

Π.Μ.Σ. Εφαρμοσμένη Οικονομική στη Διοίκηση Επιχειρήσεων  
Τμήμα Οικονομικών Επιστημών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

# Επιπτώσεις εναλλακτικών μεθόδων πρόβλεψης της ζήτησης στο φαινόμενο *Bullwhip*



Διπλωματική εργασία

Κωστή Ελεάνα  
Επιβλέπων καθηγητής: Ηλίας Κεβόρκ  
Βολος, Μάιος 2018

## Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε υποστήριξη ή βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται μέσα σε αυτήν. Επίσης, σε αυτή την πτυχιακή εργασία αναφέρονται όλες οι πηγές από τις οποίες έγινε χρήση δεδομένων και πληροφοριών. Τέλος, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά και ειδικά για τις αναγκαίες και απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Π.Μ.Σ Εφαρμοσμένης Οικονομικής στη Διοίκηση Επιχειρήσεων του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Κωστή Ελεάνα

Βόλος, Μάιος 2018

## ***Ευχαριστίες***

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου Ηλία Κεβόρκ, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Χωρίς τις πολύτιμες γνώσεις και την καθοδήγησή του, η ολοκλήρωσή της θα ήταν αδύνατη. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον άνθρωπό μου, που με υποστήριξε ηθικά, με υπομονή και αμέριστη συμπαράσταση, καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της.

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	4
Περίληψη .....	6
Abstract .....	6
1. Η εφοδιαστική αλυσίδα.....	7
1.1 Ορισμός Εφοδιαστικής Αλυσίδας και Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας .....	8
1.2 Λειτουργίες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας .....	11
1.2.1 Διαχείριση της ζήτησης .....	12
1.2.2 Διαχείριση παραγγελιών.....	13
1.2.3 Διαχείριση αποθεμάτων .....	14
1.2.4 Στρατηγικές αναπλήρωσης αποθεμάτων .....	14
1.3 Η πληροφόρηση στην εφοδιαστική αλυσίδα .....	20
2. Το φαινόμενο BULLWHIP στην εφοδιαστική αλυσίδα.....	22
2.1 Ιστορική ανασκόπηση του φαινομένου.....	22
2.2 Αίτια του φαινομένου Bullwhip.....	24
2.2.1 Η προσπάθεια πρόβλεψης της ζήτησης ως αίτιο εμφάνισης του Bullwhip.....	25
3. Πρόβλεψη ζήτησης και εκτίμηση του φαινομένου Bullwhip.....	27
3.1 Αυτοπαλίνδρομο μοντέλο 1ης τάξης – AR(1) .....	28
3.2 Ποσότητα παραγγελίας OUT πολιτικής αναπλήρωσης αποθέματος με ζήτηση AR(1) .....	30
3.3 Ποσοτικοποίηση του φαινομένου Bullwhip .....	33
3.3.1 Το φαινόμενο bullwhip με την Μέθοδο Ελαχίστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (MMSE) ως μέθοδο πρόβλεψης .....	34
3.3.2 Το φαινόμενο bullwhip με τον Κινητό Μέσο Ορο (MA) ως μέθοδο πρόβλεψης .....	37
3.3.3 Το φαινόμενο bullwhip με την Εκθετική Εξομάλυνση (ES) ως μέθοδο πρόβλεψης .....	41
3.4 Σύγκριση των εκτιμήσεων bullwhip που προκύπτουν από τις 3 μεθόδους πρόβλεψης .....	45
4 Εκτίμηση του λόγου Bullwhip με πεπερασμένο δείγμα παρατηρήσεων και εκτίμηση κινδύνου .50	
4.2 Παραγωγή πραγματικών δεδομένων με προσομοίωση σε Excel .....	50
4.2 Υπολογισμός πραγματικού λόγου Bullwhip.....	52

4.3 Εκτίμηση λόγου Bullwhip με πρόβλεψη MMSE.....	53
4.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων εκτίμησης λόγου BW με MMSE forecast και Risk Estimation	55
4.4 Εκτίμηση λόγου Bullwhip με πρόβλεψη MA .....	60
4.4.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων εκτίμησης λόγου BW με MA forecast και Risk Estimation .....	63
4.5 Εκτίμηση λόγου Bullwhip με πρόβλεψη ES .....	70
4.5.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων εκτίμησης λόγου BW με ES forecast και risk estimation.....	71
4.5.2 Επιλογή του παράγοντα της εξομάλυνσης.....	78
5 Σύνοψη και συμπεράσματα .....	85
6 Βιβλιογραφία.....	87

## Περίληψη

Η συμβολή της διοίκησης της εφοδιαστικής αλυσίδας στην ανταγωνιστικότητα των οργανισμών είναι αδιαμφισβήτητη. Δεδομένης λοιπόν της αξίας και σημασίας της, σε αυτή την εργασία επιχειρείται η παρουσίαση των βασικών συστατικών στοιχείων μιας εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και οι βασικές λειτουργίες της. Παρουσιάζεται στη συνέχεια ένα από τα σημαντικότερα φαινόμενα σε μια εφοδιαστική αλυσίδα, το λεγόμενο φαινόμενο Bullwhip, δηλαδή η αυξανόμενη διακύμανση της ζήτησης στα διαφορετικά στάδια μιας αλυσίδας, όσο προχωρούμε από τον λιανοπωλητή στον κατασκευαστή ενός προϊόντος. Αναφέρονται ορισμένα από τα αίτια εμφάνισης του συγκεκριμένου φαινομένου εστιάζοντας σε αυτό της προσπάθειας πρόβλεψης της ζήτησης από το κάθε στάδιο. Σε αυτό το πλαίσιο, παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές μέθοδοι πρόβλεψης ζήτησης και η επίδρασή τους στην εμφάνιση και ένταση του φαινομένου. Τέλος, πραγματοποιούνται εκτιμήσεις του Bullwhip, σε ένα παράδειγμα απλής εφοδιαστικής αλυσίδας δυο επιπέδων, χρησιμοποιώντας κάθε μία από τις ως άνω μεθόδους, και με προσομοιωμένα δεδομένα που προέρχονται από την υπόθεση ότι το μοντέλο ζήτησης είναι το AR(1).

## Abstract

The contribution of supply chain management to the competitiveness of organizations is undoubted. Given its value and importance, this paper attempts to present the basic components of a supply chain as well as its basic functions. One of the most important phenomena in a supply chain, the so-called Bullwhip Effect, is the increasing demand variance as we move from the retailer to the manufacturer of a product. Some of the causes of this phenomenon are highlighted by focusing on the attempt and update of demand forecast. In this context, three different forecasting methods are presented as their effect on the appearance and intensity of the phenomenon. Finally, Bullwhip estimates are made using each of these methods and simulated data, derived from the hypothesis that the demand model is AR (1), assuming a simple two-tier supply chain.

## 1. Η εφοδιαστική αλυσίδα

Το ενδιαφέρον για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αυξάνει σταθερά από τη δεκαετία του 1980, όταν οι επιχειρήσεις αντιλήφθηκαν τα οφέλη των συνεργατικών σχέσεων εντός και εκτός του οργανισμού τους. Οι επιχειρήσεις διαπιστώνουν, πλέον, ότι δεν μπορούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα απομονώνοντας τους προμηθευτές τους ή άλλες οντότητες στην εφοδιαστική τους αλυσίδα (Lumtus, Vokurka 1999). Σύμφωνα με τους Roden & Croom (2015) οι οργανισμοί δεν υφίστανται μεμονωμένα - βασίζονται σε πόρους και ικανότητες που τους παρέχουν το ευρύτερο δίκτυο προμηθευτών, πελατών, εταιρών και άλλων παραγόντων στο περιβάλλον τους. Σύμφωνα μάλιστα με τους Lambert & Cooper (2000) ο ανταγωνισμός πλέον δεν υπάρχει ανάμεσα στις επιχειρήσεις αλλά μεταξύ των εφοδιαστικών αλυσίδων.

Ο στόχος της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η συμβολή στην αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των επιχειρήσεων με την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού και κόστους αποθεμάτων. Κάθε οργανισμός επικεντρώνεται στις βασικές του ικανότητες και στις συνέργειες με άλλους οργανισμούς που έχουν συμπληρωματικές ικανότητες για το σχεδιασμό και την παράδοση των προϊόντων τους στην αγορά.



Εικόνα 1 : Απεικόνιση της εφοδιαστικής αλυσίδας της Wal-mart  
Πηγή [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Η αποτελεσματική λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί ήδη ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για εταιρείες που έχουν αποκτήσει πρωταγωνιστικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία. Μια από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις στη Βόρεια Αμερική αποτελεί παράδειγμα της δυναμικής της αποτελεσματικής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η Wal-Mart αυξάνει σταθερά τα κέρδη της για περισσότερο από 20 έτη και η επιτυχία της είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαρκή εξέλιξη και βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

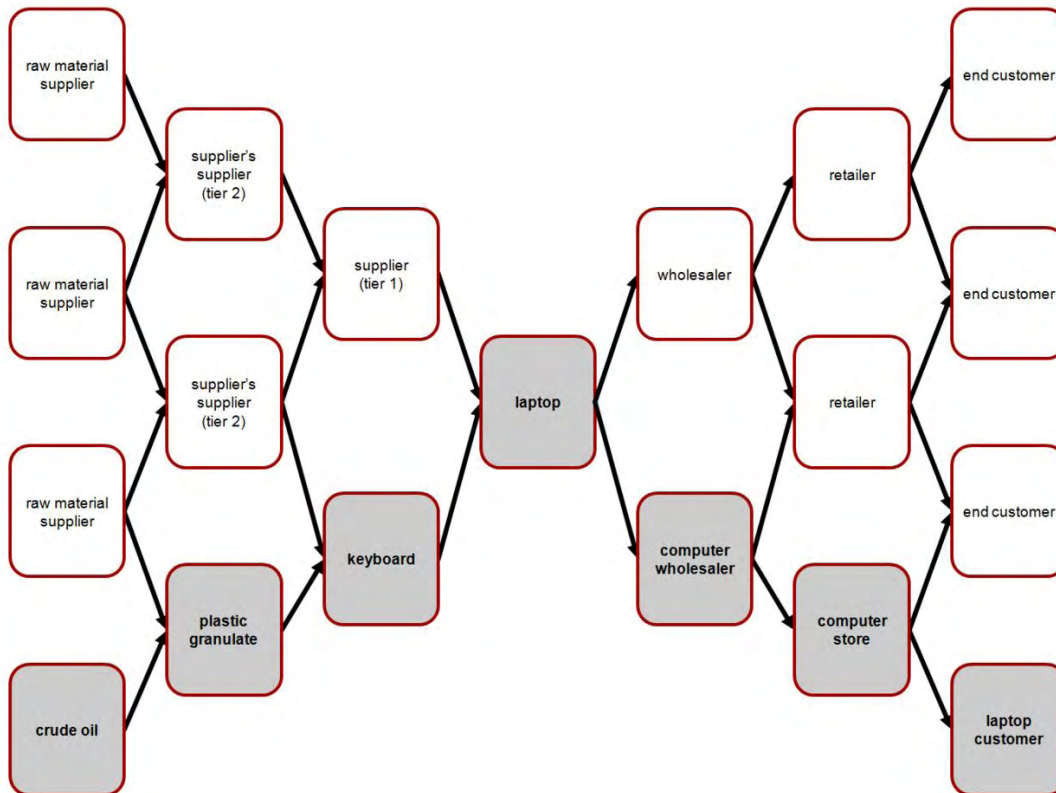
Επομένως, η σημασία της εκ βαθέων κατανόησης των χαρακτηριστικών και δραστηριοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και η ευθυγράμμιση της στρατηγικής της με τη συνολική επιχειρηματική στρατηγική μιας επιχείρησης είναι αδιαμφισβήτητη.

### **1.1 Ορισμός Εφοδιαστικής Αλυσίδας και Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας**

Μια εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει τους οργανισμούς και τις επιχειρηματικές δραστηριότητες που απαιτούνται για το σχεδιασμό, την παραγωγή, την παράδοση και τη τελική χρήση ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Οι επιχειρήσεις εξαρτώνται από τις εφοδιαστικές αλυσίδες τους για να τους παρέχουν όσα χρειάζονται για να επιβιώσουν και να ευδοκιμήσουν. Κάθε επιχείρηση δύναται να συμμετέχει σε μια ή περισσότερες εφοδιαστικές αλυσίδες και κατέχει συγκεκριμένο ρόλο σε κάθε μία από αυτές.

Διαχείριση, επομένως, της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι ο συντονισμός της παραγωγής, η διαχείριση του επιπέδου των αποθεμάτων, της τοποθέτησής τους και της μεταφοράς τους μεταξύ των συμμετεχόντων σε μια εφοδιαστική αλυσίδα για την επίτευξη του καλύτερου συνδυασμού χρόνου, κόστους και επίπεδο εξυπηρέτησης της αγοράς. (Zhou, Benton 2007).





Εικόνα 2 : Απεικόνιση της εφοδιαστικής αλυσίδας ενός φορητού υπολογιστή

Ο όρος "Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας" ή «*Supply Chain Management – SCM*» προέκυψε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη δεκαετία του 1990. Πριν από αυτό το διάστημα, οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούσαν τους όρους "Logistics" και "Διαχείριση Λειτουργιών" ή «*Operations Management – OM*».

Κάποιοι από τους ορισμούς της εφοδιαστικής αλυσίδας δίνονται παρακάτω:

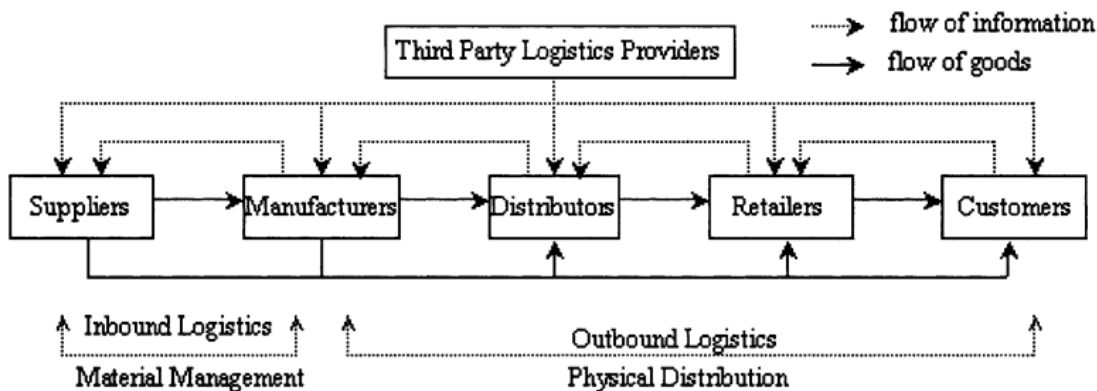
- **"Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι η ευθυγράμμιση των επιχειρήσεων που παρέχουν τα προϊόντα και τις υπηρεσίες στην αγορά"** (Lambert et al. 1998)
- **"Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από όλα τα εμπλεκόμενα στάδια, άμεσα ή έμμεσα, στην διαδικασία ικανοποίησης των απαιτήσεων των πελατών. Η εφοδιαστική αλυσίδα δεν περιλαμβάνει μόνο τους κατασκευαστές και τους προμηθευτές αλλά και τους μεταφορείς, όσους παρέχουν υπηρεσίες αποθήκευσης, λιανέμπορος και τους ίδιους τους πελάτες"** (Chopra, Sunil, Meindl, 2001)

- “Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δίκτυο εγκαταστάσεων και επιλογών διανομής το οποίο υλοποιεί τις λειτουργίες των προμηθειών, μεταφορών και μετατροπή α’ υλών σε ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα και τέλος η διανομή αυτών των τελικών προϊόντων στους καταναλωτές” (Ganeshan, Harrison, 1995)

Εάν αυτή είναι η εφοδιαστική αλυσίδα τότε μπορούμε να ορίσουμε τη διαχείρισή της ως κάθε λειτουργία ή ενέργεια που μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά της. Μερικοί ορισμοί της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι:

- “Ο συστηματικός, στρατηγικός συντονισμός των παραδοσιακών επιχειρησιακών λειτουργιών και τακτικών μιας συγκεκριμένης επιχείρησης με τις υπόλοιπες που αποτελούν κρίκο της εφοδιαστικής αλυσίδας, ο οποίος αποσκοπεί στην μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα του συνόλου των εμπλεκόμενων μερών της αλυσίδας” (Mentzer et al. 2001)

Υπάρχει μια διαφορά μεταξύ της έννοιας της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και την παραδοσιακή έννοια των logistics. Τα logistics αναφέρονται συνήθως σε δραστηριότητες που συμβαίνουν εντός των ορίων ενός και μόνο οργανισμού ενώ οι εφοδιαστικές αλυσίδες αναφέρονται σε δίκτυα επιχειρήσεων που συνεργάζονται και συντονίζουν τις ενέργειές τους έως και την παράδοση ενός προϊόντος στην αγορά.



Εικόνα 3 : H.Min , G. Zhou 2002

Σύμφωνα με τους Cooper , Lambert et al. (1997) τα παραδοσιακά logistics εστιάζουν σε δραστηριότητες όπως η προμήθεια, η διανομή, η συντήρηση και η διαχείριση αποθεμάτων. Η διαχείριση του συνόλου της εφοδιαστικής αλυσίδας λαμβάνει υπόψη πέρα από τα logistics και

λειτουργίες όπως το μάρκετινγκ, την ανάπτυξη νέων προϊόντων, τη χρηματοδότηση και την εξυπηρέτηση των πελατών.

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας παρακολουθεί το σύνολο των ενεργειών και λειτουργιών του οργανισμού που οδηγούν στην ικανοποίηση του πελάτη. Αντιλαμβάνεται την εφοδιαστική αλυσίδα και τον οργανισμό ως ενιαία οντότητα και στο πλαίσιο αυτής της προσέγγισης, παραδοσιακά αντικρουόμενες ανάγκες εντός του οργανισμού αντιμετωπίζονται ως ένα πρόβλημα δεδομένου του ενός στρατηγικού στόχου. (Lambert et al. 1998, Mentzer et al.2001). Για παράδειγμα, η απαίτηση υψηλού επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών προϋποθέτει τη διατήρηση υψηλών επιπέδων αποθεμάτων, γεγονός που εκτοξεύει το λειτουργικό κόστος.

*Η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί ταυτόχρονη βελτίωση τόσο σε επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών όσο και στην αποδοτικότητα εσωτερικών λειτουργιών.*

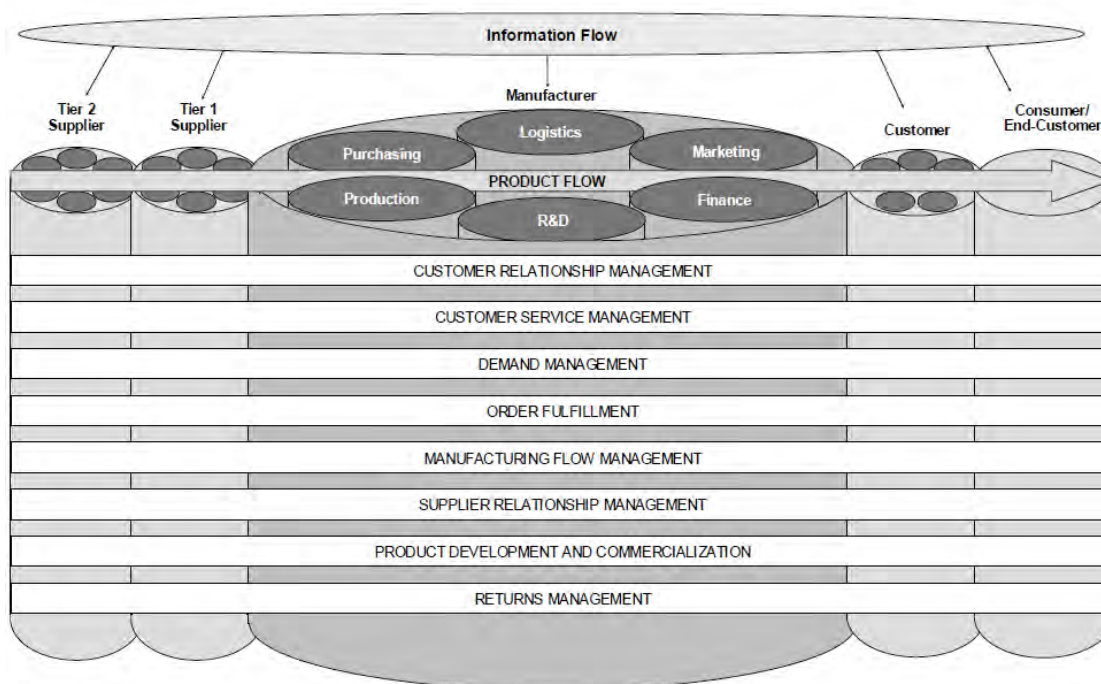
## 1.2 Λειτουργίες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Όπως αναφέρθηκε η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί μετάβαση από τη λογική της διοίκησης μεμονωμένων λειτουργιών στην συνολική διαχείριση των επιχειρησιακών λειτουργιών. Οι βασικές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως προσδιορίζονται από τα μέλη του Global Supply Chain Forum, είναι:

- διαχείριση πελατειακών σχέσεων
- διαχείριση εξυπηρέτησης πελατών
- διαχείριση ζήτησης
- διαχείριση παραγγελιών
- διαχείριση αποθεμάτων
- διαχείριση της παραγωγής
- διαχείριση προμηθευτών
- ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση προϊόντων
- διαχείριση επιστροφών

Γίνεται αντιληπτό επομένως ότι η αποτελεσματικότητα της διοίκησης της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να οδηγήσει πιο συγκεκριμένα σε μείωση του κόστους, μείωση του συνολικού λειτουργικού κόστους και βελτίωση του επιπέδου ικανοποίησης των πελατών.

**Figure 1**  
**Supply Chain Management : Integrating and Managing Business Processes Across the Supply Chain**



Source: Adapted from Douglas M. Lambert, Martha C. Cooper and Janus D. Pagh, "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, No. 2 (1998), p. 2.

**Εικόνα 4: Οι βασικές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας**

Στη συνέχεια θα εστιάσουμε στο ζήτημα της διαχείρισης της ζήτησης και παραγγελιών καθώς θα μας απασχολήσουν κατά την ανάλυση του φαινομένου Bullwhip που θα ακολουθήσει.

### 1.2.1 Διαχείριση της ζήτησης

Η εμπειρία της Hewlett-Packard δείχνει ότι τα αποθέματα έχουν είτε βασικό είτε μεταβλητό χαρακτήρα (Davis, 1993). Το βασικό απόθεμα περιλαμβάνει εργασίες σε εξέλιξη σε εργοστάσια και προϊόντα μιας γραμμής εργασιών που πρέπει να μεταφέρονται, όμως, από τοποθεσία σε τοποθεσία. Το απόθεμα που μεταβάλλεται οφείλεται στη διακύμανση στη διαδικασία, στην προσφορά και στη ζήτηση. Η ζήτηση του τελικού καταναλωτή είναι μακράν αυτή που χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα και προέρχεται από τα μοτίβα παραγγελιών που δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο. Δεδομένης αυτής της μεταβλητότητας στις παραγγελίες των

πελατών, η διαχείριση της ζήτησης είναι το κλειδί για την αποτελεσματική διοίκηση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η διαχείριση της ζήτησης είναι η διαδικασία διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας που εξισορροπεί την απαιτήσεις των πελατών με τις δυνατότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με τις σωστές διαδικασίες, η διοίκηση ενός οργανισμού μπορεί να εξισορροπήσει την προσφορά με τη ζήτηση προκαταβολικά και να δρα βάσει του σχεδιασμού της με ελάχιστες παρεκκλίσεις.

Βασικός παράγοντας και εργαλείο για ό,τι αναφέρθηκε, όπως θα δούμε και στη συνέχεια αυτής της εργασίας, είναι **η πρόβλεψη της ζήτησης**. Οι διαδικασίες όμως δεν περιορίζονται στις προβλέψεις. Περιλαμβάνουν συγχρονισμό προσφοράς και ζήτησης, αύξηση της ευελιξίας και τον έλεγχο της μεταβλητότητας. Ένα καλό σύστημα διαχείρισης ζήτησης χρησιμοποιεί στοιχεία πελατών «κλειδιά» για τη μείωση της αβεβαιότητας και παρέχει αποτελεσματικές ροές σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Οι απαιτήσεις του μάρκετινγκ και ο σχεδιασμός της παραγωγής πρέπει να συντονίζονται στο πλαίσιο της συνολικής εταιρικής στρατηγικής. Έτσι, εναλλακτικοί τρόποι προμηθειών και καναλιών διανομής λαμβάνονται υπόψη για την παραλαβή μιας παραγγελίας. Μια πιο προχωρημένη εφαρμογή των ανωτέρω είναι ο συγχρονισμός της ζήτησης των πελατών και της παραγωγής για τη διαχείριση αποθεμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο. (Lambert et al. , 1997, 1998, 2001)

### 1.2.2 Διαχείριση παραγγελιών

Η προέκταση της διαχείρισης της ζήτησης είναι η πραγματοποίηση παραγγελιών των προϊόντων και αποτελεί βασική διαδικασία στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι παραγγελίες των πελατών είναι αυτό που θέτει σε κίνηση την εφοδιαστική αλυσίδα και η αποτελεσματική εκπλήρωσή τους είναι το πρώτο βήμα στην εξυπηρέτηση των πελατών. Ωστόσο, η εκπλήρωση μιας παραγγελίας είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει πολύ περισσότερα από απλή εκτέλεση εντολών. Περιλαμβάνει τον προσεκτικό σχεδιασμό ενός δικτύου και μιας διαδικασίας που επιτρέπει σε μια επιχείρηση να ανταποκριθεί στις ανάγκες των πελατών, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα το συνολικό διαχειριστικό κόστος. Επομένως, δεν πρόκειται μόνο για την παραδοσιακή λειτουργία των logistics, αντιθέτως μιλάμε για διαδικασία που άπτεται πολλών λειτουργιών του οργανισμού και χρειάζεται συντονισμό τουλάχιστον των βασικών προμηθευτών και πελατών. Ο στόχος είναι να αναπτυχθεί μια ομαλή διαδικασία ροής υλικών από τον προμηθευτή στην επιχείρηση και στη συνέχεια στα διάφορα τμήματα πελατών. (Lambert et al. , 1997, 1998, 2001)

### 1.2.3 Διαχείριση αποθεμάτων

Εστιάζοντας στη διαχείριση των αποθεμάτων ως λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας, το ζήτημα είναι πολύ πιο περίπλοκο εάν λάβουμε υπόψιν ολόκληρο το δίκτυο των επιχειρήσεων που εμπλέκονται και πρέπει να συντονίσουν τις ενέργειές τους. Αρκεί να σκεφτούμε πως η έλλειψη αποθέματος στη γραμμή παραγωγής του κατασκευαστή μπορεί να οδηγήσει σε χαμένες πωλήσεις στο τελικό στάδιο του καναλιού διανομής, καθώς ο καταναλωτής δεν θα βρεί στο κατάστημα το προϊόν που επιθυμεί και θα απευθυνθεί σε διαφορετικό πωλητή. (Davis ,1993)

Το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ακραίο καθώς κάθε κατασκευαστής διαθέτει κάποιο απόθεμα για να εξασφαλίσει την ομαλή λειτουργία της παραγωγής του. Η πραγματική δυσκολία είναι να οριστεί η ποσότητα του αποθέματος και η τοποθεσία του τη στιγμή που για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας υπάρχει πίεση για μείωση του κόστους αποθεμάτων και ταυτόχρονη βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών. Ένας οργανισμός θα μειώσει το απόθεμά του για να μειώσει το κόστος. Συνήθως τέτοιες μειώσεις βλάπτουν το επίπεδο εξυπηρέτησης. Προκειμένου να εξασφαλιστεί το επίπεδο εξυπηρέτησης, συνήθως αυξάνονται οι πιέσεις στους προμηθευτές για βελτίωση της απόδοσής τους. Εάν αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την αύξηση της στάθμης των αποθεμάτων του προμηθευτή, η μείωση στο κόστος του προμηθευτή ακυρώνεται. Σε πολλές περιπτώσεις, μια "σπασμένη" αλυσίδα εφοδιασμού έχει σημαντική ποσότητα αποθέματος συσσωρευμένη σε ένα σημείο της για να επιτρέψει σε έναν άλλο σημείο να λειτουργεί με το ελάχιστο απόθεμα. Αυτό που συνολικά συμβαίνει είναι το ότι υπάρχει υπερβολικό απόθεμα στο σύστημα. Η αναδιοργάνωση στη διαχείριση του αποθέματος θα μπορούσε να μειώσει το συνολικό κόστος και να βελτιώσει τα επίπεδα εξυπηρέτησης των πελατών. (Lee, Billington, 1992)

### 1.2.4 Στρατηγικές αναπλήρωσης αποθεμάτων

Δεδομένης της σημασίας της διαχείρισης του αποθέματος στον έλεγχο του κόστους έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές πολιτικές που ορίζουν το σημείο και την ποσότητα αναπλήρωσης των αποθεμάτων. Όπως οι στρατηγικές και οι λειτουργικές ανάγκες των οργανισμών ποικίλουν, έτσι υπάρχουν και πολιτικές αναπλήρωσης με διαφορετικές παραμέτρους.

## Ορολογία

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των πολιτικών αναπλήρωσης είναι χρήσιμο να αντιληφθούμε τη διαφορά στους ακόλουθους όρους:

1. **On-hand (OH) stock:** Πρόκειται για απόθεμα το οποίο βρίσκεται φυσικά στο ράφι. Αυτή η ποσότητα είναι σημαντική για την κατανόηση του αν η ζήτηση πελατών ικανοποιείται άμεσα από το ράφι.

2. **Net stock:** Το καθαρό απόθεμα ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Inventory position} = (\text{On hand}) + (\text{On order}) \text{ ή}$$

$$\text{Καθαρό απόθεμα} = (\text{στο χέρι}) - (\text{σε παραγγελία})$$

Αυτή η ποσότητα μπορεί να γίνει αρνητική (δηλαδή, αν υπάρχουν backorders).

3. **Στάθμη αποθέματος:** Η στάθμη αποθέματος ορίζεται από τη σχέση:

$$\text{Inventory position} = (\text{On hand}) + (\text{On order}) - (\text{Backorders}) - (\text{Committed}) \text{ ή}$$

$$\text{Στάθμη αποθέματος} = (\text{στο χέρι}) + (\text{σε παραγγελία}) - (\text{Backorders}) - (\text{δεσμευμένο})$$

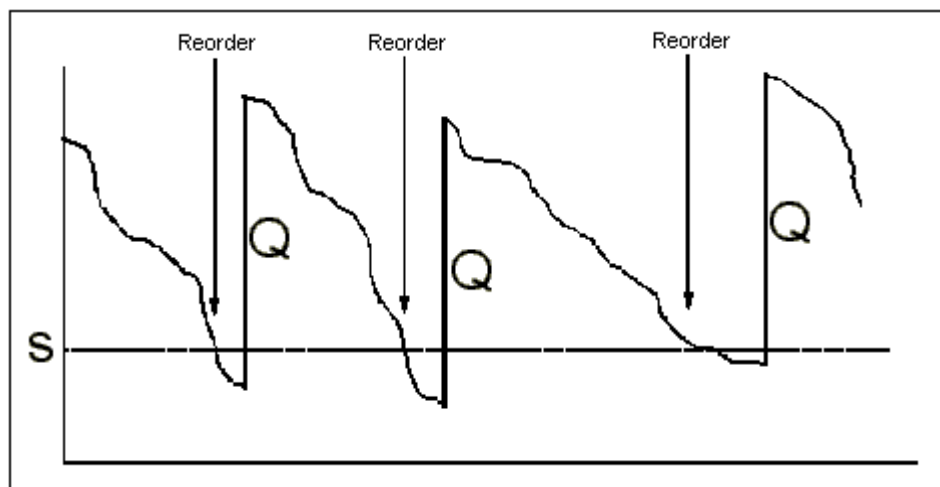
Το απόθεμα σε παραγγελία είναι εκείνο το απόθεμα το οποίο έχει παραγγελθεί αλλά δεν έχει ακόμη παραληφθεί στην αποθήκη. Η "δεσμευμένη" ποσότητα είναι το απόθεμα που βρίσκεται φυσικά στην αποθήκη αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς βραχυπρόθεσμα. Όπως θα δούμε, η στάθμη του αποθέματος αποτελεί βασική ένδειξη για την απόφαση αναπλήρωσης.

4. **Backorders:** Ο συγκεκριμένος όρος σημαίνει ότι υπάρχουν υπό εκτέλεση παραγγελίες από τους πελάτες μιας επιχείρησης. Δηλαδή, δεν έχουμε χαμένες πωλήσεις αλλά το προϊόν θα πωληθεί μόλις παραληφθεί η νέα ποσότητα παραγγελίας.
5. **Safety stock (SS):** Το SS (ή buffer) ορίζεται ως το μέσο επίπεδο του καθαρού αποθέματος λίγο πριν την άφιξη της νέας παραγγελίας. Αν σχεδιάσαμε να εξαντληθεί, κατά μέσο όρο, τη στιγμή που έφτασε η νέα παραγγελία, το SS θα ήταν μηδενικό. Ένα θετικό SS παρέχει ένα buffer σε περιπτώσεις που θα εμφανιστεί ζήτηση μεγαλύτερη της αναμενόμενης στο χρόνο παράδοσης της παραγγελίας.

Η φυσική λειτουργία των τεσσάρων συνηθέστερων πολιτικών αναπλήρωσης χαρακτηρίζεται τόσο από πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα τα οποία εξαρτώνται από το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να εφαρμοστούν τα συστήματα.

#### 1.2.4.1 Order-Point, Order-Quantity ( $s, Q$ ) System

Η συγκεκριμένη πολιτική αποτελεί ένα σύστημα συνεχούς επιθεώρησης (δηλαδή  $R = 0$ ). Μια συγκεκριμένη ποσότητα  $Q$  παραγγέλλεται κάθε φορά που η στάθμη του αποθέματος φτάνει το σημείο αναπαραγγελίας  $s$  ή λιγότερο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η στάθμη του αποθέματος, και όχι το καθαρό απόθεμα, είναι αυτή που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της παραγγελίας. Στη στάθμη του αποθέματος, περιλαμβάνεται το on-order απόθεμα, επομένως υπολογίζεται και η ποσότητα προϊόντος που έχει παραγγελθεί αλλά δεν έχει ακόμη παραληφθεί. Εάν χρησιμοποιούνταν το καθαρό απόθεμα για την εντολή παραγγελίας, θα υπήρχε ο κίνδυνος να δοθεί εντολή σήμερα παρά το γεγονός ότι την επομένη αναμένεται μια μεγάλη παραλαβή.



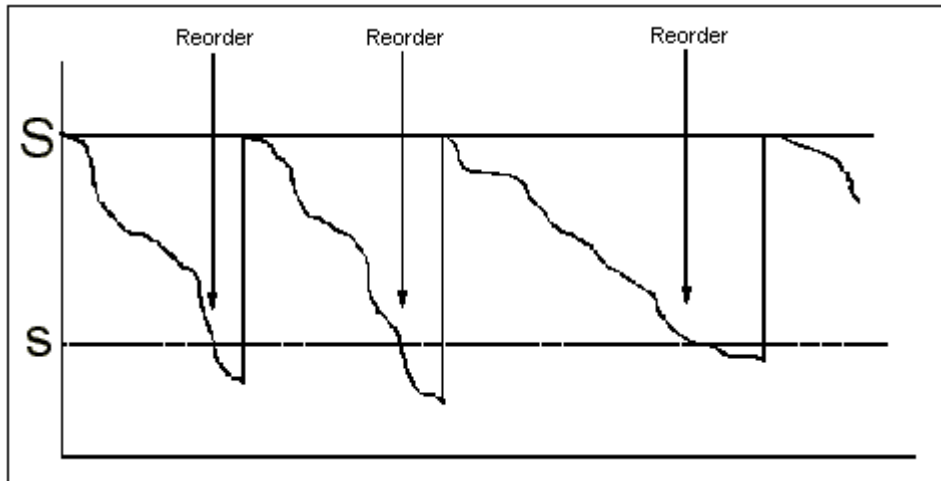
Εικόνα 5: Order-Point , Order-Quantity ( $s, Q$ ) System

Το σύστημα ( $s, Q$ ) θα λειτουργήσει αποτελεσματικά μόνο αν η  $Q$  οριστεί μεγαλύτερη από τη ζήτηση που εκτιμάται ότι θα εμφανιστεί κατά το χρόνο παράδοσης. Βασικό πλεονέκτημα του ( $s, Q$ ) συστήματος είναι η απλότητά του. Το κύριο μειονέκτημα ενός συστήματος ( $s, Q$ ) είναι ότι η μη ευελιξία του ιδιαίτερα σε μεμονωμένες περιπτώσεις που απαιτούνται μεγάλες συναλλαγές, δηλαδή σε περιπτώσεις που η  $Q$  δεν επαρκεί για να καλύψει ούτε το σημείο  $s$ . (Silver et al. 2016)



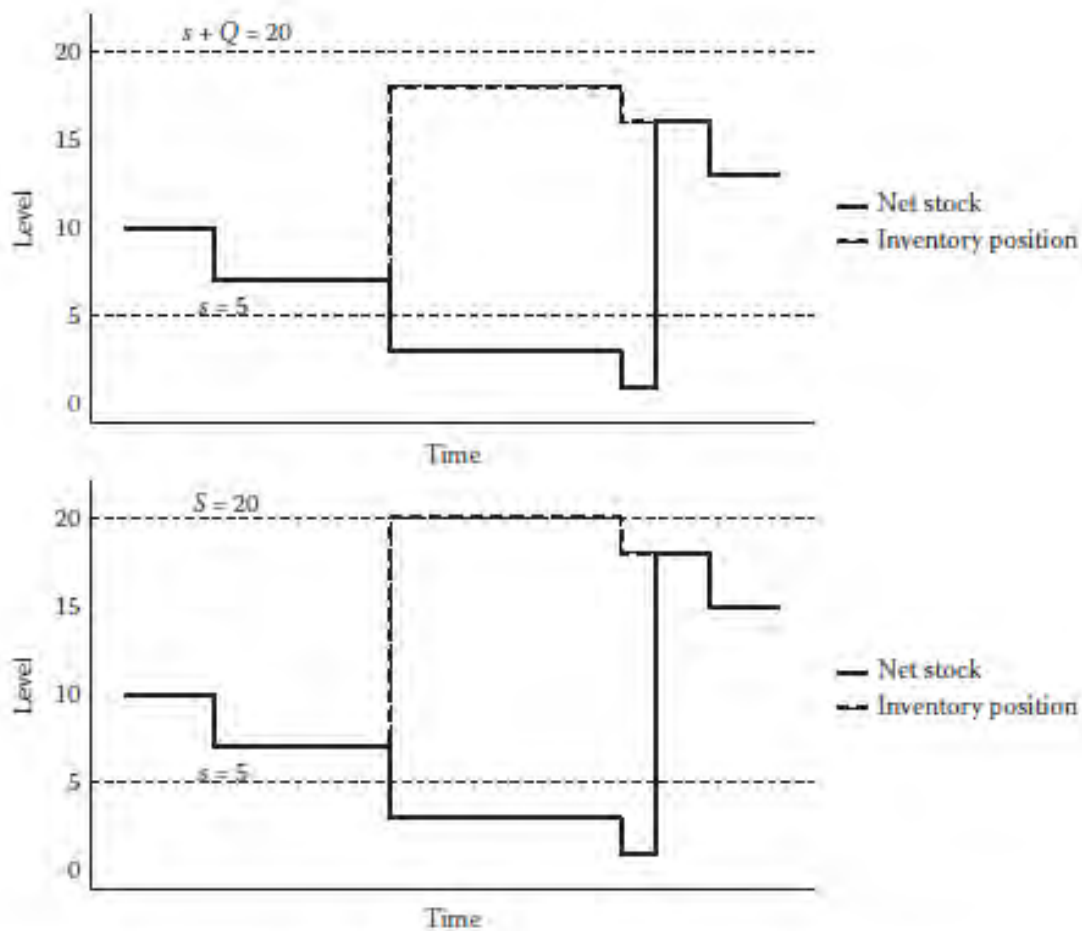
#### 1.2.4.2 Order-Point, Order-Up-to-Level (s, S) System

Και το συγκεκριμένο σύστημα είναι συνεχούς επιθεώρησης και, όπως στο (s, Q), γίνεται αναπλήρωση κάθε φορά που η θέση του αποθέματος πέφτει στο σημείο παραγγελίας  $s$  ή χαμηλότερα. Ωστόσο, σε αντίθεση με το (s, Q), η ποσότητα παραγγελίας μεταβάλλεται έτσι ώστε να αυξάνει το απόθεμα έως το σημείο  $S$ .



Εικόνα 6: Order-Point, Order-Up-to-Level (s, S) System

Η διαφορά μεταξύ των συστημάτων (s, Q) και (s, S) είναι που απεικονίζεται στην Εικόνα 7.

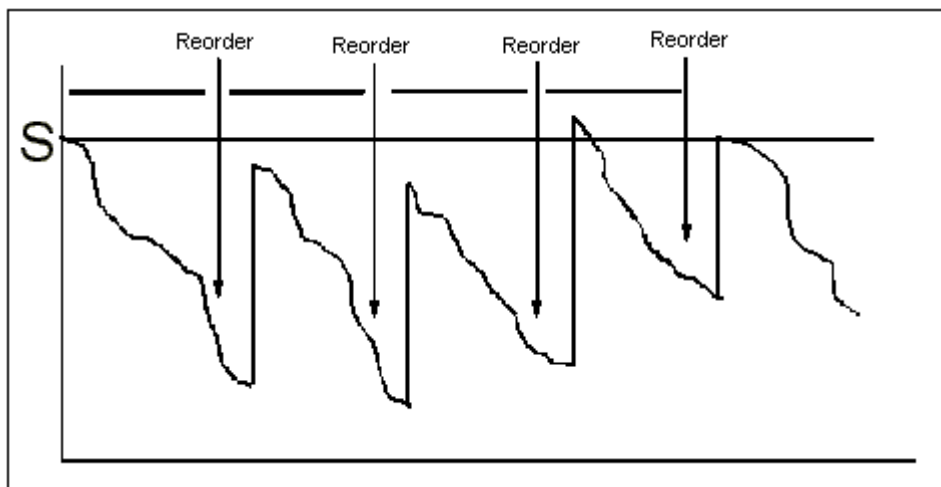


Εικόνα 7: Διαφορά μεταξύ των συστημάτων  $(s, Q)$  και  $(s, S)$

Το καλύτερο  $(s, S)$  σύστημα μπορεί να αποδειχθεί ότι έχει χαμηλότερο συνολικό κόστος από αυτό του καλύτερου συστήματος  $(s, Q)$ . Ωστόσο, η προσπάθεια να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός ζεύγους  $(s, S)$  είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Έτσι, το  $(s, Q)$  μπορεί να είναι η καλύτερη επιλογή. Είναι ενδιαφέρον ότι τα συστήματα  $(s, S)$  συναντώνται συχνά στην πράξη. Ωστόσο, οι τιμές των παραμέτρων  $s$  και  $S$  συνήθως καθορίζονται κατά τρόπο μάλλον αυθαίρετο. Ένα μειονέκτημα του συστήματος  $(s, S)$  είναι η μεταβαλλόμενη ποσότητα παραγγελιών. Οι προμηθευτές μπορεί να κάνουν σφάλματα πιο συχνά και σίγουρα προτιμούν την ασφάλεια ενός σταθερού μεγέθους. (Silver et al. 2016)

### 1.2.4.3 Periodic-Review, Order-Up-to-Level - OUT (R, S) System

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπως θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο, έχουμε ένα σύστημα περιοδικής επιθεώρησης όπου το απόθεμα καταγράφεται ανα R χρονικές περιόδους και δίνεται παραγγελία μιας ποσότητας Q κάθε φορά που η στάθμη του αποθέματος έχει πέσει από το επιθυμητό όριο. Χρησιμοποιείται συνήθως σε επιχειρήσεις χωρίς προηγμένα συστήματα μηχανοργάνωσης και σε περιπτώσεις που ο προμηθευτής είναι ο ίδιος ή απαιτούνται κοινοί πόροι. Η διαδικασία ελέγχου του αποθέματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8 : Periodic-Review, Order-Up-to-Level - OUT (R, S) System

Λόγω της περιοδικής επιθεώρησης, αυτό το σύστημα προτιμάται πολύ περισσότερο από τα συστήματα σημείων αναπαραγγελιών όσον αφορά το συντονισμό των παραγγελιών σχετιζόμενων προϊόντων. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις παραγγελιών από εξωτερικό, είναι συχνά απαραίτητο να συμπληρώνονται συγκεκριμένες ποσότητες προκειμένου να διατηρείται χαμηλό το κόστος. Επιπλέον, το (R, S) δίνει τη δυνατότητα σε κάθε χρονική μονάδα αναπλήρωσης R να ρυθμίζεται το S αναλόγως της μεταβολής του πρότυπου ζήτησης, εάν αυτό συμβαίνει με τη πάροδο του χρόνου. Τα κύρια μειονεκτήματα της (R, S) είναι ότι οι ποσότητες αναπλήρωσης ποικίλουν και ότι το κόστος μεταφοράς εμφανίζεται συνήθως υψηλότερο από ότι σε συστήματα συνεχούς αναθεώρησης. (Silver et al. 2016)

#### 1.2.4.4 (R, s, S) System

Εδώ πρόκειται για ένα συνδυασμό συστημάτων (s, S) και (R, S). Η βασική αρχή είναι κάθε R μονάδες του χρόνου ελέγχεται η στάθμη του αποθέματος. Εάν βρίσκεται σε ή αρκετά κάτω από το σημείο αναπαραγγελίας s, τοποθετείται παραγγελία ώστε να το αυξήσουμε σε S. Εάν το απόθεμα είναι πάνω από s, τίποτα δεν γίνεται μέχρι την επόμενη επιθεώρηση.

Έχει αποδειχθεί (Scarf 1960) ότι για συγκεκριμένα μοντέλα ζήτησης και παράγοντες κόστους, το καλύτερο (R, s, S) σύστημα δίνει το χαμηλότερο κόστος από οποιοδήποτε άλλο σύστημα. Ωστόσο, και σε αυτή την περίπτωση η εκτίμηση των βέλτιστων παραμέτρων είναι πιο δύσκολη από αυτή των άλλων συστημάτων. Τέλος, αυτό το σύστημα είναι δυσκολότερο να κατανοηθεί σε σχέση με ορισμένα από τα προαναφερθέντα συστήματα. (Silver et al. 2016)

### 1.3 Η πληροφόρηση στην εφοδιαστική αλυσίδα

Δεδομένης της σημασίας της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και της συνεργασίας όλων των εμπλεκόμενων μερών, μπορούμε να αντιληφθούμε την αξία της διαθεσιμότητας και ανταλλαγής πληροφόρησης μεταξύ των μελών της. Από την άλλη πλευρά τα τεχνολογικά άλματα που λαμβάνουν χώρα τις τελευταίες δεκαετίες, αναφορικά στη συλλογή και επεξεργασία της πληροφορίας, δίνουν τη δυνατότητα διαρκούς βελτίωσης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας των οργανισμών, ενσωματώνοντας χρήσιμα εργαλεία. Δεν είναι λίγες οι μελέτες, άλλωστε, που επιβεβαιώνουν την εξομάλυνση παθογενειών εντός μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως το φαινόμενο Bullwhip ή διαφορετικά το φαινόμενο του Μαστιγίου που θα εξετάσουμε στη συνέχεια της εργασίας. (Lee et al. 2000, Zhang 2004, 2007)

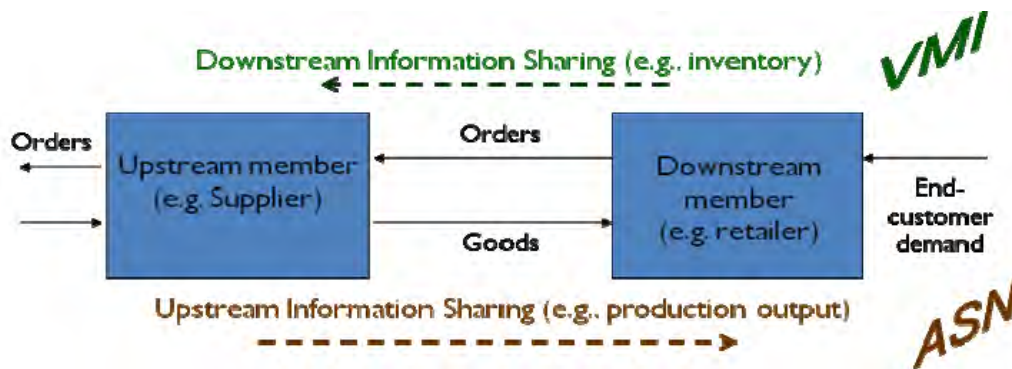
Οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για δύο βασικούς σκοπούς σε οποιαδήποτε εφοδιαστική αλυσίδα:

1. Συντονισμός καθημερινών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη λειτουργία των βασικών συστατικών της εφοδιαστικής αλυσίδας: παραγωγή, απόθεμα, αποθήκευση και μεταφορά. Οι εταιρείες μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα χρησιμοποιούν τα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την προσφορά και τη ζήτηση των προϊόντων για να πάρουν αποφάσεις σχετικά με την οργάνωση παραγωγής, τα επίπεδα των αποθεμάτων, τα οδικά δίκτυα που θα χρησιμοποιήσουν αλλά και τις τοποθεσίες που θα αποθηκεύσουν τα υλικά.

2. Η πρόβλεψη και ο προγραμματισμός για την ικανοποίηση της μελλοντικής ή εν δυνάμει ζήτησης. Τα διαθέσιμα δεδομένα ζήτησης επεξεργάζονται και χρησιμοποιούνται όχι μόνο για την οργάνωση των καθημερινών λειτουργιών αλλά και για στρατηγικές αποφάσεις όπως νέες επενδύσεις σε εγκαταστάσεις, εισαγωγή σε νέα αγορά ή έξοδο από μια υπάρχουσα αγορά.

Πιο συγκεκριμένα, οι πληροφορίες μπορούν να έχουν την μορφή στοιχείων και κόστους αποθέματος, στοιχείων πωλήσεων, προβλέψεων ζήτησης και δυνατοτήτων προϊόντων. Ο χρόνος παραγωγής και παράδοσης των προϊόντων, Lead Time, είναι μια πολύ βασική και πληροφορία όπως και το διαχειριστικό κόστος. Σε ένα πιο προχωρημένο επίπεδο, στοιχεία όπως διακύμανση του χρόνου παράδοσης, η διακύμανση και το μοντέλο πρόβλεψης της ζήτησης μπορούν να βελτιώσουν την λειτουργία και αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας στο σύνολο της. (Huang, Lau et al. 2003, Lotfi, Zahra et al. 2013)

Ένας ακόμη διαχωρισμός γίνεται με βάση τη ροή της πληροφορίας από τον Zhou (2006). Με τον όρο ροή της πληροφορίας εννοούμε την μετακίνηση από κάτω προς τα πάνω στην εφοδιαστική αλυσίδα, δηλαδή από τον καταναλωτή προς τον παραγωγό, και αντιθέτως. Ευρέως χρησιμοποιούνται οι όροι downstream information sharing, ή αλλιώς από την σκοπιά της ζήτησης και upstream information sharing, ή αλλιώς από την σκοπιά της προσφοράς.



Εικόνα 9: Μεταφορά πληροφορίας σε εφοδιαστική αλυσίδα 2 επιπέδων  
Πηγή Choi, 2010

## 2. Το φαινόμενο BULLWHIP στην εφοδιαστική αλυσίδα

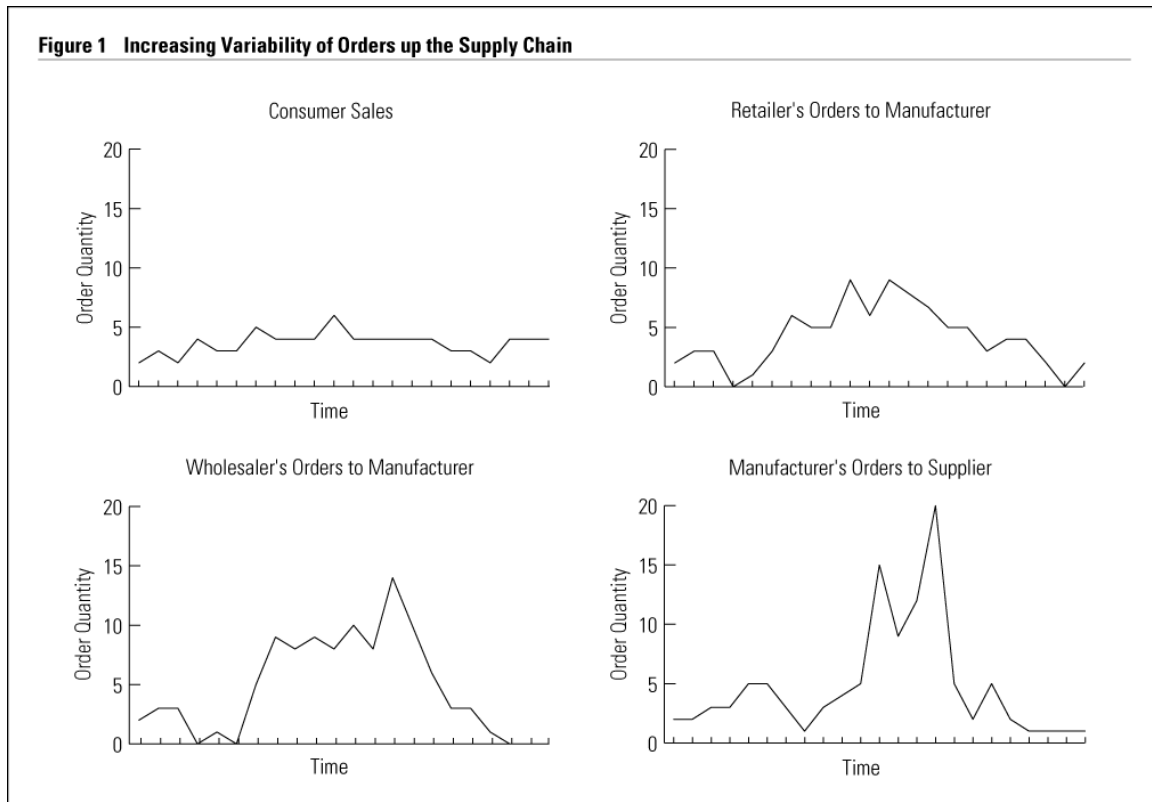
Στα βήματα των Dell, Chrysler και Wal-Mart, πολλοί οργανισμοί έχουν επιχειρήσει την αναδιοργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας τους και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Με έμφαση στον συντονισμό του συνόλου των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει προσελκύσει την προσοχή των ερευνητών και των επαγγελματιών του τομέα. Ένα από τα σημαντικά πεδία έρευνας είναι το φαινόμενο bullwhip, το οποίο ήρθε στο προσκήνιο της έρευνας από τα έργα των Lee et al. (1997a, b). Αναφέρεται στην μεταβλητότητα της ζήτησης καθώς κινούμαστε προς τα επάνω σε μία εφοδιαστική αλυσίδα. Η μεγέθυνση του φαινομένου μπορεί να προκαλέσει αστάθεια στην εφοδιαστική αλυσίδα και να αυξήσει το κόστος των προϊόντων. (Zhang, 2004). Οι περισσότερες μελέτες πάνω στο φαινόμενο bullwhip έχουν εστιάσει στην απόδειξη της ύπαρξής του, προσδιορίζοντας τις πιθανές αιτίες του και την εκμετάλλευση εργαλείων-μεθόδων που μπορούν να μειώσουν την έντασή του. (Chen, 2000)

### 2.1 Ιστορική ανασκόπηση του φαινομένου

Λίγο πριν το 1997 τα στελέχη Logistics της Procter & Gamble (P&G) εξέτασαν τα μοτίβα των δεδομένων των παραγγελιών για ένα από τα καλύτερα προϊόντα τους, τα Pampers. Οι πωλήσεις τους στα καταστήματα λιανικής παρουσίαζαν διακυμάνσεις οι οποίες όμως δεν χαρακτηριζόταν υπερβολικές. Ωστόσο, καθώς εξέτασαν τις παραγγελίες των διανομέων παρατηρήθηκε ότι ο βαθμός διακύμανσης αυξανόταν. Το ίδιο συνέβαινε όταν εξέτασαν τις παραγγελίες της P&G στους προμηθευτές της ενώ οι καταναλωτές, σε αυτή την περίπτωση τα μωρά, κατανάλωναν τις πάνες με σταθερό ρυθμό. Η P&G χαρακτήρισε το φαινόμενο της αυξανόμενης διακύμανσης της ζήτησης όσο ανεβαίνουμε στην εφοδιαστική αλυσίδα, φαινόμενο "bullwhip".

Όταν τα στελέχη της Hewlett-Packard (HP) εξέτασαν τις πωλήσεις ενός από τους εκτυπωτές σε έναν μεγάλο μεταπωλητή, διαπίστωσαν ότι υπήρχαν, όπως αναμενόταν, κάποιες διακυμάνσεις με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, όταν εξέτασαν τις παραγγελίες από τον μεταπωλητή, παρατήρησαν πολύ μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Στο παρελθόν, χωρίς να είναι σε θέση να δει τις πωλήσεις των προϊόντων της από τους διανομείς, η HP χρειάστηκε να βασιστεί στις παραγγελίες από τους μεταπωλητές της για να κάνει προβλέψεις πωλήσεων και να ελέγξει το απόθεμα και την παραγωγή της. Οι μεγάλες διακυμάνσεις στη ζήτηση αποτέλεσαν σημαντικό πρόβλημα για τη διοίκηση της HP. Τα αποτελέσματα τέτοιων διακυμάνσεων ήταν η υπεραποθεματοποίηση, οι ανεπαρκείς

προβλέψεις, οι ανεπαρκείς ή υπερβολικές παραχθείσες ποσότητες, η κακή εξυπηρέτηση των πελατών λόγω μη διαθέσιμων προϊόντων ή μεγάλων καθυστερήσεων και υψηλό κόστος διορθώσεων, όπως ταχείες αποστολές και υπερωρίες. Η HP υπήρξε θύμα των λανθασμένων εκτιμήσεων των παραγγελιών που είχαν γίνει από τους μεταπωλητές τους σε σχέση με τις πωλήσεις τους και αυτό με τη σειρά του, ενέτεινε το πρόβλημα στους προμηθευτές της.



Εικόνα 10: Απεικόνιση μεταβλητότητας παραγγελιών στα διάφορα στάδια της αλυσίδας

Σε παρόμοια θέση βρέθηκαν πολλοί οργανισμοί σε διαφορετικούς κλάδους όπως εργοστάσια και τα κέντρα διανομής των κατασκευαστών, οι αποθήκες των διανομέων και γενικά οι αποθήκες κατά μήκος του καναλιού διανομής. Σε μια εφοδιαστική αλυσίδα ενός τυπικού καταναλωτικού προϊόντος, ακόμη και όταν οι πωλήσεις δεν φαίνεται να διαφέρουν πολύ, υπάρχει έντονη μεταβλητότητα στις παραγγελίες των λιανοπωλητών στους χονδρεμπόρους (βλ. Εικόνα 9). Οι παραγγελίες στον κατασκευαστή και στον προμηθευτή του κατασκευαστή αυξάνονται ακόμη περισσότερο. Για την επίλυση του προβλήματος των διαστρεβλωμένων πληροφοριών καθώς ανεβαίνουμε στην εφοδιαστική αλυσίδα, πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητό τι δημιουργεί το φαινόμενο bullwhip έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμη και να απαλειφτεί. Οργανισμοί που προχωρούν σε καινοτόμες

εφαρμογές στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας του έχουν καταφέρει να ελέγξουν το bullwhip και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του συνόλου της αλυσίδας τους, συντονίζοντας τις πληροφορίες και τον προγραμματισμό κατά μήκος της. (Lee et al. 1997)

## 2.2 Αίτια του φαινομένου Bullwhip

Ίσως η καλύτερη απεικόνιση του αποτελέσματος του bullwhip είναι το γνωστό "beer game" που αναπτύχθηκε από το MIT. Στο παιχνίδι, οι συμμετέχοντες (φοιτητές, διευθυντές, αναλυτές κ.λπ.) παίρνουν τους ρόλους των πελατών, των λιανοπωλητών, των χονδρεμπόρων και των προμηθευτών μιας δημοφιλούς μάρκα μπύρας. Οι συμμετέχοντες δεν μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και πρέπει να παραγγέλνουν μόνο βάσει των παραγγελιών που δέχονται από τον παίκτη στο επόμενο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα μοτίβα παραγγελιών που δημιουργούνται έχουν ένα κοινό, επαναλαμβανόμενο χαρακτηριστικό: η μεταβλητότητα των παραγγελιών του προγενέστερου σταδίου είναι πάντοτε μεγαλύτερη από εκείνη του μεταγενέστερου, μια απλή δηλαδή απεικόνιση του αποτελέσματος του bullwhip. Αυτή η αυξημένη διακύμανση παραγγελιών μπορεί να αποδοθεί στην παράλογη λήψη αποφάσεων των παικτών. Πράγματι, τα πειράματα του Sterman (1989) υποδείκνυαν ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά, όπως παρερμηνείες των πληροφοριών ζήτησης και αποθεμάτων, είναι αυτή που μπορεί να προκαλέσει την επίδραση του bullwhip.

Αντιθέτως, όμως, αποδεικνύεται ότι το φαινόμενο bullwhip είναι συνέπεια της ορθολογικής συμπεριφοράς των παικτών δεδομένου του τρόπου που δομείται η εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό συνεπάγεται ότι οι εταιρείες που επιθυμούν να ελέγξουν το φαινόμενο πρέπει να επικεντρωθούν στην τροποποίηση της υποδομής της αλυσίδας και των διαδικασιών μέσα σε αυτή και όχι στη συμπεριφορά των υπευθύνων λήψης αποφάσεων.

Οι Lee et al. (1997α, β) εντοπίζουν πέντε κύριες αιτίες της εμφάνισης bullwhip:

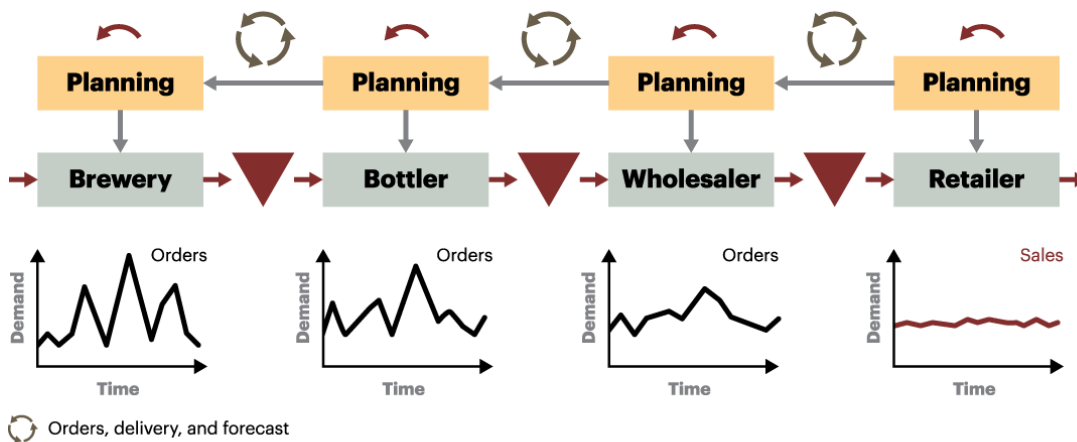
1. Η προσπάθεια πρόβλεψης ζήτησης
2. Ελλείψεις σε αποθέματα
3. Lead times<sup>1</sup>
4. Παραγγελίες σε παρτίδες
5. Διακυμάνσεις των τιμών

---

<sup>1</sup> Συχνά υπάρχει χρονική υστέρηση μεταξύ της γνώσης και της εμφάνισης ενός επικείμενου γεγονότος. Αυτό το χρονικό κενό αποκαλείται lead time. (Makridakis, 1997)



## The Bullwhip Effect



Εικόνα 11: Απεικόνιση φαινομένου διακύμανσης της ζήτησης  
(Πηγή: <https://www.atkearney.com/web/beer-distribution-game/the-bullwhip-effect>)

Κάθε μία από τις ανωτέρω αιτίες είναι υπαρκτή στο πλαίσιο της υποδομής και λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας και η ορθολογική λήψη αποφάσεων από τους διαχειριστές των διαφόρων σταδίων δημιουργούν το αποτέλεσμα του bullwhip. Η κατανόηση των αιτιών βοηθά όμως τους διαχειριστές να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν στρατηγικές για την αντιμετώπισή του (Lee et al. 1997b). Αναφορικά στις προτάσεις για την εξομάλυνση του φαινομένου bullwhip, μία από τις συχνότερες είναι η διάχυση της πληροφορίας - δεδομένων ζήτησης του τελικού καταναλωτή σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας.

### 2.2.1 Η προσπάθεια πρόβλεψης της ζήτησης ως αίτιο εμφάνισης του Bullwhip

Κάθε εταιρεία σε μια εφοδιαστική αλυσίδα συνήθως προβαίνει σε πρόβλεψη ζήτησης για τον προγραμματισμό της παραγωγής, τον έλεγχο των αποθεμάτων και τον προγραμματισμό των υλικών απαιτήσεων. Η πρόβλεψη βασίζεται συχνά στο ιστορικό παραγγελιών από τους άμεσους πελάτες της εταιρείας.

Τα αποτελέσματα του beer game είναι συνέπεια πολλών συμπεριφορικών παραγόντων, όπως οι αντιλήψεις των παικτών και η δυσπιστία. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο τρόπος σκέψης κάθε παίκτη σύμφωνα με τον οποίο προβάλλει το πρότυπο της ζήτησης. Όταν μια επιχείρηση κατάντη

τοποθετεί μια παραγγελία, ο ανάπτη υπεύθυνος λαμβάνει αυτή την πληροφορία ως ένδειξη για τη μελλοντική ζήτηση του προϊόντος. Βάσει αυτής της ένδειξης, ο ανάπτη διευθυντής αναπροσαρμόζει τις προβλέψεις της ζήτησης και, με τη σειρά τους, τις παραγγελίες που δίνονται στους προμηθευτές της ανάπτη επιχείρησης. Αποδεικνύεται, όπως θα αναλυθεί εκτενέστερα στην συνέχεια, ότι η επεξεργασία των δεδομένων της ζήτησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην επίδραση του bullwhip.

Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιηθεί μια απλή μέθοδος πρόβλεψης της ζήτησης, όπως η εκθετική εξομάλυνση, οι μελλοντικές απαιτήσεις ενημερώνονται συνεχώς καθώς τα νέα στοιχεία ημερήσιας ζήτησης καθίστανται διαθέσιμα. Η παραγγελία που αποστέλλεται στον προμηθευτή αντικατοπτρίζει την ποσότητα που χρειάζεται για να ικανοποιηθεί η μελλοντική ζήτηση καθώς και τα απαραίτητα αποθέματα ασφαλείας (SS). Με μεγάλους χρόνους παράδοσης, δεν είναι ασυνήθιστο να χρειαζόμαστε αποθέματα ασφαλείας για εβδομάδες. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι διακυμάνσεις των ποσοτήτων παραγγελίας με την πάροδο του χρόνου μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες στα δεδομένα ζήτησης.

Τώρα, ένα βήμα πάνω στην εφοδιαστική αλυσίδα, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία εντείνοντας το φαινόμενο της διακύμανσης. Επειδή το ύψος του αποθέματος ασφαλείας συμβάλλει στην επίδραση του bullwhip, είναι εύκολα κατανοητό ότι όταν οι χρόνοι παράδοσης μεταξύ της ανανέωσης των ειδών κατά μήκος της αλυσίδας είναι μεγάλοι, η διακύμανση γίνεται ακόμα πιο έντονη. (Lee et al. 1997)

### 3. Πρόβλεψη ζήτησης και εκτίμηση του φαινομένου Bullwhip

Στα προηγούμενα κεφάλαια πραγματοποιήθηκε σε θεωρητικό επίπεδο η παρουσίαση του φαινομένου bullwhip καθώς και ο λόγος που η πρόβλεψη της ζήτησης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ένταση που θα λάβει. Στην πορεία θα επιχειρηθεί η παρουσίαση της επίδρασης των διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης στην εμφάνιση του φαινομένου σε ένα απλό σύστημα αναπλήρωσης αποθεμάτων. Αναλυτικότερα, θα υποθέσουμε ότι ο λιανοπωλητής δεν γνωρίζει ακριβώς τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζεται η ζήτηση και γι' αυτό θα προσπαθήσει να την εκτιμήσει με συγκεκριμένες μεθόδους πρόβλεψης. Επιπλέον, θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο το εν λόγω φαινόμενο καθίσταται απτό, δηλαδή ποσοτικοποιείται η διακύμανση της ζήτησης και της ποσότητας παραγγελίας.

Οι βασικές παραδοχές είναι ότι:

- Εξετάζουμε μια απλή εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων, αποτελούμενη από έναν μόνο έμπορο λιανικής και έναν μόνο κατασκευαστή.
- Η ζήτηση περιγράφεται από το αυτοπαλίνδρομο μοντέλο πρώτης τάξης, ή AR(1).
- Η πολιτική παραγγελιών και αποθεματοποίησης είναι η Order up to Level (OUT) πολιτική.
- Οι μέθοδοι πρόβλεψης είναι:
  - Η μέθοδος των ελαχίστων μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων (MMSE)
  - Η μέθοδος των κινητών μέσων (MA) και
  - Η εκθετική εξομάλυνση (ES).

### 3.1 Αυτοπαλίνδρομο μοντέλο 1ης τάξης – AR(1)

Όπως αναφέρθηκε, θα υποθέσουμε ότι η ζήτηση ( $d_t$ ) ακολουθεί το στάσιμο αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα 1<sup>ης</sup> τάξης, AR(1). Η επιλογή του συγκεκριμένου στοχαστικού υποδείγματος βασίζεται στο γεγονός ότι στο παρελθόν έχει προτιμηθεί από πολλούς μελετητές με τους Ali et al. (2012) να αιτιολογούν την επιλογή αυτή με έρευνά τους σε πολυκαταστήματα μεγάλης αλυσίδας. Η περιοχή εφαρμογής ήταν η Γερμανία όπου προσάρμοσαν υποδείγματα ARIMA σε εβδομαδιαίες πωλήσεις δυο ετών και διαπίστωσαν η ζήτηση 544 προϊόντων ακολουθεί το εν λόγω μοντέλο, AR(1).

Η μαθηματική έκφραση της ζήτησης με AR(1), λοιπόν, είναι η ακόλουθη:

$$d_t = \delta + \varphi d_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.1.1)$$

Όπου:

$d_t$	:	Η ζήτηση στην χρονική στιγμή t
$\delta$	:	Σταθερά που προσδιορίζει το μέσο της διαδικασίας
$\varphi$	:	Η παράμετρος της παλινδρόμησης πρώτης τάξης με $ \varphi  < 1$ , προκειμένου να διασφαλίζεται η στασιμότητα της διαδικασίας
$d_{t-1}$	:	Η ζήτηση στην χρονική στιγμή t-1
$\varepsilon_t$	:	Τυχαία σφάλματα, ανεξάρτητα και κανονικά κατανομημένα, $\varepsilon_t \sim \text{i.i.d N}(0, \sigma_\varepsilon^2)$

Η στασιμότητα σε μια χρονοσειρά σημαίνει ουσιαστικά σταθερότητα στον χρόνο του μέσου όρου και της διακύμανσης. Η συνθήκη  $|\varphi| < 1$  διασφαλίζει τη στασιμότητα και οι παράμετροι μιας στάσιμης χρονοσειράς είναι οι ακόλουθοι:

Μέσος	:	$E(d_t) = \mu_d = \frac{\delta}{1 - \varphi}$	(3.1.2)
Διακύμανση	:	$V(d_t) = \gamma_0 = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \varphi^2}$	(3.1.3)
Συντελεστές αυτοσυσχέτισης	:	$\rho_s = \varphi^s$ η συσχέτιση μεταξύ δυο οποιονδήποτε τιμών της χρονοσειράς οι οποίες απέχουν μεταξύ τους s χρονικές περιόδους	(3.1.4)
Αυτοσυνδιακύμανση	:	$Cov(d_t, d_{t+s}) = \gamma_s = \gamma_0 \rho^s = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \varphi^2} \varphi^s$	(3.1.5)

Ως  $H_t = \{d_t, d_{t-1}, d_{t-2}, \dots\}$  εννοείται το σύνολο των διαθέσιμων παρατηρούμενων δεδομένων ζήτησης ως τη χρονική περίοδο t.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι κατά την περαιτέρω ανάλυση των μεθόδων πρόβλεψης, υποθέτουμε ότι έχουμε άπειρο αριθμό παρατηρήσεων και πως οι παράμετροι του μοντέλου ζήτησης είναι γνωστές. Το πλεονέκτημα της υπόθεσης ότι το δείγμα είναι άπειρο είναι ότι μπορούμε καλύτερα να συγκρίνουμε την επίδραση των διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης στο λόγο bullwhip που ποσοτικοποιεί την ένταση του συγκεκριμένου φαινομένου.

Στην πράξη, όλες οι παράμετροι του μοντέλου ζήτησης :  $d_t = \delta + \varphi d_{t-1} + \varepsilon_t$  πρέπει να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας ένα πεπερασμένο αριθμό παρατηρήσεων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Μεγίστης Πιθανοφάνειας.

Η μέτρηση του φαινομένου bullwhip όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια, σύμφωνα με τον X. Zhang (2004), εξαρτάται από αυτές τις άγνωστες παραμέτρους.

### 3.2 Ποσότητα παραγγελίας OUT πολιτικής αναπλήρωσης αποθέματος με ζήτηση AR(1)

Όπως αναφέρθηκε έχουμε μια απλή εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων στην οποία ο λιανοπωλητής παρατηρεί το επίπεδο του αποθέματός του σε κάθε χρονική περίοδο ( $t$ ) και θέτει μια παραγγελία ( $q_t$ ) σε έναν μόνο κατασκευαστή. Εφόσον έχει γίνει η παραγγελία, ο λιανοπωλητής καταγράφει τη ζήτηση ( $d_t$ ) των πελατών του για την περίοδο αυτή. Επίσης, υπάρχει σταθερό Lead Time ( $L$ ) από την παραγγελία της ποσότητας ( $q_t$ ) ως την παραλαβή της. Έτσι, μια παραγγελία που τοποθετείται στο τέλος της περιόδου  $t$  παραλαμβάνεται στην αρχή της περιόδου  $t + L$ . Για παράδειγμα, εάν δεν υπάρχει Lead Time ( $L$ ) μια παραγγελία που τοποθετείται στο τέλος της περιόδου  $t$  παραλαμβάνεται στην αρχή της περιόδου  $t + 1$ , επομένως έχουμε  $L = 1$ . (Lee et al. 2000, Zhang 2004)

Υιοθετούμε ως ακολουθία των γεγονότων :

- Επιθεώρηση στάθμης αποθέματος στη χρονική περίοδο  $t$
- Πραγματοποίηση ζήτησης στη χρονική περίοδο  $t$  η οποία μειώνει το επίπεδο του αποθέματος κατά ( $d_t$ )
- Παραγγελία ποσότητας ( $q_t$ ) η οποία θα επαναφέρει το απόθεμα ( $y_t$ ), στη χρονική περίοδο  $t + L$ , στο επιθυμητό επίπεδο.

Σύμφωνα με την χρονική ακολουθία των γεγονότων όπως περιγράφηκαν ανωτέρω η μαθηματική έκφραση της ποσότητας παραγγελίας δίνεται ως:

$$q_t = y_t - (y_{t-1} + d_t) \quad (3.2.1)$$

Προκειμένου να πετύχει την εξυπηρέτηση της ζήτησης με μια συγκεκριμένη πιθανότητα, ο λιανοπωλητής θέτει το επιθυμητό επίπεδο αποθέματος  $y_t$  (Order Up To Level – OUT Level). Στη συγκεκριμένη πολιτική αναπλήρωσης το επιθυμητό απόθεμα είναι η ποσότητα που θα επιτρέψει στον πωλητή να εξυπηρετήσει τη ζήτηση που θα εμφανιστεί στο μεσοδιάστημα έως την παραλαβή της νέας παραγγελίας, δηλαδή στο Lead Time ( $L$ ), συν το απόθεμα ή στοκ ασφαλείας. Η μαθηματική έκφραση του επιθυμητού επιπέδου αποθέματος είναι η εξής:

$$y_t = D_{t|H_t}^L + z\sigma_{t|H_t}^L \quad (3.2.2)$$

Όπου η πραγματική συνολική ζήτηση που θα εμφανιστεί στο Lead Time ( $L$ ) είναι:

$$D_t^L = \sum_{\tau=1}^L d_{t+\tau} \quad (3.2.3)$$

Επομένως,  $D_{t|H_t}^L$  είναι η προβλεπόμενη συνολική ζήτηση στο  $L$  δοθείσης της χρονοσειράς  $H_t$ . Ο όρος  $\sigma_{t|H_t}^L$  είναι η τυπική απόκλιση του σφάλματος πρόβλεψης της συνολικής ζήτησης στο  $L$ . Ο όρος  $z$  είναι η αντίστροφη συνάρτηση κατανομής της τυπικής κανονικής κατανομής υπολογιζόμενη στην πιθανότητα που θα ορίσει ο λιανοπωλητής να μην ξεμείνει από απόθεμα στο  $L$ .

Η τυπική απόκλιση του σφάλματος ορίζεται ως:

$$\sigma_{t|H_t}^L = \sqrt{V(D_t^L - D_{t|H_t}^L)} \quad (3.2.4)$$

Αντικαθιστώντας την (3.3.2) στην (3.3.1) έχουμε:

$$\begin{aligned} q_t &= y_t - y_{t-1} + d_t \\ &= (D_{t|H_t}^L - D_{t-1|H_t}^L) + z(\sigma_{t|H_t}^L - \sigma_{t-1|H_t-1}^L) + d_t \end{aligned}$$

Έχουμε ήδη υποθέσει ότι η ζήτησή που εξετάζουμε ακολουθεί το στάσιμο υπόδειγμα AR(1) σύμφωνα με το οποίο ισχύει  $\sigma_{t|H_t}^L = \sigma_{t-1|H_t}^L$ . (Zhang,2004)

Επομένως η τελική μαθηματική έκφραση της ποσότητας παραγγελίας είναι:

$$q_t = (D_{t|H_t}^L - D_{t-1|H_{t-1}}^L) + d_t \quad (3.2.5)$$

Αντιλαμβανόμαστε εύκολα ότι η ποσότητα παραγγελίας εξαρτάται από την διαφορά στην πρόβλεψη της συνολικής ζήτησης της χρονικής περιόδου  $t-1$  με  $t$  και από την παρατηρούμενη ζήτηση στην περίοδο  $t$ .



### 3.3 Ποσοτικοποίηση του φαινομένου Bullwhip

Είναι εύκολα κατανοητό ότι η ποσότητα παραγγελίας από τον έμπορο λιανικής είναι η ζήτηση που καταγράφει ο κατασκευαστής που βρίσκεται στο επόμενο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ως εκ τούτου, το φαινόμενο bullwhip μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της διακύμανσης της ζήτησης που αντιμετωπίζει ο κατασκευαστής  $V(q_t)$  με τη διακύμανση της ζήτησης που καταγράφει ο λιανοπωλητής  $V(d_t)$ . (Zhang, 2004).

$$M^2 = \frac{V(q_t)}{V(d_t)} \quad (3.3.1)$$

Βάσει ορισμού, όταν το  $M^2 > 1$ , δηλαδή η διακύμανση της ζήτησης του κατασκευαστή είναι μεγαλύτερη από τη διακύμανση της ζήτησης του λιανοπωλητή, θεωρούμε ότι υπάρχει το φαινόμενο bullwhip.

Σύμφωνα με την αρχική μας υπόθεση ότι η ζήτηση ακολουθεί το αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα πρώτης τάξης AR(1) προκύπτει ότι:

$$V(d_t) = \gamma_0 = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \varphi^2}$$

Η ζήτηση του κατασκευαστή, όμως, ή αλλιώς η ποσότητα παραγγελίας του λιανοπωλητή όπως αποδείχθηκε εξαρτάται από τη διαφορά στην πρόβλεψη της ζήτησής του. Επομένως, στη συνέχεια θα αποδειχθεί πως διαμορφώνεται η διακύμανση της ποσότητας παραγγελίας άρα και το φαινόμενο bullwhip ανάλογα με τις τρεις μεθόδους πρόβλεψης που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε, την μέθοδο του ελαχίστου μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MMSE), του κινητού μέσου όρου (MA) και της εκθετικής εξομάλυνσης (ES).

### 3.3.1 Το φαινόμενο bullwhip με την Μέθοδο Ελαχίστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (MMSE) ως μέθοδο πρόβλεψης

Με τις γραμμικές μεθόδους πρόβλεψης ουσιαστικά συνδυάζουμε τις προηγούμενες παρατηρήσεις ζήτησης γραμμικά για να προβλέψουμε τις μελλοντικές τιμές της ζήτησης. Έστω  $\hat{d}_{t+\tau|H_t}$  (με  $\tau=1,2,\dots$ ) η πρόβλεψη της ζήτησης  $d_{t+\tau}$ , που πραγματοποιείται στη χρονική στιγμή  $t$  δοθείσης της χρονοσειράς  $H_t$ , για  $\tau$  χρονικές περιόδους μπροστά. Ως  $\hat{e}_{t+\tau|t} = d_{t+\tau} - \hat{d}_{t+\tau|H_t}$  ορίζουμε το αντίστοιχο σφάλμα της πρόβλεψης. Δεδομένου του μοντέλου AR (1) το οποίο περιγράφει την ζήτηση και σύμφωνα με τους Wei (1990) και Hamilton (1994) τους επικαλείται στο άρθρο του ο Zhang (2004), οι μαθηματικές σχέσεις από τις οποίες προκύπτουν οι τιμές των ανωτέρω είναι οι εξής:

$$\hat{d}_{t+\tau|H_t} = \mu_d + \varphi^\tau (d_t - \mu_d) \quad (3.3.2)$$

Και

$$\hat{e}_{t+\tau|t} = \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j \varepsilon_{t+t-j} \quad (3.3.3)$$

Εφαρμόζοντας τις απαιτούμενες αλγεβρικές πράξεις προκύπτει ότι η πρόβλεψη της ζητούμενης ποσότητας στο lead time ( $L$ ) παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\hat{D}_{t|H_t}^L = \sum_{\tau=1}^L \hat{d}_{t+\tau|H_t} = L\mu_d + \frac{\varphi - \varphi^{L+1}}{1 - \varphi} (d_t - \mu_d) \quad (3.3.4)$$

Αντικαθιστώντας τον ως άνω τύπο της πρόβλεψης στον τύπο της ποσότητας παραγγελίας τότε έχουμε τον τύπο της ποσότητας παραγγελίας με τη χρήση της συγκεκριμένης MMSE μεθόδου πρόβλεψης:

$$\begin{aligned}
\hat{q}_t &= (\hat{D}_{t|H_t}^L - \hat{D}_{t-1|H_{t-1}}^L) + d_t \\
&= d_t + \frac{\varphi - \varphi^{L+1}}{1 - \varphi} (d_t - d_{t-1}) \\
&= \frac{1 - \varphi^{L+1}}{1 - \varphi} d_t - \frac{\varphi - \varphi^{L+1}}{1 - \varphi} d_{t-1}
\end{aligned} \tag{3.3.5}$$

Δεδομένων των:

$$V(d_t - d_{t-1}) = 2\sigma_d^2(1 - \varphi) \tag{3.3.6}$$

και

$$\text{Cov}(d_t, d_t - d_{t-1}) = \sigma_d^2(1 - \varphi) \tag{3.3.7}$$

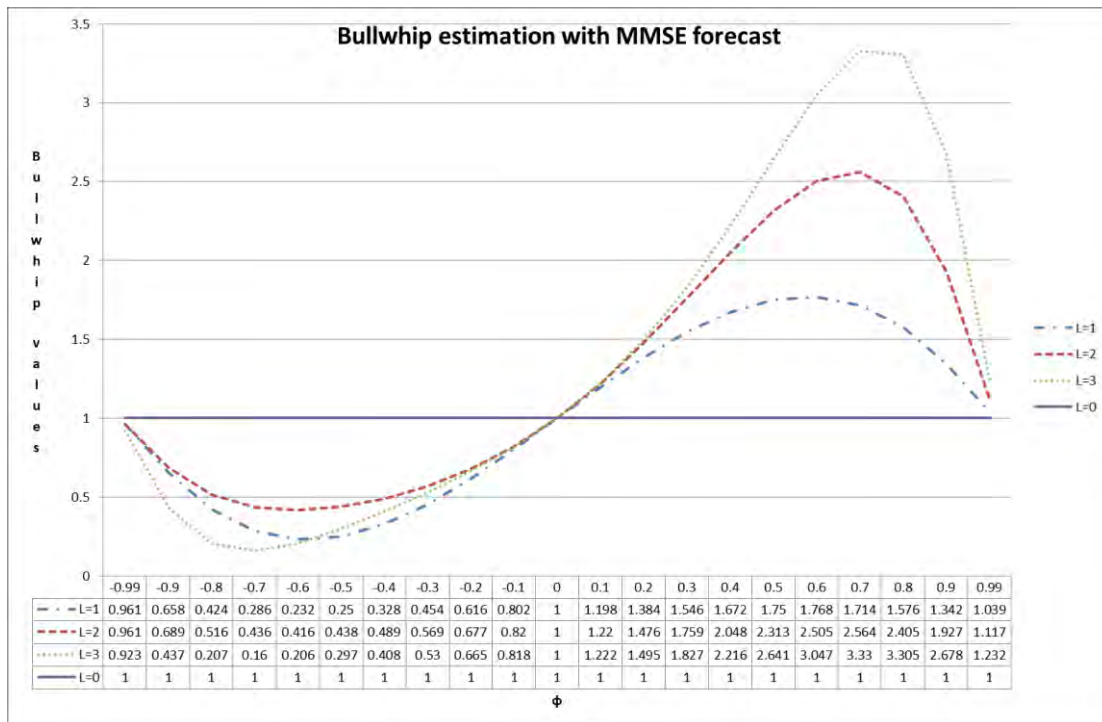
Προκύπτει ότι :

$$\begin{aligned}
V(\hat{q}_t) &= V(d_t) + \left( \frac{(\varphi - \varphi^{L+1})}{(1 - \varphi)} \right)^2 V(d_t - d_{t-1}) + 2 \frac{(\varphi - \varphi^{L+1})}{(1 - \varphi)} \text{Cov}(d_t, d_t - d_{t-1}) \\
&= V(d_t) \left[ 1 + \frac{2\varphi(1 - \varphi^L)(1 - \varphi^{L+1})}{(1 - \varphi)} \right]
\end{aligned} \tag{3.3.8}$$

Αντικαθιστώντας στον τύπο του  $M^2$  παίρνουμε την τελική μαθηματική μορφή του λόγου bullwhip, εφόσον χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο MMSE ως μέθοδο πρόβλεψης:

$$\hat{M}^2 = 1 + \frac{2\varphi(1 - \varphi^L)(1 - \varphi^{L+1})}{(1 - \varphi)} \tag{3.3.9}$$

Παρατηρούμε πως το φαινόμενο εξαρτάται από τις παραμέτρους του μοντέλου που περιγράφει τη ζήτηση και το Lead Time. Δίνοντας διαφορετικές τιμές στο  $\phi$ , δεδομένου ότι  $|\phi| < 1$ , για διαφορετικά  $L=1,2,3$  παίρνουμε το ακόλουθο διάγραμμα με τις τιμές που λαμβάνει το bullwhip.



Διάγραμμα 1

Συνοψίζοντας παρατηρούμε ότι:

- Όταν  $L=0$  δεν παρατηρείται εμφάνιση φαινομένου καθώς  $V(q_t) = V(d_t)$
- Για τιμές του  $\phi \leq 0$ , ο λόγος παίρνει τιμές κάτω της μονάδας επομένως δεν υφίσταται το φαινόμενο bullwhip.
- Για τιμές του  $\phi > 0$ , όσο αυξάνεται το Lead Time τόσο εντείνεται το φαινόμενο.
- Για κάθε  $L > 0$  και τιμές του  $\phi \geq 0,5$  και όχι πλησίον της μονάδος ο λόγος bullwhip αυξάνεται όσο αυξάνεται το  $\phi$ , επομένως το φαινόμενο εμφανίζει όλο και μεγαλύτερη ένταση. Το γεγονός αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό εξετάζοντας και την μαθηματική σχέση που μας δίνει το bullwhip.

Συμπερασματικά των ανωτέρω μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όταν έχουμε ζήτηση με θετική αυτοσυσχέτιση και όσο οι με τιμές του συντελεστή αυτοσυσχέτισης απομακρύνονται από το 0 και τη μονάδα, μπορούμε να ελέγξουμε την ένταση του φαινομένου μειώνοντας το Lead Time.

### 3.3.2 Το φαινόμενο bullwhip με τον Κινητό Μέσο Όρο (MA) ως μέθοδο πρόβλεψης

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο του κινητού μέσου όρου, η πρόβλεψη της ζήτησης για την χρονική περίοδο  $\tau$  δίνεται ως ακολούθως:

$$\bar{d}_{t+\tau|H_t} = \bar{d}_{t+1|H_t} = \frac{1}{p} \sum_{i=0}^{p-1} d_{t-i} \quad (3.3.10)$$

Όπου  $p$  είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη. Η πρόβλεψη για την περίοδο  $\tau$ , με  $\tau \geq 2$ , είναι απλά το άθροισμα των προβλέψεων της επόμενης περιόδου. Κατ' επέκταση η πρόβλεψη στο Lead Time ( $L$ ) θα είναι :

$$\bar{D}_{t|H_t}^L = \sum_{\tau=1}^L \bar{d}_{t+\tau|H_t} = \frac{L}{p} \sum_{i=0}^{p-1} d_{t-i} \quad (3.3.11)$$

Εάν αντικαταστήσουμε τον (3.4.11) τύπο της πρόβλεψης στην εξίσωση της ποσότητας παραγγελίας τότε έχουμε τον τύπο της ποσότητας παραγγελίας με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου πρόβλεψης:

$$\begin{aligned} \bar{q}_t &= (\bar{D}_{t|H_t}^L - \bar{D}_{t-1|H_{t-1}}^L) + d_t \\ &= L \left( \frac{d_t - d_{t-p}}{p} \right) + d_t \\ &= \left( \mathbf{1} + \frac{L}{p} \right) d_t - \frac{L}{p} d_{t-p} \end{aligned} \quad (3.3.12)$$

Δεδομένων των (3.2.3) :

$$V(d_t) = \gamma_0 = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \varphi^2}$$

Και (3.2.5) :

$$\text{Cov}(d_t, d_{t+s}) = \gamma_s = \gamma_0 \rho^s = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \varphi^2} \varphi^s$$

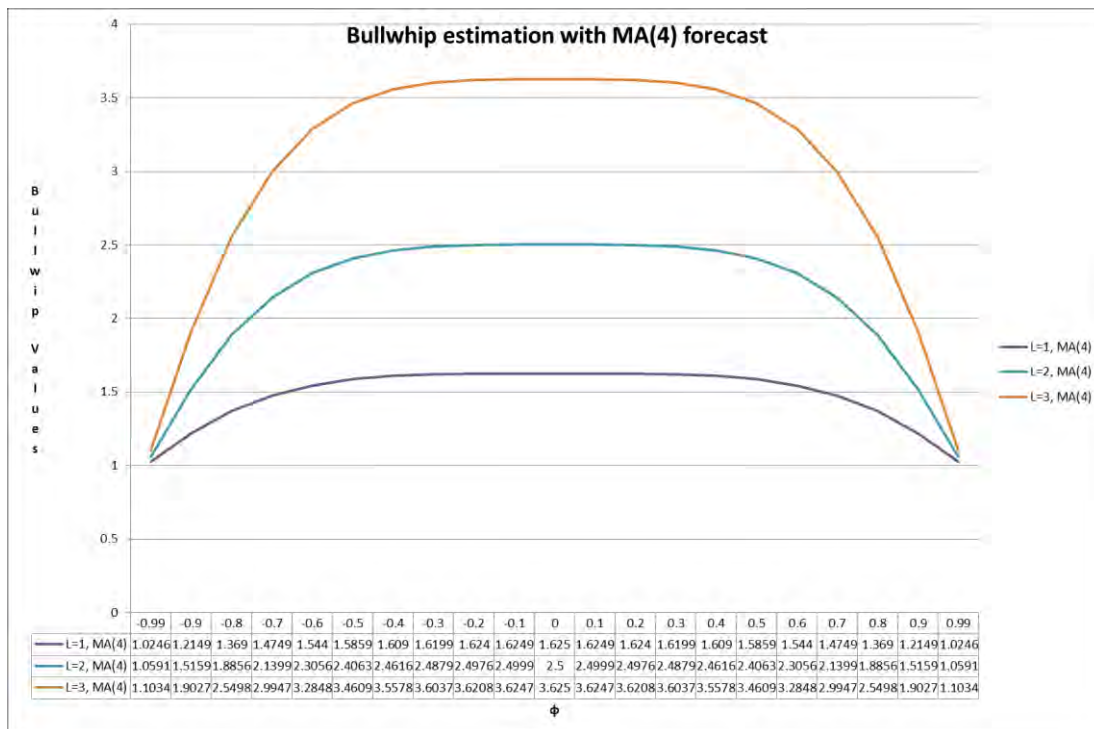
Προκύπτει ότι :

$$\begin{aligned} V(\bar{q}_t) &= \left(1 + \frac{L}{p}\right)^2 V(d_t) - 2 \left(\frac{L}{p}\right) \left(1 + \frac{L}{p}\right) \text{Cov}(d_t, d_{t-p}) + \left(\frac{L}{p}\right)^2 V(d_{t-p}) \\ &= \left(1 + \frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2}\right) V(d_t) - \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2}\right) \varphi^p V(d_t) \\ &= \left\{1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2}\right) (1 - \varphi^p)\right\} V(d_t) \end{aligned} \quad (3.3.13)$$

Αντικαθιστώντας στον τύπο του  $M^2$  παίρνουμε την τελική μαθηματική μορφή του φαινομένου bullwhip εφόσον χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο του κινητού μέσου όρου ως μέθοδο πρόβλεψης:

$$\bar{M}^2 = 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2}\right) (1 - \varphi^p) \quad (3.3.14)$$

Στην προκειμένη περίπτωση παρατηρείται ότι το φαινόμενο εξαρτάται από το συντελεστή αυτοσυσχέτισης της ζήτησης, το Lead Time αλλά και τον αριθμό των προηγούμενων παρατηρήσεων που θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε για την πρόβλεψη της ζήτησης. Στη συνέχεια οπτικοποιούνται οι τιμές που λαμβάνει ο λόγος του bullwhip για διαφορετικές τιμές του  $\varphi$ , με  $|\varphi| < 1$ , για διαφορετικά  $L=1,2,3$  και με τη χρήση άρτιου και περιττού αριθμού προηγούμενων παρατηρήσεων στην πρόβλεψη.

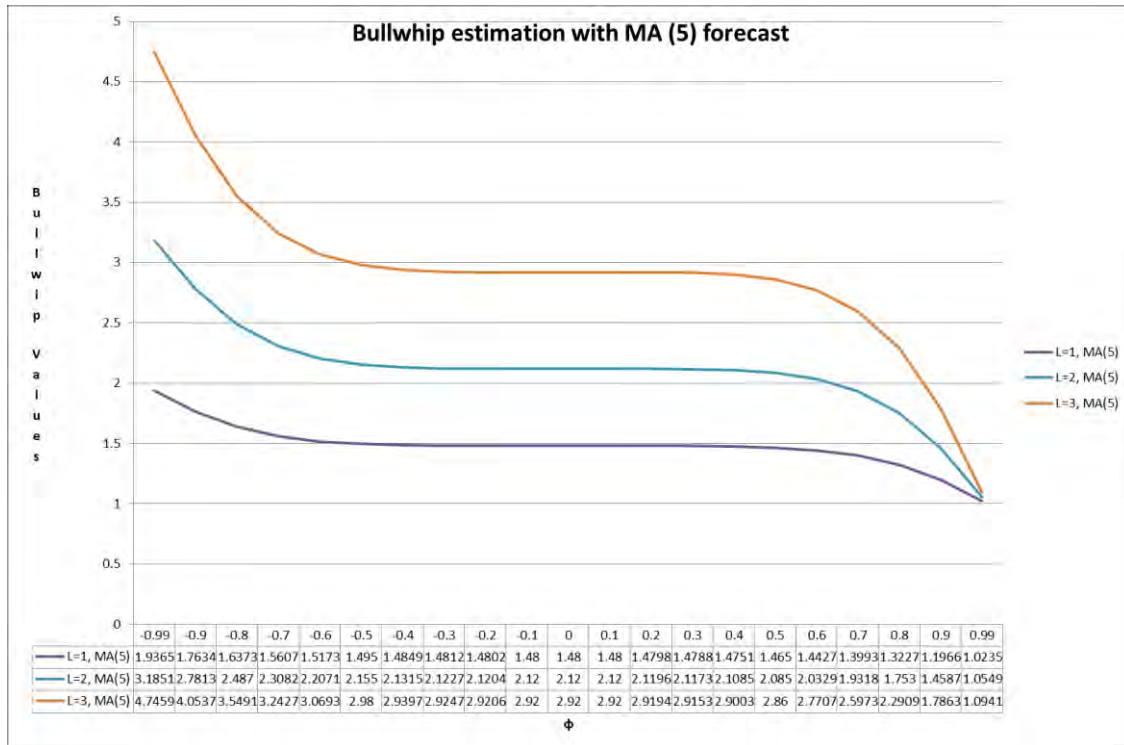


Διάγραμμα 2

Όταν πραγματοποιήσουμε πρόβλεψη MA(4) παρατηρούμε ότι:

- Για κάθε τιμή του  $L > 0$  και  $|\phi| < 1$  παρατηρείται το φαινόμενο bullwhip.
- Για κάθε τιμή του  $\phi$  με  $|\phi| < 1$ , όσο αυξάνεται το Lead Time τόσο αυξάνεται και η ένταση του φαινομένου.
- Για κάθε  $L > 0$ , το φαινόμενο bullwhip εντείνεται χωρίς σημαντική μεταβλητότητα όταν  $|\phi| < 0.6$

Ενώ όταν πραγματοποιήσουμε πρόβλεψη MA(5), όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρατηρούμε ότι:



Διάγραμμα 3

- Για κάθε τιμή του  $L > 0$  και  $|\phi| < 1$ , επίσης, παρατηρείται bullwhip.
- Για κάθε τιμή του  $\phi$  με  $|\phi| < 1$ , όσο αυξάνεται το Lead Time τόσο αυξάνεται και η ένταση του φαινομένου.
- Για κάθε  $L > 0$ , το bullwhip εμφανίζεται χωρίς μεταβλητότητα όταν  $|\phi| < 0.5$
- Για κάθε  $L > 0$  και με υψηλά αρνητικά αυτοσυσχετιζόμενη ζήτηση ο λόγος bullwhip αυξάνεται άρα το φαινόμενο.



### 3.3.3 Το φαινόμενο bullwhip με την Εκθετική Εξομάλυνση (ES) ως μέθοδο πρόβλεψης

Η μέθοδος ES είναι ένας προσαρμοστικός αλγόριθμος κατά τον οποίο η πρόβλεψη της επόμενης περιόδου είναι προσαρμοσμένη σε ένα κλάσμα του σφάλματος πρόβλεψης. Αυτό το κλάσμα ή αλλιώς παράμετρος της εξομάλυνσης ορίζεται ως  $a$ . Χρησιμοποιώντας την μέθοδο εκθετικής εξομάλυνσης, η πρόβλεψη της ζήτησης για την επόμενη χρονική περίοδο δίνεται ως ακολούθως:

$$\tilde{d}_{t+1|H_t} = \tilde{d}_{t|H_{t-1}} + a(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) \quad (3.3.15)$$

Εναλλακτικά:

$$\tilde{d}_{t+1|H_t} = \sum_{i=1}^{\infty} a(1-a)^i d_{t-i} \quad (3.3.16)$$

Επομένως, η  $\tilde{d}_{t+1|H_t}$  μπορεί να ερμηνευτεί ως ο σταθμισμένος μέσος όρος όλων των προηγούμενων δεδομένων ζήτησης με εκθετικά μειούμενα βάρη. Η πρόβλεψη ζήτησης της για την  $t + \tau$ , όπου  $\tau \geq 2$ , χρονική περίοδο είναι απλά επέκταση της πρόβλεψης μίας περιόδου, όπως δεχθήκαμε και στην προηγούμενη – MA - μέθοδο πρόβλεψης:

$$\tilde{d}_{t+\tau|H_t} = \tilde{d}_{t+1|H_t}$$

Επομένως, η πρόβλεψη στο Lead Time ( $L$ ) θα είναι :

$$\tilde{D}_{t|H_t}^L = \sum_{\tau=1}^L \tilde{d}_{t+\tau|H_t} = L \tilde{d}_{t+1|H_t} = aLd_t + (1-a)\tilde{D}_{t-1|H_{t-1}}^L \quad (3.3.17)$$

Η ως άνω εξίσωση μπορεί να εκφραστεί και ως:

$$\tilde{D}_{t|H_t}^L - \tilde{D}_{t-1|H_{t-1}}^L = aL(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) \quad (3.3.18)$$

Επομένως με την μέθοδο της εκθετικής εξομάλυνσης η μαθηματική έκφραση της ποσότητας παραγγελίας θα διαμορφωθεί ως εξής:

$$\begin{aligned} \tilde{q}_t &= (\tilde{D}_{t|H_t}^L - \tilde{D}_{t-1|H_{t-1}}^L) + d_t \\ &= aL(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) + d_t \end{aligned} \quad (3.3.19)$$

Για να προσδιορίσουμε το  $M^2$  θα πρέπει να υπολογίσουμε την διακύμανση της ποσότητας παραγγελίας:

$$\begin{aligned} V(q_t) &= (aL)^2 V(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) - 2(aL) Cov(d_t, d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) \\ &\quad + V(d_t) \end{aligned} \quad (3.3.20)$$

Όπου:

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \quad Cov(d_t, d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) &= V(d_t) - Cov(d_t, \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) \\ &= V(d_t) - Cov(d_t, \sum_{i=1}^{\infty} a(1-a)^i d_{t-i-1}) \\ &= V(d_t) - a \sum_{i=1}^{\infty} (1-a)^i Cov(d_t, d_{t-i-1}) \\ &= V(d_t) (1 - a \sum_{i=1}^{\infty} (1-a)^i \varphi^{i+1}) \\ &= V(d_t) \left( 1 - \frac{a\varphi}{1 - (1-\alpha)\varphi} \right) \\ &= V(d_t) \left( \frac{1-\varphi}{1 - (1-\alpha)\varphi} \right) \end{aligned} \quad (3.3.21)$$

Και:

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright \quad V(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) &= V(\tilde{D}_{t|H_t}^L) \\
 &= V(L \tilde{d}_{t+1|H_t}) \\
 &= V\left(L \sum_{i=1}^{\infty} a(1-a)^i d_{t-i}\right) \\
 &= (aL)^2 \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (1-a)^{2i} V(d_{t-i}) + 2 \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j>i}^{\infty} (1-a)^i (1-a)^j \text{Cov}(d_{t-i} - d_{t-j}) \right] \\
 &= (aL)^2 \left[ V(d_t) \sum_{i=1}^{\infty} (1-a)^{2i} + 2V(d_t) \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j>i}^{\infty} (1-a)^{i+j} \varphi^{j-i} \right] \\
 &= V(d_t)(aL)^2 \left( \frac{1}{a(2-a)} \right) \left( \frac{1+(1-a)\varphi}{1-(1-a)\varphi} \right) \tag{3.3.22}
 \end{aligned}$$

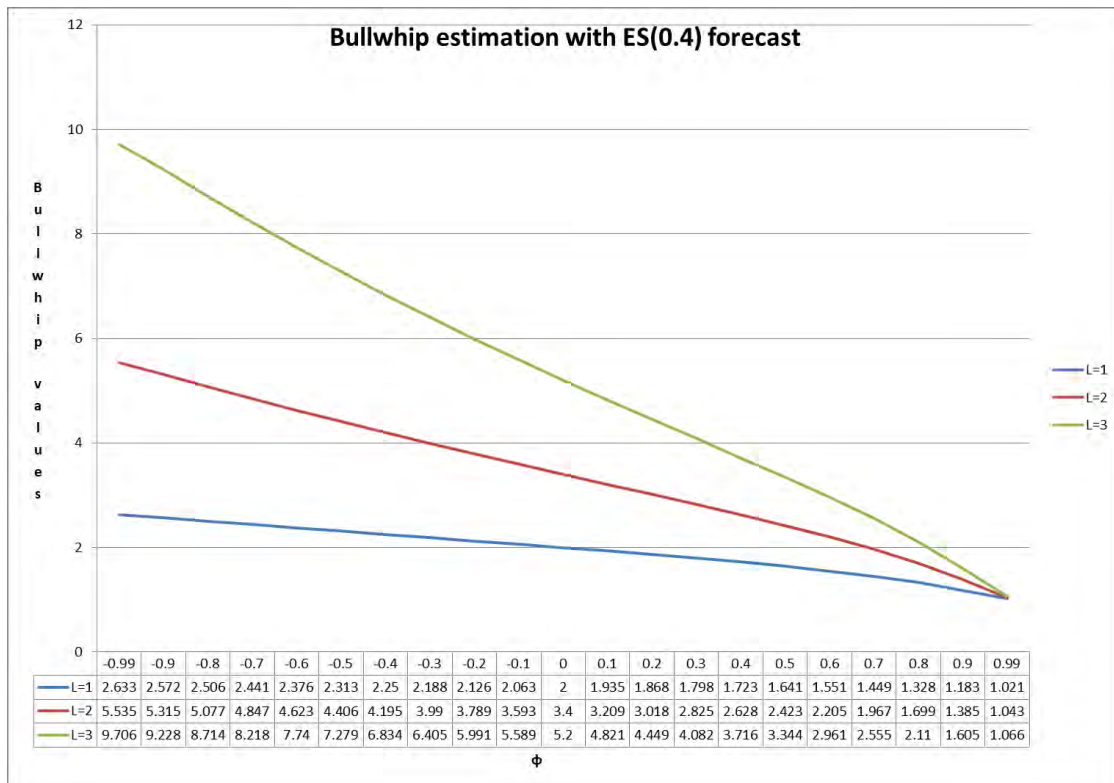
και για  $L=1$  :

$$V(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) = V(d_t) \frac{2(1-\varphi)}{(2-\alpha)[1-(1-\alpha)\varphi]} \tag{3.3.23}$$

Επομένως, κάνοντας τις αντίστοιχες αντικαταστάσεις, ο τελικός τύπος του λόγου bullwhip για την μέτρηση του φαινομένου είναι:

$$\tilde{M}^2 = \mathbf{1} + (aL)^2 \frac{2(1-\varphi)}{(2-\alpha)[1-(1-\alpha)\varphi]} + 2(aL) \left( \frac{1-\varphi}{1-(1-\alpha)\varphi} \right) \tag{3.3.24}$$

Και σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε πως έχουμε εξάρτηση του φαινομένου από το συντελεστή αυτοσυσχέτισης, το Lead Time αλλά και τον παράγοντα της εξομάλυνσης ( $\alpha$ ). Ακολουθεί διάγραμμα με τις τιμές του λόγου bullwhip για διαφορετικές τιμές του  $\phi$ , με  $|\phi| < 1$ ,  $L=1,2,3$  και  $\alpha=0.4$ .



Διάγραμμα 4

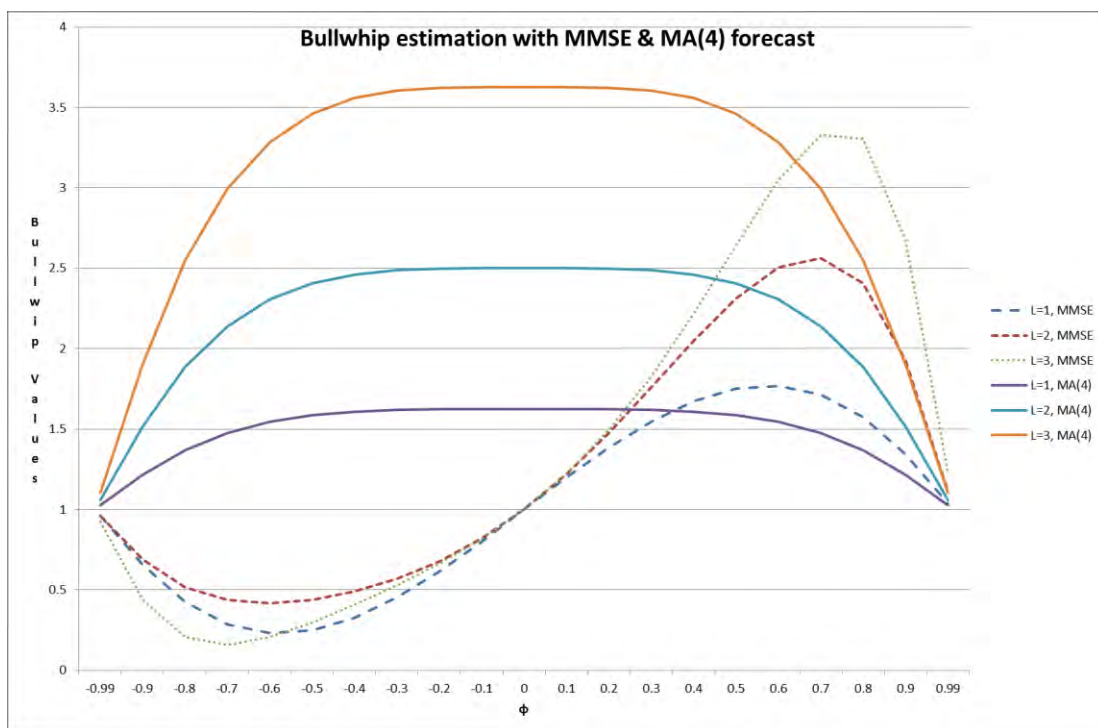
Αναλύοντας το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι:

- Για κάθε τιμή του  $L > 0$  και  $|\phi| < 1$  έχουμε το φαινόμενο bullwhip.
- Για κάθε τιμή του  $\phi$  με  $|\phi| < 1$ , όσο αυξάνεται το Lead Time τόσο αυξάνεται και η ένταση του φαινομένου (καθώς αυξάνεται ο λόγος bullwhip).
- Για κάθε  $L > 0$ , όσο το  $\phi$  αυξάνεται ο λόγος bullwhip μειώνεται και προσεγγίζει τη μονάδα όσο το  $\phi$  τείνει προς στη μονάδα.

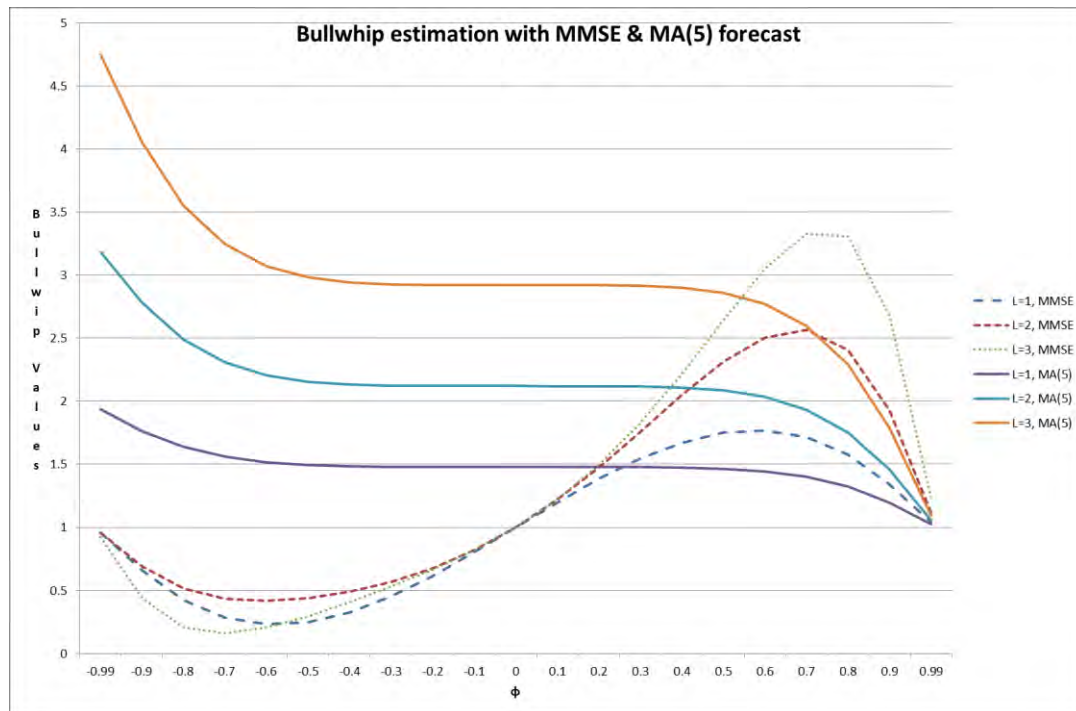
### 3.4 Σύγκριση των εκτιμήσεων bullwhip που προκύπτουν από τις 3 μεθόδους πρόβλεψης

Από τον υπολογισμό του bullwhip με τη χρήση των διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης, μπορούμε να αντιληφθούμε εύκολα ότι δεν μπορούμε να εξάγουμε συμπέρασμα για την βέλτιστη μέθοδο, αυτή δηλαδή που σε κάθε περίπτωση διαφορετικού  $\phi$  και  $L$  μας οδηγεί στην ελάχιστη ένταση του φαινομένου. Κατ' επέκταση στην πορεία παρατίθενται συγκριτικά διαγράμματα μεταξύ των μεθόδων για να προβούμε σε συμπεράσματα για την χρήση τους σε κάθε περίπτωση.

Στα κάτωθι διαγράμματα συγκρίνονται οι τιμές του λόγου bullwhip χρησιμοποιώντας ως μεθόδους πρόβλεψης αυτές του Ελαχίστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος και του Κινητού Μέσου Όρου.



Διάγραμμα 5

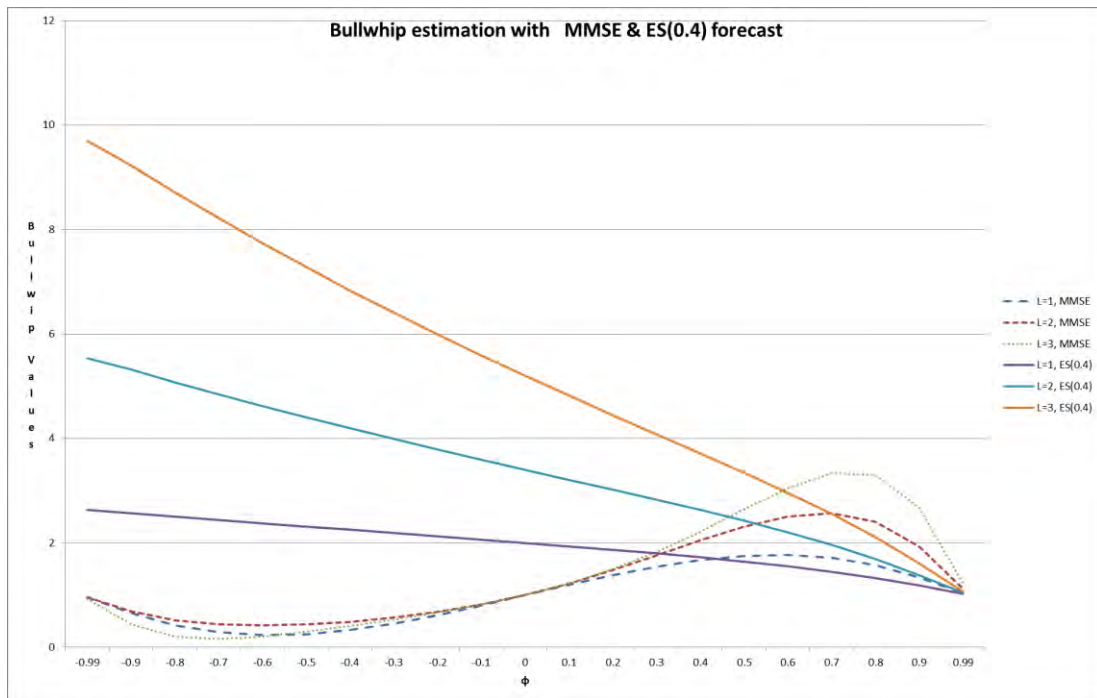


Διάγραμμα 6

Παρατηρούμε πως :

- Με τη χρήση του  $MA(p)$  το φαινόμενο bullwhip εμφανίζεται για κάθε τιμή του  $\phi$  και  $L > 0$  ενώ με την MMSE όταν  $\phi \leq 0$  δεν υπάρχει bullwhip.
- Με τη χρήση του  $MA(p)$  και για τις συγκεκριμένες τιμές των  $p$  και  $L$ , όσο το  $\phi$  πλησιάζει στη μονάδα ο λόγος bullwhip παίρνει ολοένα και μικρότερες τιμές υποδεικνύοντας ότι η συγκεκριμένη μέθοδος πρόβλεψης οδηγεί σε μικρότερη ένταση του φαινομένου.

Συγκρίνοντας στην συνέχεια τις τιμές του λόγου Bullwhip μεταξύ των μεθόδων της Εκθετικής Εξομάλυνσης και του Ελαχίστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος παίρνουμε το ακόλουθο διάγραμμα:

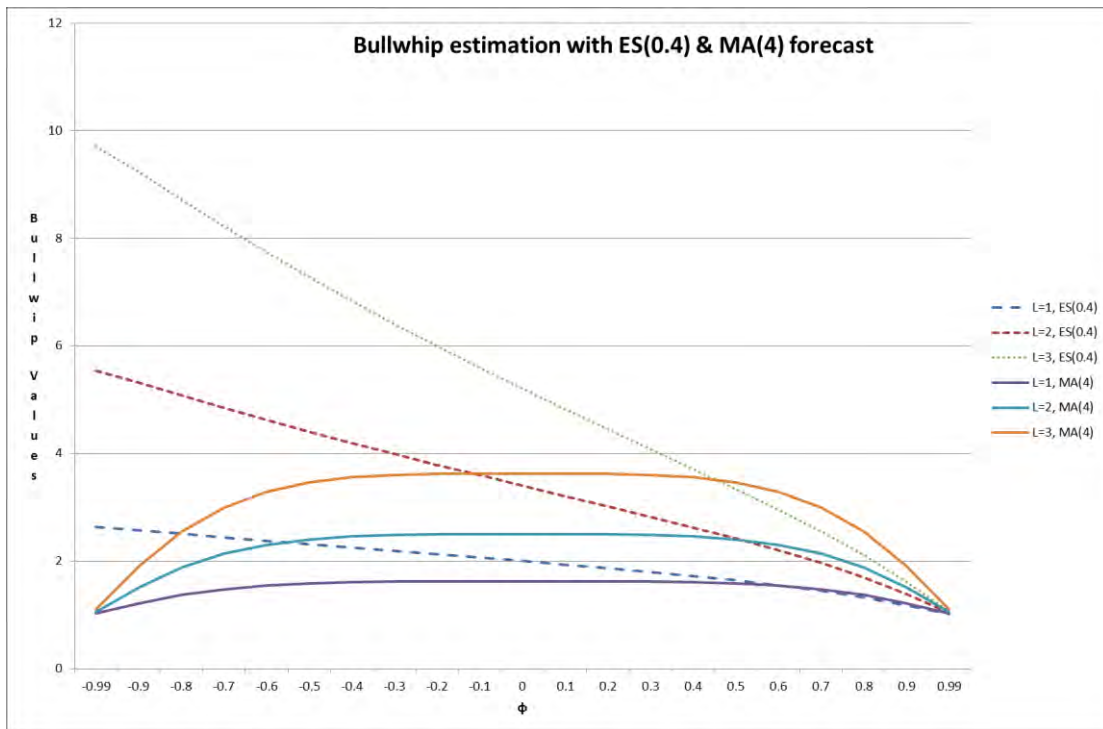


Διάγραμμα 7

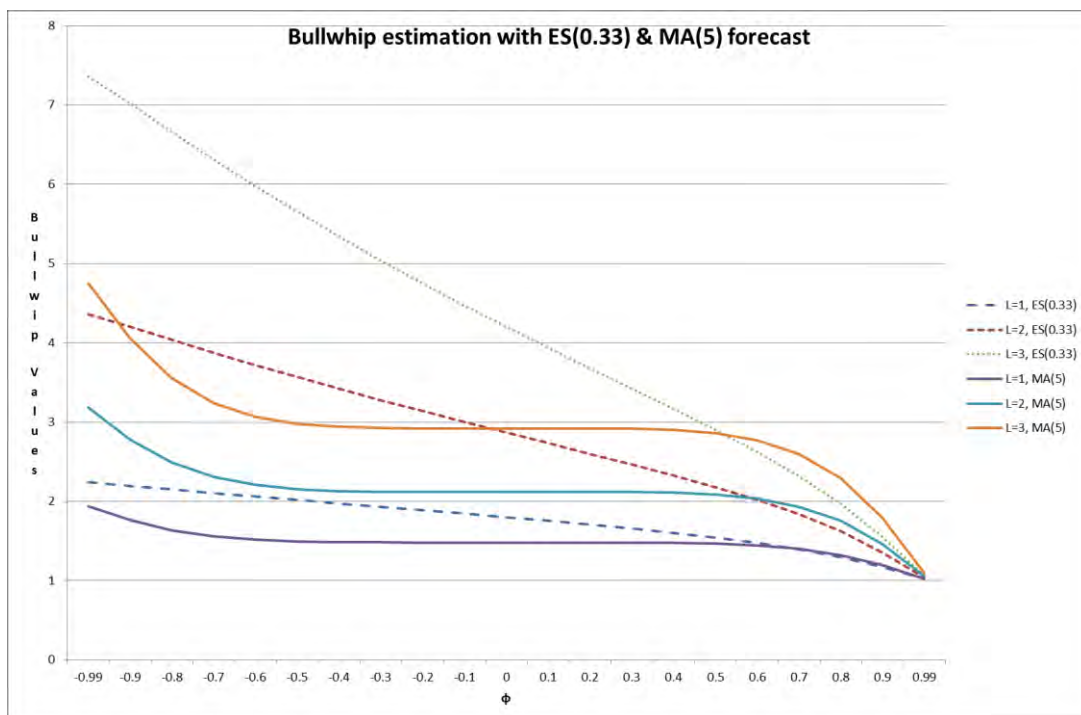
Παρατηρούμε και σε αυτή την περίπτωση πως :

- Με τη χρήση του ES(0.4) το φαινόμενο bullwhip εμφανίζεται για κάθε τιμή του  $\phi$  και  $L > 0$  ενώ με την MMSE όταν  $\phi \leq 0$  δεν υπάρχει bullwhip.
- Για τις συγκεκριμένες τιμές των  $\rho$  και  $L$ , όσο το  $\phi$  πλησιάζει στη μονάδα το bullwhip παίρνει μικρότερες τιμές υποδεικνύοντας ότι η συγκεκριμένη μέθοδος πρόβλεψης όπως και η MA οδηγεί σε μικρότερη διακύμανση στην ποσότητας παραγγελίας.

Στα επόμενα διαγράμματα θα επιχειρήσουμε σύγκριση των μεθόδων MA και ES. Πρέπει να σημειωθεί όμως το γεγονός ότι τα συμπεράσματα αυτά είναι ρευστά καθώς οι συγκεκριμένες τιμές  $\rho$  και  $\alpha$  έχουν επιλεγεί σχετικά αυθαίρετα και ότι μπορεί να υπάρχουν άλλες αντίστοιχες τιμές οι οποίες μεταβάλλουν την κάτωθι εικόνα:



Διάγραμμα 8



Διάγραμμα 9

Συμπερασματικά όλων των ανωτέρω καταλήγουμε στις εξής σημαντικές διαπιστώσεις:



- Όταν έχουμε αρνητικά αυτοσυσχετιζόμενη ζήτηση η βέλτιστη μέθοδος πρόβλεψης για τον προσδιορισμό της ποσότητας παραγγελίας του λιανοπωλητή είναι αυτή του Ελαχίστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος καθώς σε αυτή την περίπτωση δεν εμφανίζεται το φαινόμενο bullwhip.
- Όταν έχουμε θετικά αυτοσυσχετιζόμενη ζήτηση και όσο οι τιμές  $\phi$  πλησιάζουν την μονάδα και οι δυο μέθοδοι οδηγούν σε μείωση της έντασης του φαινομένου αλλά για τιμές του  $\phi$  πολύ κοντά στη μονάδα η βέλτιστη μέθοδος είναι αυτή της Εκθετικής Εξομάλυνσης.

## 4 Εκτίμηση του λόγου Bullwhip με πεπερασμένο δείγμα παρατηρήσεων και εκτίμηση κινδύνου

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι αποδείξεις των τύπων υπολογισμού του φαινομένου του bullwhip βασίζονται στην υπόθεση ότι έχουμε άπειρο αριθμό προηγούμενων παρατηρήσεων και οι παράμετροι του υποδείγματος AR(1) είναι γνωστοί. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια της εκτίμησης του κινδύνου όταν για τη μέθοδο MMSE χρησιμοποιούνται εκτιμήσεις των παραμέτρων του AR(1) ενώ για τις δυο άλλες μεθόδους χρησιμοποιείται πεπερασμένος αριθμός προσομοιωμένων τιμών ζήτησης από το υπόδειγμα AR(1).

Επομένως για να πραγματοποιηθεί αυτή η εκτίμηση κινδύνου θα πρέπει αρχικά να παραχθούν μέσω προσομοιώσεων τα υποθετικά πραγματικά δεδομένα βάσει του AR(1) μοντέλου.

Στη συνέχεια, θα απομονώσουμε συγκεκριμένα δείγματα παρατηρήσεων ( $n$ ) και θα εκτιμήσουμε το λόγο bullwhip με εφαρμογή των τριών μεθόδων πρόβλεψης, όπως αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

### 4.2 Παραγωγή πραγματικών δεδομένων με προσομοίωση σε Excel

Αρχικά, η παραγωγή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από τον μεταπτυχιακό φοιτητή του τμήματος, Παπαδήμα Δημήτρη, κατά την εκπόνηση της διπλωματικής του εργασίας στην οποία εκτίμησε τον κίνδυνο εκτίμησης του λόγου bullwhip με τη χρήση της MMSE μεθόδου πρόβλεψης, με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος excel και τη γεννήτρια τυχαίων αριθμών (Number Generator).

Δεδομένου του μοντέλου  $d_t = \delta + \phi d_{t-1} + \varepsilon_t$  που περιγράφει τη ζήτηση, παρήχθησαν 1000 σειρές δεδομένων 100 παρατηρήσεων η κάθε μία. Χρησιμοποιήθηκε ως υπόθεση και παρήχθησαν τυχαία σφάλματα, ασυσχέτιστα και κανονικά κατανομημένα με  $\varepsilon_t \sim \text{i.i.d } N(0,9)$ . Τέθηκε η παράμετρος  $\delta=10$  και επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικές τιμές για το  $\phi=0.2$ ,  $0.5$  και  $0.8$  που περιγράφουν αντίστοιχα ζήτηση με χαμηλή, μεσαία και υψηλή αυτοσυσχέτιση.

Βάσει των ανωτέρω προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές  $\mu_d$  και  $\gamma_0$ :

Βαθμός αυτοσυσχέτισης	$\phi$	$\delta$	$E(d_t) = \mu_d = \frac{\delta}{1-\phi}$	$\sigma_\varepsilon^2$	$V(d_t) = \gamma_0 = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1-\phi^2}$
Χαμηλός	0.2	10	12.5	9	9.375
Μέτριος	0.5	10	20	9	12
Υψηλός	0.8	10	50	9	25

Πίνακας 1

Προκειμένου να διασφαλιστεί η στασιμότητα στις χρονοσειρές που παρήχθησαν η πρώτη παρατήρηση στο  $t=0$  δημιουργείται ως τυχαία μεταβλητή, κανονικά κατανομημένη με  $d_t \sim N\left(\frac{\delta}{1-\phi}, \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1-\phi^2}\right)$ . Το υπόλοιπο δείγμα των 100 παρατηρήσεων παράγεται με βάση τη σχέση  $d_t = 10 + \phi d_{t-1} + \varepsilon_t$ . Στη συνέχεια παρουσιάζονται αποσπάσματα των παραχθέντων δεδομένων για κάθε τιμή του  $\phi$ .

t	ser01	ser02	ser03	ser04	ser05	ser995	ser996	ser997	ser998	ser999	ser1000
0	17.53828	19.53419	19.29977	12.94704	17.30725	22.11808	19.51841	23.05194	18.16512	17.29217	19.14431
1	16.87021	17.23752	13.86244	16.91656	19.87374	21.95614	19.46694	20.36	13.65765	19.50916	18.90353
2	19.07506	17.57828	17.85451	14.50101	18.83426	24.59106	21.45534	17.11974	17.91182	19.89359	16.63368
3	24.00115	16.51936	23.41744	18.71081	18.41579	15.17244	21.04623	24.37411	20.17453	24.87723	19.92679
4	17.28404	14.71079	18.66885	16.09282	16.21105	20.63338	18.41007	20.26536	21.14287	22.5967	18.83619
5	17.38792	18.47177	17.956	21.16477	10.72727	20.4364	18.84374	15.98991	19.89858	22.32422	17.22728
6	18.61834	19.21649	21.65472	19.14864	15.72978	19.53027	16.20084	15.01845	26.33367	23.63032	16.71499
7	18.732	23.79493	27.03341	17.37661	17.35561	18.26777	15.70109	11.39753	18.26103	17.05145	21.52954
8	16.98056	24.25687	27.42412	16.52853	14.94836	20.27194	19.80617	14.03502	16.01097	19.15558	18.27751
9	15.90559	20.63575	21.8675	16.44211	19.29854	23.77852	23.05195	13.13726	17.39884	18.37635	16.81885
10	15.29312	19.40757	19.97792	18.8057	17.10756	15.87143	18.89035	17.46981	11.2381	23.59229	14.14666
90	18.89821	24.76198	17.7669	22.1588	16.72205	22.85062	27.01374	18.06486	18.91423	18.68889	20.31942
91	21.11339	26.198	24.72953	17.1062	17.62778	20.76186	23.43721	18.98389	19.24063	25.74885	19.38976
92	25.00511	23.84928	22.44521	17.81725	16.46915	18.40397	17.79344	17.80943	17.63679	20.07519	15.76809
93	21.27945	26.05258	23.33918	19.01571	22.85334	18.85363	18.83211	16.88852	18.99395	15.13964	22.49981
94	23.67155	30.53923	23.63402	26.28868	28.85306	16.51053	18.16271	12.22449	19.73648	16.57892	17.231
95	22.77978	23.22369	20.26403	18.46069	23.80066	20.63442	20.66697	17.12717	19.45232	20.63202	15.76045
96	17.934	21.1753	23.20233	18.25857	22.95716	17.8432	18.69724	21.31389	19.60461	19.49733	18.29313
97	15.82132	19.83524	19.47162	17.96282	20.59659	16.20916	18.04224	19.99115	21.34088	19.39662	17.57386
98	13.46087	18.66252	22.19759	16.09626	22.09842	21.32112	13.5653	23.40553	19.50447	16.9748	20.33677
99	14.14042	22.00764	20.4257	17.19773	18.81411	19.68806	18.59984	26.93757	24.67737	20.06774	19.75989
100	14.79921	19.59446	23.03236	15.8632	17.29989	20.82863	19.94949	23.57127	26.02528	16.25521	19.53945

Πίνακας 2: Προσομοιωμένες τιμές ζήτησης  $d_t$  για  $\phi=0.5$   
(Πηγή: Παπαδήμας, 2018)

## 4.2 Υπολογισμός πραγματικού λόγου Bullwhip

Πριν προχωρήσουμε με τις εκτιμηθείσες τιμές του λόγου bullwhip θα υπολογίσουμε τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές του δεδομένων των παραμέτρων που τέθηκαν στο μοντέλο AR(1) και βάσει του ακόλουθου τύπου, όπως αναλύσαμε στο κεφάλαιο 3:

$$\hat{M}^2 = 1 + \frac{2\varphi(1 - \varphi^L)(1 - \varphi^{L+1})}{(1 - \varphi)}$$

Εφόσον το πραγματικό μοντέλο υποθέτουμε πως είναι το AR(1), θεωρώντας ότι το δείγμα είναι άπειρο (δηλαδή όλες οι παράμετροι είναι γνωστές) η μέθοδος MMSE είναι αυτή που δίνει την πραγματική τιμή του λόγου Bullwhip. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για τις τρεις διαφορετικές τιμές  $\varphi = 0.2, 0.5, 0.8$  και για τρεις διαφορετικούς χρόνους παράδοσης  $L=1, 2, 3$ , που όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο επηρεάζουν την ένταση του φαινομένου, και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν θα πραγματοποιηθούν εκτιμήσεις με αρνητικά αυτοσυσχετιζόμενη ζήτηση καθώς, όπως αποδείχθηκε, σε αυτή την περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί μόνο η μέθοδος MMSE εφόσον είναι η μοναδική μέθοδος με την χρήση της οποίας δεν εμφανίζεται το φαινόμενο.

Real Bullwhip

	L=1	L=2	L=3
$\varphi$			
0.2	1.384	1.47616	1.495206
0.5	1.75	2.3125	2.640625
0.8	1.576	2.40544	3.304922

Πίνακας 3: Τιμές bullwhip από τον τύπο  $\hat{M}^2$

### 4.3 Εκτίμηση λόγου Bullwhip με πρόβλεψη MMSE

Με τη μέθοδο Μεγίστης Πιθανοφάνειας εκτιμήθηκαν οι παράμετροι του μοντέλου ζήτησης  $\hat{\delta}$ ,  $\widehat{\sigma_\varepsilon^2}$ ,  $\hat{\phi}$  κι επομένως  $\hat{\mu}_d = \frac{\hat{\delta}}{1-\hat{\phi}}$  σε πεπερασμένο αριθμό παρατηρήσεων (n=25, n=50 και n=100) για κάθε μια από τις 1000 σειρές που παρήχθησαν, προκειμένου να εξετάσουμε το πώς μεταβάλλονται οι εκτιμήσεις του φαινομένου που εξετάζουμε.

sample size = 25				sample size = 50				sample size = 100			
Replication	$\mu$	$\phi$	σε-sq	Replication	$\mu$	$\phi$	σε-sq	Replication	$\mu$	$\phi$	σε-sq
1	11.74779	-0.19428	6.965606	1	12.1766	0.068393	8.240987	1	12.50618	0.142772	8.134866
2	11.80525	0.214269	6.250137	2	12.76861	0.399291	6.148529	2	13.07911	0.409884	7.028189
3	12.98045	0.00774	10.14532	3	13.18139	0.002204	10.72821	3	12.81708	-0.03609	9.228565
4	12.02307	-0.02525	6.851365	4	11.80389	0.017108	10.59572	4	11.86907	-0.01147	9.763754
5	11.63641	0.398042	8.993659	5	12.13344	0.388566	6.626859	5	12.32663	0.201356	8.478835
6	12.70347	0.247918	6.123456	6	12.80166	0.285564	8.626348	6	13.45931	0.286784	9.222782
7	12.13699	0.181605	6.217094	7	12.55626	0.126486	8.208019	7	12.27265	0.217769	9.516709
8	12.32914	0.018349	6.007064	8	12.2191	0.116448	6.133409	8	12.15764	0.222792	7.789802
9	13.72723	-0.02464	9.59867	9	13.26995	-0.00633	8.520348	9	12.5478	-0.08222	9.84289
10	10.96492	0.296081	7.149418	10	11.94153	0.151915	11.04676	10	12.50889	0.203782	8.747875
11	12.09901	0.173602	4.676184	11	12.22112	0.062781	6.927421	11	12.24311	0.196854	9.403279
12	13.00491	0.038071	5.194009	12	12.25098	0.093362	7.638961	12	12.4488	0.251465	7.318152
13	11.92848	0.364689	9.205988	13	12.03715	0.308581	9.468327	13	12.77426	0.17652	11.77344
991	11.77694	0.122969	13.1094	991	12.13753	0.102683	11.17199	991	12.61551	0.174562	10.36947
992	12.16211	0.041401	6.418363	992	11.66128	0.175086	5.492962	992	11.932	0.155514	8.471595
993	12.90278	0.238409	9.231037	993	13.15659	0.247983	11.44368	993	12.6821	0.154117	9.152129
994	12.59548	0.292246	10.66597	994	12.81121	0.251577	8.342028	994	12.35493	0.339284	7.863759
995	13.09597	-0.05449	11.5418	995	12.97045	-0.16096	10.17323	995	12.3296	0.005892	10.2205
996	11.93409	0.274406	6.055032	996	12.36187	0.264629	8.19408	996	11.85965	0.234104	9.511269
997	11.72844	0.163011	9.927057	997	11.82643	0.231419	8.61993	997	11.99749	0.226508	10.23164
998	11.95094	0.139314	11.22121	998	13.04041	0.22989	10.34086	998	12.69497	0.354747	9.049651
999	12.29743	0.15019	6.196181	999	12.67971	0.188253	5.565459	999	12.08734	0.395426	6.38747
1000	10.71067	0.249175	8.935964	1000	11.323	0.197917	7.99081	1000	11.55625	0.101692	7.103202

Πίνακας 4: Ένδειξη εκτίμησης παραμέτρων για  $\phi=0.2$   
(Πηγή: Παπαδήμας, 2018)

Στην συνέχεια εκτιμώνται οι τιμές του φαινομένου βάσει των νέων παραμέτρων και του τύπου  $\hat{M}^2$  επίσης για κάθε σειρά δεδομένων και τέλος λαμβάνεται ο μέσος όρος των τιμών. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις τιμές του  $\phi$ , για L=1,2,3 και n=25,50 και 100 όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα.

Πίνακας 5: Απόσπασμα εκτίμησης bullwhip για  $\phi=0.2, 0.5, 0.8$ ,  $L=1, 2, 3$  και  $n=25, 50, 100$ .

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας καθώς και η εκτίμηση κινδύνου παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες:

$\phi=0.2$

n=25	L	BW	realBW	risk
	1	1.23	1.38	-11.41%
	2	1.36	1.48	-8.16%
	3	1.41	1.50	-6.03%

n=50	L	BW	realBW	risk
	1	1.31	1.38	-5.08%
	2	1.43	1.48	-3.21%
	3	1.47	1.50	-1.74%

n=100	L	BW	realBW	risk
	1	1.34	1.38	-2.90%
	2	1.44	1.48	-2.26%
	3	1.47	1.50	-1.66%

Πίνακας 6: Εκτίμηση bullwhip για  $\phi=0.2$

$\phi=0.5$

n=25	L	BW	realBW	risk
	1	1.58	1.75	-9.67%
2	1.99	2.31	-14.10%	
3	2.24	2.64	-15.19%	

n=50	L	BW	realBW	risk
	1	1.68	1.75	-4.26%
2	2.16	2.31	-6.76%	
3	2.45	2.64	-7.28%	

n=100	L	BW	realBW	risk
	1	1.71	1.75	-2.11%
2	2.23	2.31	-3.63%	
3	2.53	2.64	-4.07%	

Πίνακας 7: Εκτίμηση bullwhip για  $\phi=0.5$

$\phi=0.8$

n=25	L	BW	realBW	risk
	1	1.64	1.58	4.13%
2	2.34	2.41	-2.88%	
3	2.96	3.30	-10.37%	

n=50	L	BW	realBW	risk
	1	1.63	1.58	3.59%
2	2.42	2.41	0.49%	
3	3.18	3.30	-3.75%	

n=100	L	BW	realBW	risk
	1	1.61	1.58	2.28%
2	2.43	2.41	0.87%	
3	3.26	3.30	-1.42%	

Πίνακας 8: Εκτίμηση bullwhip για  $\phi=0.8$

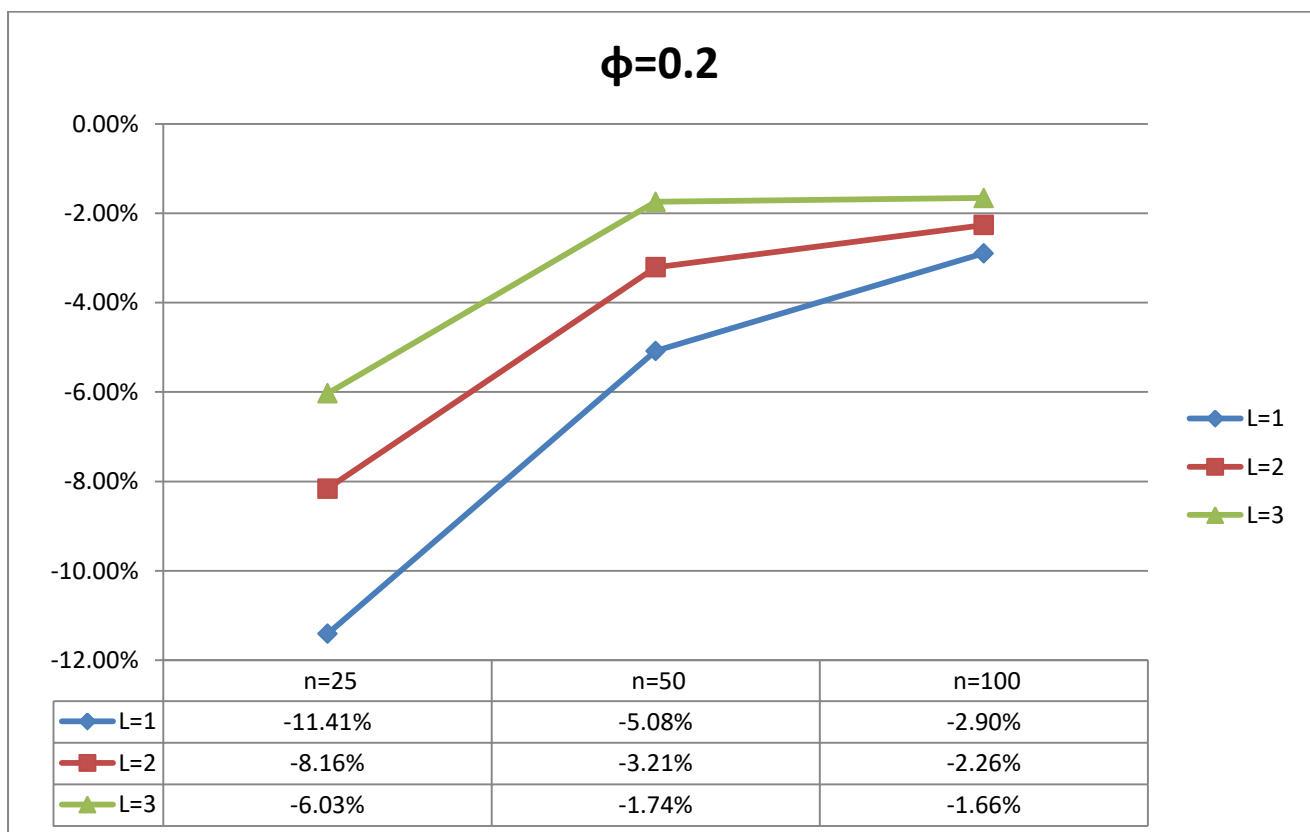
#### 4.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων εκτίμησης λόγου BW με MMSE forecast και Risk Estimation

Από την ανάλυση των πινάκων μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σε περιπτώσεις ζήτησης με χαμηλή αυτοσυσχέτιση ο χρόνος παράδοσης δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ένταση του φαινομένου.
- Όσο αυξάνει ο βαθμός αυτοσυσχέτισης, ο χρόνος παράδοσης λειτουργεί ενισχυτικά στις εκτιμήσεις του φαινομένου.
- Από μια άλλη οπτική, παρατηρούμε πως όσο αυξάνει ο βαθμός αυτοσυσχέτισης αυξάνει η ένταση του φαινομένου για κάθε περίπτωση L.

Μια ακόμη σημαντική παρατήρηση είναι το γεγονός ότι όσο αυξάνει το δείγμα των παρατηρήσεων από 25 σε 100 η απόκλιση μεταξύ των πραγματικών και εκτιμηθέντων τιμών μειώνεται. Από τα διαγράμματα που ακολουθούν μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα, σχετικά με την εκτίμηση κινδύνου (risk estimation), δηλαδή το τι συμβαίνει από τη στιγμή που φεύγουμε από την υπόθεση του απείρου αριθμού παρατηρήσεων και πάμε σε πεπερασμένο δείγμα. Οι τιμές που παρουσιάζονται προκύπτουν από τη σχέση που δίνει την ποσοστιαία διαφορά ανάμεσα στις πραγματικές και τιμές και τις εκτιμήσεις μας:

$$\frac{E(\hat{M}^2) - M^2}{M^2}$$

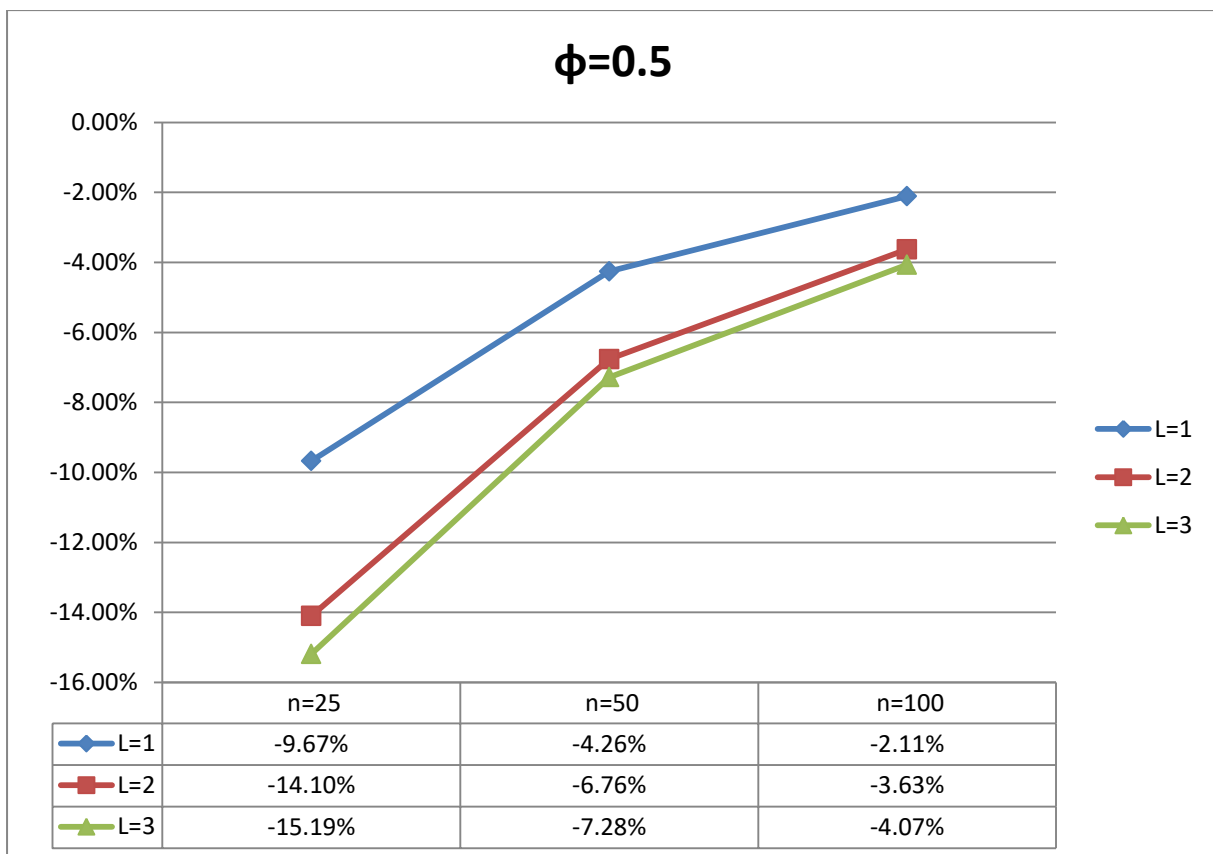


Διάγραμμα 10: Risk estimation για  $\phi=0.2$  και  $L=1,2,3$



Όταν έχουμε ζήτηση με χαμηλή αυτοσυσχέτιση, παρατηρούμε πως:

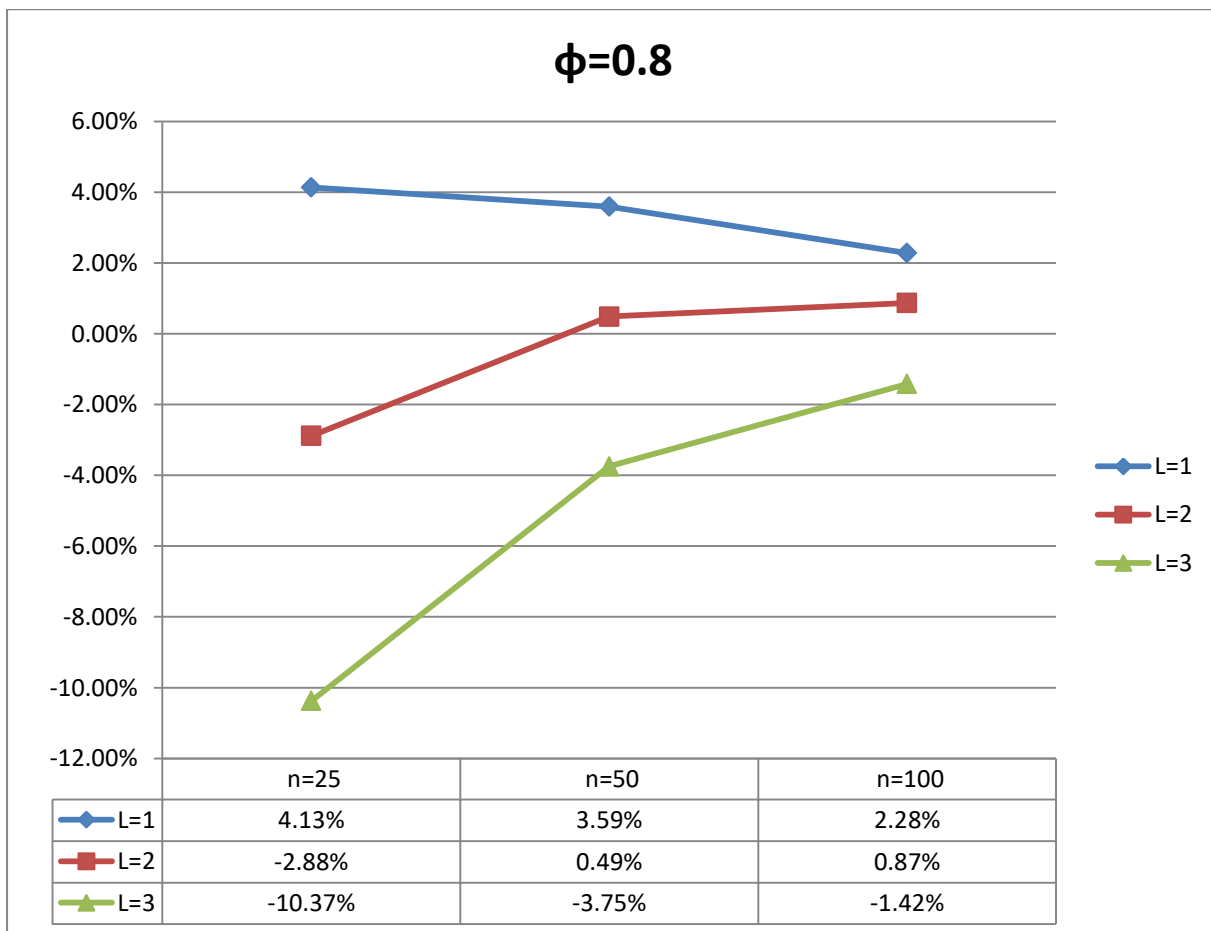
- Για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα  $L$  ο λόγος bullwhip υποεκτιμάται, δηλαδή σε κάθε περίπτωση η εκτιμηθείσα ένταση του φαινομένου λαμβάνεται χαμηλότερη από την αντίστοιχη πραγματική.
- Όσο αυξάνει το μέγεθος του δείγματος το estimation risk μειώνεται.
- Σε αντίθεση με αυτά που παρατηρήθηκαν στο κεφάλαιο 3 σχετικά με την αύξηση του λόγου bullwhip όσο αυξάνει ο χρόνος παράδοσης, στην περίπτωση των εκτιμήσεων το estimation risk εμφανίζεται μικρότερο όσο αυξάνονται οι χρόνοι παράδοσης.



Διάγραμμα 11: Risk estimation για  $\phi=0.5$  και  $L=1,2,3$

Όταν έχουμε ζήτηση με μεσαία αυτοσυσχέτιση, παρατηρούμε πως:

- Για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα L ο λόγος bullwhip επίσης υποεκτιμάται, δηλαδή σε κάθε περίπτωση η εκτιμηθείσα ένταση του φαινομένου λαμβάνεται χαμηλότερη από την αντίστοιχη πραγματική.
- Όσο αυξάνει το μέγεθος του δείγματος το estimation risk μειώνεται.
- Σε αυτή την περίπτωση και σύμφωνα με όσα παρατηρήθηκαν στο κεφάλαιο 3, σχετικά με την αύξηση του λόγου bullwhip όσο αυξάνει ο χρόνος παράδοσης, το estimation risk εμφανίζεται μεγαλύτερο όσο αυξάνονται οι χρόνοι παράδοσης.



Διάγραμμα 12: Risk estimation για  $\phi=0.8$  και L=1,2,3

Όταν έχουμε ζήτηση με υψηλή αυτοσυσχέτιση, παρατηρούμε πως:

- Η ένταση του φαινομένου υπερεκτιμάται για L=1 και υποεκτιμάται για L=3.
- Όσο αυξάνει το μέγεθος του δείγματος το estimation risk μειώνεται.

- Όσο αυξάνει ο χρόνος παράδοσης διαπιστώνεται ότι το estimation risk γίνεται όλο και μεγαλύτερο.

Συμπερασματικά όλων των ανωτέρω είναι σημαντικό να σημειώσουμε την τάση του λόγου του φαινομένου να αυξάνει όσο αυξάνει η αυτοσυσχέτιση στη ζήτηση. Σχετικά με τις εκτιμήσεις μας είναι σημαντικό το γεγονός ότι ο λόγος του bullwhip σε γενικές γραμμές υποεκτιμάται αλλά όσο αυξάνουμε το μέγεθος του δείγματος πλησιάζουμε στις πραγματικές τιμές του λόγου bullwhip. Αναφορικά στην μεροληψία του δείγματος έχει υπολογιστεί αναλυτικότερα από τον Δ. Παπαδήμα (2018) και έχει κριθεί άκρως ικανοποιητική. Τέλος είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες οι μεταβολές στις αποκλίσεις καθώς μεταβάλλεται το L.

Σε γενικές γραμμές τα ως άνω αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνται από τα συμπεράσματα του Zhang (2004), σύμφωνα με τα οποία για περιπτώσεις ζήτησης με αυτοσυσχέτιση μεγαλύτερη του 0,5 μειώνοντας το χρόνο παράδοσης ελέγχουμε καλύτερα την ένταση του φαινομένου.

#### 4.4 Εκτίμηση λόγου Bullwhip με πρόβλεψη MA

Σε αυτό το σημείο υποθέτουμε πως ο practitioner δεν έχει στη διάθεσή του τα εργαλεία και τη γνώση να υλοποιήσει προβλέψεις υπολογίζοντας τις νέες παραμέτρους του μοντέλου της ζήτησης και προχωράει στην εκτίμηση του λόγου bullwhip με την MA μέθοδο. Σε αυτή τη βάση θα χρησιμοποιηθούν τα προσομοιωμένα δεδομένα και θα πραγματοποιηθούν εκτιμήσεις για  $\phi=0.2$ ,  $0.5$  και  $0.8$  όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Ο χρόνος παράδοσης θα πάρει τιμές από 1 έως 3. Οι εκτιμήσεις θα πραγματοποιηθούν σε τρία διαφορετικά μεγέθη δείγματος  $n=25, 50$  και  $100$  και θα χρησιμοποιηθούν τέσσερα διαφορετικά  $p$  σε κάθε περίπτωση.

Για τις εκτιμήσεις του λόγου bullwhip χρησιμοποιήθηκε ο τύπος  $M^2 = \frac{V(q_t)}{V(d_t)}$ , με την ποσότητα παραγγελίας να υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$q_t = \left(1 + \frac{L}{p}\right) d_t - \frac{L}{p} d_{t-p} \quad (2.4.12)$$

Εξαιτίας του όγκου των υπολογιστικών φύλλων δεν δύναται να παρουσιαστούν όλα και παρατίθεται απόσπασμα ενός εξ' αυτών.

t	ser01	ser02	ser03	ser04	ser05	ser06	ser07	ser08	ser09	ser10	ser11	ser12	ser13
1	16.87021	17.23752	13.86244	16.91656	19.87374	20.22354	22.67427	22.33694	23.66551	17.05477	20.85597	17.32187	12.29879
2	19.07506	17.57828	17.85451	14.50101	18.83426	22.64495	20.86972	17.46227	20.88272	15.59745	18.40603	18.40001	15.53876
3	24.00115	16.51936	23.41744	18.71081	18.41579	19.291	15.31008	16.29146	14.11117	16.58384	20.17842	23.59135	15.74137
4	17.28404	14.71079	18.66885	16.09282	16.21105	24.19132	16.54973	18.55214	21.89867	15.82178	19.61064	19.94557	13.03854
5	17.38792	18.47177	17.956	21.16477	10.72727	22.46875	19.8289	27.0946	18.036	13.94869	20.64021	22.71402	16.10984
6	18.61834	19.21649	21.65472	19.14864	15.72978	24.30624	22.69812	21.11784	21.77565	11.71945	21.31756	20.46615	16.09589
7	18.732	23.79493	27.03341	17.37661	17.35561	23.44211	24.6158	23.9913	22.26166	14.71032	23.05842	20.00646	20.79615
8	16.98056	24.25687	27.42412	16.52853	14.94836	22.27883	21.41848	21.78261	22.80074	20.01042	21.96343	17.02485	19.48922
9	15.90559	20.63575	21.8675	16.44211	19.29854	17.81308	21.38822	22.59023	24.40137	20.16513	17.16161	19.23409	20.75565
10	15.29312	19.40757	19.97792	18.8057	17.10756	21.46241	21.69107	22.00261	24.40952	18.89429	22.42948	15.5278	19.40943
11	20.69641	19.80559	18.03305	17.79873	17.17178	20.34863	15.76464	16.20822	27.26842	11.63539	21.25777	20.9784	18.11672
12	16.8941	19.3991	23.83361	20.6356	14.66988	20.15538	16.5671	16.56108	25.31135	18.071	20.02364	19.78571	22.9455
13	22.06146	17.98228	24.93527	17.0984	13.71102	21.63252	19.2776	20.06667	22.1706	21.78337	16.16053	19.84845	21.62095
14	21.895	18.66796	20.21554	17.4733	13.09907	20.97434	20.01952	19.54965	25.88746	17.885	13.94166	21.98378	20.6756
15	19.06341	14.50351	23.62863	21.03341	17.27805	17.71267	16.25885	19.52151	28.14416	16.73728	14.94109	25.55296	19.61543
16	17.45031	22.55961	24.85763	17.38926	20.13197	16.9473	20.44468	20.15674	25.55724	14.82943	14.82038	24.95861	20.54356
17	18.69727	21.76954	20.86874	23.2608	26.56065	12.5506	21.98142	20.58485	23.32355	16.41993	19.10319	22.01003	20.9977
18	21.22434	16.57165	20.97487	20.09392	24.03558	14.34994	16.25353	20.81078	17.90483	17.89302	19.44658	22.75892	23.32873
19	22.95535	18.20675	18.43455	21.89152	20.7882	20.11713	16.85989	20.23858	21.79162	22.23701	21.93212	22.97353	20.84212
20	16.63711	16.25193	18.79928	18.86348	27.07539	22.92482	14.49611	19.18806	20.26079	23.46356	19.46558	18.3935	26.26102
21	15.09548	13.37999	16.70648	17.74493	25.07601	19.90207	17.60611	19.15122	24.06044	21.4116	18.45184	19.22486	26.61688
22	17.91065	16.61781	22.11068	16.4155	22.8568	21.41031	18.07643	19.41477	16.64944	17.37394	20.7389	19.44906	20.61391
23	19.17573	19.69243	15.75734	17.16897	18.64756	23.43317	21.69449	16.12408	20.19123	19.77511	16.46899	18.26629	15.16332
24	15.09064	22.05956	21.26378	22.08714	20.17944	22.24543	20.24504	18.79127	21.62007	20.69409	18.2851	20.1386	13.27819
25	23.08984	21.5542	19.169	27.39952	16.73909	17.66816	20.68123	16.89086	17.2846	18.55324	20.17475	24.39601	20.74058
1 L													
10 p													
qt	23.49249	22.25927	18.72304	28.03613	16.68519	17.66371	21.12347	16.62779	16.19865	18.73483	20.69812	24.28031	20.8531
Var(qt)	14.65915												
Var(dt)	11.99119												
BW	1.222493												

Πίνακας 9: Απόσπασμα από φύλλο υπολογισμού  $\bar{M}^2$  για  $\phi=0.5$ ,  $n=25$ ,  $L=1$  και  $p=10$

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους πίνακες που ακολουθούν:

$\phi=0.2$									
n=25			n=50			n=100			
realBW = 1.384			realBW = 1.384			realBW = 1.384			
L=1	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.22	-11.61%	15	1.14	-17.55%	25	1.08	-21.85%
	15	1.15	-17.11%	25	1.09	-21.49%	50	1.04	-24.68%
	20	1.10	-20.31%	35	1.06	-23.51%	75	1.03	-25.78%
	24	1.08	-21.70%	49	1.04	-24.71%	99	1.02	-26.34%
n=25			n=50			n=100			
real BW=1.47616			real BW=1.47616			real BW=1.47616			
L=2	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.49	0.78%	15	1.30	-11.93%	25	1.17	-20.79%

	15	1.31	-11.09%	25	1.18	-20.10%	50	1.09	-26.39%
	20	1.22	-17.66%	35	1.12	-24.09%	75	1.05	-28.53%
	24	1.17	-20.43%	49	1.09	-26.44%	99	1.04	-29.59%
	n=25			n=50			n=100		
	real BW=1.495206			real BW=1.495206			real BW=1.495206		
<b>L=3</b>	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.79	19.91%	15	1.48	-1.25%	25	1.26	-15.51%
	15	1.50	0.05%	25	1.28	-14.46%	50	1.13	-24.27%
	20	1.34	-10.52%	35	1.19	-20.71%	75	1.08	-27.53%
	24	1.27	-14.87%	49	1.13	-24.34%	99	1.06	-29.13%

Πίνακας 10: Εκτίμηση  $\bar{M}^2$  για  $\phi=0.2$

$\phi=0.5$									
	n=25			n=50			n=100		
	realBW=1.75			realBW=1.75			realBW=1.75		
<b>L=1</b>	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.22	-30.14%	15	1.14	-34.75%	25	1.08	-38.14%
	15	1.14	-34.63%	25	1.09	-37.78%	50	1.04	-40.44%
	20	1.10	-37.04%	35	1.06	-39.50%	75	1.03	-41.30%
	24	1.08	-38.08%	49	1.04	-40.48%	99	1.02	-41.74%
	n=25			n=50			n=100		
	real BW=2.3125			real BW=2.3125			real BW=2.3125		
<b>L=2</b>	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.49	-35.76%	15	1.30	-43.72%	25	1.17	-49.34%
	15	1.31	-43.53%	25	1.18	-48.79%	50	1.09	-53.03%
	20	1.21	-47.54%	35	1.12	-51.54%	75	1.06	-54.37%
	24	1.17	-49.22%	49	1.08	-53.09%	99	1.04	-55.05%
	n=25			n=50			n=100		
	real BW=2.640625			real BW=2.640625			real BW=2.640625		
<b>L=3</b>	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.79	-32.23%	15	1.48	-44.00%	25	1.27	-52.03%
	15	1.49	-43.76%	25	1.29	-51.29%	50	1.13	-57.13%
	20	1.33	-49.48%	35	1.19	-55.10%	75	1.08	-58.95%
	24	1.27	-51.83%	49	1.13	-57.21%	99	1.06	-59.86%

Πίνακας 11: Εκτίμηση  $\bar{M}^2$  για  $\phi=0.5$

$\phi=0.8$									
n=25			n=50			n=100			
realBW=1.576			realBW=1.576			realBW=1.576			
<b>L=1</b>	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.19	-24.43%	15	1.14	-27.58%	25	1.08	-31.21%
	15	1.13	-28.21%	25	1.09	-30.80%	50	1.04	-33.90%
	20	1.10	-30.32%	35	1.06	-32.70%	75	1.03	-34.79%
	24	1.08	-31.36%	49	1.04	-33.93%	99	1.02	-35.28%
n=25			n=50			n=100			
real BW=2.40544			real BW=2.40544			real BW=2.40544			
<b>L=2</b>	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.42	-41.12%	15	1.30	-45.93%	25	1.17	-51.17%
	15	1.28	-46.83%	25	1.19	-50.59%	50	1.09	-54.89%
	20	1.21	-49.88%	35	1.12	-53.24%	75	1.06	-56.09%
	24	1.17	-51.37%	49	1.08	-54.93%	99	1.04	-56.75%
n=25			n=50			n=100			
real BW=3.304922			real BW=3.304922			real BW=3.304922			
<b>L=3</b>	p	BW	risk	p	BW	risk	p	BW	risk
	10	1.68	-49.29%	15	1.48	-55.29%	25	1.27	-61.52%
	15	1.44	-56.36%	25	1.29	-60.87%	50	1.13	-65.80%
	20	1.32	-60.00%	35	1.19	-63.93%	75	1.09	-67.15%
	24	1.26	-61.74%	49	1.13	-65.85%	99	1.06	-67.90%

Πίνακας 12: Εκτίμηση  $\bar{M}^2$  για  $\phi=0.8$

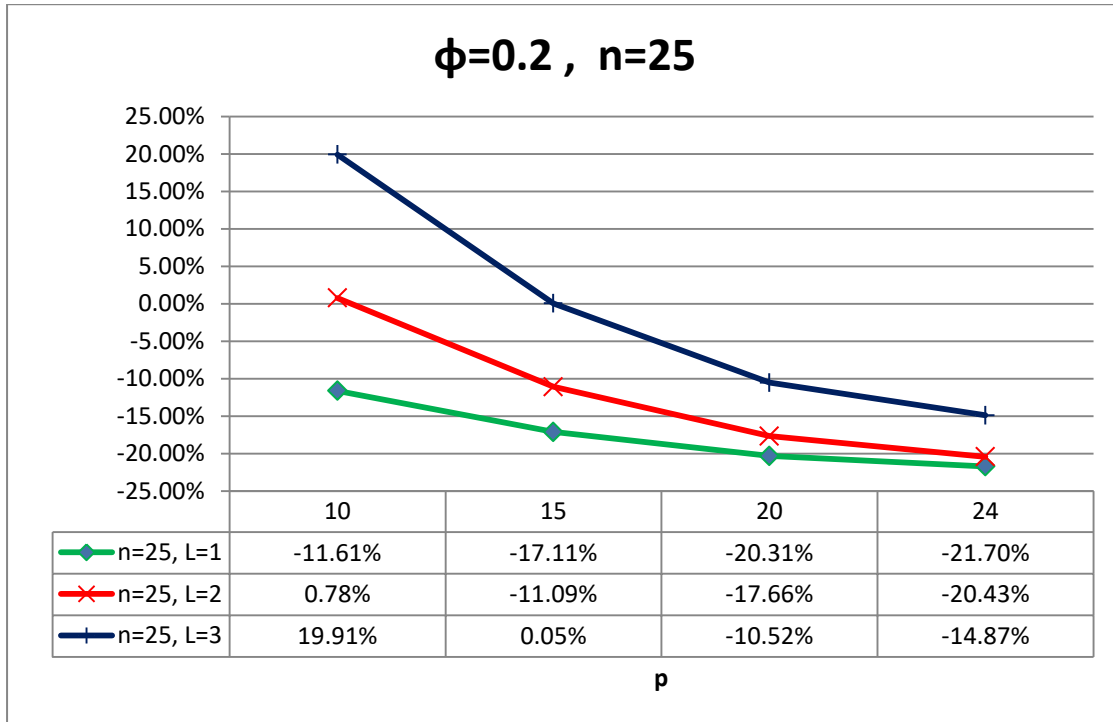
#### 4.4.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων εκτίμησης λόγου BW με MA forecast και Risk Estimation

Από την ανάλυση των πινάκων μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

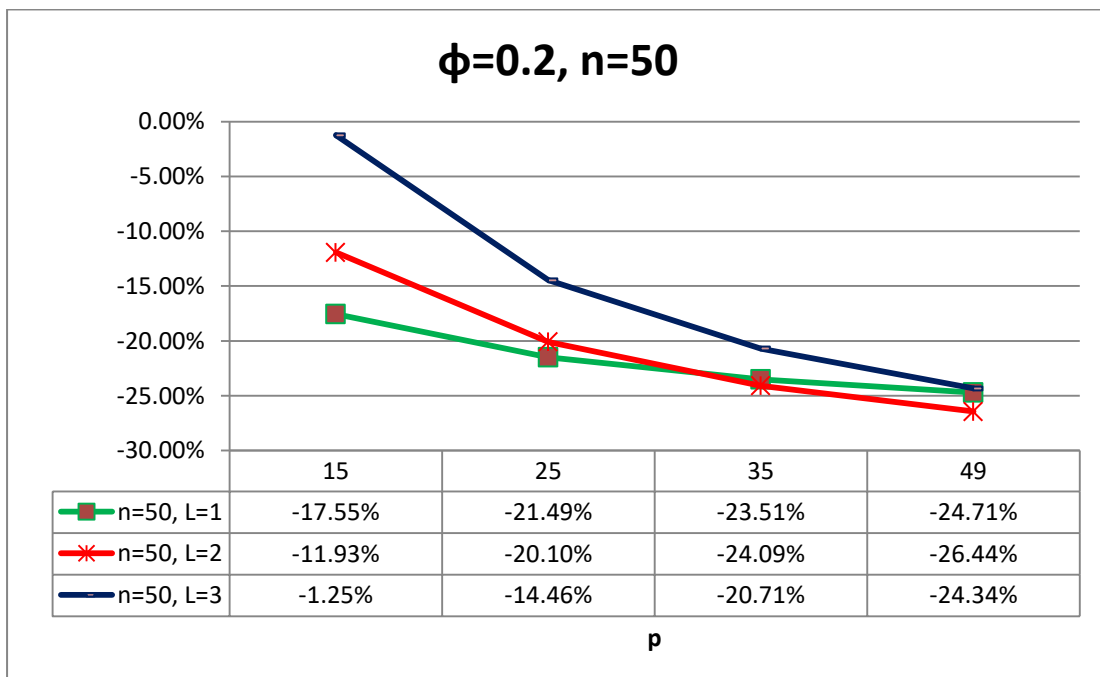
- Δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση των εκτιμήσεων του λόγου του φαινομένου καθώς η αυτοσυσχέτιση μεταβάλλεται από 0.2 ως 0.8
- Όσο αυξάνει το  $\rho$  που χρησιμοποιούμε οι εκτιμήσεις του λόγου bullwhip παίρνουν χαμηλότερες τιμές και υποεκτιμούν το πραγματικό bullwhip
- Όσο αυξάνουμε το μέγεθος του δείγματος το risk estimation αυξάνεται.

Η παρατήρηση του ότι όσο αυξάνει το μέγεθος του δείγματος από 25 σε 100 απομακρυνόμαστε από τις πραγματικές τιμές του φαινομένου είναι αρκετά σημαντική για να κρίνουμε την αξιοπιστία της

μεθόδου. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται τα κάτωθι διαγράμματα που προκύπτουν από το risk estimation της συγκεκριμένης μεθόδου.

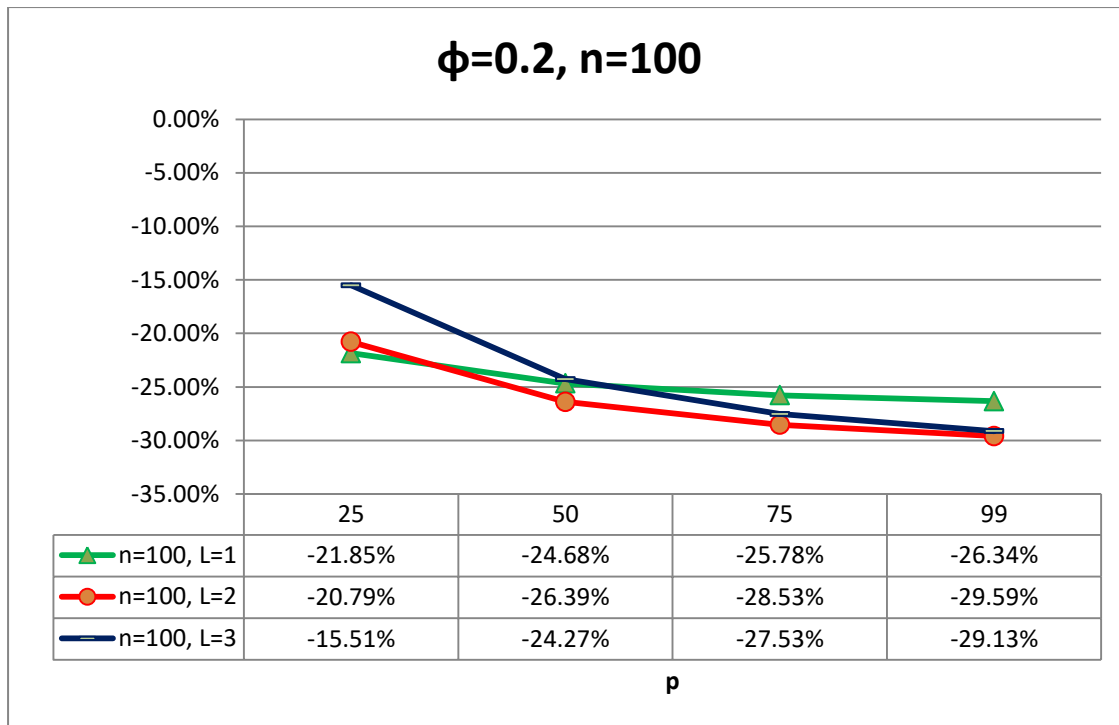


Διάγραμμα 13: Risk Estimation για φ=0.2, n=25



Διάγραμμα 14: Risk Estimation για φ=0.2, n=50

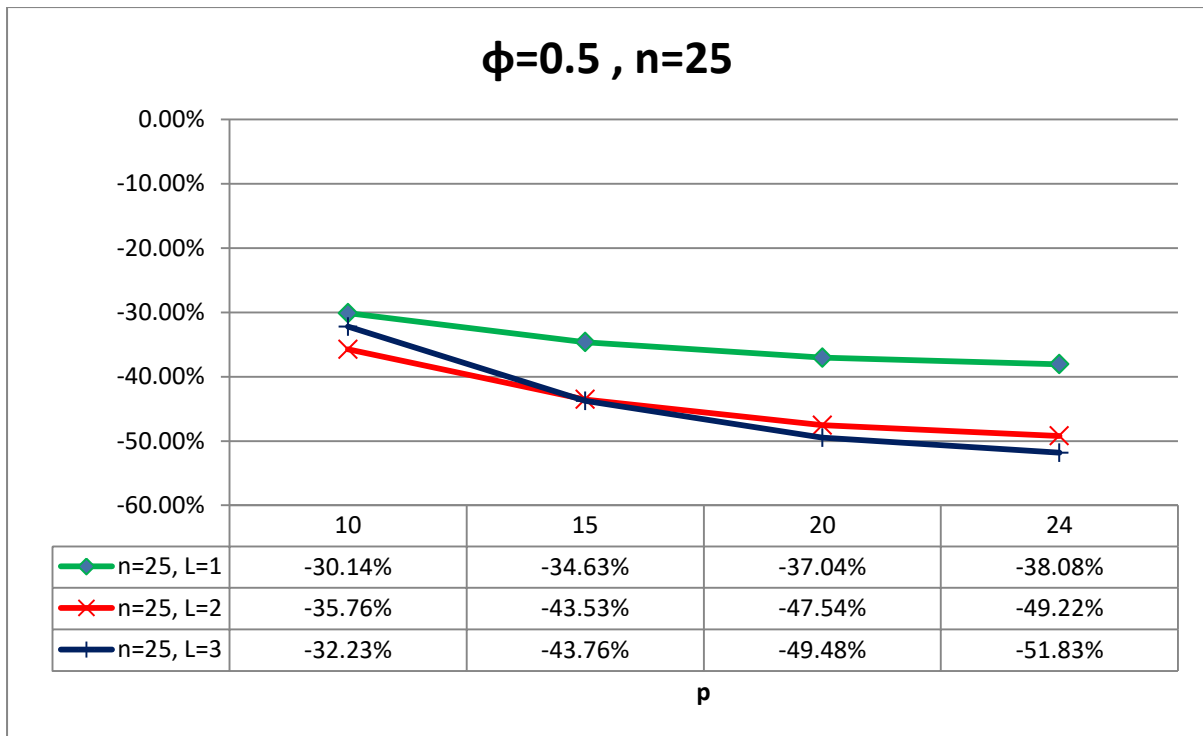




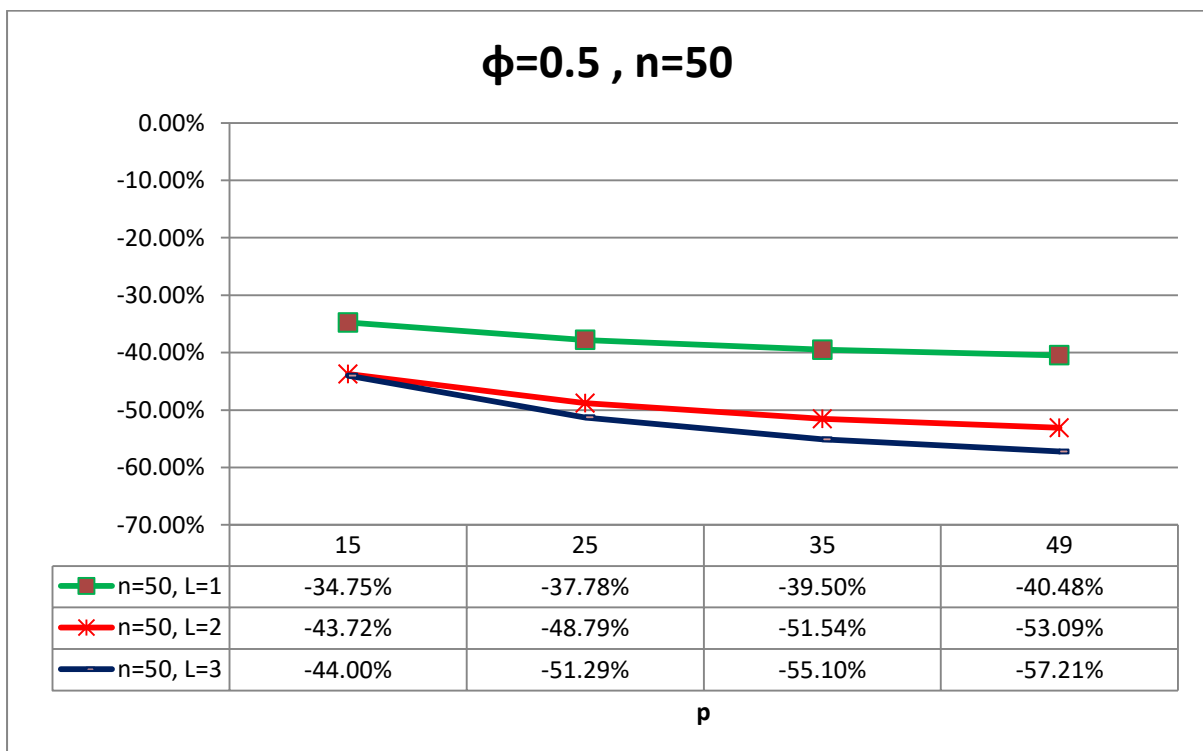
Διάγραμμα 15: Risk Estimation για  $\phi=0.2, n=100$

Όταν έχουμε ζήτηση με χαμηλή αυτοσυσχέτιση, παρατηρούμε πως:

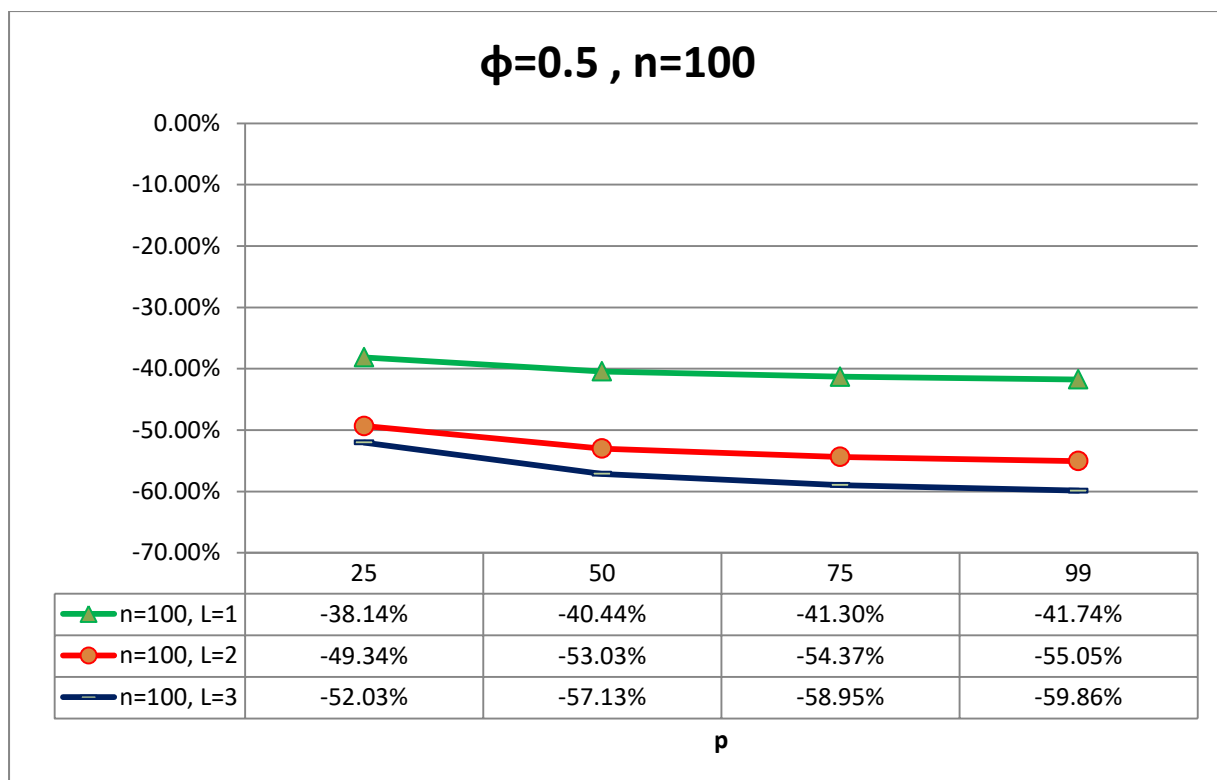
- Οι εκτιμήσεις του λόγου bullwhip υποεκτιμούν το φαινόμενο εκτός από την περίπτωση όπου έχουμε μέγεθος δείγματος 25 τιμών σε  $L=3$  και  $\rho=10$ .
- Όσο αυξάνει το μέγεθος δείγματος και ο αριθμός  $\rho$  το risk estimation αυξάνεται
- Δεν παρατηρείται συνέπεια μεταξύ της μεταβολής του χρόνου παράδοσης και της μεταβολής του risk estimation.



Διάγραμμα 16: Risk Estimation για  $\phi=0.5, n=25$



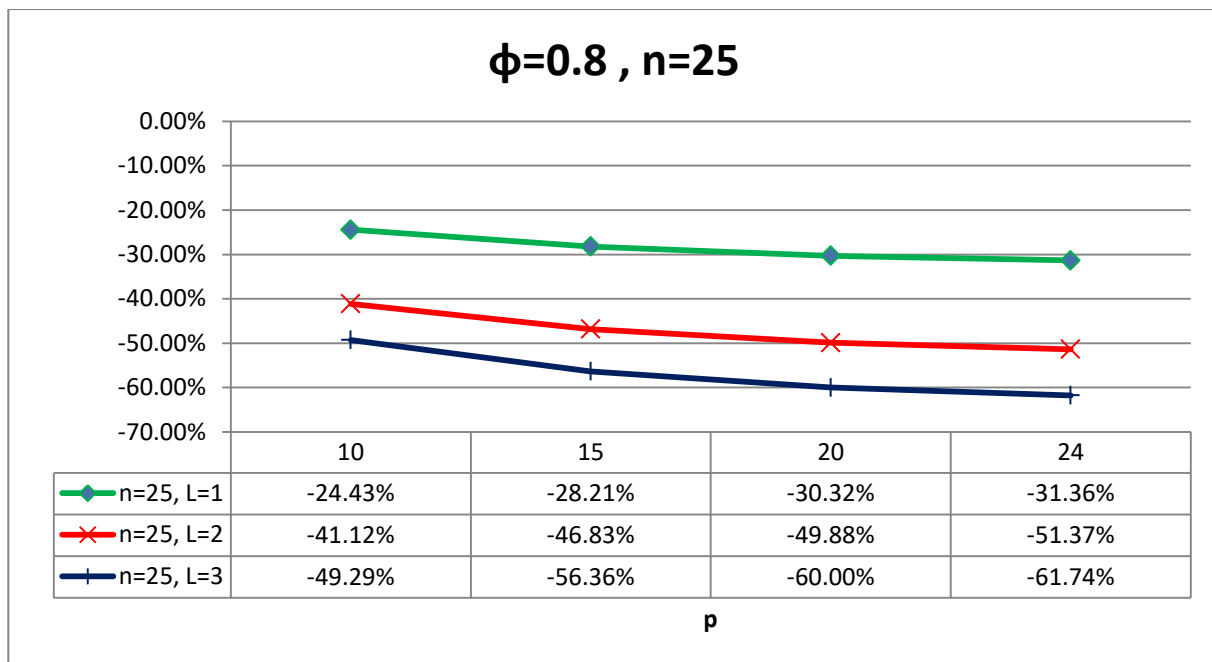
Διάγραμμα 17: Risk Estimation για  $\phi=0.5, n=50$



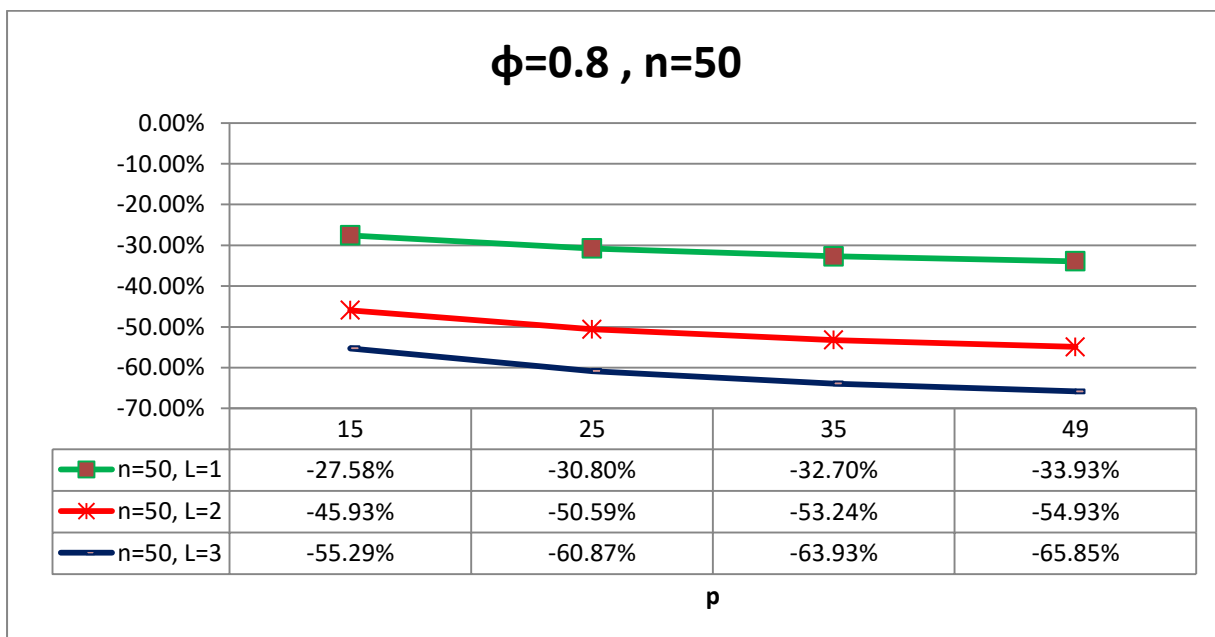
Διάγραμμα 18 : Risk Estimation για  $\phi=0.5, n=100$

Όταν έχουμε ζήτηση με μεσαία αυτοσυσχέτιση, παρατηρούμε πως:

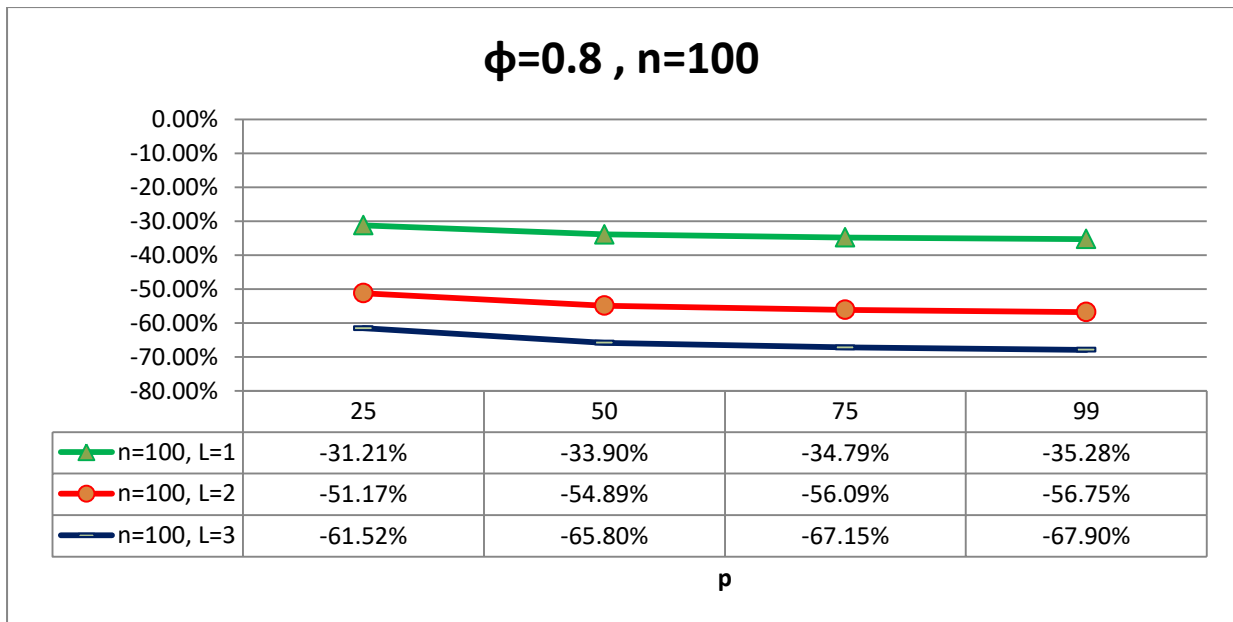
- Οι εκτιμήσεις μας υποεκτιμούν το φαινόμενο και με μεγαλύτερο risk estimation απ ότι στις περιπτώσεις με χαμηλή αυτοσυσχέτιση.
- Όσο αυξάνει το μέγεθος του δείγματος και ο αριθμός  $\rho$  το risk estimation αυξάνεται.
- Όσο αυξάνει ο χρόνος παράδοσης το risk estimation αυξάνεται ( με μια μόνο εξαίρεση).



Διάγραμμα 19 : Risk Estimation για  $\phi=0.8, n=25$



Διάγραμμα 20: Risk Estimation για  $\phi=0.8, n=50$



Διάγραμμα 21: Risk Estimation για  $\phi=0.8$ ,  $n=100$

Όταν έχουμε ζήτηση με υψηλή αυτοσυσχέτιση, παρατηρούμε πως:

- Η ένταση του φαινομένου υποεκτιμάται από τις εκτιμήσεις του λόγου bullwhip
- Όσο αυξάνει το μέγεθος του δείγματος και ο αριθμός  $\rho$  το risk estimation αυξάνεται.
- Όσο αυξάνει ο χρόνος παράδοσης το risk estimation αυξάνεται.

Συμπερασματικά των ανωτέρω μπορούμε να πούμε ότι τα ευρήματα των εκτιμήσεών μας συνάδουν με εκείνα του Zhang(2004) όσον αφορά στη διαφοροποίηση της έντασης του φαινομένου η οποία οφείλεται στο βαθμό αυτοσυσχέτισης. Συγκεκριμένα οι εκτιμήσεις του λόγου του φαινομένου bullwhip εμφανίζονται αδιάφορες των συγκεκριμένων τιμών αυτοσυσχέτισης και σε εξάρτηση με το χρόνο παράδοσης, δηλαδή όσο αυξάνει το  $L$  αυξάνει και η ένταση του φαινομένου. Γενικά η ένταση του φαινομένου υποεκτιμάται και το risk estimation είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με την μέθοδο MMSE για τις συγκεκριμένες τιμές του  $\phi$  γεγονός που υποδεικνύει το ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δεν μπορεί να φανεί πιο αποτελεσματική με εξαίρεση ελάχιστες περιπτώσεις σύντομου χρόνου παράδοσης.

#### 4.5 Εκτίμηση λόγου Bullwhip με πρόβλεψη ES

Υποθέτοντας και σε αυτή την περίπτωση πως ο practitioner δεν έχει στη διάθεσή του τα εργαλεία και τη γνώση να υλοποιήσει προβλέψεις υπολογίζοντας τις νέες παραμέτρους του μοντέλου της ζήτησης και επιλέγει να χρησιμοποιήσει στην εκτίμηση του λόγου bullwhip με την ES μέθοδο, προχωράμε με την ακόλουθη διαδικασία. Κι εδώ θα χρησιμοποιηθούν τα προσομοιωμένα δεδομένα και θα πραγματοποιηθούν εκτιμήσεις για  $\phi=0.2$ ,  $0.5$  και  $0.8$  όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Ο χρόνος παράδοσης παίρνει τιμές από 1 έως 3. Οι εκτιμήσεις θα πραγματοποιηθούν σε τρία διαφορετικά μεγέθη δείγματος  $n=25, 50$  και  $100$  και θα χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει η παράμετρος της εξομάλυνσης  $\alpha$ , δηλαδή τιμές από το 0 έως τη μονάδα.

Για την εκτίμηση του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε ο τύπος  $M^2 = \frac{V(q_t)}{V(d_t)}$ , με την ποσότητα παραγγελίας να υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\tilde{q}_t = \alpha L(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) + d_t \quad (2.4.19)$$

Ο υπολογισμός του  $\tilde{d}_{t|H_{t-1}}$  πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\tilde{d}_{t+1|H_t} = \tilde{d}_{t|H_{t-1}} + \alpha(d_t - \tilde{d}_{t|H_{t-1}}) \quad (2.4.15)$$

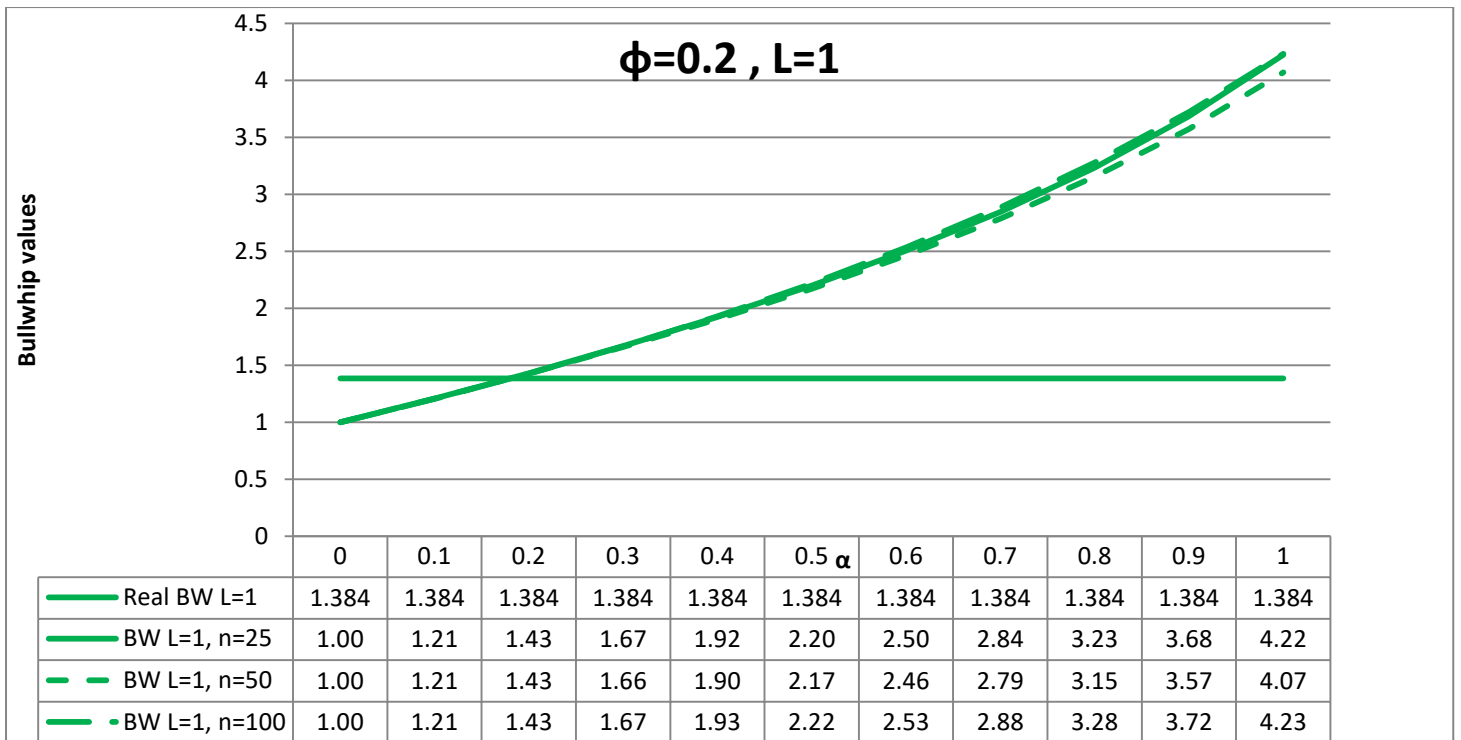
Η εκκίνηση του αλγόριθμου έγινε θέτοντας ως  $\tilde{d}_2 = d_1$ . Εξαιτίας του όγκου των υπολογιστικών φύλλων δεν δύναται να παρουσιαστούν όλα και παρατίθεται απόσπασμα ενός εξ' αυτών.

t	ser01	ser02	ser03	ser04	ser05	ser06	ser07	ser08	ser09	ser10	ser11
1	45.258527	46.93255	43.404	42.29899	48.1108	49.83537	52.37806	53.54683	54.91842	49.22847	48.73012
100	41.889422	53.18471	54.89661	43.32213	49.14132	63.40853	59.95009	47.21443	44.99825	50.37937	40.63686
t	forecasted series										
2	45.258527	46.93255	43.404	42.29899	48.1108	49.83537	52.37806	53.54683	54.91842	49.22847	48.73012
100	44.777829	55.83115	53.07499	45.64181	52.96483	61.35809	52.18168	46.86173	45.01345	50.3105	44.70432
$\phi=$	0.8										
a=	0.5382										
L=	3										
qt	37.225801	48.91177	57.8378	39.57676	42.96788	66.71917	72.49296	47.7839	44.97372	50.49058	34.06953
Var(qt)	79.669957										
Var(dt)	24.103953										
BW	3.305										
real BW	3.305										
$\phi=0.8$											
L=1			L=2			L=3					
a	BW	real BW	a	BW	real BW	a	BW	real BW			
0	1	1.576		1	2.405		1	3.305			
0.1	1.1521987	1.576		1.319548	2.405		1.502049	3.305			
0.2	1.2520924	1.576		1.553483	2.405		1.904173	3.305			
0.3	1.3324537	1.576		1.761905	2.405		2.288353	3.305			
0.4	1.4055922	1.576		1.968592	2.405		2.688999	3.305			
0.5	1.4774856	1.576		2.186063	2.405		3.125733	3.305			
0.6	1.5515894	1.576		2.422682	2.405		3.613277	3.305			
0.7	1.6301557	1.576		2.684921	2.405		4.164297	3.305			
0.8	1.7149704	1.576		2.978865	2.405		4.791685	3.305			
0.9	1.8079518	1.576		3.311812	2.405		5.511579	3.305			
1	1.9117691	1.576		3.694307	2.405		6.347615	3.305			
0.632			0.5927			0.5382					

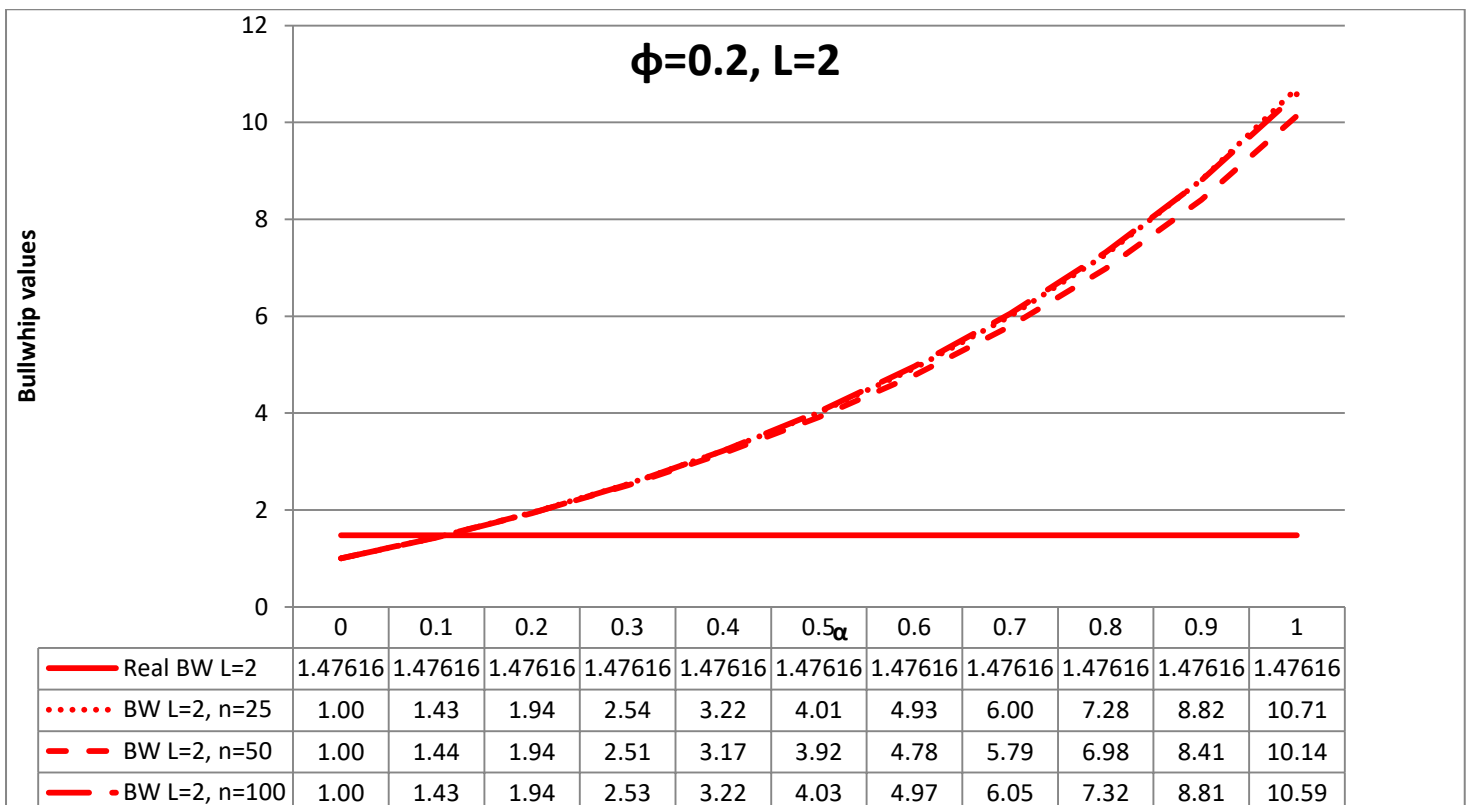
Πίνακας 13 : Απόσπασμα φύλλου υπολογισμού  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.8$ ,  $n=100$  και  $L=1,2,3$

#### 4.5.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων εκτίμησης λόγου BW με ES forecast και risk estimation

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Παρουσιάζονται οι τιμές του φαινομένου για κάθε αριθμό δείγματος και χρόνο παράδοσης με τη χρήση των διαφορετικών τιμών της παραμέτρου εξομάλυνσης ( $\alpha$ ) σε αντιπαραβολή με το πραγματικό bullwhip.

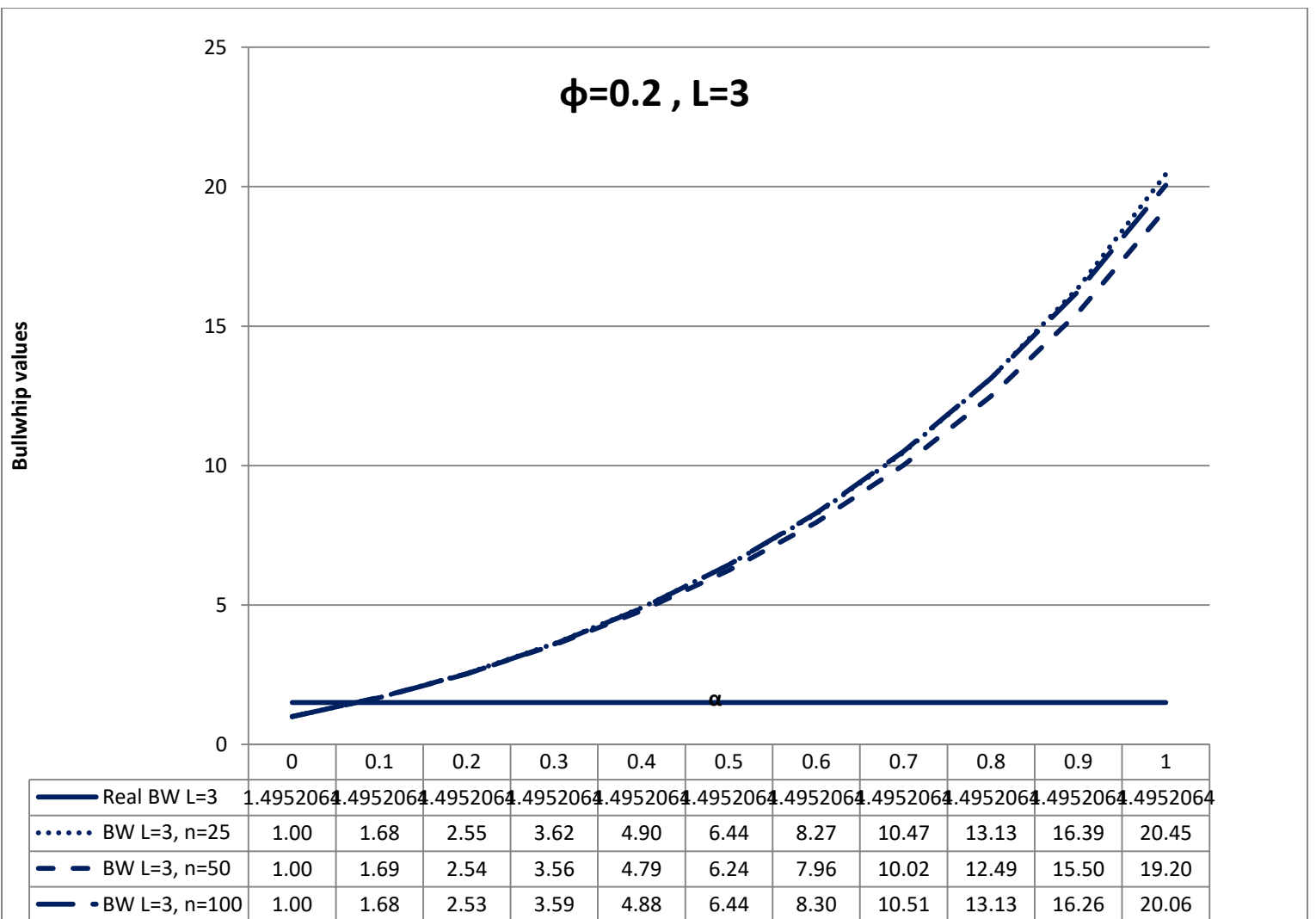


Διάγραμμα 22 :  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.2$  και  $L=1$



Διάγραμμα 23:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.2$  και  $L=2$

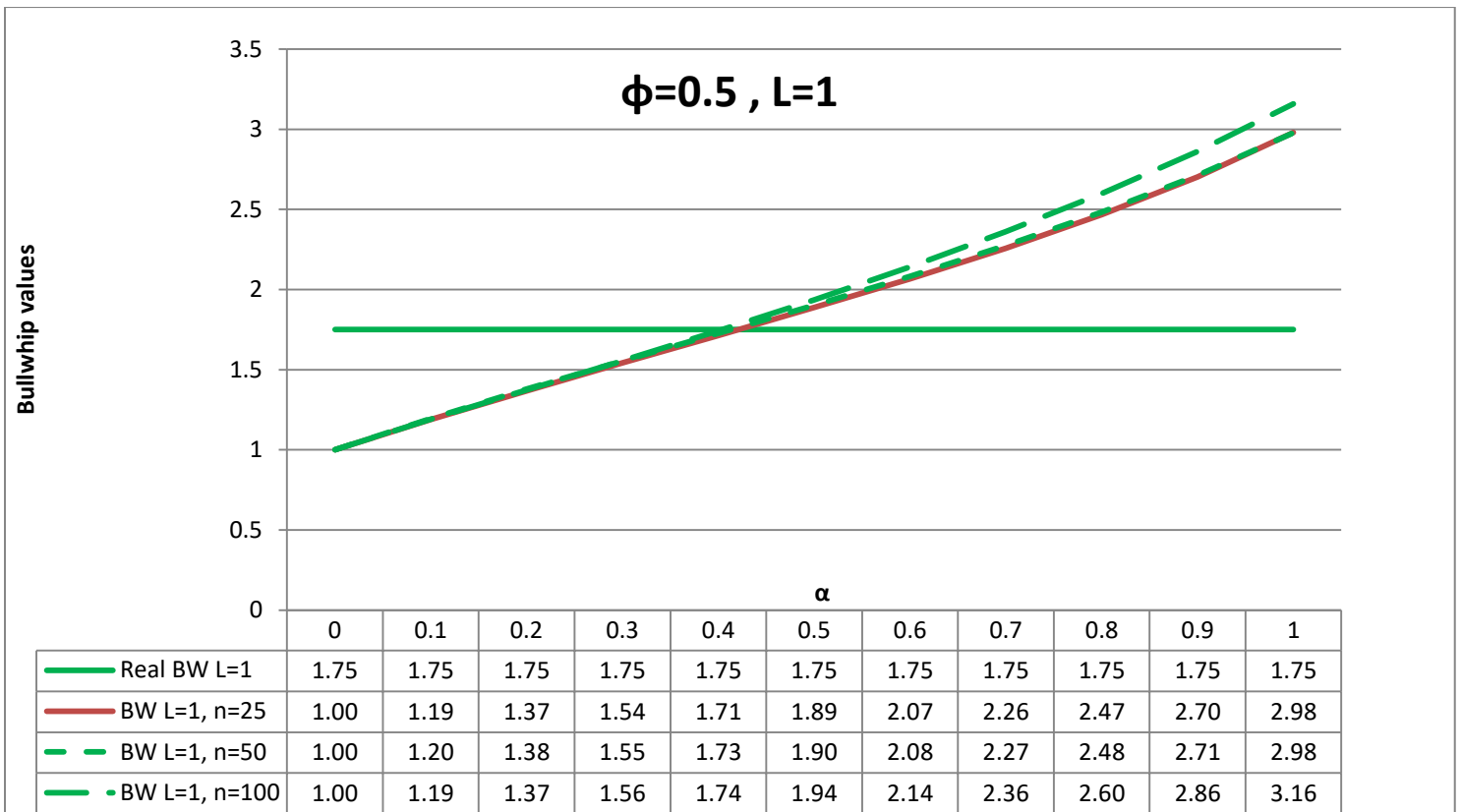




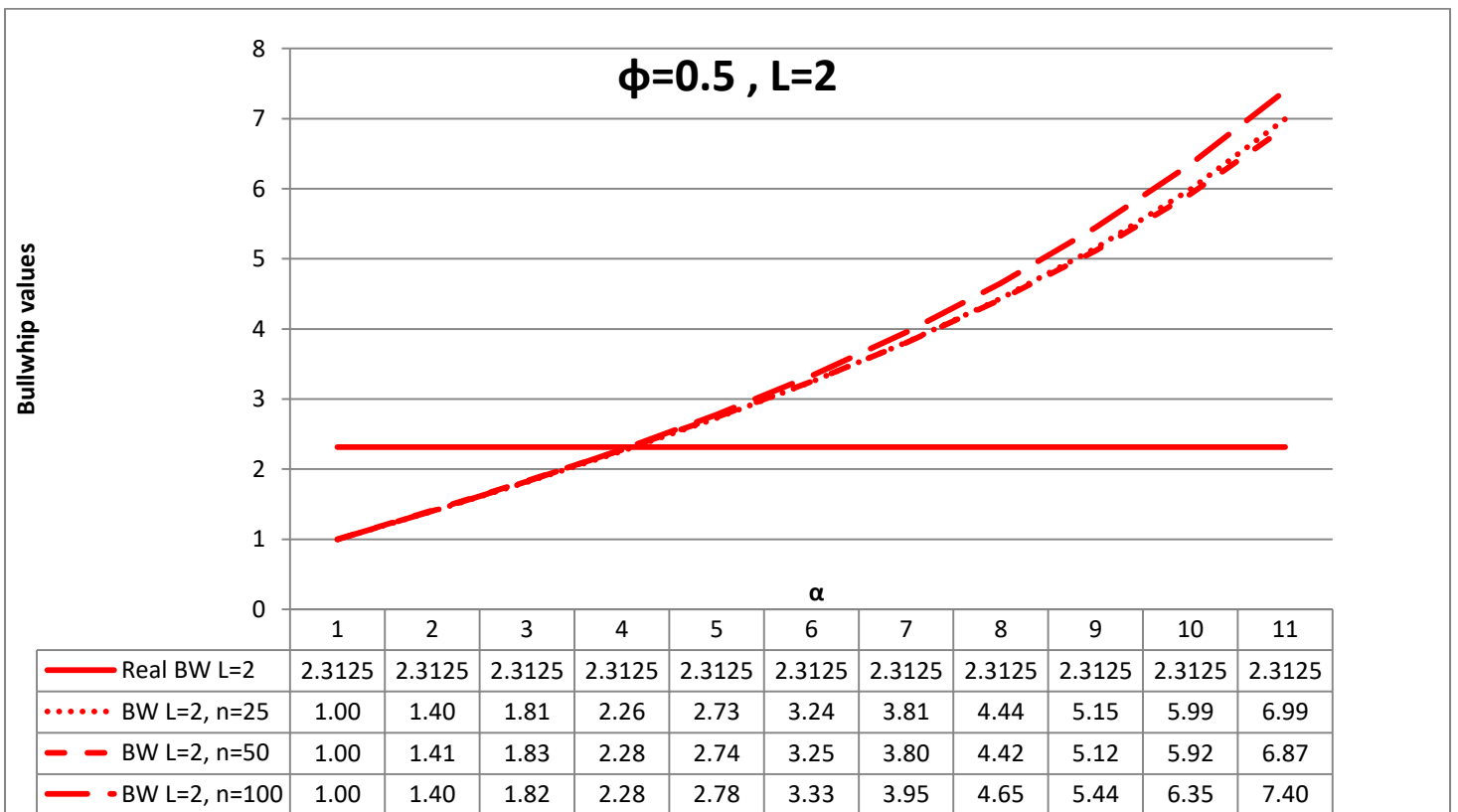
Διάγραμμα 24:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.2$  και  $L=3$

Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι:

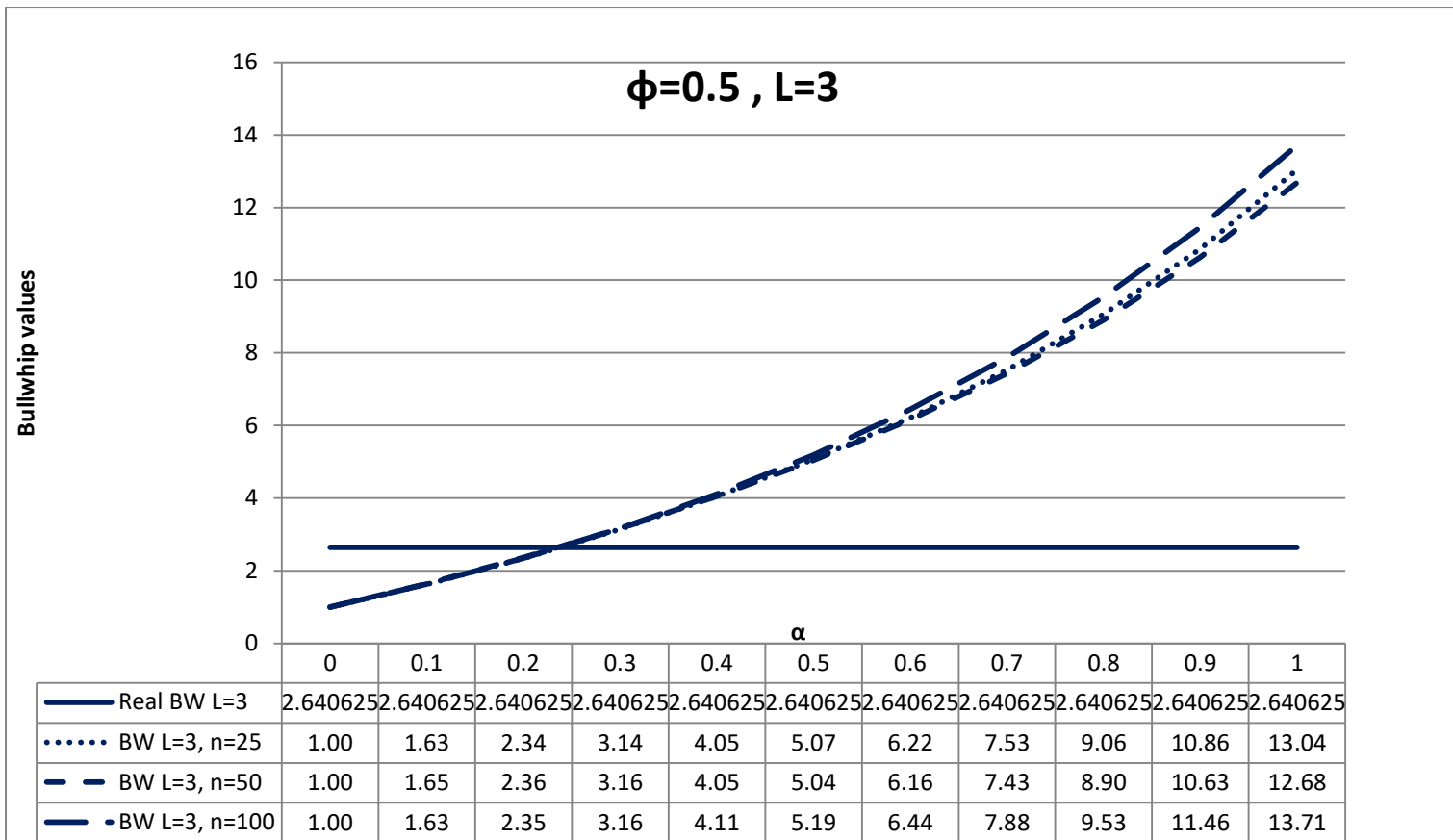
- Οι διαφορετικές εκτιμηθείσες τιμές του λόγου του φαινομένου bullwhip εξαρτώνται από την τιμή της παραμέτρου της εξομάλυνσης που θα επιλέξουμε.
- Για τις περισσότερες τιμές του  $\alpha$  η ένταση του φαινομένου εκτιμάται εντονότερη από το πραγματικό bullwhip.
- Το  $L$  λειτουργεί ενισχυτικά στις εκτιμήσεις του λόγου bullwhip για όλες τις τιμές του  $\alpha$ .
- Η μεταβολή των εκτιμήσεων του λόγου bullwhip φαίνεται ανεξάρτητη του δείγματος των παρατηρήσεων.
- Υπάρχει μια τιμή του  $\alpha$  που δίνει την ακριβέστερη εκτίμηση για το λόγο του φαινόμενο.
- Όσο αυξάνει το  $L$ , η τιμή του  $\alpha$  που δίνει την ακριβέστερη εκτίμηση μειώνεται.



Διάγραμμα 25 :  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.5, L=1$



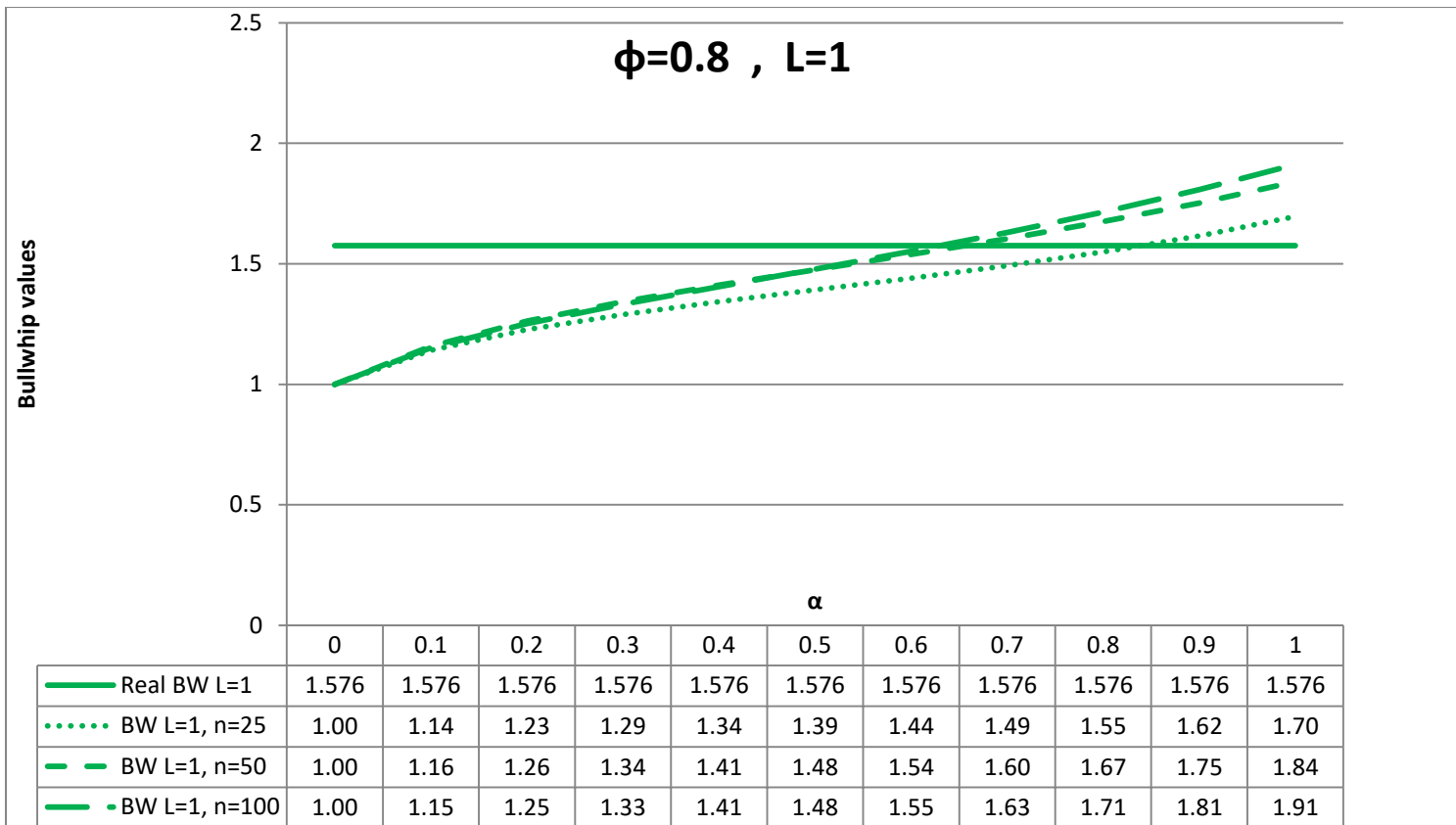
Διάγραμμα 26:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.5, L=2$



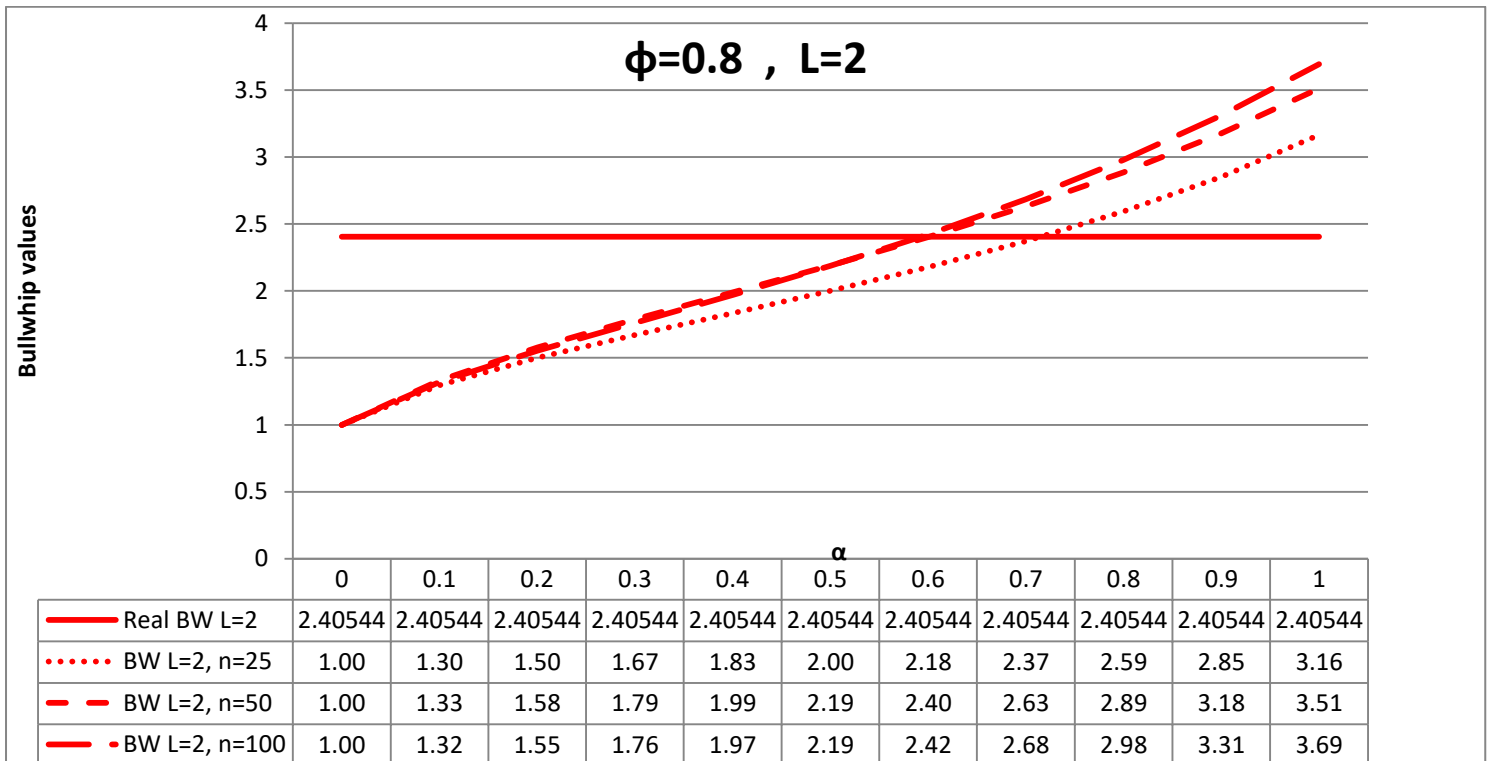
Διάγραμμα 27:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.5, L=3$

Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι:

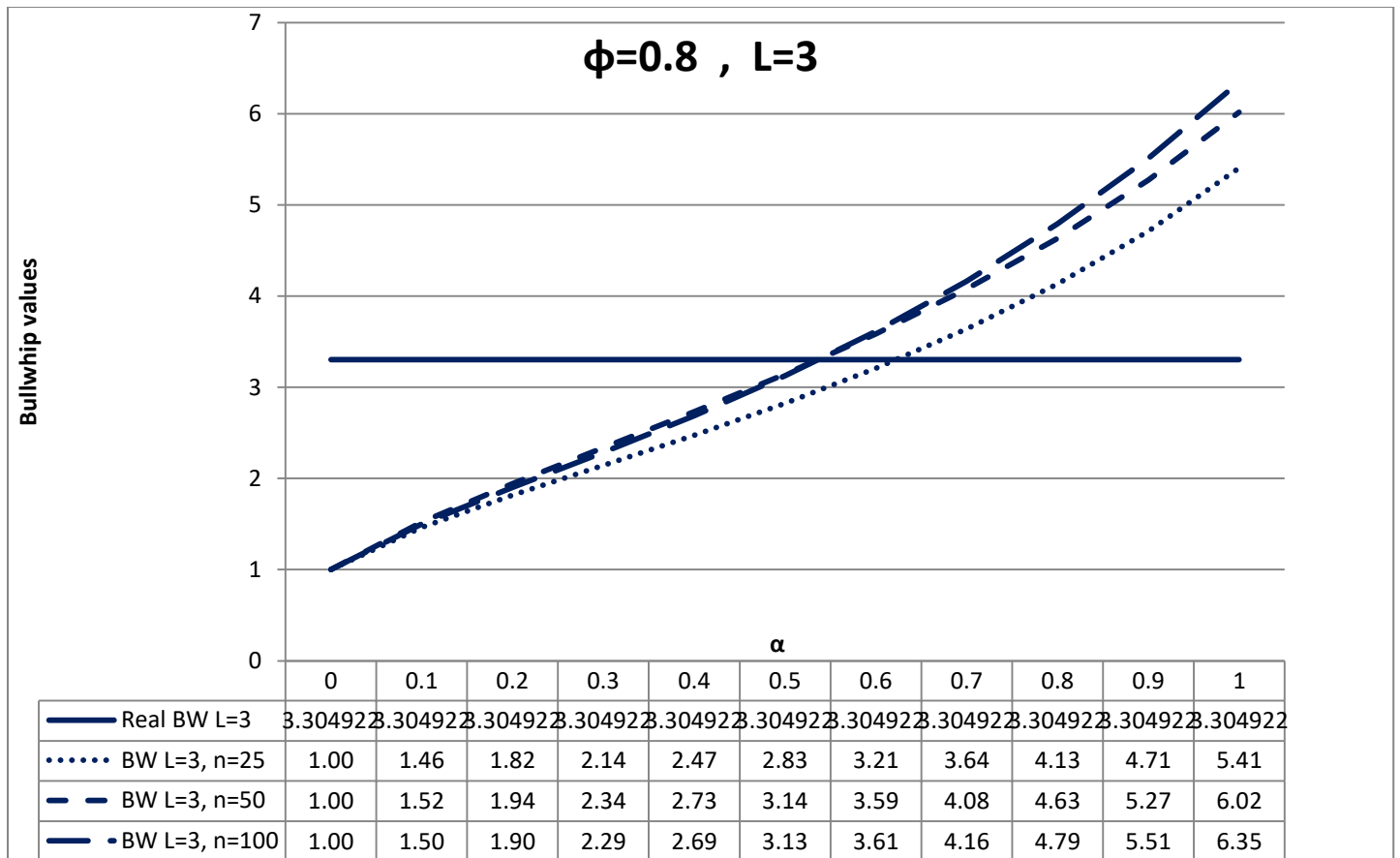
- Οι διαφορετικές εκτιμηθείσες τιμές του λόγου bullwhip εξαρτώνται από την τιμή της παραμέτρου της εξομάλυνσης που θα επιλέξουμε.
- Το L λειτουργεί ενισχυτικά στις εκτιμήσεις για όλες τις τιμές του α.
- Η μεταβολή των εκτιμήσεων του λόγου bullwhip φαίνεται ανεξάρτητη του δείγματος των παρατηρήσεων.
- Υπάρχει μια τιμή του α που δίνει την ακριβέστερη εκτίμηση σε σχέση με το πραγματική τιμή του λόγου του φαινομένου.
- Όσο αυξάνει το L, η τιμή του α που δίνει την ακριβέστερη εκτίμηση μειώνεται.



Διάγραμμα 28:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.8, L=1$



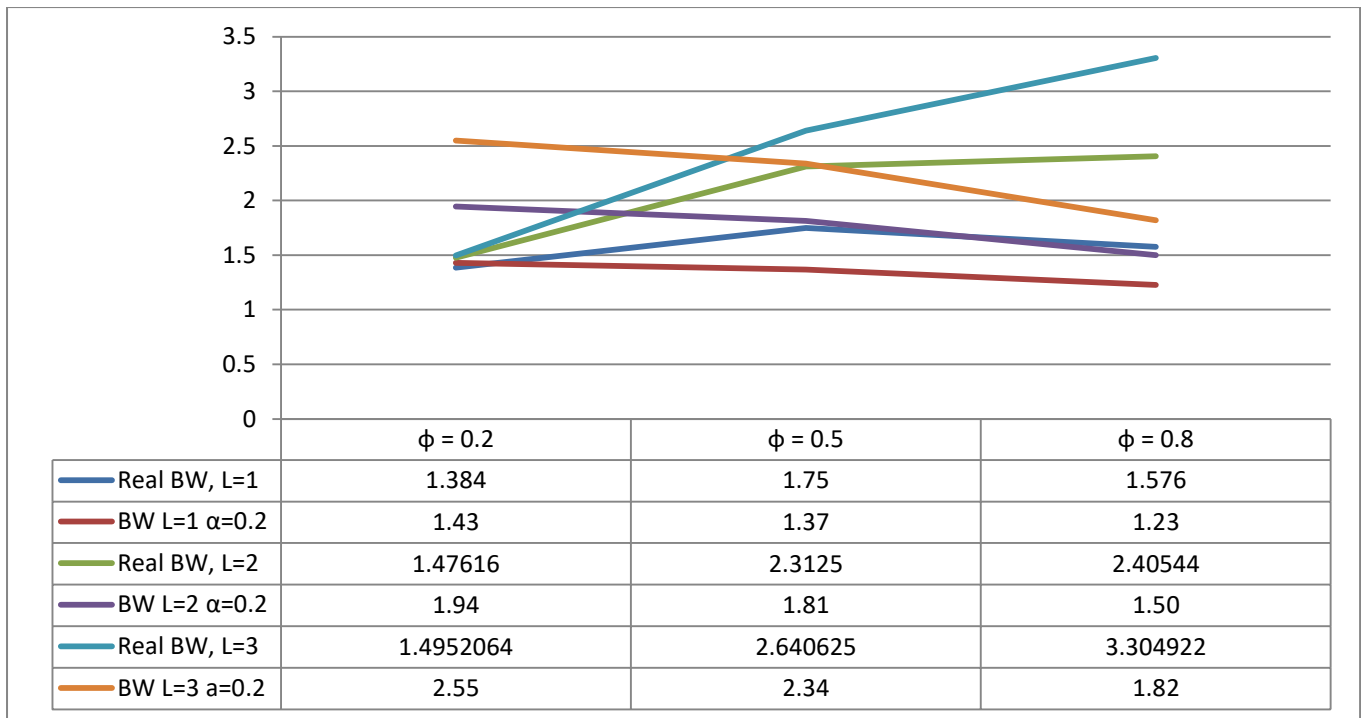
Διάγραμμα 29:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.8, L=2$



Διάγραμμα 30:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\phi=0.8, L=3$

Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι:

- Οι διαφορετικές εκτιμηθείσες τιμές του λόγου του φαινομένου bullwhip εξαρτώνται από την τιμή της παραμέτρου της εξομάλυνσης που θα επιλέξουμε.
- Για τις περισσότερες τιμές του  $\alpha$  η ένταση του φαινομένου υποεκτιμάται.
- Το  $L$  λειτουργεί ενισχυτικά στις εκτιμήσεις του λόγου bullwhip για όλες τις τιμές του  $\alpha$ .
- Σε αυτή την περίπτωση όσο αυξάνει το δείγμα των παρατηρήσεων οι εκτιμηθείσες τιμές του λόγου bullwhip είναι μεγαλύτερες, αλλά και πάλι μια τιμή του  $\alpha$  δίνει εκτίμηση ίση με τη πραγματική τιμή του λόγου bullwhip.
- Όσο αυξάνει το  $L$ , η τιμή του  $\alpha$  που δίνει την ακριβέστερη εκτίμηση μειώνεται.



Διάγραμμα 31 :  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  για  $\alpha=0.2$

Τα δεδομένα του Διαγράμματος 31 επιλέχθηκαν με βάση την τιμή  $\alpha=0.2$  για να απεικονίσουν ότι τα αποτελέσματα συνάδουν με τα συμπεράσματα του Zhang σχετικά με το ότι όσο αυξάνεται ο βαθμός αυτοσυσχέτισης ο λόγος bullwhip παίρνει μικρότερες τιμές. Ουσιαστικά από την συγκεκριμένη εργασία όμως προκύπτει ότι δεν έχει καμία σημασία καθώς υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγεί ο παράγοντας της εξομάλυνσης με τέτοιο τρόπο ώστε να παίρνουμε το πιο έγκυρο αποτέλεσμα.

#### 4.5.2 Επιλογή του παράγοντα της εξομάλυνσης

Σχετικά με την επιλογή της βέλτιστης τιμής του παράγοντα εξομάλυνσης  $\alpha$ , επιχειρήθηκε, δειγματοληπτικά των υπολογιστικών φύλλων, να εκτιμηθεί η ακρίβεια της πρόβλεψης. Υπολογίστηκαν λοιπόν για κάθε μια χρονοσειρά το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE), Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα (MPE) και Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα (MAPE) βάσει των ακόλουθων τύπων :

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

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=2}^n \left( \frac{d_t - \tilde{d}_t}{d_t} \right) 100$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=2}^n |PE_t|$$

t	ser01	ser02	ser03	ser04	ser05	ser06	ser07	ser08	ser09	ser10	ser11	ser12
1	45.25853	46.93255	43.404	42.29899	48.1108	49.83537	52.37806	53.54683	54.91842	49.22847	48.73012	44.78236
25	49.88025	49.44393	48.94727	56.14485	48.63183	48.80566	49.05687	45.34338	49.28129	47.93516	48.04029	54.69143
t	forecasted series											
2	45.25853	46.93255	43.404	42.29899	48.1108	49.83537	52.37806	53.54683	54.91842	49.22847	48.73012	44.78236
25	44.65068	46.48289	49.63045	47.90888	53.15457	51.89583	47.29273	47.42087	53.32781	48.96987	46.44256	50.49237
et												
2	1.588244	-0.42699	2.242488	-2.41707	-0.72477	2.566105	-0.94303	-4.41557	-1.93372	-2.77563	-1.76798	0.782606
25	5.229575	2.961043	-0.68317	8.235966	-4.52274	-3.09017	1.76414	-2.07749	-4.04652	-1.03471	1.597725	4.199061
Sum	4.013873	2.061721	11.76971	19.45575	5.564806	1.030752	-8.40652	-14.3294	-7.22774	-1.5519	-2.9774	15.61908
et^2												
2	2.522518	0.182324	5.028751	5.842219	0.525297	6.584897	0.889302	19.49724	3.739266	7.704112	3.125758	0.612472
25	27.34845	8.767775	0.466728	67.83114	20.4552	9.549154	3.112189	4.31597	16.37435	1.070628	2.552724	17.63212
Sum	194.2409	206.6479	280.0592	188.9417	355.2535	213.3079	200.3362	179.3019	276.366	241.1169	151.2144	177.7431
PE												
2	3.39%	-0.92%	4.91%	-6.06%	-1.53%	4.90%	-1.83%	-8.99%	-3.65%	-5.98%	-3.76%	1.72%
25	10.48%	5.99%	-1.40%	14.67%	-9.30%	-6.33%	3.60%	-4.58%	-8.21%	-2.16%	3.33%	7.68%
Sum	2.16%	-2.71%	17.65%	35.32%	-1.13%	-4.77%	-23.20%	-33.93%	-20.75%	-12.67%	-11.33%	26.98%
Abs PE												
2	3.39%	0.92%	4.91%	6.06%	1.53%	4.90%	1.83%	8.99%	3.65%	5.98%	3.76%	1.72%
25	10.48%	5.99%	1.40%	14.67%	9.30%	6.33%	3.60%	4.58%	8.21%	2.16%	3.33%	7.68%
Sum	119.46%	122.95%	130.10%	110.35%	152.58%	119.10%	117.08%	86.33%	126.05%	144.26%	105.81%	98.81%
MSE	8.093369	8.61033	11.66913	7.872572	14.80223	8.887828	8.347344	7.470911	11.51525	10.04654	6.300602	7.405961
MPE	0.09%	-0.11%	0.74%	1.47%	-0.05%	-0.20%	-0.97%	-1.41%	-0.86%	-0.53%	-0.47%	1.12%
MAPE	4.98%	5.12%	5.42%	4.60%	6.36%	4.96%	4.88%	3.60%	5.25%	6.01%	4.41%	4.12%
MSE	11.25035											
MPE	-0.23%											
MAPE	5.39%											

Πίνακας 14 : Απόσπασμα υπολογισμού MSE, MPE, MAPE για  $\phi=0.8$ ,  $n=25$

Τέλος εκτιμήθηκε ο μέσος όρων των MSE, MPE και MAPE για κάθε τιμή του  $\alpha$  και προέκυψαν οι κάτωθι πίνακες:

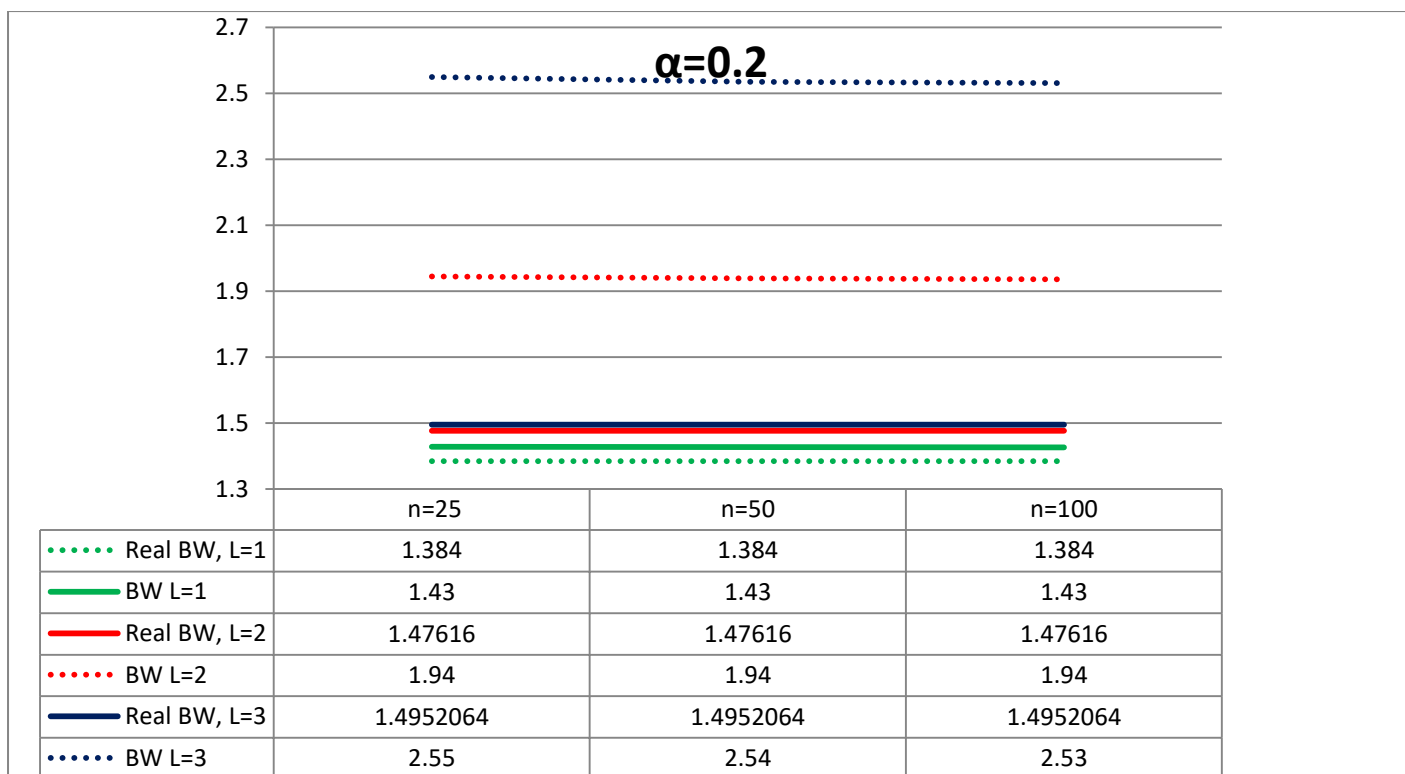
$\phi=0.2$				$\phi=0.5$				$\phi=0.8$			
$\alpha$	L=1			$\alpha$	L=1			$\alpha$	L=1		
	MSE	MPE	MAPE		MSE	MPE	MAPE		MSE	MPE	MAPE
0	20.3486	-4.83%	31.03%	0	24.49043	-1.11%	20.00%	0	42.12848	0.20%	10.20%
0.1	11.87444	-6.42%	24.80%	0.1	13.7481	-2.12%	15.41%	0.1	20.81029	-0.24%	7.30%
0.2	11.03078	-6.73%	24.11%	0.2	12.0765	-2.24%	14.51%	0.2	15.99797	-0.30%	6.42%
0.3	10.99004	-6.75%	24.06%	0.3	11.42192	-2.17%	14.11%	0.3	13.6413	-0.29%	5.93%
0.4	11.1949	-6.68%	24.24%	0.4	11.09179	-2.06%	13.89%	0.4	12.19756	-0.26%	5.61%
0.5	11.54201	-6.59%	24.56%	0.5	10.94408	-1.95%	13.77%	0.5	11.25035	-0.23%	5.39%
0.6	12.0071	-6.48%	24.97%	0.6	10.93353	-1.84%	13.74%	0.6	10.6252	-0.21%	5.23%
0.7	12.59094	-6.38%	25.48%	0.7	11.04491	-1.74%	13.79%	0.7	10.23445	-0.19%	5.14%
0.8	13.30737	-6.27%	26.10%	0.8	11.27717	-1.65%	13.93%	0.8	10.03153	-0.18%	5.08%
0.9	14.18138	-6.17%	26.84%	0.9	11.63942	-1.56%	14.15%	0.9	9.993688	-0.16%	5.07%
1	15.25133	-6.07%	27.73%	1	12.15113	-1.49%	14.44%	1	10.11516	-0.15%	5.11%
0.1805	11.09381	-6.71%	24.16%	0.421	11.04786	-2.04%	13.86%	0.842	9.996209	-0.17%	5.07%

Πίνακας 15: MSE, MPE, MAPE σε  $n=25$  για όλες τις τιμές  $\alpha$  και  $\alpha^*$

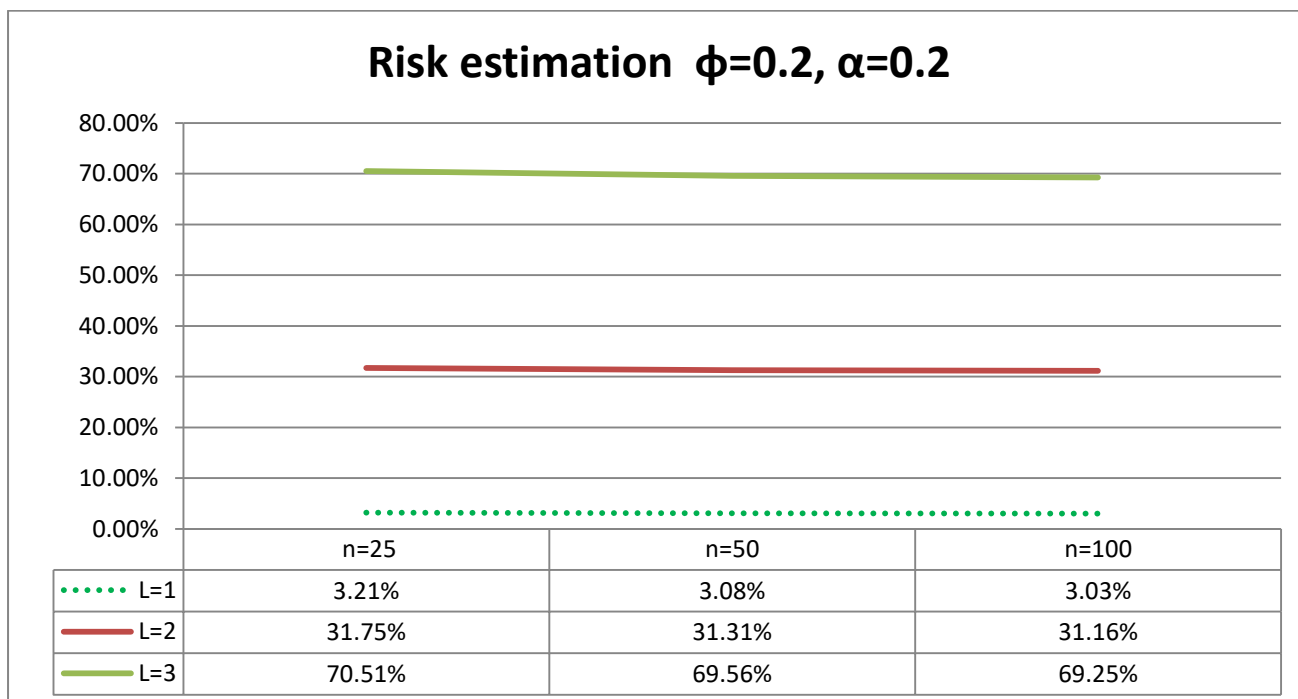
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές του  $\alpha$  που μας έδωσαν το  $M^2 = \bar{M}^2$ , δηλαδή οι τιμές  $\alpha^*$ , είναι οι τιμές που μας δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης για την πρόβλεψη μιας περιόδου μπροστά. Το αποτέλεσμα αυτό δεν ισχύει όταν αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης καθώς δεν υπάρχει επιρροή του χρόνου  $L$  στο σφάλμα της πρόβλεψης, εξάλλου είδαμε πως  $\bar{D}_{t|H_t}^L = \sum_{\tau=1}^L \tilde{d}_{t+\tau|H_t} = L \tilde{d}_{t+1|H_t}$ .

Συμπερασματικά, με τη διαδικασία που αναλύθηκε μπορούμε να πάρουμε την βέλτιστη τιμή  $\alpha^*$ , για  $L=1$ , γεγονός που σημαίνει ελαχιστοποίηση του κινδύνου στην πράξη. Στο πλαίσιο αυτό θα πραγματοποιηθεί risk estimation της μεθόδου στην τιμή  $\alpha$ , με στρογγυλοποίηση στο δεύτερο δεκαδικό, για  $L=1$  ώστε να κατανοήσουμε τον κίνδυνο καθώς αυξάνει ο χρόνος παράδοσης.

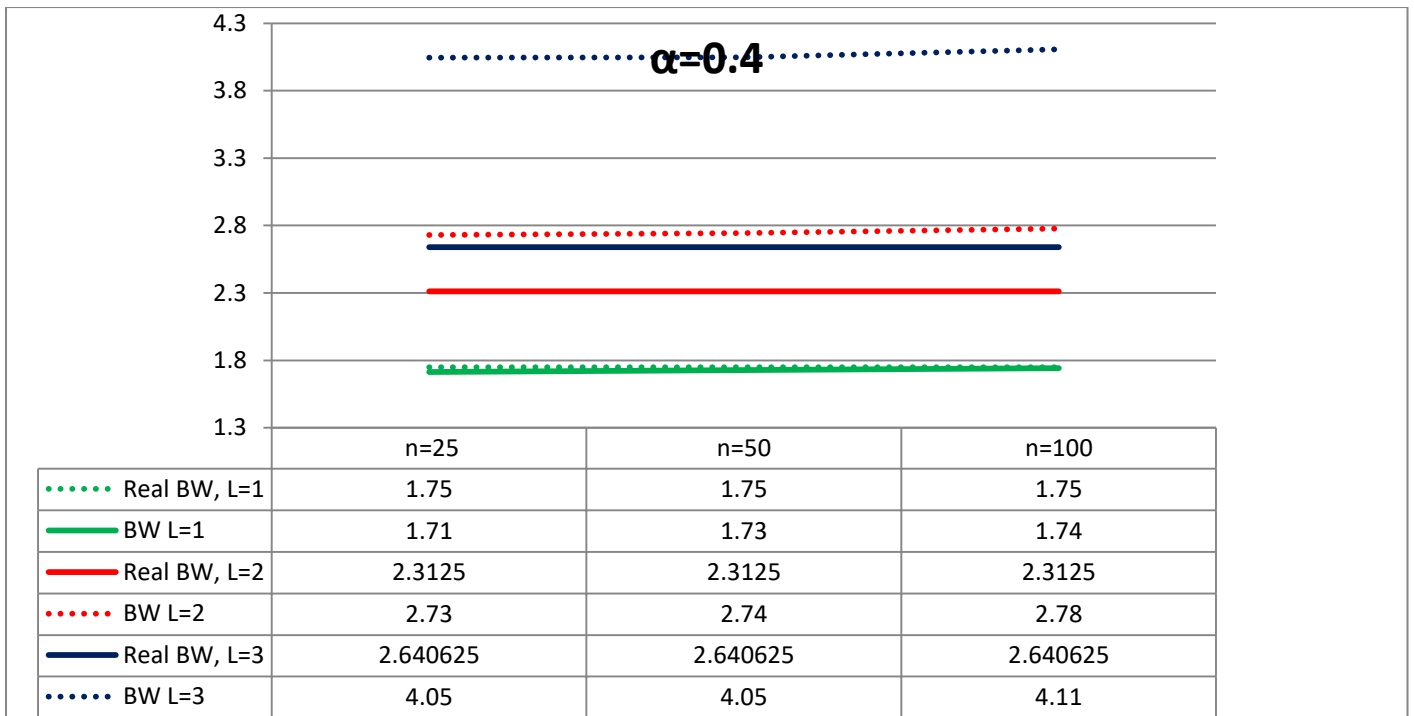




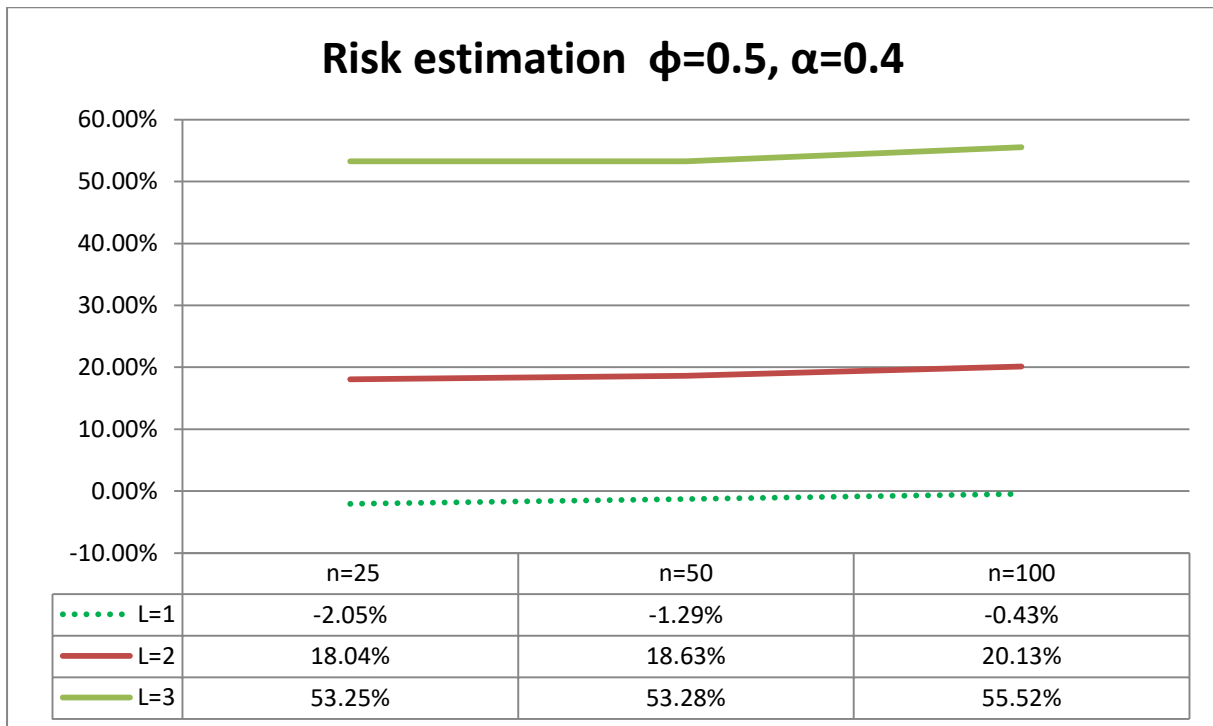
Διάγραμμα 32:  $M^2$  και  $\hat{M}^2$  σε  $\phi=0.2$  και για  $\alpha=0.2$  ( $\alpha^*=0.1805$ )



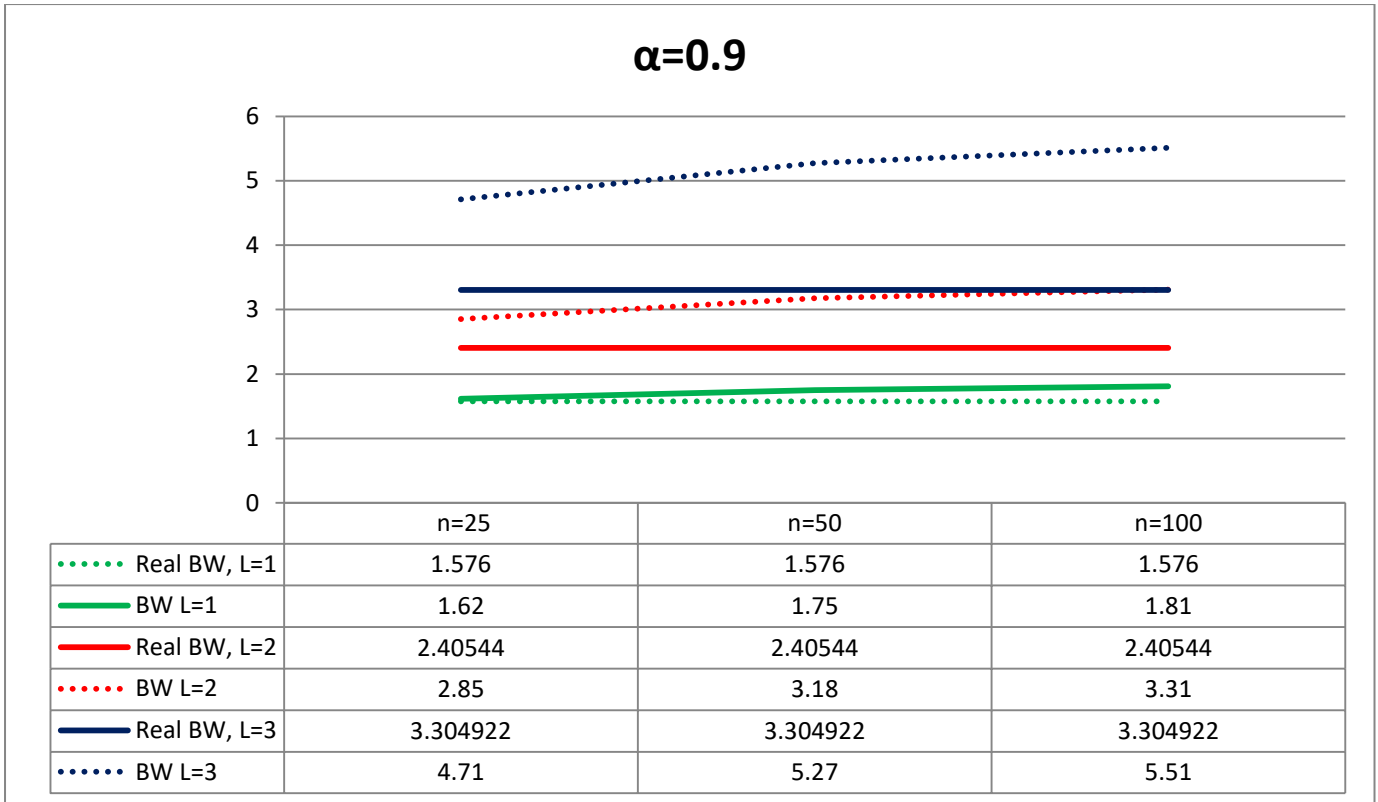
Διάγραμμα 33 : Risk estimation στην περίπτωση χαμηλής αυτοσυσχέτισης για  $\alpha=0.2$  ( $\alpha^*=0.1805$ )



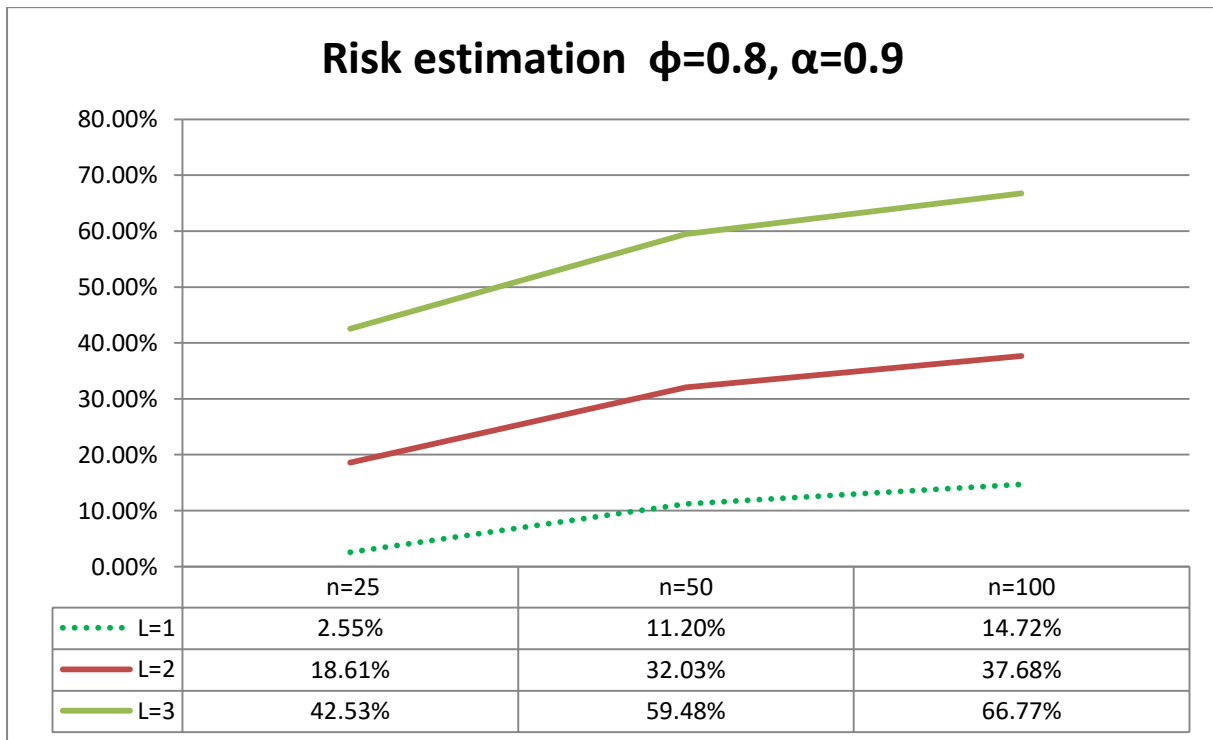
Διάγραμμα 34:  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  σε  $\phi=0.5$  και για  $\alpha=0.4$  ( $\alpha^*=0.421$ )



Διάγραμμα 35: Risk estimation στην περίπτωση μεσαίας αυτοσυσχέτισης για  $\alpha=0.4$  ( $\alpha^*=0.421$ )



Διάγραμμα 36 :  $M^2$  και  $\tilde{M}^2$  σε  $\phi=0.8$  και για  $\alpha=0.9(\alpha^*=0.842)$



Διάγραμμα 37 : Risk estimation στην περίπτωση υψηλής αυτοσυσχέτισης για  $\alpha=0.9 (\alpha^*=0.842)$

Η εκτίμηση κινδύνου που πραγματοποιήθηκε επιβεβαιώνει τα εξής:

- Υπάρχει δυνατότητα επιλογής του παράγοντα εξομάλυνσης έτσι ώστε να έχουμε ελάχιστο ρίσκο, για  $L=1$
- Όσο αυξάνει ο χρόνος παράδοσης το risk estimation αυξάνει
- Όσο αυξάνει ο βαθμός αυτοσυσχέτισης το risk estimation αυξάνει αλλά με μικρότερο ρυθμό αύξησης
- Η αλλαγή στο μέγεθος δείγματος δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις εκτιμήσεις και ιδιαίτερα όταν έχουμε υψηλή αυτοσυσχέτιση όσο αυξάνει το μέγεθος δείγματος αυξάνει το risk estimation
- Όσο αυξάνει το  $L$ , η τιμή του  $\alpha$  που δίνει την ακριβέστερη εκτίμηση μειώνεται, χωρίς να μπορούμε να εξάγουμε συμπέρασμα για την σχέση μεταξύ τους.
- Παρατηρείται πως η τιμή του  $\alpha^*$  πλησιάζει τις τιμές του  $\phi$ , χωρίς να μπορούμε να εξάγουμε συμπέρασμα για την σχέση μεταξύ τους.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε ότι οι εκτιμήσεις μας επιβεβαιώνουν τον Zhang(2004) όσον αφορά στις τιμές που λαμβάνει το bullwhip σε σχέση με το βαθμό αυτοσυσχέτισης και το χρόνο παράδοσης. Συγκεκριμένα οι εκτιμήσεις του λόγου του φαινομένου εμφανίζονται μικρότερες όσο αυξάνει η αυτοσυσχέτιση και σε εξάρτηση με το χρόνο παράδοσης, δηλαδή όσο αυξάνει το  $L$  αυξάνει και η εκτιμηθείσα ένταση του φαινομένου. Παρ' όλα αυτά η εν λόγω μέθοδος φαίνεται ως η πιο έγκυρη ιδιαίτερα στην πρόβλεψη μιας περιόδου μπροστά καθώς μπορούμε να επιλέξουμε τον παράγοντα της εξομάλυνσης που μας δίνει  $M^2 \simeq \tilde{M}^2$ .

## 5 Σύνοψη και συμπεράσματα

Οι επιχειρήσεις, πλέον, αντιλαμβάνονται την αξία της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς δεν μπορούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα απομονώνοντας τους προμηθευτές τους ή άλλες οντότητες μέσα σε αυτή. Σε αυτό το πλαίσιο, επιχειρείται η εκ βάθρων κατανόηση των χαρακτηριστικών και τρόπου λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έρευνες κατέστησαν αντιληπτό πως ο τρόπος που δομούνται οι εφοδιαστικές αλυσίδες οδηγεί τον ανθρώπινο παράγοντα, δεδομένης της ορθολογικής του σκέψης, σε λήψη αποφάσεων που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ομαλή λειτουργία του συνόλου της εφοδιαστικής αλυσίδας και στο κόστος των μελών της.

Ένας από τους παράγοντες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε ένα τέτοιο σύστημα είναι η πρόβλεψη της ζήτησης των πελατών κάθε κρίκου της αλυσίδας. Επομένως, το συγκεκριμένο ζήτημα αποτέλεσε και αποτελεί ακόμη πεδίο ευρύτατης έρευνας. Στην συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι πρόβλεψης και η επίδρασή τους στην μεταβλητότητα πρόβλεψης της ζήτησης ανάμεσα στα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Υποθέσαμε ότι ο λιανοπωλητής δεν γνωρίζει ακριβώς τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζεται η ζήτηση και γι' αυτό θα προσπαθήσει να την εκτιμήσει με συγκεκριμένες μεθόδους πρόβλεψης. Οι βασικές υποθέσεις ήταν ότι εξετάζουμε μια απλή εφοδιαστική αλυσίδα δύο σταδίων, αποτελούμενη από έναν μόνο έμπορο λιανικής και έναν μόνο κατασκευαστή, ότι η ζήτηση περιγράφεται από το αυτοπαλίνδρομο μοντέλο πρώτης τάξης AR(1), ότι η πολιτική παραγγελιών και αποθεματοποίησης είναι η Order up to Level (OUT) πολιτική. Τέλος, οι μέθοδοι πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν είναι η μέθοδος των ελαχίστων μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων (MMSE), η μέθοδος των κινητών μέσων (MA) και η εκθετική εξομάλυνση (ES).

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η απόδειξη της αλγεβρικής μορφής του φαινομένου Bullwhip για την κάθε μέθοδο πρόβλεψης. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως για την MMSE μέθοδο ο βαθμός αυτοσυσχέτισης και ο χρόνος παράδοσης είναι οι παράγοντες που έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην εμφάνιση του φαινομένου. Το ίδιο ισχύει και για την MA μέθοδο με την διαφορά ότι εδώ συμβάλλει και ο αριθμός των παρατηρήσεων που λαμβάνονται υπόψη κατά την πρόβλεψη και η μεταβλητότητα του φαινομένου είναι ελάχιστη για περιπτώσεις με μέτρια αρνητικά αυτοσυσχετιζόμενη ζήτηση έως θετικά μέτρια αυτοσυσχετιζόμενη ζήτηση. Κατά την μελέτη της ES μεθόδου είδαμε πως ρυθμιστικοί παράγοντες είναι, πέρα από το βαθμό αυτοσυσχέτισης και το χρόνο παράδοσης, και ο παράγοντας της εξομάλυνσης που χρησιμοποιείται κατά την πρόβλεψη. Οι αποδείξεις των τύπων υπολογισμού του φαινομένου του bullwhip βασίζονται στην υπόθεση ότι

έχουμε άπειρο αριθμό προηγούμενων παρατηρήσεων και οι παράμετροι της παλινδρόμησης είναι γνωστοί.

Στην πορεία επιχειρήθηκε η εκτίμηση του φαινομένου με τη χρήση των τριών μεθόδων και προσομοιωμένων δεδομένων προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβεια των μεθόδων και στην πράξη, δηλαδή έγινε προσπάθεια της εκτίμησης του κινδύνου όταν απομακρυνόμαστε από τα πραγματικά δεδομένα και πραγματοποιούμε τις μετρήσεις σε πεπερασμένο, πλέον, αριθμό παρατηρήσεων. Τα δεδομένα παράχθηκαν μέσω προσομοιώσεων δεδομένου του AR(1) μοντέλου το οποίο υποθέσαμε ότι ακολουθεί η ζήτηση. Έτσι, απομονώθηκε συγκεκριμένο δείγμα παρατηρήσεων ( $n$ ) και υπολογίστηκε το φαινόμενο bullwhip σε αυτό το πεπερασμένο δείγμα. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων συνάδουν με το θεωρητικό υπόβαθρο αλλά ήταν ενδιαφέροντα τα συμπεράσματά μας για τον τρόπο και σημασία χρήσης κάθε μεθόδου.

Συγκεκριμένα, εάν ο χρήστης επιλέξει την MMSE μέθοδο θα αντιληφθεί την τάση του φαινομένου να γίνεται εντονότερο όσο αυξάνει η αυτοσυσχέτιση στη ζήτηση. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι το φαινόμενο σε γενικές γραμμές υποεκτιμάται αλλά όσο αυξάνουμε το δείγμα πλησιάζουμε στην πραγματικότητα. Τέλος είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον το συμπέρασμα ότι ο χρόνος παράδοσης δρα ενισχυτικά σε κάθε περίπτωση.

Αναφορικά στην MA μέθοδο, οι εκτιμήσεις του φαινομένου εμφανίζονται αδιάφορες των τιμών αυτοσυσχέτισης που εξετάσαμε και σε εξάρτηση με το χρόνο παράδοσης, δηλαδή όσο αυξάνει το  $L$  αυξάνει και η ένταση του φαινομένου. Το γεγονός υποεκτιμάται και οι αποκλίσεις είναι μεγάλες σε σχέση με την μέθοδο MMSE για τις συγκεκριμένες τιμές του  $\phi$  γεγονός που υποδεικνύει το ότι η συγκεκριμένη μέθοδος δεν ενδείκνυται. Ίσως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις σύντομου χρόνου παράδοσης δεδομένης αδυναμίας χρήσης άλλης μεθόδου.

Τέλος, η ES μέθοδος μπορούμε να πούμε ότι εμφανίζεται αρκετά έγκυρη σε περιπτώσεις σύντομου χρόνου παράδοσης με την προϋπόθεση ότι θα επιλεγεί ο κατάλληλος παράγοντας εξομάλυνσης. Όμως, όσο αυξάνει το  $L$  τα μεγέθη υπερεκτιμώνται με μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη μέθοδο MMSE. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία να επιλεγεί ο κατάλληλος παράγοντας εξομάλυνσης για την πρόβλεψη της επόμενης περιόδου.

Συμπερασματικά όλων των ανωτέρω, αντιλαμβανόμαστε την πολύπλευρη διάσταση της διαδικασίας πρόβλεψης της ζήτησης και πως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην κατανόηση των παραμέτρων του προβλήματος που αντιμετωπίζουμε και ακόμη πιο προσεκτική επιλογή των εργαλείων με τα οποία θα επιχειρήσουμε να το λύσουμε.

## 6 Βιβλιογραφία

1. Ali, M.M., Boylan, J.E. & A.A. Syntetos (2012) Forecast errors and Inventory Performance under Forecast Information Sharing, *International Journal of Forecasting*, 28, 830-841
2. Ali, M.M., Babai, M.Z., Boylan, J.E. & A.A. Syntetos (2017) Supply Chain forecasting when information is not shared, *European Journal of Operational Research*, 260, 984-994
3. Alderson, Wroe, "Marketing Efficiency and the Principle of Postponement," *Cost and Profit Outlook*, Vol. 3, September (1950)
4. Bucklin, Louis P. , "A Theory of Distribution Channel Structure", IBER Special publication, Berkeley, California (1966)
5. Chen, Frank, et al. "Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information." *Management Science*, vol. 46, no. 3, 2000, pp. 436–443. JSTOR, JSTOR, [www.jstor.org/stable/2634741](http://www.jstor.org/stable/2634741).
6. Chen, Frank, Jennifer K. Ryan and David Simchi-Levi , "The Impact of Exponential Smoothing Forecasts on the Bullwhip Effect", *Naval Research Logistics*, Vol 47 (2000)
7. Chiang, Wei-yu Kevin, and George E. Monahan. "Managing inventories in a two-echelon dual-channel supply chain." *European Journal of Operational Research* 163.2 (2005): 325-341.
8. Choi, Hyun-cheol Paul. "Information sharing in supply chain management: a literature review on analytical research." *CMohammad M.Boylan J.fornia Journal of Operations Management* 8.1 (2010): 110-116
9. Cooper, Martha C. and John T. Gardner "Good Business Relationships: More Than Just Partnerships or Strategic Alliances," *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol.23, No.6 (1993), pp.14-20.
10. Cooper, Martha C., Lisa M. Ellram, John T. Gardner and Albert M. Hanks, "Meshing Multiple Alliances," *Journal of Business Logistics*, Vol. 18, No. 1 (1997), pp. 67-89.
11. Chopra, Sunil and Peter Meindl, 2001, "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations", Upper Saddle River, NJ:Prentice-Hall, Inc. Chapter 1
12. Cox, Reavis and Alderson Wroe , "Theory in Marketing", Chicago, IL: Richard D. Irwin, Inc., (1950)
13. Davis Tom, "Effective Supply Chain Management," *Sloan Management Review*, Vol. 34, No. 4 (Summer 1993), pp. 35-46.
14. Ganeshan, Ram, and Terry P. Harrison, 1995,"An Introduction to Supply Chain Management," Department of Management Sciences and Information Systems, 303 Beam Business Building, Penn State University, University Park, PA
15. Hamilton, J.D., 1994. *Time Series Analysis*. Princeton University Press, Princeton, NJ
16. Hugos, Michael - *Essentials of Supply Chain Management* - First published:12 March 2012 Print ISBN:9780470942185 |Online SBN:9781118386408 |DOI:10.1002/9781118386408 – Wiley online Library

17. Lambert, Douglas M., Cooper Martha C. and Janus D. Pagh, "Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 8, No. 1 (1997), pp. 1-14.
18. Lambert, Douglas M., Martha C. Cooper and Janus D. Pagh, "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, No. 2, 1998, pp. 1-19;
19. Lambert, Douglas M., and Martha C. Cooper. "Issues in supply chain management." *Industrial marketing management* 29.1 (2000): 65-84.
20. Lambert, Douglas M. , Croxton Keely L., Sebastián J. García-Dastugue, and Dale S. Rogers, "The Supply Chain Management Processes," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 12, No. 2, 2001, pp. 13-36.
21. Lambert, Douglas M., Margaret A. Emmelhainz and John. T. Gardner, "Developing and Implementing Supply Chain Partnership," *The International Journal of Logistics Management*, Vol.7, No.2 (1996), pp.1-17.
22. Lambert, Douglas M., Larry C. Guinipero and Gary J. Ridenhower, "Supply Chain Management: A Key to Achieving Business Excellence in the 21st Century,"
23. Lambert, Douglas M., James R. Stock and Lisa M. Ellram, "Fundamentals of Logistics Management", Burr Ridge, Illinois: Irwin/McGraw-Hill, 1998.
24. Lambert, Douglas M. and Terrance L. Pohlen, "Supply Chain Metrics," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 12, No. 1, (2001), pp. 1-19.
25. Lee, H.L., P. Padmanabhan, and S. Whang, "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect," *Management Science*, 1997.
26. Lee, Hau L; Padmanabhan, V; Whang, Seungjin, "The Bullwhip Effect In Supply Chains" , *Sloan Management Review*; Cambridge, Mass. Vol. 38, Iss. 3, (Spring 1997): 93.
27. Lee, Hau L., Kut C. So, and Christopher S. Tang. "The value of information sharing in a two-level supply chain." *Management science* 46.5 (2000): 626-644
28. Lee, H.L. and C. Billington, "Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities," *Sloan Management Review*, Spring 1992, pp. 65–73.
29. Lotfi, Zahra, et al. "Information sharing in supply chain management." *Procedia Technology* 11 (2013): 298-305.
30. Lummus, Rhonda R., Robert J. Vokurka, (1999) "Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines", *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 99 Issue: 1, pp.11-17, <https://doi.org/10.1108/02635579910243851>
31. Makridakis, Spyros G. , Steven C. Wheelwright, Rob J Hyndman, "Forecasting\_ Methods and Applications", Wiley (1997)
32. Mentzer, John T., William DeWitt, James S. Keebler, Soonhong Min, Nancy W. Nix, Carlo D. Smith, and Zach G. Zacharia, 2001, "Defining Supply Chain Management", *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, No. 2, p. 18



33. Porter, Michael E., *Competitive Advantage - Creating and Sustaining Superior Performance*, New York: The Free Press, 1984, pp. 36.
34. Roden, Sinéad, Simon Croom, "Supply Chain Management", First published: 22 January 2015 <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom100262> - Wiley Encyclopedia of Management
35. Silver, E.A., Pyke, D.F. & D.J.Thomas (2017) *Inventory and Production Management in Supply Chains*, Fourth Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group
36. Sterman, J., "Modeling Managerial Behavior: Misperception of Feedback in a Dynamic Decision-Making Experiment," *Management Science*, volume 35, number 3, 1989, pp. 321–339.
37. Sterman, J. and P. Senge, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization* (New York: Doubleday/Currency, 1990).
38. Tan, Keah Choon. "A framework of supply chain management literature." *European Journal of Purchasing & Supply Management* 7.1 (2001): 39-48.
39. The Supply Chain Council, 1997, <http://www.supply-chain.com/info/faq.html>
40. Zhang, X. (2004) The impact of forecasting methods on the bullwhip effect, *International Journal of Production Economics*, 88 (1), 15-27
41. Zhang, Tinglong, et al. "An integrated vendor-managed inventory model for a two-echelon system with order cost reduction." *International Journal of Production Economics* 109.1 (2007): 241-254.
42. Zhou, Qiang. "A taxonomic review of supply chain information sharing research." *Proceedings of the 11th Annual Conference (2006):827-839 of Asia Pacific Decision Sciences Institute*
43. Zhoua, Honggeng, W.C. Benton Jr. , "Supply chain practice and information sharing", *Journal of Operations Management - Volume 25, Issue 6, November 2007, Pages 1348-1365*
44. Wei, W.W.S., 1990. *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods*. Addison-Wesley, New York.
45. <https://www.atkearney.com/web/beer-distribution-game/the-bullwhip-effect>
46. Παπαδήμας, Δημήτρης, Διπλωματική Εργασία "Επιπτώσεις εκτίμησης των παραμέτρων του υποδείγματος ζήτησης AR(1) στο φαινόμενο Bullwhip", Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη Οικονομική , Φεβρουάριος 2018.