \neg(A \cap B) &= \neg A \cup \neg B \\ \neg(A \cup B) &= \neg A \cap \neg B \end{aligned}$$

4.2.4 Λογικές Πράξεις Με Ασαφή Σύνολα

Οι πράξεις που εφαρμόζονται πιο συχνά σε ασαφή σύνολα [4.2,4.16-4.17] είναι η τομή, η ένωση και το συμπλήρωμα με τη χρήση των τελεστών $\min$, $\max$, $1-A$ αντίστοιχα.

Συγκεκριμένα, η **Τομή** δύο ασαφών συνόλων A, B μπορεί να παρασταθεί από μια συνάρτηση $T: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ η οποία αθροίζει τις δύο συναρτήσεις συμμετοχής ως εξής:

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \tilde{*} \mu_B(x)$$

Όπου $\tilde{*}$ είναι ένας δυαδικός τελεστής της συνάρτησης T .

Η εναλλακτικά ως εξής :

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

Αυτού του είδους οι τελεστές τομής αναφέρονται συνήθως ως T -νόρμες (τριγωνική νόρμα) και πρέπει να ικανοποιούν τα παρακάτω:

➤ **Οριακές συνθήκες:**

$$T(0, 0) = 0, T(a, 1) = T(1, a) = a$$

➤ **Μονοτονία:**

$$T(a, b) \leq T(c, d) \text{ if } a \leq c \text{ and } b \leq d$$

➤ **Αντιμεταθετικότητα:**

$$T(a, b) = T(b, a)$$

➤ **Προσεταιριστικότητα:**

$$T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$$

Ομοίως, η Ένωση ασαφών συνόλων προσδιορίζεται από μια δυαδική απεικόνιση S .

$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \tilde{+} \mu_B(x)$$

Όπου $\tilde{+}$ ένας δυαδικός τελεστής της συνάρτησης S .

Η εναλλακτικά ως εξής :

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$$

Οι ασαφείς τελεστές Ένωσης αναφέρονται συνήθως ως S -νόρμες και πρέπει να πληρούν τα παρακάτω:

➤ **Οριακές συνθήκες, boundary:**

$$S(1, 1) = 1, S(a, 0) = S(0, a) = a$$

➤ **Μονοτονία, monotonicity:**

$$S(a, b) \leq S(c, d) \text{ if } a \leq c \text{ and } b \leq d$$

- **Αντιμεταθετικότητα, commutativity:**

$$S(a, b) = S(b, a)$$

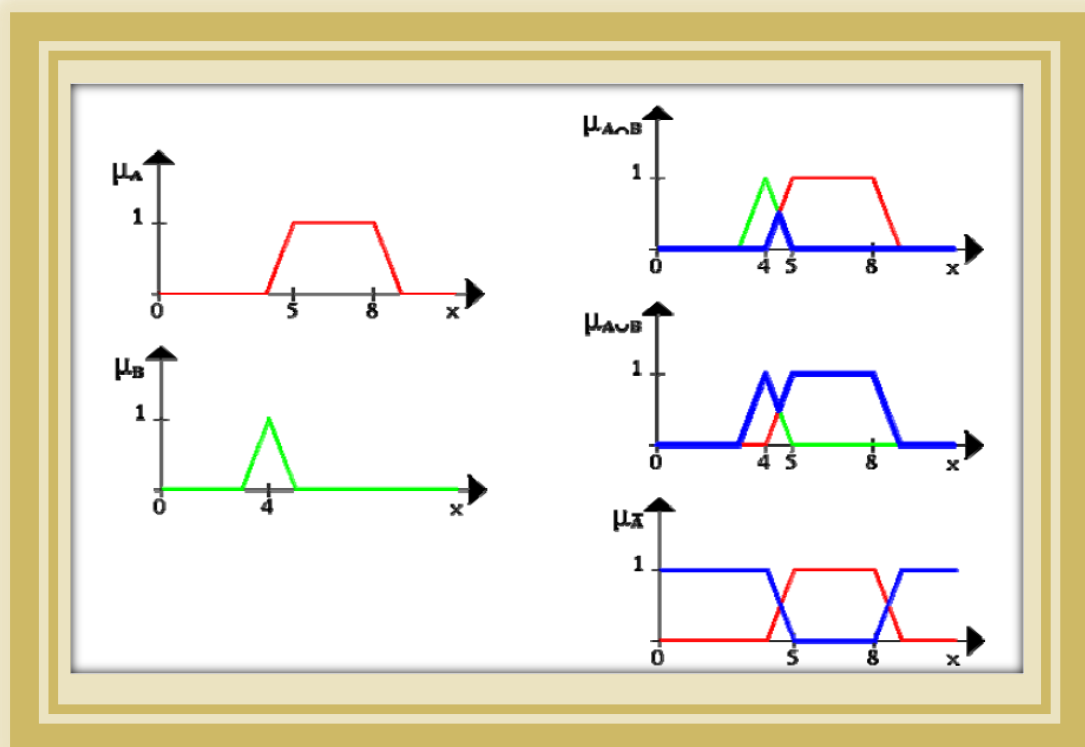
- **Προσεταιριστικότητα, associativity:**

$$S(a, S(b, c)) = S(S(a, b), c)$$

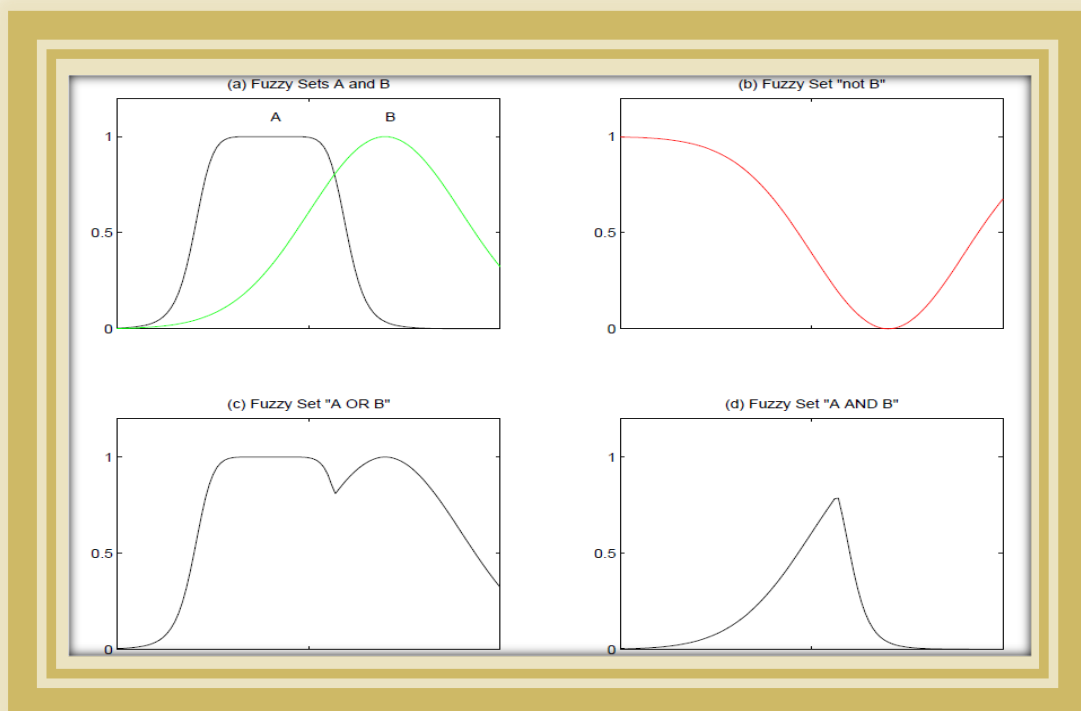
Τέλος, το **Συμπλήρωμα** ενός ασαφούς συνόλου δίνεται από τη σχέση:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά η τομή, ένωση και το συμπλήρωμα δυο ασαφών συνόλων A,B. [4.17]



α)



β)

Σχήμα 4.α), β): Οι πράξεις της τομής, ένωσης και συμπληρώματος σε ασαφή σύνολα γραφικά.

Συνοψίζοντας, οι πράξεις σε ασαφή σύνολα έχουν ως εξής [4.2]:

Συμπλήρωμα A: $\neg A$, $\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X$
(Κατά πόσο τα στοιχεία δεν ανήκουν στο A)

Υποσύνολο A: $B \subseteq A$, $\mu_B(x) \leq \mu_A(x) \quad \forall x \in X$
(Ποιά σύνολα ανήκουν σε άλλα σύνολα)

Τομή A, B: $A \cap B$, $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad \forall x \in X$
(Κατά πόσο ένα στοιχείο βρίσκεται και στα δύο σύνολα)

Ένωση A, B: $A \cup B$, $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad \forall x \in X$
(Κατά πόσο ένα στοιχείο βρίσκεται σ' ένα από τα δύο σύνολα)

4.3 Ασαφείς Κανόνες Και Ασαφής Συλλογιστική

4.3.1 Ασαφείς Κανόνες (Fuzzy Rules)

Τα ανθρώπινα όντα [4.18] λαμβάνουν αποφάσεις που βασίζονται σε κανόνες. Αν και εμείς μπορεί να μη το γνωρίζουμε, όλες οι αποφάσεις που παίρνουμε βασίζονται σε υπολογισμούς της μορφής ‘εάν-τότε (if-then)’. Αν ο καιρός είναι καλός, τότε μπορεί να αποφασίσουμε να πάμε έξω. Εάν η πρόγνωση λέει ότι ο καιρός θα είναι κακός σήμερα αλλά καλός αύριο, τότε παίρνουμε την απόφαση να μην πάμε σήμερα και το αναβάλλουμε για αύριο. Οι κανόνες συνδέουν ιδέες και συσχετίζουν το ένα γεγονός με το άλλο.

Οι ασαφείς μηχανές [4.18] πάντα έχουν την τάση να μιμούνται τη συμπεριφορά του ανθρώπου και να εργάζονται με τον ίδιο τρόπο. Ωστόσο, η απόφαση και τα μέσα για την επιλογή της εν λόγω απόφασης αντικαθίστανται από τα ασαφή σύνολα και οι κανόνες από κανόνες ασαφούς λογικής. Οι ασαφείς κανόνες λειτουργούν χρησιμοποιώντας μια σειρά ‘εάν-τότε (if-then)’ δηλώσεων και αποτελούν τη βασική ιδέα στην λογική της ασάφειας. Για παράδειγμα, αν X τότε A ή αν y τότε b όπου A και B είναι όλα τα σύνολα των X και Y .

Εννοιολογικά, ο ασαφής κανόνας είναι ένας μηχανισμός αναπαράστασης της γνώσης που μιμείται τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης. Τα ασαφή σύνολα που εκφράζουν λεκτικούς όρους συνδυάζονται μεταξύ τους και δημιουργούν ασαφείς κανόνες που αναπαριστούν τη γνώση που έχουμε για το σύστημα. Οι ασαφείς κανόνες είναι υποθετικές προτάσεις οι οποίες περιγράφονται από την παρακάτω μορφή [4.16,4.19]:

if x is A then y is B ,

Όπου A και B ασαφή σύνολα, x είναι η τιμή μιας μεταβλητής εισόδου η οποία ασαφοποιείται (fuzzyfication) αποκτά δηλαδή ένα βαθμό συμμετοχής στο ασαφές σύνολο A και y είναι η έξοδος του συστήματος που εκφράζει την απόφαση του κανόνα και παρέχεται από το μηχανισμό του συμπεράσματος (inference) σε ασαφή μορφή. Στη συνέχεια, το ασαφές συμπέρασμα αποσαφηνίζεται με το μηχανισμό της απο-ασαφοποίησης (defuzzyfication) και προκύπτει μια crisp τιμή που είναι το τελικό αριθμητικό συμπέρασμα που μπορεί να χειριστεί η υπολογιστική μηχανή ή ένα αισθητήριο. Τα στάδια αυτά θα τα μελετήσουμε λεπτομερώς στη συνέχεια.

Οι ασαφείς κανόνες γενικά περιγράφονται ως εξής:

IF <Ασαφής Πρόταση> THEN <Ασαφής Πρόταση>

- Το αριστερό τμήμα του ασαφούς κανόνα, «IF x is A », λέγεται τμήμα υπόθεσης (*premise part*, *IF-part*) και περιλαμβάνει την υπόθεση ή το προαπαιτούμενο του κανόνα (*precondition*).
- Το δεξιό τμήμα του ασαφούς κανόνα, «THEN y is B », είναι το τμήμα απόδοσης ή απόφασης (*consequent part*, *THEN-part*) και περιλαμβάνει την απόδοση ή το συμπέρασμα του κανόνα (*conclusion*).

Στην πραγματικότητα, ο ασαφής κανόνας ορίζει μια ασαφή σχέση μεταξύ των μεταβλητών x, y . Υπάρχουν δυο τρόποι για την ερμηνεία του ασαφούς κανόνα $A \rightarrow B$. Εάν τον ερμηνεύσουμε ως το A ζευγαρώνει με το B (coupled), τότε:

$$R = A \rightarrow B = A \times B = \int \mu_A(x) * \mu_B(y) | (x, y)$$

Διαφορετική ερμηνεία, το A περιέχει (entails) το B οπότε μπορεί να γραφτεί με τέσσερις διαφορετικές μορφές [4.19]:

➤ Material implication

$$R = A \rightarrow B = \neg A \cup B.$$

➤ Propositional calculus

$$R = A \rightarrow B = \neg A \cup (A \cap B).$$

➤ Extended propositional calculus

$$R = A \rightarrow B = (\neg A \cap \neg B) \cup B.$$

➤ Generalization of modus ponens (GMP)

Ο τροποποιημένος (ασαφής) κανόνας Modus Ponens (MP) που αναφέρεται και ως **Generalized Modus Ponens (GMP)** (γενικευμένος κανόνας του θέτειν) έχει την ακόλουθη δομή:

$$\mu_R(x, y) = \sup\{c \mid \mu_A(x) \tilde{*} c \leq \mu_B(y) \text{ and } 0 \leq c \leq 1\},$$

Μάλιστα, ο κανόνας Modus Ponens (MP) ή κανόνας του θέτειν αφορά μια από τις κυριότερες λογικές ταυτολογίες στις οποίες ανάγονται και όλες οι υπόλοιπες και στις οποίες στηρίζεται η κλασική λογική. Συγκεκριμένα, ο κανόνας **Modus ponens**(**Κανόνας του Θέτειν**) ορίζεται ως εξής:

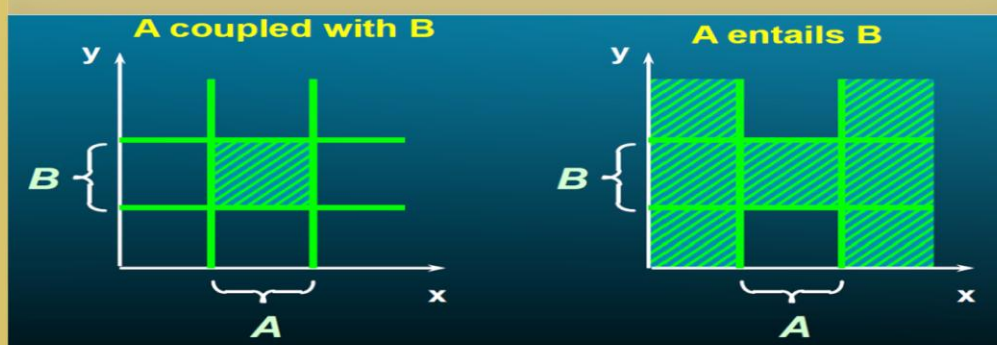
$$\{A \wedge (A \rightarrow B)\} \rightarrow B \text{ (Κανόνας του Θέτειν)}$$

Ο κανόνας αυτός εμπεριέχει την έννοια της κατάφασης δηλωμένη ως εξής:

Δεδομένου ότι η A είναι αληθής και ότι η A συνεπάγεται τη B, τότε και η B είναι επίσης αληθής.

Η παραπάνω πρόταση δεν σημαίνει και το αντίθετο ότι δηλαδή η B συνεπάγεται την A. Επεκτείνοντας, λοιπόν, τον κανόνα modus ponens ώστε να συμπεριλάβει και τα ασαφή σύνολα, προκύπτει ο γενικευμένος κανόνες του θέτειν ο λεγόμενος **Generalized Modus Ponens (GMP)**.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5) φαίνονται οι δυο περιπτώσεις ερμηνείας ενός ασαφούς κανόνα $A \rightarrow B$.



Σχήμα 5: α) το A ζευγαρώνει με το B (A coupled with B)

b) το A περιέχει το B (A entails B)

4.3.1.1 Τύποι Ασαφών Κανόνων

Η ασαφής σχέση ' $A \rightarrow B$ ' αναφέρεται συχνά σαν σχέση συμπερασμού. Η σχέση συμπερασμού συσχετίζει το βαθμό εκπλήρωσης της υπόθεσης με το βαθμό του συμπεράσματος. Σε αυτή τη φάση, θεωρούμε ότι ο κανόνας περιλαμβάνει μόνο μια μεταβλητή στο τμήμα υπόθεσης και απόδοσης καθώς επίσης ότι τα ασαφή σύνολα A , B είναι απλοί και όχι σύνθετοι λεκτικοί όροι. Ωστόσο, σύνθετοι ασαφείς κανόνες είναι δυνατόν να προκύψουν με τρεις τρόπους :

- όταν το τμήμα υπόθεσης περιλαμβάνει περισσότερες από μια ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. x, y),
- όταν το τμήμα συμπερασμού είναι μια πολυωνυμική συνάρτηση ως προς τις μεταβλητές εισόδου x, y ,
- όταν το τμήμα συμπερασμού περιλαμβάνει περισσότερες από μια ανεξάρτητες μεταβλητές.

Έτσι, ένας ασαφής κανόνας μπορεί να πάρει και άλλες μορφές εκτός από αυτήν που παρουσιάστηκε και παραπάνω.

if x is A then y is B ,

Ο παραπάνω κανόνας του οποίου η έξοδος είναι ένα ασαφές σύνολο ονομάζεται κανόνας τύπου **mamdani** προς τιμή του Ebrahim Mamdani που ήταν από τους πρώτους που εφάρμοσε την ασαφή λογική για να κατασκευάσει ένα ασαφές σύστημα αυτόματου έλεγχου της ταχύτητας μιας ατμομηχανής.

Άλλοι κύριοι χαρακτηριστικοί τύποι ασαφών κανόνων είναι οι εξής [4.20]:

➤ **Τύπου (Sugeno-Takagi) [4.21,4.22]**

Είναι ένας κανόνας της μορφής:

If x is A then y is c

Όπου το 'c' είναι αριθμός ή ένα *crisp* ασαφές σύνολο.

➤ **Τύπου Takagi-Sugeno-Kang [4.23]**

Πρόκειται για μια επέκταση του παραπάνω κανόνα και είναι ένας από τους κυριότερους τύπους ασαφούς κανόνα.

If x is A then y is $c_0 + c_1 x$

Όπου $c_0, c_1 \in \mathbb{R}$.

4.3.2 Ασαφής Συλλογιστική

Ο όρος 'Ασαφής Συλλογιστική' αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία σχηματίζεται η απεικόνιση από μια δεδομένη είσοδο σε μια έξοδο χρησιμοποιώντας τις αρχές της ασαφούς λογικής και θέτει τις βάσεις με τις οποίες μπορεί να ληφθεί μια απόφαση. Η διαδικασία της ασαφούς συλλογιστικής περιλαμβάνει τις συναρτήσεις συμμετοχής, τους ασαφείς λογικούς τελεστές και τους ασαφείς κανόνες.

Η ασαφής συλλογιστική (fuzzy reasoning), γενικά, ορίζεται ως εξής :

Έστω A, A' και B ασαφή σύνολα ορισμένα στα υπερσύνολα αναφοράς X, X και Y αντίστοιχα. Υποθέτουμε ότι η ασαφής συνεπαγωγή 'A→B' εκφράζεται σαν μια ασαφής σχέση R στο $X \times Y$. Τότε το ασαφές σύνολο B' που προκύπτει σαν συμπέρασμα του γεγονότος «x είναι το A'» και του ασαφή κανόνα «εάν το x είναι A, τότε το y είναι B» καθορίζεται ως εξής :

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B).$$

Η ισοδύναμα:

$$\mu_{B'}(y) = \max_x \min [\mu_{A'}(x), \mu_R(x, y)]$$

Το σύμβολο $\circ$ συμβολίζει τον τελεστή σύνθεσης max-min και είναι αυτός που χρησιμοποιείται συχνότερα σε συνδυασμό με τον κανόνα ελαχίστου Mamdani.

Έτσι έχουμε :

$$\mu_{B'}(y) = \left[\bigvee_x (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x)) \right] \wedge \mu_B(x)$$

Αρχικά, λοιπόν, βρίσκουμε το w που είναι το μέγιστο της τομής των συναρτήσεων συμμετοχής των A , A' και στη συνέχεια η συνάρτηση συμμετοχής του B' είναι το ελάχιστο ανάμεσα στην $\mu_B(x)$ και το w . Μάλιστα, αυτή η διαδικασία μπορεί να γενικευτεί και σε άλλες μορφές ασαφών κανόνων.

Παρακάτω παραθέτουμε διάφορες μορφές ασαφών κανόνων και πως εφαρμόζεται ο μηχανισμός ασαφούς συλλογιστικής σε κάθε περίπτωση γραφικά [4.14, 4.24]:

- **Μονός Κανόνας Με Μια Προϋπόθεση (single rule with single antecedent)**

Κανόνας : if x is A then y is B

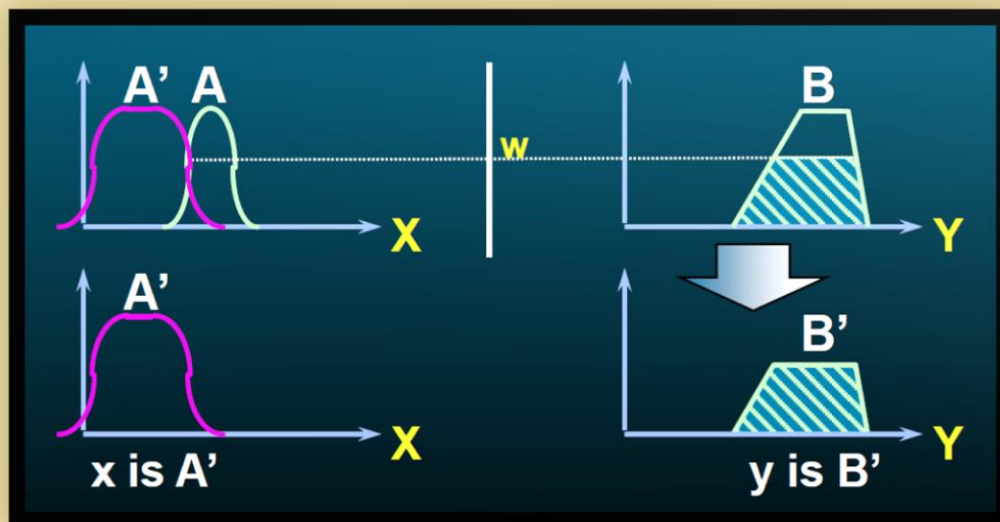
Πραγματικότητα-Προϋπόθεση: x is A'

Συμπέρασμα: y is B'

Είναι η πιο απλή περίπτωση και εκφράζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}\mu_{B'}(y) &= [\forall_x (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x))] \wedge \mu_B(y) \\ &= w \wedge \mu_B(y).\end{aligned}$$

Στο Σχήμα 6, δίνεται η ασαφής συλλογιστική για αυτήν τη μορφή ασαφούς κανόνα.



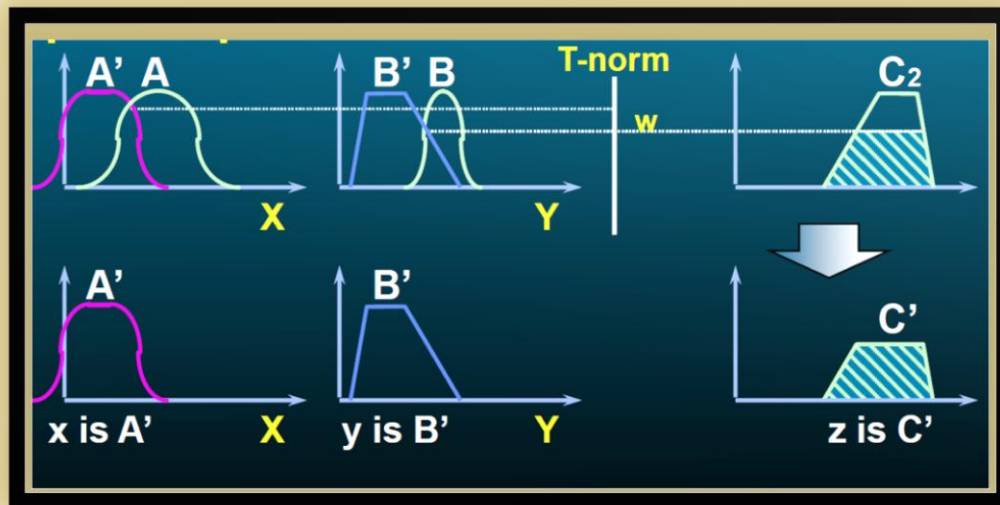
Σχήμα 6: Η Ασαφής Συλλογιστική στην περίπτωση μονού κανόνα με μια μόνο προϋπόθεση.

➤ **Μονός Κανόνας Με Πολλαπλές Προϋποθέσεις (single rule with multiple antecedents)**

Κανόνας : if x is A and y is B then z is C

Πραγματικότητα-Προϋπόθεση: x is A' and y is B'

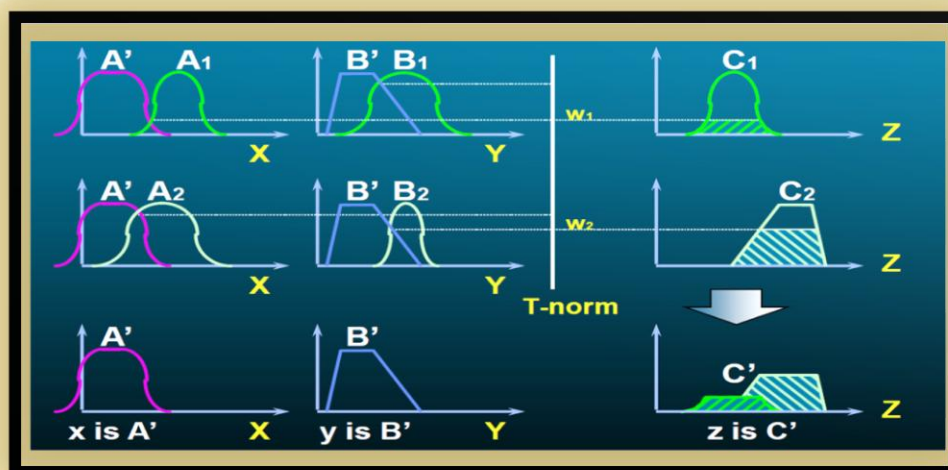
Συμπέρασμα: z is C'



➤ **Πολλαπλοί Κανόνες Με Πολλαπλές Υποθέσεις (Multiple Rules with Multiple Antecedents)**

Η ερμηνεία πολλαπλών κανόνων συχνά είναι η ένωση ασαφών σχέσεων και εκφράζεται ως εξής :

Rule 1: if x is A₁ and y is B₁ then z is C₁
 Rule 2: if x is A₂ and y is B₂ then z is C₂
 Fact: x is A' and y is B'
 Conclusion: z is C'



Σχήμα 8: Η Ασαφής Συλλογιστική στην περίπτωση πολλαπλών κανόνων και πολλαπλών προϋποθέσεων.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, η ασαφής συλλογιστική βασίζεται στην εφαρμογή του κανόνα ελαχίστου Mamdani για τον προσδιορισμό της συνάρτησης συμμετοχής που αντιστοιχεί στα τελικά ασαφή σύνολα από τα οποία θα προκύψει και το τελικό συμπέρασμα του εκάστοτε κανόνα. Η μέθοδος ελαχίστου Mamdani και άλλες περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 4.4.3 όπου αναλύονται οι τεχνικές συνεπαγωγής, οι μέθοδοι δηλαδή για τον προσδιορισμό του τελικού ασαφές συνόλου.

4.4 Ασαφή συστήματα

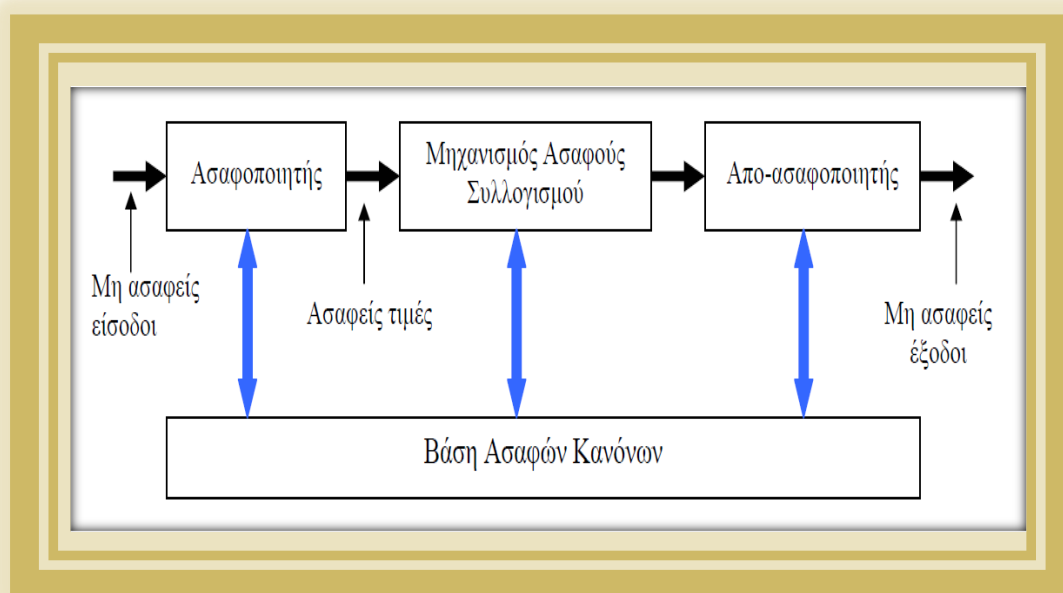
4.4.1 Γενικά Για Τα Ασαφή Συστήματα

Τα ασαφή συστήματα [4.5] μπορούν να λειτουργούν σε περιβάλλον ασάφειας και αβεβαιότητας και δίνουν αποτελέσματα που έχουν νόημα για τον άνθρωπο, πλησιάζουν δηλαδή την ανθρώπινη λογική. Αποτελούν ιδιαίτερα ιδανικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων. Ένας ασαφής σύστημα στην ουσία μπορεί να δημιουργηθεί κατά τέτοιον τρόπο ώστε να εμπεριέχει τις "ειδικές γνώσεις" που απαιτούνται για την εκτίμηση ενός αντικειμένου. Ουσιαστικά, η "ειδική γνώση" κωδικοποιείται μέσα στο

σύστημα ασαφούς λογικής. Για αυτό το λόγο τα ασαφή συστήματα λέγονται και «Έμπειρα συστήματα» (Expert systems). Η λογική τους αντιστοιχεί στην λογική «διαίρει και βασίλευε». Το μέλος της υπόθεσης (το αριστερό μέλος) του κανόνα καθορίζει μια τοπική ασαφή περιοχή ενώ το μέλος του συμπεράσματος (το δεξιό μέλος) περιγράφει την συμπεριφορά εντός της τοπικής περιοχής δια μέσου διαφόρων συνιστωσών. Η συνιστώσα μπορεί να είναι μια συνάρτηση συμμετοχής (Mamdani, Tsukamoto ασαφή συστήματα), μια σταθερή τιμή (Takagi-Sugeno μηδενικού βαθμού) ή μια γραμμική εξίσωση (Takagi-Sugeno πρώτου βαθμού). Άρα κανόνες με διαφορετικά δεξιά μέλη καταλήγουν σε διαφορετικά ασαφή συστήματα αν και μπορεί να έχουν το ίδιο μέλος υπόθεσης.

4.4.2 Δομή Ασαφών Συστημάτων

Η γενική αρχιτεκτονική (δομή) των ασαφών συστημάτων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα και περιλαμβάνει τέσσερις μονάδες [4.15,4.18]:



Σχήμα 9 : Δομή του ασαφούς συστήματος

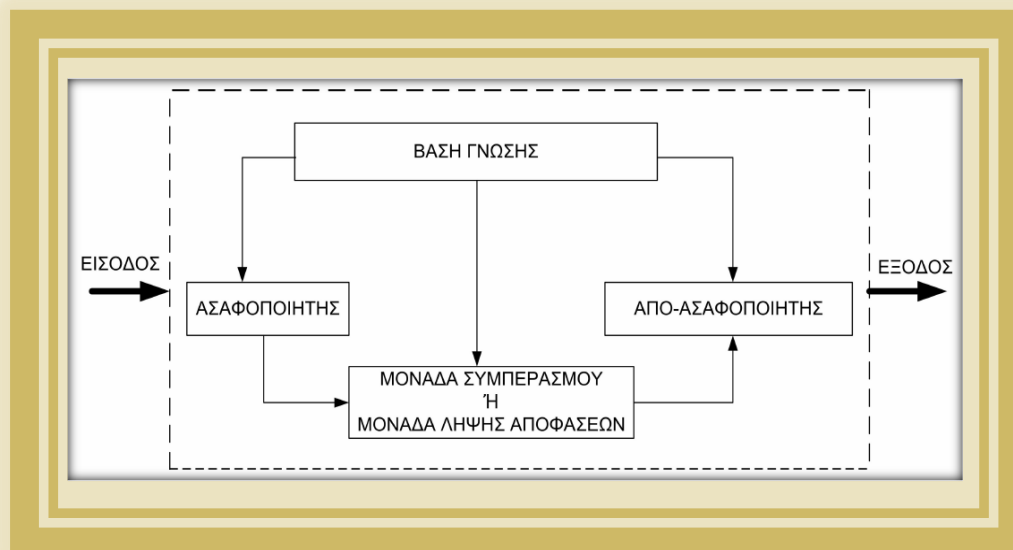
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 9, σε ένα ασαφές σύστημα διακρίνουμε τα εξής μέρη:

- ☐ Μια **βάση ασαφών κανόνων** που αποτελείται από μια συλλογή κανόνων της μορφής ‘IF-THEN’ (ασαφής βάση γνώσης).
- ☐ Μια **ασαφή συλλογιστική μηχανή** (μηχανισμό εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων).
- ☐ Μια **μονάδα ασαφοποίησης** που μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου σε ασαφή σύνολα.
- ☐ Μια **μονάδα απο-ασαφοποίησης** που μετατρέπει τα ασαφή συμπεράσματα σε συμπεράσματα με σαφώς καθορισμένη μορφή.

Πιο συγκεκριμένα:

- Η **ασαφής βάση γνώσης** περιέχει εκτός από τους ασαφείς (γλωσσικούς) κανόνες και ένα τμήμα βάσης αριθμητικών δεδομένων τα οποία απαιτούνται για τη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων.
- Η **ασαφής συλλογιστική μηχανή** αποτελεί τον πυρήνα του ασαφούς συστήματος και περιέχει τη λογική λήψης αποφάσεων.
- Η **μονάδα ασαφοποίησης** (ασαφοποιητής) εκτελεί τις παρακάτω εργασίες:
 - Μετράει (παραλαμβάνει) τις (μη ασαφείς) τιμές των εισόδων του συστήματος.
 - Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των τιμών εισόδου σε κατάλληλα υπερσύνολα αναφοράς.
 - Ασαφοποιεί τις εισερχόμενες τιμές των εισόδων, τις μετατρέπει δηλαδή σε ασαφή γλωσσική μορφή.
- Η **μονάδα απο-ασαφοποίησης** (από-ασαφοποιητής) εκτελεί τις εξής δύο εργασίες:
 - Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των μεταβλητών εξόδου σε αντίστοιχα υπερσύνολα αναφοράς.
 - Απο-ασαφοποιεί τα αποτελέσματα που δίνει η ασαφής συλλογιστική μηχανή, τα μετατρέπει δηλαδή σε «ντετερμινιστική» (μη-ασαφή) μορφή για παραπέρα χρήση από επόμενα συστήματα ή διεργασίες απόφασης.

Το Ασαφές Σύστημα Εξαγωγής Συμπερασμάτων {Fuzzy Inference System-FIS) είναι υπεύθυνο για τη διαδικασία του ασαφούς λογισμού. Στο Σχήμα 10 φαίνεται εκ νέου η δομή ενός τέτοιου συστήματος:



Σχήμα 10: Δομή του ασαφούς συστήματος εξαγωγής συμπερασμάτων.

Στη βάση γνώσης είναι καταχωρημένη η κωδικοποιημένη γνώση, οι κανόνες δηλαδή ελέγχου και τα ασαφή σύνολα. Η μονάδα λήψης αποφάσεων εκτελεί τους ασαφείς κανόνες παίρνοντας ως είσοδο τις ασαφοποιημένες εισόδους και παραδίδοντας το ασαφοποιημένο αποτέλεσμα στον απο-ασαφοποιητή ο οποίος παράγει τη σαφή έξοδο του συστήματος. Ουσιαστικά, η λειτουργία του ασαφούς συστήματος εξαγωγής συμπερασμάτων μπορεί να διαιρεθεί σε τρία στάδια. Αρχικά, λοιπόν, οι κλασικές εισοδοί εισάγονται σε αυτό και ασαφοποιούνται. Στο δεύτερο στάδιο, οι ασαφοποιημένες εισοδοί επεξεργάζονται στη βάση γνώσης και στο τελικό στάδιο τα αποτελέσματα όλων των κανόνων συνδυάζονται και απο-ασαφοποιούνται.

4.4.3 Τεχνικές Συνεπαγωγής

Μετά το στάδιο της ασαφοποίησης και αφού οι φυσικές μεταβλητές έχουν μετατραπεί σε ασαφείς προκύπτουν τα τελικά ασαφή σύνολα εξόδου όπως διαμορφώνονται από τον τύπο συνεπαγωγής που έχει επιλεγεί. Αναφορικά, οι πλέον γνωστές τεχνικές συνεπαγωγής με τα αντίστοιχα σχήματα όπου φαίνεται ο τρόπος εφαρμογής της συνεπαγωγής σε κάθε μια από αυτές είναι οι κάτωθι [4.17]:

1. max-min (Mamdani) – Ασαφές Σύνολο

Η σύνθεση max-min μεταξύ των ασαφών συνόλων $R_1 (X, Y)$ και $R_2 (Y, Z)$ είναι μια νέα ασαφή σχέση R στον χώρο $X \times Z$ της οποίας η συνάρτηση συμμετοχής δίνεται ως εξής [4.19]:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \bigvee_y [\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(y, z)]$$

Ή εναλλακτικά:

$$\mu_R(x, z) = \max_{y \in Y} \min [\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z)] \quad \forall x \in X, y \in Y, z \in Z$$

2. max-product (Correlation product)- Ασαφές Σύνολο

Η σύνθεση του μεγίστου γινομένου (max-product) μεταξύ των ασαφών συνόλων $R_1 (X, Y)$ και $R_2 (Y, Z)$ είναι μια νέα ασαφή σχέση R στον χώρο $X \times Z$ της οποίας η συνάρτηση συμμετοχής δίνεται ως εξής [4.19]:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \bigvee_y [\mu_{R_1}(x, y) \mu_{R_2}(y, z)]$$

Η εναλλακτικά:

$$\mu_R(x, z) = \max_{y \in Y} [\mu_{R_1}(x, y) \cdot \mu_{R_2}(y, z)] \quad \forall x \in X, y \in Y, z \in Z$$

3. Sugeno

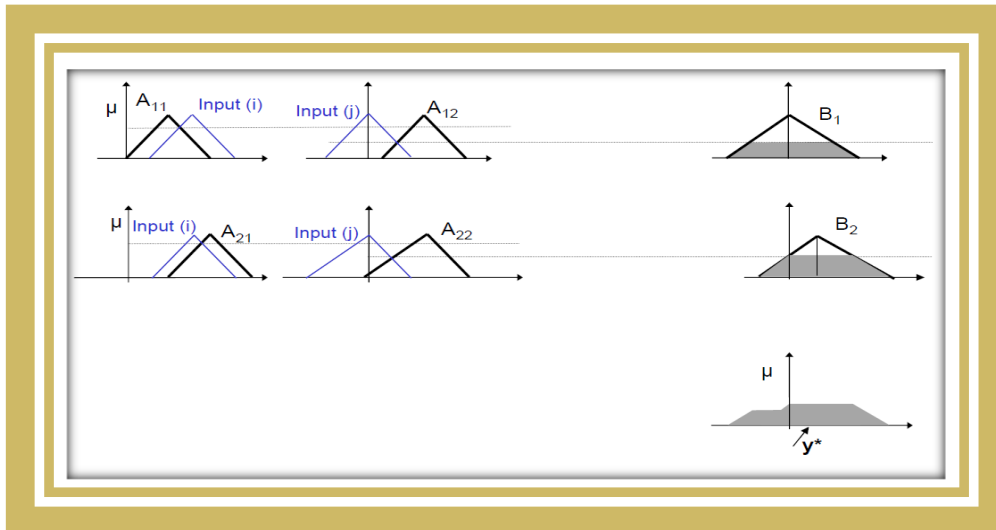
Η συνεπαγωγή Sugeno ή Takagi-Sugeno-Kang [4.22] προτάθηκε για πρώτη φορά το 1985 και παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τη συνεπαγωγή Mamdani. Οι κανόνες του μοντέλου είναι της μορφής :

$$\text{ΕΑΝ } x \text{ είναι } A \text{ και } y \text{ είναι } B \text{ ΤΟΤΕ } z = f(x, y)$$

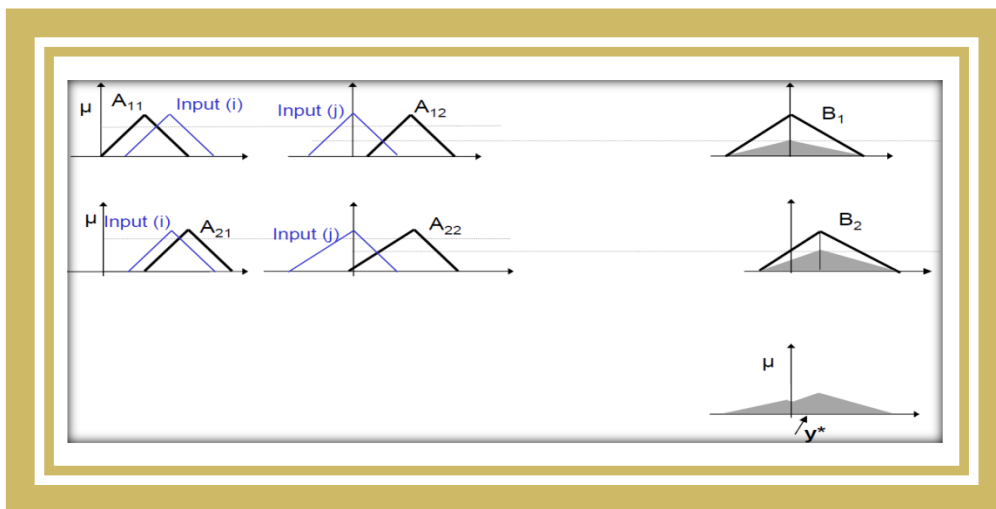
όπου τα A, B είναι ασαφή σύνολα και το συμπέρασμα (οι συναρτήσεις μεταφοράς της εξόδου) είναι μια συνάρτηση της μορφής $z = f(x, y)$ που συνήθως είναι πολυωνμική ως προς τις μεταβλητές x, y ή μια σταθερά. Στη μέθοδο Sugeno, μάλιστα, δεν απαιτείται διαδικασία απο-ασαφοποίησης (defuzzification).

Σχηματικά ο τρόπος λειτουργίας των παραπάνω τεχνικών συνεπαγωγής(inference) δίνεται ως εξής :

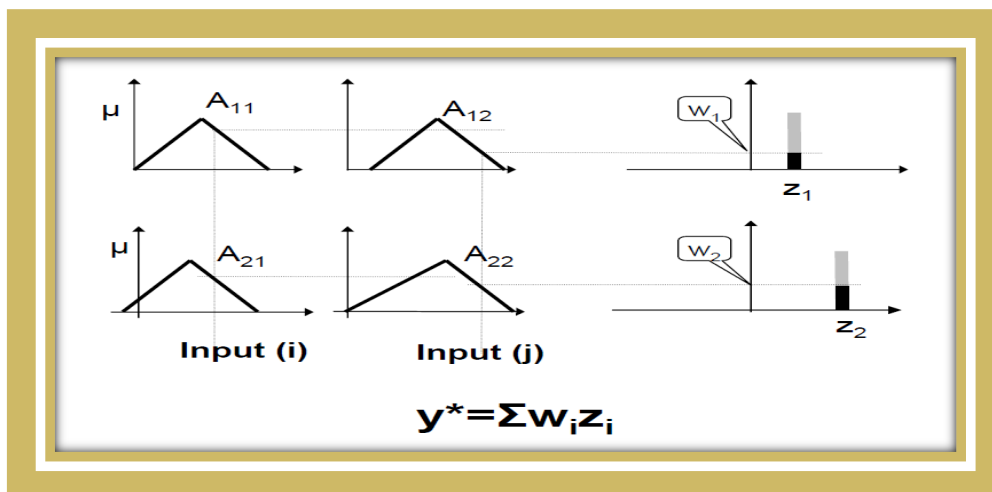
A) Τεχνική Συνεπαγωγής max-min (Mamdani)



B) Τεχνική Συνεπαγωγής max-product (Correlation product)



Γ) Τεχνική Συνεπαγωγής Sugeno



Σχήμα 11: Εφαρμογή τεχνικών συνεπαγωγής σε περίπτωση κανόνα με πολλαπλές υποθέσεις- προϋποθέσεις:

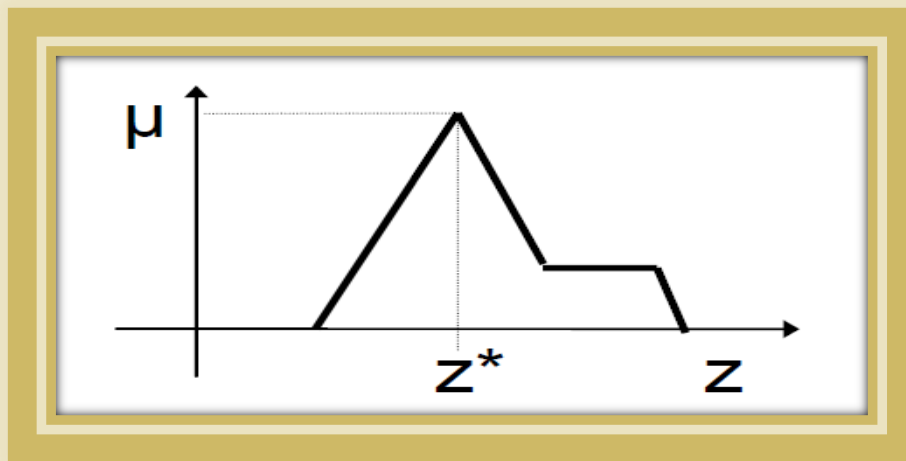
- A) max-min (Mamdani)
- B) max-product (Correlation product)-
- Γ) Sugeno

4.4.4 Μέθοδοι Απο-ασαφοποίησης

Κατά το τελευταίο βήμα γίνεται η απο-ασαφοποίηση (defuzzification) όπου και παράγεται μια αυστηρά αριθμητική (crisp) τιμή από ένα ασαφές σύνολο. Για τον υπολογισμό της τιμής αυτής μπορεί να ακολουθηθεί μια από τις παρακάτω μεθόδους [4.2,4.17] :

- Maximum $\mu(z^*) \geq \mu(z)$ για κάθε z

Στη μέθοδο αυτή του μεγίστου, μία από τις μεταβλητές τιμές κατά την οποία το ασαφές σύνολο παίρνει τη μέγιστη τιμή αλήθειας επιλέγεται ως η ακριβής τιμή για τη μεταβλητή εξόδου. Δηλαδή, η έξοδος του συστήματος είναι ίση με την τιμή της μεταβλητής (z^*) που δίνει τη μέγιστη τιμή συνάρτησης συμμετοχής ($\mu(z^*)$).

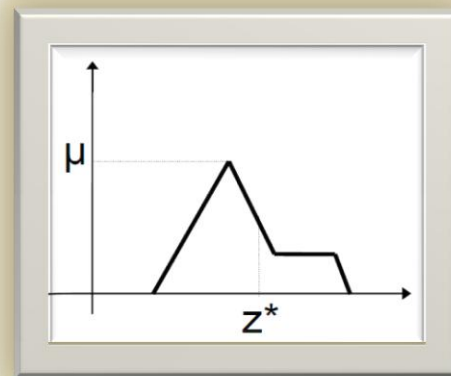


Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου αυτής οι οποίες διαφέρουν μόνο στο τί κάνουν όταν υπάρχουν περισσότερες από μία τιμές της μεταβλητής στις οποίες εμφανίζεται η μέγιστη τιμή αλήθειας. Μία από αυτές, η μέθοδος **AVERAGE-OF-MAXIMA**, επιστρέφει το μέσο όρο των μεταβλητών τιμών στις οποίες εμφανίζεται η μέγιστη τιμή αλήθειας.

- **Κέντρο Βάρους (Centroid)**

Η πιο δημοφιλής μέθοδος απο-ασαφοποίησης είναι η centroid, γνωστή ως COG (Center Of Gravity), που βρίσκει την τεταγμένη του κέντρου βάρους της επιφάνειας μεταξύ της καμπύλης από τη συνάθροιση και των αξόνων. Αυτή υπολογίζεται από τον τύπο:

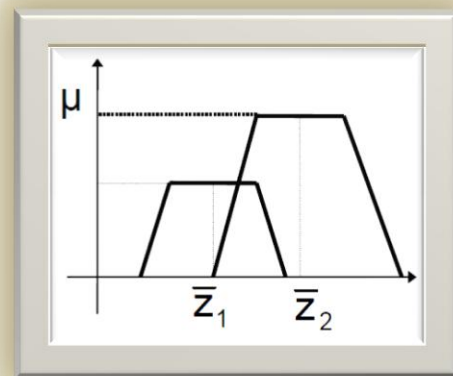
$$z^* = \frac{\int \mu(z) \cdot z \, dz}{\int \mu(z) \, dz}$$



- **Μέση Τιμή Των Μεγίστων (συνήθως σε συμμετρικά σύνολα)**

Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως MOM (Mean Of Maxima) και υπολογίζει το μέσο όρο των μέγιστων τιμών του ασαφούς συνόλου της εξόδου. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, λαμβάνονται οι τιμές του πεδίου ορισμού που έχουν το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής και υπολογίζεται η μέση τιμή τους. Στην πράξη όμως χρησιμοποιούμε ένα δείγμα σημείων για τον υπολογισμό και όχι συνεχείς τιμές της συνάρτησης (για λόγους αποφυγής της πολυπλοκότητας), οπότε χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$z^* = \frac{\sum \mu(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu(\bar{z})}$$

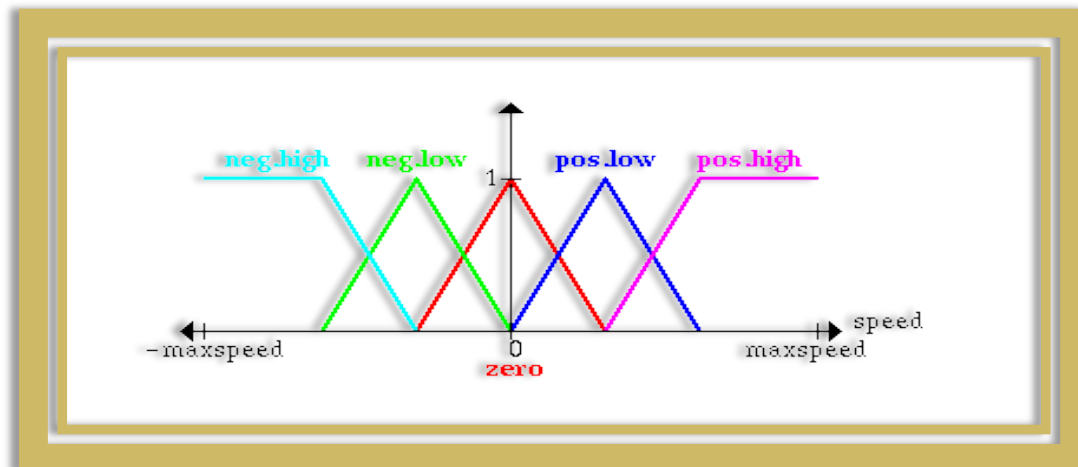


4.4.5 Παραδείγματα Λειτουργίας Ασαφών Συστημάτων

Ως ένα απλό παράδειγμα για να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας ενός ασαφούς συστήματος εξαγωγής συμπερασμάτων, εξετάζεται η περίπτωση του αναποδογυρισμένου εκκρεμούς [4.18]. Εδώ, το πρόβλημα είναι να εξισορροπήσει ένας πόλος σε μια φορητή πλατφόρμα η οποία μπορεί να κινηθεί μόνο σε δύο κατευθύνσεις, προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά. Η γωνία μεταξύ της πλατφόρμας και του εκκρεμούς και η γωνιακή ταχύτητα έχουν επιλεγεί ως εισροές- είσοδοι του συστήματος. Η ταχύτητα της πλατφόρμας, ως εκ τούτου, επιλέγεται ως η αντίστοιχη έξοδος.

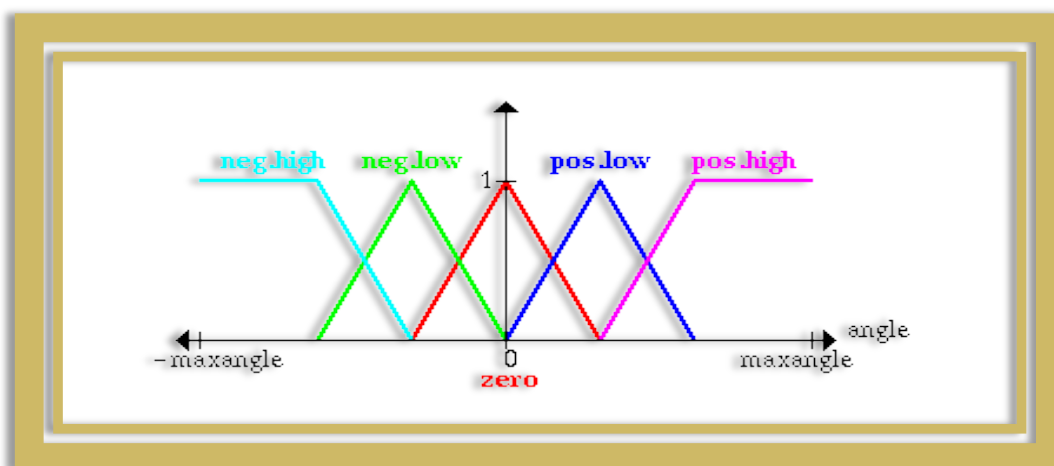
□ Βήμα 1 (Fuzzification, Ασαφοποίηση)

Πρώτα απ' όλα, ορίζονται τα διαφορετικά επίπεδα της ταχύτητας της πλατφόρμας (υψηλή ταχύτητα, χαμηλή ταχύτητα κλπ.), που αποτελούν την έξοδο του συστήματος, με τον προσδιορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής των ασαφή συνόλων. Το γράφημα της συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου είναι το εξής (Σχήμα 12):



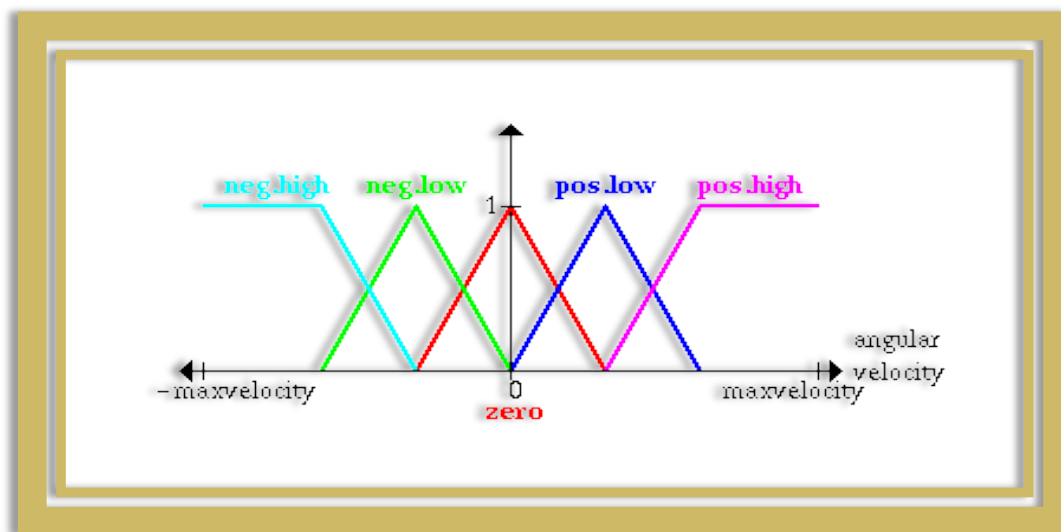
Σχήμα 12: Η γραφική παράσταση της συνάρτησης συμμετοχής για την ταχύτητα του εκκρεμούς, έξοδος του συστήματος.

Παρομοίως, οι διάφορες γωνίες μεταξύ της πλατφόρμας και του εκκρεμούς δίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 13: Η γραφική παράσταση της συνάρτησης συμμετοχής για τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της πλατφόρμας και του εκκρεμούς.

Τέλος δίνεται η γραφική παράσταση της συνάρτησης συμμετοχής της γωνιακής ταχύτητας (Σχήμα 14).



Σχήμα 14: Η γραφική παράσταση της συνάρτησης συμμετοχής για τη γωνιακή ταχύτητα του εκκρεμούς.

□ Βήμα 2 (Rule evaluation, Εκτίμηση των Κανόνων)

Το επόμενο βήμα είναι να καθοριστούν οι κανόνες ασαφούς λογικής. Οι κανόνες ασαφούς λογικής είναι απλά μια σειρά από if-then δηλώσεις. Αυτές οι δηλώσεις προέρχονται συνήθως από έναν εμπειρογνώμονα για να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Μερικά παραδείγματα αυτών των κανόνων είναι οι εξής:

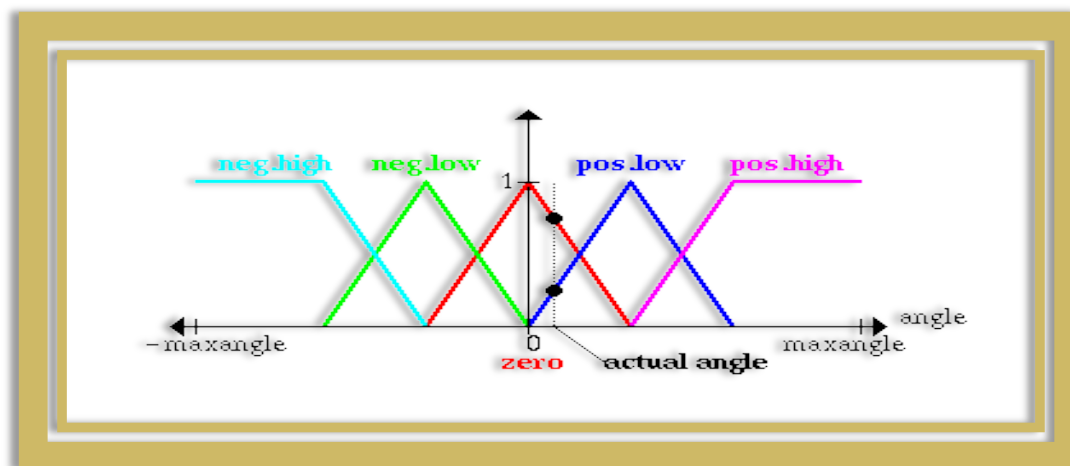
- a. *Εάν η γωνία είναι μηδέν και η γωνιακή ταχύτητα είναι μηδέν, τότε η ταχύτητα είναι επίσης μηδέν.*
- b. *Αν η γωνία είναι μηδέν και η γωνιακή ταχύτητα είναι χαμηλή τότε η ταχύτητα είναι χαμηλή.*

Το πλήρες σύνολο κανόνων συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα. Οι παύλες είναι για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν υπάρχουν κανόνες που σχετίζονται με αυτές.

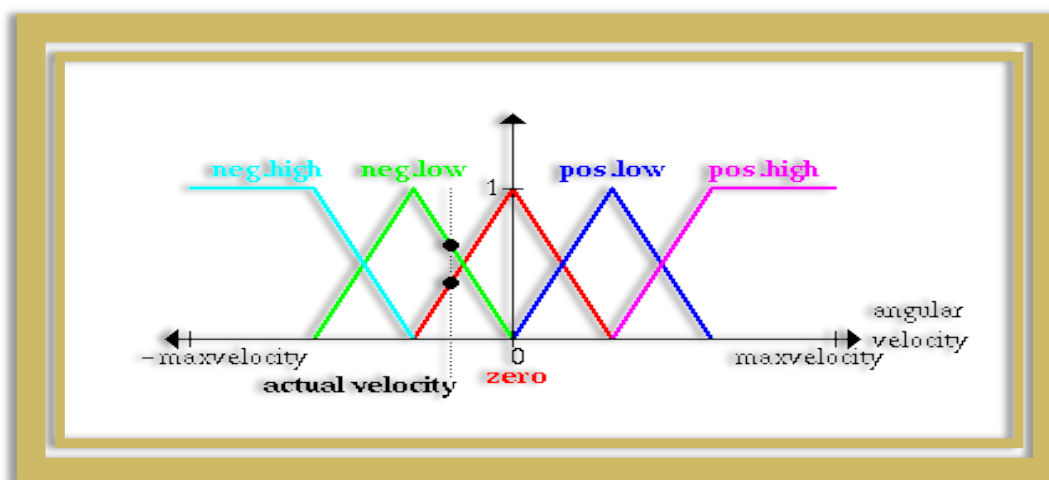
Πίνακας 1: Το σύνολο των ασαφών κανόνων για το παράδειγμα του εκκρεμούς.

Speed (Ταχύτητα)	Angle (Γωνία)				
-----	negative high (υψηλά αρνητικές)	negative low (χαμηλά αρνητικές)	Zero (μηδέν)	positive low (χαμηλά θετικές)	positive high (υψηλά θετικές)
v negative high (υψηλά αρνητική)	-----	-----	negative high (υψηλά αρνητικές)	-----	-----
e negative low (χαμηλά αρνητική)	-----	-----	negative low (χαμηλά αρνητικές)	Zero (μηδέν)	-----
l zero (μηδέν)	negative high (υψηλά αρνητικές)	negative low (χαμηλά αρνητικές)	Zero (μηδέν)	positive low (χαμηλά θετικές)	positive high (υψηλά θετικές)
o positive low (χαμηλά θετική)	-----	zero(μηδέν)	low(χαμηλές)	-----	-----
c	-----	-----	high(υψηλές)	-----	-----

Μια εφαρμογή αυτών των κανόνων προκύπτει με ειδικές τιμές για τις γωνίες και τις γωνιακές ταχύτητες. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για αυτό το παράδειγμα είναι ‘0,75’ και ‘0,25’ για το μηδέν και για θετικά χαμηλές γωνίες και αντίστοιχα ‘0,4’ και ‘0,6’ για το μηδέν και για αρνητικά χαμηλές γωνιακές ταχύτητες. Τα σημεία αυτά φαίνονται στις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις (Σχήμα 15).



(α)

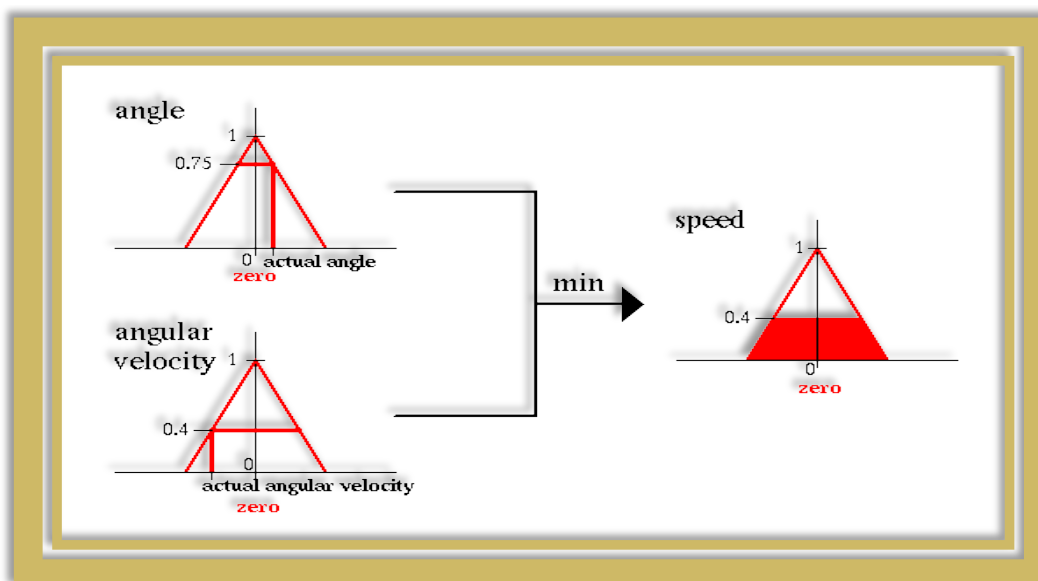


(β)

Σχήμα 15.α), β): Οι τιμές της συνάρτησης συμμετοχής για μηδέν, θετικά χαμηλές γωνίες και για μηδέν, αρνητικά χαμηλές γωνιακές ταχύτητες αντίστοιχα.

Ας θεωρήσουμε τον κανόνα "Εάν η γωνία είναι μηδέν και η γωνιακή ταχύτητα είναι μηδέν, η ταχύτητα είναι μηδέν". Η πραγματική τιμή ανήκει στο ασαφές σύνολο μηδέν με βαθμό 0,75 για τη «γωνία» και 0,4 για τη «γωνιακή ταχύτητα». Δεδομένου ότι πρόκειται για μια πράξη AND, το κριτήριο που χρησιμοποιείται είναι η ελάχιστη τιμή από τις δυο και έτσι το ασαφές σύνολο μηδέν της μεταβλητής

«ταχύτητα» κόβεται στο σημείο 0,4 όπως φαίνεται και από την σκιά επάνω σε εκείνη την περιοχή (Σχήμα 16).



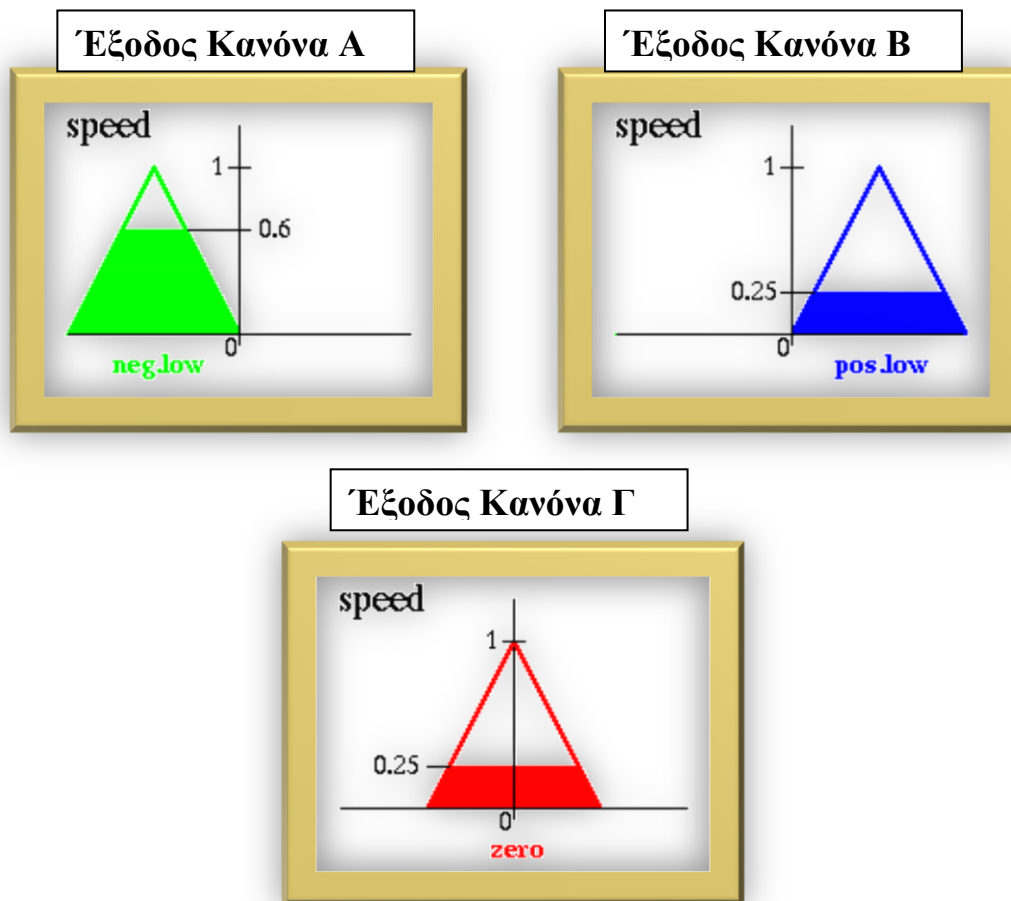
Σχήμα 16: Εφαρμόζοντας το κριτήριο της ελάχιστης τιμής (min) μεταξύ του βαθμού συμμετοχής της πραγματικής γωνίας και της γωνιακής ταχύτητας, η έξοδος του συστήματος παίρνει την τιμή 0,4.

Ομοίως, το κριτήριο του ελαχίστου χρησιμοποιείται και στους άλλους τρεις κανόνες. Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις (Σχήμα 17) αποδεικνύουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον κανόνα Α, Β, Γ αντίστοιχα:

Α) Εάν η γωνία είναι μηδέν και η γωνιακή ταχύτητα είναι χαμηλά αρνητική, η ταχύτητα είναι χαμηλά αρνητική.

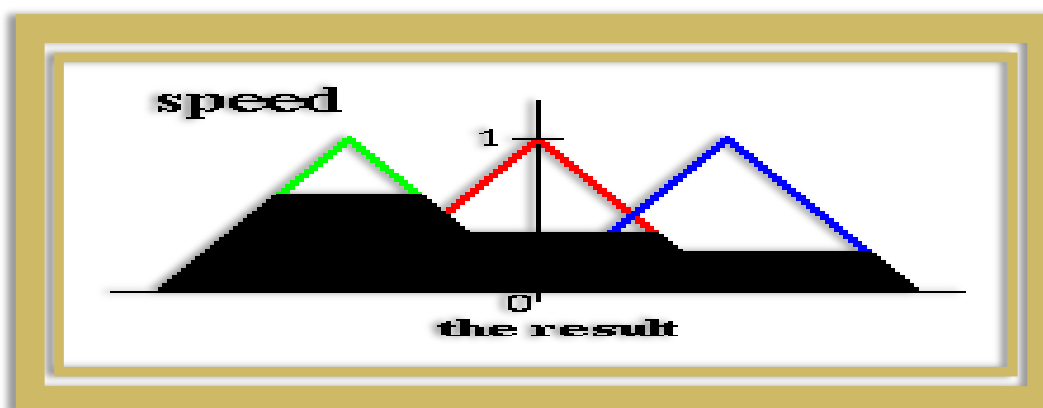
Β) Εάν η γωνία είναι χαμηλά θετική και η γωνιακή ταχύτητα είναι μηδέν, τότε η ταχύτητα είναι χαμηλά θετική.

Γ) Εάν η γωνία είναι χαμηλά θετική και η γωνιακή ταχύτητα είναι χαμηλά αρνητική, η ταχύτητα είναι μηδέν.



Σχήμα 17: Έξοδος του συστήματος (ταχύτητα) από την εφαρμογή της ελάχιστης τιμής στους κανόνες Α,Β,Γ αντίστοιχα.

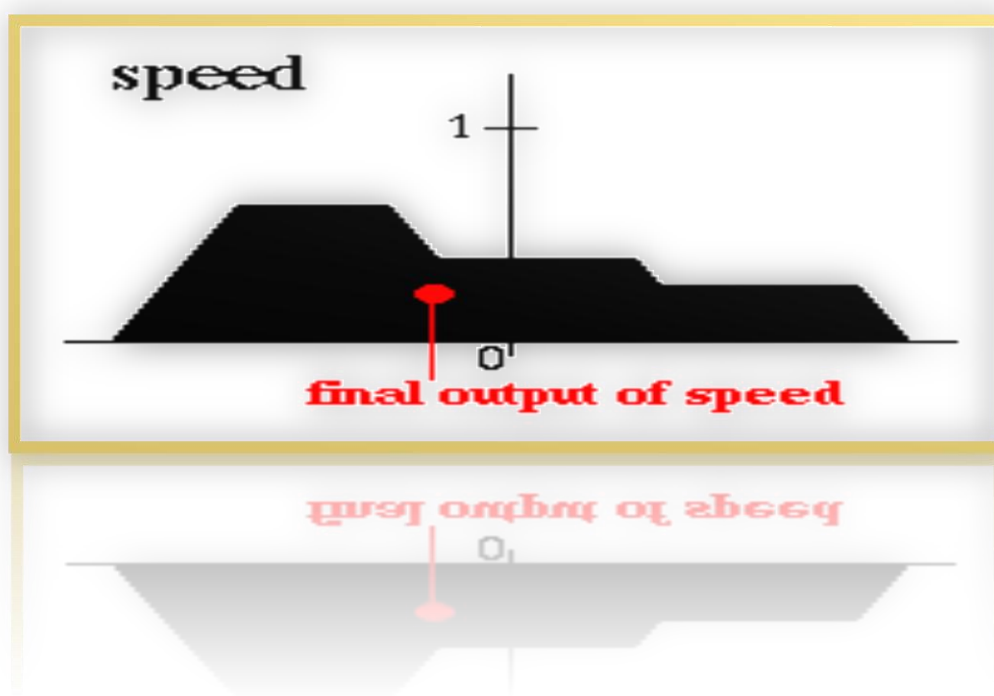
Οι επικαλύψεις των παραπάνω αποτελεσμάτων οδηγούν στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 18: Αποτέλεσμα (έξοδος συστήματος) από την επικάλυψη όλων των κανόνων (Α,Β,Γ).

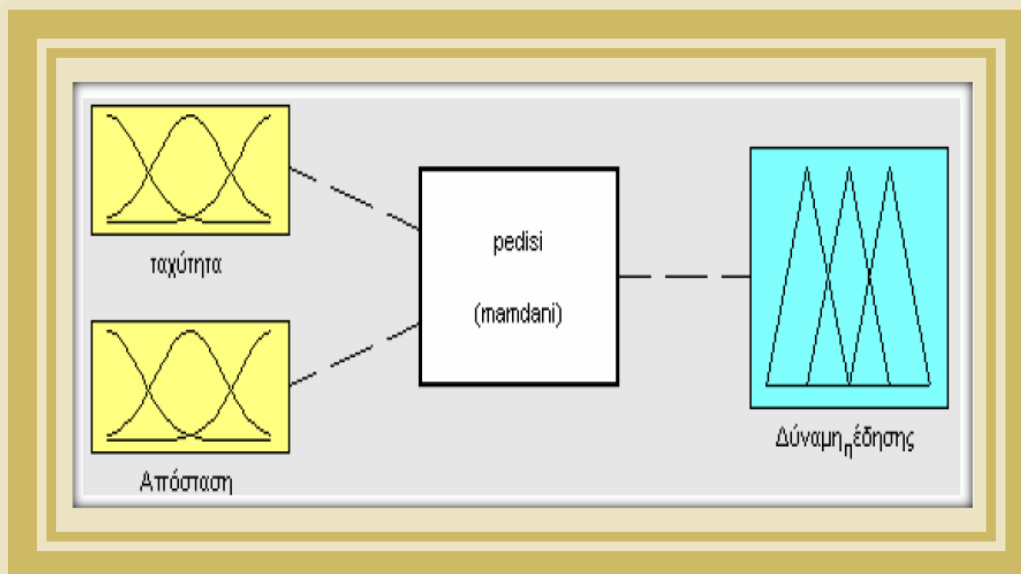
□ Βήμα 3 (Defuzzification, Απο-ασαφοποίηση)

Προκειμένου να επιλεγεί μια κατάλληλη τιμή (καθαρή τιμή) που να αντιπροσωπεύει το τελικό αποτέλεσμα (ταχύτητα του εκκρεμούς) πρέπει να γίνει απο-ασαφοποίηση (defuzzification). Υπάρχουν πολλές μέθοδοι απο-ασαφοποίησης, αλλά η πιο κοινή που χρησιμοποιείται είναι το κέντρο βάρους του συνόλου όπως φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 19).



Σχήμα 19: Το τελικό αποτέλεσμα δίνεται από το κέντρο βάρους της σκιασμένης περιοχής του γραφήματος της επικάλυψης όλων των κανόνων.

Για καλύτερη κατανόηση της σημασίας και του τρόπου εφαρμογής των τριών βημάτων που ακολουθούνται κατά την λειτουργία ενός ασαφούς συστήματος, ας θεωρήσουμε ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα ευφύες σύστημα το οποίο να φρενάρει ένα αυτοκίνητο με ένα κανόνα που ο οδηγός έχει αποκτήσει από την εμπειρία του [4.24]. Έστω ότι επιλέγουμε δύο εισόδους $x_1 = u$ (ταχύτητα αυτοκινήτου) και $x_2 = d$ (απόσταση από το εμπόδιο).

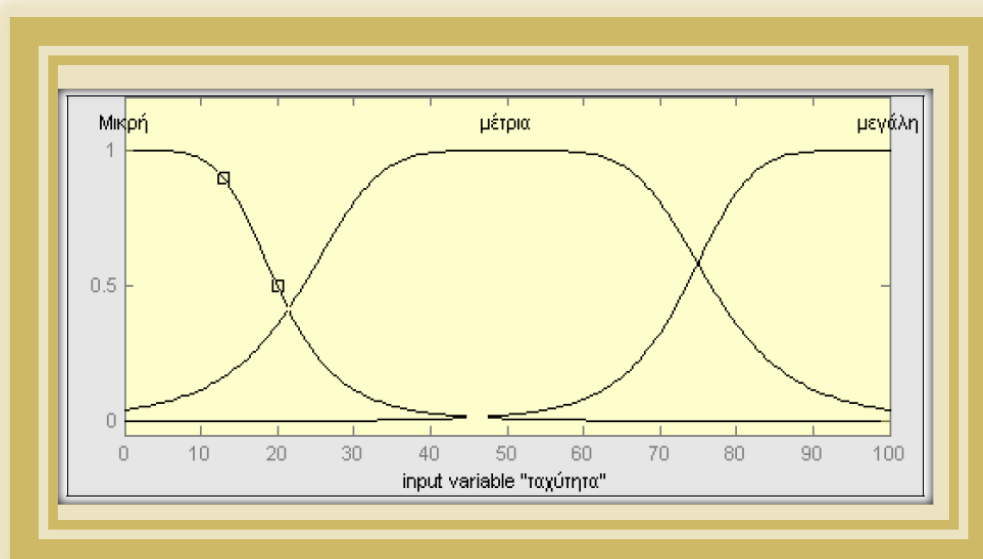


Σχήμα 20: Το σύστημα της πέδησης του αυτοκινήτου με δύο εισόδους.

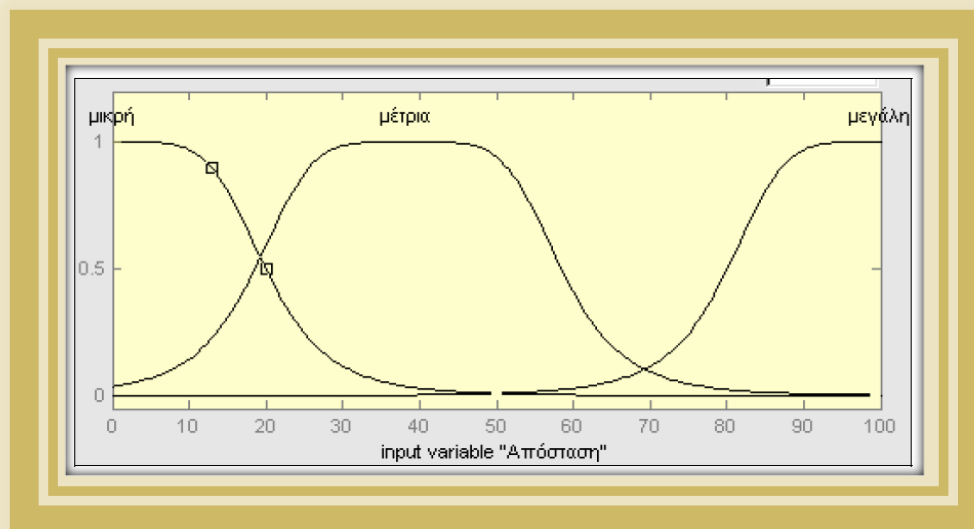
Η έξοδος του κανόνα είναι η $y = F$ που εκφράζει τη δύναμη πέδησης στο φρένο. Ο ειδικός διατυπώνει τον εξής κανόνα:

Αν η ταχύτητα είναι μεγάλη και η απόσταση μικρή τότε δύναμη πέδησης μεγάλη.

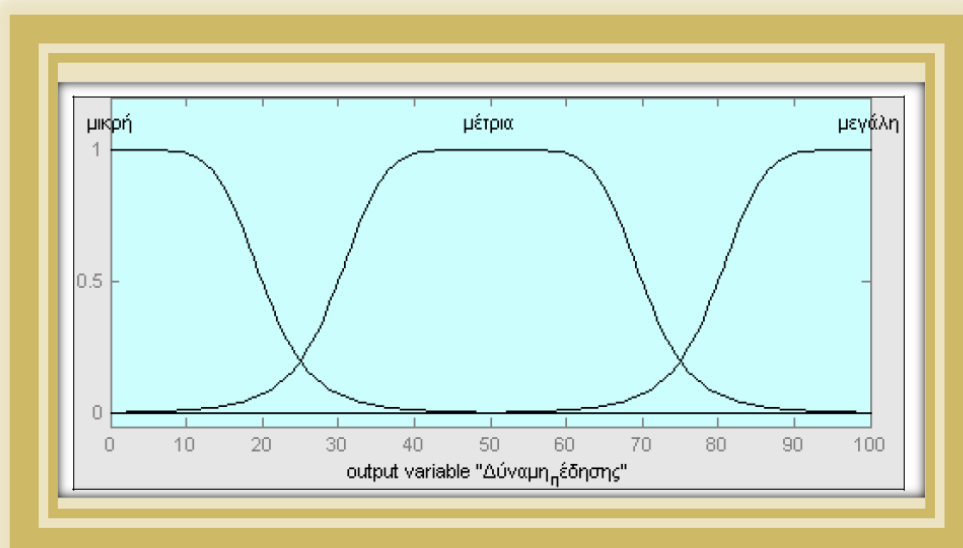
Στο πρώτο βήμα, θα πρέπει να αναπαραστήσουμε τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου με λεκτικούς όρους. Ένας διαμερισμός των εισόδων και των εξόδων φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 21: Διαμερισμός της εισόδου «ταχύτητα» σε λεκτικούς όρους.



Σχήμα 22: Διαμερισμός της εισόδου «Απόσταση» σε λεκτικούς όρους.

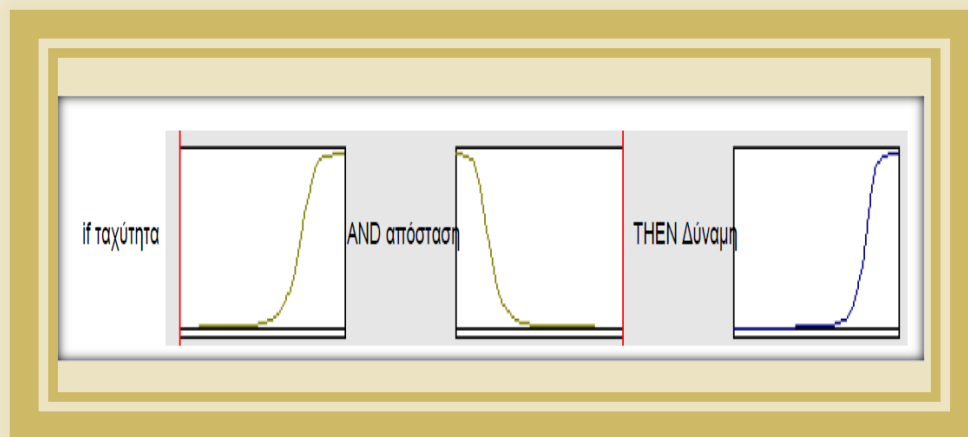


Σχήμα 23: Διαμερισμός της εξόδου «Δύναμη πέδησης» σε λεκτικούς όρους.

Στο βήμα 2, έχοντας διαμερίσει τις εισόδους και τις εξόδους τα ασαφή σύνολα μπορούν να αποθηκευτούν στον υπολογιστή υπό μορφή συναρτήσεων. Στη συνέχεια διατυπώνονται οι κανόνες. Στην περίπτωση μας έχουμε ένα κανόνα:

Αν η ταχύτητα είναι μεγάλη και η απόσταση μικρή τότε δύναμη πέδησης μεγάλη.

Επιλέγοντας τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα από κάθε μεταβλητή ο κανόνας μπορεί να παρασταθεί γραφικά ως εξής:

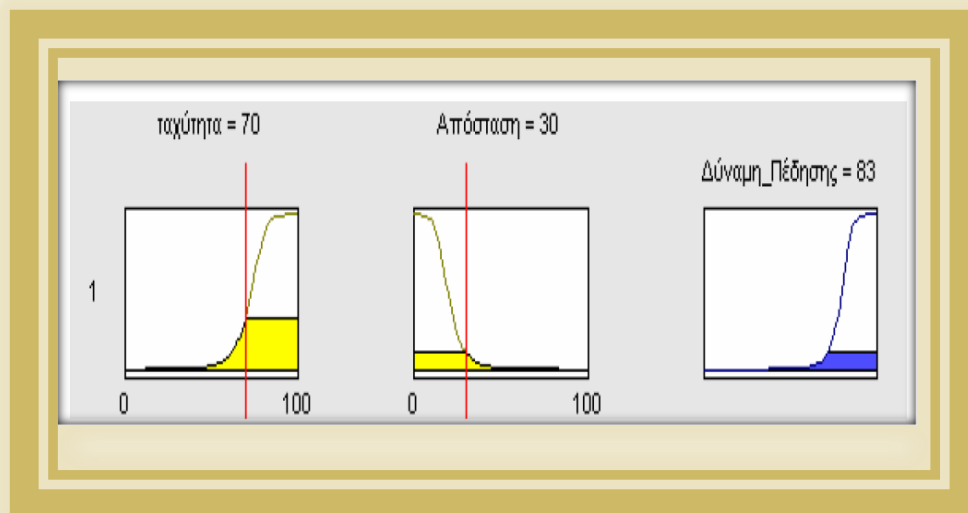


Σχήμα 24: Γραφική παράσταση του ασαφούς κανόνα του παραδείγματος.

Ας υποθέσουμε ότι οι αισθητήρες που μετρούν την ταχύτητα και την απόσταση του αυτοκινήτου δίνουν **ταχύτητα= 70 km/h και απόσταση 30 m**. Οι τιμές αυτές εισάγονται στο ασαφές σύστημα και ασαφοποιούνται. Δηλαδή η ταχύτητα των 70 km/h είναι μεγάλη με βαθμό βεβαιότητας '0.4' και η απόσταση των 30 m είναι μικρή με βαθμό βεβαιότητας '0.2'. Ο κανόνας λέει:

Αν η ταχύτητα είναι μεγάλη (είναι με βεβαιότητα 0.4) και η απόσταση μικρή (είναι με βεβαιότητα 0.2) τότε δύναμη πέδησης μεγάλη.

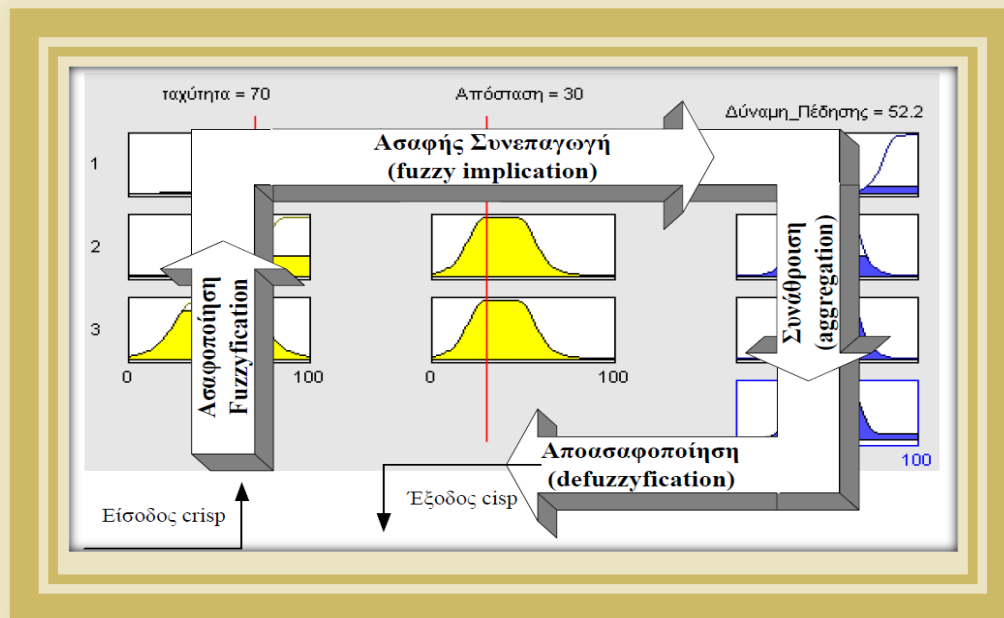
Προφανώς θα πρέπει να βρούμε ένα τρόπο να υλοποιήσουμε το «και (and)» και το «τότε». Ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται αριθμητικά το και καθορίζεται από τον τύπο του ασαφούς συμπερασμού. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υλοποίησης του AND, οι κυριότεροι είναι με τον τελεστή «Min» και με τον τελεστή «Product». Ο τελεστής Min λαμβάνει το μικρότερο από τους βαθμούς συμμετοχής και παράγει το λεγόμενο βαθμό εκπλήρωσης (degree of fulfillment) του κανόνα. Ο τελεστής του γινομένου υπολογίζει το βαθμό εκπλήρωσης του κανόνα ως το αριθμητικό γινόμενο των βαθμών συμμετοχής των ασαφοποιημένων τιμών. Στην περίπτωση μας, αν εφαρμοστεί ο τελεστής «min» ο κανόνας έχει βαθμό εκπλήρωσης 0.2. Αν εφαρμοστεί το γινόμενο, ο κανόνας έχει βαθμό εκπλήρωσης 0.08. Εννοιολογικά, ο βαθμός εκπλήρωσης του κανόνα εκφράζει τη βαρύτητα που έχει το αποτέλεσμα του κανόνα. Το αποτέλεσμα είναι το σκιασμένο ασαφές σύνολο της εξόδου που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 25: Γραφική παράσταση του ασαφούς συμπερασμού του παραδείγματος.

Παρατηρώντας το αποτέλεσμα του κανόνα βλέπουμε ότι αυτό εκφράζεται από ένα υποκανονικό ασαφές σύνολο. Το γεγονός ότι είναι υποκανονικό δεν μας πειράζει καθόλου. Το ερώτημα όμως είναι το πως θα αξιοποιηθεί από το μηχανισμό που θα ασκήσει την πίεση στο φρένο. Το μηχανικό σύστημα που θα ασκήσει την πίεση καταλαβαίνει μόνο σαφείς αριθμητικές τιμές και όχι ασαφείς όρους. Στο σημείο αυτό αναφέρεται το τελικό βήμα της σχεδίασης που αφορά τη μέθοδο **απο-ασαφοποίησης** (defuzzification). Η διαδικασία της απο-ασαφοποίησης είναι αντίθετη αυτής της ασαφοποίησης και παράγει μια αυστηρά αριθμητική (τιμή crisp τιμή) από ένα ασαφές σύνολο. Είναι δηλαδή μια απεικόνιση η οποία απεικονίζει ένα ασαφές σύνολο σε ένα πραγματικό αριθμό. Ωστόσο, σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι από ένας κανόνες εφαρμόζεται και το βήμα της Ασαφούς συνάθροισης των κανόνων (fuzzy aggregation). Οι κανόνες ενεργοποιούνται και κάθε ένας προτείνει το δικό του ασαφές συμπέρασμα π.χ ο κανόνας 1 προτείνει το ασαφές σύνολο Α, ο κανόνας 2 προτείνει το Β και ο κανόνας 3 προτείνει το ασαφές σύνολο Γ. Ενώ πριν είχαμε ένα ασαφές συμπέρασμα το οποίο αποσαφηνίσαμε εδώ έχουμε τρία ασαφή συμπεράσματα. Τα τρία αυτά συμπεράσματα θα πρέπει να τα συνθέσουμε καταρχήν σε ένα ασαφές συμπέρασμα. Ο μηχανισμός που υλοποιεί αυτή τη σύνθεση ονομάζεται **ασαφής συνάθροιση των κανόνων (fuzzy aggregation)** και υλοποιείται με διάφορους τρόπους, ο βασικότερος είναι με την εφαρμογή του τελεστή MAX.

Συμπερασματικά, ο μηχανισμός του ασαφούς συμπερασμού για το συγκεκριμένο παράδειγμα μπορεί να παρασταθεί γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής [26]:



Σχήμα 26: Ο μηχανισμός του ασαφούς συμπερασμού του παραδείγματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΝΕΥΡΟ-ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

5.1 Γενικά

Αν και το σύστημα ασαφούς συμπερασμού (Fuzzy Inference System, FIS) παρέχει μια δομική αναπαράσταση της γνώσης με τη χρήση των κανόνων if-then, υστερεί στο να προσαρμόζεται στις εξωτερικές αλλαγές του περιβάλλοντος. Γι' αυτό το λόγο, ενσωματώνουμε την εκμάθηση νευρωνικών δικτύων στο fuzzy inference system με αποτέλεσμα την νευρο-ασαφή μοντελοποίηση. Τα νευρο-ασαφή συστήματα αποτελούν μια υβριδική κατηγορία του Ευφυούς Ελέγχου που έχει αναπτυχθεί σε μια προσπάθεια συνδυασμού των χαρακτηριστικών της ασαφούς λογικής και των τεχνητών νευρωνικών δικτύων [5.1-5.9]. Ο στόχος κατά το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων δεν είναι η μοντελοποίηση του ίδιου του προβλήματος κατασκευάζοντας ένα αναλυτικό μαθηματικό μοντέλο, αλλά η αξιοποίηση της γνώσης και της εμπειρίας ενός ειδικού κατασκευάζοντας ένα σύστημα ελέγχου που θα ελέγχει τη διεργασία όπως ο ειδικός.

Το κύριο χαρακτηριστικό των νευρωνικών δικτύων είναι η ικανότητα τους να μαθαίνουν από παραδείγματα χρησιμοποιώντας τους ήδη γνωστούς αλγόριθμους μάθησης. Αντίθετα, το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι εξαιτίας της κατανεμημένης τους φύσης δεν είναι σαφές το αν το δίκτυο έχει εκπαιδευτεί σωστά. Ένα νευρωνικό δίκτυο μαθαίνει αλλά ο χρήστης δε μπορεί να μάθει από το δίκτυο και έτσι λειτουργεί για το χρήστη ως ένα «μαύρο κουτί». Από την άλλη, η δράση των ασαφών συστημάτων μπορεί εύκολα να κατανοηθεί καθώς ακολουθούνται διαδοχικά βήματα κατά τη διαδικασία συμπερασμού με πλήρη επεξήγηση των κανόνων που έχουν ενεργοποιηθεί. Το κύριο μειονέκτημα τους όμως είναι ότι δεν έχουν τη δυνατότητα να ρυθμιστούν μέσω αλγορίθμων μάθησης.

Η ικανότητα εκπαίδευσης των νευρωνικών συστημάτων είναι ο κύριος λόγος συνδυασμού τους με τα ασαφή συστήματα. Αυτός ο συνδυασμός μπορεί να

δημιουργήσει κανόνες για το ασαφές σύστημα ή να βελτιστοποιήσει τους ήδη υπάρχοντες αυτοματοποιώντας τη ρύθμιση των παραμέτρων του ασαφούς συστήματος. Όσον αφορά τα νευρωνικά συστήματα, ο συνδυασμός τους με τα ασαφή αναιρεί τη συμπεριφορά τους ως «μαύρα κουτιά» κι έτσι οποιαδήποτε εκ των προτέρων γνώση για το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διαδικασία εκμάθησης περιορίζοντας έτσι το χρόνο που αυτή απαιτεί. Συνεπώς, ο συνδυασμός των νευρωνικά δικτύων με τα ασαφή συστήματα οδήγησε στη δημιουργία ενός συστήματος που διατηρεί τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων ενώ εξαλείφει και κάποια από τα μειονεκτήματα τους. Συγκεκριμένα, προέκυψε ένα σύστημα ικανό να εκπαιδεύεται και να έχει υψηλού επιπέδου συλλογιστικές ικανότητες. Συνδυάζεται, λοιπόν, η υπολογιστική δύναμη των νευρωνικών δικτύων και η επικοινωνία υψηλού επιπέδου με τον χρήστη μέσω των γλωσσικών μεταβλητών που παρέχεται από τα ασαφή συστήματα.

Τα προταθέντα στη διεθνή βιβλιογραφία νευρο-ασαφή μοντέλα συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των δυο αυτών συστημάτων. Η γρήγορη και ακριβής μάθηση, οι άριστες δυνατότητες γενίκευσης, η ευκολία στην σημασιολογική κατανόηση των ασαφών κανόνων που χρησιμοποιούν και η δυνατότητα που παρέχουν για χρήση τόσο δεδομένων όσο και γνώσης ειδικού, είναι μερικά μόνο από τα χαρακτηριστικά των νευρο-ασαφών συστημάτων που τα καθιστούν ιδανικά για εφαρμογή σε πληθώρα επιστημονικών περιοχών. [5.10]

5.2 Δομές νευρο-ασαφών συστημάτων

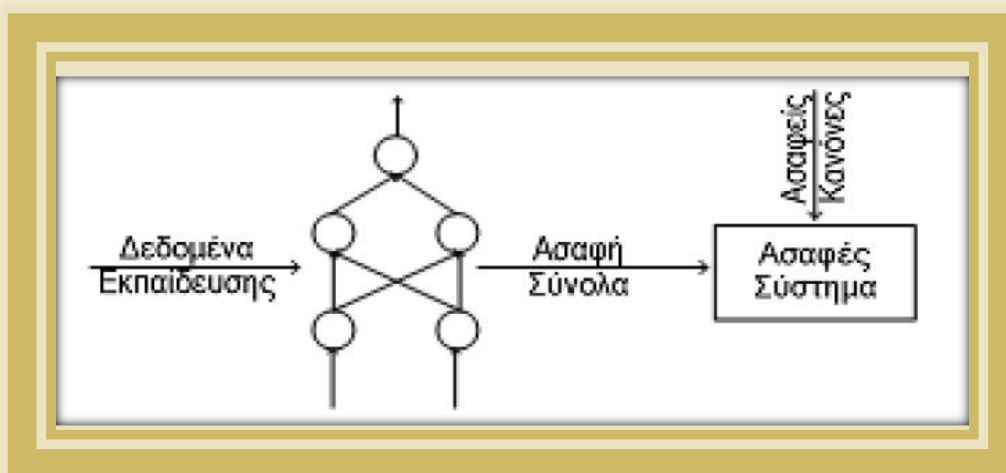
Οι δυο αρχιτεκτονικές δομές των νευρο-ασαφών συστημάτων, το νευρο-ασαφές σύστημα συνεργασίας (cooperative neuron-fuzzy system) και το υβριδικό νευρο-ασαφές σύστημα (hybrid neuron-fuzzy system) προκύπτουν από τον συνδυασμό των νευρωνικών δικτύων με τα ασαφή συστήματα. Συγκεκριμένα, το νευρο-ασαφές σύστημα συνεργασίας όπως μαρτυρά και το όνομα του βασίζεται στην ανεξάρτητη λειτουργία του νευρωνικού και του ασαφούς συστήματος. Μάλιστα, το νευρωνικό είναι εκείνο το σύστημα που καθορίζει σε πραγματικό ή μη χρόνο τις παραμέτρους

λειτουργίας του ασαφούς συστήματος. Από την άλλη, το υβριδικό νευρο-ασαφές σύστημα είναι ένα ομογενές σύστημα που αντιμετωπίζεται είτε ως νευρωνικό είτε ως ασαφές σύστημα αλλά δε μπορεί να διαιρεθεί σε δυο διαφορετικά υποσύνολα.[5.11]

Τα νευρο-ασαφή συστήματα συνεργασίας διακρίνονται σε τέσσερες διαφορετικές κατηγορίες.

□ Πρώτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.

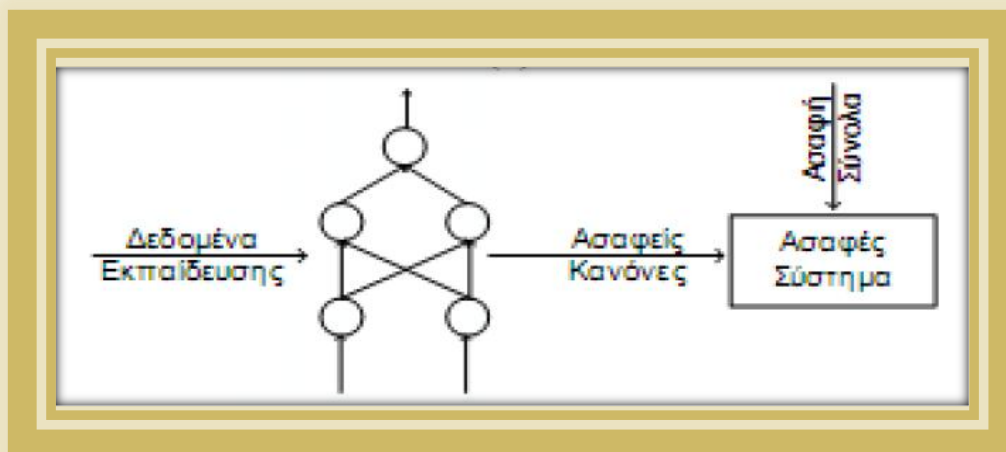
Η πρώτη κατηγορία (Σχήμα 1.α) αφορά την περίπτωση όπου το νευρωνικό δίκτυο ρυθμίζει τις συναρτήσεις συμμετοχής του ασαφούς συστήματος με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης του. Μάλιστα, τα ασαφή σύνολα που ρυθμίζονται με αυτόν τον τρόπο σε μη πραγματικό χρόνο σε συνδυασμό με τους ασαφείς κανόνες που δίνονται από τον χρήστη οδηγούν στο τελικό ασαφές σύστημα.



Σχήμα 1.α: Πρώτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.

□ Δεύτερη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.

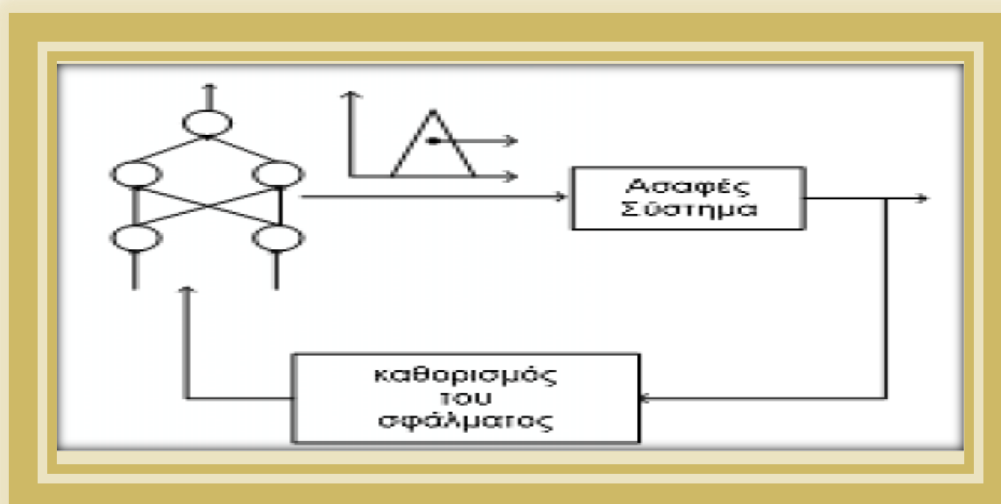
Η δεύτερη κατηγορία (Σχήμα 1.β) αφορά την περίπτωση όπου το νευρωνικό δίκτυο σχηματίζει τους ασαφείς κανόνες σε μη πραγματικό χρόνο με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης του. Το τελικό ασαφές σύστημα τώρα προκύπτει με τον συνδυασμό των κανόνων αυτών με δεδομένες συναρτήσεις συμμετοχής.



Σχήμα 1.β: Δεύτερη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.

□ **Τρίτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.**

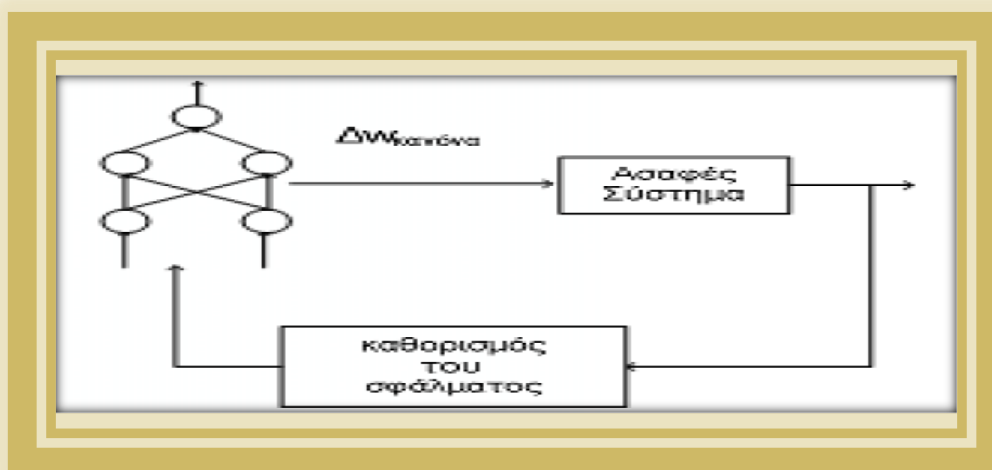
Η τρίτη κατηγορία (Σχήμα 1.γ) αφορά την περίπτωση όπου δεν υπάρχει πραγματικό νευρωνικό δίκτυο αλλά ένας νευρωνικός αλγόριθμος εκπαίδευσης και το σύστημα ρυθμίζεται σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, εδώ δίνονται εκ των προτέρων οι ασαφείς κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής και καθορίζεται ένα μέτρο σφάλματος το οποίο οδηγεί τη διαδικασία εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.



Σχήμα 1.γ: Τρίτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας

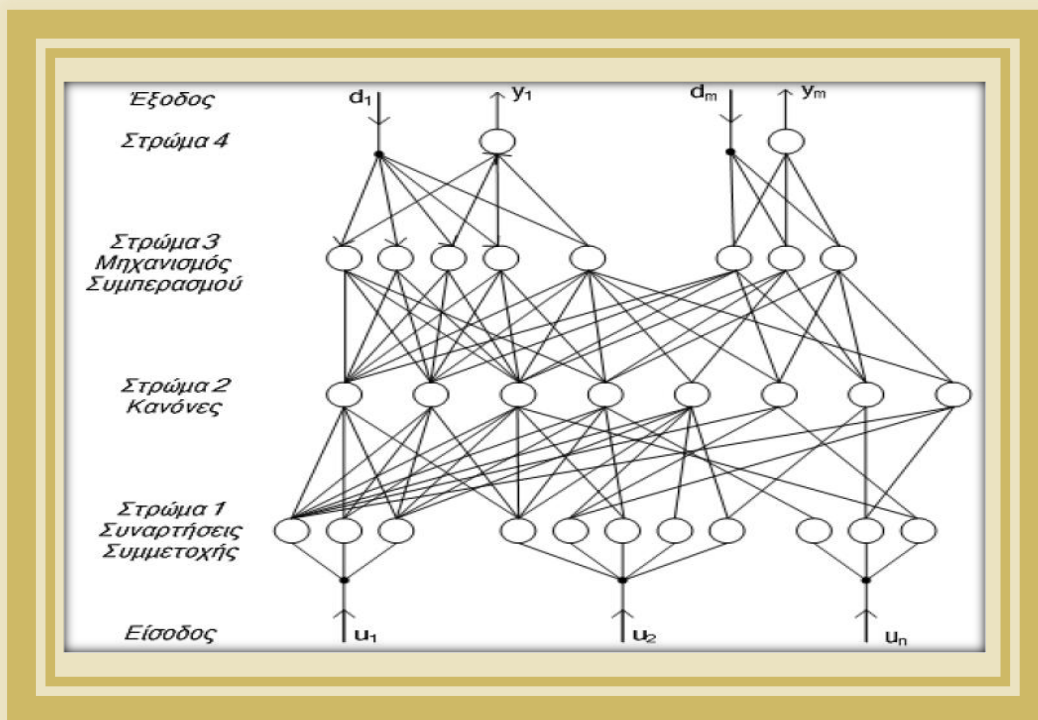
□ Τέταρτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.

Η τέταρτη κατηγορία (Σχήμα 1.δ) αφορά την περίπτωση όπου το νευρωνικό δίκτυο ή ο νευρωνικός αλγόριθμος εκπαίδευσης καθορίζει σε πραγματικό ή μη χρόνο τα βάρη των κανόνων. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, οι ασαφείς κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής δίνονται εκ των προτέρων.



Σχήμα 1.δ: Τέταρτη Κατηγορία Νευρο-Ασαφούς Συστήματος Συνεργασίας.

Παρακάτω (Σχήμα 2), παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός υβριδικού νευρο-ασαφούς ελεγκτή όπου κάθε στρώμα αντιστοιχεί ένα προς ένα στα στάδια υλοποίησης ενός ασαφούς ελεγκτή. Το πρώτο στρώμα περιλαμβάνει τους κόμβους εισόδου του ελεγκτή με κάθε νευρώνα να αντιστοιχεί σε συναρτήσεις συμμετοχής. Κάθε νευρώνας του δεύτερου στρώματος αντιστοιχεί σε έναν κανόνα ενώ οι νευρώνες στο τρίτο στρώμα υπολογίζουν τις συναρτήσεις συμμετοχής των αντίστοιχων γλωσσικών μεταβλητών. Μάλιστα, οι διασυνδέσεις μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου στρώματος είναι το ισοδύναμο του μηχανισμού συμπερασμού του ελεγκτή. Στο τέταρτο και τελευταίο στρώμα υπάρχει ένας κόμβος όπου εμφανίζεται η έξοδος του ελεγκτή και ένας νευρώνας από όπου εισάγονται τα υποδείγματα με τα οποία εκπαιδεύεται το δίκτυο.



Σχήμα 2: Ένα υβριδικό νευρο-ασαφές σύστημα με τρεις εισόδους και δυο εξόδους.

5.3 Εκπαίδευση Νευρο-Ασαφών Συστημάτων

Η διαδικασία εκπαίδευσης των νευρο-ασαφών συστημάτων περιλαμβάνει δύο τμήματα. Από τη μια τον προσδιορισμό της δομής δηλαδή την κατάλληλη τμηματοποίηση των εισόδων, τον προσδιορισμό του αριθμού και της μορφής των ασαφών κανόνων και από την άλλη τον προσδιορισμό των παραμέτρων δηλαδή τους αλγόριθμους που ρυθμίζουν τις ασαφείς παραμέτρους του δικτύου και τις συναρτήσεις συμμετοχής.

Τα τμήματα αυτά της διαδικασίας εκπαίδευσης μπορούν να συνδυαστούν με διάφορους τρόπους ώστε να προκύψει ένα νευρο-ασαφές σύστημα. Ο πιο συνηθισμένος όμως είναι αυτός της ακολουθιακής εφαρμογής. Σύμφωνα με αυτήν,

αρχικά γίνεται η τμηματοποίηση των διαστημάτων εισόδου με μια προκαθορισμένη μέθοδο. Έπειτα, με τη χρήση αλγορίθμων γίνεται η εύρεση των ασαφών κανόνων του συστήματος και ο προσδιορισμός των βαρών τους. Μάλιστα, τα βάρη των ασαφών κανόνων καθορίζουν το σχήμα των συναρτήσεων συμμετοχής που χρησιμοποιούνται στα τμήματα υπόθεσης και συμπεράσματος των κανόνων. Υποθέτοντας ότι έχουμε τους ασαφείς κανόνες που μοντελοποιούν το σύστημα και έχουμε πάρει την αντίστοιχη δομή, το νευρο-ασαφές μοντέλο χρησιμοποιεί αλγορίθμους εκπαίδευσης των παραμέτρων για τη σωστή προσαρμογή των βαρών και των συναρτήσεων συμμετοχής με σκοπό την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης σφάλματος.

5.4 Adaptive Network based Fuzzy Inference System (ANFIS)

Κατά καιρούς, έχουν προταθεί διάφορα νευρο-ασαφή μοντέλα τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους στην αρχιτεκτονική και στην ασαφή συλλογιστική διαδικασία που ακολουθούν (π.χ χρήση Mamdani ή Takagi-Sugeno συλλογιστική). Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα νευρο-ασαφούς μοντέλου που συναντάται στη βιβλιογραφία είναι το ANFIS το οποίο και θα μελετήσουμε αναλυτικά παρακάτω.

5.4.1 Ορισμός του ANFIS

Ένα από τα πρώτα υβριδικά νευρο-ασαφή συστήματα είναι το Προσαρμοστικό Νευροασαφές Σύστημα Συμπερασμού (Adaptive Neural Fuzzy Inference System, ANFIS). Πρόκειται για ένα νευρο-ασαφές σύστημα, ένα συνδυασμό δηλαδή τεχνητών νευρωνικών δικτύων (Artificial Neural Network, ANN) και Ασαφούς Συστήματος Συμπερασμού (Fuzzy Inference System, FIS) που προτάθηκε από τον Jang το 1992. Μάλιστα, το μοντέλο ANFIS παραμένει ακόμα και σήμερα ένα από τα

πλέον αποδοτικά και αξιόπιστα νευρο-ασαφή συστήματα με ποικίλες εφαρμογές. [5.13]

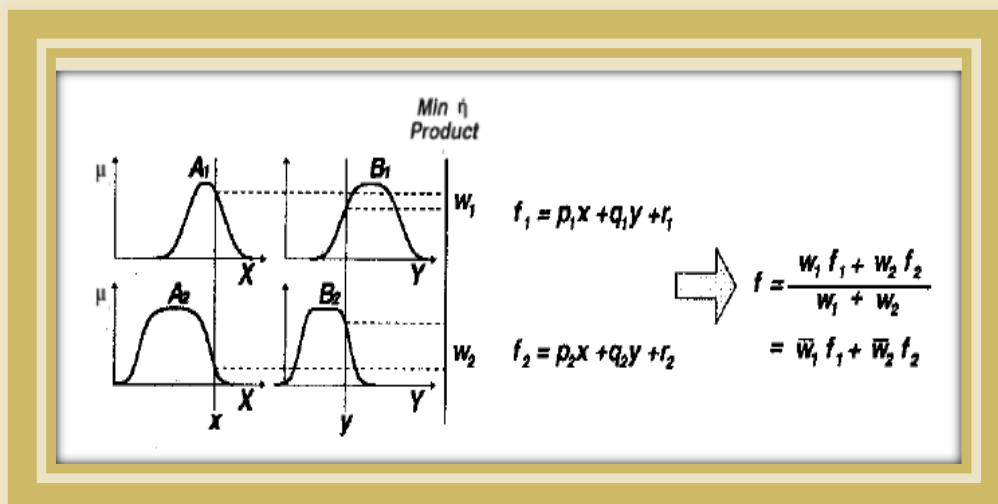
Το ANFIS αναπαριστά ένα ασαφές σύστημα τύπου Sugeno σχεδιασμένο με μια ειδική αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου 5 επιπέδων [5.12]. Στο μοντέλο αυτό εμπεριέχεται μια διαδικασία εκπαίδευσης, όμοια με αυτή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Έτσι, από ένα σύνολο δεδομένων εισόδου/εξόδου ρυθμίζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής ενός ασαφούς συστήματος ελέγχου με χρήση είτε αποκλειστικά του αλγορίθμου μάθησης οπισθόδρομης διάδοσης είτε του συνδυασμού αυτού με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

5.4.2 Δομή του ANFIS

Έστω ότι έχουμε να αναλύσουμε ένα σύστημα με δύο εισόδους (x, y) και μία έξοδο (z). Μια τυπική βάση κανόνων (rule base) δεδομένου ότι έχουμε ένα πρώτης τάξης μοντέλο Sugeno θα μπορούσε να είναι η παρακάτω: [5.13]

Rule 1: If X is A_1 and Y is B_1 , then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$
 Rule 2: If X is A_2 and Y is B_2 , then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

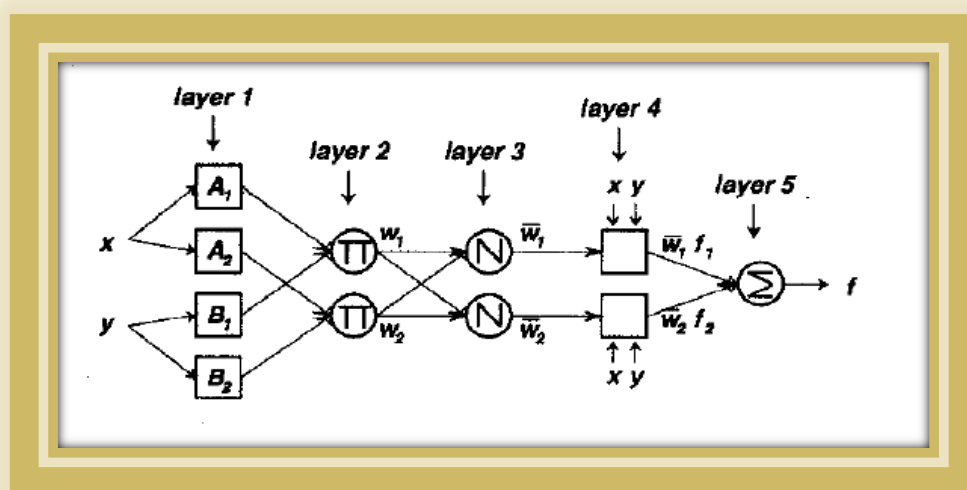
Το παρακάτω Σχήμα 3, δείχνει το μηχανισμό του ασαφούς συλλογισμού τύπου Sugeno που οδηγεί σε μια έξοδο f με δεδομένο ένα διάνυσμα εισόδου $[x, y]$.



Σχήμα 3: Ο μηχανισμός του ασαφούς συλλογισμού.

Όπως γίνεται φανερό, η έξοδος f του πρωτοβάθμιου μοντέλου Sugeno είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το ισοδύναμο προσαρμοστικό δίκτυο, η αρχιτεκτονική του μοντέλου ANFIS που αντιστοιχεί στο παραπάνω σύστημα ασαφούς συλλογισμού.



Σχήμα 4: Αρχιτεκτονική δομή ANFIS.

Ο κάθε κόμβος και το κάθε επίπεδο του ANFIS έχει μία ιδιαίτερη χρήση την οποία αναλύουμε παρακάτω.

➤ 1^ο Επίπεδο

Κάθε κόμβος αυτού του επιπέδου δέχεται ως είσοδο τις μεταβλητές x, y με μια συνάρτηση ενεργοποίησης:

$$O_i^1(x) = \mu_{A_i}(x)$$

όπου

- x , η είσοδος στον κόμβο i .
- A_i , η γλωσσική ταμπέλα (μικρό, μεγάλο, κλπ.) που σχετίζεται με τη συνάρτηση του κόμβου.

Ουσιαστικά, η έξοδος αυτού του επιπέδου O_i εκφράζει το βαθμό συμμετοχής του ασαφούς συνόλου A_i και καθορίζει το βαθμό στον οποίο η είσοδος x ικανοποιεί το δεδομένο του αντίστοιχου κανόνα.

➤ 2^ο Επίπεδο

Κάθε κόμβος σε αυτό το επίπεδο είναι ένας πολλαπλασιαστής (κόμβος Π) ο οποίος πολλαπλασιάζει τα σήματα εξόδου του πρώτου επιπέδου. Η έξοδος του επιπέδου αυτού είναι επομένως το γινόμενο όλων των σημάτων που εισέρχονται στο επίπεδο αυτό και αντιστοιχεί στην ισχύ (firing strength) του κάθε κανόνα :

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y), i = 1, 2$$

Οι συνδέσεις ανάμεσα στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο γίνονται με βάση τους ασαφείς κανόνες και οι έξοδοι του επιπέδου αυτού αντιστοιχούν ουσιαστικά στο βαθμό ενεργοποίησης των ασαφών κανόνων.

➤ 3^ο Επίπεδο

Ο αριθμός των κόμβων σε αυτό το επίπεδο είναι ίσος με τον αντίστοιχο αριθμό του προηγούμενου επιπέδου. Συγκεκριμένα, ο i -κόμβος υπολογίζει το πηλίκο της ισχύος (βαθμός ενεργοποίησης) του i -κανόνα ως προς το άθροισμα των βαθμών ενεργοποίησης όλων των κανόνων:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \rightarrow, \dots, i=1,2$$

Μάλιστα, οι έξοδοι αυτού του επιπέδου ονομάζονται κανονικοποιημένοι βαθμοί ενεργοποίησης (normalized firing strengths).

➤ 4^ο Επίπεδο

Κάθε κόμβος i του επιπέδου αυτού υπόκειται στη διαδικασία μάθησης. Η διαδικασία που εκτελείται είναι η εξής:

$$O_i^4 = \bar{w}_i * f_i = \bar{w}_i * (p_i * x + q_i * y + r_i)$$

Όπου

- w_i , ο κανονικοποιημένος βαθμός ενεργοποίησης του κανόνα i (έξοδος του επιπέδου 3)
- $\{p_i, q_i, r_i\}$, το σύνολο παραμέτρων που ανανεώνονται κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης.

➤ 5^ο Επίπεδο

Ο μοναδικός κόμβος που υπάρχει στο τελευταίο επίπεδο, είναι ένας κυκλικός κόμβος που συμβολίζεται ως Sum και υπολογίζει τη συνολική έξοδο του νευρο-ασαφούς συστήματος ANFIS. Έτσι έχουμε:

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i * f_i = \frac{\sum_i w_i * f_i}{\sum_i w_i}$$

5.4.3 Εκπαίδευση του ANFIS

Οι παράμετροι των μη γραμμικών κόμβων του 1^ο επιπέδου και των γραμμικών κόμβων του 4^ο επιπέδου μπορούν να μεταβάλλονται κατά τη διαδικασία της μάθησης. Το σύνολο των παραμέτρων του συστήματος επομένως είναι η ένωση του συνόλου των μη γραμμικών και των γραμμικών παραμέτρων του.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται κατά την εκπαίδευση του συστήματος ANFIS είναι ένας υβριδικός αλγόριθμος που μπορεί να λειτουργεί με διάδοση προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Συγκεκριμένα, κατά τη διάδοση προς τα εμπρός παραμένουν σταθεροί οι μη γραμμικοί παράμετροι του πρώτου επιπέδου ενώ οι γραμμικοί παράμετροι του τέταρτου επιπέδου προσδιορίζονται με βάση τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Από την άλλη, κατά τη διάδοση προς τα πίσω οι μη γραμμικοί παράμετροι μεταβάλλονται με βάση τον αλγόριθμο της απότομης καθόδου ενώ τώρα οι γραμμικοί παράμετροι είναι αυτοί που παραμένουν σταθεροί. Στη φάση αυτή, έχοντας μία ένδειξη του λάθους πραγματοποιείται μία διόρθωση κατά μία ποσότητα που ορίζεται από τη μέθοδο της βαθμωτής κατάβασης (Gradient Descent) των μεταβλητών a_i , b_i , c_i .

Το ANFIS, λοιπόν, χωρίζει το σύνολο των παραμέτρων του σε δύο υποσύνολα. Το ένα εκ των δυο, περιλαμβάνει το γραμμικό σύνολο παραμέτρων και επομένως είναι δυνατόν να εκπαιδευτεί με γραμμικούς αλγόριθμους όπως η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (least squared method). Οι γραμμικοί αλγόριθμοι μάθησης επιτυγχάνουν συνολικά ελάχιστα (global minimums) της συνάρτησης κόστους στο χώρο των παραμέτρων τους και είναι αποδοτικοί από πλευράς απαιτούμενου υπολογιστικού χρόνου. Το δεύτερο υποσύνολο παραμέτρων εκπαιδεύεται με αλγόριθμους που μπορούν να δημιουργήσουν μη-γραμμικές απεικονίσεις, όπως η βαθμωτή κατάβαση (gradient descent). Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι απαιτητικοί από πλευράς απαιτούμενου χρόνου εκπαίδευσης και δεν υπάρχει εγγύηση για την πραγματοποίηση του συνολικού ελαχίστου της συνάρτησης κόστους στον χώρο των παραμέτρων τους.

5.4.4 Περιορισμοί του ANFIS

Το βασικότερο πλεονέκτημα του μοντέλου ANFIS έγκειται στην ύπαρξη και χρήση τόσο γραμμικών όσο και μη γραμμικών μεθόδων, γεγονός που το καθιστά ταχύτερο από τα κλασικά νευρωνικά δίκτυα.

Στο σύνολο της βιβλιογραφίας, το σύστημα ANFIS παρουσιάζει κάποιες αδυναμίες ή περιορισμούς. Οι κυριότεροι περιορισμοί, λοιπόν, του ANFIS είναι οι εξής:

- Βασίζεται σε ένα FIS τύπου Sugeno.
- Δεν μπορεί να γίνεται κοινή χρήση κανόνων. Διαφορετικοί κανόνες δεν μπορούν να έχουν την ίδια συνάρτηση συμμετοχής εξόδου.
- Όλες οι συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου πρέπει να είναι ίδιου τύπου, γραμμικές ή σταθερές.
- Απαιτείται η παρουσία βάρους σε κάθε κανόνα.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε συνάρτηση συμμετοχής παρά μόνο προκαθορισμένες που επιβάλλουν οι ορισμοί του ANFIS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, αναπτύσσεται και εφαρμόζεται στο περιβάλλον της Matlab ο αλγόριθμος που περιγράφει το Προσαρμοστικό Νευρο-Ασαφές Σύστημα Συμπερασμού (Adaptive Neural Fuzzy Inference, ANFIS) για την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού. Ο αλγόριθμος αυτός (ANFIS) κάνει χρήση του fuzzy logic toolbox της Matlab που περιέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη και αναλυτική χρήση ενός τέτοιου συστήματος.

Το μοντέλο ANFIS, στα πλαίσια αυτής της μελέτης, αποτελείται από μία είσοδο και μια έξοδο. Συγκεκριμένα, σαν είσοδο παίρνει την τιμή του χρυσού μια τυχαία ημέρα (t) ενώ σαν έξοδο δίνει την πρόβλεψη της τιμής του κίτρινου μετάλλου όπως προκύπτει από το μοντέλο ANFIS για την επομένη από την τυχαία ημέρα ($t+1$).

Η διαδικασία, λοιπόν, που ακολουθείται κατά την εφαρμογή του μοντέλου ANFIS περιλαμβάνει:

- ☐ Την οργάνωση του δικτύου και των μεταβλητών του.
- ☐ Την εκπαίδευση του νευρο-ασαφούς δικτύου.
- ☐ Την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων του.

Αρχικά, λοιπόν, αλλάζοντας τις παραμέτρους του αλγορίθμου εξετάζεται η συμπεριφορά και η αποτελεσματικότητα του μοντέλου ANFIS. Ενώ, σε επόμενη φάση, εφαρμόζονται και άλλα τρία μοντέλα πρόβλεψης (AR, ARMA, NN) προκειμένου να γίνει η σύγκριση μεταξύ των προβλέψεων που δίνει το κάθε ένα μοντέλο και να προταθεί τελικά το μοντέλο εκείνο που δίνει την πιο πετυχημένη (πιο ακριβή) πρόβλεψη της τιμής του χρυσού. Εν κατακλείδι, σχολιάζονται τα

αποτελέσματα των προβλέψεων από όλα τα εφαρμοσμένα μοντέλα και καταγράφονται συνολικά τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής.

6.2 Δεδομένα πειράματος

Ο αλγόριθμος που εξετάζεται στα πλαίσια αυτής της μελέτης δέχεται δεδομένα από μια χρονο-σειρά που περιέχει τις τιμές του χρυσού του παρελθόντος και προβλέπει τις αντίστοιχες αναμενόμενες τιμές για το μέλλον. Συγκεκριμένα, η χρονο-σειρά αυτή περιέχει δεδομένα από τα τέλη Ιουλίου του 2002 (31/7/2002) μέχρι τις αρχές Απριλίου του 2009 (3/4/2009). Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από το site www.bloomberg.com και αφορούν την τιμή του κίτρινου μετάλλου σε δολάρια. Η συλλογή και αποθήκευση τους έγινε σε φύλλα excel, ώστε να γίνει εύκολα η επεξεργασία τους από το μοντέλο (ANFIS) μέσω του προγράμματος της Matlab.

Το σύνολο των δεδομένων διαιρείται σε δυο άλλα σύνολα, αυτό της εκπαίδευσης και του ελέγχου. Το σύνολο εκπαίδευσης χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του ασαφούς μοντέλου ενώ το σύνολο ελέγχου για να προσδιοριστεί πότε θα πρέπει να τερματιστεί η εκπαίδευση ώστε να αποφευχθεί το overfitting. Συνολικά, λοιπόν, τα δεδομένα είναι 1682 από τα οποία τα πρώτα 1588 χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του μοντέλου και τα υπόλοιπα 94 για τον έλεγχο αυτού.

6.3 Επεξεργασία

Στη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων, προσδιορίζονται οι αρχικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου ANFIS. Συγκεκριμένα, οι τιμές αυτές δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1):

Πίνακας 1: Οι παράμετροι του μοντέλου ANFIS.

<u>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ</u>	<u>ΤΙΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ</u>
Αριθμός Συναρτήσεων Συμμετοχής (mf_no)	2,3,4,5
Μέγεθος Βήματος (ss_no)	0.01
Αριθμός Εποχών (epoch_no)	400
Τύπος Συνάρτησης Συμμετοχής (mf_type)	gbellmf,trimf,gauss2mf, gaussmf,smf,trapmf,zmf, pimf

Όπως γίνεται εμφανές από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 1), οι μεταβλητές του μεγέθους βήματος (ss_no) και του αριθμού των εποχών (epoch_no) έχουν σταθερή-αμετάβλητη τιμή. Αντίθετα, οι μεταβλητές που αφορούν τον αριθμό και τον τύπο των συναρτήσεων συμμετοχής (mf_no, mf_type) μπορούν να πάρουν περισσότερες από μία τιμές. Σκοπός μας, λοιπόν, είναι να δώσουμε σε αυτές τις μεταβλητές όλες τις δυνατές τιμές που μπορούν να πάρουν (Πίνακας 1) και να εξετάσουμε πως μεταβάλλονται οι προβλέψεις συναρτήσεών αυτών. Για αυτόν το λόγο, προχωρήσαμε στην εφαρμογή του μοντέλου ANFIS για διαφορετικό τύπο Συναρτήσεων Συμμετοχής (mf_type) και αριθμό από 2 έως και 5 (mf_no).

Οι Συναρτήσεις Συμμετοχής (mf_type) που μελετήθηκαν εκτεταμένα είναι οι εξής:

- **Gbellmf** (γενικευμένη καμπανοειδής συνάρτηση συμμετοχής),
- **trimf** (συνάρτηση συμμετοχής τριγωνικής μορφής),
- **gaussmf** και **gauss2mf** (γκουσιανή συνάρτηση συμμετοχής),
- **trapmf** (τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής)

Ωστόσο, εξετάστηκαν και άλλοι τύποι συναρτήσεων (smf, zmf, pimf) οι οποίοι όμως συνοδεύτηκαν από προβλήματα κατά την εφαρμογή του μοντέλου ANFIS και γι' αυτό τον λόγο δεν μελετήθηκαν περαιτέρω αλλά ούτε και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτών.

Σε κάθε περίπτωση τύπου συναρτήσεων συμμετοχής, ο αλγόριθμος του ANFIS υπολογίζει τις καταλληλότερες παραμέτρους των συναρτήσεων αυτών, τις λεγόμενες

MF parameters. Από τις επαναλαμβανόμενες δοκιμές του αλγορίθμου με εφαρμογή διαφορετικών συνδυασμών παραμέτρων (mf_no, mf_type) προκύπτουν επίσης και τα αποτελέσματα πρόβλεψης για την τιμή του χρυσού. Μάλιστα, για την αξιολόγηση αυτών και τον προσδιορισμό του ιδανικού συνδυασμού μεταβλητών που οδηγεί στην πιο ακριβή πρόβλεψη, υπολογίστηκαν τέσσερα διαφορετικά είδη σφαλμάτων. Τα σφάλματα αυτά είναι τα εξής:

- ***MSE (Mean Square Error) => Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα***

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

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα MSE (Mean Square Error) προκύπτει παίρνοντας μια μέση τιμή του τετραγώνου του σφάλματος, δηλαδή της διαφοράς της πραγματικής από τη προβλεπόμενη τιμή κατά μήκος των δυο δειγμάτων είτε είναι το δείγμα εκπαίδευσης είτε το δείγμα πρόβλεψης.

- ***RMSE (Root Mean Square Error) => Ρίζα Του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος***

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

- ***MAE (Mean Absolute Error) => Μέσο Απόλυτο Σφάλμα***

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

- **MAPE (Mean Absolute Percentage Error) => Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα**

$$\text{MAPE} = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N |e_t| \quad e_t = \frac{F_t - A_t}{A_t}$$

Όπου A_t , F_t πραγματικές τιμές.

6.4 Αποτελέσματα πειράματος

Μετά την εφαρμογή του μοντέλου ANFIS για όλους τους συνδυασμούς παραμέτρων (mf_no, mf_type), τα αποτελέσματα που προέκυψαν αξιολογήθηκαν με βάση τις τιμές των σφαλμάτων MSE, RMSE, MAE, MAPE. Από το σύνολο αυτών των σφαλμάτων, όμως, ο δείκτης RMSE (Root Mean Square Error) χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ακρίβειας του μοντέλου καθώς καταγράφει ουσιαστικά πόσο καλή πρόβλεψη μπορεί να επιτύχει το μοντέλο.

Στη συνέχεια, λοιπόν, παρατίθενται τα εξαγόμενα αποτελέσματα για κάθε μία από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

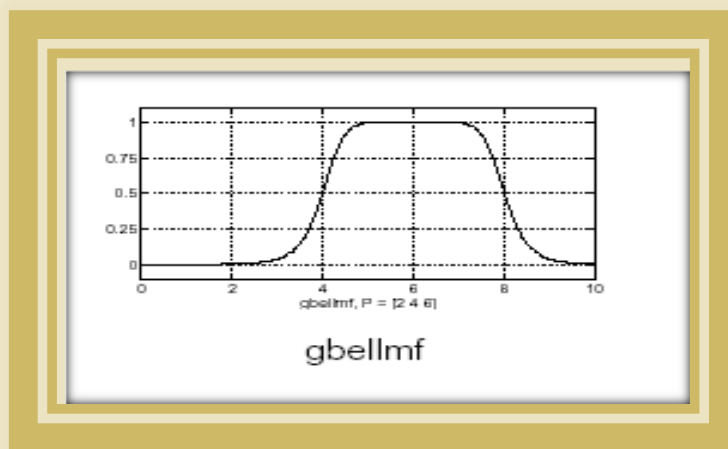
➤ Συνάρτηση Συμμετοχής τύπου gbellmf (Generalized bell MFs):

Η γενικευμένη καμπανοειδής συνάρτηση συμμετοχής προσδιορίζεται από τρεις παραμέτρους $\{a, b, c\}$, όπου η παράμετρος b είναι συνήθως θετική.

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

Όπου a , b , c το σύνολο των παραμέτρων.

Η σχηματική απεικόνιση γι' αυτόν τον τύπο συνάρτησης συμμετοχής είναι αυτή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Συνάρτηση Συμμετοχής Τύπου gbellmf.

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 2) δείχνει συγκεντρωτικά τις τιμές των σφαλμάτων για τύπο συνάρτησης gbellmf και για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 ως 5.

Πίνακας 2: Οι τιμές σφαλμάτων για τύπο συναρτήσεως gbellmf και για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 έως 5.

gbellmf	MSE	RMSE	MAE	MAPE
mf_no=2	4.2541	2.0626	1.6195	3.8371
mf_no=3	4.2868	2.0705	1.6201	3.8356
mf_no=4	4.1576	2.0390	1.5681	3.7290
mf_no=5	4.3903	2.0953	1.6333	3.8728

Όπως παρατηρείται (Πίνακας 2), με έντονο χρώμα τονίζονται οι μικρότερες τιμές σφαλμάτων για κάθε κατηγορία σφάλματος. Έτσι, για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής ίσο με τέσσερα (mf_no=4) και τύπο συνάρτησης gbellmf, τα σφάλματα MSE, RMSE, MAE και MAPE παίρνουν τις μικρότερες τιμές τους συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές που παίρνουν για αριθμό συναρτήσεων ίσο με δύο, τρία ή πέντε.

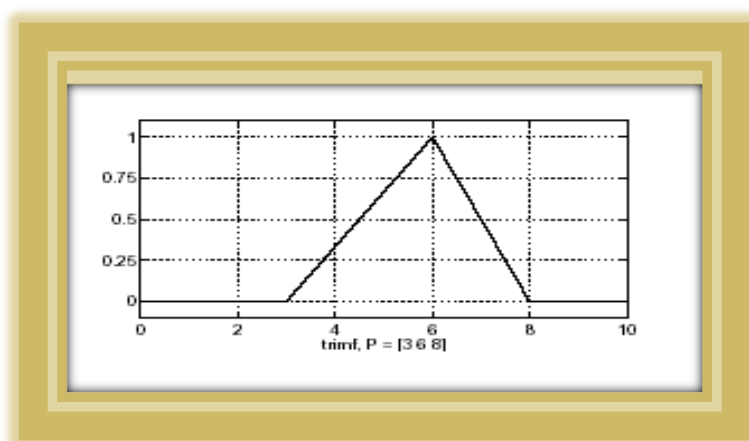
➤ Συνάρτηση Συμμετοχής τύπου trimf (triangular MFs):

Οι συναρτήσεις συμμετοχής τριγωνικής μορφής προσδιορίζονται από τρεις παραμέτρους {a,b,c} ως ακολούθως:

$$\text{trimf}(x, a, b, c) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right)$$

Όπου οι παράμετροι {a,b,c} (όπου $a < b < c$) καθορίζουν τις συντεταγμένες x των τριών γωνιών της συγκεκριμένης τριγωνικής συνάρτησης συμμετοχής.

Η σχηματική απεικόνιση γι' αυτόν τον τύπο συνάρτησης συμμετοχής είναι αυτή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Συνάρτηση Συμμετοχής Τύπου trimf.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει συγκεντρωτικά τις τιμές των σφαλμάτων για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 ως 5, για τύπο συνάρτησης trimf.

Πίνακας 3: Οι τιμές σφαλμάτων για τύπο συνάρτησης trimf και για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 έως 5.

trimf	MSE	RMSE	MAE	MAPE
mf_no=2	4.2587	2.0637	1.6171	3.8267
mf_no=3	4.4946	2.1200	1.6464	3.8785
mf_no=4	4.8477	2.2017	1.6668	3.9141
mf_no=5	8.1805	2.8602	1.8198	4.2127

Τα σφάλματα MSE, RMSE για τύπο συνάρτησης trimf παίρνουν τις μικρότερες δυνατές τιμές τους για αριθμό συναρτήσεων ίσο με δύο (mf_no= 2). Για τον ίδιο αριθμό συναρτήσεων (mf_no= 2) επίσης τα σφάλματα MAE και MAPE σημειώνουν τις ελάχιστες τιμές τους συγκριτικά με τις αντίστοιχες για αριθμό μεγαλύτερο του δύο. Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής από δύο σε τρεις, τέσσερις ή πέντε οι τιμές όλων των σφαλμάτων αυξάνονται.

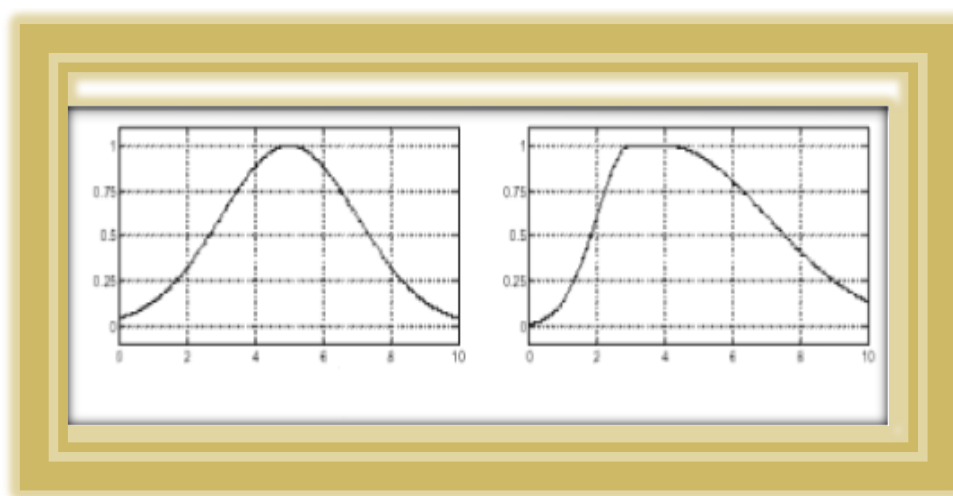
➤ **Συνάρτηση Συμμετοχής τύπου gaussmf και gauss2mf (Gaussian MFs):**

Η γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής προσδιορίζεται από δύο παραμέτρους {c,σ} ως εξής:

$$\text{gaussmf}(x, c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}$$

Όπου c αναπαριστά το κέντρο της συνάρτησης και σ το πλάτος της.

Η σχηματική απεικόνιση των δυο αυτών τύπων συναρτήσεων συμμετοχής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Συνάρτηση Συμμετοχής Τύπου gaussmf, gauss2mf αντίστοιχα.

Οι πίνακες 4 και 5 παρακάτω παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τις τιμές των σφαλμάτων για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 ως 5 και για τύπο συνάρτησης *gaussmf* και *gauss2mf* αντίστοιχα.

*Πίνακας 4: Οι τιμές σφαλμάτων για τύπο συνάρτησης *gaussmf* και για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 έως 5.*

<u>gaussmf</u>	MSE	RMSE	MAE	MAPE
mf_no=2	4.2431	2.0599	1.6141	3.8206
mf_no=3	4.1346	2.0334	1.5856	3.7585
mf_no=4	4.2572	2.0633	1.6177	3.8263
mf_no=5	4.1781	2.0441	1.5784	3.7617

Τα σφάλματα MSE, RMSE, MAPE σημειώνουν τις μικρότερες δυνατές τιμές τους για τύπο συνάρτησης *gaussmf* και για αριθμό συναρτήσεων ίσο με τρία (*mf_no* = 3) ενώ το σφάλμα MAE για αριθμό συναρτήσεων ίσο με πέντε (*mf_no* = 5).

*Πίνακας 5: Οι τιμές σφαλμάτων για τύπο συνάρτησης *gauss2mf* και για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 έως 5.*

<u>gauss2mf</u>	MSE	RMSE	MAE	MAPE
mf_no=2	4.2532	2.0623	1.6191	3.8368
mf_no=3	4.2845	2.0699	1.6250	3.8504
mf_no=4	4.2174	2.0536	1.5920	3.7798
mf_no=5	4.0619	2.0154	1.5532	3.7064

Στην περίπτωση του τύπου συνάρτησης *gauss2mf*, τα σφάλματα MSE, RMSE, MAE, MAPE παίρνουν τις μικρότερες δυνατές τιμές τους για αριθμό συναρτήσεων ίσο με πέντε (*mf_no*= 5).

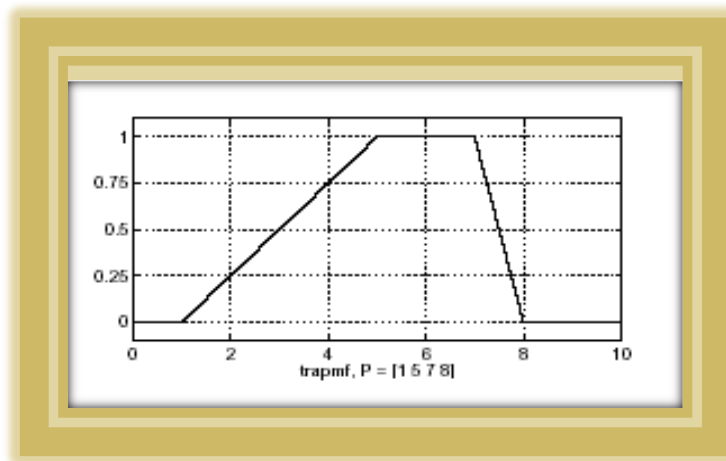
➤ **Συνάρτηση Συμμετοχής τύπου trapmf (Trapezoidal MFs):**

Η τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής προσδιορίζεται από τέσσερις παραμέτρους $\{a, b, c, d\}$ ως ακολούθως:

$$\text{trapmf}(x, a, b, c, d) = \max \left(\min \left(\frac{x - a}{b - a}, 1, \frac{d - x}{d - c} \right), 0 \right)$$

Οι παράμετροι $\{a, b, c, d\}$ με $a < b < c < d$ καθορίζουν τις συντεταγμένες x των τεσσάρων γωνιών της συγκεκριμένης τραπεζοειδούς συνάρτησης συμμετοχής.

Η σχηματική απεικόνιση αυτού του τύπου συνάρτησης συμμετοχής παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Συνάρτηση Συμμετοχής Τύπου trapmf.

Στην περίπτωση του τύπου συνάρτησης trapmf, η εφαρμογή του μοντέλου ANFIS για αριθμό συναρτήσεων ίσο με τέσσερα ($\text{mf_no} = 4$), οδηγεί στο παρακάτω σφάλμα:

Illegal parameters in fisTrapezoidMf() => $b > c$

Επειδή, λοιπόν, η μεταβλητή b παίρνει μεγαλύτερες τιμές από τη μεταβλητή c δεν μπορεί να εφαρμοστεί το μοντέλο ANFIS με τέτοιου είδους συνάρτηση συμμετοχής (trapmf) για αριθμό συναρτήσεων ίσο με τέσσερα ($\text{mf_no} = 4$).

Πίνακας 6: Οι τιμές σφαλμάτων για τύπο συναρτήσεως trapmf και για αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής από 2 έως 5.

trapmf	MSE	RMSE	MAE	MAPE
mf_no=2	4.2437	2.0600	1.6167	3.8277
mf_no=3	4.2335	2.0575	1.6138	3.8246
mf_no=4	-	-	-	-
mf_no=5	4.1381	2.0342	1.5800	3.7598

Όπως γίνεται εμφανές από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 6), τα σφάλματα MSE, RMSE, MAE και MAPE σημειώνουν τις μικρότερες τιμές τους για αριθμό συναρτήσεων ίσο με πέντε (mf_no = 5).

Όπως προαναφέρθηκε, ο σημαντικότερος δείκτης που εξετάστηκε είναι ο RMSE (Root Mean Square Error) καθώς προσδιορίζει πόσο αποτελεσματικό και ακριβές είναι το μοντέλο ANFIS ως μέσο πρόβλεψης της τιμής χρυσού. Για αυτό το λόγο, στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα παρουσιάζεται η μικρότερη τιμή που παρουσιάζει το σφάλμα αυτό για όλους τους τύπους συναρτήσεων συμμετοχής (mf_type) που εξετάστηκαν στα πλαίσια της διατριβής αυτής.

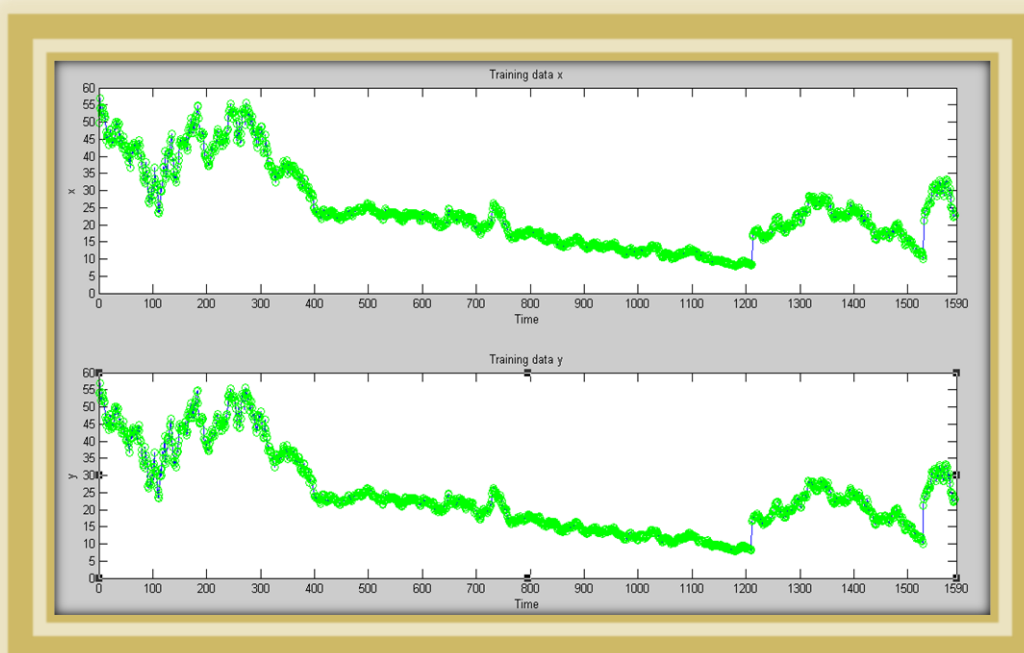
Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών του σφάλματος RMSE για όλους τους τύπους συναρτήσεων (mf_type).

RMSE	gbellmf	trimf	gaussmf	gauss2mf	trapmf
mf_no = 2	2.0626	2.0637	2.0599	2.0623	2.0600
mf_no = 3	2.0705	2.1200	2.0334	2.0699	2.0575
mf_no = 4	2.0390	2.2017	2.0633	2.0536	-
mf_no = 5	2.0953	2.8602	2.0441	2.0154	2.0342

Με βάση τις τιμές σφαλμάτων RMSE που παρουσιάζονται στον Πίνακα 7, η μικρότερη από αυτές (**RMSE = 2.0154**) είναι αυτή που αντιστοιχεί στη συνάρτηση συμμετοχής τύπου gauss2mf (mf_type = gauss2mf) και στον αριθμό συναρτήσεων ίσο με πέντε (mf_no = 5).

Με κριτήριο την μικρότερη δυνατή τιμή RMSE, λοιπόν, η περίπτωση συνδυασμού των παραμέτρων, τύπος συνάρτησης gauss2mf και αριθμός συναρτήσεων ίσος με πέντε είναι αυτή που δίνει την πιο ακριβή πρόβλεψη του ANFIS:

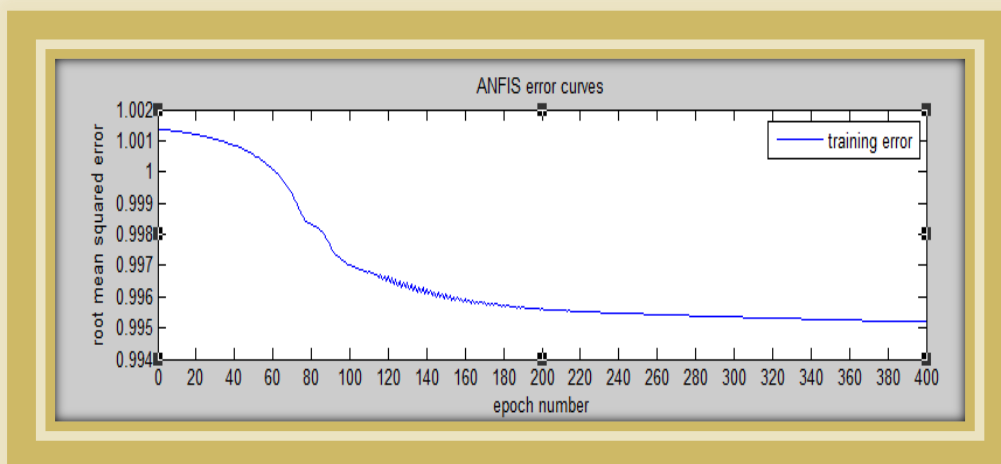
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διακύμανση που σημειώνει η τιμή του χρυσού και συγκεκριμένα τα πρώτα 1587 δείγματα που αποτελούν ουσιαστικά και το δείγμα εκπαίδευσης του μοντέλου ANFIS. Στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος αυτού, παρουσιάζονται οι τιμές του χρυσού στο διάστημα των 1587 ημερών [t-1], από 31/7/2002 μέχρι 14/11/2008, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα οι αντίστοιχες τιμές για τον ίδιο αριθμό ημερών [t] αλλά τώρα για το διάστημα από 1/8/2002 μέχρι 17/11/2008.



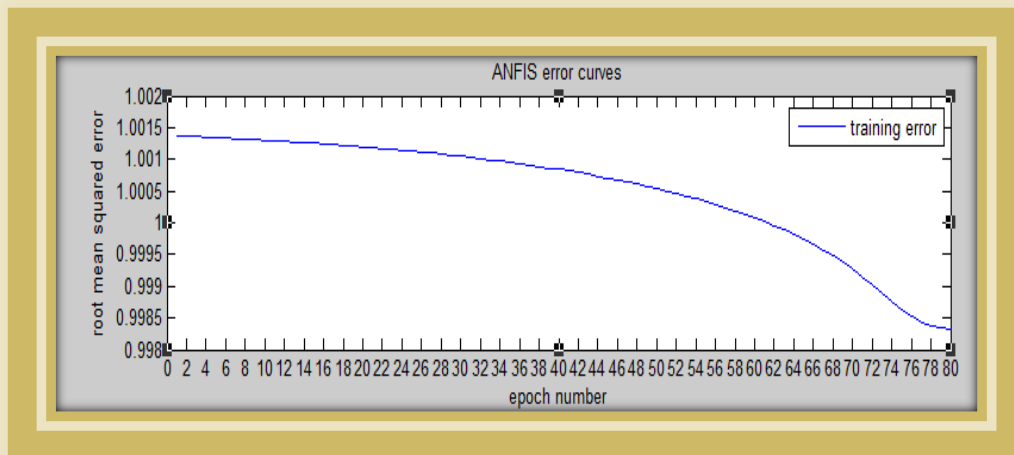
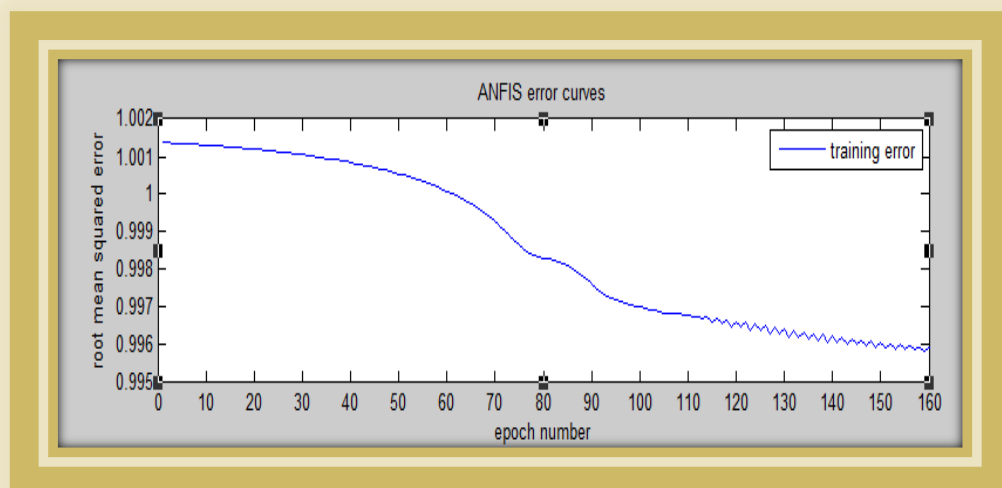
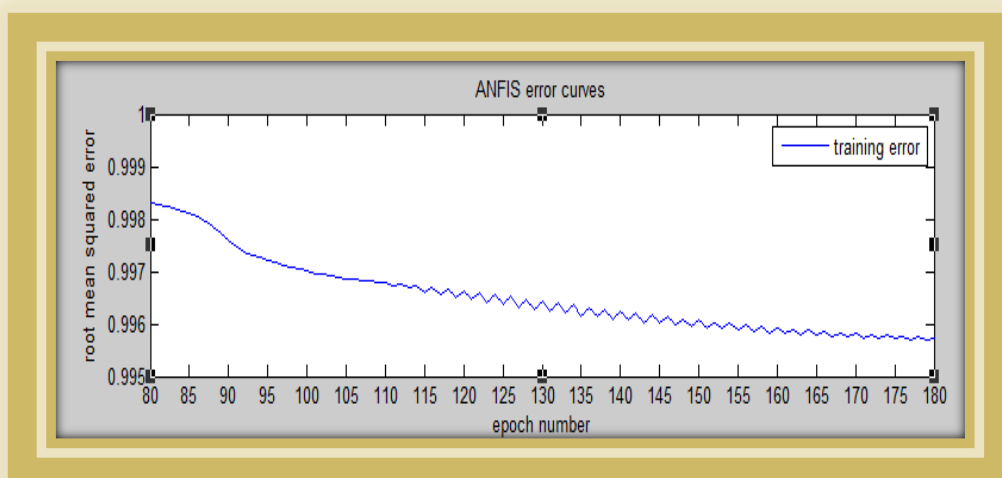
Σχήμα 5: Η διακύμανση της τιμής του χρυσού του δείγματος εκπαίδευσης σε διάστημα 1587 ημερών.

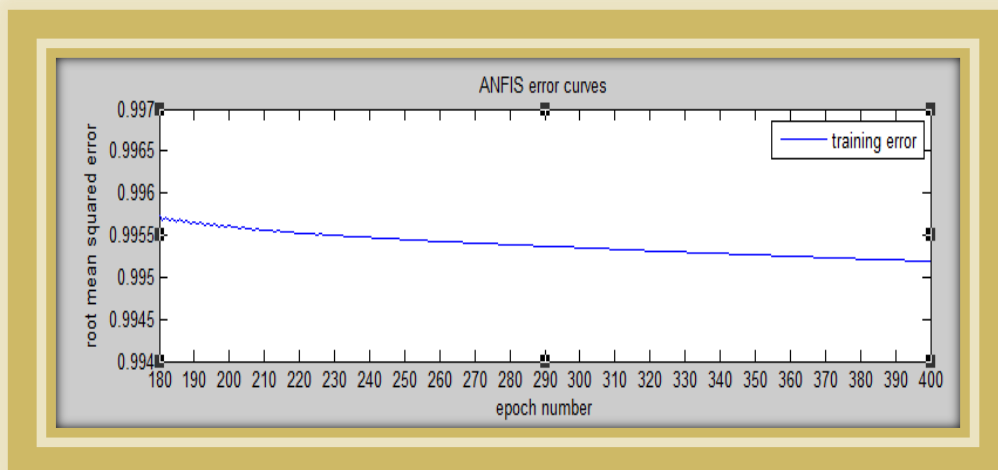
Στο Σχήμα 6 που ακολουθεί, παρουσιάζονται δυο γραφικές παραστάσεις. Η πρώτη με το όνομα “error curves” (Σχήμα 6.α) απεικονίζει το σφάλμα εκπαίδευσης, δείχνει δηλαδή την τιμή της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error, RMSE) συναρτήσει του αριθμού των εποχών (Epoch Number). Όπως φαίνεται από τη γραφική παράσταση στο Σχήμα 6.α, η τιμή της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) μετά από περίπου 40 επαναλήψεις (epoch number = 40) αρχίζει να πέφτει (μειώνεται) σημαντικά και μάλιστα να σταθεροποιείται μετά από 400 επαναλήψεις. Έτσι, κατά την αύξηση των εποχών (επαναλήψεων) πάνω από τον αριθμό 400 η συμπεριφορά του μοντέλου παραμένει η ίδια καθώς τα επίπεδα (τιμές) της καμπύλης του σφάλματος δεν μεταβάλλονται. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, το μεγαλύτερο μέρος της εκπαίδευσης γίνεται στις πρώτες 400 εποχές, αφού για περισσότερες επαναλήψεις το σφάλμα RMSE δεν μειώνεται (δε βελτιστοποιείται περαιτέρω) και άρα δεν υφίσταται περαιτέρω βελτίωση το μοντέλο κατά την εκπαίδευση.

Από την άλλη, η δεύτερη γραφική παράσταση με το όνομα “step sizes” (Σχήμα 6.β) απεικονίζει την καμπύλη του μεγέθους βήματος συναρτήσει των εποχών (επαναλήψεων).

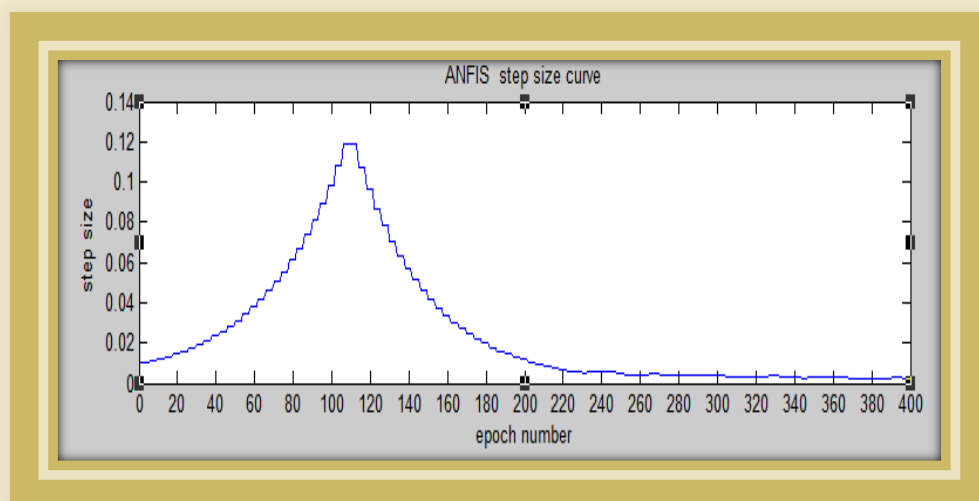


α)

 $\alpha)$  $\alpha)$  $\alpha)$



α)



β)

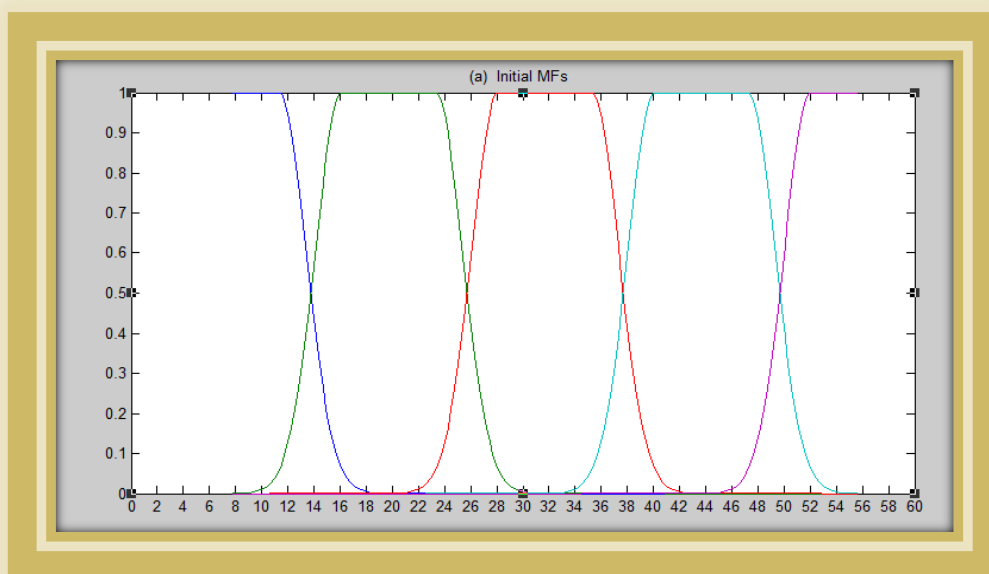
Σχήμα 6: α) Σφάλμα εκπαίδευσης ελέγχου(καμπύλη *RMSE*) συναρτήσει του αριθμού των εποχών.

β) Μέγεθος βήματος συναρτήσει του αριθμού των εποχών.

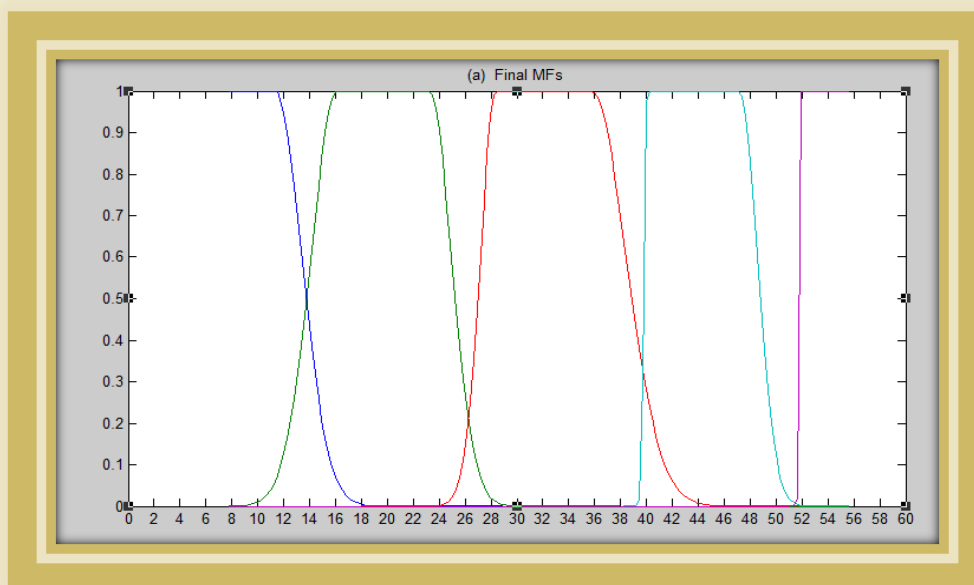
Παρακάτω απεικονίζεται η λεκτική αναπαράσταση της μεταβλητής που αντιστοιχεί στην είσοδο του συστήματος, στην τιμή του χρυσού. Η τιμή του χρυσού, λοιπόν, έχει ‘διαμεριστεί’ όπως λέμε σε λεκτικούς (*linguistic*) όρους. Από το σημείο αυτό και μετά μπορούμε να μιλάμε για την τιμή του χρυσού με λεκτικούς αντί αυστηρά αριθμητικούς όρους. Παρακάτω διακρίνουμε πέντε συναρτήσεις συμμετοχής (*mf_no=5*) που θεωρητικά αντιστοιχούν στην πολύ χαμηλή ή πολύ μικρή, χαμηλή ή

μικρή τιμή, μεσαία τιμή, υψηλή ή μεγάλη τιμή χρυσού και τέλος πολύ υψηλή ή πολύ μεγάλη τιμή χρυσού.

Οι αρχικές συναρτήσεις συμμετοχής που προέκυψαν από την προσαρμογή των παραμέτρων με τη βοήθεια του ANFIS, παρουσιάζονται στο Σχήμα 7 με τίτλο 'initial MFs'. Αντίστοιχα, οι τελικές συναρτήσεις συμμετοχής που προέκυψαν μετά την εκπαίδευση του μοντέλου παρουσιάζονται στο Σχήμα 8 με τίτλο 'final MFs'.

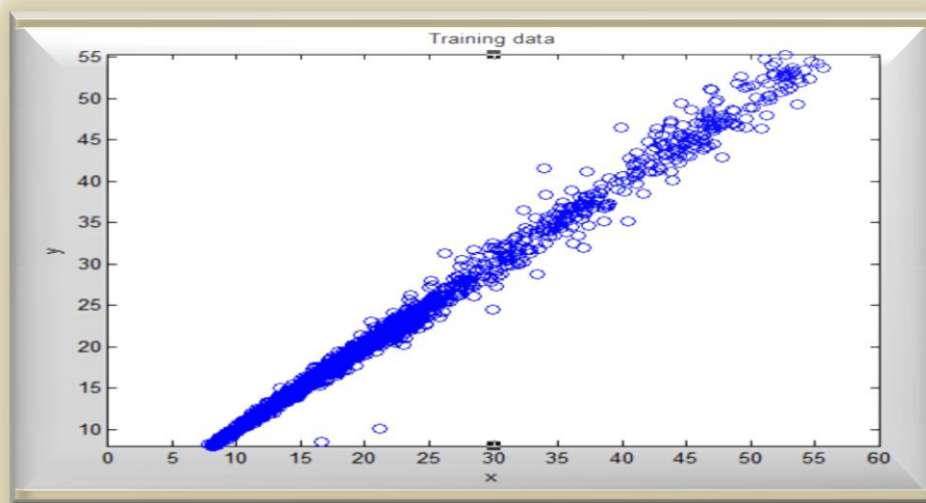


Σχήμα 7: Αρχικές Συναρτήσεις Συμμετοχής.

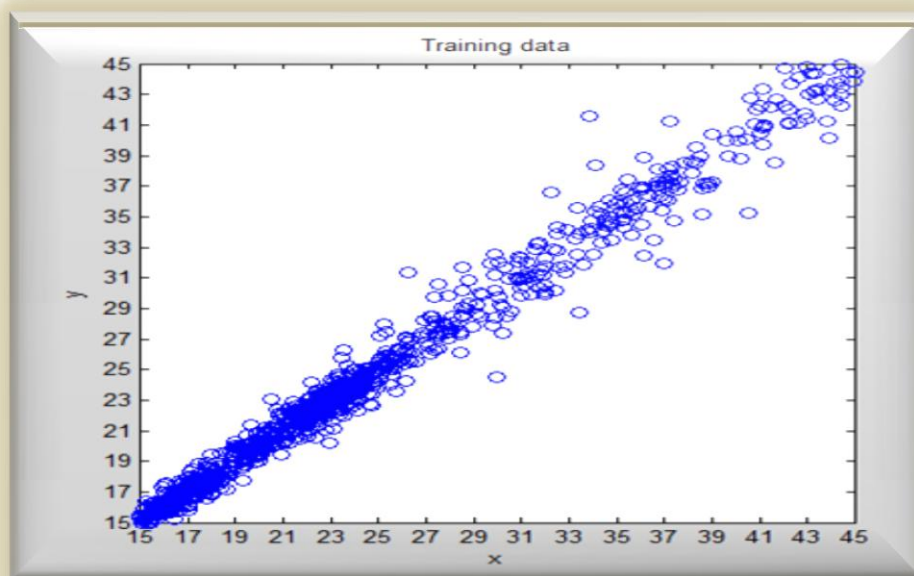


Σχήμα 8: Τελικές Συναρτήσεις Συμμετοχής.

Στα Σχήματα 9 και 10 που ακολουθούν παρουσιάζεται το γράφημα διασποράς των δεδομένων εκπαίδευσης σε δυο και τρεις διαστάσεις αντίστοιχα.



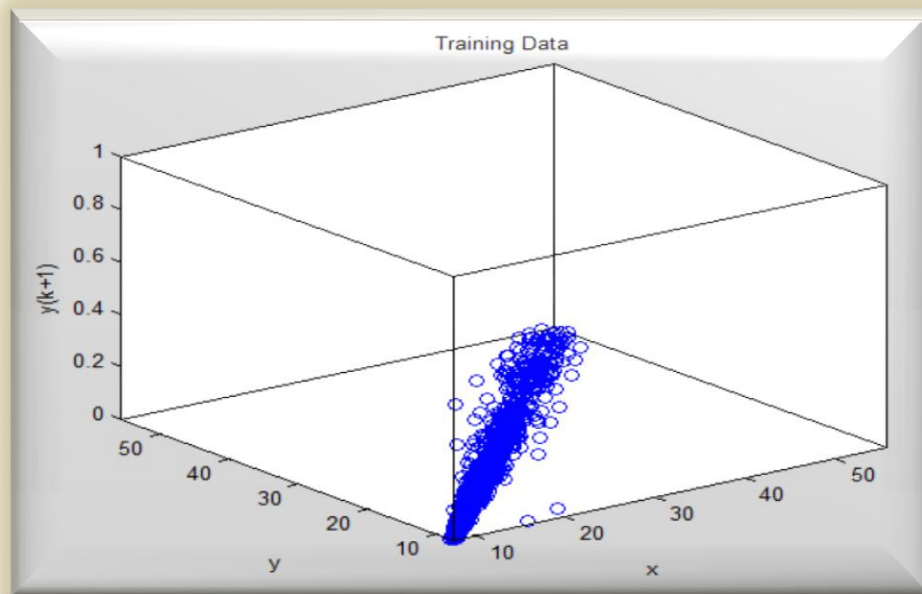
α)



β)

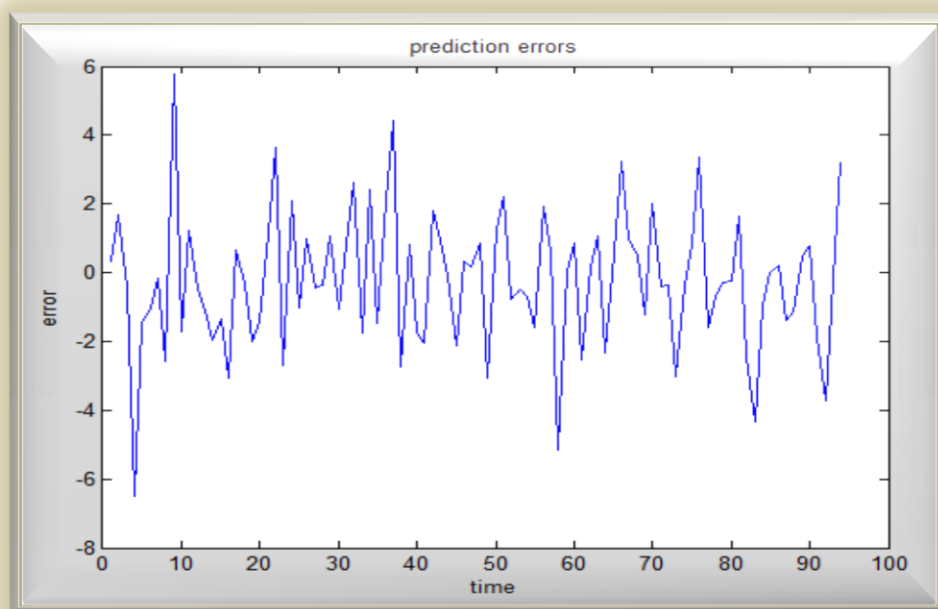
Σχήμα 9: α) Δισδιάστατο γράφημα διασποράς των δεδομένων εκπαίδευσης.

β) Μεγέθυνση του δισδιάστατου γραφήματος διασποράς των δεδομένων εκπαίδευσης.



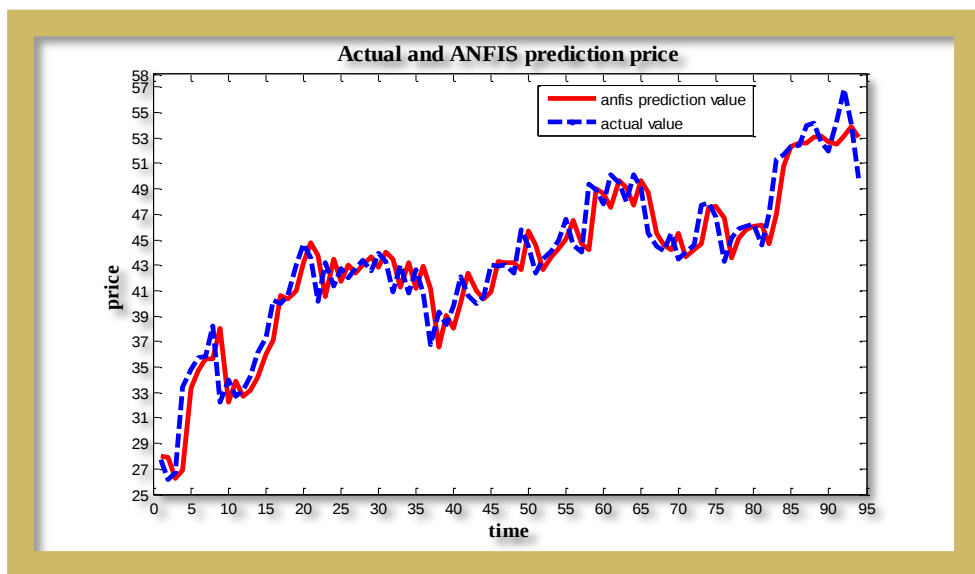
Σχήμα 10: Τρισδιάστατο γράφημα διασποράς των δεδομένων εκπαίδευσης.

Το επόμενο γράφημα (Σχήμα 11) δείχνει το σφάλμα πρόβλεψης του μοντέλου ANFIS, δηλαδή την απόκλιση (διαφορά) των προβλεπόμενων από τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές του χρυσού.

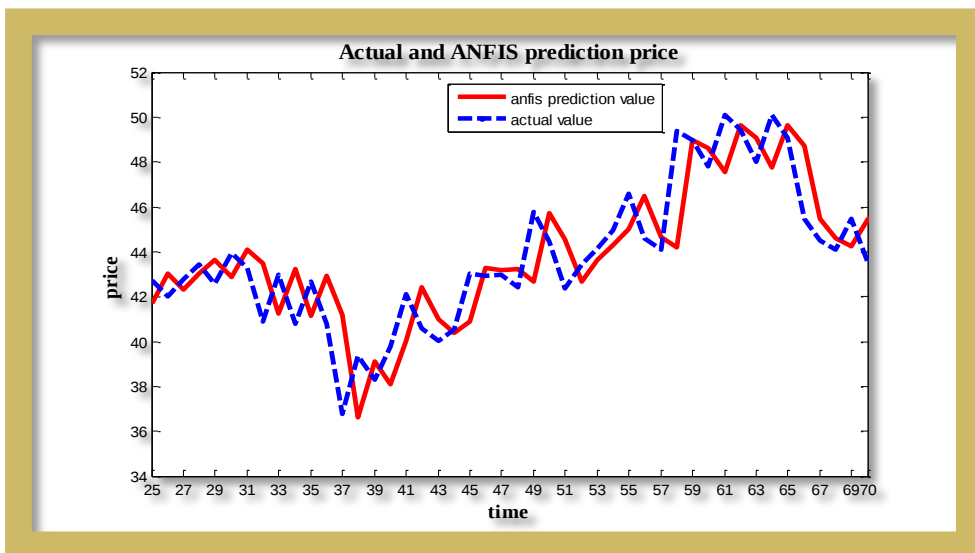


Σχήμα 11: Διακύμανση του λάθους πρόβλεψης του μοντέλου ANFIS.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 12), φαίνεται οπτικά η σύγκριση των πραγματικών τιμών (actual value) του χρυσού με τις αντίστοιχες τιμές πρόβλεψης του μοντέλου (anfis prediction value). Με την παρακάτω απεικόνιση θα αποκτηθεί μια πιο ολοκληρωμένη αντίληψη για την αποδοτικότητα του μοντέλου ANFIS. Όπως παρατηρείται, λοιπόν, οι προβλεπόμενες τιμές είναι πάρα πολύ κοντά κατά μήκος του διαγράμματος των πραγματικών τιμών με αποτέλεσμα να γίνεται εμφανής η επιτυχία του μοντέλου στην πρόβλεψη της τιμής του χρυσού.



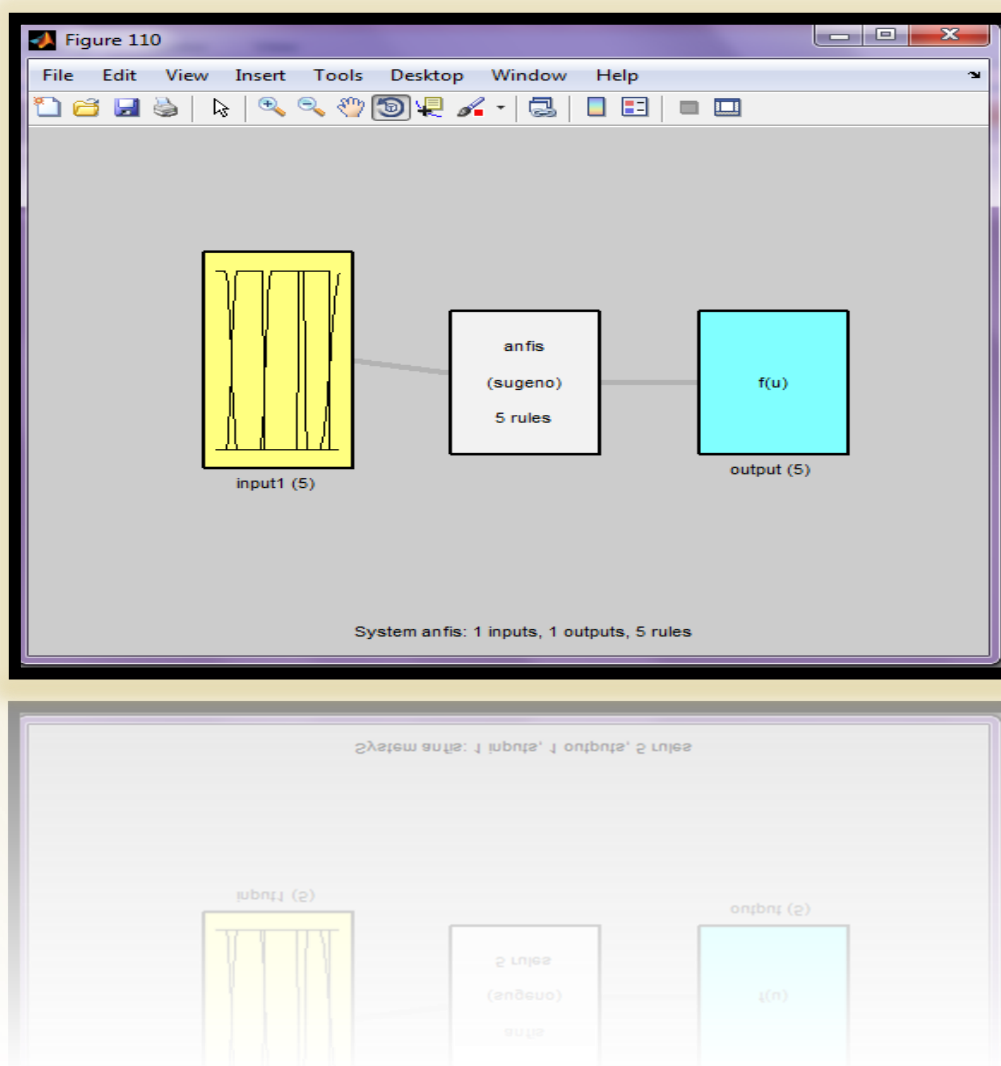
α)



β)

Σχήμα 12: α) Σύγκριση προβλεπόμενων (anfis prediction value) τιμών από το μοντέλο ANFIS και πραγματικών τιμών (actual value) χρυσού.

Το MATLAB ανταποκρίνεται ενεργοποιώντας τον συντάκτη συστημάτων ασαφούς συμπερασμού (*FIS Fuzzy Inference System Editor*) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την πλήρη σχεδίαση ενός ασαφούς συστήματος προκαθορισμένου τύπου (Σχήμα 13). Πρόκειται λοιπόν για ένα ασαφές μοντέλο τύπου Sugeno και μάλιστα πρώτου βαθμού πράγμα που σημαίνει ότι η έξοδος του μοντέλου αυτού ($f(x,y)$) είναι ένα πρώτου βαθμού πολυώνυμο. Καθορίζοντας ένα νέο ασαφές σύστημα μπορούμε να καθορίσουμε επίσης τον αριθμό και το εύρος των μεταβλητών εισόδου, το διαμερισμό τους, τον τύπο του ασαφούς συμπερασμού, τους ασαφείς κανόνες και γενικά όλα τα βήματα σχεδιασμού.

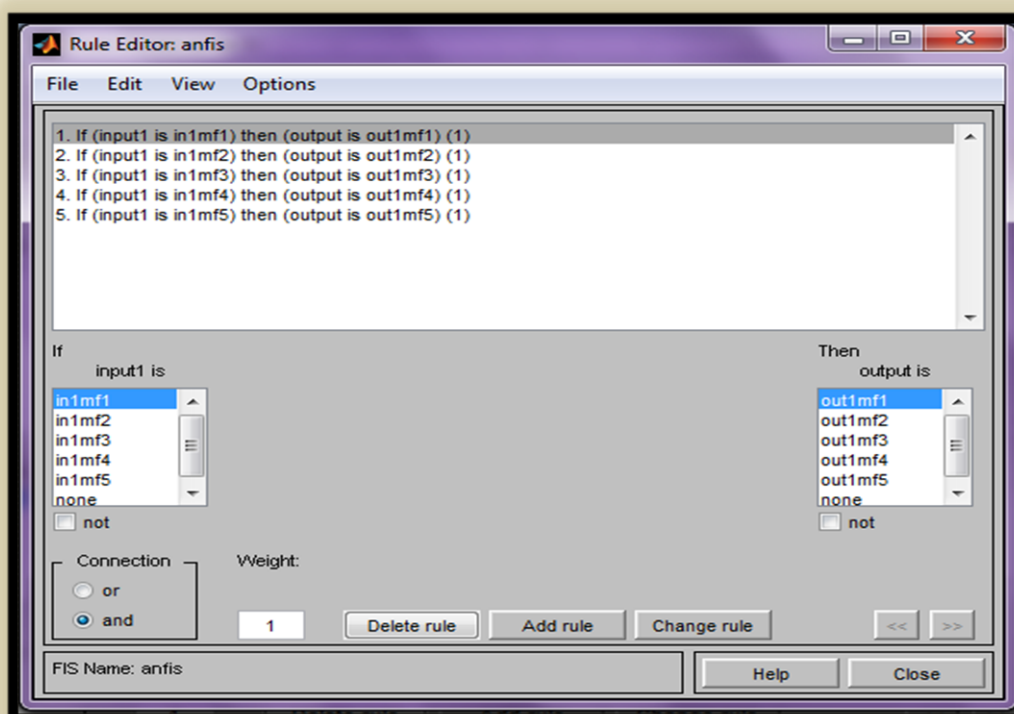


Σχήμα 13: Ο συντάκτης ασαφούς συμπερασμού FIS.

Το Σχήμα 13 δείχνει τις εισόδους, εξόδους του συστήματος καθώς και έναν κεντρικό επεξεργαστή ασαφών κανόνων. Εάν επιλέξουμε με το ποντίκι ένα από τα κουτιά-

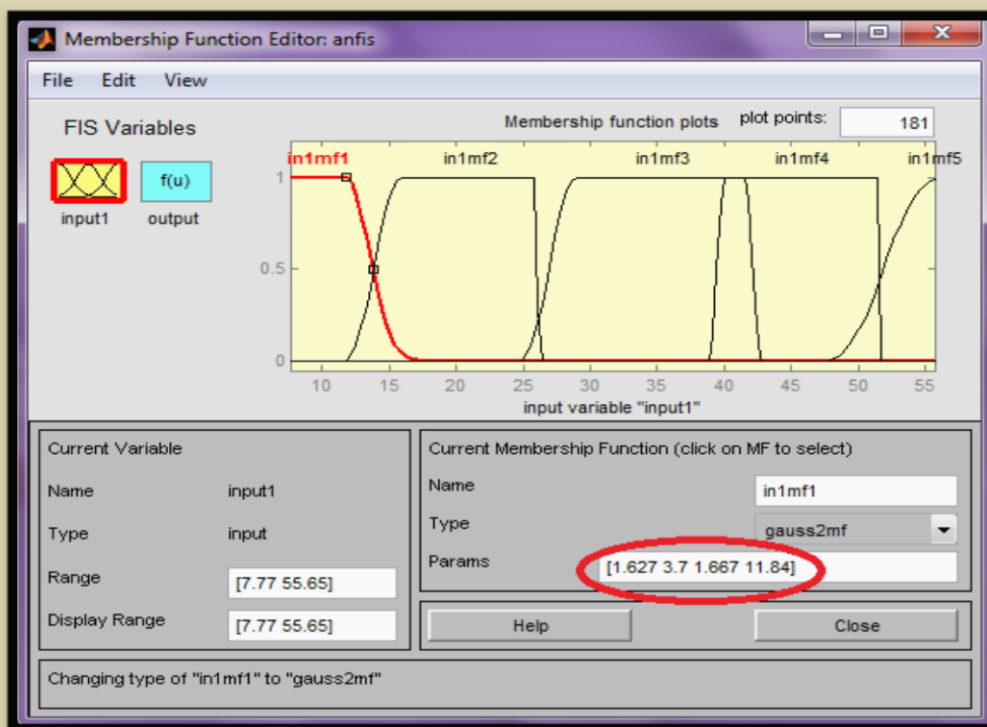
μεταβλητές, τότε αυτό θα γίνει η τρέχουσα μεταβλητή. Το κουτί τότε θα πρέπει να τονιστεί με κόκκινο χρώμα. Διπλή επιλογή με το ποντίκι (double-click) σε κάποια από τις μεταβλητές θα εμφανίσει το παράθυρο του συντάκτη συναρτήσεων συμμετοχής (**Membership Function Editor**). Ενώ, διπλή επιλογή με το ποντίκι (double-click) στον επεξεργαστή ασαφών κανόνων θα εμφανίσει τον συντάκτη κανόνων (**Rule Editor**).

Παρακάτω (Σχήμα 14), παρατίθενται οι ασαφείς κανόνες που προσδιορίζουν τη σχέση των εισόδων (προϋποθέσεις) με την έξοδο του μοντέλου (αποτέλεσμα).

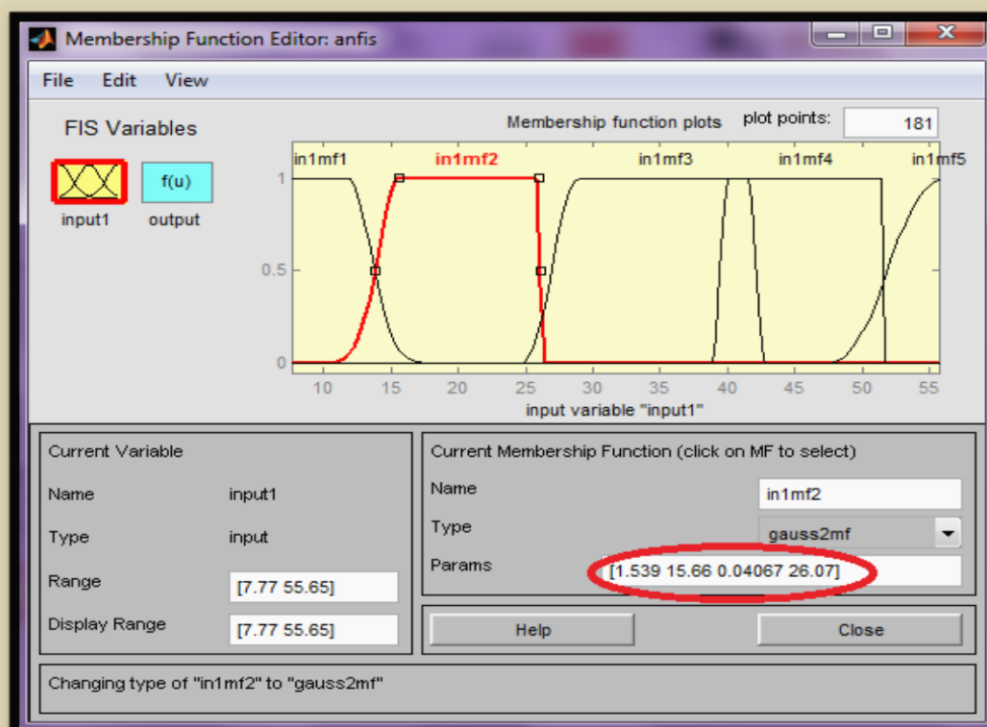


Σχήμα 14: Οι δυο ασαφείς κανόνες του μοντέλου ANFIS.

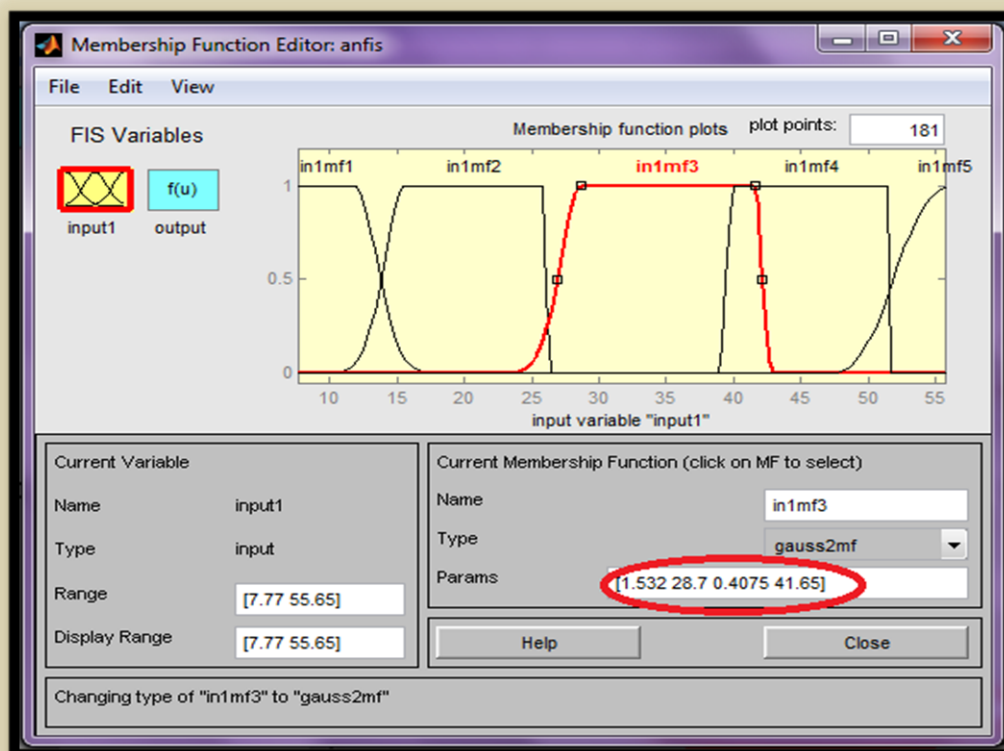
Οι γραφικές παραστάσεις και οι τιμές των εισόδων των δυο παραπάνω κανόνων παρουσιάζονται στο Σχήμα 15.



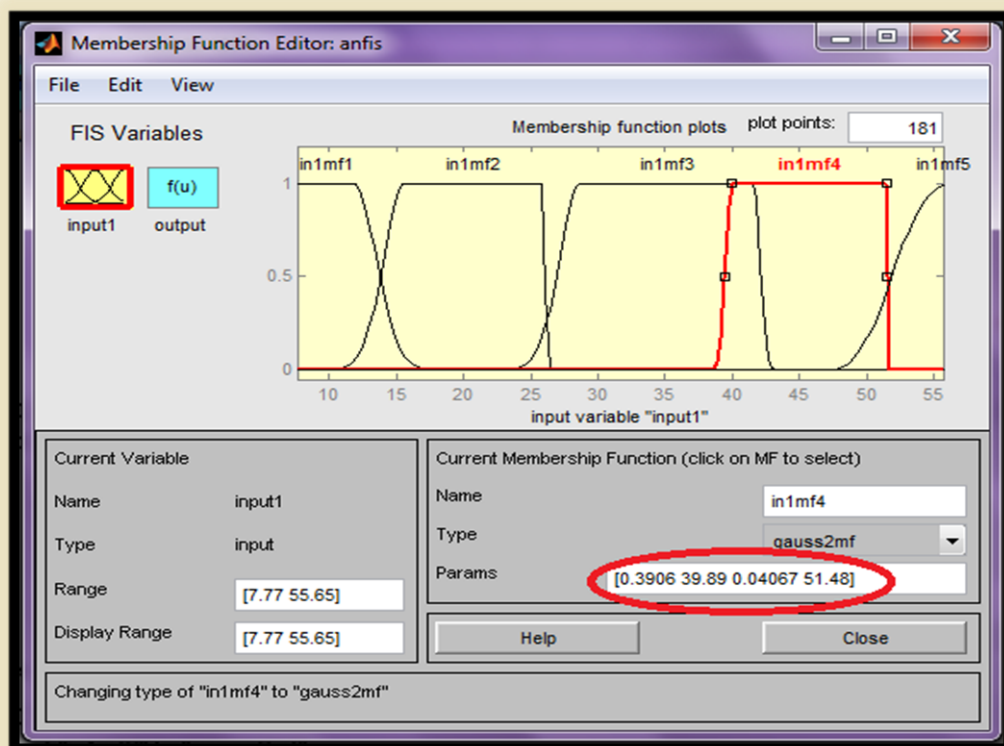
α)



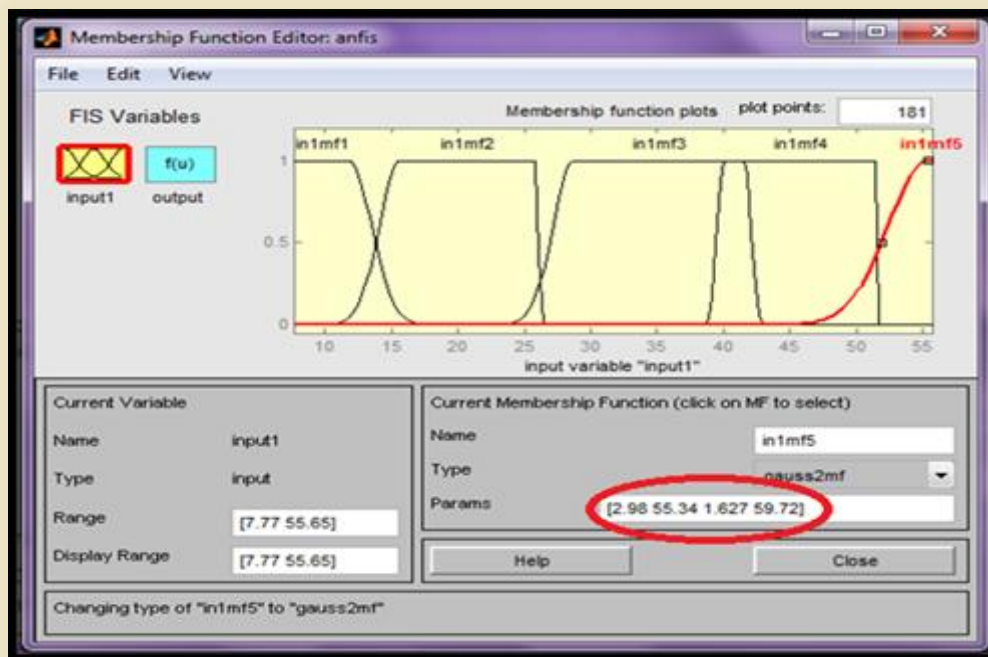
β)



γ)



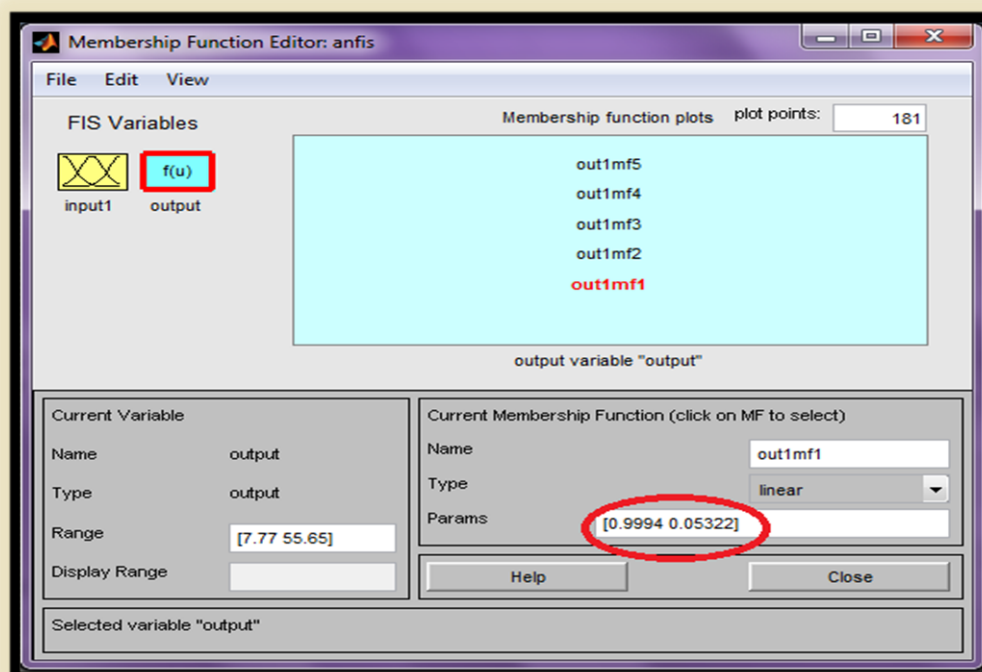
δ)



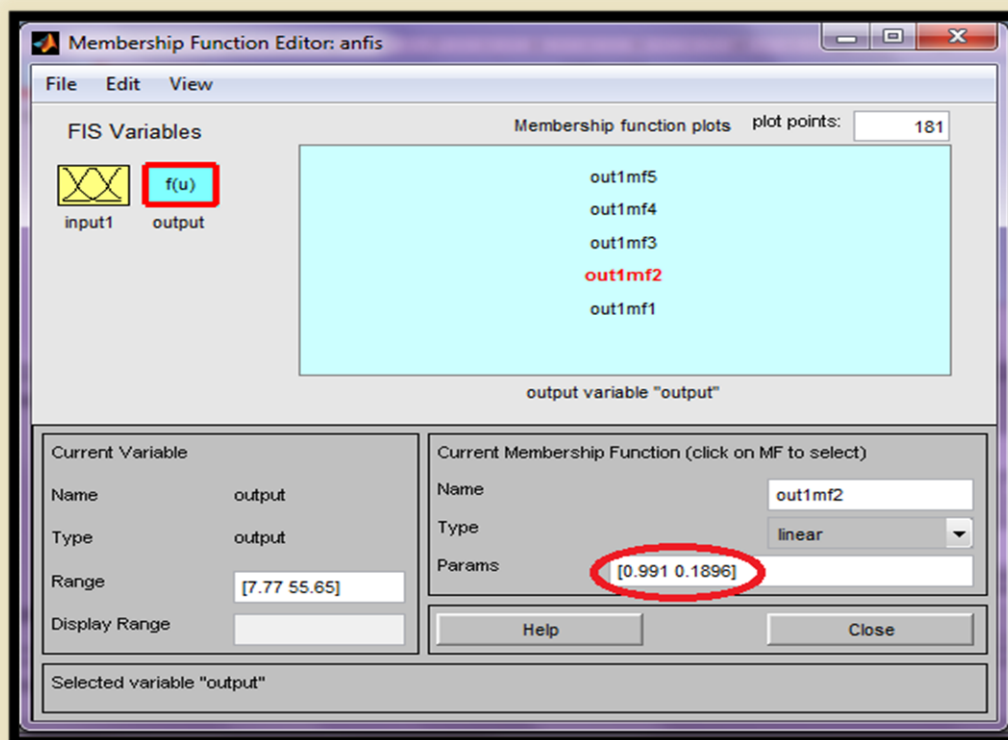
ε)

Σχήμα 15. α), β), γ), δ), ε) : Συναρτήσεις Συμμετοχής (συνεισφοράς) και τιμές παραμέτρων των εισόδων των κανόνων.

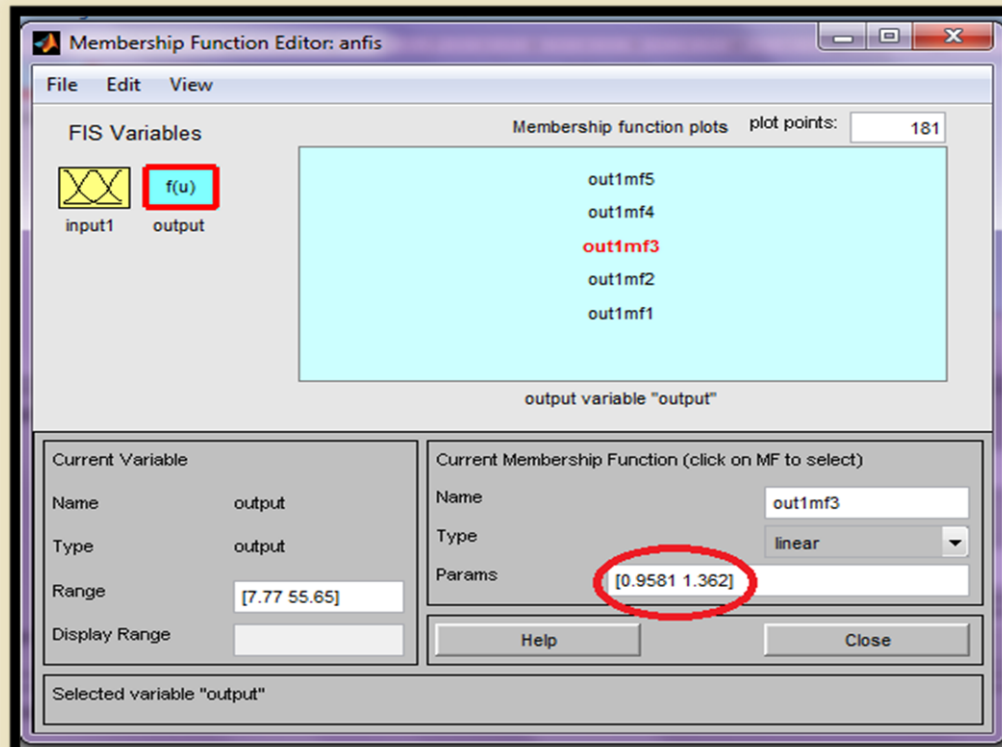
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 16), παρουσιάζονται οι τιμές που παίρνουν οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής των εξόδων των κανόνων.



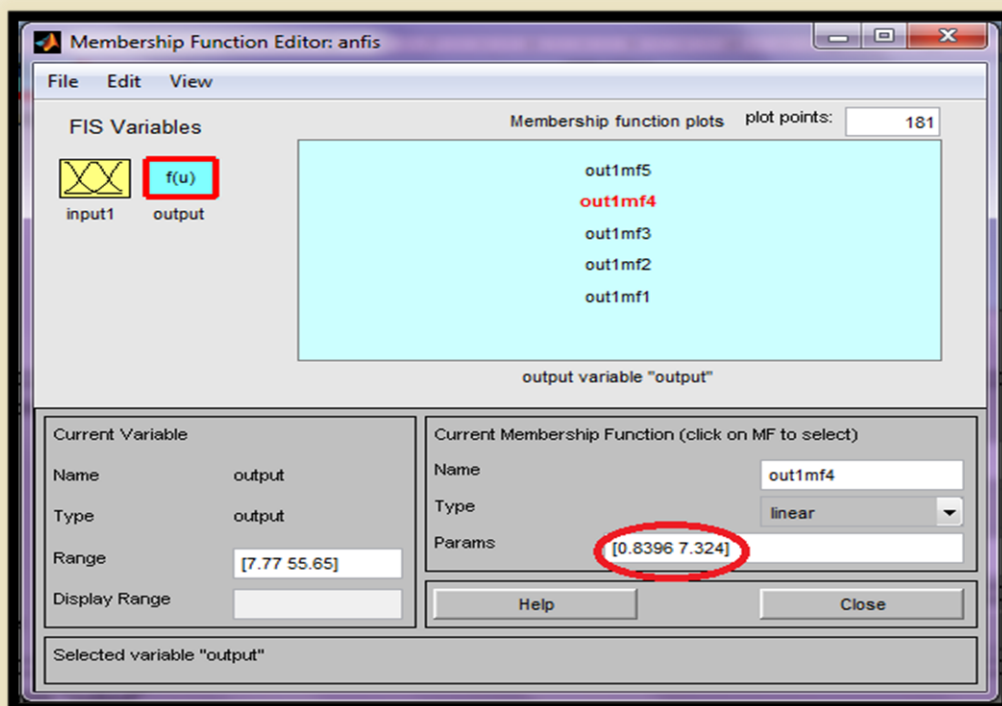
α)



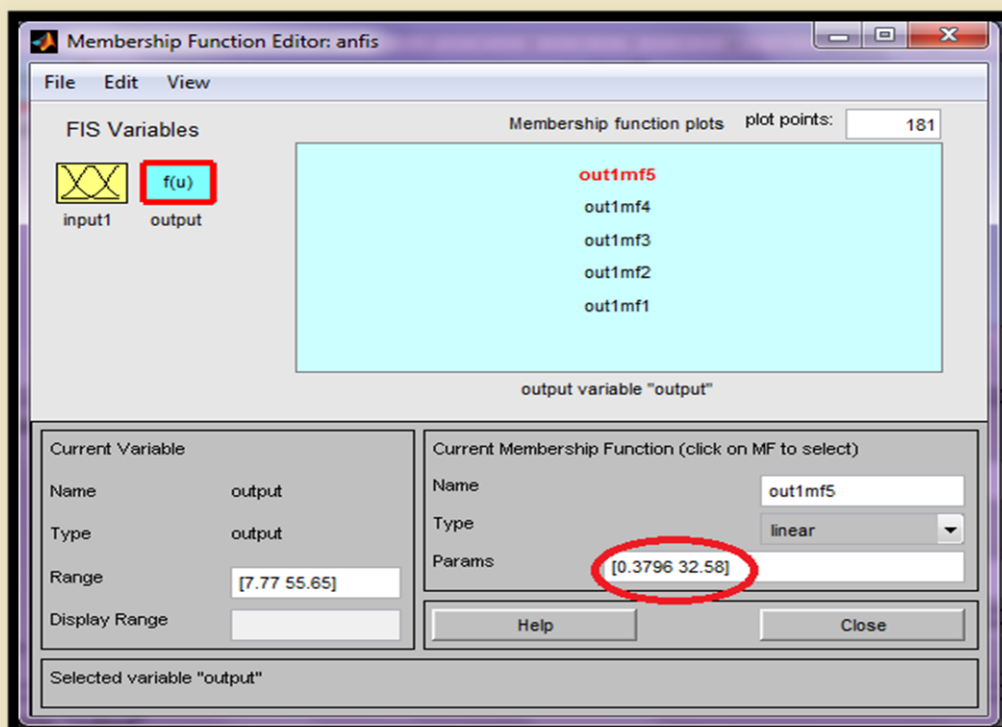
β)



γ)



δ)



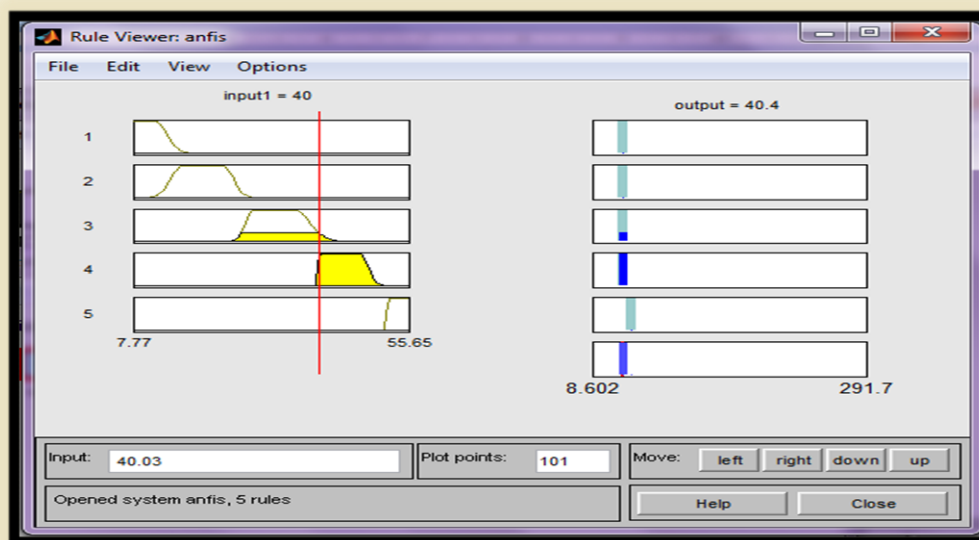
ε)

Σχήμα 16. α), β), γ), δ), ε): Οι τιμές παραμέτρων των εξόδων των δυο κανόνων του μοντέλου.

6.4.1 Αριθμητικό Παράδειγμα Μοντέλου

Στο σημείο αυτό παρατίθεται ένα αριθμητικό παράδειγμα που αποσαφηνίζει τις λειτουργίες που γίνονται σε κάθε επίπεδο αλλά και στους κόμβους κάθε επιπέδου προκειμένου να προσδιοριστεί το τελικό αποτέλεσμα. Όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο ANFIS στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι ένα ασαφές μοντέλο τύπου Sugeno πρώτου βαθμού.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται πως το μοντέλο ANFIS βρίσκει το αποτέλεσμα (output = 40.4) που προκύπτει από μια τυχαία τιμή εισόδου (input = 40).



Σχήμα17 : Οι υπολογισμοί του ANFIS.

Η τιμή εξόδου του νευρο-ασαφούς συστήματος προκύπτει ως εξής :

Επίπεδο 1: Κάθε κόμβος σε αυτό το επίπεδο είναι ένας προσαρμόσιμος (adaptive) κόμβος με μία συνάρτηση κόμβου.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \rightarrow \text{για } i=1,2$$

όπου x η είσοδος στον κόμβο i και A_i η γλωσσική μεταβλητή (small, large, κλπ.) που σχετίζεται με αυτή τη συνάρτηση του κόμβου.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, χρησιμοποιείται συνάρτηση συμμετοχής τύπου `gauuss2mf` για τον υπολογισμό του O_i' για κάθε κόμβο. Οι τιμές που παίρνει το σύνολο των παραμέτρων του μοντέλου δίνονται στον membership function editor και έχουν ως εξής:

- ☐ Αν η γλωσσική μεταβλητή αντιστοιχεί σε ‘πολύ μικρή ή πολύ χαμηλή τιμή’ (**in1mf1**), το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[a, b, c, d] = [2.033 \ 4.179 \ 2.025 \ 11.36]$$

- ☐ Αν η γλωσσική μεταβλητή αντιστοιχεί σε ‘μικρή ή χαμηλή τιμή’ (**in1mf2**), το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[a, b, c, d] = [2.031 \ 16.15 \ 1.709 \ 23.24]$$

- ☐ Αν η γλωσσική μεταβλητή αντιστοιχεί σε ‘μεσαία τιμή’ (**in1mf3**), το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[a, b, c, d] = [1.221 \ 28.42 \ 2.629 \ 35.77]$$

- ☐ Αν η γλωσσική μεταβλητή αντιστοιχεί σε ‘μεγάλη ή υψηλή τιμή’ (**in1mf4**), το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[a, b, c, d] = [0.1998 \ 40 \ 1.357 \ 47.19]$$

- ☐ Αν η γλωσσική μεταβλητή αντιστοιχεί σε ‘πολύ μεγάλη ή πολύ υψηλή τιμή’ (**in1mf5**), το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[a, b, c, d] = [0.0929 \ 51.92 \ 2.033 \ 59.24]$$

Όπου a είναι το πλάτος της καμπύλης και c το κέντρο της.

Σε αυτό το επίπεδο, λοιπόν, ορίζονται (προσδιορίζονται) οι τιμές που παίρνουν οι συναρτήσεις συμμετοχής (από 0 έως και 1) για μια συγκεκριμένη τιμή εισόδου. Έστω, ότι η είσοδος στο σύστημα είναι ίση με $x = 40$ (`input1 = 40`) τότε οι τιμές των συναρτήσεων συμμετοχής παίρνουν τις κάτωθι τιμές:

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘πολύ μικρή ή πολύ χαμηλή’* τιμή χρυσού (in1mf1):

$$O_1^1(x) = \mu_{A1}(x) = 0$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘μικρή ή χαμηλή’* τιμή χρυσού (in1mf2):

$$O_2^1(x) = \mu_{A2}(x) = 0$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘μεσαία’* τιμή χρυσού (in1mf3):

$$O_3^1(x) = \mu_{A3}(x) \approx 0.09$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘μεγάλη ή υψηλή’* τιμή χρυσού (in1mf4):

$$O_4^1(x) = \mu_{A4}(x) \approx 0.85$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘πολύ μεγάλη ή πολύ υψηλή’* τιμή χρυσού (in1mf5):

$$O_5^1(x) = \mu_{A5}(x) = 0$$

Επίπεδο 2: Κάθε κόμβος σε αυτό το επίπεδο είναι ένας σταθερός (fixed) κόμβος Π του οποίου η έξοδος είναι το γινόμενο όλων των εισερχόμενων σημάτων:

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y), i = 1, 2$$

Σε αυτό το επίπεδο, λοιπόν, γίνονται οι υπολογισμοί των βαρών (w) για κάθε μια συνάρτηση συμμετοχής ως εξής:

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘πολύ μικρή ή πολύ χαμηλή’* τιμή χρυσού (in1mf1):

$$O_1^2(x) = w_1 = \mu_{A1}(x) = 0$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘μικρή ή χαμηλή’* τιμή χρυσού (in1mf2):

$$O_2^2(x) = w_2 = \mu_{A2}(x) = 0$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘μεσαία’* τιμή χρυσού (in1mf3):

$$O_3^2(x) = w_3 = \mu_{A3}(x) \approx 0.09$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘μεγάλη ή υψηλή’* τιμή χρυσού (in1mf4):

$$O_4^2(x) = w_4 = \mu_{A4}(x) \approx 0.85$$

- Περίπτωση Συνάρτησης Συμμετοχής που αντιστοιχεί σε *‘πολύ μεγάλη ή πολύ υψηλή’* τιμή χρυσού (in1mf5):

$$O_5^2(x) = w_5 = \mu_{A5}(x) = 0$$

Επίπεδο 3: Ο *i-οστος* κόμβος αυτού του επιπέδου υπολογίζει το λόγο του βαθμού ενεργοποίησης (firing strength) του *i-οστού* κανόνα στο άθροισμα των βαθμών ενεργοποίησης όλων των κανόνων. Μάλιστα, οι έξοδοι αυτού του επιπέδου ονομάζονται κανονικο-ποιημένοι βαθμοί ενεργοποίησης (normalized firing strengths).

$$O_1^3(x) = \bar{w}_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5} = \frac{0}{0 + 0 + 0.09 + 0.85 + 0} = \frac{0}{0.94} = 0$$

$$O_2^3(x) = \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5} = \frac{0}{0 + 0 + 0.09 + 0.85 + 0} = \frac{0}{0.94} = 0$$

$$O_3^3(x) = \bar{w}_3 = \frac{w_3}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5} = \frac{0.09}{0 + 0 + 0.09 + 0.85 + 0} = \frac{0.09}{0.94} \approx 0.096$$

$$O_4^3(x) = \bar{w}_4 = \frac{w_4}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5} = \frac{0.85}{0 + 0 + 0.09 + 0.85 + 0} = \frac{0.85}{0.94} \approx 0.904$$

$$O_5^3(x) = \bar{w}_5 = \frac{w_5}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5} = \frac{0}{0 + 0 + 0.09 + 0.85 + 0} = \frac{0}{0.94} = 0$$

Επίπεδο 4: Κάθε κόμβος σε αυτό το επίπεδο είναι ένας προσαρμόσιμος κόμβος με μία συνάρτηση κόμβου.

$$O_i^4 = \bar{w}_i * f_i = \bar{w}_i * (p_i * x + q_i * y + r_i)$$

όπου w_i η έξοδος του επιπέδου 3 και $\{p_i, q_i, r_i\}$ το σύνολο παραμέτρων.

Σε αυτό το επίπεδο, λοιπόν, προσδιορίζονται οι τιμές των παραμέτρων κάθε συνάρτησης συμμετοχής όπως φαίνονται στον membership function editor επιλέγοντας την έξοδο (output) του συστήματος.

- Αν η γλωσσική μεταβλητή είναι *‘πολύ μικρή ή πολύ χαμηλή’* τιμή, τότε το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[p_1, r_1] = [1.001 \ 0.04065]$$

Επομένως:

$$O_1^4 = \bar{w}_1 * (p_1 * x + r_1) = 0 * [(1.001) * 40] + 0.04065 = 0$$

- Αν η γλωσσική μεταβλητή είναι *‘μικρή ή χαμηλή’* τιμή, τότε το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[p_2, r_2] = [0.9925 \ 0.1602]$$

Επομένως:

$$O_2^4 = \bar{w}_2 * (p_2 * x + r_2) = 0 * [(0.9925) * 40] + 0.1602 = 0$$

- Αν η γλωσσική μεταβλητή είναι *‘μεσαία’* τιμή, τότε το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[p_3, r_3] = [0.9618 \ 1.241]$$

Επομένως:

$$\begin{aligned} O_3^4 &= \bar{w}_3 * (p_3 * x + r_3) = 0.096 * [(0.9618 * 40) + 1.241] \\ &= 0.096 * 39.713 \approx 3.8 \end{aligned}$$

- Αν η γλωσσική μεταβλητή είναι *‘μεγάλη ή υψηλή’* τιμή, τότε το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[p_4, r_4] = [0.9012 \ 4.503]$$

Επομένως:

$$\begin{aligned} O_4^4 &= \bar{w}_4 * (p_4 * x + r_4) = 0.904 * [(0.9012 * 40) + 4.503] \\ &= 0.904 * 40.551 \approx 36.6 \end{aligned}$$

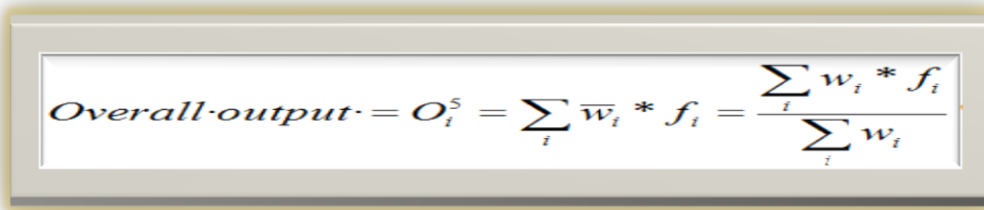
- Αν η γλωσσική μεταβλητή είναι *‘πολύ μεγάλη ή πολύ υψηλή’* τιμή, τότε το σύνολο των παραμέτρων παίρνει τις εξής τιμές:

$$[p_5, r_5] = [0.2822 \ 37.83]$$

Επομένως:

$$O_5^4 = \bar{w}_5 * (p_5 * x + r_5) = 0 * [(0.2822 * 40) + 37.83] = 0$$

Επίπεδο 5: Ο μοναδικός κόμβος σε αυτό το επίπεδο υπολογίζει τη συνολική έξοδο σαν το ολικό άθροισμα όλων των εισερχόμενων σημάτων:



$$\text{Overall-output} = O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i * f_i = \frac{\sum_i w_i * f_i}{\sum_i w_i}$$

Στο τελευταίο αυτό επίπεδο, λοιπόν, βρίσκουμε την τιμή εξόδου του συστήματος (output) με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i * f_i \approx 0 + 0 + 3.8 + 36.6 + 0 \approx 40.4$$

6.4.2 Σύγκριση μοντέλων πρόβλεψης

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής, πέρα από το μοντέλο ANFIS, εφαρμόστηκαν άλλα τρία μοντέλα πρόβλεψης. Τα μοντέλα αυτά είναι το AR, ARMA και το NN (Νευρωνικό Δίκτυο). Σκοπός της εφαρμογής αυτών δεν ήταν άλλος από τη σύγκριση τους με το μη γραμμικό μοντέλο του ANFIS ως προς το σφάλμα πρόβλεψης του εκάστοτε μοντέλου.

Τι ακριβώς όμως αφορούν τα μοντέλα AR, ARMA; Τα αυτο-αναδρομικά μοντέλα, γνωστά ως autoregressive models (AR) αποτελούν μια ομάδα γραμμικών φορμουλών πρόβλεψης που επιχειρούν να προβλέψουν την έξοδο $y[n]$ ενός συστήματος βασιζόμενα σε προηγούμενες εξόδους ($y[n-1]$, $y[n-2]$...). Στη στατιστική και στη θεωρία σημάτων, ένα autoregressive model (AR) είναι μια τυχαία διαδικασία που συνήθως χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση και πρόβλεψη ποικίλων φυσικών

και κοινωνικών φαινομένων. Ένα μοντέλο AR είναι ουσιαστικά μια άπειρη κρουστική απόκριση του φίλτρου με κάποια πρόσθετη ερμηνεία που δόθηκε σε αυτό. Το μοντέλο αυτό μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t$$

Όπου $\varphi_1, \dots, \varphi_p$ είναι οι παράμετροι του μοντέλου, c μια σταθερά που συνήθως παραλείπεται για λόγους απλότητας και ε_t ο λευκός θόρυβος.

Από την άλλη, το autoregressive moving average model (ARMA) ή αυτοπαλίνδρομο μοντέλο κινητού μέσου όρου που συνήθως αναφέρεται και ως Box-Jenkins μοντέλο εφαρμόζεται σε αυτοσυσχετιζόμενες χρονοσειρές δεδομένων. Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα συνδυασμό του autoregressive model (AR) και του moving average model (MA). Εξ' ορισμού το μοντέλο AR έχει μόνο πόλους ενώ το μοντέλο MA μόνο μηδενικά.

Δοθέντος μιας χρονοσειράς δεδομένων X_t , το μοντέλο ARMA είναι ένα εργαλείο για την κατανόηση και πιθανώς και την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών της χρονοσειράς αυτής. Λαμβάνοντας, λοιπόν, το μοντέλο AR και το μοντέλο MA, έχουμε το μοντέλο ARMA. Ο συμβολισμός ARMA (p, q) αναφέρεται σε ένα μοντέλο με p αυτοπαλίνδρομους όρους και q κινητούς μέσους όρους. Αυτό το μοντέλο συναθροίζει τα μοντέλα AR (p) και MA (q) και ορίζεται ως εξής:

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i}$$

Όπου $\varphi_1, \dots, \varphi_p$ οι παράμετροι του μοντέλου AR και c μια σταθερά του. Επίσης όπου $\theta_1, \dots, \theta_q$ οι παράμετροι του μοντέλου MA (moving average model) και ε_t ο λευκός θόρυβος.

Το μοντέλο του κινητού μέσου όρου (ARMA) είναι ουσιαστικά μια πεπερασμένη κρουστική απόκριση του φίλτρου με κάποια πρόσθετη ερμηνεία που δόθηκε σε αυτό. Μάλιστα, το μοντέλο ARMA μπορεί γενικότερα μετά την επιλογή p και q να προσαρμοστεί με βάση τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για να βρει τελικά τις κατάλληλες τιμές παραμέτρων που ελαχιστοποιούν το σφάλμα.

Παρακάτω, λοιπόν, παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τις τιμές σφαλμάτων που δίνει κάθε ένα μοντέλο (ANFIS, AR, ARMA, Neural Network) με σκοπό να γίνει η σύγκριση μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, για την περίπτωση του μοντέλου ANFIS επιλέχθηκε η περίπτωση του αριθμητικού παραδείγματος με τύπο συναρτήσεων gauss2mf και αριθμό συναρτήσεων ίσο με 5 καθώς ο συνδυασμός αυτών δίνει το μικρότερο σφάλμα πρόβλεψης για το μοντέλο του ANFIS.

Πίνακας 8 : Τιμές σφαλμάτων όλων των μοντέλων πρόβλεψης.

	ANFIS	AR	ARMA	Neural Network
MSE	4.0619	7.5951	7.6070	4.0671
RMSE	2.0154	2.7559	2.7581	2.0167
MAE	1.5532	2.0894	2.0913	1.5395
MAPE	3.7064	4.9241	4.9289	3.6690

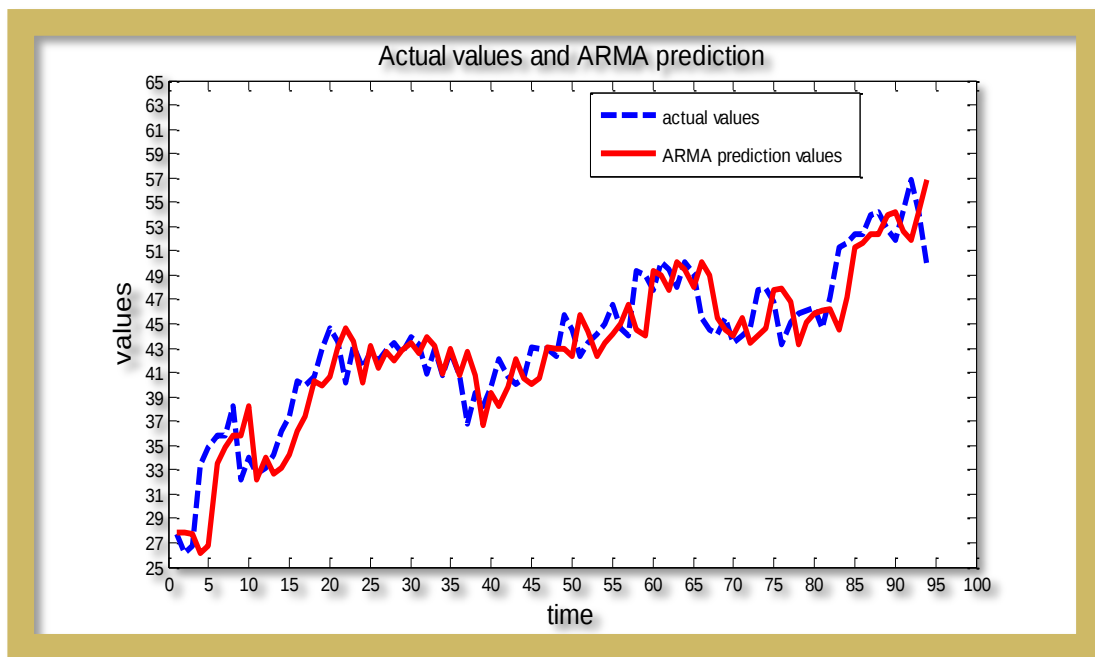
Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 8), παρουσιάζονται οι τιμές σφαλμάτων συνολικά όλων των μοντέλων πρόβλεψης που έχουν εφαρμοστεί στα πλαίσια αυτής της μελέτης. Οι τιμές των σφαλμάτων του μοντέλου ANFIS που συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες των άλλων μοντέλων αφορούν τον συνδυασμό παραμέτρων gauss2mf ως τύπο συνάρτησης με πέντε συνολικά συναρτήσεις συμμετοχής. Αυτός ο συνδυασμός παραμέτρων του ANFIS δίνει τις μικρότερες τιμές σφαλμάτων συγκριτικά με τους υπόλοιπους συνδυασμούς που μελετήθηκαν. Όπως γίνεται αντιληπτό από τα αποτελέσματα του πίνακα, το μοντέλο ANFIS είναι αυτό που υπερσχύει έναντι των υπόλοιπων μοντέλων πρόβλεψης με κριτήριο τη τιμή που σημειώνει το σφάλμα

RMSE. Το μοντέλο ANFIS, λοιπόν, δίνει τις μικρότερες τιμές σφαλμάτων στις κατηγορίες MSE, RMSE με τις τιμές αυτές μάλιστα να είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες των μοντέλων AR, ARMA ενώ αντίθετα διαφέρουν ελάχιστα από αυτές που σημειώνει το μοντέλο NN. Όσον αφορά τις περιπτώσεις σφαλμάτων MAE, MAPE το μοντέλο NN και ANFIS σημειώνουν μικρότερες τιμές συγκριτικά με τις αντίστοιχες των μοντέλων AR, ARMA. Μάλιστα, οι τιμές αυτών των σφαλμάτων για τα μοντέλα NN, ANFIS παρουσιάζουν πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ τους.

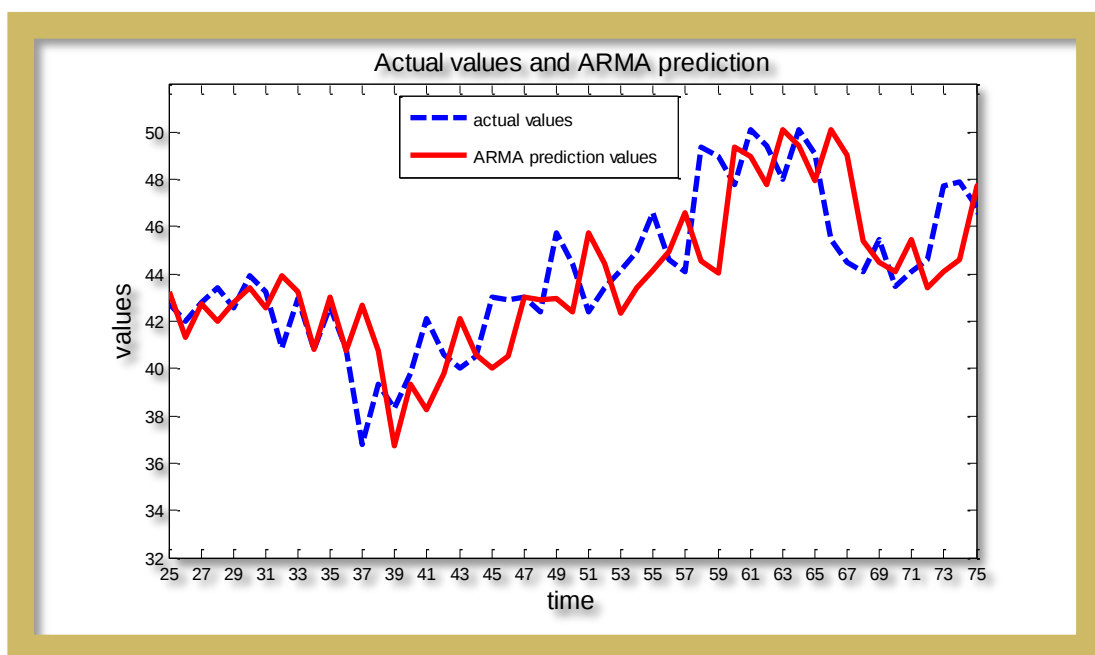
Το μοντέλο ANFIS, επομένως, δίνει πολύ πιο ακριβή και έγκυρη πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού συγκριτικά με τα μοντέλα AR, ARMA ενώ παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με το μοντέλο NN αφού όλες οι τιμές σφαλμάτων που δίνουν τα μοντέλα αυτά (ANFIS, NN) διαφέρουν ελάχιστα. Αξιοσημείωτο είναι ότι μετά το ANFIS ακολουθούν τα μοντέλα NN, AR και τέλος το μοντέλο ARMA ως προς την επιτυχία πρόβλεψης με μέτρο σύγκρισης πάντα τη τιμή σφάλματος RMSE. Μάλιστα τα μοντέλα ANFIS, NN παρουσιάζουν παρόμοια απόδοση με αισθητή την υπεροχή τους έναντι των μοντέλων AR, ARMA τα οποία με τη σειρά τους και αυτά διαφέρουν ελάχιστα (μικρές διαφορές στις τιμές σφαλμάτων τους) μεταξύ τους.

Ωστόσο, το μοντέλο ANFIS για όλους τους συνδυασμούς παραμέτρων που εξετάστηκαν δίνει συνολικά μικρότερες τιμές σφαλμάτων από τις αντίστοιχες των μοντέλων πρόβλεψης AR και ARMA. Από την άλλη, όμως, το μοντέλο NN σημειώνει μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης συγκριτικά με το μοντέλο ANFIS για τους άλλους συνδυασμούς παραμέτρων του πέρα της περίπτωσης της gauss2mf συνάρτησης συμμετοχής και αριθμό αυτών ίσο με πέντε.

Ακολουθούν τα διαγράμματα συγκρίσεων των πραγματικών τιμών του χρυσού με των προβλεπόμενων τιμών των μοντέλων ARMA, AR και NN.



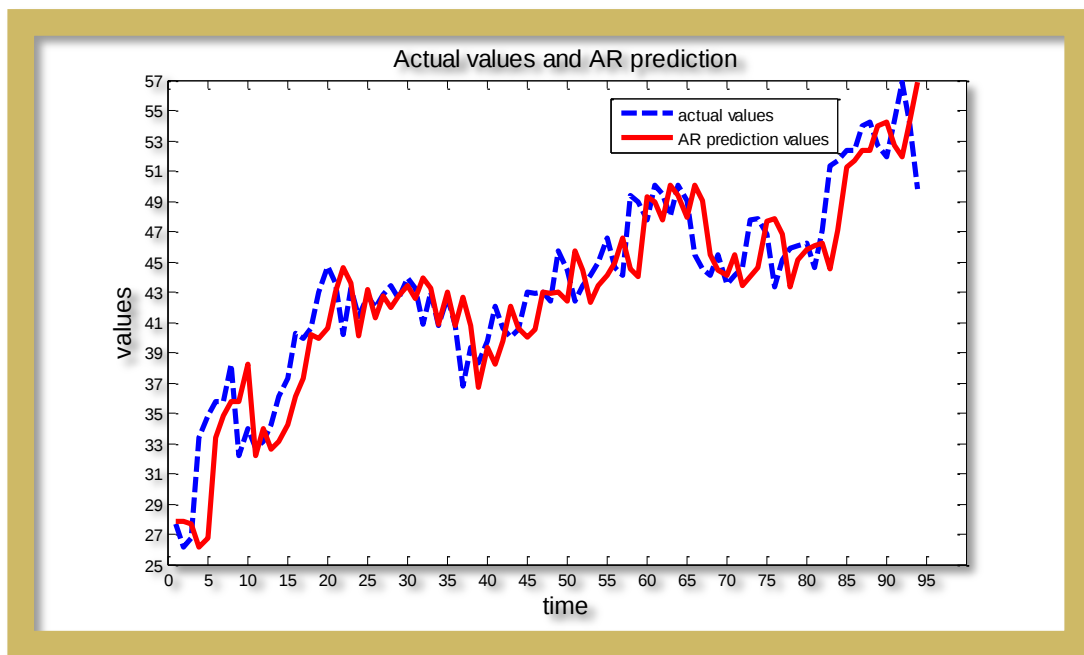
α)



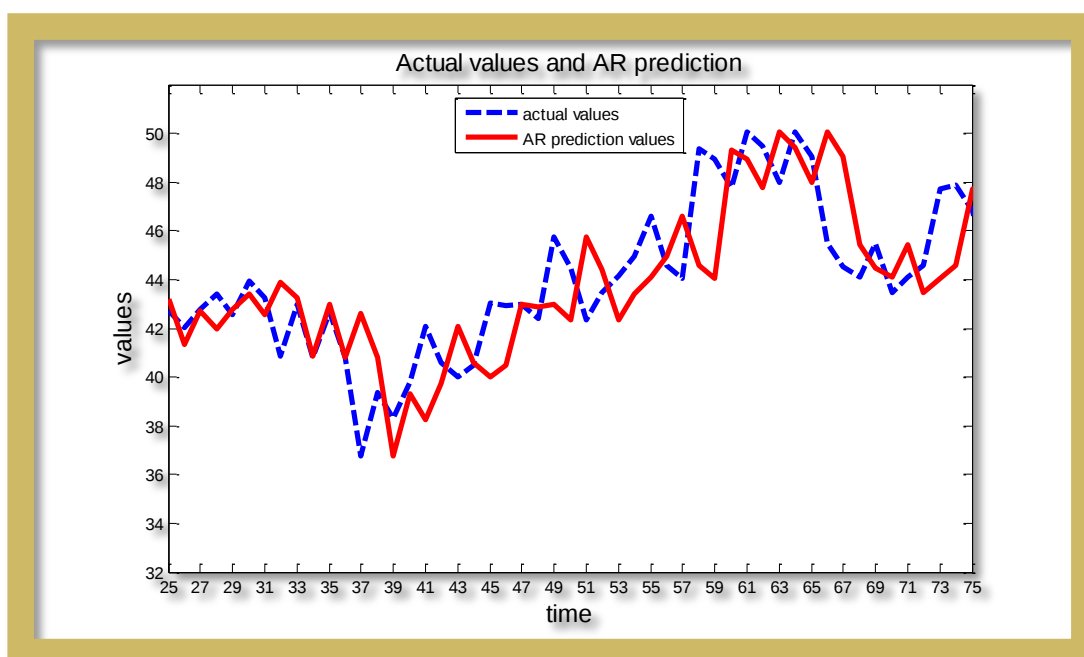
β)

Σχήμα 18: α) Σύγκριση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης για το μοντέλο ARMA.

β) Μεγέθυνση του διαγράμματος (α).



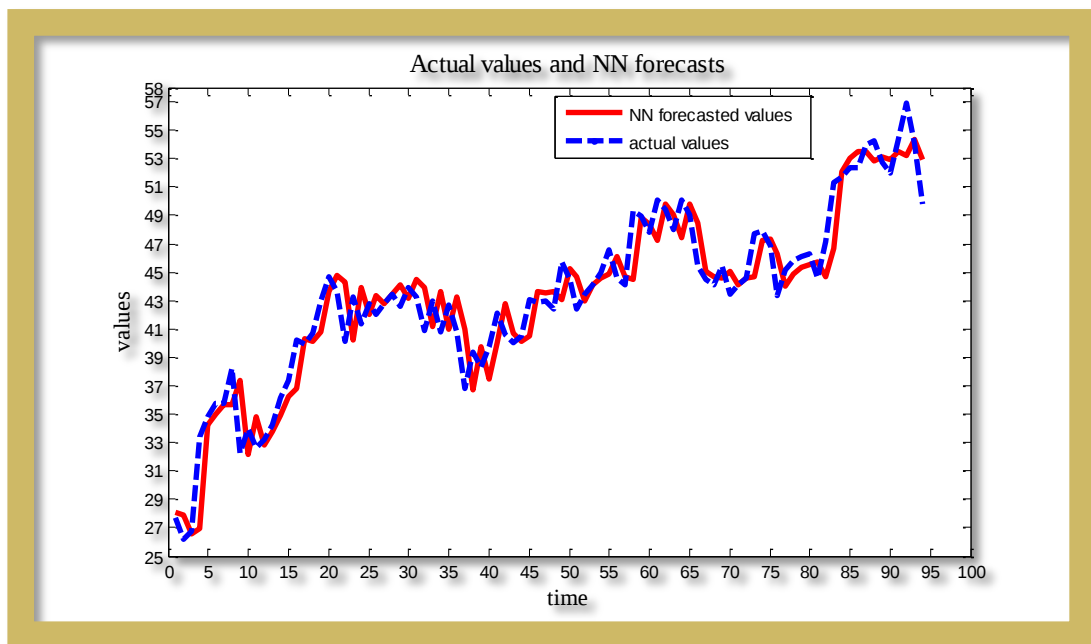
α)



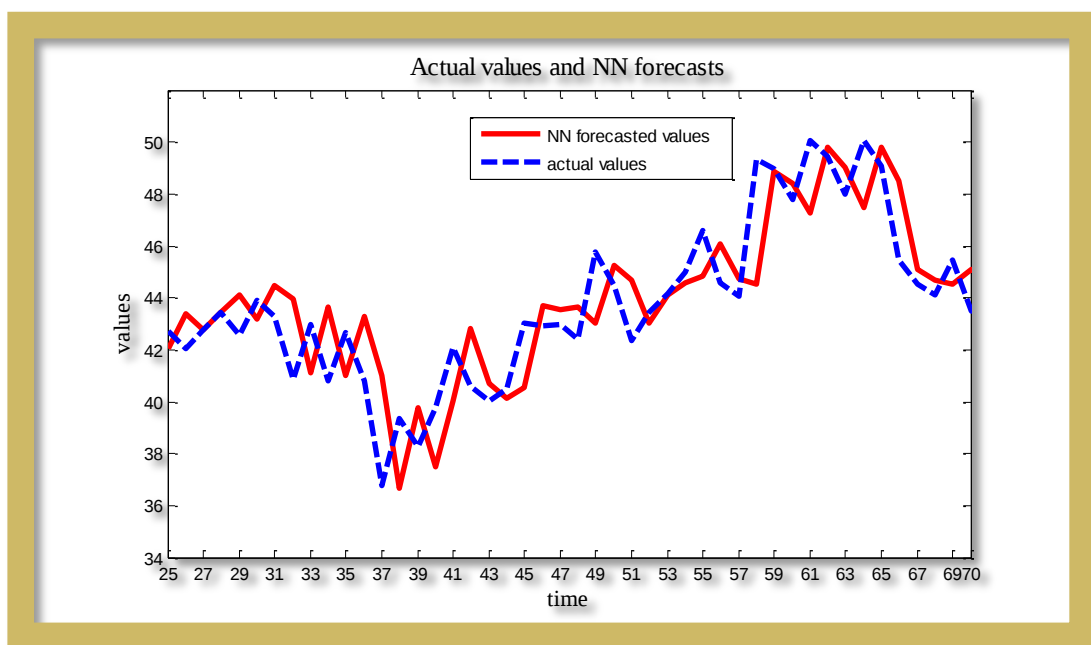
β)

Σχήμα 19: α) Σύγκριση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης για το μοντέλο AR.

β) Μεγέθυνση του διαγράμματος (α).



α)



β)

Σχήμα 20: α) Σύγκριση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης για το μοντέλο NN.

β) Μεγέθυνση του διαγράμματος (α).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάστηκε αναλυτικά το μοντέλο ANFIS για την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού. Με βάση, λοιπόν, το θεωρητικό υπόβαθρο του μοντέλου (Κεφάλαιο 5) αλλά και την πειραματική προσέγγιση αυτού (Κεφάλαιο 6), εξάγονται τα παρακάτω αξιοσημείωτα συμπεράσματα:

- Παρατηρείται πως για όλους τους τύπους συναρτήσεων συμμετοχής και όλους τους αριθμούς αυτών (από 2 έως 5) που εξετάστηκαν, το μοντέλο ANFIS παρουσιάζει εξίσου καλή συμπεριφορά αφού όλοι οι τύποι σφαλμάτων (MSE, RMSE, MAE, MAPE) σημειώνουν χαμηλές τιμές. Ωστόσο, από όλους τους συνδυασμούς τύπου και αριθμού συναρτήσεων συμμετοχής, αυτός του τύπου *gauuss2mf* και αριθμού συναρτήσεων συμμετοχής ίσο με πέντε είναι που αποδίδει καλύτερα συγκριτικά με τους υπόλοιπους εξεταζόμενους συνδυασμούς μεταβλητών καθώς σημειώνει την πιο μικρή τιμή σφάλματος RMSE. Ο συνδυασμός αυτός, επομένως, προσδιορίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια την τιμή που θα έχει ο χρυσός αύριο καθώς συνοδεύεται από τις μικρότερες τιμές σφαλμάτων.
- Η αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου βασίζεται στα εξαγόμενα διαγράμματα της Matlab όπως επίσης και στις τιμές σφάλματος που σημειώνει για κάθε συνδυασμό παραμέτρων του. Ο σημαντικότερος δείκτης με βάση τον οποίο εκτιμάται η απόδοση του μοντέλου και προσδιορίζεται ο καλύτερος συνδυασμός παραμέτρων που οδηγεί στην πιο έγκυρη πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του χρυσού είναι η τιμή του σφάλματος RMSE (Root Mean Square Error), η ρίζα δηλαδή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος.
- Το μοντέλο ANFIS, συγκρίνεται ως προς την απόδοση του και με άλλα τρία μοντέλα πρόβλεψης αυτά των AR, ARMA, NN. Παρατηρώντας και αναλύοντας τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μοντέλων αυτών,

καταλήγουμε σε χρήσιμα γενικά συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα, την απόδοση και τη γενική συμπεριφορά τους. Με βάση λοιπόν την τιμή σφάλματος RMSE που σημειώνουν τα εξεταζόμενα μοντέλα πρόβλεψης, προκύπτει ότι το μοντέλο ANFIS είναι αυτό που υπερισχύει καθώς δίνει την πλέον μικρότερη τιμή αυτού του τύπου σφάλματος. Μάλιστα, με κριτήριο την τιμή του σφάλματος RMSE, πρώτο σε ακρίβεια πρόβλεψης έρχεται το ANFIS ακολουθεί με πολύ μικρή διαφορά το μοντέλο NN και έπειτα τα μοντέλα AR, ARMA. Το μοντέλο ANFIS επομένως υπερτερεί σημαντικά έναντι των μοντέλων AR, ARMA ως προς την ακρίβεια πρόβλεψης της τιμής του χρυσού ενώ παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με το μοντέλο NN καθώς τα δυο αυτά μοντέλα (ANFIS, NN) διαφέρουν ελάχιστα στις τιμές σφαλμάτων που σημειώνουν.

- Οι αποδόσεις πρόβλεψης των μοντέλων AR, ARMA αν και είναι μικρότερες συγκριτικά με εκείνες του ANFIS και του NN δε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους όπως επίσης δε διαφέρουν και οι αποδόσεις μεταξύ των μοντέλων ANFIS και NN.
- Τέλος, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των αλγορίθμων των μοντέλων πρόβλεψης δεν σημειώθηκε κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα από προγραμματιστικής πλευράς. Επιπλέον, ο απαιτούμενος χρόνος κατηγοριοποίησης, αλλά και οι απαιτήσεις σε υπολογιστική μνήμη και ισχύ κινήθηκαν σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα.

Συμπερασματικά, λοιπόν, το νευρο-ασαφές μοντέλο πρόβλεψης ANFIS, παρουσιάζει πολύ καλή απόδοση. Η ακρίβεια των προβλέψεων του σχετικά με τα μελλοντικά επίπεδα τιμών που θα κινηθεί το κίτρινο μέταλλο είναι ιδιαίτερα υψηλή και συνεπώς ικανοποιητική. Τα αποτελέσματα της έρευνας γενικότερα είναι πολύ ενθαρρυντικά και αποδεικνύουν ότι το μοντέλο ANFIS αποδίδει καλύτερα από τις άλλες συμβατικές μεθόδους πρόβλεψης. Συνεπώς, το μοντέλο ANFIS μπορεί επιτυχώς να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των βραχυπρόθεσμων τάσεων της τιμής του χρυσού.

7.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Μέχρι σήμερα έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί πολλά μοντέλα πρόβλεψης με σκοπό την εκτίμηση της μελλοντικής τιμής πολλών οικονομικών δεικτών και ειδικότερα του χρυσού. Ο χρυσός, όπως ήδη έχει προαναφερθεί, είναι ένα μέταλλο με ιδιαίτερη σημαντικότητα καθότι παίζει καταλυτικό ρόλο στον τομέα της παγκόσμιας οικονομίας ιδιαίτερα σε περιόδους οικονομικής κρίσης και γενικότερης αστάθειας.

Η γνώση της μελλοντικής τάσης της τιμής του κίτρινου μετάλλου είναι βαρυσήμαντη δεδομένου ότι βάση αυτής επιλέγεται και επιτυγχάνεται ο κατάλληλος επενδυτικός δρόμος που θα πρέπει να ακολουθηθεί. Έτσι, μια λάθος πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής συνεπάγεται και πιθανώς λανθασμένη κίνηση από την πλευρά των επενδυτών με αποτέλεσμα την ζημείωση ή ακόμη και πτώχευση τους. Κάτι τέτοιο, πέρα από το πιθανό οικονομικό κόστος που συνεπάγεται στον εκάστοτε επενδυτή μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω δυσάρεστες επιπτώσεις στην παγκόσμια οικονομία. Γι' αυτό το λόγο κρίνεται σημαντική η ακριβής πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής του κίτρινου μετάλλου.

Το νευρο-ασαφές μοντέλο πρόβλεψης ANFIS που αναπτύχθηκε και μελετήθηκε εκτεταμένα στα πλαίσια της διατριβής αυτής αποδείχτηκε λοιπόν συγκριτικά με τα μοντέλα AR και ARMA μακράν το καλύτερο καθότι παρέχει πιο ακριβείς προβλέψεις (μικρότερες τιμές σφαλμάτων). Ενώ, διαπιστώθηκε ότι η απόδοση του συγκλίνει σε μεγάλο βαθμό με την αντίστοιχη του μοντέλου NN και σε κάποιες περιπτώσεις συνδυασμού παραμέτρων του το τελευταίο υπερσχύει πάντα όμως με πολύ μικρή διαφορά.

Η έγκυρη πρόβλεψη που παρέχει το μοντέλο ANFIS το καθιστά μια από τις καλύτερες δυνατές επιλογές στον τομέα της πρόβλεψης των επιπέδων που θα κινηθεί η τιμή του χρυσού ενώ ταυτόχρονα ανοίγει νέες κατευθύνσεις που πρέπει να διερευνηθούν. Επομένως, η καινοτομία της έρευνας αυτής εντοπίζεται στην διαπίστωση της υπεροχής του Προσαρμοστικού Νευρο-ασαφούς μοντέλου (ANFIS) έναντι των μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενων μοντέλων πρόβλεψης AR και ARMA στην πρόβλεψη της μελλοντικής τάσης της τιμής του χρυσού. Επιπλέον, η απόδοση

του μοντέλου ANFIS συγκλίνει σε μεγάλο βαθμό με την αντίστοιχη του μοντέλου NN και σε κάποιες περιπτώσεις παραμέτρων του ANFIS το τελευταίο υπερισχύει.

Όσον αφορά κάποια μελλοντική επέκταση της έρευνας, θα πρέπει να γίνουν επαναληπτικές δοκιμές του μοντέλου σε μεγαλύτερο ίσως δείγμα ελέγχου ή επικύρωσης προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη βεβαιότητα για την ακρίβεια των προβλέψεων του μοντέλου. Χρήσιμη επίσης κρίνεται η εφαρμογή του μοντέλου σε μικρότερο δείγμα εκπαίδευσης προκειμένου να προσδιοριστεί αν το μοντέλο μπορεί να επιτύχει εξίσου μεγάλη ακρίβεια πρόβλεψης και με μικρότερο δείγμα εκπαίδευσης καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την εκπαίδευση του δικτύου. Η επίτευξη το ίδιο ακριβών προβλέψεων σε μικρότερο χρονικό διάστημα συνεπάγεται φυσικά και μικρότερο κόστος.

Σημαντική μελλοντική επέκταση της έρευνας αυτής θα μπορούσε να αποτελέσει και ο έλεγχος της απόδοσης του ANFIS για άλλους συνδυασμούς παραμέτρων του από αυτούς που ήδη έχουν εξεταστεί στα πλαίσια αυτής της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να εξεταστεί η απόδοση του ANFIS για διαφορετικούς αριθμούς ή τύπους συναρτήσεων συμμετοχής ή ακόμη άλλους αριθμούς εποχών και βήματος (*mf_no*, *mf_type*, *ss_no*, *epoch_no*). Μια εξίσου σημαντική μελλοντική προέκταση της διατριβής θα μπορούσε να είναι και η χρήση περισσότερων εισόδων με παρελθοντικές εισόδους (*t-1*, *t-2*, *t-3*, ...) με σκοπό τον έλεγχο της σημασίας και επίδρασης των παρελθοντικών τάσεων της τιμής του χρυσού στις προβλέψεις του μοντέλου ANFIS.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική καθίσταται η σύγκριση του μοντέλου ANFIS και με άλλα μοντέλα πρόβλεψης πέρα των AR, ARMA, NN που ήδη έχουν μελετηθεί στα πλαίσια της έρευνας αυτής ώστε να εξεταστεί η πιθανά γενικότερη υπεροχή και κυριαρχία του ANFIS στον τομέα της πρόβλεψης της τιμής του κίτρινου μετάλλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Παρακάτω παραθέτουμε τις βιβλιογραφικές παραπομπές ανά κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- [1.1] Joseph, Miller.(2000). *GOLD OUTLOOK from 2000 to 2020*.
http://www.gold-eagle.com/editorials_00/jmiller060700.html
- [1.2] Mark O'Byrne. (27 November 2009). *A beginner's guide to investing in gold*.
- [1.3]<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%85%CF%83%CF%8C%CF%82>
- [1.4] Γαργαρέτας, Ν., Νικολής, Χ. (2010). *Χρυσός Και Άργυρος Στην Ελλάδα Και Πολύτιμοι Και Ημιπολύτιμοι Λίθοι. Πτυχιακή Εργασία. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας*.
http://eprints.teikoz.gr/206/1/GEWPE_45_2010.pdf
- [1.5] Ismail, Z., Yahya, A., Shabri, A.(2009). *Forecasting Gold Prices Using Multiple Linear Regression Method*. *American Journal of Applied Sciences* 6 (8): 1509-1514, ISSN 1546-9239.
<http://eprints.utm.my/9713/1/ajas681509-1514.pdf>
- [1.6] Ranson, D. (2005). *Inflation Protection: Why Gold Works Better Than “Linkers”*. *World Gold Council Report*. Wainwright HC, World Gold Council Publications, London.
- [1.7] Capie, F., Mills, TC., & Wood, G.(2004). *Gold as a Hedge against the US Dollar*. *World Gold Council Report*. Research Study No. 30, Cass Business School, London.
- [1.8] Levin, E.-J., & Wright, R.-E. (2006). *Short-run and Long-run Determinants of the Price of Gold*. *World Gold Council Report*. Research Study No. 32, Cass Business School, London.
- [1.9] <http://www.scotiamocatta.com/scpt/scotiamocatta/prec/GoldForecast2010.pdf>
- [1.10] Γεωργιάδης, Ν.(1997). *Χρυσός. Αναδημοσίευση Ειδικής Μελέτης*.
- [1.11] Plotkin, J. (2009). *Why to invest in gold*.

http://precious-metals.investing.suite101.com/article.cfm/when_to_invest_in_gold

[1.12] <http://qr.easy-forex.com/eu/GoldPrices.aspx>

[1.13] Reeves, P. (2008). *Predicting the Future Price of Gold.*

http://internationaltrade.suite101.com/article.cfm/predicting_the_future_price_of_gold

[1.14] Silver, B. (2009). *Going for the Gold.*

http://precious-metals-investing.suite101.com/article.cfm/going_for_the_gold

[1.15] Hemmerling, Kurtis. (2010). *Gold Price Forecasts and Predictions for 2011.*

[1.16] Hupston, F. (2009). *How to Invest in Gold for the Future.*

[1.17] Kuan-Min Wang & Yuan-Ming Lee. (2010). *Could Gold Serve as an Exchange Rate Hedge in Japan?. ISSN 1392-2785 Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 21(2), pp 160-170.*

<http://www.ktu.lt/lt/mokslas/zurnalai/inzeko/67/1392-2758-2010-22-2-160.pdf>

[1.18] Hemmerling, K. (2009). *Gold's Rising Spot Prices and Economic Factors.*

[1.19] <http://www.eurocapital.gr/index.php/permalink/13391.html>

[1.20] Tarik Abdel-Monem. (2010) *What is the Gold Standard. University of Iowa Center for International Finance and Development.*

[1.21] Grundy, P. (2010). *What is the Gold Standard.*

[1.22] Shafiee, S. , & Topal, E. (2010). *An overview of global gold market and gold price forecasting. Resources-Policy 35, pp 178-189.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

[2.1] Ismail, Z., Yahya, A., & Shabri, A.(2009). *Forecasting Gold Prices Using Multiple Linear Regression Method. American Journal of Applied Sciences 6 (8): 1509-1514, ISSN 1546-9239.*

<http://eprints.utm.my/9713/1/ajas681509-1514.pdf>

[2.2] <http://www.scotiamocatta.com/scpt/scotiamocatta/prec/GoldForecast2010.pdf>

[2.3] Levin, E.-J., & Wright. R.-E.(2006). *Short-run and Long-run Determinants of the Price of Gold. World Gold Council Report, Research Study No. 32, Cass Business School, London.*

- [2.4] Baker, S.-A., & Van Tassel, R.-C. (1985). *Forecasting the Price of Gold: A Fundamental Approach*. *Atlantic Economic Journal*, Vol. 13, pp. 43-51.
- [2.5] http://www.abare.gov.au/interactive/ac_mar07/pdf/metals_gold.pdf
- [2.6] Davis, D. (2007). *The future of Gold: Price Forecast*. *Credit Suisse Standard Securities*.
<http://www.qata.org/files/CreditSuisseGoldReport10-30-2007.pdf>
- [2.7] Hemmerling, K. (2009). *Predictions and Estimates from Multiple Analysts*.
- [2.8] Khaemasunun, P. *Forecasting Thai Gold Prices*. College of Innovation, Thammasat University, Thailand.
<http://www.wbiconpro.com/3-Pravit-.pdf>
- [2.9] <http://www.qfms.co.uk/Market%20Commentary/PK%20LBMA%20forecast2010.pdf>
- [2.10] http://www.euro2day.gr/ftcom_gr/194/articles/578389/ArticleFTgr.aspx
- [2.11] http://www.express.gr/news/agores2/311902oz_20100607311902.php3
- [2.12] Selvanathan, E.-A. (1991). *A Note on the Accuracy of Business Economists- Gold Price Forecasts*. *Australian Journal of Management*, Vol.16, No.1.
<http://www.aqsm.edu.au/eajm/9106/pdf/selvanathan.pdf>
- [2.13] Dunis, Christian L., & Nathani, Anup. (2007). *Quantitative trading of Gold and Silver using nonlinear models*.
http://search.livjm.ac.uk/AFE/AFE_docs/NNW_CDAN_0107.pdf
- [2.14] Frank, M., & Stengos, T. (1989). *Measuring the Strangeness of Gold and Silver Rates of Return*. *Review of Economic Studies* , Vol. 56 (188), pp. 553-567.
- [2.15] Stengos, T. (1996). *Nonparametric Forecasts of Gold Rates of Return*. *International Symposia in Economic Theory and Econometrics Series*, Cambridge University Press, pp 393-406.
- [2.16] Brauner, E., Dayhoff, J., & Sun, X.(1997). *Commodity Trading Using Neural Networks: Models for the Gold Market*.
http://www.lib.umd.edu/drum/bitstream/1903/5868/1/TR_97-41.pdf
- [2.17] Mui, H.-W., & Chu, C.-W. (1993). *Forecasting the spot price of gold: combined forecast approaches versus a composite forecast approach*. *Journal of Applied Statistics*, Vol. 20, No. 1.

- [2.18] Baker, Stephen A., & Van Tassel, Roger C. (1984). *Forecasting the Price of Gold: A Fundamentalist Approach*. Atlantic Economic Association Conference, Montreal.
- [2.19] Shafiee, S., & Topal, E. (2010) *An overview of global gold market and gold price forecasting*. *Resources-Policy* 35, pp 178-189.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- [3.1] http://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network
- [3.2] Αργυράκης, Π. (2001). *Νευρωνικά Δίκτυα και Εφαρμογές. Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.*
- [3.3] Τζαφέστας Σ.-Γ. (2002). *Υπολογιστική Νοημοσύνη. Τόμος Α: Μεθοδολογίες, Αθήνα.*
- [3.4] Hecht-Nielsen, R. (1987). *Kolmogorov's mapping neural network existence theorem*. In *Procs. of the IEEE Intl. Joint Conf. on Neural Networks*, Vol. III: 11-14.
- [3.5] Malakooti, B., & Zhou, Y. (1994). *An adaptive feedforward artificial neural network with application to multiple criteria decision making*. *Management Science*, 40, 1542-1561.
- [3.6] Mendel, J.-M., & McLaren, R.-W. (1970). *Reinforcement learning control and pattern recognition systems*. In J. M. Mendel, & K. S. Fu (Eds.), *Adaptive, learning and pattern recognition systems: Theory and applications* (pp. 287-318). New York: Academic Press.
- [3.7] Rumelhart, D.-E., Hinton G.-E., & Williams R.-J. (1986). *Learning internal representations by error propagation*. In *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition* (Vol. 1: Foundations). Rumelhart, McClelland (eds.), MIT Press, Cambridge, MA, 318-362.
- [3.8] Haykin, S. (1994). *Neural networks: a comprehensive foundation*. New York, Toronto : Macmillan CollegeMaxwell Macmillan.
- [3.9] Demuth, H., & Beale, M. (2002). *Neural Network Toolbox User's Guide*, Copyright 1992 by The MathWorks, Inc.
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/6267>

- [3.10] Stergiou, C., & Siganos, D. (2010). *NEURAL NETWORKS*.
- [3.11] Sallehuddin, R., Siti Mariyam, Hj., Shamsuddin, Siti Zaiton Mohd, Hashim, & Abraham, A. (2007). *Forecasting Time Series Data Using Hybrid Grey Relational Artificial Neural Network and Auto Regressive Integratted Moving Average Model*. *Neural Network World*, 573-605.
- [3.12] Ghwanmeh, S., Al-Shalabi, R., Kana, G., & Alnemi, L. (2006). *Enhanced Neural Networks Model Based on a Single Layer Linear Couterpropagation for Prediction and Function Approximation*. *Information Technology Journal* 5(1): 45-50, ISSN 1812-5638.
- [3.13] Min, Q., & Guoqiang, P.-Z. (2001). *An investigation of model selection criteria for neural network time series forecasting*. *European Journal of Operational Research* 132, 666-680.
- [3.14] Kyong, Jo-Oh., & Ingoo, Han.(2000). *Using change-point detection to support artificial neural networks for interest rates forecasting*. *Expert Systems with Applications* 19, 105–115.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

- [4.1] Zadeh, L.-A.(1965). *Fuzzy Sets*. *Information and Control*, Vol. 8, pp 338-353.
- [4.2] <http://mmlab.ceid.upatras.gr/aigroup/postgrad/ids/docs/uncert3.pdf>
- [4.3] Θεοδώρου, Γ.-Α.(2010). *Εισαγωγή στην ασαφή λογική (Fuzzy Logic): Βασικές αρχές της ασαφούς λογικής με εφαρμογές στην τεχνολογία: Στοιχεία ασαφούς συνολοθεωρίας-ασαφούς αριθμητικής-ασαφούς γραμμικής άλγεβρας, ασαφή συστήματα ελέγχου-εφαρμογές Matlab*. Εκδόσεις Τζιόλα.
http://www.biblioasi.gr/product_info.php?products_id=167286
- [4.4] Zadeh, L.-A. (2009). *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-3, No. 1, pp. 28-44.
- [4.5] Zadeh, L.-A.(1989). *Knowledge representation in fuzzy logic*. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 1, pp. 89-100.
- [4.6] Larsen, P.-M. (1980). *Industrial Applications of Fuzzy Control*. *Int. Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 12.

- [4.7] Zimmermann, H.-J. (1996). *Fuzzy Set Theory -- and Its Applications*. Kluwer Academic Publishers.
- [4.8] Mohammad, J., Nader, V., & Timothy, R. (1993). *Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications*. Paramus: Prentice Hall.
- [4.9] Timothy, R.(1994). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. New York: McGraw Hill.
- [4.10] <http://tainternets.blogspot.com/2009/10/lesson-102.html>
- [4.11] <http://www.aptronix.com/fide/whyfuzzy.html>
- [4.12] Zadeh, L.-A. (1973). *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC-3, No. 1, pp. 28-44.
- [4.13]http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%91%CF%83%CE%B1%CF%86%CE%AE%CF%82_%CE%9B%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE
- [4.14] Pedrycz, W., & Gomide, F. (1998). *An Introduction to Fuzzy Sets - Analysis and Design*. MIT Press.
- [4.15] Θεοχαρίδης, Γ. (2009). *Αλγόριθμοι Ανάπτυξης Ταξινομητών Βασισμένων σε Ασαφείς Κανόνες για την Ταξινόμηση Προτύπων*. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [4.16] Παπαδάκης, Σ., Αδαμίδης, Π. (2004). *Ασαφή Συστήματα: Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις*. Τ.Ε.Ι Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πληροφορικής.
- [4.17] Φωτόπουλος, Σ.(2009) *Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας και Ασαφής Λογική*. Πανεπιστήμιο Πατρών, ΠΜΣ ΗΕΠ.
- [4.18] http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/sbaa/report.fuzrules.html
- [4.19] Roger Jang, J.-S. (2008). Chap 3: Fuzzy Rules and Fuzzy Reasoning. CS Dept., Tsing Hua Univ., Taiwan.
<http://www.cs.nthu.edu.tw/~jang>
- [4.20] Χαντζής, Α., Τσούγκαρης, Π. (2010). *Νεύρο-Ασαφή Συστήματα Και Κατηγοριοποίηση Κρίνων*.
<http://dimitrioschantzis.com/files/neurofuzzy%5Bgreek%5D.pps>.
- [4.21] Jang, J-S-R., & Sun, C.-T. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice Hall.

- [4.22] Sugeno, M.(1985). *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Pub.Co.
- [4.23] Takagi, H., & Sugeno, M.(1983). *Derivation of fuzzy control rules from human operator's control actions*. Proc. IFAC Symp. Fuzzy Informormation, Knowledge Representant., pp.55-60, France.
- [4.24] Klir, G.-J., & Hsien, Y.-Y. (1997). *Fuzzy Theory and Applications*. Paramus: Prentice-Hall.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

- [5.1] Jang, R.(1992). *Self-learning Fuzzy Controller Based on Temporal Back-Propagation*. IEEE Transactions on Neural Networks, pp 714-723.
- [5.2] Keller, J., & Tahani, H.(1992). *Backpropagation Neural Networks for Fuzzy Logic*, Information Sciences , pp 205-221.
- [5.3] Keller, J., Yager, R., & Tahani, H. (1992). *Neural Network Implementation of Fuzzy Logic*. Fuzzy Sets and Systems, pp 1-12.
- [5.4] Nauck, D., & Kruse, R. (1996). *Designing Neuro-fuzzy Systems Through Backpropagation*. Fuzzy Modeling: Paradigms and Practice, pp 203-228.
- [5.5] Sulzberger, S., Tschichold-Gurman, N., & Vestli, S. (1993). *Optimization of Fuzzy Rule Based Systems Using Neural Networks*. In proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks, pp 312-316.
- [5.6] Berenji, H., & Khedkar, P. (1992). *Learning and Tuning Fuzzy Logic Controllers through Reinforcements*. IEEE Transactions on Neural Networks, pp 724-740.
- [5.7] Buckley, J., & Hayashi, Y. (1994). *Fuzzy Neural Networks : a Survey*. Fuzzy Sets and Systems.
- [5.8] Jang, J.-S.-R., & Sun, C.-T. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice Hall.
- [5.9] Wang, L.-X. (1994). *Adaptive fuzzy systems and control: design and stability analysis*. Prentice Hall.
- [5.10] Jang, J., Sun, C., & Mizutani, E. (1997) *Neuro-fuzzy and soft computing*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.

- [5.11] Jang, R. (1992) *Neuro-Fuzzy Modeling: Architecture, Analyses and Applications*. PhD thesis, University of California, Berkeley.
- [5.12] Jang, R. (1993). *ANFIS: Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems*. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics*, pp 665-685.
- [5.13] Jang, J.-S.-R. (1996). *Neuro-fuzzy modeling for dynamic system identification*. *IEEE*.