Πολυτεχνείο Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<Αξιοποίηση πειραματικών δεδομένων από συνδέσμους σιδηρών κατασκευών με χρήση Νευρωνικών δικτύων>>

Μπαϊρακτάρης Δημήτρης

Εξεταστική επιτροπή:

Σταυρουλάκης Γεώργιος (επιβλέπων καθηγητής)

Σταυρουλάκη Μαρία

Μαρινάκης Ιωάννης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους των οποίων η συμβολή ήταν καθοριστικής σημασίας για την έκβαση της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Σταυρουλάκη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε στην ανάθεση του θέματος και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό. Καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας μου υπήρξε πάντα πρόθυμος να βοηθήσει σε οποιαδήποτε περίπτωση χρειαζόταν . Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κ. Μ. Abdalla School of Civil Engineering, Jordan University of Science and Technology για την παροχή των πειραματικών δεδομένων.

Επίσης, θα ήθελα ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τη λέκτορα κ. Σταυρουλάκη Μαρία και τον λέκτορα κ. Μαρινάκη Ιωάννη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου αλλά και τους συμφοιτητές μου για την ηθική υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, είναι η φόρτωση της μηχανικής συμπεριφοράς συνδέσμων σιδηρών κατασκευών με την χρήση νευρωνικών δικτύων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πειραματικά δεδομένα 18 διαφορετικών συνδέσεων μεταλλικών κατασκευών ίδιου τύπου. Για την ακρίβεια θα ασχοληθούμε με διπλές γωνιακές συνδέσεις (Double web-angle connections),εισάγοντας δεδομένα από μία έρευνα του J.C. Rathbun (1936).Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιούνται νευρωνικά δίκτυα πολλών στρώσεων (Backpropagation neural networks). Για την επίλυση των αριθμητικών παραδειγμάτων χρησιμοποιούνται τα Νευρωνικά δίκτυα της Matlab πιο συγκεκριμένα το πρόγραμμα Neural Network Fitting Tool. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να επιλύσει απαιτητικά και χρονοβόρα προβλήματα της μηχανικής και όχι μόνο, με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν αρκετές πειραματικές μετρήσεις και οι κατάλληλες προβλέψεις {5}.

Αναλυτικότερα, χρησιμοποιούμε ως είσοδο τα χαρακτηριστικά καθενός από τις 18 μεταλλικές συνδέσεις, όπως ύψος γωνίας l_p , πάχος γωνίας t_a , απόσταση από την επάνω άκρη της γωνίας μέχρι το επάνω μέρος της ένωσης των δύο δοκών l_u , κτλ. Και ως έξοδο μία σειρά πειραματικών δεδομένων δύναμης και στροφής τα οποία αντιστοιχούν σε κάθε παράδειγμα. Έτσι καταλήγουμε σε δύο πίνακες, ο πρώτος πίνακας 9x18 θα χρησιμοποιηθεί ως δεδομένα εισόδου (inputs) και ο δεύτερος 20x18 ως δεδομένα εξόδου (targets).

Εν συνεχεία ,εκπαιδεύοντας το νευρωνικό δίκτυο επιδιώκουμε την σύγκλιση των δικών του αποτελεσμάτων με τα δεδομένα εξόδου που εμείς του έχουμε ορίσει. Το εκπαιδευμένο δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της μηχανικής απόκρισης συνδέσμων για τους οποίους δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα {1}.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. **Εισαγωγή** 1

2. **Νευρωνικά δίκτυα** 2-3
   2.1 Χρήση Νευρωνικών δικτύων σε άλλους τομείς 4-5

3. **Διπλές γωνιακές συνδέσεις** 6
   3.1 Χαρακτηριστικά της σύνδεσης 7
   3.2 Τιμές των στοιχείων της δοκού 8-9
   3.3 Τιμές Δύναμης-Περιστροφής 10-15

4. **Neural network fitting tool** 16-26
   4.1 Διαγράμματα του Νευρωνικού δικτύου 27-29
   4.2 Αποτελέσματα του Νευρωνικού δικτύου 30-35
   4.4 Γραφική σύγκριση outputs με targets 36-41

5. **Συμπεράσματα** 42

6. **Βιβλιογραφία** 43

1.Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της επιστήμης και των εφαρμογών ο άνθρωπος τίθεται αντιμέτωπος με όλο και πιο πολύπλοκα προβλήματα, τα οποία είναι δύσκολα τόσο για τον ίδιο, όσο και για απλούς συμβατικούς υπολογιστές. Εκεί λοιπόν εμφανίζονται τα νευρωνικά δίκτυα επιλύοντας προβλήματα της μηχανικής αλλά και άλλων πρακτικών εφαρμογών.

Στα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης των νευρωνικών δικτύων οι ερευνητές προσπάθησαν να αντιγράψουν τον τρόπο οργάνωσης του εγκεφάλου όταν σκέπτονταν, τον τρόπο της ρύθμισης και τους αλγόριθμους που έπρεπε να τους διέπουν. Όμως οι γνώσεις πάνω στην λειτουργία του εγκεφάλου ήταν περιορισμένες, όπως και σήμερα, έτσι οι ερευνητές έπρεπε να αναπτύξουν τις γνώσεις αυτές και να βρουν δομές που να εκτελούν χρήσιμες λειτουργίες . Οι υποθέσεις τελικά που έκαναν δεν επέτρεψαν την δημιουργία τέτοιων τεχνητών νευρωνικών δικτύων . Όμως ο συνεχιζόμενος παραλληλισμός με τον ανθρώπινο εγκέφαλο ώθησε τους ερευνητές στο να οδηγήσουν τις λειτουργίες των νευρωνικών δικτύων στην ανθρώπινη συνείδηση . Ωστόσο αυτό θα σήμαινε το τέλος της έρευνας στον τομέα των νευρωνικών δικτύων το 1960 αν δεν άλλαζε ο τρόπος σκέψης των ερευνητών {6}.

2. Νευρωνικά δίκτυα

Το νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο από απλούς υπολογιστικούς κόμβους (νευρώνες, νευρώνια), διασυνδεδεμένους μεταξύ τους. Είναι εμπνευσμένα από το βιολογικό νευρικό σύστημα. Όπως συμβαίνει και στη φύση, οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία του δικτύου.

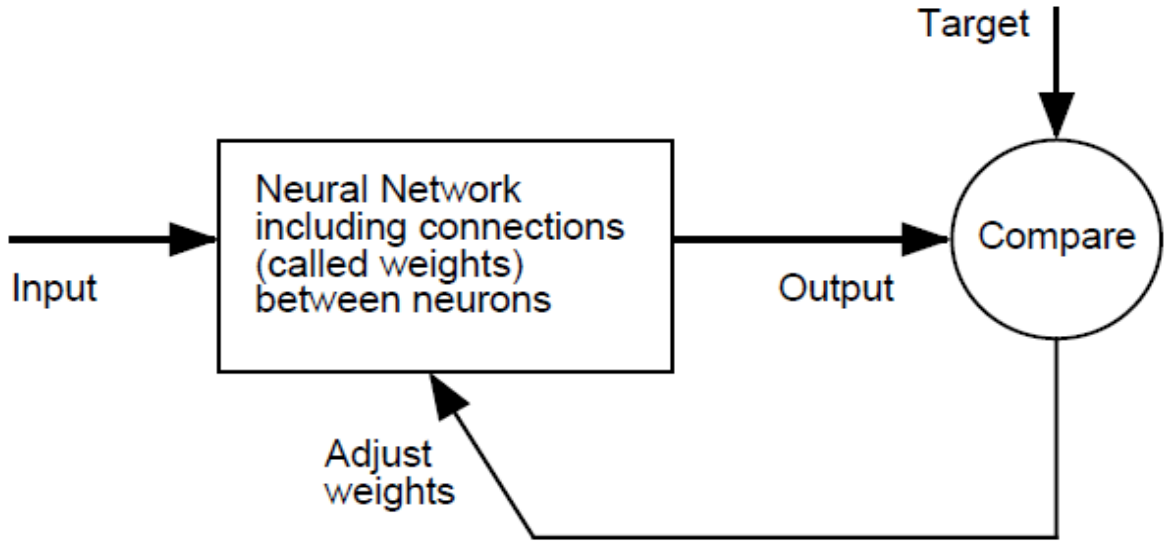
Οι νευρώνες είναι τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Κάθε τέτοιος κόμβος δέχεται ένα σύνολο αριθμητικών εισόδων από διαφορετικές πηγές (είτε από άλλους νευρώνες, είτε από το περιβάλλον), επιτελεί έναν υπολογισμό με βάση αυτές τις εισόδους και παράγει μία έξοδο. Η εν λόγω έξοδος είτε κατευθύνεται στο περιβάλλον, είτε τροφοδοτείται ως είσοδος σε άλλους νευρώνες του δικτύου. Υπάρχουν τρεις τύποι νευρώνων: οι *νευρώνες εισόδου*, οι *νευρώνες εξόδου* και οι *υπολογιστικοί νευρώνες* ή *κρυμμένοι νευρώνες*.

Οι νευρώνες εισόδου δεν επιτελούν κανέναν υπολογισμό, μεσολαβούν απλώς ανάμεσα στις περιβαλλοντικές εισόδους του δικτύου και στους υπολογιστικούς νευρώνες. Οι νευρώνες εξόδου διοχετεύουν στο περιβάλλον τις τελικές αριθμητικές εξόδους του δικτύου. Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν κάθε είσοδό τους με το αντίστοιχο βάρος και υπολογίζουν το ολικό άθροισμα των γινομένων. Το άθροισμα αυτό τροφοδοτείται ως όρισμα στη συνάρτηση ενεργοποίησης, την οποία υλοποιεί εσωτερικά κάθε κόμβος. Η τιμή που λαμβάνει η συνάρτηση για το εν λόγω όρισμα είναι και η έξοδος του νευρώνα για τις τρέχουσες εισόδους και βάρη. {7}

Εάν x_{ki} είναι η *i*-οστή είσοδος του *k* νευρώνα, w_{ki}: το *i*-οστό βάρος του *k* νευρώνα και $\phi(\cdot)$ η συνάρτηση ενεργοποίησης του νευρωνικού δικτύου, τότε η έξοδος y_k του *k* νευρώνα δίνεται από την εξίσωση:

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

Μπορούμε να εκπαιδεύσουμε ένα νευρωνικό δίκτυο για να εκτελέσει μια συγκεκριμένη λειτουργία, προσαρμόζοντας τις τιμές των συνδέσεων (βάρη) μεταξύ των στοιχείων. Έτσι ώστε η εφαρμογή ενός σετ από εισόδους να δίνει το επιθυμητό σετ από εξόδους . Κάθε τέτοιο σετ από εισόδους ή εξόδους αναφέρεται σε μας σαν διάνυσμα (vector) . Η εκπαίδευση πετυχαίνεται με συνεχή εφαρμογή από διανύσματα εισόδου καθώς τα βάρη του δικτύου προσαρμόζονται με βάση μια προκαθορισμένη διαδικασία, έτσι ώστε το κάθε διάνυσμα εισόδου να δίνει το επιθυμητό διάνυσμα εξόδου. Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει μια τέτοια κατάσταση. Εκεί, το δίκτυο προσαρμόζεται, βασιζόμενο στη σύγκριση της εξόδου και του στόχου που αναζητούμε, έως ότου η έξοδος του δικτύου να ταιριάζει με το στόχο μας {3}{5}.



‘’Σχηματική απεικόνιση ενός Νευρωνικού δικτύου’’

2.1 Χρήση νευρωνικών δικτύων σε άλλους τομείς

Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν εκπαιδευτεί να εκτελούν σύνθετες λειτουργίες σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένου και της αναγνώρισης προτύπων, ταυτοποίησης, ταξινόμησης, και συστημάτων ελέγχου , όπως επίσης προβλημάτων μηχανικής, ιατρικής αλλά και πολύπλοκων οικονομικών προβλημάτων. Μερικά παραδείγματα στα οποία μπορεί ένα νευρωνικό δίκτυο να χρησιμοποιηθεί είναι:

- Η πρόβλεψη της αντικειμενικής αξίας ενός ακινήτου σε μία περιοχή.

  Πιο συγκεκριμένα εισάγοντας έναν πίνακα εισόδου (inputs) με παραμέτρους όπως, τα επίπεδα εγκληματικότητας, πρασίνου και μόλυνσης της περιοχής, των αριθμό των δωματίων του σπιτιού, έναν δείκτη προσβασιμότητας σε εθνικές οδούς, τον αριθμό των σχολείων της περιοχής, μπορούμε επίσης να ορίσουμε και εμείς έναν δείκτη όπως π.χ. με 1 να βαθμολογούμε ένα παραλιακό ακίνητο και με 0 ένα το οποίο δεν ‘’βλέπει’’ θάλασσα. Και έναν πίνακα εξόδου(targets) με τις αντίστοιχες αντικειμενικές αξίες του κάθε σπιτιού με τα παραπάνω κριτήρια. Καταλήγουμε λοιπόν σε δύο πίνακες ο πρώτος της εισόδου 7x(όσα ακίνητα επιθυμούμε) και ο δεύτερος της εξόδου 1x(τον αριθμό των ακινήτων). Εισάγοντας αυτά τα δεδομένα στο νευρωνικό δίκτυο και εκπαιδεύοντας το μπορούμε να επιτύχουμε μία πολύ ικανοποιητική προσέγγιση στις τιμές των στόχων μας, δηλαδή στις τιμές των ακινήτων.

- Επίσης η πρόβλεψη σε ποσοστό του σωματικού λίπους σε ένα άτομο με βάση τα διάφορα χαρακτηριστικά του σώματος του.

  Αναλυτικότερα, εισάγουμε έναν πίνακα εισόδου (inputs) με παραμέτρους όπως ηλικία, βάρος, ύψος, περιφέρεια λαιμού, στήθους, γόνατου,

αστραγάλων, κτλ. Και ένα πίνακα εξόδου με τα ποσοστά του σωματικού λίπους για κάθε ένα από τα αντίστοιχα δεδομένα. Έτσι λοιπόν καταλήγουμε σε δύο πίνακες ο πρώτος 7x(τον αριθμό των ατόμων) και ο δεύτερος ένας άλλος 1x(τον αριθμό των ατόμων). Αφού εισάγουμε τα παραπάνω δεδομένα στο νευρωνικό δίκτυο και το εκπαιδεύσουμε, επιτυγχάνουμε μία σύγκλιση των αποτελεσμάτων του δικτύου μας (outputs) με τα αρχικά δεδομένα εξόδου (targets) που του έχουμε ορίσει.

- Εκτίμηση δύο βασικών στοιχείων ενός κινητήρα από δύο μετρήσεις.

  Πιο αναλυτικά, εισάγοντας δεδομένα όπως το ποσοστό κατανάλωσης και η ταχύτητα σε ένα πίνακα εισόδου (inputs) διαστάσεων 2x(όσα δεδομένα κινητήρων επιθυμούμε) και ένα ακόμα πίνακα με τα αποτελέσματα όπως η επιτάχυνση και οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου ως έξοδο (targets) διαστάσεων 2x(των αριθμό των κινητήρων που επιθυμούμε), εκπαιδεύουμε το νευρωνικό δίκτυο με αποτέλεσμα την οριακή ταύτιση των outputs με τα targets που εμείς έχουμε ορίσει.

3. **Διπλές γωνιακές συνδέσεις** (Double web-angle connections)

Οι διπλές γωνιακές συνδέσεις, είναι συνδέσεις μεταξύ δύο δοκών μορφής H με δύο σειρές από μπουλόνια , για την καλύτερη κατανόηση των συνδέσεων αυτών μας βοηθάει και το παρακάτω σχήμα {4}.

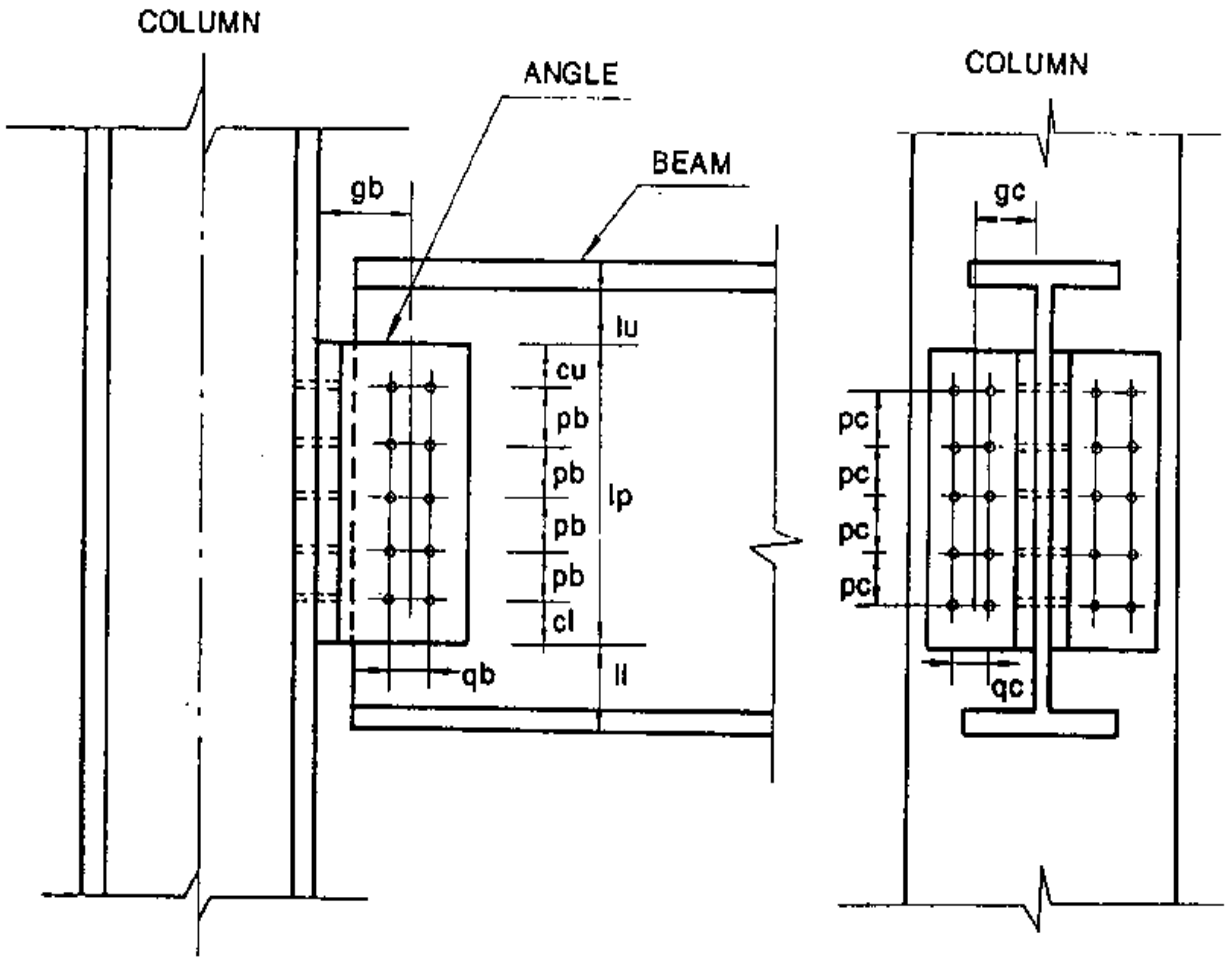


Fig. 2. Typical Double Web-Angle Connection

3.1 Χαρακτηριστικά της σύνδεσης

- l_p ,το ύψος της γωνιάς (angle height)
- l_u , η απόσταση από το επάνω μέρος της οριζόντιας δοκού έως το επάνω μέρος της γωνιάς.
- l_l , η απόσταση από το κάτω μέρος της οριζόντιας δοκού έως το κάτω μέρος της γωνιάς.
- t_a , το πάχος της γωνιάς (angle thickness).
- g_b, η απόσταση από την βάση της γωνιάς έως το μέσο των μπουλονιών.
- g_c , η απόσταση από το κέντρο της γωνιάς έως το μέσο των μπουλονιών.
- c_u , η απόσταση από το επάνω μέρος της γωνιάς έως το μέσο του επάνω μπουλονιού.
- c_l, η απόσταση από το κάτω μέρος της γωνιάς έως το μέσο του κάτω μπουλονιού.
- q_b , η απόσταση ανάμεσα στις δύο σειρές μπουλονιών που βρίσκονται στην οριζόντια δοκό.
- q_c , η απόσταση ανάμεσα στις δύο σειρές μπουλονιών που βρίσκονται στην κάθετη δοκό.
- p_b , η απόσταση ανάμεσα στα μπουλόνια της οριζόντιας δοκού.
- p_c , η απόσταση ανάμεσα στα μπουλόνια της κάθετης δοκού.

3.2 Τιμές των στοιχείων της δοκού(inputs)

TEST A-1		TEST A-2		TEST A-3		TEST A-4		TEST A-5	
l_p(cm)	6,35	l_p(cm)	15,24	l_p(cm)	15,24	l_p(cm)	22,86	l_p(cm)	22,86
l_u(cm)	4,445	l_u(cm)	2,54	l_u(cm)	2,54	l_u(cm)	3,81	l_u(cm)	3,81
l_l(cm)	4,445	l_l(cm)	2,54	l_l(cm)	2,54	l_l(cm)	3,81	l_l(cm)	3,81
t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525
g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	5,715	g_b(cm)	5,715
g_c(cm)	6,6675	g_c(cm)	6,6675	g_c(cm)	9,2075	g_c(cm)	6,5088	g_c(cm)	6,5088
c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,81	c_u(cm)	3,81	c_u(cm)	3,81	c_u(cm)	3,81
c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,81	c_l(cm)	3,81	c_l(cm)	3,81	c_l(cm)	3,81
q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35
TEST A-6		**TEST A-7**		**TEST A-8**		**TEST A-9**		**TEST A-10**	
l_p(cm)	38,1	l_p(cm)	38,1	l_p(cm)	29,21	l_p(cm)	29,21	l_p(cm)	29,21
l_u(cm)	3,81	l_u(cm)	3,81	l_u(cm)	8,255	l_u(cm)	8,255	l_u(cm)	8,255
l_l(cm)	3,81	l_l(cm)	3,81	l_l(cm)	8,255	l_l(cm)	8,255	l_l(cm)	8,255
t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525
g_b(cm)	5,715	g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	11,43	g_b(cm)	11,43	g_b(cm)	11,43
g_c(cm)	6,35	g_c(cm)	8,89	g_c(cm)	6,5354	g_c(cm)	6,5354	g_c(cm)	6,5354
c_u(cm)	3,81	c_u(cm)	3,81	c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,175
c_l(cm)	3,81	c_l(cm)	3,81	c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,175
q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	7,62	q_b(cm)	7,62	q_b(cm)	7,62

TEST A-11		TEST A-12		TEST A-13		TEST A-14		TEST A-15	
l_p(cm)	29,21	l_p(cm)	21,59	l_p(cm)	29,21	l_p(cm)	29,21	l_p(cm)	29,21
l_u(cm)	8,255	l_u(cm)	4,445	l_u(cm)	8,255	l_u(cm)	8,255	l_u(cm)	8,255
l_l(cm)	8,255	l_l(cm)	4,445	l_l(cm)	8,255	l_l(cm)	8,255	l_l(cm)	8,255
t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	0,9525
g_b(cm)	11,43	g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	8,89
g_c(cm)	6,5354	g_c(cm)	6,6853	g_c(cm)	5,2603	g_c(cm)	5,2603	g_c(cm)	6,5303
c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,175
c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,175
q_b(cm)	7,62	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35

TEST A-16		TEST A-17		TEST A-18	
l_p(cm)	29,21	l_p(cm)	36,83	l_p(cm)	39,99
l_u(cm)	8,255	l_u(cm)	8,255	l_u(cm)	2,8499
l_l(cm)	8,255	l_l(cm)	8,255	l_l(cm)	2,8499
t_a(cm)	0,9525	t_a(cm)	1,1125	t_a(cm)	1,5001
g_b(cm)	5,715	g_b(cm)	8,89	g_b(cm)	9
g_c(cm)	6,5303	g_c(cm)	6,477	g_c(cm)	6,0449
c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	3,175	c_u(cm)	5
c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	3,175	c_l(cm)	5
q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6,35	q_b(cm)	6

3.3 Τιμές Δύναμης-Στροφής (targets)

Αποτελέσματα της έρευνας (targets) για κάθε ένα από τα test φαίνονται στους παρακάτω πίνακες, πιο συγκεκριμένα καταγράφουμε 10 τιμές διαφόρων δυνάμεων που ασκήσαμε στην δοκό και τις αντίστοιχες τιμές της στροφής που δημιουργείται.

TEST A-1		**TEST A-2**		**TEST A-3**	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
7,19	0,608	7,19	0,608	51,37	0,291
14,38	1,216	14,38	1,216	102,74	0,582
21,57	1,824	21,57	1,824	154,11	0,873
28,76	2,432	28,76	2,432	205,48	1,164
35,95	3,04	35,95	3,04	256,85	1,455
43,14	3,648	43,14	3,648	308,22	1,746
50,33	4,256	50,33	4,256	359,59	2,037
57,52	4,864	57,52	4,864	410,96	2,328
64,71	5,472	64,71	5,472	462,33	2,619
71,9	6,08	71,9	6,08	513,7	2,91

TEST A-4		TEST A-5		TEST A-6	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
91,96	0,357	116,03	0,189	174,32	0,102
183,92	0,714	232,06	0,378	348,64	0,204
275,88	1,071	348,09	0,567	522,96	0,306
367,84	1,428	464,12	0,756	697,28	0,408
459,8	1,785	580,15	0,945	871,6	0,51
551,76	2,142	696,18	1,134	1045,9	0,612
643,72	2,499	812,21	1,323	1220,2	0,714
735,68	2,856	928,24	1,512	1394,5	0,816
827,64	3,213	1044,2	1,701	1568,8	0,918
919,6	3,57	1160,3	1,89	1743,2	1,02

TEST A-7		TEST A-8		TEST A-9	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
259,39	0,085	211,66	0,418	176,35	0,464
518,78	0,17	423,32	0,836	352,7	0,928
778,17	0,255	634,98	1,254	529,05	1,392
1037,56	0,34	846,64	1,672	705,4	1,856
1296,95	0,425	1058,3	2,09	881,75	2,32
1556,34	0,51	1269,96	2,508	1058,1	2,784
1815,73	0,595	1481,62	2,926	1234,45	3,248
2075,12	0,68	1693,28	3,344	1410,8	3,712
2334,51	0,765	1904,94	3,762	1587,15	4,176
2593,9	0,85	2116,6	4,18	1763,5	4,64

TEST A-10		TEST A-11		TEST A-12	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
182,38	0,461	188,65	0,722	103,43	0,317
364,76	0,922	377,3	1,444	206,86	0,634
547,14	1,383	565,95	2,166	310,29	0,951
729,52	1,844	754,6	2,888	413,72	1,268
911,9	2,305	943,25	3,61	517,15	1,585
1094,28	2,766	1131,9	4,332	620,58	1,902
1276,66	3,227	1320,55	5,054	724,01	2,219
1459,04	3,688	1509,2	5,776	827,44	2,536
1641,42	4,149	1697,85	6,498	930,87	2,853
1823,8	4,61	1886,5	7,22	1034,3	3,17

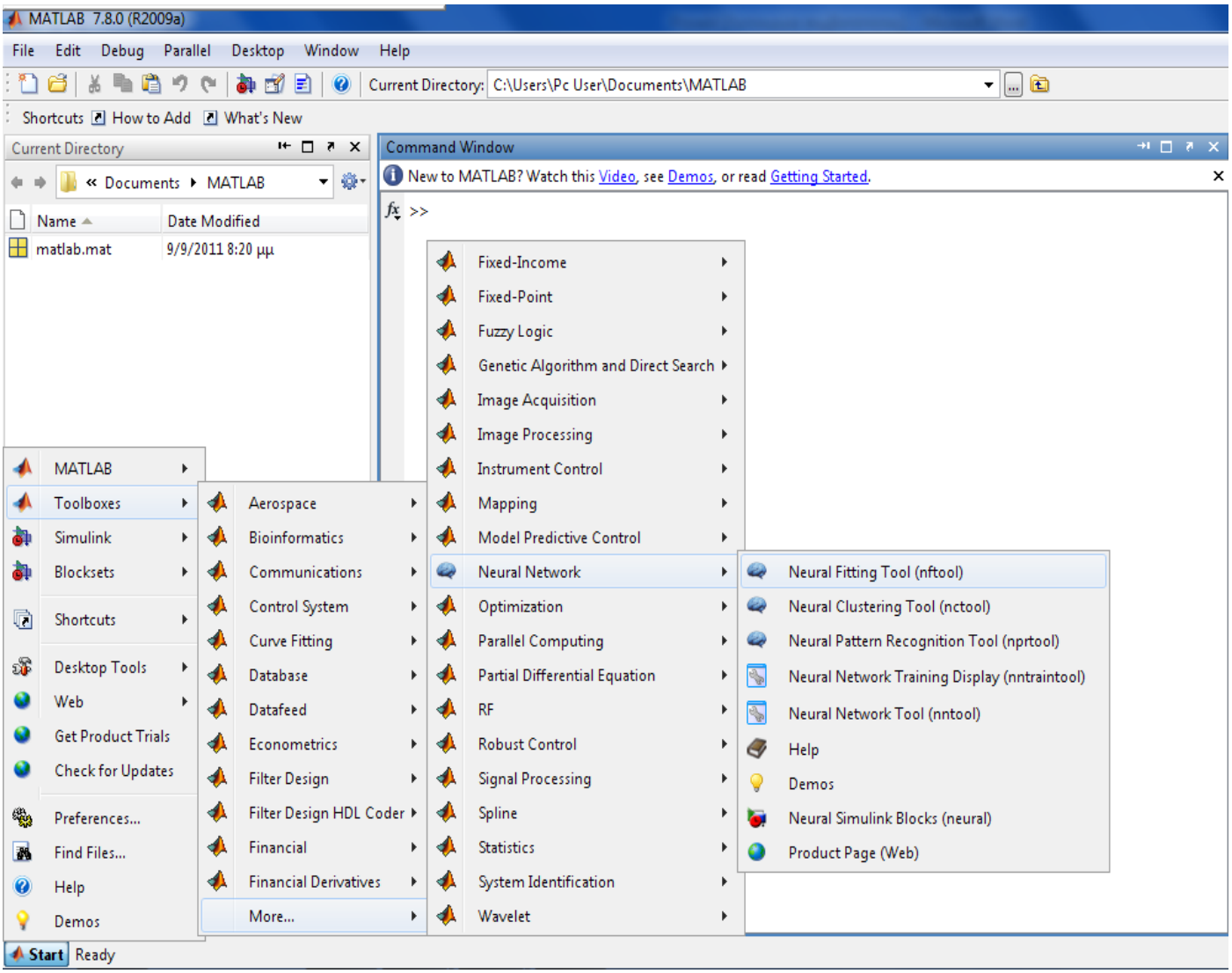
TEST A-13		TEST A-14		TEST A-15	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
208,36	0,403	206,33	0,452	161,4	0,143
416,72	0,806	412,66	0,904	322,8	0,286
625,08	1,209	618,99	1,356	484,2	0,429
833,44	1,612	825,32	1,808	645,6	0,572
1041,8	2,015	1031,65	2,26	807	0,715
1250,16	2,418	1237,98	2,712	968,4	0,858
1458,52	2,821	1444,31	3,164	1129,8	1,001
1666,88	3,224	1650,64	3,616	1291,2	1,144
1875,24	3,627	1856,97	4,068	1452,6	1,287
2083,6	4,03	2063,3	4,52	1614	1,43

TEST A-16		TEST A-17		TEST A-18	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
161,22	0,202	251,23	0,14	298,22	0,148
322,44	0,404	502,46	0,28	596,44	0,296
483,66	0,606	753,69	0,42	894,66	0,444
644,88	0,808	1004,92	0,56	1192,88	0,592
806,1	1,01	1256,15	0,7	1491,1	0,74
967,32	1,212	1507,38	0,84	1789,32	0,888
1128,54	1,414	1758,61	0,98	2087,54	1,036
1289,76	1,616	2009,84	1,12	2385,76	1,184
1450,98	1,818	2261,07	1,26	2683,98	1,332
1612,2	2,02	2512,3	1,4	2982,2	1,48

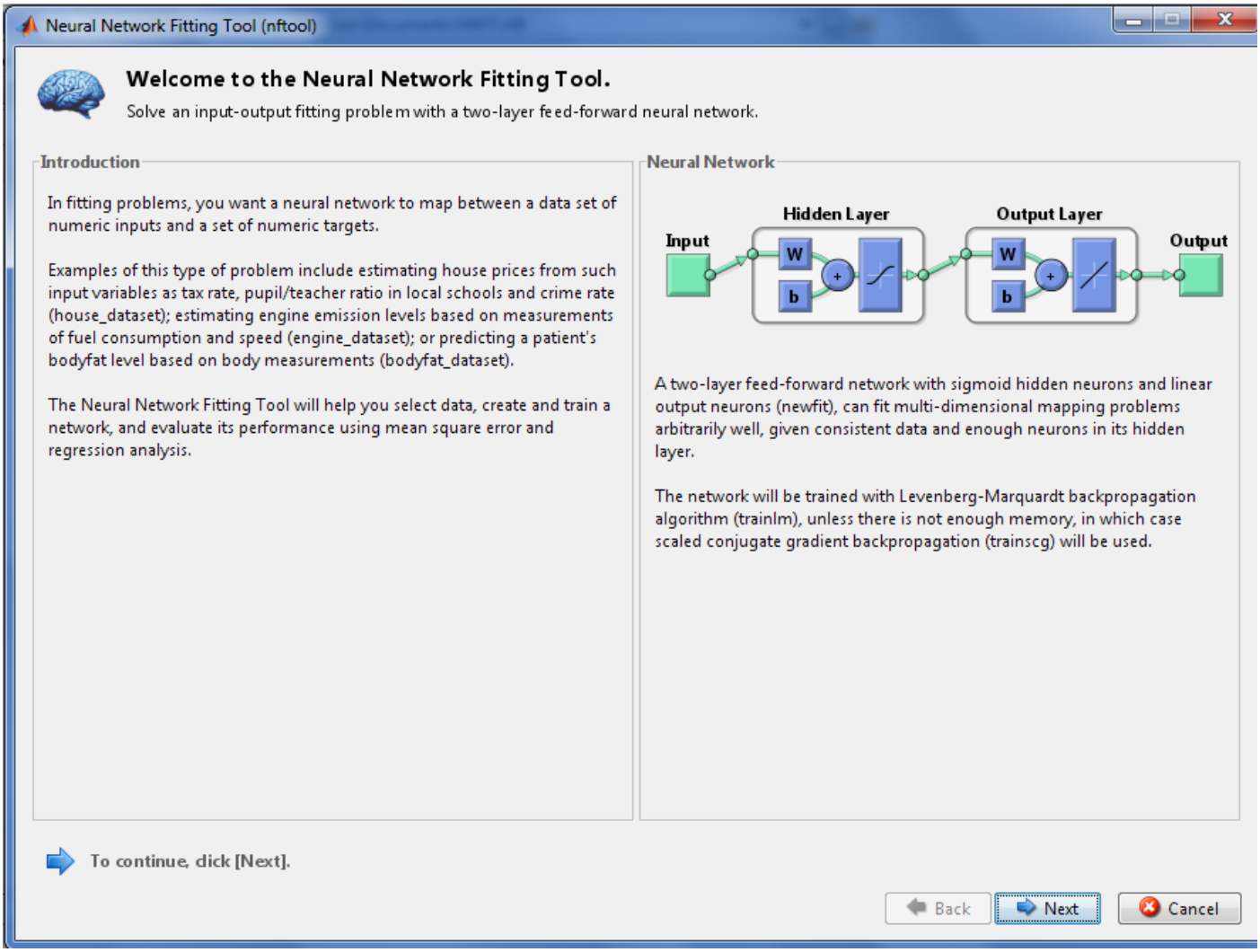
4. Neural Network Fitting Tool

Χρησιμοποιούμε το ακόλουθο πρόγραμμα ως εξής:

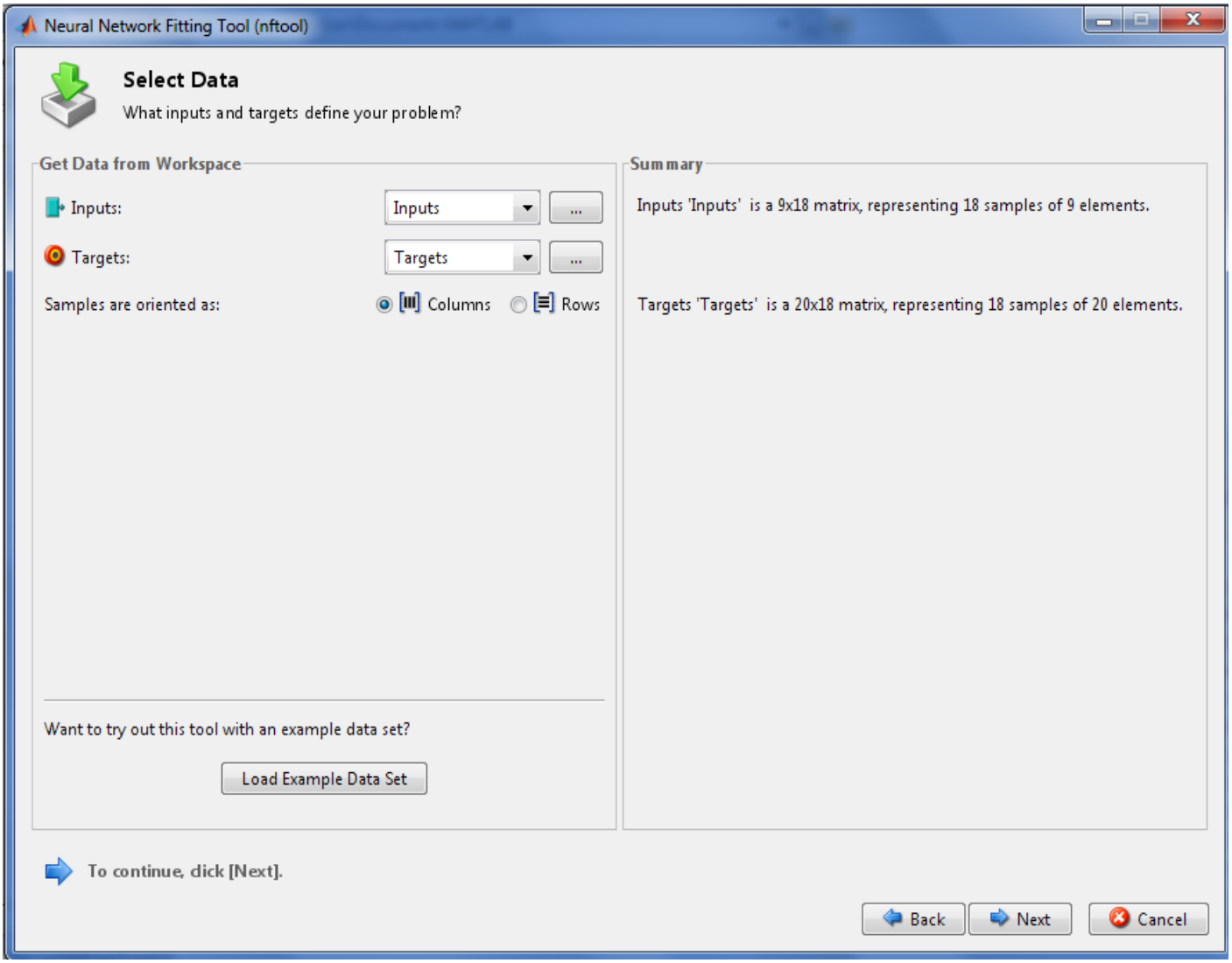
Αρχικά ανοίγουμε την Matlab και πατάμε το εικονίδιο Start που βρίσκετε κάτω αριστερά στη οθόνη μας και στην συνέχεια επιλέγουμε το Neural Network Fitting Tool μέσω των Toolbox της Matlab. Η διαδικασία φαίνεται και παρακάτω.



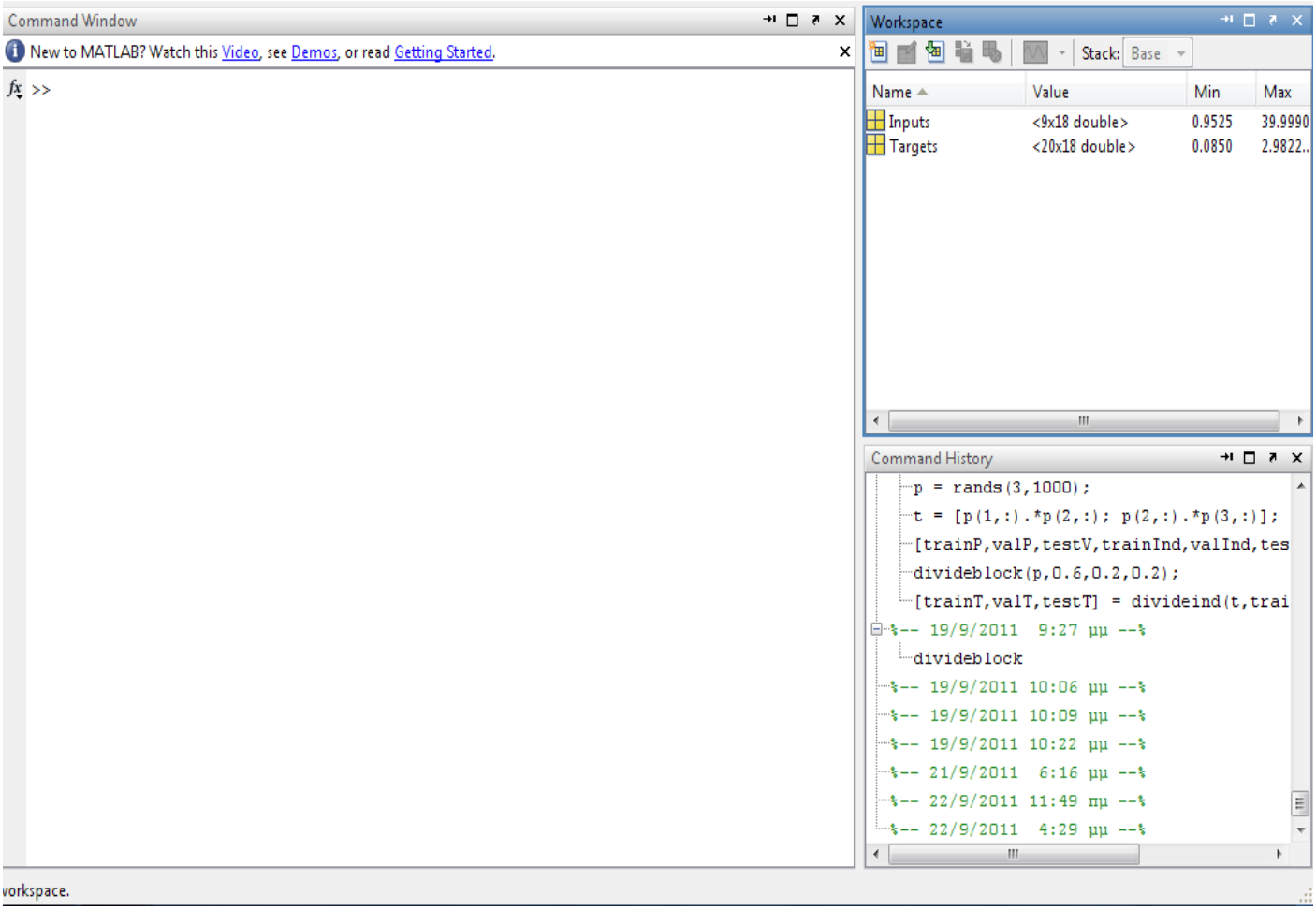
Αμέσως μεταφερόμαστε στο ακόλουθο πρόγραμμα. Μπορούμε πιο εύκολα με την εντολή nftool να κάνουμε το ίδιο.



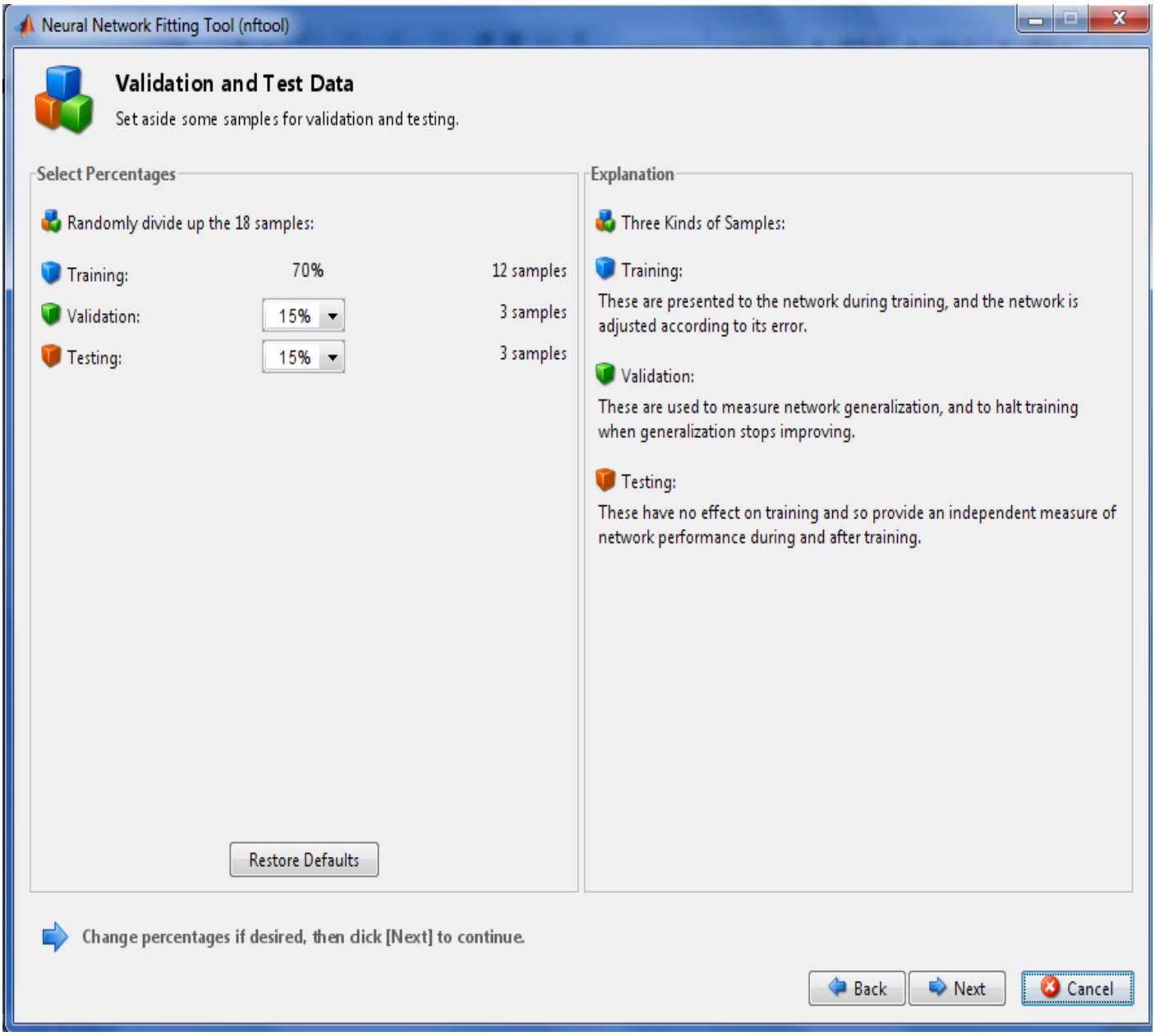
Εν συνεχεία, το πρόγραμμα μας ζητά να εισάγουμε τα δεδομένα. Τα οποία είναι δύο πίνακες, ο πρώτος που αντιστοιχεί στα δεδομένα εισόδου μεγέθους 9x18 και ο δεύτερος που αντιστοιχεί στα δεδομένα εξόδου μεγέθους 20x18.



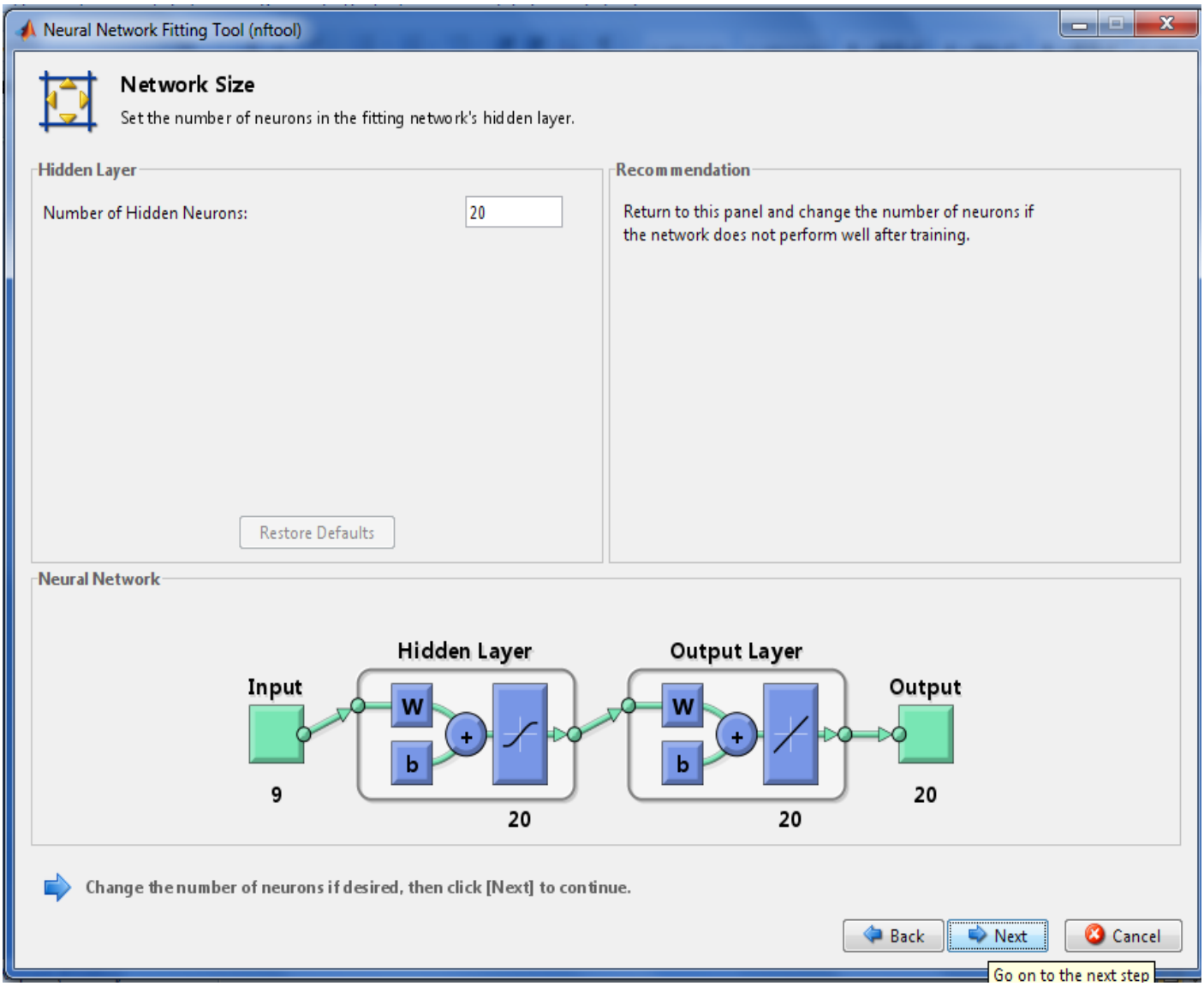
Για την εισαγωγή αυτών των πινάκων επιστρέφουμε στην αρχική μας σελίδα, και συγκεκριμένα στον πίνακα workspace όπου και δημιουργούμε αυτούς τους δύο πίνακες.



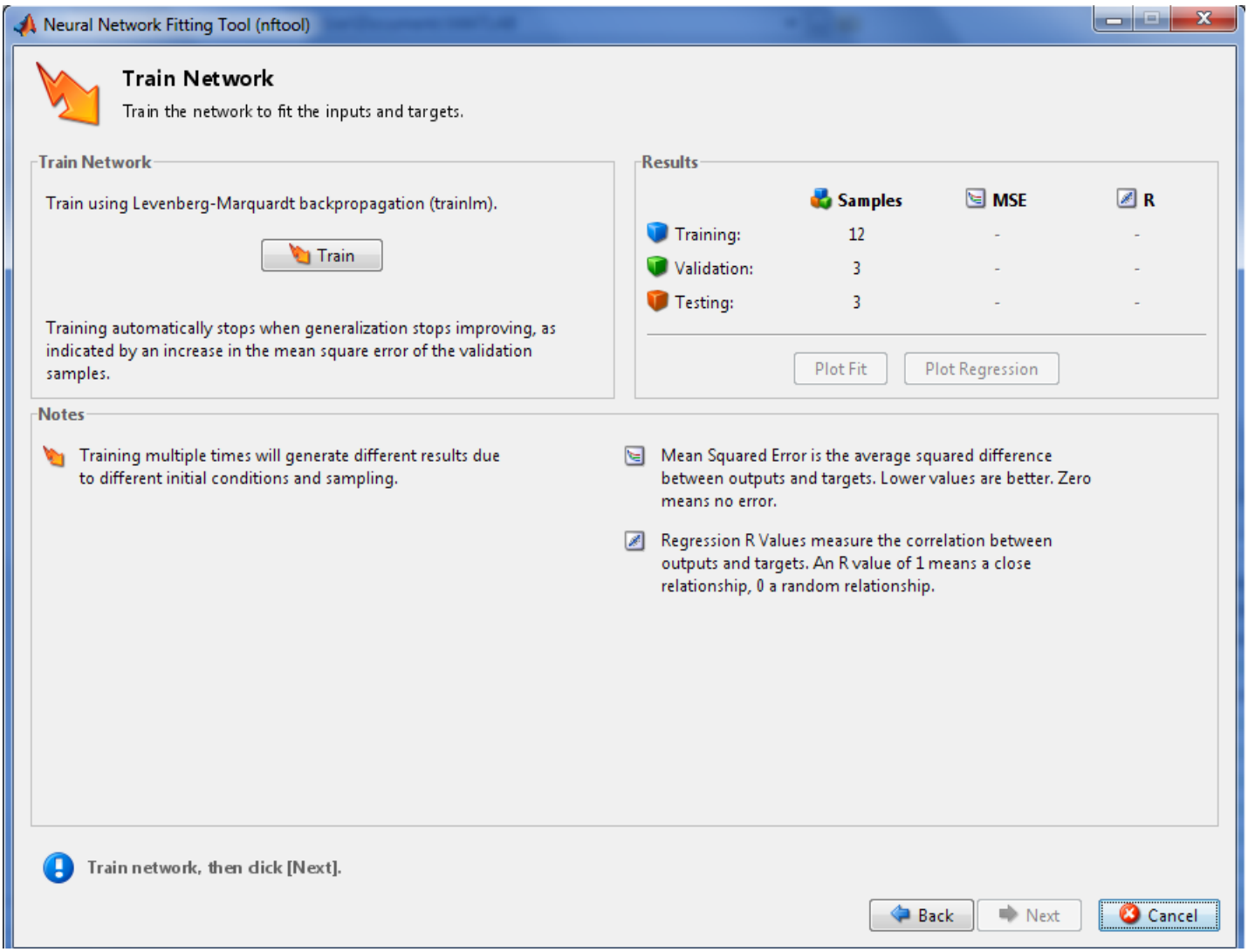
Εν συνεχεία, αφού έχουμε εισάγει τους πίνακες προχωράμε στο επόμενο βήμα που είναι η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου μας. Πιο συγκεκριμένα το δίκτυο χρησιμοποιεί το 70% των παραδειγμάτων μας για εκπαίδευση, το 15% για επικύρωση η οποία είναι υπεύθυνη και για τον τερματισμό της εκπαίδευσης και τέλος το υπόλοιπο 15% χρησιμοποιείται για τον τελικό έλεγχο του δικτύου μας. Η διαδικασία γίνεται καλύτερα αντιληπτή αργότερα με τα διάφορα γραφήματα που παρουσιάζονται.



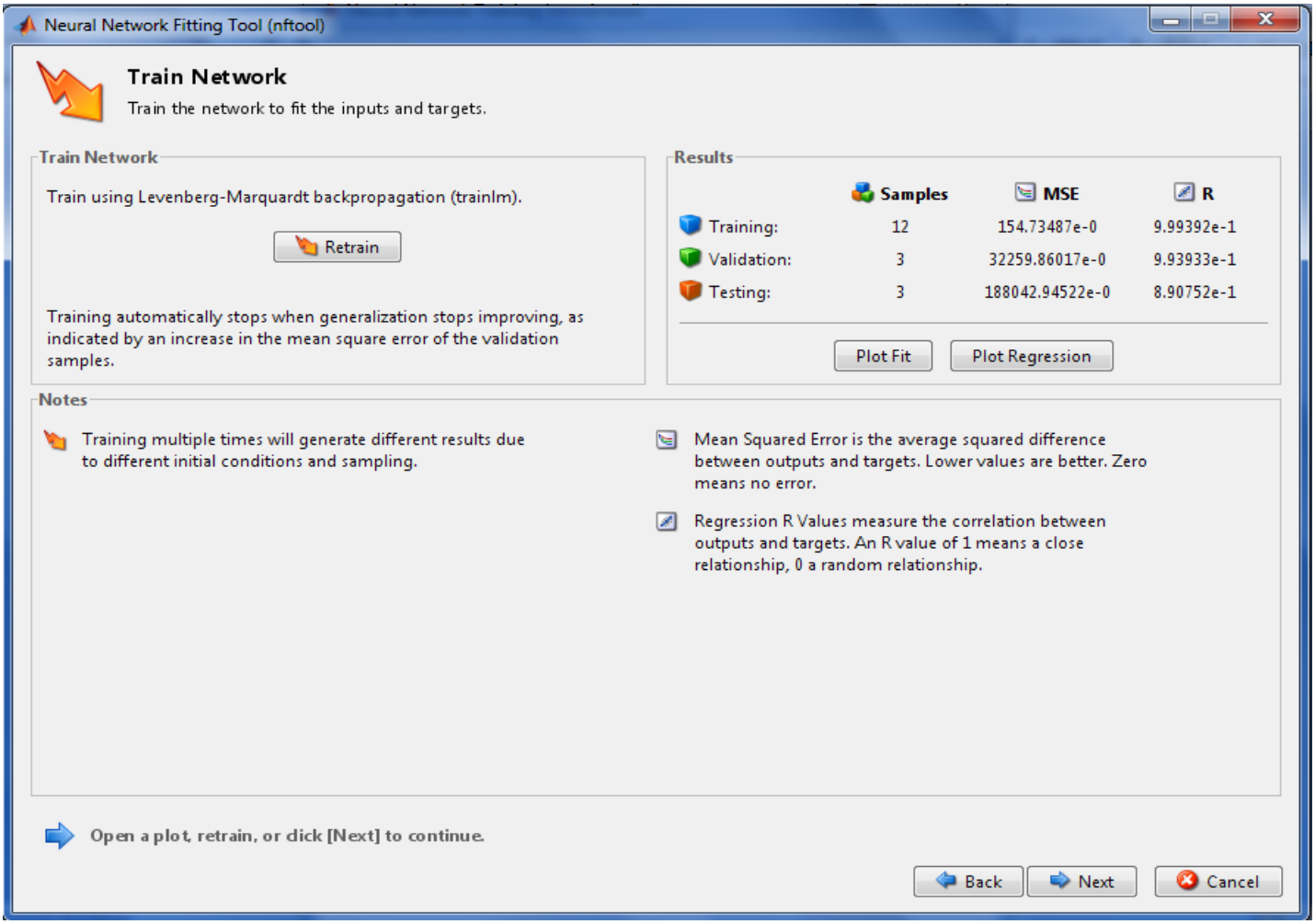
Σε επόμενο βήμα παρατηρούμε πως είναι σχεδιαστικά το νευρωνικό μας δίκτυο, στο οποίο σαν αριθμό εισόδου έχουμε 9 στοιχεία-δεδομένα και ως έξοδο έχουμε 20. Εσωτερικά το δίκτυο μας αποτελείται από δύο φύλλα (layers) όπου το καθένα αποτελείται από 20 νευρώνες, έχουμε την δυνατότητα να επέμβουμε στον αριθμό των νευρώνων, στο παράδειγμα μας όμως το αφήνουμε ως έχει.



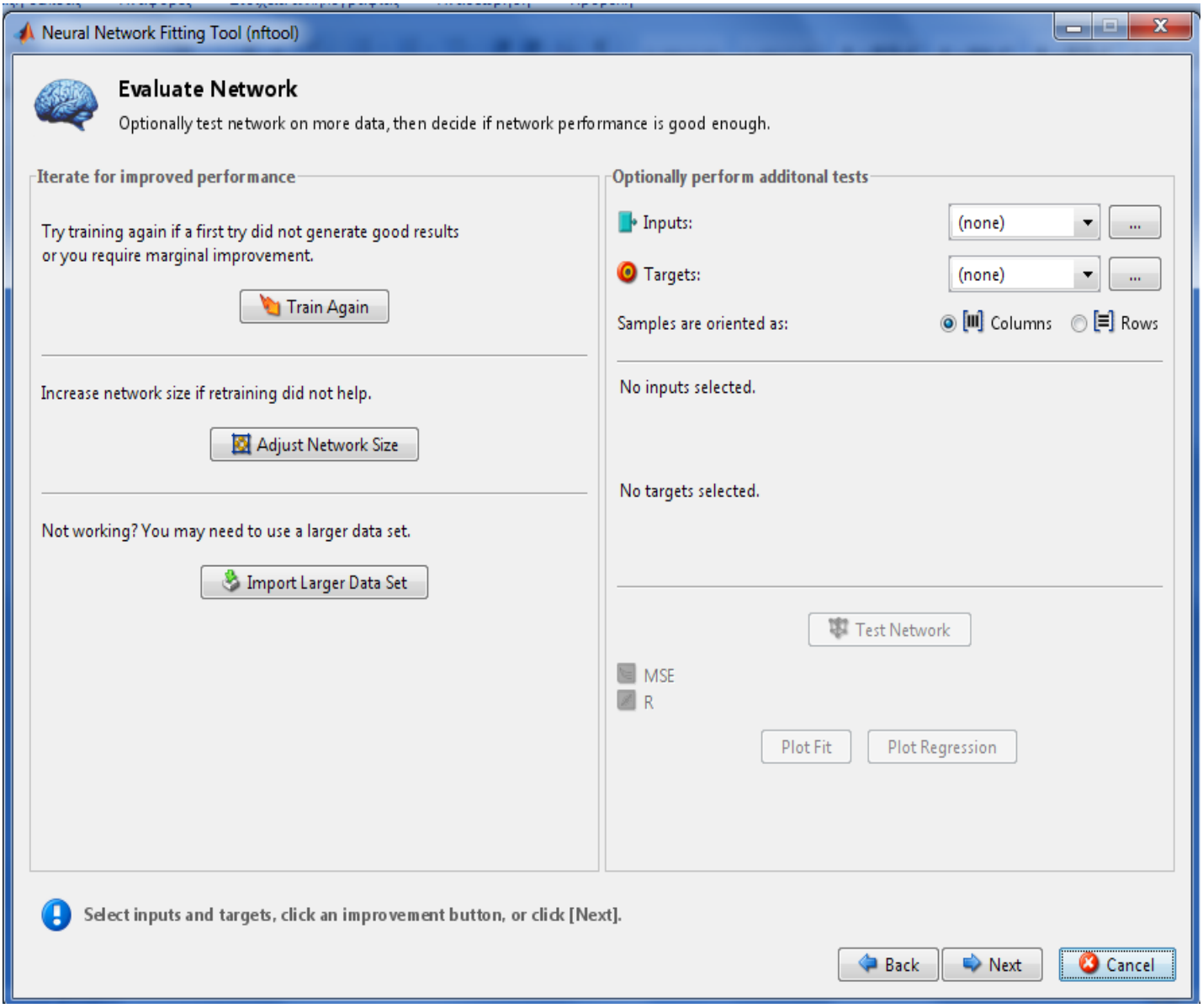
Αφού επιλέξαμε τον απαραίτητο αριθμό νευρώνων προχωράμε στην επόμενη φάση που είναι η εκπαίδευση του νευρωνικού μας δικτύου. Πατώντας την επιλογή train ξεκινάει η διαδικασία εκπαίδευσης αυτού.



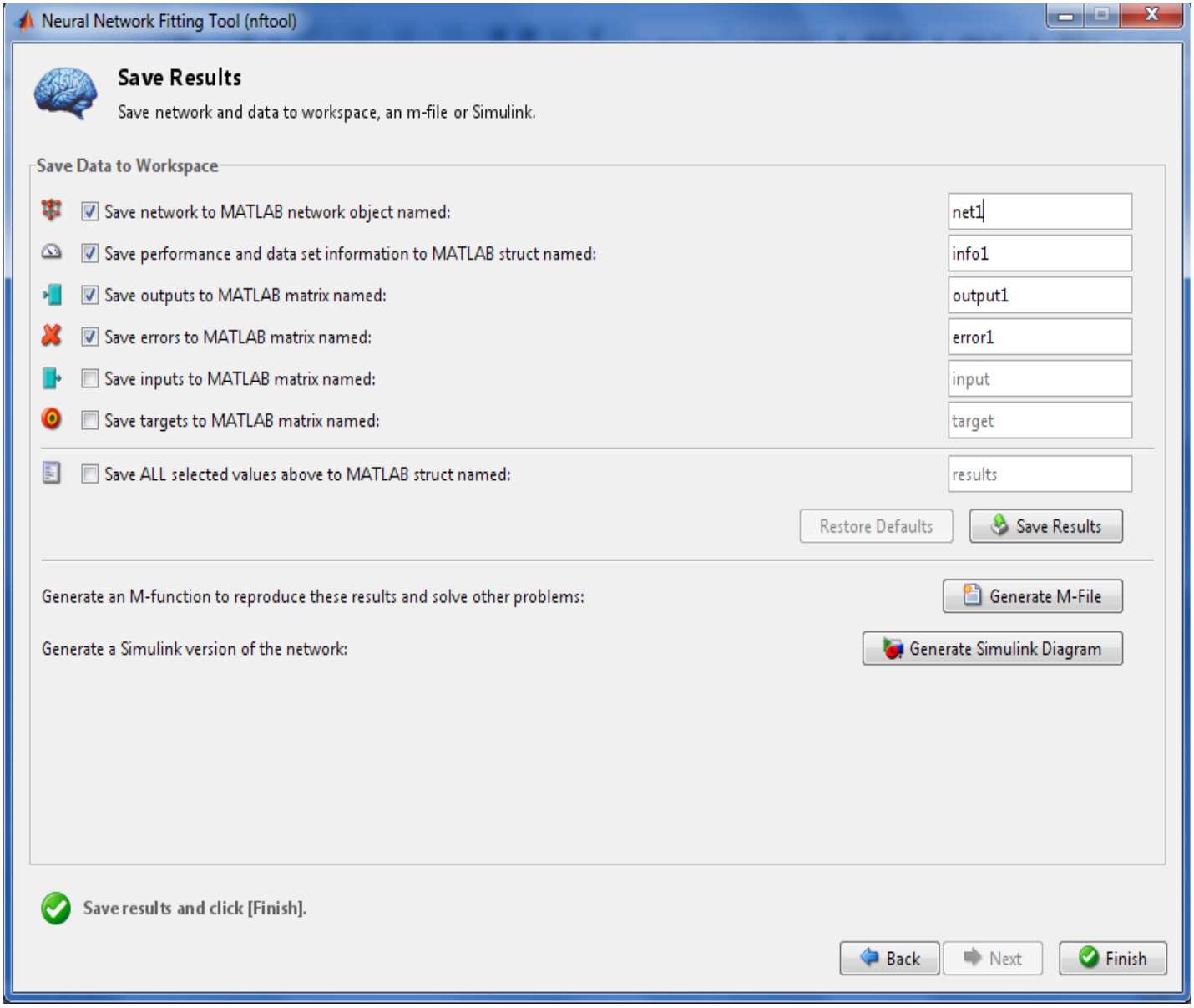
Μετά από μερικά δευτερόλεπτα το δίκτυο είναι πλέον εκπαιδευμένο και εμφανίζει τα ακόλουθα αποτελέσματα. Όπου MSE(Mean squared error) είναι η μέση διαφορά μεταξύ των outputs και των targets μας στο τετράγωνο. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές αυτές τόσο το καλύτερο, ενώ αν έχουμε μηδενική διαφορά μεταξύ αυτών τότε δεν έχουμε λάθη (errors). Η παράμετρος R(Regression value) υπολογίζει την σχέση μεταξύ outputs και targets. Μια τιμή του R κοντά στο 1 σημαίνει ότι έχουν πολύ κοντινή σχέση, ενώ μια τιμή κοντά στο 0 σημαίνει ότι η σχέση μεταξύ τους είναι τυχαία. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να επανεκπαιδεύσουμε το δίκτυο μας αν τα αποτελέσματα αυτά δεν μας ικανοποιούν.



Σε αυτό το στάδιο έχουμε την δυνατότητα να επηρεάσουμε όλες τις προηγούμενες παραμέτρους ξεκινώντας ξανά από την εκπαίδευση του δικτύου, την ρύθμιση των νευρώνων αυτού και τέλος την εισαγωγή μεγαλύτερου αριθμού δεδομένων για καλύτερα αποτελέσματα.



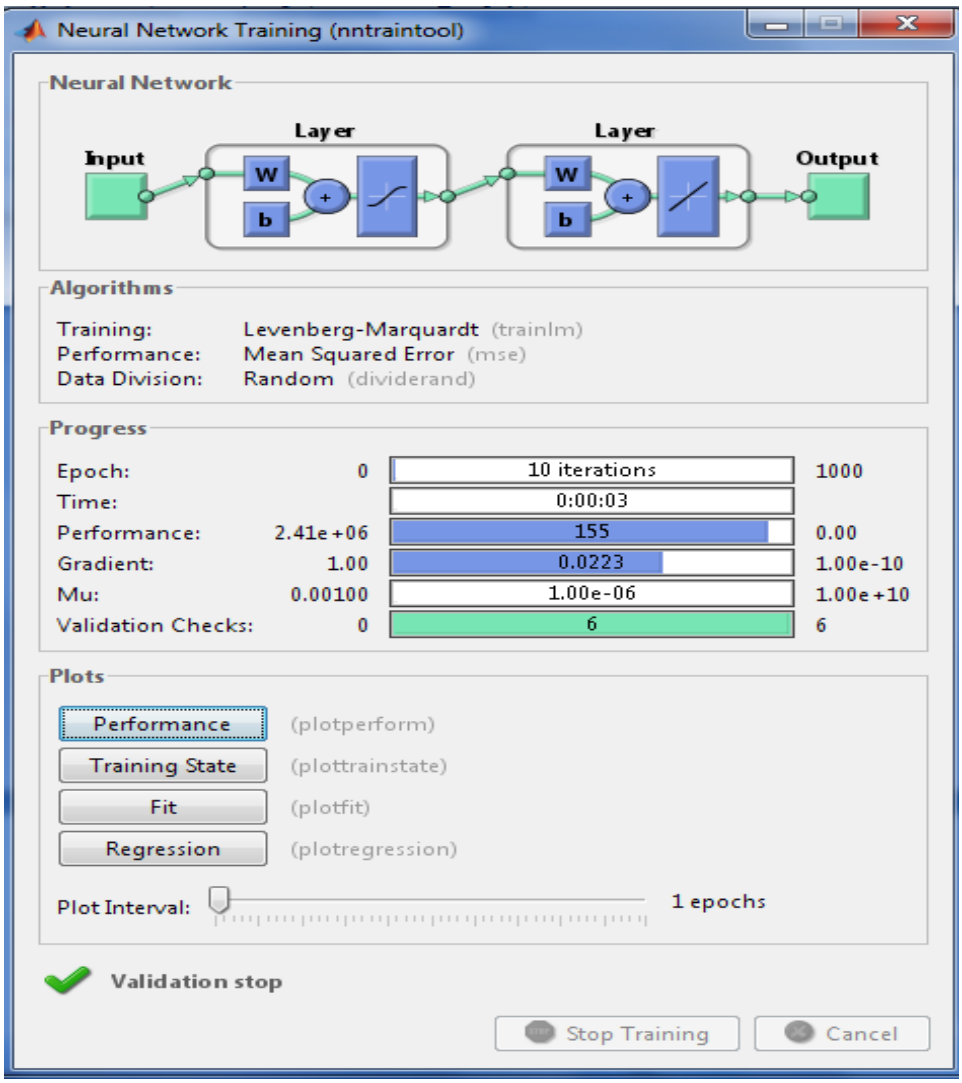
Τέλος, έχουμε την αποθήκευση των αποτελεσμάτων μας στο αρχικό μας παράθυρο workspace.



Κατά την διαδικασία της εκπαίδευσης εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο, όπου αρχικά παρουσιάζεται το νευρωνικό μας δίκτυο. Αμέσως μετά εμφανίζονται οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήσαμε πρώτον για την εκπαίδευση αυτού (αλγόριθμος του Levenberg-Marquart) και δεύτερον για την επίδοση του (Performance) (Mean Squared Error). Τέλος εμφανίζεται η συνάρτηση dividerand που είναι υπεύθυνη για την τυχαία επιλογή των δεδομένων που εισάγαμε αρχικά, δηλαδή των inputs και των targets μας.

Ακολουθούν μερικά αποτελέσματα που αφορούν την διαδικασία εκπαίδευσης όπως ο αριθμός των επαναλήψεων (iterations), ο χρόνος που δαπανήθηκε για την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης, μερικά δεδομένα που αφορούν την επίδοση όπως επίσης και την κλίση (Gradient) καθώς και ο δείκτης Mu και ο αριθμός των επικυρώσεων (Validation checks).

Ως τελικό στάδιο έχουμε την δυνατότητα να δούμε γραφικά κάποια αποτελέσματα.

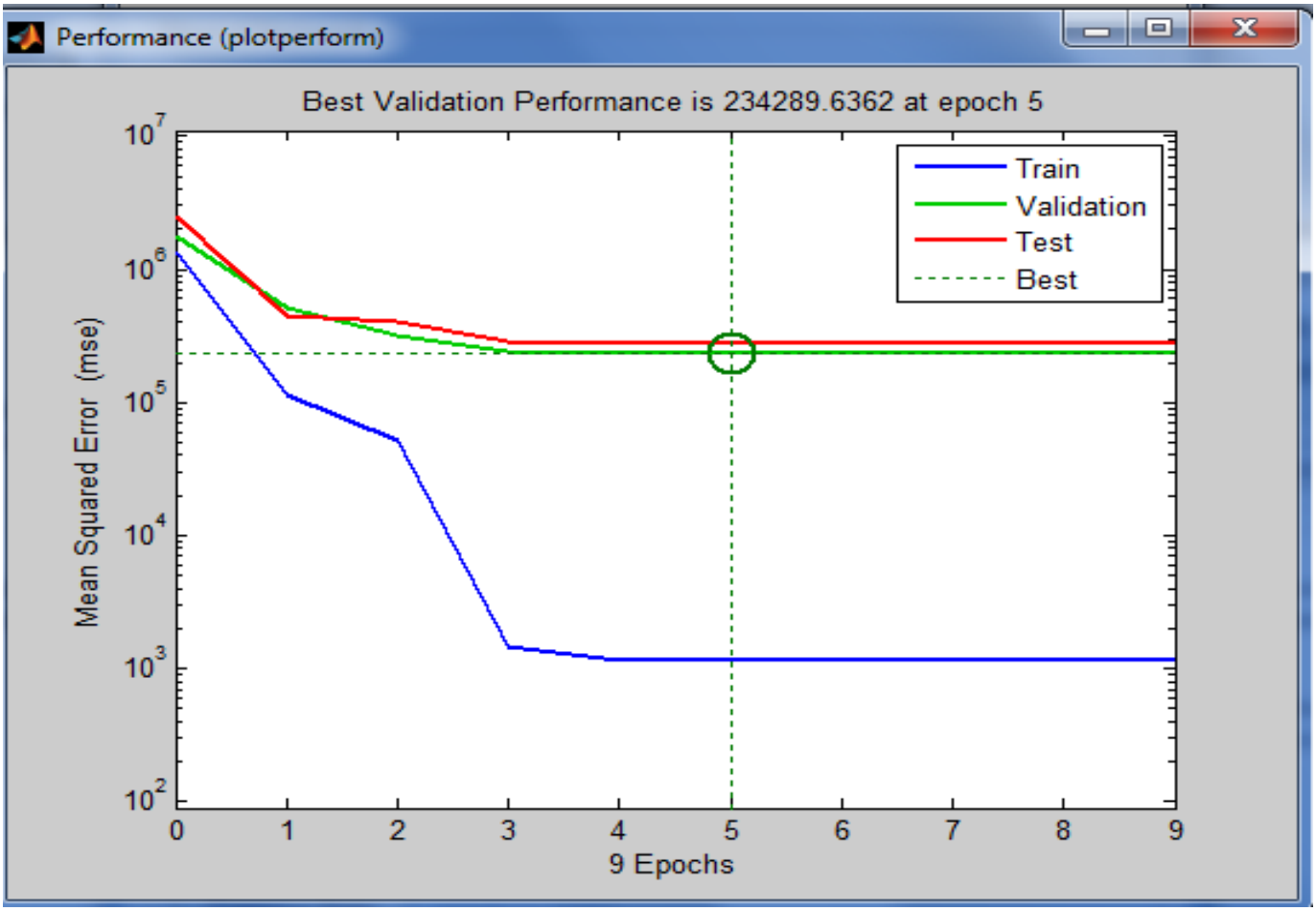


4.1 Διαγράμματα του Νευρωνικού δικτύου

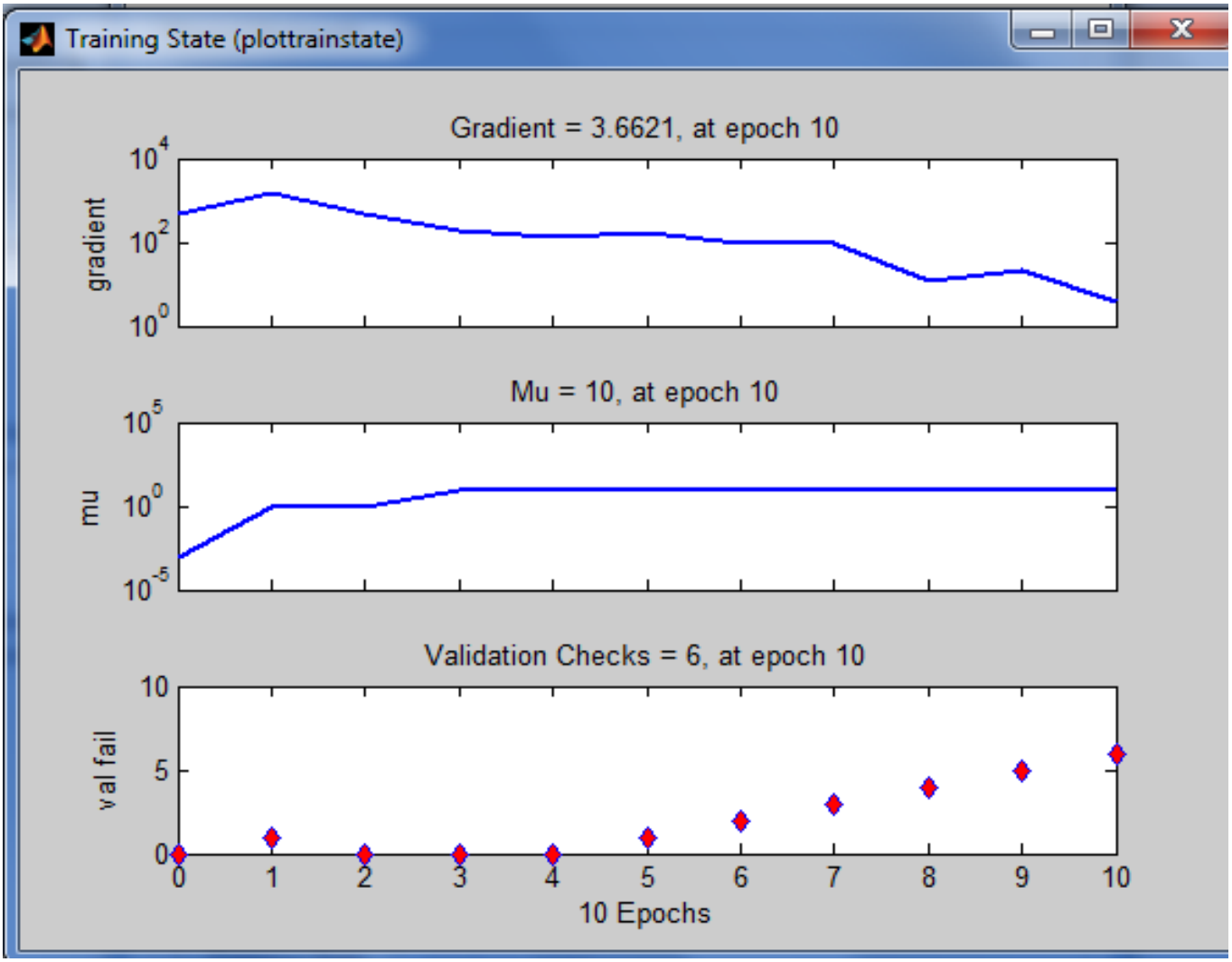
Επιλέγοντας το Performance εμφανίζεται τα ακόλουθο διάγραμμα. Όπου παρουσιάζονται 3 συναρτήσεις, της εκπαίδευσης, της επικύρωσης και του ελέγχου. Επίσης με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται το ιδανικό σημείο της γραφικής παράστασης.

Τα αποτελέσματα φαίνονται λογικά εξαιτίας των παρακάτω:

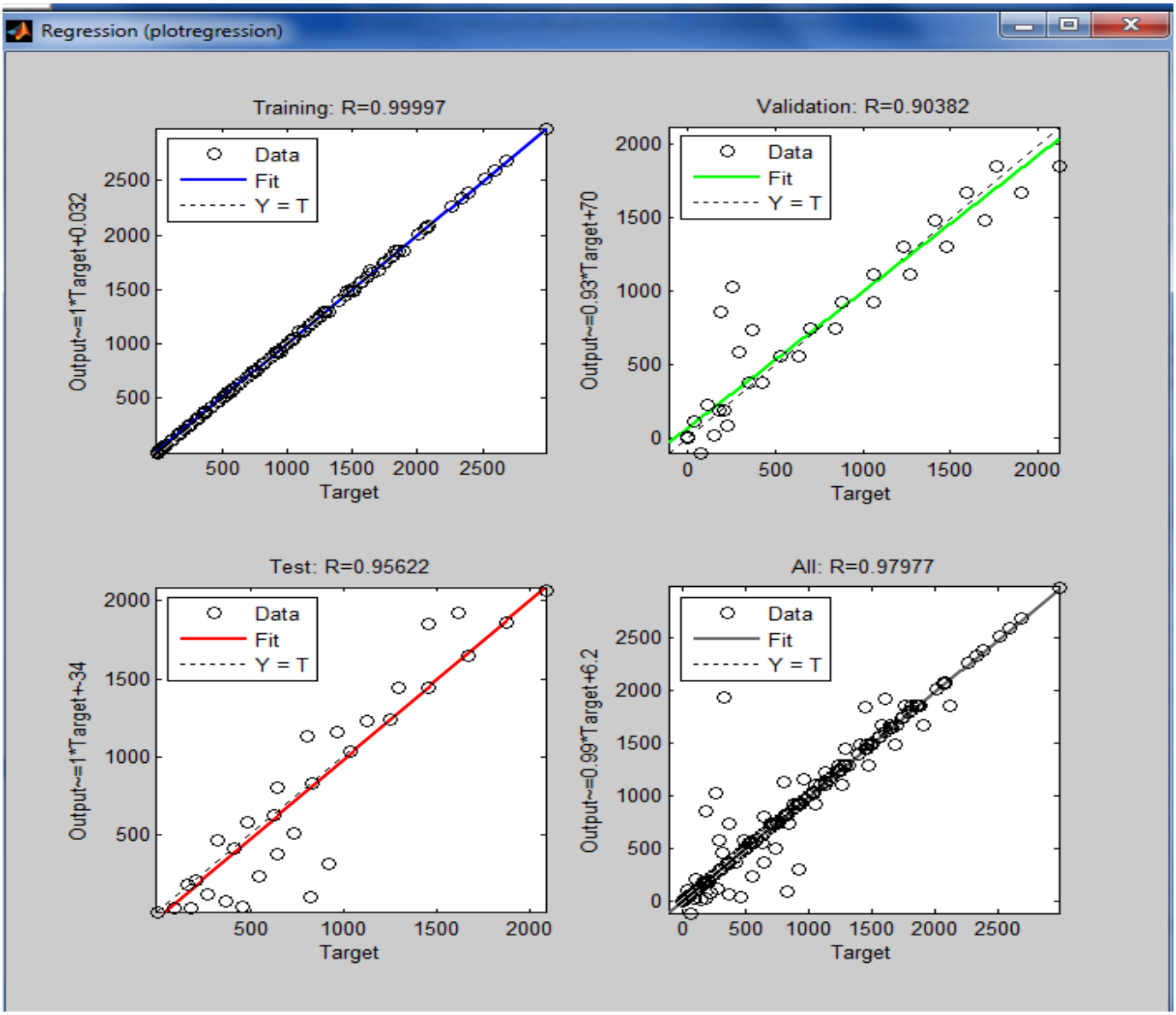
- Το τελικό mean squared error είναι μικρό.
- Η γραμμή της επικύρωσης και η γραμμή του ελέγχου έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.



Πατώντας την επιλογή training state παρουσιάζονται τα ακόλουθα διαγράμματα .Το πρώτο αφορά την κλίση (gradient), το δεύτερο τον δείκτη Mu και το τρίτο την λανθασμένη επικύρωση.



Τέλος επιλέγοντας το Regression παρουσιάζονται το ακόλουθα διαγράμματα. Το πρώτο αφορά στην διαδικασία της εκπαίδευσης, το δεύτερο της επικύρωσης, το τρίτο του ελέγχου και το τέταρτο τα περιλαμβάνει όλα. Μπορούμε να δούμε την ιδανική (fit) ευθεία που έχει κάθε ένα από τα διαγράμματα, αλλά και τα δεδομένα μας (Data) πως αυτά τείνουν να την πλησιάσουν.



4.2 Αποτελέσματα του Νευρωνικού δικτύου(outputs)

Τα αποτελέσματα αυτά έχουν προκύψει μετά την εκπαίδευση του δικτύου μας. Σε αυτό το σημείο μας ενδιαφέρει να δούμε αν αυτά πλησιάζουν τις τιμές που του έχουμε ορίσει αρχικά ως έξοδο(targets).

TEST A-1		**TEST A-2**		**TEST A-3**	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
6,7184	0,608001	37,306	0,188313	51,551	0,291846
13,785	1,217104	74,391	0,376146	102,29	0,581397
20,825	1,82931	111,98	0,56451	154,31	0,874327
29,829	2,430747	150,19	0,751822	206,92	1,163956
34,835	3,043066	185,99	0,939433	254,90	1,452846
46,680	3,651204	224,11	1,130255	307,52	1,74715
50,348	4,269905	259,71	1,318287	358,18	2,039438
57,553	4,864485	298,16	1,505633	412,72	2,328571
64,318	5,478211	335,86	1,691789	463,08	2,614177
71,397	6,092477	371,45	1,88788	511,87	2,914277

TEST A-4		TEST A-5		TEST A-6	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
92,017	0,356736	113,72	0,15209	174,17	0,101279
184,00	0,713281	204,48	0,420884	349,04	0,202797
274,27	1,071858	395,16	0,52286	521,53	0,305603
368,40	1,427572	463,94	0,721842	697,64	0,40696
457,45	1,791534	592,28	0,931556	870,77	0,516389
554,09	2,137649	734,08	1,192782	1047,4	0,608339
639,94	2,496438	834,11	1,56146	1217,0	0,710358
736,32	2,858547	940,08	1,537368	1393,5	0,820126
824,11	3,208493	1021,4	1,859075	1565,5	0,916358
914,91	3,578188	1108,4	2,096358	1739,8	1,026421

TEST A-7		TEST A-8		TEST A-9	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
259,60	0,08538	197,299	0,439751	197,29	0,439751
518,85	0,16964	395,83	0,878368	395,83	0,878368
778,72	0,253653	592,100	1,315866	592,10	1,315866
1038,8	0,338723	787,743	1,756084	787,74	1,756084
1296,7	0,422081	986,410	2,190629	986,41	2,190629
1554,7	0,512794	1177,80	2,641501	1177,8	2,641501
1815,6	0,59491	1381,67	3,0855	1381,6	3,0855
2073,8	0,68116	1568,69	3,521653	1568,6	3,521653
2335,3	0,766446	1775,93	3,952908	1775,9	3,952908
2593,8	0,855198	1972,55	4,410465	1972,5	4,410465

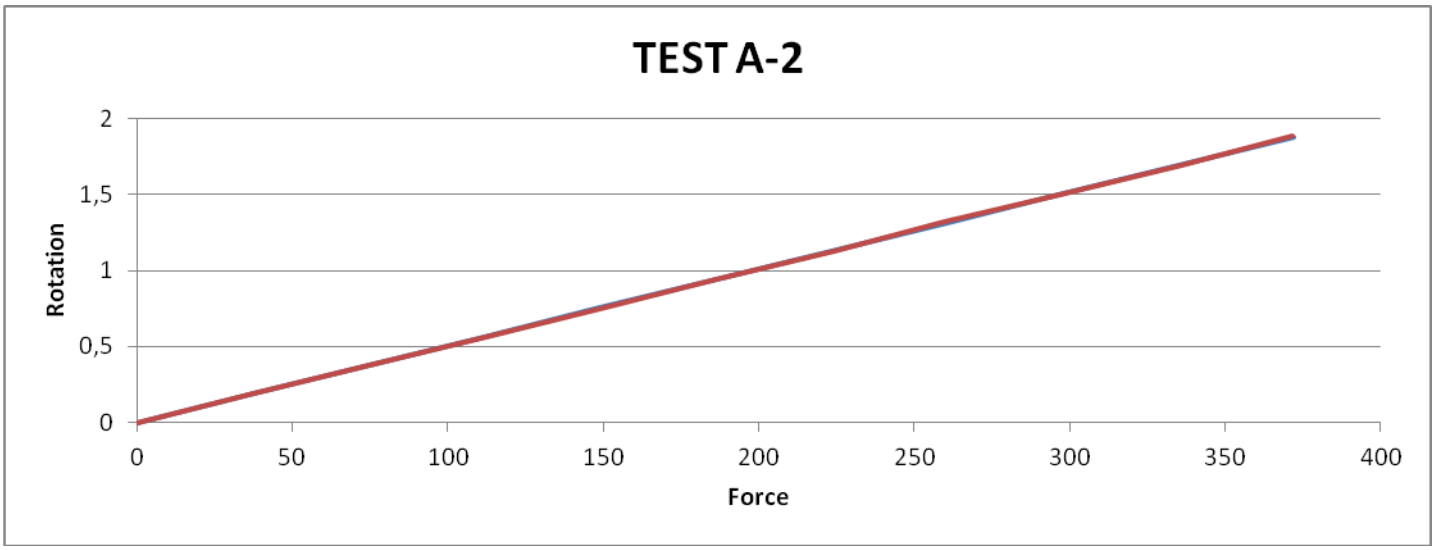
TEST A-10		TEST A-11		TEST A-12	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
197,29	0,439751	197,2992	0,439751	103,08	0,316974
395,83	0,878368	395,83	0,878368	206,79	0,633594
592,10	1,315866	592,1008	1,315866	310,25	0,952667
787,74	1,756084	787,7438	1,756084	414,30	1,266346
986,41	2,190629	986,4103	2,190629	518,55	1,584605
1177,8	2,641501	1177,803	2,641501	621,69	1,90483
1381,6	3,0855	1381,674	3,0855	723,04	2,225871
1568,6	3,521653	1568,698	3,521653	826,74	2,539225
1775,9	3,952908	1775,93	3,952908	930,79	2,852219
1972,5	4,410465	1972,554	4,410465	1034,8	3,175174

TEST A-13		TEST A-14		TEST A-15	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
235,91	0,403	215,9167	0,442	160,44	0,143066
360,99	0,806	377,9947	0,884	322,41	0,28947
502,01	1,209	517,0165	1,256	482,67	0,439738
818,68	1,612	805,6818	1,708	648,05	0,573795
958,37	2,015	978,3783	2,116	802,18	0,725718
1112,8	2,418	1026,859	2,612	974,34	0,864141
1255,8	2,821	1285,859	3,054	1134,9	1,025764
1323,1	3,224	1303,198	3,416	1289,6	1,148094
1605,7	3,627	1505,755	3,868	1454,9	1,305297
1964,5	4,03	1764,515	4,33	1616,4	1,461778

TEST A-16		TEST A-17		TEST A-18	
Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000	Δύναμη (Kg/m)	Στροφή (radians) X 1/1000
161,43	0,202088	230,7605	0,210403	297,86	0,14696
322,46	0,403688	466,025	0,267384	596,92	0,297987
481,07	0,606394	551,9095	0,387283	894,59	0,447977
642,49	0,806209	1002,821	0,611005	1197,9	0,587055
801,36	1,014563	1340,142	0,770526	1493,5	0,74343
972,31	1,203619	1466,578	1,167104	1786,9	0,900798
1127,1	1,413764	1527,139	1,205256	2093,2	1,052211
1288,1	1,616878	1717,317	1,25661	2379,3	1,189088
1444,7	1,813494	2277,97	1,351934	2687,9	1,354301
1610,3	2,025005	2490,333	1,661806	2983,7	1,510798

4.4 Γραφική σύγκριση outputs με targets

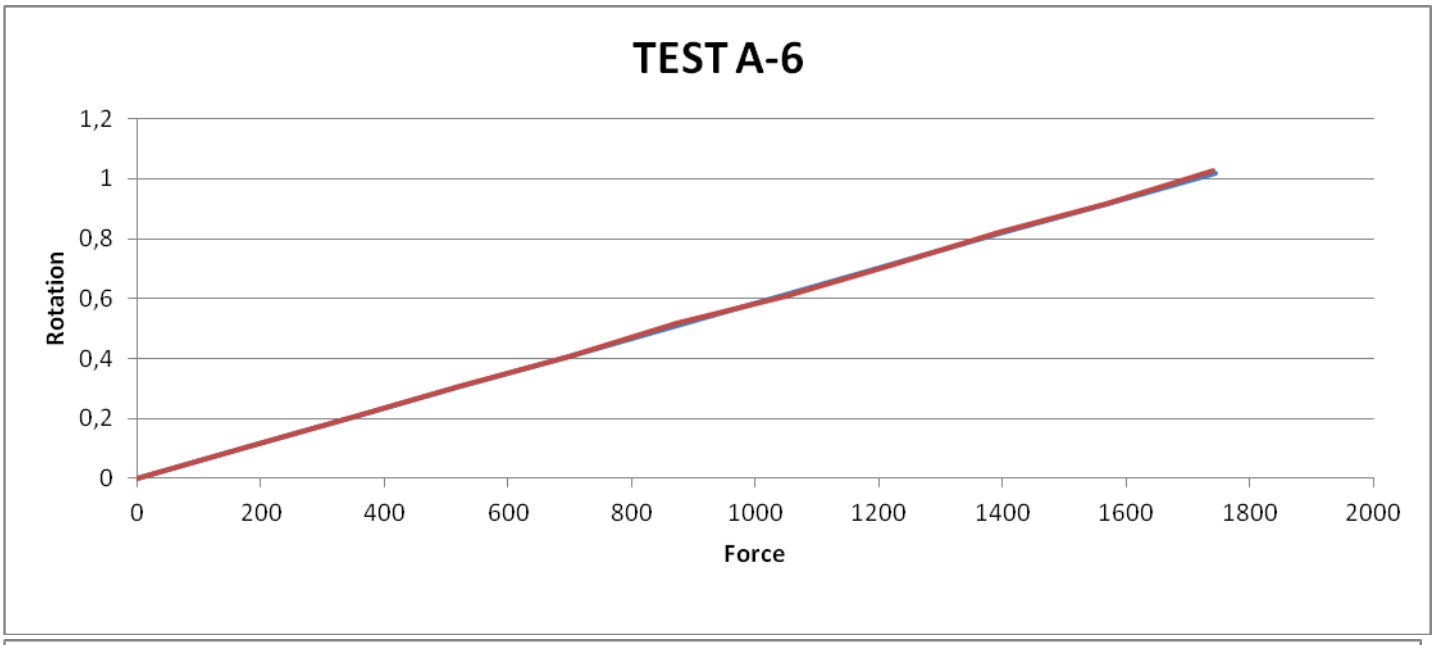
Παρατηρούμε την γραφική σύγκριση των αποτελεσμάτων του νευρωνικού δικτύου (outputs) με κόκκινη γραμμή με τα δεδομένα που εμείς έχουμε ορίσει ως επιθυμητό στόχο (targets) με την μπλε γραμμή.

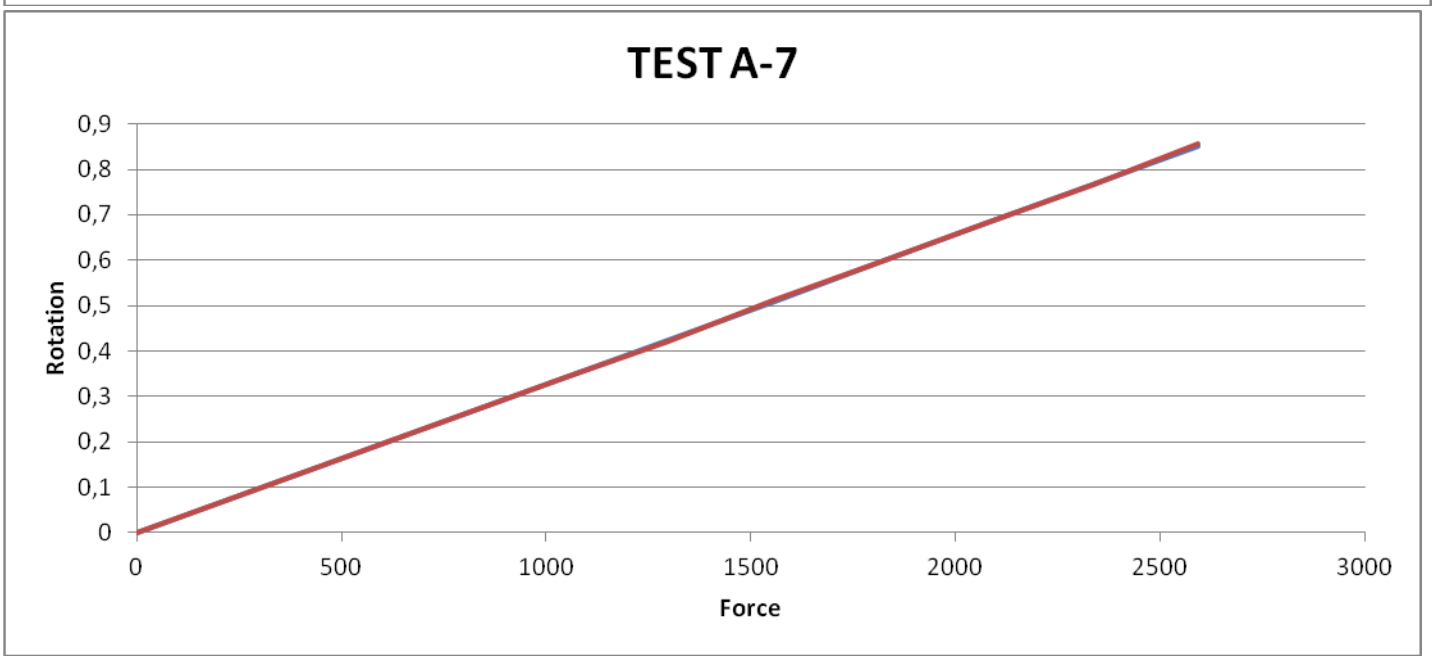


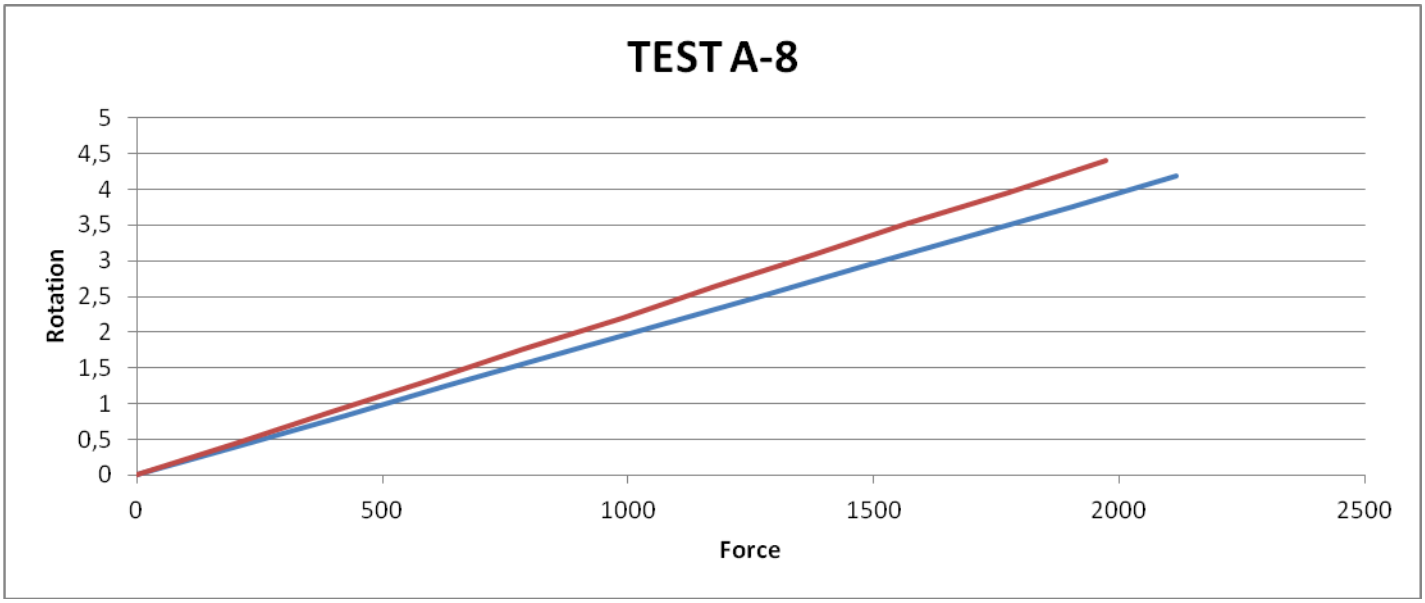
TEST A-3
Rotation
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
100
200
300
400
500
600
Force

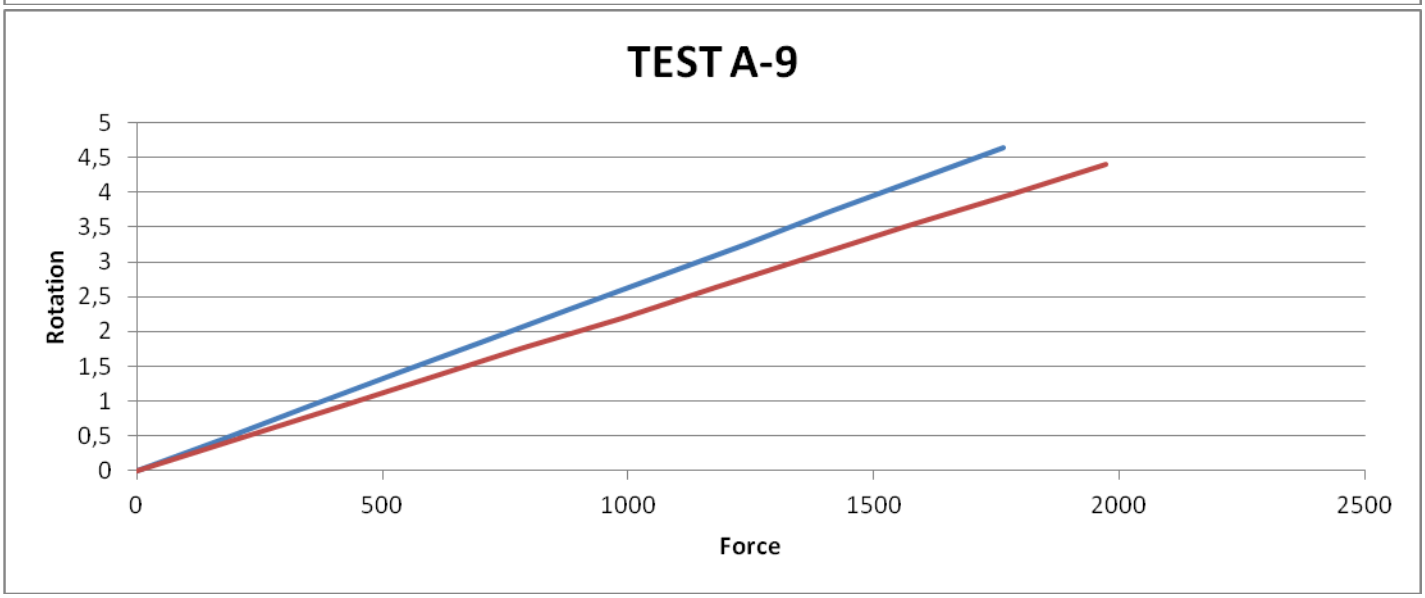
TEST A-4
Rotation
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Force

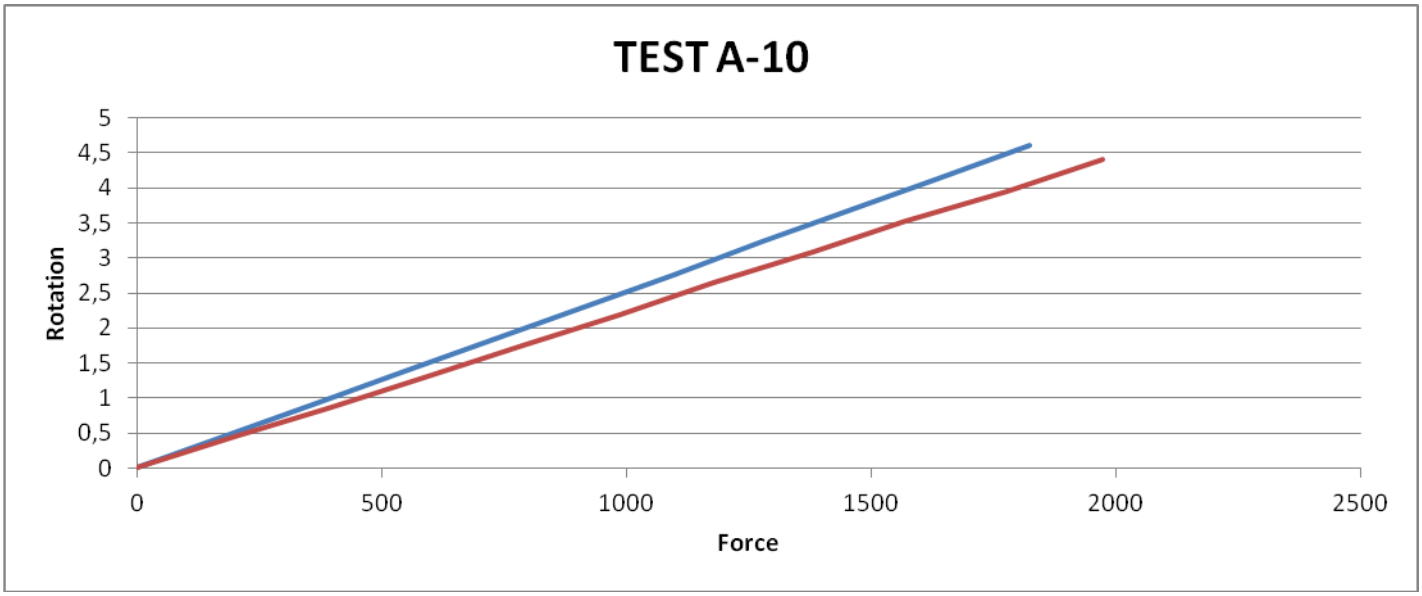
TEST A-5
Rotation
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Force

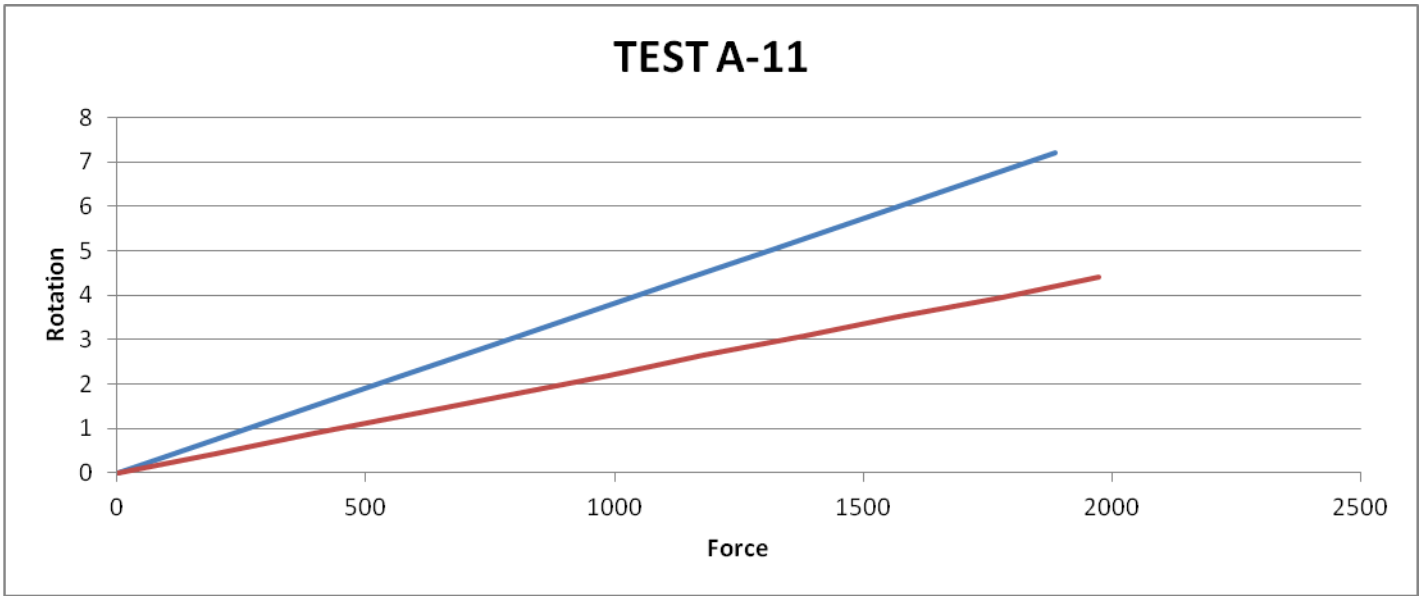

TEST A-6
Rotation
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
Force

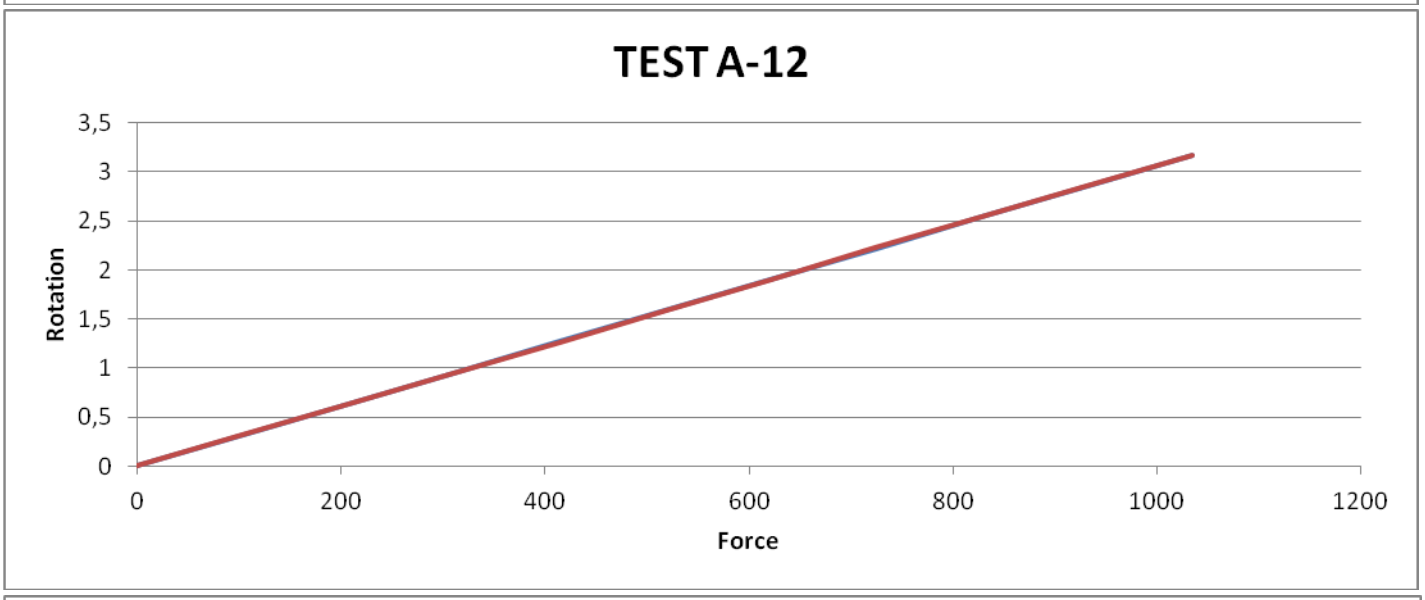

TEST A-7
Rotation
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
Force

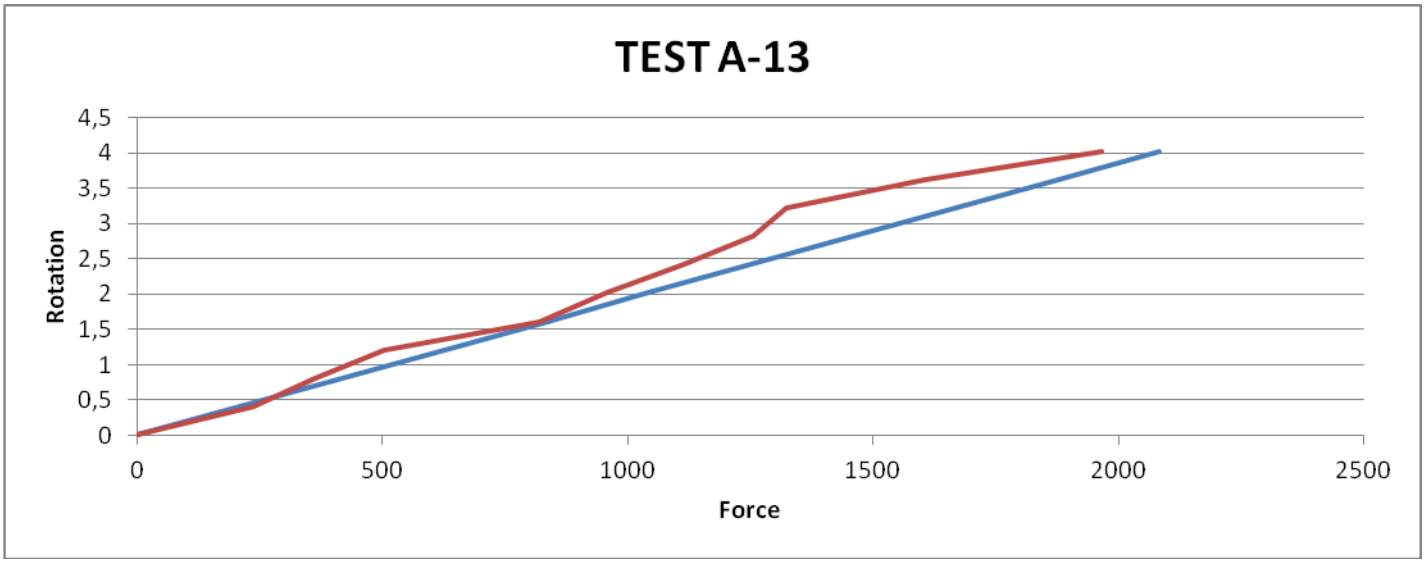

TEST A-8
Rotation
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Force

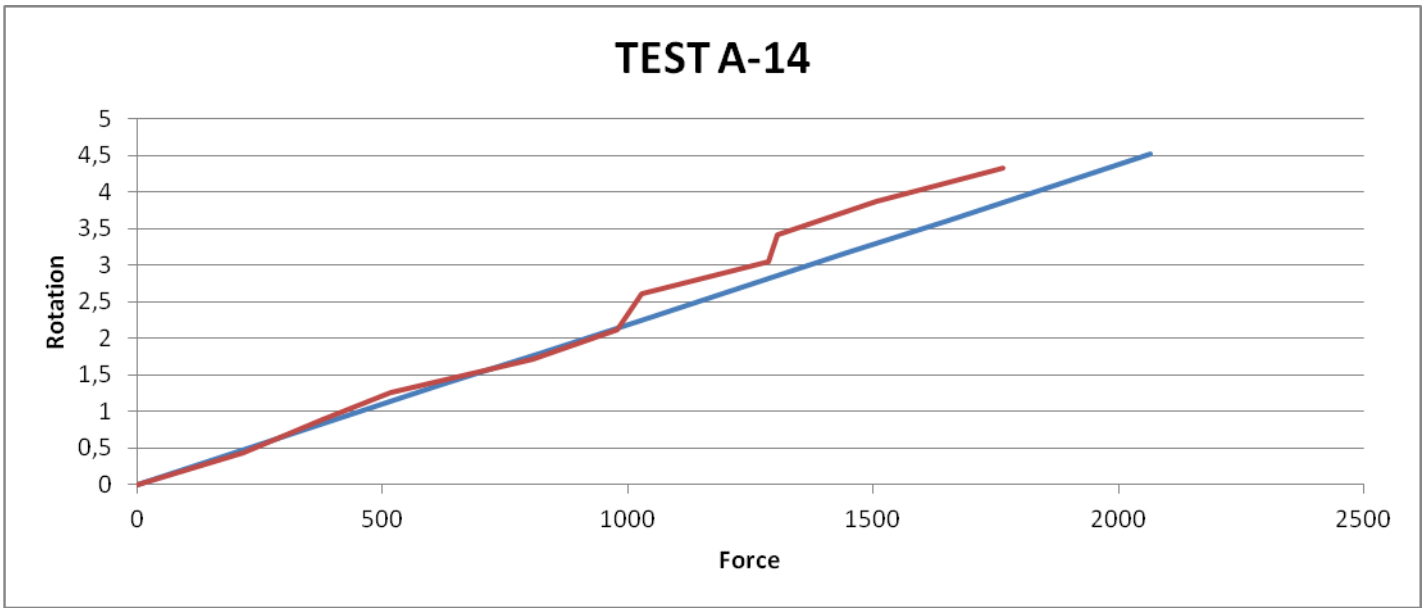

TEST A-9
Rotation
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Force

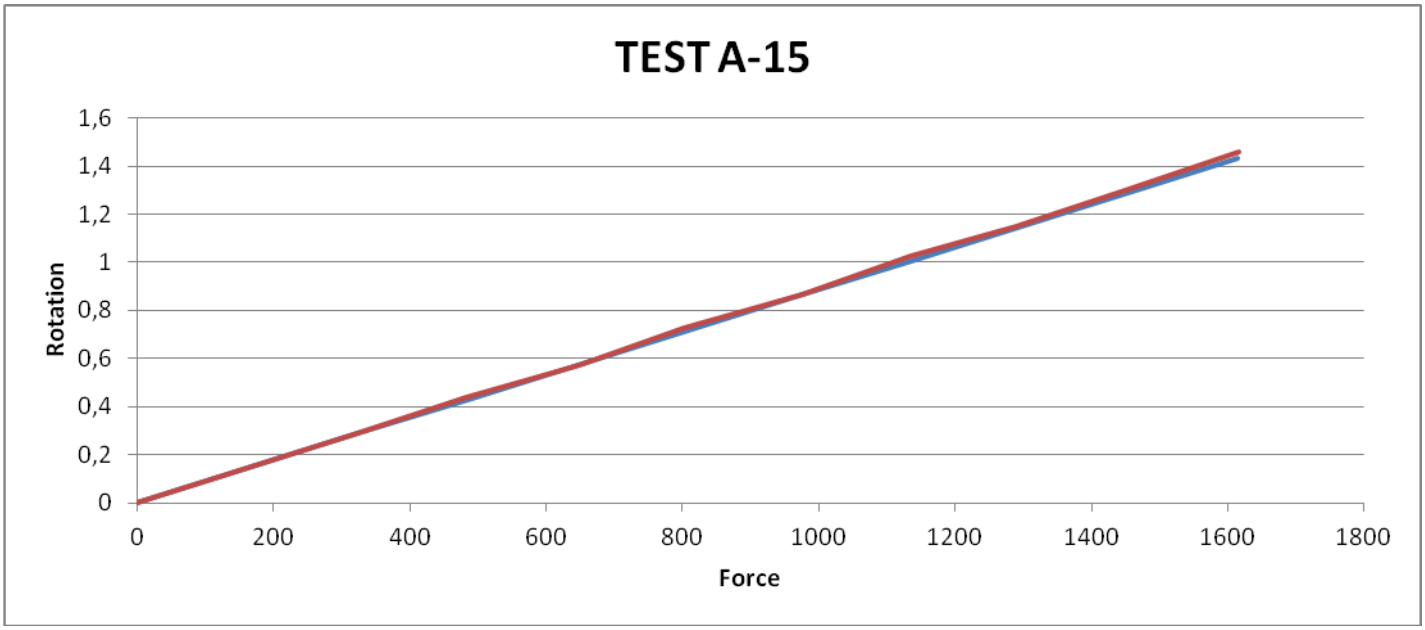

TEST A-10
Rotation
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Force

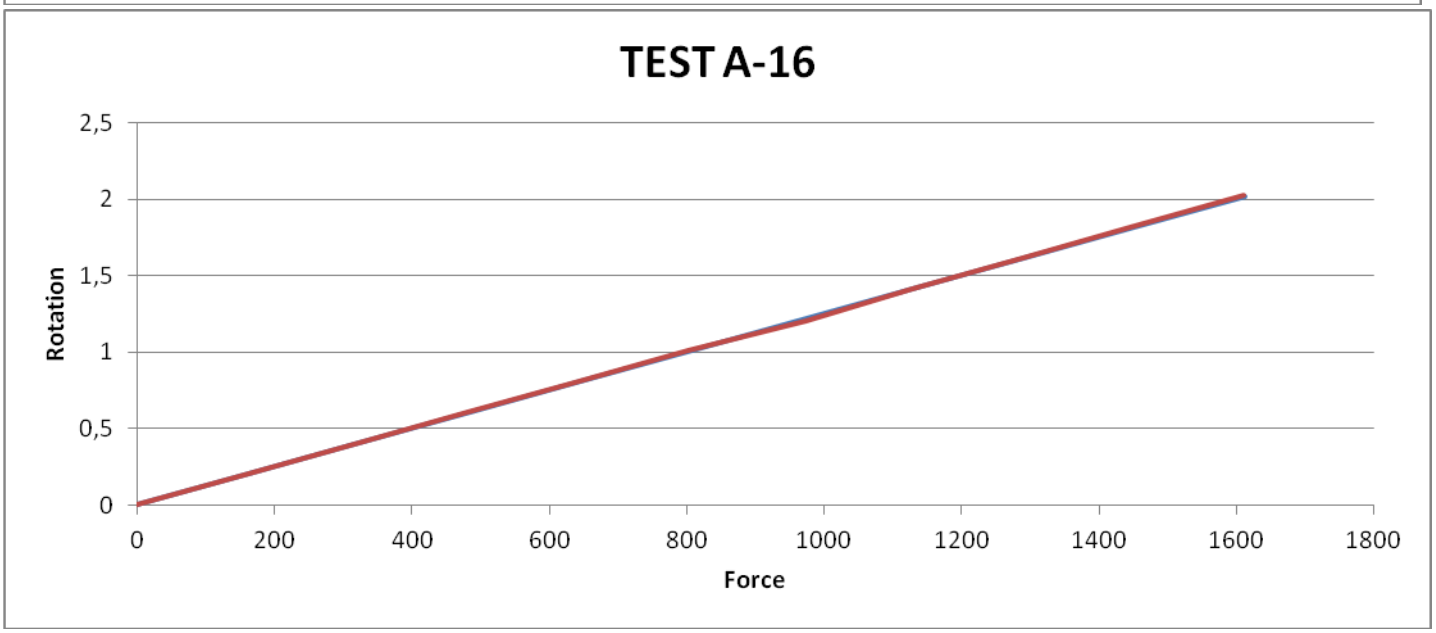

TEST A-11
Rotation
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Force

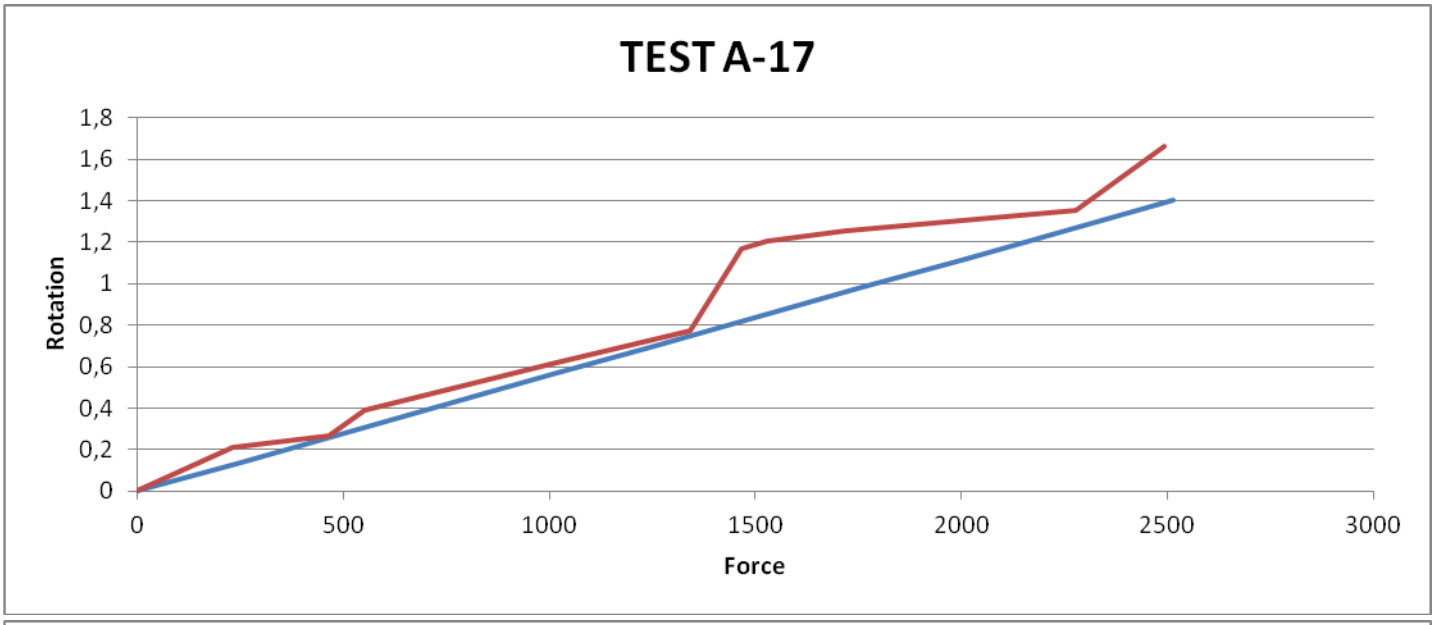

TEST A-12
Rotation
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
200
400
600
800
1000
1200
Force

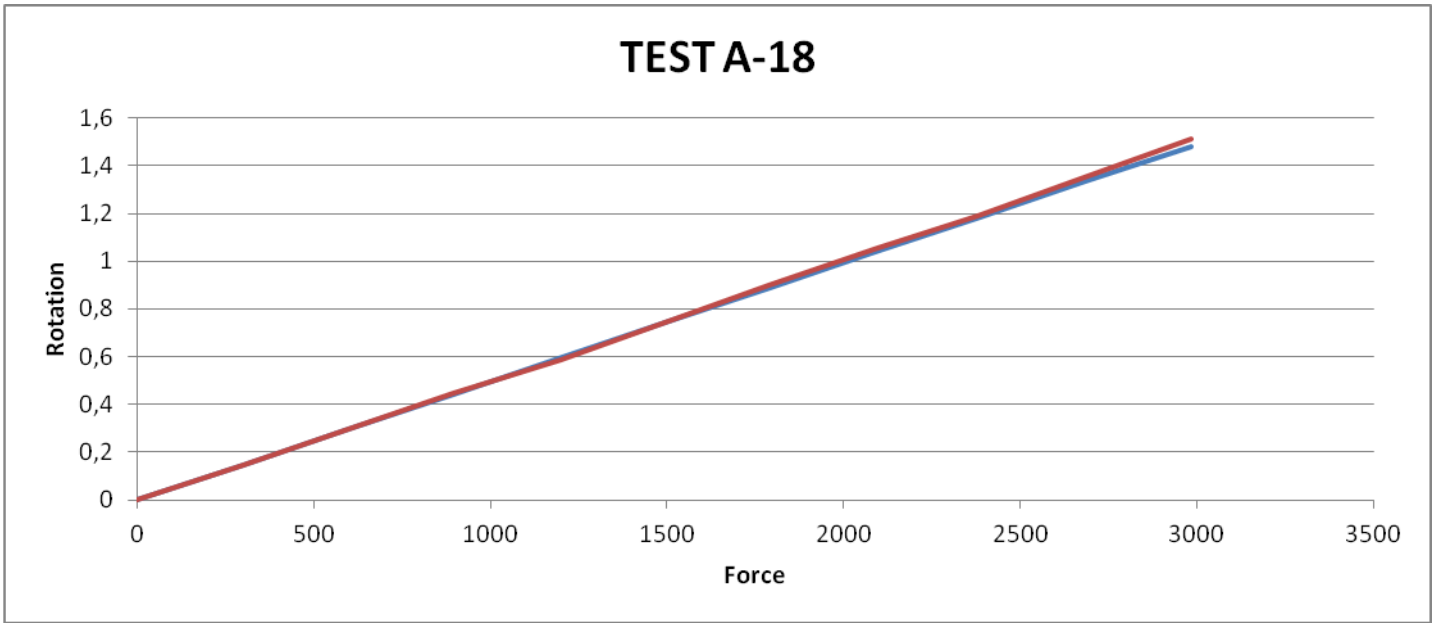

TEST A-13
Rotation
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
500
1000
1500
2000
2500
Force


TEST A-14
Rotation
Force
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
4
4,5
5
0
500
1000
1500
2000
2500


TEST A-15
Rotation
Force
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
1,4
1,6
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800


TEST A-16
Rotation
Force
0
0,5
1
1,5
2
2,5
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800


TEST A-17
Rotation
1,8
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
Force


TEST A-18
Rotation
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
Force

5. Συμπεράσματα

Παρατηρούμε μέσω των γραφικών παραστάσεων από την σύγκριση των εξόδων του δικτύου με τους αντίστοιχους στόχους μας αυτό ακριβώς που επιδιώκουμε, την σύγκλιση δηλαδή των τιμών αυτών με την βοήθεια του Νευρωνικού μας δικτύου. Βλέπουμε σε ορισμένα γραφήματα βέβαια μια μη ακριβή ταύτιση των outputs με τα targets, πράγμα το οποίο δικαιολογείται διότι το Νευρωνικό δίκτυο "προσπαθεί" να επιτύχει αυτό ακριβώς γνωρίζοντας μόνο ένα μέρος των δεδομένων μας {2}.

Ένας τρόπος παραπάνω βελτίωσης των αποτελεσμάτων αυτών θα μπορούσε να είναι η εισαγωγή περισσοτέρων δεδομένων και στην είσοδο του δικτύου (inputs) αλλά και στην έξοδο αυτού (outputs), με αποτέλεσμα οι συναρτήσεις μας να είναι πιο ομαλά κατανεμημένες.

Εν αντιθέσει, για μεγαλύτερη διευκόλυνση δική μας, γνωρίζοντας ότι τα αποτελέσματα του δικτύου μας είναι γραμμικές συναρτήσεις, θα μπορούσαν να περιγραφούν μόνο με την κλίση της συνάρτησης μειώνοντας έτσι κατά πολύ τον όγκο δεδομένων κατά την έξοδο, πράγμα που θα μπορούσε να γίνει και για τους στόχους μας (targets).

6.Βιβλιογραφία

{1}K. M. Abdalla & Σταυρουλάκης Γ. <<A Backpropagation for Semi-rigid Neural Network Model Steel Connections>>,Microcompurers in Civil Engineering 10 (1995) 71-81

{2}L. R. O. de Lima ,P. C. G. da S. Vellasco ,S. A. L. de Andrade and J. G. S. da Silva <<Neural Networks Assessment of Beam-to-Column Joints>>,2005

{3}Howard Demuth, Mark Beale <<Neural Network Toolbox>>,2004

{4}N.Kishi, W.F.Chen and Y.Goto <<Structural Engineering, CE-STR-93-24>>,1993

{5}Mark Hudson Beale , Martin T. Hagan 'Howard B. Demuth <<Neural Network Toolbox™ 7 User's Guide of Matlab>>,2010

Διαδίκτυο

{6}http://egnatia.ee.auth.gr/~imatz/ann_chapter1.html

{7}http://el.wikipedia.org/wiki/Νευρωνικό_δίκτυο