

Π.Μ.Σ. Εφαρμοσμένης Οικονομικής

Τμήμα Οικονομικών Επιστημών

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Διπλωματική Εργασία

**Προγράμματα ανταλλαγής πληροφόρησης σε εφοδιαστικές
αλυσίδες με μη στάσιμη ζήτηση**

Αλέξανδρος Θ. Τσιούνης

Επιβλέπων Καθηγητής : **Κεβόρκ Ηλίας**

Βόλος , Ιούνιος 2025

Υπεύθυνη δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στη διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Τέλος, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος Μεταπτυχιακών σπουδών Εφαρμοσμένης Οικονομικής του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Βόλος, Ιούνιος 2025.

Τσιούνης Αλέξανδρος

Βόλος, Ιούνιος 2025

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου , καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Ηλία Κεβόρκ. Η συμβολή του, μέσα από τις πολύτιμες γνώσεις και την αμέριστη υποστήριξή του, υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη στην σύντροφο μου και στην οικογένεια μου, διότι πάντα με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα, σε κάθε μου όνειρο. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία που εργάζομαι SOVEL A.E η οποία ανέλαβε την χρηματοδότηση του μεταπτυχιακού μου υποστηρίζοντας την προσπάθεια μου για επιμόρφωση και εξέλιξη.

Στην μνήμη των αγαπημένων της οικογένειας μου , Γιασεμή και Γιάννη

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract	8
Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 1ο	11
1.1 Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας	11
1.1.1 Η Έννοια της Εφοδιαστικής Αλυσίδας.....	11
1.1.2 Βασικές λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας.....	12
1.1.3 Εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων & πολιτική order up to level.....	13
1.2 Σημασία της πληροφόρησης και ανταλλαγής πληροφοριών στην εφοδιαστική αλυσίδα	14
1.2.1 Μη στάσιμη Ζήτηση και μοντέλα πρόβλεψης.....	14
1.2.2 Το φαινόμενο Bullwhip: αίτια, επιπτώσεις και τρόποι αντιμετώπισης	15
1.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανταλλαγή πληροφόρησης στην Εφοδιαστική αλυσίδα	18
1.2.4 Σενάρια μη ανταλλαγής (NIS) και πλήρης ανταλλαγής (FIS) στην εφοδιαστική αλυσίδα	19
1.3 Τεχνολογίες και προγράμματα ανταλλαγής πληροφοριών.....	20
1.4 Τεχνητή νοημοσύνη στην ανταλλαγή πληροφόρησης	22
Κεφάλαιο 2ο	24
2.1 Ανασκόπηση Στατιστικές Μέθοδοι προβλέψεων.....	24
2.2 Πολιτική Order-Up-To (OUT) και Bullwhip Effect σε μη Στάσιμη ζήτηση	27
2.3 Συσχέτιση ακρίβειας και χρηστικότητας πρόβλεψης	28
2.4 Ανταλλαγή πληροφοριών ζήτησης-πρόβλεψης στην εφοδιαστική αλυσίδα	29
Κεφάλαιο 3ο	34

3.1 Πρόβλεψη της ζήτησης στην εφοδιαστική αλυσίδα	34
3.2 Δομή σε εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων	34
3.3 Πολιτική στοχευμένου επιπέδου αποθέματος: Order-Up-To (OUT).....	35
3.4 Μαθηματικό μοντέλο της ζήτησης και διαχείριση του αποθέματος	36
3.5 Πολιτική παραγγελιών του Προμηθευτή	39
3.5.1 Το σενάριο της μη ανταλλαγής πληροφορήσης (NIS).....	39
3.5.2 Το σενάριο της πλήρους ανταλλαγής πληροφορήσης (FIS).....	44
3.6 Αναμενόμενο επίπεδο διαθεσίμου αποθέματος	45
3.6.1 Αναμενόμενο επίπεδο διαθεσίμου αποθέματος για το σενάριο NIS	45
3.6.2 Αναμενόμενο επίπεδο διαθεσίμου αποθέματος για το σενάριο FIS.....	46
Κεφάλαιο 4ο	48
4.1 Ανάλυση δεδομένων ζήτησης και χρονοδιάγραμμα προβλέψεων και έλεγχος στασιμότητας	48
4.1.1 Ανάλυση δεδομένων ζήτησης και χρονοδιάγραμμα.....	48
4.1.2 Έλεγχος στασιμότητας με τη μέθοδο Augmented Dickey-Fuller (ADF)	52
4.2 Περιγραφή της εκτιμητικής διαδικασίας στο enviews και έλεγχοι ασφαλείας.....	55
4.2.1 Εισαγωγή των δεδομένων στο enviews.....	55
4.2.2 Λειτουργία του Automatic ARIMA Forecasting	56
4.2.3 Έλεγχος ετεροσκεδαστικότητας.....	57
4.2.4 Έλεγχος κανονικότητας για τις σειρές SER01-SER05	58
4.2.5 Έλεγχος αυτοσυσχέτισης καταλοίπων για τις σειρές SER01-SER05	60
Κεφάλαιο 5ο	64
5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων της εκτίμησης του enviews.....	64
5.1.1 Υπολογισμοί όρων θ , α , σ_ε^2	64
5.1.2 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER01	65
5.1.3 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER02	67
5.1.4 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER03	69

5.1.5 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER04	71
5.1.6 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER05	73
5.2 Αναμενόμενη αξία επιπέδου αποθέματος προμηθευτή	75
5.2.1 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS - SER01	76
5.2.2 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS - SER02	78
5.2.3 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS - SER03	80
5.2.4 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS - SER04	82
5.2.5 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS - SER05	84
Κεφάλαιο 6ο	87
6.1 Συμπεράσματα	87
Βιβλιογραφία	89
Παράρτημα	94

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται μελέτη σε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων (Λιανοπωλητής , Προμηθευτής). Διατυπώνονται οι υποθέσεις πως η ζήτηση του λιανοπωλητή περιγράφεται από υπόδειγμα Arima (0,1,1) και η πολιτική αναπλήρωσης είναι η Order up to level (OUT). Στόχος της εργασίας είναι να εξετάσει τα οφέλη που προκύπτουν από την ανταλλαγή πληροφορήσης μεταξύ των σταδίων της αλυσίδας. Σε πρώτο επίπεδο γίνεται μαθηματική ανάλυση και διαχείριση προβλέψεων ζήτησης και αποθέματος. Εξετάζεται η διακύμανση της ζήτησης και το αναμενόμενο επίπεδο αποθέματος με δύο σενάρια : μη ανταλλαγής πληροφορήσης (No Information Sharing-NIS) και πλήρης ανταλλαγής πληροφορήσης (Full Information Sharing-FIS). Στην συνέχεια γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας σε EViews με δεδομένα ζήτησης προϊόντων λιανικής. Μέσω της αυτόματης διαδικασίας επιλογής μοντέλου Arima εκτιμάται ως βέλτιστο το μοντέλο Arima (0,1,1). Γίνονται υπολογισμοί της διακύμανσης του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης και του αναμενόμενου επιπέδου αποθέματος για τα δυο σενάρια. Η ανάλυση καταδεικνύει πως η στρατηγική FIS μειώνει σημαντικά την διακύμανση και το επίπεδο του αποθέματος ειδικά όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης (L) ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Λέξεις κλειδιά : Μη ανταλλαγή πληροφορήσης, Πλήρης ανταλλαγή πληροφορήσης, , Μη στάσιμη ζήτηση, πολιτική Order up to level (OUT) , Arima (0,1,1).

Abstract

In this paper, a two-stage supply chain (Retailer , Supplier) is studied. The assumptions are made that the retailer's demand is described by Arima model (0,1,1) and the replenishment policy is Order up to level (OUT). The objective of the paper is to examine the benefits of information sharing between the stages of the chain. At the first level, a mathematical analysis and management of demand and stock forecasts is performed. Demand variation and expected inventory level are considered with two scenarios : No Information Sharing-NIS and Full Information Sharing-FIS. Then simulation is performed on EViews with retail product demand data. Through the automatic Arima model selection procedure, the Arima model (0,1,1) is estimated as optimal. Calculations of the variance of the sum of the forecast errors and the expected stock level for the two scenarios are made. The analysis demonstrates that the FIS strategy significantly reduces the variance and inventory level especially as the delivery time L increases enhancing the efficiency in supply chain management.

Keywords : Non information Sharing, Full information sharing, Non-stationary demand, Order up to level (OUT) policy, Arima (0,1,1).

Εισαγωγή

Η παγκοσμιοποίηση , η συνεχής τεχνολογική πρόοδος, η διαρκής αντιπαράθεση μεταξύ των εταιρειών για την απόκτηση όλο και μεγαλύτερου μεριδίου της αγοράς, η αύξηση των απαιτήσεων των καταναλωτών, έχουν δημιουργήσει ένα ιδιαίτερα δυναμικό και σύνθετο παγκόσμιο περιβάλλον. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των αγορών έχει αναδείξει την έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας σε στρατηγικής σημασίας για τον σχεδιασμό και ανάπτυξη μιας σύγχρονης επιχείρησης. Οι σημαντικές αλλαγές στο παγκόσμιο περιβάλλον όπως η πανδημία , η αύξηση του ενεργειακού κόστους, ο εμπορικός πόλεμος με την επιβολή δασμών μεταξύ των εθνών αλλά και οι γεωπολιτικές εντάσεις και πολεμικές συγκρούσεις , με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον πόλεμο στην Ουκρανία διαταράσσουν την ροή πρώτων υλών, εμπορευμάτων και προϊόντων αυξάνοντας την αβεβαιότητα στο διεθνές εμπόριο. Η προσαρμοστικότητα και η ευελιξία των επιχειρήσεων στις αλλαγές είναι κρίσιμης σημασίας για την άμεση ανταπόκριση στις ανάγκες των καταναλωτών, για την διαχείριση των κινδύνων, ακόμη και για την ίδια την βιωσιμότητα των επιχειρήσεων και την ενίσχυση της θέσης τους σε αυτό το τόσο ανταγωνιστικό τοπίο.

Καλούνται λοιπόν οι επιχειρήσεις να αναπτύξουν στρατηγικές για την βελτίωση της λειτουργίας και της απόδοσης τους. Στην διεθνή επιστημονική έρευνα, η συνεργασία μεταξύ των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας και η ανταλλαγή πληροφορήσης έχει απασχολήσει αρκετά ως μέσο βελτίωσης της αποτελεσματικότητας της αλυσίδας. Η κοινοποίηση των πληροφοριών ζήτησης από το κατώτερο στάδιο στο ανώτερο οδηγεί σε μείωση της διακύμανσης των παραγγελιών και σε μείωση του κόστους του αποθέματος. Η συνεργασία μεταξύ των μελών της αλυσίδας απαιτεί εμπιστοσύνη , αλλαγή κουλτούρας και ανάπτυξη προγραμμάτων ανταλλαγής πληροφορήσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει πως τα προγράμματα ανταλλαγής πληροφορήσης μπορούν να βελτιώσουν την λειτουργία εφοδιαστικών αλυσίδων με μη στάσιμη ζήτηση, εστιάζοντας σε ένα σύστημα δύο σταδίων (Λιανοπωλητής, Προμηθευτής). Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, το φαινόμενο του μαστιγίου (bullwhip effect) και η αβεβαιότητα που φέρνει η μη στάσιμη ζήτηση. Αναδεικνύεται πως η κοινοποίηση πληροφοριών αποτελεί κλειδί για ακριβείς προβλέψεις και την μείωση του κόστους. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση βιβλιογραφίας στις μεθόδους προβλέψεων και στις πολιτικές αποθεμάτων , εστιάζοντας στην πολιτική του στοχευμένου επιπέδου αποθέματος

order-up to level(OUT Level). Υπογραμμίζεται πως η ακρίβεια πρόβλεψης και η πολιτική αναπλήρωσης πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ενιαίο σύστημα. Έμφαση δίνεται στα ευρήματα που δείχνουν πως η κοινοποίηση προβλέψεων περιορίζει την διακύμανση παραγγελιών σε αλυσίδες με ζήτηση ARIMA (0,1,1). Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η απαιτούμενη μαθηματική ανάλυση σύμφωνα με την οποία ο λιανοπωλητής εφαρμόζει πολιτική αναπλήρωσης OUT, εξετάζονται δύο σενάρια. Το πρώτο αφορά το σενάριο του No information sharing- (NIS) και το δεύτερο διερευνά την περίπτωση του Full information sharing – (FIS). Αποδεικνύεται πως η πρόσβαση του προμηθευτή στα δεδομένα ζήτησης μειώνει τη διακύμανση των σφαλμάτων πρόβλεψης και το απαιτούμενο επίπεδο αποθέματος ασφαλείας. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η αντίστοιχη αριθμητική ανάλυση με την χρήση του EViews. Χρησιμοποιούνται δεδομένα πωλήσεων 100 εβδομάδων για πέντε προϊόντα λιανικής. Η αυτόματη διαδικασία AUTOMATIC FORECASTING ARIMA καταλήγει στο υπόδειγμα ARIMA (0,1,1) για όλες τις σειρές και αυτό πιστοποιείται επίσης μέσω ελέγχων στασιμότητας, αυτοσυσχέτισης ,ετεροσκεδαστικότητας (ARCH) και κανονικότητας σφαλμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης η διακύμανση των σφαλμάτων πρόβλεψης και το αναμενόμενο απόθεμα αυξάνονται και στα δύο σενάρια. Στο σενάριο FIS ο ρυθμός αύξησης είναι σαφώς ηπιότερος. Συνολικά η εργασία τεκμηριώνει πως η υλοποίηση προγραμμάτων ανταλλαγής πληροφορήσης προβλέψεων μεταξύ λιανοπωλητή και προμηθευτή μειώνει το bullwhip effect και το κόστος των αποθεμάτων.

Κεφάλαιο 1ο

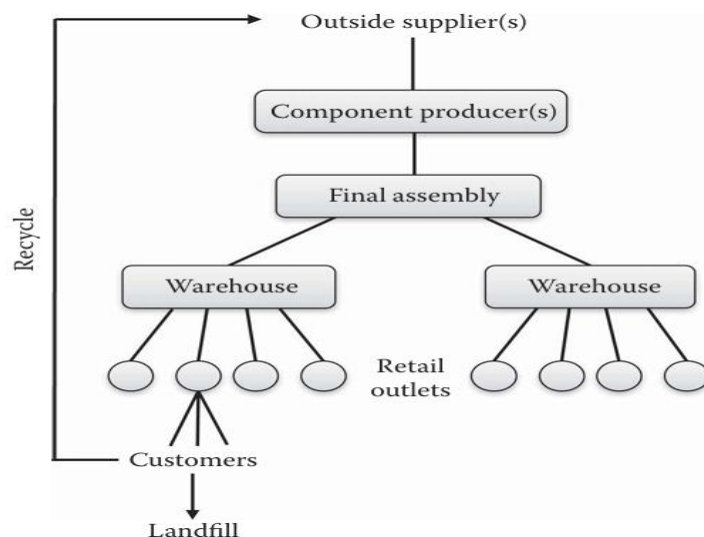
1.1 Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας

1.1.1 Η έννοια της Εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα συνιστά καθοριστικό θεμέλιο της σύγχρονης επιχειρησιακής δραστηριότητας, επηρεάζοντας καίρια την ανταγωνιστικότητα και τη βιωσιμότητα κάθε οργανισμού. Η έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει προσεγγιστεί από διάφορους μελετητές, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετοί ορισμοί. Ένας αντιπροσωπευτικός ορισμός δίνεται από τους Chopra και Meindl: «Μια εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από όλα τα μέρη που εμπλέκονται, άμεσα ή έμμεσα, στην ικανοποίηση μιας ανάγκης του πελάτη. Η εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει όχι μόνο τον κατασκευαστή και τους προμηθευτές, αλλά και μεταφορείς, αποθήκες, λιανοπωλητές και ακόμη και τους ίδιους τους πελάτες». Είναι ένα ενιαίο σύστημα που διαχειρίζεται την ροή προϊόντων, υπηρεσιών, πληροφοριών και πόρων από τον προμηθευτή των πρώτων υλών μέχρι τον τελικό καταναλωτή.

Εικόνα 1.1 Σχηματική δομή αλυσίδας

Πηγή εικόνας: Silver, E.A., Pyke, D.F., & Thomas, D.J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply chains* (4η έκδ., σελ. 123). CRC Press.



Στο σύγχρονο δυναμικό και ιδιαίτερα απαιτητικό επιχειρηματικό περιβάλλον, η επιτυχία και η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των επιχειρήσεων εξαρτώνται ολοένα και περισσότερο από την αποτελεσματικότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων. Πιο συγκεκριμένα σημαντικοί παράγοντες επιτυχίας είναι η ενίσχυση της συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων φορέων στην εφοδιαστική αλυσίδα, η αποτελεσματική πρόβλεψη των αναγκών της αγοράς, η διατήρηση βέλτιστων επιπέδων αποθέματος και η αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών και εργαλείων, όπως συστήματα διαχείρισης πόρων (ERP), τεχνολογίες παρακολούθησης και αλγόριθμοι προηγμένης πρόβλεψης και βελτιστοποίησης.

1.1.2 Βασικές λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας

Οι βασικές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι :

- Προμήθειες. Αναφέρεται σε εξασφάλιση πρώτων υλών ,εξαρτημάτων και υπηρεσιών. Περιλαμβάνει τη επιλογή προμηθευτών-συνεργατών και το χτίσιμο μακροχρόνιων σχέσεων εμπιστοσύνης και συνεργασίας
- Παραγωγή. Η παραγωγική διαδικασία μετατρέπει τις εισροές πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα. Πολύ σημαντική λειτουργία για την κάλυψη των αναγκών της αγοράς. Περιλαμβάνει τον προγραμματισμό παραγωγής, τον έλεγχο ποιότητας και την βελτιστοποίηση κόστους
- Διαχείριση αποθεμάτων. Η λειτουργία αυτή εστιάζει στην σωστή διαχείριση των αποθεμάτων ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ κόστους αποθήκευσης και διαθεσιμότητας προϊόντων για την εξυπηρέτηση των αναγκών των πελατών
- Διανομή και μεταφορές. Αφορά την μεταφορά και διανομή των προϊόντων από την παραγωγή στην κατανάλωση. Είναι σημαντική για την αξιοπιστία της επιχείρησης ως προς τους χρόνους παράδοσης και για την μείωση του κόστους
- Διαχείριση πελατειακών σχέσεων (Customer Relationship Management). Εστιάζει στην κατανόηση και εξυπηρέτηση των αναγκών του πελάτη.
- Διαχείριση πληροφοριών . Αφορά τη ροή της πληροφορίας που υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και ενισχύει την συνεργασία μεταξύ των μερών της εφοδιαστικής αλυσίδας

1.1.3 Εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων & πολιτική order up to level

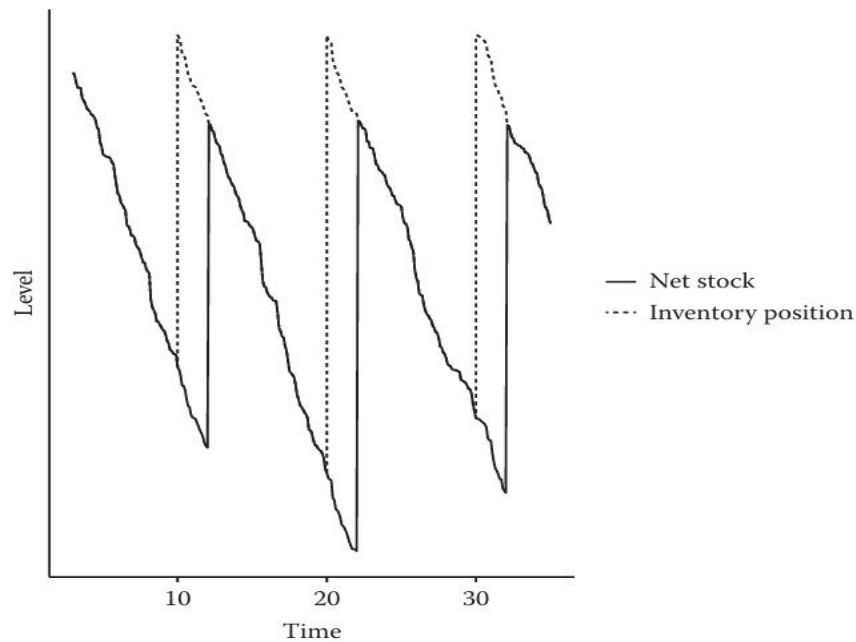
Μία εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων περιλαμβάνει τον προμηθευτή και τον λιανοπωλητή. Ο προμηθευτής αποτελεί το ανώτερο επίπεδο (upstream) ενώ ο λιανοπωλητής το κατώτερο επίπεδο (downstream). Παρά το γεγονός ότι οι πραγματικές αλυσίδες εμπλέκουν συχνά περισσότερα ενδιάμεσα στάδια, αυτό το απλό σύστημα δύο βαθμίδων προσφέρει ένα μινιμαλιστικό αλλά επαρκές πλαίσιο για τη μελέτη κομβικών ζητημάτων, όπως ο ανταγωνισμός, ο συντονισμός και οι πολιτικές ελέγχου αποθέματος. Η απλότητα του μοντέλου διευκολύνει τον αναλυτικό χειρισμό, επιτρέπει τη διατύπωση ακριβών μαθηματικών αποτελεσμάτων και λειτουργεί ως αφετηρία για την επέκταση σε πιο σύνθετα δίκτυα. Για τον λόγο αυτόν υιοθετείται εκτενώς στη διεθνή βιβλιογραφία ως «πρότυπο» αναφοράς, τόσο για τη δοκιμή εναλλακτικών στρατηγικών όσο και για τη διερεύνηση μηχανισμών συνεργασίας μέσω ανταλλαγής πληροφορήσης μεταξύ προμηθευτή και λιανοπωλητή (Yang & Zhou, 2006).

Στη διαχείριση αποθεμάτων, μία από τις πλέον καθιερωμένες πολιτικές αναπλήρωσης είναι η πολιτική Order-up-to level, η οποία αποδίδεται συχνά ως (R, S). Σύμφωνα με αυτήν, σε προκαθορισμένα χρονικά σημεία ελέγχου R διενεργείται απογραφή του διαθέσιμου αποθέματος. Εάν το τρέχον επίπεδο υπολείπεται του ορίου S, υποβάλλεται παραγγελία που το επαναφέρει ακριβώς στο S (Silver et al., 2017).

Εφαρμοζόμενη σε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων, η πολιτική αυτή επιβάλλει στον λιανοπωλητή περιοδική αξιολόγηση της ζήτησης και των αποθεμάτων του. Καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου, η ζήτηση μειώνει σταδιακά το διαθέσιμο απόθεμα· με τη λήξη της, ο λιανοπωλητής διαμορφώνει την ποσότητα παραγγελίας έτσι ώστε, σε συνδυασμό με το υπόλοιπο απόθεμα, να επιτευχθεί το επιθυμητό όριο S. Κατά συνέπεια, το μέγεθος της παραγγελίας μεταβάλλεται δυναμικά ως συνάρτηση της πραγματικής ζήτησης, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο έλλειψης και διασφαλίζοντας υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης.

Εικόνα 1.2 Πολιτική Order up to level

Πηγή : Πηγή εικόνας: Silver, E.A., Pyke, D.F., & Thomas, D.J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains* (4η έκδ., σελ. 243). CRC Press.



1.2 Σημασία της πληροφόρησης και ανταλλαγής πληροφοριών στην εφοδιαστική αλυσίδα

1.2.1 Μη στάσιμη ζήτηση και μοντέλα πρόβλεψης

Η πρόβλεψη της ζήτησης στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι κρίσιμο στοιχείο για το σχεδιασμό της παραγωγής σε μια επιχείρηση και για την διαχείριση των αποθεμάτων. Όταν οι στατιστικές ιδιότητες μιας χρονοσειράς (μέσος όρος και διακύμανση) μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου τότε η χρονοσειρά ονομάζεται μη στάσιμη σύμφωνα με την μεθοδολογική προσέγγιση

των Box & Jenkins. Η μη στάσιμη ζήτηση εμφανίζει συνήθως συστηματικές μεταβολές, όπως τάσεις ή εποχικές διακυμάνσεις. Τα χαρακτηριστικά μιας μη στάσιμης χρονοσειράς είναι :

- Μεταβαλλόμενος μέσος όρος. Η μετατόπιση του μέσου στο χρόνο είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα της μη στάσιμης χρονοσειράς.
- Μη σταθερή διακύμανση. Η διακύμανση των παρατηρήσεων αυξάνεται ή μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.
- Παρουσία τάσης ή Εποχικότητας. Η ύπαρξη μακροχρόνιας τάσης ή εποχικών προτύπων αποτελεί χαρακτηριστικό μη στασιμότητας.
- Αυτοσυσχέτιση σε μεγάλες χρονικές αποστάσεις. Οι τιμές της σειράς παραμένουν συσχετισμένες ακόμα και σε μεγάλες χρονικές αποστάσεις.

Το υπόδειγμα ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και αξιόπιστα εργαλεία στη μοντελοποίηση χρονοσειρών, ιδιαίτερα όταν αυτές παρουσιάζουν μη στασιμότητα. Η βασική του συνεισφορά έγκειται στη δυνατότητα μετασχηματισμού μη στάσιμων χρονοσειρών σε στάσιμες μέσω της διαδικασίας λήψης διαφορών (differencing), ώστε να καταστούν κατάλληλες για στατιστική ανάλυση και πρόβλεψη. Το ARIMA εισήχθη στο πλαίσιο της μεθοδολογίας των Box και Jenkins και έκτοτε καθιερώθηκε ως πρότυπο στη μελέτη και πρόβλεψη δυναμικών στοχαστικών διαδικασιών (Box et al., 2016). Το υπόδειγμα προσδιορίζεται από τρεις παραμέτρους: p (τάξη αυτοπαλινδρόμησης), d (βαθμός ολοκλήρωσης/διαφορών) και q (τάξη κινητού μέσου). Η παράμετρος p καθορίζει τον αριθμό των προηγούμενων τιμών που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της τρέχουσας, η d τον αριθμό διαφορών που απαιτούνται για την επίτευξη στασιμότητας, ενώ η q αφορά τα σφάλματα πρόβλεψης προηγούμενων περιόδων τα οποία ενσωματώνονται στο υπόδειγμα. Η ακρίβεια στην εκτίμηση των παραμέτρων αυτών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματικότητα του υποδείγματος, καθώς επηρεάζει άμεσα την ικανότητά του να προβλέψει με αξιοπιστία την μελλοντική συμπεριφορά της χρονοσειράς.

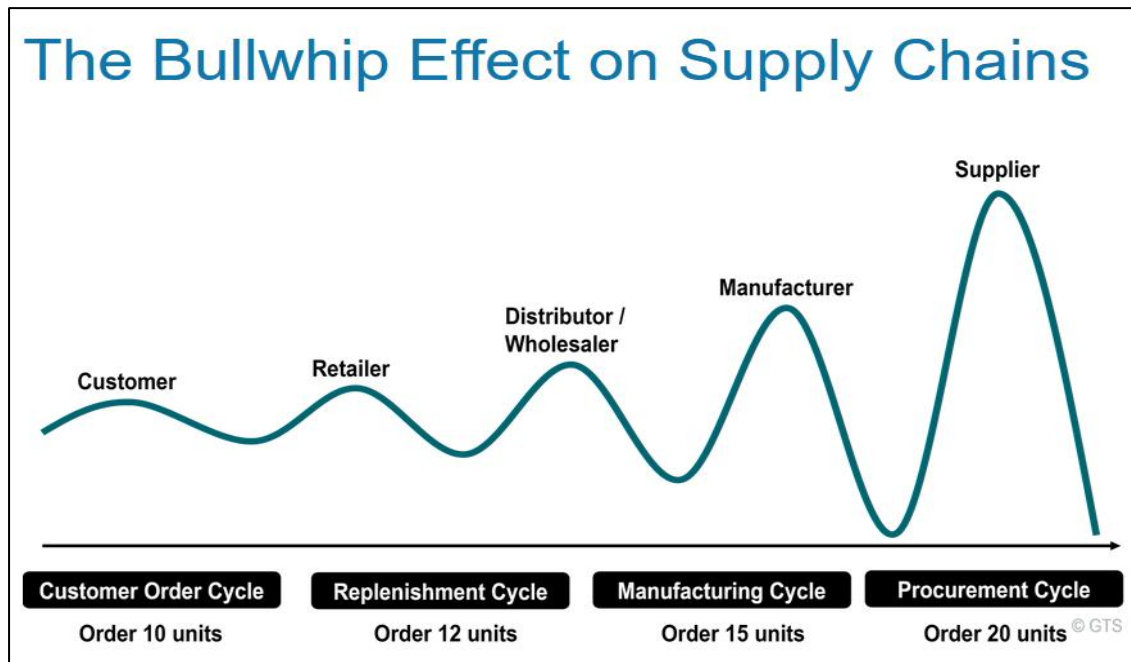
1.2.2 Το φαινόμενο bullwhip: αίτια , επιπτώσεις και τρόποι αντιμετώπισης

Στην εφοδιαστική αλυσίδα όσο κινούμαστε από το στάδιο του λιανοπωλητή στο στάδιο του προμηθευτή αναπτύσσεται μια διαστρέβλωση της ζήτησης (bullwhip effect). Μικρές μεταβολές

στην ζήτηση στο επίπεδο του λιανοπωλητή μπορεί να προκαλέσει μεγάλες διακυμάνσεις στις παραγγελίες στο ανώτερο επίπεδο της αλυσίδας , όπως στους διανομείς , τους παραγωγούς και τους προμηθευτές πρώτων υλών (Lee et al.,1997). Το bullwhip effect έχει απασχολήσει αρκετά την βιβλιογραφία. Τα κύρια αίτια που προκαλούν το φαινόμενο αυτό διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στην επικοινωνιακή καθυστέρηση και παρανόηση της ζήτησης κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας γεγονός που οδηγεί σε διαφορετικές ερμηνείες και υπερβολικές αντιδράσεις (Chen et al.,2000). Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται στις πολιτικές που εφαρμόζονται για τις ποσότητες παραγγελιών. Για παράδειγμα οι παρτίδες μεγάλου μεγέθους που έχουν ως σκοπό την δημιουργία οικονομιών κλίμακας ενισχύουν τις διακυμάνσεις των παραγγελιών. Η τρίτη κατηγορία αφορά τις προωθητικές ενέργειες όπως για παράδειγμα οι εκπτώσεις ή κάποιες σχεδιασμένες προσφορές οι οποίες όμως προκαλούν μια τεχνητή αύξηση στη ζήτηση που δεν αντανάκλα την πραγματική κατανάλωση (Croson & Donohue 2006). Τέλος η τέταρτη κατηγορία αφορά τις προβλέψεις οι οποίες όταν βασίζονται σε περιορισμένα δεδομένα οδηγούν σε λάθος εκτιμήσεις ειδικά στην περίπτωση της μη στάσιμης ζήτησης. Η μη στάσιμη ζήτηση εντείνει περισσότερο το φαινόμενο καθώς οι μεταβολές της σε τάση , εποχικότητα ή στις τυχαίες διακυμάνσεις καθιστούν τις προβλέψεις ιδιαίτερα αβέβαιες (Dejonckheere et al., 2003). Όταν τα υποσυστήματα της αλυσίδας στηρίζονται σε ιστορικά δεδομένα χωρίς να ενσωματώνουν πληροφορίες για μελλοντικές μεταβολές της αγοράς οι αντιδράσεις τους σε αυξομειώσεις της ζήτησης είναι υπερβολικές και ασύγχρονες .

Εικόνα 1.3 Γραφική αναπαράσταση του Bullwhip effect

Πηγή: <https://transportgeography.org>



Το Bullwhip effect οδηγεί τις επιχειρήσεις σε αυξημένα κόστη αποθεματοποίησης αλλά και σε απώλεια εσόδων λόγω ελλείψεων σε προϊόντα ή υπερπαραγωγής και δυσχέρεια στον επιχειρησιακό προγραμματισμό (Disney & Towill 2003). Κατ' επέκταση η συνολική ανταγωνιστικότητα της αλυσίδας μειώνεται. Τα μέλη της αλυσίδας αντιμετωπίζουν αυξημένη αβεβαιότητα και υπονομεύεται η συνεργασία μεταξύ τους. Το φαινόμενο bullwhip, το οποίο αναφέρεται στην ενίσχυση των διακυμάνσεων της ζήτησης καθώς αυτή μεταδίδεται προς τα πίσω στην εφοδιαστική αλυσίδα, μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω στοχευμένων στρατηγικών. Μια βασική προσέγγιση είναι η ενίσχυση της διαφάνειας μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, η οποία περιορίζει την ανάγκη για εσωτερικές προβλέψεις και συμβάλλει στην εξομάλυνση των παραγγελιών (Lee et al., 1997). Επιπλέον, η υιοθέτηση συνεργατικών πλαισίων, όπως το Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR), προωθεί τον συγχρονισμό μεταξύ των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας, μειώνοντας την αβεβαιότητα και ενισχύοντας την αξιοπιστία των προβλέψεων (Barratt & Oliveira, 2001). Εξίσου σημαντική είναι η μείωση του χρόνου παράδοσης, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της βελτιστοποίησης των διαδικασιών παραγωγής και διανομής, επιτρέποντας ταχύτερη απόκριση στη ζήτηση και περιορισμό των αποκλίσεων (Agrawal et al., 2009). Τέλος, η σταθεροποίηση της παραγωγής και η

αποφυγή προωθητικών ενεργειών που δημιουργούν τεχνητές αιχμές στη ζήτηση, συμβάλλουν στην αποτροπή ανεπιθύμητων διακυμάνσεων και στην ευθυγράμμιση των πραγματικών αναγκών της αγοράς με την παραγωγική ικανότητα (Lee et al., 1997). Από τα παραπάνω διαφαίνεται πως το bullwhip effect είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που επηρεάζεται από οργανωτικούς, ψυχολογικούς και τεχνικούς παράγοντες. Η έλλειψη συνεργασίας και η μη ανταλλαγή πληροφόρησης μεταξύ των μελών επιδρά αυξητικά στο φαινόμενο.

1.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανταλλαγή πληροφόρησης στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Σε μια μελέτη Delphi με 29 ειδικούς, οι Kembro et al. (2017), κατέγραψαν 22 παράγοντες τους οποίους ομαδοποίησαν σε έξι κατηγορίες που επηρεάζουν το πλάτος και το βάθος της πληροφορίας που μοιράζονται οι εταίροι σε μια εφοδιαστική αλυσίδα. Αποδεικνύεται πως το αν θα γίνει ανταλλαγή πληροφόρησης δεν είναι μόνο τεχνικό θέμα αλλά συνάρτηση θεσμικών, οργανωσιακών και κοινωνικών παραγόντων. Οι έξι κατηγορίες που προσδιορίζουν οι συγκεκριμένοι συγγραφείς είναι:

1. Αξιοποίηση / ποιότητα πληροφορίας
2. Χρήση και ωριμότητα πληροφορίας
3. Δομές ισχύος και εξάρτησης μεταξύ των εταίρων
4. Κουλτούρα & εμπιστοσύνη
5. Διασύνδεση επιχειρησιακών διαδικασιών
6. Νομικές πτυχές

Βασικός λόγος μη ανταλλαγής αποτελεί η έλλειψη εμπιστοσύνης. Οι εταίροι δεν αισθάνονται ασφαλείς να μοιραστούν τα πληροφοριακά τους δεδομένα. Ένα άλλο βασικό πρόβλημα αποτελεί η συμπεριφορά του ενός εταίρου της αλυσίδας που μοιράζεται μέρος μόνο των δεδομένων του για να διατηρήσει πλεονέκτημα. Η συμπεριφορά αυτή αποθαρρύνει τον λιγότερο ισχυρό εταίρο. Σε πρόσφατη έρευνα οι (Zhao et al., 2024) παρουσίασαν ένα απλό σενάριο εφοδιαστικής αλυσίδας ό δύο σταδίων, στο οποίο ένας παραγωγός θεωρείται «ηγέτης» και ένας λιανοπωλητής που θεωρείται

«ακόλουθος» κατέχουν πληροφορίες που είναι ιδιωτικές. Ο παραγωγός ο οποίος γνωρίζει το κόστος του ενώ ο ακόλουθος έχει ακριβή εικόνα της ζήτησής του. Οι συγγραφείς έθεσαν ένα robust Stackelberg μοντέλο , δηλαδή ένα ιεραρχικό μοντέλο στο οποίο ο ηγέτης αποφασίζει πρώτος και ο ακόλουθος αντιδρά. Δοκιμάστηκαν τρία σενάρια με καθόλου κοινοποίηση πληροφοριών, με μερική κοινοποίηση και με πλήρη κοινοποίηση. Στα αποτελέσματα της έρευνας φάνηκε πως ο «ηγέτης» μοιράζεται τόσα δεδομένα όσα είναι απαραίτητα για να έχει συνεργασία με τον άλλο εταίρο αλλά όχι όσα θα τον κάνουν να χάσει το πλεονέκτημα του. Ο «ακόλουθος» όταν αντιλαμβάνεται την ενέργεια του «ηγέτη» τότε αποθαρρύνεται από την ενεργό ανταλλαγή. Μια λύση που προτείνεται από την συγκεκριμένη έρευνα είναι να τεθούν συμβάσεις που θα δώσουν κίνητρα για την ανταλλαγή της πληροφορίας .

1.2.4 Σενάρια μη ανταλλαγής (NIS- No information system) και πλήρης ανταλλαγής (Full information system -FIS) στην εφοδιαστική αλυσίδα

Όταν δεν υπάρχει συνεργασία στην ανταλλαγή πληροφοριών εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας, κάθε μέλος λειτουργεί αυτόνομα. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο ο προμηθευτής αγνοεί την ζήτηση των τελικών πελατών, ενώ ο λιανοπωλητής δεν γνωρίζει τα κόστη και επίπεδα του αποθέματος του προμηθευτή (Lee et al., 1997). Ο προμηθευτής σχηματίζει εικόνα μόνο από τις παραγγελίες που δέχεται από τον λιανοπωλητή και με βάσει τα ιστορικά στοιχεία από αυτές μπορεί να κάνει τις προβλέψεις του. Το κάθε μέλος της αλυσίδας εφαρμόζει πολιτικές παραγγελίας με μόνο στόχο την ελαχιστοποίηση του δικού του κόστους. Οι συνέπειες από το σενάριο της μη ανταλλαγής είναι:

- Αυξημένα αποθέματα ασφαλείας σε κάθε στάδιο
- Μεγαλύτερο κόστος για το σύνολο της αλυσίδας (μεταφορικό , αποθήκευσης και έλλειψης)
- Καθυστερημένη ανταπόκριση σε αλλαγές της ζήτησης

Στο σενάριο ανταλλαγής πληροφόρησης τα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας σύμφωνα με τους Lotfi et al.(2013), μπορούν να ανταλλάξουν τις εξής πληροφορίες :

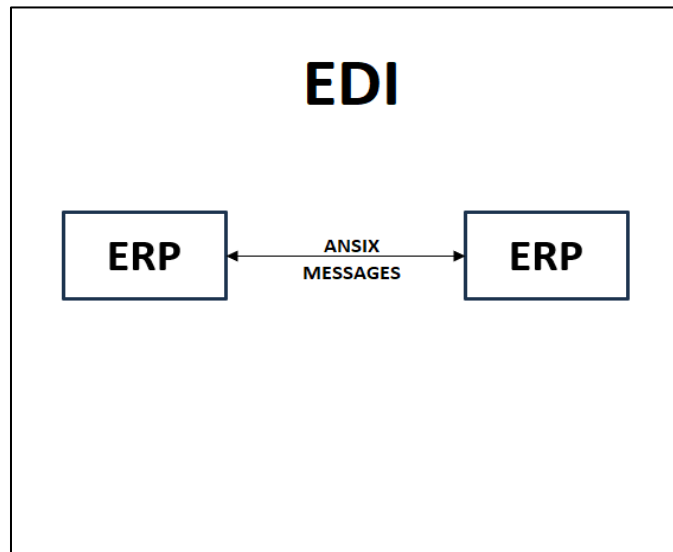
- Ποσότητες αποθεμάτων
- Δεδομένα πωλήσεων
- Προβλέψεις για τη ζήτηση
- Πληροφορίες παραγγελιών
- Ικανότητα παραγωγής
- Ανάπτυξη νέων προϊόντων
- Πληροφορίες κόστους τεχνολογίας και σχεδιασμού

Στο σενάριο της πλήρους πληροφόρησης τα μέλη της αλυσίδας μοιράζονται τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και μπορεί με βάσει αυτό να επιτευχθεί άμβλυνση του φαινομένου Bullwhip. Επειδή οι προβλέψεις είναι πιο ακριβείς ο προμηθευτής μπορεί να σχεδιάσει και να προσαρμόσει καλύτερα την παραγωγή του. Μειώνονται οι χρόνοι παράδοσης (lead time) και αποφεύγεται ο κίνδυνος να υπάρξουν ελλείψεις.

1.3 Τεχνολογίες και προγράμματα ανταλλαγής πληροφοριών

Η επένδυση σε σύγχρονα συστήματα ανταλλαγής πληροφοριών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την βελτίωση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η τεχνολογία ανταλλαγής πληροφοριών ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 με τη σταδιακή υιοθέτηση του Electronic Data Interchange (EDI) το οποίο αποτελεί ένα τυποποιημένο σύνολο ηλεκτρονικών μηνυμάτων που επιτρέπουν σε δυο πληροφοριακά συστήματα να ανταλλάσσουν απευθείας παραγγελίες, τιμολόγια και δελτία αποστολής χωρίς να παρεμβάλεται ανθρώπινος παράγοντας. Η διαδικασία έχει ως εξής : Ένα έντυπο εγγράφου ψηφοποιείται και μεταφέρεται ηλεκτρονικά μέσω ενός ιδιωτικού δικτύου ή ασφαλούς πρωτοκόλλου και επεξεργάζεται αυτόματα από το ERP του λήπτη. Η αυτοματοποίηση αυτή στη ροή οδηγεί σε περιορισμό των λαθών καταχώρισης και συντομεύει τον κύκλο «order- to -cash». Σε πείραμα προσομοίωσης τεσσάρων βαθμίδων, η εκτεταμένη χρήση EDI οδήγησε σε μείωση ~68 % στις μέσες παραγγελίες του εργοστασίου και ~79 % του συνολικού κόστους εφοδιαστικής αλυσίδας (Machuca & Barajas, 2004). Όμως, ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζει το EDI είναι πως το αρχικό κόστος εγκατάστασης παραμένει υψηλό για μικρομεσαίους προμηθευτές.

Εικόνα 1.4 Διάγραμμα ροής EDI -Αυτοματοποιημένη ανταλλαγή ηλεκτρονικών εγγράφων μεταξύ δύο ERP.



Τα πρώτα ολοκληρωμένα enterprise resources planning (ERP) εμφανίστηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Τα συστήματα αυτά ενοποιούν παραγωγή, αποθήκη, λογιστική, και διανομή σε μια κοινή βάση δεδομένων. Κάθε παραγγελία που εισέρχεται στο ERP μπορεί να συσχετισθεί με συγκεκριμένη παρτίδα υλικών, με ωράριο γραμμής παραγωγής και τελικά με φορτωτικό έγγραφο, επιτρέποντας πλήρη παρακολούθηση (Bevilacqua et al, 2009). Αν και τα συστήματα ERP πρόσφεραν πολλά οφέλη η παλαιότερη δομή τους δεν επέτρεπε την εύκολη διασύνδεση με άλλα συστήματα γεγονός που συχνά οδηγούσε στην εξάρτηση της επιχείρησης από τον αρχικό προμηθευτή. Κάθε νέα προσθήκη λειτουργίας ή διασύνδεσης συνεπαγόταν υψηλό κόστος και ενίσχυε ακόμα περισσότερο αυτή την εξάρτηση. Στην συνέχεια παρουσιάστηκε το Vendor - Managed Inventory (VMI), το οποίο αποτελεί μια μέθοδο διαχείρισης αποθεμάτων όπου ο προμηθευτής αναλαμβάνει την ευθύνη παρακολούθησης και αναπλήρωσης των αποθεμάτων στις εγκαταστάσεις του πελάτη μέσω ανταλλαγής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (Disney & Towill, 2003). Σύμφωνα με τους Disney & Towill η εφαρμογή του VMI μπορεί να επιφέρει μείωση των περιττών αποθεμάτων έως και 50%. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση την αποτελεσματική λειτουργία του είναι η ύπαρξη εμπιστοσύνης μεταξύ των εμπλεκόμενων μελών της αλυσίδας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα άλλο σύστημα συνεργασίας το Collaborative Planning ,Forecasting and Replenishment(CPFR). Το CPFR αποτελεί μια μέθοδο συνεργατικής διαχείρισης της ζήτησης, μέσω της οποίας επιχειρήσεις πραγματοποιούν από κοινού την πρόβλεψη της ζήτησης και συνεργάζονται στον προγραμματισμό της παραγωγής με βάση τις κοινές αυτές προβλέψεις. Το σύστημα λειτουργεί μέσω κοινής διαδικτυακής πλατφόρμας όπου παρέχονται αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις σε περίπτωση αποκλίσεων. Ενώ παράλληλα ενημερώνονται διαρκώς τα αποθέματα συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του κόστους διατήρησης αποθεμάτων και μεταφορών. Επιπλέον το σύστημα αυτό μπορεί να συνδυαστεί με την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων (digital twins). Ειδικότερα μέσω του διαδικτύου των πραγμάτων (internet of things- IoT) και της χρήσης ετικετών RFID συλλέγονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αποθήκες , μεταφορικά μέσα και σημεία πώλησης. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται μέσω κατάλληλων ψηφιακών πλατφορμών και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το ψηφιακό αντίγραφο επιτρέπει την λεπτομερή προσομοίωση της λειτουργίας της αλυσίδας και ανάλυσης σεναρίων ενισχύοντας την λήψη στρατηγικών αποφάσεων.

1.4 Τεχνητή νοημοσύνη στην ανταλλαγή πληροφορίας

Η μη στάσιμη ζήτηση αποτελεί πρόκληση για τις επιχειρήσεις. Οι παραδοσιακές τεχνικές πρόβλεψης και προγραμματισμού κάνουν την υπόθεση αντιμετώπισης στάσιμων ή επαναλαμβανόμενων μοτίβων. Όμως στη μη στάσιμη ζήτηση τα ιστορικά μοτίβα δεν επαναλαμβάνονται με τον ίδιο τρόπο στο μέλλον. Υπάρχουν αλλαγές στις προτιμήσεις των καταναλωτών αλλά και απρόβλεπτες διαταραχές όπως η πανδημία οι οποίες αυξάνουν την πολυπλοκότητα στο συγχρονισμό προσφοράς και ζήτησης. Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης προσφέρει τρόπους στην βελτιστοποίηση της ανταλλαγής πληροφορίας, στην πρόβλεψη της μη στάσιμης ζήτησης και στο συντονισμό μεταξύ των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η χρησιμοποίηση ψηφιακών αισθητήρων (IoT) προσφέρει παραγωγή συνεχής ροής δεδομένων για αποθέματα , πωλήσεις και συνθήκες μεταφοράς. Η ενοποίηση αυτών των δεδομένων σε κοινές πλατφόρμες ΑΙ οδηγεί σε μείωση των πληροφοριακών κενών μεταξύ των εταίρων (Ben-Daya et al., 2017). Ακόμη συστήματα τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής

αλυσίδας να μοιράζεται κρίσιμες πληροφορίες και να μαθαίνει σε συνεργατικό περιβάλλον. Μέσω τεχνικών μηχανικής μάθησης γίνονται προβλέψεις ζήτησης. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης ανιχνεύουν έγκαιρα τις αλλαγές στην ζήτηση και ανανεώνουν τις προβλέψεις πολύ πιο γρήγορα από τις κλασικές διαδικασίες.

Η χρήση αλγορίθμων deep learning όπως LSTM και υβριδικές αρχιτεκτονικές συλλαμβάνουν μη γραμμικές εξαρτήσεις , εξωτερικούς οδηγούς (καιρός , κοινωνικά δίκτυα) και πολλαπλές εποχικότητες. Όταν χρησιμοποιούνται deep learning τεχνικές σε περιβάλλον με μεγάλη μεταβλητότητα υπάρχει μείωση του σφάλματος πρόβλεψης. Ακόμη με την προσέγγιση της ενισχυτικής μάθησης (reinforcement learning, RL) ένας agent προσαρμόζει τις παραγγελίες ή τα επίπεδα αποθέματος με βάση την εκάστοτε ζήτηση και κατάσταση των αποθεμάτων μαθαίνοντας σταδιακά την βέλτιστη πολιτική παραγγελιών. Όσον οι αλγόριθμοι εξελίσσονται η τεχνητή νοημοσύνη στην εφοδιαστική αλυσίδα θα οδηγεί σε πλήρη αυτοματοποίηση στην πρόβλεψη της ζήτησης και αυτοβελτίωσης αυξάνοντας την απόδοση της εφοδιαστική αλυσίδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Στην εφοδιαστική αλυσίδα η έρευνα έχει επικεντρωθεί στις μεθόδους πρόβλεψης ζήτησης και τις πολιτικές διαχείρισης των αποθεμάτων. Ένα επίσης σημαντικό πεδίο αφορά την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας (Lee et al., 1999). Σε περιβάλλοντα όπου η ζήτηση δεν είναι στάσιμη ζήτηση και χρησιμοποιούνται υποδείγματα όπως το ARIMA (0,1,1), το φαινόμενο bullwhip ενισχύει την διακύμανση των παραγγελιών προς τα ανώτερα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα βασικό ερώτημα της έρευνας είναι κατά πόσο η ανταλλαγή πληροφορίας μπορεί να μετριάσει το φαινόμενο bullwhip και να αυξήσει την ακρίβεια στις παραγγελίες, προσφέροντας έτσι σημαντικά οικονομικά οφέλη (Chen et al., 2000; Dejonckheere et al., 2003). Τα ευρήματα στην βιβλιογραφία δείχνουν πως, υπό συγκεκριμένες συνθήκες η ανταλλαγή πληροφορίας αποτελεί αντίβαρο στις στρεβλώσεις που γεννά η μη στάσιμη ζήτηση βελτιώνοντας έτσι συνολικά την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Disney & Lambrecht, 2008). Επιπλέον ορισμένες μελέτες έχουν επισημάνει ότι η βελτίωση αυτή είναι πιο αποτελεσματική όταν η διαχείριση των αποθεμάτων και οι προβλέψεις της ζήτησης αντιμετωπίζονται από κοινού ως ενιαίο σύστημα.

2.1 Ανασκόπηση Στατιστικών Μεθόδων προβλέψεων

Η στατιστική μέθοδος της εκθετικής εξομάλυνσης απασχόλησε τον Holt(1957) ο οποίος στη μελέτη που έκανε έθεσε τα θεωρητικά θεμέλια για προβλέψεις σε σειρές με γραμμική τάση. Πρότεινε την μέθοδο της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης (γνωστή και ως μέθοδος Holt) καταδεικνύοντας ότι οι παράμετροι εξομάλυνσης μπορούν να προσαρμόζονται ώστε οι προβλέψεις να ανταποκρίνονται στη μεταβαλλόμενη ζήτηση. Στην συνέχεια ο Winters (1960) εισήγαγε μια μεθοδολογία εξομάλυνσης η οποία λαμβάνει υπόψη το επίπεδο, την τάση, και την εποχικότητα, δίνοντας μέσω των τριών αυτών παραμέτρων τη δυνατότητα παραγωγής προσαρμοσμένων προβλέψεων για κάθε εποχή. Κεντρική συνεισφορά αυτής της εργασίας ήταν η ολοκληρωμένη και πρακτική αντιμετώπιση των μη-σταθερών χρονοσειρών με έντονη εποχικότητα. Ο Muth (1960) εξέτασε σε θεωρητικό επίπεδο την εκθετική εξομάλυνση και απέδειξε πως η εκθετικά σταθμισμένη πρόβλεψη είναι η βέλτιστη υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς ο εκθετικά σταθμισμένος κινούμενος μέσος δίνει μεγαλύτερο βάρος στα πιο πρόσφατα δεδομένα και

μικρότερο στα παλαιότερα, προϋποθέτοντας ότι η χρονοσειρά αποτελείται από ένα σταθερό τμήμα και από το τυχαίο σφάλμα.

Σημείο αναφοράς αποτελεί το έργο των Box & Jenkins (1970) οι οποίοι καθιέρωσαν μια ολιστική μεθοδολογία ανάλυσης χρονοσειρών με διαχρονική αξία. Στη μελέτη τους γενίκευσαν τα γραμμικά μοντέλα σε ARIMA (p,d,g) διευκολύνοντας τον χειρισμό της μη στασιμότητας μέσω αριθμού διαφορών d. Εισήγαγαν μια διαδικασία τριών βημάτων (ταυτοποίηση, εκτίμηση και διαγνωστικός έλεγχος) όπου το αποτέλεσμα κάθε βήματος τροφοδοτεί την επόμενη φάση έως ότου επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό μοντέλο. Στο πλαίσιο των διαγνωστικών ελέγχων καθιέρωσαν ελέγχους στασιμότητας για τον προσδιορισμό των τάξεων p,d και q. Μεταγενέστερα οι ελέγχοι επεκτάθηκαν με το τεστ lunge-Box (Ljung & Box 1978) ώστε να εντοπίζονται πιθανά προβλήματα πριν από την εξαγωγή προβλέψεων. Στην συνέχεια ο Roberts (1982) πρότεινε μια γενικευμένη κατηγορία μοντέλων πρόβλεψης τύπου Holt-Winters, αποδεικνύοντας ότι οι βασικές γραμμικές μέθοδοι εξομάλυνσης (για επιπέδο, τάση, εποχικότητα) είναι ειδικές περιπτώσεις μιας ενιαίας γενικευμένης εξίσωσης πρόβλεψης. Επιπλέον, έδειξε ότι αυτά τα μοντέλα συνδέονται με συγκεκριμένα μοντέλα ARIMA εκτός του κλασικού πλαισίου Box-Jenkins. Λόγω της απλής δομής τους, τα μοντέλα Holt-Winters προτιμώνται συχνά σε κοινωνικό-οικονομικές εφαρμογές, ενώ η έννοια της «αποσβενόμενης τάσης» (damped trend) που εισήχθη αργότερα εξελίχθηκε σε μια ακόμη δημοφιλή μέθοδο πρόβλεψης.

Οι Makridakis et al. δημοσίευσαν τα αποτελέσματα του πρώτου διαγωνισμού πρόβλεψης (γνωστό με την ονομασία M-Competition) στον οποίο συγκρίθηκαν 24 μέθοδοι πρόβλεψης, από απλές τεχνικές έως σύνθετα υποδείγματα ARIMA και παραλλαγές εκθετικής εξομάλυνσης. Στα αποτελέσματα φάνηκε πως οι λιγότερο πολύπλοκες μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης παρουσίασαν υψηλή ακρίβεια, συχνά υπερέχοντας των πιο σύνθετων προσεγγίσεων. Αυτή η μελέτη ανέδειξε τη σημασία της εμπειρικής αξιολόγησης και τροφοδότησε περαιτέρω έρευνα στη βελτίωση τόσο των υποδειγμάτων ARIMA όσο και των τεχνικών της εκθετικής εξομάλυνσης. Ο τρίτος διαγωνισμός πρόβλεψης (M3 competition) επιβεβαίωσε σε μεγάλο βαθμό τα ευρήματα του πρώτου καταδεικνύοντας ότι οι απλές ή οι μετρίως πολύπλοκες μέθοδοι (όπως η εκθετική εξομάλυνση και ορισμένα εξειδικευμένα υποδείγματα ARIMA) υπερείχαν των ιδιαίτερα σύνθετων εναλλακτικών (Makridakis, S. & Hibon, M., 2000).

Οι Hyndman et al. (2002) απέδειξαν ότι όλα τα σχήματα εκθετικής εξομάλυνσης μπορούν να αποτυπωθούν ως στοχαστικά μοντέλα κατάστασης, επιτρέποντας αυτόματη εκτίμηση παραμέτρων και αξιόπιστα διαστήματα πρόβλεψης. Έξι χρόνια αργότερα οι Hyndman και Khandakar παρουσίασαν το πακέτο R «Forecast» (Hyndman & Khandakar, 2008) μετατρέποντας την έως τότε χειροκίνητη διαδικασία σε πλήρως αυτοματοποιημένη δοκιμή δεκάδων μοντέλων. Με αυτόν τον τρόπο, από την χειροκίνητη διαδικασία περάσαμε στον αυτοματοποιημένο έλεγχο. Στον M4 Competition (Makridakis et al, 2018) όπου αξιολογήθηκαν 100000 χρονοσειρές προερχόμενες από διαφορετικούς τομείς, οι υψηλότερες επιδόσεις προήλθαν από υβριδικές προσεγγίσεις που συνδυάζαν απλές τεχνικές όπως η εκθετική εξομάλυνση (ETS) με σύγχρονα μοντέλα μηχανικής μάθησης, μεταξύ των οποίων νευρωνικά δίκτυα και δέντρα αποφάσεων. Η συνδυαστική αυτή στρατηγική εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα κάθε μοντέλου και αντισταθμίζει τις αδυναμίες τους, αναδεικνύοντας την ανάγκη για συστήματα που αυτοματοποιούν τον «έξυπνο» συνδυασμό πολλαπλών μεθόδων με βάση τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε χρονοσειράς. Στο πλαίσιο αυτό οι Montero et al.(2019) πρότειναν μια πλήρως αυτοματοποιημένη μέθοδο προσέγγισης μετα-μάθησης για τον βέλτιστο συνδυασμό των προβλέψεων: ένα δεύτερο μοντέλο μαθαίνει αυτόνομα, από τα χαρακτηριστικά κάθε σειράς, ποιοι βασικοί αλγόριθμοι θα συνδυαστούν και με ποιους συντελεστές στάθμισης. Τα αποτελέσματα του M5 Competition (Makridakis et al ,2021) κατέδειξαν ότι τα αποτελεσματικότερα μοντέλα ήταν εκείνα που λειτουργούσαν σε πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία, συνδυάζοντας αλγόριθμους δέντρων αποφάσεων με κλασικά στατιστικά μοντέλα όπως ARIMA και ETS. Τέλος οι Woo et al , (2022) παρουσίασαν το ETSformer, ένα μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης το ενσωματώνει τη λογική της εκθετικής εξομάλυνσης, αναλύοντας τη χρονοσειρά σε επίπεδο, τάση και εποχικότητα. Το μοντέλο υπολογίζει αυτόματα τα βάρη προσοχής, εστιάζει σε κρίσιμες χρονικές στιγμές του παρελθόντος και υλοποιεί ολόκληρη τη διαδικασία από την επιλογή του μοντέλου έως την απομάκρυνση της εποχικότητας και τους απαραίτητους μετασχηματισμούς χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση.

Τα προαναφερθέντα ευρήματα καταδεικνύουν ότι το επόμενο εξελικτικό στάδιο στις στατιστικές μεθόδους πρόβλεψης είναι τα πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα. Με την πάροδο του χρόνου, η διαδικασία επιλογής μοντέλου μετατοπίστηκε από την καθαρά χειροκίνητη, βασιζόμενη στον αναλυτή, προσέγγιση σε λύσεις ολοκληρωμένης αυτοματοποίησης. Αξιοποιώντας αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης, τα σύγχρονα λογισμικά μπορούν πλέον να επιλέγουν αυτόνομα το καταλληλότερο μοντέλο με βάση τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε χρονοσειράς, να εκπαιδεύονται

και να προσαρμόζουν εκ νέου τις παραμέτρους τους όταν το υποκείμενο σύνολο δεδομένων μεταβάλλεται.

2.2 Πολιτική Order-Up-To (OUT) και Bullwhip Effect σε μη Στάσιμη ζήτηση

Ένα ζήτημα που απασχόλησε την επιστημονική έρευνα και παρουσιάστηκε σε διάφορες εργασίες είναι το πως ο συνδυασμός της εφαρμογής της πολιτικής Order-up-to level και προβλέψεων με δεδομένα χρονοσειρών μπορούν να είτε να αυξήσουν είτε να μειώσουν το φαινόμενο Bullwhip. Στο πλαίσιο αυτό εξετάστηκαν ο ρόλος του χρόνου παράδοσης, της μεθόδου πρόβλεψης αλλά και ο ρόλος της πληροφόρησης κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας

Την βάση του κλασικού ελέγχου αποθεμάτων έθεσαν οι Handley και Whitin, εισάγοντας την πολιτική αποθέματος Order-up to level για στοχαστική ζήτηση. Η λογική της αναπλήρωσης όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο είναι σε κάθε χρονική περίοδο R να ελέγχεται το απόθεμα και να γίνεται παραγγελία που θα καλύψει το επίπεδο S . Οι συγγραφείς έθεσαν την μεθοδολογία για τον υπολογισμό του επιπέδου S λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση κατά τον χρόνο παράδοσης και ένα απόθεμα ασφαλείας. Το φαινόμενο Bullwhip ορίστηκε και αναλύθηκε σε μια σημαντική έρευνα (Lee et al, 1997) στην οποία τεκμηριώθηκε ότι η μεταβλητότητα των παραγγελιών αυξάνεται προοδευτικά από τον Λιανοπωλητή στον Προμηθευτή κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι συγγραφείς εντόπισαν τέσσερις αιτίες οι οποίες είναι η ενημέρωση της πρόβλεψης, οι παρτίδες παραγγελίας, οι διακυμάνσεις των τιμών, και το δελτίο αποστολών. Η μελέτη ανέδειξε τον κομβικό ρόλο του συντονισμού και της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των σταδίων της αλυσίδας. Δυο χρόνια αργότερα ο Graves (1999) διερεύνησε ένα σύστημα διαχείρισης αποθέματος υπό συνθήκες μη στάσιμης ζήτησης εφαρμόζοντας παραλλαγή της πολιτικής Order up to level. Στο πλαίσιο αυτό, το επίπεδο S αναπροσαρμόζεται δυναμικά σύμφωνα την τρέχουσα πρόβλεψη, ενώ το μέγεθος της παραγγελίας προκύπτει ως η διαφορά του στόχου S και του αθροίσματος διαθεσίμου αποθέματος και εκκρεμών παραγγελιών. Σε μεταγενέστερη έρευνα οι Chen et al παρουσίασαν την ποσοτική μέτρηση του φαινομένου Bullwhip σε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων με ένα προμηθευτή και ένα λιανοπωλητή. Εξετάστηκαν διάφορες μέθοδοι πρόβλεψης σε διαφορετικούς χρόνους παράδοσης. Στα συμπεράσματα της έρευνας αποτυπώθηκε πως ο μεγαλύτερος χρόνος παράδοσης επιδεινώνει το φαινόμενο bullwhip. Επίσης το bullwhip effect επιδεινώνεται όταν εφαρμόζονται ανεπαρκείς μέθοδοι πρόβλεψης, όπως ο απλός κινητός μέσος.

Η άμβλυνση του μπορεί να επιτευχθεί με την κοινοποίηση των πραγματικών δεδομένων ζήτησης σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Οι Dejoncheere et al. (2003) ανέπτυξαν ένα μαθηματικό υπόδειγμα ελέγχου για την αξιολόγηση του bullwhip effect σε συστήματα OUT με εναλλακτικές μεθόδους πρόβλεψης. Οι συγγραφείς απέδειξαν ότι κάθε συνδυασμός πρόβλεψης και πολιτικής OUT δημιουργεί αναπόφευκτα bullwhip ωστόσο μετατρέποντας τα σφάλματα πρόβλεψης σε διορθωτικές παρεμβάσεις, η μεταβλητότητα μπορεί να μειωθεί χωρίς να θυσιάσουν τα επίπεδα εξυπηρέτησης. Ο Gilbert (2005) παρουσίασε ένα μοντέλο εφοδιαστικής αλυσίδας στο οποίο η ζήτηση του πελάτη ακολουθεί το υπόδειγμα ARIMA (0,1,1) και εφαρμόζεται επίσης πολιτική OUT. Ο συγγραφέας διαπίστωσε πως το bullwhip effect είναι αναπόφευκτο υπό συνθήκες χρονικής καθυστέρησης και αυτοσυσχέτισης. Επιπλέον, επιδεινώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης, ενώ η βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης ή η απλή κοινοποίηση δεδομένων POS δεν αρκούν για την πλήρη άμβλυνση του. Η μελέτη παράλληλα παρουσίασε ένα μαθηματικό εργαλείο, το οποίο επιτρέπει αφενός την ποσοτική αποτίμηση του φαινομένου και αφετέρου την αξιολόγηση στρατηγικών βελτίωσης σε εφοδιαστικές αλυσίδες όπου η ζήτηση περιγράφεται από υπόδειγμα ARIMA.

Σημαντική συνεισφορά αποτελεί, τέλος, η εργασία των Disney και Lambrecht (2008), στην οποία διερευνάται η ακραία μεταβλητότητα των παραγγελιών σε σχέση με την ζήτηση των τελικών πελατών. Συνδυάζοντας πολιτικές αναπλήρωσης, μεθόδους πρόβλεψης και εργαλεία ελέγχου, οι συγγραφείς πρότειναν κανόνα διόρθωσης σφαλμάτων με παράμετρο β , ο οποίος μειώνει ταυτόχρονα τόσο τη μεταβλητότητα όσο και τα αποθέματα. Κατέληξαν ότι μικρές ρυθμίσεις στους κανόνες αναπλήρωσης και στη σταθερά εξομάλυνσης αρκούν για ουσιαστική βελτίωση της απόδοσης ολόκληρης της αλυσίδας.

2.3 Συσχέτιση ακρίβειας και χρηστικότητας πρόβλεψης

Στην διαχείριση αποθεμάτων η χρησιμότητα της πρόβλεψης αφορά την δυνατότητα να βελτιώνει τις αποφάσεις για τις παραγγελίες και μέσω αυτών να διατηρεί το επιθυμητό επίπεδο αποθέματος ώστε να έχει μειωμένο κόστος αποθέματος και μειωμένα λειτουργικά έξοδα. Γι αυτό είναι απαραίτητο, εκτός από τις στατιστικές μετρήσεις για την ακρίβεια των προβλέψεων να ελέγχεται και κατά πόσο αυτές οι προβλέψεις δίνουν σε μια επιχείρηση οικονομικά οφέλη.

Στο πλαίσιο αυτό, ο Gardner (1990) διεξήγαγε πείραμα προσομοίωσης, ενσωματώνοντας ποικίλες μεθόδους πρόβλεψης σε ένα σύστημα αποθεμάτων. Διαπίστωσε ότι η επιλογή μοντέλου δεν πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά σε στατιστικούς δείκτες, αντίθετα οφείλει να συνεκτιμά το επίπεδο εξυπηρέτησης και το κόστος αποθέματος, προτείνοντας την καμπύλη trade-off ως κατάλληλο κριτήριο. Σε άλλη έρευνα οι Syntetos et al., (2009) εισήγαγαν συγκεκριμένους μετρικούς δείκτες. Για τις ανάγκες της μελέτης αναλύθηκαν 132 κωδικοί προϊόντων μιας φαρμακευτικής εταιρίας. Η αντιπαραβολή των αρχικών προβλέψεων με τις αναθεωρημένες κατέδειξε ότι μια μικρή βελτίωση στην ακρίβεια των προβλέψεων μπορεί επιφέρει μείωση αποθέματος κατά 15-20% και να αυξήσει το επίπεδο εξυπηρέτησης. Το 2012 στην εργασία τους σε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων με ζήτηση που ακολουθεί υπόδειγμα ARIMA, οι Ali et al.,(2012) κατέδειξαν ότι η ανταλλαγή πληροφοριών, μέσω βελτιωμένης ακρίβειας, οδηγεί σε εξοικονόμηση αποθέματος, ιδίως όταν εφαρμόζεται πολιτική Order-up-to level (OUT) επηρεάζοντας άμεσα το απόθεμα ασφαλείας. Παράλληλα οι Babai et al.,(2015) πρότειναν δείκτες που συνδέουν το σφάλμα πρόβλεψης με την επίδρασή του στις αποφάσεις αποθέματος, υπογραμμίζοντας ότι η ανταλλαγή πληροφορήσης δεν αρκεί να μειώνει το bullwhip effect, επιπλέον οφείλει να αποτιμάται και σε μονάδες αποθέματος που εξοικονομούνται.

2.4 Ανταλλαγή πληροφοριών ζήτησης-πρόβλεψης στην εφοδιαστική αλυσίδα

Η αβεβαιότητα που προκαλείται από μη σταθερές αγοραστικές συνθήκες καθιστά επιτακτική τη βέλτιστη διαχείριση ζήτησης. Η έρευνα εστιάζει στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας και στη μετρούμενη αξία της: περιορισμός αποθεμάτων, μείωση ελλείψεων και άμβλυνση του bullwhip effect. Η διασύνδεση επιχειρησιακών συστημάτων και η ανταλλαγή δεδομένων πωλήσεων και ζήτησης υποστηρίζουν αποφάσεις παραγγελιών βασισμένες σε πραγματικό χρόνο.

Την ποσοτικοποίηση της αξίας της ανταλλαγής της πληροφορίας στην εφοδιαστική αλυσίδα παρουσιάστηκε από τους Gavirmeni et al., (1999). Οι συγγραφείς θέλησαν να καταδείξουν πως η γνώση της πραγματικής ζήτησης ή των αποθεμάτων του λιανοπωλητή από τον προμηθευτή μειώνει το κόστος της αλυσίδας. Για να το πετύχουν αυτό διατύπωσαν τρία εναλλακτικά σενάρια (μοντέλο 0 , μοντέλο 1 και μοντέλο 2) με κλιμακούμενο βαθμό ενημέρωσης του προμηθευτή. Στο πρώτο σενάριο (μοντέλο 0) ο προμηθευτής περιορίζεται στη λήψη παραγγελιών του λιανοπωλητή, χωρίς πρόσθετη πληροφορήση. Στο δεύτερο (μοντέλο 1) ενημερώνεται επιπλέον για την πολιτική

αναπλήρωσης του λιανοπωλητή (τιμές s και S) και για την κατανομή της τελικής ζήτησης. Στο τρίτο σενάριο (μοντέλο 2) ο προμηθευτής αποκτά πλήρη πρόσβαση στα επιχειρησιακά δεδομένα του λιανοπωλητή, γνωρίζοντας τα αποθέματα του αλλά και τις παραγγελίες που έχει λάβει μέσω συστήματος απευθείας διασύνδεσης, όπως το Electronic Data Interchange (EDI). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σενάριο πλήρους πληροφόρησης (Μοντέλο 2) προσφέρει τον μεγαλύτερο βαθμό εξοικονόμησης κόστους. Σε όλα τα μοντέλα το συνολικό κόστος αυξάνεται με τη διακύμανση της ζήτησης, ωστόσο η σταδιακή ενίσχυση της πληροφόρησης οδηγεί σε σημαντικές οικονομίες: η μετάβαση από το Μοντέλο 0 στο Μοντέλο 1 μειώνει το κόστος παρακράτησης αποθέματος κατά 10 %–90 % (μέση μείωση 50 %), ενώ η μετάβαση από το Μοντέλο 1 στο Μοντέλο 2 αποφέρει επιπλέον μείωση 1% έως 35%, ανάλογα με τα επίπεδα αποθέματος. Το όφελος αυτό επηρεάζεται άμεσα από τις τιμές των παραμέτρων s και S του λιανοπωλητή και από την κατανομή της ζήτησης. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η επένδυση σε συστήματα EDI συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση του λειτουργικού κόστους σε ευρύ φάσμα επιχειρήσεων, ανεξαρτήτως κλάδου, ενισχύοντας την αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Οι Lee et al.(2000) εργάστηκαν πάνω σε μια αλυσίδα δύο σταδίων στην οποία η ζήτηση να ακολουθεί το υπόδειγμα AR(1). Επιδιώκοντας τον ποσοτικό προσδιορισμό του οφέλους από την ανταλλαγή πληροφοριών και τον εντοπισμό των παραγόντων που τον επηρεάζουν. Στο πλαίσιο αυτό, ανέπτυξαν βέλτιστες πολιτικές αποθεμάτων σε εναλλακτικά σενάρια ανταλλαγής πληροφοριών. Διαπιστώθηκε ότι το όφελος γίνεται ιδιαίτερα εμφανές όταν η ζήτηση παρουσιάζει υψηλή αυτοσυσχέτιση, γεγονός που καθιστά συμφέρουσα την επένδυση σε τεχνολογίες ηλεκτρονικής διασύνδεσης (όπως EDI) ή σε σχήματα VMI (Vendor-Managed Inventory) με σκοπό τη μείωση της διακύμανσης και των αποθεμάτων. Οι Zhao et al., (2002) χρησιμοποίησαν προσομοιώσεις σε υπολογιστές και μελέτησαν διαφορετικά υποδείγματα πρόβλεψης αλλά και διαφορετικά σενάρια ζήτησης. Σε κάθε μοντέλο ελέγχθηκαν τα αποτελέσματα στα σενάρια με πληροφόρηση και χωρίς πληροφόρηση. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι η κοινοποίηση δεδομένων οδηγεί σε ουσιαστική εξοικονόμηση κόστους. Όμως, η επιλογή του κατάλληλου υποδείγματος πρόβλεψης, προσαρμοσμένου στα χαρακτηριστικά της ζήτησης, αποδεικνύεται εξίσου κρίσιμη.

Η προσπάθεια να υπολογιστεί ποσοτικά η ωφέλεια από την ανταλλαγή πληροφόρησης συνεχίστηκε και σε άλλες έρευνες όπως των Yu et al. (2002) οι οποίοι μελέτησαν μια αλυσίδα δύο σταδίων με έναν προμηθευτή και έναν λιανοπωλητή υιοθετώντας τρία σενάρια πληροφόρησης. Το πρώτο σενάριο μη ανταλλαγής πληροφόρησης, το δεύτερο σενάριο με μερική ανταλλαγή πληροφόρησης, και το τρίτο σενάριο με πλήρη συγχρονισμό με VMI. Για κάθε περίπτωση προσδιορίστηκαν οι βέλτιστες πολιτικές αποθεμάτων και αξιολογήθηκε η επίδραση του επιπέδου πληροφόρησης στη συνολική απόδοση της αλυσίδας. Διαπιστώθηκε προοδευτική βελτίωση της απόδοσης όσο αυξάνεται η διαθεσιμότητα πληροφοριών. Αν και τα οφέλη για τον λιανοπωλητή σε επίπεδο κόστους και αποθεμάτων είναι περιορισμένα, η συνολική μείωση δαπανών στην αλυσίδα δικαιολογεί κίνητρα και μηχανισμούς εμπιστοσύνης για την υιοθέτηση του. Τέλος, η μελέτη προτείνει ως αποτελεσματικά εργαλεία για την υλοποίηση της ανταλλαγής πληροφόρησης και του συγχρονισμού των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας τα συστήματα VMI και EDI (Electronic Data Interchange).

Σε άλλη έρευνα από τον Raghunathan (2003) χρησιμοποιήθηκε υπόδειγμα με έναν προμηθευτή και πολλούς λιανοπωλητές. Από την ανάλυση (χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση Sharpley από την θεωρία παιγνίων) προκύπτει ότι όσο πιο υψηλή αυτοσυσχέτιση παρουσιάζει η ζήτηση, τόσο πιο μεγάλο είναι και το κέρδος για τον προμηθευτή από την ανταλλαγή πληροφόρησης ενώ για τους λιανοπωλητές το αντίστοιχο κέρδος μειώνεται. Η υψηλή συσχέτιση καθιστά τις πληροφορίες των λιανοπωλητών υποκατάστατες, με αποτέλεσμα κάθε πρόσθετη πληροφορία να προσφέρει φθίνουσα αξία και ο προμηθευτής να μην αποκομίζει ουσιαστικό επιπλέον όφελος από την ένταξη ακόμη ενός ομοειδούς λιανοπωλητή.

Ο Avin (2007) διερεύνησε τις συνθήκες υπό τις οποίες η κοινοποίηση επιφέρει όφελος σε μια εφοδιαστική αλυσίδα δυο σταδίων, αξιολογώντας δείκτες όπως τα επίπεδα αποθεμάτων, η εξομάλυνση παραγωγής και η τήρηση του προγράμματος παραγωγής. Διαπίστωσε ότι η συνεργασία αποδίδει περισσότερο όταν η παραγωγή διαθέτει υψηλό βαθμό ευελιξίας, ο οποίος, εφόσον αυξηθεί, ενισχύει περαιτέρω τα οφέλη. Συνεπώς, ανακύπτει το ζήτημα των θεσμικών μηχανισμών που μπορούν να μετατρέψουν αυτήν τη λειτουργική ευελιξία σε δεσμευτική συνεργασία. Σε αυτό το πεδίο Οι Zhang και Chen (2013) διερεύνησαν κατά πόσο τα μέλη της αλυσίδας έχουν κίνητρο να συνεργαστούν και να αποκαλύψουν την ζήτηση τους. Με ένα στοχαστικό μοντέλο αποθεμάτων-τιμολόγησης αποδείχθηκε πως για να επιτευχθεί συντονισμός

και μέγιστο όφελος θα πρέπει οι επιχειρήσεις να υπογράψουν σύμβαση η οποία θα διασφαλίζει πως υπάρχει πλήρη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των μελών της αλυσίδας. Στην μελέτη αυτή προτείνεται μια σύμβαση κατανομής εσόδων η οποία διασφαλίζει την πλήρη ανταλλαγή πληροφοριών και οδηγεί τον λιανοπωλητή σε επιλογή ποσότητας πώλησης που μεγιστοποιεί το συνολικό κέρδος της αλυσίδας.

Σε νεότερες έρευνες έχει μελετηθεί η επίδραση διαφορετικών μεθόδων συνεργατικής πρόβλεψης στην λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ειδικότερα οι Karimi και Zaerpour (2022) εξέτασαν ένα μοντέλο δύο σταδίων, που περιλαμβάνει ένα προμηθευτή και ένα λιανοπωλητή, συγκρίνοντας δυο διαφορετικούς μηχανισμούς πρόβλεψης: την άμεση ανταλλαγή προβλέψεων (Direct Collaborative forecasting-DCF) και τις αγορές πρόβλεψης που βασίζονται σε συναρτήσεις κόστους (Cost-Function-Based Prediction Markets – CFPM). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, αν και η χρήση των CFPM προσφέρει κοινές προβλέψεις με κόστος παρόμοιο με εκείνο των DCF, επιτυγχάνει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη και βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια των προβλέψεων. Σε διαφορετικό πλαίσιο οι Candogan και Gurkan (2024) διερεύνησαν τον τρόπο με τον οποίο ένας λιανοπωλητής μπορεί να αξιοποιήσει στρατηγικά την κοινοποίηση πληροφοριών σχετικά με την ζήτηση ώστε να επηρεάσει θετικά τις αποφάσεις ενός προμηθευτή για την παραγωγή. Η μελέτη κατέδειξε ότι η μερική κοινοποίηση πληροφοριών μπορεί να είναι η αποτελεσματικότερη στρατηγική, καθώς επιτρέπει στον λιανοπωλητή να ωθήσει τον προμηθευτή προς υψηλότερα επίπεδα παραγωγής επιτυγχάνοντας καλύτερη ευθυγράμμιση με τις ανάγκες της αγοράς. Τέλος οι Paulraj et al., (2025) επισήμαναν ότι ενώ η ανταλλαγή πληροφορήσης ενισχύει την καινοτομία εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας, υπάρχει ένα κρίσιμο όριο πέραν του οποίου το όφελος αντιστρέφεται λόγω πιθανής διαρροής ευαίσθητων πληροφοριών ή στρατηγικής εκμετάλλευσης. Η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία εφαρμογής κατάλληλων μηχανισμών διακυβέρνησης και ελέγχου ανταλλαγής πληροφορήσης ώστε να διασφαλίζεται διαρκής προαγωγή της καινοτομίας και, ταυτόχρονα, η προστασία των επιχειρήσεων από στρατηγικούς κινδύνους.

Συνοψίζοντας η έρευνα ανέδειξε την αλληλεπίδραση ανάμεσα στις μεθόδους πρόβλεψης, τις πολιτικές διαχείρισης αποθεμάτων και την ανταλλαγή πληροφορήσης ως πυλώνες βελτίωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η εξέλιξη από τις κλασικές τεχνικές εκθετικής εξομάλυνσης και υποδείγματα ARIMA μέχρι τα πλήρως αυτοματοποιημένα, υβριδικά συστήματα τεχνητής νοημοσύνης αποδεικνύει ότι η ακρίβεια δεν αποτελεί πλέον μεμονωμένο στατιστικό ζητούμενο,

αλλά θεμέλιο για λειτουργικά και οικονομικά οφέλη. Παράλληλα, η πολιτική Order-Up-To Level, όταν συνδυάζεται με κατάλληλες προβλέψεις και έγκαιρη κοινοποίηση δεδομένων, μπορεί να μετριάσει το bullwhip effect, μειώνοντας ταυτόχρονα κόστος και αποθέματα. Ωστόσο, τα ευρήματα υπογραμμίζουν πως η αξία της πληροφορίας όσο πολύτιμη και αν είναι απαιτεί ισορροπία ανάμεσα στη διαφάνεια και την προστασία στρατηγικών πόρων. Επομένως, η σύγχρονη έρευνα στρέφεται σε μηχανισμούς διακυβέρνησης που διασφαλίζουν συνεργασία, δίκαιη κατανομή κινδύνου και αξιοποίηση προηγμένων αναλυτικών εργαλείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Μαθηματική Ανάλυση προβλέψεων και απόδοσης αποθέματος σε εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων.

3.1 Πρόβλεψη της ζήτησης στην εφοδιαστική αλυσίδα

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μαθηματική διερεύνηση της ζήτησης και της διαχείρισης του αποθέματος σε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων με μη στάσιμη ζήτηση. Ο στόχος είναι οι ακριβείς προβλέψεις ώστε να μειωθεί το κόστος παρακράτησης αποθεμάτων, να αμβλυνθεί το bullwhip effect και να βελτιωθεί η ικανότητα εξυπηρέτησης των πελατών. Σε περίπτωση μη ακριβούς πρόβλεψης οδηγούμαστε στο γνωστό φαινόμενο bullwhip (Chen et al, 2000), όπου όταν γίνονται μικρές μεταβολές στη ζήτηση των καταναλωτών προκαλούνται σημαντικές διακυμάνσεις στα ανώτερα στάδια της αλυσίδας. Αρχικά αναλύεται η πολιτική αναπλήρωσης Order up to level και παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο της ζήτησης. Στην συνέχεια αναπτύσσονται οι μαθηματικές σχέσεις που συνδέουν τη ζήτηση με τα σφάλματα πρόβλεψης και τη διακύμανση τους. Σε αυτό το πλαίσιο ανάλυσης εξετάζονται δύο σενάρια – της μη ανταλλαγής πληροφορίας (No information sharing, NIS) και της πλήρους ανταλλαγής πληροφορίας (Full information sharing, FIS) και αναλύεται πως η διαθεσιμότητα δεδομένων μεταβάλλει την παραγγελία του προμηθευτή. Για κάθε σενάριο παρουσιάζεται το αναμενόμενο επίπεδο διαθεσίμου αποθέματος υποδεικνύοντας πως με πλήρη ανταλλαγή πληροφορίας οδηγούμαστε σε μειωμένη διακύμανση και χαμηλότερα αποθέματα.

3.2 Δομή σε εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων

Στο πλαίσιο των υποθέσεων της παρούσας μελέτης, εξετάζεται μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων, η οποία αποτελεί μια από τις πλέον θεμελιώδεις και ευρέως χρησιμοποιούμενες δομές στη βιβλιογραφία της διαχείρισης εφοδιασμού. Το ανώτερο στάδιο (upstream) της αλυσίδας αντιπροσωπεύεται από τον προμηθευτή, ενώ το κατώτερο στάδιο (downstream) από τον λιανοπωλητή. Στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου (t), ο λιανοπωλητής πραγματοποιεί επιθεώρηση του διαθεσίμου αποθέματος και καταγράφει την ζήτηση D_t που εκδηλώθηκε την συγκεκριμένη περίοδο. Λαμβάνοντας υπόψη την παρατηρηθείσα ζήτηση και εφαρμόζοντας την επιθυμητή πολιτική διαχείρισης αποθεμάτων, η οποία στο παρόν πλαίσιο θεωρείται ως πολιτική τύπου Order

up to level, προχωρά στην υποβολή παραγγελίας q_t , η ποσότητα της οποίας θα είναι ικανή να καλύψει τη ζήτηση για την τρέχουσα περίοδο αλλά και την αναπλήρωση του στοχευμένου επιπέδου αποθέματος για την περίοδο μεταξύ t και $t-1$ λαμβάνοντας υπόψη ενδεχόμενες διορθώσεις στην πρόβλεψη της συνολικής ζήτησης. Η χρονική απόσταση μεταξύ της τοποθέτησης της παραγγελίας q_t και της παραλαβής της από τον λιανοπωλητή, ονομάζεται χρόνος παράδοσης (lead time) και συμβολίζεται ως L . Η ζήτηση του καταναλωτή θεωρείται στοχαστική και μη στάσιμη και ακολουθεί υπόδειγμα ζήτησης ARIMA (0,1,1). Το συγκεκριμένο υπόδειγμα περιγράφεται από την σχέση :

$$D_t = D_{t-1} - (1 - \alpha)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

3.3 Πολιτική στοχευμένου επιπέδου αποθέματος : Order-Up-To (OUT)

Στην πολιτική Order-Up-To Level, γνωστή και ως περιοδική πολιτική αναθεώρησης (R, S), σε κάθε περίοδο αναθεώρησης το απόθεμα συμπληρώνεται ώστε να φτάνει σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο S. Το επίπεδο αυτό επιλέγεται έτσι ώστε να καλύπτει τη συνολική ζήτηση που αναμένεται να προκύψει κατά τον χρόνο παράδοσης (L), συν ένα επιπλέον απόθεμα ασφαλείας που καλύπτει την αβεβαιότητα της ζήτησης. Συμβολικά μπορούμε να εκφράσουμε ότι το στοχευμένο επίπεδο αποθέματος OUT περιγράφεται από την σχέση :

$$S_t = E(D_t) + SS$$

Όπου $E(D_t)$ ο όρος αναφέρεται στην αναμενόμενη συνολική ζήτηση κατά τον χρόνο παράδοσης (L), ενώ ο όρος SS είναι το απόθεμα ασφαλείας (safety stock) που εκφράζεται σύμφωνα με τους Silver et al.,(2017) από την σχέση :

$$SS = k\sigma_L$$

Ο όρος k είναι ο συντελεστής ασφαλείας ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση :

$$k = \Phi^{-1} \frac{b}{b + h}$$

Ενώ σ_L είναι η τυπική απόκλιση των σφαλμάτων. Στην σχέση αυτή όπου Φ^{-1} είναι η αντίστροφη συνάρτηση της τυποποιημένης κανονικής κατανομής υπολογιζόμενη στο $b/(b+h)$, ο όρος b είναι το κόστος έλλειψης και ο όρος h είναι το κόστος παρακράτησης .

3.4 Μαθηματικό μοντέλο της ζήτησης και διαχείριση του αποθέματος

Η ζήτηση στο επίπεδο του λιανοπωλητή που όπως αναφέρθηκε θα ακολουθεί ARIMA (0,1,1) περιγράφεται από την εξίσωση :

$$D_t = D_{t-1} - (1 - a)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Το a είναι μια σταθερά εξομάλυνσης, Όπου ε_t το τυχαίο σφάλμα που ακολουθεί κανονική κατανομή με μέσο 0 και διακύμανση σ_ε^2 ($\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$). Από την μαθηματική εξίσωση (1) βλέπουμε πως ο υπολογισμός της ζήτησης προκύπτει χρησιμοποιώντας την ζήτηση στην προηγούμενη περίοδο ($t-1$) και τα τυχαία σφάλματα από την προηγούμενη χρονική περίοδο (ε_{t-1}) και την τωρινή περίοδο ε_t . Με την χρήση του συντελεστή $(1-a)$ στην εξίσωση καθορίζεται το πόσο το τυχαίο σφάλμα (ε_{t-1}) θα επηρεάσει τη ζήτηση στην τωρινή περίοδο. Ο υπολογισμός της συνολικής ζήτησης του λιανοπωλητή που αναμένεται να έχει για μια περίοδο L καθώς και η αναμενόμενη διακύμανση της ζήτησης , βασίζεται στις μαθηματικές σχέσεις της Babai et al(2013) :

$$E\left(\sum_{i=1}^{L+1} D_{t+i} \mid D_t\right) = (L + 1)[D_t - (1 - a)\varepsilon_t] \quad (2)$$

$$Var\left(\sum_{i=1}^{L+1} D_{t+i} \mid D_t\right) = \sum_{i=0}^L (1 + ai)^2 \sigma_\varepsilon^2 \quad (3)$$

Η εξίσωση (2) αποδίδει την προβλεπόμενη τιμή της ζήτησης, η οποία αποτελεί θεμελιώδη συνιστώσα για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων αποθεμάτων. Παράλληλα, η εξίσωση (3) επιτρέπει τον υπολογισμό της διακύμανσης του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης για το χρονικό διάστημα από $t+1$ έως $t+L+1$, προσφέροντας μια ποσοτική εκτίμηση των πιθανών αποκλίσεων από τις αναμενόμενες τιμές. Εντός της εξίσωσης (3) περιλαμβάνεται και η παράμετρος σ_ε^2 , η οποία εκφράζει τη διακύμανση του τυχαίου σφάλματος ε_t . Η παρουσία της εν

λόγω παραμέτρου υποδηλώνει τη στοχαστική φύση της ζήτησης στο πλαίσιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, αναδεικνύοντας τη σημασία της κατανόησης της μεταβλητότητας ως κρίσιμου παράγοντα για τον ορθολογικό καθορισμό των αποθεμάτων ασφαλείας. Ο κατάλληλος προσδιορισμός αυτών των αποθεμάτων αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου ελλείψεων, συμβάλλοντας έτσι στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος εφοδιασμού.

Με βάση την μελέτη των Babai et al , (2013) ο υπολογισμός της διακύμανσης του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης δίνεται στη μορφή :

$$V_{RETAILER} = Var\left(\sum_{i=1}^{L+1} D_{t+i} | D_t\right) = \left[1 + L + L(L+1)a + \frac{L(L+1)(2L+1)}{6}a^2\right]\sigma_\varepsilon^2 \quad (4)$$

Η εξίσωση (4) ενσωματώνει την παράμετρο a του υποδείγματος ARIMA, καθώς και τον χρόνο παράδοσης (L), ο οποίος συνιστά κρίσιμο παράγοντα για την ορθή εκτίμηση της διακύμανσης της ζήτησης. Ο ακριβής προσδιορισμός του χρόνου παράδοσης είναι απαραίτητος, καθώς ενδεχόμενα σφάλματα στον υπολογισμό του ενδέχεται να οδηγήσουν σε ανεπαρκή αποθέματα, αυξάνοντας τον επιχειρησιακό κίνδυνο. Από την εν λόγω εξίσωση προκύπτει ότι η αύξηση του χρόνου παράδοσης (L) συνεπάγεται και αύξηση της τιμής του $V_{RETAILER}$, γεγονός που καταδεικνύει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα μέχρι την αναπλήρωση των αποθεμάτων, τόσο ενισχύεται η αβεβαιότητα στη ζήτηση και υποβαθμίζεται η ακρίβεια των προβλέψεων. Επιπροσθέτως, καθοριστικό ρόλο στην εξίσωση διαδραματίζει ο συντελεστής εξομάλυνσης a , ο οποίος εκφράζει τη σχετική βαρύτητα των παρελθουσών τιμών των σφαλμάτων στην τρέχουσα εκτίμηση, επηρεάζοντας άμεσα την ευαισθησία του υποδείγματος στις μεταβολές της ζήτησης .

Όπως έχει αναφερθεί ο λιανοπωλητής εφαρμόζει πολιτική διαχείρισης αποθεμάτων τύπου Order up to level (OUT). Συγκεκριμένα σε κάθε χρονική περίοδο ($t=1,2,3\dots$) πραγματοποιεί επιθεώρηση του υφιστάμενου αποθέματος. Δεδομένου ότι σε αυτή την φάση γνωρίζει την ζήτηση της περιόδου που είναι πλέον γνωστή, ο λιανοπωλητής προχωρά στην υποβολή παραγγελίας q_t , προκειμένου το συνολικό επίπεδο αποθέματος του να φθάσει στο επιθυμητό επίπεδο OUT το οποίο συμβολίζεται με S_t . Την παραγγελία q_t θα την παραλάβει στην αρχή της περιόδου $t+L+1$. (Lee et al.,2000). Συνεπώς το μέγεθος της παραγγελίας q_t προσδιορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση :

$$q_t = S_t + (S_t - S_{t-1}) \quad (5)$$

Η σχέση (5) υποδεικνύει ότι η παραγγελία, q_t , που δίνεται την χρονική στιγμή t θα είναι ίση με το άθροισμα της ζήτησης και της διαφοράς του επιπέδου αποθέματος στο τέλος των περιόδων t και $t-1$. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η άμεση κάλυψη της ζήτησης και ρυθμίζεται το απόθεμα στο επιθυμητό επίπεδο OUT. Να σημειωθεί ότι το επιθυμητό επίπεδο OUT σύμφωνα με τους Babai et al (2013) θα δίνεται από την σχέση :

$$S_t = (L + 1)[D_t - (1 - \alpha)\varepsilon_t] + \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) \times \sigma_\varepsilon \sqrt{1 + L + L(L + 1)a + \frac{l(l + 1)(2l + 1)}{6}a^2} \quad (6)$$

Στην συγκεκριμένη μαθηματική σχέση υπάρχουν δύο μέρη:

1. $(L + 1)[D_t - (1 - \alpha)\varepsilon_t]$ Εκφράζει την αναμενόμενη ζήτηση για τις επόμενες $L+1$ περιόδους (συμπεριλαμβανομένης της περιόδου επανεξέτασης), λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαδικασία ARIMA(0,1,1) έχει ως πρόβλεψη επόμενης περιόδου τη μορφή

$$D_t - (1 - \alpha)\varepsilon_t$$

2. $\Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) \times \sigma_\varepsilon \sqrt{1 + L + L(L + 1)a + \frac{l(l+1)(2l+1)}{6}a^2}$ Το σκέλος αυτό της εξίσωσης αποτελεί την ασφάλεια που προστίθεται στην πρόβλεψη, ώστε να επιτευχθεί συγκεκριμένο επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών. Ο όρος Φ^{-1} είναι το αντίστροφο της κανονικής συνάρτησης κατανομής και σχετίζεται με την πιθανότητα εξυπηρέτησης που επιθυμεί να επιτύχει η επιχείρηση, βασισμένη στο λόγο κόστους $(b/(b+h))$

3.5 Πολιτική παραγγελιών του Προμηθευτή

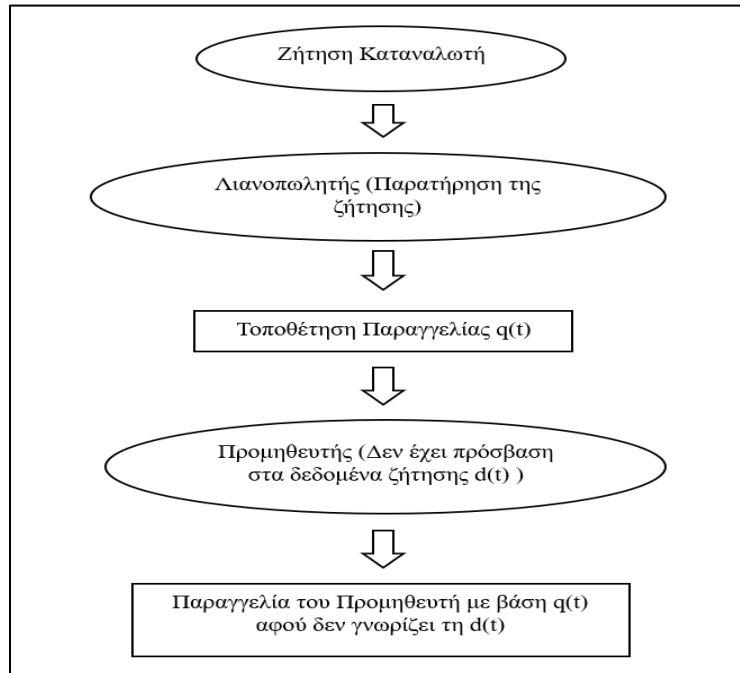
Η διαδικασία παραγγελίας από την πλευρά του προμηθευτή διαμορφώνεται ανάλογα με το επίπεδο ανταλλαγής πληροφοριών εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας. Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει διαμοιρασμός δεδομένων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, ο προμηθευτής βασίζεται αποκλειστικά στις παραγγελίες που λαμβάνει από τον λιανοπωλητή, χωρίς πρόσβαση σε στοιχεία της τελικής ζήτησης. Το συγκεκριμένο πλαίσιο χαρακτηρίζεται ως σενάριο μη ανταλλαγής πληροφορίας (No Information Sharing – NIS). Αντιθέτως, όταν ο προμηθευτής έχει πλήρη πρόσβαση στα δεδομένα ζήτησης του λιανοπωλητή, διαμορφώνεται ένα περιβάλλον πλήρους ανταλλαγής πληροφορίας (Full Information Sharing – FIS), το οποίο επιτρέπει την αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων και τον καλύτερο συγχρονισμό εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας.

3.5.1 Το σενάριο της μη ανταλλαγής πληροφορίας (NIS)

Στο πλαίσιο του σεναρίου NIS, κάθε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας εκτελεί ανεξάρτητες προβλέψεις, βασισμένο αποκλειστικά στις πληροφορίες που διαθέτει. Ο λιανοπωλητής δεν κοινοποιεί τα στοιχεία της ζήτησης στον προμηθευτή, με αποτέλεσμα ο τελευταίος να έχει στη διάθεσή του μόνο τις παραγγελίες που του υποβάλλονται. Δεδομένου ότι οι παραγγελίες του λιανοπωλητή αντανακλούν τη ζήτηση, η οποία ακολουθεί τη στοχαστική διαδικασία $ARIMA(0,1,1)$, τότε και η ζήτηση που αντιλαμβάνεται ο προμηθευτής και κατ' επέκταση διαμορφώνει τη δική του προβλεπόμενη ζήτηση θα ακολουθεί το ίδιο υπόδειγμα $ARIMA(0,1,1)$. Συμβολίζοντας τη ζήτηση του προμηθευτή με Y_t , ισχύει ότι αυτή ταυτίζεται με την παραγγελία που λαμβάνει από τον λιανοπωλητή. Κατά συνέπεια με βάση την σχέση (5) θα έχουμε:

$$Y_t = D_t + (S_t - S_{t-1}) \quad (7)$$

Εικόνα 3.1 Διάγραμμα ροής πληροφορίας στη στρατηγική NIS



Με βάση την εξίσωση (6) που υπολογίζει το επιθυμητό επίπεδο OUT υπολογίζουμε αρχικά την διαφορά $S_t - S_{t-1}$. Θα ισχύει :

$$\begin{aligned}
 S_t - S_{t-1} &= (L + 1)[D_t - (1 - \alpha)\varepsilon_t] \\
 &+ \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) x\sigma_\varepsilon \sqrt{1 + L + L(L + 1)a + \frac{l(l + 1)(2l + 1)}{6}a^2} \\
 &- (L + 1)[D_{t-1} - (1 - \alpha)\varepsilon_{t-1}] \\
 &+ \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) x\sigma_\varepsilon \sqrt{1 + L + L(L + 1)a + \frac{l(l + 1)(2l + 1)}{6}a^2}
 \end{aligned}$$

Καθώς οι δύο όροι με το Φ^{-1} είναι αντίθετοι απαλείφονται , με αποτέλεσμα :

$$\begin{aligned}
S_t - S_{t-1} &= (L+1)[D_t - (1-\alpha)\varepsilon_t] - (L+1)[D_{t-1} - (1-\alpha)\varepsilon_{t-1}] \Rightarrow S_t - S_{t-1} \\
&= (L+1)D_t - (L+1)(1-\alpha)\varepsilon_t - (L+1)D_{t-1} + (L+1)(1-\alpha)\varepsilon_{t-1} \Rightarrow S_t \\
&- S_{t-1} = (L+1)(D_t - D_{t-1}) - (L+1)(1-\alpha)(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) \quad (8)
\end{aligned}$$

Για το υπόδειγμα Arima (0,1,1) ισχύει $D_t - D_{t-1} = -(1-\alpha)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$. Αντικαθιστώ αυτή την σχέση στη σχέση (8) και θα έχω :

$$\begin{aligned}
S_t - S_{t-1} &= (L+1)[-(1-\alpha)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t] - (L+1)(1-\alpha)(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) \\
&= -(L+1)[(1-\alpha)\varepsilon_{t-1} - \varepsilon_t] - (L+1)(1-\alpha)(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) \\
&= -(L+1)(1-\alpha)\varepsilon_{t-1} + (L+1)\varepsilon_t - (L+1)(1-\alpha)\varepsilon_t + (L+1)(1-\alpha)\varepsilon_{t-1} \\
&= (L+1)\varepsilon_t - (L+1)(1-\alpha)\varepsilon_t = (L+1)\varepsilon_t - [(L+1)\varepsilon_t - (L+1)a\varepsilon_t] \\
&= (L+1)\varepsilon_t - (L+1)\varepsilon_t + (L+1)a\varepsilon_t
\end{aligned}$$

Άρα θα ισχύει :

$$S_t - S_{t-1} = (L+1)a\varepsilon_t \quad (9)$$

Αντικαθιστούμε την (9) στην σχέση (7) που δίνει την παραγγελία του προμηθευτή και θα έχουμε:

$$Y_t = D_t + (S_t - S_{t-1}) = D_t + (L+1)a\varepsilon_t$$

Από το υπόδειγμα Arima (0,1,1) ισχύει: $D_t = D_{t-1} - (1-\alpha)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$. Οπότε αντικαθιστώντας και αυτό στην σχέση (7) θα ισχύει :

$$\begin{aligned}
Y_t = D_t + (S_t - S_{t-1}) &= D_t + (L+1)a\varepsilon_t = D_{t-1} - (1-\alpha)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t + (L+1)a\varepsilon_t \\
&= D_{t-1} - (1-\alpha)\varepsilon_{t-1} + [1 + (L+1)a]\varepsilon_t \quad (10)
\end{aligned}$$

Εφ' όσον ισχύει $Y_t = D_t + (L+1)a\varepsilon_t$ ομοίως για t-1 θα ισχύει :

$$Y_{t-1} = D_{t-1} + (L+1)a\varepsilon_{t-1} \quad (10a)$$

Αντικαθιστώ την σχέση (10a) στην σχέση (10) η οποία παίρνει την μορφή

$$Y_t = Y_{t-1} - [(L + 1)a + (1 - a)]\varepsilon_{t-1} + [1 + (L + 1)a]\varepsilon_t \quad (11)$$

Η ζήτηση του προμηθευτή ακολουθεί υπόδειγμα Arima (0,1,1) και περιγράφεται ως εξής :

$$Y_t = Y_{t-1} - (1 - \beta)\xi_t + \xi_t \quad (11a)$$

Με βάση την (11a) και την σχέση (11) μπορούμε να θεωρήσουμε πως :

$$\xi_t = [1 + (L + 1)a]\varepsilon_t$$

Και αντίστοιχα

$$[(L + 1)a + (1 - a)]\varepsilon_{t-1} = (1 - \beta)\xi_{t-1}$$

Αντικαθιστώντας όπου $\xi_{t-1} = [1 + (L + 1)a]\varepsilon_{t-1}$ και λύνοντας ως προς β θα ισχύει

$$\begin{aligned} [(L + 1)a + (1 - a)]\varepsilon_{t-1} &= (1 - \beta)[1 + (L + 1)a]\varepsilon_{t-1} \Rightarrow (L + 1)a + (1 - a) \\ &= (1 - \beta)[1 + (L + 1)a] \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1 + (L + 1)a} \end{aligned}$$

Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε πως η παράμετρος β :

$$\beta = \frac{\alpha}{1 + (L + 1)a} \quad (12)$$

Ο συντελεστής β που υπολογίσαμε είναι η νέα παράμετρος εξομάλυνσης που επηρεάζει το βαθμό που τα παλαιότερα σφάλματα πρόβλεψης της ζήτησης ,τα οποία ενσωματώνονται στις παραγγελίες , θα επηρεάσουν την τρέχουσα πρόβλεψη ζήτησης στον προμηθευτή.

Ορίζοντας $\xi_t = \varepsilon_t[1 + (L + 1)a]$ το οποίο είναι το νέο τυχαίο σφάλμα όταν δεν μοιράζονται πληροφορίες προμηθευτής και λιανοπωλητής (Babai et al , 2013) . Η διακύμανση του ξ_t θα υπολογίζεται ως εξής :

$Var(\xi_t) = [1 + (L + 1)a]^2 * Var(\varepsilon_t)$. Η διακύμανση του ε_t είναι γνωστή και ίση με σ_ε^2 . Άρα θα ισχύει : $Var(\xi_t) = [1 + (L + 1)a]^2 * \sigma_\varepsilon^2$. Άρα θα ισχύει

$$\sigma_\xi^2 = [1 + (L + 1)a]^2 * \sigma_\varepsilon^2 \quad (13)$$

Με βάση τις εξισώσεις (2) και (3) η αναμενόμενη συνολική ζήτηση του προμηθευτή θα δίνεται από την εξίσωση :

$$E\left(\sum_{i=1}^{L+1} Y_{t+i} | Y_t\right) = (L + 1)[Y_t - (1 - \beta)\xi_t] \quad (14)$$

Ενώ η διακύμανση της ζήτησης από την εξίσωση :

$$Var\left(\sum_{i=1}^{L+1} Y_{t+i} | Y_t\right) = \sum_{i=0}^L (1 + bi)^2 \sigma_\xi^2 \quad (15)$$

Το άθροισμα της διακύμανσης των σφαλμάτων στην στρατηγική NIS εκφράζεται από την σχέση:

$$V_M^{NIS} = \left[1 + L + L(L + 1)\beta + \frac{L(L + 1)(2L + 1)}{6}\beta^2\right] \sigma_\xi^2 \quad (16)$$

Στην εξίσωση 16 χρησιμοποιείται η νέα παράμετρος εξομάλυνσης β και η διακύμανση του νέου τυχαίου σφάλματος ξ_t , η σ_ξ^2 . Αντίστοιχα το επιθυμητό επίπεδο αποθέματος OUT (St) στον χρόνο t θα δίνεται από την σχέση :

$$S_t = (L + 1)[Y_t - (1 - \beta)\xi_t] + \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) \times \sigma_\xi \sqrt{1 + L + L(L + 1)\beta + \frac{L(L+1)(2L+1)}{6}\beta^2} \quad (17)$$

3.5.2 Το σενάριο της πλήρους ανταλλαγής πληροφορήσης (Full information sharing -FIS)

Με βάση την στρατηγική αυτή ο προμηθευτής έχει πρόσβαση όχι μόνο στις παραγγελίες του λιανοπωλητή αλλά και στα δεδομένα ζήτησης του λιανοπωλητή. Άρα η ζήτηση του προμηθευτή θα είναι ίδια με την ζήτηση του λιανοπωλητή που όπως υποθέσαμε ακολουθεί ARIMA (0,1,1) και εκφράζεται από την σχέση (1)

$$D_t = D_{t-1} - (1 - a)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

Όπου a είναι η παράμετρος εξομάλυνσης και ε_t είναι το τυχαίο σφάλμα. Η διακύμανση του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης για τον προμηθευτή στο σενάριο πλήρους ανταλλαγής πληροφορήσης περιγράφεται από την σχέση που θα είναι :

Εικόνα 3.3 Στρατηγικές No information sharing & Full information sharing

Στρατηγική	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
No information Sharing (NIS)	Ο προμηθευτής έχει πρόσβαση μόνο στις παραγγελίες του λιανοπωλητή	Απλή στρατηγική με χαμηλό κόστος στην εφαρμογή της	Υψηλότερη μεταβλητότητα , μεγαλύτερο bullwhip effect
Full information sharing (FIS)	Ο προμηθευτής έχει πρόσβαση και στην ζήτηση του λιανοπωλητή	Επιτυγχάνεται μείωση bullwhip effect , ικανοποίηση της ζήτησης , μείωση του κόστους αποθεμάτων	Πιο Πολύπλοκη διαδικασία , απαιτήσεις τεχνολογικής υποδομής

Συνεπώς θα ισχύει :

$$V_{SUPPLIER} = V_{RETAILER} = \left[1 + L + L(L + 1)a + \frac{L(L + 1)(2L + 1)}{6}a^2 \right] \sigma_{\varepsilon}^2 \quad (18)$$

Το άθροισμα την διακύμανσης των σφαλμάτων πρόβλεψης για τον προμηθευτή θα αντιστοιχεί στον υπολογισμό του αθροίσματος της διακύμανσης των σφαλμάτων πρόβλεψης του λιανοπωλητή και θα εξαρτάται αντίστοιχα από τον χρόνο αναπλήρωσης L , την παράμετρο εξομάλυνσης a και την διακύμανση σ_{ε}^2 . Επειδή ο Λιανοπωλητής και ο προμηθευτής μοιράζονται πληροφορίες ζήτησης στην ουσία ο προμηθευτής χρησιμοποιεί τους ίδιους υπολογισμούς με τους αντίστοιχους του λιανοπωλητή. Οι εκτιμήσεις ζήτησης είναι πιο αξιόπιστες και οδηγούν σε καλύτερη διαχείριση του αποθέματος και των παραγγελιών.

3.6 Αναμενόμενο επίπεδο διαθεσίμου αποθέματος

3.6.1 Αναμενόμενο επίπεδο διαθεσίμου αποθέματος για το σενάριο NIS

Έχοντας υπολογίσει την διακύμανση του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης για το σενάριο NIS στη συνέχεια η αναμενόμενη τιμή του επιπέδου αποθέματος του προμηθευτή δίνεται από την σχέση :

$$E(I_M^{NIS}) \approx \Phi^{-1} \left(\frac{b}{b+h} \right) \sigma_{\xi} \sqrt{1 + L + L(L + 1)\beta + \frac{L(L + 1)(2L + 1)}{6}\beta^2} \quad (19)$$

Στην σχέση 19 χρησιμοποιείται η αντίστροφη συνάρτηση κανονικής κατανομής $\Phi^{-1} \left(\frac{b}{b+h} \right)$ για να καθορίσει το επίπεδο εξυπηρέτησης που θέλουμε να πετύχουμε στην πολιτική διαχείρισης Order up to level. Έστω κόστος έλλειψης $b = 25$ και h , κόστος διακράτησης αποθεμάτων $= 1$ (babai et al, 2013) Θα ισχύει $\frac{b}{b+h} = \frac{25}{26} = 0,96$. Ο λόγος $\frac{b}{b+h}$ δίνει τον στόχο να εξυπηρετείται το 96% της ζήτησης (επίπεδο εξυπηρέτησης 96%). Η αντίστροφη συνάρτηση κατανομής $\Phi^{-1}(0,96) \approx 1,75$ δίνει την πιθανότητα να επιτευχθεί αυτός ο στόχος υπολογίζοντας το απόθεμα ασφαλείας που απαιτείται . Στην σχέση (19) χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση του σφάλματος ξ (σ_{ξ}) και ο

συντελεστής β ο οποίος είναι η νέα παράμετρος εξομάλυνσης που υπολογίσαμε (εξίσωση 12) και προέκυψε από το αρχικό συντελεστή εξομάλυνσης α της ζήτησης Arima (0,1,1).

3.6.2 Αναμενόμενο επίπεδο διαθεσίμου αποθέματος για το σενάριο FIS

Το επιθυμητό επίπεδο αποθέματος OUT (S_t) για τον προμηθευτή στο πλαίσιο της εφαρμογής του σεναρίου FIS θα προσδιορίζεται από την σχέση :

$$S_t = (L + 1)[D_t - (1 - \alpha)\varepsilon_t] + \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) \times \sigma_\varepsilon \sqrt{1 + L + L(L + 1)\alpha + \frac{l(l + 1)(2l + 1)}{6}\alpha^2} \quad (20)$$

Η εξίσωση (20) επιτρέπει στον προμηθευτή να υπολογίσει το απαιτούμενο επίπεδο αποθέματος, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την προβλεπόμενη ζήτηση όσο και την πιθανότητα εμφάνισης αποθέματος ασφαλείας, με σκοπό την αποφυγή ελλείψεων. Παρόμοια με τη λογική που ακολουθείται στη σχέση (6), στη συγκεκριμένη διατύπωση περιλαμβάνεται η αναμενόμενη ζήτηση, η πιθανότητα εξάντλησης του αποθέματος (μέσω της αντίστροφης συνάρτησης κατανομής Φ^{-1}) καθώς και η διακύμανση της ζήτησης. Η ειδοποιός διαφορά σε σχέση με τη στρατηγική μη ανταλλαγής πληροφορήσης (NIS) είναι η ενσωμάτωση της παραμέτρου εξομάλυνσης α και της τυπικής απόκλισης σ_ε , οι οποίες είναι διαθέσιμες λόγω της ύπαρξης κοινής πληροφορήσης. Επιπλέον στην στρατηγική FIS η αναμενόμενη τιμή του αποθέματος θα δίνεται από την σχέση :

$$E(I_M^{FIS}) \approx \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) \sigma_\varepsilon \sqrt{1 + L + L(L + 1)\alpha + \frac{L(L + 1)(2L + 1)}{6}\alpha^2} \quad (21)$$

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η βασική διαφορά σε σχέση με την αντίστοιχη εξίσωση της στρατηγικής NIS εντοπίζεται στη χρήση του συντελεστή εξομάλυνσης α και της τυπικής απόκλισης σ_ε , που αντανakλούν την ακρίβεια των προβλέψεων ζήτησης του λιανοπωλητή, τις οποίες αξιοποιεί πλέον και ο προμηθευτής. Η σύγκριση των διακυμάνσεων των αποθεμάτων υπό

τα δύο σενάρια καταδεικνύει ότι $V(NIS) > V(FIS)$. Το γεγονός αυτό τεκμηριώνεται από την σχέση :

$$\sigma_{\xi}^2 = [1 + (L + 1)a]^2 * \sigma_{\varepsilon}^2 \quad \text{η οποία υποδηλώνει ότι } \sigma_{\xi}^2 > \sigma_{\varepsilon}^2.$$

Παράλληλα, ο συντελεστής εξομάλυνσης που χρησιμοποιείται στην στρατηγική NIS, και περιγράφεται από την σχέση :

$$\beta = \frac{\alpha}{[1 + (L + 1)a]} < \alpha, \text{ είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο } \alpha \text{ της στρατηγικής FIS. Αυτό προκύπτει}$$

λόγω της ενσωμάτωσης στον υπολογισμό του χρόνου παράδοσης L και έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της επιρροής των πρόσφατων σφαλμάτων πρόβλεψης. Όσο αυξάνεται ο χρόνος αναπλήρωσης, ο προμηθευτής, υπό τη στρατηγική NIS, βασίζεται ολοένα και περισσότερο σε παλαιότερα, και ενδεχομένως λιγότερο αντιπροσωπευτικά, ιστορικά δεδομένα. Αυτό μειώνει την προσαρμοστικότητα των προβλέψεων στις πρόσφατες μεταβολές της ζήτησης και, κατ' επέκταση, αυξάνει την αβεβαιότητα, γεγονός που καθιστά απαραίτητο ένα υψηλότερο επίπεδο αποθέματος ασφαλείας. Αντίθετα στην στρατηγική FIS, η διακύμανση $V(FIS)$ είναι μικρότερη γεγονός που αντικατοπτρίζει υψηλότερη ακρίβεια στις προβλέψεις. Συνεπώς, το σφάλμα μεταξύ των πραγματικών και των προβλεπόμενων τιμών είναι περιορισμένο, οδηγώντας σε αποτελεσματικότερη διαχείριση των αποθεμάτων. Τέλος ισχύει $E(I_M^{NIS}) > E(I_M^{FIS})$ καθώς $\sigma_{\xi} > \sigma_{\varepsilon}$ και $V(NIS) > V(FIS)$. Συνεπώς, το αναμενόμενο επίπεδο αποθέματος υπό το σενάριο μη ανταλλαγής πληροφορήσης (NIS) είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο της στρατηγικής πλήρους ανταλλαγής πληροφορήσης (FIS). Η διαφορά αυτή οφείλεται στην αυξημένη διακύμανση της ζήτησης που παρατηρείται στη NIS λόγω της απουσίας πληροφοριών, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη αβεβαιότητα και, κατά συνέπεια, σε αυξημένες ανάγκες για απόθεμα ασφαλείας.

Τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν από την ανάλυση των αντίστοιχων μαθηματικών σχέσεων, οι οποίες ποσοτικοποιούν τη συμπεριφορά των δύο στρατηγικών (NIS και FIS) ως προς τη διαχείριση αποθέματος. Η συγκριτική μελέτη των εξισώσεων (20) και (21), καθώς και των παραμέτρων που τις επηρεάζουν (όπως η διακύμανση των σφαλμάτων πρόβλεψης και ο συντελεστής εξομάλυνσης), τεκμηριώνει ότι η στρατηγική NIS οδηγεί σε υψηλότερη διακύμανση και συνεπώς σε αυξημένο αναμενόμενο επίπεδο αποθέματος. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη θεωρητική και μαθηματική ανάλυση των εξισώσεων, πρόκειται να επιβεβαιωθούν μέσω εμπειρικής αριθμητικής προσέγγισης στο τέταρτο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, θα ακολουθήσει εφαρμογή ανάλυσης στο λογισμικό EViews, με τη χρήση πραγματικών δεδομένων ζήτησης, προκειμένου να αξιολογηθεί η εγκυρότητα των θεωρητικών ευρημάτων και να αποτυπωθεί η συμπεριφορά των υπό μελέτη στρατηγικών (FIS και NIS) σε πρακτικό πλαίσιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Εφαρμογή μεθοδολογίας σε χρονοσειρές ζήτησης με χρήση EViews

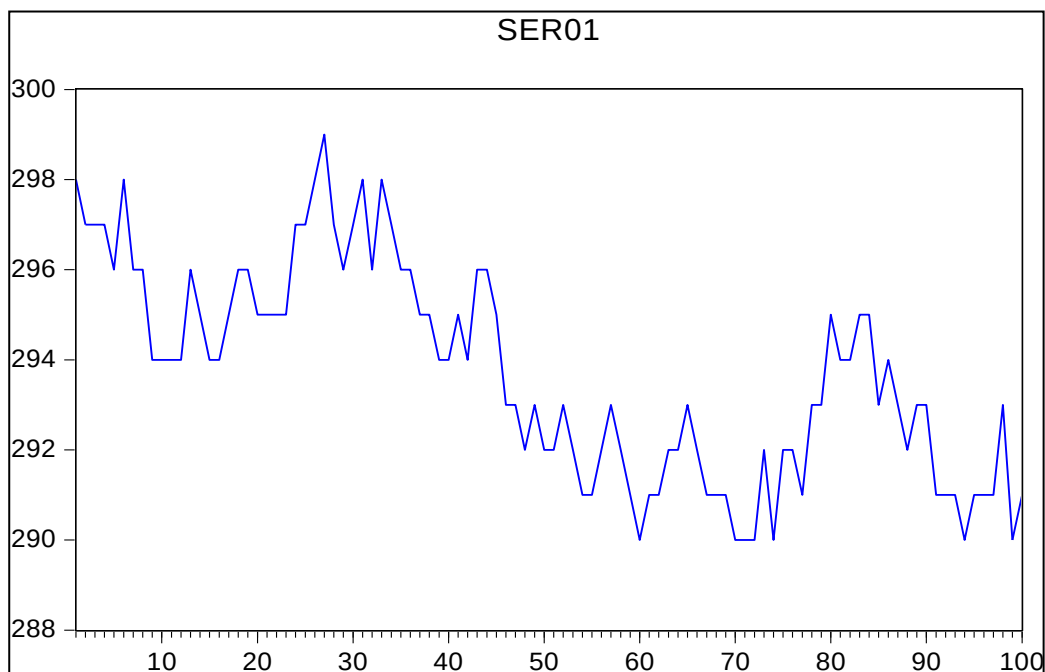
Στο παρόν κεφάλαιο αυτό γίνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3 με δεδομένα ζήτησης για πέντε διαφορετικά προϊόντα λιανικής. Τα δεδομένα καταγράφονται σε εβδομαδιαία βάση για διάστημα 100 εβδομάδων. Ενδέχεται να έχουν διαφορετικές τάσεις, εποχικότητα ή μεταβλητότητα στη ζήτηση. Η διαδικασία που θα χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνει την εισαγωγή στο οικονομετρικό πακέτο e-views των δεδομένων ζήτησης, την ταυτοποίηση για κάθε σειρά του υποδείγματος ARIMA μέσω της εντολής (‘Automatic forecasting ARIMA’) και τον έλεγχο των υποθέσεων του σφάλματος που αφορούν την ετεροσκεδαστικότητα, την κανονική κατανομή των σφαλμάτων και έλεγχο αυτοσυσχέτισης.

4.1 Ανάλυση δεδομένων ζήτησης, χρονοδιάγραμματα και έλεγχος στασιμότητας των σειρών

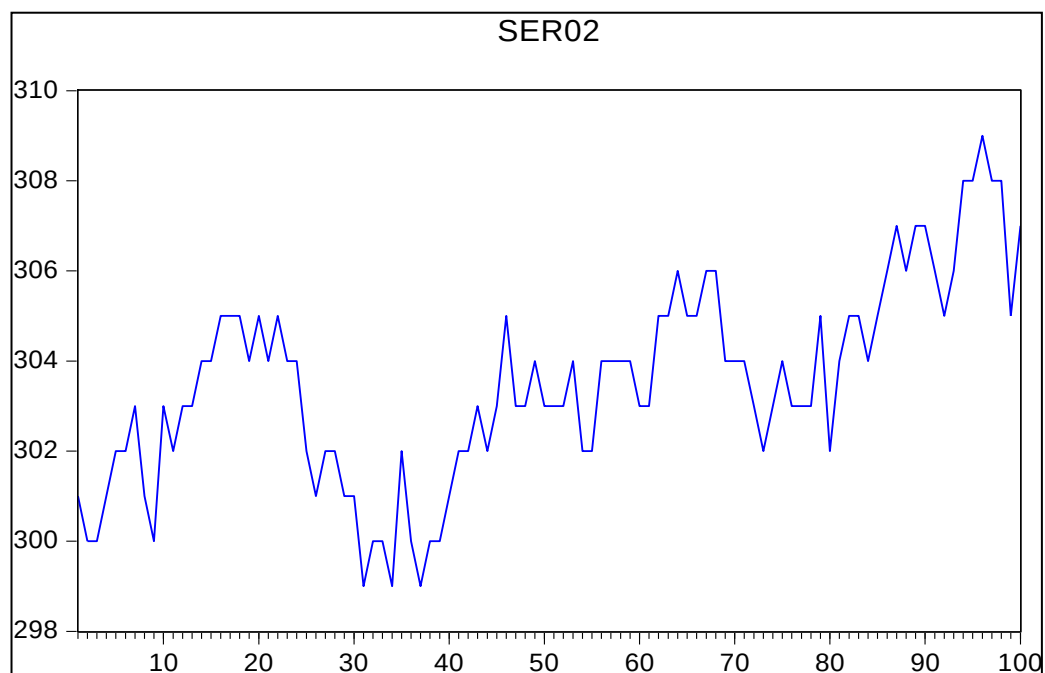
4.1.1 Ανάλυση δεδομένων ζήτησης και χρονοδιάγραμματα

Με την ένταξη των δεδομένων στο οικονομετρικό πρόγραμμα παράγονται διαγράμματα χρονοσειρών (time-series plots) που αποτυπώνουν γραφικά την εξέλιξη της ζήτησης κάθε προϊόντος στον χρόνο. Η οπτική αυτή αναπαράσταση διευκολύνει τον εντοπισμό εποχικών μοτίβων, κυκλικών διακυμάνσεων και γενικότερων τάσεων στις πωλήσεις, προσφέροντας ένα πληρέστερο πλαίσιο κατανόησης της συμπεριφοράς της αγοράς. Ακολούθως παρουσιάζονται και αναλύονται τα διαγράμματα των πέντε χρονοσειρών.

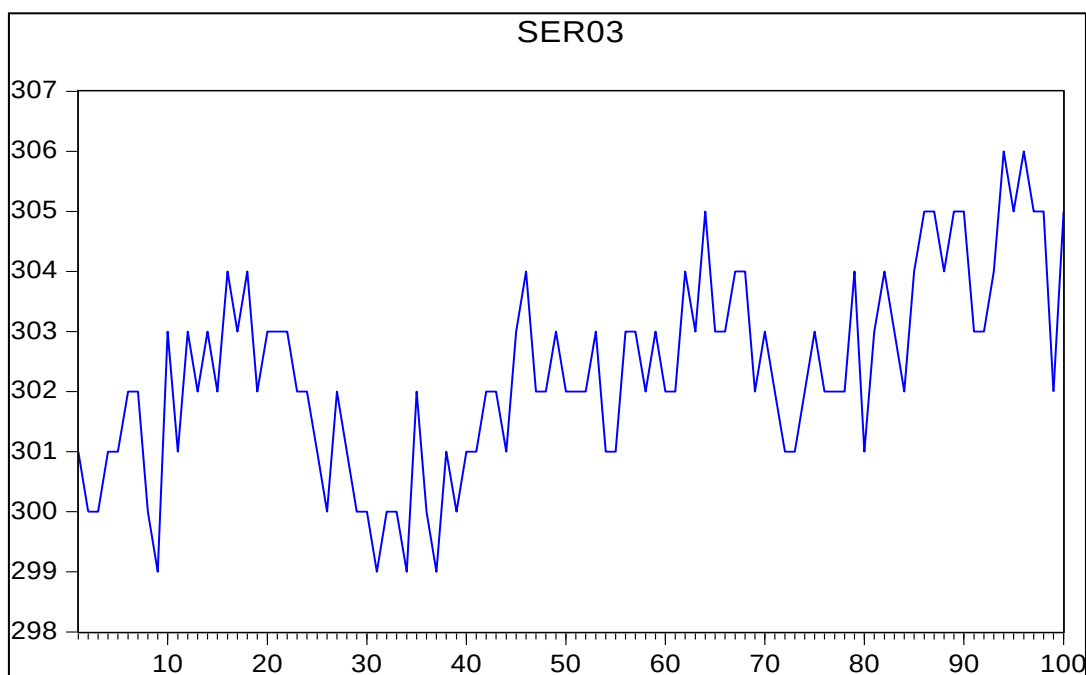
Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα χρονοσειράς ζήτησης για σειρές προϊόντων SER01 σε χρόνο 100 εβδομάδων.



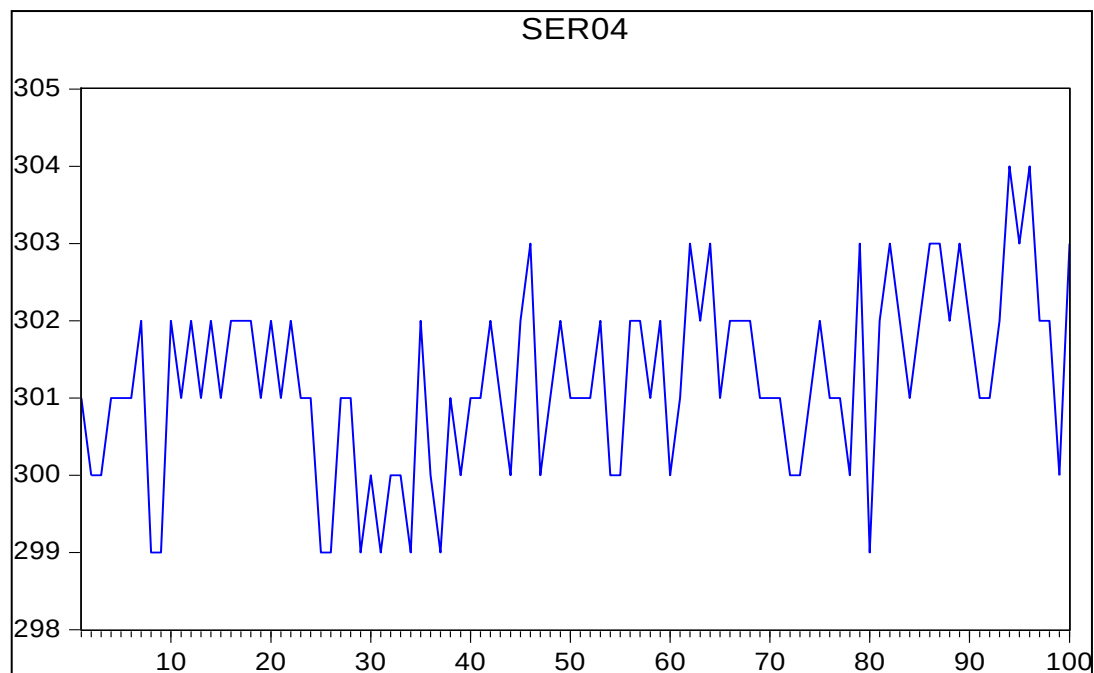
Διάγραμμα 4.2 Διάγραμμα χρονοσειράς ζήτησης για σειρά προϊόντων SER02 σε χρόνο 100 εβδομάδων.



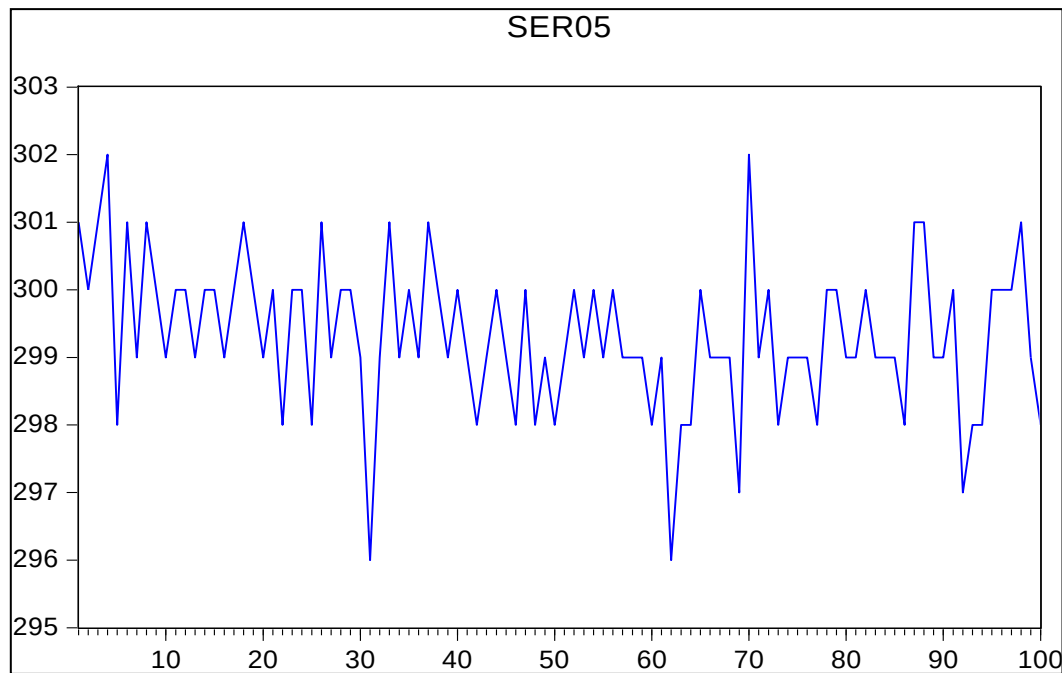
Διάγραμμα 4.3 Διάγραμμα χρονοσειράς ζήτησης για σειρά προϊόντων SER03 σε χρόνο 100 εβδομάδων.



Διάγραμμα 4.4 Διάγραμμα χρονοσειράς ζήτησης για σειρά προϊόντων SER04 σε χρόνο 100 εβδομάδων.



Διάγραμμα 4.5 Διάγραμμα χρονοσειράς ζήτησης για σειρά προϊόντων SER05 σε χρόνο 100 εβδομάδων



Στον οριζόντιο άξονα (X) απεικονίζονται διαδοχικά οι εβδομάδες της περιόδου μελέτης (1–100), ενώ στον κατακόρυφο άξονα (Y) παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές ζήτησης για κάθε προϊόν . Στο πρώτο διάγραμμα η καμπύλη ξεκινά από ένα σχετικά υψηλό επίπεδο. Η χρονοσειρά της ζήτησης (SER01) έχει το πιο υψηλό σημείο κοντά στην 30^η εβδομάδα και στη συνέχεια παρουσιάζει μια καθοδική τάση η οποία είναι συνέχεια πτωτική με κάποιες σποραδικές ανακάμψεις κάτι που δείχνει πως το συγκεκριμένο προϊόν παρουσιάζει καθοδική πορεία της ζήτησης. Η δεύτερη χρονοσειρά της ζήτησης (SER02) παρουσιάζει συνεχή ανοδική πορεία κυρίως από την 40^η εβδομάδα και μετά. Τις πρώτες εβδομάδες παρουσιάζει ταλαντώσεις και στην συνέχεια ανοδική πορεία. Η γενική τάση είναι ανοδική. Η προοδευτική ενίσχυση του ενδιαφέροντος ενδέχεται να υποδηλώνει είτε επιτυχή στρατηγική τοποθέτησης του προϊόντος στην αγορά, είτε αναθεώρηση της τιμολογιακής πολιτικής προς όφελός του. Στην συνέχεια στο διάγραμμα για την Τρίτη χρονοσειρά της ζήτησης (SER03) παρατηρούμε πως και αυτή η σειρά παρουσιάζει αυξητική πορεία με αρκετές αυξομειώσεις. Έχει αρκετές κορυφές και βυθίσεις κάτι που υποδηλώνει ότι δεν έχει σταθερή τάση ωστόσο η συνολική ροπή παραμένει σταθερή. Στη περίπτωση της τέταρτης χρονοσειράς (SER04) παρατηρούμε στο διάγραμμα πως η ζήτηση κινείται

σε ένα σχετικά πιο σταθερό επίπεδο σχέση με ότι είδαμε στις προηγούμενες χρονοσειρές. Παρουσιάζει κάποιες σχετικά πιο ήπιες διακυμάνσεις σε σχέση με τις πιο έντονες αυξομειώσεις που παρατηρήθηκαν στα διαγράμματα των προηγούμενων χρονοσειρών. Τέτοιου είδους μοτίβο υποδεικνύει ότι ίσως το προϊόν έχει εδραιωμένη αλλά περιορισμένη αγορά. Και ολοκληρώνοντας με το διάγραμμα της πέμπτης χρονοσειράς (SER05), εδώ παρατηρούμε υψηλή βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα χωρίς να υπάρχει ξεκάθαρη ανοδική ή καθοδική τάση. Τα αιχμηρά скаμπανεβάσματα καταδεικνύουν ευαισθησία σε εξωτερικούς παράγοντες όπως εποχικές προσφορές, προωθητικές ενέργειες ανταγωνιστών ή σποραδικές ελλείψεις που μεταφράζονται σε σπασμωδική αγοραστική συμπεριφορά.

Συνοψίζοντας, η συγκριτική ανάλυση των χρονοδιαγραμμάτων των πέντε χρονοσειρών δείχνει ποικιλία στην εξέλιξη της ζήτησης. Οι χρονοσειρές SER02 και SER03 παρουσιάζουν σαφή τάση αύξησης, η SER01 πτωτική πορεία και οι SER04 και SER05 λιγότερη ή πιο βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα.

4.1.2 Έλεγχος στασιμότητας των σειρών με τη μέθοδο Augmented Dickey-Fuller (ADF)

Ο έλεγχος στασιμότητας Augmented Dickey- Fuller (ADF) στο EViews γίνεται για να εξεταστούν αν οι σειρές δεδομένων είναι στάσιμες ή περιέχουν μοναδιαία ρίζα (unit root) που υποδηλώνει μη στασιμότητα. Η ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας συνεπάγεται ότι οι τιμές της σειράς επηρεάζονται χρονικά από τα σοκ τα οποία δεν απομακρύνονται με την πάροδο του χρόνου κάτι που σημαίνει ότι η σειρά είναι μη στάσιμη. Ο έλεγχος βασίζεται στις δυο υποθέσεις :

- H_0 Η σειρά έχει μοναδιαία ρίζα (μη στάσιμη)
- H_1 Η σειρά είναι στάσιμη

Στην παρούσα ανάλυση εφαρμόστηκε έλεγχος ADF για τις πέντε χρονοσειρές (SER01-SER05) :

- Στο επίπεδο της κάθε σειράς για να εξεταστεί αν υπάρχει στασιμότητα με ή χωρίς τάση.
- Στην πρώτη διαφορά ώστε να προσδιοριστεί αν οι σειρές γίνονται στάσιμες όταν ληφθούν πρώτες διαφορές (ολοκληρωμένης τάξης 1 (I(1)))

Ο έλεγχος έγινε χρησιμοποιώντας τις τρεις επιλογές που προσφέρει το EViews:

- Με intercept (σταθερά)
- Με intercept και trend (σταθερά + γραμμική τάση)
- Με none (χωρίς σταθερά και χωρίς τάση)

Τα αποτελέσματα των ελέγχων στο επίπεδο των σειρών επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 2. Έλεγχοι στασιμότητας Augmented Dickey- Fuller (ADF) στο επίπεδο των σειρών

	Χρονοσειρά ζήτησης	Επιλογή Eviews	t-statistic	Critical value 1% level	Critical value 5% level	Critical value 10% level	p-value
Level	SER01	intersept	-1,900684	-3,499167	-2,891550	-2,582846	0,3308
	SER01	intersept + trend	-3,608996	-4,054393	-3,456319	-3,153989	0,0341
	SER01	none	-0,777301	-2,589020	-1,944175	-1,614554	0,3770
	SER02	intersept	-2,182340	-3,499167	-2,891550	-2,582846	0,2140
	SER02	intersept + trend	-3,692111	-4,054393	-3,456319	-3,153989	0,0275
	SER02	none	0,734091	-2,589020	-1,944175	-1,614554	0,8716
	SER03	intersept	-2,210588	-3,499910	-2,891871	-2,583017	0,2040
	SER03	intersept + trend	-3,849900	-4,055416	-3,456805	-3,154273	0,0180
	SER03	none	0,568636	-2,589273	-1,944211	-1,614532	0,8374
	SER04	intersept	-7,155937	-3,498439	-2,891234	-2,582678	0,0000
	SER04	intersept + trend	-8,109301	-4,054393	-3,456319	-3,153989	0,0000
	SER04	none	0,247549	-2,589531	-1,944248	-1,614510	0,7559
	SER05	intersept	-9,680650	-3,498439	-2,891234	-2,582678	0,0000
	SER05	intersept + trend	-10,11922	-4,054393	-3,456319	-3,153989	0,0000
	SER05	none	-0,429502	-2,589273	-1,944211	-1,614532	0,5256

Πίνακας 3. Έλεγχοι στασιμότητας Augmented Dickey- Fuller (ADF) στις 1^{Ες} Διαφορές

	Χρονοσειρά ζήτησης	Επιλογή Eviews	t-statistic	Critical value 1% level	Critical value 5% level	Critical value 10% level	p-value
1 διαφορά	SER01	intersept	-13,46273	-3,499167	-2,891550	-2,582846	0,0001
	SER01	intersept + trend	-13,39152	-4,055416	-3,456805	-3,154273	0,0000
	SER01	none	-13,47077	-2,589020	-1,944175	-1,614554	0,0000
	SER02	intersept	-13,22746	-3,499167	-2,891550	-2,582846	0,0001
	SER02	intersept + trend	-13,15587	-4,055416	-3,456805	-3,154273	0,0000
	SER02	none	-13,23771	-2,589020	-1,944175	-1,614554	0,0000
	SER03	intersept	-11,18252	-3,499910	-2,891871	-2,583017	0,0000
	SER03	intersept + trend	-11,11877	-4,056461	-3,457301	-3,154562	0,0000
	SER03	none	-11,20727	-2,589273	-1,944211	-1,614532	0,0000
	SER04	intersept	-9,708484	-3,500669	-2,892200	-2,583192	0,0000
	SER04	intersept + trend	-9,650109	-4,057528	-3,457808	-3,154859	0,0000
	SER04	none	-9,754855	-2,589531	-1,944248	-1,614510	0,0000
	SER05	intersept	-11,73757	-3,499910	-2,891871	-2,583017	0,0001
	SER05	intersept + trend	-11,69611	-4,056461	-3,457301	-3,154562	0,0000
	SER05	none	-11,78673	-2,589273	-1,944211	-1,614532	0,0000

Στο έλεγχο Augmented Dickey- Fuller (ADF) στις 1^{ες} Διαφορές παρατηρούμε ξεκάθαρα ότι τα p-value είναι σχεδόν μηδενικά γεγονός που σημαίνει πως απόρριπτουμε την H_0 . Οι παραπάνω έλεγχοι στο επίπεδο των σειρών και στις 1^{ες} διαφορές αποτελούν ισχυρή ένδειξη ότι οι SER01-SER05 είναι μη στάσιμες στις αρχικές τιμές και στις πρώτες διαφορές γίνεται στάσιμες.

4.2 Περιγραφή της εκτιμητικής διαδικασίας στο enviews και έλεγχοι σφαλμάτων

4.2.1 Εισαγωγή των δεδομένων στο enviews

Για την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό **EViews**, ακολουθήθηκε μια συγκεκριμένη διαδικασία που περιλαμβάνει τα εξής βήματα: Αρχικά, γίνεται εκκίνηση του EViews και επιλογή της διαδρομής **File** → **New** → **Workfile**. Στο αναδυόμενο παράθυρο δημιουργίας αρχείου εργασίας (**Workfile**), στο πεδίο **Workfile structure type**, επιλέγεται η κατηγορία **Unstructured / Undated**, καθώς τα δεδομένα δεν είναι χρονολογικά προσδιορισμένα. Στη συνέχεια, στο πεδίο **Observations**, εισάγεται η τιμή 100, η οποία αντιστοιχεί στον αριθμό των χρονικών περιόδων (εβδομάδων) για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα ζήτησης. Αφού δημιουργηθεί το αρχείο εργασίας, από την καρτέλα **Quick** της αρχικής κορδέλας επιλέγεται η εντολή **Empty Group (Edit Series)**, μέσω της οποίας ανοίγει ένα νέο υπολογιστικό φύλλο. Στο φύλλο αυτό, γίνεται επικόλληση των δεδομένων (πέντε σειρές, SER01 έως SER05), τα οποία έχουν αντιγραφεί εκ των προτέρων από εξωτερική πηγή. Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώνεται η εισαγωγή των πέντε μεταβλητών στο περιβάλλον του EViews, καθιστώντας το αρχείο έτοιμο για την εκτέλεση της επόμενης φάσης της αριθμητικής ανάλυσης και της διαδικασίας εκτίμησης

Εικόνα 4.2.1 Εισαγωγή δεδομένων στο enviews

	SER01	SER02	SER03	SER04	SER05
1	298	301	301	301	301
2	297	300	300	300	300
3	297	300	300	300	301
4	297	301	301	301	302
5	296	302	301	301	298
6	298	302	302	301	301
7	296	303	302	302	299
8	296	301	300	299	301
9	294	300	299	299	300
10	294	303	303	302	299
11	294	302	301	301	300
12	294	303	303	302	300
13	296	303	302	301	299
14	295	304	303	302	300
15	294	304	302	301	300
16	294	305	304	302	299
17	295	305	303	302	300
18	296	305	304	302	301
19	296	304	302	301	300
20	295	305	303	302	299
21	295	304	303	301	300
22	295	305	303	302	298
23	295	304	302	301	300
24	297	304	302	301	300
25	297	304	302	301	300

4.2.2 Λειτουργία του Automatic ARIMA Forecasting

Το Automatic Arima Forecasting είναι σημαντικό και εύχρηστο εργαλείο στο enviews το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου ARIMA (p,d,g) . Το ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) μοντέλο περιλαμβάνει τρεις βασικές παραμέτρους :

- AR (p) : Αυτοπαλινδρόμηση
- I(d): Διαφοροποίηση για στάσιμα δεδομένα
- MA(q) : Κινούμενος μέσος

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο Automatic Arima Forecasting το enviews χρησιμοποιεί αλγόριθμους βελτιστοποίησης για να επιλέξει τις καλύτερες τιμές των παραμέτρων p ,d ,g . Υπολογίζει αυτόματα AR και MA μέσω μεθόδου μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Estimation - MLE) .

Για να χρησιμοποιηθεί το Automatic ARIMA forecasting ακολουθείται η εξής διαδικασία :

1. Επιλέγεται η σειρά δεδομένων για την οποία θέλουμε να εκτιμηθεί το μοντέλο ARIMA (p,d,g) . Από την επιλογή proc διαλέγουμε το Automatic ARIMA forecasting
2. Από τις διαθέσιμες επιλογές στην καρτέλα Specification κλειδώνουμε την επιλογή None ενώ στο πεδίο Regressors διαγράφουμε την επιλογή C
3. Στην καρτέλα Options στην επιλογή Model Selection από τις διαθέσιμες επιλογές επιλέγουμε Schwarz Info .Criterion .Επιπλέον κλειδώνουμε την επιλογή Equation output table και δίνουμε ok .Στην συνέχεια το enviews θα μας δώσει το output της εικόνας 4.3
4. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για τις υπόλοιπες τέσσερις σειρές προϊόντων

Τα αποτελέσματα του Automatic Arima forecasting επισυνάπτονται συγκεντρωτικά για τις 5 σειρές στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4. Αποτελέσματα Αυτόματης Πρόβλεψης ARIMA στο EViews

Σειρά	Μεταβλητή	Συντελεστής (Coefficient)	Std. Error	t-Statistic	P-Value
SER01	MA(1)	-0,342692	0,106865	-3,206773	0,0018
	SIGMASQ	1,14839	0,203514	5,642798	0,0000
SER02	MA(1)	-0,386669	0,099528	-3,885037	0,0002
	SIGMASQ	1,261722	0,194485	6,487506	0,0000
SER03	MA(1)	-0,620075	0,084303	-7,355339	0,0000
	SIGMASQ	1,311337	0,209905	6,247284	0,0000
SER04	MA(1)	-0,805887	0,066201	-12,17325	0,0000
	SIGMASQ	1,167666	0,194115	6,015319	0,0000
SER05	MA(1)	-0,926359	0,03904	-23,72832	0,0000
	SIGMASQ	1,221764	0,135983	8,984661	0,0000

Με την χρησιμοποίηση του Automatic ARIMA forecasting ο αλγόριθμος του enviews δοκίμασε 25 διαφορετικά μοντέλα ARMA πριν επιλέξει το βέλτιστο που είναι το ARIMA (0,1,1)

4.2.3 Έλεγχος ετεροσκεδαστικότητας

Μετά την επιλογή του βέλτιστου υποδείγματος ARIMA(0,1,1), όπως αυτό προέκυψε μέσω της αυτόματης διαδικασίας επιλογής υποδείγματος (Automatic ARIMA Forecasting), κρίνεται απαραίτητο να διεξαχθούν οι κατάλληλοι διαγνωστικοί έλεγχοι, προκειμένου να διαπιστωθεί αν ικανοποιούνται οι βασικές υποθέσεις που διέπουν την εγκυρότητα του υποδείγματος. Ένας από τους πλέον κρίσιμους ελέγχους αφορά τη διερεύνηση της ύπαρξης ετεροσκεδαστικότητας στα σφάλματα (residuals) του μοντέλου. Για να γίνει ο έλεγχος αυτός μέσω του enviews θα χρησιμοποιηθεί το Arch test . Αφού έχει εκτιμηθεί το μοντέλο ακολουθούμε την διαδρομή view - Residual Diagnostics- Heteroskedasticity Tests . Στο ARCH test, το λογισμικό επιστρέφει μεταξύ άλλων τις τιμές Prob. F και Prob. Chi-Square, που αντιστοιχούν στις p-values των αντίστοιχων στατιστικών ελέγχου. Αν οι τιμές αυτές υπερβαίνουν το επίπεδο σημαντικότητας $p\text{ value} > 0,05$ δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση περί απουσίας ετεροσκεδαστικότητας.

Τα αποτελέσματα για τις χρονοσειρές δεδομένων SER01-SER05 επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5. Αποτελέσματα τεστ Ετεροσκεδαστικότητας (ARCH)

Αποτελέσματα Τεστ Ετεροσκεδαστικότητας (ARCH)				
Χρονοσειρά ζήτησης	F-statistic	Prob(F-statistic)	Obs*R-squared	Prob(Chi-square)
SER01	1,856184	0,1763	1,858912	0,1728
SER02	0,382076	0,5380	0,388489	0,5331
SER03	0,554025	0,4585	0,562322	0,4533
SER04	0,576625	0,4495	0,585123	0,4443
SER05	0,156394	0,6934	0,159392	0,6897

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα σε όλα τα κατάλοιπα των σειρών SER01-SER05 οι p-values υπερβαίνουν το 0,05. Συνεπώς δεν απορρίπτεται η H_0 δηλαδή δεν εντοπίζεται ετεροσκεδαστικότητα.

4.2.4 Έλεγχος κανονικότητας για τις σειρές SER01-SER05

Το τεστ ελέγχου κανονικότητας είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για να εξεταστεί αν ένα σύνολο δεδομένων ακολουθεί την κανονική κατανομή. Και ο συγκεκριμένος έλεγχος γίνεται με την χρήση του οικονομετρικού προγράμματος *enviews*. Στο πρόγραμμα ακολουθείται η διαδρομή *view - Residual Diagnostics- histogram normality test*. Το *enviews* για τον έλεγχο χρησιμοποιεί τη στατιστική Jarque -Bera που μετράει τις τιμές ασυμμετρίας (skewness) και κύρτωσης (Kurtosis). Αν η κατανομή των υπολειμμάτων μια σειράς ακολουθεί την κανονική κατανομή τότε η τιμή της p-value θα είναι μεγαλύτερη από 0,05. Με την χρήση του *enviews* προέκυψαν αποτελέσματα για τους δείκτες του τεστ κανονικότητας που αναφέρονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 6. Αποτελέσματα normality test για τα κατάλοιπα των σειρών SER01-SER05

Μέτρηση	Normality test residuals SER01	Normality test residuals SER02	Normality test residuals SER03	Normality test residuals SER04	Normality test residuals SER05
Mean	-0,1075	0,0952	0,0947	0,0784	-0,1596
Median	-0,2547	0,1751	0,0446	0,0567	-0,1295
Maximum	2,2019	2,6232	2,7986	2,1839	3,2491
Minimum	-2,3059	-3,0728	-3,0906	-2,4549	-3,7029
Std. Dev.	1,0716	1,1249	1,147	1,0832	1,0993
Skewness	0,2159	-0,1992	0,0131	-0,1532	-0,2555
Kurtosis	2,3879	2,7953	2,6088	2,5191	4,1688
Jarque-Bera	2,3148	0,8273	0,6342	1,341	6,7122
Probabilty (p-value)	0,3143	,6612	0,7283	0,5114	0,0349

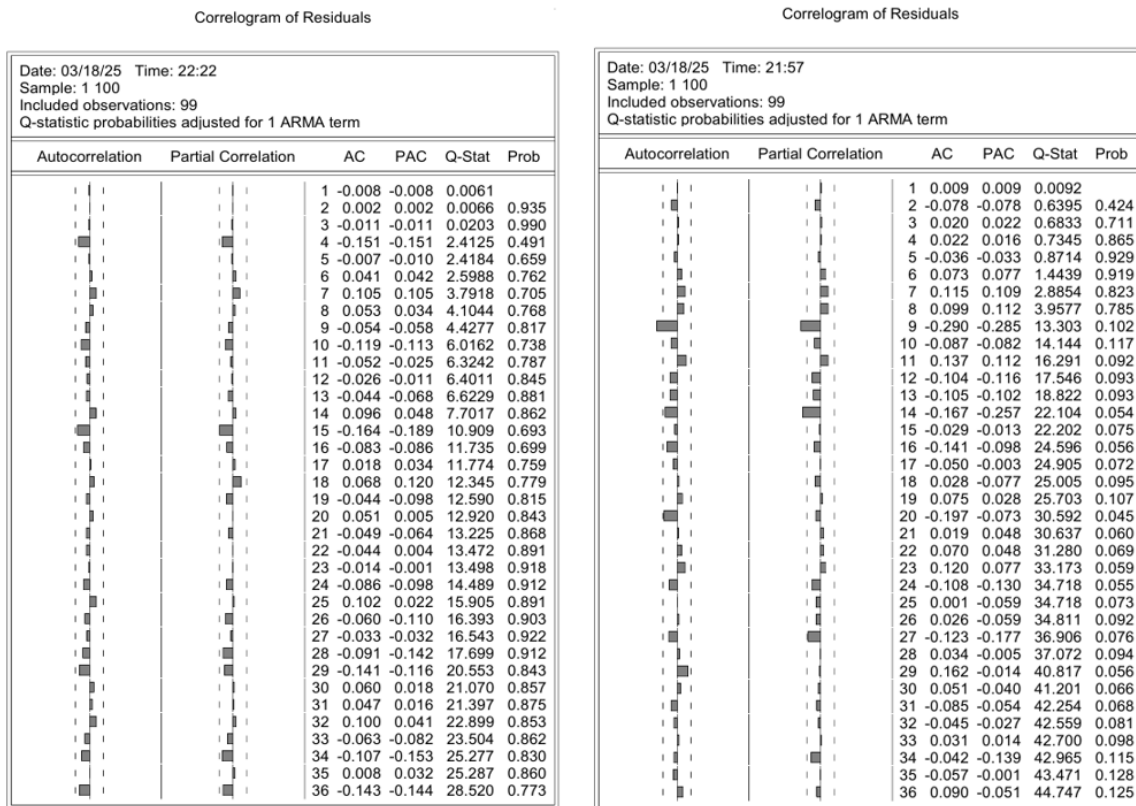
Από τον πίνακα παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές των υπολοίπων (residuals) για όλες τις σειρές κυμαίνονται κοντά στο μηδέν, υποδηλώνοντας την απουσία μεροληψίας. Οι διάμεσοι τιμές κινούνται σε στενό εύρος μεταξύ -0,2547 (SER01) και 0,1751 (SER02), επιβεβαιώνοντας τη σχετική συμμετρία των κατανομών. Η σειρά SER05 εμφανίζει τις πλέον ακραίες τιμές (μέγιστο 3,2491, ελάχιστο -3,7029), γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη διασπορά και παρουσία εκτοπισμένων παρατηρήσεων. Η ασυμμετρία (skewness) κυμαίνεται από -0,2555 έως 0,2159, με τη σειρά SER03 να εμφανίζει την πιο συμμετρική κατανομή (0,0131) και τη SER05 την πλέον ασύμμετρη (-0,2555). Οι τιμές κυρτότητας (kurtosis) για τις σειρές SER01, SER03 και SER04 είναι μικρότερες του 3, χαρακτηριστικό επίπεδων (πλατοκυρτωτικών) κατανομών. Αντίθετα, η σειρά SER05 εμφανίζει αυξημένη κυρτότητα (4,1688), στοιχείο που υποδηλώνει αιχμηρή κορυφή και παρουσία ακραίων τιμών — χαρακτηριστικά λεπτόκυρτης κατανομής. Ο έλεγχος Jarque-Bera

ενισχύει τα παραπάνω ευρήματα το Normality test residuals SER05 έχει την υψηλότερη τιμή (6,7122). Με βάση τα αποτελέσματα τα κατάλοιπα των τεσσάρων χρονοσειρών SER01-SER04 παρουσιάζουν $p\text{-value} > 0,05$ άρα μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα κατάλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή. Για τη σειρά SER05, το $p\text{-value}$ είναι 0,0349, ελαφρώς κάτω από το επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Επειδή απόκλιση δεν είναι έντονη μπορούμε να δεχθούμε την κανονικότητα με επιφύλαξη, αναγνωρίζοντας ωστόσο ότι υπάρχουν ενδείξεις απόκλισης.

4.2.5 Έλεγχος αυτοσυσχέτισης καταλοίπων για τις σειρές SER01-SER05

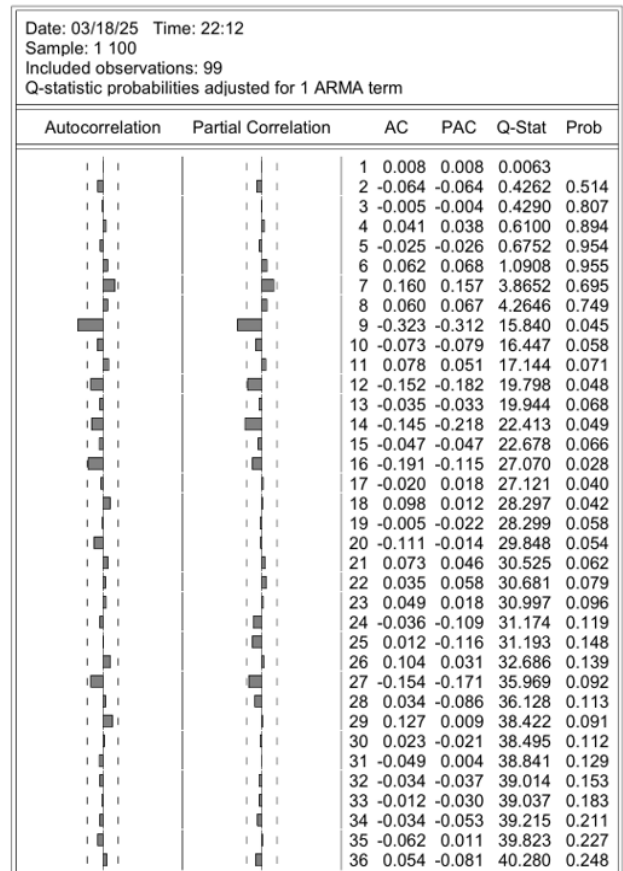
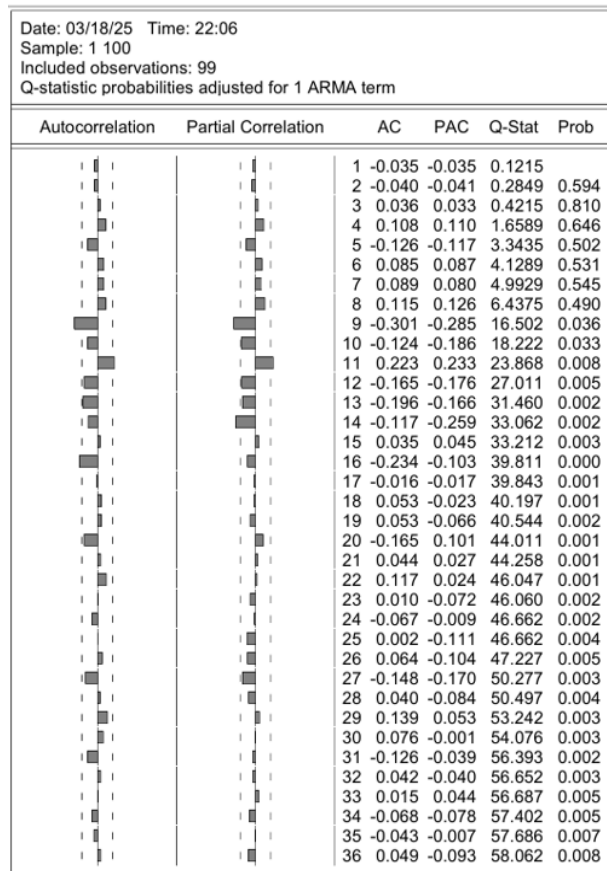
Για την αξιολόγηση της πιθανής αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα των χρονοσειρών SER01-SER05 χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία correlogram of residuals του λογισμικού EViews, η οποία παρέχει τόσο τους συντελεστές αυτοσυσχέτισης (AC) όσο και μερικής αυτοσυσχέτισης (PAC) για διαφορετικά χρονικά υστερήματα (lags). Παράλληλα, παρουσιάζονται και οι στατιστικές Ljung-Box Q-statistics με τις αντίστοιχες $p\text{-values}$. Στα παρακάτω διαγράμματα correlogram για SER01 και SER02 η εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης πραγματοποιήθηκε με βάση την οπτική εκτίμηση.

Διάγραμμα 4.2.5 Correlogram of Residuals SER01 & SER02



Εστιάζοντας στα αρχικά lags, διαπιστώνεται ότι όλες οι ράβδοι των ACF και PACF βρίσκονται εντός των αντίστοιχων διαστημάτων εμπιστοσύνης, γεγονός που υποδηλώνει την απουσία στατιστικά σημαντικής αυτοσυσχέτισης. Στην συνέχεια, ομοίως με οπτική εκτίμηση διαπιστώνεται στα παρακάτω correlogram για τις SER03 , SER04 και SER05 βάσει της οπτικής ανάλυσης πως και στις τρεις περιπτώσεις όλες οι ράβδοι βρίσκονται εντός των διαστημάτων εμπιστοσύνης γεγονός που υποδηλώνει ότι ομοίως στα κατάλοιπα δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση.

Διάγραμμα 4.2.6 Correlogram of Residuals SER03 & SER04



Διάγραμμα 4.2.7 Correlogram of Residuals SER05

Date: 03/18/25 Time: 22:18 Sample: 1 100 Included observations: 99 Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term					
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.088	-0.088	0.7894	
		2 0.022	0.014	0.8397	0.359
		3 -0.038	-0.035	0.9910	0.609
		4 -0.081	-0.089	1.6826	0.641
		5 -0.057	-0.072	2.0251	0.731
		6 -0.110	-0.123	3.3311	0.649
		7 0.045	0.018	3.5540	0.737
		8 -0.057	-0.063	3.9065	0.790
		9 0.163	0.135	6.8590	0.552
		10 -0.076	-0.074	7.5101	0.584
		11 0.106	0.084	8.7919	0.552
		12 0.028	0.037	8.8797	0.633
		13 -0.185	-0.169	12.855	0.380
		14 0.096	0.078	13.932	0.379
		15 0.074	0.142	14.584	0.407
		16 -0.017	-0.030	14.621	0.479
		17 0.124	0.163	16.494	0.419
		18 0.082	0.086	17.328	0.432
		19 0.029	0.063	17.435	0.493
		20 0.044	0.093	17.678	0.544
		21 0.018	0.072	17.719	0.606
		22 -0.165	-0.093	21.260	0.443
		23 0.049	0.058	21.579	0.485
		24 -0.082	-0.039	22.472	0.492
		25 -0.109	-0.111	24.087	0.457
		26 0.119	0.025	26.041	0.405
		27 -0.086	-0.082	27.076	0.405
		28 -0.030	-0.121	27.204	0.453
		29 -0.023	-0.109	27.279	0.503
		30 0.042	-0.012	27.532	0.543
		31 0.118	0.132	29.575	0.488
		32 0.060	0.001	30.115	0.511
		33 0.054	0.082	30.560	0.539
		34 -0.104	-0.104	32.222	0.506
		35 0.039	-0.082	32.454	0.543
		36 -0.145	-0.052	35.769	0.432

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων της εκτίμησης του enviews

5.1.1 Υπολογισμοί όρων θ , α , σ_ε^2

Με την εισαγωγή των δεδομένων ζήτησης στο enviews και την χρήση του automatic forecasting ARIMA εκτιμήθηκαν τα μοντέλα για τις σειρές SER01-SER05 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον κάτωθι πίνακα :

Πίνακας 7. Αποτελέσματα εκτίμησης automatic Forecasting ARIMA SER01-SER05

Σειρά δεδομένων	Μοντέλο ARIMA	SIC	MA(1)	t-Statistic (MA1)	Prob (MA1)	SIGMASQ
SER01	ARMA(0,1)	3,0398	-0,3427	-3,206773	0,0018	1,1484
SER02	ARMA(0,1)	3,1334	-0,3867	-3,885037	0,0002	1,2617
SER03	ARMA(0,1)	3,1748	-0,6201	-7,355339	0	1,3113
SER04	ARMA(0,1)	3,0655	-0,8059	-12,17325	0	1,1677
SER05	ARMA(0,1)	3,1194	-0,9264	-23,72832	0	1,2218

Από την εκτίμηση όπως αναφέρθηκε το βέλτιστο μοντέλο είναι το ARIMA (0,1,1). Η εξίσωση που περιγράφει την ζήτηση είναι η $D_t = D_{t-1} - (1 - \alpha)\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$ όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Ο όρος MA(1) σημαίνει πως η τρέχουσα τιμή επηρεάζεται από το τελευταίο σφάλμα πρόβλεψης. Από την εξίσωση της ζήτησης ο όρος $-(1-\alpha)$ είναι ίσος με -MA(1) Δηλαδή για την χρονοσειρά SER01 η εκτιμώμενη τιμή θα είναι $-(1-\alpha)=-0,342692 \rightarrow 1-\alpha=0,342692 \rightarrow \alpha=1-0,342692 \rightarrow \alpha=0,657308$. Ο όρος SIGMAQ είναι η εκτιμώμενη διακύμανση του στοχαστικού σφάλματος ε_t στο ARIMA (0,1,1) και αντιστοιχεί στο σ_ε^2 τη διακύμανση των σφαλμάτων πρόβλεψης. Για την SER01 ισχύει $\sigma_\varepsilon^2=1,148390$. Εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογική προσέγγιση αντίστοιχα στις υπόλοιπες χρονοσειρές δεδομένων επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα οι τιμές των παραμέτρων α και σ_ε^2 :

Πίνακας 8. Εκτίμηση συντελεστών εξομάλυνσης α , διακύμανσης σφαλμάτων πρόβλεψης σ_ε^2

Δεδομένα ζήτησης	θ	$\alpha=1-\theta$	σ_{ε}^2
D(SER01)	0,342692	0,657308	1,14839
D(SER02)	0,386669	0,613331	1,261722
D(SER03)	0,620075	0,379925	1,311337
D(SER04)	0,805887	0,194113	1,167666
D(SER05)	0,926359	0,073641	1,221764

5.1.2 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER01

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η διακύμανση του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης δίνεται από την σχέση :

$$V_{RETAILER} = \left[1 + L + L(L + 1)a + \frac{L(L+1)(2L+1)}{6}a^2 \right] \sigma_{\varepsilon}^2$$

Ενώ για τον προμηθευτή η αντίστοιχη σχέση για την περίπτωση που δεν έχει πρόσβαση στη ζήτηση του λιανοπωλητή :

$$V_{SUPPLIER} = V_M^{NIS} = \left[1 + L + L(L + 1)\beta + \frac{L(L + 1)(2L + 1)}{6}\beta^2 \right] \sigma_{\xi}^2$$

Όταν έχει πρόσβαση στη ζήτηση του λιανοπωλητή :

$$V_{SUPPLIER} = V_{RETAILER} = \left[1 + L + L(L + 1)a + \frac{L(L+1)(2L+1)}{6}a^2 \right] \sigma_{\varepsilon}^2$$

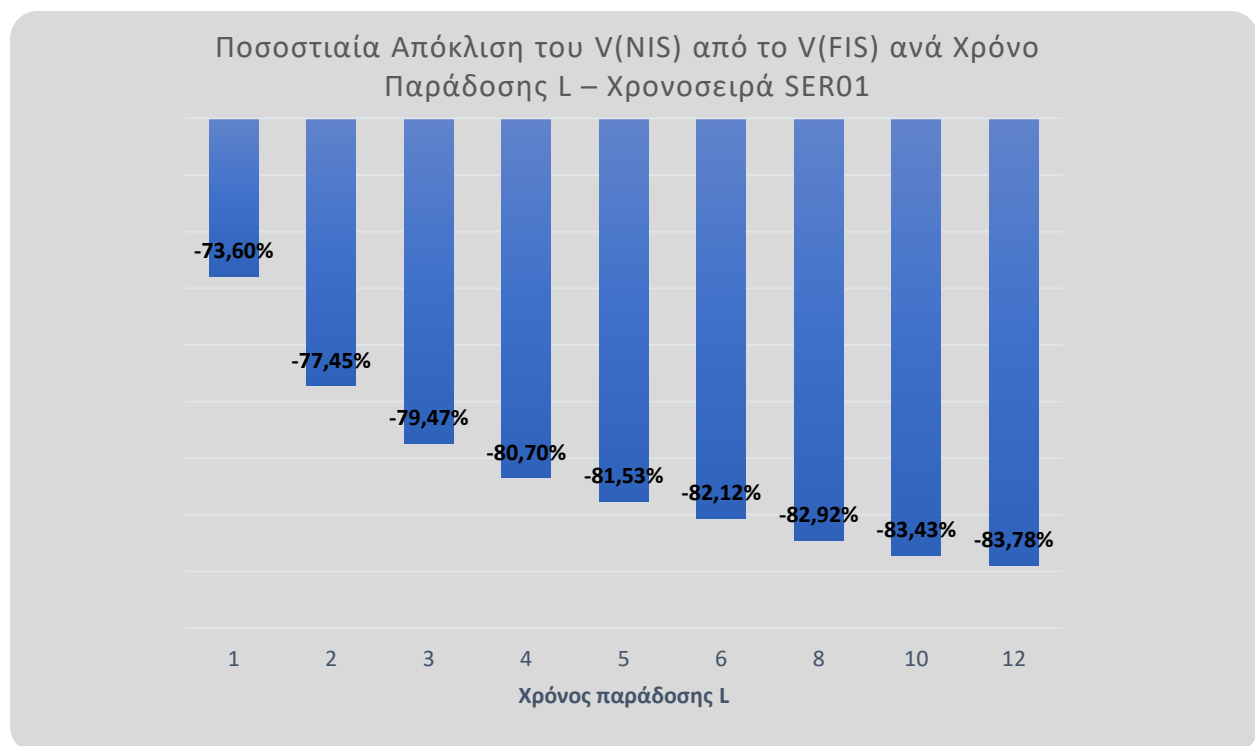
Με βάση αυτές τις εξισώσεις και για $L=1,2,3,4,5,6,8,10$ και 12 υπολογίστηκαν τα β , σ_{ξ}^2 , V_M^{NIS} και V_M^{FIS} . Τα αποτελέσματα για τη SER01 επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 9. V(NIS) , V(FIS) για τα Δεδομένα της SER01

Δεδομένα ζήτησης	L	θ	$\alpha=1-\theta$	σ_{ε}^2	β	σ_{ξ}^2	V (NIS)	V(FIS)	% από VNIS σε VFIS
SER01	1	0,3427	0,6573	1,14839	0,2840	6,152439	16,2954	4,302638	-73,60%
	2	0,3427	0,6573	1,14839	0,2212	10,14296	46,36979	10,45508	-77,45%
	3	0,3427	0,6573	1,14839	0,1811	15,12582	100,3237	20,59804	-79,47%
	4	0,3427	0,6573	1,14839	0,1533	21,10101	185,1036	35,72386	-80,70%
	5	0,3427	0,6573	1,14839	0,1330	28,06853	307,6556	56,82486	-81,53%
	6	0,3427	0,6573	1,14839	0,1174	36,02838	474,9262	84,89339	-82,12%
	8	0,3427	0,6573	1,14839	0,0950	54,92508	971,4083	165,9023	-82,92%
	10	0,3427	0,6573	1,14839	0,0799	77,79112	1730,121	286,6894	-83,43%
	12	0,3427	0,6573	1,14839	0,0689	104,6265	2806,634	455,1931	-83,78%

Η ποσοστιαία διαφορά από V(NIS) σε V(FIS) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα :

Διάγραμμα 5.1 Απόκλιση του V(NIS) από το V(FIS) καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L-SER01



Ως πρώτη διαπίστωση παρατηρώντας τα δεδομένα του πίνακα διαπιστώνουμε ότι το β μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L , γεγονός που σημαίνει μια αύξηση της αβεβαιότητας του συστήματος. Αντίστοιχα το σ_{ξ}^2 αυξάνεται ταυτόχρονα με την αύξηση του L . Αυτό σημαίνει πως όσο αυξάνεται ο χρόνος L , αυξάνεται η αβεβαιότητα δηλαδή η διακύμανση των σφαλμάτων μεγαλώνει. Από τις τιμές του πίνακα παρατηρούμε πως και οι τιμές του V(NIS) αλλά και οι τιμές του V(FIS) αυξάνονται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L. Όμως διαφαίνεται ξεκάθαρα πως οι

τιμές του V(NIS) αυξάνονται σε μεγαλύτερη βαθμό. Στην απεικόνιση του διαγράμματος το φαινόμενο αυτό παρατηρείται ξεκάθαρα. Η ποσοστιαία διαφορά της διακύμανσης των σφαλμάτων από NIS σε FIS αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L. Για L=1 η ποσοστιαία διαφορά είναι -73,60% ενώ για L=12 καταλήγει -83,78%

5.1.3 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER02

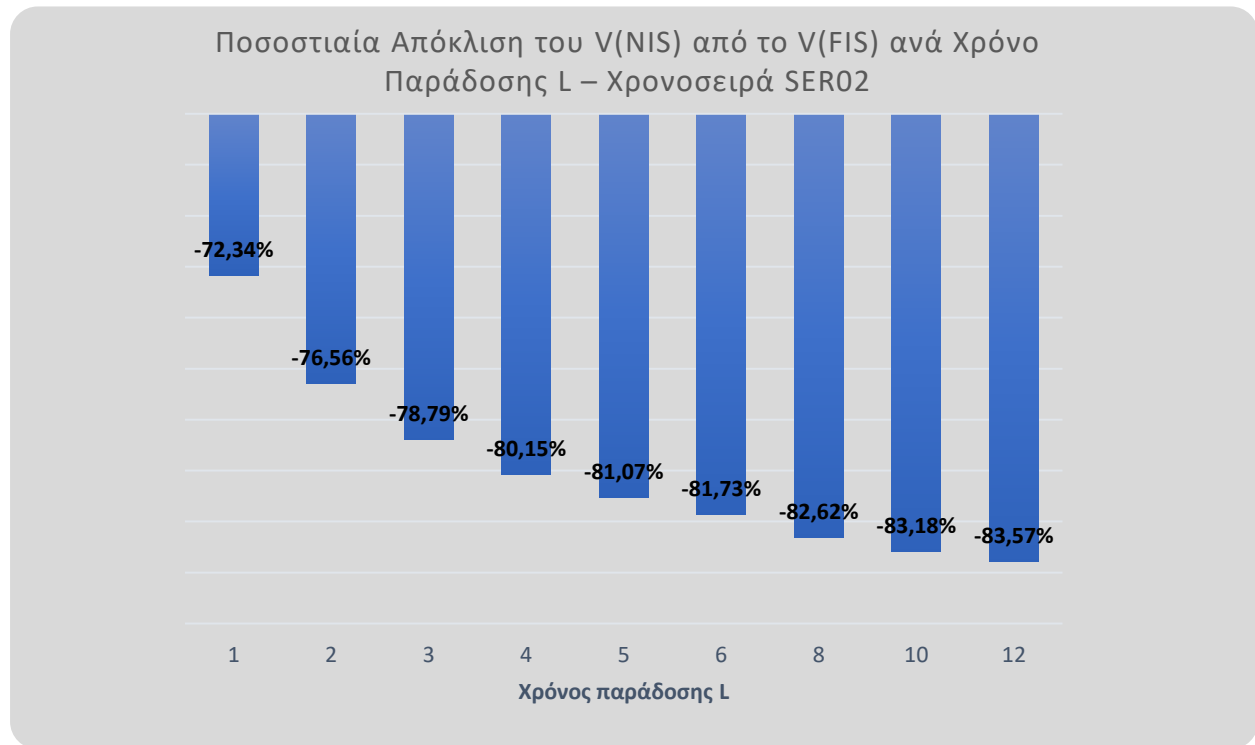
Στην συνέχεια επισυνάπτονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τη SER02

Πίνακας 10. V(NIS) , V(FIS) για τα Δεδομένα της SER02

Δεδομένα ζήτησης	L	Θ	$\alpha=1-\Theta$	σ_{ε}^2	β	σ_{ξ}^2	V (NIS)	V(FIS)	% από VNIS σε VFIS
SER02	1	0,3867	0,6133	1,2617	0,2754	6,255648	16,43214	4,545779	-72,34%
	2	0,3867	0,6133	1,2617	0,2160	10,17649	46,08905	10,80143	-76,56%
	3	0,3867	0,6133	1,2617	0,1776	15,0466	98,89958	20,97792	-78,79%
	4	0,3867	0,6133	1,2617	0,1508	20,86596	181,5085	36,02452	-80,15%
	5	0,3867	0,6133	1,2617	0,1311	27,63457	300,5607	56,89048	-81,07%
	6	0,3867	0,6133	1,2617	0,1159	35,35245	462,7008	84,52505	-81,73%
	8	0,3867	0,6133	1,2617	0,0941	53,63596	942,8243	163,8971	-82,62%
	10	0,3867	0,6133	1,2617	0,0792	75,7165	1675,037	281,7346	-83,18%
	12	0,3867	0,6133	1,2617	0,0684	101,5941	2712,498	445,6318	-83,57%

Στις τιμές του πίνακα 10 διαπιστώνουμε πως με την αύξηση του L αυξάνονται οι τιμές της διακύμανσης τόσο για τη στρατηγική NIS όσο και για την στρατηγική FIS. Οι τιμές του β μειώνονται όσο αυξάνεται το L. Οι τιμές του V(NIS) αυξάνονται σε μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με τις αντίστοιχες του V(FIS). Η ποσοστιαία διαφορά από V(NIS) σε V(FIS) για τη SER02 απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Διάγραμμα 5.2 Απόκλιση του V(NIS) από το V(FIS) καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L-SER02



Από την απεικόνιση του διαγράμματος παρατηρούμε πως η ποσοστιαία διαφορά από V(FIS) σε V(NIS) αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L. Αρχικά για L=1 υπολογίζεται σε -72,34% , όσο αυξάνεται το L συνεχίζει να αυξάνεται και για L=12 φθάνει την τιμή -83,57%.

5.1.4 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER03

Στον πίνακα 10 παρατίθενται οι υπολογισμοί της V(NIS) και V(FIS) για τα δεδομένα της SER03:

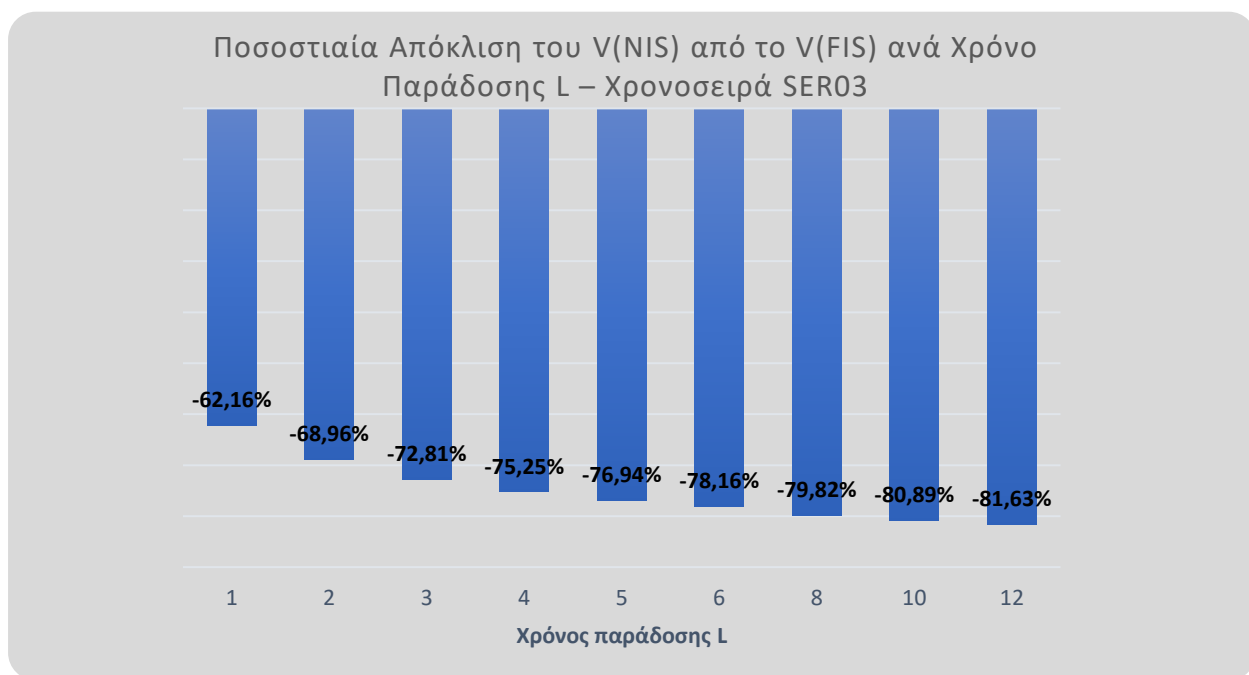
Πίνακας 11. V(NIS) , V(FIS) για τα Δεδομένα της SER03

Δεδομένα ζήτησης	L	θ	$\alpha=1-\theta$	σ_{ε}^2	β	σ_{ξ}^2	V (NIS)	V(FIS)	% από VNIS σε VFIS
SER03	1	0,6201	0,3799	1,3113	0,2159	4,061305	10,06544	3,808376	-62,16%
	2	0,6201	0,3799	1,3113	0,1776	6,004136	25,35516	7,869681	-68,96%
	3	0,6201	0,3799	1,3113	0,1508	8,325532	51,01615	13,87382	-72,81%
	4	0,6201	0,3799	1,3113	0,1310	11,02549	89,69836	22,19935	-75,25%
	5	0,6201	0,3799	1,3113	0,1158	14,10402	144,0517	33,22484	-76,94%
	6	0,6201	0,3799	1,3113	0,1038	17,56111	216,7263	47,32886	-78,16%
	8	0,6201	0,3799	1,3113	0,0860	25,61098	427,6385	86,28673	-79,82%
	10	0,6201	0,3799	1,3113	0,0734	35,17511	743,6346	142,1015	-80,89%
	12	0,6201	0,3799	1,3113	0,0640	46,2535	1185,914	217,8016	-81,63%

Όπως διαπιστώνουμε από τον πίνακα 11 Οι τιμές της V(NIS) καθώς και οι τιμές της V(FIS) για τα δεδομένα της SER03 αυξάνονται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L. Ο συντελεστής β μειώνεται όσο αυξάνεται το L.

Η ποσοστιαία διαφορά από V(NIS) σε V(FIS) για τη SER03 απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Διάγραμμα 5.3 Απόκλιση του V(NIS) από το V(FIS) καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L-SER03



Από το διάγραμμα 5.3 παρατηρούμε πως η ποσοστιαία διαφορά από V(FIS) σε V(NIS) αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L. Αρχικά για L=1 υπολογίζεται σε -62,16% , όσο αυξάνεται το L συνεχίζει να αυξάνεται και για L=12 φθάνει την τιμή -81,63%.

5.1.5 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER04

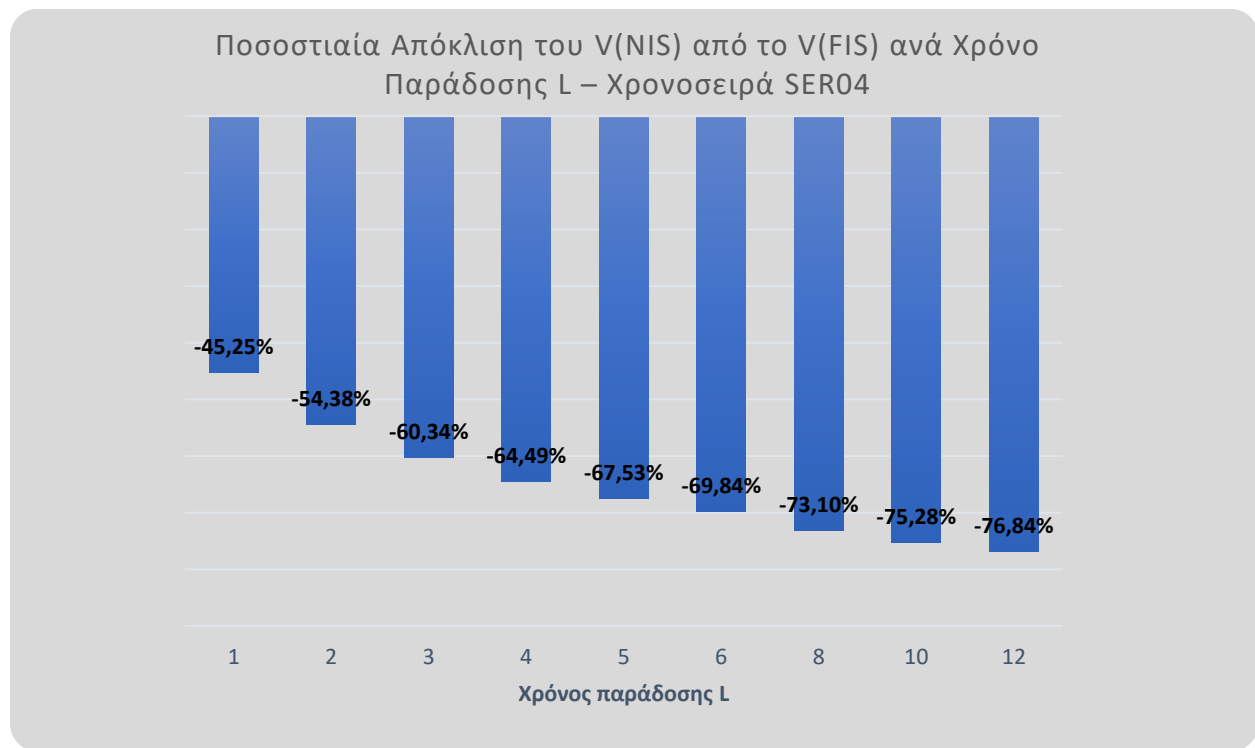
Στον πίνακα 12 παρατίθενται οι υπολογισμοί της V(NIS) και V(FIS) για τα δεδομένα της SER04:

Πίνακας 12. V(NIS) , V(FIS) για τα Δεδομένα της SER04

Δεδομένα ζήτησης	L	Θ	$\alpha=1-\Theta$	σ_{ε}^2	β	σ_{ξ}^2	V (NIS)	V(FIS)	% από VNIS σε VFIS
SER04	1	0,8059	0,1941	1,1677	0,1398	2,250293	5,173891	2,832648	-45,25%
	2	0,8059	0,1941	1,1677	0,1227	2,923598	11,14269	5,08294	-54,38%
	3	0,8059	0,1941	1,1677	0,1093	3,684899	20,18735	8,006539	-60,34%
	4	0,8059	0,1941	1,1677	0,0985	4,534195	32,92383	11,69144	-64,49%
	5	0,8059	0,1941	1,1677	0,0897	5,471485	49,9681	16,22563	-67,53%
	6	0,8059	0,1941	1,1677	0,0823	6,496771	71,93611	21,69712	-69,84%
	8	0,8059	0,1941	1,1677	0,0707	8,811327	133,1073	35,80394	-73,10%
	10	0,8059	0,1941	1,1677	0,0619	11,47786	221,365	54,71587	-75,28%
	12	0,8059	0,1941	1,1677	0,0551	14,49638	341,637	79,13685	-76,84%

Από τις τιμές του πίνακα 11 διαπιστώνουμε για τη SER04 πως όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L αυξάνονται οι τιμές για V(NIS) και V(FIS). Ο Συντελεστής β μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος L. Η ποσοστιαία διαφορά από V(NIS) σε V(FIS) για τη SER04 απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Διάγραμμα 5.4 Απόκλιση του V(NIS) από το V(FIS) καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L-SER04



Στην απεικόνιση του διαγράμματος 5.4 παρατηρούμε πως η ποσοστιαία διαφορά από V(NIS) προς V(FIS) αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος L. Όταν αρχικά για L=1 η διαφορά είναι -45,25% για L=12 γίνεται -76,84%.

5.1.6 Αποτελέσματα V(FIS) και V(NIS) για χρονοσειρά SER05

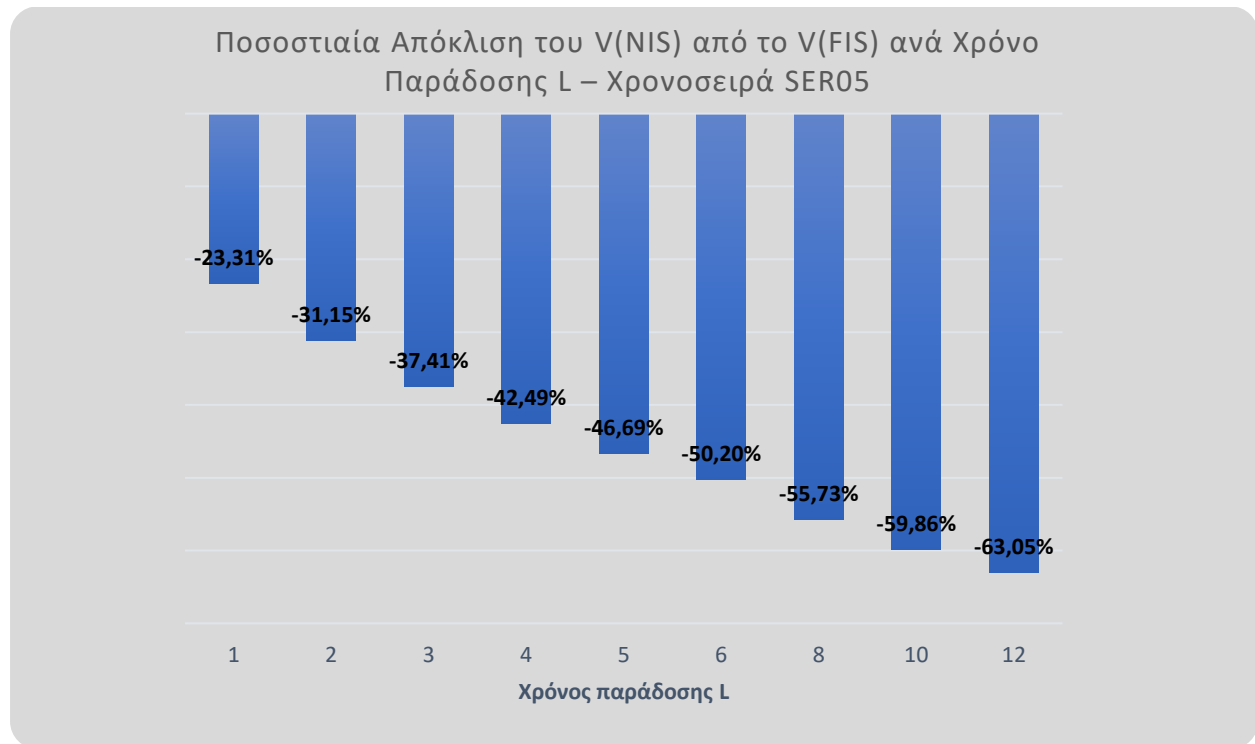
Στον πίνακα 13 παρατίθενται οι υπολογισμοί της V(NIS) και V(FIS) για τα δεδομένα της SER05:

Πίνακας 13. V(NIS) , V(FIS) για τα Δεδομένα της SER04

Δεδομένα ζήτησης	L	θ	$\alpha=1-\theta$	σ_{ε}^2	β	σ_{ξ}^2	V (NIS)	V(FIS)	% από VNIS σε VFIS
SER05	1	0,9264	0,0736	1,2218	0,0642	1,608154	3,42938	2,630097	-23,31%
	2	0,9264	0,0736	1,2218	0,0603	1,821226	6,155899	4,238252	-31,15%
	3	0,9264	0,0736	1,2218	0,0569	2,047549	9,680649	6,059478	-37,41%
	4	0,9264	0,0736	1,2218	0,0538	2,287124	14,09639	8,107027	-42,49%
	5	0,9264	0,0736	1,2218	0,0511	2,539949	19,49588	10,39415	-46,69%
	6	0,9264	0,0736	1,2218	0,0486	2,806026	25,97187	12,9341	-50,20%
	8	0,9264	0,0736	1,2218	0,0443	3,377934	42,52441	18,82548	-55,73%
	10	0,9264	0,0736	1,2218	0,0407	4,002847	64,49609	25,88718	-59,86%
	12	0,9264	0,0736	1,2218	0,0376	4,680764	92,62897	34,22521	-63,05%

Από τα αποτελέσματα των υπολογισμών στον πίνακα 13 διαπιστώνουμε πως οι τιμές του V(NIS) και οι τιμές του V(FIS) αυξάνονται όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L. Ο συντελεστής β μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος L. Η ποσοστιαία διαφορά από V(NIS) σε V(FIS) για τη SER04 απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Διάγραμμα 5.5 Απόκλιση του V(NIS) από το V(FIS) καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L-SER05



Στην απεικόνιση του διαγράμματος 5.5 παρατηρούμε πως η ποσοστιαία διαφορά από V(NIS) προς V(FIS) αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος L. Όταν αρχικά για L=1 η διαφορά είναι -23,31% για L=12 γίνεται -63,05%

Όπως παρατηρούμε στα διαγράμματα διαφαίνεται πόσο όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L οι τιμές της διακύμανσης του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης τόσο για τη στρατηγική V(NIS) όσο και για τη στρατηγική V(FIS) αυξάνονται. Μπορούμε να συμπεράνουμε πως όσο αυξάνεται ο παράγοντας χρόνος, ο χρόνος παράδοσης L, η έλλειψη πληροφόρησης στην στρατηγική NIS οδηγεί σε μεγάλη αστάθεια με υψηλή διακύμανση κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει με την σειρά του σε προβλήματα όπως υψηλά αποθέματα ή ελλείψεις για την κάλυψη της ζήτησης.

5.2 Αναμενόμενη τιμή επιπέδου αποθέματος του προμηθευτή

Έχοντας υπολογίσει τη διακύμανση του αθροίσματος των σφαλμάτων για τις στρατηγικές NIS και FIS ,στην συνέχεια υπολογίζουμε την αναμενόμενη τιμή του επιπέδου αποθέματος $E(I_M^{NIS})$ υπό τη στρατηγική NIS και την αντίστοιχη $E(I_M^{FIS})$ χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (17) και (20) αντίστοιχα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.

Η Εξίσωση (17) :

$$E(I_M^{NIS}) \approx \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) \sigma_{\xi} \sqrt{+1 + L + L(L+1)\beta + \frac{L(L+1)(2L+1)}{6}\beta^2}$$

Και η εξίσωση (18) :

$$E(I_M^{FIS}) \approx \Phi^{-1}\left(\frac{b}{b+h}\right) \sigma_{\varepsilon} \sqrt{+1 + L + L(L+1)\alpha + \frac{L(L+1)(2L+1)}{6}\alpha^2}$$

Θέτουμε κόστος έλλειψης ανά μονάδα $b=25$ και κόστος διατήρησης του αποθέματος $h=1$, τιμές που ευθυγραμμίζονται με τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία των Babai et al.(2013). Υπολογίζουμε την αναμενόμενη τιμή του επιπέδου αποθέματος για δύο σενάρια ,χωρίς διαμοιρασμό πληροφορίας (NIS) και με πλήρη διαμοιρασμό πληροφορίας(FIS) για χρόνο παράδοσης $L=1,2,3,4,5,6,8,10$ και 12 .Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για τις πέντε σειρές δεδομένων ζήτησης (SER01-SER05).Μέσω πινάκων όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αλλά και απεικόνισης σε γραφήματα θα αναλύσουμε :

- Την ποσοστιαία αύξηση του $E(I)$ NIS καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L
- Την ποσοστιαία αύξηση του $E(I)$ FIS καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L
- Την ποσοστιαία διαφορά του $E(I)$ NIS από $E(I)$ FIS σε σχέση με την αύξηση του χρόνου L

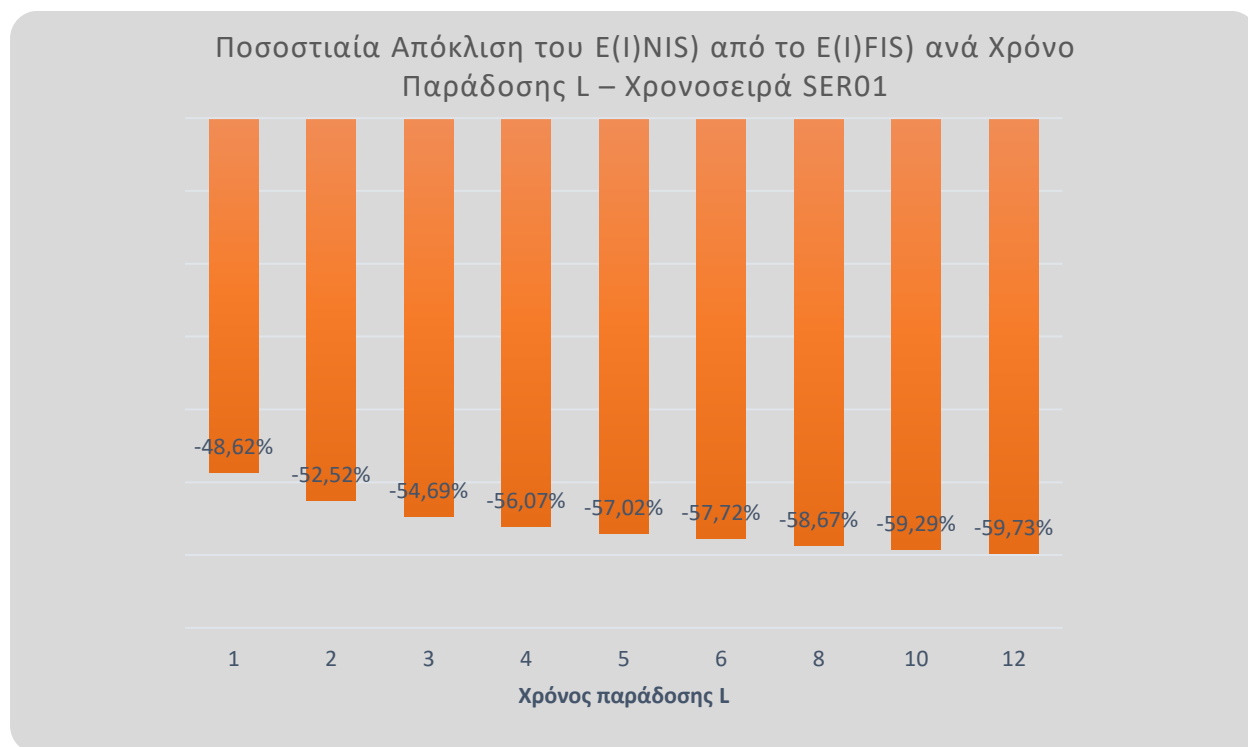
5.2.1 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER01

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τη SER01 επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα 14 ενώ η ποσοστιαία απόκλιση από E(FIS) σε E(NIS) απεικονίζονται στο διάγραμμα 4.6

Πίνακας 14. Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER01

Δεδομένα ζήτησης	L	$\alpha=1-\theta$	β	E(I) NIS	E(I) FIS	% αύξηση του E(I)NIS με αύξηση του L	% αύξηση του E(I)FIS με αύξηση του L	% από E(I)NIS σε E(I)FIS
SER01	1	0,6573	0,2840	7,1403	3,6690	-	-	-48,62%
	2	0,6573	0,2212	12,0449	5,7194	68,69%	55,88%	-52,52%
	3	0,6573	0,1811	17,7169	8,0278	47,09%	40,36%	-54,69%
	4	0,6573	0,1533	24,0654	10,5722	35,83%	31,69%	-56,07%
	5	0,6573	0,1330	31,0254	13,3338	28,92%	26,12%	-57,02%
	6	0,6573	0,1174	38,5477	16,2975	24,25%	22,23%	-57,72%
	8	0,6573	0,0950	55,1297	22,7830	43,02%	39,79%	-58,67%
	10	0,6573	0,0799	73,5738	29,9496	33,46%	31,46%	-59,29%
	12	0,6573	0,0689	93,7082	37,7383	27,37%	26,01%	-59,73%

Διάγραμμα 5.6 Απόκλιση του E(I)NIS από το E(I)FIS) καθώς αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L- SER01



. Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 14 με την αύξηση του L αυξάνονται οι τιμές του E(I) και για τα δυο σενάρια NIS και FIS. Εστιάζοντας στο E(I)NIS για τις πρώτες τιμές του L υπάρχουν μεγάλες αυξήσεις. Χαρακτηριστικά όταν από L=1 γίνεται L=2 η τιμή του E(I) NIS παρουσιάζει αύξηση κατά 68,69%. Όσο αυξάνεται το L από L=2 σε L=3 το E(I) NIS συνεχίζει να αυξάνεται αλλά με μικρότερο ποσοστό (47,09%). Το ίδιο παρατηρείται και στα επόμενα L φθάνοντας στο L=12 η αύξηση του E(I)NIS να γίνεται (27,37%). Διαπιστώνεται πως το ποσοστό αύξησης του E(I)NIS μειώνεται καθώς προχωράμε σε μεγαλύτερους χρόνους παράδοσης. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται στο σενάριο FIS. Η τιμή του E(I)FIS αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι χρόνοι παράδοσης L. Σε επίπεδο ποσοστού διακρίνουμε από τον πίνακα χαρακτηριστικά ότι από L=1 σε L=2 το E(I)FIS παρουσιάζει αύξηση 55,88% ενώ όταν το L=3 η αύξηση γίνεται 40,36% για να καταλήξει όταν L=11 σε L=12 η αύξηση του E(I)FIS γίνεται 26,01%. Υπάρχει δηλαδή μια φθίνουσα αύξηση καθώς προχωρούμε σε μεγαλύτερα L. Όμως όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του πίνακα τα ποσοστά των αυξήσεων που παρουσιάζει το E(I)FIS είναι αρκετά μικρότερα από το E(NIS). Εντοπίζουμε και στις απόλυτες τιμές ότι το E(I) NIS αυξάνεται πιο

έντονα από το E(I)FIS. Στο διάγραμμα 5.6 απεικονίζεται η ποσοστιαία διαφορά του E(I) NIS σε E(I) FIS ανά χρόνο παράδοσης. Για L=1 είναι -48,62% Ενώ για L=12 είναι -59,73%.

Ένα άλλο συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε με βάση τον πίνακα 13 αφορά τον συντελεστή β. Ο συντελεστής β υπολογίζεται, υπενθυμίζουμε όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 από την εξίσωση :

$$\beta = \frac{\alpha}{[1 + (L + 1)\alpha]}$$

Και χρησιμοποιείται στην εξίσωση (17) για τον υπολογισμό της E(I) NIS. Όπως βλέπουμε από τον υπολογισμό του β, όταν ο χρόνος παράδοσης L αυξάνεται θα μειώνεται ο β. Το γεγονός αυτό το παρατηρούμε στα αποτελέσματα των υπολογισμών του β. Καθώς ο χρόνος παράδοσης L αυξάνεται, ο συντελεστής β μειώνεται. Όταν L=1 ο β=0,2840 ενώ όταν L=12 ο β=0,0689.

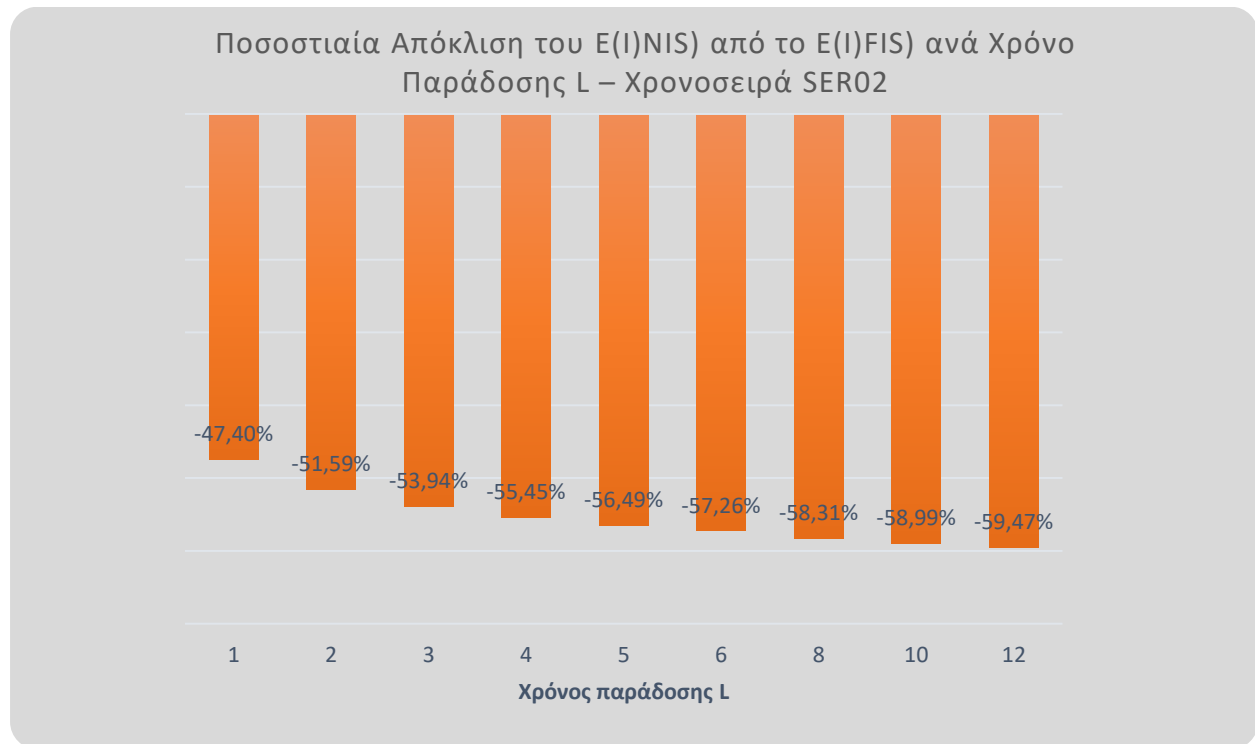
5.2.2 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER02

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τη SER02 επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα ενώ η ποσοστιαία απόκλιση από E(FIS) σε E(NIS) απεικονίζονται στο διάγραμμα 5.7

Πίνακας 15. Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER02

Δεδομένα ζήτησης	L	$\alpha=1-\theta$	β	E(I) NIS	E(I) FIS	% αύξηση του E(I)NIS με αύξηση του L	% αύξηση του E(I)FIS με αύξηση του L	% από E(I)NIS σε E(I)FIS
SER02	1	0,6133	0,2754	7,1702	3,7713	-	-	-47,40%
	2	0,6133	0,2160	12,0084	5,8133	67,48%	54,15%	-51,59%
	3	0,6133	0,1776	17,5907	8,1015	46,49%	39,36%	-53,94%
	4	0,6133	0,1508	23,8305	10,6166	35,47%	31,04%	-55,45%
	5	0,6133	0,1311	30,6656	13,3415	28,68%	25,67%	-56,49%
	6	0,6133	0,1159	38,0483	16,2621	24,07%	21,89%	-57,26%
	8	0,6133	0,0941	54,3126	22,6449	42,75%	39,25%	-58,31%
	10	0,6133	0,0792	72,3931	29,6896	33,29%	31,11%	-58,99%
	12	0,6133	0,0684	92,1233	37,3399	27,25%	25,77%	-59,47%

Διάγραμμα 5.7 Διάγραμμα σύγκρισης τιμών E(NIS) και E(FIS) για SER02



Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την SER02 διαπιστώνουμε τα εξής :

- Με την αύξηση του χρόνου παράδοσης L αυξάνονται οι τιμές του E(I) και για τα δυο σενάρια NIS και FIS.
- Για το σενάριο NIS Διαπιστώνουμε πως όταν από L=1 ο χρόνος παράδοσης L=2 το E(I) NIS αυξάνεται κατά 67,48%. Σε κάθε αύξηση του L το E(I) NIS συνεχίζει να αυξάνεται και για την τελική τιμή που έχουμε θέσει (L=12) καταλήγει η αύξηση του E(I) NIS από L=10 να είναι 27,25% . Παρατηρείται δηλαδή μια φθίνουσα αύξηση όσο αυξάνεται το L.
- Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται για το σενάριο FIS. Ενδεικτικά από τον πίνακα 15 διαπιστώνουμε πως από L=1 σε L=2 υπάρχει αύξηση του E(I) FIS κατά 54,15%. Και όταν από L=10 σε L=12 η αύξηση του E(I) FIS γίνεται 25,77%. Δηλαδή και σε αυτό το σενάριο παρατηρείται φθίνουσα αύξηση του E(I) FIS καθώς προχωράμε σε μεγαλύτερα L

- Τα ποσοστά αύξησης του E(I) NIS καθώς αυξάνεται το L είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του E(I) FIS

Στο διάγραμμα 5.7 απεικονίζεται η τελευταία στήλη του πίνακα 15 η οποία μας δείχνει την ποσοστιαία διαφορά από E(I) NIS σε E(I)FIS για κάθε χρόνο παράδοσης . Όταν το L=1 η ποσοστιαία διαφορά είναι -47,40% και όταν L=12 γίνεται -59,47%. Δηλαδή όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L η ποσοστιαία διαφορά από E (I) NIS σε E(I)FIS αυξάνεται.

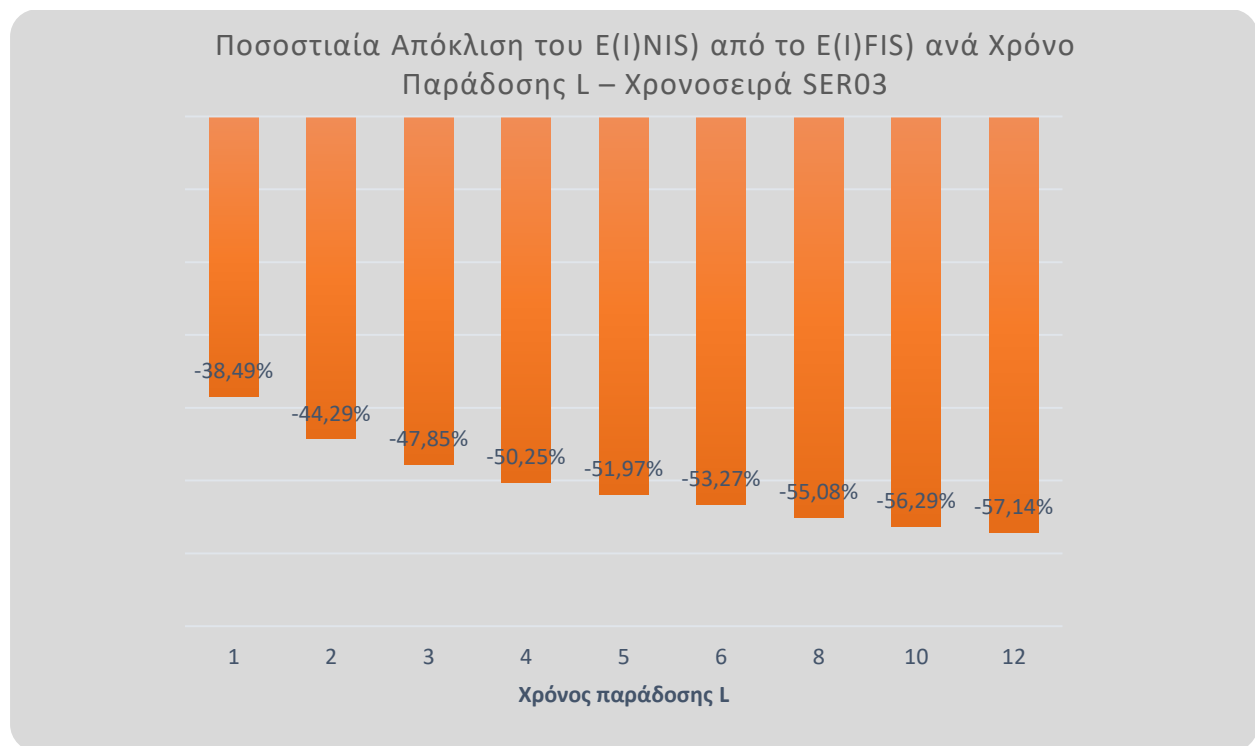
5.2.3 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER03

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τη SER03 επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα 15 ενώ η ποσοστιαία απόκλιση από E(FIS) σε E(NIS) απεικονίζονται στο διάγραμμα 5.8

Πίνακας 15. Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER03

Δεδομένα ζήτησης	L	$\alpha=1-\theta$	β	E(I) NIS	E(I) FIS	% αύξηση του E(I)NIS με αύξηση του L	% αύξηση του E(I)FIS με αύξηση του L	% από E(I)NIS σε E(I)FIS
SER03	1	0,3799	0,2159	5,6118	3,4519	-	-	-38,49%
	2	0,3799	0,1776	8,9067	4,9621	58,71%	43,75%	-44,29%
	3	0,3799	0,1508	12,6339	6,5884	41,85%	32,78%	-47,85%
	4	0,3799	0,1310	16,7524	8,3340	32,60%	26,49%	-50,25%
	5	0,3799	0,1158	21,2297	10,1957	26,73%	22,34%	-51,97%
	6	0,3799	0,1038	26,0400	12,1688	22,66%	19,35%	-53,27%
	8	0,3799	0,0860	36,5783	16,4307	40,47%	35,02%	-55,08%
	10	0,3799	0,0734	48,2353	21,0855	31,87%	28,33%	-56,29%
	12	0,3799	0,0640	60,9132	26,1045	26,28%	23,80%	-57,14%

Διάγραμμα 5.8 Διάγραμμα σύγκρισης τιμών E(NIS) και E(FIS) για SER03



Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την SER03 διαπιστώνουμε τα εξής

- Με την αύξηση του χρόνου παράδοσης L αυξάνονται οι τιμές του E(I) και για τα δυο σενάρια NIS και FIS.
- Για το σενάριο NIS Διαπιστώνουμε πως όταν από L=1 ο χρόνος παράδοσης L=2 το E(I) NIS αυξάνεται κατά 58,71%. Σε κάθε αύξηση του L το E(I) NIS συνεχίζει να αυξάνεται και για την τελική τιμή που έχουμε θέσει (L=12) καταλήγει η αύξηση του E(I) NIS από L=10 σε L12 να είναι 26,28% . Παρατηρείται δηλαδή μια φθίνουσα αύξηση όσο αυξάνεται το L.
- Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται για το σενάριο FIS. Ενδεικτικά από τον πίνακα 15 διαπιστώνουμε πως από L=1 σε L=2 υπάρχει αύξηση του E(I) FIS κατά 43.75%. Και όταν από L=10 σε L=12 η αύξηση του E(I) FIS γίνεται 23,80%. Δηλαδή και σε αυτό το σενάριο παρατηρείται φθίνουσα αύξηση του E(I) FIS καθώς προχωράμε σε μεγαλύτερα L
- Τα ποσοστά αύξησης του E(I) NIS καθώς αυξάνεται το L είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του E(I) FIS

- Στο διάγραμμα 5.8 απεικονίζεται η τελευταία στήλη του πίνακα 15 η οποία μας δείχνει την ποσοστιαία διαφορά από E (I) NIS σε E(I)FIS για κάθε χρόνο παράδοσης . Όταν το L=1 η ποσοστιαία διαφορά είναι -38.49% και όταν L=12 γίνεται -57,14%. Δηλαδή όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L η ποσοστιαία διαφορά από E (I) NIS σε E(I)FIS αυξάνεται.

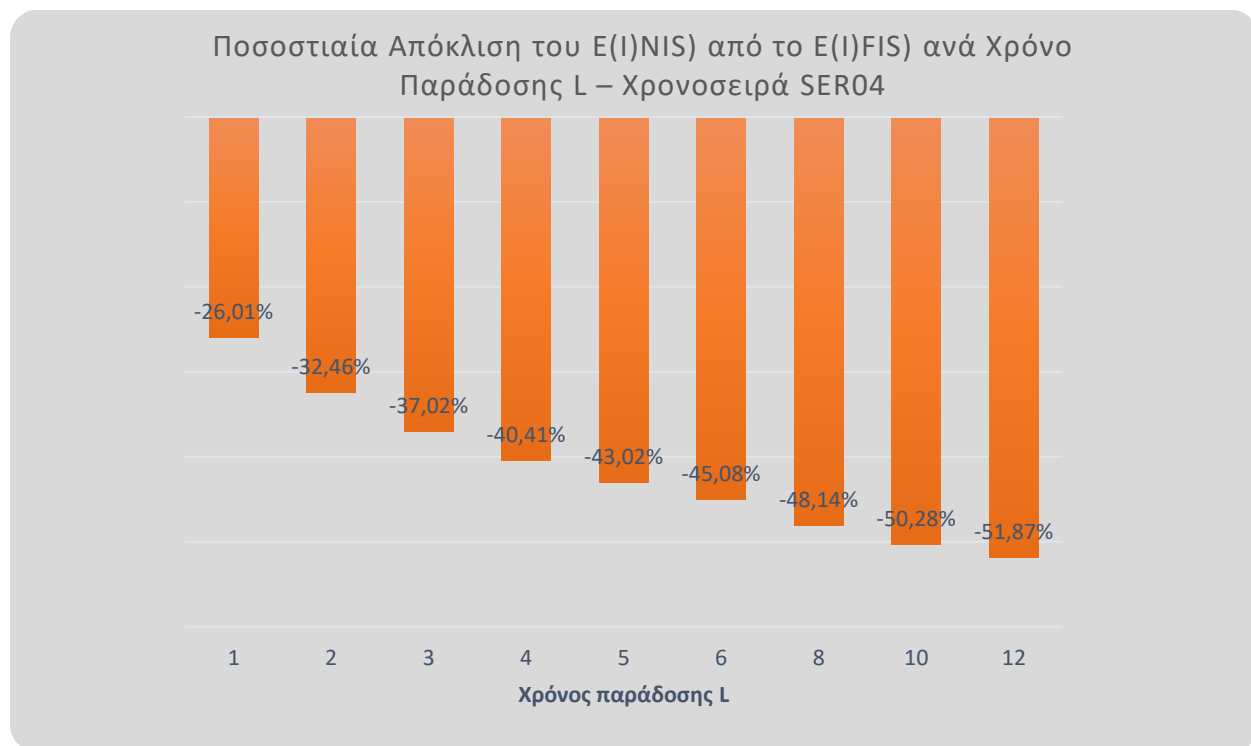
5.2.4 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER04

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τη SER04 επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα 16 ενώ η ποσοστιαία απόκλιση από E(FIS) σε E(NIS) απεικονίζονται στο διάγραμμα 5.9

Πίνακας 16. Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER04

Δεδομένα ζήτησης	L	$\alpha=1-\theta$	β	E(I) NIS	E(I) FIS	% αύξηση του E(I)NIS με αύξηση του L	% αύξηση του E(I)FIS με αύξηση του L	% από E(I)NIS σε E(I)FIS
SER04	1	0,1941	0,1398	4,0234	2,9770	-	-	-26,01%
	2	0,1941	0,1227	5,9045	3,9879	46,75%	33,96%	-32,46%
	3	0,1941	0,1093	7,9474	5,0050	34,60%	25,51%	-37,02%
	4	0,1941	0,0985	10,1494	6,0481	27,71%	20,84%	-40,41%
	5	0,1941	0,0897	12,5035	7,1250	23,19%	17,81%	-43,02%
	6	0,1941	0,0823	15,0023	8,2392	19,99%	15,64%	-45,08%
	8	0,1941	0,0707	20,4073	10,5840	36,03%	28,46%	-48,14%
	10	0,1941	0,0619	26,3172	13,0840	28,96%	23,62%	-50,28%
	12	0,1941	0,0551	32,6939	15,7353	24,23%	20,26%	-51,87%

Διάγραμμα 5.9 Διάγραμμα σύγκρισης τιμών E(NIS) και E(FIS) για SER04



Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την SER04 διαπιστώνουμε τα εξής:

- Με την αύξηση του χρόνου παράδοσης L αυξάνονται οι τιμές του E(I) και για τα δυο σενάρια NIS και FIS.
- Για το σενάριο NIS Διαπιστώνουμε πως όταν από L=1 ο χρόνος παράδοσης L=2 το E(I) NIS αυξάνεται κατά 46,75%. Σε κάθε αύξηση του L το E(I) NIS συνεχίζει να αυξάνεται και για την τελική τιμή που έχουμε θέσει (L=12) καταλήγει η αύξηση του E(I) NIS από L=10 σε L12 να είναι 24,23% . Παρατηρείται δηλαδή μια φθίνουσα αύξηση όσο αυξάνεται το L.
- Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται για το σενάριο FIS. Ενδεικτικά από τον πίνακα 16 διαπιστώνουμε πως από L=1 σε L=2 υπάρχει αύξηση του E(I) FIS κατά 33,96%. Και όταν από L=10 σε L=12 η αύξηση του E(I) FIS γίνεται 20,26%. Δηλαδή και σε αυτό το σενάριο παρατηρείται φθίνουσα αύξηση του E(I) FIS καθώς προχωράμε σε μεγαλύτερα L
- Τα ποσοστά αύξησης του E(I) NIS καθώς αυξάνεται το L είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του E(I) FIS

- Στο διάγραμμα 5.9 απεικονίζεται η τελευταία στήλη του πίνακα 16 η οποία μας δείχνει την ποσοστιαία διαφορά από E (I) NIS σε E(I)FIS για κάθε χρόνο παράδοσης . Όταν το L=1 η ποσοστιαία διαφορά είναι -26,01% και όταν L=12 γίνεται -51,87%. Δηλαδή όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L η ποσοστιαία διαφορά από E (I) NIS σε E(I)FIS αυξάνεται.

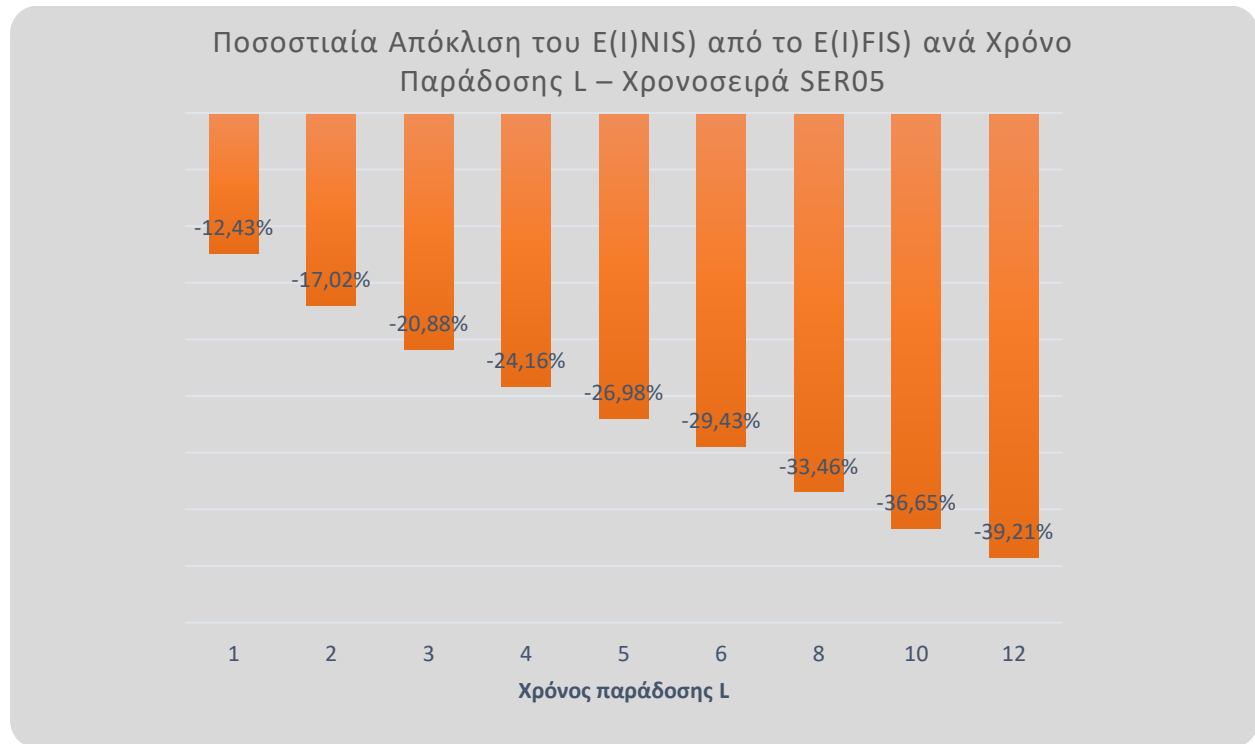
5.2.5 Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER05

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τη SER05 επισυνάπτονται στον παρακάτω πίνακα 17 ενώ η ποσοστιαία απόκλιση από E(FIS) σε E(NIS) απεικονίζονται στο διάγραμμα 5.10

Πίνακας 17. Αποτελέσματα αναμενόμενης τιμή αποθέματος για στρατηγικές NIS & FIS -SER05

Δεδομένα ζήτησης	L	$\alpha=1-\theta$	β	E(I) NIS	E(I) FIS	% αύξηση του E(I)NIS με αύξηση του L	% αύξηση του E(I)FIS με αύξηση του L	% από E(I)NIS σε E(I)FIS
SER05	1	0,0736	0,0642	3,2756	2,8686	-	-	-12,43%
	2	0,0736	0,0603	4,3886	3,6415	33,98%	26,94%	-17,02%
	3	0,0736	0,0569	5,5035	4,3541	25,40%	19,57%	-20,88%
	4	0,0736	0,0538	6,6411	5,0363	20,67%	15,67%	-24,16%
	5	0,0736	0,0511	7,8101	5,7027	17,60%	13,23%	-26,98%
	6	0,0736	0,0486	9,0144	6,3614	15,42%	11,55%	-29,43%
	8	0,0736	0,0443	11,5346	7,6746	27,96%	20,64%	-33,46%
	10	0,0736	0,0407	14,2053	8,9997	23,15%	17,27%	-36,65%
	12	0,0736	0,0376	17,0239	10,3480	19,84%	14,98%	-39,21%

Διάγραμμα 5.10 Διάγραμμα σύγκρισης τιμών E(NIS) και E(FIS) για SER05



Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την SER05 διαπιστώνουμε τα εξής

- Με την αύξηση του χρόνου παράδοσης L αυξάνονται οι τιμές του E(I) και για τα δυο σενάρια NIS και FIS.
- Για το σενάριο NIS Διαπιστώνουμε πως όταν από L=1 ο χρόνος παράδοσης L=2 το E(I) NIS αυξάνεται κατά 33,98%. Σε κάθε αύξηση του L το E(I) NIS συνεχίζει να αυξάνεται και για την τελική τιμή που έχουμε θέσει (L=12) καταλήγει η αύξηση του E(I) NIS από L=10 σε L12 να είναι 19,84% . Παρατηρείται δηλαδή μια φθίνουσα αύξηση όσο αυξάνεται το L.
- Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται για το σενάριο FIS. Ενδεικτικά από τον πίνακα 17 διαπιστώνουμε πως από L=1 σε L=2 υπάρχει αύξηση του E(I) FIS κατά 26,94%. Και όταν από L=10 σε L=12 η αύξηση του E(I) FIS γίνεται 14,98%. Δηλαδή και σε αυτό το σενάριο παρατηρείται φθίνουσα αύξηση του E(I) FIS καθώς προχωράμε σε μεγαλύτερα L
- Τα ποσοστά αύξησης του E(I) NIS καθώς αυξάνεται το L είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του E(I) FIS

- Στο διάγραμμα 5.10 απεικονίζεται η τελευταία στήλη του πίνακα 10 η οποία μας δείχνει την ποσοστιαία διαφορά από E(I)NIS σε E(I)FIS για κάθε χρόνο παράδοσης. Όταν το $L=1$ η ποσοστιαία διαφορά είναι -12,43% και όταν $L=12$ γίνεται -39,21%. Δηλαδή όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L η ποσοστιαία διαφορά από E (I) NIS σε E(I)FIS αυξάνεται.

Συμπερασματικά από την ανάλυση των πέντε σειρών δεδομένων λιανικών προϊόντων (SER01-SER05) διαπιστώθηκε πως για κάθε χρονοσειρά η διακύμανση του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης V αυξάνεται σταθερά όσο επιμηκύνεται ο χρόνος παράδοσης L . Ο ρυθμός αύξησης στη στρατηγική NIS είναι μεγαλύτερος από ότι στη στρατηγική FIS. Η μείωση που επιτυγχάνει η FIS μεγαλώνει όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης L όπως είδαμε αναλυτικά στα αποτελέσματα παραπάνω. Όσον αφορά το αναμενόμενο επίπεδο αποθέματος E(I) όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης η στρατηγική FIS μειώνει τα απαιτούμενα αποθέματα .

Κεφάλαιο 6^ο

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε πως όταν σε μια εφοδιαστική αλυσίδα εφαρμόζονται προγράμματα ανταλλαγής πληροφορίας, πως αυτά επηρεάζουν την λειτουργία της αλυσίδας. Από την έρευνα στην βιβλιογραφία είναι προφανής η αξία της ανταλλαγής πληροφορίας μεταξύ των μελών για την βελτίωση της απόδοσης της αλυσίδας, την ακρίβεια των προβλέψεων και την μείωση του κόστους των αποθεμάτων. Για τις ανάγκες της εργασίας τέθηκε ένα σύστημα εφοδιαστικής αλυσίδας με δύο στάδια τον προμηθευτή και τον λιανοπωλητή. Η ζήτηση που αντιπετοπίζει ο λιανοπωλητής είναι μη στάσιμη και περιγράφεται από το υπόδειγμα Arima (0,1,1). Η πολιτική αναπλήρωσης που εφαρμόζει είναι η Order up to level.

Αρχικά με την χρήση μαθηματικών σχέσεων που παρήχθησαν από τους Babai et al.,(2013) υπολογίστηκε το άθροισμα της διακύμανσης των σφαλμάτων πρόβλεψης και το αναμενόμενο ύψος του αποθέματος. Παρουσιάστηκαν οι σχέσεις για τα δύο σενάρια : χωρίς ανταλλαγή πληροφορίας και με πλήρη ανταλλαγή πληροφορίας. Κατά το σενάριο χωρίς ανταλλαγή πληροφορίας παρουσιάστηκε ο νέος συντελεστής εξομάλυνσης β με τον οποίο ο προμηθευτής εξομαλύνει τα σφάλματα πρόβλεψης. Ο συντελεστής β επηρεάζεται από τον χρόνο παράδοσης L και με την αύξηση του χρόνου ο συντελεστής μειώνεται δείχνοντας ότι επηρεάζει λιγότερο την διόρθωση, δηλαδή επειδή αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης αυξάνεται η αβεβαιότητα. Υπάρχει μια στρεβλή εικόνα της ζήτησης.

Στην συνέχεια έγινε εφαρμογή της μεθοδολογίας σε χρονοσειρές ζήτησης στο οικονομετρικό πρόγραμμα EViews με δεδομένα ζήτησης από πέντε προϊόντων λιανικής για διάστημα 100 εβδομάδων. Χρησιμοποιήθηκε η αυτόματη διαδικασία Automatic Arima Forecasting και εκτιμήθηκε μέσω αυτής ότι το υπόδειγμα που περιγράφει τη ζήτηση είναι το ARIMA (0,1,1). Παρουσιάστηκε αναλυτικά η διαδικασία στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το άθροισμα της διακύμανσης των σφαλμάτων πρόβλεψης στο σενάριο μη πληροφορίας και αντίστοιχα στο σενάριο πλήρους πληροφορίας. Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη του φαινομένου bullwhip effect. Όταν ο προμηθευτής δεν έχει πρόσβαση στη ζήτηση του λιανοπωλητή οι παραγγελίες του παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση. Υπολογίζοντας το $V(NIS)$ και το $V(FIS)$, η μεταξύ τους σύγκριση έδειξε πως όταν υπάρχει πλήρης πληροφορία η διακύμανση του αθροίσματος των σφαλμάτων πρόβλεψης μειώνεται. Χαρακτηριστικά στον μεγαλύτερο χρόνο

παράδοσης που θέσαμε ($L=12$) η ποσοστιαία διαφορά για SER05 ήταν -63,05 % .Ταυτόχρονα η ποσοστιαία διαφορά του $E(I)$ NIS από το $E(I)$ FIS ήταν -39,21%. Επιβεβαιώνεται η αξία της ανταλλαγής πληροφόρησης και το όφελος στην μείωση του κόστους των αποθεμάτων. Οι υπολογισμοί και για τις πέντε σειρές δεδομένων επιβεβαίωσαν το όφελος που προκύπτει από η στρατηγική FIS. Η ποσοστιαία διαφορά από $V(NIS)$ σε $V(FIS)$ αυξήθηκε σε όλες τις σειρές δεδομένων και μάλιστα όταν το L αυξανόταν, αυξανόταν και η ποσοστιαία διαφορά. Για την ανάγκες της εργασίας θεωρήθηκε ο χρόνος παράδοσης γνωστός και οι υπολογισμοί έγιναν για $L = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10$ και 12.

Ένα κρίσιμο ζήτημα που προκύπτει κατά την εφαρμογή υποδειγμάτων εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικά δεδομένα αφορά τη μεταβλητότητα του χρόνου παράδοσης (L), ο οποίος δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες, όπως περιορισμοί στη μεταφορά και απρόβλεπτες διαταραχές. Η δομή δύο σταδίων που χρησιμοποιείται στο παρόν πλαίσιο αναφοράς απεικονίζει μια απλουστευμένη μορφή εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ το υπόδειγμα $Arima(0,1,1)$ αποτελεί ένα βασικό και ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης. Για την ενίσχυση της εγκυρότητας των συμπερασμάτων, μελλοντικές ερευνητικές προσεγγίσεις θα μπορούσαν να εξετάσουν πιο σύνθετα πολυσταδιακά συστήματα, τα οποία προσομοιώνουν ρεαλιστικότερες ροές πληροφόρησης και αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών επιπέδων της αλυσίδας. Επιπλέον, το χρονικό εύρος των 100 εβδομάδων ενδέχεται να μην επαρκεί για την καταγραφή μακροπρόθεσμων τάσεων ή την ανάλυση εποχικών φαινομένων, γεγονός που συνιστά έναν σημαντικό περιορισμό. Η διεύρυνση της χρονικής περιόδου ανάλυσης θα μπορούσε να προσφέρει πληρέστερη εικόνα της δυναμικής της ζήτησης και της απόδοσης των προτεινόμενων μοντέλων, και συνιστά σημαντική κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αποδεικνύουν, σε ποσοτικό επίπεδο, ότι η ανταλλαγή πληροφοριών μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα προσφέρει σημαντικά οφέλη: ενισχύει την ακρίβεια των προβλέψεων και επιτρέπει τη μείωση των αποθεμάτων. Η αξιοποίηση της λειτουργίας Automatic ARIMA Forecasting στο EViews επιβεβαίωσε όσα αναφέρει και η βιβλιογραφία: η τεχνολογική εξέλιξη έχει μεταβάλει την επιλογή μοντέλου από χρονοβόρα, χειροκίνητη διαδικασία σε πλήρως αυτοματοποιημένη, προσφέροντας ταχύτερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Παράλληλα, τα ευρήματα αναδεικνύουν ότι η πρόβλεψη ζήτησης και η διαχείριση αποθεμάτων πρέπει να θεωρούνται ένα ενιαίο, αλληλεξαρτώμενο σύστημα, προκειμένου να επιτυγχάνονται βέλτιστα επιχειρησιακά αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

Agrawal, S., Sengupta, R.N. and Shanker, K. (2009). Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory. *European Journal of Operational Research*, 192(2), pp.576–593.

Ali, M., Babai, Z., Boylan, J.E. and Syntetos, A.A. (2012). Supply chain forecasting when information is shared. *International Journal of Forecasting*, 28(4), 830-841.

Angos-Mediavilla, M., Dietrich, F. and Palm, D. (2022) ‘Review and analysis of artificial intelligence methods for demand forecasting in supply chain management’, *Procedia CIRP*, 107, pp. 1126–1131.

Aviv, Y. (2007). On the benefits of collaborative forecasting partnerships between retailers and manufacturers. *Management Science*, 53(5), 777-794.

Babai, M. Z., Ali, M., and Nikolopoulos, K. (2013). Forecasting and inventory performance in a two-stage supply chain with ARIMA (0,1,1) demand. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 463-471.

Babai, M. Z., Ali, M. M., Boylan, J. E., and Syntetos, A. A. (2015). Reduction of the value of information sharing as demand becomes strongly auto-correlated. *International Journal of Production Economics*, 166, 144–158.

Babai, M.Z., Ali, M., Boylan, J.E. and Syntetos, A.A. (2015). On the use of forecast accuracy measures in supply chain planning. *International Journal of Production Economics*, 171, 209-222.

Bandara K., Bergmeir C. and Hewamalage H. (2021). "LSTM-MSNet: Leveraging Forecasts on Sets of Related Time Series With Multiple Seasonal Patterns," in *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 32, no. 4, pp. 1586-1599.

- Barratt, M. Oliveira, A. (2007). Exploring the experiences of collaborative planning initiatives. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 31(4), pp.266–289.
- Ben-Daya, M., Hassini, E. and Bahroun, Z. (2017) Internet of things and supply chain management: A literature review, *International Journal of Production Research*, 55(15), pp. 1–24.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (3rd ed., p. 24). Prentice Hall.
- Candogan, O. and Gurkan, H. (2024). Information sharing and strategic communication in supply chains. *Manufacturing and Service Operations Management*, forthcoming.
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and Simchi-Levi, D. (2000). Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science*, 46(3), 436-443.
- Chopra, S., Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management Strategy Planning and Operation*.
- Croson, R. and Donohue, K. (2006) Behavioral causes of the bullwhip effect and the observed value of inventory information, *Management Science*, 52(3), pp. 323–336.
- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R. and Towill, D.R. (2003). Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. *European Journal of Operational Research*, 147(3), 567-590.
- Disney, S.M. and Towill, D.R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(1), 199–215.
- Disney, S.M. and Lambrecht, M.R. (2008). On replenishment rules, forecasting, and the bullwhip effect in supply chains. *Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management*, 2(1), 1-80.
- Gardner, E.S. (1990). Evaluating forecast performance in an inventory control system. *Management Science*, 36(4), 490-499.
- Gavirneni, S., Kapuscinski, R. and Tayur, S. (1999). Value of information in capacitated supply chains. *Management Science*, 45(1), 16-24.

- Gilbert, K. (2005). An ARIMA supply chain model. *Management Science*, 51(2), 305-310.
- Graves, S.C. (1999). A single-item inventory model for a nonstationary demand process. *Manufacturing and Service Operations Management*, 1(1), 50-61.
- Gronauer, S., and Diepold, K. (2022). Multi-agent deep reinforcement learning: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 55(2), 895-943.
- Hadley, G. and Whitin, T.M. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Hyndman, R.J., Koehler, A.B., Ord, J.K. and Snyder, R.D. (2002). A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods. *International Journal of Forecasting*, 18(3), 439-454.
- Hyndman, R.J. and Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 27(3), 1-22.
- Karimi, B. and Zaerpour, N. (2022). Forecast information sharing mechanisms in supply chains: DCF versus CFPM. *European Journal of Operational Research*.
- Kembro, J., Näslund, D. and Olhager, J. (2017). Information sharing across multiple supply chain tiers: A Delphi study on antecedents. *International Journal of Production Economics*, 193, pp. 77–86.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., and Whang, S. (1997). Information distortion in a supply chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, 43(4), 546–558.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, 38(3), pp.93–102.
- Lee, H.L., So, K.C. and Tang, C.S. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management Science*, 46(5), 626-643.
- Ljung, G.M. and Box, G.E.P. (1978). On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, 65(2), 297-303.
- Lotfi, Z., Mukhtar, M., Sahran, S. and Zadeh, A.T. (2013). Information Sharing in Supply Chain Management. *Procedia Technology*, 11, pp.298–304.

- Machuca, J. A. D., and del Pozo-Barajas, R. (2004). The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(3), 209–228.
- Makridakis, S. and Hibon, M. (2000). The M3-competition: results, conclusions and implications. *International Journal of Forecasting*, 16(4), 451-476.
- Makridakis, S., Spiliotis, E. and Assimakopoulos, V. (2018). The M4 Competition: Results, findings, conclusion and way forward. *International Journal of Forecasting*, 34(4), 802-808.
- Makridakis, S., Spiliotis, E. and Assimakopoulos, V. (2021). The M5 Competition: Results, findings and conclusions. *International Journal of Forecasting*, 37(1), 84-95.
- Montero-Manso, P., Athanasopoulos, G., Hyndman, R.J. and Talagala, T.S. (2019). FFORMA: Feature-based forecast model averaging. *International Journal of Forecasting*, 36(1), 86-92.
- Muth, J.F. (1960). Optimal properties of exponentially weighted forecasts. *Journal of the American Statistical Association*, 55(290), 299-306.
- Paulraj, A., Chen, I.J. and Blome, C. (2025). Information sharing in supply chains: Balancing innovation and risks. *Journal of Operations Management*.
- Raghunathan, S. (2003). Impact of demand correlation on the value of and incentives for information sharing in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 146(3), 634-649.
- Roberts, S.A. (1982). General class of Holt–Winters type forecasting models. *Management Science*, 28(7), 808-820.
- Sahin, F. and Robinson, E.P. (2002), Flow Coordination and Information Sharing in Supply Chains: Review, Implications, and Directions for Future Research. *Decision Sciences*, 33: 505-536.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., and Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Wiley.
- Syntetos, A.A., Boylan, J.E. and Disney, S.M. (2009). Forecasting for inventory planning: a 50-year review. *Journal of the Operational Research Society*, 60(S1), S2-S16.

- Syntetos, A.A., Nikolopoulos, K. and Boylan, J.E. (2010). Judging the judges through accuracy-implication metrics: The case of inventory forecasting, *International Journal of Forecasting*, 26(1), pp. 134–143.
- Winters, P.R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, 6(3), 324-342.
- Woo, J., Yoon, S., Baek, Y. and Park, C. (2022). ETSformer: Exponential smoothing transformers for time-series forecasting. In *Advances in Neural Information Processing Systems* 35.
- Yang, S. L., and Zhou, Y. W. (2006). Two-echelon supply chain models: Considering duopolistic retailers' different competitive behaviors. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 104-116.
- Yu, Z. Yan, H. and Cheng, T C E. (2002). Modelling the benefits of information sharing-based partnerships in a two-level supply chain, *Journal of the Operational Research Society*, 53:4, 436-446.
- Zhang, X. and Chen, R. (2013). Contract design for information sharing and coordination in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 144(1), 181-191.
- Zhao, X., Xie, J. and Leung, J. (2002). The impact of forecasting model selection on the bullwhip effect. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 259-270.
- Zhao, Y., Zhou, H. and Leus, R. (2024). Decision timing, information inference, and information sharing: A robust supply chain game with two-way information asymmetry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 192, p. 103807.

Παράρτημα

Εκτιμήσεις μοντέλου με automatic Arima forecasting

Εικόνα 1. Εκτίμηση μοντέλου με Automatic Arima Forecasting για SER01

Automatic ARIMA Forecasting
Selected dependent variable: D(SER01)
Date: 10/07/24 Time: 19:27
Sample: 1 100
Included observations: 99
Forecast length: 0

Number of estimated ARMA models: 25
Number of non-converged estimations: 0
Selected ARMA model: (0,1)
SIC value: 3.0398278914

Dependent Variable: D(SER01)
Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)
Date: 10/07/24 Time: 19:27
Sample: 2 100
Included observations: 99
Convergence achieved after 4 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(1)	-0.342692	0.106865	-3.206773	0.0018
SIGMASQ	1.148390	0.203514	5.642798	0.0000
R-squared	0.101296	Mean dependent var	-0.070707	
Adjusted R-squared	0.092031	S.D. dependent var	1.136164	
S.E. of regression	1.082621	Akaike info criterion	3.017904	
Sum squared resid	113.6906	Schwarz criterion	3.070330	
Log likelihood	-147.3862	Hannan-Quinn criter.	3.039115	
Durbin-Watson stat	1.988101			
Inverted MA Roots	.34			

Εικόνα 2. Εκτίμηση μοντέλου με Automatic Arima Forecasting για SER02

Automatic ARIMA Forecasting
 Selected dependent variable: D(SER02)
 Date: 10/07/24 Time: 19:32
 Sample: 1 100
 Included observations: 99
 Forecast length: 0

Number of estimated ARMA models: 25
 Number of non-converged estimations: 0
 Selected ARMA model: (0,1)
 SIC value: 3.13337407417

Dependent Variable: D(SER02)
 Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)
 Date: 10/07/24 Time: 19:32
 Sample: 2 100
 Included observations: 99
 Convergence achieved after 3 iterations
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(1)	-0.386669	0.099528	-3.885037	0.0002
SIGMASQ	1.261722	0.194485	6.487506	0.0000
R-squared	0.118090	Mean dependent var		0.060606
Adjusted R-squared	0.108998	S.D. dependent var		1.202193
S.E. of regression	1.134785	Akaike info criterion		3.112395
Sum squared resid	124.9105	Schwarz criterion		3.164821
Log likelihood	-152.0635	Hannan-Quinn criter.		3.133607
Durbin-Watson stat	1.954247			
Inverted MA Roots	.39			

Εικόνα 3. Εκτίμηση μοντέλου με Automatic Arima Forecasting για SER03

Automatic ARIMA Forecasting
 Selected dependent variable: D(SER03)
 Date: 10/07/24 Time: 19:34
 Sample: 1 100
 Included observations: 99
 Forecast length: 0

Number of estimated ARMA models: 25
 Number of non-converged estimations: 0
 Selected ARMA model: (0,1)
 SIC value: 3.17479160684

Dependent Variable: D(SER03)
 Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)
 Date: 10/07/24 Time: 19:34
 Sample: 2 100
 Included observations: 99
 Convergence achieved after 5 iterations
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(1)	-0.620075	0.084303	-7.355339	0.0000
SIGMASQ	1.311337	0.209905	6.247284	0.0000
R-squared	0.293823	Mean dependent var		0.040404
Adjusted R-squared	0.286543	S.D. dependent var		1.369636
S.E. of regression	1.156882	Akaike info criterion		3.154231
Sum squared resid	129.8224	Schwarz criterion		3.206657
Log likelihood	-154.1344	Hannan-Quinn criter.		3.175442
Durbin-Watson stat	2.040466			
Inverted MA Roots	.62			

Εικόνα 4. Εκτίμηση μοντέλου με Automatic Arima Forecasting για SER04

Automatic ARIMA Forecasting
 Selected dependent variable: D(SER04)
 Date: 10/07/24 Time: 19:35
 Sample: 1 100
 Included observations: 99
 Forecast length: 0

Number of estimated ARMA models: 25
 Number of non-converged estimations: 0
 Selected ARMA model: (0,1)
 SIC value: 3.0655407518

Dependent Variable: D(SER04)
 Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)
 Date: 10/07/24 Time: 19:35
 Sample: 2 100
 Included observations: 99
 Convergence achieved after 5 iterations
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(1)	-0.805887	0.066201	-12.17325	0.0000
SIGMASQ	1.167666	0.194115	6.015319	0.0000
R-squared	0.384980	Mean dependent var		0.020202
Adjusted R-squared	0.378640	S.D. dependent var		1.384903
S.E. of regression	1.091669	Akaike info criterion		3.043876
Sum squared resid	115.5989	Schwarz criterion		3.096303
Log likelihood	-148.6719	Hannan-Quinn criter.		3.065088
Durbin-Watson stat	1.959829			
Inverted MA Roots	.81			

Εικόνα 5. Εκτίμηση μοντέλου με Automatic Arima Forecasting για SER05

Automatic ARIMA Forecasting
 Selected dependent variable: D(SER05)
 Date: 10/07/24 Time: 19:37
 Sample: 1 100
 Included observations: 99
 Forecast length: 0

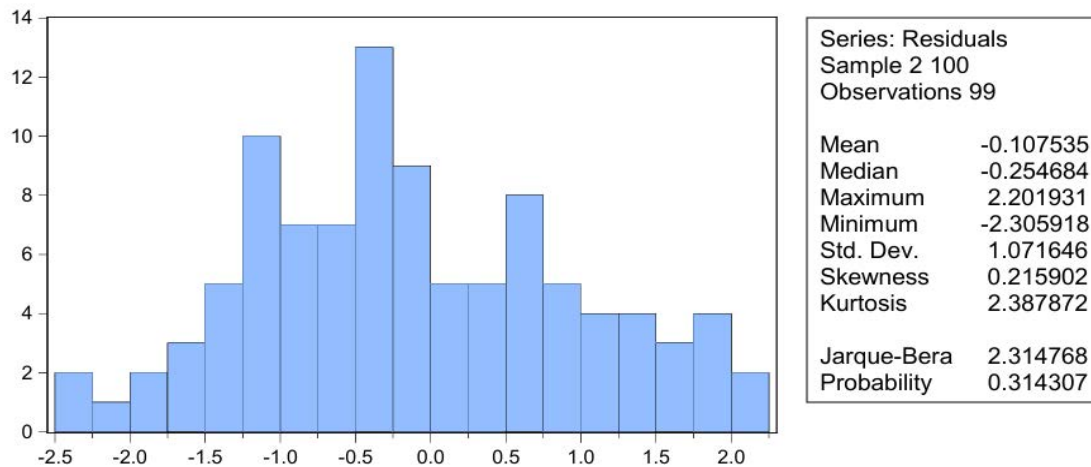
Number of estimated ARMA models: 25
 Number of non-converged estimations: 0
 Selected ARMA model: (0,1)
 SIC value: 3.11942394701

Dependent Variable: D(SER05)
 Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)
 Date: 10/07/24 Time: 19:37
 Sample: 2 100
 Included observations: 99
 Convergence achieved after 5 iterations
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

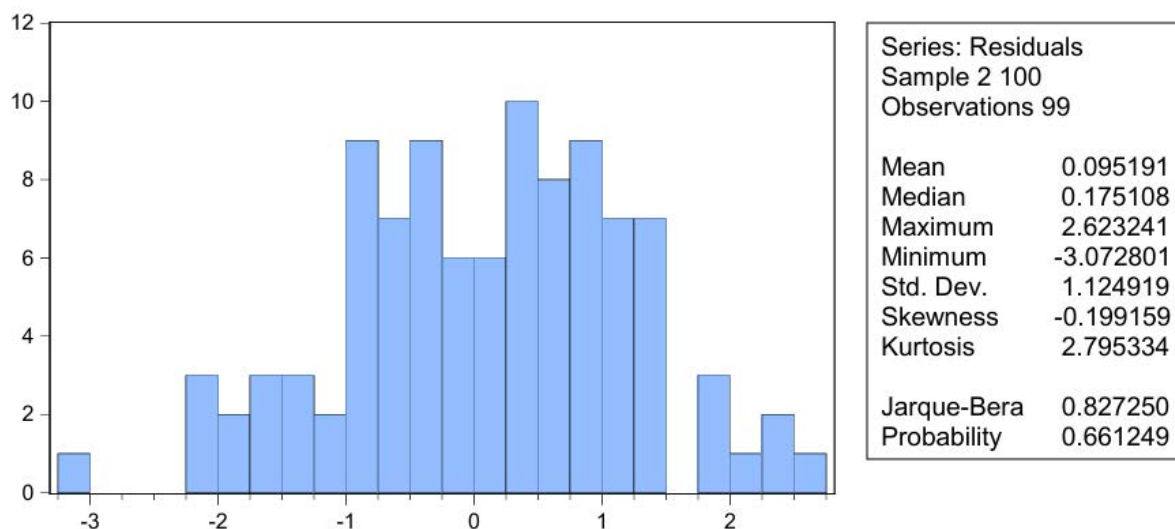
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(1)	-0.926359	0.039040	-23.72832	0.0000
SIGMASQ	1.221764	0.135983	8.984661	0.0000
R-squared	0.493721	Mean dependent var	-0.030303	
Adjusted R-squared	0.488502	S.D. dependent var	1.561361	
S.E. of regression	1.116672	Akaike info criterion	3.098304	
Sum squared resid	120.9547	Schwarz criterion	3.150730	
Log likelihood	-151.3660	Hannan-Quinn criter.	3.119515	
Durbin-Watson stat	2.117065			
Inverted MA Roots	.93			

Έλεγχος κανονικότητας με ιστόγραμμα

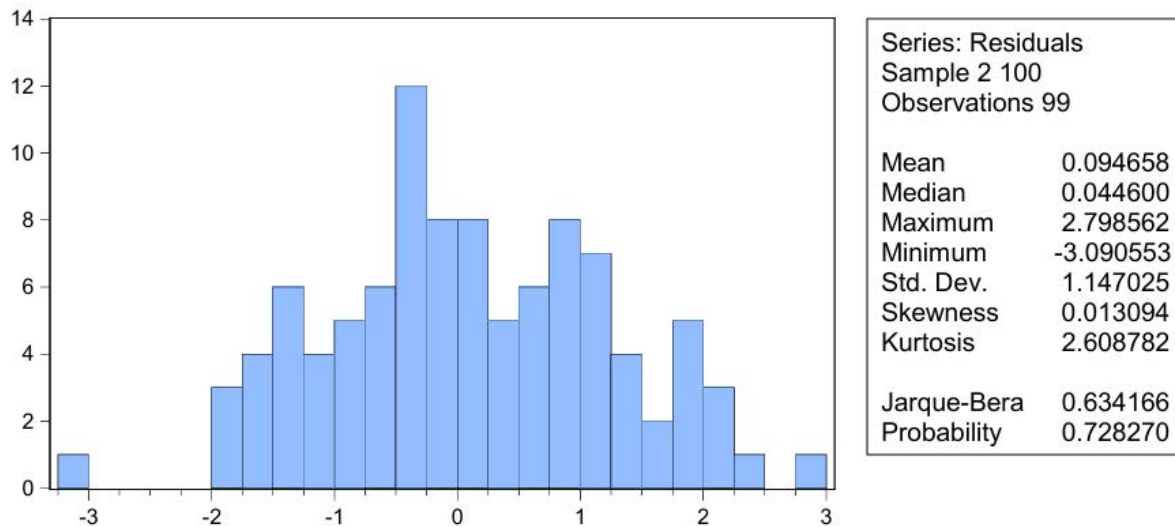
Εικόνα 6. Έλεγχος ιστόγραμμα κανονικότητας SER01



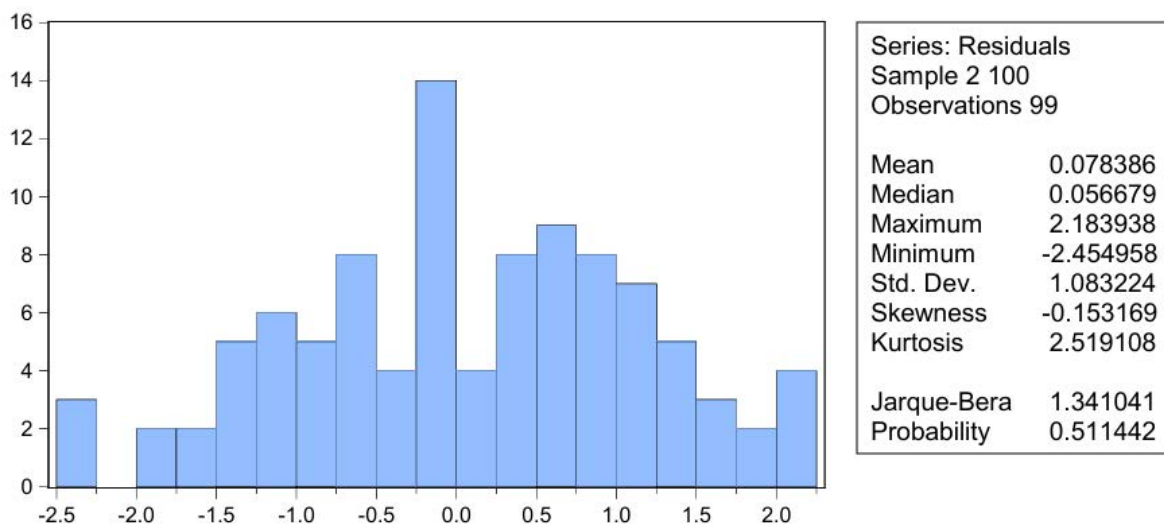
Εικόνα 7. Έλεγχος ιστόγραμμα κανονικότητας SER02



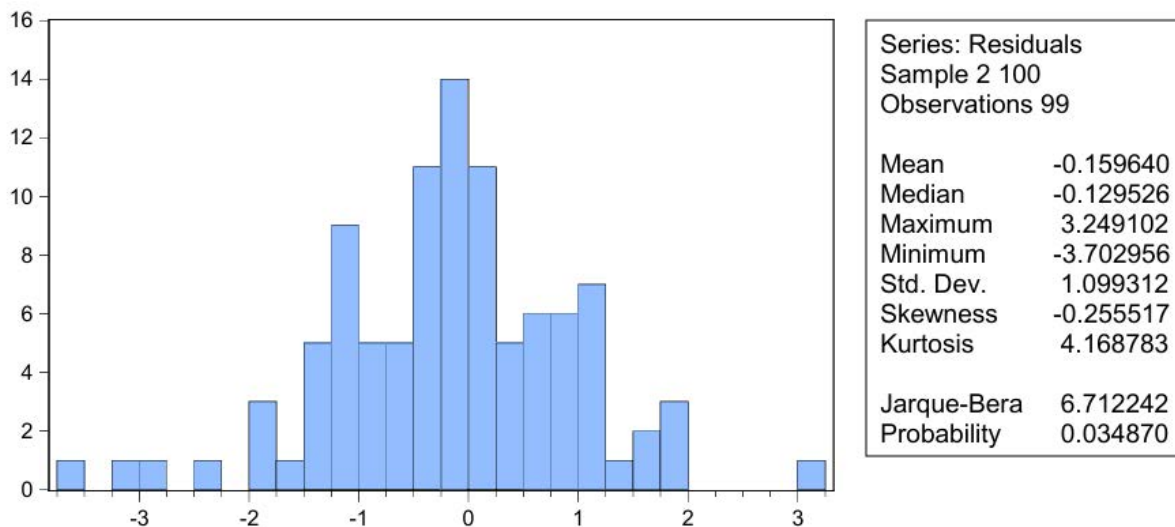
Εικόνα 8. Έλεγχος ιστόγραμμα κανονικότητας SER03



Εικόνα 9. Έλεγχος ιστόγραμμα κανονικότητας SER04



Εικόνα 10. Έλεγχος ιστόγραμμα κανονικότητας SER05



Έλεγχος στασιμότητας με τη μέθοδο Augmented Dickey- Fuller (ADF)

Εικόνα 11. Έλεγχος στασιμότητας Level SER01 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: SER01 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)					Null Hypothesis: SER01 has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*				t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic					Augmented Dickey-Fuller test statistic				
Test critical values:					Test critical values:				
1% level					1% level				
5% level					5% level				
10% level					10% level				
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.					*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation					Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(SER01)					Dependent Variable: D(SER01)				
Method: Least Squares					Method: Least Squares				
Date: 05/25/25 Time: 23:34					Date: 05/25/25 Time: 23:34				
Sample (adjusted): 3 99					Sample (adjusted): 2 99				
Included observations: 97 after adjustments					Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER01(-1)	-0.093276	0.049075	-1.900684	0.0604	SER01(-1)	-0.240705	0.066696	-3.608996	0.0005
D(SER01(-1))	-0.269079	0.099695	-2.699030	0.0082	C	71.30213	19.78073	3.604626	0.0005
C	27.31022	14.41361	1.894752	0.0612	@TREND("1")	-0.013529	0.005456	-2.479642	0.0149
R-squared	0.132751	Mean dependent var	-0.061856		R-squared	0.120670	Mean dependent var	-0.061224	
Adjusted R-squared	0.114299	S.D. dependent var	1.143955		Adjusted R-squared	0.102158	S.D. dependent var	1.138061	
S.E. of regression	1.076596	Akaike info criterion	3.015925		S.E. of regression	1.078364	Akaike info criterion	3.018901	
Sum squared resid	108.9515	Schwarz criterion	3.095555		Sum squared resid	110.4726	Schwarz criterion	3.098033	
Log likelihood	-143.2723	Hannan-Quinn criter.	3.048123		Log likelihood	-144.9262	Hannan-Quinn criter.	3.050908	
F-statistic	7.194363	Durbin-Watson stat	2.038222		F-statistic	6.518398	Durbin-Watson stat	2.328997	
Prob(F-statistic)	0.001238				Prob(F-statistic)	0.002224			

Null Hypothesis: SER01 has a unit root Exogenous: None Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.777301	0.3770
Test critical values:	1% level		-2.589020	
	5% level		-1.944175	
	10% level		-1.614554	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER01) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:35 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER01(-1)	-0.000294	0.000378	-0.777301	0.4389
D(SER01(-1))	-0.316682	0.097783	-3.238615	0.0017
R-squared	0.099629	Mean dependent var		-0.061856
Adjusted R-squared	0.090151	S.D. dependent var		1.143955
S.E. of regression	1.091173	Akaike info criterion		3.032787
Sum squared resid	113.1126	Schwarz criterion		3.085874
Log likelihood	-145.0902	Hannan-Quinn criter.		3.054253
Durbin-Watson stat	2.060048			

Εικόνα 12. Έλεγχος στασιμότητας 1^η διαφορά SER01 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: D(SER01) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-13.46273	0.0001
Test critical values:	1% level		-3.499167	
	5% level		-2.891550	
	10% level		-2.582846	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER01,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:46 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER01(-1))	-1.316744	0.097807	-13.46273	0.0000
C	-0.084713	0.111029	-0.762984	0.4474
R-squared	0.656103	Mean dependent var		0.010309
Adjusted R-squared	0.652483	S.D. dependent var		1.851209
S.E. of regression	1.091299	Akaike info criterion		3.033018
Sum squared resid	113.1387	Schwarz criterion		3.086105
Log likelihood	-145.1014	Hannan-Quinn criter.		3.054483
F-statistic	181.2452	Durbin-Watson stat		2.060048
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER01) has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-13.39152	0.0000
Test critical values:	1% level		-4.055416	
	5% level		-3.456805	
	10% level		-3.154273	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER01,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:46 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER01(-1))	-1.316684	0.098322	-13.39152	0.0000
C	-0.104422	0.228045	-0.457903	0.6481
@TREND("1")	0.000394	0.003978	0.099107	0.9213
R-squared	0.656139	Mean dependent var		0.010309
Adjusted R-squared	0.648822	S.D. dependent var		1.851209
S.E. of regression	1.097031	Akaike info criterion		3.053532
Sum squared resid	113.1269	Schwarz criterion		3.133162
Log likelihood	-145.0963	Hannan-Quinn criter.		3.085730
F-statistic	89.68294	Durbin-Watson stat		2.060372
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER01) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic				
Test critical values:			-13.47077	0.0000
1% level			-2.589020	
5% level			-1.944175	
10% level			-1.614554	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER01,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:47 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER01(-1))	-1.312000	0.097396	-13.47077	0.0000
R-squared	0.653995	Mean dependent var		0.010309
Adjusted R-squared	0.653995	S.D. dependent var		1.851209
S.E. of regression	1.088921	Akaike info criterion		3.018508
Sum squared resid	113.8320	Schwarz criterion		3.045052
Log likelihood	-145.3977	Hannan-Quinn criter.		3.029241
Durbin-Watson stat	2.056053			

Εικόνα 13. Έλεγχος στασιμότητας Level SER02 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: SER02 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic				
Test critical values:			-2.182340	0.2140
1% level			-3.499167	
5% level			-2.891550	
10% level			-2.582846	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER02) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:48 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER02(-1)	-0.120529	0.055229	-2.182340	0.0316
D(SER02(-1))	-0.253883	0.100437	-2.527781	0.0131
C	36.66756	16.76196	2.187546	0.0312
R-squared	0.137123	Mean dependent var		0.072165
Adjusted R-squared	0.118764	S.D. dependent var		1.209747
S.E. of regression	1.135640	Akaike info criterion		3.122710
Sum squared resid	121.2298	Schwarz criterion		3.202340
Log likelihood	-148.4514	Hannan-Quinn criter.		3.154908
F-statistic	7.468922	Durbin-Watson stat		2.054560
Prob(F-statistic)	0.000976			

Null Hypothesis: SER02 has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic				
Test critical values:			-3.692111	0.0275
1% level			-4.054393	
5% level			-3.456319	
10% level			-3.153989	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER02) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:48 Sample (adjusted): 2 99 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER02(-1)	-0.250848	0.067942	-3.692111	0.0004
C	75.59764	20.45716	3.695413	0.0004
@TREND("1")	0.012140	0.005229	2.321916	0.0224
R-squared	0.125486	Mean dependent var		0.071429
Adjusted R-squared	0.107075	S.D. dependent var		1.203517
S.E. of regression	1.137260	Akaike info criterion		3.125255
Sum squared resid	122.8693	Schwarz criterion		3.204387
Log likelihood	-150.1375	Hannan-Quinn criter.		3.157262
F-statistic	6.815854	Durbin-Watson stat		2.284969
Prob(F-statistic)	0.001714			

Null Hypothesis: SER02 has a unit root Exogenous: None Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			0.734091	0.8716
Test critical values:	1% level		-2.589020	
	5% level		-1.944175	
	10% level		-1.614554	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER02) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:49 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER02(-1)	0.000285	0.000388	0.734091	0.4647
D(SER02(-1))	-0.309854	0.099040	-3.128592	0.0023
R-squared	0.093195	Mean dependent var		0.072165
Adjusted R-squared	0.083650	S.D. dependent var		1.209747
S.E. of regression	1.158045	Akaike info criterion		3.151746
Sum squared resid	127.4014	Schwarz criterion		3.204833
Log likelihood	-150.8597	Hannan-Quinn criter.		3.173212
Durbin-Watson stat	2.100650			

Εικόνα 14. Έλεγχος στασιμότητας 1^η διαφορά SER02 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: D(SER02) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-13.22746	0.0001
Test critical values:	1% level		-3.499167	
	5% level		-2.891550	
	10% level		-2.582846	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER02,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:49 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER02(-1))	-1.309786	0.099020	-13.22746	0.0000
C	0.088133	0.117679	0.748931	0.4557
R-squared	0.648103	Mean dependent var		0.020619
Adjusted R-squared	0.644399	S.D. dependent var		1.941753
S.E. of regression	1.157911	Akaike info criterion		3.151516
Sum squared resid	127.3721	Schwarz criterion		3.204602
Log likelihood	-150.8485	Hannan-Quinn criter.		3.172981
F-statistic	174.9657	Durbin-Watson stat		2.100680
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER02) has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-13.15587	0.0000
Test critical values:	1% level		-4.055416	
	5% level		-3.456805	
	10% level		-3.154273	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER02,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:49 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER02(-1))	-1.310107	0.099583	-13.15587	0.0000
C	0.111011	0.242151	0.458434	0.6477
@TREND("1")	-0.000457	0.004223	-0.108274	0.9140
R-squared	0.648147	Mean dependent var		0.020619
Adjusted R-squared	0.640661	S.D. dependent var		1.941753
S.E. of regression	1.163982	Akaike info criterion		3.172009
Sum squared resid	127.3562	Schwarz criterion		3.251640
Log likelihood	-150.8425	Hannan-Quinn criter.		3.204208
F-statistic	86.57862	Durbin-Watson stat		2.100446
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER02) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-13.23771	0.0000
Test critical values:	1% level		-2.589020	
	5% level		-1.944175	
	10% level		-1.614554	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER02,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:50 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER02(-1))	-1.306569	0.098701	-13.23771	0.0000
R-squared	0.646026	Mean dependent var		0.020619
Adjusted R-squared	0.646026	S.D. dependent var		1.941753
S.E. of regression	1.155260	Akaike info criterion		3.136784
Sum squared resid	128.1241	Schwarz criterion		3.163327
Log likelihood	-151.1340	Hannan-Quinn criter.		3.147517
Durbin-Watson stat	2.093328			

Εικόνα 15. Έλεγχος στασιμότητας Level SER03 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: SER03 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.210588	0.2040
Test critical values:	1% level		-3.499910	
	5% level		-2.891871	
	10% level		-2.583017	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER03) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:50 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER03(-1)	-0.189907	0.085908	-2.210588	0.0295
D(SER03(-1))	-0.475670	0.111340	-4.272219	0.0000
D(SER03(-2))	-0.245075	0.104389	-2.347721	0.0210
C	57.48338	25.97217	2.213268	0.0294
R-squared	0.315517	Mean dependent var		0.041667
Adjusted R-squared	0.293197	S.D. dependent var		1.383487
S.E. of regression	1.163119	Akaike info criterion		3.180862
Sum squared resid	124.4619	Schwarz criterion		3.287709
Log likelihood	-148.6814	Hannan-Quinn criter.		3.224051
F-statistic	14.13599	Durbin-Watson stat		2.063717
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: SER03 has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-3.849900	0.0180
Test critical values:	1% level		-4.055416	
	5% level		-3.456805	
	10% level		-3.154273	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER03) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:51 Sample (adjusted): 3 99 Included observations: 97 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER03(-1)	-0.399599	0.103795	-3.849900	0.0002
D(SER03(-1))	-0.263395	0.102580	-2.567698	0.0118
C	120.2500	31.21180	3.852708	0.0002
@TREND("1")	0.012352	0.005386	2.293107	0.0241
R-squared	0.316065	Mean dependent var		0.051546
Adjusted R-squared	0.294003	S.D. dependent var		1.379698
S.E. of regression	1.159272	Akaike info criterion		3.173824
Sum squared resid	124.9838	Schwarz criterion		3.279998
Log likelihood	-149.9305	Hannan-Quinn criter.		3.216756
F-statistic	14.32596	Durbin-Watson stat		2.073877
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: SER03 has a unit root Exogenous: None Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic				
Test critical values:			0.568636	0.8374
1% level			-2.589273	
5% level			-1.944211	
10% level			-1.614532	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER03) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:52 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER03(-1)	0.000228	0.000401	0.568636	0.5710
D(SER03(-1))	-0.594745	0.099501	-5.977270	0.0000
D(SER03(-2))	-0.310117	0.102245	-3.033080	0.0031
R-squared	0.279071	Mean dependent var		0.041667
Adjusted R-squared	0.263568	S.D. dependent var		1.383487
S.E. of regression	1.187248	Akaike info criterion		3.211904
Sum squared resid	131.0889	Schwarz criterion		3.292040
Log likelihood	-151.1714	Hannan-Quinn criter.		3.244296
Durbin-Watson stat	2.120393			

Εικόνα 16. Έλεγχος στασιμότητας 1^η διαφορά SER03 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: D(SER03) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic				
Test critical values:			-11.18252	0.0000
1% level			-3.499910	
5% level			-2.891871	
10% level			-2.583017	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER03,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:53 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER03(-1))	-1.904728	0.170331	-11.18252	0.0000
D(SER03(-1),2)	0.310090	0.102231	3.033220	0.0031
C	0.070205	0.121339	0.578590	0.5643
R-squared	0.746943	Mean dependent var		0.020833
Adjusted R-squared	0.741501	S.D. dependent var		2.334993
S.E. of regression	1.187175	Akaike info criterion		3.211782
Sum squared resid	131.0728	Schwarz criterion		3.291918
Log likelihood	-151.1655	Hannan-Quinn criter.		3.244174
F-statistic	137.2533	Durbin-Watson stat		2.120402
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER03) has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic				
Test critical values:			-11.11877	0.0000
1% level			-4.056461	
5% level			-3.457301	
10% level			-3.154562	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER03,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:53 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER03(-1))	-1.904893	0.171322	-11.11877	0.0000
D(SER03(-1),2)	0.310129	0.102791	3.017078	0.0033
C	0.077737	0.253573	0.306565	0.7599
@TREND("1")	-0.000149	0.004399	-0.033879	0.9730
R-squared	0.746946	Mean dependent var		0.020833
Adjusted R-squared	0.738695	S.D. dependent var		2.334993
S.E. of regression	1.193602	Akaike info criterion		3.232603
Sum squared resid	131.0712	Schwarz criterion		3.339451
Log likelihood	-151.1649	Hannan-Quinn criter.		3.275792
F-statistic	90.51982	Durbin-Watson stat		2.120203
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER03) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-11.20727	0.0000
Test critical values:	1% level		-2.589273	
	5% level		-1.944211	
	10% level		-1.614532	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER03,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:53 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER03(-1))	-1.899643	0.169501	-11.20727	0.0000
D(SER03(-1),2)	0.307065	0.101736	3.018258	0.0033
R-squared	0.746032	Mean dependent var		0.020833
Adjusted R-squared	0.743331	S.D. dependent var		2.334993
S.E. of regression	1.182967	Akaike info criterion		3.194542
Sum squared resid	131.5446	Schwarz criterion		3.247966
Log likelihood	-151.3380	Hannan-Quinn criter.		3.216137
Durbin-Watson stat	2.115663			

Εικόνα 17. Έλεγχος στασιμότητας Level SER04 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: SER04 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-7.155937	0.0000
Test critical values:	1% level		-3.498439	
	5% level		-2.891234	
	10% level		-2.582678	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER04) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:54 Sample (adjusted): 2 99 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER04(-1)	-0.702042	0.098106	-7.155937	0.0000
C	211.4886	29.55022	7.156920	0.0000
R-squared	0.347859	Mean dependent var		0.030612
Adjusted R-squared	0.341066	S.D. dependent var		1.388124
S.E. of regression	1.126806	Akaike info criterion		3.096849
Sum squared resid	121.8905	Schwarz criterion		3.149603
Log likelihood	-149.7456	Hannan-Quinn criter.		3.118187
F-statistic	51.20744	Durbin-Watson stat		2.069593
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: SER04 has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-8.109301	0.0000
Test critical values:	1% level		-4.054393	
	5% level		-3.456319	
	10% level		-3.153989	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER04) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:55 Sample (adjusted): 2 99 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER04(-1)	-0.821746	0.101334	-8.109301	0.0000
C	246.8983	30.44547	8.109525	0.0000
@TREND("1")	0.013040	0.004156	3.137529	0.0023
R-squared	0.409090	Mean dependent var		0.030612
Adjusted R-squared	0.396650	S.D. dependent var		1.388124
S.E. of regression	1.078234	Akaike info criterion		3.018659
Sum squared resid	110.4459	Schwarz criterion		3.097791
Log likelihood	-144.9143	Hannan-Quinn criter.		3.050667
F-statistic	32.88453	Durbin-Watson stat		2.011704
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: SER04 has a unit root Exogenous: None Lag Length: 3 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			0.247549	0.7559
Test critical values:	1% level		-2.589531	
	5% level		-1.944248	
	10% level		-1.614510	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER04) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:56 Sample (adjusted): 5 99 Included observations: 95 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER04(-1)	9.71E-05	0.000392	0.247549	0.8050
D(SER04(-1))	-0.711208	0.102103	-6.965604	0.0000
D(SER04(-2))	-0.510966	0.114555	-4.460426	0.0000
D(SER04(-3))	-0.273841	0.103224	-2.652883	0.0094
R-squared	0.351727	Mean dependent var		0.021053
Adjusted R-squared	0.330356	S.D. dependent var		1.406512
S.E. of regression	1.150974	Akaike info criterion		3.160287
Sum squared resid	120.5514	Schwarz criterion		3.267819
Log likelihood	-146.1136	Hannan-Quinn criter.		3.203738
Durbin-Watson stat	2.067502			

Εικόνα 18. Έλεγχος στασιμότητας 1^η διαφορά SER04 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: D(SER04) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-9.708484	0.0000
Test critical values:	1% level		-3.500669	
	5% level		-2.892200	
	10% level		-2.583192	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER04,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:56 Sample (adjusted): 5 99 Included observations: 95 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER04(-1))	-2.495916	0.257086	-9.708484	0.0000
D(SER04(-1),2)	0.784774	0.190573	4.117981	0.0001
D(SER04(-2),2)	0.273835	0.103219	2.652951	0.0094
C	0.030088	0.118140	0.254685	0.7995
R-squared	0.772083	Mean dependent var		0.031579
Adjusted R-squared	0.764569	S.D. dependent var		2.372056
S.E. of regression	1.150951	Akaike info criterion		3.160248
Sum squared resid	120.5467	Schwarz criterion		3.267780
Log likelihood	-146.1118	Hannan-Quinn criter.		3.203699
F-statistic	102.7558	Durbin-Watson stat		2.067520
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER04) has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-9.650109	0.0000
Test critical values:	1% level		-4.057528	
	5% level		-3.457808	
	10% level		-3.154859	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER04,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:57 Sample (adjusted): 5 99 Included observations: 95 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER04(-1))	-2.495778	0.258627	-9.650109	0.0000
D(SER04(-1),2)	0.784690	0.191686	4.093621	0.0001
D(SER04(-2),2)	0.273800	0.103809	2.637538	0.0098
C	0.026155	0.250911	0.104240	0.9172
@TREND("1")	7.71E-05	0.004332	0.017798	0.9858
R-squared	0.772083	Mean dependent var		0.031579
Adjusted R-squared	0.761954	S.D. dependent var		2.372056
S.E. of regression	1.157326	Akaike info criterion		3.181297
Sum squared resid	120.5463	Schwarz criterion		3.315712
Log likelihood	-146.1116	Hannan-Quinn criter.		3.235611
F-statistic	76.22034	Durbin-Watson stat		2.067622
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER04) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
	t-Statistic		Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.754855		0.0000	
Test critical values: 1% level	-2.589531			
5% level	-1.944248			
10% level	-1.614510			
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER04,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:57 Sample (adjusted): 5 99 Included observations: 95 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER04(-1))	-2.494285	0.255697	-9.754855	0.0000
D(SER04(-1),2)	0.783346	0.189519	4.133326	0.0001
D(SER04(-2),2)	0.273147	0.102658	2.660746	0.0092
R-squared	0.771920	Mean dependent var		0.031579
Adjusted R-squared	0.766962	S.D. dependent var		2.372056
S.E. of regression	1.145087	Akaike info criterion		3.139908
Sum squared resid	120.6326	Schwarz criterion		3.220557
Log likelihood	-146.1456	Hannan-Quinn criter.		3.172496
Durbin-Watson stat	2.066260			

Εικόνα 19. Έλεγχος στασιμότητας Level SER05 (intersepte,trend &intersepte , none)

Null Hypothesis: SER05 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
	t-Statistic		Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-9.680650		0.0000	
Test critical values: 1% level	-3.498439			
5% level	-2.891234			
10% level	-2.582678			
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER05) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:58 Sample (adjusted): 2 99 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER05(-1)	-0.993066	0.102583	-9.680650	0.0000
C	297.2204	30.70484	9.679920	0.0000
R-squared	0.493978	Mean dependent var		-0.020408
Adjusted R-squared	0.488707	S.D. dependent var		1.566265
S.E. of regression	1.119955	Akaike info criterion		3.084650
Sum squared resid	120.4126	Schwarz criterion		3.137405
Log likelihood	-149.1479	Hannan-Quinn criter.		3.105988
F-statistic	93.71499	Durbin-Watson stat		1.983300
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: SER05 has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
	t-Statistic		Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-10.11922		0.0000	
Test critical values: 1% level	-4.054393			
5% level	-3.456319			
10% level	-3.153989			
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER05) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:58 Sample (adjusted): 2 99 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER05(-1)	-1.040646	0.102839	-10.11922	0.0000
C	311.9009	30.82358	10.11891	0.0000
@TREND("1")	-0.008868	0.004009	-2.211995	0.0294
R-squared	0.518764	Mean dependent var		-0.020408
Adjusted R-squared	0.508632	S.D. dependent var		1.566265
S.E. of regression	1.097915	Akaike info criterion		3.054837
Sum squared resid	114.5146	Schwarz criterion		3.133968
Log likelihood	-146.6870	Hannan-Quinn criter.		3.086844
F-statistic	51.20408	Durbin-Watson stat		1.980335
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: SER05 has a unit root Exogenous: None Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.429502	0.5256
Test critical values:	1% level		-2.589273	
	5% level		-1.944211	
	10% level		-1.614532	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER05) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:59 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SER05(-1)	-0.000184	0.000428	-0.429502	0.6686
D(SER05(-1))	-0.735617	0.098845	-7.442161	0.0000
D(SER05(-2))	-0.322099	0.099475	-3.237984	0.0017
R-squared	0.378892	Mean dependent var		-0.041667
Adjusted R-squared	0.365535	S.D. dependent var		1.575581
S.E. of regression	1.255003	Akaike info criterion		3.322904
Sum squared resid	146.4780	Schwarz criterion		3.403040
Log likelihood	-156.4994	Hannan-Quinn criter.		3.355297
Durbin-Watson stat	1.978701			

Εικόνα 20. Έλεγχος στασιμότητας 1^η διαφορά SER05 (intersept ,trend &intersept , none)

Null Hypothesis: D(SER05) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-11.73757	0.0001
Test critical values:	1% level		-3.499910	
	5% level		-2.891871	
	10% level		-2.583017	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER05,2) Method: Least Squares Date: 05/25/25 Time: 23:59 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER05(-1))	-2.057886	0.175325	-11.73757	0.0000
D(SER05(-1),2)	0.322157	0.099480	3.238404	0.0017
C	-0.053639	0.128106	-0.418705	0.6764
R-squared	0.800408	Mean dependent var		-0.020833
Adjusted R-squared	0.796115	S.D. dependent var		2.779546
S.E. of regression	1.255065	Akaike info criterion		3.323003
Sum squared resid	146.4924	Schwarz criterion		3.403139
Log likelihood	-156.5041	Hannan-Quinn criter.		3.355395
F-statistic	186.4749	Durbin-Watson stat		1.978667
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER05) has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-11.69611	0.0000
Test critical values:	1% level		-4.056461	
	5% level		-3.457301	
	10% level		-3.154562	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER05,2) Method: Least Squares Date: 05/26/25 Time: 00:00 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER05(-1))	-2.061650	0.176268	-11.69611	0.0000
D(SER05(-1),2)	0.324184	0.100005	3.241695	0.0017
C	-0.160880	0.267674	-0.601030	0.5493
@TREND("1")	0.002123	0.004647	0.456875	0.6488
R-squared	0.800860	Mean dependent var		-0.020833
Adjusted R-squared	0.794366	S.D. dependent var		2.779546
S.E. of regression	1.260438	Akaike info criterion		3.341570
Sum squared resid	146.1608	Schwarz criterion		3.448418
Log likelihood	-156.3953	Hannan-Quinn criter.		3.384759
F-statistic	123.3285	Durbin-Watson stat		1.980729
Prob(F-statistic)	0.000000			

Null Hypothesis: D(SER05) has a unit root Exogenous: None Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=11)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-11.78673	0.0000
Test critical values:	1% level		-2.589273	
	5% level		-1.944211	
	10% level		-1.614532	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(SER05,2) Method: Least Squares Date: 05/26/25 Time: 00:01 Sample (adjusted): 4 99 Included observations: 96 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SER05(-1))	-2.057369	0.174550	-11.78673	0.0000
D(SER05(-1),2)	0.322117	0.099043	3.252302	0.0016
R-squared	0.800031	Mean dependent var	-0.020833	
Adjusted R-squared	0.797904	S.D. dependent var	2.779546	
S.E. of regression	1.249547	Akaike info criterion	3.304053	
Sum squared resid	146.7686	Schwarz criterion	3.357477	
Log likelihood	-156.5945	Hannan-Quinn criter.	3.325647	
Durbin-Watson stat	1.975889			

Έλεγχος ετεροσκεδαστικότητας με ARCH TEST

Εικόνα 21.Arch test για SER01 & SER02

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	1.856184	Prob. F(1,96)		0.1763
Obs*R-squared	1.858912	Prob. Chi-Square(1)		0.1728
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 10/07/24 Time: 20:27 Sample (adjusted): 3 100 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.311237	0.178122	7.361472	0.0000
RESID^2(-1)	-0.138197	0.101435	-1.362418	0.1763
R-squared	0.018968	Mean dependent var	1.150976	
Adjusted R-squared	0.008749	S.D. dependent var	1.329941	
S.E. of regression	1.324110	Akaike info criterion	3.419555	
Sum squared resid	168.3136	Schwarz criterion	3.472309	
Log likelihood	-165.5582	Hannan-Quinn criter.	3.440893	
F-statistic	1.856184	Durbin-Watson stat	2.017503	
Prob(F-statistic)	0.176254			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.382076	Prob. F(1,96)		0.5380
Obs*R-squared	0.388489	Prob. Chi-Square(1)		0.5331
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 10/07/24 Time: 20:56 Sample (adjusted): 3 100 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.345579	0.213457	6.303745	0.0000
RESID^2(-1)	-0.062986	0.101899	-0.618123	0.5380
R-squared	0.003964	Mean dependent var	1.265720	
Adjusted R-squared	-0.006411	S.D. dependent var	1.676748	
S.E. of regression	1.682114	Akaike info criterion	3.898177	
Sum squared resid	271.6327	Schwarz criterion	3.950931	
Log likelihood	-189.0107	Hannan-Quinn criter.	3.919515	
F-statistic	0.382076	Durbin-Watson stat	2.006817	
Prob(F-statistic)	0.537958			

Εικόνα 22.Arch test για SER03 & SER04

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.554025	Prob. F(1,96)	0.4585	
Obs*R-squared	0.562322	Prob. Chi-Square(1)	0.4533	
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 10/07/24 Time: 21:03 Sample (adjusted): 3 100 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.416727	0.216575	6.541492	0.0000
RESID^2(-1)	-0.075704	0.101708	-0.744329	0.4585
R-squared	0.005738	Mean dependent var	1.317348	
Adjusted R-squared	-0.004619	S.D. dependent var	1.684222	
S.E. of regression	1.688107	Akaike info criterion	3.905290	
Sum squared resid	273.5718	Schwarz criterion	3.958045	
Log likelihood	-189.3592	Hannan-Quinn criter.	3.926628	
F-statistic	0.554025	Durbin-Watson stat	1.999051	
Prob(F-statistic)	0.458496			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.576625	Prob. F(1,96)	0.4495	
Obs*R-squared	0.585123	Prob. Chi-Square(1)	0.4443	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 10/07/24 Time: 21:10				
Sample (adjusted): 3 100				
Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.083139	0.187619	5.773086	0.0000
RESID^2(-1)	0.077211	0.101680	0.759358	0.4495
R-squared	0.005971	Mean dependent var	1.173394	
Adjusted R-squared	-0.004384	S.D. dependent var	1.433955	
S.E. of regression	1.437095	Akaike info criterion	3.583322	
Sum squared resid	198.2633	Schwarz criterion	3.636076	
Log likelihood	-173.5828	Hannan-Quinn criter.	3.604660	
F-statistic	0.576625	Durbin-Watson stat	2.004482	
Prob(F-statistic)	0.449499			

Εικόνα 23.Arch test για SER05

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.156394	Prob. F(1,96)	0.6934	
Obs*R-squared	0.159392	Prob. Chi-Square(1)	0.6897	
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 10/07/24 Time: 21:17 Sample (adjusted): 3 100 Included observations: 98 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.277807	0.257896	4.954732	0.0000
RESID^2(-1)	-0.040319	0.101952	-0.395467	0.6934
R-squared	0.001626	Mean dependent var	1.228740	
Adjusted R-squared	-0.008773	S.D. dependent var	2.228403	
S.E. of regression	2.238157	Akaike info criterion	4.469380	
Sum squared resid	480.8974	Schwarz criterion	4.522134	
Log likelihood	-216.9996	Hannan-Quinn criter.	4.490718	
F-statistic	0.156394	Durbin-Watson stat	2.002254	
Prob(F-statistic)	0.693376			