ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

<u>ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ</u>

Επιμέλεια: Ευαγγελία Δολαψάκη

Επιβλέπων: Ιωάννης Μαρινάκης


ΧΑΝΙΑ 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα σπουδαιότερα ζητήματα τα οποία απασχολούν τη διοίκηση μίας αεροπορικής εταιρείας είναι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αεροπορικού υλικού (supply chain of aircraft components and materials management). Η οργανωμένη διαχείριση του αεροπορικού υλικού είναι εκείνη η οποία, κατά κύριο λόγο, εγγυάται την ασφάλεια των αεροσκαφών και συνεπώς και των πτήσεων μίας αεροπορικής εταιρείας. Μία σωστά δομημένη και κατάλληλα προσαρμοσμένη στα ευρωπαϊκά πρότυπα ασφάλειας, εφοδιαστική αλυσίδα καθορίζει και παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή, τη θέση, την κατάσταση και τις ενέργειες που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία οποιουδήποτε εξαρτήματος και κατ' επέκταση και του ίδιου του αεροσκάφους. Πολύ σημαντικό ρόλο για την άρτια λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί η διαχείριση των υλικών τα οποία διακινούνται μέσα σε αυτήν. Η ζήτησή τους και οι διαδικασίες οι οποίες απαιτούνται για την παρακολούθηση των παραγγελιών και των αποθεμάτων χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής, αφού ο αποτελεσματικός η μη χειρισμός τους έχει αντίκτυπο στις λειτουργικές διαδικασίες της εταιρείας.

Στη συγκεκριμένη διατριβή θα γίνει αναφορά στη δομή και τη λειτουργία των διαδικασιών διαχείρισης αεροπορικού υλικού και των παραμέτρων που την κάνουν να απαιτεί ένα ιδιαίτερο τρόπο πολιτικής και στρατηγικής μεταχείρισης. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής ασχολείται με τη διεξαγωγή εκτενούς έρευνας για την εφαρμογή των Τεχνιτών Νευρωνικών Δικτύων στην πρόβλεψη της ζήτησης του αεροπορικού υλικού μίας εικονικής αεροπορικής εταιρείας. Ο σκοπός ο οποίος επιδιώκεται είναι η δημιουργία ενός ευέλικτου συστήματος διαχείρισης της ζήτησης του αεροπορικού υλικού, το οποίο θα είναι σε θέση, μέσω εκπαίδευσής του από δεδομένα προηγούμενων ετών, να δώσει την βέλτιστη ποσότητα για την επόμενη παραγγελία. Αφού παρατεθούν τα αποτελέσματα της έρευνας θα προσδιοριστούν σημεία τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν τη βάση για περαιτέρω έρευνα, παρέχοντας τη δυνατότητα εξέλιξης των δυνατοτήτων του Δικτύου το οποίο θα δημιουργηθεί στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφοδιαστική αλυσίδα η οποία χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του αεροπορικού υλικού είναι μία κλειστή διαδικασία ως προς το γεγονός ότι τα υλικά συντηρούνται και επαναχρησιμοποιούνται. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας σχετίζεται με την αποτελεσματική ροή υλικών, η οποία υποστηρίζει τις διαδικασίες συντήρησης και επισκευής των αεροσκαφών και των παρελκομένων αυτών. Παράλληλα, έχει άμεση επίδραση στην ασφάλεια των πτήσεων, αφού η πληρότητα της δομής της συμβάλει στην απόλυτη επιτήρηση της αξιοπλοΐας των αεροσκαφών. Χωρίς την αποτελεσματικότητα της παραπάνω διαδικασίας, ο αερομεταφορέας δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τόσο προγραμματισμένες συντηρήσεις όσο και έκτακτες απώλειες που είναι δυνατόν να αναστείλουν το πτητικό του έργο.

Κύριος στόχος των παραπάνω διαδικασιών είναι ο προσδιορισμός του βέλτιστου αποθέματος και κατά συνέπεια του βέλτιστου επιπέδου παραγγελιών, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το χαμηλότερο κόστος, στον τόπο και το χρόνο που έχουν προσδιοριστεί από τον αερομεταφορέα. Ωστόσο, στην αεροπορία η αλυσίδα τροφοδοσίας παρουσιάζει μία ιδιαιτερότητα, συγκριτικά με εταιρείες κάποιου άλλου κλάδου. Βέλτιστο δεν είναι πάντοτε το χαμηλότερο κόστος, αφού πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν τα ευρωπαϊκά πρότυπα για την ασφάλεια της αεροπορίας, βάσει των οποίων ο ποιοτικός έλεγχος κρίνεται απαραίτητος για την επιλογή και τη χρήση κάθε υλικού. Πολύ σπουδαίο ρόλο κατέχει και η χρήση των πληροφοριακών συστημάτων καθώς οι διαδικασίες επιταχύνονται και επιτυγχάνεται αποδοτικότερη επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων της εταιρείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΕΝΟΣ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΟΡΕΑ

Οι διαδικασίες οι οποίες σχετίζονται με τον τομέα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται στα εξής:

1. **Πρόβλεψη της ζήτησης (**θέμα για το οποίο θα γίνει εκτενής έρευνα σε επόμενη ενότητα).
2. **Διαχείριση υλικών προς συντήρηση**
3. **Διαχείριση αποθεμάτων**
4. **Οργάνωση αποθηκών**
5. **Υλοποίηση παραγγελιών**
6. **Διαχείριση προμηθειών**
7. **Επιλογή αποθηκευτικών χώρων και τοποθεσίας αυτών**
8. **Επιλογή τρόπου μεταφοράς**
9. **Εσωτερική διακίνηση υλικών**
10. **Μέθοδοι αναπλήρωσης αποθεμάτων**

Στις επόμενες ενότητες γίνεται ανάλυση των διαδικασιών διαχείρισης αεροπορικού υλικού, παραθέτοντας δομές οι οποίες ορίζονται από τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια της Αεροπορίας (EASA- Παράρτημα Ι). Έπειτα γίνεται αναφορά στους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις παραπάνω διαδικασίες και οι οποίοι χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.

1.1. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Η επιχειρησιακή εκμετάλλευση των αεροσκαφών μίας αεροπορικής εταιρείας απαιτεί την έγκαιρη πρόβλεψη και εξασφάλιση των μέσων που απαιτούνται για την εκτέλεση

α) της προγραμματισμένης συντήρησης,

β) της αποκατάστασης των βλαβών και

γ) της αναπλήρωσης των αποθεμάτων.

Η πρόβλεψη της ζήτησης θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η αφετηρία της αλυσίδας τροφοδοσίας, αφού το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτήν παρακινεί τις υπόλοιπες διαδικασίες που την απαρτίζουν. Παρακάτω παρουσιάζονται περιγραφικά τα στοιχεία (α)(β) και (γ) για την πληρέστερη κατανόηση της σημασίας της πρόβλεψης της ζήτησης. Πριν από αυτό όμως γίνεται περιγραφή παραγόντων που επηρεάζουν τη ζήτηση και γενικότερα τη διαχείριση αεροπορικού υλικού.

1.1.1. Πρόγραμμα συντήρησης και προγραμματισμένη συντήρηση

Σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κανονισμό 2042/2003, αναφορικά με την ασφάλεια στην αεροπορία, «…Το πρόγραμμα συντήρησης και τυχόν μεταγενέστερες τροποποιήσεις εγκρίνονται από την αρμόδια αρχή και πρέπει να θεσπίζει τη συμμόρφωση προς τις οδηγίες για τη διαρκή αξιοπλοΐα.

Το πρόγραμμα συντήρησης περιέχει λεπτομερή στοιχεία, συμπεριλαμβανομένης της συχνότητας εκτέλεσης για όλες τις απαιτούμενες εργασίες συντήρησης καθώς και τυχόν ειδικές εργασίες που αφορούν εξειδικευμένες πτητικές λειτουργίες.

Οι μετατροπές και επισκευές γίνονται με εκτίμηση των φθορών και χρήση δεδομένων που έχουν εγκριθεί από τον EASA ή από φορέα σχεδιασμού εγκεκριμένο κατά το Part 21 του παραπάνω κανονισμού (εγκεκριμένοι κατασκευαστές υλικών), ανάλογα με την περίπτωση.

Κάθε αεροπορική εταιρεία είναι υποχρεωμένη να εκδίδει πρόγραμμα συντήρησης ανά τακτά χρονικά διαστήματα για τα υλικά για τα οποία υπάρχει υπόδειξη από τον κατασκευαστή ότι μετά το πέρας συγκεκριμένου αριθμού ωρών πτήσης ή κύκλων (προσγειώσεων - απογειώσεων)του αεροσκάφους αυτά θα πρέπει να υποστούν επισκευή ή συντήρηση. Είναι προφανές ότι η πρόβλεψη για τη συντήρηση αυτών των υλικών δεν αποτελεί δύσκολη υπόθεση για το τεχνικό τμήμα. Επειδή τα υλικά αυτά ενδέχεται να είναι αρκετά σε πλήθος, ανάλογα με το μέγεθος του αερομεταφορέα, συνήθως χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα λογισμικά προς διευκόλυνση, αλλά και για την απόλυτη συνέπεια των συντηρήσεων.

1.1.2. <u>Απώλειες λόγω φθοράς</u>

Πέρα από τα υλικά τα οποία είναι δυνατόν να εισαχθούν στο πρόγραμμα συντήρησης της εταιρείας και η παρακολούθηση της ζήτησής τους να γίνεται με τρόπο τακτικό, υπάρχουν και περιπτώσεις υλικών για τα οποία αυτό δεν είναι εφικτό. Αυτό συμβαίνει διότι δεν παρουσιάζουν όλα τα υλικά την ίδια συμπεριφορά. Έτσι, για παράδειγμα, αφού αντικατασταθούν τα φρένα στους τροχούς ενός αεροσκάφους επιβάλλεται συνεχής επιτήρηση της κατάστασής τους. Σε αυτή την περίπτωση ο αερομεταφορέας ή ο φορέας στον οποίο έχει αναθέσει τη συντήρηση των αεροσκαφών του, οφείλει να πραγματοποιεί τακτικά έλεγχο για ενδεχόμενη φθορά του υλικού (on-condition monitoring).

1.1.3. <u>Έκτακτες απώλειες</u>

Μία ακόμα περίπτωση μη τακτικής συμπεριφοράς της ζήτησης των υλικών είναι η έκτακτη απώλεια. Αυτού του είδους απώλεια είναι δυνατόν να προκύψει σε κάθε κατηγορία υλικού, είτε αυτά συμπεριλαμβάνονται στο τακτικό πρόγραμμα συντήρησης είτε ανήκουν στην κατηγορία όπου εκτελείται περιστασιακός έλεγχος (on condition monitoring). Παράδειγμα: Υποθέτουμε ότι τα σκέλη σε ένα από τα αεροσκάφη του αερομεταφορέα έχουν αντικατασταθεί πρόσφατα. Σύμφωνα με στις υποδείξεις του κατασκευαστή αυτά έχουν ένα συγκεκριμένο όριο ζωής (συγκεκριμένο αριθμό κύκλων πτήσης) μέχρι και την επόμενη συντήρηση ή αντικατάστασή τους. Ωστόσο, έχοντας εκτελέσει πολύ μικρό μέρος του επιτρεπτού ορίου κύκλων, ένα από τα σκέλη καταστρέφεται λόγω αστοχίας του υλικού από τον κατασκευαστή. Προφανώς η εν λόγω απώλεια δεν ήταν εφικτό να προβλεφθεί, παρά μόνο με τον συνεχή έλεγχο της κατάστασης του υλικού.

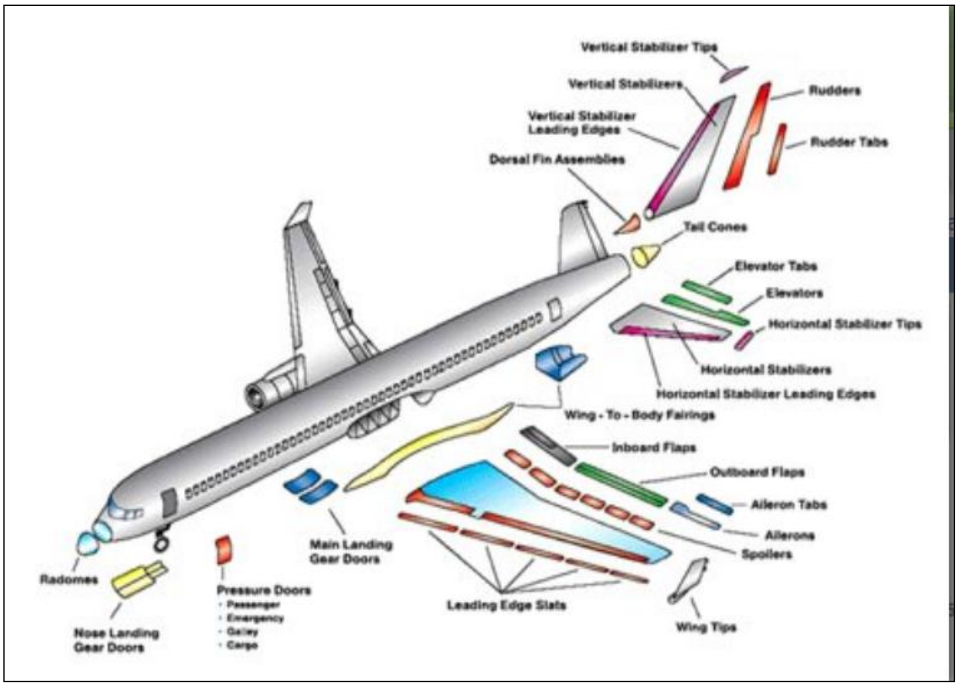
1.2 <u>ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΑΠΟΘΗΚΩΝ</u>

Ένα μέρος των λειτουργιών της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω είναι η διαχείριση αποθεμάτων η οποία περιλαμβάνει τη διαχείριση των αναλωσίμων, των ανταλλακτικών, των υλικών τα οποία βρίσκονται στη διαδικασία της επισκευής ή συντήρησης, ή ακόμη και πάνω στο αεροσκάφος προς χρήση. Αρμόδια στελέχη αναλαμβάνουν το σχεδιασμό, την οργάνωση και τον έλεγχο όλων των απαιτούμενων διαδικασιών, λαμβάνοντας σαν σημείο αναφοράς τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς (σε ευρωπαϊκό επίπεδο).

Κάθε αερομεταφορέας έχει τη δική του μέθοδο οργάνωσης για τη διαχείριση των αποθεμάτων του. Ειδικά εταιρείες οι οποίες διαθέτουν περισσότερα του ενός αεροσκάφη, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη εφαρμογής τουλάχιστον μίας απλής βάσης δεδομένων, έτσι ώστε να μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια η διαθέσιμη ποσότητα κάθε υλικού, το σημείο όπου βρίσκεται αποθηκευμένο, η κατάστασή του και το απόθεμα ασφαλείας. Ο προσδιορισμός του αποθέματος ασφαλείας συχνά γίνεται με βάση την εμπειρία από προηγούμενα έτη.

Η παροχή των απαιτούμενων πληροφοριών διευκολύνεται από το γεγονός ότι κάθε υλικό διαθέτει τα δικά του προσδιοριστικά στοιχεία.

1.2.1 Στοιχεία διαχωρισμού του υλικού



Πρόκειται για στοιχεία τα οποία παρέχονται από τον κατασκευαστή, με βάση κοινά αποδεκτές διαδικασίες μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών και είναι μοναδικά για κάθε υλικό. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

1. ***National Stock Number (NSN):*** απαρτίζεται από 13 ψηφία και παρέχει πληροφορίες για τη χώρα προέλευσης, τη γενική κατηγορία του υλικού, τον τρόπο χρησιμοποίησής του κλπ.
2. ***Part Number (P/N):*** καθορίζεται αποκλειστικά από τον κατασκευαστή του υλικού και είναι μοναδικός. Συνήθως, αυτός ο αριθμός είναι διαφορετικός από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, ακόμα και αν οι προδιαγραφές είναι πανομοιότυπες. Στον κωδικό αυτό μπορεί να

περιλαμβάνονται πληροφορίες όπως ο αριθμός του μοντέλου ή το έτος κατασκευής του υλικού (αριθμός παρτίδας). Πολλά υλικά από τον ίδιο κατασκευαστή είναι δυνατόν να έχουν το ίδιο part number.

3. ***Serial Number (S/N):*** καθορίζεται αποκλειστικά από τον κατασκευαστή του υλικού και είναι μοναδικός. Η διαφορά του με το part number είναι ότι το serial number κάνει το υλικό μοναδικό. Κάθε serial number χρησιμοποιείται αποκλειστικά για ένα και μοναδικό υλικό.
4. ***Manufacturer Code (MFR Code)***: προσδίδεται στον κάθε κατασκευαστή από τον εθνικό φορέα τυποποίησης της χώρας κατασκευής.

1.2.2 Στοιχεία κατηγοριοποίησης του υλικού

Για να είναι σε θέση ο αερομεταφορέας να κατηγοριοποιεί τα διαθέσιμα αποθέματα υλικών είναι απαραίτητο να αναφέρονται **προσδιοριστικές πληροφορίες** στο ηλεκτρονικό πρόγραμμα το οποίο τηρεί, όπως οι παρακάτω:

I. Μονάδα Μέτρησης (UM – Unit of Measure)
II. Μονάδα Αποθήκευσης (US – Unit of Stock)

Η μονάδα αποθήκευσης καθορίζει την μαζική ποσότητα στην οποία γίνεται η αποθήκευση όμοιων υλικών στο χώρο της αποθήκης. Συχνά η US είναι διαφορετική από την UM.

Για να είναι εφικτή η πιστή τήρηση των ευρωπαϊκών κανονισμών σε ότι αφορά την διαχείριση των υλικών ο αερομεταφορέας είναι υποχρεωμένος να κάνει διαχωρισμό σε κατηγορίες όπως φαίνεται παρακάτω. Το τεχνικό τμήμα της εταιρείας, ή ο φορέας ο οποίος έχει εξουσιοδοτηθεί να παρέχει τεχνική υποστήριξη, υποχρεούται να προβεί σε έλεγχο των παρελκομένων τα οποία αντικαθίστανται στο αεροσκάφος σε καθεμία από τις παρακάτω περιπτώσεις.

Α. Σε περίπτωση προγραμματισμένης συντήρησης

Β. Σε περίπτωση προληπτικής συντήρησης – απώλεια λόγω φθοράς.

Γ. Σε περίπτωση έκτακτης απώλειας υλικού.

Σκοπός είναι η κατάταξη των παρελκομένων/ υλικών σε μία από τις επόμενες κατηγορίες, κάτι το οποίο καθορίζει την περαιτέρω διαχείρισή τους.

I. *Ανακτήσιμο Υλικό (Serviceable):* Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα υλικά τα οποία επιδέχονται επισκευή. Πριν την κατηγοριοποίησή τους γίνεται προσδιορισμός του επιπέδου συντήρησης που απαιτείται για να διατεθούν και πάλι σε υπηρεσία. Ανάλογα με το επίπεδο συντήρησης που απαιτείται το υλικό είτε επιδιορθώνεται στα πλαίσια του επισκευαστικού κέντρου του αερομεταφορέα ή του αντίστοιχου συνεργαζόμενου φορέα συντήρησης, είτε αποστέλλεται στο επισκευαστικό κέντρο του κατασκευαστή.

II. *Μη Ανακτήσιμο (Unserviceable):* Πρόκειται για υλικά τα οποία δεν επιδέχονται περαιτέρω επισκευή. Είτε επειδή έχουν ήδη προηγηθεί αρκετές επιδιορθώσεις και μία επιπλέον θα είχε δυσμενή αποτελέσματα για την ασφάλεια των πτήσεων, είτε λόγω ολικής καταστροφής του υλικού.

III. *Κατηγορία αχρήστευσης υλικού:* Πρόκειται για τα υλικά τα οποία είτε επισκευάζονται, είτε η επισκευή τους κρίνεται ασύμφορη για οικονομικούς ή τεχνικούς λόγους. Η καταστροφή του αεροπορικού υλικού γίνεται υποχρεωτικά σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή και συνοδεύεται από την έκδοση αντίστοιχου πιστοποιητικού. Οι υποδείξεις του κατασκευαστή οδηγούν στην ολική καταστροφή του υλικού με τρόπο ασφαλή, έτσι ώστε το υλικό να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράνομα, με κίνδυνο τη διακύβευση της αξιοπλοΐας άλλου αερομεταφορέα.

Τα παρελκόμενα που έχουν τεθεί *εκτός λειτουργίας* προσδιορίζονται και αποθηκεύονται σε ασφαλή χώρο, υπό τον έλεγχο εγκεκριμένου φορέα, έως ότου ληφθεί απόφαση για τη διαχείρισή τους.

Τα παρελκόμενα που έχουν φτάσει το πιστοποιημένο όριο ζωής τους ή παρουσιάζουν μη επιδιορθώσιμη βλάβη ταξινομούνται ως *μη επισκευάσιμα* (unserviceable) και δεν επιτρέπεται η είσοδός τους στο σύστημα προμηθειών, εκτός εάν το όριο ζωής τους έχει επιμηκυνθεί ή έχει εγκριθεί τρόπος επιδιόρθωσης.

Ένα παρελκόμενο θεωρείται ότι έχει τεθεί *εκτός λειτουργίας* σε οποιαδήποτε από τις εξής περιπτώσεις:

Α) υπέρβαση ορίου διάρκειας ζωής του, όπως αυτό καθορίζεται στο πρόγραμμα συντήρησης.

Β) μη συμμόρφωση με τις ισχύουσες οδηγίες αξιοπλοΐας και κάθε άλλης απαίτησης διαρκούς αξιοπλοΐας, που καθορίζεται από τον οργανισμό.

Γ) έλλειψη των αναγκαίων πληροφοριών για τον καθορισμό της κατάστασης αξιοπλοΐας ή της καταλληλότητάς του για εγκατάσταση.

Δ) ένδειξη βλαβών ή δυσλειτουργιών.

Ε) εμπλοκή σε συμβάν ή ατύχημα που είναι πιθανό να επηρεάσει τη δυνατότητα επισκευής του.

Στην περίπτωση μη επισκευάσιμων παρελκομένων, το πρόσωπο ή ο φορέας που είναι υπόλογος αποθηκεύουν το εν λόγω παρελκόμενο στον χώρο που έχει ορισθεί για τα εκτός λειτουργίας παρελκόμενα ή φροντίζουν για την καταστροφή του παρελκομένου κατά τρόπο που να διασφαλίζει ότι διάσωση ή επιδιόρθωσή του με οικονομικό τρόπο είναι αδύνατη πριν απαλλαγούν από την ευθύνη τους για το εν λόγω παρελκόμενο.

Η προηγούμενη κατηγοριοποίηση είναι εκείνη που παρακινεί τους αερομεταφορείς στη σύναψη συμβάσεων με προμηθευτές με σκοπό την εξυπηρέτησή τους. Για παράδειγμα, αν ένας κινητήρας χρήζει συντήρησης, ο αερομεταφορέας εξαιτίας του υψηλού κόστους, του όγκου και του παράγοντα της απαρχαίωσης δεν είναι εύκολο να τηρεί απόθεμα. Η υπογραφή μίας σύμβασης με τον προμηθευτή, ωστόσο, μπορεί εύκολα να του δώσει τη λύση. Μέχρι την ολοκλήρωση της συντήρησης του κινητήρα και επειδή η καθήλωση του αεροσκάφους ισοδυναμεί με κόστος για τον αερομεταφορέα, ο προμηθευτής δανείζει στον πελάτη του ένα συμβατό κινητήρα ο οποίος, βάσει της σύμβασης που έχει υπογραφεί υπάρχει σχεδόν πάντα διαθέσιμος σε περίπτωση απαίτησης από τον αερομεταφορέα. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με άλλα υλικά που χρησιμοποιεί ο αερομεταφορέας. Τέτοιου τύπου συμβάσεις υπογράφονται κυρίως για τα υλικά τα οποία έχουν υψηλό κόστος και επιδέχονται συντηρήσεις και επιδιορθώσεις, κάτι το οποίο συμφέρει οικονομικά τον αερομεταφορέα συγκριτικά με την αγορά ενός νέου υλικού. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως rotables.

Με βάση τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 2042/2003, υπάρχουν άλλες δύο κατηγορίες υλικών οι οποίες δεν αφορούν τα υλικά με υψηλό κόστος κτήσης (rotables) και είναι οι εξής:

1. *Τυποποιημένα ανταλλακτικά* που χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφος, κινητήρα, έλικα ή άλλο παρελκόμενο όταν αυτά καθορίζονται στον κατάλογο ανταλλακτικών του κατασκευαστή ή/ και στα στοιχεία συντήρησης.
2. *Αναλώσιμα υλικά*, που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της συντήρησης, εφόσον ο φορέας κρίνει ότι το υλικό πληροί τις αναγκαίες προδιαγραφές και υπάρχει δυνατότητα εντοπισμού της προέλευσής του. Όλα τα υλικά πρέπει να συνοδεύονται από έγγραφα τεκμηρίωσης που αναφέρονται με σαφήνεια στο συγκεκριμένο υλικό και περιέχουν δήλωση συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Πληροφορίες οι οποίες συμβάλλουν στην πληρέστερη επικοινωνία του τεχνικού τμήματος της αεροπορικής εταιρείας με τα υπόλοιπα τμήματα θα μπορούσαν να παρέχονται μέσω του ηλεκτρονικού προγράμματος παρακολούθησης των υλικών. Τέτοιες πληροφορίες παρατίθενται στη συνέχεια:

Α. Κόστος της τελευταίας προμήθειας και ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε.

Β. Κόστος τελευταίας γενικής επισκευής εξοπλισμού

Γ. Κόστος τελευταίας συντήρησης εξοπλισμού

Δ. Χρονική διάρκεια που το αεροσκάφος τίθεται εκτός λειτουργίας λόγο επισκευής/ συντήρησης.

Ο αερομεταφορέας είναι υποχρεωμένος να διαθέτει σύστημα ανάλογο με το μέγεθός του, μέσω του οποίου θα είναι σε θέση να προγραμματίζει την ποσότητα των υλικών, του εξοπλισμού και των εργαλείων τα οποία η εταιρεία θα πρέπει να έχει στη διάθεση της ώστε να είναι σε θέση να διατηρεί σε άριστο επίπεδο την ασφάλεια των πτήσεων.

1.3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΙΩΝ

Πριν από την έναρξη της συντήρησης συντάσσεται γραπτή εντολή εργασιών με συμφωνία του φορέα και του πελάτη, η οποία προσδιορίζει με σαφήνεια το είδος της συντήρησης που θα εκτελεστεί (work orders).

Όταν παρουσιάζεται έλλειμμα σε κάποιο από τα υλικά, το αρμόδιο στέλεχος είναι υποχρεωμένο να εκδόσει ένα Purchase Order (P.O.) το οποίο να περιγράφει τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σημείο αυτό είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της παραγγελίας και της παράδοσης του υλικού (lead time), τυχόν συμβάσεις με τους προμηθευτές και σε τι κατηγορία ανήκει το υλικό, αν ο προμηθευτής βρίσκεται εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο τρόπος μεταφοράς και οι συνήθεις διαδικασίες παραλαβής από την εταιρεία.

Αφού γίνει η παραλαβή του υλικού αυτό δεν οδηγείται αμέσως προς αποθήκευση, όπως ίσως επιβάλλουν αλυσίδες τροφοδοσίας εταιρειών άλλου κλάδου. Στις αεροπορικές εταιρείες το υλικό είναι υποχρεωτικό να υποστεί λεπτομερή έλεγχο ώστε να διαπιστωθεί όχι μόνο ότι συνοδεύεται από τα απαραίτητα έγγραφα τα οποία πιστοποιούν τη διάθεσή του σε υπηρεσία, αλλά και αντίστοιχος έλεγχος από το τεχνικό τμήμα της εταιρείας πρέπει να λάβει χώρα. Η πιστοποίηση του υλικού παρέχεται με έκδοση από οργανισμό πιστοποίησης του αντίστοιχου εντύπου (Form 1-Παράρτημα Ι) και έγκριση αυτού από την αρμόδια αρχή. Ενδέχεται και ο ίδιος ο αερομεταφορέας να διαθέτει οργανισμό πιστοποίησης εγκεκριμένο από στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Έπειτα από την αποδοχή του υλικού με τα αντίστοιχα πιστοποιητικά, γίνεται εισαγωγή αυτού στην αποθήκη. Οι συνθήκες αποθήκευσης προσδιορίζονται από τον κατασκευαστή και είναι πολύ συγκεκριμένες για κάθε υλικό. Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί για την ασφάλεια της αεροπορίας, όπως επίσης και οι τακτικές επιθεωρήσεις από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας καθιστούν επιτακτική την ανάγκη τήρησης των παραπάνω συνθηκών.

1.4 <u>ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ, ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</u>

Η ακριβής αναχώρηση των πτήσεων είναι εξέχουσας σημασίας για τις αεροπορικές εταιρείες. Το μεγαλύτερο ποσοστό αβεβαιότητας σε ότι αφορά την ακρίβεια των πτήσεων σχετίζεται με τις καθυστερήσεις λόγω τεχνικών προβλημάτων. Για να μειωθεί το ρίσκο σε ότι αφορά τις καθυστερήσεις και για να διασφαλισθεί η ασφάλεια των πτήσεων, οι αερομεταφορείς οφείλουν να τοποθετήσουν ένα συγκεκριμένο αριθμό βασικών υλικών στα αεροδρόμια προορισμού. Αυτά τα υλικά επιλέγονται με βάση τις συστάσεις που γίνονται από τους κατασκευαστές των υλικών -Original Equipment Manufacturers (OEM) μέσω της Minimum Equipment List (MEL) η οποία παρέχεται στους αερομεταφορείς. Για να μειωθεί το κόστος, οι αεροπορικές εταιρείες προσπαθούν να διατηρήσουν το ελάχιστο δυνατό επίπεδο αποθέματος στα αεροδρόμια προορισμού του στόλου.

Στο MEL τα υλικά κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες ESS1, ESS2 και ESS3. Αν ένα ESS1 υλικό βρεθεί ελαττωματικό το αντίστοιχο αεροσκάφος δε μπορεί να απογειωθεί "No Go". Στην περίπτωση της απώλειας ενός υλικού κατηγορίας ESS2 το αεροσκάφος μπορεί να απογειωθεί υπό βασικές προϋποθέσεις ("Go if"). Μόνο σε περίπτωση απώλειας υλικού κατηγορίας ESS3 η αλλαγή του υλικού μπορεί να καθυστερήσει για ένα χρονικό διάστημα με την προϋπόθεση ότι δεν κινδυνεύει η επιχειρησιακή δραστηριότητα της εταιρείας. Σε περίπτωση "No Go" κατάστασης το αεροσκάφος θα καθηλωθεί μέχρι να παραληφθεί το απαραίτητο ανταλλακτικό, εάν δεν υπάρχει απόθεμα στο χώρο του αερομεταφορέα ((AOG) Aircraft On Ground).

Εξαιτίας του κόστους αγοράς και διατήρησης των αποθεμάτων οι αεροπορικές εταιρείες προσπαθούν να διατηρούν τα ελάχιστα δυνατά – αλλά όχι λιγότερα από αυτά –υλικά υψηλού κόστους στα περισσότερα αεροδρόμια προορισμού του στόλου τους. Για να μειώσουν το επίπεδο των αποθεμάτων τους κατά το δυνατόν περισσότερο, οι αερομεταφορείς κάνουν διακανονισμούς με άλλες αεροπορικές εταιρείες οι οποίες έχουν στο στόλο τους τον ίδιο τύπο αεροσκάφους στο ίδιο αεροδρόμιο ή γίνονται μέλη στο International Airlines Technical Pool (IATP).

Για την επιλογή των αποθηκευτικών χώρων ενός αερομεταφορέα λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

Α. Απόσταση από το χώρο όπου γίνονται οι επισκευές συντηρήσεις.

Β. Κόστος μεταφοράς υλικών από το σημείο αποθήκευσης στο σημείο που αυτό θα χρησιμοποιηθεί.

Γ. Μέγεθος αποθηκευτικού χώρου

Δ. Περιβάλλον χώρος και δυνατές συνθήκες αποθήκευσης

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η καλύτερη επιλογή αποθηκευτικού χώρου είναι στα πλαίσια που ορίζει ένας αερολιμένας, αφού επιτυγχάνεται η βέλτιστη λύση για τους ως άνω παράγοντες. Ακόμα και όταν οι προμήθειες σε αεροπορικό υλικό γίνονται από το εξωτερικό, κάτι που είναι πολύ συνηθισμένο, η άμεση πρόσβαση στο χώρο του αεροδρομίου όπου θα μεταφερθεί το υλικό είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για τη μείωση του κόστους (αφού δεν υπάρχει επιπρόσθετη μεταφορά) και τη μείωση του κινδύνου φθοράς.

Ο τρόπος μεταφοράς των υλικών από τον προμηθευτή στον αερομεταφορέα και αντίστροφα προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή του υλικού. Πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η συσκευασία στην οποία θα τοποθετηθεί, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για επικίνδυνα υλικά.

Όταν η εταιρεία διαθέτει περισσότερες της μίας αποθήκες, τότε υπάρχει η επιλογή της εσωτερικής διακίνησης των υλικών. Αυτό συνήθως συμβαίνει στις περιπτώσεις που το μέγεθος του αερομεταφορέα είναι αρκετά μεγάλο ώστε να επιτρέπει την τήρηση αποθηκευτικών χώρων σε διαφορετικά σημεία. Με την προϋπόθεση ότι έχει γίνει έρευνα των θετικών και αρνητικών στοιχείων της τήρησης περισσότερων αποθηκευτικών χώρων, το κόστος εσωτερικής μεταφοράς ενός υλικού είναι σαφώς μικρότερο από αυτό που θα προέκυπτε από μία παραγγελία από τον προμηθευτή σε έκτακτη περίπτωση ζήτησης.

1.5 <u>ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ</u>

1.5.1 <u>Περιοδικός έλεγχος αποθεμάτων</u>

Ο περιοδικός έλεγχος αποθεμάτων απαιτεί τη σύγκριση του υφιστάμενου αποθέματος με το επιθυμητό ύψος αποθέματος στην αποθήκη.

Στόχος είναι η αναπλήρωση του αποθέματος μέχρι τον επόμενο περιοδικό έλεγχο. Αυτή η μέθοδος αναπλήρωσης των αποθεμάτων χρησιμοποιείται κυρίως για υλικά τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα στην κατανάλωσή τους και άρα υπάρχει αβεβαιότητα, σε περιπτώσεις που συνήθως δεν υπάρχει διαθεσιμότητα υλικών στην αγορά, ή σε περιπτώσεις που ο χρόνος που μεσολαβεί από την εκτέλεση της παραγγελίας μέχρι την παραλαβή του προϊόντος (lead time) είναι μεγάλος.

1.5.2 <u>Η μέθοδος του Σημείου Αναπαραγγελίας</u>

Η μέθοδος του σημείου αναπαραγγελίας βασίζεται στον προσδιορισμό ενός σημείου αναφοράς που όταν το ύψος του αποθέματος πλησιάσει ή πέσει κάτω από αυτό, τότε διενεργείται παραγγελία, μέχρι του επιθυμητού επιπέδου αποθέματος-ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Η συγκεκριμένη μέθοδος συνήθως εφαρμόζεται για υλικά τα οποία δεν είναι δυσεύρετα στην αγορά και άρα έχουν μικρούς χρόνους παράδοσης.

1.5.3 <u>Η μέθοδος Just In Time (JIT)</u>

Η JIT είναι μία μέθοδος αναπλήρωσης αποθεμάτων η οποία χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η τήρηση αποθέματος για ένα συγκεκριμένο υλικό δεν ενδείκνυται λόγω του υψηλού κόστους αλλά και του κόστους λόγω απαρχαίωσης. Συμβάσεις με τους προμηθευτές συνήθως συμβάλλουν στην έγκαιρη παραλαβή του υλικού.

Αρκετές φορές η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις που η ζήτηση ενός υλικού, ενώ θεωρείται ότι βρίσκεται υπό έλεγχο, μία απρόβλεπτη απώλεια καθιστά επιτακτική την ανάγκη αντικατάστασής του. Στις περιπτώσεις αυτές συνήθως η τήρηση αποθέματος είναι ασύμφορη από οικονομικής και τεχνικής άποψης. Οπότε αναγκαστικά παρουσιάζεται αύξηση της ζήτησης τη δεδομένη χρονική στιγμή.

1.5.4 Συμβάσεις με προμηθευτές

Όλες οι αεροπορικές εταιρείες υπογράφουν συμβάσεις με προμηθευτές για εξυπηρέτηση σε περίπτωση έλλειψης αποθέματος σε υλικά. Σκοπός της υπογραφής τέτοιων συμβάσεων είναι η εξασφάλιση παροχής ανταλλακτικών κυρίως σε περιπτώσεις υλικών, των οποίων το κόστος είναι πολύ μεγάλο και υπάρχει μικρός αριθμός υλικών σε κυκλοφορία στην αγορά. Οι συμβάσεις αυτές υπογράφονται συνήθως με τον κατασκευαστή του αεροσκάφους για το οποίο προορίζονται τα υλικά. Στους όρους της σύμβασης περιγράφεται το σύνολο των υλικών τα οποία βρίσκονται στη διάθεση του αερομεταφορέα σε οποιαδήποτε στιγμή κι αν παραστεί ανάγκη.

Με τον τρόπο αυτό, ο αερομεταφορέας αποφεύγει την τήρηση αποθέματος στην αποθήκη του με κίνδυνο απαρχαίωσης και επιπρόσθετου κόστους.

Συνήθως, οι κατασκευαστές έχουν στη διάθεσή τους και επισκευαστικά κέντρα. Έτσι, οι παραπάνω συμβάσεις περιλαμβάνουν και όρους που αφορούν την αποστολή επισκευάσιμων υλικών στον προμηθευτή για επιδιόρθωση, σε περιπτώσεις που αυτή δεν είναι εφικτή από τον ίδιο τον αερομεταφορέα. Βάσει της σύμβασης ο προμηθευτής είναι υποχρεωμένος να αντικαταστήσει το υλικό που του αποστέλλεται για επισκευή με άλλο ίδιων προδιαγραφών μέχρι την ολοκλήρωση των εργασιών επιδιόρθωσης. Έτσι, ο αερομεταφορέας αποφεύγει το ρίσκο της καθήλωσης του αεροσκάφους και της παύσης του πτητικού του έργου, καθώς επίσης και της ζημιάς λόγω αυξημένου κόστους αποθέματος ή κόστους απαρχαίωσης υλικού. Παράλληλα, αποφεύγεται και η επιβάρυνση των αποθηκών από άποψη χώρου, ειδικά όταν πρόκειται για υλικά πολύ μεγάλου μεγέθους. Προηγούμενη εμπειρία με τους προμηθευτές και εδραίωση μίας εποικοδομητικής σχέσης οδηγεί πάντα στην καλύτερη εξυπηρέτηση.

Στοιχεία τα οποία προσδιορίζουν τον τρόπο αναπλήρωσης των αποθεμάτων θα πρέπει να αναγράφονται στο ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης των υλικών, ώστε να επιτυγχάνεται η πληροφόρηση όλων των τμημάτων, χωρίς χρονοβόρες διαδικασίες για παροχή πληροφοριών οι οποίες είναι ήδη προσδιορισμένες και αποκτημένες.

1.6 ΣΗΜΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

Προηγούμενες έρευνες αναφορικά με την πρόβλεψη της ζήτησης σε αεροπορικό υλικό έθεταν περιορισμούς βασιζόμενες σε παραδοχές, εξαιτίας της μη τακτικής συμπεριφοράς που παρατηρείται. Στην παρούσα διατριβή επιδιώκεται να γίνει εκπαίδευση ενός συστήματος το οποίο στηρίζεται στις αρχές λειτουργίας των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων. Το δίκτυο που θα δημιουργηθεί θα είναι ικανό να προβλέπει τη ζήτηση με μεγαλύτερη προσέγγιση στην πραγματικότητα, σε σχέση με άλλα συστήματα. Η ευελιξία του συστήματος αυτού οφείλεται στο γεγονός ότι το δίκτυο εκπαιδεύεται με βάση τη συμπεριφορά προηγούμενων ετών, ενώ τυχαίες ακραίες τιμές είναι δυνατόν να εισαχθούν ακόμα και στην περίπτωση που δεν έχουν παρουσιαστεί ποτέ, έτσι ώστε να έχουμε πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Εκτενής ανάλυση στη δομή και τη λειτουργία του δικτύου θα παρουσιαστεί σε επόμενη ενότητα.

Σκοπός της σωστής δομής και λειτουργίας μιας εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητα της εταιρείας στην εξυπηρέτηση των πελατών της. Για μία αεροπορική εταιρεία μία σωστά δομημένη εφοδιαστική αλυσίδα εξασφαλίζει έγκαιρη διεξαγωγή των απαιτούμενων συντηρήσεων των αεροσκαφών και των παρελκομένων αυτών, διασφάλιση της αξιοπλοΐας των αεροσκαφών και κατά συνέπεια, μείωση των καθυστερήσεων στις αναχωρήσεις, ασφάλεια των επιβατών κατά την πτήση και εμπιστοσύνη προς την εταιρεία.

Η αποτελεσματικότητα της δομής της εφοδιαστικής αλυσίδας επιτυγχάνεται όταν παρέχεται:

1. η συμφωνηθείσα ποσότητα υλικών
2. στα σημεία που έχουν συμφωνηθεί

3. στο χρόνο που έχει συμφωνηθεί
4. στην κατάσταση που έχει συμφωνηθεί
5. στο χαμηλότερο δυνατό κόστος

Για να επιτευχθεί ο συντονισμός στις δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας θα πρέπει όλες οι δραστηριότητες που την απαρτίζουν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, έτσι ώστε η ορθή διεξαγωγή της μίας να ενεργοποιεί την άλλη και να προκύπτει ένα ενιαίο σύστημα. Το σύστημα αυτό για την ορθή του λειτουργία απαιτεί παράλληλα:

- κοινές πολιτικές λειτουργίας
- συμβατά επιμέρους συστήματα και τεχνικές
- απρόσκοπτη εσωτερική διακίνηση των πληροφοριών
- κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού

Προϋπόθεση για το συντονισμό των παραπάνω ενεργειών αποτελεί η κατανόηση της αλληλοσυσχέτισης των επιμέρους αποφάσεων.

Από τις προηγούμενες ενότητες εξάγεται το συμπέρασμα ότι η διαχείριση του αποθέματός και η επίβλεψη της διαθεσιμότητας για την κάλυψη αναγκών μίας αεροπορικής εταιρείας αποτελεί ένα από τα πιο σύνθετα προβλήματα που ενδέχεται να αντιμετωπίζουν εταιρείες στον κλάδο των αερομεταφορών. Μια καλά δομημένη σχέση με τους προμηθευτές αποτελεί σημαντικό παράγοντα, αφού είναι δυνατόν να επιτευχθούν διευκολύνσεις ως προς την αμεσότητα της παραλαβής μίας παραγγελίας

Στην αεροπορία οι επιλογές είναι περιορισμένες, λόγω του γεγονότος ότι συνήθως οι απαιτήσεις σε αεροπορικό υλικό αποτελούν επείγουσα ανάγκη η οποία θα πρέπει να διευθετηθεί άμεσα. Για το λόγο αυτό οι αποθηκευτικοί χώροι κάθε αεροπορικής εταιρείας βρίσκονται στο χώρο του αεροδρομίου.

Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2042/2003 επιβάλλει την τήρηση και συνεχή ενημέρωση των αρχείων διαρκούς αξιοπλοΐας. Με την περάτωση οποιασδήποτε συντήρησης γίνεται ενημέρωση των αρχείων διαρκούς αξιοπλοΐας με το αντίστοιχο πιστοποιητικό το οποίο εκδίδεται (πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία).

Τα αρχεία διαρκούς αξιοπλοΐας του αεροσκάφους περιλαμβάνουν:

1. τις ισχύουσες οδηγίες αξιοπλοΐας και τα υποχρεωτικά μέτρα που ορίζει η αρμόδια αρχή προκειμένου να ανταποκριθεί άμεσα σε προβλήματα ασφάλειας
2. την τρέχουσα κατάσταση ενδεχόμενων επισκευών και συντηρήσεων
3. τη συμμόρφωση με το πρόγραμμα συντήρησης
4. τρέχουσα κατάσταση των παρελκομένων με περιορισμένη διάρκεια ζωής
5. τρέχουσα έκθεση μάζας και ζυγοστάθμισης
6. τρέχοντα κατάλογο εργασιών συντήρησης που εκκρεμούν

Η τήρηση των παραπάνω δεδομένων είναι υποχρεωτικού χαρακτήρα, ενώ ελλιπή στοιχεία, ή αναφορές πορισμάτων, που αφορούν την αξιοπλοΐα των αεροσκαφών, τα οποία δεν έχουν διευθετηθεί στο προβλεπόμενο χρονικό διάστημα, αποτελούν αιτία επιβολής υψηλών προστίμων από την EASA ή την αρμόδια αρχή κάθε ευρωπαϊκού κράτους, αφού τίθεται θέμα ασφάλειας των πτήσεων. Τα παραπάνω αρχεία αποτελούν και μία εικόνα της οργάνωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας και του τρόπου με τον οποίο αυτή λειτουργεί. Ακατάλληλες ενέργειες και λανθασμένες στρατηγικές διαχείρισης στο αεροπορικό υλικό είναι δυνατόν να επιφέρουν δυσάρεστα αποτελέσματα στο αερομεταφορέα.

Εξαιτίας της σποραδικής φύσης της ζήτησης ανταλλακτικών τα οποία αφορούν τη συντήρηση των αεροσκαφών, οι αεροπορικές εταιρείες αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην πρόβλεψη της ζήτησης. Θέματα ασφάλειας όπως επίσης και το κόστος του να έχει μία εταιρεία στην κατοχή της αεροσκάφη εκτός υπηρεσίας, λόγω συντήρησης ή λόγω έλλειψης αποθέματος, κάνει επιτακτική την ανάγκη ύπαρξης αποτελεσματικής οργάνωσης της αλυσίδας τροφοδοσίας και της πρόβλεψης της ζήτησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

2.1 *ΕΙΣΑΓΩΓΗ*

Η ζήτηση του αεροπορικού υλικού ωστόσο είναι εν μέρει μη τακτική (irregular). Αυτό κάνει το πρόβλημα της διαχείρισης των αποθεμάτων πιο περίπλοκο διότι απαιτεί μία ισορροπία ανάμεσα στο απόθεμα υλικών και στο κόστος διατήρησής του. Για να επιτευχθεί αυτή η ισορροπία απαιτούνται μοντέλα ακριβούς πρόβλεψης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τέσσερις κατηγορίες οι ορισμοί των οποίων προσδιορίζουν την ασυνεχή φύση της ζήτησης:

- **Ασυνεχής ζήτηση** (intermittent demand): εμφανίζεται τυχαία σε πολλές χρονικές περιόδους.
- **Ακανόνιστη ζήτηση** (erratic demand): χαρακτηρίζεται από (υψηλή) μεταβλητότητα που σχετίζεται περισσότερο με το μέγεθος της ζήτησης παρά με τη ζήτηση ανά μονάδα χρονικής περιόδου.
- **Χαμηλής κίνησης ζήτηση** (slow moving demand): παρουσιάζεται επίσης τυχαία, με πολλές χρονικές περιόδους να μην υπάρχει καθόλου ζήτηση. Η ζήτηση, όταν αυτή υπάρχει είναι για μοναδικές ή για πολύ λίγες μονάδες υλικών.
- **Αβέβαια ζήτηση** (Lumpy demand): φαίνεται να είναι τυχαία με πολλές χρονικές περιόδους να μην υπάρχει καθόλου ζήτηση. Επιπλέον, η ζήτηση, όταν αυτή εμφανίζεται, είναι (πολύ) μεταβλητή (variable).

Υπάρχουν δύο τρόποι σχετικά με την επιλογή των ανταλλακτικών. Ο πρώτος βασίζεται στην <u>εμπειρία</u> και ο δεύτερος στην εφαρμογή <u>τεχνικών πρόβλεψης</u>. Έρευνες έχουν δείξει ότι μόνο το 9-10% των εταιρειών χρησιμοποιούν μοντέλα πρόβλεψης. Οι αερομεταφορείς, συνήθως, βασίζουν τις προβλέψεις τους στην εμπειρία τους επιχειρησιακά, σε ετήσιους προϋπολογισμούς και σε πληροφορίες από κατασκευαστές αεροσκαφών οι οποίοι παρέχουν λίστες με προτεινόμενα ανταλλακτικά.

Οι τεχνικές πρόβλεψης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην αναπλήρωση των αποθεμάτων. Ωστόσο, εμπειρία στον τομέα αυτό μπορεί να διευκολύνει ως προς την καλύτερη επιλογή των ποσοτήτων που θα παραγγελθούν. Εξωγενείς παράγοντες που μπορεί να είναι διαφορετικοί κάθε φορά, είναι δυνατόν να προβλεφθούν.

Κάθε πολιτική διατήρησης αποθεμάτων πρέπει να λειτουργεί λαμβάνοντας υπόψη τη διακύμανση της ζήτησης. Γι αυτό το λόγο είναι σημαντική η αντίληψη του πόσο ευαίσθητες είναι οι απαιτήσεις των αποθεμάτων στον κλάδο των αερομεταφορών. Δυστυχώς, οι ερευνητικές εργασίες πάνω στο συγκεκριμένο θέμα είναι ελλιπείς.

Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής ανάλυση της πρόβλεψης της ζήτησης μέσα από την παράθεση αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων προηγούμενων ερευνών. Σε επόμενη ενότητα θα αναπτυχθεί μία νέα προσέγγιση για την πρόβλεψη της ζήτησης σε αεροπορικό υλικό μέσω εκπαίδευσης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.

2.2 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

2.2.1 Προσεγγίσεις

Έρευνες που έγιναν στα δεδομένα της ζήτησης από τα αρχεία συντήρησης της Πολεμικής Αεροπορία των ΗΠΑ, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ζήτηση φαίνεται να σχετίζεται με τις ώρες πτήσης και τον αριθμό των κύκλων (από απογείωση σε επόμενη απογείωση), με τις ώρες πτήσης να έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό συσχέτισης.

Υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις για την πρόβλεψη των αναγκών σε αεροπορικό υλικό. Ο Willemain et al (2004) εισήγαγε μία χρήσιμη κατηγοριοποίηση:

- **Επέκταση των κλασικών μεθόδων** (Extension of standard methods): βασιζόταν στην εκτίμηση του μέσου επιπέδου της κατανάλωσης και του μέσου χρόνου παράδοσης της παραγγελίας (lead time).

- **Έξυπνα συστήματα και θεωρία της αξιοπλοΐας** (Expert systems and reliability theory): είναι δυνατόν να φανούν χρήσιμα, αλλά η εκπαίδευση για το συγκεκριμένο θέμα απαιτεί ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων τα οποία είναι δύσκολο να συλλεχθούν.
- **Απλή εκθετική εξομάλυνση** (Single exponential smoothing): εξάγονται ικανοποιητικά αποτελέσματα συγκριτικά με την απλότητα της εφαρμογής της.
- **Η εκθετική εξομάλυνση της μεταβλητής του Croston** (Croston's variant of exponential smoothing): παρέχει διαφορετικές εκτιμήσεις του μεγέθους της ζήτησης και της συχνότητας της ζήτησης η οποία εφαρμόζεται σε απλές εκθετικές εξομαλύνσεις.
- **Μέθοδοι Bootstrap** (Bootstrap methods): δομούν την εμπειρική κατανομή της κατανάλωσης των υλικών.
- **Κινητοί μέσοι και διακυμάνσεις** (Moving averages and variations): χρησιμοποιούνται ευρέως και προέρχονται από τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται για αναζήτηση της συνεχούς ζήτησης υλικών.

2.3 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Έρευνα αναφορικά με το ποσοστό των αεροπορικών εταιρειών οι οποίες χρησιμοποιούν συστήματα MRP για την διαχείριση των υλικών τους κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι περισσότερες εφαρμόζουν το μοντέλο του σημείου αναπαραγγελίας (ROP- Reorder Point), ενώ λίγες είναι εκείνες οι οποίες χρησιμοποιούν τα συστήματα MRP. Παρόλο που οι αερομεταφορείς φαίνεται να λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τα συστήματα MRP η προσαρμογή τους στη διαχείριση αεροπορικού υλικού είναι αρκετά δύσκολη σαν εγχείρημα.

Στα πλαίσια της έρευνας αυτής πρόκυψε επίσης και το εξής: Οι αερομεταφορείς πέρα από τα παραπάνω μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων χρησιμοποιούν και άλλες δομές για τη διαχείριση του αεροπορικού τους υλικού και συνεπώς την πρόβλεψη της ζήτησης αυτού. Παρακάτω περιγράφονται ορισμένα από αυτά.

- Οι αεροπορικές εταιρίες συχνά χρησιμοποιούν κατά μέσο όρο τιμές που προκύπτουν από **παρελθούσα χρήση** παρά κάνοντας προβλέψεις για τις απαιτήσεις σε υλικά, για να καθορίσουν τι ποσότητα θα πρέπει να παραγγείλουν και πότε.
- Το **Bill of Materials processor** (**BOM**) (λογισμικό πακέτο) ενώνει την κεντρική βάση δεδομένων του λογισμικού με το αρχείο όπου περιγράφεται με ακρίβεια η κατάσταση κάθε αποθέματος. Με τον τρόπο αυτό, οι απαιτήσεις σε υλικά απεικονίζονται με βάσει την τρέχουσα κατάσταση των αποθεμάτων.
- Τα συστήματα **MRP I** αποτελούν μία προέκταση των συστημάτων MRP, η οποία συνδέει την κεντρική βάση δεδομένων που διαχειρίζεται ένα απλό MRP σύστημα με το σύνολο των δραστηριοτήτων της εταιρείας, ενώ περιλαμβάνει και οικονομικά στοιχεία.
- Κάποιες εταιρείες εφάρμοσαν συστήματα εξειδικευμένου αυτοματισμού στις παραγγελίες. Οι παραγγελίες σε υλικά, το ύψος του αποθέματος των οποίων έφτανε στο σημείο αναπαραγγελίας, γίνονται αυτόματα. Συνήθως οι ίδιες εταιρείες έκαναν διαχωρισμό των υλικών τα οποία έκριναν ότι η παραγγελίες τους ήταν προτιμότερο να εκτελούνται χειροκίνητα. Τέτοια υλικά είναι τα υλικά υψηλού κόστους τα οποία η εταιρεία συντηρεί ή επισκευάζει με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους (rotables). Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω συστήματος ανταλλαγής ηλεκτρονικών δεδομένων, γνωστό και ως **Electronic Data Interchange (EDI).** Στελέχη των εταιρειών που χρησιμοποιούν ή χρησιμοποιούσαν αυτό το σύστημα το θεωρούν απαρχαιωμένο.
- Αρκετές ήταν οι εταιρείες οι οποίες κατά την έρευνα αυτή προέκυψε ότι κατέφευγαν σε ανάλυση **ABC (Activity Based Costing) (Pareto).** Στην περίπτωση αυτή, οι εταιρείες έθεταν προτεραιότητες στην αγορά υλικών βασιζόμενες στην πεποίθηση ότι 20% των υλικών αποτελεί το 80% του συνολικού κόστους. Σαν σημείο αναφοράς χρησιμοποιούσαν το *MEL (Minimum Equipment List).* Το MEL είναι μία λίστα από υλικά, η έλλειψη αποθέματος των οποίων αποτελεί αιτία καθήλωσης του αεροσκάφους στο έδαφος (*Aircraft On Ground – A.O.G.*).

Η ίδια έρευνα εξέτασε και τις ενέργειες, αναφορικά με την πρόβλεψη της ζήτησης, στις οποίες καταφεύγει ένας αερομεταφορέας σε περίπτωση μεταβολής του στόλου του κατά ένα αεροσκάφος νέου τύπου για εκείνον.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ότι στην περίπτωση που αερομεταφορείς δεν είχαν διατηρήσει αρχεία παρελθόντων ετών, τότε

1. χρησιμοποιούσαν την εμπειρία τους ή τις αρχικές υποδείξεις του κατασκευαστή για να υπολογίσουν ποια υλικά και σε τι ποσότητες θα απαιτηθούν. Στις περισσότερες περιπτώσεις ενσωμάτωναν τις πληροφορίες των κατασκευαστών στα στοιχεία τα οποία είχαν δομήσει με βάση τη δική τους εμπειρία.
2. συμβουλεύτηκαν τον κατασκευαστή για τις αρχικές υποδείξεις, όχι νωρίτερα από την έλευση του νέου αεροσκάφους.
3. συμβουλεύτηκαν άλλους αερομεταφορείς οι οποίοι χρησιμοποιούσαν τον ίδιο τύπο αεροσκάφους και τον ίδιο τύπο κινητήρων.

2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Προγενέστερες έρευνες επίσης έχουν δείξει ότι αρκετοί αερομεταφορείς βρίσκονταν σε αναζήτηση ενός καλύτερου συστήματος πρόβλεψης της ζήτησης των υλικών τους. Γενικά, στα πλαίσια της αεροπορικής βιομηχανίας, η ζήτηση των περισσοτέρων υλικών είναι δύσκολο να προβλεφθεί και η εκτίμηση της μελλοντικής ζήτησης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες όπως:

- Από διαθέσιμες συμβάσεις συντήρησης
- Από το πρόγραμμα προγραμματισμένων συντηρήσεων των αεροσκαφών και των παρελκομένων αυτών, με κάποιες εταιρείες να κάνουν προβλέψεις χωρίς τη χρήση κάποιου συστήματος για ακριβά υλικά (rotables/repairables).
- Από εμπειρία παρελθόντων ετών και με δεδομένα όπως είναι οι ώρες πτήσεων.
- Από τον ετήσιο προϋπολογισμό αναφορικά με τις προβλεπόμενες ώρες πτήσης, το μέγεθος του στόλου των αεροσκαφών.
- Σε περιπτώσεις νέων τύπων αεροσκάφους στο στόλο, από εγχειρίδια για τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται η γενική συντήρηση (overhaul manuals) για τα υλικά τα οποία είναι συμβατά με το αεροσκάφος τα οποία συμβάλλουν στην αξιολόγηση σε γενικές γραμμές της ποσότητας των υλικών

που απαιτούνται με βάσει και τις πληροφορίες για αξιοπιστία και τα όρια ζωής και λειτουργικής αντοχής των υλικών.

- Από τη διάρκεια της συντήρησης των υλικών
- Από το μέσο χρόνο μεταξύ της αντικατάστασης/ γενικής επισκευής (Mean Time Between Removal/ Overhaul (MTBR/O) που χρησιμοποιείται και για την πρόβλεψη του ποσοστού απώλειας.

Οι περισσότερες αεροπορικές εταιρείες κάνουν προβλέψεις σε μηνιαία ή τριμηνιαία βάση. Ωστόσο, τα συστήματα προβλέψεων των υλικών εξαρτώνται από την κατηγορία στην οποία ανήκουν, εξαιτίας του διαχωρισμού των αεροπορικών υλικών είτε σε προβλέψιμης ζήτησης «life-limited» ή μη προβλέψημης ζήτησης «condition-monitored» υλικά. Ορισμένες εταιρείες διαχειρίζονται την πρόβλεψη για τα υλικά της πρώτης κατηγορίας χωρίς τη χρήση Η/Υ, ενώ περίπου 5% του συνόλου των υλικών τα οποία αγοράζονται κοστίζουν σχεδόν το 65% του συνολικού κόστους. Επιπλέον, για τα «on-condition monitored» υλικά ένας επιπρόσθετος παράγοντας σχεδιασμού χρησιμοποιείται και ονομάζεται δείκτης αντικατάστασης «replacement index» ως αναμενόμενο ποσοστό αντικαταστάσεων.

Εταιρείες οι οποίες λειτουργούν με τον παραπάνω τρόπο έχουν την πεποίθηση ότι έχουν κάνει μία ακριβή πρόβλεψη και περνούν στο επόμενο βήμα που είναι η προώθηση των παραγγελιών. Ωστόσο, η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας είναι εφικτή για λίγα μόνο υλικά, όπως είναι οι τροχοί και τμήματα από τα φρένα του αεροσκάφους. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, όμως, ορισμένες εταιρείες ακόμα αντιμετωπίζουν δυσκολίες εξαιτίας των μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων στην προσπάθειά τους για ανεύρεση κατάλληλων μεθόδων πρόβλεψης οι οποίες να ταιριάζουν στο δικό τους περιβάλλον και τις ανάγκες.

Κάποιες εταιρείες προετοιμάζουν χωρίς καν τη χρήση Η/Υ προβλέψεις για τα ακριβά υλικά (rotables/ repairables). Οι προβλέψεις βασίζονται γενικά σε εμπειρία και γνώση προηγούμενων ετών.

2.5 <u>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</u>

Το δείγμα δεδομένων το οποίο χρησιμοποιείται σε αυτή τη μελέτη αποτελείται από ανταλλακτικά (repairable parts) αεροσκαφών, για τα οποία η ζήτηση είναι μη προβλέψιμη ή τυχαία. Οι αερομεταφορείς οι οποίοι συμμετείχαν στην έρευνα αυτή διατηρούσαν αρχεία για τη ζήτηση των υλικών αυτών σε εβδομαδιαία βάση για κάθε υλικό. Ερευνητές παρακολούθησαν ένα σύνολο από 35 υλικά για ένα διάστημα δέκα ετών από τον Ιανουάριο του 1989 έως τον Ιούνιο του 2000. Όπως φάνηκε η ζήτηση των συγκεκριμένων υλικών επηρεαζόταν από τις ώρες πτήσης των αεροσκαφών ή τον αριθμό των προσγειώσεων, ενώ η ποσότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά επηρέασε τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Μόνο τιμές της ζήτησης, οι οποίες επανεμφανίζονται και οι οποίες θα μπορούσαν να είναι αναμενόμενες ως αποτέλεσμα της χρήσης των αεροσκαφών, λαμβάνονται υπόψη στη συγκεκριμένη μελέτη (ζήτηση σε hard time υλικά-που η συντήρησή τους θεωρείται προγραμματισμένη (hard time)- και σε υλικά που η ζήτησή τους μπορεί να θεωρηθεί ελεγχόμενη (condition-monitored). Τα αποτελέσματα όμως της έρευνας δεν ήταν επαρκή για να καλύψουν τις απαιτήσεις μίας αεροπορικής εταιρείας. Χρησιμοποιήθηκαν μόνο τιμές της ζήτησης υλικών τα οποία υπόκεινται σε προγραμματισμένη συντήρηση ή σε συνεχή έλεγχο για το ύψος του αποθέματος ή της κατάστασης στην οποία βρίσκονται. Το πρόβλημα ωστόσο στον τομέα της ζήτησης αεροπορικών υλικών, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, είναι η μη τακτική συμπεριφορά.

Για να μειωθεί η πιθανότητα της έλλειψης υλικών σε ένα λογικά χαμηλό επίπεδο, δεν αρκεί μονάχα η πρόβλεψη (και χρήση) των μέσων ποσοστών ζήτησης όπως κάνουν οι περισσότεροι αερομεταφορείς. Αντίθετα, είναι απαραίτητο να γνωρίζουν την πηγή αυτής της ακανόνιστης ζήτησης. Παράγοντες οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εν λόγω έρευνα είναι οι εξής:.

- Η αρχική κατάσταση συντήρησης (Primary maintenance process - PMP)
- Ο ρυθμός χρήσης του αεροσκάφους (Aircraft utilization rate - AUR)
- Η διάρκεια συντήρησης των υλικών (The component’s overhaul life -COL)
- Η διακύμανση της ζήτησης
- Τα μεσοδιαστήματα της ζήτησης

2.5.1 ***Αρχική κατάσταση συντήρησης- Primary Maintenance Process***

Οι τρεις διαδικασίες αρχικής συντήρησης (PMP) αναγνωρισμένες από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας του Ηνωμένου Βασιλείου (1990) είναι:

Α. Hard – time (Προγραμματισμένη συντήρηση)

Β. On- condition (Συντήρηση αν προκύψει κάποια βλάβη)

Γ. Condition – monitoring (Προληπτική συντήρηση)

2.5.2 Ο ρυθμός χρήσης του αεροσκάφους -Aircraft Utilization Rate

Έστω ότι ο μέσος αριθμός των ωρών ή των κύκλων ενός αεροσκάφους είναι 7,1 ώρες/ ημέρα ή 3,5 κύκλους/ ημέρα. Το αεροσκάφος δεν δημιουργεί έσοδο όταν βρίσκεται στο έδαφος, ενώ η υπερβολική χρήση του είναι δυνατόν να προκαλέσει κοστοβόρες απώλειες σε ότι αφορά τη συντήρησή του και ίσως αυτό να οδηγήσει σε μικρότερο όριο ζωής. Εάν, όμως, για παράδειγμα, το σύνολο της απόστασης που έχει διανύσει σε μίλια είναι κάτι λιγότερο από το μέγιστο εκείνου του ορίου το οποίο είχε προβλεφθεί βάσει προγράμματος, τότε οι αερομεταφορείς ενδέχεται να μπορούν να παρατείνουν τη χρήση του αεροσκάφους. Οι περισσότεροι αερομεταφορείς έχουν ένα επιτρεπτό όριο, το οποίο είναι ο μέγιστος αριθμός των ωρών/ κύκλων που κάθε αεροσκάφος επιτρέπεται να πετάξει μεταξύ των διαστημάτων που πραγματοποιείται η βαριά συντήρησή του. Αυτές οι επιπλέον πτήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται με το αεροσκάφος το οποίο έχει τις λιγότερες κάθε φορά ώρες πτήσης και όχι αυθαίρετα. Όταν ένα αεροσκάφος περάσει το επιτρεπτό όριο, καθηλώνεται στο έδαφος. Το προσωπικό της εταιρείας, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία προγραμμάτων συντήρησης του αεροσκάφους, είναι σε θέση να κρίνει ποιο αεροσκάφος θα πρέπει να επιλεχθεί για την εκτέλεση δρομολογίων έτσι ώστε να υπάρχει έλεγχος.

2.5.3 Διάρκεια συντήρησης των υλικών -Component Overhaul Life,

Ένας άλλος παράγοντας, ο οποίος μπορεί να ενισχύει την ακανόνιστη συμπεριφορά της ζήτησης, είναι ο χρόνος που διαρκεί μία συντήρηση (overhaul life). Για παράδειγμα έστω το σύστημα προσγείωσης του αεροσκάφους. Πρόκειται για ένα υλικό μεγάλου όγκου, με μεγάλο όριο ζωής το οποίο καθορίζεται από τις ώρες πτήσεως ή τις προσγειώσεις και με αυτό τον τρόπο γίνεται έλεγχος των κινήσεων του υλικού κατά τη διάρκεια περιοδικών εργασιών συντήρησης, ώστε αυτές να διεξάγονται ομαλά και συστηματικά. Αυτός ο παράγοντας ελέγχεται από τα δεδομένα

MTBR και MTBO. Η επιλογή και ο καθορισμός των δεδομένων που χρησιμοποιούνται διαφέρουν από αεροπορική σε αεροπορική εταιρεία, ανάλογα με τις συστάσεις οι οποίες γίνονται από τους κατασκευαστές των αντίστοιχων υλικών.

2.5.4 Συμπεράσματα

Η πραγματική ζήτηση η οποία μελετάται στη συγκεκριμένη έρευνα δηλώνει ότι η διαχείριση της αβέβαιης και μη τακτικής ζήτησης καταλήγει σε ένα πολυδιάστατο πρόβλημα. Οι αεροπορικές εταιρείες θα πρέπει να αναγνωρίσουν ποιοι ακριβώς είναι οι παράγοντες οι οποίοι πραγματικά συμβάλλουν στην ασυνέχεια της ζήτησης. Ειδικότερα, αυτή η μελέτη δείχνει πώς η ασυνέχεια είναι δυνατόν να προκαλείται από διαφορετικές πηγές δραστηριοτήτων των αεροπορικών εταιρειών. Το να γίνουν αντιληπτές οι πηγές της ασυνέχειας είναι βασικό για πολλούς λόγους. Πρώτον, η διοίκηση μπορεί να επιδιώξει να προβεί σε ενέργειες, έμμεσα ή άμεσα, στις παραπάνω πηγές ώστε να μειωθεί αυτό το χαρακτηριστικό της ζήτησης. Αυτό μπορεί να δώσει μία σαφέστερη εικόνα και να εγείρει ουσιαστικά οφέλη, για παράδειγμα με τη μείωση ή αύξηση του μέσου χρονικού διαστήματος μεταξύ των επισκευών (overhaul) και εστιάζοντας στα υλικά με υψηλά ποσοστά απωλειών όπως είναι τα condition monitored υλικά. Αυτό είναι δυνατόν να προκαλέσει ομαλότερη, αν και ακόμα αβέβαιη, ζήτηση. Δεύτερον, το να γίνουν αντιληπτές οι πηγές που προκαλούν την ασυνέχεια της ζήτησης είναι αναγκαίο για να γίνει η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου και η μείωση αυτής. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η διακύμανση στα δεδομένα αυξάνεται ανάλογα με το επίπεδο της χρήσης του αεροσκάφους και τις ώρες πτήσης.

2.6 ΑΛΛΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Υπάρχουν αρκετές έρευνες που αναζήτησαν τους παράγοντες στους οποίους οφείλονται οι ιδιαιτερότητες της ζήτησης σε αεροπορικό υλικό, ως συνάρτηση των ωρών πτήσης. Αποτελέσματα προσεγγίσεων που έγιναν, μέσω του προσδιορισμού της τυπικής απόκλισης και της διακύμανσης της ζήτησης και σχετικής στατιστικής ανάλυσης (**προσέγγιση γενικού γραμμικού μοντέλου**), δείχνουν ότι η ζήτηση του αεροπορικού υλικού σχετίζεται άμεσα με τις ώρες πτήσης ή τον αριθμό των προσγειώσεων του αεροσκάφους.

Ωστόσο, ακόμα και με αυτή την παραδοχή δεν είναι σαφές ότι οι ώρες πτήσεως ή οι προσγειώσεις του αεροσκάφους λειτουργούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες, αυτό αποτελεί δείγμα της μη τακτικής συμπεριφοράς της ζήτησης του αεροπορικού υλικού. Για παράδειγμα, για το σκέλος (landing gear) του αεροσκάφους, εκείνο το οποίο έχει σημασία είναι όχι το χρονικό διάστημα που το αεροσκάφος βρίσκεται στον αέρα, αλλά το πόσο συχνά αυτό προσγειώνεται. Επίσης, κάποια υλικά τα οποία αποτελούν τμήματα από κάποιο radar ξοδεύουν σημαντικό διάστημα από το χρόνο ζωής τους κατά την ενεργοποίηση και κατά την απενεργοποίησή τους ενώ το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος και έτσι όσο περισσότερες ώρες το αεροσκάφος βρίσκεται στον αέρα τόσο λιγότερο λειτουργούν τα συγκεκριμένα εξαρτήματα. Επιπλέον, δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος λόγος για να ισχυριστούμε ότι υπάρχει απόλυτη συσχέτιση ανάμεσα στις ώρες πτήσης του αεροσκάφους και τη μέση ζήτηση σε αεροπορικό υλικό. Ακόμη και αν το αεροσκάφος απλά βρίσκεται κάτω από ένα υπόστεγο (hangar), θα υπάρχουν και πάλι κάποιες απώλειες.

Η παράθεση προγενέστερων ερευνών συμβάλλει στην κατανόηση της σημασίας την οποία έχει για έναν αερομεταφορέα η πρόβλεψη της ζήτησης των υλικών που χρησιμοποιεί. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την δημιουργία αποτελεσματικών μοντέλων. Τα περισσότερα από αυτά καταλήγουν σε εύλογα συμπεράσματα και οι διαδικασίες τους βοηθούν αρκετά στη λήψη αποφάσεων για την παραγγελία υλικών και τη διαχείριση των αποθεμάτων. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζεται μία νέα προσέγγιση μέσω Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα δίνουν τη δυνατότητα επεξεργασίας οποιασδήποτε συμπεριφοράς έχει ακολουθήσει ένα υλικό. Λαμβάνοντας ως δεδομένη τη συμπεριφορά κάθε υλικού χωριστά σε παρελθόντα έτη προβλέπουν τη ζήτησή τους και συμβάλλουν στην αποδοτικότερη λήψη αποφάσεων από τα αντίστοιχα στελέχη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

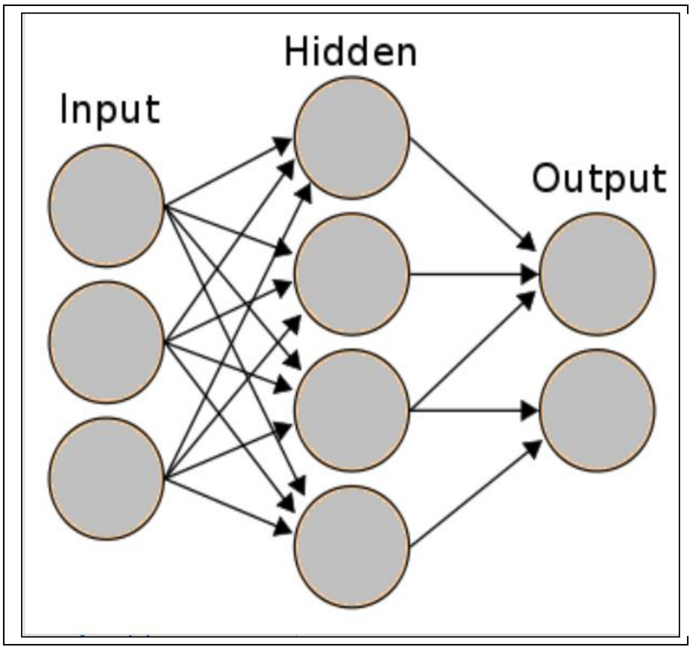
Όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, προγενέστερες έρευνες οι οποίες ασχολήθηκαν με την πρόβλεψη της ζήτησης αεροπορικού υλικού κατέληξαν σε μερικώς ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι παραδοχές οι οποίες γίνονται για τις ανάγκες της διεξαγωγής των εν λόγω ερευνών, πρακτικά, δε διευκολύνουν τον αερομεταφορέα, αφού η λειτουργικότητα της εφοδιαστικής του αλυσίδας περιορίζεται. Μοντέλα τα οποία έχουν δημιουργηθεί έως σήμερα είναι ικανά να προβλέψουν τη ζήτηση υλικών τα οποία ακολουθούν μία συγκεκριμένη συμπεριφορά και δέχονται ότι αυτή παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Έρευνες οι οποίες ασχολήθηκαν με την μη-τακτική συμπεριφορά της ζήτησης, εστίασαν περισσότερο στην ανάλυση της συμπεριφοράς και τους λόγους που αυτή παρουσιάζεται. Πολλά υλικά υφίστανται έκτακτες φθορές ή απώλειες. Ακόμα και σε εκείνα των οποίων η ζήτηση είναι δυνατόν να προβλεφθεί, ουσιαστικά μία απρόσμενη απώλεια εξαιτίας κάποιου έκτακτου περιστατικού μπορεί πολύ εύκολα να ανατρέψει το αποτέλεσμα.

Στην έρευνα, η διεξαγωγή και τα αποτελέσματα της οποίας θα ακολουθήσουν στη συνέχεια, γίνεται μία προσπάθεια να καλυφθεί όλο το φάσμα της συμπεριφοράς της ζήτησης σε αεροπορικό υλικό. Σκοπός είναι να γίνει μία νέα προσέγγιση αναφορικά με την πρόβλεψη της ζήτησης, η οποία για τους παραπάνω λόγους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ακόμα και σε έκτακτες περιπτώσεις που δεν έχουν παρουσιαστεί στο παρελθόν ή που ο αριθμός τους ήταν ασήμαντος για να εκπαιδευτεί κατάλληλα ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο, δίνεται η δυνατότητα εκπαίδευσης με την εισαγωγή τεχνητών ακραίων τιμών ζήτησης.

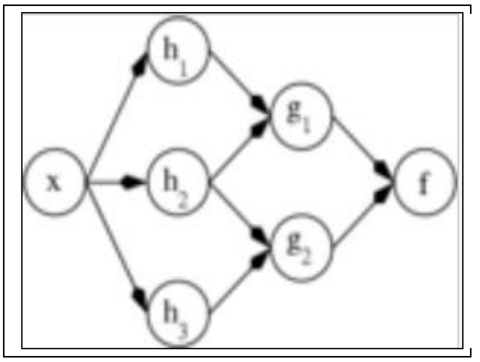
3.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι ένα μαθηματικό-υπολογιστικό μοντέλο μέσω του οποίου επιδιώκεται η προσομοίωση της δομή και της λειτουργίας ενός βιολογικού νευρωνικού δικτύου. Αποτελείται από ένα σύνολο από επιμέρους τεχνητούς νευρώνες οι οποίοι συνδέονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο προσαρμόζεται επηρεαζόμενο τόσο από εσωτερικούς όσο και από εξωτερικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής του. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση σύνθετων σχέσεων μεταξύ των δεδομένων τα οποία εισέρχονται σε αυτό (inputs) και των αποτελεσμάτων που τελικά προκύπτουν (outputs) ή για την ανεύρεση σχέσεων (patterns) που ισχύουν για τα δεδομένα. Σε ένα νευρωνικό δίκτυο, απλοί κόμβοι, οι οποίο αποκαλούνται “νευρώνες”, συνδέονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν ένα δίκτυο νευρώνων. Η λειτουργία τους βασίζεται σε αλγορίθμους ειδικά σχεδιασμένους να τροποποιούν τη δύναμη / τα βάρη (weights) των συνδέσεων στο εσωτερικό του δικτύου με σκοπό την παραγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος.

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούν μία προσομοίωση του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος ενός βιολογικού οργανισμού. Η συνάρτηση $f(x)$ ορίζεται ως σύνθεση άλλων συναρτήσεων $g_i(x)$, οι οποίες μπορεί περαιτέρω να ορίζονται ως σύνθεση άλλων συναρτήσεων κοκ. Απεικόνιση του δικτύου αυτού παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1, όπου τα βέλη δηλώνουν την εξάρτηση ανάμεσα στις μεταβλητές. Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη, γενική μορφή για την αναπαράσταση του δικτύου αυτού είναι η μη-γραμμική σταθμισμένη συνάρτηση αθροίσματος, $f(x)=K\left(\sum_i w_i g_i(x)\right)$, όπου το K είναι κάποια προκαθορισμένη συνάρτηση, γνωστή ως “activation function”. Έστω το σύνολο των συναρτήσεων g_i να είναι ένα διάνυσμα $g=(g_1,g_2,\ldots,g_n)$. Το Σχήμα 3.2 απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο δομείται η συνάρτηση f από τις υποσυναρτήσεις, με τις μεταβλητές να αλληλεξαρτώνται, κάτι το οποίο υποδηλώνεται από τη φορά των βελών που τις συνδέει μεταξύ τους.



Σχήμα 3.1: Δομή Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου



Σχήμα 3.2: Δομή συνάρτησης f μέσω ΤΝΔ

Από άποψη συναρτήσεων, η εισροή (input) (x) μετατρέπεται σε ένα διάνυσμα h τριών διαστάσεων, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται στο διάνυσμα δύο διαστάσεων g, για να σχηματιστεί τελικά τη συνάρτηση f. Με αυτό τον τρόπο το δίκτυο γίνεται καλύτερα αντιληπτό, ιδιαίτερα όταν εξετάζονται προβλήματα βελτιστοποίησης. Τα στοιχεία κάθε επιπέδου είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα. Αυτό προσδίδει ευελιξία στο νευρωνικό δίκτυο.

Δίκτυα όπως αυτό που περιγράφεται παραπάνω αποκαλούνται feedforward, γιατί διαγραμματικά, τα δεδομένα εισέρχονται από τη αριστερή πλευρά, ακολουθείται μία διαδικασία επεξεργασίας τους, και τελικά το δίκτυο καταλήγει σε κάποιο αποτέλεσμα στην δεξιά πλευρά, μέσω μίας μη- κυκλικής και μη επαναλαμβανόμενης διαδικασίας.

Η εκπαίδευση του δικτύου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ο όρος της εκπαίδευσης περιλαμβάνει τη χρήση ενός συνόλου παρατηρήσεων για να βρεθεί μία συνάρτηση f, η οποία θα δίνει τη βέλτιστη λύση. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι εκπαίδευσης ενός νευρωνικού δικτύου οι οποίες κατατάσσονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

α. <u>Supervised Learning</u>: Οι εισροές (inputs) είναι δεδομένες και εισάγονται στο δίκτυο με σκοπό να βρεθεί μία συνάρτηση η οποία να προσδιορίζει κατά το δυνατόν καλύτερα τη συμπεριφορά τους. Αυτή η κατηγορία απαιτεί εκ των προτέρων ύπαρξη δεδομένων με βάση τα οποία θα εκπαιδευτεί το δίκτυο.

β. <u>Unsupervised Learning</u>: Οι εισροές (inputs) όπως και η συνάρτηση η ελαχιστοποίηση της οποίας επιδιώκεται είναι δεδομένα και εισάγονται στο δίκτυο.

γ. <u>Reinforcement Learning</u>: Οι εισροές (inputs) συνήθως δεν είναι δεδομένες, αλλά παράγονται από την αλληλεπίδραση ενός “πράκτορα” με το αντίστοιχο περιβάλλον.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία θα ασχοληθούμε με την πρώτη κατηγορία εκμάθησης, αφού σκοπός μας είναι η εκπαίδευση με βάση μία ήδη υπάρχουσα συμπεριφορά στη ζήτηση κάθε υλικού. Ο αλγόριθμος τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για την εκμάθηση των νευρωνικών δικτύων είναι εκείνος του backpropagation (Multi-Layer Perceptrons). Σκοπός της εφαρμογής του αλγορίθμου του backpropagation είναι ο προσδιορισμός μίας αθροιστικής συνάρτησης μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ του αποτελέσματος του νευρωνικού δικτύου και των τιμών που, εξ αρχής, θεωρούνται ως στόχοι (targets) για όλες τις εισόδους του δικτύου. Έπειτα από τον προσδιορισμό της αθροιστικής συνάρτησης σφάλματος, ο αλγόριθμος επιδιώκει την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης σφάλματος, ακολουθώντας αντίστροφη πορεία αυτής που παραπάνω ορίσαμε ως feedforward. Στην επόμενη ενότητα γίνεται εκτενής παρουσίαση της λειτουργίας του αλγορίθμου του backpropagation.

3.3 <u>Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ BACKPROPAGATION</u>

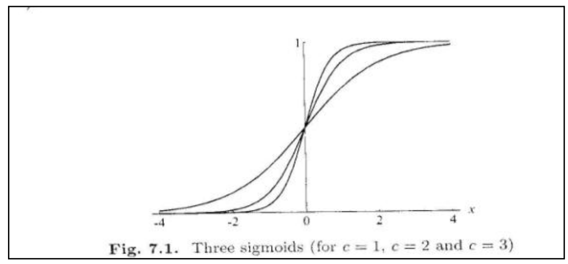
Ο Backpropagation είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος είναι ιδιαίτερα γνωστός λόγω της χρησιμότητάς του σε περιπτώσεις διαχείρισης προβλημάτων εκμάθησης μεγάλης έκτασης. Για το λόγο αυτό δε θα γίνει εκτενής περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του. Έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε έρευνες που, έχουν διεξαχθεί με αρκετά διαφορετικά θέματα μεταξύ τους. Παρόλα αυτά, η αποτελεσματικότητά του σε κάθε περίπτωση ήταν αξιοσημείωτη.

3.4 <u>ACTIVATION FUNCTIONS</u>

Ο Αλγόριθμος backpropagation αναζητά την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης σφάλματος. Ο συνδυασμός των βαρών w ο οποίος ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση σφάλματος αποτελεί στην ουσία τη λύση του προβλήματος εκμάθησης. Αυτή η μέθοδος απαιτεί τον υπολογισμό της παραγώγου της συνάρτησης σφάλματος σε κάθε επαναληπτικό βήμα (iteration). Απαραίτητη είναι η χρήση ενός είδους συναρτήσεως ενεργοποίησης (activation function), γιατί η συνάρτηση είναι μη συνεχής και το ίδιο ισχύει και για τη συνάρτηση σφάλματος. Μία από τις πιο γνωστές συναρτήσεις ενεργοποίησης (activation functions) για τον αλγόριθμο του backpropagation είναι η σιγμοειδής (sigmoid), μία πραγματική συνάρτηση $s_c : \Re \rightarrow (0,1)$, η οποία εκφράζεται ως εξής:

$$s_c(x) = \frac{1}{1+e^{-cx}}$$

Η σταθερά (c) μπορεί να επιλεχθεί αυθαίρετα και το $1/c$ αποκαλείται temperature parameter στα στοχαστικά νευρωνικά δίκτυα. Η μορφή της sigmoid αλλάζει ανάλογα με την τιμή του (c) όπως μπορεί κανείς να δει στο Σχήμα 3.3



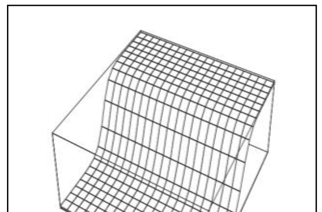
Σχήμα 3.3:. Τρεις συναρτήσεις sigmoid (για c=1, c=2 και c=3)

Η παράγωγος της sigmoid ως προς (x), ορίζεται ως εξής:

$$\frac{d}{dx}s(x)=\frac{e^{-x}}{(1+e^{-x})^2}=s(x)(1-s(x))$$

Πολλά ακόμα είδη συναρτήσεων ενεργοποίησης (activation functions) έχουν προταθεί και ο αλγόριθμος του backpropagation είναι δυνατόν να εφαρμοστεί με οποιοδήποτε από αυτά. Οι συναρτήσεις ενεργοποίησης χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία εκμάθησης του δικτύου μέσω της διαδικασίας του backpropagation. Πρόκειται για τις συναρτήσεις οι οποίες θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν για να δώσουν το βέλτιστο αποτέλεσμα. Απεικονίζουν το σφάλμα κατά τη διαδικασία προσδιορισμού μίας συνάρτησης η οποία θα δίνει περισσότερο αντικειμενικά τη συμπεριφορά των δεδομένων.

Το Σχήμα 3.4 δείχνει την καμπύλη που δημιουργείται από τη sigmoid σε ένα από τα βήματα της συνάρτησης σφάλματος. Αναζητάται ο προσδιορισμός της παραγώγου έτσι ώστε να βρεθεί το ελάχιστο αυτής της συνάρτησης. Είναι πολύ σημαντικό να μην υπάρχει καμία περιοχή όπου η συνάρτηση σφάλματος να είναι εντελώς ευθεία γραμμή παράλληλη στον άξονα των x.



Σχήμα 3.4: Ένα από τα βήματα της συνάρτησης σφάλματος

3.5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

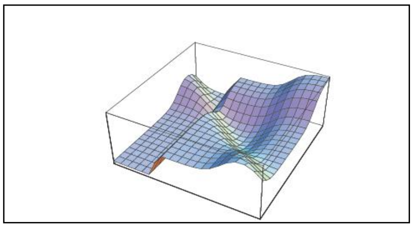
Η σιγμοειδής συνάρτηση ορίζεται αποκλειστικά στο διάστημα μεταξύ (0,1). Και οι δύο ακραίες τιμές είναι δυνατόν να επιτευχθούν ασυμπτωτικά. Οι μονάδες υπολογισμού (κόμβοι του δικτύου) κάνουν εκτίμηση της σιγμοειδούς συνάρτησης χρησιμοποιώντας την απόλυτη τιμή του εκθέτη. Με δεδομένα τα βάρη $w_1, ..., w_n$ και ένα bias $-\theta$, μία σιγμοειδής συνάρτηση υπολογίζει για τη μεταβλητή $x_1, ..., x_n$ το αποτέλεσμα

$$\frac{1}{1+\exp\left(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i - \theta\right)}$$

Υψηλότερη απόλυτη τιμή του εκθέτη φέρνει το αποτέλεσμα πιο κοντά στη μονάδα. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν με μία από τις τιμές της χρονοσειράς η οποία εξετάζεται. Για παράδειγμα, εάν έχουμε μία χρονοσειρά με 100 παρατηρήσεις συνολικά, επιλέγουμε, για κάθε 2 παρατηρήσεις που θέτουμε σαν εισόδους στο δίκτυό μας, το αποτέλεσμά της να συγκρίνεται με την 3 παρατήρηση.

3.6 ΤΟΠΙΚΑ ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Στη συνάρτηση σφάλματος ενδέχεται να υπάρχουν τοπικά ελάχιστα, τα οποία να δυσκολεύουν την ανεύρεση του ολικού ακρότατου (ελαχίστη τιμή). Σε πολλές περιπτώσεις τα τοπικά ελάχιστα εμφανίζονται διότι οι στόχοι οι οποίοι έχουν τεθεί είναι τιμές που διαφέρουν από 0 και 1. Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται περίπτωση τοπικού ελαχίστου στη συνάρτηση σφάλματος.



Σχήμα 3.5: Ένα τοπικό ελάχιστο της συνάρτησης σφάλματος

Στο σημείο αυτό θα γίνει περιγραφή του αλγορίθμου του backpropagation με τη βοήθεια γραφήματος όπου θα απεικονίζεται η σύνδεση του backpropagation με τον υπολογισμό της παραγώγου.

3.7 <u>ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ</u>

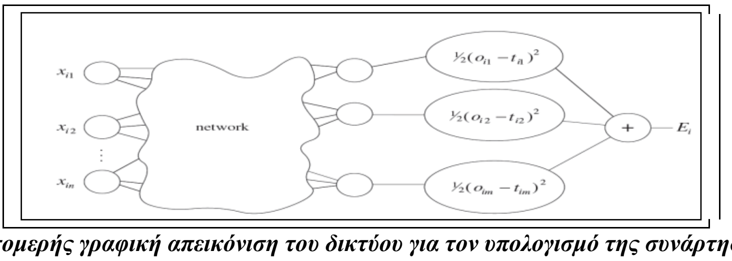
Η περιγραφή θα ξεκινήσει από τον προσδιορισμό της διαδικασίας που ακολουθείται στο feedforward neural network, απαραίτητη διαδικασία για να ακολουθήσει το backpropagation. Η περιγραφή του feedforward neural network θα γίνει μέσω ενός γραφήματος υπολογισμού, του οποίου οι κόμβοι είναι υπολογιστικές μονάδες και του οποίου τα βέλη μεταφέρουν αριθμητικές πληροφορίες από τον ένα κόμβο στον άλλο. Κάθε υπολογιστική μονάδα είναι σε θέση να εκτιμήσει μία και μοναδική πρωταρχική συνάρτηση για τα δεδομένα τα οποία εισέρχονται σε αυτήν (inputs). Στην πραγματικότητα, το δίκτυο αναπαριστά μία αλυσίδα σύνθεσης συναρτήσεων η οποία μετατρέπει μία εισροή (input) σε ένα διάνυσμα εξόδου (output vector pattern). Το δίκτυο είναι μία συγκεκριμένη εφαρμογή μιας σύνθετης συνάρτησης, η οποία αποκαλείται συνάρτηση δικτύου (network function). Το πρόβλημα εκμάθησης συνίσταται από την ανεύρεση του βέλτιστου συνδυασμού των βαρών w, έτσι ώστε η συνάρτηση του δικτύου **φ** να προσεγγίζει μία δεδομένη συνάρτηση f κατά το δυνατόν καλύτερα. Ωστόσο, η συνάρτηση f δεν είναι απόλυτα προσδιορισμένη, παρά μόνο γίνεται πιο συγκεκριμένη μέσω παραδειγμάτων.

Θεωρούμε ένα feed-forward network με n μονάδες εισόδου και m μονάδες εξόδου. Είναι δυνατόν να συνίσταται από οποιοδήποτε αριθμό κρυφών μονάδων (hidden units). Επίσης, θεωρούμε ένα δεδομένο σύνολο τιμών που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του δικτύου (training set) - $\{(x_1,t_1),\ldots,(x_p,t_p)\}$, αποτελούμενο από p ζεύγη τιμών διανύσματα n- και m-διαστάσεων αντίστοιχα, τα οποία αποκαλούνται input και output patterns. Ας θεωρήσουμε ότι οι πρωταρχικές συναρτήσεις σε κάθε κόμβο του δικτύου είναι συνεχείς και διακριτές (differentiable). Τα βάρη στα βέλη είναι πραγματικοί αριθμοί οι οποίοι έχουν επιλεγεί τυχαία. Όταν το input pattern x_i από το training set παρουσιάζεται σε αυτό το δίκτυο, παράγει ένα output o_i, διαφορετικό γενικά από το στόχο t_i. Αυτό που ζητάμε είναι το o_i να τείνει κατά το δυνατόν περισσότερο να γίνει ίσο με t_i για $i=1,.....,p$, με τη χρήση ενός αλγορίθμου εκμάθησης. Πιο συγκεκριμένα, αναζητάται η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης σφάλματος του δικτύου, η οποία ορίζεται ως εξής

$$E=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{p}\left\| o_i - t_i \right\|^2$$

Έπειτα από την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης για το σύνολο των παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του δικτύου (training set), νέα άγνωστα δεδομένα εισόδου παρουσιάζονται στο δίκτυο και αναμένουμε να τα διαχειριστεί. Το δίκτυο θα πρέπει να αναγνωρίσει εάν ένα νέο διάνυσμα εισόδου παρουσιάζει όμοια συμπεριφορά με τη συμπεριφορά δεδομένων από το training set με βάση το οποίο έγινε η εκπαίδευση. Εάν εντοπίσει παρόμοια συμπεριφορά, παράγει αποτέλεσμα κατά αντίστοιχο τρόπο.

Ο αλγόριθμος του backpropagation χρησιμοποιείται για την ανεύρεση ενός τοπικού ελαχίστου της συνάρτησης σφάλματος. Το δίκτυο εισάγεται με τυχαία επιλεγμένα βάρη. Η παράγωγος της συνάρτησης σφάλματος υπολογίζεται και χρησιμοποιείται για την επιδιόρθωση των αρχικών βαρών. Για το λόγο αυτό ο υπολογισμός της παραγώγου γίνεται κατ' επανάληψη (Σχήμα 3.6.)



Σχήμα 3.6. Λεπτομερής γραφική απεικόνιση του δικτύου για τον υπολογισμό της συνάρτησης σφάλματος

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας ελαχιστοποίησης αποτελείται από την επέκταση του δικτύου, με τέτοιο τρόπο ώστε να υπολογίζει τη συνάρτηση σφάλματος αυτόματα. Το Σχήμα 3.6. δείχνει πώς γίνεται αυτό. Καθένα από τις j μονάδες εξόδου του δικτύου συνδέεται με ένα κόμβο ο οποίος υπολογίζει τη συνάρτηση $\frac{1}{2}(o_{ij}-t_{ij})^2$, όπου o_{ij} oij και t_{ij} δηλώνουν το στοιχείο j του διανύσματος εξόδου o_i και του στόχου t_i. Τα αποτελέσματα των επιπρόσθετων m κόμβων συλλέγονται σε έναν κόμβο ο οποίος τα προσθέτει και δίνει το άθροισμα E_i ως δικό του αποτέλεσμα. Η ίδια διαδικασία του δικτύου πρέπει να δομηθεί για κάθε t_i. Μία υπολογιστική μονάδα συλλέγει όλα τα τετραγωνικά σφάλματα και δίνει σαν αποτέλεσμα το άθροισμα $E_1+...+E_p$. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας του δικτύου είναι η συνάρτηση σφάλματος E.

Έτσι έχουμε ένα δίκτυο ικανό να υπολογίσει το συνολικό σφάλμα για κάθε training set. Τα βάρη στο δίκτυο είναι οι μόνοι παράμετροι οι οποίοι είναι δυνατόν να τροποποιηθούν ώστε να κάνουν το τετραγωνικό σφάλμα E κατά το δυνατόν ελάχιστο. Επειδή το E υπολογίζεται από το δίκτυο που περιγράφηκε παραπάνω αποκλειστικά μέσω της σύνθεσης των συναρτήσεων των κόμβων, είναι μία συνεχής και διακριτή συνάρτηση των l βαρών $w_1,........,w_l$ στο δίκτυο. Έτσι μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε το E χρησιμοποιώντας μία επαναλαμβανόμενη διαδικασία γραμμωτής καθόδου για την οποία θα πρέπει να υπολογιστεί η παράγωγος:

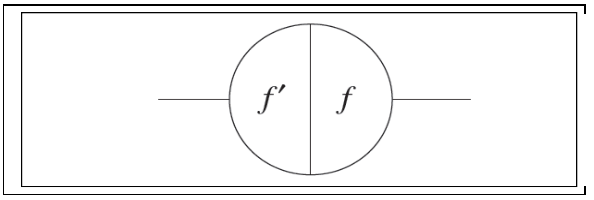
$$\nabla E = \left(\frac{\partial E}{\partial w_1}, \frac{\partial E}{\partial w_2}, \ldots, \frac{\partial E}{\partial w_l}\right)$$

Καθένα από τα w κάθε φορά διορθώνεται $\Delta w_i = -\gamma \frac{\partial E}{\partial w_i}$, όπου γ μία σταθερά εκμάθησης, δηλαδή μία αναλογική παράμετρος που ορίζει το μέγεθος του βήματος κάθε επανάληψης του αλγορίθμου backpropagation, ο οποίος έχει φορά αντίθετη της διαδικασίας feed forward που υπολογίζει το σφάλμα.

Με αυτή την προέκταση του δικτύου το συνολικό πρόβλημα εκμάθησης ανάγεται στην εύρεση του τρόπου υπολογισμού της παραγώγου μίας συνάρτησης δικτύου λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη του. Μόλις αποκτηθεί η δομή, η οποία υπολογίζει στην ουσία την παράγωγο, τα βάρη του δικτύου προσαρμόζονται μέσω επαναληπτικών διαδικασιών. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η ελάχιστη τιμή της συνάρτησης σφάλματος, όπου $\nabla E = 0$.

3.8 ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

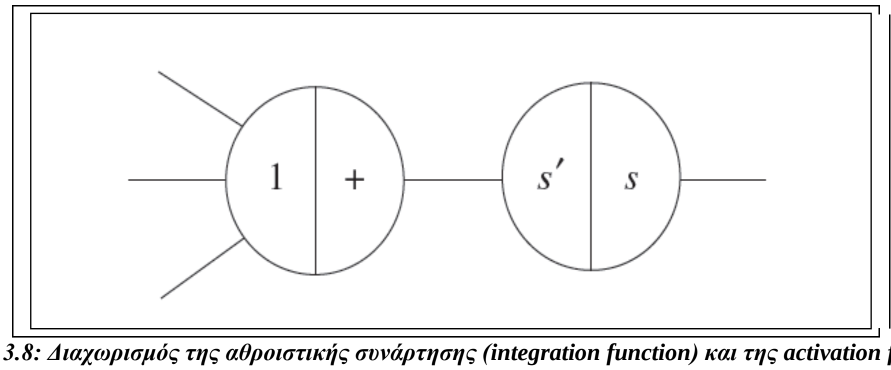
Αφού έχουν ολοκληρωθεί οι παραπάνω διαδικασίες, ορίζουμε σαν αντικειμενικό σκοπό την ανεύρεση μίας μεθόδου για αποτελεσματικό υπολογισμό της παραγώγου μίας μονοδιάστατης συνάρτησης δικτύου, σύμφωνα με τα βάρη του συστήματος, τα οποία έχουν προκύψει. Επειδή το δίκτυο είναι ισοδύναμο με μία πολύπλοκη αλυσίδα από συνθέσεις συναρτήσεων, αναμένουμε τον κανόνα της αλυσίδας διαφορετικών υπολογισμών να παίξει σημαντικό ρόλο στην ανεύρεση της παραγώγου της συνάρτησης. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός αυτό προσδίδεται στους κόμβους του δικτύου μία σύνθετη δομή. Κάθε κόμβος τώρα χωρίζεται σε δύο μέρη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7. Αυτό το είδος αναπαράστασης του δικτύου ονομάζεται στη βιβλιογραφία ως B-diagram.



Σχήμα 3.7: Οι δύο πλευρές της υπολογιστικής μονάδας

Η δεξιά πλευρά υπολογίζει την αρχική συνάρτηση η οποία σχετίζεται με τον κόμβο, ενώ η αριστερή υπολογίζει την παράγωγο της αρχικής συνάρτησης για το ίδιο δεδομένο εισόδου (input).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η integration function μπορεί να διαχωριστεί από την activation function διαχωρίζοντας κάθε κόμβο σε δύο μέρη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Ο πρώτος κόμβος υπολογίζει το άθροισμα των εισόδων (inputs) και ο δεύτερος την activation function s. Η παράγωγος του s είναι η s' και η μερική παράγωγος του αθροίσματος n εισροών, λαμβάνοντας υπόψη καθεμία από αυτές χωριστά, είναι 1.

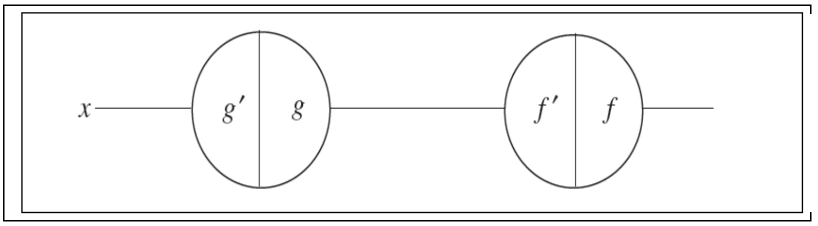


Σχήμα 3.8: Διαχωρισμός της αθροιστικής συνάρτησης (integration function) και της activation function

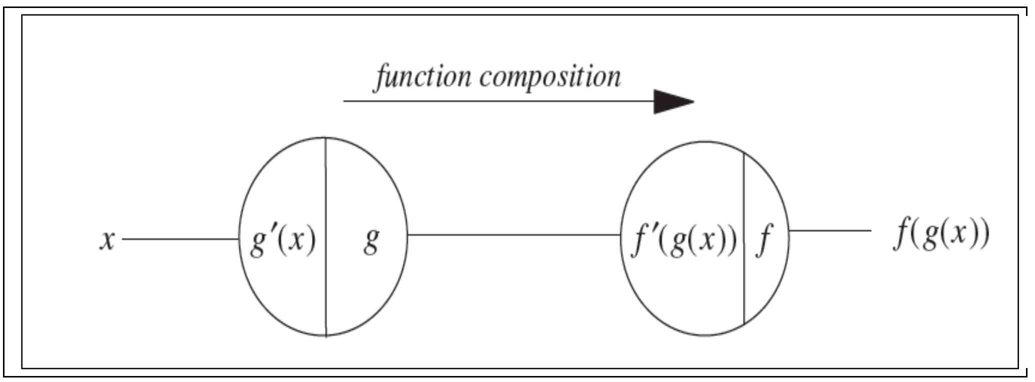
Το δίκτυο εκτιμάται σε δύο στάδια: στο πρώτο (feed-forward step), η πληροφορία έρχεται από αριστερά και κάθε μονάδα εκτιμά την αρχική της συνάρτηση f στην δεξιά της πλευρά και την παράγωγό της f' στην αριστερή της πλευρά. Και τα δύο αποτελέσματα αποθηκεύονται στην μονάδα, αλλά μόνο το αποτέλεσμα από τη δεξιά πλευρά μεταφέρεται στις μονάδες οι οποίες είναι συνδεδεμένες δεξιά. Το δεύτερο βήμα, (backpropagation) αποτελείται από την εφαρμογή ολόκληρου του δικτύου με κατεύθυνση προς τα πίσω, όπου τα αποθηκευμένα αποτελέσματα τώρα χρησιμοποιούνται. Υπάρχουν τρεις βασικές περιπτώσεις οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

3.9 <u>ΠΡΩΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ</u>

Το B-diagram του Σχήμα 3.9 περιλαμβάνει μόνο δύο κόμβους. Στο feed-forward step, οι πληροφορίες οι οποίες εισέρχονται στη μονάδα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αρχικής συνάρτησης του κόμβου και της παραγώγου αυτής. Σε αυτό το βήμα το δίκτυο υπολογίζει τη σύνθεση των συναρτήσεων f και g. Το Σχήμα 3.10 δείχνει την κατάσταση του δικτύου έπειτα από τη διαδικασία του feed-forward. Το σωστό αποτέλεσμα της σύνθεσης της συνάρτησης έχει παραχθεί στην μονάδα εξόδου και κάθε μονάδα έχει αποθηκεύσει κάποιες πληροφορίες στην αριστερή της πλευρά.

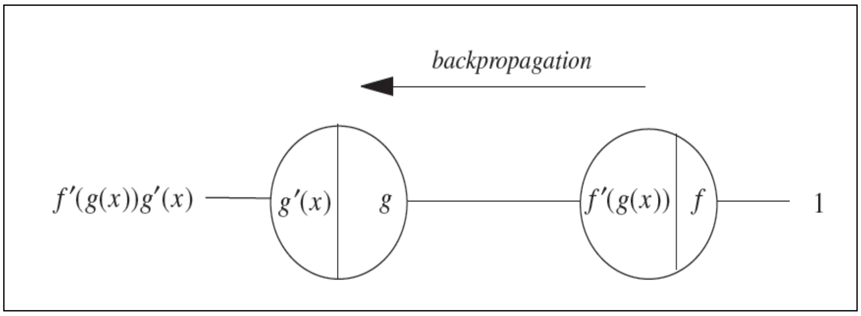


Σχήμα 3.9: Δίκτυο για τη σύνθεση δύο συναρτήσεων



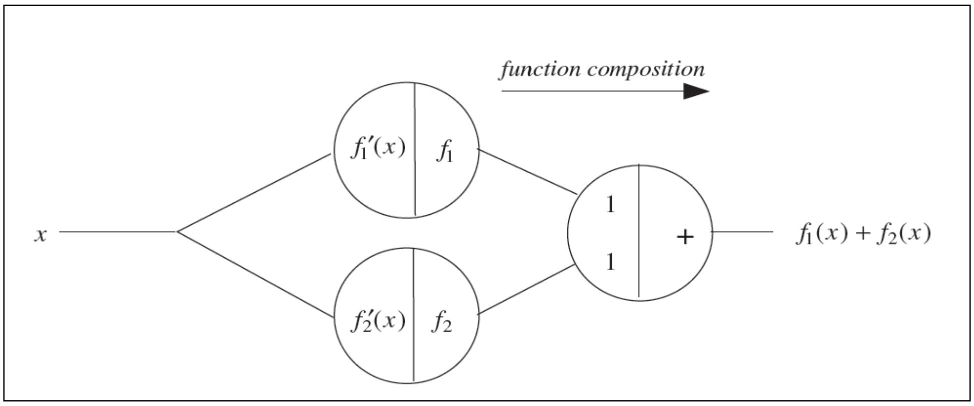
Σχήμα 3.10: Αποτέλεσμα ης διαδικασίας feed-forward

Στο βήμα του backpropagation η είσοδος από δεξιά του δικτύου είναι η σταθερά 1. Οι εισερχόμενη πληροφορία σε ένα κόμβο πολλαπλασιάζεται με την τιμή η οποία είναι αποθηκευμένη στην αριστερή πλευρά του κόμβου. Το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού μεταφέρεται στην επόμενη μονάδα στα αριστερά. Σε κάθε κόμβο αποκαλούμε το αποτέλεσμα ως traversing value στον κόμβο αυτό. Το Διάγραμμα 5.9. δείχνει το τελικό αποτέλεσμα του backpropagation step.



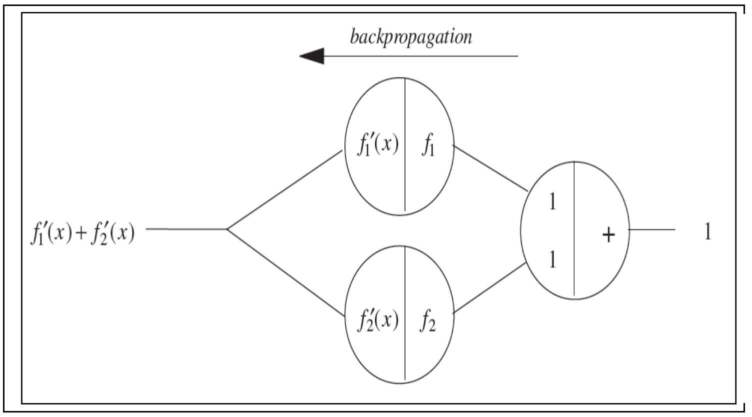
Σχήμα 3.11: Αποτέλεσμα της διαδικασίας του backpropagation

Η διαδικασία του backpropagation αποτελεί μία εφαρμογή του αλυσιδωτού κανόνα. Οποιαδήποτε σειρά σύνθεσης συναρτήσεων μπορεί να εκτιμηθεί με τον τρόπο αυτό και οι παράγωγοί τους να παρατηρηθούν στο backpropagation. Το δίκτυο αυτό ουσιαστικά έχει κατεύθυνση αντίθετης φοράς από εκείνη που ακολουθεί η διαδικασία του feed-forward, με είσοδο τη μονάδα, όπου σε κάθε κόμβο το αποτέλεσμα ως συγκεκριμένη τιμή αποθηκεύονται στην αριστερή πλευρά.



Σχήμα 3.12: Διάγραμμα 5.10. Πρόσθεση συναρτήσεων

Στη δεύτερη περίπτωση, σύνθεση συναρτήσεων, έχουμε την προσθήκη δύο αρχικών συναρτήσεων. Το Σχήμα 3.12 δείχνει ένα δίκτυο για τον υπολογισμό της πρόσθεσης των συναρτήσεων f_1 και f_2. Ο επόμενος κόμβος, δεξιά από τις δύο συναρτήσεις, μεσολαβεί έτσι ώστε να γίνει διαχείριση της προσθήκης των δύο συναρτήσεων. Η μερική παράγωγος της αθροιστικής αυτής συνάρτησης ως προς κάθε μία από τις εισόδους είναι 1. Κατά τη διαδικασία του feedforward το δίκτυο υπολογίζει το αποτέλεσμα $f_1(x)+f_2(x)$. Κατά το backpropagation η σταθερά 1 εισάγεται από την αριστερή πλευρά στο δίκτυο. Για όλα τα εισερχόμενα τόξα σε μία μονάδα όπου δύο διαδρομές από δεξιά προς αριστερά συναντιόνται οι συναρτήσεις που προκύπτουν προστίθενται. Το Σχήμα 3.13 δείχνει το αποτέλεσμα $f_1'(x)+f_2'(x)$ του βήματος του backpropagation, το οποίο αποτελεί την παράγωγο της συνάρτησης $f_1 + f_2$ εκτιμώμενη ως προς x.



Σχήμα 3.13: Αποτέλεσμα της διαδικασίας του backpropagation

Τρίτη περίπτωση: Τα βέλη με τα αντίστοιχα βάρη είναι δυνατόν να διαχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο σαν να πρόκειται για σύνθεση συνάρτησης, αλλά υπάρχει ένας απλούστερος τρόπος διαχείρισής τους. Κατά τη διαδικασία του feedforward η εισερχόμενη πληροφορία x πολλαπλασιάζεται με το βάρος w, το οποίο βρίσκεται σε κάθε τόξο. Το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει είναι wx. Κατά τη διαδικασία του backpropagation η τιμή 1 πολλαπλασιάζεται με το βάρος w του τόξου. Το αποτέλεσμα είναι w, το οποίο αποτελεί την παράγωγο του wx ως προς x. Συμπερασματικά, τα τόξα με τα βάρη χρησιμοποιούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και στα δύο βήματα: διαμορφώνουν την πληροφορία πολλαπλασιάζοντας με τα βάρη των βελών.

3.10 ΒΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΤΟΥ BACKPROPAGATION

Παρακάτω παρουσιάζεται μία πλήρης δομή του αλγορίθμου του backpropagation ο οποίος αποδεικνύεται ότι λειτουργεί σε αυθαίρετα δίκτυα feedforward με διαφοροποιούμενες συναρτήσεις ενεργοποίησης (activation functions) στους κόμβους.

Έστω δίκτυο με μία και μοναδική είσοδο και μία και μοναδική έξοδο.

3.10.1 *Αλγόριθμος Backpropagation*

Έστω ένα δίκτυο με μοναδικό πραγματικό δεδομένο εισόδου x και συνάρτηση δικτύου F. Η παράγωγος $F'(x)$ υπολογίζεται σε δύο φάσεις:

Feed-forward: το δεδομένο εισόδου x τροφοδοτείται μέσα στο δίκτυο. Οι αρχικές συναρτήσεις στους κόμβους και οι παράγωγοι αυτών εκτιμώνται σε κάθε κόμβο. Οι παράγωγοι αποθηκεύονται.

Backpropagation: η σταθερά 1 τροφοδοτείται στη μονάδα εξόδου και το δίκτυο τρέχει με αντίθετη κατεύθυνση. Η εισερχόμενη πληροφορία σε κάθε κόμβο προστίθεται στην αριστερή πλευρά της μονάδας. Το αποτέλεσμα μεταφέρεται στο αριστερό μέρος της μονάδας. Το αποτέλεσμα το οποίο συλλέγεται στην μονάδα εισόδου είναι η παράγωγος της συνάρτησης δικτύου ως προς x.

3.10.2 *Εκμάθηση μέσω του backpropagation*

Θεωρούμε και πάλι πρόβλημα εκμάθησης νευρωνικών δικτύων. Εφόσον θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε τη συνάρτηση σφάλματος Ε, η οποία εξαρτάται από τα βάρη του δικτύου, έχουμε να αντιμετωπίσουμε όλα τα βάρη του δικτύου κάθε φορά. Το feedforward step υπολογίζεται με το γνωστό τρόπο, αλλά τώρα αποθηκεύουμε επίσης το αποτέλεσμα κάθε μονάδας στη δεξιά πλευρά. Εκτελούμε το βήμα του backpropagation σε ολόκληρο το δίκτυο το οποίο υπολογίζει τη συνάρτηση σφάλματος και έπειτα κατευθύνουμε την προσοχή μας σε ένα από τα βάρη, έστω w_{ij}, του οποίου τα αντίστοιχα βέλη κατευθύνονται από τον κόμβο i στον κόμβο j στο δίκτυο. Αυτό το βάρος μπορεί να θεωρηθεί σαν κανάλι εισόδου στο υποδίκτυο το οποίο αποτελείται από το σύνολο των διαδρομών ξεκινώντας από το w_{ij} και καταλήγοντας στην μοναδική μονάδα εξόδου του δικτύου. Η πληροφορία η οποία εισάγεται στο υποδίκτυο κατά το feedforward ήταν $o_i w_{ij}$, όπου o_i είναι το αποθηκευμένο αποτέλεσμα της μονάδας i. Το backpropagation υπολογίζει την κλίση του E λαμβάνοντας υπόψη το δεδομένο εισόδου, δηλαδή $\partial E / \partial o_i w_{ij}$. Εφόσον στο backpropagation το o_i θεωρείται σαν σταθερά, τελικά έχουμε $\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = o_i \frac{\partial E}{\partial o_i w_{ij}}$

Συνοψίζοντας, η διαδικασία του backpropagation εκτελείται κατά το συνήθη τρόπο. Όλα τα υποδίκτυα τα οποία ορίζονται από τα εκάστοτε βάρη του δικτύου μπορούν να διαχειριστούν ταυτόχρονα. Σε κάθε κόμβο i αποθηκεύουμε επίσης:

α. Το αποτέλεσμα o_i του κόμβου στο feedforward step
β. Το τρέχον αποτέλεσμα του υπολογισμού που εκτελείται κατά το backpropagation μέχρι το συγκεκριμένο κόμβο. Αποκαλούμε αυτή την ποσότητα ως το backpropagated error.

Εάν θέσουμε ως δ_j το backpropagated error στον κόμβο j, μπορούμε να εκφράσουμε την μερική παράγωγο του E ως προς w_{ij} ως:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = o_i \delta_j .$$

Μόλις όλες οι μερικές παράγωγοι έχουν υπολογιστεί, μπορούμε να εκτελέσουμε την διαδικασία γραμμωτής καθόδου προσθέτοντας κάθε βάρος i τη διαφορά

$$\Delta w_{ij} = -\gamma o_i \delta_j$$

Αυτή τη διαδικασία διόρθωσης απαιτείται για να μετατραπεί ο αλγόριθμος του backpropagation σε μία μέθοδο εκμάθησης για το νευρωνικό δίκτυο.

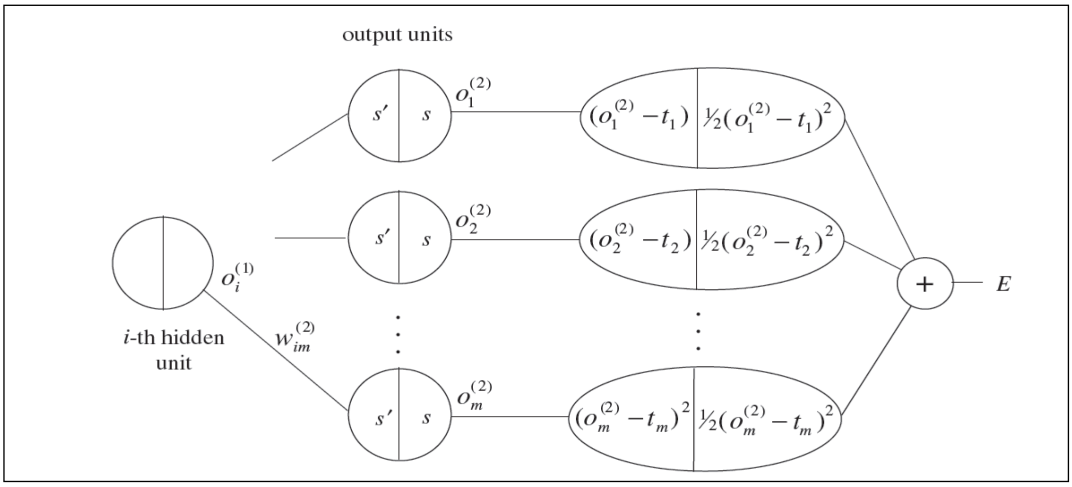
3.10.3 Βήματα του αλγορίθμου

Το Σχήμα 3.14 απεικονίζει το δίκτυο για τον υπολογισμό της συνάρτησης σφάλματος. Για λόγους απλούστευσης χρησιμοποιούμε ένα απλό ζεύγος εισόδου-εξόδου (input- output) τιμών (o,t) και γενικεύουμε αργότερα σε p παραδείγματα εκμάθησης. Το δίκτυο επεκτείνεται με ένα επιπλέον επίπεδο (layer). Οι πλευρές οι οποίες βρίσκονται στα δεξιά υπολογίζουν το $\frac{1}{2}(o_i^{(2)} - t_i)$ για το στοιχείο i του διανύσματος εξόδου και εκείνες στην αριστερή πλευρά αποθηκεύουν το $(o_i^{(2)} - t_i)$. Κάθε μονάδα εξόδου i στο αρχικό δίκτυο υπολογίζει τη σιγμοειδή συνάρτηση s και παράγει το αποτέλεσμα $o_i^{(2)}$. Η τιμή του E δίνει το συνολικό άθροισμα. Η συνάρτηση σφάλματος για p παραδείγματα εισόδου – εξόδου μπορεί να υπολογιστεί δημιουργώντας p δίκτυα όπως είναι αυτό το οποίο ήδη έχει παρατεθεί (ένα για κάθε ζεύγος εκμάθησης) και προσθέτοντας τα αποτελέσματα όλων αυτών προκύπτει το συνολικό σφάλμα του συνόλου εκμάθησης.

Έπειτα από την επιλογή των βαρών του δικτύου κατά τυχαίο τρόπο, ο αλγόριθμος του backpropagation χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απαραίτητων διορθώσεων. Ο αλγόριθμος λοιπόν αποτελείται από τα ακόλουθα τέσσερα βήματα:

1. Υπολογισμός feed forward
2. Backpropagation στο επίπεδο εξόδου (output layer)
3. Backpropagation στο κρυφό/ ενδιάμεσο επίπεδο (hidden layer)
4. Διορθώσεις βαρών

Ο αλγόριθμος σταματάει όταν η τιμή της συνάρτησης σφάλματος έχει γίνει ικανοποιητικά μικρή.



Σχήμα 3.14: Εκτεταμένο δίκτυο πολλαπλών επιπέδων για υπολογισμό του E

Πρώτο βήμα: Υπολογισμός feed forward

Το διάνυσμα o παρουσιάζεται στο δίκτυο. Τα διανύσματα $o^{(1)}$ και $o^{(2)}$ υπολογίζονται και αποθηκεύονται. Οι εκτιμώμενες παράγωγοι των συναρτήσεων ενεργοποίησης (activation functions) αποθηκεύονται επίσης σε κάθε μονάδα.

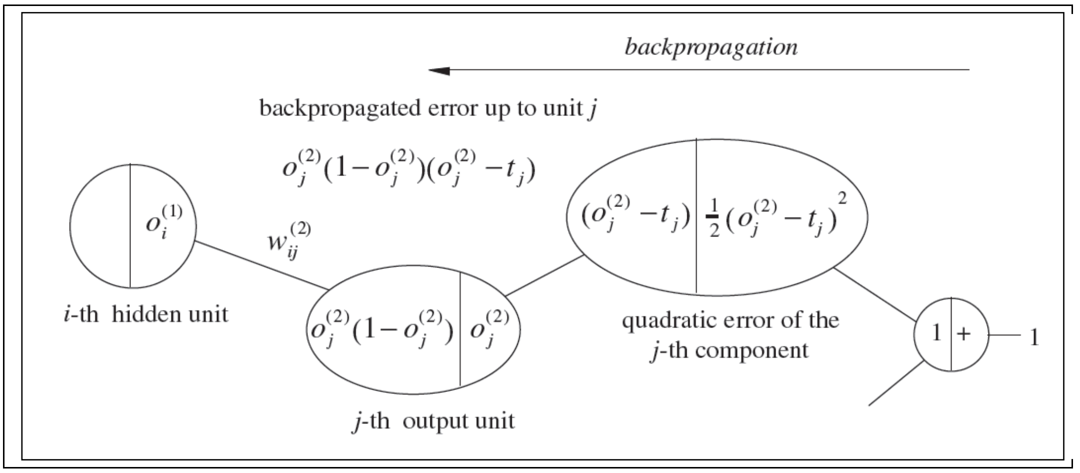
Δεύτερο βήμα: Backpropagation στο επίπεδο εξόδου (output layer)

Αναζητάμε το πρώτο σύνολο των μερικών παραγώγων $\partial E/\partial w_{ij}^{(2)}$. Το backpropagation στη μονάδα εξόδου j φαίνεται στο B-diagram του Σχήματος 3.15. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτή η συλλογή όλων των πολλαπλασιαστικών παραγόντων οι οποίοι ορίζουν το backpropagated error $\delta_j^{(2)}$. Έτσι, έχουμε:

$$\delta_j^{(2)} = o_j^{(2)}(1 - o_j^{(2)})(o_j^{(2)} - t_j)$$

Και η αντίστοιχη μερική παράγωγος:

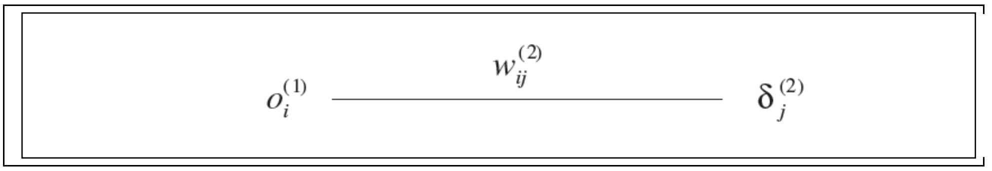
$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(2)}} = [o_j^{(2)}(1 - o_j^{(2)})(o_j^{(2)} - t_j)]\, o_i^{(1)} = \delta_j^{(2)} o_i^{(1)}$$



Σχήμα 3.15: Backpropagation στη μονάδα εξόδου j

Για το τελευταίο αυτό βήμα θεωρείται ότι το βάρος $w_{ij}^{(2)}$ να είναι μία μεταβλητή και η εισροή του $o_i^{(1)}$ μία σταθερά.

Το Σχήμα 3.16 δείχνει τη γενική κατάσταση κατά τη διάρκεια εφαρμογής του αλγορίθμου backpropagation. Στην πλευρά της εισόδου του βέλους με βάρος $w_{ij}^{(2)}$ έχουμε $o_i^{(1)}$ και στο στην πλευρά της εξόδου το backpropagated error $\delta_j^{(2)}$.

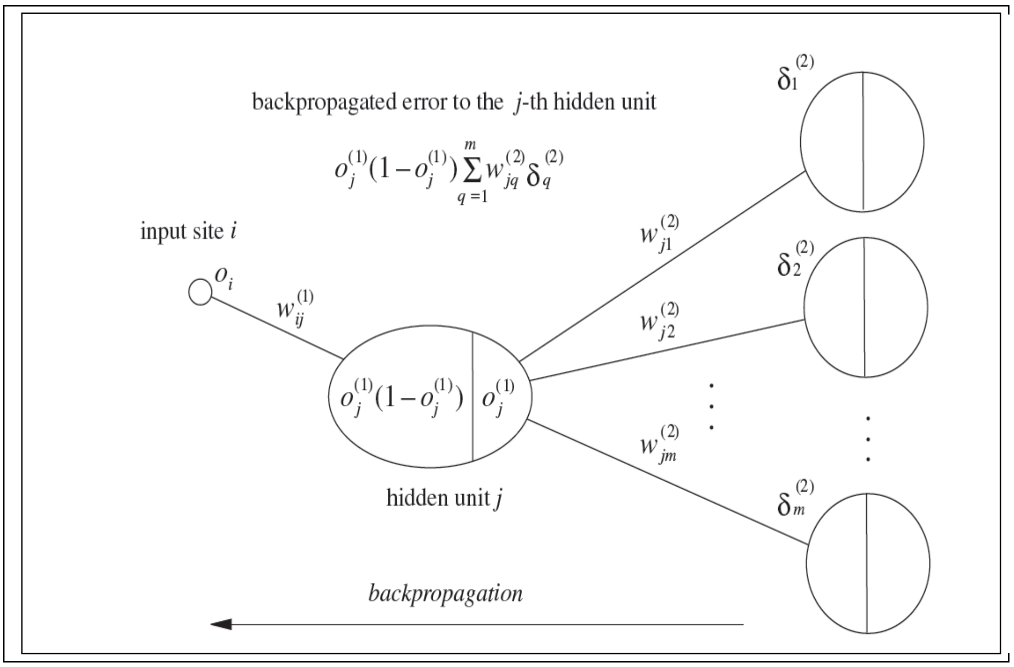


Σχήμα 3.16: Input and backpropagated error at an edge

Τρίτο Βήμα: Backpropagation στο hidden layer

Στο σημείο αυτό γίνεται υπολογισμός των μερικών παραγώγων $\partial E / \partial w_{ij}^{(1)}$. Κάθε μονάδα j στο κρυφό/ ενδιάμεσο επίπεδο (hidden layer) συνδέεται με κάθε μονάδα q στο επίπεδο εξόδου (output layer) με βάρος $w_{jq}^{(2)}$, για $q=1,......,m$. Το backpropagated error στη μονάδα j στο κρυφό / ενδιάμεσο επίπεδο πρέπει να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πιθανά μονοπάτια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.17. Το backpropagated error τότε διαμορφώνεται:

$$\delta_j^{(1)} = o_j^{(1)}(1 - o_j^{(1)}) \sum_{q=1}^{m} w_{jq}^{(2)} \delta_q^{(2)}$$



Σχήμα 3.17: Όλες οι διαδρομές προς την πλευρά της εισροής i

Γι αυτό η μερική παράγωγος την οποία αναζητάμε είναι:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(1)}} = \delta_j^{(1)} o_j^{(1)}$$

Το backpropagated error μπορεί να υπολογισθεί με τον ίδιο τρόπο για οποιοδήποτε από τα κρυφά/ ενδιάμεσα επίπεδα και η έκφραση για τις μερικές παραγώγους του E διατηρεί την ίδια αναλυτική μορφή.

<u>Τέταρτο βήμα: Διορθώσεις βαρών</u>

Έπειτα από τον υπολογισμό των μερικών παραγώγων τα βάρη των δικτύων διορθώνονται με κατεύθυνση από δεξιά προς τα αριστερά. Μία σταθερά εκμάθησης h ορίζει το μέγεθος του βήματος της διόρθωσης. Οι διορθώσεις για τα βάρη δίνονται ως εξής:

$$\Delta w_{ij}^{(2)} = -\gamma o_i^{(1)} \delta_j^{(2)}, \text{ για } i=1,\ldots,k+1;\ j=1,\ldots,m$$

και

$$\Delta w_{ij}^{(1)} = -\gamma o_i \delta_j^{(1)}, \text{ για } i=1,\ldots,n+1;\ j=1,\ldots,k$$

με την παραδοχή ότι $o_{n+1} = o_{k+1}^{(1)} = 1$.

Είναι πολύ σημαντικό να γίνουν οι διορθώσεις στα βάρη μετά από τον υπολογισμό του backpropagated error για όλες τις μονάδες στο δίκτυο.

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:   ΕΦΑΡΜΟΓΗ</u>

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η εφαρμογή του αλγορίθμου του backpropagation με σκοπό, μέσα από τον προσδιορισμό της ελάχιστης συνάρτησης σφάλματος να προκύψει η συνάρτηση της πρόβλεψης της ζήτησης. Στην παράγραφο που ακολουθεί παρατίθενται γενικά στοιχεία και παραδοχές οι οποίες έχουν γίνει στα πλαίσια διεξαγωγής της έρευνας.

4.1 <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</u>

Θεωρούμε ότι το μοντέλο πρόβλεψης της ζήτησης που εξετάζεται αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα ενός εικονικού αερομεταφορέα, ο οποίος έστω ότι διαχειρίζεται δέκα (10) αεροσκάφη διαφορετικού τύπου μεταξύ τους. Πρακτικά, οι αερομεταφορείς αποφεύγουν να έχουν στην κατοχή τους πολλών διαφορετικών τύπων αεροσκάφη. Ίδιου τύπου αεροσκάφη έχουν την ίδια συμβατότητα σε υλικά και άρα τα ίδια αποθέματα μπορούν να εξυπηρετήσουν ανάγκες για περισσότερα του ενός. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δεχόμαστε ότι κάθε υλικό καλύπτει ανάγκες ενός μόνο τύπου αεροσκάφους.

Ήδη έχουν συλλεχθεί αρκετά στοιχεία σχετικά με τους ισχύοντες κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς επίσης και οι τηρούμενες από τους ίδιους τους αερομεταφορείς επιχειρησιακές διαδικασίες. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας θα επιδιώξουμε μέσα από υποθετικά στοιχεία για τη ζήτηση αεροπορικού υλικού, λαμβάνοντας ωστόσο υπόψη παράγοντες οι οποίοι ισχύουν στην πραγματικότητα, να καταλήξουμε σε συμπεράσματα αναφορικά με τη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας και να γίνουν προτάσεις σχετικά με τον τρόπο δομής και εφαρμογής ενός μοντέλου διαχείρισης της πρόβλεψης της ζήτησης. Η επιδίωξη αυτή θα γίνει, όπως έχει προαναφερθεί, με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για τη δόμηση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιούνται εφαρμογές που παρέχει το μαθηματικό εργαλείο της MATLAB.

Τα δεδομένα έχουν παραχθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι:

1. Η ζήτηση του αεροπορικού υλικού σχετίζεται άμεσα με τις ώρες πτήσης ή τον αριθμό των κύκλων (από απογείωση σε απογείωση) του αεροσκάφους. Η πλειοψηφία των υλικών ανήκει στην πρώτη κατηγορία (ώρες πτήσης). Για το λόγο αυτό, στις χρονοσειρές θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα με βάση τις ώρες πτήσης του αντίστοιχου αεροσκάφους.
2. Το αεροπορικό υλικό χωρίζεται σε κατηγορίες, τα ATA Chapters[1]. Για κάθε ένα από τα ATA Chapters δημιουργείται και ένα σύνολο παρατηρήσεων στο διάστημα [0,76000], το οποίο στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί σαν εισροή στο νευρωνικό δίκτυο για την παραγωγή αποτελεσμάτων. - Παράρτημα II.
3. Τα δεδομένα για τις παραγγελίες των υλικών υποθέτουμε ότι έχουν συλλεχθεί για 76.000 ώρες πτήσης κάθε αεροσκάφους.

4.2 <u>ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ</u>

4.2.1 <u>Εισαγωγή</u>

Οι διαδικασίες για την δημιουργία των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων που θα κάνουν την πρόβλεψη για κάθε χρονοσειρά θα δομηθούν με τη βοήθεια του λογισμικού της Matlab. Παρακάτω παρατίθενται οι διαδικασίες που ακολουθούνται για τη διεξαγωγή της έρευνας αναλυτικά.

Τα δεδομένα καταγράφονται ανά ώρα πτήσης και για τις ανάγκες της έρευνας αυτής εξετάζονται δεδομένα **76.000** ωρών πτήσης. Όσο περισσότερες είναι σε πλήθος οι είσοδοι στο Τεχνητό Νευρονικό Δίκτυο, τόσο πιο αποτελεσματική θα είναι η εκπαίδευσή του και τόσο ακριβέστερα τα αποτελέσματά του. Όπως προαναφέρθηκε, τα υλικά χωρίζονται σε ATA Chapters. Θεωρούμε ότι τα υλικά τα οποία ανήκουν στο ίδιο ATA Chapter παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά ως προς τη ζήτηση. Αντίστοιχα, εφαρμογή του μοντέλου μπορεί να υλοποιηθεί και ανά part number των υλικών, ή ανά οποιαδήποτε κατηγορία, ανάλογα με τη συμπεριφορά της ζήτησης.

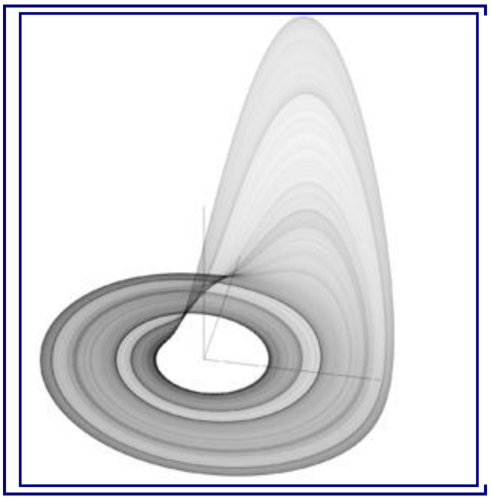
[1] Τα ATA Chapters είναι κατηγορίες υλικών κοινά αποδεκτές από τους εμπορικούς αερομεταφορείς. Δημιουργήθηκαν με σκοπό την διευκόλυνση στη συνεννόηση μεταξύ τεχνικών, μεταξύ πιλότων, αλλά και γενικότερα μεταξύ όσων σχετίζονται με τη διαχείριση αεροπορικού υλικού ή αναφέρονται για κάποιο λόγο σε αυτήν.

4.2.2 Εισαγωγή δεδομένων:

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται είναι όπως προαναφέρθηκε τεχνητά. Για την καλύτερη προσέγγιση και με σκοπό να καλυφθεί όλο το φάσμα των πιθανών περιπτώσεων, εξετάζονται οι συμπεριφορές δύο χρονοσειρών, οι οποίες θεωρούμε ότι ακολουθούν τα μοντέλα ressler και henon – map, αντίστοιχα. Ακολουθεί περιγραφή και ανάλυση των δύο χρονοσειρών για την καλύτερη απεικόνιση των χαρακτηριστικών τους, ενώ μία τρίτη χρονοσειρά (Lorenz) εφαρμόζεται σαν ακραία περίπτωση για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας του μοντέλου.

4.2.2.1 RESSLER

Το μοντέλο της Ressler είναι ένα σύστημα τριών μη-γραμμικών, διαφορικών εξισώσεων. Αυτές οι εξισώσεις ορίζουν ένα συνεχές, δυναμικό σύστημα που παρουσιάζει χαοτικές δυναμικές. Μπορεί να απεικονίζει διαγραμματικά ιδιότητες χωριζόμενο σε επιμέρους κομμάτια τα οποία αποτελούν αντίγραφα το ένα του άλλου, αλλά διαφέρουν στο μέγεθος (fractal). Η διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου εμφανίζεται σαν ένα σπιράλ κοντά στο επίπεδο που ορίζουν οι άξονες x,y, γύρω από ένα σταθερό, αλλά όχι συγκεκριμένο κάθε φορά σημείο. Το γράφημα ακολουθεί σπειροειδή τροχιά προς τα έξω, ενώ ένα δεύτερο συγκεκριμένο σημείο επηρεάζει το γράφημα, μεταφέροντάς το και στη διάσταση z. Παρόλο που κάθε μεταβλητή ταλαντώνεται γύρω από ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, οι ταλαντώσεις χαρακτηρίζονται από χαοτική συμπεριφορά.



Σχήμα 4.1: Ressler

Μέρος των ιδιοτήτων του παραπάνω μοντέλου οφείλεται στη γραμμικότητα δύο από τις συναρτήσεις του.

Θέτοντας z=0 η μελέτη της συμπεριφοράς στο επίπεδο των x,y γίνεται με μεγαλύτερη ευκολία.

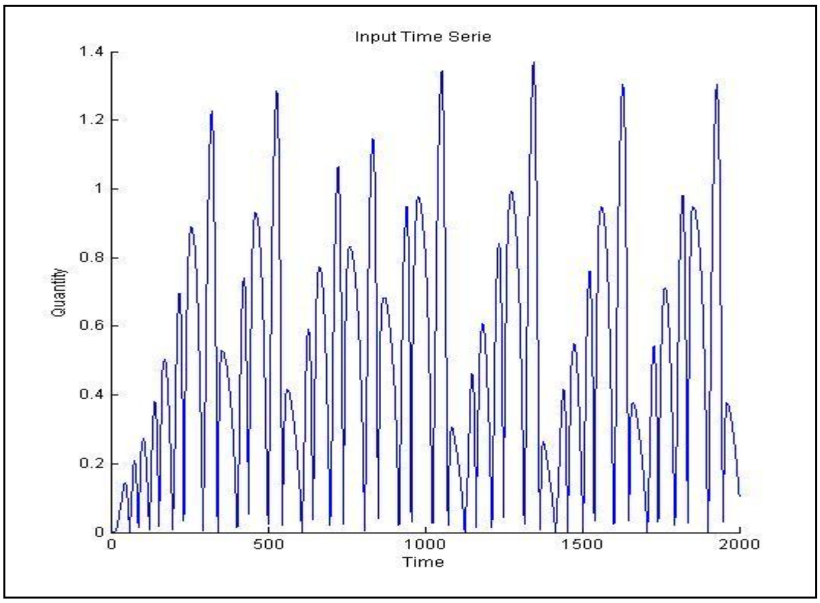
Η επιλογή αυτού του μοντέλου γίνεται εξαιτίας των ιδιαιτεροτήτων του. Μέσα από ακραίες περιπτώσεις επιδιώκεται ο προσδιορισμός του βέλτιστου τεχνητού νευρωνικού δικτύου για την πρόβλεψή της ζήτησης του αεροπορικού υλικού.

Ανάλυση – Συμπεριφορά Χρονοσειράς

Αφού παραχθούν οι χρονοσειρές, καταφεύγουμε σε ανάλυση αυτών, με σκοπό να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα αναφορικά με τη συμπεριφορά τους. Έστω μία χρονοσειρά Ressler, μέσω της οποίας απεικονίζεται η ζήτηση των υλικών ενός ATA Chapter για 76.000 ώρες πτήσης του αντίστοιχου αεροσκάφους. Παρακάτω φαίνεται η διαγραμματική απεικόνισή της, όπου στον οριζόντιο άξονα φαίνονται οι ώρες πτήσης του αεροσκάφους και στον κάθετο άξονα οι τιμές της ζήτησης για τα αντίστοιχα υλικά.

```
%   Load time-serie.
 load ressler.dat
 In = ressler;
%  Plot the initial time-serie.
figure, plot(In(1:42048))
```

```
title('Input Time Serie')
xlabel('Time')
ylabel('Quantity')
box off
```



Διάγραμμα 4.1: Χρονοσειρά Ressler

Η μέση τιμή της χρονοσειράς ressler είναι **0,5320** που σημαίνει ότι οι τιμές της ζήτησης (παραγγελιών) κυμαίνονται κατά μέσο όρο γύρω από το 0,5320. Η τυπική απόκλιση (STD) υπολογίζεται στο **0,3306,** δηλαδή η απόκλιση των τιμών από το **0,5320** είναι κατά μέσο όρο **0,3306**.

Στη συνέχεια, γίνεται προσδιορισμός της συσχέτισης των παρατηρήσεων της χρονοσειράς μεταξύ τους, μέσω της εντολής *autocorr* στο Matlab. Η συσχέτιση των μεταβλητών μεταξύ τους συμβάλλει στον προσδιορισμό του αριθμού των νευρώνων που θα χρησιμοποιηθούν στο κρυφό/ ενδιάμεσο επίπεδο (hidden layer) του αντίστοιχου νευρωνικού δικτύου. Η στατιστική συσχέτιση είναι πολύ χρήσιμη όταν μελετώνται τυχαίες μεταβλητές, αφού μία συμπεριφορά καθίσταται δυνατόν να προβλεφθεί στο μέλλον. Όταν δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών, τότε δεν υπάρχει η τάση η μία να επηρεάζει την τιμή της άλλης. Επειδή τα δεδομένα των χρονοσειρών που μελετώνται στη συγκεκριμένη εργασία είναι τυχαία, ο προσδιορισμός της αλληλοσυσχέτισης των τιμών δεν δίνει σαφή αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό θα βασιστούμε σε δοκιμαστικές προσεγγίσεις των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε νευρωνικό δίκτυο.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με κάποιους από τους συνδυασμούς για τη χρονοσειρά Ressler, καθώς επίσης και τα αντίστοιχα διαγράμματα μέσου τετραγωνικού σφάλματος και πρόβλεψης. Κύριος σκοπός είναι ο προσδιορισμός του συνδυασμού ο οποίος δίνει την ελάχιστη τιμή σφάλματος.

	INPUT	M	K	N	a	n	iter	p	Emin	o	time (sec)
1	Ressler	2	2	1	0,01	0,1	100	800	0,0055	0,3339	6,05
2		2	2	1	0,01	0,1	100	42048	0,0037	0,5959	329,70
3		2	2	1	0,01	0,1	1000	42048	0,0036	0,5935	3245,71
4		2	2	1	0,001	0,01	500	42048	0,0038	0,5993	1610,64
5		2	2	1	0,01	0,1	2000	42048	0,0036	0,5938	6441,38
6		2	2	1	0,0001	0,001	2000	42048	0,004	0,6027	6512,13
7		2	2	1	0,0001	0,001	2000	42048	0,005	0,6159	6505,73
8		5	2	1	0,001	0,01	100	800	0,0114	0,3624	6,45
9		6	2	1	0,001	0,01	100	800	0,0133	0,3839	6,45
10		6	2	1	0,001	0,01	500	800	0,0044	0,3023	31,85
11		6	2	1	0,001	0,01	500	1000	0,0043	0,8330	40,02
12		6	2	1	0,001	0,01	1000	2000	0,0048	0,1452	161,63
13		10	2	1	0,001	0,01	1000	2000	0,0054	0,1512	175,15
14		6	2	1	0,001	0,01	2000	5000	0,0034	0,8060	803,48
15		6	2	1	0,001	0,01	3000	8000	0,0035	0,2890	1943,46
16		6	2	1	0,001	0,01	3000	15000	0,0034	0,9502	3608,41
17		6	2	1	0,001	0,01	2000	42048	0,0036	0,5962	6846,00
18		6	2	1	0,001	0,01	5000	42048	0,0036	0,5950	16772
19		6	5	1	0,001	0,01	2000	42048	0,0036	0,5966	9275,9

Πίνακας 4.1: Συνδυασμοί παραμέτρων δομής νευρωνικού δικτύου

Όπου,

M: Αριθμός μονάδων εισόδου (inputs) στο δίκτυο

K: Αριθμός hidden neurons

N: Αριθμός μονάδων εξόδου (outputs) από το δίκτυο

a: Momentum

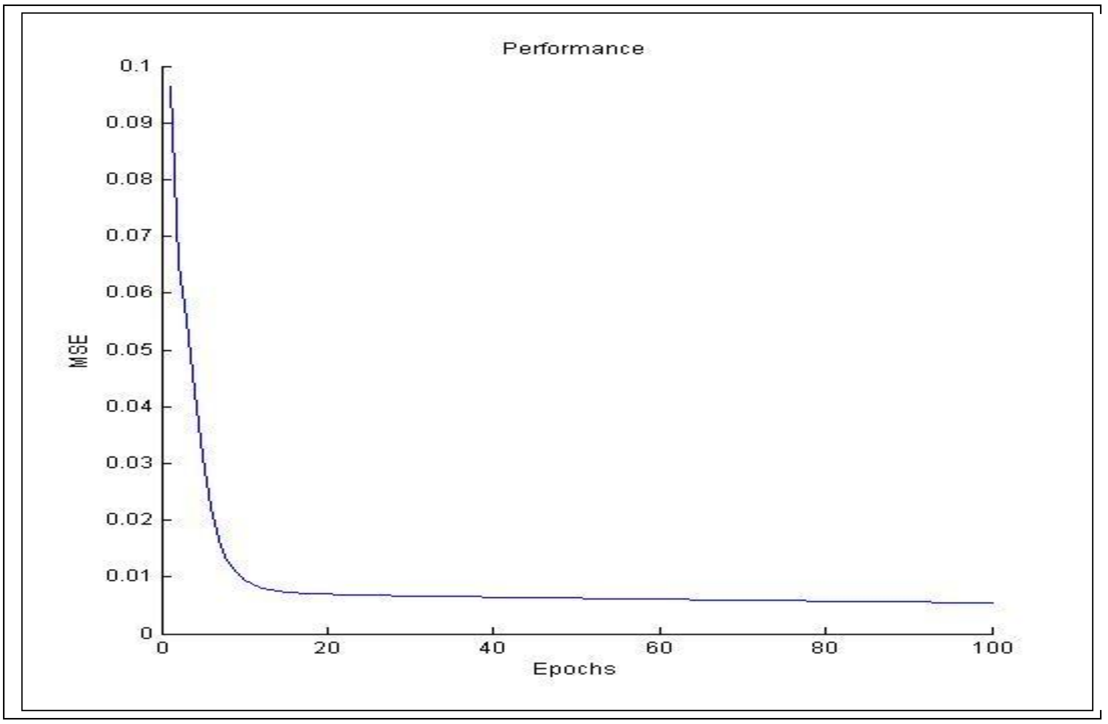
n: Learning rate

iter: Αριθμός επαναλήψεων

p: αριθμός δεδομένων από το σύνολο των δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του δικτύου.

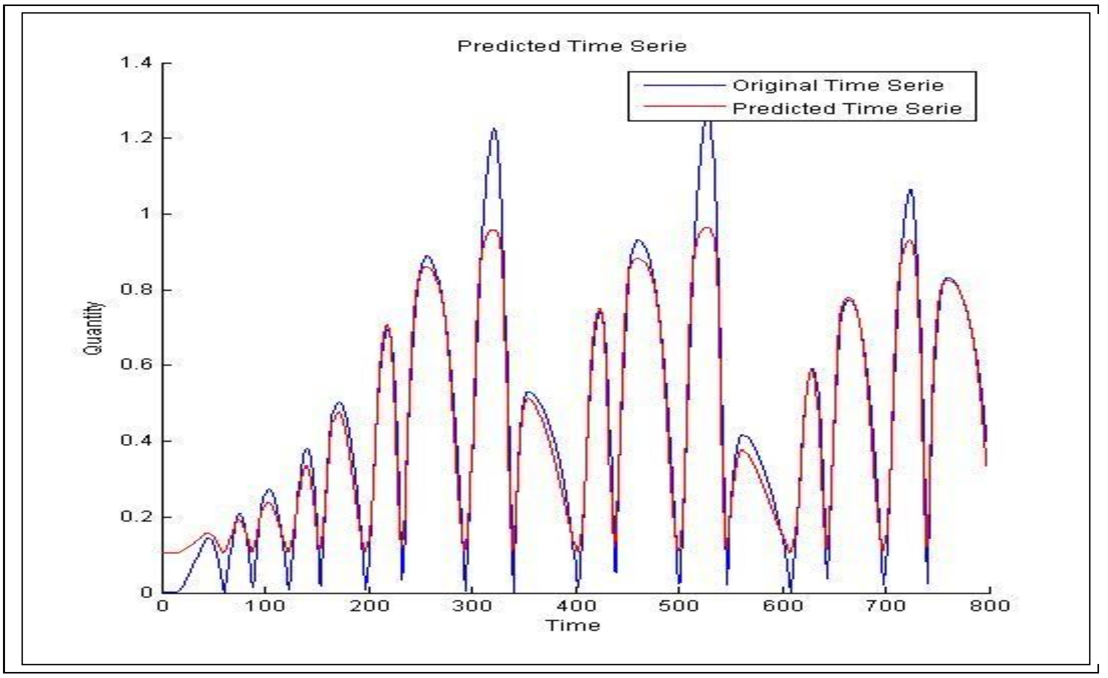
Emin: Η ελάχιστη τιμή του σφάλματος που παρουσιάζεται με την εφαρμογή των παραπάνω παραμέτρων

- **R_1: M=2, K=2, N=1, a=0.01, n=0.1, iter= 100, p=800**



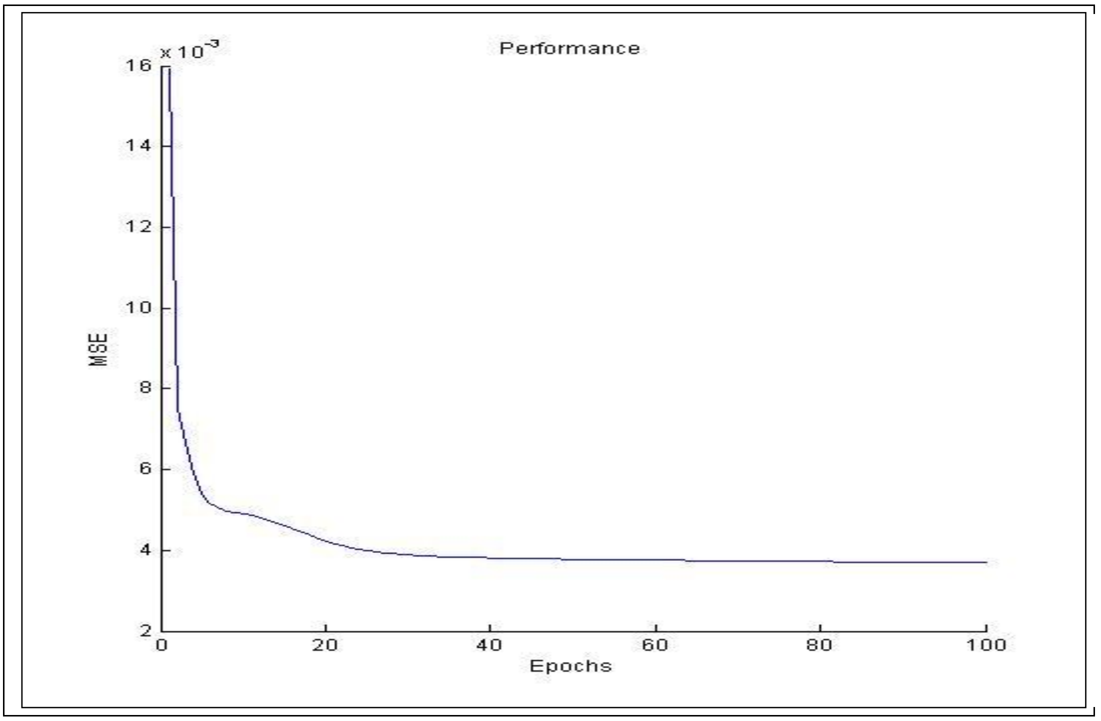
Διάγραμμα 4.2: R_1 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0.0055



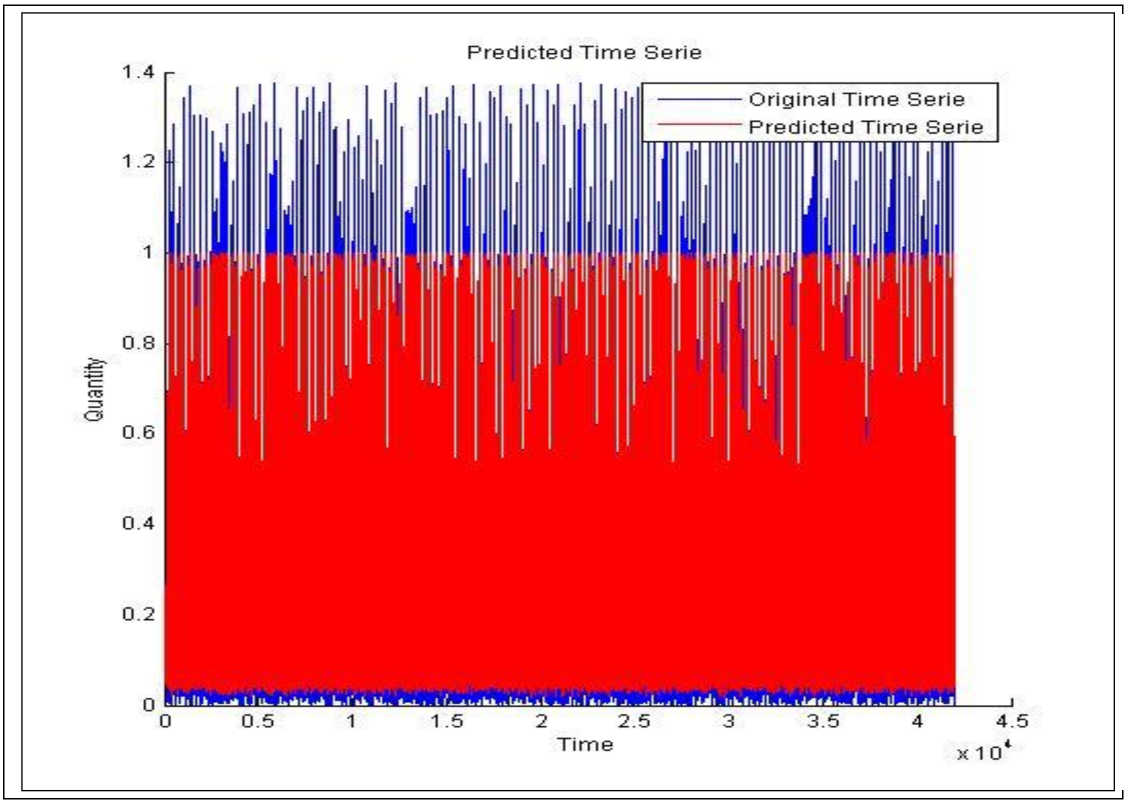
Διάγραμμα 4.3: R_1 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_2:** M=2, K=2, N=1, a=0.01, n=0.1, iter= 100, p=42048



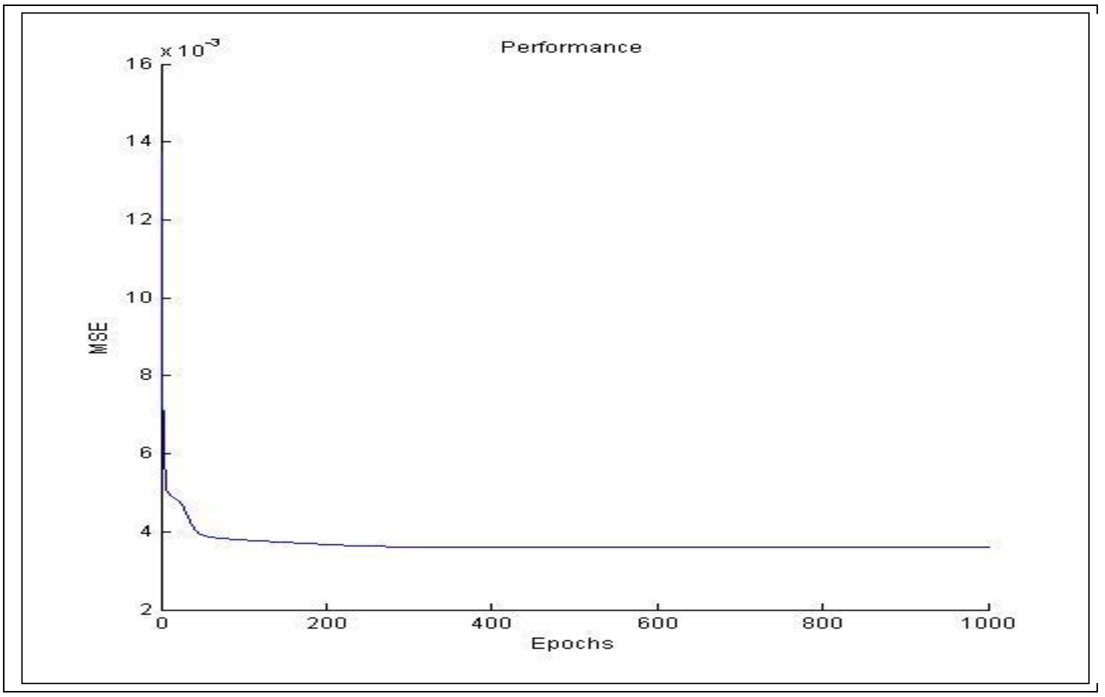
Διάγραμμα 4.4: R_2 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0037



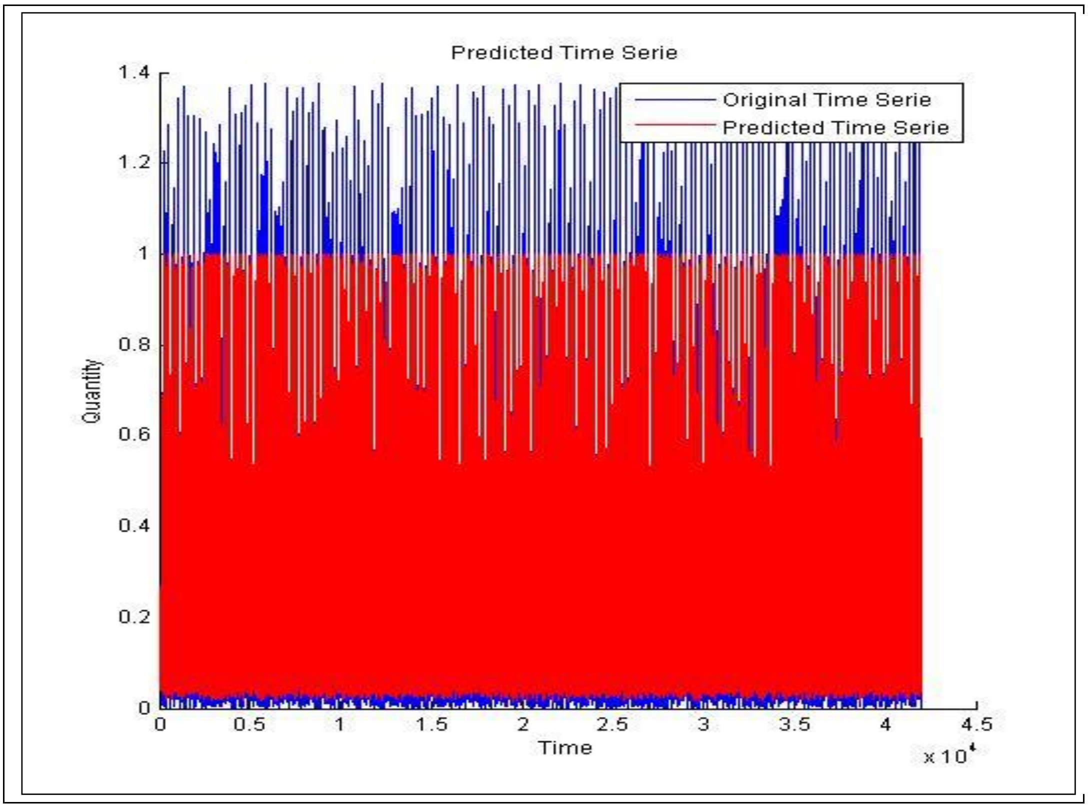
Διάγραμμα 4.5: R_2 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_3:** M=2, K=2, N=1, a=0.01, n=0.1, iter= 1000, p=42048



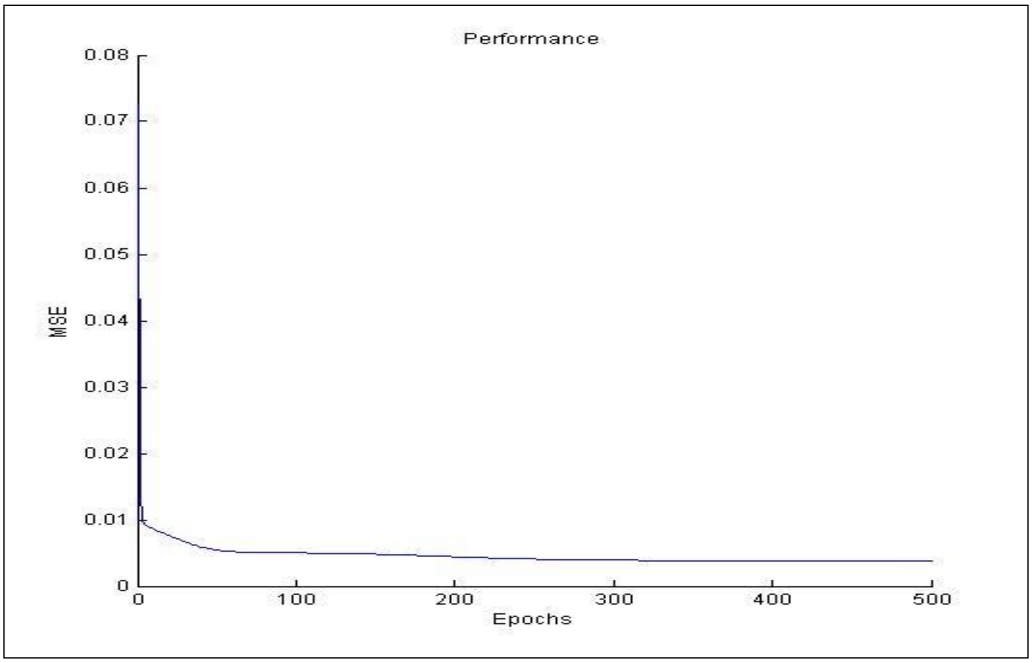
Διάγραμμα 4.6: R_3 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0036



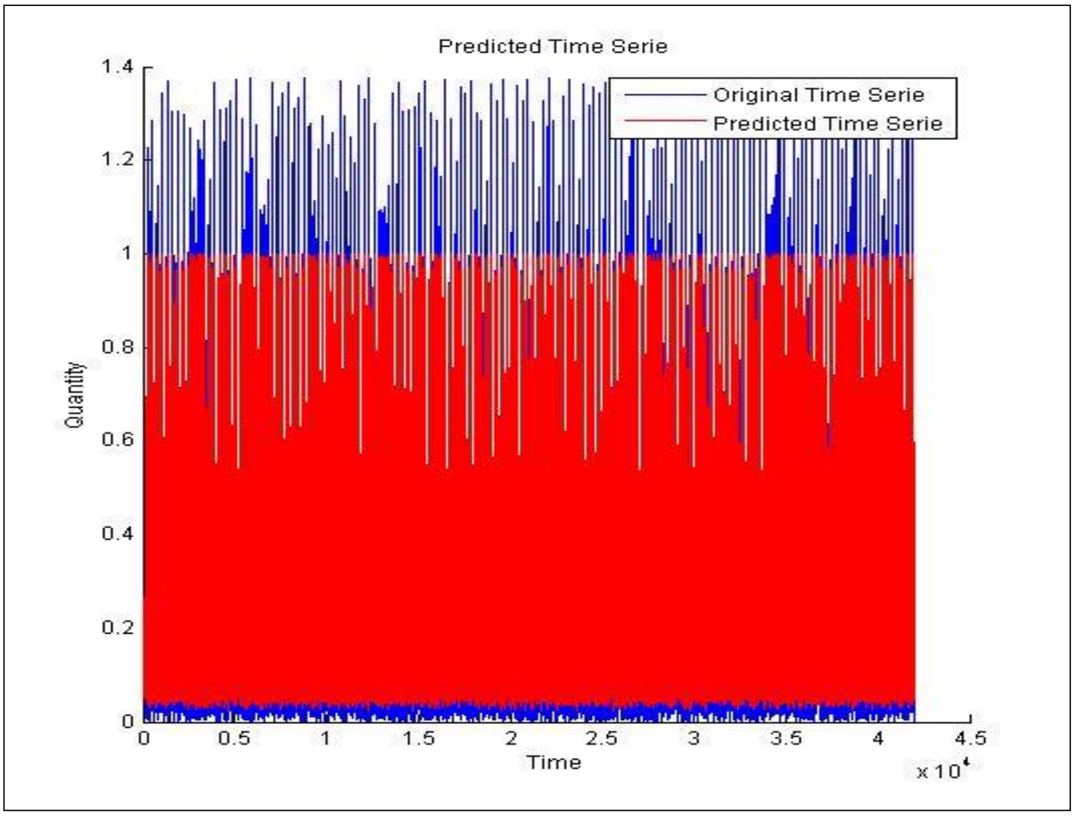
Διάγραμμα 4.7: R_3 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_4:** M=2, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 500, p=42048



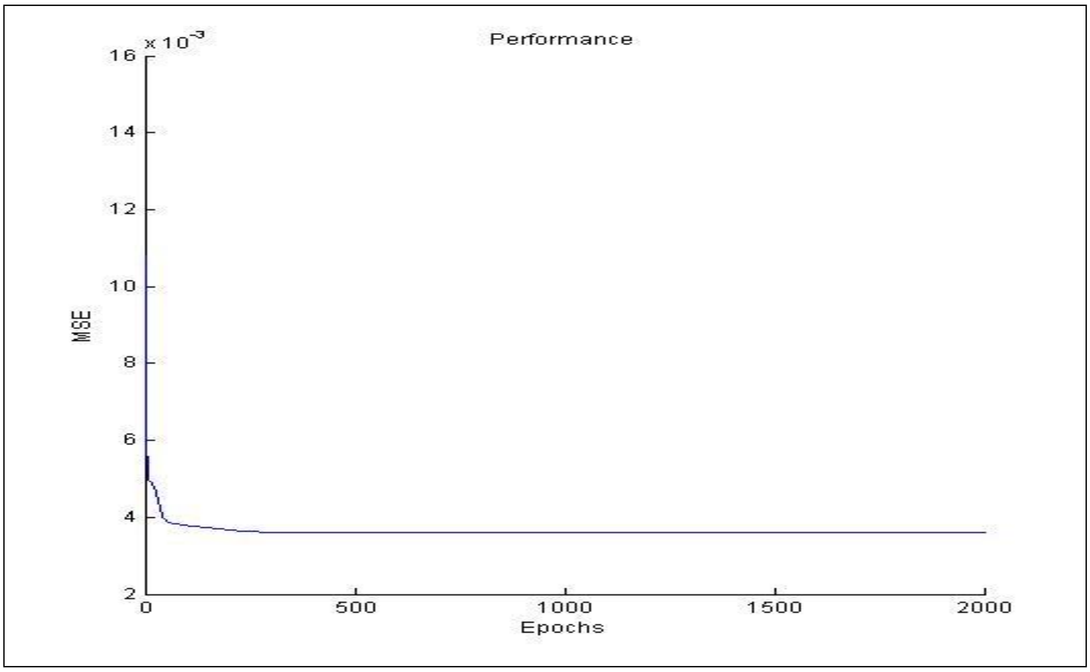
Διάγραμμα 4.9: R_4 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0038



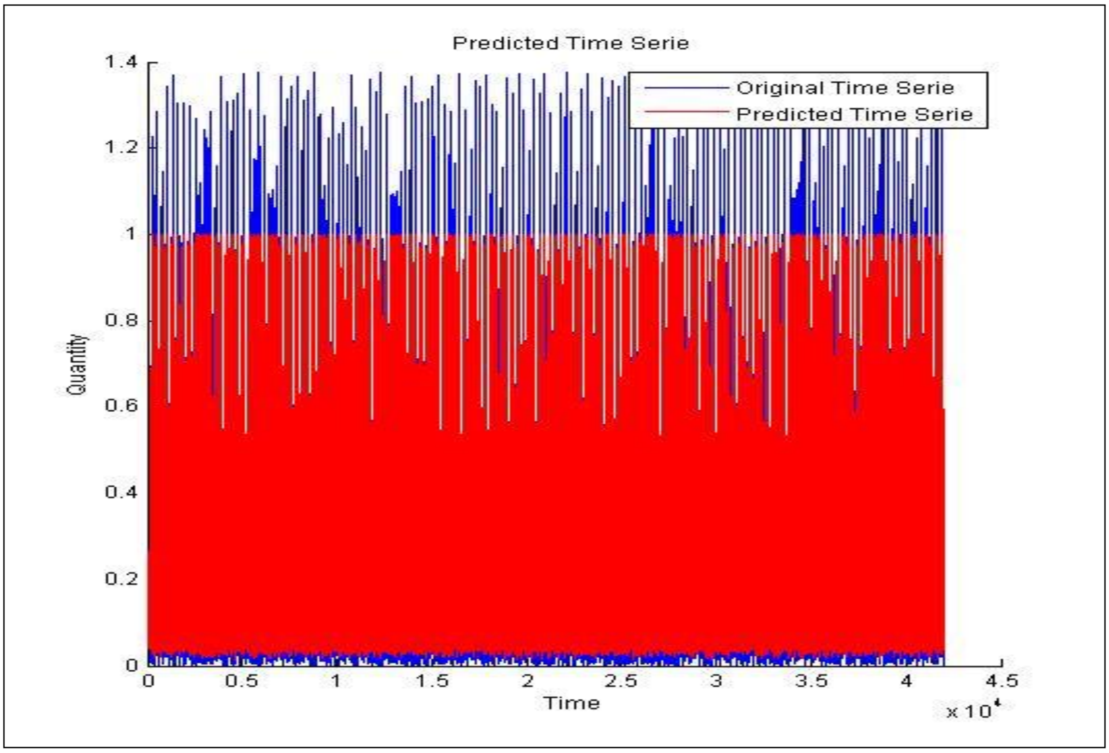
Διάγραμμα 4.10: R_4 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_5:** M=2, K=2, N=1, a=0.01, n=0.1, iter= 2000, p=42048



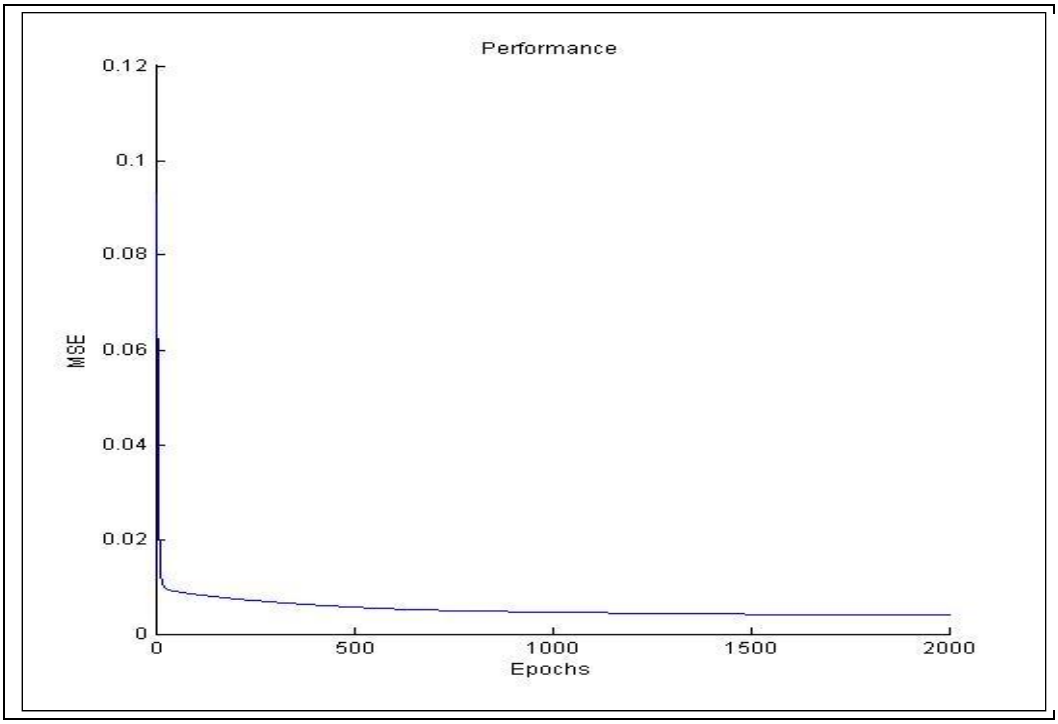
Διάγραμμα 4.11: R_5 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0036



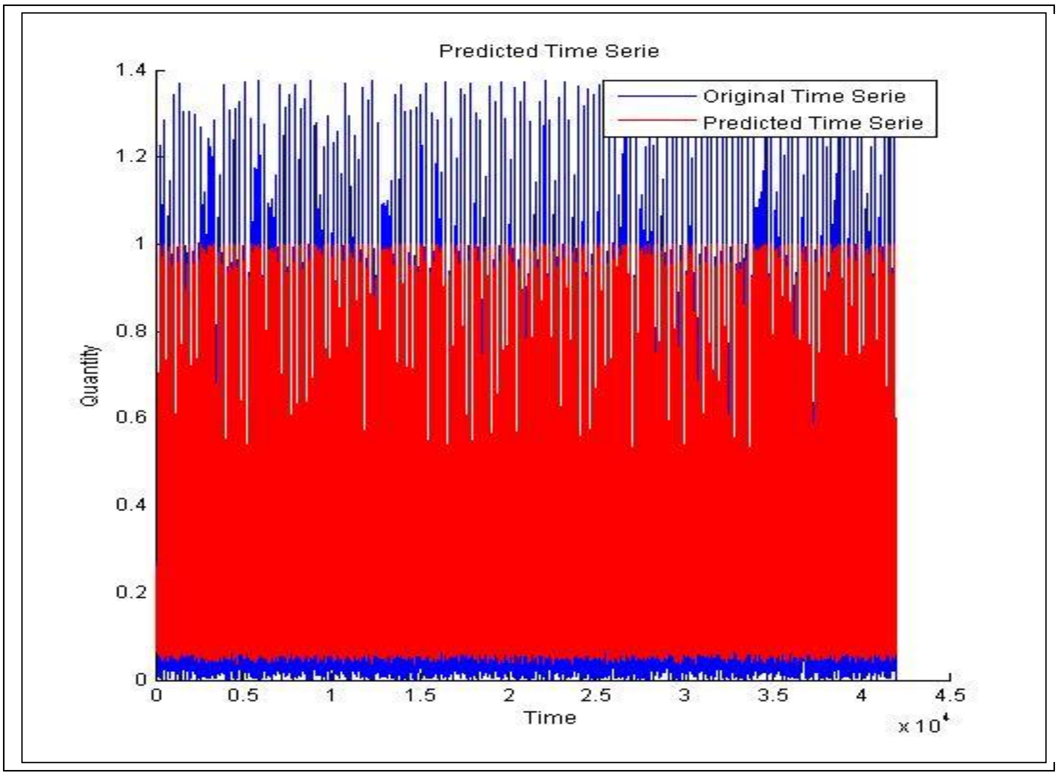
Διάγραμμα 4.12: R_5 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_6:** M=2, K=2, N=1, a=0.01, n=0.1, iter= 2000, p=42048



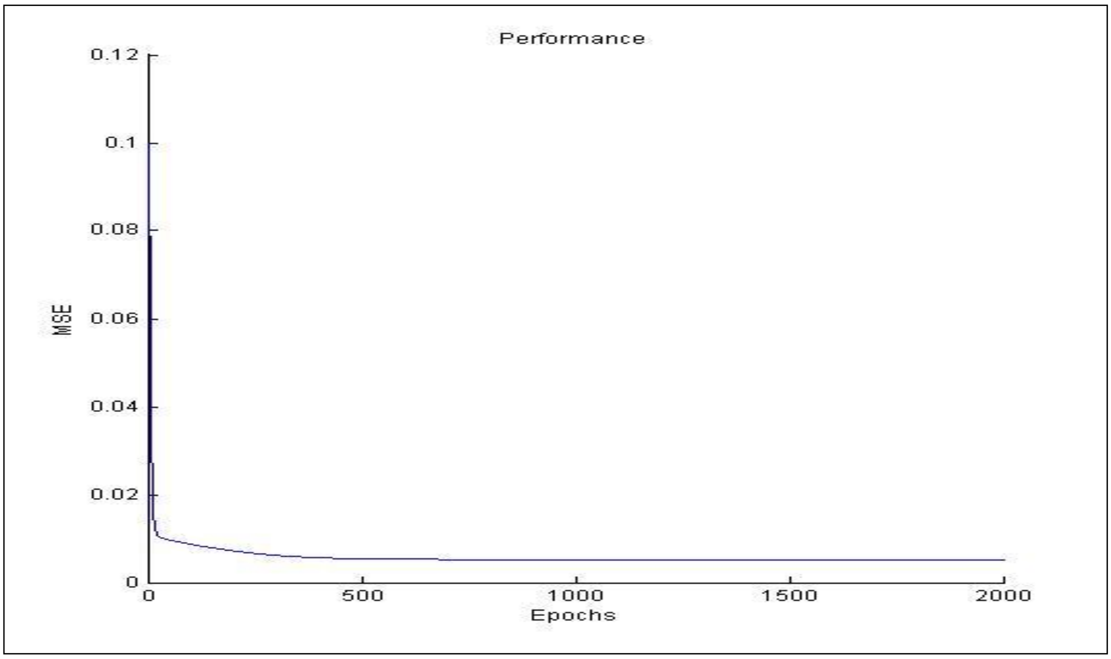
Διάγραμμα 4.13: R_6 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0040



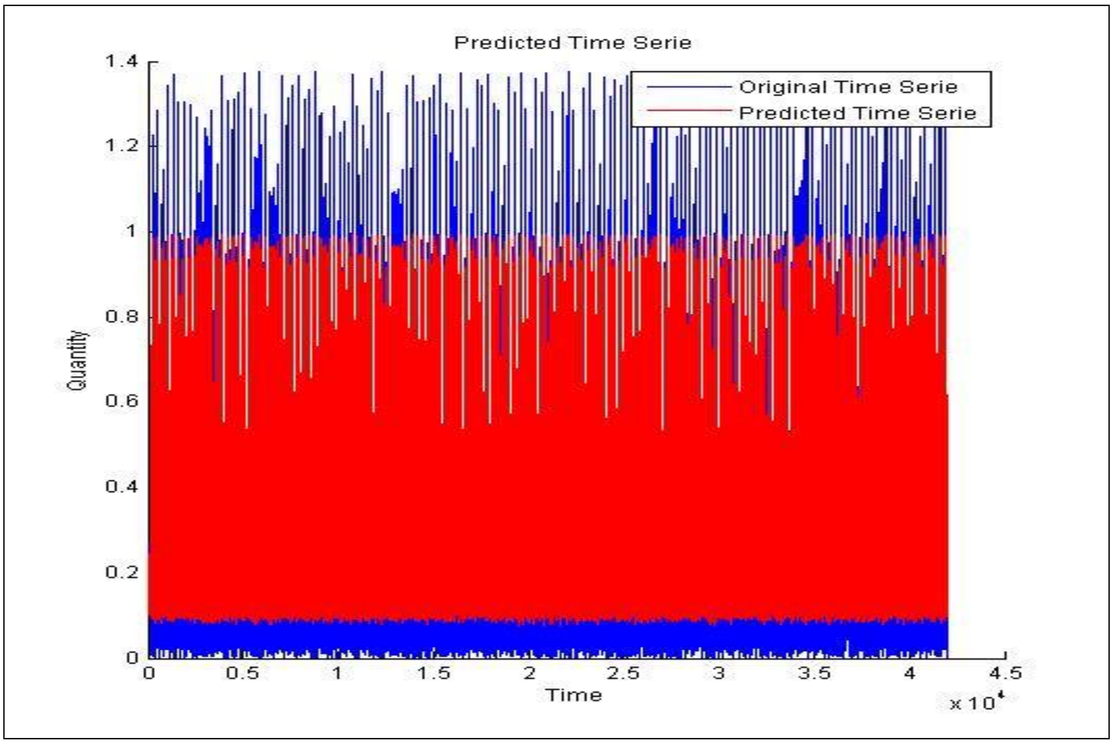
Διάγραμμα 4.14: R_6 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_7:** M=2, K=2, N=1, a=0.0001, n=0.001, iter= 2000, p=42048



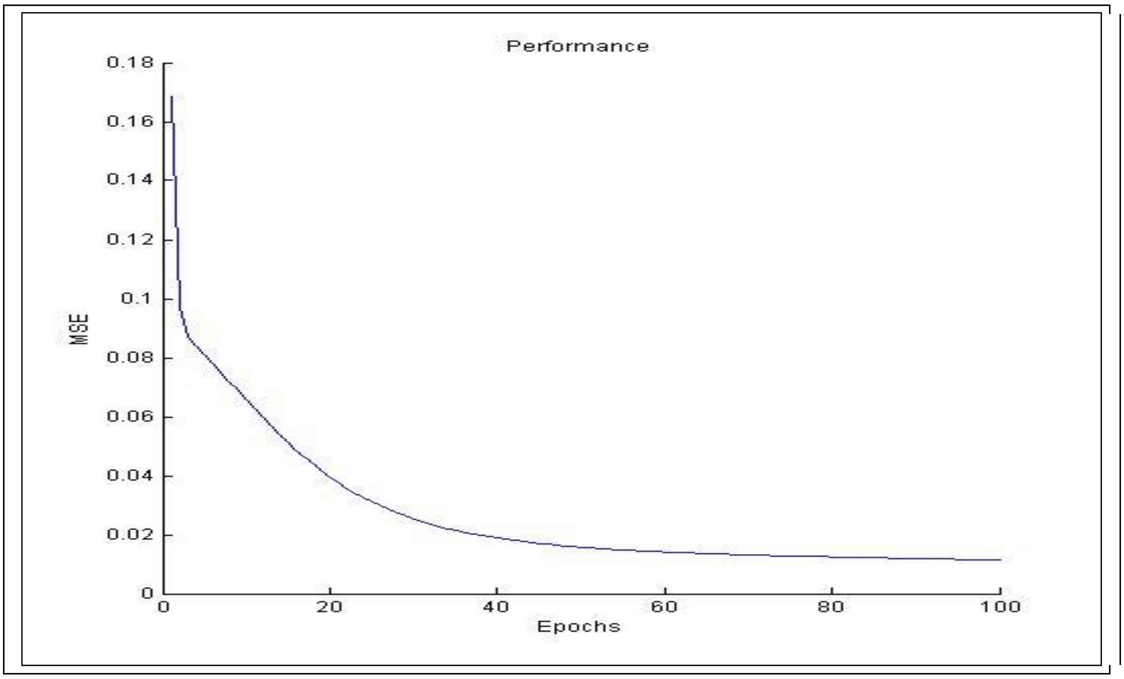
Διάγραμμα 4.15: R_7 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0050



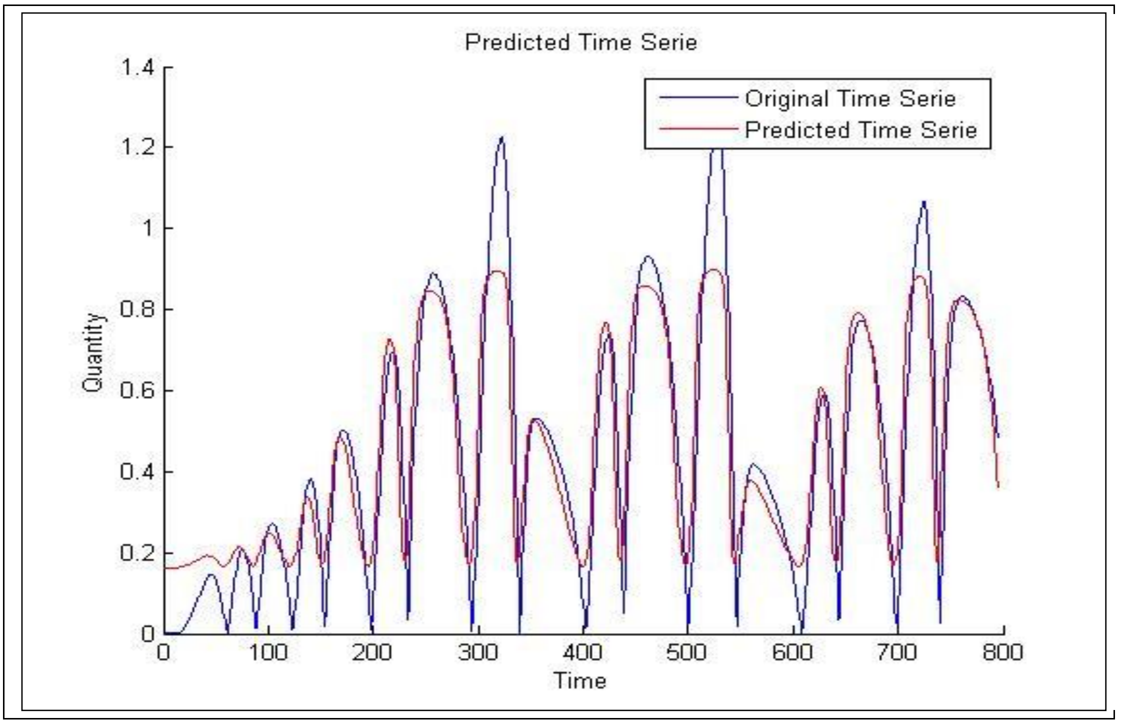
Διάγραμμα 4.16: R_7 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_8:** M=5, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 100, p=800



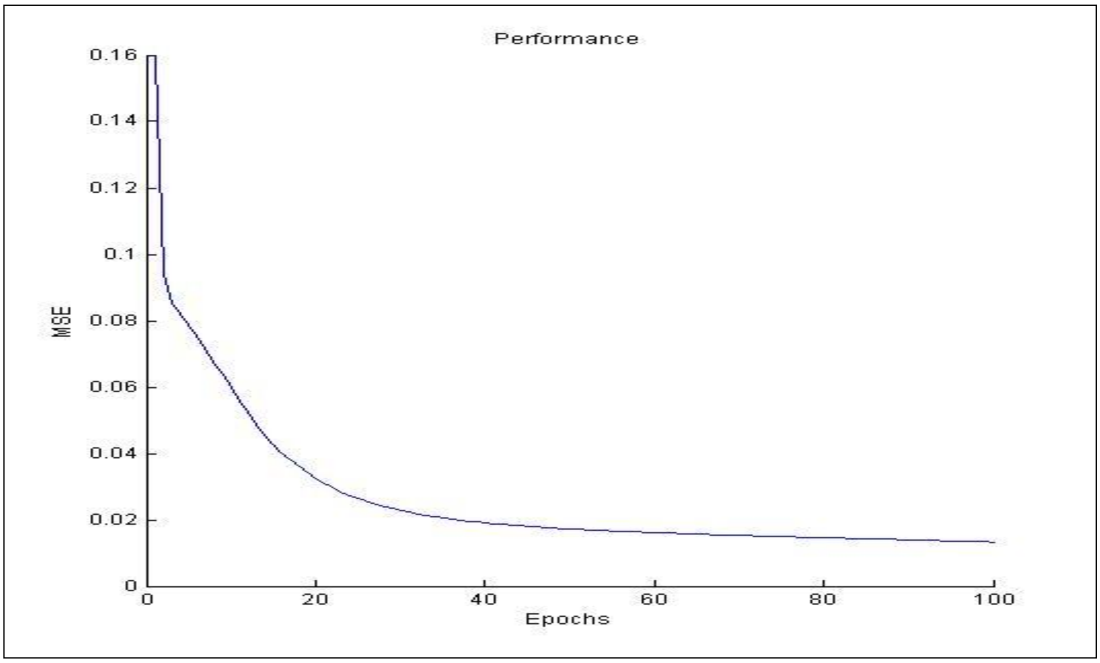
Διάγραμμα 4.17: R_8 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0114



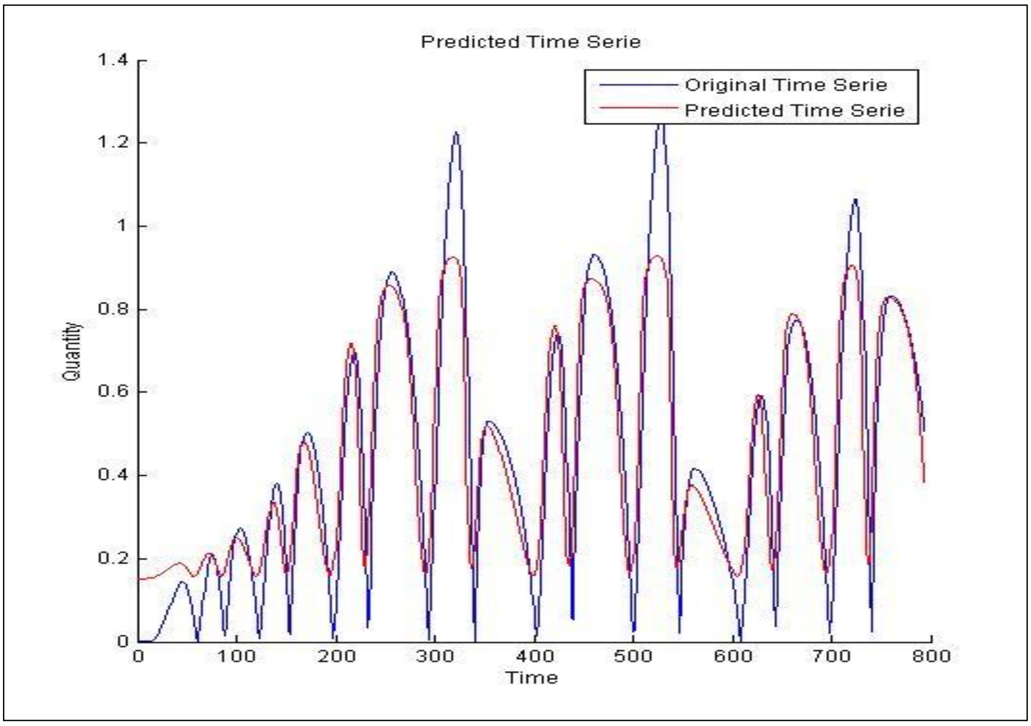
Διάγραμμα 4.18: R_8 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_9:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 100, p=800



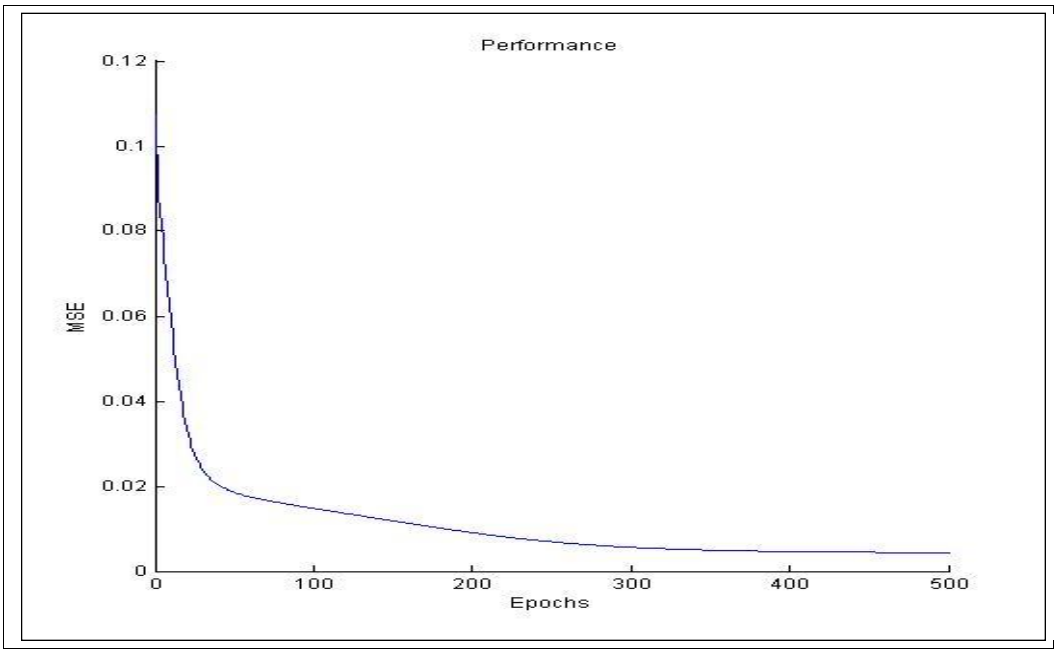
Διάγραμμα 4.19: R_9 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0133



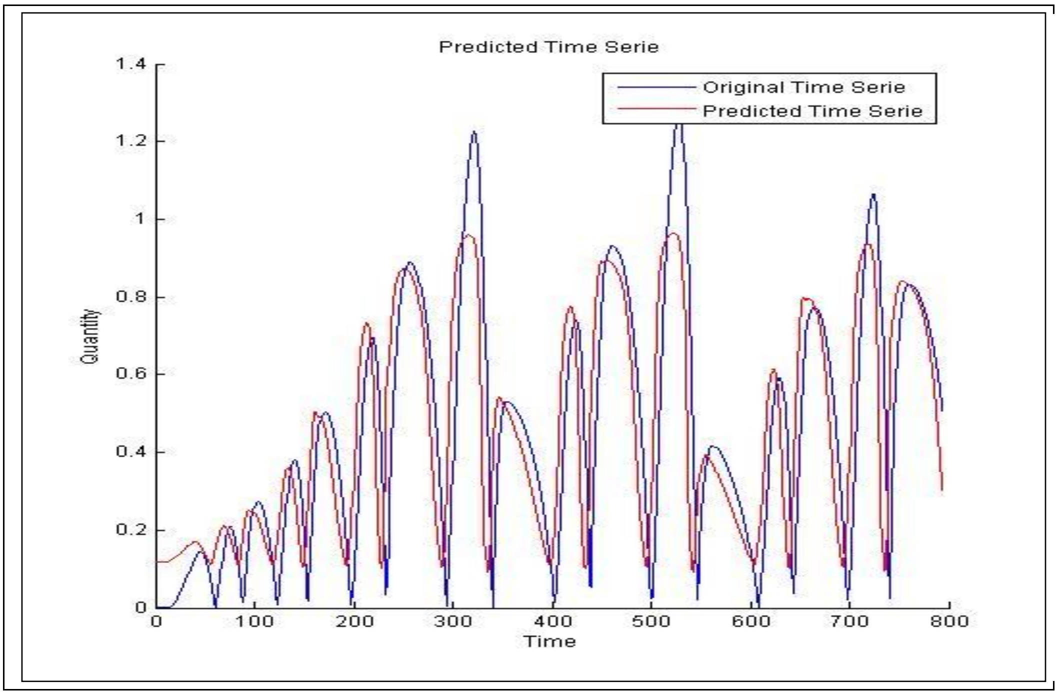
Διάγραμμα 4.20: R_9 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_10:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 500, p=800



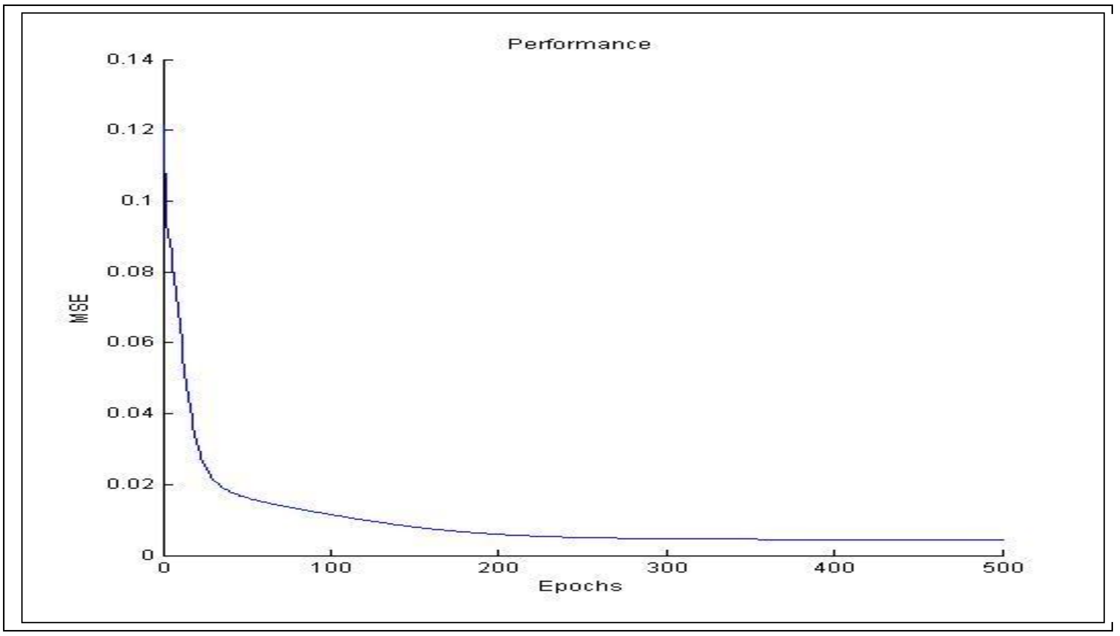
Διάγραμμα 4.21: R_10 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0044



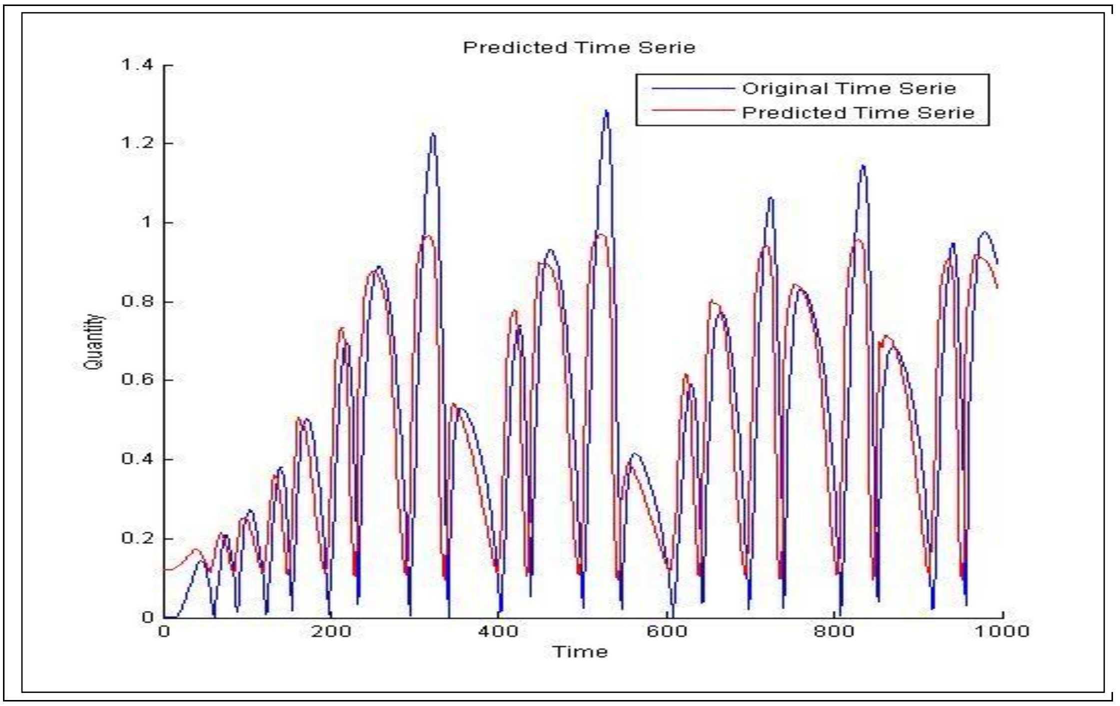
Διάγραμμα 4.22: R_10 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_11:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 500, p=1000



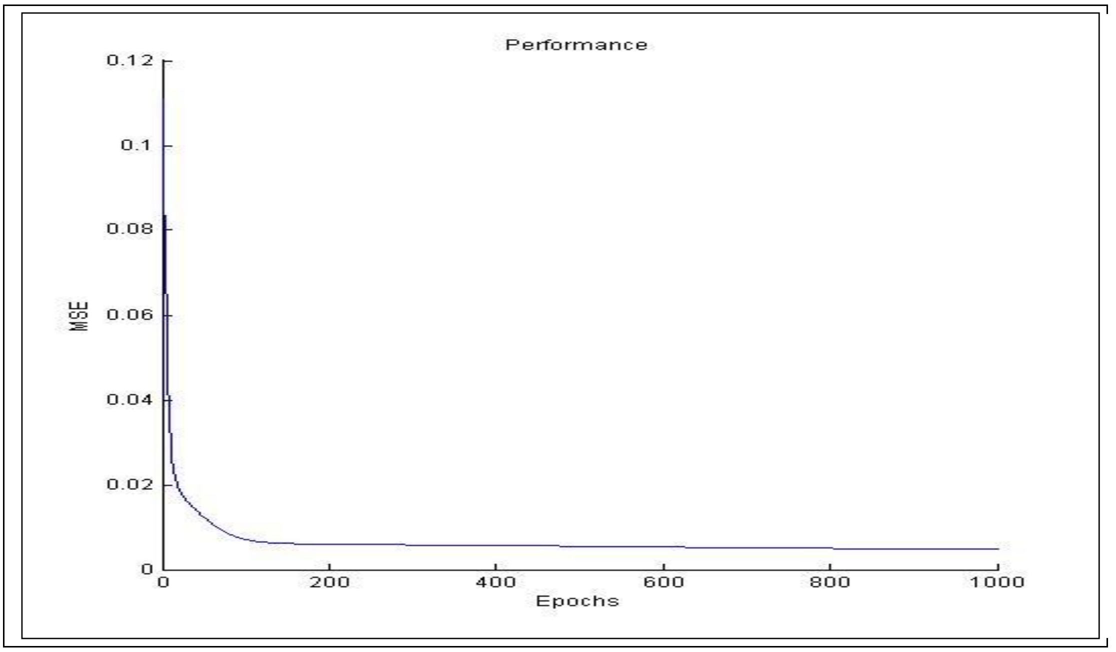
Διάγραμμα 4.23: R_11 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0043



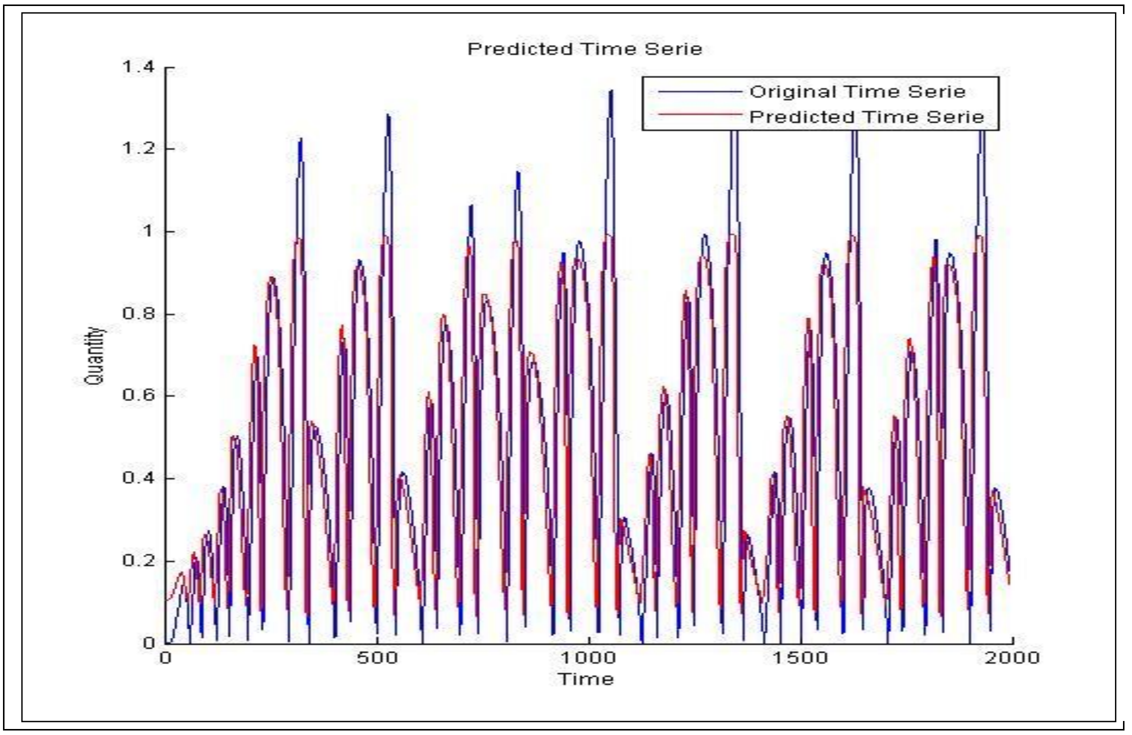
Διάγραμμα 4.24: R_11 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_12:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 1000, p=2000



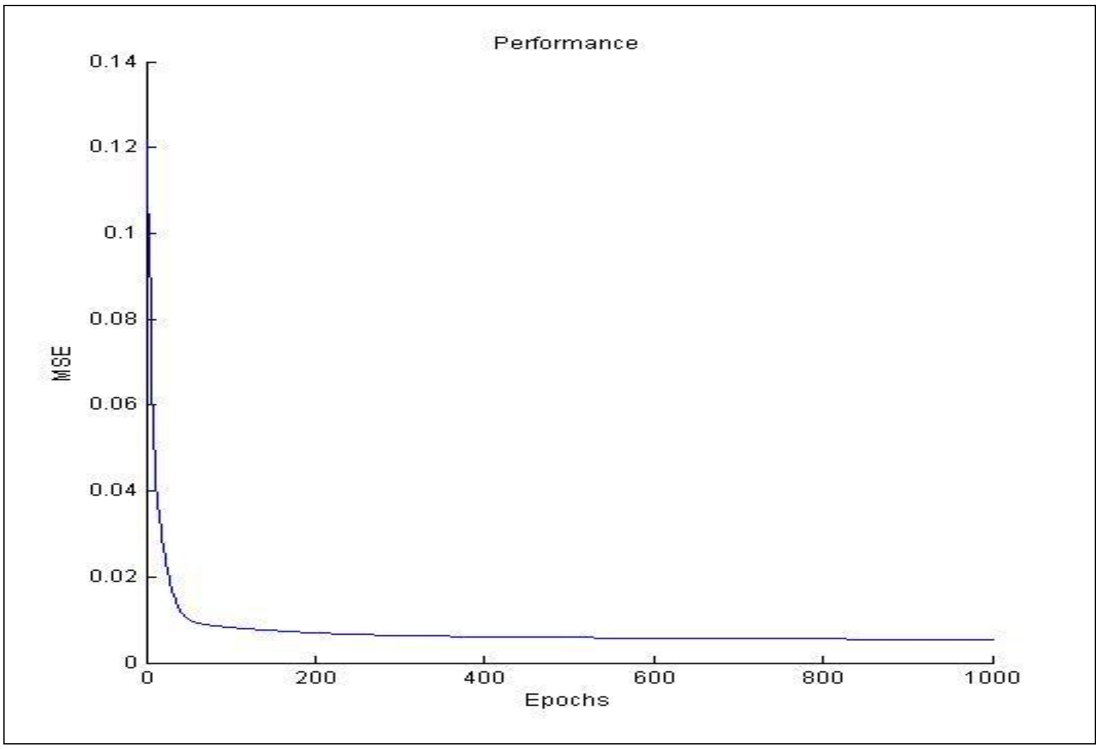
Διάγραμμα 4.25: R_12 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0048



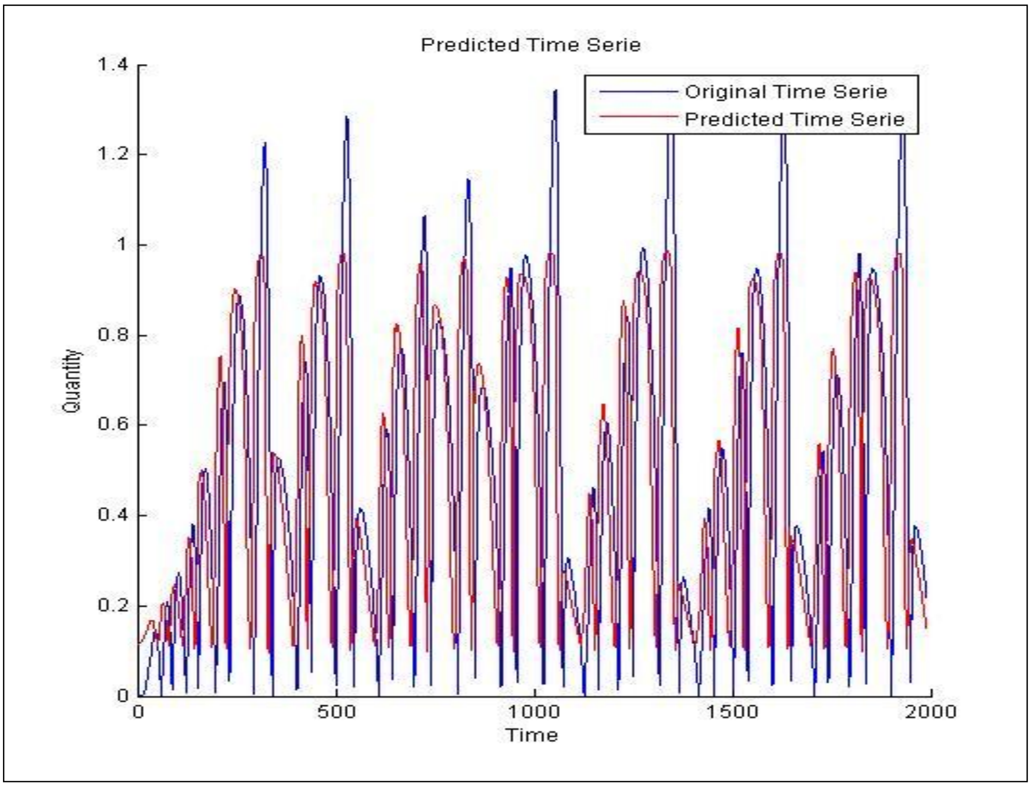
Διάγραμμα 4.26: R_12 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_13:** M=10, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 1000, p=2000



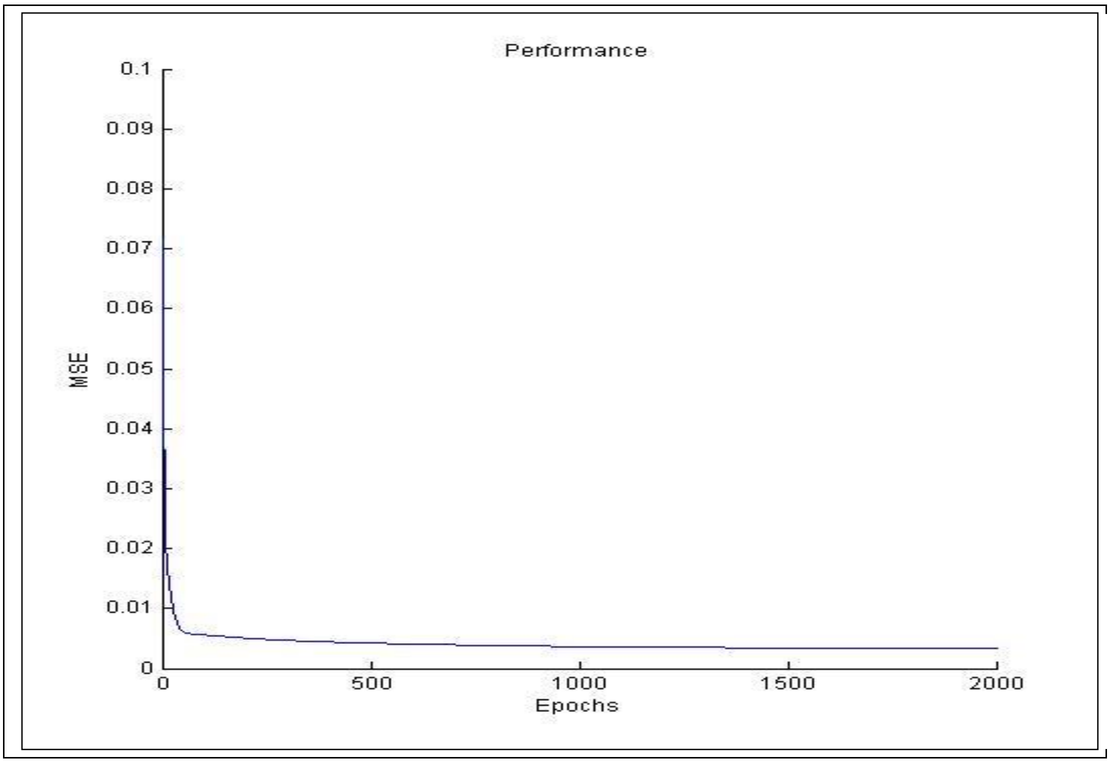
Διάγραμμα 4.27: R_13 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0054



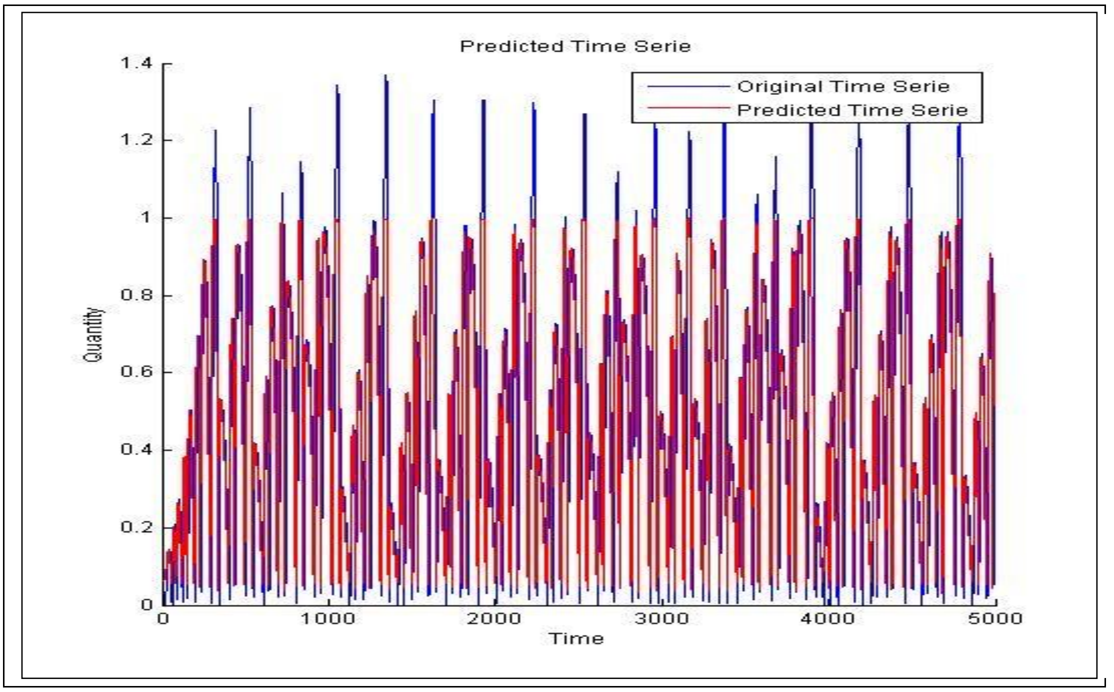
Διάγραμμα 4.28: R_13 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_14:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 2000, p=5000



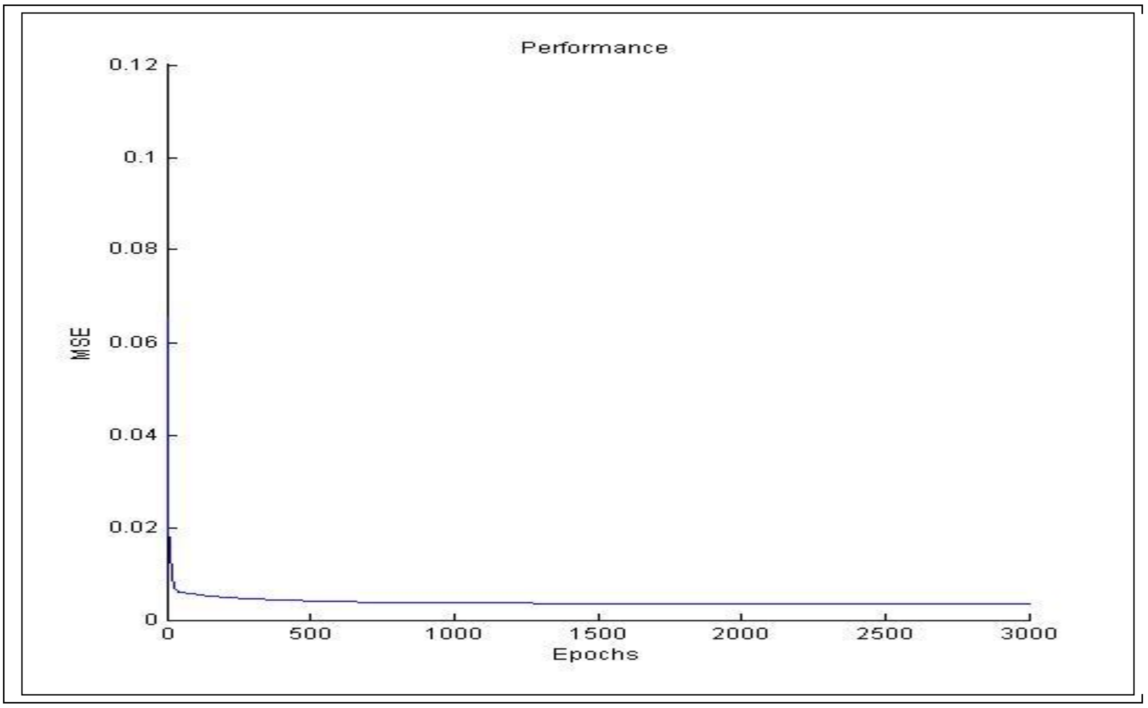
Διάγραμμα 4.29: R_14 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0034



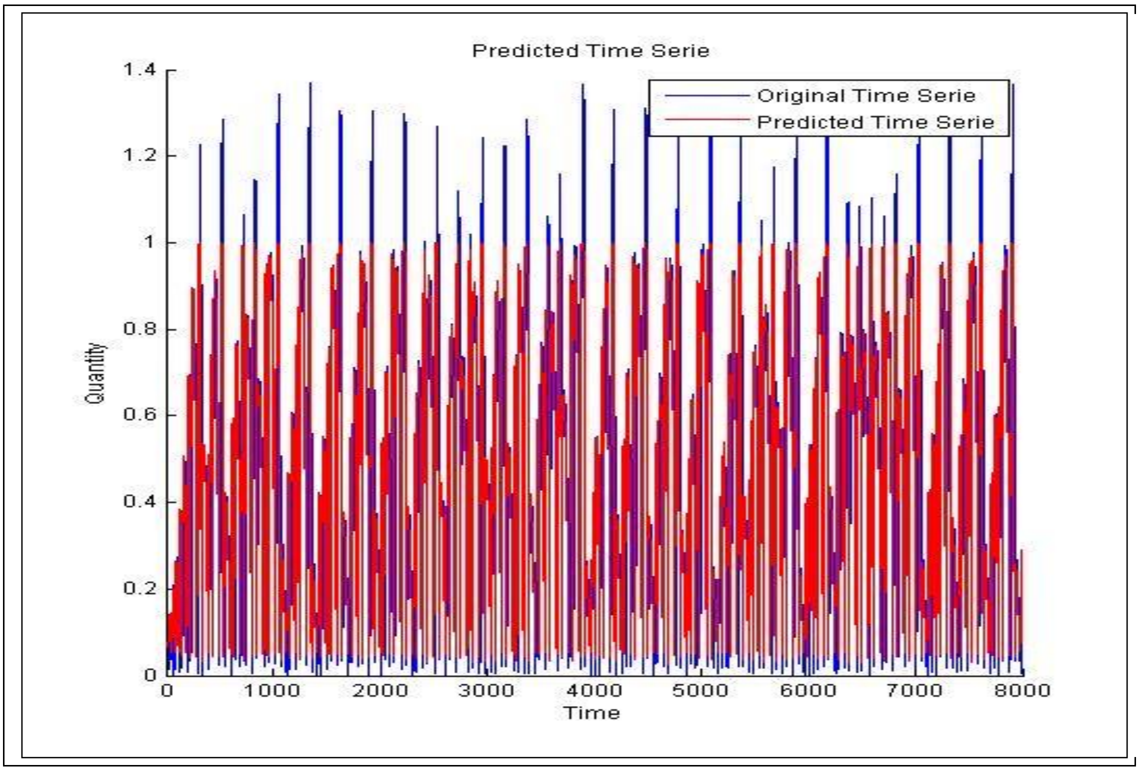
Διάγραμμα 4.30: R_14 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_15:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 3000, p=8000



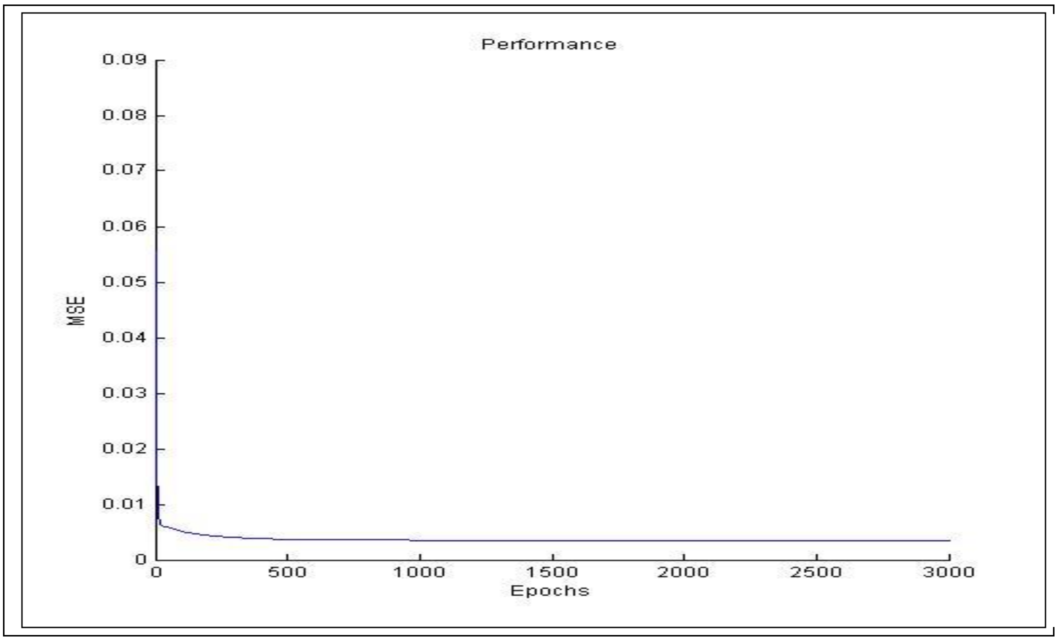
Διάγραμμα 4.31: R_15 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0035



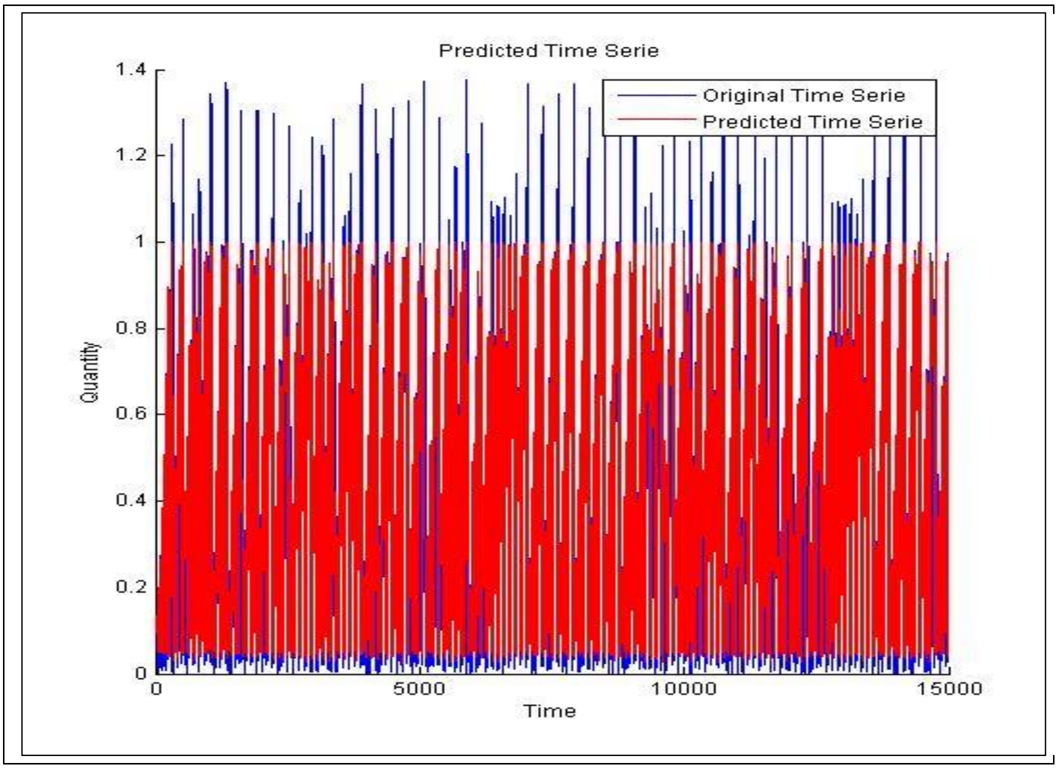
Διάγραμμα 4.32: R_15 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_16:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 3000, p=15000



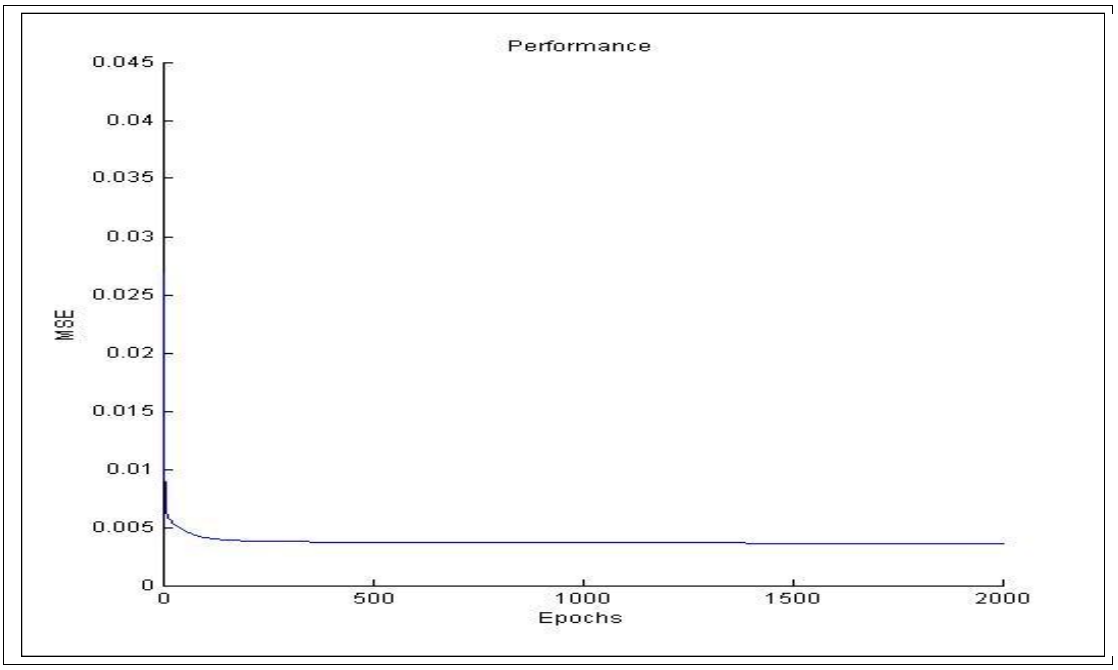
Διάγραμμα 4.33: R_16 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0034



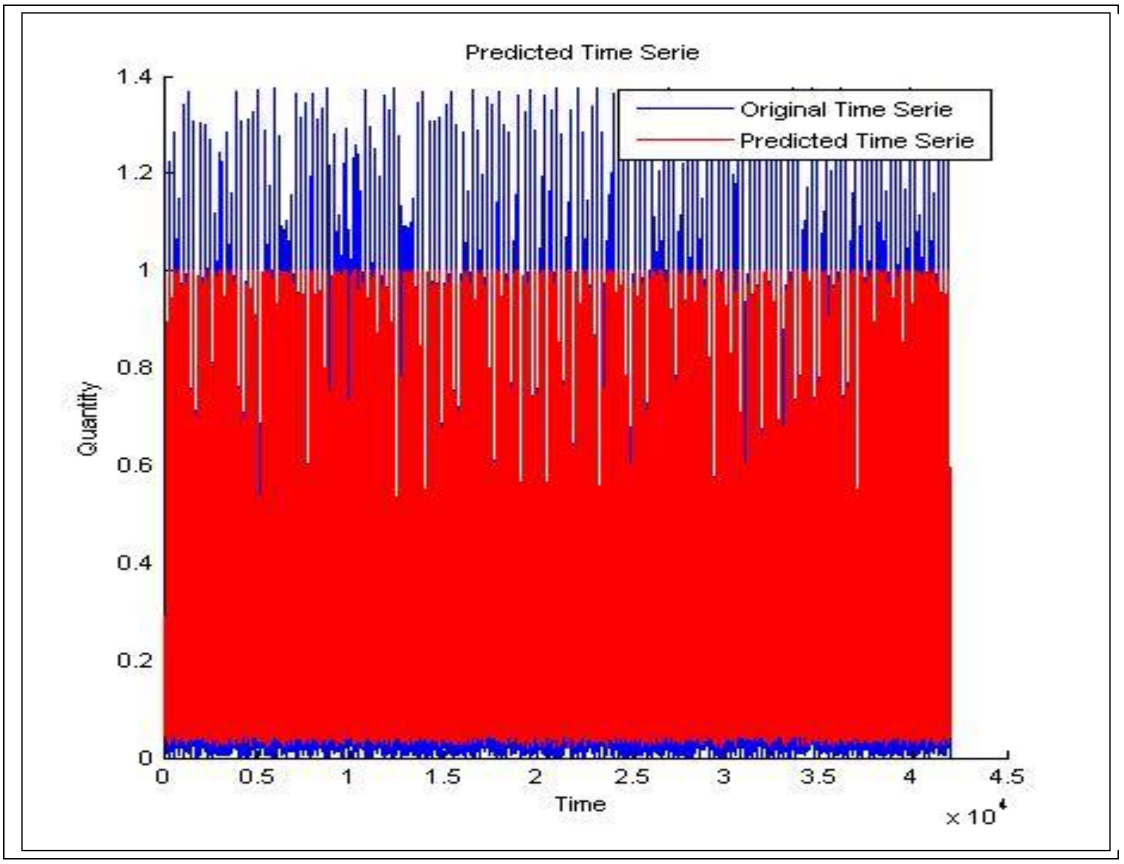
Διάγραμμα 4.34: R_16 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_17:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 3000, p=15000



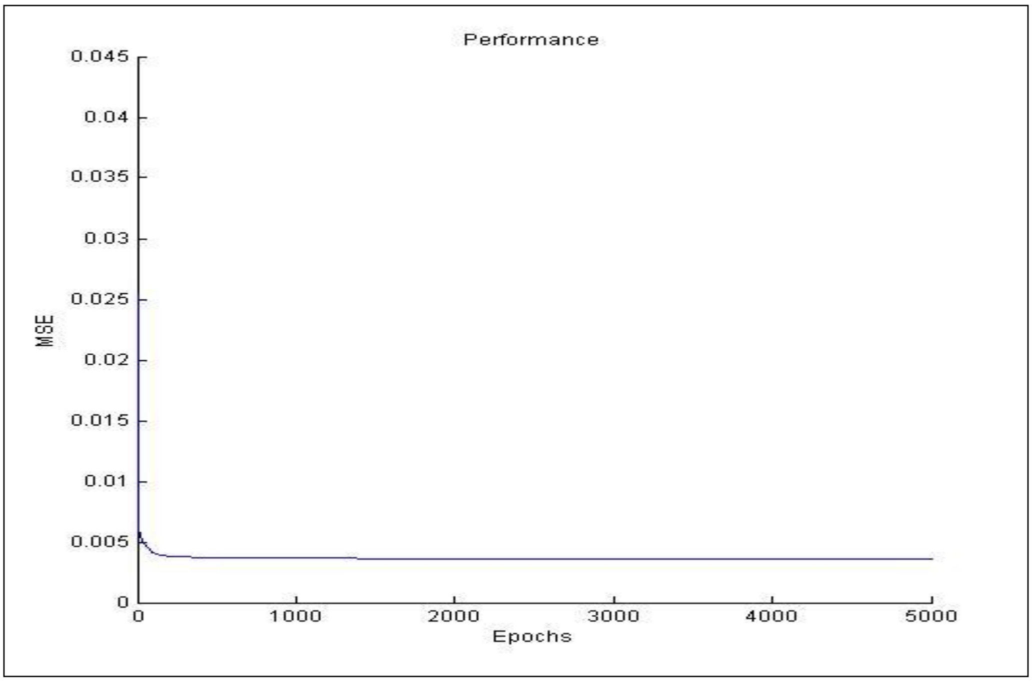
Διάγραμμα 4.35: R_17 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0036



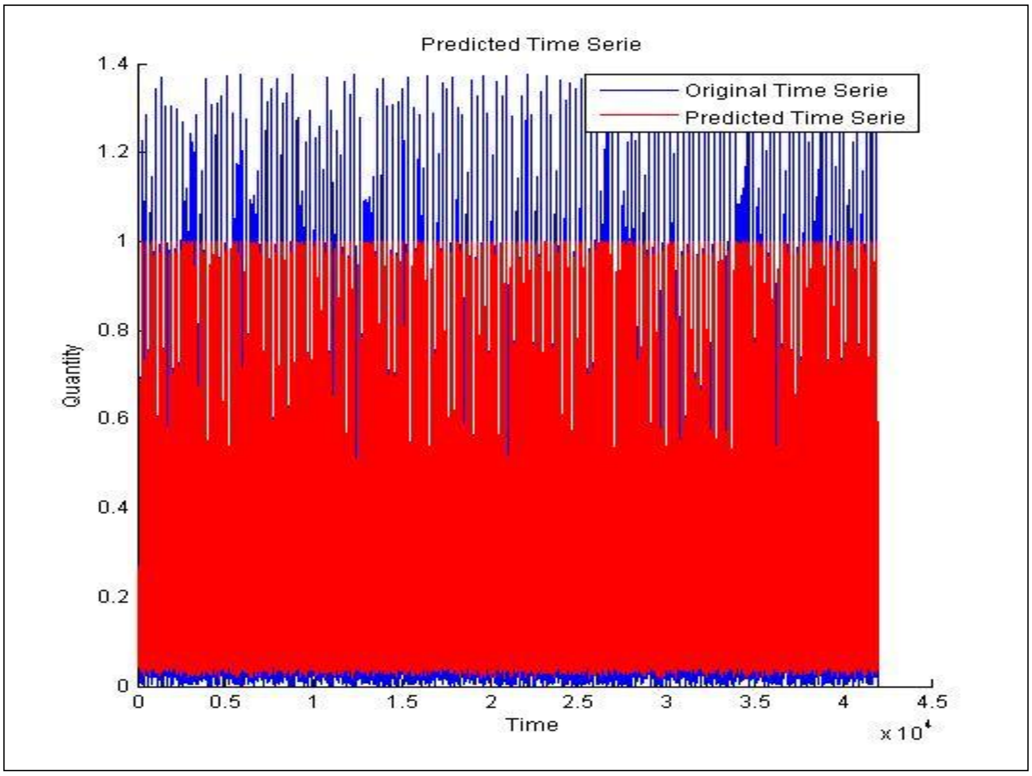
Διάγραμμα 4.36: R_17 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_18:** M=6, K=2, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 2000, p=42048



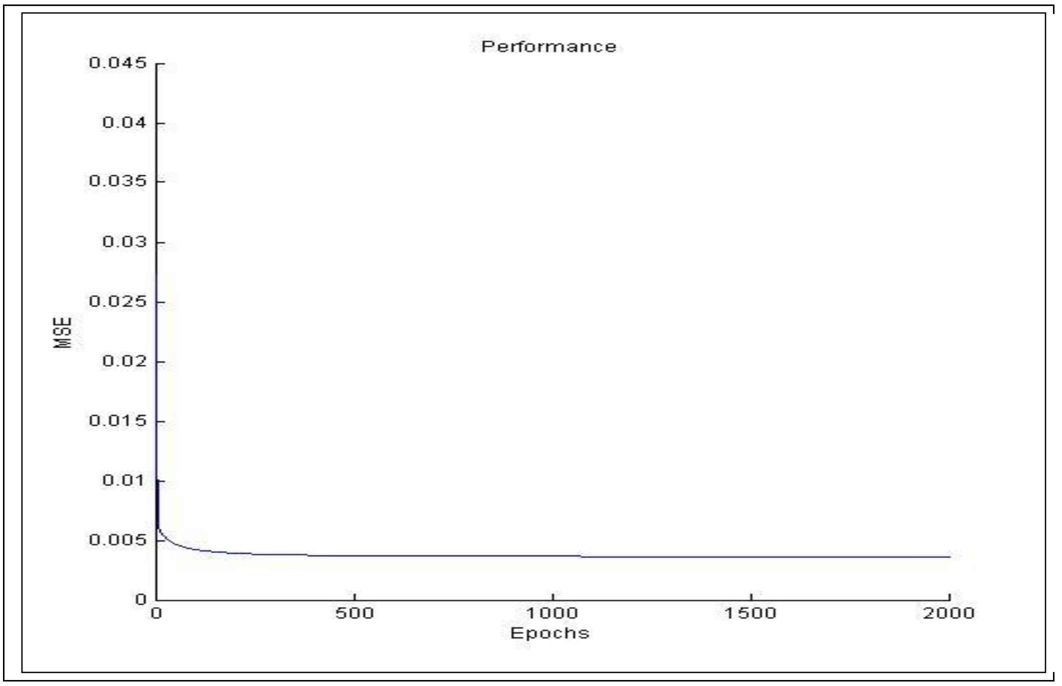
Διάγραμμα 4.37: R_18 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0036



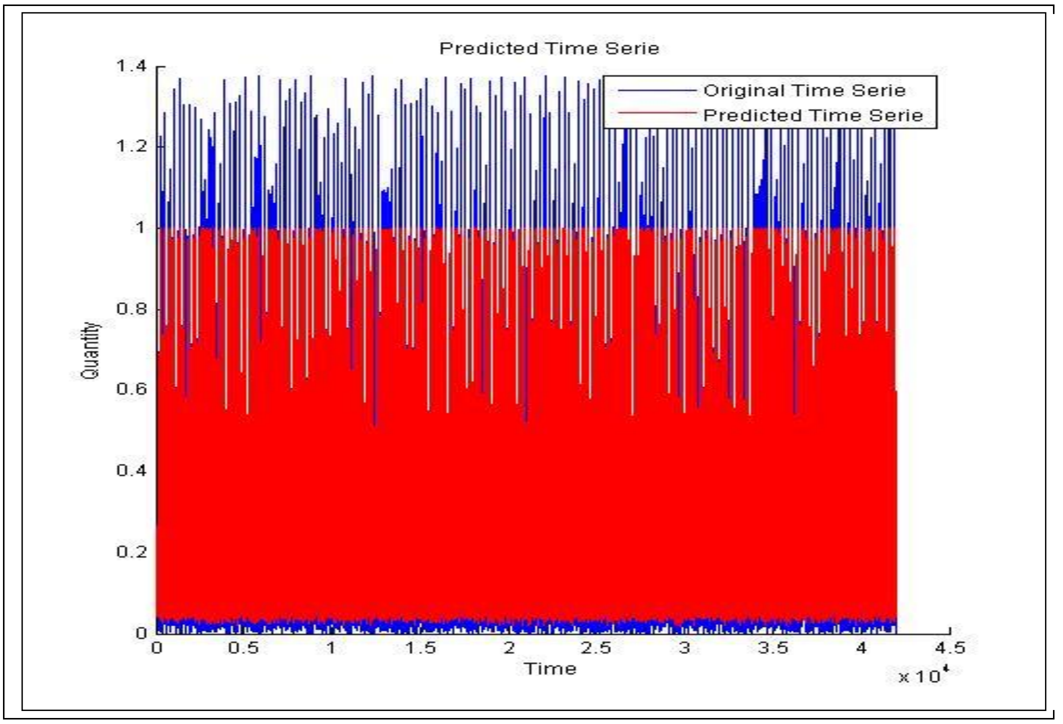
Διάγραμμα 4.38: R_18 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

- **R_19:** M=6, K=5, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 2000, p=42048



Διάγραμμα 4.39: R_19 - Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin= 0,0036



Διάγραμμα 4.40: R_19 - Διάγραμμα Χρονοσειράς Ressler και Πρόβλεψης αντίστοιχα

Σκοπός στο σημείο αυτό, όπως προαναφέρθηκε, είναι η επιλογή του συνδυασμού εκείνων των παραμέτρων που παρουσιάζουν το ελάχιστο δυνατό σφάλμα. Περίπου το 60% των δεδομένων χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του δικτύου. Θα μπορούσε να γίνει αποδεκτός ο συνδυασμός R_16, όμως για τον παραπάνω λόγο καλύτερος συνδυασμός θεωρείται ο R_19.

Ο R_19 είναι ο συνδυασμός εκείνος ο οποίος θεωρείται ως βέλτιστος για τον προσδιορισμό των προβλέψεων της συγκεκριμένης χρονοσειράς. Τα αποτελέσματα που δίνει φαίνονται παρακάτω.

	Value	min	max
In	<76000x1 double>	0	1,3762
K	5	5	5
L	42042	42042	42042
M	6	6	6
N	1	1	1
P	42048	42048	42048
W1	<6x5 double>	-3,3395	7,9627
W2	[7.8456;2.9980;8.0773;-0.3851;4.8237]	-0,3851	8,0773
X	[0.5688,0.5777,0.5852,0.5911,0.5955,0.5983]	0,5688	0,5983
a	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03
b1	[-10.8345,0.3224,0.6481,0.4758,-6.6133]	-10,8345	0,6481
b2	-97.874	-97,874	-97,874
c	42043	42043	42043
iter	2000	2000	2000
n	0.0100	0,0100	0,0100
o	0.5966	0,5966	0,5966
p	42042	42042	42042
res	<1x42042 double>	0,0182	1,0000
ressler	<76000x1 double>	0	1,3762
sfalma	<1x2000 double>	0,0036	0,0416
y	<5x5 double>	0	0,965

Πίνακας 4 .2: Αποτελέσματα Ressler

όπου (o) είναι το αποτέλεσμα (output) της συγκεκριμένης πρόβλεψης του δικτύου.

Αλγόριθμός εκπαίδευσης και πρόβλεψης

Ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση, τον προσδιορισμό των βαρών (w) και των bias και της διαδικασίας της πρόβλεψης παρουσιάζεται στη συνέχεια:

1. Εισαγωγή των δεδομένων της χρονοσειράς στο δίκτυο.
2. Διαγραμματική απεικόνιση της χρονοσειράς.

3. Εισαγωγή παραμέτρων νευρωνικού δικτύου, δηλαδή αριθμός εισόδων (inputs), αριθμός κρυφών/ ενδιάμεσων επιπέδων, αριθμός εξόδων, momentum, ρυθμός εκμάθησης (learning rate), αριθμός επαναλήψεων, αριθμός των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του δικτύου.
4. Τυχαία εισαγωγή βαρών (w) και bias.
5. Εκπαίδευση δικτύου.
6. Διαγραμματική απεικόνιση του τετραγωνικού σφάλματος.
7. Προσδιορισμός συνάρτησης πρόβλεψης.
8. Προσδιορισμός αποτελέσματος πρόβλεψης.

Τα βάρη (w) και τα bias εισάγονται τυχαία. Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους του δικτύου, αυτές προσδιορίζονται έπειτα από δοκιμαστικές διαδικασίες, έχοντας ως στόχο το συνδυασμό των παραμέτρων που μας δίνουν την ελάχιστη τιμή σφάλματος.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο κώδικας στον οποίο βασίστηκε η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων του δικτύου.

```
load ressler.dat
 In = ressler;
%   Plot the initial time-serie.
figure, plot(In(1:42048))
title('Input Time Serie')
xlabel('Time')
ylabel('Quantity')
box off

%   Settle the time-serie to be equal with vector In.
% In = input;

%   Number of inputs.
M = 2;
%   Number of hidden neurons.
K = 2;
%   Number of output neurons.
N = 1;
%   Momentum.
```

```
a = 0.01;
%   Learning Rate.
n = 0.1;
%   Epochs.
iter = 1000;
%   Number of data to be used in training phase.
P = 42048;

%   Weights and bias initiation randomly.
W1 = rand(M,K);
W2 = rand(K,N);
b1 = rand(1,K);
b2 = rand(1,N);

%   Network training procedure.
tic
[sfalma W1 W2 b1 b2] = training( In, W1, W2, b1, b2, iter, n, a, M,
K, N, P );
toc

%   Performance plot.
figure, plot(sfalma)
title('Performance')
xlabel('Epochs');
ylabel('MSE');
box off

c = 1;
for p = 1:P-2
    X(1) = In(p);
    X(2) = In(p+1);

    [y o] = map(X, W1, W2, b1, b2, M, K, N);
    res(c) = o(1);
    c = c + 1;
end

L=P-2;
figure,plot(In(1:L))
hold on
```

```
plot(res,'r')
title('Predicted Time Serie')
xlabel('Time')
ylabel('Quantity')
legend('Original Time Serie','Predicted Time Serie')
box off
```

Ο παραπάνω κώδικας αναθέτει στο διάνυσμα **In** τη χρονοσειρά **Ressler**. Στη συνέχεια, ορίζεται ο αριθμός των εισροών (**M**), ο αριθμός των κρυφών επιπέδων του δικτύου (hidden layers) (**K**) του δικτύου, ο αριθμός των νευρώνων εξόδου (**N**) και ο αριθμός των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν από το σύνολο των δεδομένων της χρονοσειράς για να γίνει η εκπαίδευση (**P**). Το **iter** προσδιορίζει το σύνολο των επαναλήψεων που θα εκτελέσει το δίκτυο, ενώ τα βάρη (**W**) από τις εισόδους προς τον κάθε κόμβο και από τον κάθε κόμβο στην μονάδα εξόδου αρχικά ορίζονται τυχαία. Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές των bias (**b**). Ο αριθμός των εισροών (**M**) υποδεικνύει στο δίκτυο ότι κατά την εκπαίδευση, από το σύνολο των (**P**) δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν θα εξετάζεται η συμπεριφορά των **M** πρώτων δεδομένων και ως τιμή - στόχος θα ορίζεται κάθε φορά η τιμή (**M+1**). Αυτό προσδιορίζεται στον κώδικα που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του δικτύου όπως παρακάτω:

```
function [sfalma W1 W2 b1 b2] = training( In, W1, W2, b1, b2, iter,
n, a, M, K, N, P )

count = 1;

X = zeros(2,1);
W1old = W1;
W2old = W2;
b1old = b1;
b2old = b2;

%   Looping over input patterns.
for epoch = 1:iter
%   Looping over predifined iterarions for each pattern.
    for p = 1:P
        X(1) = In(p);
        X(2) = In(p+1);
```


```
target = In(p+2);

[y o] = map(X, W1, W2, b1, b2, M, K, N);

%           Backward propagation.
        for j = 1:N
            delta1(j) = o(j) * ( 1.0 - o(j) ) * ( target - o(j) );
        end

        for k = 1:K
            mysum = 0;
            for j = 1:N
                mysum = mysum + W2(k,j) * delta1(j);
            end
            delta2(k) = y(k) * ( 1 - y(k) ) * mysum;
        end

%           Weights Correction.
        for i = 1:M
            for k = 1:K
                dW1(i,k) = -n * delta2(k) * X(i);
                db1(k) = -n * delta2(k);
                DW1(i,k) = W1(i,k) - W1old(i,k);
                DB1(k) = b1(k) - b1old(k);
                W1(i,k) = W1(i,k) + ( a * DW1(i,k) ) - dW1(i,k);
                b1(k) = b1(k) + ( a * DB1(k) ) - db1(k);
            end
        end

        for j = 1:N
            for k = 1:K
                dW2(k,j) = -n * delta1(j) * y(k);
                db2(j) = -n * delta1(j);
                DW2(k,j) = W2(k,j) - W2old(k,j);
                DB2(j) = b2(j) - b2old(j);
                W2(k,j) = W2(k,j) + ( a * DW2(k,j) ) - dW2(k,j);
                b2(j) = b2(j) + ( a * DB2(j) ) - db2(j);
            end
        end
```

```
        W1old = W1;
        W2old = W2;
        b1old = b1;
        b2old = b2;

%           Calculating the Actual Error.
        for j = 1:N
            error(count) =  target - o(j);
        end
        count = count + 1;
    end

    sfalma(epoch) = mymse( error, count-1 );
    count = 1;
end
```

Το **iter** ορίζει τον αριθμό των επαναλήψεων που το δίκτυο θα εκτελέσει την ίδια διαδικασία. Σε κάθε επανάληψη το δίκτυο παίρνει ως δεδομένες τις **M** επόμενες τιμές και θέτει ως στόχο και πάλι την **(M+1)** επόμενη τιμή. Κατά την εκπαίδευση τα βάρη και τα bias τα οποία έχουν ορισθεί κατά τυχαίο τρόπο επαναπροσαρμόζονται σε κάθε επανάληψη (**iter**) που κάνει το δίκτυο ώστε να ελαχιστοποιήσει την συνάρτηση τετραγωνικού σφάλματος. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας του feedforward είναι ο προσδιορισμός του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ανάμεσα στην εκροή και το στόχο. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης τετραγωνικού σφάλματος, μία διαδικασία η οποία επιτυγχάνεται με την αναζήτηση των μερικών παραγώγων μέσω του backpropagation. Σημαντικό ρόλο βέβαια παίζει και ο ρυθμός εκμάθησης (learning rate) (**n**), το οποίο κατά κάποιο τρόπο καθορίζει και την ταχύτητα ανταπόκρισης του δικτύου. Το momentum (**a**), παράγοντας ο οποίος αποτρέπει την παραπλάνηση του δικτύου από κάποιο τοπικό ακρότατο, προσδιορίζεται επίσης.

Η συνάρτηση ενεργοποίησης (activation function) και η συνάρτηση μέσου τετραγωνικού σφάλματος ορίζονται ως εξής:

```
function f = transferfun( x )

f =  ( 1.0 / ( 1.0 + exp( -x ) ) );
```

και

```
function f = mymse( X, N )

tmp = 0;

for i = 1:N
    tmp = tmp + X(i) * X(i);
end

tmp = tmp/N;

f = tmp;
```

αντίστοιχα.

Επιπλέον, για τη σύνδεση των παραπάνω συναρτήσεων και τη δομή της εκπαίδευσης του δικτύου έχουμε:

```
function [y o] = map( X, W1, W2, b1, b2, M, K, N)

y = zeros(K);
o = zeros(N);

%   Forward propagation.
for k = 1:K
    mysum = 0;
    for i = 1:M
        mysum = mysum + W1(i,k) * X(i);
    end
    y(k) = transferfun( mysum + b1(k) );
```

```
end

for j = 1:N
    mysum = 0;
    for k = 1:K
        mysum = mysum + W2(k,j) * y(k);
    end
    o(j) = transferfun( mysum + b2(j) );
end
```

Τέλος, ο κώδικας ο οποίος συνδέει όλες τις παραπάνω δραστηριότητες του δικτύου παρατίθεται στη συνέχεια:

```
function [y o] = map( X, W1, W2, b1, b2, M, K, N)

y = zeros(K);
o = zeros(N);

%   Forward propagation.
for k = 1:K
    mysum = 0;
    for i = 1:M
        mysum = mysum + W1(i,k) * X(i);
    end
    y(k) = transferfun( mysum + b1(k) );
end

for j = 1:N
    mysum = 0;
    for k = 1:K
        mysum = mysum + W2(k,j) * y(k);
    end
    o(j) = transferfun( mysum + b2(j) );
end
```

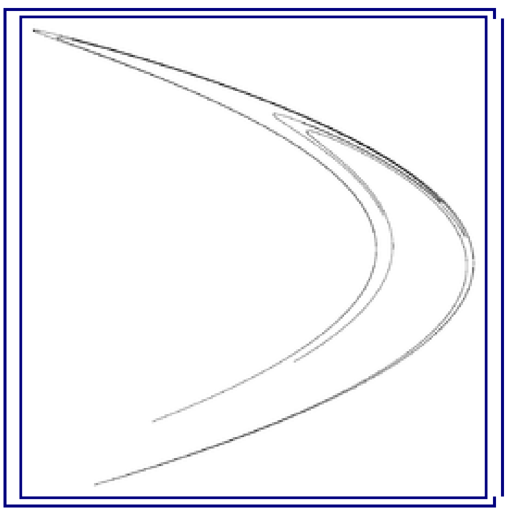
4.2.2.2 HENON-MAP

Η **Henon map** είναι ένα δυναμικό σύστημα διακριτού χρόνου. Είναι ένα από τα παραδείγματα δυναμικών συστημάτων χαοτικής συμπεριφοράς τα οποία χρησιμοποιούνται πολύ σε διάφορες μελέτες. Η **Henon map** παίρνει ένα σημείο (x_n, y_n) και το απεικονίζει σε ένα νέο σημείο με τον εξής τρόπο.

$$\boxed{\begin{aligned} x_{n+1} &= y_n + 1 - a x_n^2, \\ y_{n+1} &= b x_n. \end{aligned}}$$

Στη **Henon map** ένα αρχικό σημείο του διαγράμματος, είτε θα πλησιάζει ένα σύνολο σημείων γνωστών ως Henon strange attractor ή θα τείνει στο άπειρο. Η **Henon map** από τη μία πλευρά έχει ένα τετμημένο γεωμετρικό σχήμα το οποίο μπορεί να χωρίζεται σε επιμέρους κομμάτια τα οποία αποτελούν αντίγραφα το ένα του άλλου, αλλά διαφέρουν στο μέγεθος (**fractal**). Από την άλλη πλευρά η **Henon map** είναι ένα σύνολο σημείων τα οποία έχουν αξιοσημείωτες ιδιότητες.

Η απεικόνιση εξαρτάται από δύο παραμέτρους, a και b όπου, στην κανονική απεικόνιση **Henon map,** παίρνει τιμές για a=1.4 και b=0.3. Για τις κανονικές τιμές η Henon map παρουσιάζει χαοτική συμπεριφορά. Για άλλες τιμές των a και b η απεικόνιση ίσως είναι χαοτική, μη συνεχής, ή να συγκλίνει με την πορεία της περιοδικής απεικόνισης. Μία σύνοψη της συμπεριφοράς της συνάρτησης σε διαφορετικές τιμές παραμέτρων μπορεί να παρατηρηθεί μέσα από το διάγραμμα απεικόνισής της.

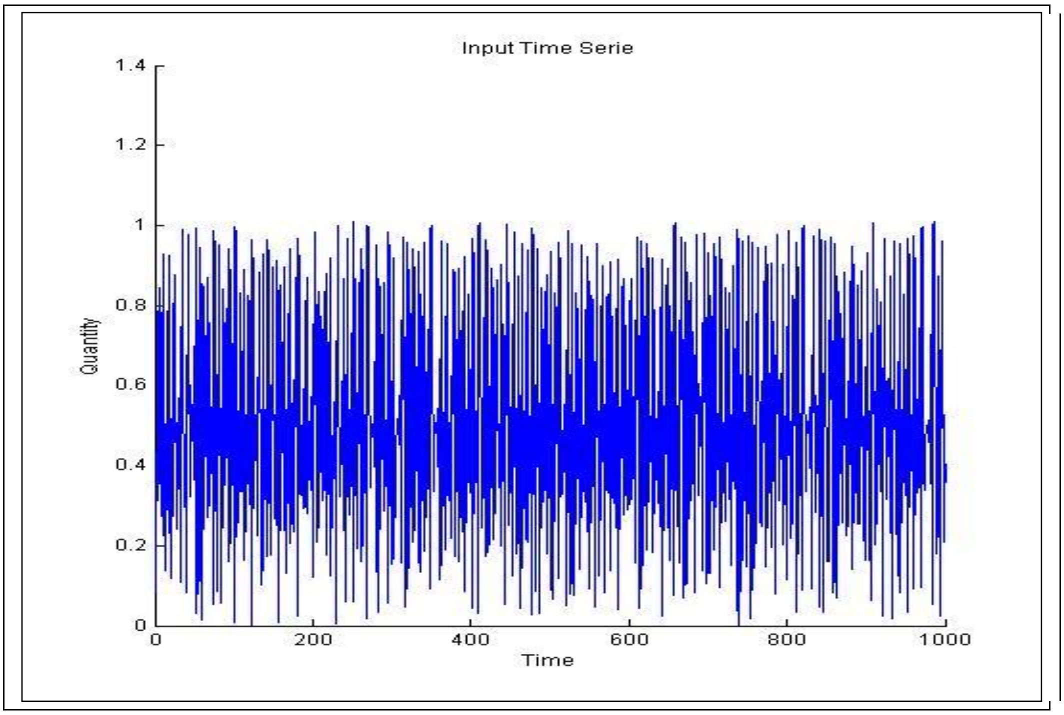


Σχήμα 4.2: Henon attractor για a = 1.4 και b = 0.3

Ως δυναμικό σύστημα η κανονική **Henon map** παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας της απλότητας στην περιγραφή της.

Παρακάτω φαίνεται η διαγραμματική απεικόνιση της χρονοσειράς henon map, όπου στον οριζόντιο άξονα φαίνονται οι ώρες πτήσης του αεροσκάφους και στον κάθετο άξονα οι κανονικοποιημένες τιμές της ζήτησης για τα αντίστοιχα υλικά.

```
%   Load time-serie.
 load henonmap.dat
 In = henonmap;
%  Plot the initial time-serie.
figure, plot(In(1:42048))
title('Input Time Serie')
xlabel('Time')
ylabel('Quantity')
box off
```



Διάγραμμα 4.41: Χρονοσειρά Henonmap

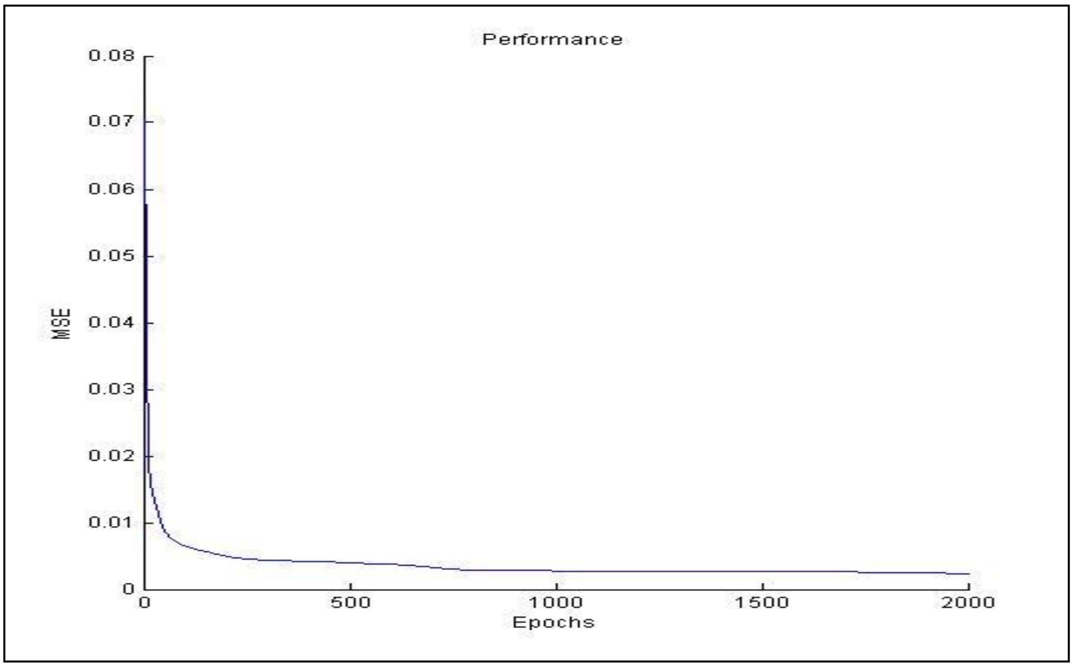
Η μέση τιμή της χρονοσειράς henonmap είναι **0,5319** που σημαίνει ότι οι τιμές της ζήτησης (παραγγελιών) κυμαίνονται κατά μέσο όρο γύρω από το **0,5319**. Η τυπική απόκλιση (STD) υπολογίζεται στο **0,2797,** δηλαδή η απόκλιση των τιμών από το **0,5319** είναι κατά μέσο όρο **0,2797**.

Στα πλαίσια της έρευνας, έγινε ανάλογη μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου για μία χρονοσειρά henon – map, όπως έγινε παραπάνω και για εκείνη της ressler. Έστω ότι η ζήτηση μίας κατηγορίας αεροπορικού υλικού (ATA Chapter) απεικονίζεται σε μία χρονοσειρά henon – map. Ο πίνακας παρουσιάζει τους αντίστοιχους συνδυασμούς παραμέτρων που έγιναν και παρατίθενται διαγράμματα για το συνδυασμό ο οποίος επιλέγεται τελικά για τη χρονοσειρά henon-map.

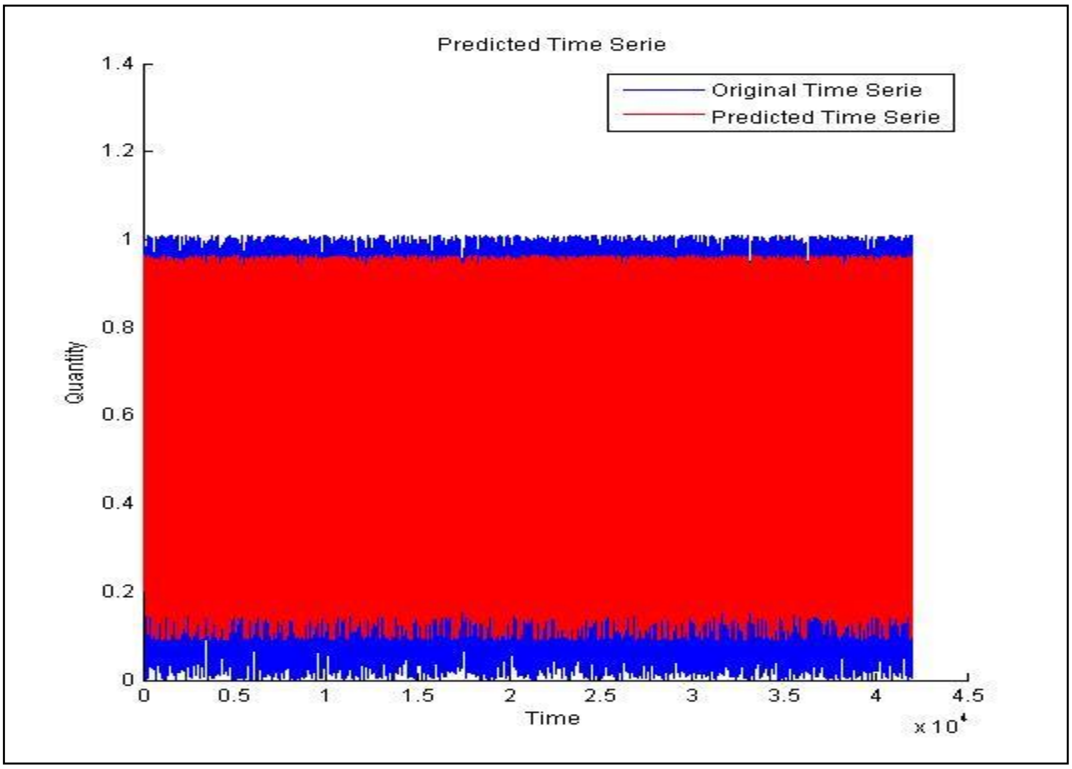
	INPUT	M	K	N	a	n	iter	p	Emin	o	time (sec)
1	Henonmap	2	2	1	0,01	0,1	100	800	0,0396	0,4040	4,99
2		2	2	1	0,01	0,1	100	42048	0,0216	0,3348	345,76
3		2	2	1	0,01	0,1	1000	42048	0,0215	0,3327	3434,00
4		5	2	1	0,001	0,01	100	800	0,0787	0,5166	6,25
5		6	2	1	0,001	0,01	100	800	0,0804	0,5308	6,34
6		6	2	1	0,001	0,01	500	800	0,0777	0,5011	31,77
7		6	2	1	0,001	0,01	500	1000	0,0481	0,3752	42,14
8		6	2	1	0,001	0,01	1000	2000	0,0068	0,4757	158,19
9		10	2	1	0,001	0,01	1000	2000	0,0014	0,4439	168,45
10		6	2	1	0,001	0,01	2000	5000	0,0047	0,2578	848,35
11		6	2	1	0,001	0,01	3000	8000	0,0044	0,3701	1896,06
12		6	2	1	0,001	0,01	3000	15000	0,0044	0,7867	3603,01
13		6	2	1	0,001	0,01	2000	42048	0.0044	0.5348	6547.50
14		6	2	1	0,001	0,01	5000	42048	0,0044	0,5345	16579,37
15		6	5	1	0,001	0,01	2000	42048	0,0024	0,4762	9399,88

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα Hennon - map

M=6, K=5, N=1, a=0.001, n=0.01, iter= 2000, p=42048



Διάγραμμα 4.42: Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος
Emin= 0,0024



Διάγραμμα 4.43: Διάγραμμα Χρονοσειράς Henon-map και Πρόβλεψης αντίστοιχα

Όπου,

M: Αριθμός μονάδων εισόδου (inputs) στο δίκτυο

K: Αριθμός hidden neurons

N: Αριθμός μονάδων εξόδου (outputs) από το δίκτυο

a: Momentum

n: Learning rate

iter: Αριθμός επαναλήψεων

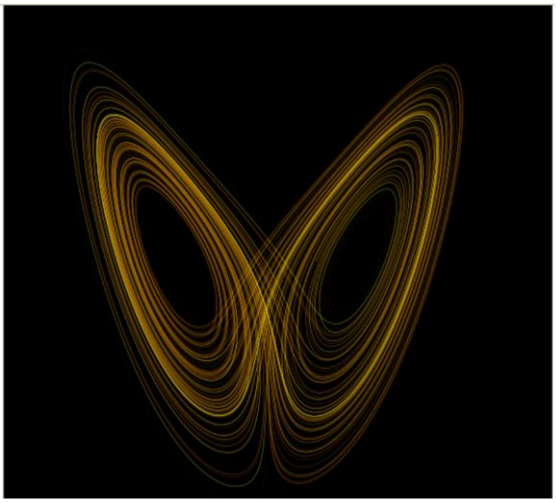
p: αριθμός δεδομένων από το σύνολο των δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του δικτύου.

Emin: Η ελάχιστη τιμή του σφάλματος που παρουσιάζεται με την εφαρμογή των παραπάνω παραμέτρων

4.2.2.3 LORENZ

Η εκπαίδευση για όλες τις χρονοσειρές (ATA_Chapters) γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο για όλα τα ATA Chapters της μελέτης αυτής. Στη συνέχεια εξετάζεται η περίπτωση της χρονοσειράς Lorenz, ως ακραία περίπτωση συμπεριφοράς της ζήτησης. Είναι ένα από τα πιο πολύπλοκα μοντέλα και χρησιμοποιείται για περιγραφή χαοτικών συμπεριφορών. Σε επόμενη παράγραφο εξετάζεται η εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για την πρόβλεψη της ζήτησης ενός υλικού το οποίο θεωρείται ότι ακολουθεί την κατανομή Lorenz. Σκοπός είναι να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα του νευρωνικού δικτύου στην πρόβλεψη της ζήτησης ακόμα και σε ακραίες περιπτώσεις.

Η προσέγγιση Lorenz περιγράφει τη δομή ενός δυναμικού συστήματος το οποίο παρουσιάζει χαοτική συμπεριφορά, ενώ τα σχετικά διαγράμματα απεικόνισής της ομοιάζουν με το σύμβολο του απείρου (∞). Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο πολύπλοκος, μη επαναλαμβανόμενος τρόπος με τον οποίο εξελίσσεται.



Σχήμα 4.3: Απεικόνιση Lorenz

Πρόκειται για ένα μη-γραμμικό μαθηματικό μοντέλο το οποίο έχει πολλές εφαρμογές στην πρόβλεψη του καιρού και του κλίματος γενικότερα. Το μοντέλο δημιουργήθηκε για να περιγράψει τη χαοτική συμπεριφορά ενός απλοποιημένου, τριών διαστάσεων συστήματος του προβλήματος της ροής των υγρών και του βάθους του σύμπαντος. Μαθηματική απεικόνιση παρουσιάζεται παρακάτω:

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{d}{dt}X &= \sigma(Y-X) \\ \frac{d}{dt}Y &= -XZ + rX - Y \\ \frac{d}{dt}Z &= XY - bZ \end{aligned}}$$

<u>Εφαρμογή</u>

Αφού παραχθεί η χρονοσειρά Lorenz επιδιώκεται η εκπαίδευση τεχνητού νευρωνικού δικτύου με τη διαδικασία του backpropagation (MLP), όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενες παραγράφους. Συνδυασμός των παραγόντων και αντίστοιχες δοκιμαστικές εκπαιδεύσεις του δικτύου έδωσαν ως βέλτιστη δομή την ακόλουθη:

M=6, K=5, N=1, a=0.01, n=0.1, iter=100, p=800

και η ελάχιστη τιμή σφάλματος η οποία προκύπτει είναι Emin= 0.0013 ,

όπου:

M: Αριθμός μονάδων εισόδου (inputs) στο δίκτυο

K: Αριθμός hidden neurons

N: Αριθμός μονάδων εξόδου (outputs) από το δίκτυο

a: Momentum

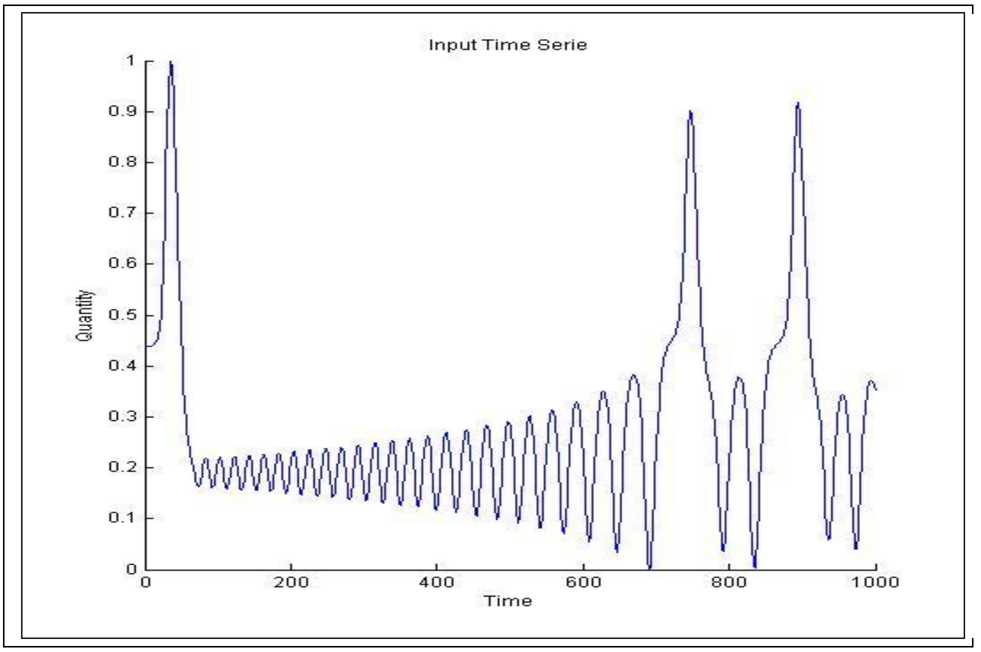
n: Learning rate

iter: Αριθμός επαναλήψεων

p: αριθμός δεδομένων από το σύνολο των δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του δικτύου.

Emin: Η ελάχιστη τιμή του σφάλματος που παρουσιάζεται με την εφαρμογή των παραπάνω παραμέτρων.

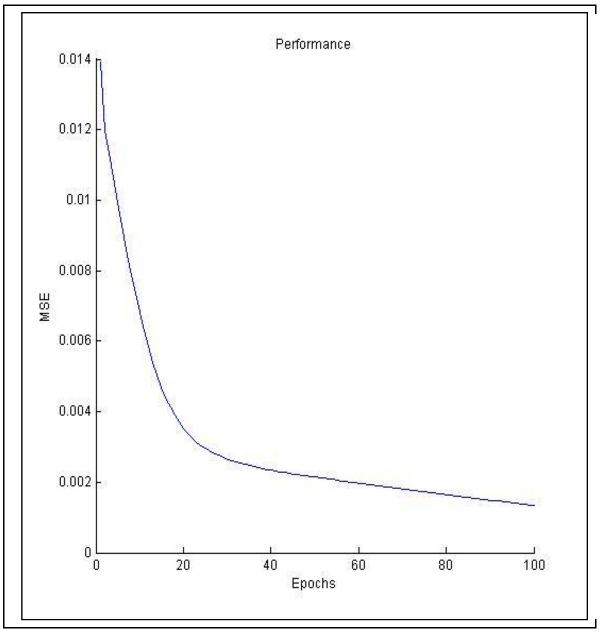
Η διαγραμματική απεικόνιση της χρονοσειράς Lorenz που παράχθηκε παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.44:: Διαγραμματική απεικόνιση χρονοσειράς Lorenz

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα ελαχίστου τετραγωνικού σφάλματος για τη χρονοσειρά Lorenz.

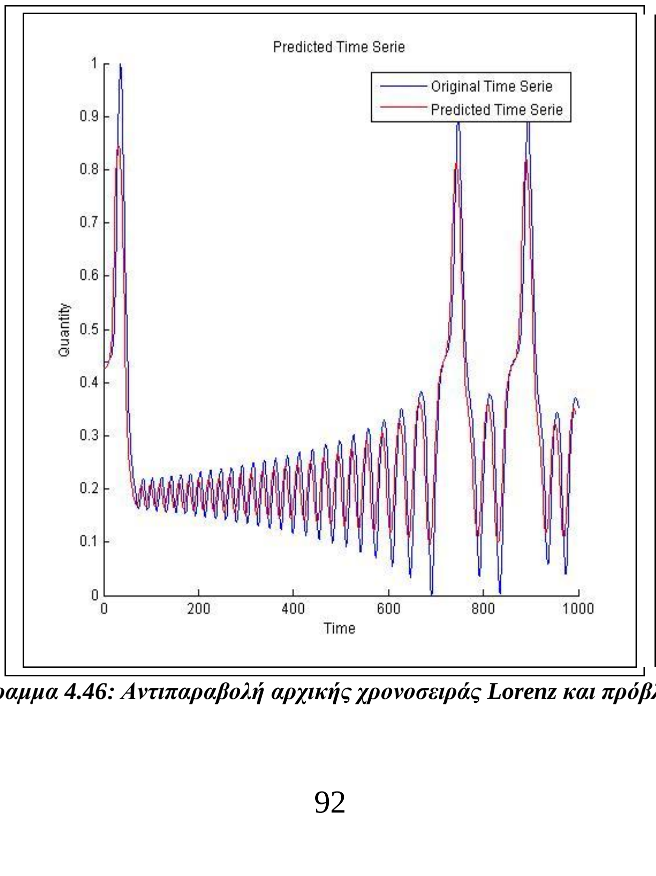
M=6, K=5, N=1, a=0.01, n=0.1, iter= 100, p=800



Διάγραμμα 4.45: Lorenz: Διάγραμμα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος

Emin=0.0013

Αντιπαραβάλλοντας την αρχική χρονοσειρά Lorenz με τη χρονοσειρά πρόβλεψης η οποία προκύπτει έπειτα από την εφαρμογή του τεχνητού νευρωνικού δικτύου, παρατηρούμε ότι τα δύο διαγράμματα σχεδόν συμπίπτουν. Αυτό σημαίνει ότι το σφάλμα στην πρόβλεψη που δίνει το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι το ελάχιστο δυνατό.



Διάγραμμα 4.46: Αντιπαραβολή αρχικής χρονοσειράς Lorenz και πρόβλεψης

Η πρόβλεψη της χρονοσειράς Lorenz παρουσιάζεται παρακάτω με τη μορφή κώδικά:

```
 load lorentz.dat
 In = lorentz;
%   Plot the initial timeserie.
figure, plot(In)
title('Input Time Serie')
xlabel('Time')
ylabel('Quantity')
box off

%   Settle the timeserie to be equal with vector In.
% In = input;

%   Number of inputs.
M = 6;
%   Number of hidden neurons.
K = 5;
%   Number of output neurons.
N = 1;
%   Momentum.
a = 0.01;
%   Learning Rate.
n = 0.1;
%   Epochs.
iter = 100;
%   Number of to be used in training phase.
P = 800;

%   Weights and bias initiation randomly.
W1 = rand(M,K);
W2 = rand(K,N);
b1 = rand(1,K);
b2 = rand(1,N);

%   Network training procedure.
tic
```

```
[sfalma W1 W2 b1 b2] = training( In, W1, W2, b1, b2, iter, n, a, M,
K, N, P );
toc

%   Performance plot.
figure, plot(sfalma)
title('Performance')
xlabel('Epochs');
ylabel('MSE');
box off

c = 1;
for p = 1:P+194
    X(1) = In(p);
    X(2) = In(p+1);
    X(3) = In(p+2);
    X(4) = In(p+3);
    X(5) = In(p+4);
    X(6) = In(p+5);

    [y o] = map(X, W1, W2, b1, b2, M, K, N);
    res(c) = o(1);
    c = c + 1;
end

figure,plot(In)
hold on
plot(res,'r')
title('Predicted Time Serie')
xlabel('Time')
ylabel('Quantity')
legend('Original Time Serie','Predicted Time Serie')
box off
```

Από την ανάλυση που προηγήθηκε συμπεραίνουμε ότι τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην περίπτωση της ζήτησης σε αεροπορικό υλικό. Πρόκειται για ένα εργαλείο το οποίο, όπως αποδεικνύεται, όσο περισσότερα είναι τα δεδομένα που έχει για να διαχειριστεί, τόσο καλύτερα αποτελέσματα παρέχει. Ακόμα και στην περίπτωση ακραίων συμπεριφορών, όπως αυτή που απεικονίζεται με την κατανομή Lorenz, το δίκτυο είναι ικανό να κάνει πρόβλεψη με το ελάχιστο δυνατό σφάλμα.

Το δίκτυο δίνει μία τιμή σαν αποτέλεσμα (output (o)) η οποία αποτελεί την επόμενη τιμή της ζήτησης για το συγκεκριμένο υλικό. Αντίστοιχες προσεγγίσεις ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας δίνουν την αποδοτικότερη λύση.

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>

5.1 <u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΕΡΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ</u>

Οι παρατηρήσεις οι οποίες εισάγονται για την εκπαίδευση του δικτύου με τη μορφή των χρονοσειρών αφορούν την κάθε ώρα πτήσης του αεροσκάφους. Η προσέγγιση αυτή έγινε προς διευκόλυνση της διεκπεραίωσης της έρευνας.

Όπως έχει προαναφερθεί και σε άλλες ενότητες, υπάρχουν υλικά των οποίων η ζήτηση δεν παρακολουθείται ανά ώρα πτήσης αλλά ανά κύκλους που έχει εκτελέσει το αεροσκάφος. Σε τέτοιες περιπτώσεις, για την εκπαίδευση του Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου εισάγονται δεδομένα ανά αριθμό προσγειώσεων αντίστοιχα, χωρίς αυτό να αποτελεί περιορισμό για τη λειτουργικότητα του δικτύου.

Επιπλέον, σε περιπτώσεις υλικών που η ζήτησή τους για μεγάλα διαστήματα είναι μηδενική, οι χρονοσειρές εισόδου προσαρμόζονται και πάλι ανάλογα. Οι παρατηρήσεις δεν καταγράφονται ανά ώρα πτήσης, αλλά για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (πχ ανά 50 ώρες πτήσης) - όσες κρίνεται ως λογικό κάθε φορά από το αρμόδιο στέλεχος. Εάν για ένα υλικό το οποίο παρουσιάζει μεγάλα διαστήματα μηδενικής ζήτησης δεν γίνει προσαρμογή ώστε να παρακολουθείται ανά μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα τότε η πρόβλεψη που θα δώσει το δίκτυο πιθανότατα θα είναι μηδενική, κάτι το οποίο δημιουργεί τεράστια προβλήματα. Το ίδιο ισχύει και για τα υλικά τα οποία παρακολουθούνται ανά αριθμό προσγειώσεων.

Σε αντίθεση με άλλες προσεγγίσεις, τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα δίνουν καλύτερα αποτελέσματα όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δεδομένων εισόδου με τα οποία αυτά εκπαιδεύονται. Όταν ο αριθμός των παρατηρήσεων από προηγούμενα έτη είναι μεγάλος είναι πολύ πιθανό να περιλαμβάνονται και ακραίες περιπτώσεις απωλειών. Το δίκτυο, όταν κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης λάβει ακραίες συμπεριφορές σαν δεδομένες, μπορεί να προβλέψει παρόμοιες στο μέλλον όταν ανάλογες συνθήκες παρουσιαστούν. Ακόμα όμως και αν δεν υπάρχουν ακραίες τιμές στο δείγμα εκπαίδευσης, η εισαγωγή τεχνητών ακραίων τιμών, έπειτα από συνεννόηση με τα αρμόδια στελέχη τα οποία κατέχουν την εμπειρία, συμβάλλει στην αποδοτικότητα του δικτύου.

Όταν το δίκτυο προβλέπει ακραία ή αυξημένη ζήτηση, τότε ο αερομεταφορέας έχει τη δυνατότητα να προετοιμαστεί. Είτε καταφεύγει σε παραγγελία, όταν πρόκειται για κάποιο αναλώσιμο ή κάποιο υλικό μικρού σχετικά κόστους κτήσης, είτε εξετάζει τις εναλλακτικές που υπάρχουν ώστε σε περίπτωση απώλειας να βρίσκεται σε ετοιμότητα.

Όλοι οι αερομεταφορείς υπογράφουν συμβάσεις με προμηθευτές τους – κυρίως προμηθευτές υλικών υψηλού κόστους κτήσης (rotable), έτσι ώστε σε περίπτωση προγραμματισμένης συντήρησης, αλλά και έκτακτης απώλειας, υλικού να υπάρχει διαθεσιμότητα. Για τις αεροπορικές εταιρείες υπάρχουν αρκετά υλικά τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των rotables. Μία λάθος κίνηση στη διαχείρισή τους, είναι δυνατόν να επιφέρει πολύ μεγάλο κόστος στην εταιρεία. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα συμβάλλουν στην αποδοτικότερη διαχείριση της αλυσίδας τροφοδοσίας ενός αερομεταφορέα.

5.2 ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Έπειτα από τη διεξαγωγή της παραπάνω έρευνας συμπεραίνουμε ότι τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην αποδοτικότερη διαχείριση του αεροπορικού υλικού. Παρακάτω παρατίθενται κάποια σημεία τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν τη βάση για περαιτέρω έρευνα, παρέχοντας τη δυνατότητα εξέλιξης της ευελιξίας των δικτύων αυτών.

Το πρόγραμμα συντήρησης είναι το βασικότερο εργαλείου που χρησιμοποιεί ο αερομεταφορέας για τη διαχείριση του αεροπορικού υλικού. Όλα τα υλικά τα οποία έχουν προκαθορισμένα, από τον κατασκευαστή τους, όρια συντήρησης παρακολουθούνται μέσω του λογισμικού του προγράμματος αυτού. Θα μπορούσε να γίνει μία σύνδεση των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της έρευνας αυτής, με το πρόγραμμα συντήρησης. Σύγκριση των προβλέψεων που προκύπτουν από το πρόγραμμα συντήρησης για τα υλικά η ζήτηση των οποίων είναι ελεγχόμενη- και των αποτελεσμάτων του τεχνητού νευρωνικού δικτύου θα παρείχε μία καλύτερη προσέγγιση της διαχείρισης της ζήτησής τους.

Το αεροπορικό υλικό χωρίζεται σε κατηγορίες όπως είναι τα ανακτήσιμα, μη ανακτήσιμα κλπ. Η διαχείρισή τους ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν μπορεί να διαφέρει. Συστήματα πρακτόρων θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στην αρχή του νευρωνικού δικτύου και να διαχωρίζουν τα δεδομένα σε κατηγορίες με βάση κάποιους παράγοντες οι οποίοι θα έχουν οριστεί εκ των προτέρων.

Ένα άλλο σημείο βελτίωσης των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων που παρουσιάστηκαν είναι η επέκτασή τους με τρόπο ώστε να μπορούν να εξάγουν στοιχεία και συμπεράσματα τα οποία να χρησιμεύουν στη σύνταξη της αναφοράς για την αξιοπλοΐα των αεροσκαφών και των παρελκομένων τους (reliability report), την οποία είναι υποχρεωμένος ο αερομεταφορέας να συντάσσει ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Η εφαρμογή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι δυνατόν να επεκταθεί προς διάφορες κατευθύνσεις. Σε κάθε περίπτωση η ύπαρξη του ανθρώπινου παράγοντα είναι υποχρεωτική.

<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: EASA και Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2042/2003</u>

<u>EASA</u>

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA) αποτελεί το επίκεντρο της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ασφάλεια της αεροπορίας. Στόχος του είναι η προώθηση των προτύπων ασφάλειας στον τομέα της πολιτικής αεροπορίας κατά το δυνατόν πιο αποτελεσματικά.

Η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, έχοντας ήδη ιδρύσει τον EASA σαν όργανο το οποίο έχει επικουρικό ρόλο προς αυτή, θεσπίζει τον κανονισμό 2042/2003. Ο κανονισμός αυτός προσδιορίζει τις κοινές τεχνικές απαιτήσεις και διοικητικές διαδικασίες που απαιτούνται ώστε να διασφαλιστεί η διαρκής αξιοπλοΐα των αεροσκαφών και συνεκδοχικά και των παρελκομένων αυτών. Αυτό σημαίνει ότι διαδραματίζει εξέχοντα ρόλο σε ότι αφορά τις διαδικασίες διαχείρισης του αεροπορικού υλικού, καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ασφάλεια των πτήσεων.

2. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA) διαχειρίζεται ένα από τα σπουδαιότερα ζητήματα που αφορούν την πολιτική αεροπορία, την ασφάλεια και την περιβαλλοντολογική προστασία στον τομέα των αερομεταφορών. Πρόκειται για έναν οργανισμό μέσω του οποίου η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει τα θεμέλια μίας κοινής στρατηγικής σε θέματα ασφάλειας σε ότι αφορά τις εναέριες μεταφορές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη θέσπιση κοινών κανόνων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι αρμόδιες αρχές κάθε κράτους δεν παύουν να εκτελούν την πλειοψηφία των επιχειρησιακών καθηκόντων, όπως την πιστοποίηση μεμονωμένων αεροσκαφών και τη χορήγηση αδειών άσκησης επαγγέλματος σε πιλότους. Ο EASA παρακολουθεί την πορεία της εφαρμογής των κανόνων που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω επιθεωρήσεων που διενεργεί στα κράτη μέλη.

<u>Απώτερος σκοπός</u> ενός οργανισμού όπως είναι ο EASA είναι μια ενιαία αγορά αερομεταφορών στον ευρωπαϊκό χώρο. Οι εναέριες μεταφορές έχουν καταστεί ως ο ασφαλέστερος τρόπος που μπορεί κανείς να ταξιδέψει. Λόγω της συνεχούς αύξησης της εναέριας κυκλοφορίας κρίνεται απαραίτητη η ανάληψη κοινής πρωτοβουλίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο, με σκοπό να διατηρηθούν οι εναέριες μεταφορές ασφαλείς και βιώσιμες. Για το λόγο αυτό, ο ρόλος του EASA έχει δυναμικό χαρακτήρα και οι αρμοδιότητές του συνεχώς διευρύνονται προκειμένου να ανταποκριθεί στις ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες που χαρακτηρίζουν τις εναέριες μεταφορές.

Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2042/2003

Εξαιτίας της σπουδαιότητας της ασφάλειας των πτήσεων υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι πρέπει να συνυπολογιστούν ώστε να επέλθει το βέλτιστο αποτέλεσμα, αναφορικά με την επίβλεψη της ροής των υλικών. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζονται στον ευρωπαϊκό χώρο κυρίως μέσω του Κανονισμού 2042/2003, στα σημαντικότερα σημεία του οποίου θα αναφερθούμε στην επόμενη παράγραφο.

Η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, έχοντας ήδη ιδρύσει τον EASA σαν όργανο το οποίο έχει επικουρικό ρόλο προς αυτή, θεσπίζει τον κανονισμό 2042/2003. Ο κανονισμός αυτός προσδιορίζει τις κοινές τεχνικές απαιτήσεις και διοικητικές διαδικασίες που απαιτούνται ώστε να διασφαλιστεί η διαρκής αξιοπλοΐα των αεροσκαφών και των παρελκομένων αυτών.

Ένα από τα σπουδαιότερα σημεία του κανονισμού που θα μας απασχολήσει στη συγκεκριμένη διατριβή είναι οι απαιτήσεις διαρκούς αξιοπλοΐας (Part M) και οι απαιτήσεις που πρέπει να πληροί ένας φορέας για να θεωρηθεί ως κατάλληλος για την έκδοση ή συνέχιση έγκρισης για τη συντήρηση των αεροσκαφών και των παρελκομένων αυτών (Part 145). Τόσο το Part M όσο και το Part 145 θέτουν τα θεμέλια στον τρόπο με τον οποίο οι αερομεταφορείς είναι υποχρεωμένοι να διαχειρίζονται ζητήματα όπως η διαχείριση των υλικών τους, τα οποία είναι εξέχουσας σημασίας για την διατήρηση της ασφάλειας των πτήσεων.

PART M

Το Part M αναφέρεται στην επιτήρηση και έκδοση πιστοποιητικών επιθεώρησης της αξιοπλοΐας, την επιτήρηση του φορέα συντήρησης, του φορέα διαχείρισης διαρκούς αξιοπλοΐας και την έγκριση του προγράμματος συντήρησης του αερομεταφορέα.

<u>Διαχείριση διαρκούς αξιοπλοΐας</u>

Για κάθε αεροσκάφος υπό διαχείριση διαρκούς αξιοπλοΐας ο εγκεκριμένος φορέας διαχείρισης της διαρκούς αξιοπλοΐας:

1. αναπτύσσει και διευθύνει πρόγραμμα συντήρησης για το διαχειριζόμενο αεροσκάφος, συμπεριλαμβανομένου κάθε σχετικού προγράμματος αξιοπλοΐας.
2. παρουσιάζει το πρόγραμμα συντήρησης του αεροσκάφους και τις τροποποιήσεις του στην αρμόδια αρχή προς έγκριση και δίνει αντίγραφο του προγράμματος στον ιδιοκτήτη του αεροσκάφους μη εμπορικής χρήσης.
3. διαχειρίζεται την έγκριση των μετατροπών και επισκευών.
4. διασφαλίζει ότι η συντήρηση του αεροσκάφους διενεργείται σύμφωνα με το εγκεκριμένο πρόγραμμα συντήρησης και ότι η διάθεσή του σε υπηρεσία γίνεται σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό.
5. διασφαλίζει ότι εφαρμόζονται όλες οι σχετικές οδηγίες αξιοπλοΐας και επιχειρησιακή εκμετάλλευσης που έχουν επίπτωση στη διαρκή αξιοπλοΐα.
6. διασφαλίζει ότι όλα τα ελαττώματα που ανακαλύπτονται κατά την προγραμματισμένη συντήρηση ή αναφέρονται στον φορέα αποκαθίστανται από κατάλληλα εγκεκριμένο φορέα συντήρησης.
7. διασφαλίζει ότι το αεροσκάφος οδηγείται σε κατάλληλα εγκεκριμένο φορέα συντήρησης, οποτεδήποτε είναι αναγκαίο.
8. συντονίζει την προγραμματισμένη συντήρηση, την εφαρμογή των οδηγιών αξιοπλοΐας, την αντικατάσταση των ανταλλακτικών με πεπερασμένη διάρκεια ζωής και την επιθεώρηση των παρελκομένων, ώστε να διασφαλίζει ότι οι εργασίες εκτελούνται με σωστό τρόπο.
9. διαχειρίζεται και αρχειοθετεί όλα τα αρχεία διαρκούς αξιοπλοΐας ή/και τα τεχνικά μητρώα του αερομεταφορέα.
10. διασφαλίζει ότι η δήλωση μάζας και ζυγοστάθμισης αντιστοιχεί στην τρέχουσα κατάσταση του αεροσκάφους.

Όσον αφορά την εμπορική αερομεταφορά, ο αερομεταφορέας που δεν είναι εγκεκριμένος σύμφωνα με το Part 145 προχωρεί στη σύναψη γραπτής σύμβασης συντήρησης μεταξύ του ιδίου και ενός εγκεκριμένου σύμφωνα με το part 145 φορέα ή άλλου αερομεταφορέα, στην οποία απαριθμούνται λεπτομερώς οι διαδικασίες που καθορίζονται στον κανονισμό. Διασφαλίζεται ότι όλες οι εργασίες συντήρησης εκτελούνται τελικά από φορέα συντήρησης εγκεκριμένο σύμφωνα με το part 145 και προσδιορίζεται η υποστήριξη των ενεργειών που στοχεύουν στην ποιότητα σύμφωνα με τον κανονισμό. Η βάση του αεροσκάφους, η προγραμματισμένη συντήρηση γραμμής και οι συμβάσεις συντήρησης των κινητήρων, καθώς και όλες οι τροποποιήσεις, πρέπει να εγκρίνονται από την αρμόδια αρχή. Στην περίπτωση:

1. αεροσκάφους που χρειάζεται μη προγραμματισμένη συντήρηση γραμμής, η σύμβαση μπορεί να έχει τη μορφή μεμονωμένων εντολών εργασίας προς τον κατά το part 145 φορέα συντήρησης,
2. συντήρησης παρελκομένου, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης κινητήρων, η σύμβαση που αναφέρεται παραπάνω μπορεί να έχει τη μορφή μεμονωμένων εντολών εργασίας προς τον κατά το part 145 φορέα συντήρησης.

<u>Πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία</u>

<u>Πιστοποιητικό διάθεσης του αεροσκάφους σε υπηρεσία</u>

Α)Εκτός από τις περιπτώσεις αεροσκαφών τα οποία διέθεσε σε υπηρεσία φορέας κατά το Part 145, το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία εκδίδεται σύμφωνα με το παρόν τμήμα.

Β)Το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία εκδίδεται πριν από την πτήση με την περάτωση οποιουδήποτε είδους συντήρησης. όταν κριθεί ότι όλες οι εργασίες συντήρησης έχουν εκτελεστεί κατάλληλα, εκδίδεται πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία:

1. από το κατάλληλο προσωπικό πιστοποίησης για λογαριασμό του εγκεκριμένου φορέα συντήρησης ή
2. από το προσωπικό πιστοποίησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του part 66, εκτός από κάποιες σύνθετες εργασίες ή

3. από τον χειριστή- ιδιοκτήτη , σύμφωνα με τον κανονισμό.

Γ) Στην περίπτωση διάθεσης σε υπηρεσία σύμφωνα με την παραπάνω περίπτωση όπου πιστοποιητικό διάθεσης εκδίδεται πριν από την πτήση μετά με την περάτωση οποιουδήποτε είδους συντήρησης. όταν κριθεί ότι όλες οι εργασίες συντήρησης έχουν εκτελεστεί κατάλληλα, το πιστοποιητικό πιστοποίησης μπορεί να βοηθήσει κατά την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης από ένα ή περισσότερα πρόσωπα που βρίσκονται κάτω από άμεσο και διαρκή έλεγχό του.

Δ) Το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία περιέχει βασικές λεπτομέρειες για τη συντήρηση που εκτελέστηκε, την ημερομηνία ολοκλήρωσης αυτής και

1. τα στοιχεία του εγκεκριμένου φορέα συντήρησης συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων αναφοράς της έγκρισής του, καθώς και του προσωπικού πιστοποίησης που εκδίδει αυτό το πιστοποιητικό ή
2. στην περίπτωση πιστοποιητικού διάθεσης σε το οποίο εκδίδεται πριν από την πτήση με την περάτωση οποιουδήποτε είδους συντήρησης. όταν κριθεί ότι όλες οι εργασίες συντήρησης έχουν εκτελεστεί κατάλληλα, τα στοιχεία και ενδεχομένως τον αριθμό της άδειας του προσωπικού πιστοποίησης που εκδίδει αυτό το πιστοποιητικό.

Ε) Με την επιφύλαξη των διατάξεων του στοιχείου Β) ανωτέρω, στην περίπτωση ανολοκλήρωτης συντήρησης, το γεγονός αυτό καταγράφεται στο πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία του αεροσκάφους, πριν από την έκδοση του εν λόγω πιστοποιητικού

ΣΤ) Το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία δεν εκδίδεται στην περίπτωση που είναι γνωστή οποιαδήποτε ένδειξη μη συμμόρφωσης η οποία θέτει σε σοβαρό κίνδυνο την ασφάλεια των πτήσεων.

<u>Πιστοποιητικό διάθεσης παρελκομένου σε υπηρεσία</u>

Α) Το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία εκδίδεται με την περάτωση οποιασδήποτε συντήρησης σε παρελκόμενο αεροσκάφος ενώ αυτό δεν έχει τοποθετηθεί ακόμα στο αεροσκάφος.

Β)Το επίσημο πιστοποιητικό διάθεσης που χαρακτηρίζεται ως Form 1 του EASA για τα κράτη μέλη αποτελεί το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία του παρελκομένου του αεροσκάφους.

Εξουσιοδότηση χειριστή – ιδιοκτήτη

Α) ο Χειριστής – ιδιοκτήτης είναι το πρόσωπο που κατέχει, μόνος του ή από κοινού με άλλους, το αεροσκάφος στο οποίο εκτελείται συντήρηση και διαθέτει άδεια χειριστή σε ισχύ με την κατάλληλη ικανότητα τύπου ή κατηγορίας.

Β) Για αεροσκάφος απλού σχεδιασμού με μέγιστη μάζα απογείωσης μικρότερη από 2.730 kg ανεμόπτερο και αερόστατο ο χειριστής-ιδιοκτήτης μπορεί να εκδώσει το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία μετά από περιορισμένη συντήρηση από τον ίδιο.

Γ) Η περιορισμένη συντήρηση από τον χειριστή-ιδιοκτήτη καθορίζεται στο πρόγραμμα συντήρησης αεροσκάφους.

Δ) Το πιστοποιητικό διάθεσης σε υπηρεσία πρέπει να καταχωρείται στα μητρώα και να περιλαμβάνει βασικές λεπτομέρειες της συντήρησης που εκτελέσθηκε, την ημερομηνία περάτωσης της συντήρησης αυτής, καθώς επίσης τα στοιχεία ταυτότητας και τον αριθμό άδειας του χειριστή- ιδιοκτήτη που εκδίδει το εν λόγω πιστοποιητικό.

Part 145

Εξοπλισμός, εργαλεία και υλικά

Α) Ο φορέας διαθέτει και χρησιμοποιεί τον απαραίτητο εξοπλισμό, εργαλεία και υλικά προκειμένου να εκτελεί το εύρος των εγκεκριμένων εργασιών.

1. όταν ο κατασκευαστής καθορίζει ένα συγκεκριμένο εργαλείο ή εξοπλισμό, ο φορέας χρησιμοποιεί αυτό το εργαλείο ή εξοπλισμό, εκτός εάν η χρήση εναλλακτικών εργαλείων ή εξοπλισμού συμφωνείται από την αρμόδια αρχή με διαδικασίες που καθορίζονται στο εγχειρίδιο λειτουργίας.

2. ο εξοπλισμός και τα εργαλεία πρέπει να είναι διαρκώς διαθέσιμα εκτός εάν κάποιο εργαλείο ή εξοπλισμός χρησιμοποιείται τόσο σπάνια ώστε μα μην είναι αναγκαίο να είναι συνεχώς διαθέσιμο. Οι περιπτώσεις αυτές περιγράφονται λεπτομερώς σε διαδικασία του εγχειριδίου λειτουργίας.
3. Φορέας που έλαβε έγκριση για συντήρηση βάσης πρέπει να έχει επαρκή εξοπλισμό πρόσβασης στα αεροσκάφη, καθώς και σκαλωσιές/ κλίμακες ώστε το αεροσκάφος να μπορεί να επιθεωρηθεί κατάλληλα.

Β) Ο φορέας εξασφαλίζει ότι όλα τα εργαλεία, ο εξοπλισμός και ιδιαίτερα ο εξοπλισμός δοκιμών, κατά περίπτωση, ελέγχονται και βαθμονομούνται σύμφωνα με επίσημα αναγνωρισμένο πρότυπο και με συχνότητα που εξασφαλίζει την ευχρηστία και την ακρίβεια. Τα μητρώα των βαθμονομήσεων αυτών και αναδρομή στο πρότυπο που χρησιμοποιείται φυλάσσονται από τον φορέα.

<u>Αποδοχή παρελκομένων</u>

Α) Όλα τα παρελκόμενα ταξινομούνται και διαχωρίζονται ανάλογα με την περίπτωση στις ακόλουθες **<u>κατηγορίες:</u>**

1. Παρελκόμενα τα οποία βρίσκονται σε ικανοποιητική κατάσταση, έχουν διατεθεί καταλλήλως σε υπηρεσία βάσει του εντύπου 1 του EASA ή ισοδύναμου εντύπου και έχουν σημανθεί σύμφωνα με τον κανονισμό.
2. Παρελκόμενα που έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας τα οποία πρέπει να συντηρούνται σύμφωνα με την παρούσα ενότητα.
3. Μη ανακτήσιμα παρελκόμενα τα οποία ταξινομούνται σύμφωνα με το 145.Α.42 δ.
4. Τυποποιημένα ανταλλακτικά που χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφος, κινητήρα, έλικα ή άλλο παρελκόμενο αεροσκάφους όταν αυτά καθορίζονται στον εικονογραφημένο κατάλογο ανταλλακτικών του κατασκευαστή ή/ και στα στοιχεία συντήρησης.
5. Υλικά ακατέργαστα και αναλώσιμα, που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της συντήρησης, εφόσον ο φορέας κρίνει ότι το υλικό πληροί τις αναγκαίες προδιαγραφές και υπάρχει κατάλληλη δυνατότητα εντοπισμού της

προέλευσής του. Όλα τα υλικά πρέπει να συνοδεύονται από έγγραφα τεκμηρίωσης που αναφέρονται με σαφήνεια στο συγκεκριμένο υλικό και περιέχουν δήλωση συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές καθώς και την προέλευση κατασκευής και τον προμηθευτή.

Β) πριν από την εγκατάσταση ενός παρελκομένου, ο φορέας διασφαλίζει ότι το συγκεκριμένο παρελκόμενο επιτρέπεται να τοποθετηθεί στην περίπτωση που μπορεί να ισχύουν διαφορετικά πρότυπα οδηγιών για τις μετατροπές ή / και την αξιοπλοΐα.

Γ) Ο φορέας μπορεί να κατασκευάσει περιορισμένο αριθμό ανταλλακτικών για χρήση κατά τις εργασίες στους χώρους του, με την προϋπόθεση ότι οι διαδικασίες προσδιορίζονται επακριβώς στο εγχειρίδιο λειτουργίας του.

Δ) για παρελκόμενα που έχουν φτάσει το πιστοποιημένο όριο ζωής τους ή περιέχουν μη επιδιορθώσιμη βλάβη ταξινομούνται ως μη ανακτήσιμα και δεν επιτρέπεται η εκ νέου εισαγωγή τους στο σύστημα προμηθειών παρελκομένων, εκτός εάν έχουν επεκταθεί τα πιστοποιημένα όρια ζωής ή έχει εγκριθεί σύμφωνα με το Part 22 μία λύση επισκευής.

Ο φορέας είναι υποχρεωμένος να διαθέτει σύστημα ανάλογο με το μέγεθος του αερομεταφορέα, μέσω του οποίου θα είναι σε θέση να προγραμματίζει την ποσότητα των υλικών, του εξοπλισμού και των εργαλείων τα οποία η εταιρεία θα πρέπει να έχει στη διάθεση της ώστε να είναι σε θέση να διατηρεί σε άριστο επίπεδο την ασφάλεια των πτήσεων.

FORM 1

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 2042/2003 για τη χρήση του FORM 1 ‘..πρωτότυπο πιστοποιητικό πρέπει να συνοδεύει τα αντικείμενα και πρέπει να γίνει συσχέτιση μεταξύ του πιστοποιητικού και των αντικειμένων. Αντίτυπο του πιστοποιητικού πρέπει να κρατείται από τον φορέα που κατασκεύασε ή συντήρησε το αντικείμενο. Πάνω στο έντυπο 1 του EASA αναγράφεται η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το υλικό, όπως φαίνεται παρακάτω:

- Υπέστη γενική επισκευή
- Επιθεωρήθηκε/ Υπέστη δοκιμή
- Μετασκευάστηκε
- Επισκευάστηκε
- Αναγομώθηκε
- Επανασυναρμολογήθηκε

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη του εντύπου από μόνη της δεν συνιστά εξουσιοδότηση για την τοποθέτηση του εξαρτήματος/ παρελκομένου/ συγκροτήματος.

Όταν ο χρήστης/ εγκαταστάτης εργάζεται σύμφωνα με εθνικούς κανονισμούς αρχής αξιοπλοΐας πρέπει να διασφαλίσει ότι η δική του αντίστοιχη αρχή δέχεται τα εξαρτήματα/ παρελκόμενα/ συγκροτήματα.

Σε όλες τις περιπτώσεις το αρχείο συντήρησης του αεροσκάφους πρέπει να περιέχει πιστοποίηση εγκατάσταση που εκδόθηκε σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς από τον χρήστη / εγκαταστάτη πριν επιτραπεί η πτήση του αεροσκάφους….’

<u>Πορίσματα</u>

Πόρισμα επιπέδου 1 είναι κάθε σημαντική έλλειψη συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Part M η οποία υποβαθμίζει το επίπεδο ασφάλειας και θέτει σε σοβαρό κίνδυνο την ασφάλεια των πτήσεων.

Πόρισμα επιπέδου 2 είναι κάθε έλλειψη συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Part M η οποία υποβαθμίζει το επίπεδο ασφάλειας και πιθανόν να θέσει σε κίνδυνο την ασφάλεια των πτήσεων.

Μετά την παραλαβή της κοινοποίησης των πορισμάτων, ο κάτοχος της έγκρισης φορέα συντήρησης καθορίζει ένα σχέδιο διορθωτικών ενεργειών και αποδεικνύει ότι έχει προβεί σε διορθωτικές ενέργειες στον απαιτούμενο από την αρμόδια αρχή βαθμό, εντός της περιόδου που έχει συμφωνηθεί με την εν λόγω αρχή.

Σε περίπτωση εντοπισμού ευρημάτων δίνεται στην εταιρεία ελάχιστο χρονικό διάστημα ώστε να γίνει αποκατάσταση. Ενδεχόμενη μη συμμόρφωση με τις οδηγίες και τους κανονισμούς είναι δυνατόν να κοστίσει ακόμα και τη στέρηση της άδειας εκμετάλλευσης του αερομεταφορέα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II - ATA Chapters

1100 PLACARDS AND MARKINGS
1210 FUEL SERVICING
1220 OIL SERVICING
1230 HYDRAULIC FLUID SERVICING
1240 COOLANT SERVICING
1800 HELICOPTER VIB/NOISE ANALYSIS
1810 HELICOPTER VIBRATION ANALYSIS
1820 HELICOPTER NOISE ANALYSIS
2100 AIR CONDITIONING SYTEM
2110 COMPRESSOR SYSTEM
2120 AIR DISTRIBUTION SYSTEM
2121 AIR DISTRIBUTION FAN
2130 PRESSURIZATION CONTROL SYSTEM
2131 PRESSURE CONTROLLER
2132 PRESSURE INDICATOR
2133 REGULATOR-OUTFLOW VALVE
2134 PRESSURE SENSOR
2140 HEATING SYSTEM
2150 COOLING SYS (AIR/VAPOR CYCLE)
2160 TEMPERATURE CONTROL SYSTEM
2161 TEMPERATURE CONTROLLER
2162 CABIN TEMPERATURE INDICATOR
2163 CABIN TEMPERATURE SENSOR
2170 HUMIDITY CONTROL SYSTEM
2200 AUTO FLIGHT SYSTEM
2210 AUTOPILOT SYSTEM
2211 AUTOPILOT COMPUTER
2212 ALTITUDE CONTROLLER
2213 FLIGHT CONTROLLER
2214 AUTOPILOT TRIM INDICATOR
2215 AUTOPILOT MAIN SERVO
2216 AUTOPILOT TRIM SERVO
2220 SPEED-ATTITUDE CORRECTION SYS
2230 AUTO THROTTLE SYSTEM
2250 AERODYNAMIC LOAD ALLEVIATING
2300 COMMUNICATIONS SYSTEM
2310 HF COMMUNICATION SYSTEM
2311 UHF COMMUNICATION SYSTEM
2312 VHF COMMUNICATION SYSTEM
2320 DATA TRANSMISSION AUTO CALL
2330 PA & ENTERTAINMENT SYSTEM
2340 INTERPHONE
2350 AUDIO INTEGRATING
2360 STATIC DISCHARGE SYSTEM
2370 AUDIO & VIDEO MONITORING
2400 ELECTRICAL POWER SYSTEM
2410 ALTERNATOR-GENERATOR DRIVE SYS
2420 AC GENERATION SYSTEM
2421 AC GENERATOR-ALTERNATOR
2422 AC INVERTER
2423 PHASE ADAPTER
2424 AC REGULATOR
2425 AC INDICATING SYSTEMS
2430 DC GENERATION SYSTEM
2431 BATTERY OVERHEAT WARNING SYS
2432 BATTERY/CHARGER
2433 DC RECTIFIER-CONVERTER
2434 DC GENERATOR-ALTERNATOR
2435 STARTER-GENERATOR
2436 DC REGULATOR
2437 DC INDICATING SYSTEM
2440 EXTERNAL POWER SYSTEM
2450 AC POWER DISTRIBUTION SYSTEM
2460 DC POWER DISTRIBUTION SYSTEM
2500 EQUIPMENT/FURNISHINGS
2510 FLIGHT COMPARTMENT EQUIPMENT
2520 PASSENGER COMPARTMENT EQUIP
2530 BUFFET/GALLEYS
2540 LAVATORIES
2550 CARGO COMPARTMENTS
2551 AGRICULTURAL/EXTERNAL LOAD SYS
2560 EMERGENCY EQUIPMENT
2561 LIFE JACKET
2562 EMERGENCY LOCATOR BEACON
2563 PARACHUTE
2564 LIFE RAFT
2565 ESCAPE SLIDE
2570 ACCESSORY COMPARTMENTS
2571 BATTERY BOX STRUCTURE
2572 ELECTRONIC SHELF SECTION
2600 FIRE PROTECTION SYSTEM
2610 DETECTION SYSTEM
2611 SMOKE, DETECTION
2612 FIRE, DETECTION
2613 OVERHEAT, DETECTION
2620 EXTINGUISHING SYSTEM
2621 FIRE BOTTLE, FIXED
2622 FIRE BOTTLE, PORTABLE
2700 FLIGHT CONTROL SYSTEM
2701 CONTROL COLUMN SECTION
2710 AILERON CONTROL SYSTEM
2711 AILERON TAB CONTROL SYSTEM
2720 RUDDER CONTROL SYSTEM
2721 RUDDER TAB CONTROL SYSTEM

2722 RUDDER ACTUATOR
2730 ELEVATOR CONTROL SYSTEM
2731 ELEVATOR TAB CONTROL SYSTEM
2740 STABILIZER CONTROL SYSTEM
2741 STABILIZER POSITION IND SYSTEM
2742 STABILIZER ACTUATOR
2750 TE FLAP CONTROL SYSTEM
2751 TE FLAP POSITION IND SYSTEM
2752 TE FLAP ACTUATOR
2760 DRAG CONTROL SYSTEM
2761 DRAG CONTROL ACTUATOR
2770 GUST LOCK-DAMPER SYSTEM
2780 LE FLAP CONTROL SYSTEM
2781 LE FLAP POSITION IND SYSTEM
2782 LE FLAP ACTUATOR

2800 FUEL SYSTEM

2810 FUEL STORAGE
2820 FUEL DISTRIBUTION
2821 FUEL FILTER-STRAINER
2822 FUEL PUMPS
2823 FUEL SELECTOR/SHUTOFF VALVE
2824 FUEL TRANSFER VALVE
2830 FUEL DUMP
2840 FUEL INDICATION SYSTEM
2841 FUEL QUANTITY INDICATOR
2842 FUEL QUANTITY SENSOR
2843 FUEL TEMPERATURE
2844 FUEL PRESSURE
2900 HYDRAULIC POWER SYSTEM
2910 HYDRAULIC, MAIN SYSTEM
2911 ACCUMULATOR, MAIN
2912 FILTER, MAIN
2913 PUMP, MAIN
2914 HANDPUMP, MAIN
2915 PRESSURE RELIEF, MAIN
2916 RESERVOIR, MAIN
2917 PRESSURE REGULATOR, MAIN
2920 HYDRAULIC, AUXILIARY SYSTEM
2921 ACCUMULATOR, AUXILIARY
2922 FILTER, AUXILIARY
2923 PUMP, AUXILIARY
2924 HANDPUMP, AUXILIARY
2925 PRESSURE RELIEF, AUXILIARY
2926 RESERVOIR, AUXILIARY
2927 PRESSURE REGULATOR, AUXILIARY
2930 HYDRAULIC, INDICATING SYSTEM
2931 PRESSURE INDICATOR
2932 PRESSURE SENSOR
2933 QUANTITY INDICATOR
2934 QUANTITY SENSOR

3000 ICE/RAIN PROTECTION SYSTEM

3010 AIRFOIL ANTI-ICE, DEICE
3020 INTAKE ANTI-ICE, DEICE
3030 PITOT/STATIC ANTI-ICE
3040 WINDOWS/WINDSHIELDS & DOORS
3050 ANTENNA/RADOME ANTI-ICE
3060 PROP/ROTOR ANTI-ICE, DEICE
3070 WATER LINE ANTI-ICE
3080 ICE DETECTION

3100 INDICATING/RECORDING SYSTEMS

3110 INSTRUMENT PANEL
3120 INDEP INSTRUMENT (CLOCK, ETC)
3130 DATA RECORDERS (FLIGHT/MAINT)
3140 CENTRAL COMPUTERS (e.g. EICAS)
3150 CENTRAL WARNING
3160 CENTRAL DISPLAY
3170 AUTOMATIC DATA

3200 LANDING GEAR SYSTEM

3201 LANDING GEAR/WHEEL FAIRING
3210 MAIN LANDING GEAR
3211 MAIN LANDING GEAR ATTACH SEC
3212 EMERGENCY FLOATATION SECTION
3213 MAIN GEAR STRUT/AXLE/TRUCK
3220 NOSE/TAIL LANDING GEAR
3221 NOSE/TAIL GEAR ATTACH SECTION
3222 NOSE/TAIL GEAR STRUT/AXLE
3230 GEAR EXTENSION AND RETRACT SYS
3231 LANDING GEAR DOOR RETRACT SEC
3232 LANDING GEAR DOOR ACTUATOR
3233 LANDING GEAR ACTUATOR
3234 LANDING GEAR SELECTOR
3240 LANDING GEAR BRAKES SYSTEM
3241 ANTI-SKID SECTION
3242 BRAKE
3243 MASTER CYLINDER/BRAKE VALVE
3244 TIRE CASING
3245 TUBE
3246 WHEEL/SKI/FLOAT
3250 LANDING GEAR STEERING SYSTEM
3251 STEERING UNIT
3252 SHIMMY DAMPER
3260 LG POSITION AND WARNING
3270 AUX GEAR (TAIL/ROTORCRFT SKID)

3300 LIGHTING SYSTEM

3310 FLIGHT COMPARTMENT LIGHTING
3320 PASSENGER COMPARTMENT LIGHTING
3330 CARGO COMPARTMENT LIGHTING
3400 EXTERIOR LIGHTING
3350 EMERGENCY LIGHTING

3400 NAVIGATION SYSTEM

3410 FLIGHT ENVIRONMENT DATA
3411 PITOT/STATIC SYSTEM
3412 AIR TEMPERATURE/THRUST LIMIT 152
3413 RATE OF CLIMB
3414 AIRSPEED/MACH INDICATING
3415 HIGH SPEED WARNING
3416 ALTIMETER, BAROMETRIC/ENCODER
3417 AIR DATA COMPUTER
3418 STALL WARNING SYSTEM
3420 ATTITUDE & DIRECTION
3421 ATTITUDE GYRO & INDICATION
3422 DIRECTIONAL GYRO & INDICATION
3423 MAGNETIC COMPASS
3424 TURN AND BANK/RATE OF TURN
3425 INTEGRATED FLIGHT DIRECTOR SYS
3430 LANDING AND TAXI AIDS
3431 LOCALIZER/VOR SYSTEM
3432 GLIDE SLOPE SYSTEM
3433 MICROWAVE LANDING SYSTEM
3434 MARKER BEACON SYSTEM
3435 HEADS UP DISPLAY SYSTEM
3436 WIND SHEAR DETECTION SYSTEM
3440 INDEP POSITION DETERMINING SYS
3441 INERTIAL GUIDANCE SYSTEM
3442 WEATHER RADAR SYSTEM
3443 DOPPLER SYSTEM
3444 GROUND PROXIMITY SYSTEM
3445 AIR COLLISION AVOIDANCE (TCAS)
3446 NON RADAR WEATHER SYSTEM
3450 DEPENDENT POSITION DETERMINING
3451 DME/TACAN SYSTEM
4523 ATC TRANSPONDER SYSTEM
3453 LORAN SYSTEM
3454 VOR SYSTEM
3455 ADF SYSTEM
3456 OMEGA NAVIGATION SYSTEM
3457 GLOBAL POSITIONING SYSTEM
3460 FLT MANAGEMENT COMPUTING SYS

3500 OXYGEN SYSTEM

3510 CREW OXYGEN SYSTEM
3520 PASSENGER OXYGEN SYSTEM
3530 PORTABLE OXYGEN SYSTEM

3600 PNEUMATIC SYSTEM

3610 PNEUMATIC DISTRIBUTION SYSTEM
3620 PNEUMATIC INDICATING SYSTEM

3700 VACUUM SYSTEM

3710 VACUUM DISTRIBUTION SYSTEM
3720 VACUUM INDICATING SYSTEM

3800 WATER AND WASTE SYSTEM

3810 POTABLE WATER SYSTEM
3820 WASH WATER SYSTEM
3830 WASTE DISPOSAL SYSTEM
3840 AIR SUPPLY (WATER PRESS SYS)

4500 CENTRAL MAINTENANCE COMPUTER

4900 AIRBORNE APU SYSTEM

4910 APU ASSEMBLY AND COWL
4920 APU CORE ENGINE
4930 APU ENGINE FUEL AND CONTROL
4940 APU START/IGNITION SYSTEM
4950 APU BLEED AIR SYSTEM
4960 APU CONTROLS
4970 APU INDICATING SYSTEM
4980 APU EXHAUST SYSTEM
4990 APU OIL SYSTEM

5100 STANDARD PRACTICES/STRUCTURES

5101 AIRCRAFT STRUCTURES
5102 BALLOON/DIRIGIBLE REPORTS

5200 DOORS

5210 PASSENGER/CREW DOORS
5220 EMERGENCY EXIT
5230 CARGO/BAGGAGE DOORS
5240 SERVICE DOORS
5241 GALLEY DOORS
5242 ELECT/ELECTRONIC COMP DOORS
5243 HYDRAULIC COMPARTMENT DOORS
5244 ACCESSORY COMPARTMENT DOORS
5245 AIR CONDITIONING COMP DOORS
5246 FLUID SERVICE DOORS
5247 AUXILIARY POWER UNIT DOOR
5248 TAIL CONE DOOR
5250 FIXED INNER DOORS
5260 ENTRANCE STAIRS
5270 DOOR WARNING
5280 LANDING GEAR DOORS

5300 FUSELAGE

5301 AERIAL TOW EQUIPMENT SECTION
5302 ROTORCRAFT TAIL BOOM
5310 FUSELAGE MAIN STRUCTURE
5311 FRAMES (MAIN FUSELAGE)
5312 BULKHEADS (MAIN FUSELAGE)
5313 LONGERONS/STRINGERS (MAIN FUS)
5314 KEELS (MAIN FUSELAGE)
5315 FLOOR BEAMS (MAIN FUSELAGE)
5320 FUSELAGE AUXILIARY STRUCTURE
5321 FLOOR PANELS (AUX FUSELAGE)
5322 INTERNAL MOUNT STRUC (AUX FUS)
5323 INTERNAL STAIRS (AUX FUS)
5324 FIXED PARTITIONS (AUX FUS)
5330 PLATES/SKINS (AUX FUSELAGE)

5340	FUSELAGE ATTACH FITTINGS SYS
5341	WING ATTACH FITTINGS (ON FUS)
5342	STAB ATTACH FITTINGS (ON FUS)
5343	GEAR ATTACH FITTINGS (ON FUS)
5344	DOOR HINGE (ON FUSELAGE)
5345	EQUIP ATTACH FITTINGS (ON FUS)
5346	ENGINE ATTACH FITTING (ON FUS)
5347	SEAT/CARGO ATTACH FITTING
5350	AERODYNAMIC FAIRINGS STRUCTURE
5400	**NACELLES/PYLONS STRUCTURE**
5410	MAIN FRAME (ON NACELLES/PYLON)
5411	FRAMES (ON NACELLES/PYLON)
5412	BULKHEAD/FIREWALLS (NAC/PYLON)
5413	LONGERON/STRINGERS (NAC/PYLON)
5414	PLATES/SKINS (NACELLE/PYLON)
5415	ATTACH FITTINGS (NAC/PYLON)
5500	**EMPENNAGE STRUCTURE**
5510	HORIZONTAL STABILIZER
5511	SPARS/RIBS (HORIZONTAL STAB)
5512	PLATES/SKINS (HORIZONTAL STAB)
5513	TAB STRUC (HORIZONTAL STAB)
5520	ELEVATORS
5521	SPARS/RIBS (ON ELEVATOR)
5522	PLATES/SKINS (ON ELEVATOR)
5523	TAB STRUCTURE (ON ELEVATOR)
5530	VERTICAL STABILIZER
5531	SPARS/RIBS (ON VERT STAB)
5532	PLATES/SKINS (ON VERT STAB)
5533	VENTRAL STRUC (ON VERT STAB)
5540	RUDDER
5541	SPARS/RIBS (ON RUDDER)
5542	PLATES/SKINS (ON RUDDER)
5543	TAB STRUCTURE (ON RUDDER)
5550	ATTACH FITTINGS (FLT CONTROLS)
5551	HORIZONTAL STAB ATTACH FITTING
5552	ELEVATOR/TAB ATTACH FITTING
5553	VERTICAL STAB ATTACH FITTING
5554	RUDDER/TAB ATTACH FITTING
5600	**WINDOWS-WINDSHIELD SYSTEM**
5610	FLIGHT COMPARTMENT WINDOWS
5620	PASSENGER COMPARTMENT WINDOWS
5630	DOOR WINDOWS
5640	INSPECTION WINDOWS
5700	**WING STRUCTURE**
5710	MAIN FRAME (ON WING)
5711	SPAR (ON WING)
5712	RIBS/BULKHEADS (ON WING)
5713	LONGERONS/STRINGERS (ON WING)
5714	CENTER WING BOX (ON WING)
5720	AUXILIARY STRUCTURE (ON WING)
5730	PLATES/SKINS (ON WING)
5740	ATTACH FITTINGS (ON WING)
5741	FUS (ATTACH FITTING ON WING)
5742	NAC/PYLON (FITTING ON WING)
5743	LANDING GEAR (FITTING ON WING)
5744	CONT SURFACE (FITTING ON WING)
5750	FLIGHT SURFACES (WING)
5751	AILERONS
5752	AILERON TABS
5753	TRAILING EDGE FLAPS
5754	LEADING EDGE DEVICES
5755	SPOILERS
6100	**PROPELLER SYSTEM**
6110	PROPELLER ASSEMBLY
6111	PROPELLER BLADE SECTION
6112	PROP DEICE BOOT SECTION
6113	PROP/SPINNER SECTION
6114	PROPELLER HUB SECTION
6120	PROPELLER CONTROLLING SYSTEM
6121	PROP SYNCHRONIZER SECTION
6122	PROPELLER GOVERNOR
6123	PROPELLER FEATHER/REVERSING
6130	PROPELLER BRAKING
6140	PROPELLER INDICATING SYSTEM
6200	**MAIN ROTOR SYSTEM**
6210	MAIN ROTOR BLADE SYSTEM
6220	MAIN ROTOR HEAD SYSTEM
6230	MAIN ROTOR MAST/SWASHPLATE
6240	MAIN ROTOR INDICATING SYSTEM
6300	**MAIN ROTOR DRIVE**
6310	ENGINE/TRANSMISSION COUPLING
6320	MAIN ROTOR GEARBOX
6321	MAIN ROTOR BRAKE
6322	ROTORCRAFT COOLING FAN SYSTEM
6330	MAIN ROTOR TRANS MOUNT
6340	ROTOR/DRIVE INDICATING SYSTEM
6400	**TAIL ROTOR**
6410	TAIL ROTOR BLADE
6420	TAIL ROTOR HEAD
6440	TAIL ROTOR INDICATING SYSTEM
6500	**TAIL ROTOR DRIVE SYSTEM**
6510	TAIL ROTOR DRIVE SHAFT
6520	TAIL ROTOR GEARBOX
6540	TAIL ROTOR DRIVE IND SYSTEM
6700	**ROTORCRAFT FLIGHT CONTROL**
6710	MAIN ROTOR CONTROL
6711	TILT ROTOR FLIGHT CONTROL
6720	TAIL ROTOR CONTROL SYSTEM
6730	ROTORCRAFT SERVO SYSTEM
7100	**POWER PLANT**
7110	ENGINE COWLING SYSTEM

7111	COWL FLAP SYSTEM (RECIP. ONLY)
7112	ENG AIR BAFFLE SEC (RECIP.)
7120	MOUNTS
7130	FIRESEALS
7160	AIR INTAKE
7170	ENGINE DRAINS
7200	**ENGINE (TURBINE/TURBOPROP)**
7210	REDUCTION GEAR AND SHAFT
7220	AIR INLET SECTION (CORE ENG)
7230	COMPRESSOR SECTION
7240	COMBUSTION SECTION
7250	TURBINE SECTION
7260	ACCESSORY DRIVES
7261	OIL SYSTEM
7270	BYPASS SECTION
7300	**ENGINE FUEL AND CONTROL**
7310	FUEL DISTRIBUTION
7311	FUEL OIL COOLER
7312	FUEL HEATER
7313	FUEL INJECTOR NOZZLE
7314	FUEL PUMP
7320	FUEL CONTROLLING SYSTEM
7321	FUEL CONTROL ELECTRONIC
7322	FUEL CONTROL/CARBURETOR
7323	TURBINE GOVERNOR
7324	FUEL DIVIDER
7330	FUEL INDICATING SYSTEM
7331	FUEL FLOW INDICATING
7332	FUEL PRESSURE INDICATING
7333	FUEL FLOW SENSOR
7334	FUEL PRESS SENSOR
7400	**IGNITION SYSTEM**
7410	IGNITION POWER SUPPLY
7411	LOW TENSION COIL
7412	EXCITER
7413	INDUCTION VIBRATOR
7414	MAGNETO/DISTRIBUTOR
7420	DIST (IGNITION HARNESS)
7421	SPARK PLUGS/IGNITERS
7430	SWITCHING
7500	**ENGINE BLEED AIR SYSTEM**
7510	ENGINE ANTI-ICING SYSTEM
7520	ENGINE COOLING SYSTEM
7530	COMPRESSOR BLEED CONTROL
7531	COMPRESSOR BLEED GOVERNOR
7532	COMPRESSOR BLEED VALVE
7540	INDICATING SYSTEM
7600	**ENGINE CONTROLS**
7601	ENGINE SYNCHRONIZING
7602	MIXTURE CONTROL
7603	POWER LEVER
7620	EMERGENCY SHUTDOWN SYSTEM
7700	**ENGINE INDICATING SYSTEM**
7710	POWER INDICATING SYSTEM
7711	ENGINE PRESSURE RATIO (EPR)
7712	BMEP/TORQUE
7713	MANIFOLD PRESSURE (MP)
7714	RPM
7720	TEMPERATURE INDICATING SYSTEM
7721	CYLINDER HEAD TEMP (CHT)
7722	EGT/TIT
7730	ANALYZERS
7731	IGNITION ANALYZER
7732	VIBRATION ANALYZER
7740	INTEGRATED ENGINE INST SYSTEM
7800	**ENGINE EXHAUST**
7810	COLLECTOR/NOZZLE
7820	NOISE SUPPRESSOR
7830	THRUST REVERSER
7900	**ENG OIL SYS (AIRFRAME FURNISH)**
7910	OIL STORAGE (AIRFRAME FURNISH)
7920	ENG OIL DIST (AIRFRAME FURN)
7921	COOLER
7922	TEMPERATURE REGULATOR
7923	OFF VALVE
7930	ENGINE OIL INDICATING SYSTEM
7931	PRESSURE
7932	QUANTITY
7933	TEMPERATURE
8000	**ENGINE STARTING**
8010	CRANKING
8011	STARTER
8012	VALVES/CONTROLS
8100	**TURBINE SYSTEM (RECIP. ONLY)**
8110	POWER RECOVERY TURBINE
8120	TURBO/SUPERCHARGER
8200	**WATER INJECTION**
8300	**ACCESSORY GEAR-BOXES**
8500	**ENGINE (RECIPROCATING)**
8510	ENGINE FRONT SECTION
8520	ENGINE POWER SECTION
8530	ENGINE CYLINDER SECTION
8540	ENGINE REAR SECTION
8550	ENGINE OIL SYSTEM

<u>**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**</u>

1. Douglas M. Lambert, James R. Stock and Lisa M. Ellram (1998), *Fundamentals of Logistics Management,* Mc Graw-Hill International Editions.
2. Adel A. Ghobbar, Chris H. Friend (2003), *Evaluation of Forecasting Methods for Intermittent Parts Demand in the Field of Aviation: A Predictive Model,* Pergamon, Computer & Operations Research 30 (2003) 2097-2114, City University London School of Engineering.
3. Adel A. Ghobbar, Chris H. Friend (2002), *Sourses Of Intermittent Demand For Aircraft Spare Parts Within Airline Operations,* Pergamon, Journal of Air Transport Management 8 (2002) 221-231, Department of Aeronautical, Cinil and Mechanical Engineering, London.
4. A. Regattieri, M. Gamberi, R. Gamberini, R. Manzini (2005), *Managing Lumpy Demand for Aircraft Spare Parts,* Jourmal of Air Transport Management 11 (2005) 426-431, Department ofr Industrial and Mechanical Plants, Faculty of Engineering, Balogna University, Italy.
5. C.S. Chang, L.P. Chan and Y.Y. Seow (2008), *Optimisation Of Rotables Inventory In Maintenance, Repair And Overhaul (MRO) Based On Required Confidence Level,* SIMTech Technical Reports (STR_V9_N2_10 POM), Volume 9, Number 2 (April- June 2008).
6. Aswk A, Ghobbar, Chris H. Friend (2004), *The Material Requirements Planning System for Aircraft Maintenance and Inventory Control: A Note,* Journal of Air Transoprt Management 10 (2004), 217- 221, School of Engineering and Mathematical Sciences, City University London.
7. Michael MacDonnell (1) and Benjamin Clegg (2), *Management of Rotable Aircraft Spares Inventory: Development of a New Solution,* University College Dublin, Ireland, Aston University, England.
8. European Commission, *Regulation 2042/2003 Of 20 November 2003 on The Continuing Airworthiness of Aircraft And Aeronautical products, Parts And Appliances And On The Approval Of Organizations And Personnel Involved In These Tasks,* European Aviation Safety Association.
9. R. Rojas (1996), *Neural Networks,* Springer-Verlag, Berlin.

10. Robert Callan (1999), *The Essence of Neural Networks*, Pearson Education, Prentice Hall, Southampton Institute.
11. John Hertz, Anders Krogh, Richard G. Palmer (1991), *Introduction to The Theory of Neural Computation*, Lecture Notes Volume I, Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Addison –Wesley Publishing Company.
12. www.sciencedirect.com- Τελευταία επίσκεψη 17/8/2010.
13. www.easa.europa.eu – Τελευταία επίσκεψη 23/5/2010.
14. Συνέντευξη από Κυβερνήτη Μιλτιάδη Τσαγκαράκη, Πρόεδρο και Διευθύνοντα Σύμβουλο Αεροπορικής Εταιρείας, 9/3/2010.
15. Συνέντευξη από κ Γ. Μαυραντωνάκη, Τεχνικό Διευθυντή και Αντιπρόεδρο Δ.Σ. Αεροπορικής Εταιρείας, 30/6/2010.