

# ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΕ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Επιβλέπων καθηγητής: Χανιάς Μιχαήλ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΠΜΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ  
ΓΕΩΡΓΙΟΣ



## **Περίληψη**

Η πρόβλεψη των τιμών των χρηματοοικονομικών προϊόντων είναι εξαιρετικά ποθητή για τους επενδυτές στις αγορές. Μέσα από διάφορες μεθόδους, πάντα προσπαθούσαν να βρουν τρόπους για αξιόπιστη πρόβλεψη ώστε να πραγματοποιήσουν την ανάλογη επένδυση.

Βέβαια, ιδιαίτερα με τις συνηθισμένες μεθόδους, όπως η τεχνική ανάλυση, μπορεί να προβλεφθεί με σχετική αξιοπιστία η τάση των τιμών, αλλά και πάλι νέες μέθοδοι, π.χ. όπως η θεωρία χάους και τα νευρωνικά δίκτυα παρουσιάζουν καλές προοπτικές για ακόμα πιο ακριβή πρόβλεψη, λαμβάνοντας υπόψη τις συμπεριφορές των επενδυτών.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία θα ελεγχθεί η ικανότητα πρόβλεψης χρηματοοικονομικών μεγεθών μέσω νευρωνικών δικτύων, και θα συγκριθεί η αξιοπιστία αυτής της πρόβλεψης με πιο τυπικές μεθόδους πρόβλεψης όπως αυτή της τεχνικής ανάλυσης.

## **Abstract**

Prediction of the prices of financial instruments is greatly desired by investors. Through various ways, they would always try to find ways of reliable prediction to invest accordingly.

Of course, particularly with usual methods like technical analysis, the trend of prices can be usually predicted somewhat reliably, but then again, new methods like chaos theory and neural networks present good potential for even more precise prediction, while taking into account investor behavior.

In this thesis the ability of neural networks in predicting financial assets' prices will be explored and its efficiency will be compared with more traditional methods like technical analysis.



# Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή .....</b>	<b>1</b>
1.1 Η σημασία της πρόβλεψης χρηματοοικονομικών μεγεθών .....	1
1.2 Αντικείμενο και στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας .....	1
1.3 Μεθοδολογία και Δομή της Διπλωματικής Εργασίας .....	2
<b>2. Τα νευρωνικά δίκτυα και οι εφαρμογές τους σε χρηματοοικονομικά δεδομένα .....</b>	<b>3</b>
2.1 Τι είναι τα νευρωνικά δίκτυα .....	3
2.2 Ανάλυση της δομής και λειτουργίας των νευρωνικών δικτύων .....	3
2.3 Η χρήση σε χρηματοοικονομικά δεδομένα .....	5
<b>3. Τα δεδομένα και το σκεπτικό πίσω από την επιλογή τους .....</b>	<b>6</b>
3.1 Αργό πετρέλαιο .....	7
3.2 Χρυσός .....	8
3.3 Ισοτιμία ευρώ/δολαρίου .....	9
3.4 S&P500 .....	10
<b>4. Μεθοδολογία προβλέψεων.....</b>	<b>11</b>
4.1 Με το πρόγραμμα Weka.....	11
4.2 Με το πρόγραμμα Matlab.....	16
<b>5. Προβλέψεις .....</b>	<b>28</b>
5.1 Προβλέψεις τιμής αργού πετρελαίου .....	28
5.2 Προβλέψεις τιμής ισοτιμίας Ευρώ/Δολαρίου .....	32
5.3 Προβλέψεις τιμής χρυσού .....	36
5.4 Προβλέψεις τιμής S&P500 .....	40
5.5 Επιπλέον προβλέψεις με συνδυασμό χρονοσειρών .....	44
5.6 Σύγκριση με την Τεχνική Ανάλυση .....	46
<b>6. Συμπεράσματα – Προτάσεις .....</b>	<b>48</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>49</b>
<b>Παράρτημα.....</b>	<b>51</b>



# **1. Εισαγωγή**

## **1.1 Η σημασία της πρόβλεψης χρηματοοικονομικών μεγεθών και οι υπάρχουσες μέθοδοι**

Για τον επενδυτή στο χρηματιστήριο, στις χρηματοπιστωτικές αγορές και τις εναλλακτικές επενδύσεις (εμπορεύματα, παράγωγα κτλ.) το μέλλον είναι το παν. Το πως θα κινηθεί η τιμή του επενδυτικού αγαθού στο μέλλον είναι βασικό στοιχείο για την κίνηση του επενδυτή στην αγορά. Το αν τον συμφέρει να αγοράσει, να πουλήσει, να μείνει στάσιμος καθορίζεται από την μελλοντική πορεία των στοιχείων στα οποία επενδύει. Στο σημερινό περιβάλλον όπου υπάρχουν άπειρα παράγωγα προϊόντα τα οποία εξαρτώνται από την τιμή των υποκείμενων προϊόντων στο μέλλον.

Όπως είναι φυσικό έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα πρόβλεψης από πολλούς διαφορετικούς κλάδους της επιστήμης, αλλά οι οικονομολόγοι έχουν καταλήξει σε δύο βασικές μεθόδους πρόβλεψης της τιμής διάφορων επενδυτικών αγαθών. Η πρώτη είναι η θεμελιώδης ανάλυση, η οποία αφορά πιο μακροπρόθεσμο ορίζοντα και αναλύει π.χ. την οικονομική κατάσταση μιας εταιρείας για να κρίνει την πραγματική αξία των μετοχών της. Η δεύτερη είναι η τεχνική ανάλυση, η οποία είναι η μελέτη της κίνησης των τιμών, πολλές φορές με τη βοήθεια διαγραμμάτων, της γεωμετρίας και της στατιστικής, με στόχο την πρόβλεψη της μελλοντικής τους κίνησης από την συμπεριφορά τους στο χρόνο.

Η πρόβλεψη των τιμών χρηματοοικονομικών μεγεθών έχει πάντως και τους σκεπτικιστές της, κυρίως από τη θεωρία αποδοτικής αγοράς (Efficient Market Hypothesis) που στην ουσία ισχυρίζεται ότι οι τιμές είναι απρόβλεπτες.

## **1.2 Αντικείμενο και στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας**

Η εργασία αυτή στοχεύει κυρίως στο να αναδείξει την προβλεπτική ικανότητα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και να τα παρουσιάσει σαν μία βιώσιμη εναλλακτική στις υπάρχουσες μεθόδους. Σίγουρα καμία πρόβλεψη δεν είναι τέλεια, και καμία μέθοδος δεν μπορεί να αντικαταστήσει την ικανότητα ενός έμπειρου χρηματιστή, όπως και την καλή επίγνωση των εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν κάποια δεδομένα.

Τα νευρωνικά δίκτυα είναι όμως εκ φύσεως μία μέθοδος που περιλαμβάνει εκμάθηση, κάτι το οποίο τους δίνει και την προβλεπτική ικανότητα. Οπότε, λαμβάνοντας υπόψη τις χρονοσειρές από μόνες τους, με διαφορετικές μεθόδους πάνω στα νευρωνικά δίκτυα θα πραγματοποιηθούν μελλοντικές προβλέψεις από την πρότερη συμπεριφορά των δεδομένων. Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν βρει ήδη χρήση στον χρηματοοικονομικό τομέα, κυρίως σε εταιρικό επίπεδο, αλλά στην εργασία αυτή θα εξεταστεί περισσότερο η ικανότητα τους να δώσουν σχετικά αξιόπιστη πρόβλεψη στον μέσο επενδυτή για τις ανάγκες του.

### **1.3 Μεθοδολογία και Δομή της Διπλωματικής Εργασίας**

Αρχικά θα παρουσιαστεί σύντομα η έννοια των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα είδη τους και το πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη χρηματοοικονομικών δεδομένων.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που επιλέχθηκαν και το σκεπτικό πίσω από την επιλογή τους για να γίνουν προβλέψεις.

Μετά θα αναλυθεί η μεθοδολογία πίσω από τις προβλέψεις και τα προγράμματα και ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν ώστε να παράγουν τις προβλέψεις.

Περνώντας στη συνέχεια στις προβλέψεις καθεαυτές με σχολιασμό των αποτελεσμάτων για κάθε χρονοσειρά και κάθε τύπο πρόβλεψης. Οι προβλεπόμενες τιμές δεν μελετήθηκαν με βάση το σφάλμα, αλλά με βάση την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια γραφημάτων.

Επίσης δεν επιχειρήθηκε κάποια πολύ μακροπρόθεσμη πρόβλεψη, καθώς αυτή 1<sup>ον</sup> δεν μπορεί να είναι ικανοποιητικά αξιόπιστη με τα δεδομένα της αγοράς, και 2<sup>ον</sup> τα νευρωνικά δίκτυα χρειάζονται αρκετά δεδομένα για να μάθουν τον τρόπο που κινείται η χρονοσειρά, αλλά όσο απομακρυνόμαστε από την τελευταία είσοδο, τα αποτελέσματα μακροπρόθεσμα αποκλίνουν σημαντικά κάθε φορά που εκπαιδεύουμε το δίκτυο και επαναλαμβάνουμε την εξαγωγή προβλέψεων.

Κλείνοντας, θα παρατεθούν τα συμπεράσματα από την εργασία και κάποιες προτάσεις.



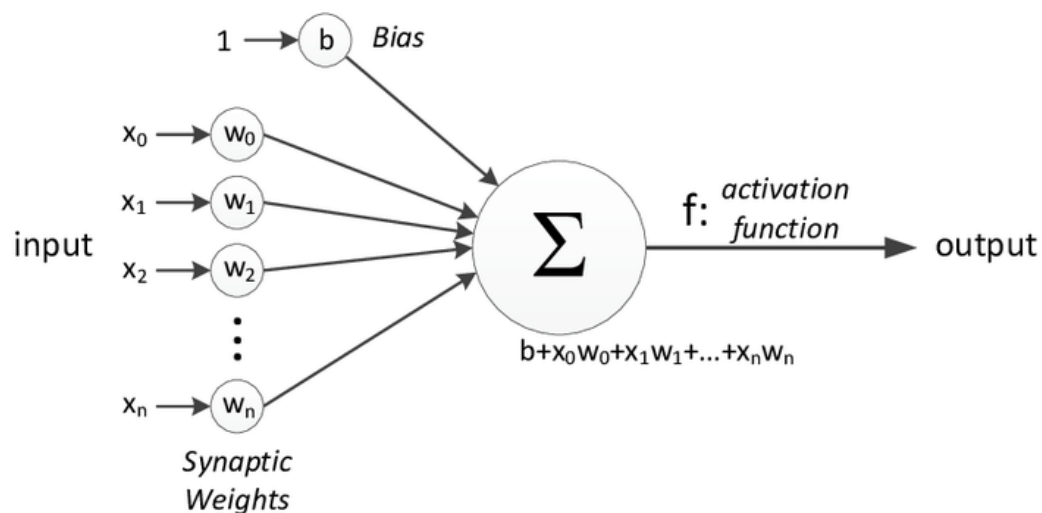
## 2. Τα νευρωνικά δίκτυα και οι εφαρμογές τους σε χρηματοοικονομικά δεδομένα

### 2.1 Τι είναι τα νευρωνικά δίκτυα

Τα νευρωνικά δίκτυα (ΝΔ) είναι υπολογιστικά μοντέλα βασισμένα στον ανθρώπινο εγκέφαλο και το σύστημα νευρώνων από το οποίο αποτελείται. Τα ΝΔ στοχεύουν να εξομοιώσουν την ανθρώπινη γνωστική ικανότητα μέσω εκμάθησης δεδομένων και αποτελούνται από έναν αριθμό ισχυρά διασυνδεδεμένων στοιχείων επεξεργασίας (νευρώνες) που δουλεύουν συνδυαστικά για να λύσουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Εφαρμογές βρίσκουν σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους, από τη φυσική και τη χημεία έως την ιατρική και την μηχανική μάθηση. [1]

### 2.2 Ανάλυση της δομής και λειτουργίας των νευρωνικών δικτύων

Το παρακάτω διάγραμμα αντιπροσωπεύει το γενικό μοντέλο τεχνητού νευρωνικού δικτύου που είναι εμπνευσμένο από έναν βιολογικό νευρώνα. Επίσης το νευρωνικό δίκτυο μονού επιπέδου λέγεται και ταξινομητής.



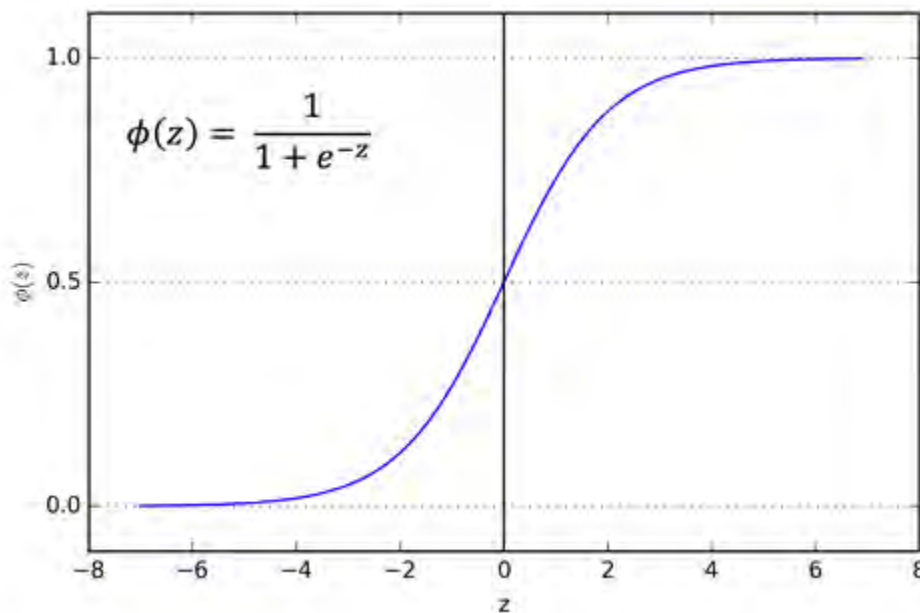
Εικόνα 1: Διάγραμμα τεχνητού νευρωνικού δικτύου μονού επιπέδου [1]

Στο παραπάνω διάγραμμα, για μία μοναδική παρατήρηση, τα  $x_0, x_1, x_2, x_3 \dots x(n)$  αντιπροσωπεύουν διάφορες εισόδους (ανεξάρτητες μεταβλητές) στο δίκτυο. Κάθε μία από τις εισόδους πολλαπλασιάζεται με ένα βάρος σύνδεσης ή σύναψη. Τα βάρη σύναψης αντιπροσωπεύονται από τα  $w_0, w_1, w_2, w_3 \dots w(n)$ . Το βάρος δείχνει τη δύναμη ενός συγκεκριμένου κόμβου. Στην απλούστερη περίπτωση, αυτά τα προϊόντα προστίθενται, δίνονται

σε μία συνάρτηση μεταφοράς (συνάρτηση ενεργοποίησης) για να παράγουν ένα αποτέλεσμα, και αυτό το αποτέλεσμα στέλνεται σαν έξοδος.

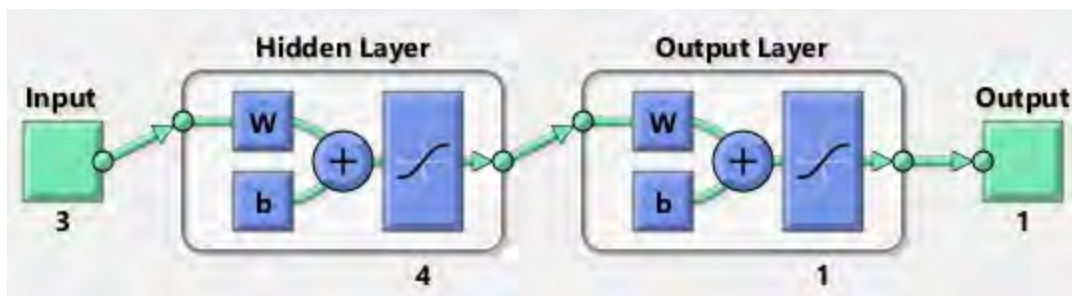
Η συνάρτηση ενεργοποίησης είναι σημαντική για ένα δίκτυο να μάθει και να κατανοήσει κάτι πραγματικά πολύπλοκο. Ο βασικός τους σκοπός είναι να μετατρέψουν το σήμα εισόδου σε έναν κόμβο του δικτύου σε σήμα εξόδου. Αυτό το σήμα χρησιμοποιείται σαν είσοδος στο επόμενο επίπεδο.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με τα οποία θα επιχειρήσουμε την πρόβλεψή μας θα χρησιμοποιούν σιγμοειδή συνάρτηση ενεργοποίησης. Η σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης είναι μια μαθηματική συνάρτηση που έχει μία χαρακτηριστική καμπύλη σε σχήμα S που κυμαίνεται από 0 έως 1, άρα χρησιμοποιείται για μοντέλα όπου χρειάζεται να προβλέψουμε την πιθανότητα σαν μία έξοδο. Οι νευρώνες που χρησιμοποιούν την εξής συνάρτηση αποκαλούνται σιγμοειδείς. [1]



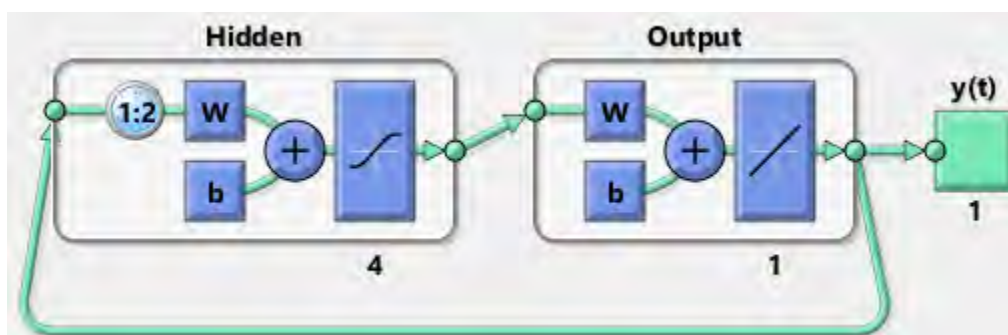
Εικόνα 2: Σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης [1]

Η εκμάθηση του νευρωνικού δικτύου γίνεται με την μέθοδο της οπισθοδιάδοσης (Backpropagation), η οποία σημαίνει ότι τα δεδομένα περνάνε μέσα από το δίκτυο και πάλι πίσω, μέχρι να επιτευχθεί το μικρότερο σφάλμα. Η εκμάθηση γίνεται συνήθως με τον αλγόριθμο Levenberg-Marquardt ο οποίος είναι συνήθως ο πιο αποτελεσματικός στην προσαρμογή με μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Τα πιο συνηθισμένα νευρωνικά δίκτυα είναι αυτά που δεν σχηματίζουν κύκλο μεταξύ των κόμβων τους και αποκαλούνται Feed-Forward. Ο συνδυασμός των δύο καταλήγει στον όρο Feed-Forward Backprop Network (FFB).



Εικόνα 3: Νευρωνικό δίκτυο 2 επιπέδων με 4 κρυφούς σιγμοειδείς νευρώνες

Επίσης στην εργασία θα χρησιμοποιήσουμε και δυναμικά επαναληπτικά νευρωνικά δίκτυα με την μορφή μη γραμμικών αυτοπαλινδρομούμενων δικτύων (NAR) τα οποία μετατρέπονται σε κλειστά κυκλώματα για την εξαγωγή προβλέψεων.



Εικόνα 4: Δίκτυο NAR που έχει μετατραπεί σε κλειστό κύκλωμα

## 2.3 Η χρήση σε χρηματοοικονομικά δεδομένα

Η χρήση των νευρωνικών δικτύων σε χρηματοοικονομικά δεδομένα μοιάζει ως φυσικό επακόλουθο του είδους του μοντέλου που είναι. Τα δεδομένα αυτά συνήθως έχουν την μορφή χρονοσειρών, κάτι που είναι μέσα στο πλαίσιο των εφαρμογών που καλύπτουν τα νευρωνικά δίκτυα. Η εκμάθηση της πρότερης συμπεριφοράς μίας τιμής ενός στοιχείου θα μπορούσε να δώσει καλή, έστω βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της μελλοντικής πορείας αυτής της τιμής.

Επίσης, το σχετικά νέο πεδίο των Συμπεριφορικών Οικονομικών (Behavioral Economics) μελετάει τα οικονομικά φαινόμενα μέσα από τη σκοπιά της ψυχολογίας και της συμπεριφοράς του ατόμου. Το επιστημονικό συμπέρασμα είναι ότι η πλειονότητα των επενδυτών, δεν είναι ορθολογικοί, και αυτό μπορεί να παρουσιάζεται και στις τιμές που δίνει αυτός ο μη ορθολογικός όγκος συναλλαγών. Οπότε, τι πιο κατάλληλο να κάνει πρόβλεψη τέτοιου είδους δεδομένων από ένα μοντέλο που εξομοιώνει την ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία, τα νευρωνικά δίκτυα;

### **3. Τα δεδομένα και το σκεπτικό πίσω από την επιλογή τους**

Τα νευρωνικά δίκτυα θα χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη βασισμένη στην πρότερη συμπεριφορά της τιμής του κάθε στοιχείου. Οπότε τα δεδομένα μας θα έχουν την μορφή χρονοσειράς και θα επιλεγούν με βάση την συνήθη συμπεριφορά της τιμής του κάθε στοιχείου και τη θέση του στοιχείου στην αγορά. Υπάρχουν στοιχεία τα οποία παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα ακόμα και ανά μέρα, ενώ άλλα παρουσιάζουν μικρές μεταβολές ακόμα και σε επίπεδο εβδομάδας.

Γι' αυτό το λόγο, επιλέχθηκαν δεδομένα που να αντιπροσωπεύουν αυτή την ποικιλομορφία, τα οποία μελετήθηκαν σε ημερήσιο και εβδομαδιαίο επίπεδο, και αφορούν τις τιμές κλεισίματος. Επίσης οι χρονοσειρές των δεδομένων μετατράπηκαν και σε στάσιμες, παίρνοντας τις ποσοστιαίες μεταβολές από το κάθε χρονικό επίπεδο προς το επόμενο, αλλά αμέσως απορρίφθηκε η επιλογή τους για πρόβλεψη, καθώς δεν προσφέρουν καλή εκμάθηση στα δίκτυα, και τα αποτελέσματα της πρόβλεψης μοιάζουν τυχαίοι αριθμοί. Ως χρονικός ορίζοντας επιλέχθηκε το χρονικό διάστημα μεταξύ της αρχής του 2003 έως το τέλος του 2018. Η επιλογή έγινε αυθαίρετα αλλά και από προσωπική κρίση ότι η περίοδος αυτή αντιπροσωπεύει καλά τις σύγχρονες αγορές, περιλαμβάνοντας μέσα και την κρίση του 2007-9.

Τα δεδομένα πάρθηκαν άνευ κόστους από την ιστοσελίδα [investing.com](http://investing.com) και περάστηκαν σε υπολογιστικά φύλλα με την βοήθεια του Excel απ' όπου και τροποποιήθηκαν αναλόγως για χρήση στα προγράμματα κατασκευής νευρωνικών δικτύων.

### 3.1 Αργό πετρέλαιο



Εικόνα 5: Τιμή αργού πετρελαίου WTI σε \$ (2003-2018)

Το αργό πετρέλαιο είναι από τα πιο σημαντικά εμπορεύματα στον κόσμο, και στον χρηματοοικονομικό κόσμο υπάρχουν πολλά παράγωγα που σχετίζονται με την τιμή του. Κλασικό παράδειγμα τα μηνιαία συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης (Futures) που εκπληρώνονται με βάση την τιμή του κάθε μήνα. Όπως είναι εύκολα κατανοητό, η πρόβλεψη της τιμής του είναι πολυπόθητη για πολλούς επενδυτές. Ο δείκτης τιμής αφορά το αργό πετρέλαιο WTI (West Texas Intermediate) ανά βαρέλι, όπου WTI το επίπεδο ποιότητας πετρελαίου που χρησιμοποιείται σαν benchmark στις τιμές του αργού. [2]

Όπως φαίνεται και από το γράφημα της χρονοσειράς το αργό πετρέλαιο παρουσιάζει υψηλή μεταβλητότητα στην τιμή του, και δεν έχει κάποια γενική τάση κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς. Η τιμή του είναι περίπου ίδια στην αρχή και στο τέλος του χρονικού διαστήματος. Επίσης φαίνεται το πόσο η κρίση του 2007 εκτόξευσε την τιμή ενώ όλο το 2008 υπήρξε μια ραγδαία πτώση. Στις αρχές του 2015 το πετρέλαιο επέστρεψε σταθερά στα επίπεδα προ κρίσης με τα τέλη του 2018 να συνδυάζονται με μία σημαντική πτωτική πορεία.

## 3.2 Χρυσός



Εικόνα 6: Τιμή χρυσού σε \$ (2003-2018)

Ο χρυσός είναι το πιο γνωστό πολύτιμο μέταλλο και ο πιο δημοφιλής τρόπος αποθήκευσης πλούτου γιατί θεωρείται πιο αξιόπιστος από κάθε νόμισμα. Ο χρυσός ανά την ιστορία πάντα ήταν μέσον συναλλαγών και η νομισματική αξία κάθε χώρας ήταν άρρηκτα συνδεδεμένη με το χρυσό, μέχρι πολύ πρόσφατα, όπου το 1971 οι Ηνωμένες Πολιτείες σταμάτησαν να χρησιμοποιούν το λεγόμενο gold standard, και στην συνέχεια ακολούθησαν και οι υπόλοιπες χώρες του κόσμου. [3]

Όπως φαίνεται και στο γράφημα η τιμή του χρυσού ακολουθεί πιο ομαλή πορεία και έχει μια ανοδική τάση η οποία οφείλεται και στον πληθωρισμό. Στον απόηχο της κρίσης όμως η τιμή του ανέβηκε σημαντικά, κάτι που προφανώς οφείλεται στην αυξημένη ζήτηση από άτομα που θέλανε να διασφαλίσουν τον πλούτο τους. Αυτή η ανησυχία υπάρχει ακόμα και κρατάει την τιμή του σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Φυσικά σαν εμπόρευμα υπάρχουν πολλά παράγωγα από την τιμή του χρυσού. Η τιμή του αναφέρεται ανά ουγκιά (1 oz).

### 3.3 Ισοτιμία ευρώ/δολαρίου

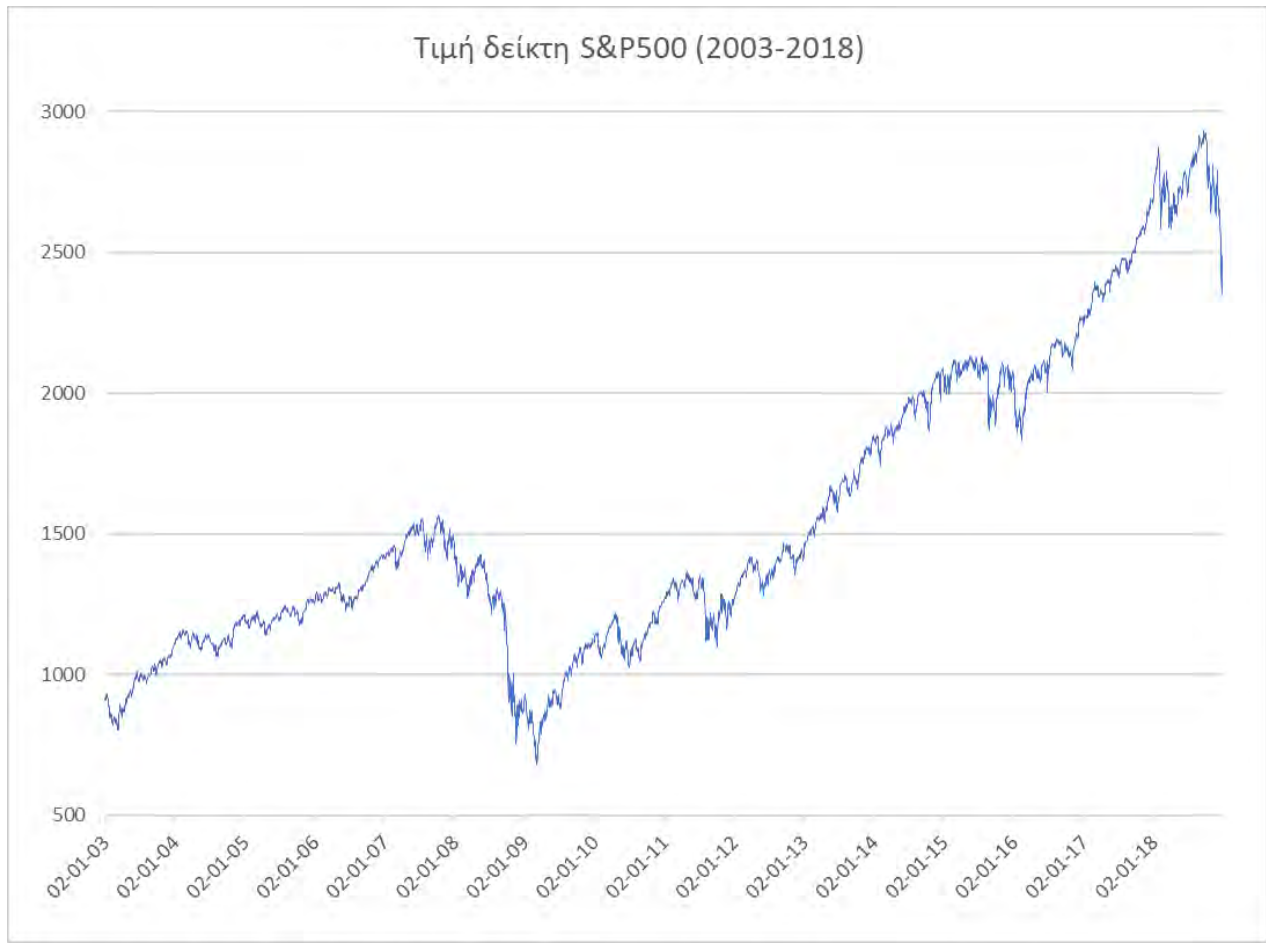


Εικόνα 7: Ισοτιμία EUR/USD (2003-2018)

Το ευρώ σαν φυσικό νόμισμα τέθηκε σε κυκλοφορία την πρωτοχρονιά του 2002 και αντικατέστησε τα εγχώρια νομίσματα των αρχικών χωρών της ευρωζώνης, αλλάζοντας τα δεδομένα της οικονομίας της Ευρώπης αλλά και του κόσμου. Το ευρώ είχε εξαρχής τιμή λίγο πάνω από αυτή του αμερικανικού δολαρίου. Η αναλογία που βλέπουμε είναι πόσα δολάρια αντιστοιχούν στο 1 ευρώ. Η αγορά συναλλάγματος (Forex) είναι με διαφορά η μεγαλύτερη βάση του όγκου συναλλαγών, οπότε η πρόβλεψη της ισοτιμίας είναι πολύ σημαντική για τους επενδυτές. [4]

Στο γράφημα φαίνεται η χρονοσειρά να κάνει ένα κύκλο και να επιστρέφει στο τέλος της στα επίπεδα της αρχής της. Η κρίση του 2007 φαίνεται να έχει επηρεάσει αρκετά την ισοτιμία όπως φαίνεται από τα έντονα скаμπανεβάσματα. Επίσης η κρίση της ευρωζώνης αντικατοπτρίζεται στην πτώση του ευρώ μέσα στο 2014.

### 3.4 S&P500



Εικόνα 8: Τιμή δείκτη S&P500 σε € (2003-2018)

Ο S&P500, προερχόμενος από τον οίκο αξιολόγησης Standard & Poor's, είναι από τους σημαντικότερους δείκτες του αμερικανικού χρηματιστηρίου και είναι ευρέως εκτιμώμενο πως είναι ο καλύτερος αξιολογητής ιδίων κεφαλαίων μεγάλης κεφαλαιοποίησης στις ΗΠΑ. Ο δείκτης περιλαμβάνει τις μετοχές από 500 κορυφαίες εταιρείες με συνολική κεφαλαιοποίηση 3,4 τρισεκατομμύρια δολάρια σε κεφάλαια ενώ καλύπτει το 80% της συνολικής κεφαλαιοποίησης της αγοράς. [5]

Ως χρηματιστηριακός δείκτης ο S&P έχει αρκετά μεγάλη μεταβλητότητα αλλά ακολουθεί μια σταθερά ανοδική πορεία μετά το τέλμα του 2008. Η σημασία του για τους επενδυτές είναι πολύ μεγάλη και ακόμα και παράγωγα προϊόντα εξάγονται από αυτόν τον δείκτη.

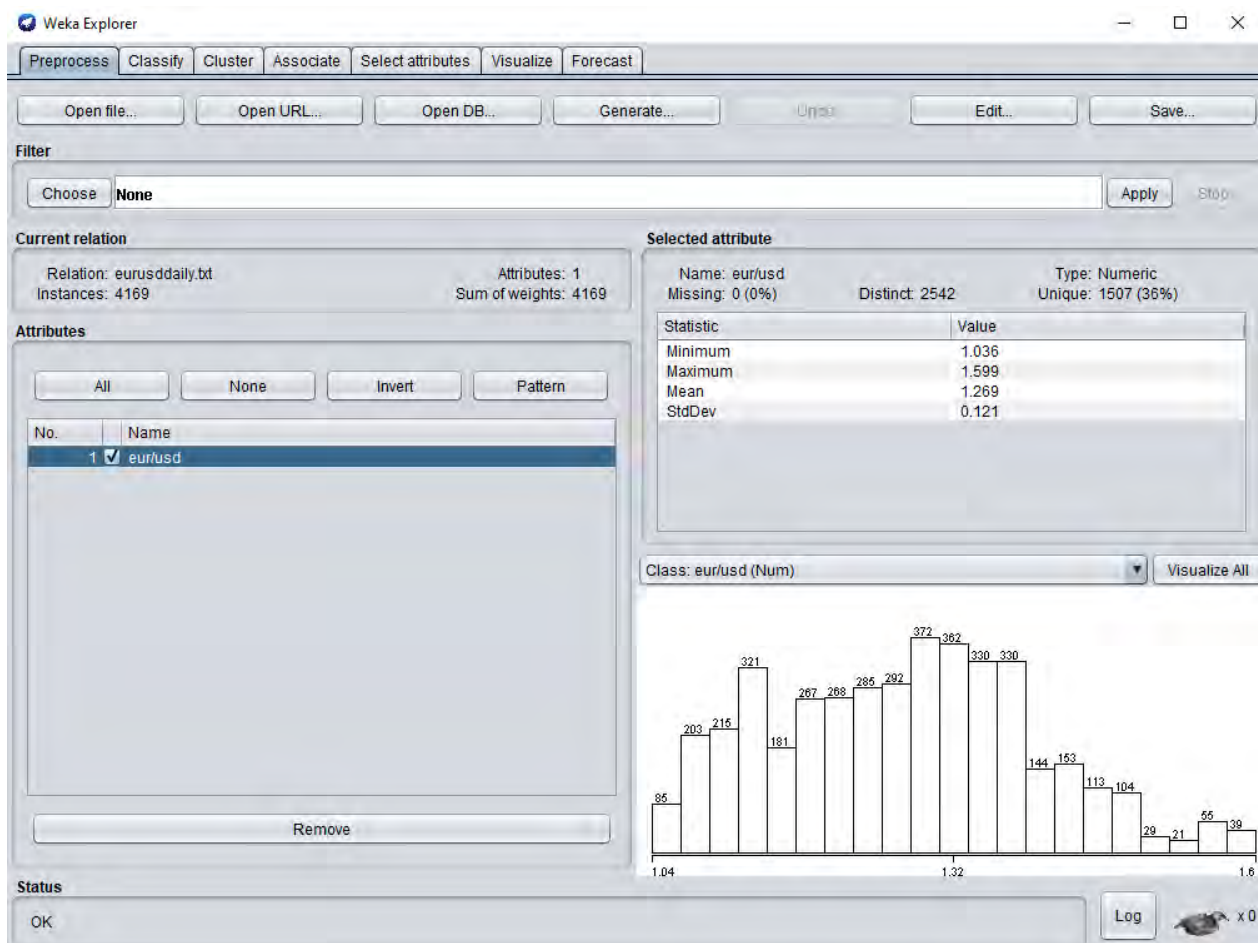


## 4. Μεθοδολογία προβλέψεων

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Weka v.3.8.3 και Matlab R2017a, όπως και το Microsoft Excel 2019 για την επεξεργασία των χρονοσειρών και των προβλέψεων. Το Weka είναι πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα προερχόμενο από το πανεπιστήμιο του Waikato στη Νέα Ζηλανδία, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές Machine Learning και νευρωνικών δικτύων. Το Matlab είναι ένα πασίγνωστο πλέον περιβάλλον αριθμητικών υπολογισμών με πολλαπλές εφαρμογές, και διαθέτει συγκεκριμένα εργαλεία για νευρωνικά δίκτυα.

### 4.1 Με το πρόγραμμα Weka

Χρησιμοποιώντας το πακέτο TimeseriesForecasting του Weka μπορούμε να κάνουμε προβλέψεις χρονοσειρών. Ανοίγοντας τον explorer του Weka φορτώνουμε την χρονοσειρά που θέλουμε να προβλέψουμε, αφού έχουμε αφαιρέσει τις τιμές που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για την σύγκριση των προβλέψεων (στην περίπτωση μας 5).



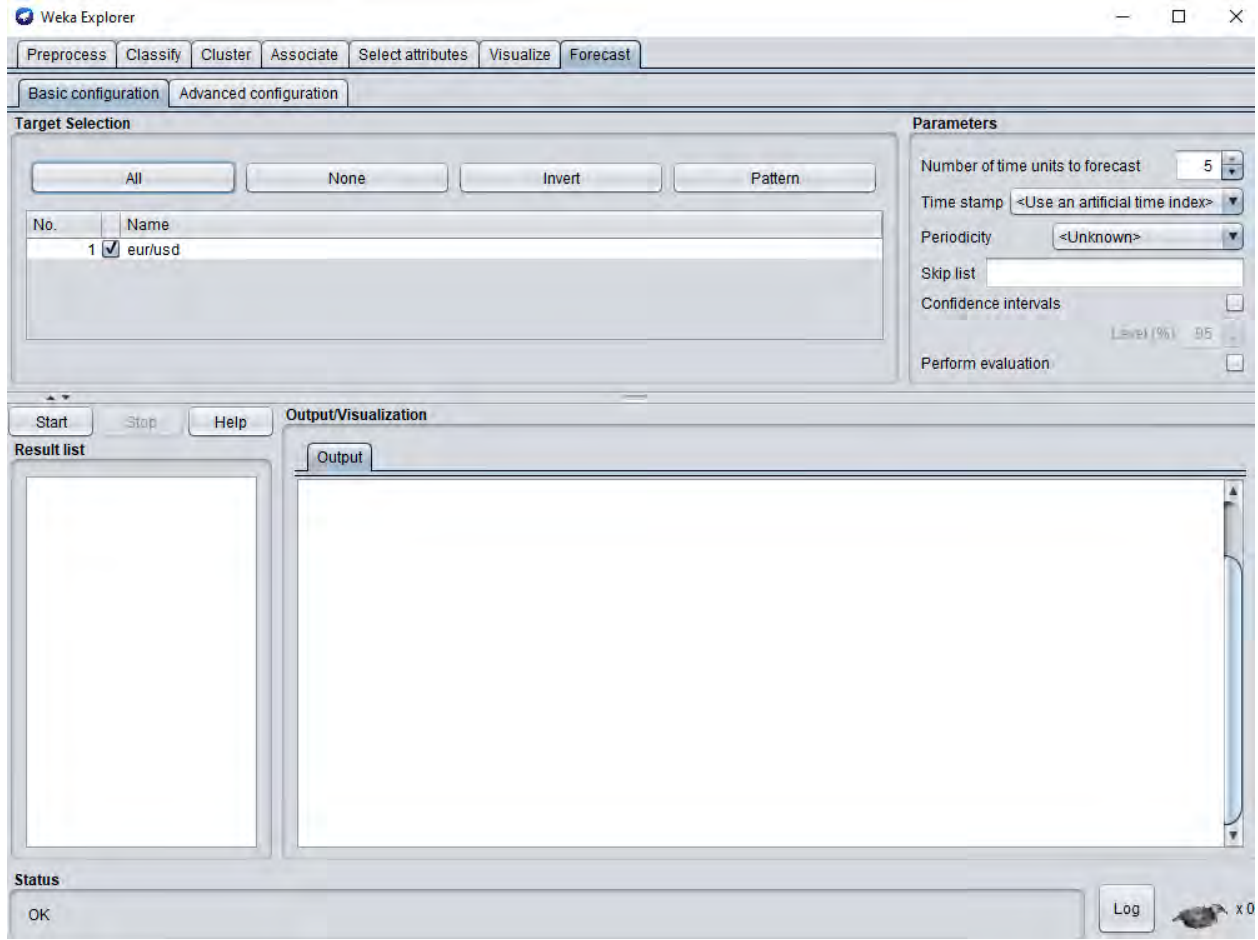
The screenshot shows the Weka Explorer interface. The 'Selected attribute' section displays the following statistics for 'eur/usd':

Statistic	Value
Minimum	1.036
Maximum	1.599
Mean	1.269
StdDev	0.121

Below the statistics, a histogram shows the distribution of the 'eur/usd' attribute. The x-axis ranges from 1.04 to 1.6, and the y-axis shows the frequency of each bin. The bars are labeled with their respective frequencies: 85, 203, 215, 181, 267, 268, 285, 292, 372, 362, 330, 330, 144, 153, 113, 104, 29, 21, 55, 39.

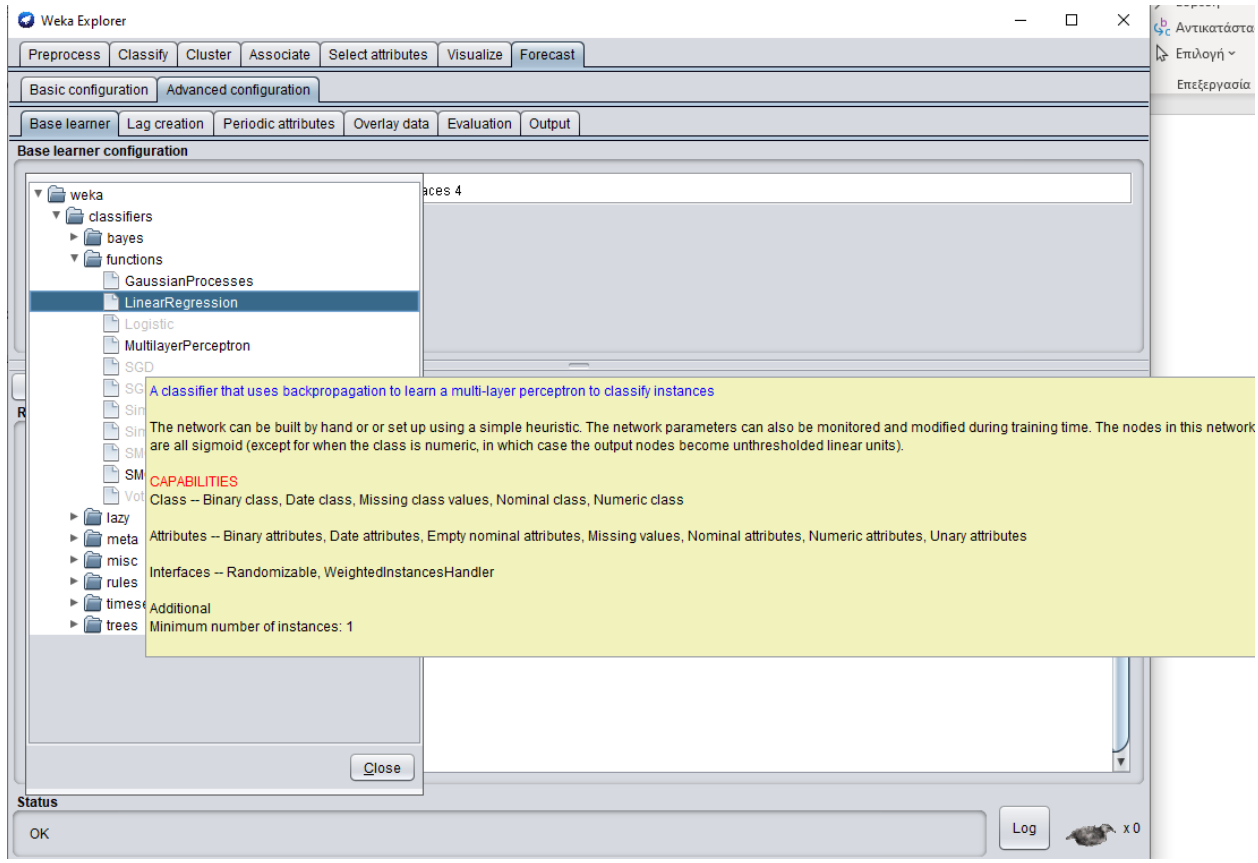
Εικόνα 9: Εισαγωγή χρονοσειράς στο Weka

Στη συνέχεια πηγαίνουμε στην καρτέλα Forecast, όπου επιλέγουμε τα πόσα μελλοντικά χρονικά επίπεδα θέλουμε να προβλέψουμε (5). Επιλέγουμε 5 ως ένα τυχαίο αλλά αντιπροσωπευτικό συνήθως αριθμό, ο οποίος είναι αρκετός για να μας δείξει την συμπεριφορά του δικτύου σε σχέση με τις προβλέψεις που θα κάνει. Το πιο πιθανό είναι για το συγκεκριμένο μοντέλο να μας δώσει αρκετά καλές προβλέψεις έως 2 βήματα εμπρός.



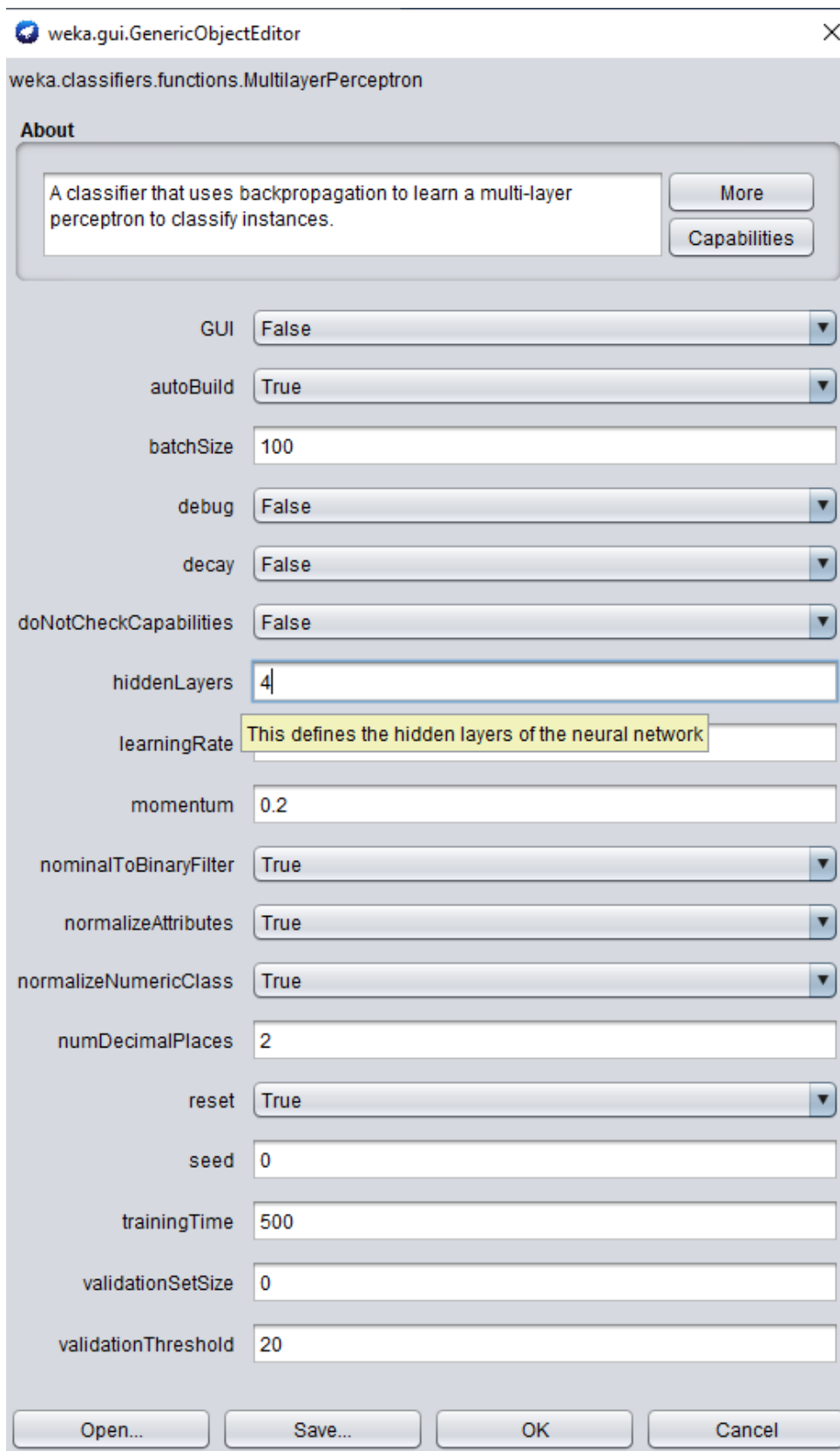
Εικόνα 10: Η καρτέλα πρόβλεψης του Weka

Πηγαίνοντας στην καρτέλα AdvancedConfiguration επιλέγουμε ως Base Learner το MultilayerPerceptron το οποίο περιγράφεται στο πρόγραμμα ως ταξινομητής που χρησιμοποιεί οπισθοδιάδοση για να μάθει ένα αντίληπτρο πολλαπλών επιπέδων για να ταξινομήσει δεδομένα.



Εικόνα 11: Επιλογή Multilayer Perceptron

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί να τροποποιηθεί όπως στο παρακάτω παράθυρο. Δοκιμάστηκαν αρκετές περιπτώσεις στην επιλογή κρυφών επιπέδων (νευρώνων) όπου και συνήθως οι πιο αποτελεσματικές ήταν οι 4 ή 10.



Εικόνα 12: Οι ιδιότητες του Multilayer Perceptron και επιλογή κρυφών νευρώνων

Πατώντας start το πρόγραμμα ξεκινάει το training του νευρωνικού δικτύου και αυτόματα μας δίνει και τις προβλέψεις (που παρουσιάζονται με αστερίσκο), τις οποίες μπορούμε μετά εμείς να τις συγκρίνουμε στο Excel π.χ. με την ολόκληρη χρονοσειρά.

The screenshot displays the Weka Explorer interface in the 'Forecast' tab. The 'Target Selection' section shows a table with one entry: '1 eur/usd'. The 'Parameters' section on the right includes 'Number of time units to forecast' set to 5, 'Time stamp' set to '<Use an artificial time index>', and 'Periodicity' set to '<Unknown>'. The 'Output/Visualization' section shows a table of 'Forecaster output' with the following data:

Time Index	Forecasted Value
415	Forecaster output
4160	1.1316
4161	1.1368
4162	1.1363
4163	1.1309
4164	1.1347
4165	1.1361
4166	1.1377
4167	1.1446
4168	1.1369
4169	1.14
4170*	1.1362
4171*	1.1314
4172*	1.1272
4173*	1.1231
4174*	1.1185

The 'Status' bar at the bottom left shows 'OK'.

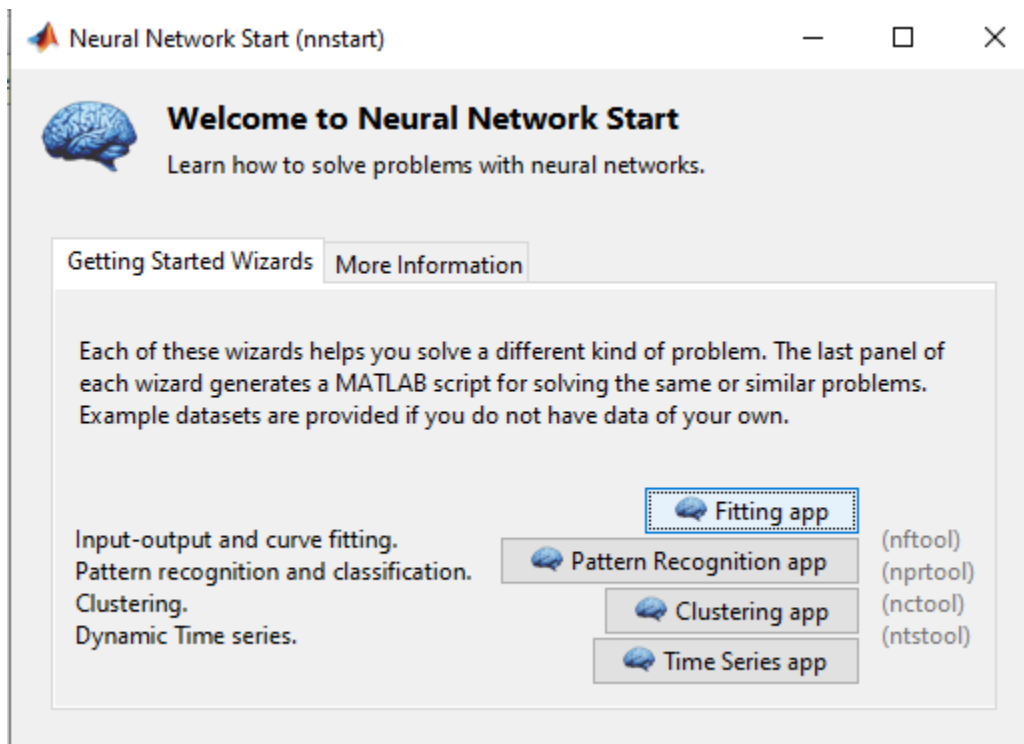
Εικόνα 13: Η πρόβλεψη του Weka

## 4.2 Με το πρόγραμμα Matlab

Το Matlab διαθέτει δύο διαφορετικά εργαλεία για την κατασκευή νευρωνικών δικτύων, το nntool που είναι ένα πιο barebones εργαλείο αλλά πιο προσαρμόσιμο, και το nnstart που ακολουθεί μια πιο φιλική στο χρήστη προσέγγιση.

### nnstart

Αρχικά θα δούμε με την χρήση του nnstart τον τρόπο κατασκευής ενός δυναμικού μη γραμμικού αυτοπαλινδρομούμενου νευρωνικού δικτύου, επιλέγοντας το Time Series app.



Εικόνα 14: Η αρχική οθόνη του nnstart

Επιλέγουμε το μοντέλο NAR, εκτός της περίπτωσης που κάνουμε πρόβλεψη του S&P από τιμές του DAX όπου και επιλέγουμε το NARX.

Neural Time Series (ntstool)

### Welcome to the Neural Network Time Series Tool.

Solve a nonlinear time series problem with a dynamic neural network.

#### Introduction

Prediction is a kind of dynamic filtering, in which past values of one or more time series are used to predict future values. Dynamic neural networks, which include tapped delay lines are used for nonlinear filtering and prediction.

There are many applications for prediction. For example, a financial analyst might want to predict the future value of a stock, bond or other financial instrument. An engineer might want to predict the impending failure of a jet engine.

Predictive models are also used for system identification (or dynamic modelling), in which you build dynamic models of physical systems. These dynamic models are important for analysis, simulation, monitoring and control of a variety of systems, including manufacturing systems, chemical processes, robotics and aerospace systems.

This tool allows you to solve three kinds of nonlinear time series problems shown in the right panel. Choose one and click [Next].

#### Select a Problem

Nonlinear Autoregressive with External (Exogenous) Input (NARX)  
Predict series  $y(t)$  given  $d$  past values of  $y(t)$  and another series  $x(t)$ .

$x(t)$   $y(t) = f(x(t-1), \dots, x(t-d), y(t-1), \dots, y(t-d))$

Nonlinear Autoregressive (NAR)  
Predict series  $y(t)$  given  $d$  past values of  $y(t)$ .

$y(t) = f(y(t-1), \dots, y(t-d))$

Nonlinear Input-Output  
Predict series  $y(t)$  given  $d$  past values of series  $x(t)$ .

**Important Note:** NARX solutions are more accurate than this solution. Only use this solution if past values of  $y(t)$  will not be available when deployed.

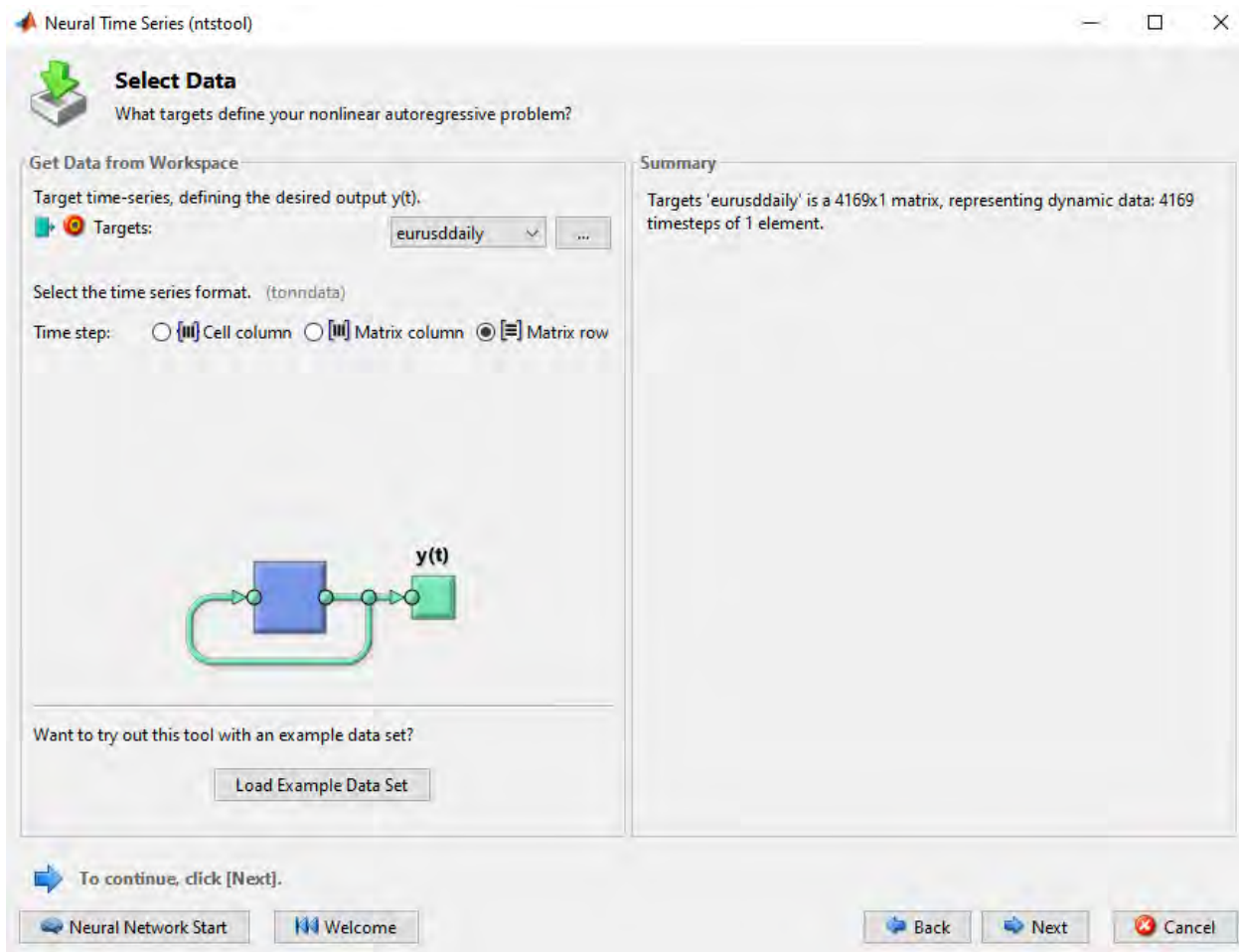
$x(t)$   $y(t) = f(x(t-1), \dots, x(t-d))$

To continue, click [Next].

Neural Network Start Welcome Back Next Cancel

Εικόνα 15: Επιλογή μοντέλου πρόβλεψης χρονοσειρών

Επιλέγουμε την χρονοσειρά (που έχουμε φορτώσει από πριν στο Workspace).



Εικόνα 16: Επιλογή χρονοσειράς



Εδώ επιλέγουμε τον αριθμό των κρυφών νευρώνων και των καθυστερήσεων. Οι δοκιμές έδειξαν ότι οι καλύτερες επιλογές είναι 4 και 2 αντίστοιχα. Παρακάτω φαίνεται και το διάγραμμα του αντίστοιχου δικτύου NAR.

Neural Time Series (ntstool)

### Network Architecture

Choose the number of neurons and feedback delays.

**Architecture Choices**

Define a nonlinear autoregressive neural network. (narnet)

Number of Hidden Neurons:

Number of delays d:

Problem definition:  $y(t) = f(y(t-1), \dots, y(t-d))$

**Recommendation**

Return to this panel and change the number of neurons or delays if the network does not perform well after training.

The network will be created and trained in open loop form as shown below. Training with open loop (single-step) prediction is more efficient than with closed loop (multi-step) prediction because it allows us to supply the network with correct feedback inputs even as we train it to produce the correct feedback outputs.

After training, the network may be converted to closed loop form, or any other form, that the application requires.

**Neural Network**

Diagram illustrating the network architecture:

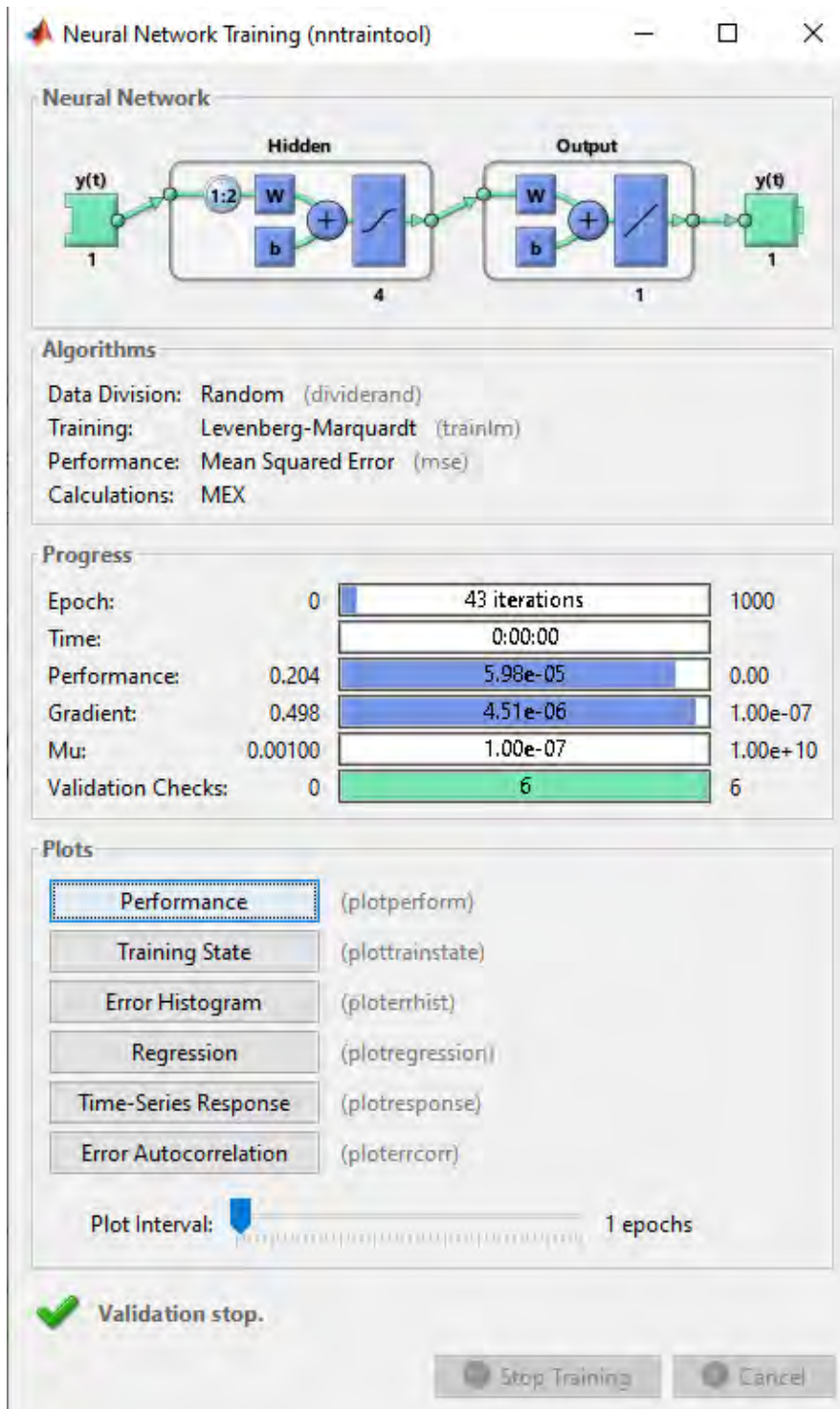
- Input layer: 1 neuron, labeled  $y(t)$ .
- Hidden Layer with Delays: 4 neurons. Includes weights  $W$  and bias  $b$ .
- Output Layer: 1 neuron. Includes weights  $W$  and bias  $b$ .
- Output: 1 neuron, labeled  $y(t)$ .

Change settings if desired, then click [Next] to continue.

Neural Network Start | Welcome | Back | Next | Cancel

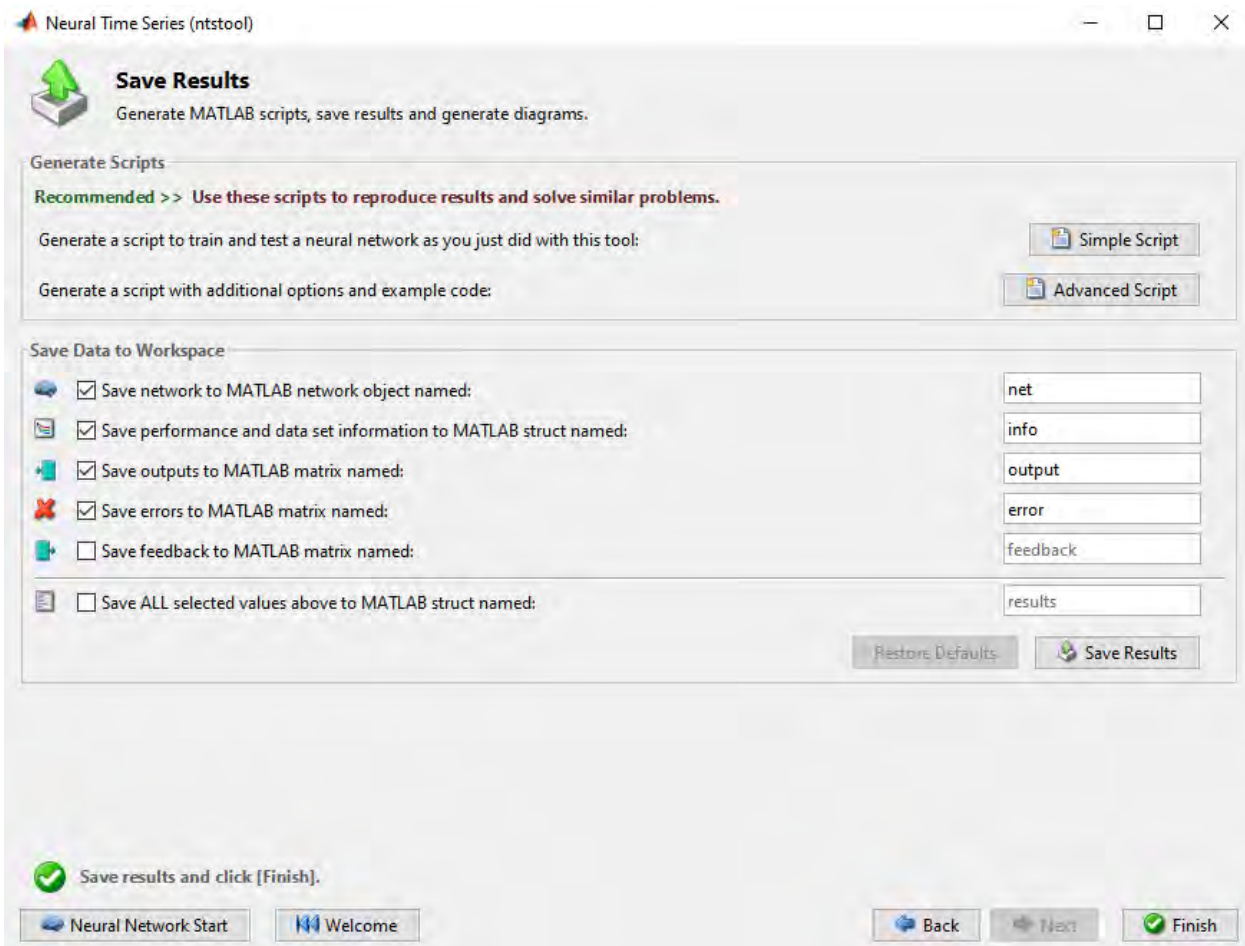
Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική δικτύου

Επιλέγοντας τον αλγόριθμο Levenberg-Marquardt που είναι συνήθως ο πιο αποτελεσματικός, στο παρακάτω παράθυρο βλέπουμε τα αποτελέσματα του training και τις επιλογές που μας δίνει για γραφικές παραστάσεις προς εκτίμηση της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου.



Εικόνα 18: Εκπαίδευση δικτύου

Στο τέλος δίνουμε την εντολή στο πρόγραμμα να παράγει ένα script με τον κατάλληλο κώδικα ώστε να χρησιμοποιηθεί το δίκτυο για προβλέψεις.



Εικόνα 19: Δημιουργία κώδικα Matlab

Στον παραγόμενο κώδικα, μας ενδιαφέρει το μέρος όπου το πρόγραμμα θα μετατρέψει το δίκτυο σε ένα κλειστό βρόχο, ώστε μετά να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη επόμενων χρονικών επιπέδων. Επιλέγουμε να προβλέψει 5 επίπεδα όπως και στο Weka. Θα δούμε και στη συνέχεια ότι το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης δεν είναι τόσο αποτελεσματικό όσο αυτό που χρησιμοποιήσαμε με το Weka, αλλά έχει την ιδιότητα να προβλέπει πιο μακροπρόθεσμα την τάση της χρονοσειράς.

```

Variables - eurusddaily
Editor - narcode4.m
narcode4.m
71 %figure, ploterrcorr(e)
72 %figure, plotinerrcorr(x,e)
73
74 % Closed Loop Network
75 % Use this network to do multi-step prediction.
76 % The function CLOSELOOP replaces the feedback input with a direct
77 % connection from the outout layer.
78 netc = closeloop(net);
79 netc.name = [net.name ' - Closed Loop'];
80 view(netc)
81 [xc,xic,aic,tc] = preparets(netc,{}, {},T);
82 yc = netc(xc,xic,aic);
83 closedLoopPerformance = perform(net,tc,yc)
84
85 % Multi-step Prediction
86 % Sometimes it is useful to simulate a network in open-loop form for as
87 % long as there is known data T, and then switch to closed-loop to perform
88 % multistep prediction. Here The open-loop network is simulated on the
89 % known output series, then the network and its final delay states are
90 % converted to closed-loop form to produce predictions for 5 more
91 % timesteps.
92 [x1,xio,aio,t] = preparets(net,{}, {},T);
93 [y1,xfo,afo] = net(x1,xio,aio);
94 [netc,xic,aic] = closeloop(net,xfo,afo);
95 [y2,xfc,afc] = netc(cell(0,5),xic,aic);
96 % Further predictions can be made by continuing simulation starting with
97 % the final input and layer delay states, xfc and afc.

```

Εικόνα 20: Ο κώδικας για πρόβλεψη 5 επόμενων βημάτων

## nntool

Με τη χρήση του nntool θα κατασκευάσουμε ένα δίκτυο οπισθοδιάδοσης όπου θα μετατρέψουμε την χρονοσειρά με τον εξής τρόπο:

input			output
31.85	33.08	32.10	31.08
33.08	32.10	31.08	30.56
32.10	31.08	30.56	31.99
31.08	30.56	31.99	31.68
30.56	31.99	31.68	32.26
31.99	31.68	32.26	32.37
31.68	32.26	32.37	33.21

Εικόνα 21: Μετατροπή χρονοσειράς

Εδώ αντιγράφουμε την χρονοσειρά 4 φορές και στη συνέχεια διαγράφουμε από την αρχή της διαδοχικά από 1 έως 3 παρατηρήσεις. Τις 3 πρώτες στήλες τις φορτώνουμε στο matlab ως input και την 4<sup>η</sup> ως output.

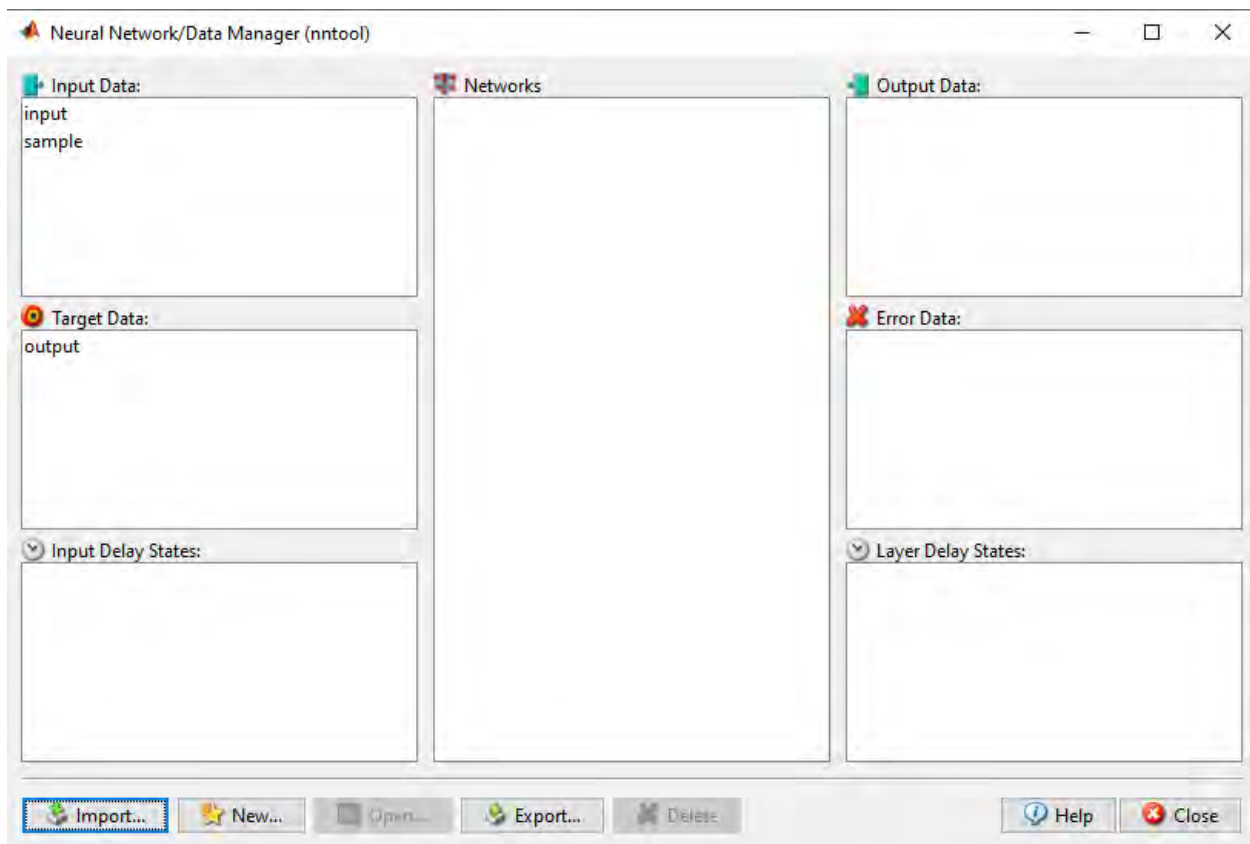
46.24	47.20	45.88	45.59
47.20	45.88	45.59	42.53
45.88	45.59	42.53	43.16
45.59	42.53	43.16	46.22
42.53	43.16	46.22	44.61
43.16	46.22	44.61	45.33
46.22	44.61	45.33	45.41

Εικόνα 22: Διαχωρισμός input-output-sample

Στο κάτω μέρος των χρονοσειρών βλέπουμε το τελικό input (σε κίτρινο) που περιμένουμε να μας προβλέψει την τιμή σε κόκκινο. Ουσιαστικά, δημιουργούμε ένα δίκτυο εκμάθησης της πρόβλεψης της κάθε τιμής, από τις 3 προηγούμενες της. Αυτό μας περιορίζει στην πρόβλεψη μόνο μίας τιμής, καθώς το τελευταίο input είναι οι 3 προηγούμενες τιμές πριν την τελευταία. Παρ' όλα αυτά το μοντέλο αυτό δίνει αρκετά καλές προβλέψεις.

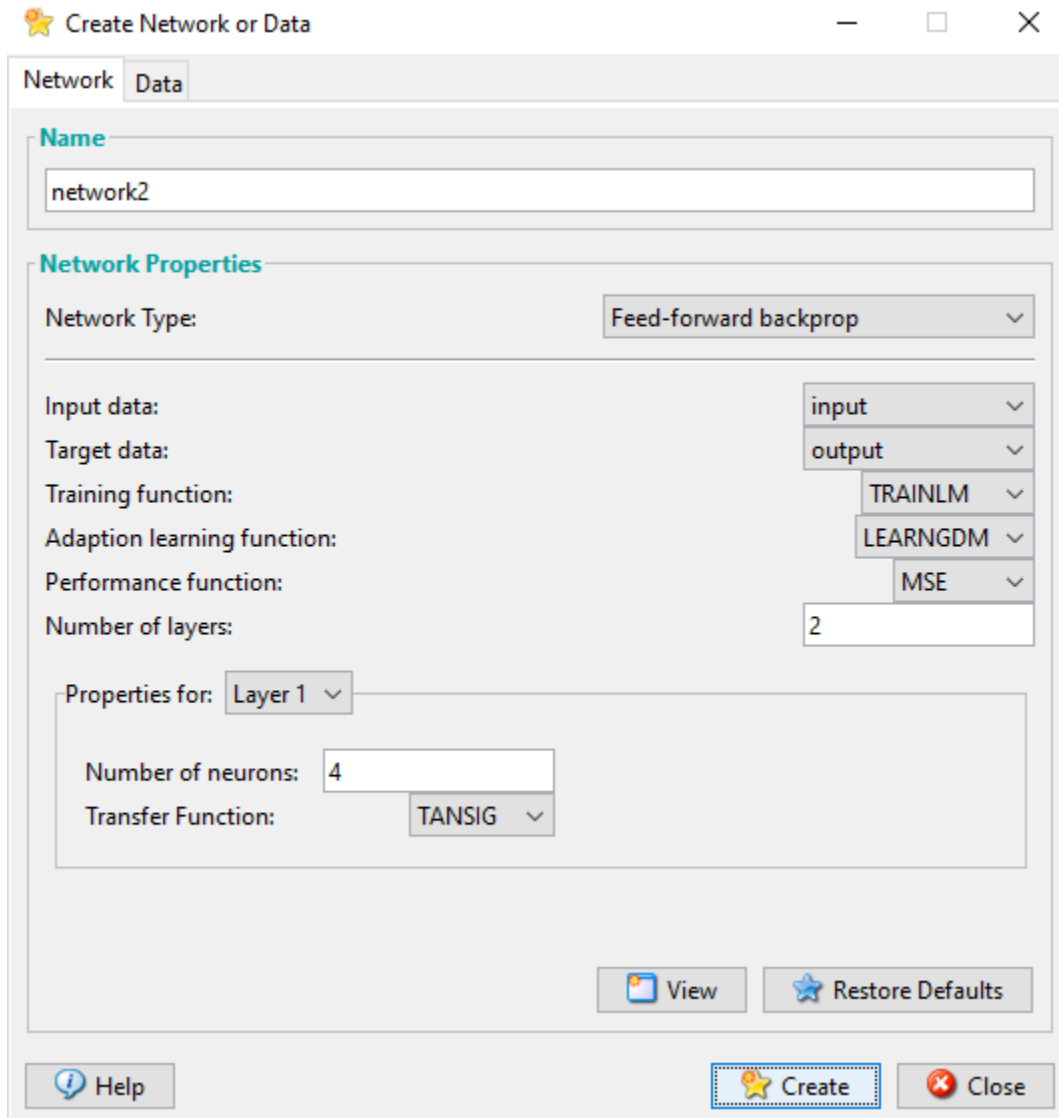
Το μοντέλο επίσης χρησιμοποιήθηκε πειραματικά για την πρόβλεψη μίας χρονοσειράς από άλλα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σαν input.

Εισάγουμε τα δεδομένα στο nntool.



Εικόνα 23: Εισαγωγή δεδομένων στο nntool

Δημιουργούμε το δίκτυο επιλέγοντας μετά από δοκιμές 4 ή 20 νευρώνες.



Εικόνα 24: Δημιουργία δικτύου

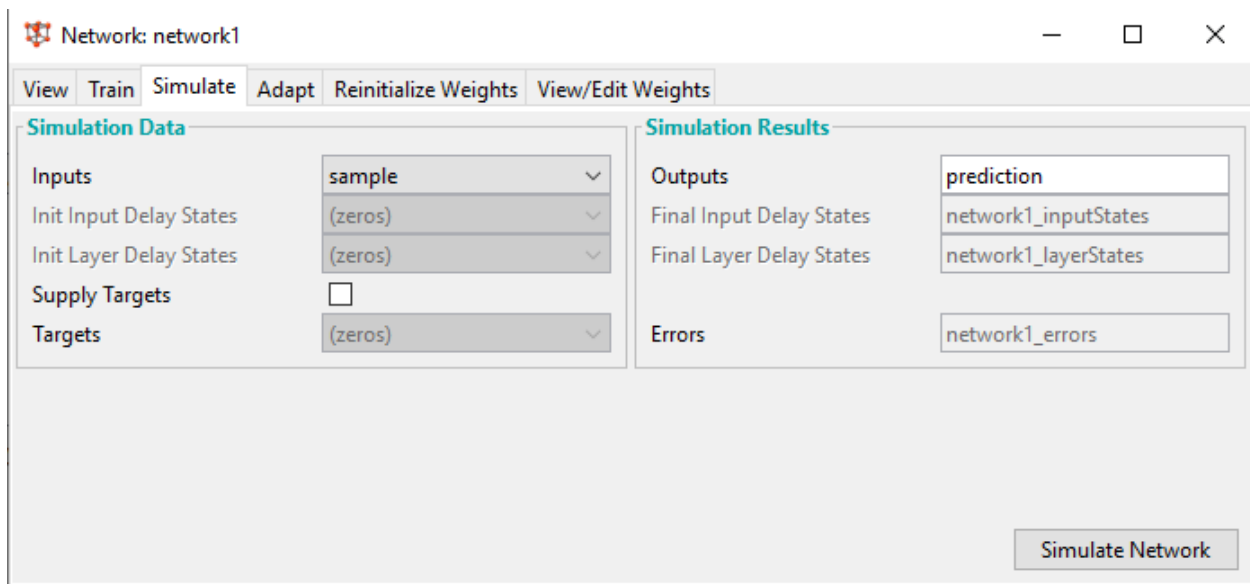
Βλέπουμε το δίκτυο σε διάγραμμα και την απόδοση του training.



Εικόνα 25: Εκπαίδευση του δικτύου

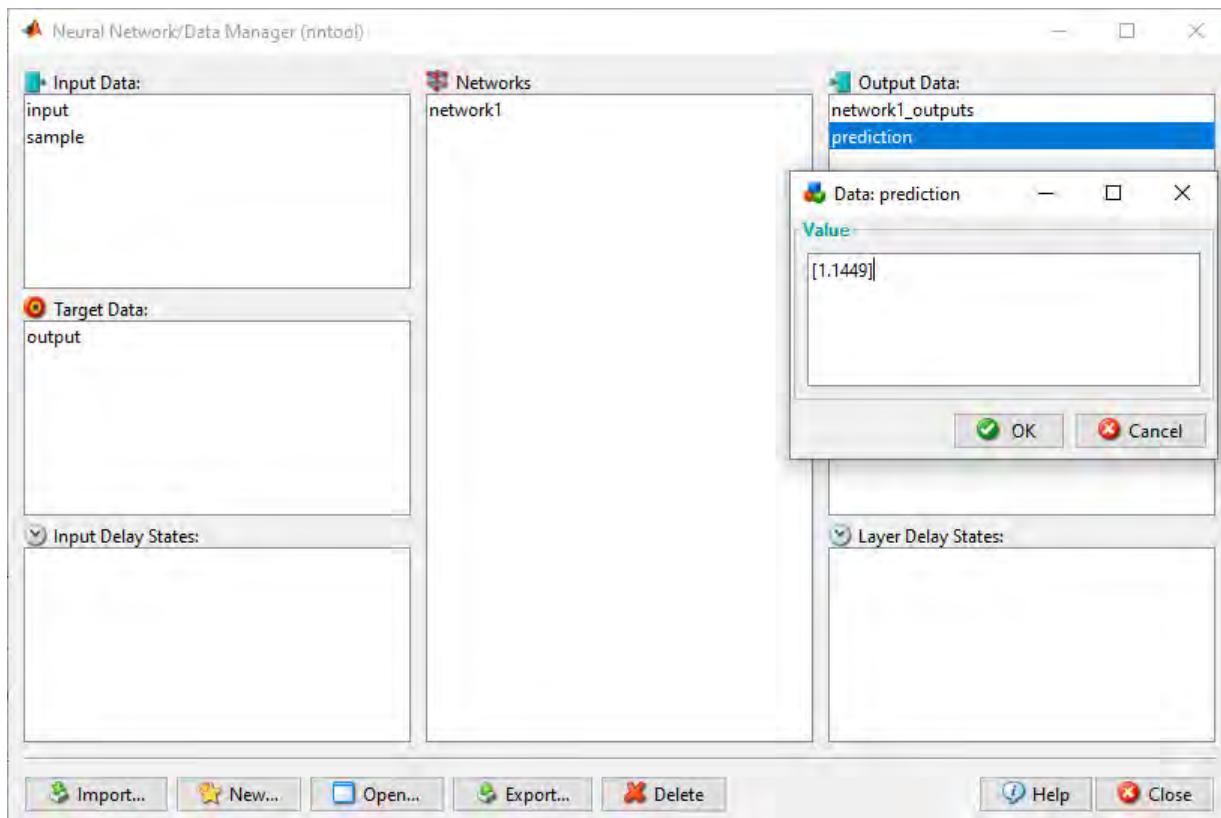


Εδώ δίνουμε τις 3 προηγούμενες τιμές στο δίκτυο για να μας προβλέψει την αμέσως επόμενη.



Εικόνα 26: Επιλέγουμε το *sample* για να πάρουμε την πρόβλεψη

Στα outputs βλέπουμε το *prediction* να μας δίνει την τιμή που ζητάμε.

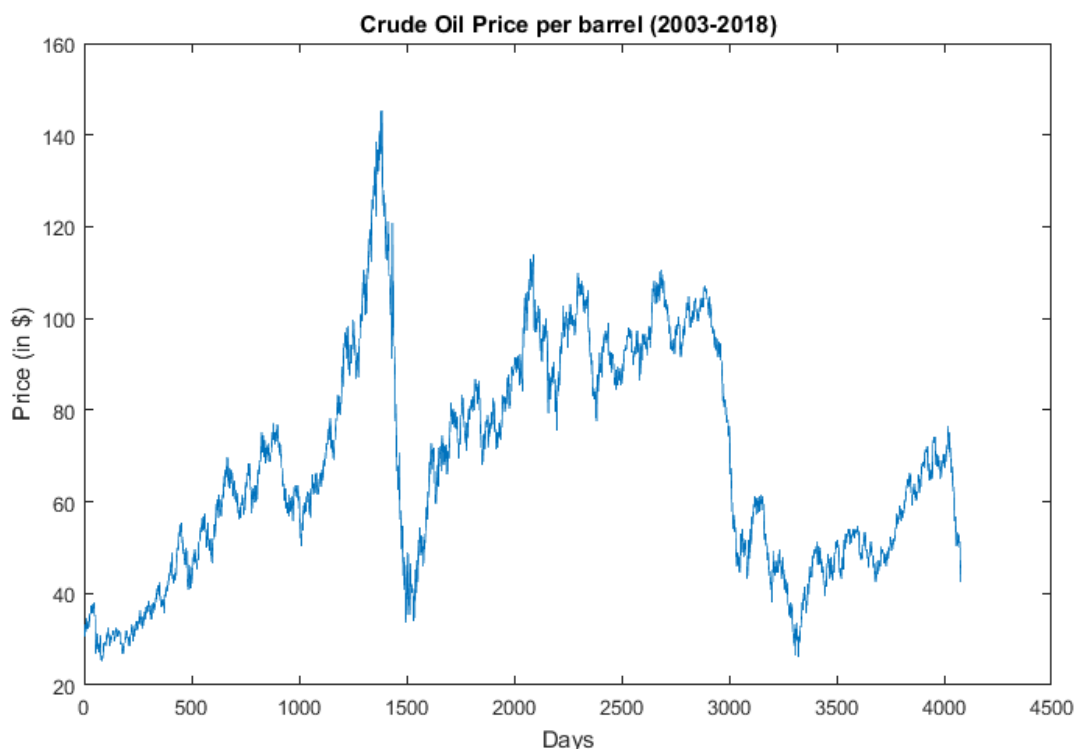


Εικόνα 27: Η πρόβλεψη του δικτύου

## 5. Προβλέψεις

### 5.1 Προβλέψεις τιμής αργού πετρελαίου

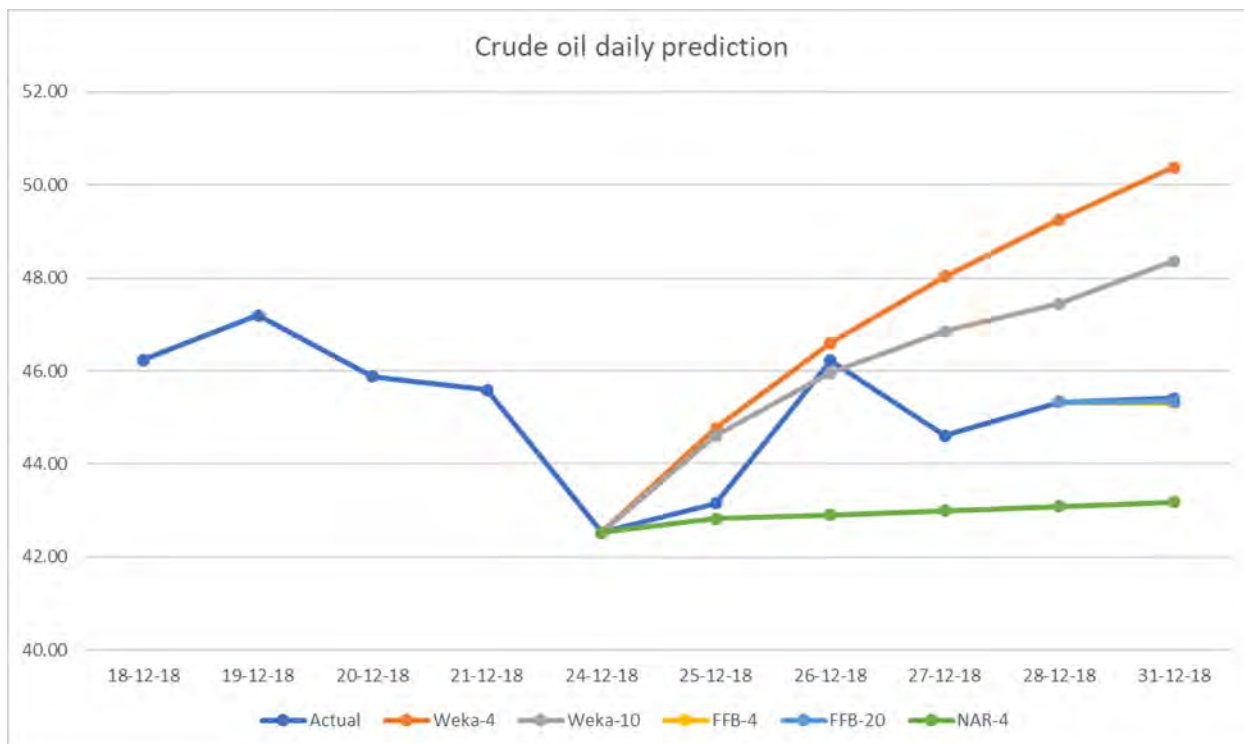
#### Ημερήσιες τιμές



Εικόνα 28: Γράφημα χρονοσειράς

Date	Crude oil actual prices	Multilayer		Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)		Non-linear AR using Matlab nnstart
18-12-18	46.24	Perceptron using Weka (# of hidden neurons in brackets)				[4]
19-12-18	47.20					
20-12-18	45.88					
21-12-18	45.59					
24-12-18	42.53	[4]	[10]			
25-12-18	43.16	44.768	44.6155		42.82462	
26-12-18	46.22	46.5998	45.9571		42.90203	
27-12-18	44.61	48.0373	46.8515		42.99435	
28-12-18	45.33	49.2609	47.4439	[4]	[20]	43.08546
31-12-18	45.41	50.3815	48.3639	45.32	45.343	43.17646

Εικόνα 29: Αποτελέσματα προβλέψεων

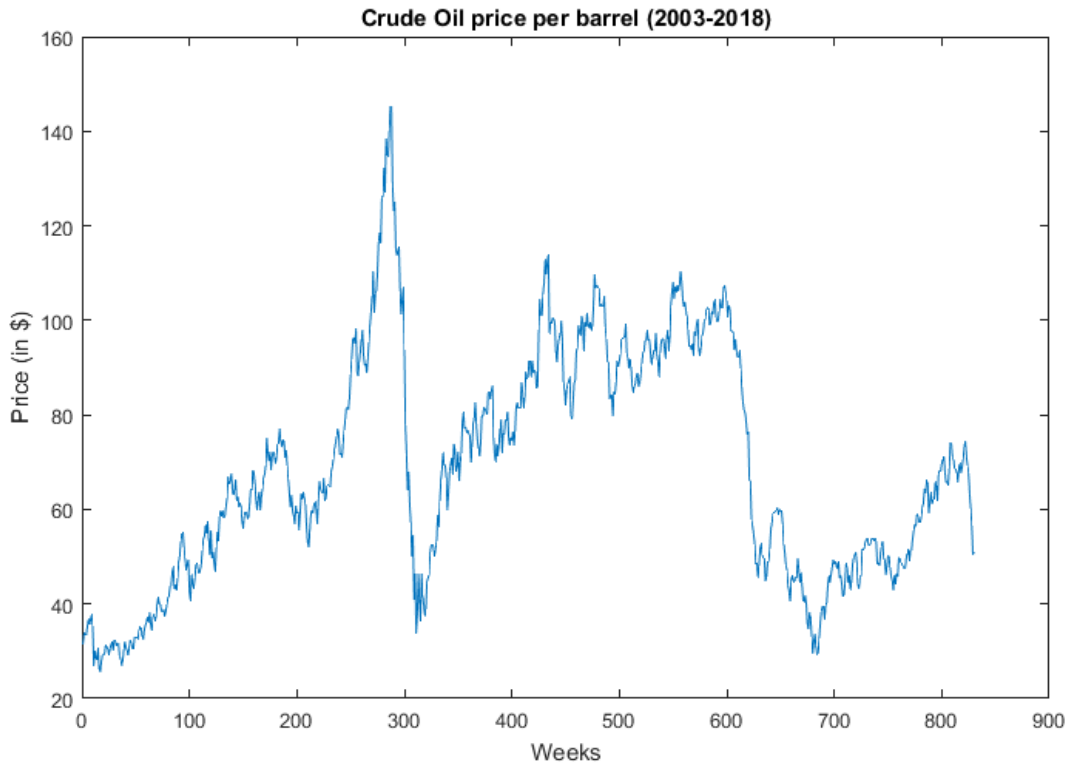


Εικόνα 30: Γράφημα προβλέψεων

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα γραφικά, βλέπουμε ότι όλες οι προβλέψεις έχουν «πιάσει» την τάση της χρονοσειράς. Η τιμή του πετρελαίου έχει ανοδική τάση μετά το 5<sup>ο</sup> σε σειρά που βλέπουμε χρονικό σημείο, και τα δίκτυα του Weka (Multilayer Perceptron - με καλύτερο αυτό των 10 νευρώνων) προβλέπουν εξαιρετικά την τιμή μετά από 2 ημέρες, αλλά χάνουν επαφή ανοδικά μετά από την 2<sup>η</sup>. Μετά από μία ημέρα, το δίκτυο NAR είναι αυτό που προβλέπει καλύτερα, αλλά ακολουθεί μία ελάχιστα ανοδική πορεία στην συνέχεια που δεν κρατά επαφή με τις υπόλοιπες τιμές. Τα δίκτυα FFB (nntool) κάνουν μία πολύ καλή πρόβλεψη της τελευταίας ημέρας, με ελάχιστα καλύτερο αυτό των 20 νευρώνων.

Το σημαντικό είναι ότι οι προβλέψεις με ορίζοντα 1 έως 2 ημέρες μπορούν να κριθούν ικανοποιητικές, καθώς αυτός είναι και ο συνήθης ορίζοντας για επιτυχημένες προβλέψεις. Μπορούμε επίσης να επισημάνουμε πως οι 5ήμερες προβλέψεις ακολούθησαν την τάση της πραγματικής χρονοσειράς, κάτι ακόμα πιο σημαντικό αν αναλογιστούμε την αντίθετη τάση που είχαν τα 5 προηγούμενα σημεία της.

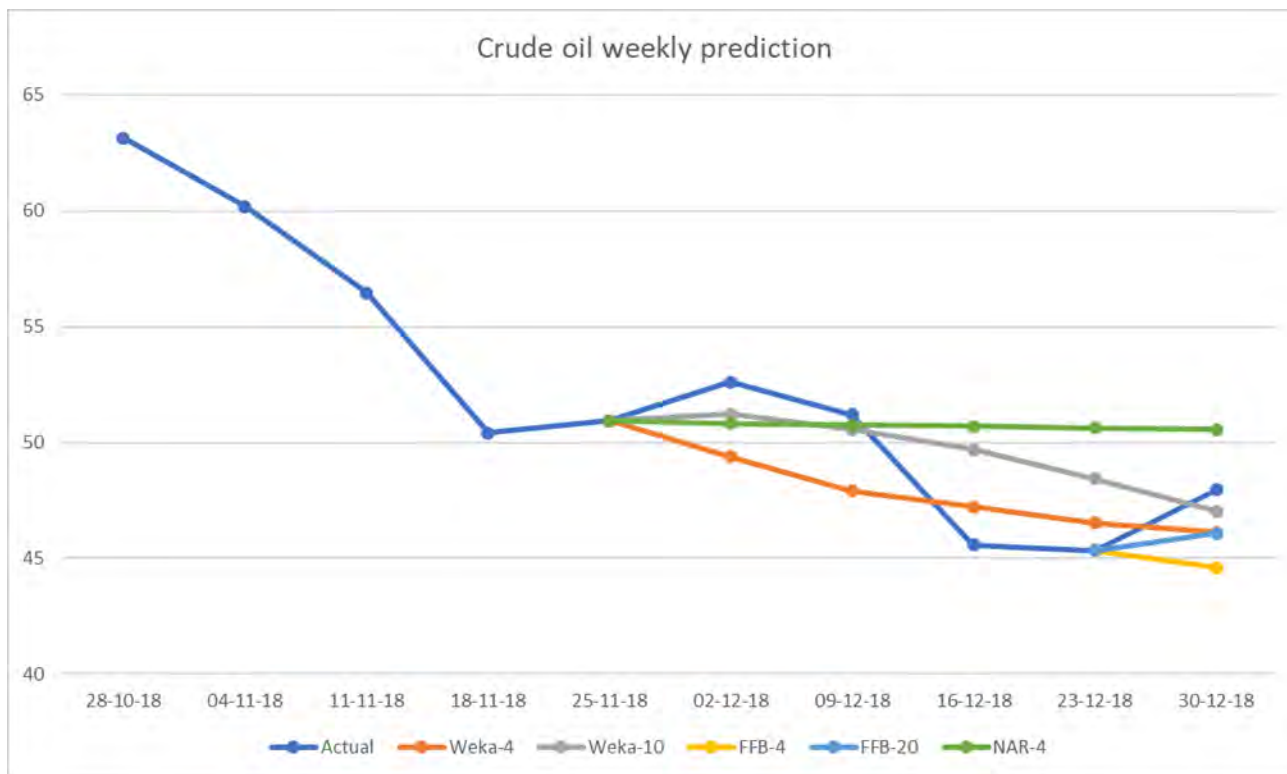
## Εβδομαδιαίες Τιμές



Εικόνα 31: Γράφημα χρονοσειράς

Date	Crude oil actual prices	Multilayer		Non-linear AR	Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)			
28-10-18	63.14	Perceptron using Weka (# of hidden neurons in brackets)		using Matlab nnstart				
04-11-18	60.19	[4]	[10]	[4]				
11-11-18	56.46	49.3926	51.2266	50.8247				
18-11-18	50.42	47.9193	50.5622	50.75993				
25-11-18	50.93	47.219	49.7102	50.69436				
02-12-18	52.61	46.5425	48.4308	50.63043			[4]	[20]
09-12-18	51.2	46.1312	47.0422	50.56795			44.5898	46.0787
16-12-18	45.59							
23-12-18	45.33							
30-12-18	47.96							

Εικόνα 32: Αποτελέσματα προβλέψεων



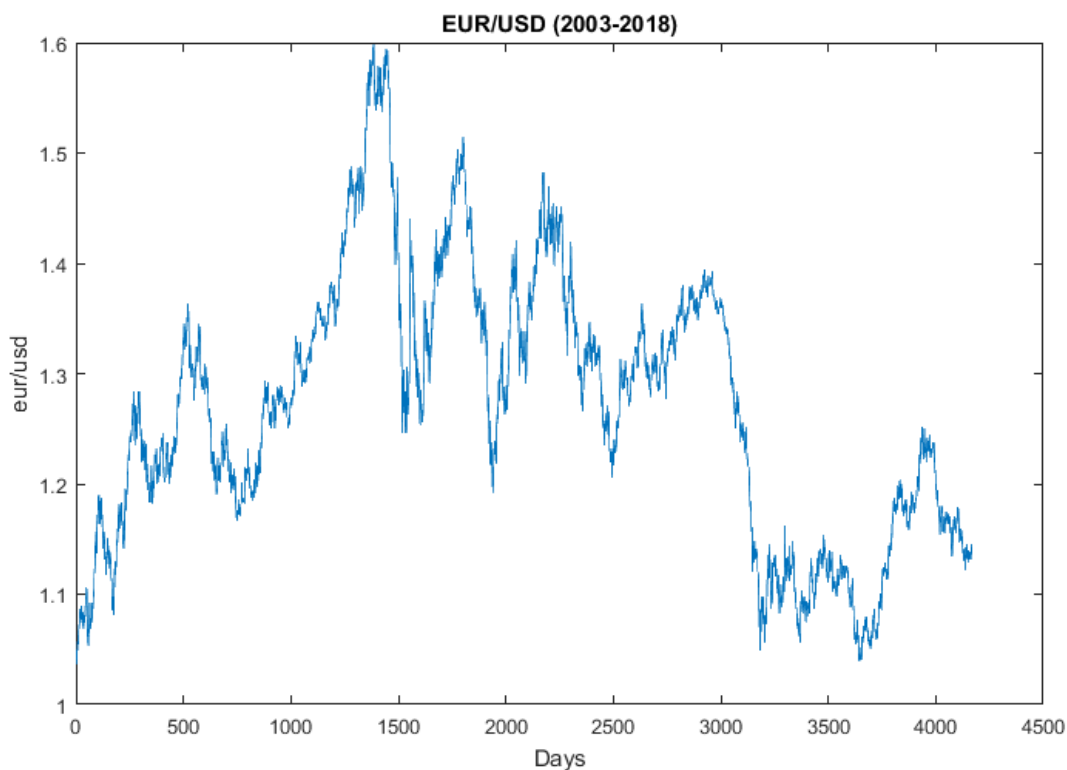
Εικόνα 33: Γράφημα προβλέψεων

Γυρνώντας στις εβδομαδιαίες τιμές, παρατηρούμε μια γενικότερα καθοδική τάση των τιμών. Οι τιμές του πετρελαίου γενικά παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες μεταβολές εβδομαδιαίως, κάτι που κάνει την ακριβή πρόβλεψη ακόμα πιο δύσκολη, κάτι που δυσχαιραίνεται και από τις λιγότερες συνολικά παρατηρήσεις. Στα δίκτυα οπισθοδιάδοσης βλέπουμε ότι οι προβλέψεις είναι καλύτερες για μεγαλύτερο αριθμό νευρώνων. Το δίκτυο NAR πάλι πιάνει την τάση με ομαλότερο τρόπο όμως. Το δίκτυο του Weka με 10 νευρώνες κάνει καλή πρόβλεψη για 2 εβδομάδες μετά ενώ το FFB-20 δίνει μία μέτρια πρόβλεψη της ανοδικής τάσης.

Τα δίκτυα του Weka γενικά μοιάζουν σαν να ακολουθούν κατά μέσο όρο την ίδια πορεία με την πραγματική χρονοσειρά, αν και το πιθανότερο είναι μετά την 2<sup>η</sup> εβδομάδα η όποια ομοιότητα να είναι τυχαία. Παρ' όλα αυτά, οι 5βδόμαδες προβλέψεις πάλι ακολουθούν την τάση της χρονοσειράς.

## 5.2 Προβλέψεις τιμής ισοτιμίας Ευρώ/Δολαρίου

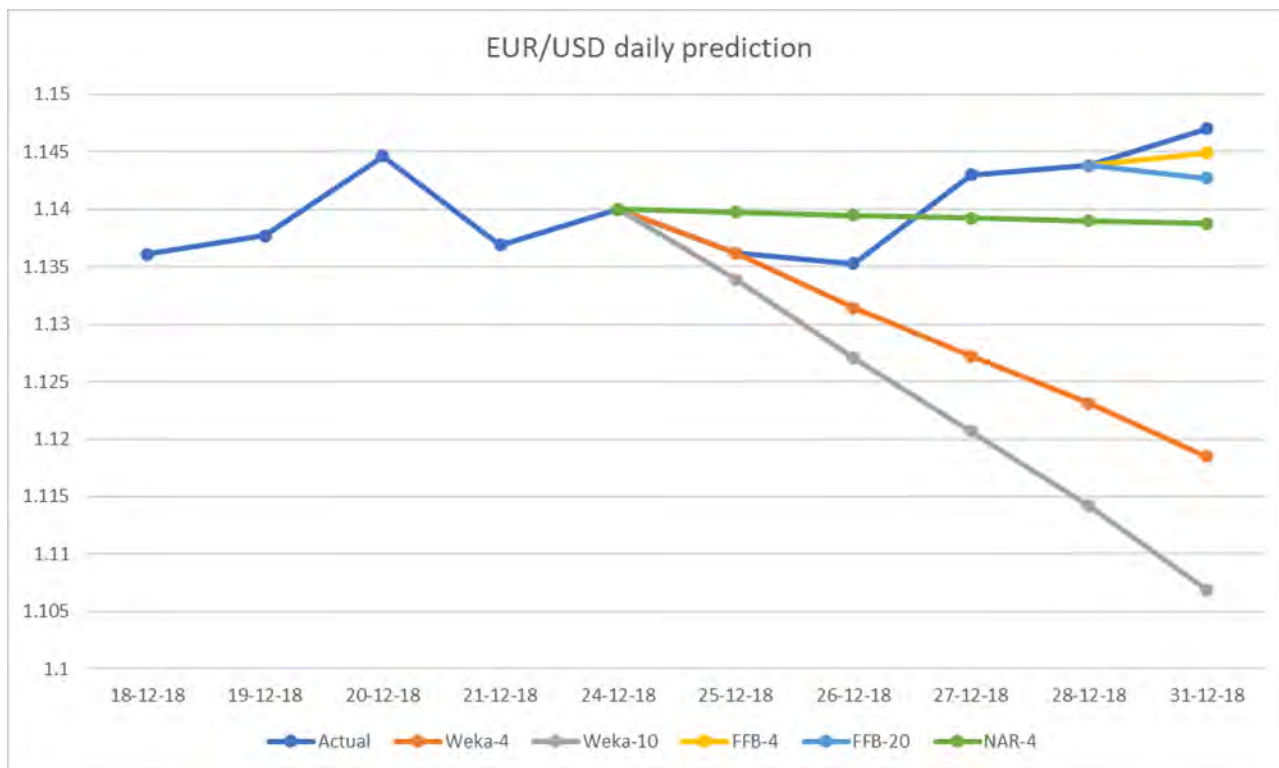
### Ημερήσιες Τιμές



Εικόνα 34: Γράφημα χρονοσειράς

Date	EUR/USD actual	Multilayer		Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)	Non-linear AR using Matlab nnstart		
18-12-18	1.1361	Perceptron using				[4]	
19-12-18	1.1377	Weka (# of hidden				1.13974	
20-12-18	1.1446	neurons in				1.139492	
21-12-18	1.1369	brackets)				1.139243	
24-12-18	1.14	[4]	[10]			1.138993	
25-12-18	1.1362	1.1362	1.1339			1.138742	
26-12-18	1.1353	1.1314	1.1271				
27-12-18	1.143	1.1272	1.1207				
28-12-18	1.1438	1.1231	1.1142		[4]	[20]	
31-12-18	1.147	1.1185	1.1069	1.1449	1.1427		

Εικόνα 35: Αποτελέσματα προβλέψεων



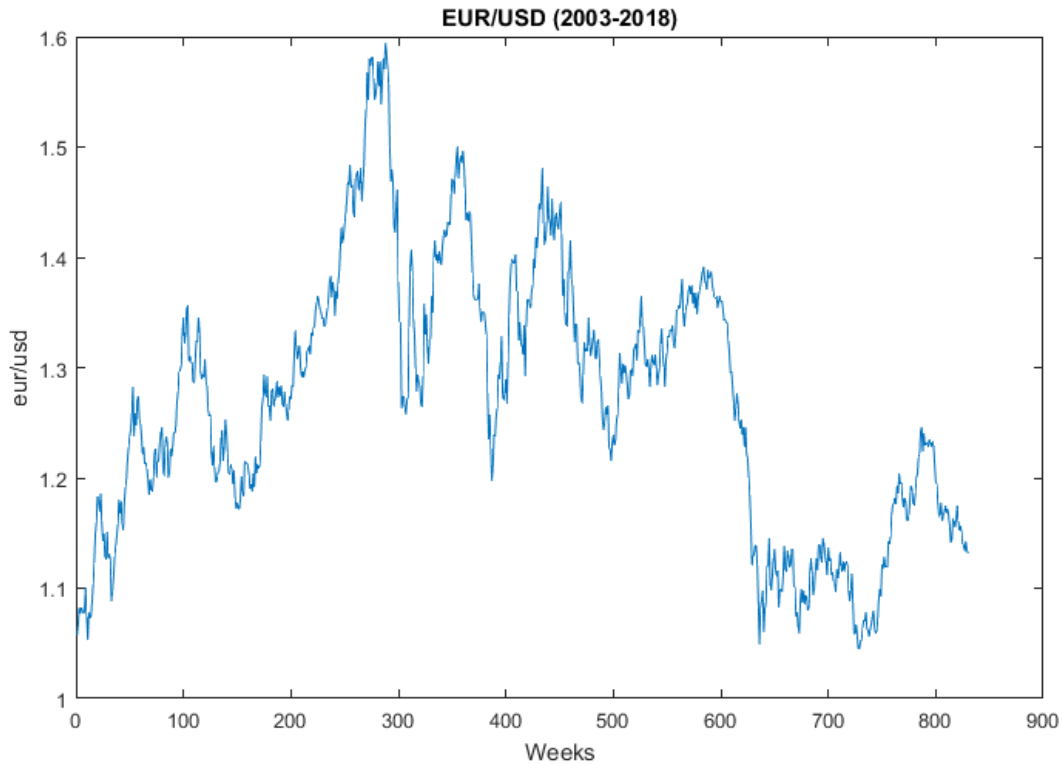
Εικόνα 36: Γράφημα Προβλέψεων

Στην ισοτιμία ευρώ/δολαρίου πρέπει να επισημανθεί πως το εύρος του κάθετου άξονα είναι μόνο 0.05, για να είναι καλύτερα αντιληπτές οι διαφορές μεταξύ των τιμών. Οπότε οι αποκλίσεις δεν είναι τόσο μεγάλες όσο μπορεί να φαίνονται αρχικά. Η χρονοσειρά αυτή είναι σαφώς διαφορετική από την προηγούμενη, καθώς κυμαίνεται λίγο πάνω από τη μονάδα και δεν έχει την μεταβλητότητα της τιμής του πετρελαίου. Επομένως, έχουμε και διαφορετικά αποτελέσματα.

Τα δίκτυα του Weka προβλέπουν καλά στην 1<sup>η</sup> ημέρα, με το δίκτυο των 4 νευρώνων να πετυχαίνει με απόλυτη ακρίβεια την επόμενη τιμή. Μετά όμως και τα δύο δίκτυα αποκλίνουν σημαντικά και ακολουθούν αντίθετη τάση. Το δίκτυο NAR πάλι έχει συμπεριφορά που παραπέμπει σε μέσο όρο των 5 επόμενων τιμών, ενώ την τελευταία τιμή την προβλέπει πολύ καλά το FFB-4.

Σε μια διαφορετική χρονοσειρά όπως αυτή είδαμε και διαφορετικά αποτελέσματα, ενώ στην περίπτωση του Weka-4 έχουμε πραγματικά μια τέλεια πρόβλεψη της επόμενης τιμής.

## Εβδομαδιαίες τιμές

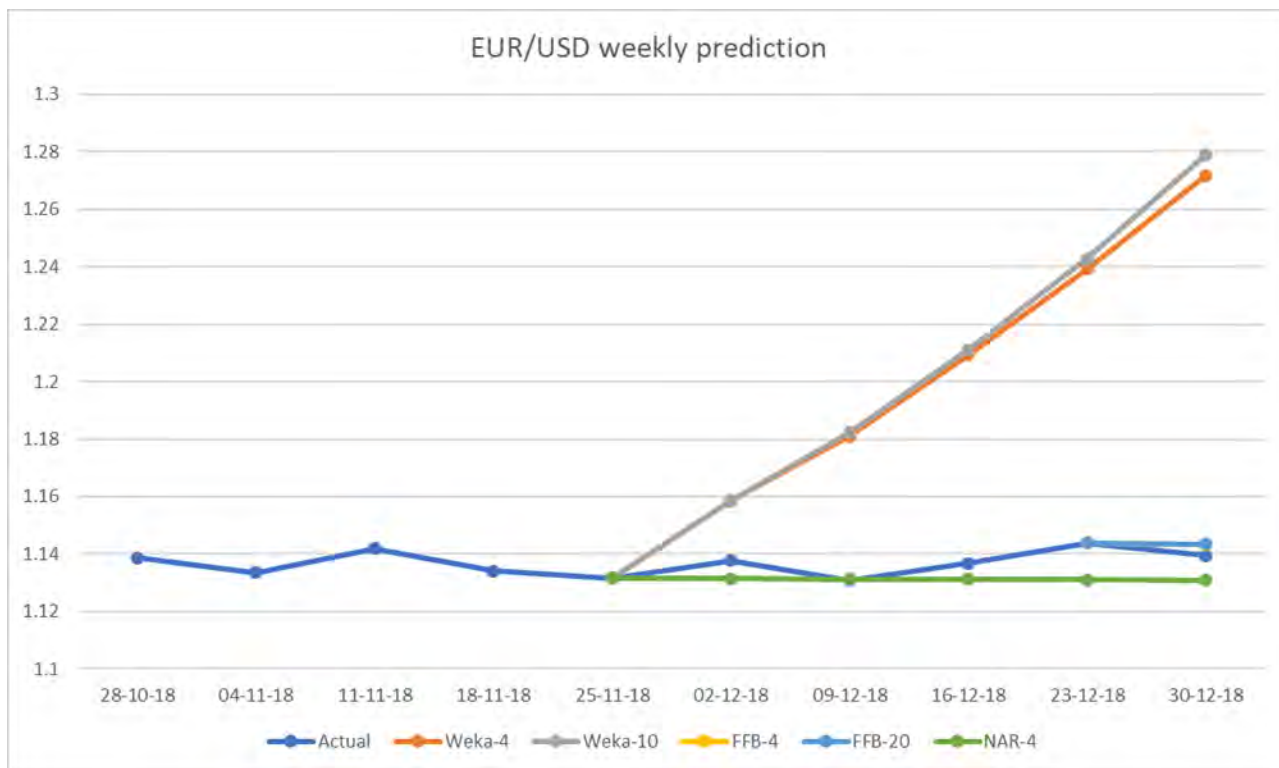


Εικόνα 37: Γράφημα χρονοσειράς

Date	EUR/USD actual	Multilayer		Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)		Non-linear AR using Matlab nnstart
		Weka (# of hidden neurons in brackets)				
28-10-18	1.1387	[4]	[10]		[4]	
04-11-18	1.1336	1.1585	1.1587		1.131501	
11-11-18	1.142	1.181	1.1824		1.131361	
18-11-18	1.1341	1.2094	1.2112		1.131219	
25-11-18	1.1317	1.2393	1.2428	[4]	[20]	1.131071
02-12-18	1.1378	1.2719	1.2791	1.1433	1.1437	1.130918
09-12-18	1.1309					
16-12-18	1.1369					
23-12-18	1.1438					
30-12-18	1.1395					

Εικόνα 38: Αποτελέσματα προβλέψεων





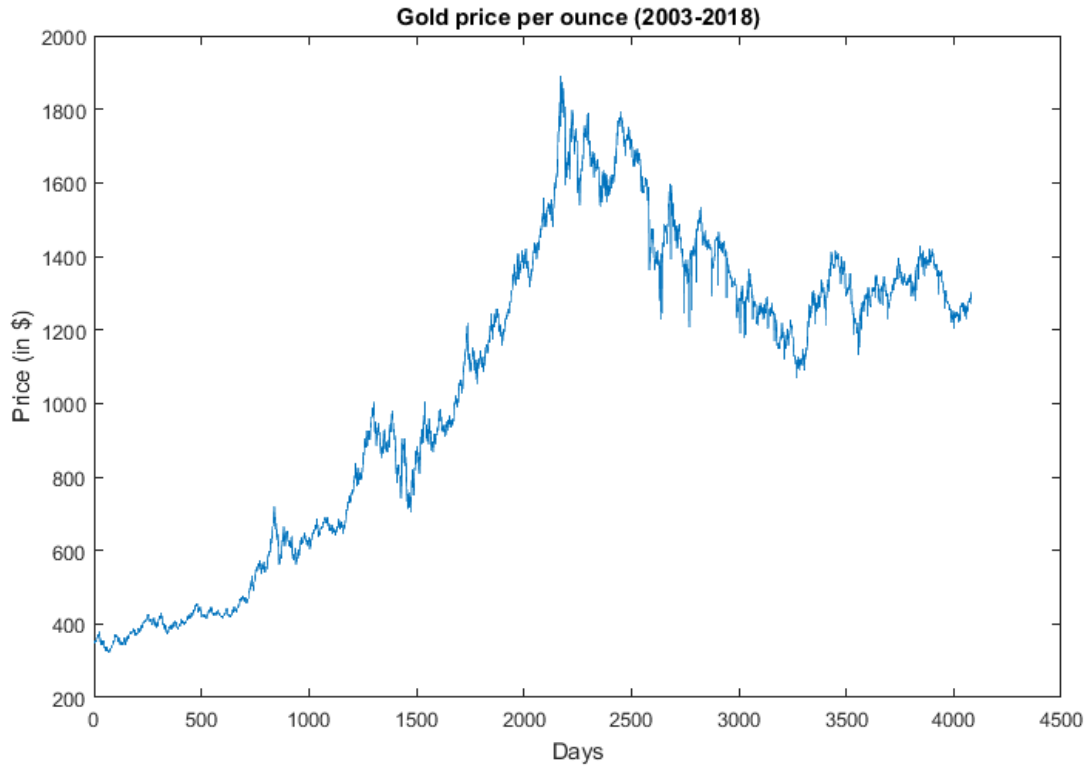
Εικόνα 39: Γράφημα προβλέψεων

Στις εβδομαδιαίες τιμές, τα δίκτυα του Weka αποτυγχάνουν να δώσουν καλή πρόβλεψη, αλλά το NAR ακολουθεί μια πολύ ικανοποιητική πορεία, με τέλεια σχεδόν πρόβλεψη της 2<sup>ης</sup> εβδομάδας, ενώ τα δίκτυα FFB πάλι δίνουν μία καλή εκτίμηση της τελευταίας εβδομάδας.

Τα δίκτυα του Weka μοιάζουν να αποτυγχάνουν, αν και προβλέπουν την ανοδική τάση της 1<sup>ης</sup> εβδομάδας. Το μοντέλο όμως δείχνει τις αδυναμίες του με τον περιορισμένο αριθμό των 850 περίπου παρατηρήσεων. Κάποιες φορές όμως η τάση είναι σχεδόν το μόνο που χρειαζόμαστε σε επίπεδο εβδομάδας, και στην 1<sup>η</sup> εβδομάδα μας προβλέπει την πραγματική ανοδική κίνηση.

## 5.3 Προβλέψεις τιμής χρυσού

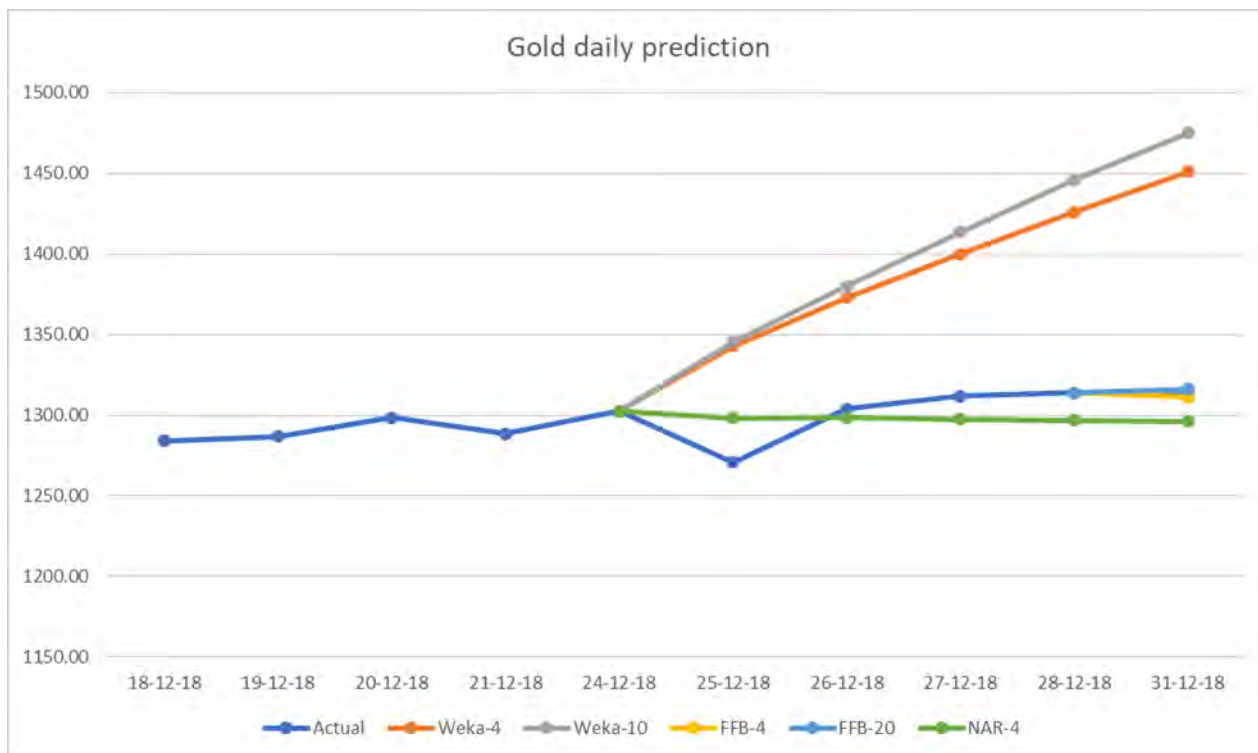
### Ημερήσιες τιμές



Εικόνα 40: Γράφημα χρονοσειράς

Date	Gold actual prices	Multilayer		Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)		Non- linear AR using Matlab nnstart
		Weka (# of hidden neurons in brackets)				
18-12-18	1284.00	[4]	[10]		[4]	
19-12-18	1286.80	1342.877	1345.63		1298.267	
20-12-18	1298.60	1372.821	1379.997		1298.437	
21-12-18	1288.60	1400.043	1413.496		1297.438	
24-12-18	1302.40	1426.112	1446.075	[4]	[20]	1296.763
25-12-18	1270.75	1450.966	1475.103	1311.183	1316.294	1296.013
26-12-18	1303.70					
27-12-18	1311.90					
28-12-18	1313.70					
31-12-18	1312.50					

Εικόνα 41: Αποτελέσματα προβλέψεων

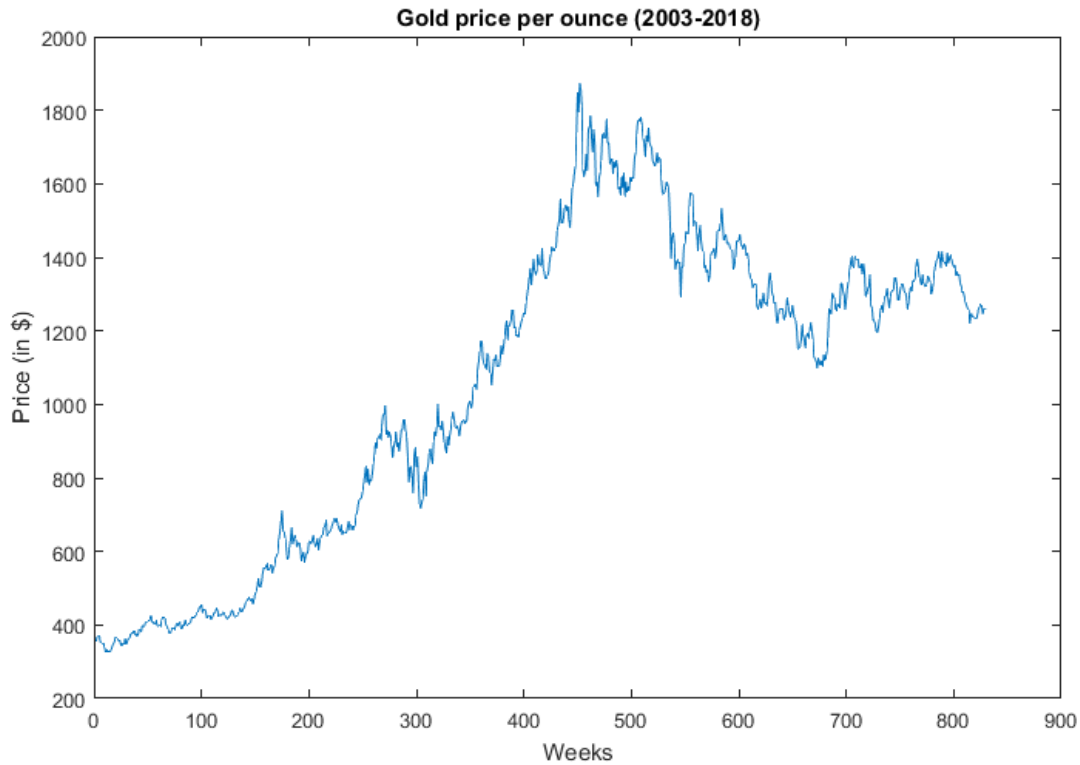


Εικόνα 42: Γράφημα προβλέψεων

Σε μια χρονοσειρά όπως του χρυσού που ακολουθεί σταθερά ανοδική πορεία αλλά δίχως τραγικές διακυμάνσεις ημερησίως, τα δίκτυα του Weka φαίνεται να μην μπορούν να δώσουν καλή πρόβλεψη, καθώς κινούνται ανοδικά και εκτός των πραγματικών τιμών. Το δίκτυο NAR όμως, για άλλη μία φορά προβλέπει έναν «μέσο όρο», ο οποίος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ικανοποιητικός.

Τα δίκτυα FFB δίνουν και πάλι μια καλή πρόβλεψη, με το FFB-4 να αγγίζει το τέλειο.

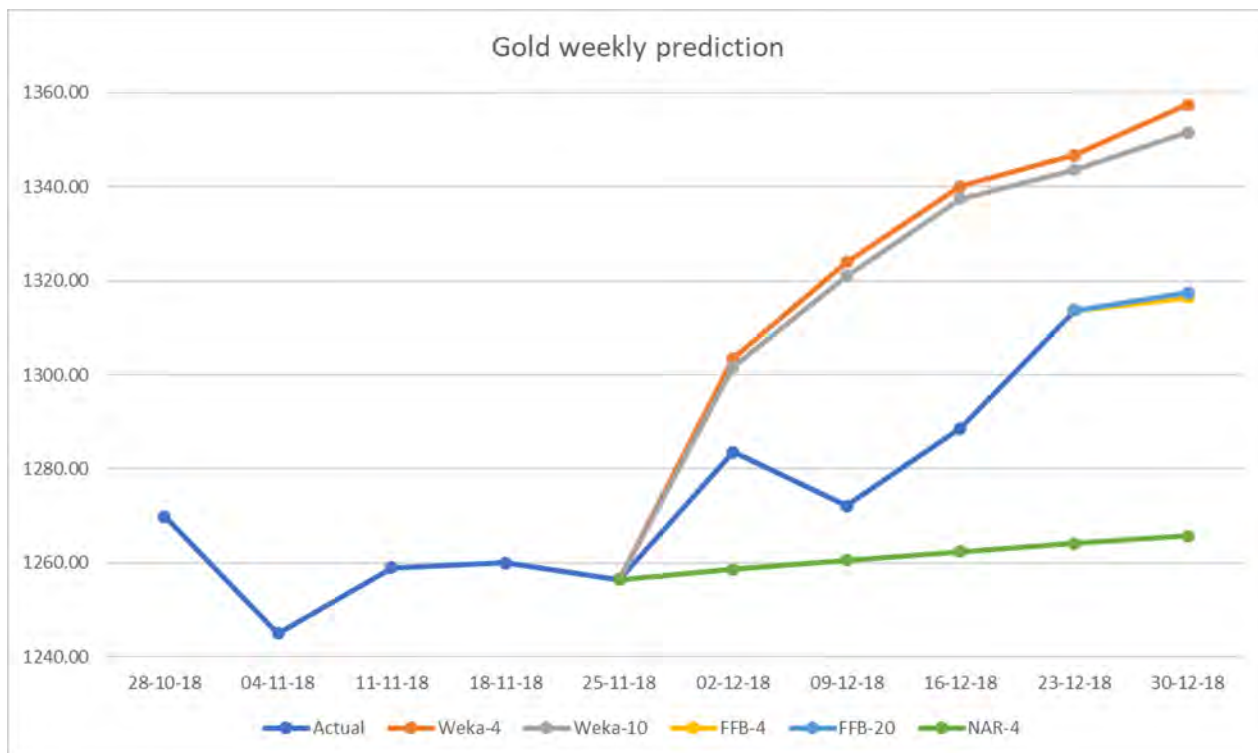
## Εβδομαδιαίες τιμές



Εικόνα 43: Γράφημα χρονοσειράς

Date	Gold actual prices	Multilayer		Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)	Non-linear AR	
28-10-18	1269.90	Perceptron using Weka (# of hidden neurons in brackets)			using Matlab nnstart	
04-11-18	1245.00					
11-11-18	1259.00					
18-11-18	1260.00					
25-11-18	1256.50	[4]	[10]			[4]
02-12-18	1283.60	1303.519	1301.669			1258.682
09-12-18	1272.20	1324.029	1321.009			1260.563
16-12-18	1288.60	1340.096	1337.431			1262.376
23-12-18	1313.70	1346.72	1343.623		[4]	[20]
30-12-18	1317.40	1357.502	1351.581	1316.486	1317.473	1265.779

Εικόνα 44: Αποτελέσματα προβλέψεων



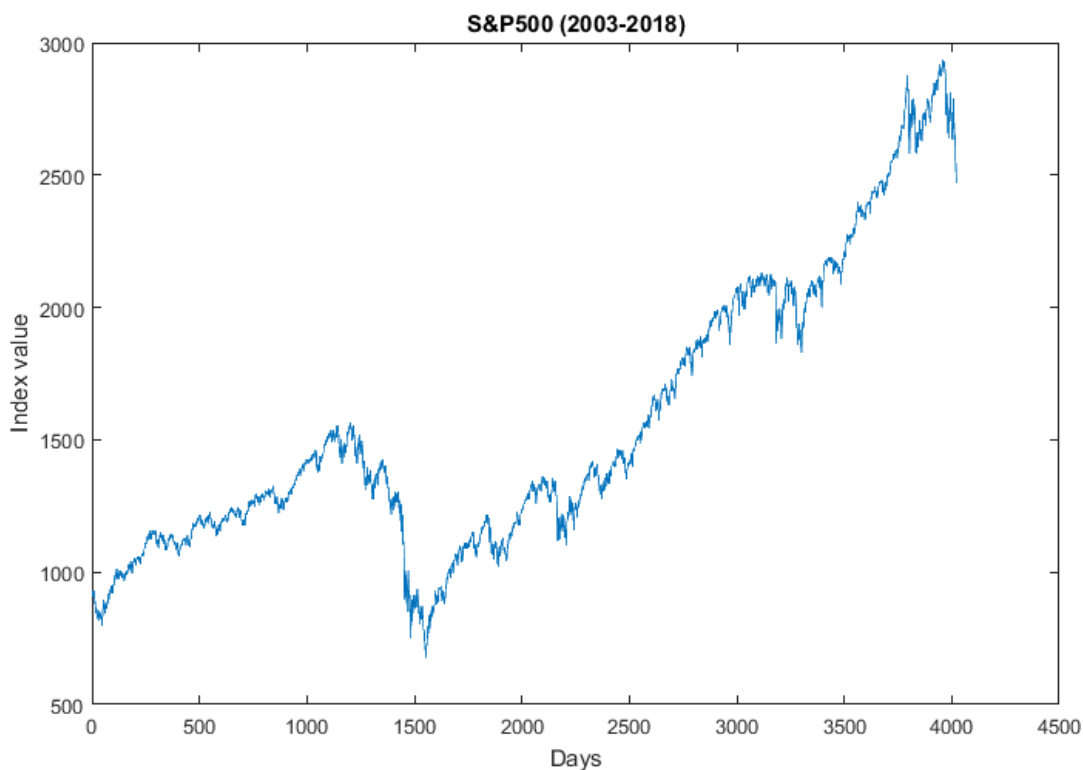
Εικόνα 45: Γράφημα προβλέψεων

Η εικόνα αλλάζει αρκετά στις εβδομαδιαίες προβλέψεις. Οι αλλαγές μεταξύ εβδομάδων είναι πιο απτές για να τις καταλάβουν τα νευρωνικά δίκτυα, και έτσι έχουμε τα δίκτυα του Weka αρχικά να μας δίνουν πολύ καλά την τάση της πρώτης εβδομάδας και γενικά να ακολουθούν την ανοδική τάση της χρονοσειράς δίχως να ξεφεύγουν τόσο όσο στις ημερήσιες τιμές. Το δίκτυο NAR δείχνει την αδυναμία του να προβλέψει καλά σε αυτό το είδος χρονοσειράς, αλλά και πάλι πετυχαίνει την γενική τάση.

Την καλύτερη όμως πρόβλεψη κάνουν τα FFB του Matlab, τα οποία παρόλο που οι 3 τελευταίες τιμές που μπαίνουν σαν input εκδηλώνουν δυνατή ανοδική πορεία, το δίκτυο μας δίνει αποτέλεσμα σχεδόν απόλυτα όμοιο κυρίως με τους 20 νευρώνες. Γενικότερα μέχρι στιγμής το μοντέλο αυτό μας έδινε την καλύτερη πρόβλεψη, όμως να προβλέψει τόσο καλά σε επίπεδο εβδομάδας είναι πραγματικά αξιοσημείωτο.

## 5.4 Προβλέψεις τιμής S&P500

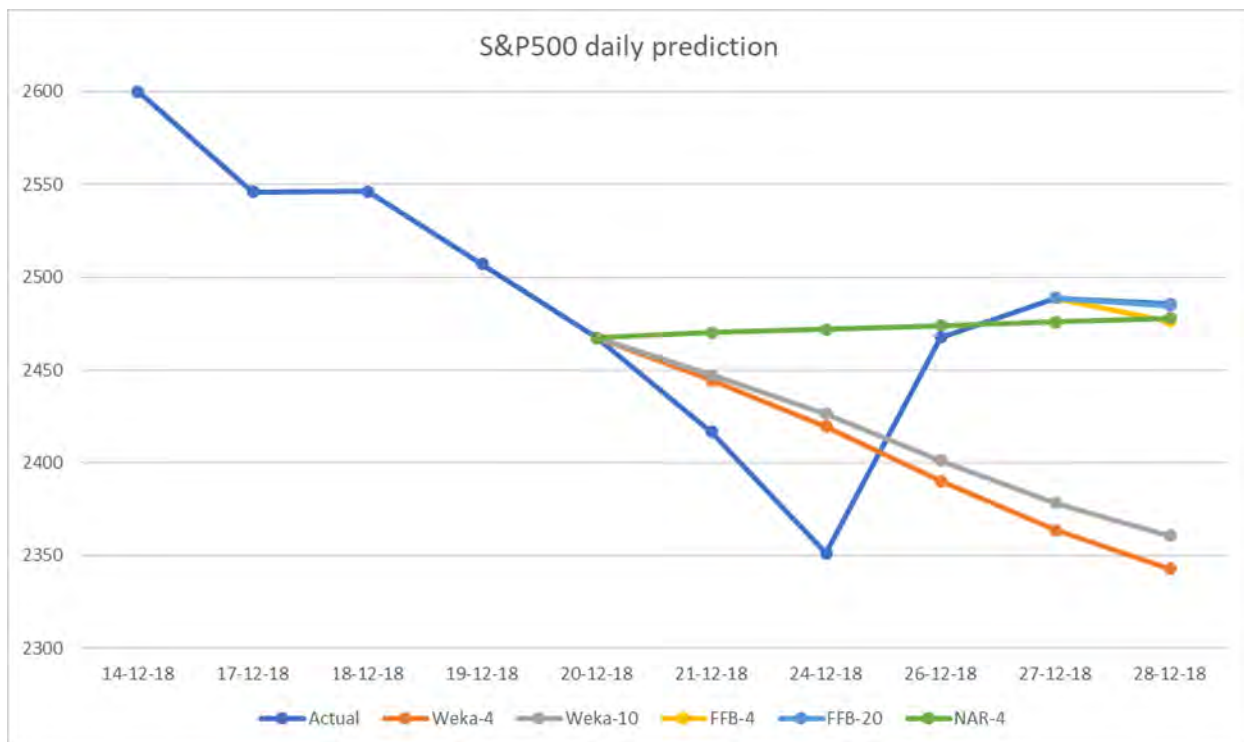
### Ημερήσιες τιμές



Εικόνα 46: Γράφημα χρονοσειράς

Date	S&P Actual	Multilayer		Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)		Non-linear AR using Matlab nnstart		
14-12-18	2599.949951	Perceptron using Weka (# of hidden neurons in brackets)				[4]		
17-12-18	2545.939941							
18-12-18	2546.159912							
19-12-18	2506.959961							
20-12-18	2467.419922	[4]	[10]					
21-12-18	2416.620117	2444.492	2447.309					
24-12-18	2351.100098	2419.442	2426.566					
26-12-18	2467.699951	2390.066	2401.263					
27-12-18	2488.830078	2363.88	2378.4				[4]	[20]
28-12-18	2485.73999	2343.013	2360.551				2476.346	2484.721

Εικόνα 47: Αποτελέσματα προβλέψεων

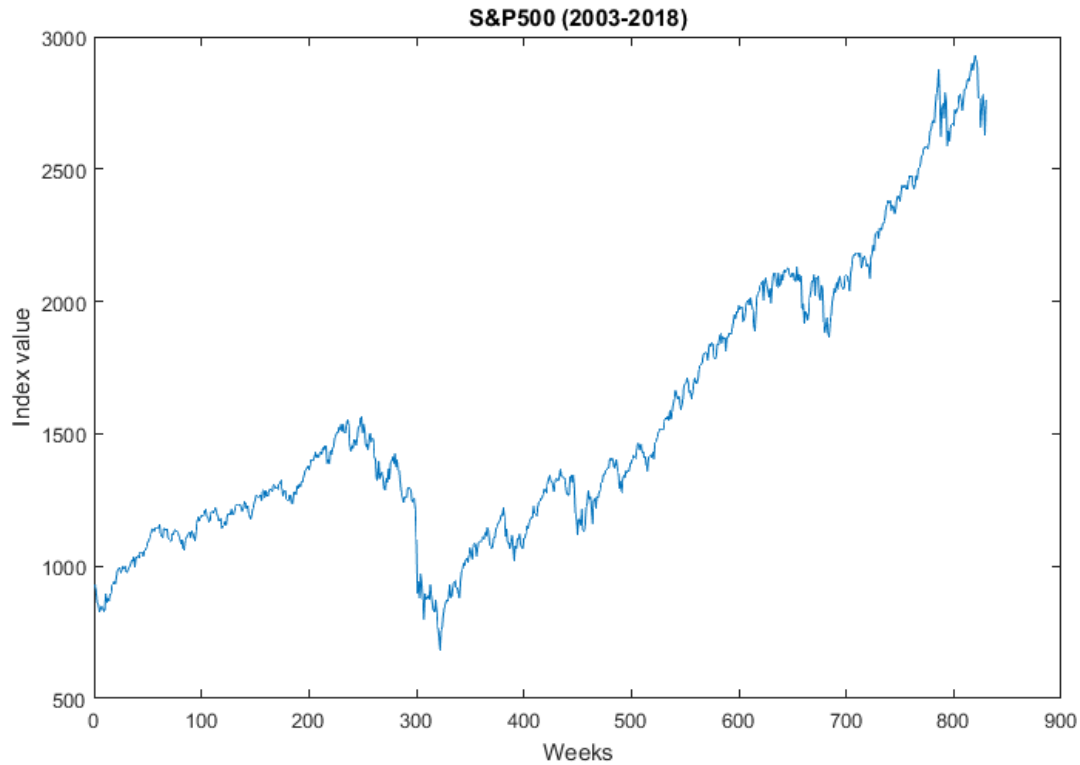


Εικόνα 48: Γράφημα προβλέψεων

Ο S&P500 είναι ίσως η δυσκολότερη χρονοσειρά από αυτές που μελετάμε για πρόβλεψη, κάτι το οποίο αποδεικνύεται και στο παραπάνω γράφημα, η μεταβλητότητα του είναι τέτοια που δυσκολεύει την ακριβή πρόβλεψη. Τα μοντέλα του Weka επιτυγχάνουν στο να μας δώσουν την τάση των 2 πρώτων ημερών, αλλά δεν καταφέρνουν να μας δώσουν την ραγδαία πτώση της τιμής του δείκτη. Με έναν ίσως «περίεργο» τρόπο, το NAR δίνει πάλι έναν «μέσο όρο», αποδεικνύοντας μάλλον πως είναι το καλύτερο μοντέλο για μακροπρόθεσμη πρόβλεψη, φτάνοντας πολύ κοντά στις τιμές των ημερών 3,4 και 5.

Εξαιρετική για άλλη μία φορά φαίνεται η πρόβλεψη των FFB του Matlab, με το FFB-20 να αγγίζει την τελειότητα, ενώ και τα 2 προέβλεψαν την ελάχιστη καθοδική τάση, παρόλη την ραγδαία άνοδο των τριών τελευταίων input.

## Εβδομαδιαίες τιμές

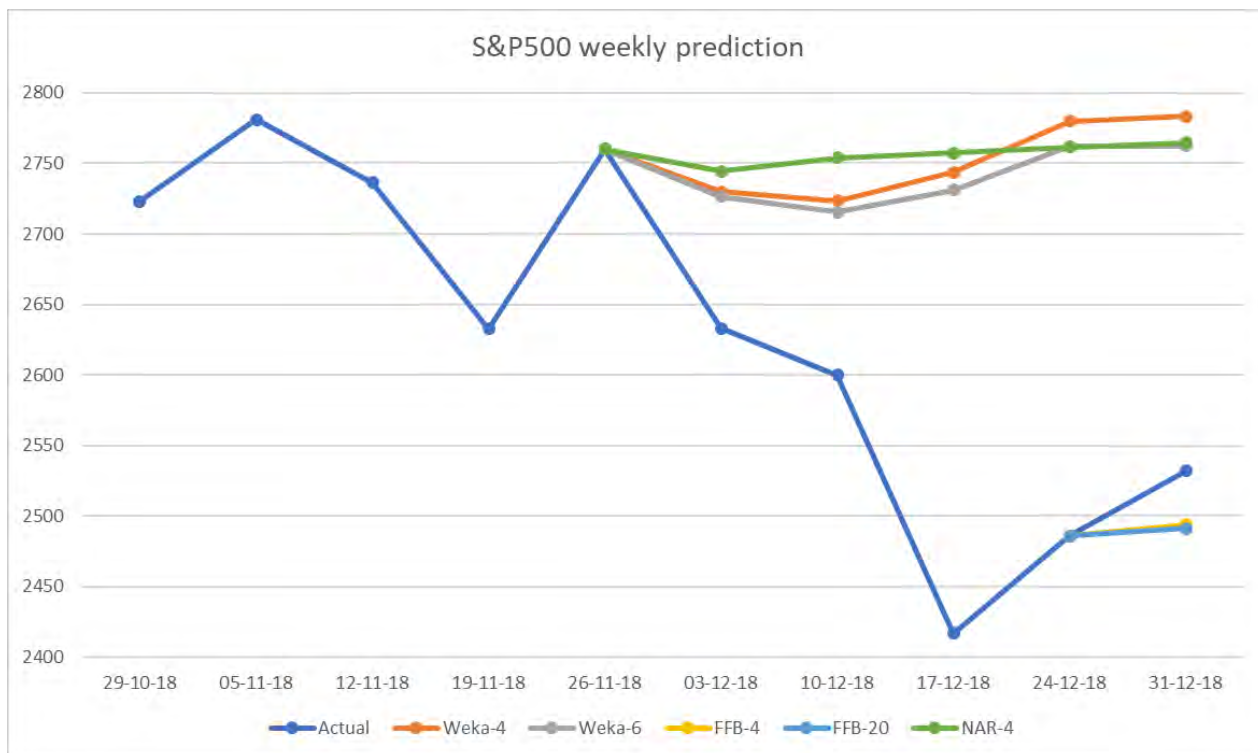


Εικόνα 49: Γράφημα χρονοσειράς

Date	S&P actual	Multilayer		Feed-forward backprop using Matlab nntool (3 inputs-1 output)	Non- linear AR using Matlab nnstart	
		Weka (# of hidden neurons in brackets)				
29-10-18	2723.060059	[4]	[6]		[4]	
05-11-18	2781.01001	2729.9	2726.665			2744.372
12-11-18	2736.27002	2723.438	2715.28			2754.098
19-11-18	2632.560059	2743.502	2731.119			2757.522
26-11-18	2760.169922	2780.024	2762.079	[4]	[20]	2761.48
03-12-18	2633.080078	2783.14	2762.152	2493.905	2491.045	2764.635
10-12-18	2599.949951					
17-12-18	2416.620117					
24-12-18	2485.73999					
31-12-18	2531.94					

Εικόνα 50: Αποτελέσματα προβλέψεων





Εικόνα 51: Γράφημα προβλέψεων

Η μεταβλητότητα και οι λίγες τιμές για training της εβδομαδιαίας χρονοσειράς του S&P προκαλούν την σχετική αποτυχία των μοντέλων πρόβλεψης. Οι 5βδόμαδες προβλέψεις το μόνο στο οποίο πέφτουν μέσα είναι να ακολουθούν την πτωτική τάση από την πραγματική χρονοσειρά μέχρι την 2<sup>η</sup> εβδομάδα. Περαιτέρω πραγματικά δεν μπορούν να δώσουν κάτι καλύτερο.

Τα FFB του Matlab τουλάχιστον πετυχαίνουν την ανοδική τάση της τελευταίας εβδομάδας, δίχως ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα πάντως.

## 5.5 Επιπλέον προβλέψεις με συνδυασμό χρονοσειρών

Επίσης έγιναν κάποιοι πειραματικοί συνδυασμοί χρονοσειρών με σκοπό την πρόβλεψη κάποιων από τις τιμές των άλλων. Σε αυτά τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν εβδομαδιαίες τιμές για να επιτευχθεί ομοιομορφία μεταξύ των χρονοσειρών.

Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός της ισοτιμίας ευρώ/δολαρίου με την τιμή του S&P500 της προηγούμενης εβδομάδας ώστε να προβλεφθεί η τιμή του DAX30 της επόμενης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο με FFB Network του Matlab. Όπως φαίνεται από το αποτέλεσμα το μοντέλο δεν λειτουργεί, αν και πιο ενδιαφέρον θα ήταν με ημερήσιες τιμές, κάτι το οποίο είναι δύσκολο λόγω της ανομοιομορφίας και αναντιστοιχίας των χρονοσειρών.

1.1341	2632.56	11257.24	
1.1317	2760.17	10788.09	
1.1378	2633.08	10865.77	
1.1309	2599.95	10633.82	
1.1369	2416.62	10558.96	dax
1.1438	2485.74	10767.69	13478.86

Εικόνα 52: Πρόβλεψη DAX30

Στην 2<sup>η</sup> περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν ομοίως οι τιμές DAX30, S&P500, χρυσού και πετρελαίου της προηγούμενης εβδομάδας για να προβλεφθεί η ισοτιμία ευρώ/δολαρίου της επόμενης, με παρόμοια αποτελέσματα. Να σημειωθεί πως τα παραπάνω πειράματα έγιναν και υποθέτοντας την ίδια εβδομάδα για όλες τις χρονοσειρές, για να εξεταστεί το μοντέλο, αλλά τα αποτελέσματα ήταν επίσης απογοητευτικά.

2632.56	11192.69	50.42	1260.00	1.1317	
2760.17	11257.24	50.93	1256.50	1.1378	
2633.08	10788.09	52.61	1283.60	1.1309	
2599.95	10865.77	51.2	1272.20	1.1369	
2416.62	10633.82	45.59	1288.60	1.1438	eur/usd
2485.74	10558.96	45.33	1313.70	1.1395	1.0623

Εικόνα 53: Πρόβλεψη EUR/USD

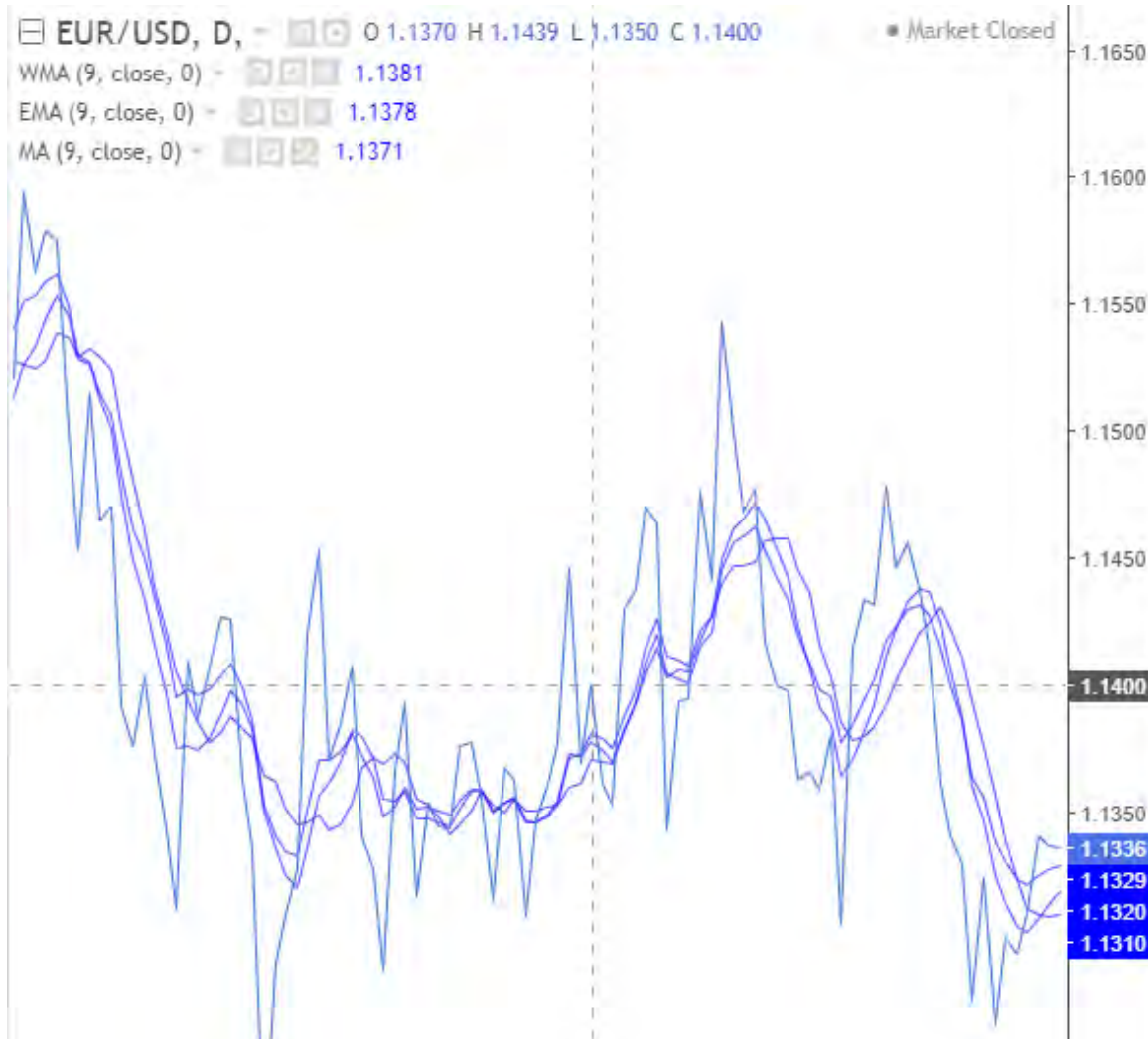
Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο NARX, το οποίο προβλέπει μια χρονοσειρά βάσει των προηγούμενων τιμών της ίδιας, αλλά και μίας άλλης. Έτσι χρησιμοποιήθηκε το εβδομαδιαίο κλείσιμο του DAX30 ως επιπλέον χρονοσειρά στην πρόβλεψη του εβδομαδιαίου κλεισίματος S&P500. Να σημειωθεί πως δημιουργείται ένα μοντέλο με εισόδους την κάθε τιμή κλεισίματος του DAX ώστε να προβλεφθεί ο S&P. Άρα η κάθε πρόβλεψη είναι μεμονωμένη. Ο αλγόριθμος είναι παρόμοιος με του NAR και υπολογίζουμε τις προβλέψεις με βάση τον παραγόμενο κώδικα του Matlab. Όπως βλέπουμε η πρόβλεψη δεν είναι ιδιαίτερα καλή ούτε έχει κάποια ουσιαστική χρήση, αλλά έγινε για να δοκιμαστεί και αυτή η περίπτωση.

Date	DAX30	S&P actual	Non-linear AR with DAX using Matlab nnstart
29-10-18	11518.99	2723.060059	
05-11-18	11529.16	2781.01001	
12-11-18	11341	2736.27002	
19-11-18	11192.69	2632.560059	
26-11-18	11257.24	2760.169922	[4]
03-12-18	10788.09	2633.080078	2704.144546
10-12-18	10865.77	2599.949951	2672.729124
17-12-18	10633.82	2416.620117	2658.951812
24-12-18	10558.96	2485.73999	2605.792435
31-12-18	10767.69	2531.94	2596.173778

Εικόνα 54: Πρόβλεψη S&P500 από DAX30

## 5.6 Σύγκριση με τεχνική ανάλυση

Σε αυτή την ενότητα θα συγκριθεί η καλύτερη πρόβλεψη από τα νευρωνικά δίκτυα με την πληροφορία που μας δίνει ένα εργαλείο της τεχνικής ανάλυσης, ο κινητός μέσος. Το μοντέλο του προγράμματος Weka πρόβλεψε ότι η κίνηση της αναλογίας EUR/USD θα κινηθεί από 1,14 στις 24/12 στο 1,1362 στις 25/12, μία 100% σωστή πρόβλεψη. Στο εργαλείο της ιστοσελίδας investing.com τοποθετήθηκαν ο απλός, ο σταθμισμένος και ο εκθετικός κινητός μέσος κοντά στην περίοδο που μελετάμε.



Εικόνα 55: Σταθμισμένος κινητός μέσος στην χρονοσειρά EUR/USD (σημείο αναφοράς 24/12) [6]

Η χρήση των κινητών μέσων γίνεται με τον εξής κανόνα: όταν η τιμή τέμνει τον κινητό μέσο από πάνω προς τα κάτω πουλάμε, ενώ στο αντίθετο αγοράζουμε. Στο παραπάνω γράφημα, η τιμή τέμνει τους κινητούς μέσους κινούμενη από πάνω προς τα κάτω κατά την πτώση της τιμής από 24/12 στην 25/12. Το εργαλείο μας συμβουλεύει να πουλήσουμε, κάτι που μας ωφελεί, τουλάχιστον για την 26/12, όπου παρατηρούμε περαιτέρω πτώση.

Η πρόβλεψη από τα δίκτυα όμως μας έδωσε την πληροφορία πώλησης μία ημέρα πριν από τους κινητούς μέσους, όπως επίσης έδωσε ακριβέστατη πρόβλεψη. Βέβαια αυτό δεν σημαίνει πως οι μέθοδοι της τεχνικής ανάλυσης είναι ξεπερασμένοι, είτε ότι οι προβλέψεις με νευρωνικά δίκτυα μπορούν να την αντικαταστήσουν. Όπως αποδεικνύουν τα παραπάνω αποτελέσματα, η ακριβής πρόβλεψη είναι κάτι δύσκολο και πολλοί παράγοντες παίζουν ρόλο σε αυτό. Παρόλα αυτά, το παραπάνω παράδειγμα μπορεί να παρουσιαστεί ως μία περίπτωση όπου μία πρόβλεψη με νευρωνικά δίκτυα θα μπορούσε να είναι έστω βραχυπρόθεσμα ωφέλιμη για έναν επενδυτή.

## **6. Συμπεράσματα – Προτάσεις**

Οι παραπάνω προσπάθειες για πρόβλεψη χρηματοοικονομικών μεγεθών με νευρωνικά δίκτυα έδειξαν ότι πραγματικά υπάρχει η δυνατότητα να προβλέψουμε αν όχι την ακριβή πορεία, έστω την γενική τάση των τιμών των στοιχείων που μελετήθηκαν. Σε κάποιες περιπτώσεις, οι τιμές που προβλέφθηκαν συνέπεσαν ακριβώς με την πραγματική τιμή, αλλά σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο (ημερήσιες τιμές ισοτιμίας EUR/USD), και σε κάποιες έφτασαν απειροελάχιστα κοντά σε πιο μακροπρόθεσμο επίπεδο (εβδομαδιαίες τιμές χρυσού).

Τα μοντέλα αποδείχθηκαν ικανοποιητικά σε διαφορετικούς τομείς. Το μοντέλο του Weka έδινε πολύ καλές προβλέψεις σε κάποια δεδομένα αλλά σε άλλα απέκλινε σημαντικά. Από το Matlab το μοντέλο NAR προέβλεπε συνήθως ικανοποιητικά την γενική τάση της χρονοσειράς ακόμα και πιο μακροπρόθεσμα (ιδιαίτερα σε ημερήσια δεδομένα), ενώ το FFB με μετασχηματισμό των δεδομένων έδινε συστηματικά πολύ καλή πρόβλεψη για αυτό το ένα χρονικό επίπεδο μπροστά που προέβλεπε. Ένα επίσης μεγάλο πλεονέκτημα που είχαν οι ημερήσιες προβλέψεις ήταν το μεγαλύτερο διαθέσιμο ροοί δεδομένων για την εκμάθηση, αν και πολλές φορές τα πολλά δεδομένα οδηγούν σε χειρότερα αποτελέσματα, λόγω «υπερεκμάθησης».

Ενδιαφέρον θα είχε η εκμάθηση νευρωνικών δικτύων σε ωριαίες τιμές η και ακόμα ανά λεπτό και δευτερόλεπτο. Αυτά τα δεδομένα όμως δεν είναι εύκολα προσβάσιμα και συνήθως απαιτούν πληρωμή σε κάποιον φορέα που τα παρακολουθεί. Επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα σε διάφορες μορφές και συνδυασμούς, όπου η εκμάθησή τους θα μπορούσε να μας οδηγήσει σε ενδιαφέροντα αποτελέσματα, πέρα από την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών.

Η πρόβλεψη σαν έννοια είναι από τα πιο πολυπόθητα πράγματα για τον άνθρωπο. Ανά τους αιώνες, είτε με μεταφυσικές είτε με επιστημονικές μεθόδους ο άνθρωπος προσπαθεί να προβλέψει το μέλλον του. Στην πραγματικότητα όμως, καμία πρόβλεψη δεν είναι τέλεια ούτε αξιόπιστη. Σε ένα πεδίο όμως το οποίο κινείται από την λήψη αποφάσεων πραγματικών ανθρώπων, όπου οι τιμές και η πορεία τους καθορίζεται από την ποικιλόμορφη αντίδραση αυτών των ατόμων στα ερεθίσματα της αγοράς αλλά και της γεωπολιτικής πραγματικότητας, ένα υπολογιστικό μοντέλο που εξομοιώνει την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου ίσως να είναι το ιδανικό για να προβλέψει την κίνηση αυτού του πεδίου. Αυτό το μοντέλο είναι τα νευρωνικά δίκτυα.

## **Βιβλιογραφία**

- [1] <https://towardsdatascience.com/introduction-to-artificial-neural-networks-ann-1aea15775ef9>
- [2] <https://www.cmegroup.com/trading/why-futures/welcome-to-nymex-wti-light-sweet-crude-oil-futures.html>
- [3] <https://www.nytimes.com/1976/08/15/archives/nixons-economic-policies-return-to-haunt-the-gop-nixons-economic.html>
- [4] <https://www.ecb.europa.eu/euro/changeover/2002/html/index.en.html>
- [5] <https://us.spindices.com/indices/equity/sp-500>
- [6] <https://www.investing.com/currencies/eur-usd-chart>



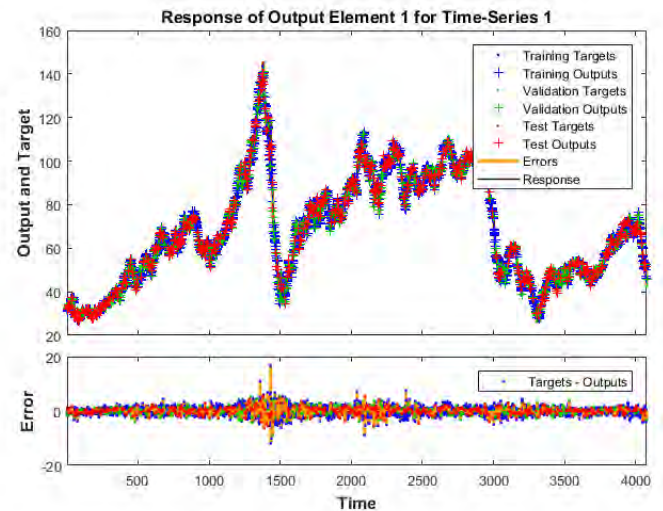
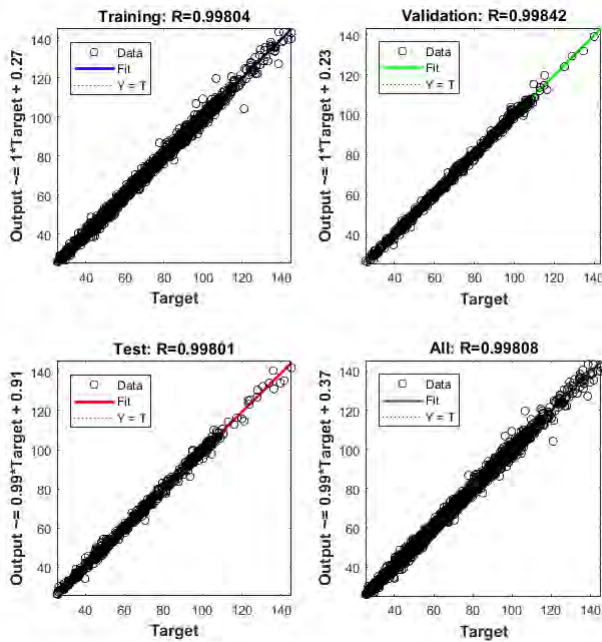
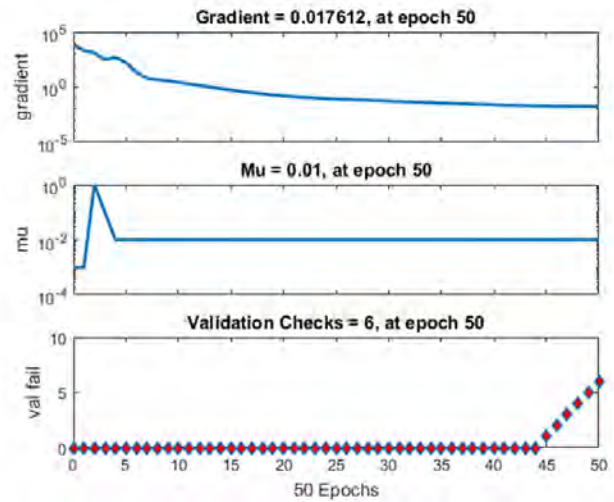
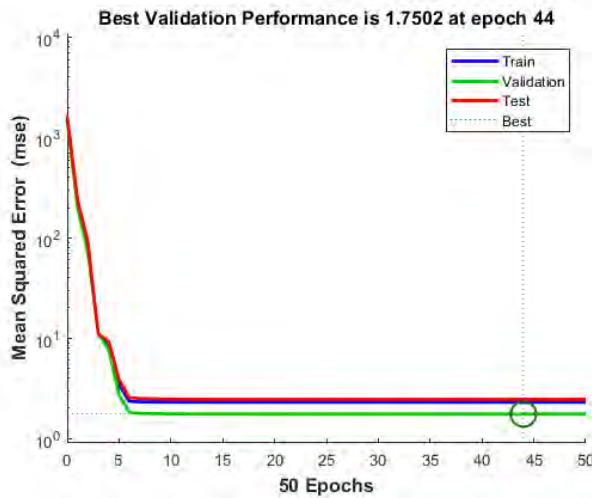


# Παράρτημα

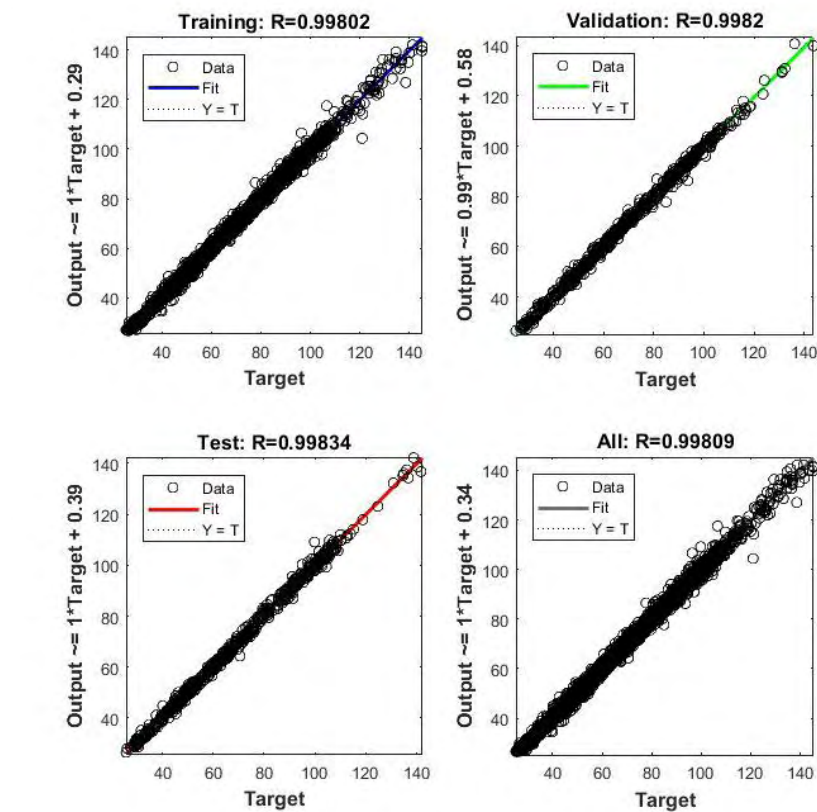
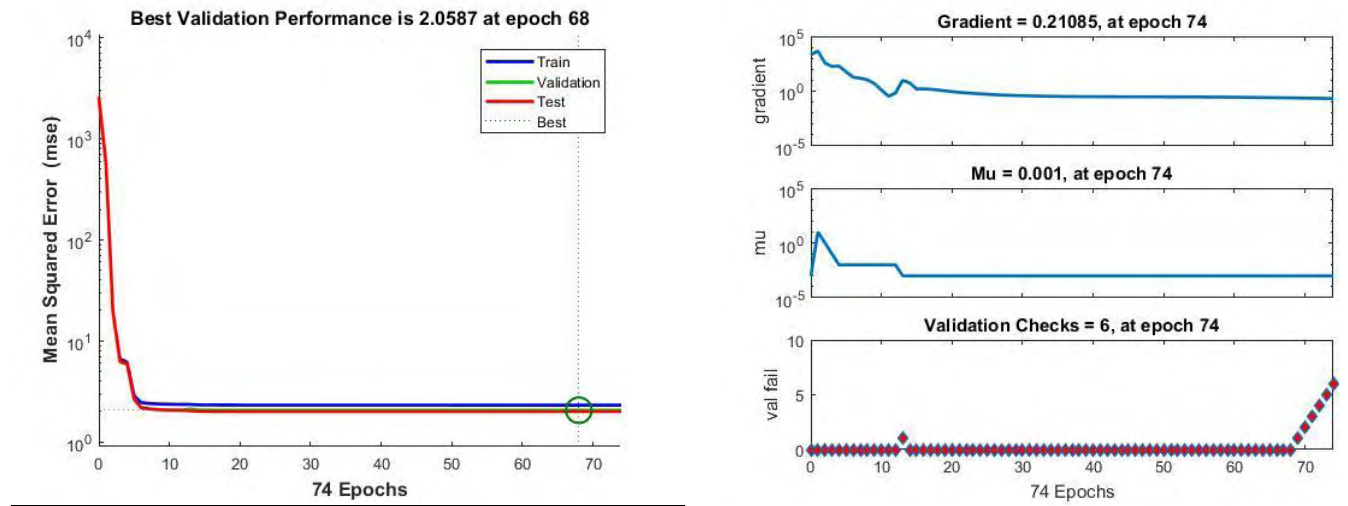
Στο παράρτημα θα δούμε output από το Matlab από το training των δικτύων πρόβλεψης.

## Πετρέλαιο ημερήσιες

### NAR

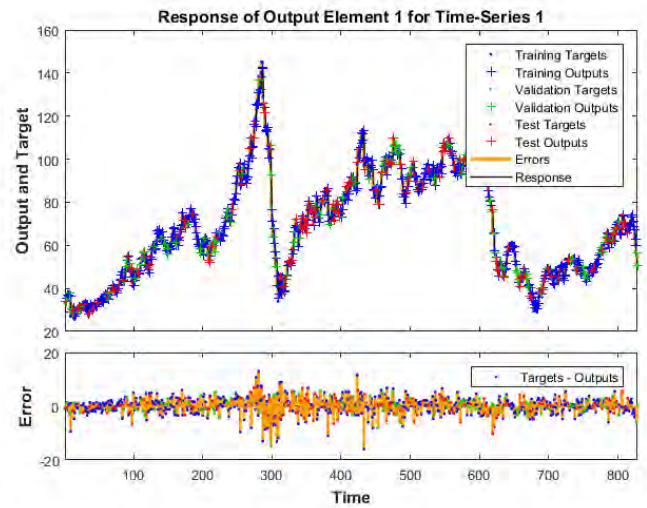
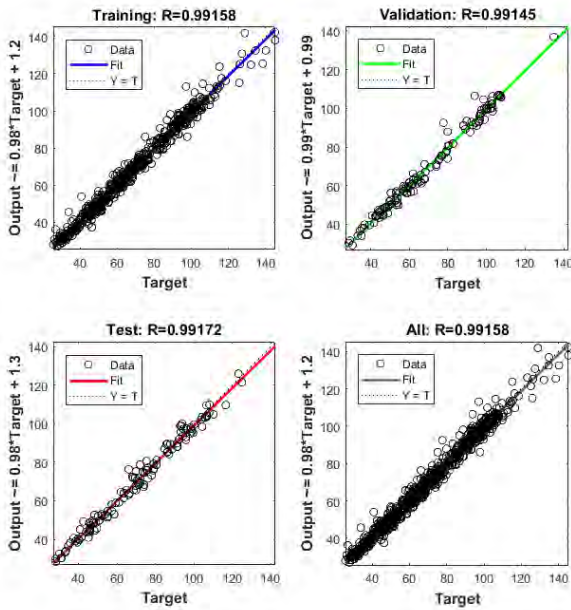
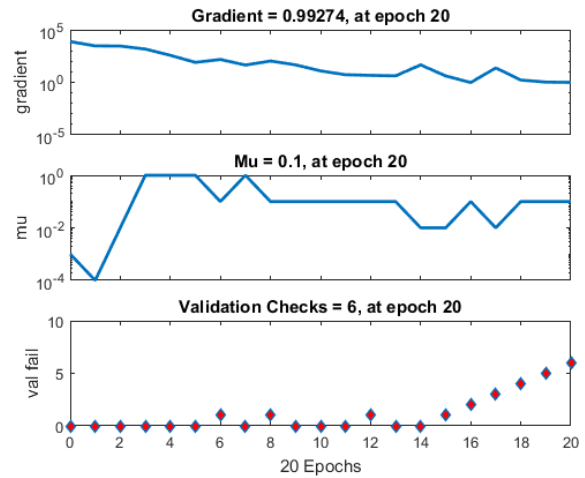
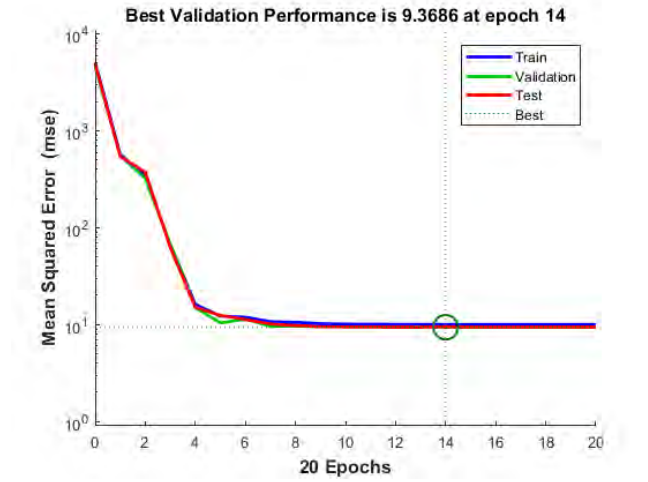


# FFB

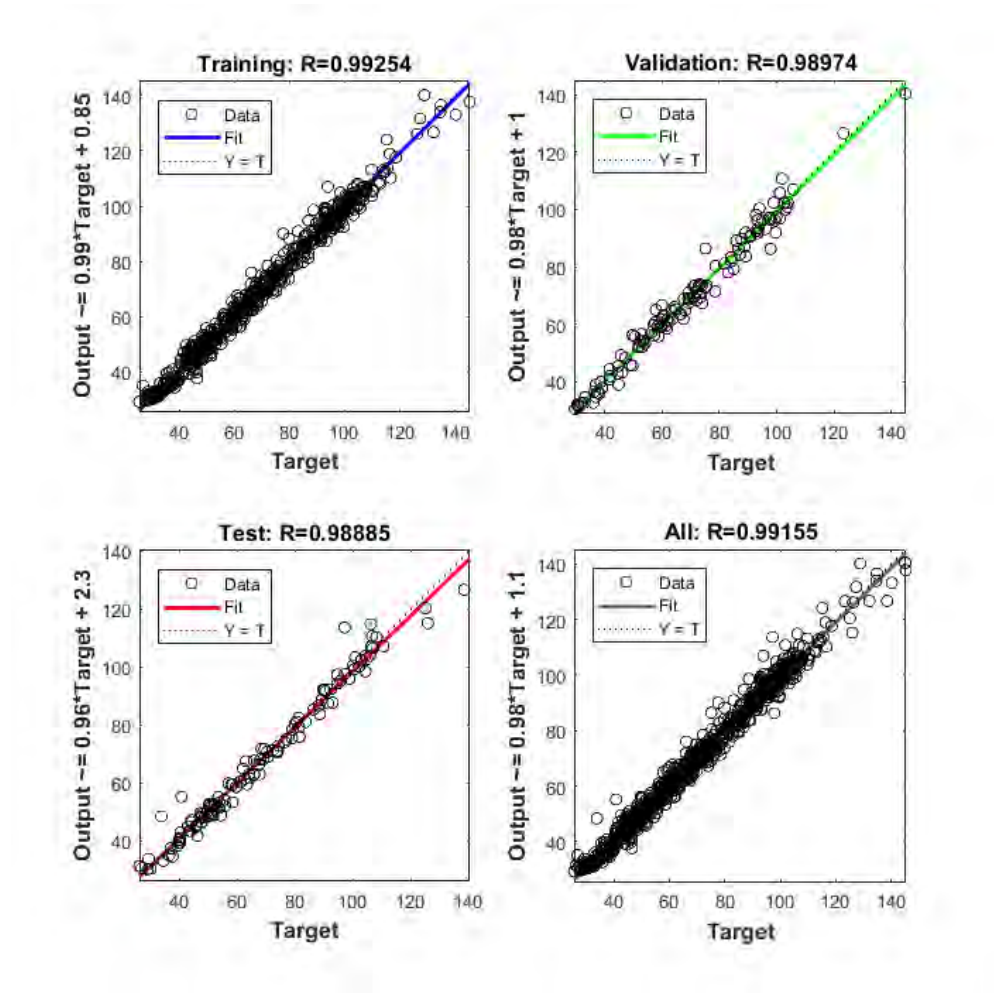
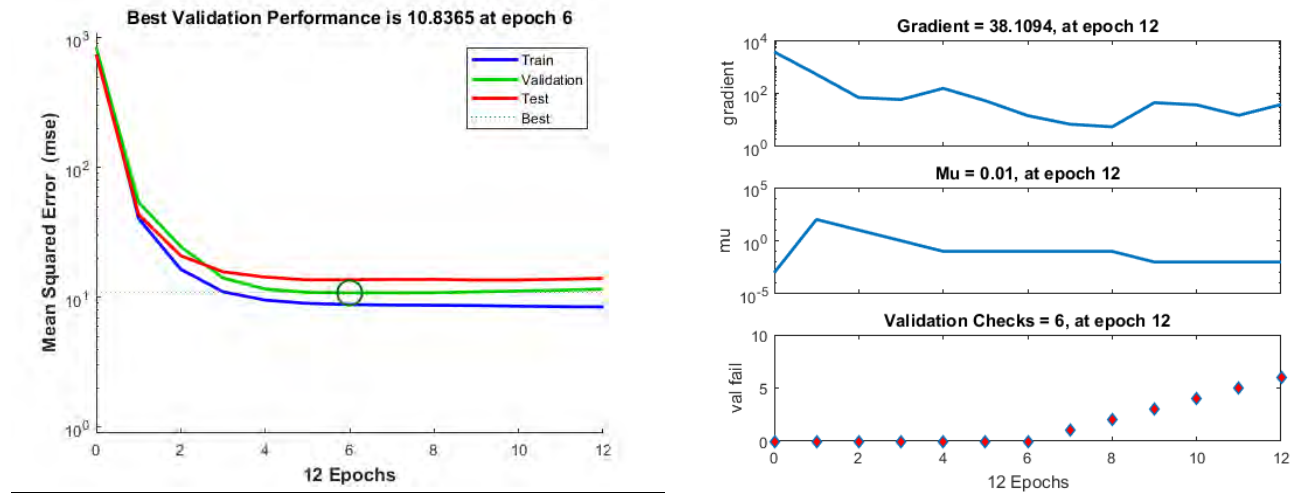


# Πετρέλαιο εβδομαδιαίες

## NAR

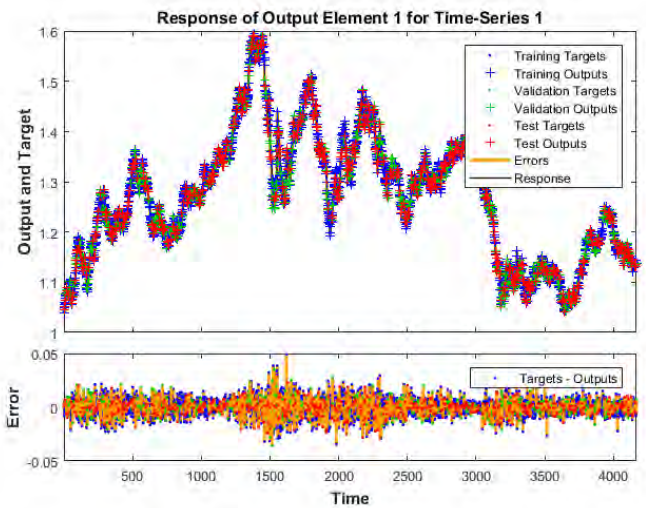
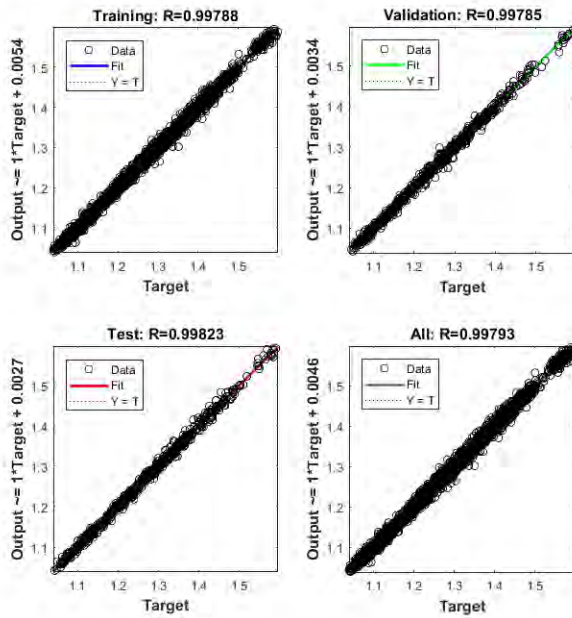
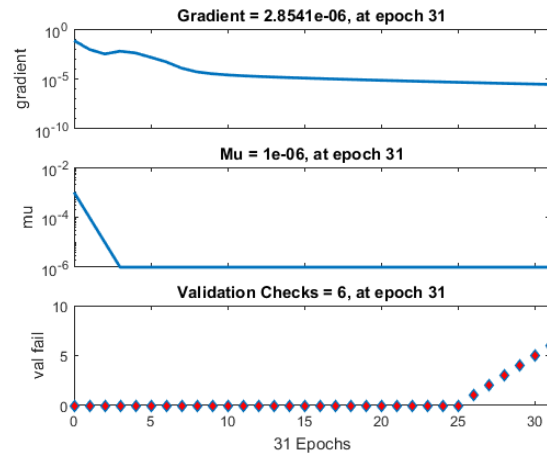
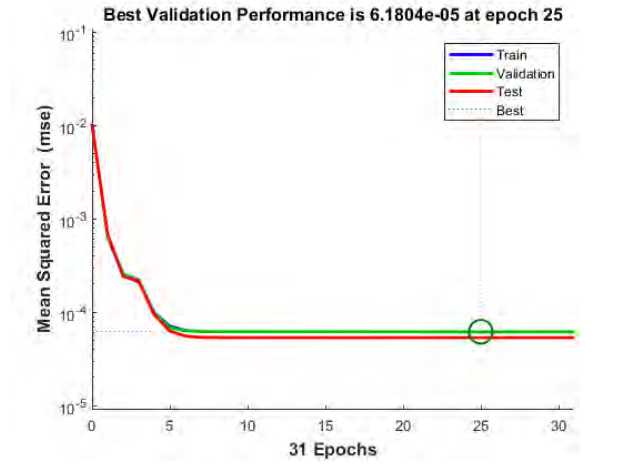


# FFB

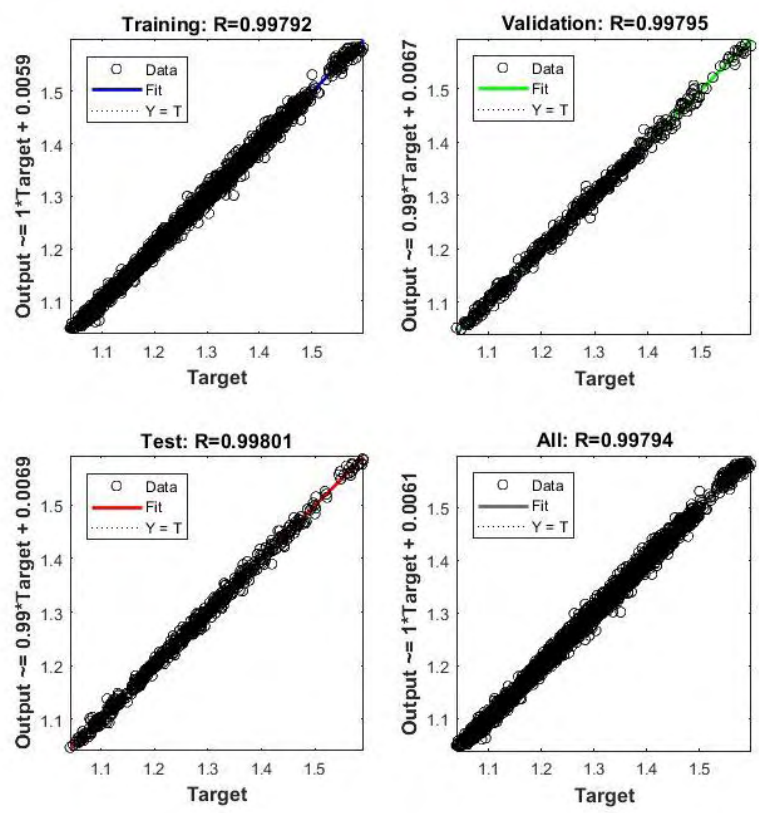
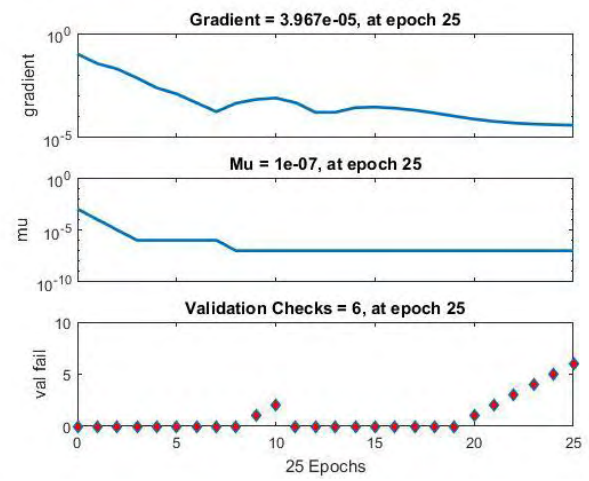
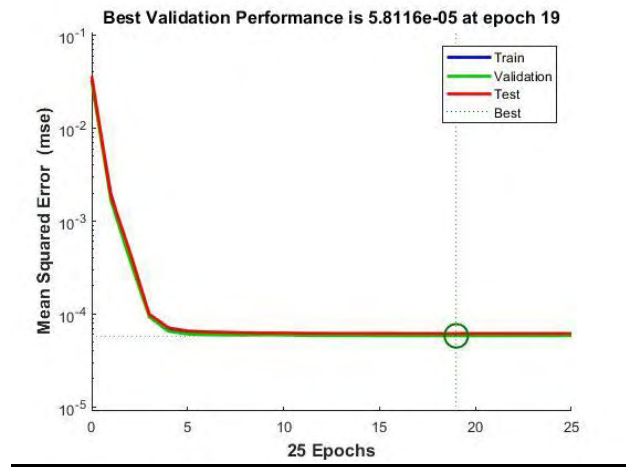


# EUR/USD Ημερήσιες

## NAR

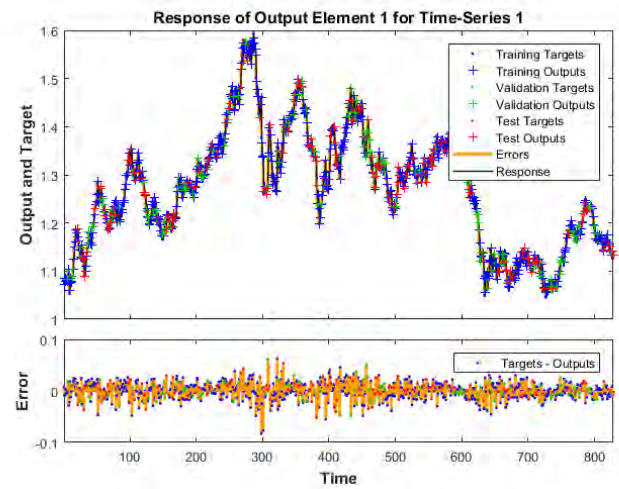
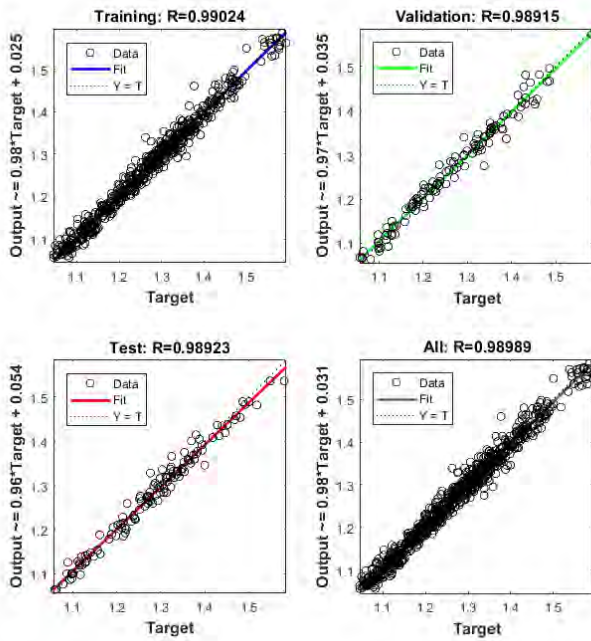
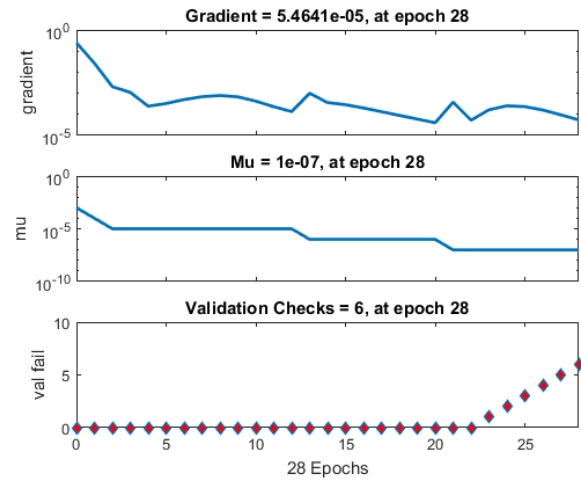
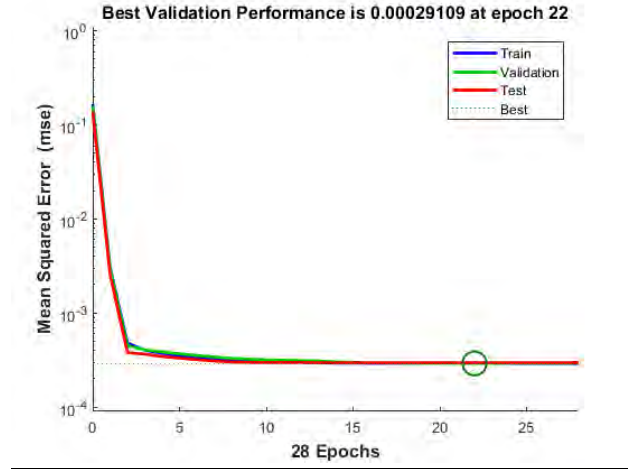


# FFB

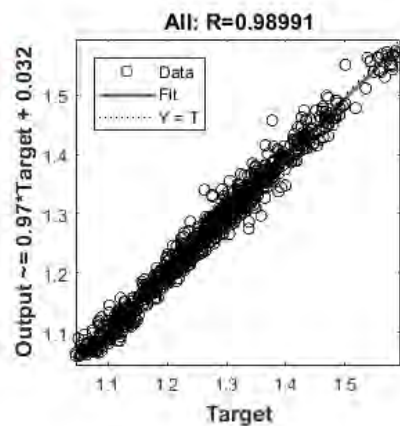
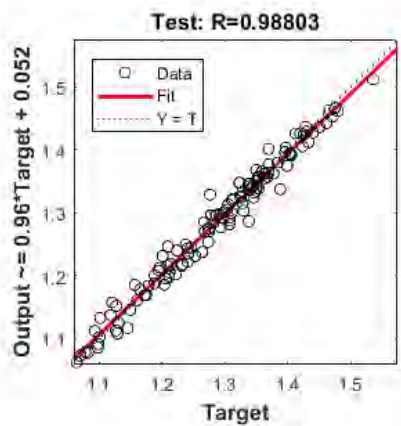
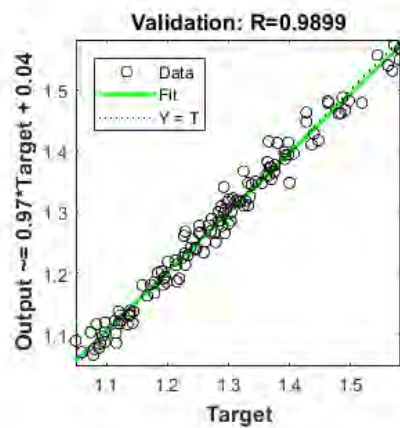
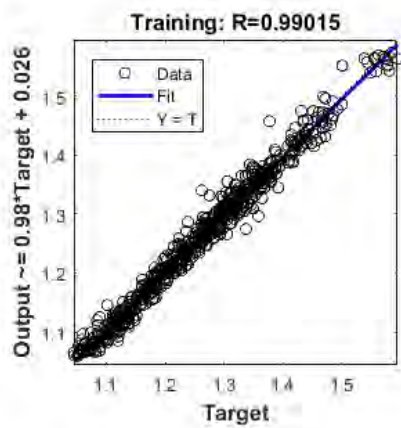
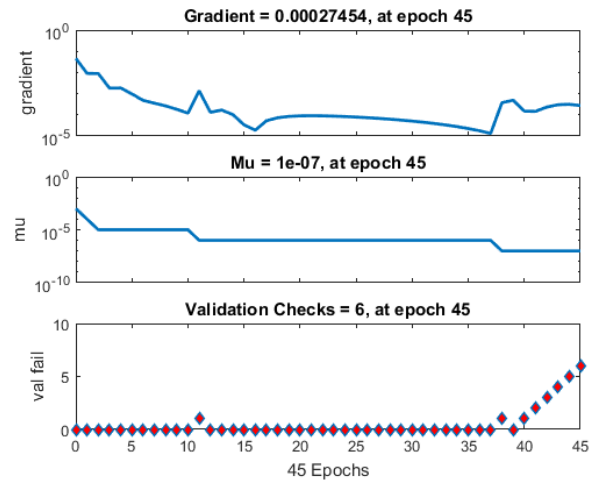
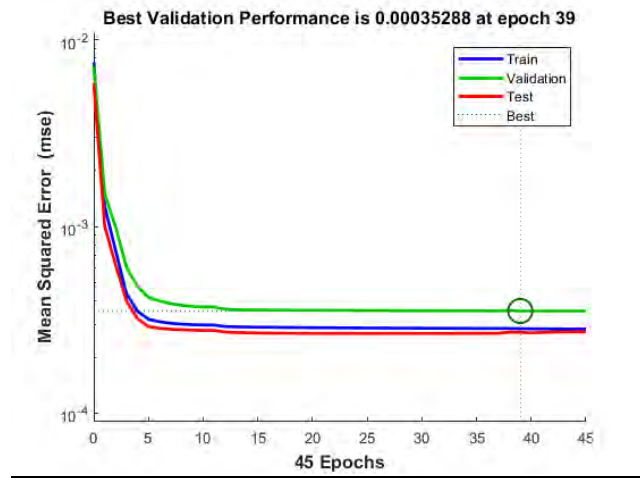


# EUR/USD εβδομαδιαίες

## NAR



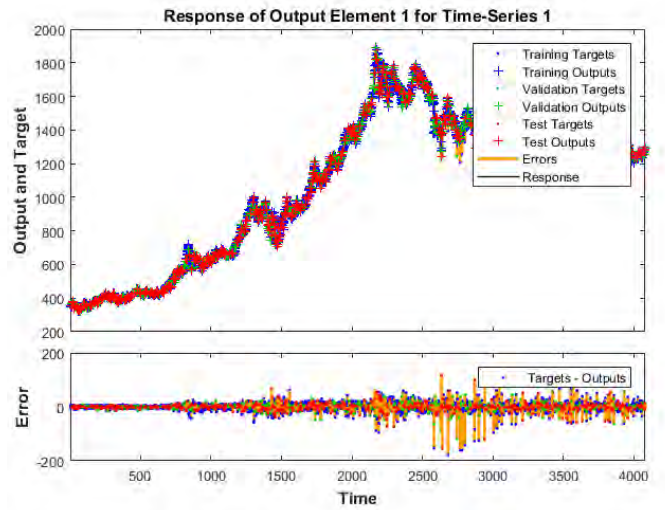
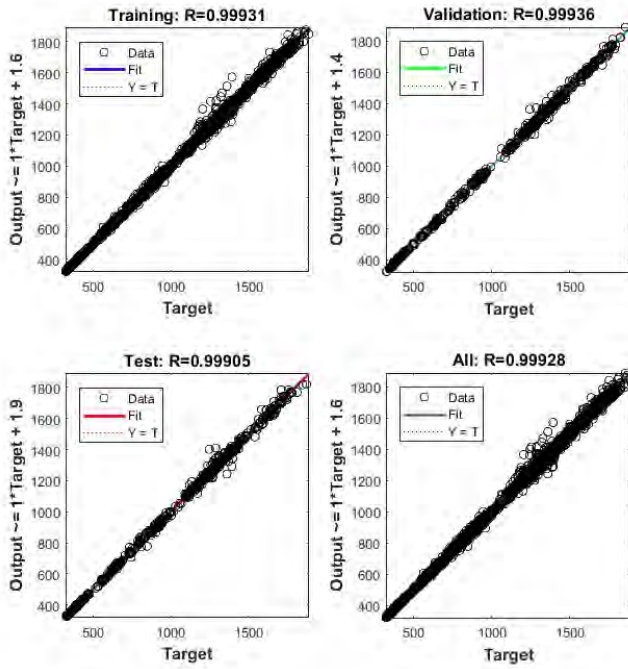
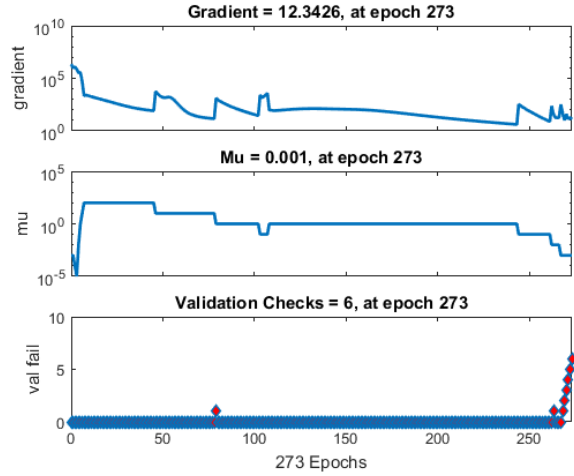
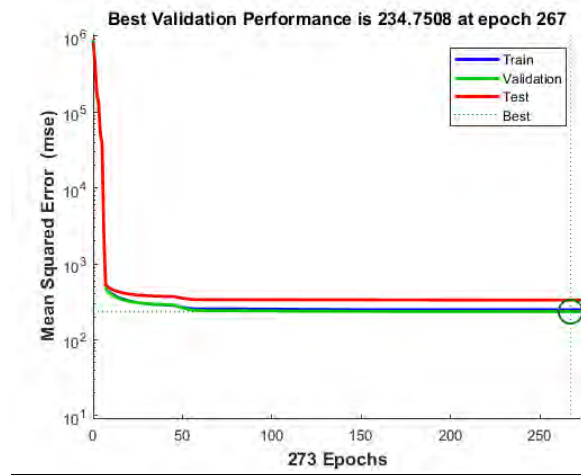
**FFB**



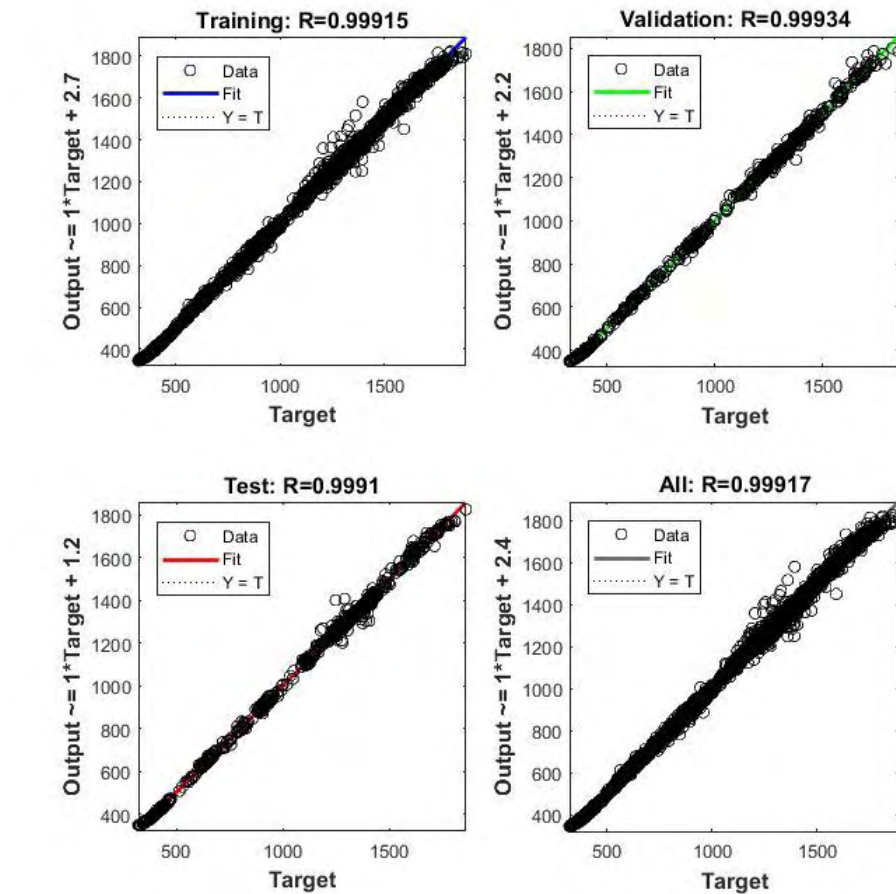
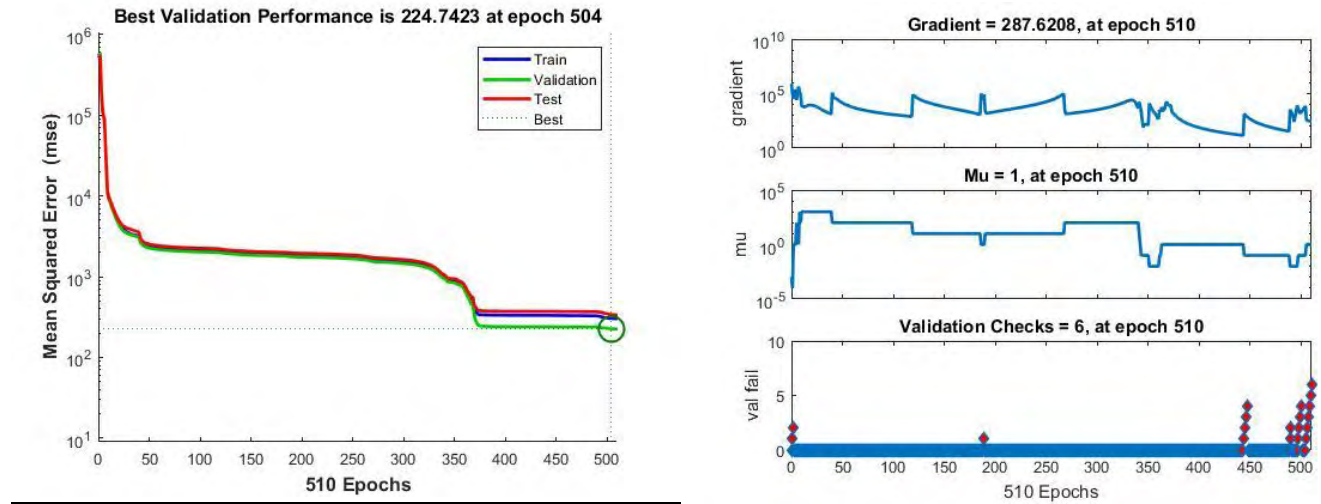


# Χρυσός ημερήσιος

## NAR

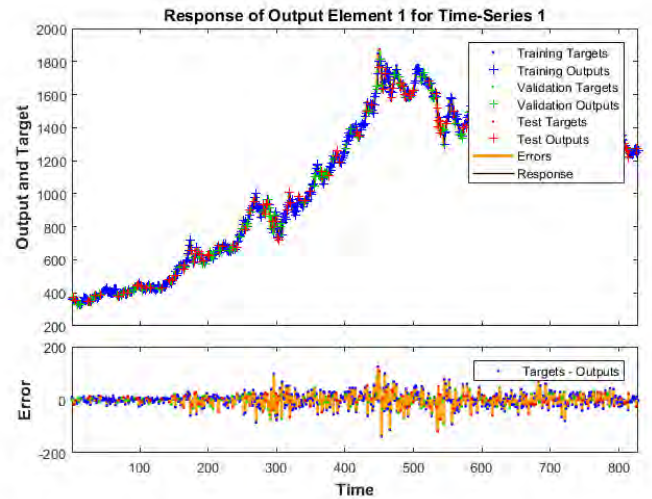
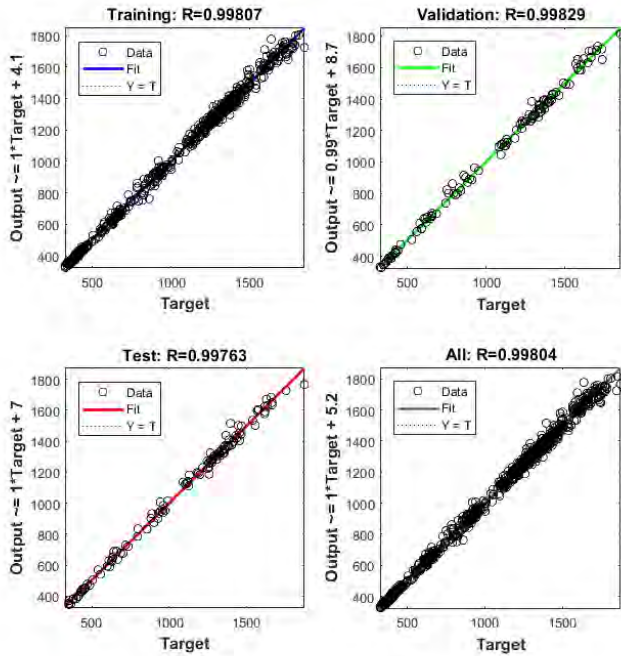
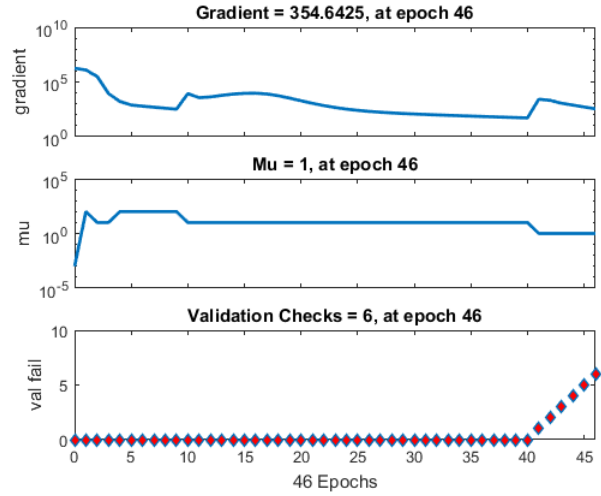
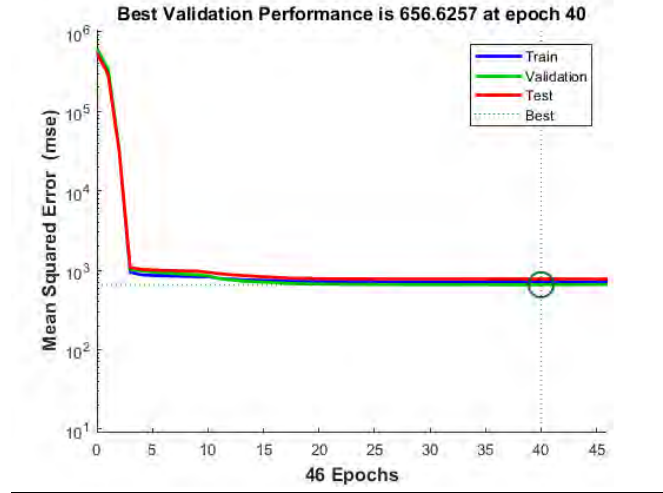


# FFB

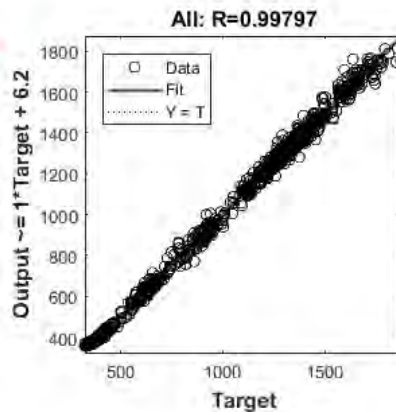
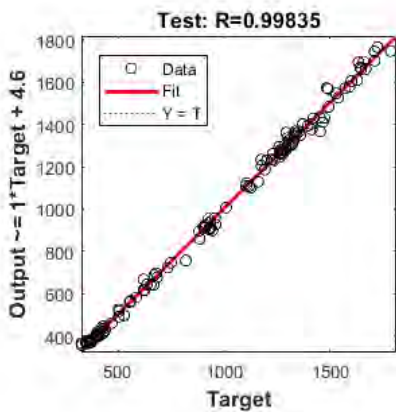
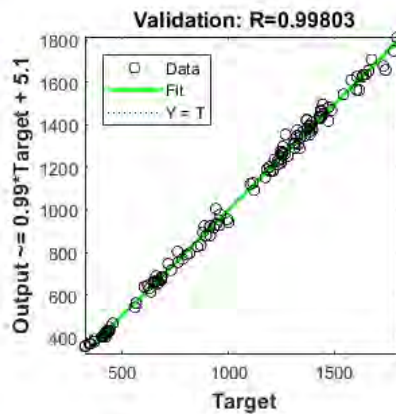
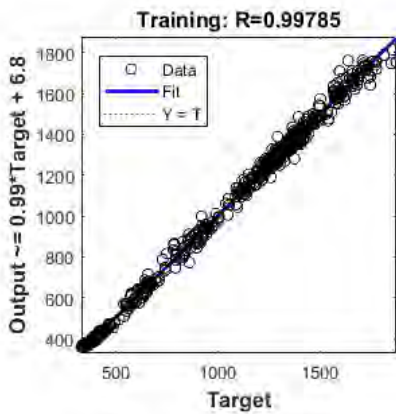
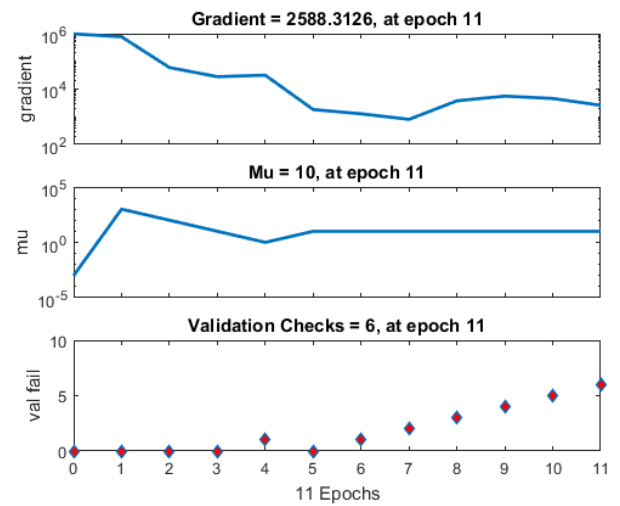
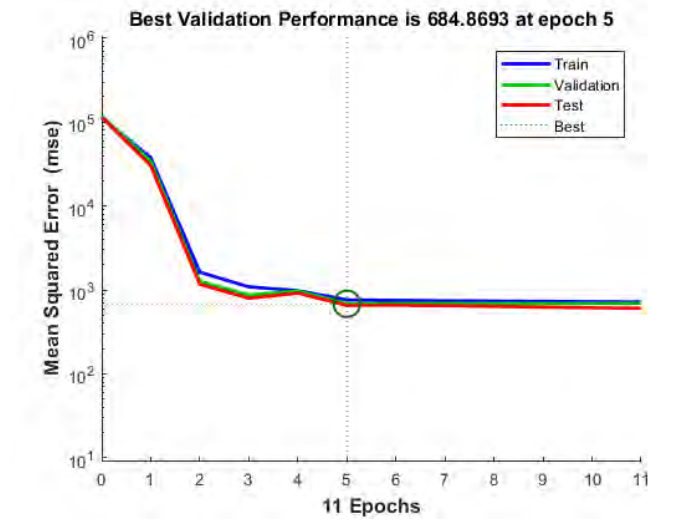


# Χρυσός εβδομαδιαίες

## NAR

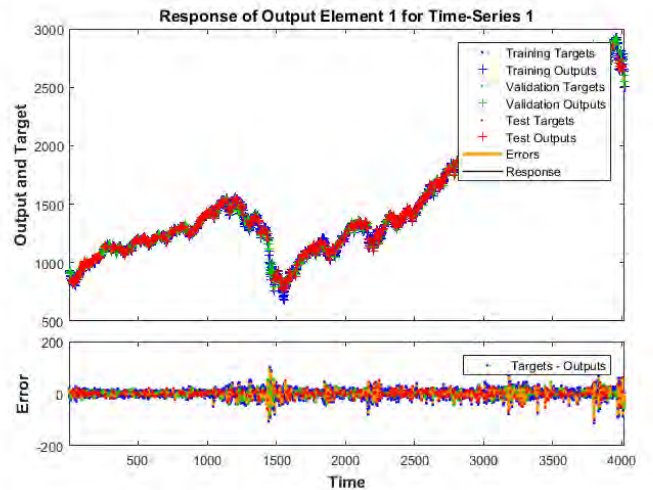
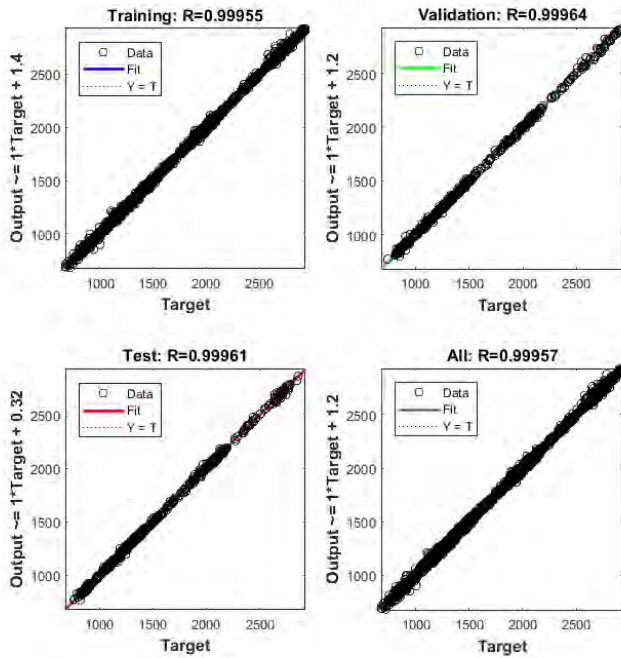
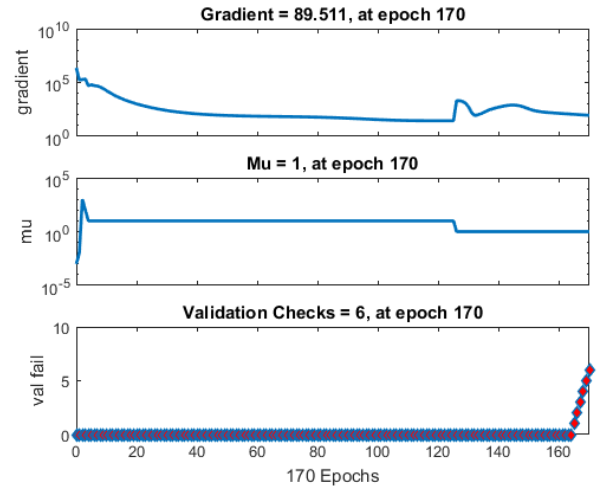
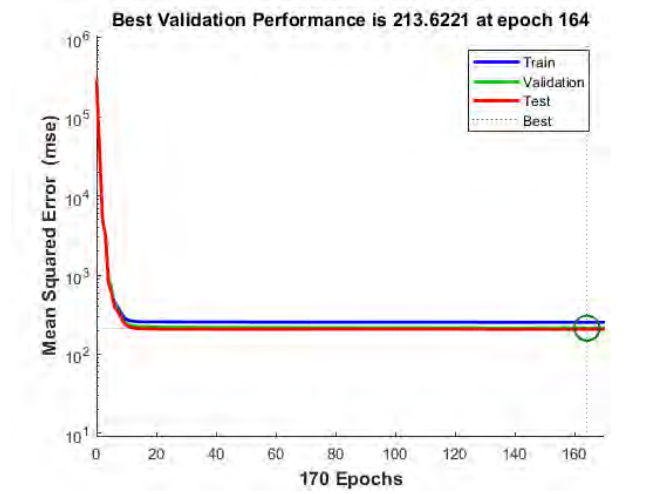


**FFB**

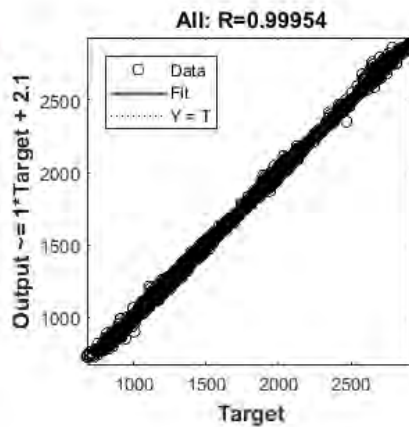
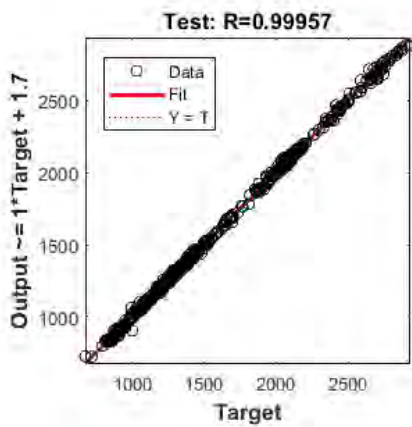
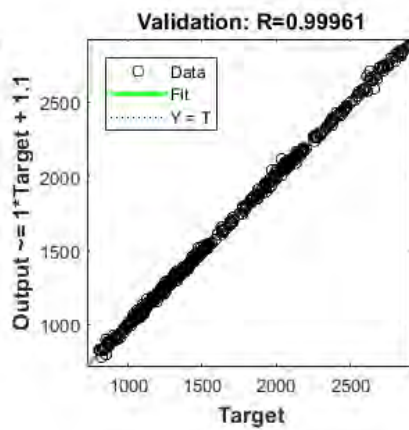
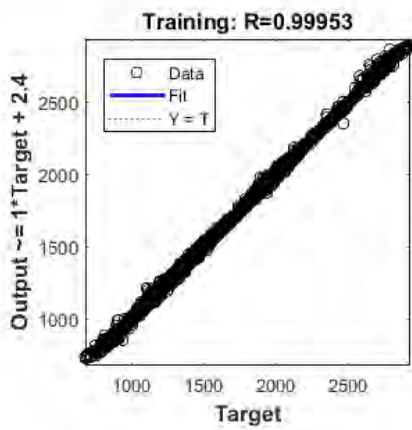
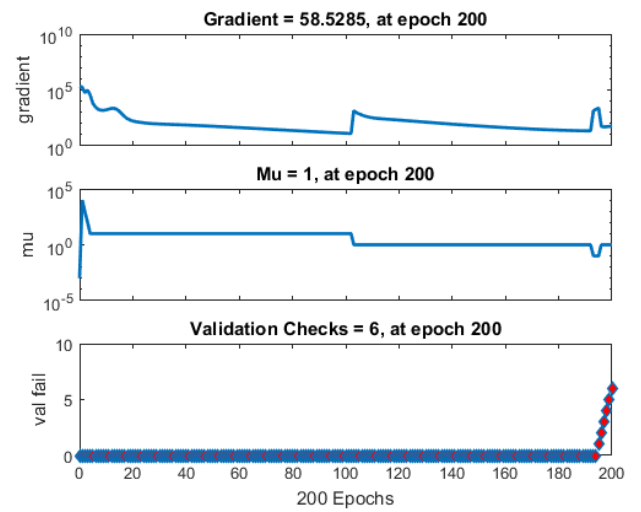
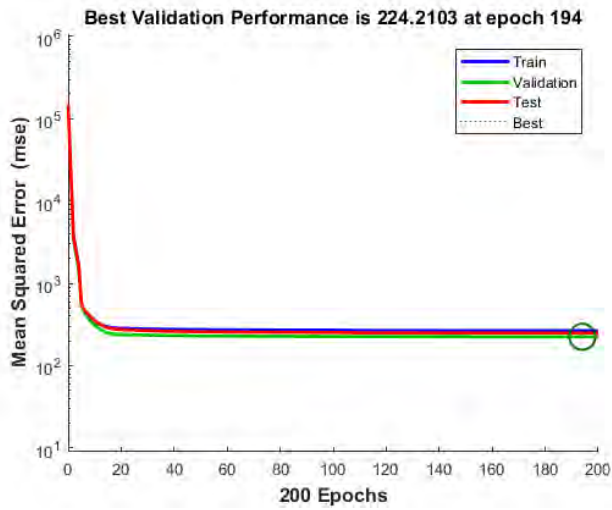


# S&P500 Ημερήσιες

## NAR

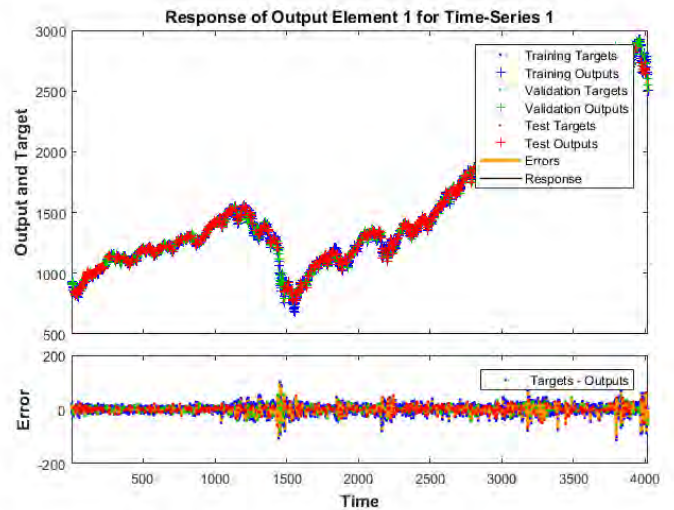
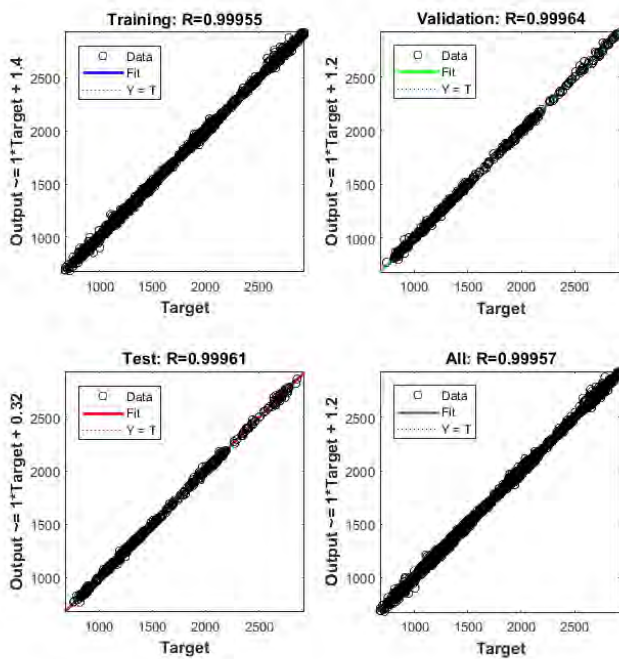
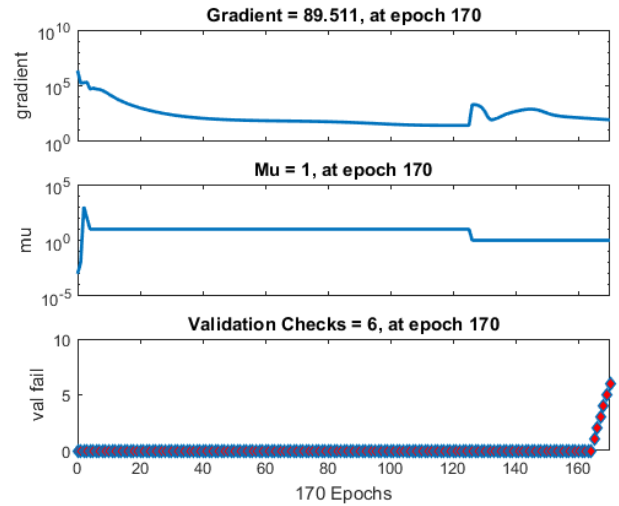
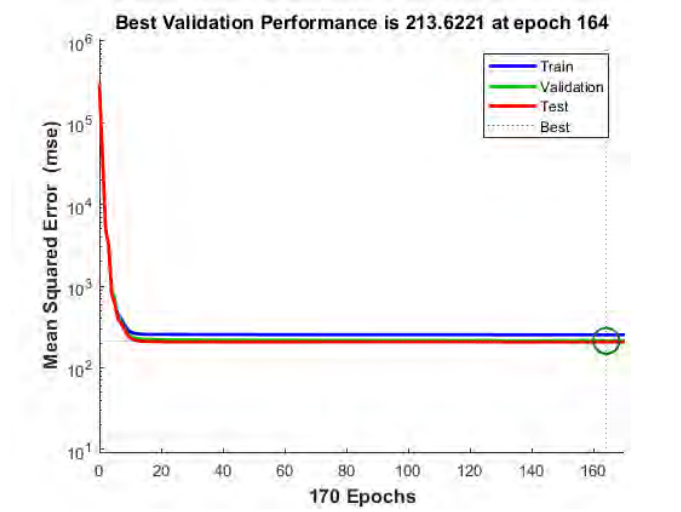


**FFB**



# S&P500 Εβδομαδιαίες

## NAR



# FFB

