



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ»

Διπλωματική Εργασία

Επιχειρησιακή συνεργασία στη διαχείριση της  
εφοδιαστικής αλυσύδας: Το φαινόμενο Bullwhip και η  
αξία της πληροφόρισης

---

Νικολάου Ευδοκία Νικολέττα

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Κεβόρκ Ηλίας

Βόλος, Ιούνιος 2017

## Υπεύθυνη Δήλωση

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι η αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω τη προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογη έναντι λογοκλοπής που σημαίνει αποτυχία στη Διπλωματική μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Μεταπτυχιακού Τίτλου στην Εφαρμοσμένη Οικονομική του τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω συνεπώς, ότι αυτή η ΜΔΕ προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου σε περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής εργασίας.

Η ΔΗΛΟΥΣΑ

ΕΥΔΟΚΙΑ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Copyright © ΕΥΔΟΚΙΑ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Κ.ΗλίαΚεβόρκ.Χωρίς τη πολύτιμη βοήθειά του σε επιστημονικά και σε διαδικαστικά ζητήματα, τη συνεχή πρακτική και ηθική υποστήριξή του και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε , η πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας θα ήταν αδύνατη.Θα ήθελα ακόμα να τον ευχαριστήσω για τις απολαυστικές συζητήσεις μας, οι οποίες αποτέλεσαν και θα αποτελούν για μένα πολύτιμη πηγή έμπνευσης.Τέλος τον ευχαριστώ θερμά για την επιστημονική γέφυρα που μου δημιούργησε μεταξύ της επιστήμης των Μαθηματικών και των Οικονομικών.

## Συντομογραφίες

$D_t$  : Η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής στο τέλος της περιόδου  $t$ .

$L$  : Ο χρόνος παράδοσης που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής.

$L_1$  : Ο χρόνος παράδοσης που αντιμετωπίζει ο κατασκευαστής.

$S_t$  : Ανώτερο όριο επιπέδου αποθεμάτων

$Y_t$  : Η ποσότητα παραγγελίας του έμπορα λιανικής στο τέλος της περιόδου  $t$ .

$Q_t$  : Η ποσότητα παραγγελίας του προμηθευτή στο τέλος της περιόδου  $t$ .

$\widehat{D}_t$  : Η εκτιμώμενη ζήτηση έως το χρόνο παράδοσης  $L$  που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής.

$\widehat{Y}_t$  : Η εκτιμώμενη ζήτηση έως το χρόνο παράδοσης  $L_1$  που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής.

MMSE: Μέθοδος πρόβλεψης μέσω ελαχίστων τετραγώνων σφάλματος.

OUT: Παραγγελία έως το ανώτερο επίπεδο ( OrderUpToLevel).

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	7
Abstract.....	8
Εισαγωγή .....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....</b>	<b>12</b>
<b>ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ.....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Κατηγοριοποίηση ορισμών διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας .....	14
1.1.2 Οι δραστηριότητες μιας τυπικής εφοδιαστικής αλυσίδας.....	19
1.1.3 Χαρακτηριστικά και λειτουργίες διαχείρισης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.....	20
1.2 Εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων .....	21
1.3.1 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΩΝ.....	22
1.3 Στρατηγικές αναπλήρωσης αποθεμάτων .....	22
1.4.1 Order-Up-To (OUT) (R,S) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής.....	23
1.4.2 (s,Q) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής .....	25
1.4.3 (s,S) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής.....	26
1.4.4 (r,q) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής .....	26
1.4.5 (R,D) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής .....	27
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....</b>	<b>28</b>
<b>ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ BULLWHIP .....</b>	<b>28</b>
2.1 Ιστορική αναδρομή του φαινομένου Bullwhip.....	28
2.2 Αιτίες που προκαλούν το φαινόμενο Bullwhip.....	31
2.3 Η αξία της πληροφόρησης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	36
2.3.1 Κατηγορίες πληροφοριών .....	37
2.3.2 Ανταλλαγή αποθεματικών πληροφοριών .....	39
2.3.3 Ανταλλαγή πληροφοριών ζήτησης.....	41
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....</b>	<b>43</b>
<b>ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΖΗΤΗΣΗΣ .....</b>	<b>43</b>
3.1 Το φαινόμενο Bullwhip συνδυαστικά με υποδείγματα που έχουν χρησιμοποιηθεί.....	43
3.1.1 Υποδείγματα μέτρησης του φαινομένου Bbullwhip .....	43
3.1.2 Διορθωτικά μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου.....	47
3.1.3 Μέθοδος υπολογισμού του φαινομένου .....	48

3.2	Στάσιμες χρονολογικές σειρές.....	50
3.3.1	Η διαδικασία ζήτησης με χρήση αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος 1 <sup>ης</sup> τάξης AR(1) .....	51
3.3.2	Η διαδικασία ζήτησης με χρήση υποδείγματος κινητών μέσων 1 <sup>ης</sup> τάξης MA(1) ..	55
3.3.3	Η διαδικασία ζήτησης με χρήση αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος κινητών μέσων 1 <sup>ης</sup> .....	58
3.3	Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης L .....	60
3.4.1	Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης L όταν η ζήτηση είναι μια AR(1) διαδικασία.....	61
3.4.2	Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης L όταν η ζήτηση είναι μια MA(1) διαδικασία.....	62
3.4.2	Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης L όταν η ζήτηση είναι μια ARMA(1,1) διαδικασία .....	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	.....	<b>67</b>
<b>ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΕΩΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ</b>	.....	<b>67</b>
4.1	Διαφορετικοί μέθοδοι πρόβλεψης ζήτησης.....	67
4.2	Πρόβλεψη ζήτησης έμπορου λιανικής έως το χρόνο παράδοσης από AR(1) διαδικασία .....	69
4.3.1	Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας $Y_t$ από τον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση του ακολουθεί μια διαδικασία AR(1).....	72
4.3.2	Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας $Q_t$ από τον προμηθευτή όταν η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής είναι AR(1) .....	75
4.3	Πρόβλεψη ζήτησης έμπορου λιανικής έως το χρόνο παράδοσης από MA(1) διαδικασία .....	81
4.4.1	Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας $Y_t$ από τον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση του ακολουθεί μια διαδικασία MA(1).....	83
4.4.2	Η διαδικασία παραγγελίας $Q_t$ από τον προμηθευτή όταν η ζήτηση του εμπόρου λιανικής ακολουθεί μια MA(1).....	85
4.4	Πρόβλεψη ζήτησης εμπόρου λιανικής έως το χρόνο παράδοσης από ARMA(1,1) διαδικασία.....	88
4.5.1	Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας $Y_t$ από τον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση ακολουθεί διαδικασία ARMA(1,1).....	90

4.5.2 Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας $Q_t$ από τον προμηθευτή όταν η ζήτηση του εμπορίου λιανικής ακολουθεί $ARMA(1,1)$ .....	92
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b> .....	<b>94</b>
<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ BULLWHIP ΣΤΑ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΜΕ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΜΟ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ</b> .....	<b>94</b>
5.1 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip στον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση $AR(1)$ διαδικασία.....	95
5.1.1 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μία $AR(1)$ διαδικασία .....	98
5.2 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip στον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση $MA(1)$ διαδικασία .....	105
5.3.1 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μία $MA(1)$ διαδικασία .....	106
5.3 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip στον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση $ARMA(1,1)$ διαδικασία.....	107
5.3.1 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μία $ARMA(1,1)$ διαδικασία .....	112
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b> .....	<b>119</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b> .....	<b>119</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>122</b>

## Περίληψη

Στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τη σχέση που υπάρχει μεταξύ της πρόβλεψης ζήτησης και του φαινομένου του Bullwhip όταν η ζήτηση στο επόμενο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι γνωστή. Θα αναλύσουμε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων, όπου στο κάθε επίπεδο βρίσκεται ένα μόνο μέλος (προμηθευτής ή έμπορος λιανικής). Οι χρόνοι παράδοσης του προϊόντος θεωρούμε ότι είναι σταθεροί και ίση με  $L$  και  $L_1$  αντίστοιχα και για τα δύο επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ζήτηση  $D_t$  του έμπορα λιανικής και  $Y_t$  του προμηθευτή είναι τυχαίες μεταβλητές. Εστιάζουμε σε τρεις στάσιμες διαδικασίες για τη ζήτηση  $D_t$  που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής:  $AR(1)$ ,  $MA(1)$ ,  $ARMA(1,1)$  και στις επακόλουθες διαδικασίες ζήτησης που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής. Θεωρούμε πως και τα δύο επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας χρησιμοποιούν την ίδια μέθοδο αποθεματικής πολιτικής περιοδικής επιθεώρησης  $(R,S)$ . Αυτές οι διαδικασίες είναι ευρύτερα γνωστές σε δεδομένα εργοστασιακών πωλήσεων. Η στρατηγική πρόβλεψης που θα συναντήσουμε στη παρούσα εργασία θα είναι η μέθοδος των μέσων ελαχίστων τετραγώνων των σφαλμάτων (MMSE). Στη ανάλυση που θα ακολουθήσει θα εφαρμόσουμε το σενάριο: Πρόβλεψη ζήτησης με χρήση πληροφόρησης ζήτησης (FIS), η επίδρασή της στο φαινόμενο Bullwhip και πως επηρεάζεται από τις παραμέτρους των διαδικασιών και τους χρόνους παράδοσης και στα δύο επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Λέξεις κλειδιά: Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, Μέθοδος αποθεματικής αναπλήρωσης  $(R,S)$ , Πρόβλεψη ζήτησης με MMSE, Φαινόμενο Bullwhip



## Abstract

In this paper we will deal with the relationship between demand forecast and bullwhip effect when demand at next stage of the supply chain is known. We are going to analyze a two level supply chain, where a single member is located on each level (retailer or supplier). The lead time for each member is fixed,  $L$  for retailer,  $L_1$  for supplier. The demand of retailer is  $D_t$  and of supplier is  $Y_t$  we suppose that are random variables. We focus on three stationary processes for demand  $D_t$  those that retailer faces: AR(1), MA(1), ARMA(1, 1) and subsequent of that demands that supplier faces. We take for granted that both levels of our supply chain use the same inventory policy (R, S). Those procedures are widely known in factory sales data. The prediction strategy which we will meet in this paper is Minimum Mean Squared Error (MMSE). In our analysis we will investigate the scenario: Forecasting demand with demand information sharing (FIS), its effect on Bullwhip phenomenon and how it is affected by the demand parameters and lead times.

Keywords: Supply chain management, Inventory policy (R, S), and Demand forecast with MMSE. BullwhipEffect

## Εισαγωγή

Ο όρος διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας τα τελευταία χρόνια έχει κάνει ιδιαίτερα αισθητή τη παρουσία του ανάμεσα στις σύγχρονες επιχειρήσεις (Larson,Rogersetal. 1998).Η σωστή και ομαλή διαχείριση της διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στη διατήρηση της βιωσιμότητας μιας επιχείρησης καθώς και στην ανάπτυξή της.Μεγάλο μέρος συγγραφέων έχει ασχοληθεί με αυτό το τομέα.Υπάρχουν ωστόσο διάφορων επιπέδων εφοδιαστικές αλυσίδες, πολλαπλών επιπέδων, τριών επιπέδων και με τη πιο απλή να είναι αυτή των δύο επιπέδων.Κάθε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να ακολουθεί τη δική του αποθεματική πολιτική ωστόσο η πιο διαδεδομένη ανάμεσα στους συγγραφείς φαίνεται να είναι η αποθεματική πολιτική περιοδικής επιθεώρησης (R,S)(Disney,Stephenetal. 2007;Dejoncheere,Jeroenetal. 2003).Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός που υπάρχει ανάμεσα στις επιχειρήσεις τις έχει οδηγήσει σε υψηλές διακυμάνσεις ζήτησης με αρκετές εταιρίες ακόμη και σήμερα να μην έχουν υιοθετήσει ένα σωστό μοντέλο πρόβλεψης της (Hussainetal. 2010)δικαιολογώντας την απόφαση τους λέγοντας πως γνωρίζουνε πως οι προβλέψεις θα είναι λάθος και πως είναι ανέφικτο να γίνει σωστή πρόβλεψη στη δική τους επιχείρησή.Η πρόβλεψη της ζήτησης ωστόσο όπως έχουν αποδείξει αρκετοί συγγραφείς είναι ζωτικής σημασίας για οποιοδήποτε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας είτε αυτό είναι ο έμπορος λιανικής είτε ο προμηθευτής είτε ο κατασκευαστής.Η ζήτηση προτείνουν να είναι το μέγεθος το οποίο πρέπει να καθοριστεί το σωστό ύψος της παραγγελίας.Ακριβείς προβλέψεις μελλοντικής ζήτησης μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλά επίπεδα εξυπηρέτησης πελατών και χαμηλά αποθεματικά κόστη.Υπάρχουν φυσικά διάφοροι μέθοδοι πρόβλεψης που μπορεί κάθε επιχείρηση να χρησιμοποιήσει.Άλλες μέθοδοι είναι πιο εύχρηστες και άλλες οι οποίες χρειάζονται αυξημένες ικανότητες.Ωστόσο σύμφωνα με τους Hussainetal. (2010) διαφορετικοί μέθοδοι πρόβλεψης δημιουργούν διαφορετική εκτίμηση της ζήτησης με αποτέλεσμα διαφορετικές τοποθετήσεις παραγγελιών.Στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει παρατηρηθεί πως η διακύμανση της ζήτησης που αντιμετωπίζει κάθε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας, όσο κινούμαστε ανοδικά προς αυτή , παρουσιάζει μια αυξητική τάση (Chen,Drezner,RyanandSimchi-Levi 2000).Το φαινόμενο αυτό έγινε αντιληπτό από την εταιρεία P&Gστο προϊόν Pampers το οποίο μάλιστα την οδήγησε στη πτώχευσή της.Ως φαινόμενο για πρώτη φορά έγινε ευρέως γνωστό από τον Forrester (1961).Αν και αυτός ήταν

ο πρώτος που ασχολήθηκε εντατικά με αυτό το θέμα παρόλο αυτά το όνομα του το πήρε από τους (Leeetal. 1997). Η επίδραση ωστόσο του φαινομένου μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στη σωστή διαχείριση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως αποθεματικό κόστος, κακή εξυπηρέτηση πελατών και πολλά άλλα. Τις τελευταίες δεκαετίες οι περισσότεροι ερευνητές μελέτησαν το φαινόμενο Bullwhip σε συγκεκριμένες θεματικές ενότητες, όπως: τις πιθανές αιτίες που δημιουργούν το φαινόμενο όπως η ανακριβής πρόβλεψη της ζήτησης και οι χρόνοι παράδοσης των προϊόντων, πιθανούς τρόπους αντιμετώπισής του καθώς και μεθόδους υπολογισμού του προσπαθώντας έτσι να αναδείξουν τη σημαντικότητα που αυτό παρουσιάζει.

Ως προς τη δομή της εργασίας μας, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η διοίκηση της εφοδιαστικής αλυσίδας δύο επιπέδων, οι δραστηριότητες τις, πιθανά αποθεματικά μοντέλα αναπλήρωσης, ιστορική ανασκόπηση του φαινομένου Bullwhip καθώς και τα διάφορα είδη πληροφοριών που μπορούν να αναπτυχθούν ανάμεσα στα επίπεδά της. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενέστερη ανασκόπηση σε σχέση με τα διάφορα στάσιμα υποδείγματα στοχαστικής ζήτησης που χρησιμοποιούνται συχνότερα όπως AR(1), MA(1), ARMA(1,1) και μία εκτενέστερη αναφορά στο φαινόμενο Bullwhip και τους πιθανούς τρόπους αντιμετώπισής του. Το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται τις διαφορετικές μεθόδους προβλέψεως θεωρώντας πως οι χρόνοι παράδοσης των προϊόντων και για τα δύο επίπεδα είναι σταθεροί στο πρώτο μέρος του ενώ στο δεύτερο μέρος του γίνεται πρόβλεψη ζήτησης και για τα δύο επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας με τη μέθοδο των Minimum Mean Squared Error με την υπόθεση πως κάθε μέλος γνωρίζει τη ζήτηση που αντιμετωπίζει το προηγούμενο. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική εκτίμηση που έχουν οι χρόνοι παράδοσης, η αυτοπαλίνδρομη παράμετρος  $\rho$  καθώς και η παράμετρος κινητών μέσων  $\theta$  στο φαινόμενο Bullwhip με σκοπό να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα συγκεκριμένα συμπεράσματα για μελλοντική ελαχιστοποίηση της επίδρασης του φαινομένου. Όλα τα διαγράμματα της παρούσας εργασίας έχουν πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του προγράμματος wxMaxima 0.8.6. Τέλος ακολουθούν τα συμπεράσματα της έρευνά μας καθώς και κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 : Ορισμοί Εφοδιαστικής Αλυσίδας .....	17
Πίνακας 1.2 : Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας .....	19
Πίνακας 3.1: Άρθρα σχετικά με την επίδραση του χρόνου παράδοσης στο φαινόμενο Bullwhip .....	47
Πίνακας 3.2: Έρευνες σχετικά με την επίδραση της μεθόδου πρόβλεψης στο φαινόμενο Bullwhip ...	64

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

#### 1.1 Ορισμός της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας (SupplyChainManagement)

Τα τελευταία χρόνια η έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί ένα πεδίο αυξανόμενου ενδιαφέροντος, τόσο για την επιστημονική κοινότητα, όσο και για τις επιχειρήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Στο αυξανόμενο αυτό ενδιαφέρον οφείλεται και η ύπαρξη πληθώρας ορισμών και προσεγγίσεων από πάρα πολλούς συγγραφείς.

Ο όρος εφοδιαστική αλυσίδα, αναφέρεται σε ένα σύστημα που αποτελείται από τους προμηθευτές υλικού, τις εγκαταστάσεις παραγωγής, τις υπηρεσίες διανομής και τους πελάτες οι οποίοι όλοι συνδέονται μεταξύ τους μέσω του «downstreamflowofmaterials» και του «upstreamflowoforders» (Disney et al. 2008). Ουσιαστικά υποδηλώνει ένα σύνολο ενεργειών που ως στόχο έχει τον άριστο συντονισμό όλων των προαναφερομένων κρίκων.

Σε μία τυπική εφοδιαστική αλυσίδα ο προμηθευτής παρέχει τη πρώτη ύλη στον κατασκευαστή, ο προμηθευτής παράγει και προμηθεύει με το τελικό προϊόν τους χονδρέμπορους, οι οποίοι με τη σειρά τους προμηθεύουν τους εμπόρους λιανικής πώλησης μέσω των οποίων το τελικό προϊόν θα καταλήξει στους καταναλωτές (Luong 2006). Στο σχήμα που φαίνεται παρακάτω αναπαριστάται μία τυπική εφοδιαστική αλυσίδα με τη διαδρομή που ακολουθεί το προϊόν προκειμένου να φτάσει στον τελικό καταναλωτή (Product flow) καθώς και με τη διαδρομή που ακολουθεί η ζήτηση (Information flow).

Σχήμα 1.1



Πηγή: Constantino Francesco et al. (2013)

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας , αποτελεί ένα σύνολο δραστηριοτήτων οι οποίες στοχεύουν στον αποτελεσματικό συντονισμό των προμηθευτών , των κατασκευαστών , των αποθηκών και των καταστημάτων λιανικής πώλησης προκειμένου να επιταχύνεται η διαδικασία παραγωγής και διανομής των εμπορευμάτων , όχι μόνο στις σωστές ποσότητες αλλά και στο σωστό χρόνο ώστε το συνολικό κόστος που επιβαρύνει το σύστημα να ελαχιστοποιείται σημειώνοντας ταυτόχρονα υψηλό επίπεδο υπηρεσιών (Zhou, Benton 2007).

Έντονο ενδιαφέρον έχει παρουσιάσει από τη δεκαετία του 1990 για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (LarsonRogersetal.1998).Από τότε έχουν δημοσιευθεί σε άρθρα και βιβλία πάνω από 173 διαφορετικοί ορισμοί (Stocketal.2010).Δυστυχώς δεν υπάρχει ακριβής ορισμός και ρητή περιγραφή διαχείρισης ή των δραστηριοτήτων μιας εφοδιαστικής αλυσίδας(New, Stephen 1997) λόγω της πληθώρας των ορισμών όπως αυτοί έχουν δοθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες (Stocketal.2009).

### Σχήμα1.2: Ορισμοί SCMκαι δημοσιεύσεις

Year	Refereed journal articles	Total of all publications <sup>a</sup>
1994	49	232
1995	74	361
1996	143	593
1997	122	908
1998	194	1,411
1999	310	1,684
2000	403	2,074
2001	443	2,421
2002	515	2,147
2003	586	3,378
2004	743	2,113
2005	796	2,435
2006	922	2,495
2007	902	2,293
2008	1,105	2,892

Note: <sup>a</sup>Total of both practitioner trade publications and refereed journal articles

Source: ABI/INFORM

### Πηγή : Stocketal.2009

Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμο για την ορθή παρουσίαση της εν λόγω εργασίας , να δοθούν μερικοί διαθέσιμοι ορισμοί διαχείρισης μιας τυπικής εφοδιαστικής αλυσίδας όπως βρέθηκαν στην έρευνα μας. Οι ορισμοί μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κύριες κατηγορίες με κάθε κατηγορία να μπορεί να χωριστεί με τη σειρά της σε υποκατηγορίεςόπως φαίνονται στο

παρακάτω σχήμα (Stocket.al2010).Τον ίδιο διαχωρισμό χρησιμοποιούν και πολλοί άλλοι συγγραφείς στα άρθρα τους (Lotfi,Zahraetal.2013).

### 1.1.1 Κατηγοριοποίηση ορισμών διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας

- **1<sup>η</sup> Κατηγορία: Ενέργειες.**

Σε αυτή τη κατηγορία περιέχονται δύο υποκατηγορίες που έχουν να κάνουν με τις :

#### I. Ροές ( υλικές ή πληροφορίας ή οικονομικές).

Οι αλυσίδες εφοδιασμού περιλαμβάνουν τρεις σημαντικές ροές: Υλικών, Πληροφορίας και οικονομικές.Η διαχείριση ο συντονισμός και η ολοκλήρωση αυτών των ροών μεταξύ των μελών είναι απαραίτητη για την επίτευξη ανάπτυξης και αποτελεσματικής διαχείρισης της λόγω του ότι θεωρείται προαπαιτούμενο για τη ποιότητα των υπηρεσιών της και της κερδοφορίας (Baihaqi , Imametal. 2006).

Αρκετοί συγγραφείς την ορίζουν μέσω τόσο της ροής των υλικών όσο και της πληροφορίας από τον κατασκευαστή στον τελικό καταναλωτή (Zsidisin, JunandAdams 2000).Ουσιαστικά πρόκειται για για πράξη ανταλλαγής πληροφοριών και οικονομικών πληροφοριών έτσι ώστε να μπορέσουν να προβούν σε μια είδους αποκρυπτογράφησης των αναγκών και της ζήτησης του προϊόντος από τους τελικούς καταναλωτές και ενίσχυσης της σωστής λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας (Kilger , Christophetal.2015).

Οι ArthurD, Little, Inc (1991) από τη πλευρά τους την περιγράφουν ως τη διαχείριση των πρώτων υλών ,της διεργασίας και του τελικού προϊόντος από το αρχικό σημείο έως το τελικό σημείο κατανάλωσης. Ταυτόχρονα ,περικλείουν τόσο τον σχεδιασμό και έλεγχο των υλικών αλλά και των πληροφοριών από τον κατασκευαστή στον καταναλωτή. Στο ίδιο μοτίβο κίνησης υλικών και πληροφορίας εντάσσεται και ο StevensG.C (1989) καθώς και οι Lambert, Cooperetal. (1998).

Ωστόσο , υπάρχουν και αρκετοί συγγραφείς οι οποίοι αναγνωρίζουν αυτή τη κίνηση – ροή των υλικών και της πληροφορίας ως αμφίδρομη μεταξύ των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας (HandfieldandNichols 1999).

## Π. Σχέσεις που αναπτύσσονται στο δίκτυο (είτε είναι εσωτερικές είτε εξωτερικές).

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει ως στόχο την οικοδόμηση δεσμών εμπιστοσύνης μεταξύ των μελών που την απαρτίζουν, την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τις ανάγκες της αγοράς, την ανάπτυξη νέων προϊόντων καθώς και τη μείωση της βάσης του αποθέματος του προμηθευτή έτσι ώστε να γίνει απελευθέρωση των πόρων για ουσιαστική και μακροπρόθεσμη σχέση (Berryetal. 1995). Συνεπώς είναι ένα διαχειριστικό μέσο των σχέσεων διασύνδεσης μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών και των λειτουργιών των επιχειρήσεων (WaltersandLancaster 2000).

### • **2<sup>η</sup> Κατηγορία: Οφέλη**

Τα οφέλη πλεονεκτήματα τα οποία απορρέουν από την αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας εμφανίζονται επαλειμμένος στους πιθανούς ορισμούς της. Τα οφέλη λοιπόν αποτελούν από μόνο τους μία ξεχωριστή κατηγορία ορισμών με τη δυνατότητα επέκτασης στις παρακάτω τρεις κατηγορίες (StockJamesetal. 2010).

#### I. Πρόσθεση Αξίας

Ο ChristopherMartinL. (1992) την ορίζει ως ένα δίκτυο οργανισμών οι οποίοι συμμετέχουν μέσω ενός <<upstream>> και <<downstream>> επιπέδου υπηρεσιών, με διαφορετικές διαδικασίες και ενέργειες οι οποίες προσθέτουν αξία στη παράδοση των προϊόντων ή των υπηρεσιών στα χέρια του τελικού καταναλωτή.

#### II. Βελτίωση αποτελεσματικότητας

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνει επομένως όλα τα υλικά ή τη διαχείριση από την παροχή των βασικών πρώτων υλών έως τη κατασκευή του τελικού προϊόντος (το οποίο ενδέχεται να περιέχει και την επανατοποθέτηση ή την ανακύκλωσή του). Επικεντρώνεται κυρίως στον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες χρησιμοποιούν την τεχνολογία και τις δυνατότητες των προμηθευτών τους με σκοπό οι ίδιες να ενισχύσουν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημά τους. Πρόκειται λοιπόν για μια φιλοσοφία με σκοπό να φέρει τους εμπορικούς εταίρους σε ένα κοινό στόχο βελτίωσης της αποτελεσματικότητά τους (Tan,Choon 2001)



III. Αύξηση ικανοποίησης πελατών.

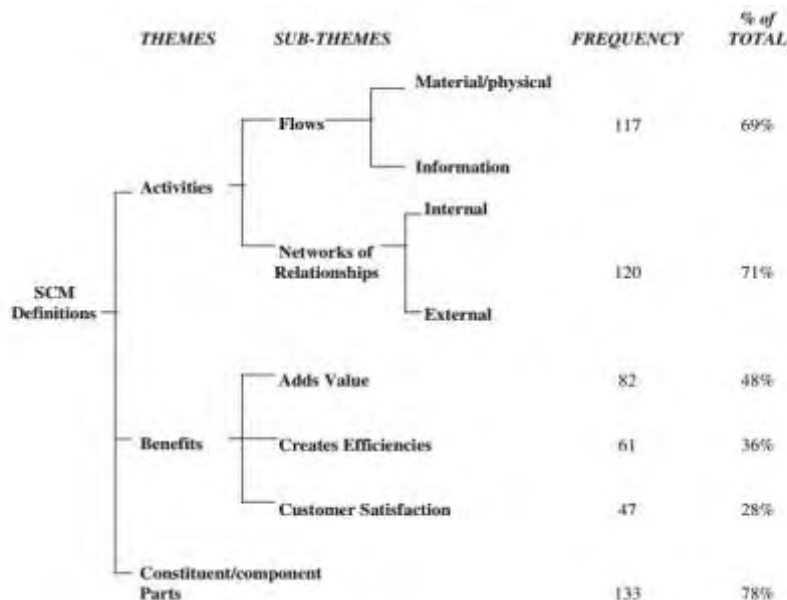
Υπάρχουν πολλοί συγγραφείς που ορίζουν τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω της αύξησης της ικανοποίησης των πελατών (Taylor 1997).

• Συστατικά μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας

Όπως μπορούμε να δούμε και με τη βοήθεια του σχήματος 3 , σε σύνολο 166 άρθρων που μελέτησαν οι Stocketal.2010 , παρατηρούμε ότι τα συστατικά μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας τα συναντούμε στο 78% περίπου των διαθέσιμων ορισμών.

Με τον όρο συστατικά μέρη μια εφοδιαστικής αλυσίδας εννοούμε ένα σύνολο περιφερειακών μερών ,όπως σύνολο φορέων ,των υπηρεσιών logistics καθώς και τον προμηθευτών με τη συμβολή των τελευταίων στη διευκόλυνση μετακίνησης των τελικών προϊόντων στα χέρια των τελικών καταναλωτών. (Korezak 1997) .Σε αυτή την υποκατηγορία των συστατικών μερών προσθέτονται και ο έλεγχος αποθεμάτων , ο χειρισμός των υλικών , η κατασκευή , η διανομή καθώς και όλα εκείνα τα συστήματα και τις λειτουργίες επιχειρήσεων που εμπλέκονται στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (ArthurD,LittleInc 1991).

**Σχήμα1.3: Συχνότητα ορισμών SCM και υποκατηγορίες**



Πηγή: Stock James et al.2010

Τα αποτελέσματα διάφορων δυνατών ορισμών δίνονται με τη βοήθεια του πίνακα 1.1.

**Πίνακας 1.1 : Ορισμοί Εφοδιαστικής Αλυσίδας**

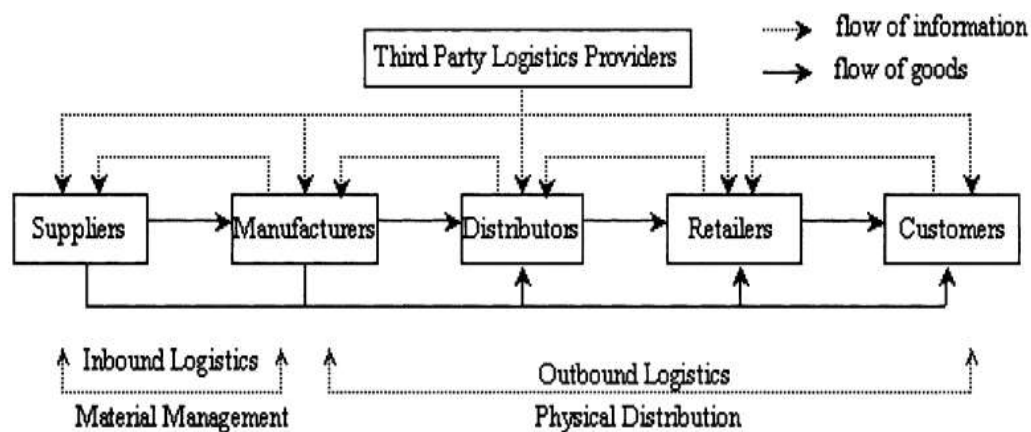
<u>ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ</u>	<u>ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ</u>
Tan et al.(1998)	Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνει υλικά/διαχείριση από την παροχή βασικών πρώτων υλών έως τη κατασκευή του τελικού προϊόντος (αυτό ίσως περιέχει και την έννοια της ανακύκλωσης και επαναποθέτησης). Επικεντρώνεται κυρίως στο τρόπο με τον οποίο οι εταιρίες χρησιμοποιούν την τεχνολογία και τις δυνατότητες των προμηθευτών με σκοπό να ενισχύσουν το ανταγωνιστικό τους πλεονέκτημα. Πρόκειται για μια φιλοσοφία η οποία έχει ως σκοπό να φέρει τους εμπορικούς εταίρους σε έναν κοινό στόχο βελτίωσης και αποδοτικότητας.
Monczka, Trent, and Handfield (1998)	Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μία έννοια της οποίας πρωταρχικός στόχος είναι η ενσωμάτωση και διαχείριση των πρώτων υλών , της ροής και του ελέγχου των υλικών σε πολλαπλά επίπεδα προμηθευτών.
Berry et al.(1994)	Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει ως στόχο την οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ των μελών που την απαρτίζουν , την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τις ανάγκες της αγοράς , την ανάπτυξη νέων προϊόντων καθώς και τη μείωση της βάσης του προμηθευτή έτσι ώστε να γίνει απελευθέρωση πόρων για ουσιαστική ανάπτυξη και μακροπρόθεσμη σχέση των μελών.
Jones and Riley (1985)	Πρόκειται για μια ολοκληρωτική προσέγγιση για την αντιμετώπιση και τον έλεγχο της κινητικότητας των εμπορευμάτων από το αρχικό στάδιο των προμηθευτών έως των τελικό καταναλωτή.
Saunders (1995)	Ορίζεται ως η συνολική αλυσίδα ανταλλαγής , από την αρχική πηγή πρώτης ύλης μέσω των διαφόρων εταιρειών που συμμετέχουν στην εξόρυξη και επεξεργασία των πρώτων υλών , τη συναμολόγηση , τη διανομή και την λιανική πώληση με σκοπό να διατεθεί το τελικό προϊόν στους καταναλωτές.
Ellram (1991)	Πρόκειται για ένα δίκτυο εταιρειών οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να παραχθεί και να μεταφερθεί το τελικό προϊόν ή η υπηρεσία στον τελικό καταναλωτή.
Christopher Martin L. (1992)	Είναι ένα δίκτυο οργανισμών οι οποίες συμμετέχουν μέσω ενός <<upstream>> και <<downstream>> επιπέδου υπηρεσιών , με διαφορετικές διαδικασίες και ενέργειες οι οποίες προσδίδουν αξία στη παράδοση των προϊόντων ή υπηρεσιών στα χέρια του τελικού καταναλωτή.
Lee and Billington (1992)	Δίκτυα κατασκευής και διανομής τα οποία προμηθεύονται τις πρώτες ύλες , έπειτα τις μετατρέπουν σε προϊόντα ή υπηρεσίες και τέλος τα διανέμουν στους τελικούς καταναλωτές.
Harland (1996)	Διαχειρίσιμη επιχειρηματικών δραστηριοτήτων στο πλαίσιο ενός οργανισμού με άμεσους προμηθευτές και πελάτες κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας.
Korzak (1997)	Σύνολο φορέων , συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών , των παροχών υπηρεσιών logistics και τέλος των διανομέων μέσω των οποίων τα τελικά προϊόντα μετακινούνται.
Lee Ng (1997)	Ένα δίκτυο εταιρειών που ξεκινά με τον προμηθευτή του διανομέα και τελειώνει με την παράδοση των αγαθών ή των υπηρεσιών στον πελάτη.

**Πηγή: Simon Croom , Pietro Romalo, Mih Mohammad M. Boylan J. s Giannakis 2000**

Με τον όρο εφοδιαστική αλυσίδα χαρακτηρίζουμε λοιπόν ένα σύνολο επιχειρήσεων οι οποίες συνδέονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω πληθώρας διαδικασιών. Η επιχειρηματική διαδικασία είναι μια λογική συνέχεια συνδεδεμένων και επαναλαμβανόμενων δραστηριοτήτων, η οποία αξιοποιεί τις πλουτοπαραγωγικές πηγές μιας επιχείρησης με σκοπό να πετύχει συγκεκριμένα και μετρήσιμα αποτελέσματα (Handfield&Nichols, 2002).

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, στη παρακάτω εικόνα φαίνεται μια τυπική εφοδιαστική αλυσίδα πολλών επιπέδων.

**Σχήμα 1.4**



**Πηγή: H.Min, G. Zhou 2002**

Με βάση τον πίνακα 1 μπορούμε να πούμε ότι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Προσεγγίζει συστήματα για την προβολή της αλυσίδας εφοδιασμού ως σύνολο καθώς διαχειρίζεται ταυτόχρονα τη συνολική ροή των αγαθών από τον κατασκευαστή έως και τον τελικό καταναλωτή (LeeandBilligton 1992, Mentzeretal. 2001)
- Έχει στρατηγικό προσανατολισμό όσο αφορά τις προσπάθειες συνεργασίας για τον συγχρονισμό όλων των επιπέδων της αλυσίδας σε ένα ενιαίο σύνολο και τέλος (Mentzeretal.2001)
- Εστιάζει στον πελάτη με σκοπό να δημιουργήσει εξατομικευμένες πηγές για την ικανοποίηση του (Mentzeretal.2001).

### 1.1.2 Οι δραστηριότητες μιας τυπικής εφοδιαστικής αλυσίδας

Με την υιοθέτηση μίας συγκεκριμένης φιλοσοφίας τα διάφορα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας προσπαθούν να καθιερώσουν διάφορες πρακτικές οι οποίες τους επιτρέπουν να ενεργούν και να συμπεριφέρονται με συνέπεια. Για αυτό το λόγο αρκετοί συγγραφείς έχουν επικεντρωθεί στις διάφορες δραστηριότητες που συνιστούν τη σωστή διαχείριση μια εφοδιαστικής αλυσίδας (Tan, KeahChoon 2001).

Στο πίνακα 2 φαίνονται συγκεντρωτικά οι διάφορες δραστηριότητες της όπως αυτές έχουν μελετηθεί κατά καιρούς από διάφορους συγγραφείς (Mentzeretal.2001).

**Πίνακας 1.2 : Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας**

	<b>Δραστηριότητα</b>
<b>1</b>	Ολοκληρωμένη συμπεριφορά
<b>2</b>	Αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών
<b>3</b>	Αμοιβαία διαχείριση κινδύνων και ανταμοιβών
<b>4</b>	Συνεργασία
<b>5</b>	Κοινοί στόχοι με σκοπό την εξυπηρέτηση των πελατών
<b>6</b>	Ολοκλήρωση διαδικασιών
<b>7</b>	Εταίροι με στόχο να δημιουργήσουν και να διατηρήσουν μακροπρόθεσμες σχέσεις

**Πηγή: Mentzeretal.2001**

Παρά ταύτα όπως παρατηρούμε και από των παραπάνω πίνακα 1 δεν είναι μόνο οι διαφορετικοί ορισμοί στην έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας που κάνουν πολύπλοκη την έρευνά μας , αλλά και τα πολλά και διαφορετικά επίπεδα της. Για το λόγω στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας δύο επιπέδων.

### 1.1.3 Χαρακτηριστικά και λειτουργίες διαχείρισης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας

Η διαχείριση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η μοναδική ολοκληρωμένη λύση που προσφέρει ένα σύνολο χαρακτηριστικών και λειτουργιών για τέτοιου είδους δίκτυα. Περιλαμβάνει:

- Προγραμματισμό (Planning) : Καθιστά δυνατή τη μοντελοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας παρέχοντας ολοκληρωμένες δυνατότητες προγραμματισμού, συμπεριλαμβάνοντας τον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας ,το προγραμματισμό απαιτήσεων-παραγωγής-εφοδιασμού-μεταφοράς.
- Εκτελεί: Ενοποιεί τα συστήματα του προγραμματισμού , logistics και συναλλαγών μέσω εφαρμογών διαχείρισης υλικών, παραγωγής , παραγγελιών, εκτέλεσης μεταφορών.
- Συντονισμό: Επιτρέπει τη παρακολουθήσει και ανάλυση διαδικασιών εντός και εκτός της επιχείρησης.
- Συνεργασία: Παρέχει τη δυνατότητα πληροφόρησης και επίτευξης κοινών στόχων μέσω του συνεργατικού σχεδιασμού πρόβλεψης και αναπλήρωσης και των εφαρμογών διαχείρισης αποθεμάτων.

Μια εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει λειτουργίες (Tan, KeahChoon 2001) όπως:

1. Ολοκληρωμένο σχεδιασμό προσφοράς και ζήτησης
2. Εκπλήρωση παραγγελιών και παροχή υπηρεσιών στον πελάτη
3. Προμήθειας
4. Προβλέψεις
5. Διοίκηση αποθεμάτων
6. Logistics
7. Δίκτυο διανομής και διοίκησης αποθεμάτων
8. Μεταφορά και αποστολή αποθεμάτων.

Σύμφωνα με τους CheryTree&Co (2000) οι επιχειρήσεις υλοποιώντας τις εφαρμογές διαχείρισης εμπορευμάτων μπορούν να πετύχουν τα εξής αποτελέσματα:

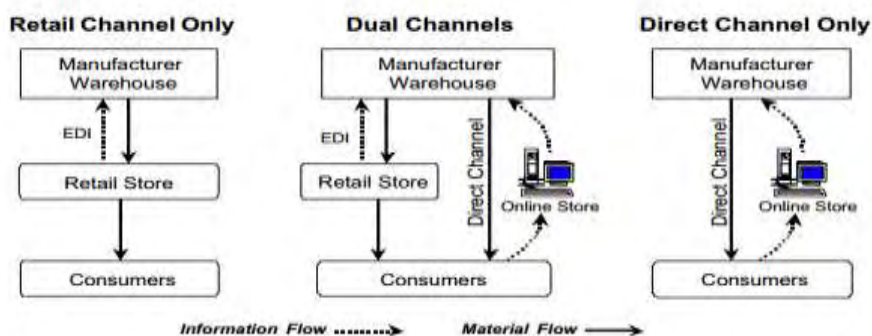
1. Μείωση του κόστους αποθεμάτων μέσω συντονισμού παραγωγής και ζήτησης
2. Μείωση συνολικού κόστους με τη βελτίωση της πληροφοριακής ροής μεταξύ προμηθευτή και κατασκευαστή
3. Βελτίωση της ικανοποίησης των πελατών με την αναβάθμιση της έγκαιρης παράδοσης των προϊόντων.

## 1.2 Εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων

Ας υποθέσουμε μία τυπική μορφή εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία αποτελείται στο πρώτο επίπεδο από τον κατασκευαστή του προϊόντος και στο δεύτερο επίπεδο από τον έμπορο λιανικής πώλησης.

Ο προμηθευτής χρησιμοποιεί τόσο τον κλασικό τρόπο μεταπώλησης του προϊόντος μέσω του έμπορα λιανικής αλλά και μέσω ενός διαδικτυακού καναλιού απευθείας. Στον κλασικό τρόπο πώλησης η ζήτηση αντιμετωπίζεται από το κατάστημα λιανικής που βρίσκεται στο δεύτερο επίπεδο ενώ αντίθετα όταν η ζήτηση είναι μέσω διαδικτύου καλύπτεται από το πρώτο επίπεδο της εφοδιαστικής αλυσίδας τον κατασκευαστή.

**Σχήμα 1.5 Παρουσίαση εφοδιαστικής αλυσίδας δύο επιπέδων με διαφορετικά κανάλια μεταπώλησης προϊόντος**



**Πηγή: Wei – Yu Kevin Chiang, George E Monahan 2005**

Η εμφάνιση του διαδικτυακού τρόπου πώλησης των προϊόντων κατάστησε ευνοϊκότερες συνθήκες για τους κατασκευαστές να μετέχουν απευθείας και οι ίδιοι στην πώληση του

προϊόντος στην αγορά. Σύμφωνα με μια πρόσφατη έρευνα (Tedeschi 200) το 42% των προμηθευτών από κλάδους ηλεκτρονικών ειδών , είδη ένδυσης και υπόδησης έχουν αρχίσει να πωλούν απευθείας στους καταναλωτές. Στη σημερινή εποχή όλο και περισσότερες επιχειρήσεις κάνουν χρήση των νέων δυνατοτήτων πώλησης που τους προσφέρει το διαδίκτυο , δημιουργώντας έτσι ένα κανάλι διανομής προϊόντων παράλληλο στο παραδοσιακό μοντέλο με σκοπό να επιτευχθεί ευκαμψία της εφοδιαστικής αλυσίδας ( Keskinocak&Tayer 2001).

### 1.3.1 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

Από την πλευρά μας , στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τη κατηγορία εφοδιαστικής αλυσίδας δύο επιπέδων , η οποία αποτελείται αποκλειστικά από τον κατασκευαστή και τον έμπορο λιανικής και αφορά τη διακίνηση ενός και μόνο προϊόντος. Φυσικά στη θέση του κατασκευαστή και του έμπορα λιανικής μπορεί να μετέχουν διαφορετικοί παράγοντεςόπως για παράδειγμα μία αποθήκη ή ένας μεταπωλητής , χωρίς όμως αυτο να δημιουργεί πρόβλημα στην έρευνα και ανάλυση μας (MohammadM.MohammadM.BoylanJ. , johnE.Boylan , ArisSyntetos 2012).

**Σχήμα 1.6: Παραδοσιακή εφοδιαστική αλυσίδα**



### 1.3 Στρατηγικές αναπλήρωσης αποθεμάτων

Κάθε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας αναπληρώνει τα αποθέματά του από κάποιο μέλος που βρίσκεται στο προηγούμενο επίπεδο σύμφωνα με κάποια στρατηγική. Οι στρατηγικές αυτές λέγονται και πολιτικές ή μέθοδοι αναπλήρωσης αποθεμάτων και οι πιο διαδεδομένες είναι οι  $(s,Q)$ ,  $(R,S)$ ,  $(s,S)$  και  $(q,r)$  και  $(R,D)$ . Η πολιτική αναπλήρωσης  $(s,Q)$  καθορίζει ότι κάθε φορά που η στάθμη αποθεμάτων κάποιου μέλους φτάνει ένα κατώτατο όριο  $s$ , πρέπει να γίνεται μια παραγγελία ποσότητας  $Q$ . Η  $(R,S)$  καθορίζει ότι κάθε χρονικό διάστημα  $R$  πρέπει να γίνεται μια παραγγελία ποσότητας που θα ανεβάζει την στάθμη αποθεμάτων σε ένα άνω όριο  $S$  (order-up-to- $S$ ), ενώ η  $(s,S)$  κάθε φορά που η στάθμη φτάνει ένα κατώτατο όριο  $s$ , πρέπει να γίνεται μια παραγγελία που θα ανεβάζει την στάθμη αποθεμάτων σε ένα όριο  $S$ . Αντίθετα στην αποθεματική πολιτική  $(R,D)$  η παραγγελία βασίζεται στη πραγματική ζήτηση της προηγούμενης περιόδου. Πολλές ακόμη πολιτικές αναπλήρωσης μπορούν να οριστούν για διάφορες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα αν στην εφοδιαστική αλυσίδα διακινούνται πολλά προϊόντα.

#### 1.4.1 Order-Up-To (OUT) $(R,S)$ Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής

Η περιοδική επιθεώρηση Order-Up-To (OUT) ή αλλιώς  $(R,S)$  είναι μια συγκεκριμένη πολιτική διαχείρισης παραγγελιών τόσο στη βιβλιογραφία όσο και στη καθημερινότητα των εργοστασίων και όχι μόνο. Σύμφωνα με αυτή λοιπόν τη πολιτική τα δύο μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας προχωρούν σε κάθε έλεγχο του αποθέματος  $R$  (κάθε μέρα, εβδομάδα, μήνα κλπ.) παραγγέλνουν μία ποσότητα  $Y_t$  (με σταθερό κόστος) κάθε φορά που κατά τον έλεγχο παρατηρείται ότι η στάθμη του αποθέματος έχει πέσει κάτω από το επιθυμητό όριο  $S_t$  (όπου το  $S_t$  είναι το ανώτερο όριο αποθέματος) με σκοπό να φέρουν το επίπεδο των αποθεμάτων στο επιθυμητό σημείο (Bishak, Diane P. et al. 2014). Η παραγγελία παραδίδεται  $L$  περιόδους αργότερα (όπου  $L$  τυχαία μεταβλητή ανεξάρτητη από το μέγεθος της παραγγελίας). Η ποσότητα της παραγγελίας δίνεται στο τέλος της περιόδου  $t$  από τη παρακάτω μαθηματική σχέση (Disney, Stephen et al. 2007; Dejoncheere, Jeroen et al. 2003):

$Y_t = S_t$  - κατάσταση αποθέματος



Όπου το επίπεδο OUT ( OrderUpToLevel) ενημερώνεται και καθορίζεται κάθε περίοδο από τη παρακάτω μαθηματική σχέση (Hosodaetal. 2006; Hsustainetal.2012):

$$S_t = \widehat{D}_t^L + k\widehat{\sigma}_L$$

Με το κείναι ένας παράγοντας ασφαλείας ο οποίος επιλέγεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης. Οι Chen ,Disney (2003) ορίζουν τον παράγοντα ως:  $k = F^{-1}\left(\frac{s}{s+h}\right)$  όπου το  $F$  υποδηλώνει κανονική σωρευτική κατανομή. Το  $\widehat{D}_t^L$  είναι εκτίμηση της μέσης ζήτησης για περίοδο  $L$  ενώ το  $\widehat{\sigma}_L$  είναι η τυπική απόκλιση της ζήτησης για  $L$  περιόδους (Wang, JuiLinetal.2010; Dejoncheere, Jeroenetal. 2003).

Αξίζει ωστόσο να αναφέρουμε πως σύμφωνα με τους Chenetal. (2000) όταν η ζήτηση και η τυπική απόκλιση είναι με βεβαιότητα γνωστή κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης  $L$  τότε το επίπεδο OUT θα είναι σταθερό σε κάθε περίοδο με αποτέλεσμα ο έμπορος λιανικής να δίνει ως ποσότητα παραγγελίας το ύψος της τελευταίας παρατηρούμενης ζήτησης. Σε αυτή ακριβώς τη περίπτωση δεν υπάρχει επίδραση του φαινομένου του Bullwhip (Dejoncheere, Jeroenetal. 2003). Αντίθετα όταν τόσο η ζήτηση όσο και η τυπική απόκλιση της κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης είναι άγνωστες τότε ο έμπορος λιανικής είναι υποχρεωμένος να προχωρήσει σε πρόβλεψη της ζήτησης έως το χρόνο παράδοσης  $L$ . Αυτή ακριβώς η πρόβλεψη δημιουργεί μεταβλητότητα στο επίπεδο OUT όσο αναβαίνουμε προς τα πάνω στην εφοδιαστική αλυσίδα με αποτέλεσμα να προκαλεί το φαινόμενο Bullwhip. Για ακριβώς αυτό το λόγο ο έμπορος λιανικής για κάθε περίοδο τείνει υποχρεωμένος να ενημερώνει το επίπεδο OUT με τις πρόσφατες εκτιμήσεις.

Επομένως εύκολα προκύπτει πως η ποσότητα παραγγελίας ουσιαστικά αποτυπώνεται από τη παρακάτω μαθηματική σχέση.

$$\widehat{Y}_t = (\widehat{D}_t^L - \widehat{D}_{t-1}^L) + D_t$$

Επομένως αξίζει να αναφέρουμε πως η  $\widehat{\sigma}_L$  δεν εξαρτάται από το χρόνο  $t$ , με αποτέλεσμα ο όρος  $k\widehat{\sigma}_L$  να εξουδετερώνεται (Bandyopadhyayetal. 2013). Η κατάσταση αποθέματος είναι ίση με το άθροισμα του καθαρό stock (NetStock) και της αποθεματικής παραγγελίας. Σύμφωνα με τους Hossainetal. (2012) η κατάσταση αποθέματος συμβολίζεται με  $IP$  και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$IP_t = NS_t - WIP_t$$

Όπου:

- $NS_t = NS_{t-1} + Y_{t-1} - D_t$
- $WIP_t = WIP_{t-1} + Y_{t-1} - Y_{t-L}$

Ο σκοπός και για τα δύο μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι το επίπεδο αποθέματος τη χρονική περίοδο  $t$  να είναι ίσο με  $S_t$  έτσι ώστε να μπορεί το κάθε μέλος να εξυπηρετεί κανονικά τη ζήτηση των πελατών του κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης της επόμενης παραγγελίας (Bandyopadhyay et al. 20013). Συνεπώς όπως βλέπουμε πρόκειται για το μέγιστο επίπεδο αποθέματος η αλλιώς το BASESTOCKLEVEL.

Η μέθοδος της OUTPolicy μας εξασφαλίζει ότι η διακύμανση των αποθεμάτων ισούται με τη διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης στο χρόνο παράδοσης  $L$  (Hosoda et al. 2006).

#### 1.4.2 (s,Q) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής

Η πολιτική αναπλήρωσης (s,Q) καθορίζει ότι όταν η στάθμη αποθεμάτων φτάσει το επίπεδο  $s$  πρέπει να γίνει κάθε φορά παραγγελία, σταθερής πάντα, ποσότητας  $Q$ . Στην συγκεκριμένη πολιτική ο χρόνος μεταξύ των παραγγελιών δεν είναι σταθερός, όμως η ποσότητα που παραγγέλλεται κάθε φορά είναι σταθερή, και αυτή είναι και η βασική διαφορά της με την (s,S). Όπως και με την (s,S), για να εφαρμοστεί η πολιτική (s,Q) πρέπει να υπάρχει δυνατότητα παραγγελιών ανά πάσα στιγμή, καθώς και συνεχής έλεγχος των επιπέδων των αποθεμάτων. Με την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος από ότι με τις πολιτικές up-to-S, εξαιτίας του κυμαινόμενου χρόνου παράδοσης και της ζήτησης που προκύπτει μέσα σε αυτό το διάστημα, η ποσότητα παραγγελίας  $Q$ , που είναι σταθερή και δεν λαμβάνει υπόψη το πόσο κάτω από το όριο  $s$  ήταν η στάθμη όταν έγινε η παραγγελία, να μην επαρκεί για μια ικανοποιητική αναπλήρωση. Καθώς η ποσότητα παραγγελίας είναι πάντα σταθερή από όλα τα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας, η στρέβλωση της εικόνας της ζήτησης για τα πιο πίσω επίπεδα δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

### 1.4.3 (s,S) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής

Η πολιτική αναπλήρωσης (s,S) καθορίζει ότι όταν η στάθμη των αποθεμάτων πέσει κάτω από ένα επίπεδο s, τότε πρέπει να γίνεται μια παραγγελία τέτοια ώστε το επίπεδο αποθεμάτων να φτάνει σε ένα άνω όριο S. Σε αυτή τη μορφή αποθεματικής πολιτικής ο έμπορος λιανικής τοποθετεί μια παραγγελία ύψους  $Q=S-s$  (Chenetal.1999). Στην (s,S) τόσο ο χρόνος που γίνονται οι παραγγελίες όσο και η ποσότητα παραγγελίας είναι μεταβλητά, γεγονός που ενισχύει την στρέβλωση της εικόνας της ζήτησης για τα πιο πίσω επίπεδα. (Kelle , Peteretal. 1999). Για να εφαρμοστεί η πολιτική (α) βασική προϋπόθεση είναι να υπάρχει δυνατότητα πραγματοποίησης παραγγελιών ανά πάσα στιγμή, καθώς και δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των αποθεμάτων, γεγονός που πιθανώς θα συνεπάγεται επιπλέον έξοδα (Zhen, Yu-Shengetal.1991). Το επίπεδο αναπαραγγελίας s επιλέγεται έτσι ώστε να καλύπτεται η ζήτηση μέχρι την άφιξη της παραγγελίας, δηλαδή για τις μέρες του leadtime.

$$\text{Inventoryposition} = \text{Inventoryonhand} + \text{ordersoutstanding} - \text{backlogs}$$

### 1.4.4 (r,q) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής

Στην (r,q) αποθεματική πολιτική η ποσότητα αναπλήρωσης q , δίνεται σε παραγγελία όταν η κατάσταση του αποθεματικού επιπέδου τείνει να πλησιάσει το επίπεδο r (όπου πρόκειται για το χαμηλότερο επίπεδο επαναπαραγγελίας). Ο χρόνος παράδοσης σε αυτή τη περίπτωση είναι σταθερός. Σε αυτού του είδους η αποθεματική πολιτική είναι ευρέως γνωστή για εφοδιαστικές αλυσίδες δύο επιπέδων οι οποίες διανέμουν αποκλειστικά και μόνο ένα προϊόν ( Bendre , Abhijit B etal. 2008). Ταυτόχρονα πρόκειται για μια πολύ χρήσιμη μορφή αποθεματικής πολιτικής η οποία εξυπηρετεί όταν υπάρχουν παραγγελίες ή όταν υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση και δεν μπορούν να ικανοποιηθούν άμεσα από το επίπεδο αποθέματος.

### 1.4.5 (R,D) Μέθοδος αποθεματικής πολιτικής

Η μέθοδος της αποθεματικής πολιτικής (R,D) είναι η πιο απλή μέθοδος αποθεματικής πολιτικής. Σε αυτή τη κατηγορία ισχύει η παραδοχή πως σε σταθερά χρονικά διαστήματα περιόδους R το ύψος της ποσότητας  $Y_t$  που δίνεται από τον έμπορα λιανικής στον κατασκευαστή είναι ίση με τη ζήτηση  $D_{t-1}$  της προηγούμενης περιόδου (Bandyopadhyay et al. 2013). Επομένως ισχύει ο κανόνας πως:

$$Y_t = D_{t-1}$$

Με αποτέλεσμα οι διακυμάνσεις της ζήτησης και της ποσότητας της παραγγελίας να είναι μεταξύ τους ίσες. Ως εκ τούτου προκύπτει το συμπέρασμα πως δεν υπάρχει επίδραση του φαινομένου του Bullwhip.

Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί πως στη αποθεματική πολιτική  $(R, \hat{D})$  ο γενικός κανόνας ο οποίος ισχύει είναι πως σε σταθερά διαστήματα περιόδους R η ποσότητα παραγγελία η οποία τοποθετείται ισούται με τη προβλεπόμενη ζήτηση. Φυσικά στη περίπτωση αποθεματικής πολιτικής  $(R, \hat{D})$  είναι εύκολο να συμπεράνουμε πως η ποσότητα της παραγγελίας θα επηρεάζεται άμεσα από τη μέθοδο πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθεί..

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

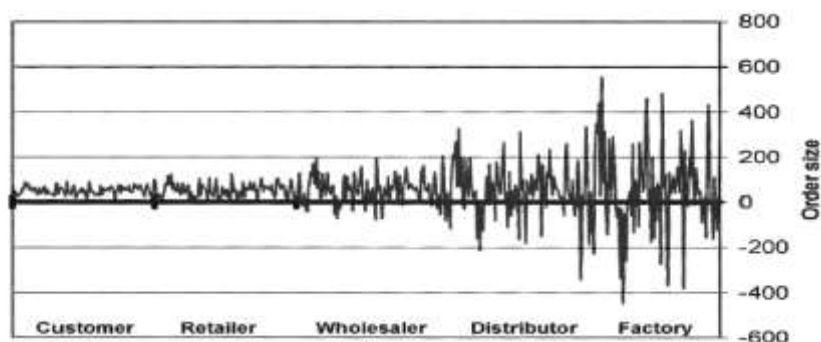
### ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ BULLWHIP

#### 2.1 Ιστορική αναδρομή του φαινομένου Bullwhip

Τις τελευταίες δεκαετίες ο κανόνας του ανταγωνισμού έχει αλλάξει για κάθε ένα μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μια σημαντική παρατήρηση στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και ένα κοινό φαινόμενο που παρατηρείτε είναι το φαινόμενο του Bullwhip το οποίο μας δείχνει ότι υπάρχει μια προοδευτική αύξηση της ζήτησης καθώς κινούμαστε κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας από τον πελάτη στον κατασκευαστή ( Chatfield&Pritchard 2012 , Lee et al. 1997 , Gilbert 2005).

Το φαινόμενο του Bullwhip Effect ή αλλιώς όπως αναφέρεται στην Ελληνική βιβλιογραφία το φαινόμενο του μαστιγίου (λόγω του μεγάλου ανοίγματος της διακύμανσης της ζήτησης ανοδικά) αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και δημοφιλή εξεταζόμενα θέματα στο πεδίο της διοίκησης.

Σχήμα 2.1: Αναπαράσταση της διακύμανσης της ζήτησης



Πηγή: Chatfield , Pritchard 2012

Η έννοια του φαινομένου Bullwhipeffect αναφέρεται για πρώτη φορά από την εταιρεία Protect&Gamble το 1990 με σκοπό να εξηγήσει την αυξητική ζήτηση που προέκυψε μεταξύ καταναλωτών και προμηθευτών για το διάσημο προϊόν της , τις πάνες Pampers (Lee et al 1997). Παρά το γεγονός ότι η ζήτηση των πελατών ήταν σχεδόν σταθερή , η εταιρεία συνειδητοποίησε ότι υπήρχε μία σημαντική διακύμανση στις παραγγελίες των διανομέων. Συνειδητοποίησε επίσης ότι η διακύμανση της ζήτησης από τους διανομείς στους χονδρέμπορους ήταν αρκετά μεγαλύτερη. Παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον ωστόσο το γεγονός ότι ένα παρόμοιο γεγονός είχε τεκμηριωθεί κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1910 (Schisgall 1981). Υπάρχουν ωστόσο και άλλες εταιρίες οι οποίες παρουσίασαν το ίδιο φαινόμενο ( Ertek, Eryilmaz 2008) όπως η Hewlett Packard , η 3M , η Eli-Lilly καθώς και η DramMarket.

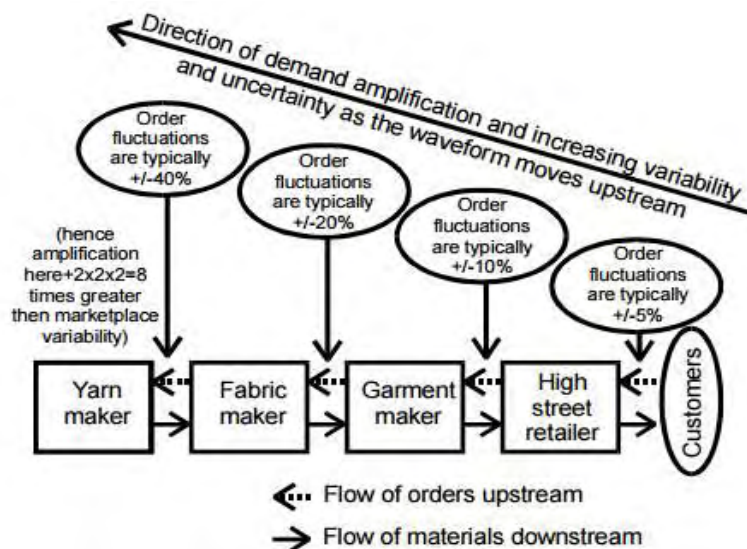
Το 1961 ο Forrester πραγματοποίησε την πρώτη προσπάθεια για πρόσθεση μετρήσεων στην αύξηση των διακυμάνσεων που παρατηρούνταν μέσα στη εφοδιαστική αλυσίδα από το κατώτερο επίπεδο έως το ανώτερο επίπεδο. Ταυτόχρονα παρείχε μερικές από τις πρώτες εμπειρικές αποδείξεις για τις επιπτώσεις του φαινομένου και έκανε λόγο για τις πιθανές αιτίες που το προκαλούν καθώς και για τον εντοπισμό πιθανών λύσεων. Με τη βοήθεια του προσομοιωτή ο Forrester κατάφερε να αποδείξει τη διακύμανση της ζήτησης , όμως δεν έδωσε σε αυτή το όνομα Bullwhip. Ο ίδιος πίστευε ότι η παράλογη λήψη αποφάσεων ήταν αυτή που δημιουργούσε την εμφάνιση αυτού του φαινομένου (Chatfield et al. 2004). Το έργο του Forrester (1958, 1961) ήταν το εφαλτήριο έμπνευσης πολλών συγγραφέων να αναπτύξουν επιχειρηματικά παιχνίδια με στόχο την κατανόηση του φαινομένου (Dejonckheere, Jeroen, et al. 2003).

Στα τέλη της δεκαετίας του πενήντα το MIT δημιούργησε ένα επιχειρηματικό παιχνίδι προσομοίωσης το οποίο ονομάζεται <<BeerGame>>. Λίγο αργότερα ο Sterman το 1989 ασχολήθηκε με το παιχνίδι το οποίο προσπάθησε να μιμηθεί αυτές τις διακυμάνσεις ζήτησης με σκοπό να γίνει μια καλύτερη κατανόηση της επίδρασης του φαινομένου στα διάφορα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας (Wang & Disney 2014). Ο Sterman (1989) αναφέρει τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής 20ετών, τα οποία έδειξαν πως η ανθρώπινη συμπεριφορά , όπως οι παρανοήσεις σχετικά με την απογραφή και τις πληροφορίες ζήτησης μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο του Bullwhip (Lee et al. 1997). Ουσιαστικά αυτό το παιχνίδι αναπτύχθηκε σε με τη βοήθεια ενός προσομοιωτή που αντιπροσώπευε μια

εφοδιαστική αλυσίδα 3 επιπέδων. Οι Kaminsky και Simchi-Levi (1998, 2000) ανέπτυξαν μια μηχανογραφημένη εκδοχή αυτού του παιχνιδιού.

Εμπειρικά οι διακυμάνσεις ζήτησης όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα υπολογίζονται στο 5% στο κατώτερο επίπεδο του λιανοπωλητή και μπορούν να φτάσουν έως το 40% στο ανώτερο επίπεδο του κατασκευαστή (Towill & McCullen 1999).

**Σχήμα 2.2: Διαδοχική ροή πληροφοριών και φαινόμενο Bullwhip σε εφοδιαστική αλυσίδα ρούχων.**



Πηγή: Disney, Stefan and Towill 2003

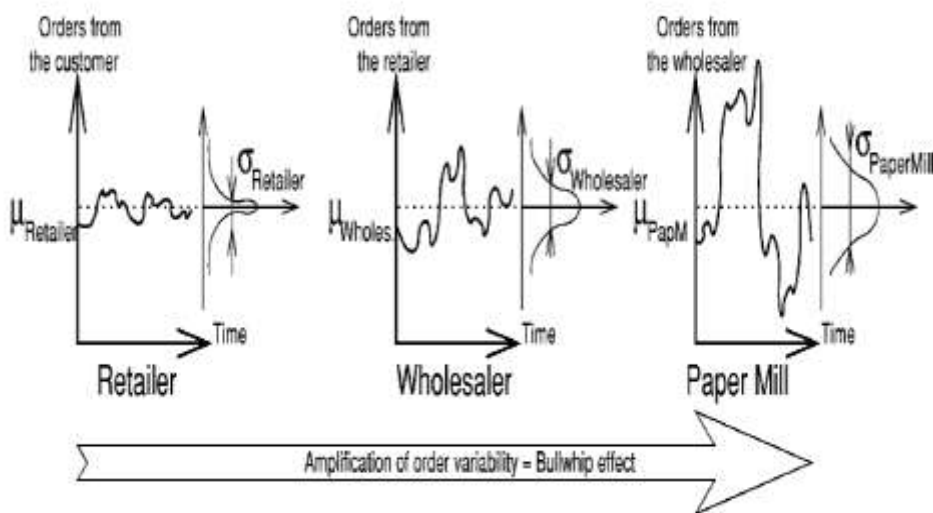
Από τις αρχές της δεκαετίας του 90' πολλοί συγγραφείς έχουν συμβάλει βιβλιογραφικά όχι μόνο στους λόγους εμφάνισης του φαινομένου αλλά και στους τρόπους αντιμετώπισης του. Για να κατανοήσουμε τη σημαντικότητα που επιφέρει το συγκεκριμένο φαινόμενο αρκεί να κάνουμε μια γρήγορη αναζήτηση στα διάφορα επιστημονικά περιοδικά καταλήγοντας σε πάνω από 18.000 άρθρα.

## 2.2 Αιτίες που προκαλούν το φαινόμενο Bullwhip

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικά βήματα όσο αφορά τις κυριότερες αιτίες του φαινομένου από αρκετούς συγγραφείς. Στο παρακάτω κείμενο δίνονται εν συντομία μερικές από τις πιο σημαντικές αιτίες όπως έχουν γραφτεί κατά καιρούς. Ο όρος Bullwhip Effect είναι ένας νέος όρος, αλλά όχι ένα νέο φαινόμενο ο οποίος επινοήθηκε από τους Lee et al. (1997) οι οποίοι ανέλυσαν και τις 5 κυριότερες αιτίες εμφάνισης του φαινομένου.

1. Ανακρίβεια της πρόβλεψης της ζήτησης (Demand Forecasts Updating) Μία αύξηση στη παραγγελία αυτομάτως οδηγεί σε υψηλότερη πρόβλεψη ζήτησης στο επόμενο μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς ταυτόχρονα παρατηρείται και στρέβλωση της πληροφορίας (Lee et al. 1997; Chen, Drezner 1999).

**Σχήμα 2.3: Επίδραση φαινομένου Bullwhip στην εφοδιαστική αλυσίδα**



Πηγή: Moyax T. Brahim C. et al. 2007

2. Συσκευασία της παραγγελίας (Order Batching)

Σε αυτή τη περίπτωση ενώ η εταιρεία έρχεται αντιμέτωπη με τη ζήτηση παρά ταύτα δεν προχωρεί ακόμα σε παραγγελία. Μπορεί για παράδειγμα να έχει έρχεται

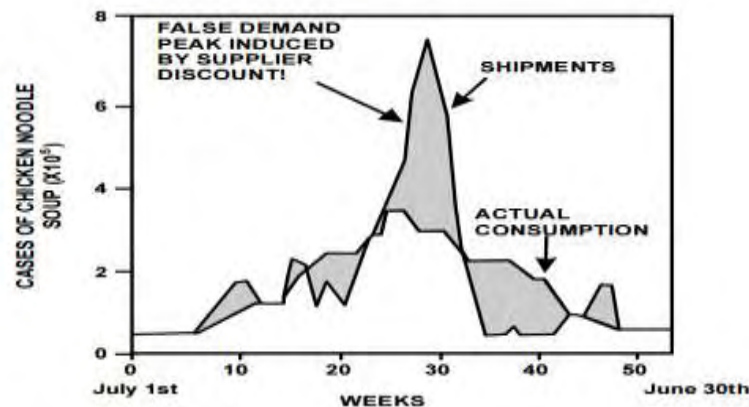


αντιμέτωπη με καθημερινή ζήτηση .όμως να βάλει παραγγελία μία φορά την εβδομάδα (Leeetal. 1997;Disney.SrefenandTowill 2003;Chenetal.1999)

### 3. Διακυμάνσεις των τιμών (Pricefluctuation)

Λόγω εμπορικών συμφωνιών (προωθητικές ενέργειες κα) ο καταναλωτής τείνει να αγοράζει περισσότερο με αποτέλεσμα όταν οι τιμές επανέρχονται στα κανονικά επίπεδα να καταναλώνει πολύ λιγότερα.(Leeetal. 1997;DisneyandTowill2003 ;Chenetal. 1999).Σεμιατέτοιαπερίπτωση χρειάζεται σύμφωνα με τους DisneyandTowill (2003)50% αύξηση στο απόθεμα ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση.

**Σχήμα2.4:Παράδειγμα εκπτωτικής τιμής σε συνδυασμό με το φαινόμενο Bullwhip**



**Πηγή: Disney ,Stefen and Towill 2004.**

### 4. Πλεονασμός/έλλειψη αποθεμάτων (Supplyshortages).

Όταν η ζήτηση είναι πάνω από τη διαθέσιμη αποθεματική ποσότητα οι καταναλωτές έχουν τη τάση να καταναλώνουν περισσότερο. Όταν όμως το προϊόν έρθει σε φυσιολογικά αποθεματικά επίπεδα τότε η ζήτηση μηδενίζεται (Leeetal.1997).

### 5. Χρόνος παράδοσης (Lead time)

Οι χρόνοι παράδοσης μπορούν να ενισχύσουν την επίδραση του φαινομένου. Είναι απλό αν σκεφτούμε ότι για να ικανοποιηθεί η ζήτηση για μεγάλο χρονικό διάστημα απαιτείται αυξημένο επίπεδο αποθέματος (Chen ,Drezneretal. 1999).Ο έμποροςζιανικής ενημερώνει το επίπεδο αποθέματος του σε κάθε περίοδο για το λόγο ότι η ζήτηση δεν είναι γνωστή , χρησιμοποιώντας μια μέθοδο πρόβλεψης ζήτησης εάν

λοιπόν ο χρόνος παράδοσης είναι μεγάλος τότε αναγκαστικά θα πρέπει να αυξήσει το επίπεδο αποθέματος με αποτέλεσμα οι παραγγελίες του να εμφανίσουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα (Chenet al.1999).

6. Λανθασμένη αντίληψη σχολίων (Misperception of feedback)

Σύμφωνα με τον Sterman (1989) αναφερόμενος στο παιχνίδι της μπύρας (Beer game) αναφέρει πως οι παίκτες στο παιχνίδι τοποθετούν τις παραγγελίες τους κατά τρόπο μη βέλτιστο, χωρίς να μην ερμηνεύουν σωστά τις εισερχόμενες παραγγελίες και χωρίς να αντιλαμβάνονται πως η κατανάλωση έχει αυξηθεί με αποτέλεσμα οι δικές τους παραγγελίες να μην έχουν εξομαλυνθεί.

7. Τοπική βελτιστοποίηση χωρίς γενικό όραμα (Local optimization without global vision)

Αρκετοί συγγραφείς έχουν υποστηρίξει πως οι εταιρείες μεγιστοποιούν τα δικά τους κέρδη, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τα υπόλοιπα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας και χωρίς μάλιστα να τους ανακοινώνουν τις αποφάσεις τους (Naish, Howard 1994). Ειδικότερα χρησιμοποίησε την μέθοδο αποθεματικής πολιτικής (S,S) και απέδειξε επίσημα πως τέτοιου είδους αποφάσεις ενισχύουν το φαινόμενο Bullwhip.

Ταυτόχρονα σε συνδυασμό με τις αιτίες εμφάνισης του φαινομένου οι Lee et al. (1997) πρότειναν και πιθανούς τρόπους περιορισμού της επίδρασης του όπως:

- Μείωση του χρόνου παράδοσης
- Καθημερινές χαμηλές τιμές
- Μείωση σταθερών κοστών
- Αποθεματικό έλεγχο
- Αποφυγή πολλαπλών προβλέψεων ζήτησης
- Διαμοιρασμό της πληροφόρησης της ζήτησης στα ανώτερα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Συνοπτικά οι πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 2.1: Ένα πλαίσιο συντονισμού της εφοδιαστικής αλυσίδας**

<i>Causes of Bullwhip</i>	<i>Information Sharing</i>	<i>Channel Alignment</i>	<i>Operational Efficiency</i>
Demand Forecast Update	-Understanding system dynamics -Use of point-of-sale data (POS) -Electronic data interchange (EDI) -Computer-assisted Ordering (CAO)	-Vendor-managed inventory (VMI) -Discount for information sharing -Consumer direct	-Lead time reduction -Echelon-based inventory control
Order Batching	-EDI -Internet Ordering	-Discount for truck-load assortment -Delivery appointments -Consolidating -Logistic outsourcing	-Reduction in fixed cost of ordering by EDI or electronic commerce -CAO
Price Fluctuation		-Continuous replenishment program -Everyday low cost	-Everyday low price -Activity-based costing
Shortage Gaming	-Sharing sales, capacity and inventory data	-Allocation based on past sales	

**Πηγή:Leeetal.1997**

Μπορούμε επιπλέον να πούμε ότι το φαινόμενο κάνει την εμφάνιση του λόγω της ορθολογική ανθρώπινης συμπεριφοράς των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας κάτω από μια συγκεκριμένη δομή ( Balasubramanianetal.2001).Σημαντική επίδραση στη δημιουργία του φαινομένου στην εφοδιαστική αλυσίδα έχει και η πολιτική παραγγελιών σύμφωνα με τη ζήτηση που ακολουθούν τα διάφορα μέλη. Η συσχέτιση της ζήτησης παίζει μεγάλο ρόλο στη μείωση της διακύμανσης της.(Kelleetal. 1999).

ΟιGearyS , DisneyS , TowillDRτο 2006 έφεραν στην επιφάνεια πέντε λόγους δημιουργίας του φαινομένου του μαστιγίου και υπέδειξαν δέκα δυνατούς τρόπους αντιμετώπισης του (Gearyetal. ,2006).

Ο RichardMetersέδειξε ότι η εποχική ζήτηση και η διακύμανση της ζήτησης λόγω των σφαλμάτων πρόβλεψης είναι δύο βασικοί λόγοι εμφάνισης του φαινομένου.Παρατήρησε την επίδραση της προώρης αγοράς και παραγγελίας πάνω στο σύστημα κερδοφορίας. Στο άρθρο του μας ενημερώνει ότι είναι σχετικά απλό να αντιμετωπιστούν οι στρεβλώσεις που προκαλούνται από την εποχική ζήτηση με τη προϋπόθεση ότι η εποχική ζήτηση αλλάζει συχνά (MettersR. , 1997).

Υπάρχουν ωστόσο άρθρα τα οποία αναφέρονται στο φαινόμενο του μαστιγίου σαν μια παράμετρο άλλων θεμάτων όπως στην ανταλλαγή πληροφοριών (WangX , DisneyS. 2016) και σε αντίστροφα logistics (Reservelogistics) (Govindonetal.2014).Οι Leeetel. 1997

ισχυρίστηκαν πως το φαινόμενο έκανε την εμφάνιση του εξαιτίας της στρέβλωσης της πληροφορίας της ζήτησης στα upstreamμέλη της (προμηθευτής).

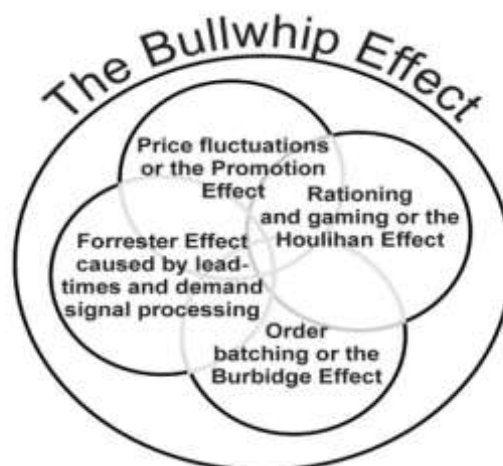
Για να εξαλείφει το φαινόμενο του μαστιγίου, όλες οι παραπάνω αιτίες θα πρέπει να περιοριστούν σημαντικά (Luong&Trung 2007)καθώς και να εξεταστεί ξανά ολόκληρη η δομή της εφοδιαστικής αλυσίδας και οι σχετικές τις διεργασίες (Balasubramanianetal.2001).

Παραδοσιακά κάθε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας αναπτύσσει ένα μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης το οποίο βασίζεται στις δικές του πληροφορίες και συχνά δεν το παραδίδει και στα υπόλοιπα μέλη. Αυτές οι ανεξάρτητες προβλέψεις ζήτησης δημιουργούν το φαινόμενο του <<Bullwhip>> (Chenetal. 2000).

Η κατανόηση λοιπόν των αιτιών εμφάνισης του φαινομένου στοχεύει στο σχεδιασμό και στην ανάπτυξη βέλτιστων στρατηγικών για την επαρκή και έγκαιρη αντιμετώπιση επίδρασης του φαινομένου. Στα επόμενα κεφάλαια θα δούμε πως η έγκαιρη και σωστή πληροφόρηση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της επίδρασης του φαινομένου.

Στο παρακάτω σχήμα 11 παρουσιάζονται συνοπτικά οι 4 κυριότερες αιτίες του φαινομένου όπως αυτές έχουν μελετηθεί από τους DisneyandTowill (2001).

**Σχήμα2.5 : Οι 4 κυριότερες αιτίες εμφάνισης του φαινομένου**



**Πηγή: Disney&Towill 2001**

## 2.3 Η αξία της πληροφόρησης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας

Στις σύγχρονες άκρως ανταγωνιστικές αγορές , έχει υπάρξει μια στροφή των πρακτικών διαχείρισης κατά μήκος της συνεργασίας των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας (Baihaqi , Imametal.2006). Η ισχυρή συνεργασία μεταξύ των διαφόρων αυτών επιπέδων αποτελεί ένα σημαντικό τρόπο για τη διατήρηση των ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων των εταιρειών , λόγω του γεγονότος ότι ο ανταγωνισμός δεν υφίσταται πλέον ανάμεσα στις επιχειρήσεις αλλά μεταξύ των εφοδιαστικών αλυσίδων (Lambert,Douglas,Cooper 2000).Οι εταιρείες πρέπει να διευρύνουν τον τομέα της ανάλυσης και λήψης αποφάσεων , ώστε να περιλαμβάνει όχι μόνο τις επιχειρηματικές οντότητες αλλά ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα (Leeetal. 2000).

Ζούμε στην εποχή της πληροφόρησης με την διαθεσιμότητα των πληροφοριών να παρουσιάζουν μία εκθετική αύξηση τη τελευταία δεκαετία. Αυτή ακριβώς η έκρηξη διαθεσιμότητας πληροφοριών δίνει στα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας χώρο για αύξηση επιρροής καθώς και βελτίωσης ανταγωνισμού (Choi , Hyan-Paul,2010).Η ανταλλαγή πληροφοριών είναι βασικό συστατικό για τον αποτελεσματικού συντονισμό μιας αλυσίδας εφοδιασμού. Αρκετές μελέτες τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν υποδείξει το γεγονός πως η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων επιπέδων συμβάλει στην μείωση της επίδρασης του φαινομένου του Bullwhip (Leeetal. 2000 ; ZhangTringlongetal. 2007). Η ανταλλαγή πληροφοριών επιτρέπει στις εταιρίες να λαμβάνουν αξιόπιστες αποφάσεις και σε καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων πετυχαίνοντας με αυτόν το τρόπο χαμηλότερο κόστος και καλύτερη ανταπόκριση στις απαιτήσεις των πελατών (Mentzer , 2004).Ταυτόχρονα είναι ίσως η πιο σημαντική κινητήριος δύναμη μιας αλυσίδας εφοδιασμού , καθώς ο παράγοντας πληροφορία επηρεάζει έμμεσα άλλους τρεις παράγοντες (ChopraS. AndMeidiP.2001).

- α) την απογραφή
- β) τις μεταφορές
- γ) τις εγκαταστάσεις

### 2.3.1 Κατηγορίες πληροφοριών

Ωστόσο , υπάρχουν πολλά είδη πληροφοριών που μπορούν να ανταλλαχθούν ανάμεσα στα διάφορα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας ( Lotfi , Zahraetal.2013).Τέτοια είδη μπορούν να είναι :

- Logistics
- Επιχειρηματικά
- Στρατηγικού σχεδιασμού κα

Στον παρακάτω πίνακα 3 , παρουσιάζονται ταξινομημένες οι πληροφορίες παράγωγης.

**Πίνακας 2.2: Ταξινόμηση Πληροφοριών Παραγωγής**

Category	Production Information	Category	Production Information
Product	Product Structure	Resource	Capacity Capacity Variance
Process	Material Lead Time	Order	Demand
	Lead Time Variance		Demand Variance
	Order Transfer Lead Time		Order Batch Size
	Process Cost		Order Due Date
	Quality	Demand Correlation	
	Shipment	Planning	Demand Forecast
Set-up Cost	Order Schedule		
Inventory	Inventory Level	Forecasting Model	
	Holding Cost	Time Fence	
	Backlog Cost		
	Service Level		

**Πηγή: Huang , Lau et al.2003**

Η ανταλλαγή πληροφοριών είναι βασικό συστατικό της εύρυθμης λειτουργίας μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορους τομείς (LeeandWang , 1999) .ΟιLotfi , Zahraetal. (2013)κατηγοριοποίησαν τις πιο γνωστές πληροφορίες ως εξής:

1. Πληροφορίες αποθέματος (Crosnon, Rachel and Karen Donahue 2005)
2. Στοιχεία πωλήσεων ( WangX. DisneyS. 2016)
3. Πρόβλεψη ζήτησης (WangX. DisneyS. 2016)
4. Πληροφορίες παραγγελιών
5. Πληροφορίες για δυνατότητες προϊόντος
6. Αξιοποίηση πληροφοριών νέων προϊόντων
7. Λοιπά είδη πληροφοριών

Με τη βοήθεια του πίνακα 4 , βλέπουμε ποιά είδος πληροφορίας έχουν μελετήσει μερικοί συγγραφείς τις τελευταίες δύο δεκαετίες ( Huang ,Lauetal.2013)

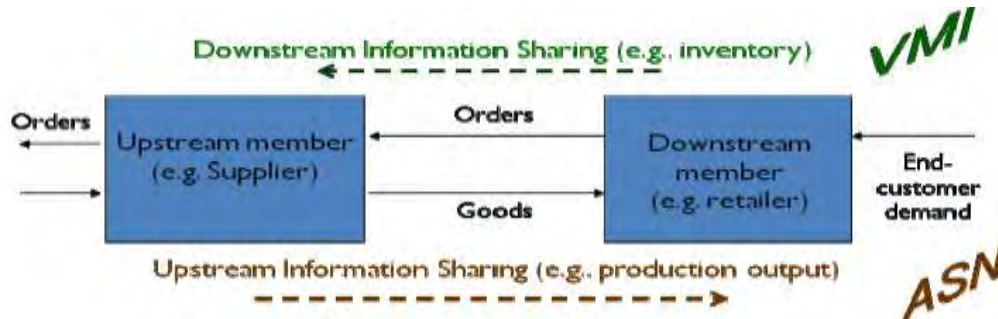
**Πίνακας 2.3: Διάφορα είδη Πληροφοριών**

<b>Authors</b>	<b>Shared Information</b>
Boone et al. (2002)	demand, forecast
Bourland et al. (1996)	demand
Cachon and Fisher (2000)	demand, inventory
Cachon and Lariviere (2001)	demand, demand forecasts
Chen (1999)	inventory, order
Chen et al. (2000)	demand
Crosnon and Donohue (2003)	sales
Huang and Gangopadhyay (2004)	demand
Karaesman et al (2002)	advance order
Kulp et al (2004)	inventory level, warehouse, consumer info
Lau et al. (2002)	demand, order, inventory
Lee and Whang (1999)	demand
Lee et al. (2000)	demand
Mitra and Chatterjee (2004)	demand
Owen and Levary (2002)	demand, inventory
Ozer (2003)	advance demand
Raghunathan (2003)	demand
Simchi-Levi and Zho (2003)	demand
Smaros et al. (2003)	demand
Waller et al (1999)	inventory level , demand
Wang and Seidmann (1995)	demand
Xu et al. (2001)	demand
Yu et al. (2001)	demand, order
Yu et al. (2002)	demand, order

**Πηγή: Huang , Lauetal.2003**

Πολλές ωστόσο έρευνες καθορίζουν τα επίπεδα ανταλλαγής πληροφοριών σύμφωνα με το περιεχόμενό τους. Ο QiangZhou (2006) κάνει λόγο για δύο ρεύματα κίνησης πληροφοριών : Το ρεύμα από τη πλευρά της ζήτησης (Downstreaminformationsharing) και το ρεύμα από τη πλευρά της προσφοράς (Upstreaminformationsharing).

**Σχήμα 2.7: Ένα παράδειγμα μεταφοράς πληροφορίας σε εφοδιαστική αλυσίδα 2 επιπέδων**



**Πηγή: Hyun Cheon Paul Choi 2010**

Ο στόχος της ανταλλαγής πληροφοριών δεν βελτιώνει μόνο τη πρόβλεψη αλλά δημιουργεί και μόχλευση της πληροφορίας με στόχο να βελτιώσει τη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας (QiangZhou 2006).

### 2.3.2 Ανταλλαγή αποθεματικών πληροφοριών

Η ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στα μέλη μιας εφοδιαστικής αλυσίδας σε συνδυασμό με τα επίπεδα αποθεμάτων έχει αναφερθεί ως αντίμετρο του φαινομένου του Bullwhip (Croson, Rachel and Karen Donohue 2005). Ως προς τη χρηστική σημασία αυτού του είδους των πληροφοριών θα μπορούσαμε να πούμε πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ενημέρωση της πρόβλεψης της ζήτησης. Σε μία αναλυτική έρευνα για τη διαχείριση αποθεμάτων στις εφοδιαστικές αλυσίδες δύο επιπέδων ο καταμερισμός των αποθεματικών πληροφοριών βελτίωσε την απόδοση της αλυσίδας (Cahnon and Fisher 2005). Παρατηρήθηκε ότι με την ανταλλαγή πληροφοριών (τόσο από τα upstream όσο και από τα downstream μέλη) τα upstream μέλη της αλυσίδας εφοδιασμού (κατασκευαστές) τύχαιναν μεγαλύτερη μείωση στη διακύμανση των παραγγελιών από ότι τα downstream (έμπορος λιανικής) μέλη.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η διακύμανση των παραγγελιών του κάθε μέλους

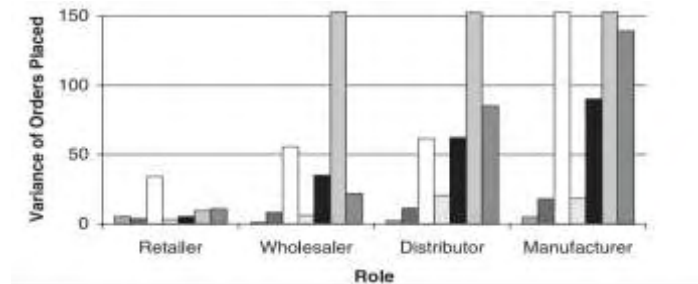
α) Χωρίς αποθεματική πληροφόρηση (σχήμα 2.8)



β) Με upstream ανταλλαγή αποθεματικής πληροφορίας (σχήμα 2.9)

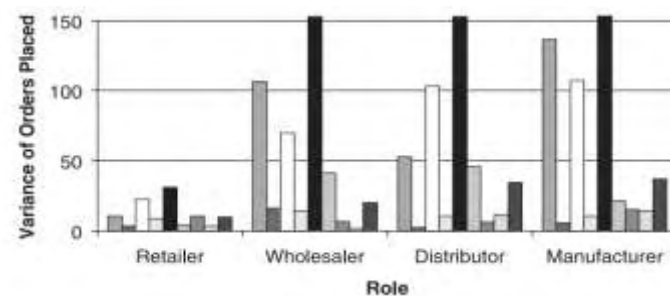
γ) Με downstream ανταλλαγή αποθεματικής πληροφορίας (σχήμα 2.10)

**Σχήμα 2.8: Χωρίς αποθεματική Πληροφόρηση**



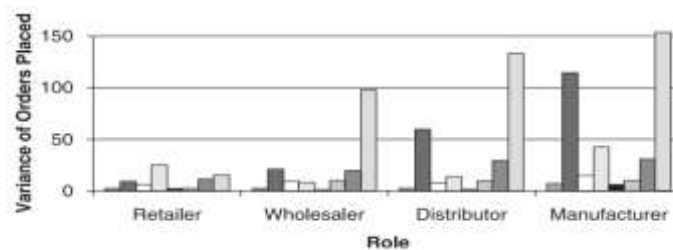
Πηγή: Croson , Rachael and Karen Donohue 2005

**Σχήμα 2.9: Με upstream ανταλλαγή αποθεματικής πληροφορίας**



Πηγή: Croson , Rachael and Karen Donohue 2005

**Σχήμα 2.10: Με downstream ανταλλαγή αποθεματικής πληροφορίας**



Πηγή: Croson , Rachael and Karen Donohue 2005

Όπως παρατηρούμε από τα τρία παραπάνω σχήματα, οι ταλαντώσεις των παραγγελιών συνεχίζουν να παραμένουν υψηλές σε κάθε περίπτωση. Με άλλα λόγια η παρουσία του φαινομένου Bullwhip συνεχίζει να παραμένει υψηλή σε κάθε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Σύμφωνα με την έρευνα των Croson, Rachael and Karen Donohue (2005) η downstream ανταλλαγή αποθεματικών πληροφοριών όπως φαίνεται και στο σχήμα 15, παρουσιάζει πιο αποτελεσματική συμπεριφορά στο φαινόμενο Bullwhip. Παρακάτω στο σχήμα 16 δίνονται τα μετρήσιμα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τη μελέτη των Croson, Rachael and Karen Donohue (2005) σε διάστημα μελέτης 48 εβδομάδων σε επίπεδο σημαντικότητας  $<5\%$ .

**Σχήμα 2.11: Αποτελέσματα διακύμανσης και βελτίωσης 48 εβδομάδων**

Table 1. Average variance of orders placed over 48 periods

Role	Average variance of orders			Improvement (%)	
	Treatment 1 No. info.	Treatment 2 upstream info.	Treatment 3 downstream info.	Impact of upstream info. (2 versus 1)	Impact of downstream info. (3 versus 1)
1. Retailer	10.19	11.54	9.42	-13.3%	7.6%
2. Wholesaler	43.37	59.30	21.35	-36.7%	50.8%
3. Distributor	87.42	56.17	32.31	35.8%	63.0%*
4. Manufacturer	181.66	93.38	57.32	48.6%	68.5%*

\*  $p < 0.05$ .

**Πηγή: Croson, Rachael and Karen Donohue 2005**

### 2.3.3 Ανταλλαγή πληροφοριών ζήτησης

Ο όρος ανταλλαγής πληροφοριών ζήτησης έχει να κάνει με τη μετάδοση της πραγματικής ζήτησης του τελικού προϊόντος από τον καταναλωτή σε όλα τα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτού του είδους τις πληροφορίες μπορούν έπειτα τα μέλη της αλυσίδας να τις χρησιμοποιήσουν για να κάνουν καλύτερες προβλέψεις (Wang X, Disney S. 2016).

Παραδοσιακά τα μέλη μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κοινοποιούν τις πληροφορίες ζήτησης αποκλειστικά μόνο μέσω των παραγγελιών. Εάν όμως ο προμηθευτής ή οποιοδήποτε άλλο

μέλος της αλυσίδας βασιστεί σε αυτού το είδους τη πληροφορία τότε θα κάνει την εμφάνιση του πιο σίγουρα το φαινόμενο του Bullwhipκάτι το οποίο συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι οι παραγγελίες εσωκλείουν πληροφορίες οι οποίες έχουν ήδη παραμορφωθεί (ZhouQiang 2006).

Οι Leeetal. (1997) πρότειναν την ανταλλαγή πληροφοριών ζήτησης ως αντισταθμιστικό μέσο της επίδρασης του φαινομένου Bullwhip.Θεωρητικά οι επιδράσεις της ανταλλαγής της πληροφορίας της ζήτησης σε σχέση με τη μείωση της επίδρασης του φαινομένου έχει αποδειχθεί από αρκετούς συγγραφείς (Chatfieldetal. 2004; Dejonckheere, Jeroen, etal. 2003). Σύμφωνα με τους DisneyandTowill 2003 η επίδραση του φαινομένου μπορεί να μειωθεί στην εφοδιαστική αλυσίδα αλλά το κόστος του αποθέματος σχεδόν θα διπλασιαστεί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

#### 3.1 Το φαινόμενο Bullwhipσυνδυαστικά με υποδείγματα που έχουν χρησιμοποιηθεί

Ένα μείζονος σημασίας πρόβλημα έρευνας με το οποίο έρχονται αντιμέτωπα τα μέλη μιας εφοδιαστικής αλυσίδας είναι το φαινόμενο του Bullwhipγια το οποίο κάναμε μια ιστορική ανασκόπηση στο κεφάλαιο 3. Η επίδραση του Bullwhip (MarchenaMarleneSilva 2010).

Ωστόσο, οποιαδήποτε τεχνική πρόβλεψης και να χρησιμοποιηθεί μπορεί να εμφανίσει το φαινόμενο. Για να κατανοήσουμε καλύτερα αυτή τη διαπίστωση οι Chen, Drezneretal. (1999) πρότειναν η πρόβλεψη να ανανεώνεται κάθε φορά που παρατηρείται νέα ζήτηση. Συνεπώς, στο τέλος κάθε περιόδου ο πωλητής θα κρατήσει τη πιο πρόσφατη ζήτηση και με βάση αυτή θα κάνει την πρόβλεψη για την ανανέωση του αποθέματος. Παρ'όλα αυτά, και πάλι παρατηρείται αύξηση της διακύμανσης.

##### 3.1.1 Υποδείγματα μέτρησης του φαινομένου Bullwhip

Έχει πια αναγνωριστεί πως η πρόβλεψη της ζήτησης και οι διάφορες πολιτικές παραγγελιών αποτελούν τις δύο κύριες κατηγορίες-κλειδιά για το φαινόμενο Bullwhip (Lee,SoandTang2000). Η σύνδεση μεταξύ της πρόβλεψης και της εμφάνισης του φαινομένου απορρέει από το γεγονός ότι κάθε παραγγελία που δίνεται προς εκτέλεση στόχο έχει την σίγουρη κάλυψη της αναμενόμενης ζήτησης.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία υπάρχει πληθώρα μελετών της επίδρασης του φαινομένου μέσω διαφόρων στοχαστικών προτύπων ζήτησης, μεθόδων πρόβλεψης και πολιτικής παραγγελιών (Chen, Drezneret.al. 2000).

Οι Mohammad A. Syntetos A. et al. (2012) ανέλυσαν τη σχέση μεταξύ της ακρίβειας της ζήτησης και των αποθεμάτων στηριζόμενοι στους παράγοντες που την επηρεάζουν. Εστίασαν σε τρεις στάσιμες διαδικασίες ζήτησης AR(1), MA(1) και ARMA(1,1) κάτω από δύο διαφορετικά σενάρια α) Με πληροφόρηση πρόβλεψης ζήτησης και β) χωρίς πληροφόρησης μέθοδο πρόβλεψης χρησιμοποίησαν τη μέθοδο σφάλματος μέσω των τετραγώνων (Mean Squared Error, MMSE).

Ο Graves Stephen C. (1999) μελέτησε τη θετική συσχέτιση της ζήτησης χρησιμοποιώντας τη διαδικασία των Κινητών Μέσων (Moving Average) σε εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων, ενώ ο Gilbert Kenneth (2005) στηρίχθηκε και επέκτεινε την έρευνα των Lee et al. (1997) και του Graves Stephen C. (1999) βασιζόμενος σε διαδικασία ζήτησης ARIMA.

Οι Chen et al. (2000) χρησιμοποίησαν στατιστικές μεθόδους υπολογισμού σε αντίθεση με τους Dejonckheere et al. (2003) οι οποίοι χρησιμοποίησαν μέθοδο μηχανικού ελέγχου. Αιτιολόγησαν ωστόσο μερικώς την εμφάνιση του φαινομένου λόγω της πρόβλεψης της ζήτησης υποθέτοντας και αυτοί με τη σειρά τους τη σκέψη πως η ζήτηση είναι μία στοχαστική διαδικασία. Για να υπολογίσουν το φαινόμενο χρησιμοποίησαν τη μέθοδο πρόβλεψης κινητών μέσων (Moving Average) για μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων με μία αυτοπαλίνδρομη διαδικασία ζήτησης 1<sup>ης</sup> τάξης AR(1) παρόμοια με τη διαδικασία που χρησιμοποίησαν οι Lee et al. (1997). Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα πως είναι αρκετά απλή επειδή περιέχει μία και μόνο μεταβλητή (Cachon, Randall and Schmidt 2007) και καθιστά εύκολη τη παρατήρηση της αυτοσυσχέτισης χωρίς πολλά προβλήματα. Την ίδια ακριβώς A(1) διαδικασία ζήτησης χρησιμοποίησε και ο Luong, Huynh Trung (2007) σε αποθεματική πολιτική μορφής OUT. Ταυτόχρονα δίνοντας τη πληροφορία της ζήτησης σε κάθε μέλος παρατήρησαν τη μείωση της επίδρασης του φαινομένου καθώς παρατήρησαν ότι η τιμή του Bullwhip Measure εξαρτάται άμεσα από τη τιμή της αυτοσυσχέτισης της ζήτησης.

Οι Cachon, Taylor et al. (2000) υπολόγισαν την επίδραση του φαινομένου, χρησιμοποιώντας το λογόγραμμα των πρώτων διαφορών των πωλήσεων με τον παραγγελιών μελέτη τους έγινε σε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων με τη ζήτηση να είναι μία στοχαστική διαδικασία σε συνδυασμό με γνώση της αξίας της πληροφόρησης της ζήτησης και άλλη μία σε συνδυασμό γνωστής ζήτησης και γνωστού επιπέδου αποθέματος.

Ωστόσο οι έρευνα τους κατέληξε στο συμπέρασμα πως δεν υπήρχε μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις δύο υποθέσεις.

Οι Wang, Jui-lin et al. (2010) υπολογίζουν και συγκρίνουν τα αποτελέσματα μέτρησης του φαινομένου, με τη ζήτηση να είναι είτε AR(1) είτε 1<sup>ης</sup> τάξης κινητών μέσων MA(1) είτε συνδυασμός των παραπάνω δύο ARMA(1,1), κάτω από το πρίσμα δύο διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης :

α) κινητών μέσων – MovingAverage(MA) και

β) εκθετικά σταθμισμένου κινητού μέσου (Exponentially Weight Moving Average EWMA).

Οι Alwan, Liu and Yao (2007) και ο Zhang (2004) θεώρησαν ότι η ζήτηση ακολουθία και αυτή μια ARMA(1,1) στοχαστική διαδικασία ως μέθοδο πρόβλεψης χρησιμοποίησαν τη μέθοδο Minimum Mean Squared Error (MMSE) στην οποία η πρόβλεψη MSSE οδήγησε σε χαμηλό αποθεματικό κόστος υπό περιορισμούς. Παρατήρησε επίσης πως η μέθοδος MSSE σε σχέση με τις μεθόδους προβλέψεις MA και ES βελτίωσε την κατάσταση του αποθέματος τα downstream μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αργότερα ο Zhang (2005) μοντελοποίησε τη ζήτηση που παρατηρούσε ο έμπορος λιανικής μέσω μιας AR(1) διαδικασίας και με μέθοδο πρόβλεψης MMSE, και απέδειξε πως καθυστέρηση της μετάδοσης της πληροφορίας της ζήτησης για το σκοπό της πρόβλεψης μειώνει την επίδραση του φαινομένου.

Ειδικότερα μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα μοντέλα πρόβλεψης που κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί σε σχέση με τις αντίστοιχες μεθόδους πρόβλεψης. Για ARMA/ARIMA μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί οι εξής τρεις μέθοδοι πρόβλεψης:

α) EWMA

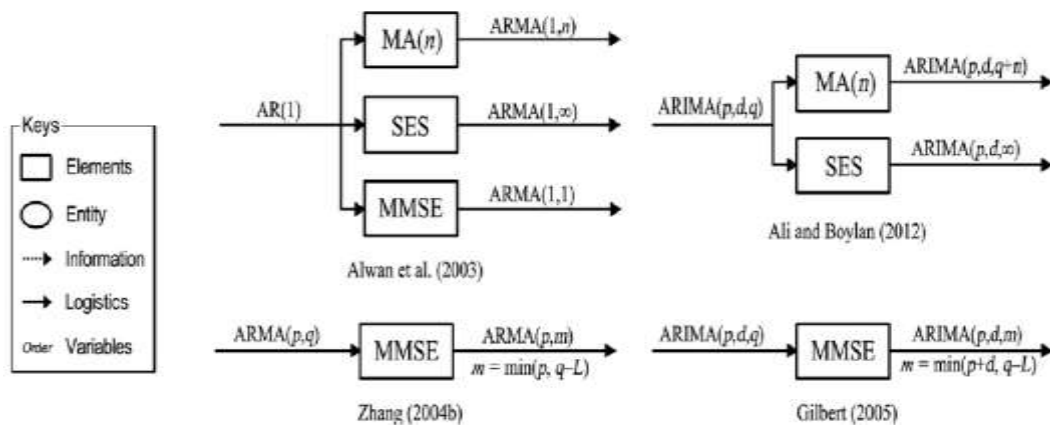
β) MMSE

γ) MA

Υπάρχουν ωστόσο και συγγραφείς που υποθέτουν πως η ζήτηση δεν είναι μια στάσιμη στοχαστική διαδικασία και κάνουν χρήση μοντέλων ARIMA λόγω του γεγονότος πως εφόσον η ζήτηση είναι μια μη-στάσιμη διαδικασία τότε η διακύμανση δεν θα είναι πεπερασμένη (Graves Stephen C. 1999).

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι διάφορες μέθοδοι πρόβλεψης ζήτησης που ακολουθούνται σε μια ΟΥΤαποθεματική πολιτική σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες μεθόδους πρόβλεψης. Στον Πίνακα 2 εστιάζουμε ποιοί συγγραφείς ασχολήθηκαν με την επίδραση της πρόβλεψης πάνω στο φαινόμενο Bullwhip.

**Σχήμα3.1:**



**Πηγή: Wang X , Disney S. 2016**

Επιπλέον κατά καιρούς από διάφορους συγγραφείς έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα πιο σύνθετα μοντέλα ζήτησης. Ωστόσο αρκετοί συγγραφείς έχουν ασχοληθεί και με την επίδραση του χρόνου παράδοσης (LeadTime) πάνω στο φαινόμενο Bullwhip. Στον παρακάτω πίνακα 3.1 φαίνονται μερικοί ενδεικτικοί αρθρογράφοι που ασχολήθηκαν με αυτόν τον τομέα.

**Πίνακας 3.1: Άρθρα σχετικά με την επίδραση του χρόνου παράδοσης στο φαινόμενο Bullwhip**

Article	Demands	Lead times	Forecasting
Chen et al. [8]	AR(1)	deterministic	moving average of demands
Chen et al. [9]	AR(1)	deterministic	expon. smoothing of demands
Chaharsoughi and Heydari [6]	deterministic	i.i.d.	—
Chatfield et al. [7]	AR(1)	i.i.d.	moving average of lead time demands
Kim et al. [23]	AR(1)	i.i.d.	moving average of lead time demands
Duc et al. [12]	AR(1) ARMA(1,1)	i.i.d.	the minimum-mean-squared-error forecast of demands
Florioli et al. [13]	AR(1)	i.i.d.	moving average of demands
Michna and Nielsen [24]	i.i.d.	i.i.d.	moving average of demands and lead times
Reiner and Fichtinger [29]	dependent	i.i.d.	moving average of demands and lead times
So and Zheng [31]	AR(1)	dependent	the minimum-mean-squared-error forecast of demands

**Πηγή: Micha , Zbignewet et al.2014**

### 3.1.2 Διορθωτικά μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τις κυριότερες αιτίες εμφάνισης του φαινομένου. Ωστόσο αρκετοί συγγραφείς έχουν ασχοληθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες και με τα διορθωτικά μέτρα που μπορούν να ληφθούν ώστε να πετύχουν την ελαχιστοποίηση της επίδρασης του (Leeetal.1997;Keleetal.1999).

Παρακάτω γίνεται μια σύντομη αναφορά σε διορθωτικά μέτρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα διάφορα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας.

1. Σύμφωνα με τους BalasubramanianS. Etal. (2001) η ανταλλαγή των πληροφοριών της ζήτησης μπορούν σε μεγάλο βαθμό να μειώσουν την αβεβαιότητα που δημιουργείται σε περίπτωση που δεν το έπρατταν. Με την ανταλλαγή λοιπόν αυτού του είδους των πληροφοριών η τελική ζήτηση θα μπορεί να είναι γνωστή σε όλα τα επίπεδα – μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας με συνέπεια να επιτυγχάνεται μείωση του σφάλματος πρόβλεψης του κάθε μέλους.



2. Οι συχνές διακυμάνσεις των τιμών οδηγούν σε λαθεμένες αυξομειώσεις της ζήτησης ενισχύοντας έτσι τις διακυμάνσεις του συστήματος. Θα ήταν λοιπόν προτιμότερο να ακολουθείται μια σταθερή τιμή πώλησης των προϊόντων (Kelleetal.1999).
3. ΗΜείωση του χρόνου παράδοσης είτε αφορά το προϊόν είτε τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μειώνουν σημαντικά τις διακυμάνσεις και ως εκ τούτου και την επίδραση του φαινομένου (Chenetal. 2000).

### 3.1.3 Μέθοδος υπολογισμού του φαινομένου

Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε λοιπόν η μέτρηση του φαινομένου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αρκετοί είναι στη σημερινή εποχή οι συγγραφείς που έχουν προσπαθήσει να πολιτικοποιήσουν το φαινόμενο κάνοντας χρήση στατιστικών μεγεθών (Chen,RyanandSimchi-levi 2000).Οι ChenLi , LeeL. (2017) θεωρούν ότι υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού του φαινομένου. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η επίδραση του φαινομένου επηρεάζει τόσο την ποσοτικοποίηση όσο και την αξιολόγηση του. Κατά τον ορισμό το φαινόμενο ορίζεται ως η ενίσχυση των παραγγελιών κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας (WangX. DisneyS. 2016). Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να μετρηθεί είτε με το συντελεστή διακύμανσης είτε με την τυπική απόκλιση. Καθώς όμως η διακύμανση προκοπή συνήθως από μαθηματικές σχέσεις είναι πιο βολικό να μελετάμε τη διακύμανση μεταξύ παραγγελιών και ζήτησης (Cachon , RandallandSchimidt 2007;Chenetal. 2000; DisneyandTowil 2003).

Ως κύριο μέτρο για τον υπολογισμό της επίδρασης του φαινομένου του Bullwhip(BullwhipMeasure) ορίζεται ο παρακάτω λόγος (Micha , Zbignewetetal. 2014).

$$(BM) = \frac{\text{Variance Order Rate}}{\text{Variance Of Demand}} = \frac{\frac{\text{Var(Orders)}}{E(Orders)}}{\frac{\text{Var(Demands)}}{E(Demands)}}$$

ΟιDisney ,StefenandTowill (2003) προχωρούν τη παραπάνω σχέση ένα βήμα παρακάτω και ορίζουν το BullwhipMeassure (BM) ως εξής:

$$(BM) = \frac{\frac{Var(Orders)}{E(Orders)}}{\frac{Var(Demands)}{E(Demands)}} = \frac{Var(Orders)}{Var(Demands)}$$

Σύμφωνα με το παραπάνω κλάσμα , οι Micha , Zbignewetetal. 2014 και Hussainetal. (2012) κατέληξαν στα παρακάτω συμπεράσματα.

- $BM > 1$  :

Εάν το μέτρο του παραπάνω λόγου είναι μεγαλύτερο της μονάδας , δηλαδή η διακύμανση των παραγγελιών είναι μεγαλύτερη από τη διακύμανση της ζήτησης , τότε υπάρχει η παρουσία του φαινομένου στην εφοδιαστική αλυσίδα.

- $BM = 1$ :

Εάν το μέτρο είναι ίσο με τη μονάδα τότε δεν υπάρχει ενίσχυση της διακύμανσης (Σε αυτή τη περίπτωση η διακύμανση της ζήτησης ισούται με τη διακύμανση των παραγγελιών). Αυτό συμβαίνει σύμφωνα με τους Chenetal. (2000) αν ο έμπορος λιανικής κάθε περίοδο τοποθετούσε παραγγελία τέτοια ώστε το ‘On-Hand-Inventory’ να ήταν στο ίδιο σταθερό γνωστό επίπεδο. Τότε οι παραγγελίες που θα έβλεπε ο προμηθευτής θα ήταν ακριβώς ίσες με τη ζήτηση που θα παρατηρούσε ο έμπορος λιανικής με αποτέλεσμα η διακύμανση των παραγγελιών να ήταν ίση με τη διακύμανση της ζήτησης που αντιμετώπιζε ο έμπορος λιανικής. Τέτοια περίπτωση λαμβάνει χώρα όπως έχουμε αναλύσει και στο κεφάλαιο 4 όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μια MA(1) διαδικασία.

- $BM < 1$ :

Το μέτρο είναι μικρότερο της μονάδας τότε οι παραγγελίες έχουν λειανθεί σε σχέση με τη ζήτηση και σε αυτή τη περίπτωση κάνει την εμφάνιση του το Anti-BullwhipEffectή αλλιώς το de-Whip(Boute,Lambrecht 2009).Ως περίπτωση αυτή είναι και η πιο ασυνήθιστη κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι είναι σχεδόν αδύνατο τα ανώτερα στρώματα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας (πχ προμηθευτής) να έχουν καλύτερη εικόνα της τελικής ζήτησης σε σχέση με τα πρώτα επίπεδα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας (πχέμπορος λιανικής).

Αξίζει ωστόσο να αναφερθούμε στο συμπέρασμα που κατέληξαν οι Chenetal. (2000).Υποστήριξαν πως στη περίπτωση όπου ο έμπορος λιανικής ακολουθεί μια

ΟΥΤαποθεματική πολιτική της μορφής :  $S_t = D^L + z\sigma^L$  με γνωστή τη μέση ζήτηση  $D^L$  για  $L$  περιόδους και με σταθερή διακύμανση  $\sigma^L$  το ΟΥΤ επίπεδο σε κάθε περίοδο θα είναι σταθερό με αποτέλεσμα η παραγγελία να ισούται με τη τελευταία παρατηρούμενη ζήτηση. Σε αυτή λοιπόν τη περίπτωση το φαινόμενο Bullwhip δεν κάνει την εμφάνιση του εφόσον ο παραπάνω λόγος ισούται με τη μονάδα.

Στην αντίθετη όμως περίπτωση όπου οι παραπάνω τιμές είναι άγνωστες τότε ο έμπορος λιανικής πρέπει να προχωρήσει στην εκτίμηση τους χρησιμοποιώντας κάποια τεχνικής πρόβλεψης.

Για να πολιτικοποιήσουμε την αύξηση της διακύμανσης για μια απλή εφοδιαστική αλυσίδα θα θεωρήσουμε μια εφοδιαστική αλυσίδα στην απλούστερή της μορφή. Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι αποτελείται από έναν έμπορα λιανικής ο οποίος παρατηρεί τη ζήτηση  $D_t$  τη περίοδο  $t$ , και προχωρά σε μία παραγγελία ποσότητας  $Y_t$  στον προμηθευτή.

### 3.2 Στάσιμες χρονολογικές σειρές

Οι χρονοσειρές είναι μία ακολουθία – διαδικασία ιστορικών δεδομένων που απαρτίζονται από διαδοχικές παρατηρήσεις (δεδομένα) μέσα σε έναν ορισμένο χρονικό ορίζοντα. Οι παρατηρήσεις αυτές γίνονται με σταθερό χρονολογικό βήμα. Μπορούν να είναι ημερήσιες, εβδομαδιαίες, μηνιαίες, τριμηνιαίες, ετήσιες κ.ο.κ. Για την εξαγωγή των προβλέψεων αλλά και γενικότερα για την εξαγωγή συμπερασμάτων απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο συλλογής των δεδομένων, στην εγκυρότητα τους, αλλά και στην μετέπειτα επεξεργασία και αναπαράσταση τους έτσι ώστε να επιτευχτεί η μέγιστη δυνατή άντληση πληροφοριών από αυτά.

Μια χρονολογική σειρά  $D_t$  λέγεται στάσιμη όταν:

1.  $E(D_t) = \mu$  : Ο μέσος είναι σταθερός για όλα τα  $t \in R$ .
2.  $Var(D_t) = E(D_t - \mu)^2 = \sigma_D^2$  : Η διακύμανση είναι σταθερή για όλα τα  $t \in R$ .
3.  $COV(D_t, D_{t+k}) = E[(D_t - \mu)(D_{t+k} - \mu)] = \gamma_k$  . Η συνδιακύμανση είναι σταθερή για όλα τα  $t$  και  $k \neq 0$ .

Γενικότερα μια στοχαστική διαδικασία είναι στάσιμη εάν : οι μέσοι και οι διακυμάνσεις είναι σταθερές διαχρονικά και οι αυτοσυνδιακυμάνσεις μεταξύ δύο χρονικών περιόδων  $t$  και  $t + k$  εξαρτώνται μόνο από την απόσταση  $k$  μεταξύ αυτών των δύο χρονικών περιόδων και όχι από τη χρονική περίοδο κατά την οποία θεωρούνται αυτές οι συνδιακυμάνσεις. Ωστόσο για να είναι στάσιμη μια χρονολογική σειρά πρέπει να ισχύουν και οι τρεις προϋποθέσεις.

### 3.3.1 Η διαδικασία ζήτησης με χρήση αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος 1<sup>ης</sup> τάξης AR(1)

Ας υποθέσουμε ότι η ζήτηση  $D_t$  ακολουθεί μια AR(1) στάσιμη διαδικασία , με τη μεταβλητή  $\{D_t\}$  να εξαρτάται γραμμικά από τη προηγούμενη τιμή της και η οποία είναι ένας στοχαστικός όρος (ελλιπώς προβλέψιμος) (Hossainetal. 2012). Η στασιμότητα υποδηλώνει μια στατιστική ισορροπία ή αλλιώς σταθερότητα των δεδομένων.

Εμπειρικά στοιχεία μας δίνουν τη σχέση ζήτησης (1) όπως τη λαμβάνει υπόψη του ο έμπορος λιανικής (ZhangX. 2004;ZhangX. 2005;Chen,Drexneretal. 2000;ChenLi , LeeL. 2017).

$$D_t = \tau + \rho D_{t-1} + e_t \text{ με } t \in \mathbb{Z} \quad (3.1)$$

Μία AR(1) διαδικασία είναι αντιστρέψιμη η μπορεί να χαρακτηριστεί από αντιστρεψιμότητα αν μπορεί να διατυπωθεί ως διαδικασία με άπειρους όρους. Μπορεί να μετατραπεί εναλλακτικά σε MA( $\infty$ ) διαδικασία με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- I. Με αναδρομική γραφή
- II. Με τελεστή διαφοράς.

Αναλυτικότερα κάνοντας χρήση του τελεστή διαφοράς στη σχέση (1) : Από AR(1)  $\rightarrow$  MA( $\infty$ )

$$D_t = \tau + \rho D_{t-1} + e_t, t \in \mathbb{Z} \leftrightarrow$$

$$D_t - \rho D_{t-1} = \tau + e_t, \leftrightarrow$$

$$(1 - \rho B)D_t = \tau + e_t, \leftrightarrow \text{όπου } B: \text{τελεστής καθιυσσών διαφορών με } BD_t = D_{t-1}$$

$$D_t = \frac{\tau + e_t}{1 - \rho B}$$

με  $|\rho| < 1$

$$D_t = (1 - \rho B)^{-1}(\tau + e_t)$$

$$D_t = (1 + \rho B + \rho^2 B^2 + \dots + \rho^k B^k) e_t + (1 + \rho B + \rho^2 B^2 + \dots + \rho^k B^k) \tau$$

$$D_t = \sum_{j=0}^{\infty} (\rho^j e_{t-j}) + \frac{\tau}{1-\rho} \quad (3.2)$$

Από τη σχέση (3.2) θα υπολογίσουμε το μέσο, τη διακύμανση, και τη συνδιακύμανση.

- $$E(D_t) = E\left(\sum_{j=0}^{\infty} \rho^j e_{t-j} + \frac{\tau}{1-\rho}\right) = E\left(\sum_{j=0}^{\infty} \rho^j e_{t-j}\right) + E\left(\frac{\tau}{1-\rho}\right)$$

$$= 0 + \frac{\tau}{1-\rho}$$

$$E(D_t) = \frac{\tau}{1-\rho} \quad (3.3)$$

- $$Var(D_t) = E\{[D_t - E(D_t)]^2\} = E\left[\left(\sum_{j=0}^{\infty} \rho^j e_{t-j} + \frac{\tau}{1-\rho} + \frac{\tau}{1-\rho}\right)^2\right] =$$

$$= E\left[\left(\sum_{j=0}^{\infty} \rho^j e_{t-j}\right)^2\right]$$

$$= E\left[\sum_{j=0}^{\infty} \rho^{2j} e_{t-j}^2 + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0, i \neq j}^{\infty} \rho^{i+j} e_{t-i} e_{t-j}\right]$$

$$= E\left[\sum_{j=0}^{\infty} \rho^{2j} e_{t-j}^2\right] + E\left[\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0, i \neq j}^{\infty} \rho^{i+j} e_{t-i} e_{t-j}\right]$$

$$= \sum_{j=0}^{\infty} \rho^{2j} \sigma^2 + 0 \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0, i \neq j}^{\infty} \rho^{i+j}$$

$$= (1 + \rho^2 + \rho^3 + \dots) \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{1 - \rho^2} < \infty$$

Άρα η διακύμανση της ζήτησης δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$Var(D_t) = \frac{\sigma^2}{1 - \rho^2} < \infty \quad (3.4)$$

Επομένως ισχύει ότι:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (E(D_t)) = \frac{\tau}{1-\rho} \quad (\text{So, Chen et al. 2003})$$

Και

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (Var(D_t)) = \frac{\sigma^2}{1-\rho^2} \quad (\text{So, Cheng et al. 2003})$$

Πολλαπλασιάζοντας και τα δύο μέλη της σχέσης  $D_t = \tau + \rho D_{t-1} + e_t$ , (1) με  $D_{t-k}$  έχουμε:

$$D_t D_{t-k} = (\tau + \rho D_{t-1} + e_t) D_{t-k}$$

περνώντας τη μαθηματική ελπίδα (προσδοκώμενη τιμή) έχουμε:

$$\begin{aligned} \bullet \quad E(D_t D_{t-k}) &= E[(\tau + \rho D_{t-1} + e_t) D_{t-k}] \\ &= E(\tau D_{t-k}) + E(\rho D_{t-1} D_{t-k}) + E(e_t D_{t-k}) \\ &= \tau E(D_{t-k}) + \rho E(D_{t-1} D_{t-k}) + E(e_t D_{t-k}) \end{aligned}$$

$$\gamma(k) = \rho \gamma(k-1)$$

Γνωρίζουμε ότι :

$$\gamma(0) = Var(D_t) = \frac{\sigma^2}{1-\rho^2}$$

έτσι έχουμε:

$$\gamma(1) = \rho \frac{\sigma^2}{1-\rho^2}, \gamma(2) = \rho^2 \frac{\sigma^2}{1-\rho^2}, \dots, \gamma(k) = \rho^k \frac{\sigma^2}{1-\rho^2}$$

$$\text{Επομένως: } \gamma(k) = \begin{cases} \frac{\sigma^2}{1-\rho^2} & \text{αν } k = 0 \\ \sigma^2 \frac{\rho^k}{1-\rho^2}, & k \geq 1 \end{cases}$$

$$\text{με } |\rho| < 1 \text{ αν: } k \rightarrow \infty \Rightarrow \lim_{k \rightarrow \infty} \rho^k = 0 \Rightarrow \gamma(k) = 0$$

Επομένως για την AR(1) ισχύουν οι τρεις παρακάτω προϋποθέσεις για τη μέση τιμή, τη διακύμανση και τη συνδιακύμανση καθώς και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης.

1.  $E(D_t) = E(D_{t-1}) = \frac{\tau}{1-\rho}$
2.  $Var(D_t) = E(D_t - \mu)^2 = \frac{\sigma^2}{1-\rho^2}$
3.  $Cov(D_t, D_{t+k}) = E[(D_t - E(D_t))(D_{t+k} - E(D_t))] = \gamma_k = \gamma(k) = \begin{cases} \frac{\sigma^2}{1-\rho^2} & \text{αν } k = 0 \\ \sigma^2 \frac{\rho^k}{1-\rho^2}, & k \geq 1 \end{cases}$
4.  $\rho_k = \frac{Cov(D_t, D_{t-k})}{Var(D_t)} = \frac{\gamma_k}{Var(D_t)} = \begin{cases} 0 & k = 0 \\ \rho^k & k \geq 1 \end{cases}$

Στο προηγούμενο μέρος αναφέραμε τις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν ώστε μια διαδικασία στάσιμη. Συνοψίζοντας λοιπόν όλα τα προγενέστερα μπορούμε να πούμε ότι η AR(1) διαδικασία ζήτησης θα είναι στάσιμη εφόσον ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις.

**$D_t$**  : Η παρατηρούμενη ζήτηση του προϊόντος στον έμπορα λιανικής τη χρονική περίοδο  $t$ . Οι τιμές  $D_t$  προέρχονται από την ίδια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που σημαίνει τόσο ότι ο μέσος όρος όσο και η διακύμανση είναι σταθερές διαχρονικά (τα οποία έχουν αποδειχθεί πιο πάνω)

Με :

- $E(D_t) = E(D_{t+1}) = \dots = \mu$  και
- $Var(D_t) = \sigma_D^2$ .

**$\tau > 0$**  : Θετική σταθερά οποία δείχνει τη βασική σταθερή ζήτηση. Δεν έχει νόημα σε όλα τα μοντέλα ζήτησης και η ύπαρξή της βασίζεται σε καθαρά τεχνικό υπόβαθρο με στόχο την αποφυγή τυχόν αρνητικής ζήτησης (Hosoda, Disney 2006 ;MohammadM.BoylanJ.M.etal. 2012)).

Με τις εξής περιπτώσεις να ισχύουν για το  $\rho$ :

- Αν  $\rho = 0$  : τότε έχουμε μια i.i.d. διαδικασία με μέσο  $\tau$  και διακύμανση  $\sigma^2$ . Σε αυτή την περίπτωση δεν εμφανίζεται το φαινόμενο « Bullwhip ».

- Αν  $|\rho| \rightarrow 1$  τότε η διαδικασία θα προσεγγίζει μη στάσιμη συμπεριφορά. Συγκεκριμένα θα έχουμε ένα μοντέλο τυχαίου περιπάτου ή ισοδύναμα μια ARIMA(0,1,0) διαδικασία.
- Αν  $|\rho| < 1$ : τότε η διακύμανση συγκλίνει και η συνδιακύμανση είναι σταθερή.  
Αν  $-1 < \rho < 0$  τότε η διαδικασία σχετίζεται αρνητικά και θα εμφανίζει περίοδο με τη περίοδο ταλαντευτική συμπεριφορά.  
Αν  $0 < \rho < 1$  τότε η διαδικασία της ζήτησης θα σχετίζεται θετικά και θα αντικατοπτρίζεται από μια περιπλάνηση ή οφιοειδή ακολουθία παρατηρήσεων.
- Αν  $|\rho| > 1$ : τότε η διαδικασία δεν έχει όρια και  $E(D_t) \rightarrow \infty$ . Η σειρά σε αυτή τη περίπτωση δεν είναι στάσιμη.
- Αν  $|\rho| = 1$ : Τότε υπάρχει μοναδιαία ρίζα και η σειρά χρειάζεται ειδική θεραπεία.

$e_t$ : Ανεξάρτητα και κανονικά κατανομημένα σφάλματα με μέσο μηδέν και διακύμανση  $\sigma^2$ . Με  $e_t \sim i.i.dN(0, \sigma^2)$  και  $\sigma \ll \tau$  έτσι ώστε η πιθανότητα αρνητικής ζήτησης να είναι αμελητέα.  $e_t$  είναι μία διαδικασία λευκού θορύβου (Wang, JuiLin et al. 2010).

Συνεπώς για να είναι η σειρά της ζήτησης μια στάσιμη διαδικασία αρκεί να ισχύει  $|\rho| < 1$

### 3.3.2 Η διαδικασία ζήτησης με χρήση υποδείγματος κινητών μέσων 1<sup>ης</sup> τάξης MA(1)

Ας υποθέσουμε ότι η ζήτηση  $D_t$  ακολουθεί μια MA(1) στάσιμη διαδικασία. Η στασιμότητα υποδηλώνει μια στατιστική ισορροπία ή αλλιώς σταθερότητα των δεδομένων. Εμπειρικά στοιχεία μας δίνουν τη σχέση ζήτησης όπως τη λαμβάνει υπόψη του ο έμπορος λιανικής.

$$D_t = \tau + e_t - \theta e_{t-1}, \quad t \in Z \quad (3.5)$$

Με τις εξής προϋποθέσεις:

- $\theta \neq 0$  με  $|\theta| < 1$
- $e_t \sim WN(0, \sigma^2)$ : Μια διαδικασία λευκού θορύβου είναι μια ακολουθία  $\{e_t\}_{-\infty}^{\infty}$  όπου:  $E(e_t) = 0$ ,  $\text{Var}(e_t^2) = \sigma^2$  και  $E(e_i e_j) = 0$  για κάθε  $i \neq j$ .



- $\tau > 0$  : θετική σταθερά

Από τη σχέση (6) θα υπολογίσουμε το μέσο, τη διακύμανση, και τη συνδιακύμανση καθώς και τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης.

Παίρνουμε τις προσδοκώμενες τιμές:

- $$\begin{aligned} E(D_t) &= E(\tau + e_t - \theta e_{t-1}) \\ &= E(\tau) + E(e_t) - E(\theta e_{t-1}) \\ &= \tau + 0 + 0\theta \\ &= \tau \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} Var(D_t) &= \gamma(0) = E\{[D_t - E(D_t)]^2\} = E\left[(\tau + e_t - \theta e_{t-1} - \tau)^2\right] = \\ &= E(e_t^2 - 2e_t\theta e_{t-1} + \theta^2 e_{t-1}^2) = E(e_t^2) - E(2e_t\theta e_{t-1}) + E(\theta^2 e_{t-1}^2) \\ &= \sigma^2(1 + \theta^2) \end{aligned} \quad (3.6)$$

- $$\begin{aligned} Cov(D_t D_{t-k}) &= \gamma(k) = E\{[[D_t - E(D_t)][D_{t-k} - E(D_t)]]\} \\ &= E[(\tau + e_t - \theta e_{t-1} - \tau)(\tau + e_{t-k} - \theta e_{t-1} - \tau)] \\ &= E(e_t e_{t-1} - \theta e_t e_{t-k} - \theta e_{t-1} e_{t-1} + \theta^2 e_{t-1} e_{t-k}) \\ &= E(e_t e_{t-1}) - E(\theta e_t e_{t-k}) - E(\theta e_{t-1} e_{t-1}) + E(\theta^2 e_{t-1} e_{t-k}) \\ &= 0 - \theta 0 - \theta 0 + \theta^2 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Επομένως, για όλες τις συνδιακυμάνσεις που οι τυχαίες μεταβλητές απέχουν μεταξύ τους  $k > 1$  χρονικές υστερήσεις βρίσκουμε ότι :

$$Cov(D_t D_{t-k}) = \gamma(k) = 0$$

Αν  $k = 1$  τότε:

$$\begin{aligned} Cov(D_t D_{t-1}) &= \gamma(1) = E\{[[D_t - E(D_t)][D_{t-1} - E(D_t)]]\} \\ &= E[(\tau + e_t - \theta e_{t-1} - \tau)(\tau + e_{t-1} - \theta e_{t-2} - \tau)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= E(e_t e_{t-1} - \theta e_t e_{t-2} - \theta e_{t-1} e_{t-1} + \theta^2 e_{t-1} e_{t-2}) \\
&= E(e_t e_{t-1}) - E(\theta e_t e_{t-2}) - E(\theta e_{t-1} e_{t-1}) + E(\theta^2 e_{t-1} e_{t-2}) \\
&= 0 - \theta 0 - \theta \sigma^2 + \theta^2 0 \\
&= -\theta \sigma^2
\end{aligned}$$

Επομένως η συνάρτηση αυτοσυσχετίσεως MA(1) είναι η παρακάτω:

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(D_t, D_t - k)}{\text{Var}(D_t)} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \begin{cases} \frac{-\theta}{1 + \theta^2} & k = 1 \\ 0 & k > 1 \end{cases}$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν από τις παραπάνω σχέση πως όλες οι αυτοδιακυμάνσεις και συνεπώς και οι αυτοσυσχετίσεις είναι μηδέν εκτός από την πρώτη με αποτέλεσμα μια οποιαδήποτε παρατήρηση της  $D_t$  να συσχετίζεται με την προηγούμενη ή την επόμενη αλλά να μην συσχετίζεται με καμία άλλη.

Επομένως για την MA(1) ισχύουν οι τρεις παρακάτω προϋποθέσεις για τη μέση τιμή, τη διακύμανση, τη συνδιακύμανση και τη συνάρτηση αυτοσυσχετίσεως.

1.  $E(D_t) = E(D_{t-1}) = \tau$
2.  $\text{Var}(D_t) = E[(D_t - E(D_t))^2] = \sigma^2(1 + \theta^2)$
3.  $\text{Cov}(D_t D_{t-1}) = -\theta \sigma^2$  καθώς και  $\text{Cov}(D_t D_{t-k}) = 0$
4.  $\rho_k = \frac{\text{Cov}(D_t, D_t - k)}{\text{Var}(D_t)} = \frac{\gamma_k}{\text{Var}(D_t)} = \begin{cases} \frac{-\theta}{1 + \theta^2} & k = 1 \\ 0 & k > 1 \end{cases} \quad (3.7)$

Στο προηγούμενο μέρος αναφέραμε τις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν ώστε μια διαδικασία στάσιμη. Συνοψίζοντας λοιπόν όλα τα προγενέστερα μπορούμε να πούμε ότι η MA(1) διαδικασία ζήτησης θα είναι στάσιμη εφόσον ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις.

Εφ' όσον η μέση τιμή και οι αυτοσυνδιακυμάνσεις δεν εξαρτώνται από τη χρονική στιγμή  $t$ , τότε η σειρά MA(1) είναι στάσιμη ανεξαρτήτως της τιμής  $\theta$ .

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο περιπτώσεις για το  $\theta$ :

1. Αν  $\theta > 0$  τότε  $\rho_k < 0$ : Τότε φθίνει εκθετικά με αρνητικό πρόσημο
2. Αν  $\theta < 0$  τότε  $\rho_k > 0$ : Τότε φθίνει εκθετικά με εναλλασόμενο πρόσημο (αρχίζοντας από το αρνητικό).

Στη διαδικασία MA(1) οι συντελεστές αυτοσυσχετίσεως γίνονται μηδέν για  $k > 1$  και οι συντελεστές μερικής αυτοσυσχετίσεως μειώνονται γεωμετρικά καθώς αυξάνεται το  $k$ . Αυτό οφείλεται στην ιδιότητα της αντιστρεψιμότητας.

Έτσι αν  $|\theta| < 1$ : Τότε η διαδικασία MA(1) είναι αντιστρέψιμη και μπορεί να γραφεί ως διαδικασία AR( $\infty$ ).

### 3.3.3 Η διαδικασία ζήτησης με χρήση αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος κινητών μέσων 1<sup>ης</sup>

Ας υποθέσουμε ότι η ζήτηση  $D_t$  ακολουθεί μια ARMA(1,1) στάσιμη διαδικασία, με τη μεταβλητή  $\{D_t\}$  να εξαρτάται γραμμικά από τη προηγούμενη τιμή της και η οποία είναι ένας στοχαστικός όρος (ελλειπώς προβλέψιμος). Η στασιμότητα υποδηλώνει μια στατιστική ισορροπία ή αλλιώς σταθερότητα των δεδομένων.

Εμπειρικά στοιχεία μας δίνουν τη σχέση ζήτησης (Wang C. 2010; Tabar S. et al. 2013) όπως τη λαμβάνει υπόψη του ο έμπορος λιανικής.

$$D_t = \tau + \rho D_{t-1} + e_t - \theta e_{t-1} \quad t \in Z \quad (3.8)$$

Όπου:

1.  $\tau > 0$ ,
2.  $|\rho| < 1$  για να εξασφαλίζετε η στασιμότητα,
3.  $|\theta| < 1$  για να εξασφαλίζετε η αντιστρεψιμότητα, όπως τα έχουμε ορίσει πιο πάνω.

Υπολογισμός του  $D_t$  αναδρομικά:

$$D_t = \tau + \rho D_{t-1} + e_t - \theta e_{t-1} = \tau + \rho(\tau + \rho D_{t-2} + e_{t-1} - \theta e_{t-2}) + e_t - \theta e_{t-1}$$

$$\begin{aligned}
&= \tau + \rho\tau + \rho^2 D_{t-2} + \rho e_{t-1} - \rho\theta e_{t-2} + e_t - \theta e_{t-1} \\
&= \tau + \rho\tau + \rho^2(\tau + \rho D_{t-3} + e_{t-2} - \theta e_{t-3}) + \rho e_{t-1} - \rho\theta e_{t-2} + e_t - \theta e_{t-1} \\
&= \tau + \rho\tau + \rho^2\tau + \rho^3 D_{t-3} + \rho^2 e_{t-2} - \rho^2\theta e_{t-3} + \rho e_{t-1} - \rho\theta e_{t-2} + e_t - \theta e_{t-1}
\end{aligned}$$

.....

$$D_t = \sum_{i=0}^{\infty} \tau \rho^i + \sum_{i=0}^j \rho^i (\rho - \theta) e_{t-i-1} + e_t$$

$$D_t = \tau \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i + \sum_{i=0}^j \rho^i (\rho - \theta) e_{t-i-1} + e_t$$

όπως αναφέραμε και πιο πάνω για να είναι η σειρά στάσιμη πρέπει το άθροισμα

$\sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta)$  να συγκλίνει πράγμα που σημαίνει όπως και στην περίπτωση της αυτοπαλίνδρομης διαδικασίας ότι:  $|\rho| < 1$ .

Επομένως όταν η σειρά είναι στάσιμη η  $D_t$  γράφεται ως εξής:

$$D_t = \frac{\tau}{1 - \rho} + e_t + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) e_{t-i-1}$$

Γιατί  $\sum_{i=0}^{\infty} \rho^i$  είναι άθροισμα όρων φθίνουσας γεωμετρικής ακολουθίας και ισχύει ότι:

$$\sum_{i=0}^{\infty} \rho^i = \frac{\tau}{1 - \rho} \text{ επειδή } |\rho| < 1.$$

Υπολογισμός προσδοκώμενων τιμών:

- $$\begin{aligned}
E(D_t) &= E\left(\frac{\tau}{1 - \rho} + e_t + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) e_{t-i-1}\right) \\
&= E\left(\frac{\tau}{1 - \rho}\right) + E(e_t) + E\left(\sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) e_{t-i-1}\right) \\
&= \frac{\tau}{1 - \rho} + 0 + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) E(e_{t-i-1}) \\
&= \frac{\tau}{1 - \rho} + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) E(e_{t-i-1})
\end{aligned}$$

όπου  $E(e_{t-i-1}) = 0$

Επομένως για το μέσο, τη διακύμανση ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

- $E(D_t) = E(D_{t-1}) = \frac{\tau}{1-\rho}$
- $Var(D_t) = Var(\tau + \rho D_{t-1} + e_t - \theta e_{t-1}) = Var(\tau) + Var(\rho D_{t-1}) + Var(e_t) + Var(\theta e_{t-1}) + 2Cov(\tau, \rho D_{t-1}) + 2Cov(\tau, \rho D_{t-1}) + 2Cov(\tau, e_t) - 2Cov(\tau, \theta e_{t-1}) + 2Cov(\rho D_{t-1}, e_t) - 2Cov(\rho D_{t-1}, \theta e_{t-1}) - 2Cov(e_t, \theta e_{t-1})$   
 $Var(D_t) = \rho^2 Var(D_{t-1}) + \sigma^2 + \rho^2 \sigma^2 - 2\rho\theta\sigma^2$   
 $Var(D_t) - \rho^2 Var(D_{t-1}) = (1 + \rho^2 - 2\rho\theta)\sigma^2$   
 $Var(D_t)(1 - \rho^2) = (1 + \rho^2 - 2\rho\theta)\sigma^2$

Συνεπώς η διακύμανση της ζήτησης όταν αυτή ακολουθεί μια ARMA(1,1) διαδικασία δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$Var(D_t) = \frac{(1 + \rho^2 - 2\rho\theta)}{1 - \rho^2} \sigma^2 \quad (3.9)$$

### 3.3Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης

#### L

Ως παρατηρούμενη ζήτηση σύμφωνα με τους Leeetal.(2000) εννοούμε την υποτιθέμενη ζήτηση που πιστεύει πως θα έχει είτε ο έμπορος λιανικής είτε ο προμηθευτής έως τον αντίστοιχο χρόνο παράδοσης του τελικού προϊόντος βασιζόμενος στην αντίστοιχη διαδικασία που ακολουθεί η ζήτηση του.

### 3.4.1 Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης $L$ όταν η ζήτηση είναι μια $AR(1)$ διαδικασία

Έτσι όταν η ζήτηση στον έμπορο λιανικής ακολουθεί μια  $AR(1)$  διαδικασία τότε η συνολική ζήτηση που θα αντιμετωπίσει ο έμπορος λιανικής κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{i=1}^L D_{t+i} = D_t + D_{t+1} + D_{t+2} + \dots + D_{t+L} \quad (3.10)$$

Ο υπολογισμός του αθροίσματος (3.10) είναι εύκολα υπολογίσιμος με αναδρομική εφαρμογή της σχέσης (3.1) για  $t=t+1$ ,  $t=t+2$ , ...,  $t=t+L$ . Έτσι έχουμε:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^L D_{t+i} &= \tau + \rho D_t + e_{t+1} + \tau + \rho\tau + \rho^2 D_t + \rho e_{t+1} + e_{t+2} + \tau + \tau\rho + \rho^2\tau + \rho^3 D_t \\ &\quad + \rho^2 e_{t+1} + \rho e_{t+2} + e_{t+3} + \tau + \tau\rho + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \rho^4 D_t + \rho^3 e_{t+1} + \rho^2 e_{t+2} \\ &\quad + \rho e_{t+3} + e_{t+4} + \tau + \tau\rho + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \rho^4\tau + \rho^5 D_t + \rho^4 e_{t+1} + \rho^3 e_{t+2} \\ &\quad + \rho^2 e_{t+3} + \rho e_{t+4} + e_{t+5} + \dots + \tau + \tau\rho + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \rho^4\tau + \dots + \rho^L \\ &\quad + \rho^{L+1} e_{t+1} + \rho^{L-1} e_{t+2} + \dots + \rho e_{t+L} + e_{t+L} \\ &= \tau(1-\rho)^{-1} \sum_{i=0}^{L+1} (1-\rho^i) + \rho(1-\rho^{L+1})(1-\rho)^{-1} D_t + e_{t+L+1} + \dots \\ &\quad + (1 + \rho^2 + \rho^3 + \dots + \rho^i) e_{t+1} \end{aligned}$$

Άρα

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^L D_{t+i} &= \frac{1}{1-\rho} \{ \tau \sum_{i=0}^{L+1} (1-\rho^i) + \rho(1-\rho^{L+1}) D_t \} + e_{t+L+1} + (1+\rho)e_{t+L} + \dots + \\ &\quad (1 + \rho^2 + \rho^3 + \dots + \rho^i) e_{t+1} \quad (3.11) \end{aligned}$$

Όμως οι πραγματικές πωλήσεις τις χρονικές περιόδους έως το χρόνο παράδοσης είναι άγνωστες. Συνεπώς δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη ζήτηση  $D_t$  για να προβλέψουμε τη ζήτηση μετά από  $L$  χρονικές περιόδους. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τη μαθηματική

ελπίδα (ή αλλιώς τη προσδοκώμενη τιμή) γνωρίζοντας φυσικά τη ζήτηση  $D_t$  στο τέλος της χρονικής περιόδου  $t$ .

### 3.4.2Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης $L$ όταν η ζήτηση είναι μια $MA(1)$ διαδικασία

Χρησιμοποιώντας αναδρομικά τη σχέση τότε η ζήτηση έως το χρόνο παράδοσης  $L$  που αντιλαμβάνεται ο έμπορος λιανικής, δίνεται από τον υπολογισμό του παρακάτω αθροίσματος:

$$\sum_{i=1}^L D_{t+i} = D_t + D_{t+1} + D_{t+2} + \dots + D_{t+L} \quad (3.12)$$

Με αναδρομικό υπολογισμό των  $D_{t+i}$  με τη βοήθεια της σχέσης (3.11) η σχέση (3.12) παίρνει τη παρακάτω μορφή:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^L D_{t+i} &= (\tau + e_{t+1} - \theta e_t) + (\tau + e_{t+2} - \theta e_{t+1}) + (\tau + e_{t+3} - \theta e_{t+2}) + \dots \\ &\quad + (\tau + e_{t+L+1} - \theta e_{t+L}) \\ &= (L)\tau + e_{t+1} + e_{t+2} + \dots + e_{t+L+1} - \theta e_t - \theta e_{t+1} - \theta e_{t+2} - \dots - \theta e_{t+L} \end{aligned}$$

Έτσι όταν η ζήτηση στον έμπορο λιανικής ακολουθεί μια  $MA(1)$  διαδικασία τότε η συνολική ζήτηση που πιστεύει ότι θα αντιμετωπίσει κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{i=1}^L D_{t+i} = (L)\tau + e_{t+1} + e_{t+2} + \dots + e_{t+L} - \theta e_t - \theta e_{t+1} - \theta e_{t+2} - \dots - \theta e_{t+L}$$

$$\sum_{i=1}^L D_{t+i} = (L)\tau + (1 - \theta) \sum_{i=1}^L e_{t+i} - \theta e_t + e_{t+L} \quad (3.13)$$

Όμως οι πραγματικές πωλήσεις τις χρονικές περιόδους έως το χρόνο παράδοσης είναι άγνωστες. Συνεπώς δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη ζήτηση  $D_t$  για να προβλέψουμε τη ζήτηση μετά από  $L$  χρονικές περιόδους. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τη μαθηματική

ελπίδα (ή αλλιώς τη προσδοκώμενη τιμή) γνωρίζοντας φυσικά τη ζήτηση  $D_t$  στο τέλος της χρονικής περιόδου  $t$ .

### 3.4.2Η παρατηρούμενη ζήτηση του έμπορα λιανικής έως το χρόνο παράδοσης Λόταν η ζήτηση είναι μια ARMA(1,1) διαδικασία

Έτσι όταν η ζήτηση στον έμπορο λιανικής ακολουθεί μια ARMA(1,1) διαδικασία τότε η συνολική ζήτηση που θα αντιμετωπίσει ο έμπορος λιανικής κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{i=1}^L D_{t+i} = D_t + D_{t+1} + D_{t+2} + \dots + D_{t+L} \quad (3.14)$$

Ο υπολογισμός του αθροίσματος είναι εύκολα υπολογίσιμος με αναδρομική εφαρμογή της σχέσης (3.1) για  $t=t+1$ ,  $t=t+2$ , ...,  $t=t+L$ . Έτσι έχουμε:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^L D_{t+i} &= (\tau + \rho D_{t-1} + e_t - \theta e_{t-1}) + (\tau + \tau\rho + \rho^2 D_t + \rho e_{t-1} - \rho\theta e_t + e_{t+2} - \theta e_{t-1}) \\ &\quad + (\tau + \rho\tau + \rho^2\tau + \rho^3 D_t + \rho^2 e_{t-1} - \rho^{2\theta} e_t + \rho e_{t+2} - \rho\theta e_{t-1} + e_{t+3} \\ &\quad - \theta e_{t+2}) \\ &\quad + (\tau + \rho\tau + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \rho^4 D_t + \rho^3 e_{t-1} - \rho^3\theta e_t + \rho^2 e_{t+2} - \rho^2\theta e_{t-1} \\ &\quad + \rho e_{t+3} - \rho\theta e_{t+2} + e_{t+4} - \theta e_{t+2}) + \dots + (\tau + \rho\tau + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \rho^4 + \dots \\ &\quad + \rho^L + \rho^{L+1} D_t + \rho^L e_{t+1} + \rho^{L-1} e_{t+2} + \dots + e_{t+L+1} - \rho^L \theta e_t - \rho^{L-1} \theta e_{t+1} \\ &\quad - \rho^{L-2} \theta e_{t+2} - \theta e_{t+L}) \end{aligned}$$

Επομένως ισχύει ότι:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^L D_{t+i} &= \frac{1}{1-\rho} \left[ (L) - \rho \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} \right] + \rho D_t \left[ \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} \right] - \theta e_t \left[ \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} \right] \\ &\quad + (\rho - \theta) \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^j \rho^{j-i} + \sum_{i=1}^L e_{t+i} \end{aligned}$$

Όμως οι πραγματικές πωλήσεις τις χρονικές περιόδους έως το χρόνο παράδοσης είναι άγνωστες. Συνεπώς δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη ζήτηση  $D_t$  για να προβλέψουμε τη ζήτηση μετά από  $L$  χρονικές περιόδους. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τη μαθηματική



ελπίδα (ή αλλιώς τη προσδοκώμενη τιμή) γνωρίζοντας φυσικά τη ζήτηση  $D_t$  στο τέλος της χρονικής περιόδου.

**Πίνακας 3.2: Έρευνες σχετικά με την επίδραση της μεθόδου πρόβλεψης στο φαινόμενο Bullwhip**

Συγγραφέας	Μεθοδολογία	Πολιτική Παραγγελιών	Μέθοδος Πρόβλεψης	Μέτρα	Μοντέλο εφοδιαστικής αλυσίδας	Μοντέλο Ζήτησης	Εστιασμός της Ανάλυσης
Chen, Drezner, et al. (2000) and Chen, Ryan, et al. (2000)	Statistical, simulation	OUT	MA, ES	Order variance	Singles upply chain, MultiEchelon	AR	Bullwhip effect quantification, impact of lead-time, forecast parameter and information sharing
Chatfield et al. (2004)	Simulation	OUT	MA	Order variance	4-Echelon	i.i.d	Impact of lead-time variation, information sharing and information quMohammadM.BoylanJ.ty on the bullwhip effect
Dejonckheere et al. (2003)	Control theoretic	OUT, smoothing	MA, ES, demand signMohammadM.BoylanJ.ng	Order variance	Singles upply chain	Sinusoidal, real data, i.i.d. step demand	The bullwhip effect under different forecasting methods with OUT, impact of order smoothing
Zhang (2004)	Statistical	OUT	MA, ES, MMSE	Order variance	Singles upply chain	AR	Impact of lead time and demand autocorrelation on the bullwhip under different forecasting methods

ChandraandGrais (2005)	Simulation	OUT, MRP	MA, ES, Naïve, autoregressive	Order variance, average inventory level	Singlesupplychain	AR	Impact of OUT and MRP approach with different forecasting methods on the bullwhip effect
Disneyetal. (2006)	Control theoretic	OUT, smoothing	Average demand, ES	Order variance, inventory variance, fill rate	Singlesupplychain	i.i.d, AR, MA, ARMA	Quantifying the bullwhip effect and inventory variance for i.i.d. and AR, MA and ARMA demand
Bayraktaretal. (2008)	Simulation	OUT	Tripleexponential smoothing	Ordervariance	Singleelectronicsupply	Linear demand with seasonal swings	Impact of seasonMohammadM.BoylanJ.ty, lead-time and forecasting parameters, and their interactions on the bullwhip effect
Kelepourisetal. (2008)	Simulation	OUT	ES	Ordervariance, fillrate	2-Echelon	Realdata	Impact of lead time, exponential smoothing factor and safety stock on the bullwhip effect
WrightandYuan (2008)	Simulation	Smoothing OUT	MA, Holt's and Brown's methods	Order variance, root mean square,	4-Echelon	Local trends modified by i.i.d	Impact of improved forecasting and inventory control parameters on the bullwhip effect and inventory costs
Hussainetal. (2012)	Simulation	OUT	ES, MMSE	Ordervariance, inventory variance	Singlesupplychain	AR	Impact of ES and MMSE and lead time on order and inventory variances
Bandyopadhyay andBhattacharya (2013)	Statistical	OUT	MMSE	Ordervariance	Singlesupplychain	ARMA	The bullwhip effect for ARMA(p,q) under various ordering policies

Maetal. (2013)	Statistical	OUT	MA, ES, MMSE	Order variance, inventory variance	Singlesupplychain	Price sensitive demand with AR	Impact of MA, ES and MMSE on order and inventory variances
Costantinoetal. (2013a)	Simulation	OUT	MA	Order variance, inventory variance, fill rate	4-Echelon	i.i.d, seasonal demand	Exploring the bullwhip effect and inventory variance in a seasonal supply chain under various operational settings
JaipuriaandMahapatra (2014)	AI, simulation	OUT	ARIMA, DWTANN	Mean square error, order variance, inventory variance	Singlesupplychain	Realdata, literature data	Impact of forecasting with discrete wavelet transforms integrated with artificial neural network (DWT-ANN) on order and inventory variances
Costantino et al. (2014a), Costantino et al. (2014b), Costantino et al. (2014e)	Simulation	OUT, smoothing, SPC	MA, SPCforecasting	Order variance, inventory variance, fill rate	4-Echelon	i.i.d, AR, seasonal demand	Developing inventory control systems based on control charts to improve supply chain dynamics

**Πηγή: Constantino , Francesco et al. (2015)**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΕΩΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

#### 4.1 Διαφορετικοί μέθοδοι πρόβλεψης ζήτησης

Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip κάνει τη εμφάνιση της όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 2 όταν το πηλίκο της διακύμανσης της ζήτησης του προμηθευτή είναι μεγαλύτερο από της διακύμανσης του έμπορα λιανικής. Για να ελαχιστοποιηθεί αυτός ο λόγος χρειάζεται και η ανάλογη τεχνική πρόβλεψης. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι πρόβλεψης.

Υπάρχουν οι μέθοδοι εξομάλυνσης ευρέως διαδεδομένοι, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε κινητών μέσω είτε εκθετικής εξομάλυνσης. Αυτές της μορφής οι προβλέψεις βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές παραγωγικές και λειτουργικές δραστηριότητες κυρίως λόγω της απλότητας στη χρήση τους (Alwanetal 2003).

Στην πρόβλεψη κινητών μέσων, η πρόβλεψη ζήτησης είναι απλώς ο μέσος όρος των απαιτήσεων που παρατηρούνται σε ορισμένες και σταθερές περιόδους τις οποίες συμβολίζουμε με  $p$  (ChenFranketal. 1999). Το μοντέλο πρόβλεψης κινητών μέσων μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$F_{t+1} = \frac{\sum_{i=0}^{p-1} D_{t-i}}{p}$$

Όπου:  $F_{t+1}$  είναι η πρόβλεψη της ζήτησης για τη περίοδο  $t+1$  η οποία έγινε στο τέλος της περιόδου  $t$ .

Αξίζει ωστόσο να επισημάνουμε ότι οι προβλέψεις για τις περιόδους  $t+i$  με  $t \in N$  οι οποίες γίνονται στο τέλος κάθε περιόδου τείνουν μεταξύ τους ίσες ( $F_{t+i} = F_{t+1} = F_{t+2}$ ).

Στην μέθοδο πρόβλεψης εκθετικής εξομάλυνσης (Exponential smoothing ES), η μέση πρόβλεψη ανά περίοδο είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος όλων των προηγούμενων παρατηρήσεων ζήτησης όπου το βάρος της κάθε ζήτησης μειώνεται αναλόγως της χρονικής περιόδου της κάθε παρατήρησης (Chen, Franketal. 1999). Σύμφωνα με τους Alwanetal. (1999) το μοντέλο αυτής της μορφής πρόβλεψης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha)F_t$$

Με  $0 \leq \alpha \leq 1$  όπου το  $\alpha$  είναι η σταθερά εξομάλυνσης. Σύμφωνα ωστόσο με τους Boute, Lambrecht (2009) μια αύξηση της παραμέτρου αυξάνει την επίδραση του φαινομένου Bullwhip, καθώς δίνεται μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας στη πιο πρόσφατη παρατηρούμενη ζήτηση για τον υπολογισμό της πρόβλεψης.

Ωστόσο και στις δύο παραπάνω μεθόδους είναι φανερό πως όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παράδοσης τόσο μεγαλύτερη είναι και η επίδραση του φαινομένου.

Αξίζει ωστόσο να επισημάνουμε ότι οι προβλέψεις τόσο με τη μέθοδο κινητών μέσων όσο και με τη μέθοδο της εξομάλυνσης παρουσιάζουν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Για τις περιόδους  $t+i$  με  $t \in \mathbb{N}$  οι οποίες γίνονται στο τέλος κάθε περιόδου οι προβλέψεις είναι μεταξύ τους ίσες ( $F_{t+i} = F_{t+1} = F_{t+2}$ ) (Chen, Franketal. 1999).

Από την άλλη πλευρά ωστόσο υπάρχει και η πρόβλεψη του ελαχίστου μέσου τετραγώνου σφάλματος (Minimum Mean Squared Error), η οποία ως μέθοδος σε σχέση με τις δύο προηγούμενες απαιτεί πιο σύνθετους μαθηματικούς υπολογισμούς. Με τη συγκεκριμένη τεχνική πρόβλεψης βασιζόμαστε στη διαδικασία ζήτησης για μελλοντική πρόβλεψη λαμβάνοντας υπόψη το είδος της ζήτησης. Για να υπολογίσουμε τη πρόβλεψη ζήτησης έως το χρόνο παράδοσης δεν πολλαπλασιάζουμε απλώς τη πρόβλεψη ζήτησης της επόμενης περιόδου με το χρόνο παράδοσης αλλά αντιθέτως προβλέπουμε τη ζήτηση περιόδου μπροστά όσος είναι και ο χρόνος παράδοσης (Boute, Lambrecht 2009).

Σύμφωνα με το Zhang X. (2004) ο οποίος έκανε συγκριτική μελέτη του φαινομένου Bullwhip, η μέθοδος πρόβλεψης μέσου ελαχίστου τετραγώνου σφάλματος θεωρείται ως η βέλτιστη για το λόγο ότι καταφέρνει και οδηγεί στο χαμηλότερο αποθεματικό κόστος σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους πρόβλεψης. Γενικότερα μπορούμε να πούμε πως καμία μέθοδος πρόβλεψης δεν εξαλείφει την επίδραση του φαινομένου.

## ΣΧΗΜΑ 4.1 Διάφοροι μέθοδοι πρόβλεψης που έχουν χρησιμοποιηθεί

TABLE I  
MAJOR AUTHORS AND THEIR FORECASTING METHODS

Forecasting methods	Authors
Moving average	Chen et al. [9], Zhang et al. [11]
Exponential smoothing	Chen et al. [10], Zhang et al. [11]
Minimal Mean Square Error	Alwan et al. [15], Zhang et al.[11], Hosoda and Disney [16]

Πηγή: Sun H. Ren T. 2005

#### 4.2 Πρόβλεψη ζήτησης έμπορου λιανικής έως το χρόνο παράδοσης από AR(1) διαδικασία

Χρησιμοποιώντας το κριτήριο Minimum Mean Squared Error (MMSE) ο καλύτερος εκτιμητής για την άγνωστη τυχαία μεταβλητή  $\sum_{i=1}^L D_{t+i}$  δεδομένης της ζήτησης  $D_t$  τη χρονική περίοδο  $t$  δίνεται από τον υπό όρους μέσο του  $\sum_{i=1}^L D_{t+i}$  δεδομένου του  $D_t$ .

$$\begin{aligned}
 \widehat{D}_t &= \sum_{i=1}^L \widehat{D}_{t+i} \\
 &= E\left(\sum_{i=1}^L (D_{t+i}|D_t)\right) = E(D_{t+1} + D_{t+2} + D_{t+3} + D_{t+4} + \dots + (D_{t+i}|D_t)) \\
 &= E(\tau + \rho D_t + e_{t+1} + \tau + \rho\tau + \rho^2 D_t + \rho e_{t+1} + e_{t+2} + \tau + \rho\tau + \rho^2\tau \\
 &\quad + \rho^3 D_t + \rho^2 e_{t+1} + \rho e_{t+2} + e_{t+3} + \tau + \rho\tau + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \rho^4 D_t + \rho^3 e_{t+1} \\
 &\quad + \rho^2 e_{t+2} + \rho e_{t+3} + e_{t+4} + \tau + \rho\tau + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \rho^4\tau + \rho^5 D_t + \rho^4 e_{t+1} \\
 &\quad + \rho^3 e_{t+2} + \rho^2 e_{t+3} + \rho e_{t+4} + e_{t+5} + \tau + \rho\tau + \rho^2\tau + \rho^3\tau + \dots \\
 &\quad + \rho^{L+1} + \rho^{L+1} D_t + \rho^L e_{t+1} + \rho^{L-1} e_{t+2} + \dots + \rho e_{t+L} + e_{t+L} D_t) \\
 &= E[\tau + \tau(1 + \rho) + \tau(1 + \rho + \rho^2) + \tau(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3) \\
 &\quad + \tau(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots + \rho^L) + e_{t+L+1} + (1 + \rho)e_{t+L} + \dots + (1 + \rho + \rho^2 \\
 &\quad + \rho^3 + \dots + \rho^i)e_{t+1} | D_t]
 \end{aligned}$$

Επομένως ισχύει ότι εκτιμώμενη ζήτηση έως το χρόνο παράδοσης  $L$ , που θα αντιμετωπίσει ο έμπορος λιανικής στο τέλος της  $t$  περιόδου θα δίνεται από τη παρακάτω σχέση σύμφωνα με τους Mohammad M. Boylan J. M. et al. (2012):

$$\widehat{D}_t = E\left(\sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t\right) = \frac{\tau}{1-\rho} \left[ L - \sum_{j=1}^L \rho^j \right] + \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_t \quad (4.1)$$

Η διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης δίνεται με τη βοήθεια του μέσου τετράγωνο σφάλματος Mean Squared Error (MSE) από τη παρακάτω σχέση:

$$\text{Var}(\text{ForecastError}) = \text{Var} \left[ \left[ \sum_{i=1}^L D_{t+i} - E\left(\sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t\right) \right] \right] \quad (4.2)$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση (4.2) τη σχέση (4.1) έχουμε:

$$\begin{aligned} & \text{Var} \left[ \sum_{i=1}^L D_{t+i} - E\left(\sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t\right) \right] \\ &= \text{Var} \left[ \tau + (1+\rho) + \tau(1+\rho+\rho^2) + \dots + \tau(1+\rho+\rho^2+\dots+\rho^L) \right. \\ & \quad \left. + \rho(1+\rho+\rho^2+\dots+\rho^L)D_t + e_{t+L} + (1+\rho)e_{t+L-1} + \dots \right. \\ & \quad \left. + (1+\rho+\rho^2+\dots+\rho^L)e_t - \frac{\tau}{1-\rho} \left[ L - \sum_{j=1}^L \rho^j \right] - \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_t \right] \\ &= \text{Var} \left[ \tau + (1+\rho) + \tau(1+\rho+\rho^2) + \dots + \tau(1+\rho+\rho^2+\dots+\rho^L) \right. \\ & \quad \left. + \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_t + e_{t+L} + (1+\rho)e_{t+L-1} + \dots + (1+\rho+\rho^2+\dots+\rho^L)e_t \right. \\ & \quad \left. - \frac{\tau}{1-\rho} \left[ L - \sum_{j=1}^L \rho^j \right] - \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_t \right] \end{aligned}$$

$$= Var \left[ \tau + (1 + \rho) + \tau(1 + \rho + \rho^2) + \dots + \tau(1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^L) + \dots \right. \\ \left. + \tau(1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^L) + e_{t+L} + (1 + \rho)e_{t+L-1} + \dots \right. \\ \left. + (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^L)e_t - \frac{\tau}{1 - \rho} \left[ L - \sum_{j=1}^L \rho^j \right] \right]$$

$$= [\sigma^2 + (1 + \rho)^2\sigma^2 + \dots + (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^L)^2\sigma^2] \\ = \sigma^2 [1 + (1 + \rho)^2 + \dots + (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^L)^2] \\ = \frac{\sigma^2(1 - \rho)^2}{(1 - \rho)^2} (1 + (1 + \rho)^2 + \dots + (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^L)^2) \\ = \frac{\sigma^2}{(1 - \rho)^2} [(1 - \rho)^2 + (1 - \rho^2)^2 \dots + (1 - \rho^L)^2]$$

$$Var \left[ \left[ \sum_{i=1}^L D_{t+i} - E \left( \sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t \right) \right] \right] = \frac{\sigma^2}{(1 - \rho)^2} \sum_{i=1}^L (1 - \rho^i)^2 \quad (4.3)$$

Σύμφωνα με τους Hosodaetal. (2006)καιMohammad M.Boylan J.M. etal. (2012) η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί σε απλούστερη μορφή ως:

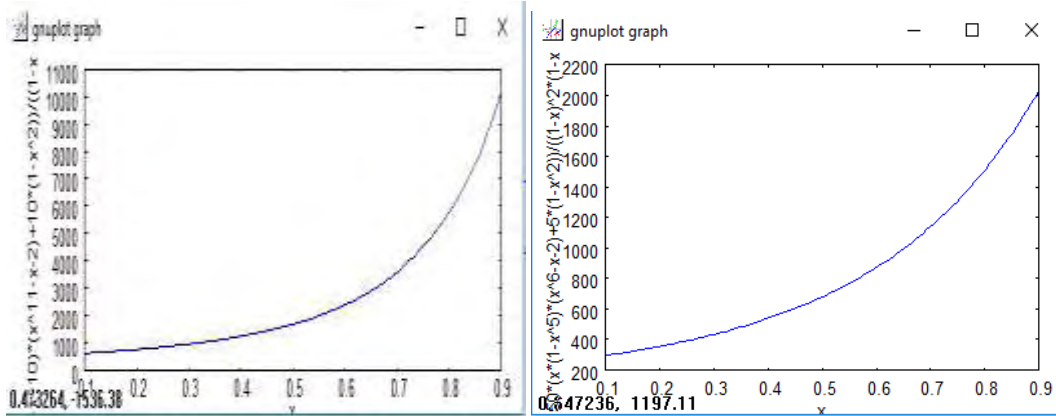
$$Var \left[ \left[ \sum_{i=1}^L D_{t+i} - E \left( \sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t \right) \right] \right] = \frac{(L)(1 - \rho^2) + \rho(1 - \rho^L)(\rho^{L+1} - \rho - 2)}{(1 - \rho)^2(1 - \rho^2)} \sigma^2 \quad (4.4)$$

Από τη σχέση (4.4) και το σχήμα (4.2) που παρουσιάζεται παρακάτω , μπορούμε να συμπεράνουμε ότι : καθώς το L αυξάνεται τότε και ο όρος  $\frac{\sum_{i=1}^L(1-\rho^i)^2}{(1-\rho)^2}$  αυξάνεται με αποτέλεσμα και η Var να αυξάνεται. Επίσης όσο η διακύμανση  $\sigma^2$  αυξάνεται τόσο η πρόβλεψη είναι λιγότερο έγκυρη με αυξανόμενο το εύρος της τυπικής απόκλισης. Σε αυτή τη περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι η πρόβλεψη είναι λιγότερο έγκυρη. Επομένως ο όρος  $\frac{\sum_{i=1}^L(1-\rho^i)^2}{(1-\rho)^2}$  όχι μόνο εκφράζει την αλλαγή της διακύμανσης αλλά επηρεάζει και το επίπεδο αξιοπιστίας της πρόβλεψης.



**Σχήμα (4.2) Γραφική παράσταση της  $Var \left[ \left[ \sum_{i=1}^L D_{t+i} - E \left( \sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t \right) \right] \right]$**

$L = 5$  και  $-1 < \rho < 1$  και  $\sigma^2 = 50$  &  $L = 10$  και  $-1 < \rho < 1$  και  $\sigma^2 = 50$



### 4.3.1 Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας Υ από τον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση του ακολουθεί μια διαδικασία AR(1)

Στο τέλος της περιόδου  $t$  (όταν η ζήτηση  $D_t$  είναι ήδη γνωστή) ο έμπορος λιανικής ελέγχει το ύψος των αποθεμάτων του και ορίζει μια παραγγελία ύψους  $Y_t$  στον κατασκευαστή, προκειμένου να αναπλήρωση τη στάθμη του αποθέματος του. Ο έμπορος θα παραλάβει αυτή τη παραγγελία του στην αρχή της περιόδου  $t + L$  (Mohammad M. Boylan J. et al. 2012). Από τη πλευρά του ο προμηθευτής παραλαμβάνει και αποστέλλει την παραγγελία  $Y_t$  στο τέλος της περιόδου  $t$ .

Υποθέτουμε ότι  $S_t$  ( $t = 1, 2, 3, \dots$ ) το επίπεδο Order-Up-To (OUT) του έμπορου λιανικής στην αρχή της περιόδου  $t$ . Έτσι ο έμπορος βάζει μια παραγγελία στον προμηθευτή η οποία δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Chen, Drezner 2000; Chen Li, Lee L. 2017):

$$Y_t = D_t + (S_t - S_{t-1}) \tag{4.5}$$

Όπου  $Y_t$  αναπαριστά τη ποσότητα που δίνει ως παραγγελία ο έμπορος λιανικής στον προμηθευτή την περίοδο  $t$  η οποία θα παραδοθεί την περίοδο  $t + L$ .

Με  $S_t$  να είναι το επίπεδο OUT ( ή αλλιώς το Basestocklevel)το οποίο ισούται με την κατάσταση του αποθέματος μετά την τοποθέτηση της παραγγελίας την περίοδο  $t$ . Το Basestocklevel ισούται με το άθροισμα της προβλεπόμενης ζήτησης έως το χρόνο παράδοσης και με το SafetyStock (Ma, Yungaoetal.2013).

$$\text{Όπου } S_t = \widehat{D}_t^L + z\widehat{\sigma}_t^L \quad (4.6)$$

Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις για το  $Y_t$ :

- $Y_t < 0$  : Σε αυτή τη περίπτωση το  $\sigma \ll \tau$  . Η πιθανότητα όμως να ισχύει κάτι τέτοιο είναι αμελητέα.
- $Y_t > 0$  : Ικανοποιείται αυτόματα εάν οι επιστροφές επιτρέπονται χωρίς επιπρόσθετο κόστος.
- $Y_t \geq 0$  : Είναι λιγότερο αυστηρή από ότι η συμβατική παραδοχή που γίνεται με το παραδοσιακό περιοδικό σύστημα απογραφής με κανονική κατανομή ζήτησης.

Όπως έχουμε αναφέρει και στο κεφάλαιο 2 θεωρούμε τόσο ότι η μέση ζήτηση όσο και η διακύμανση της είναι άγνωστες τυχαίες μεταβλητές τις οποίες θα εκτιμήσουμε.

Επομένως αντικαθιστώντας στη σχέση (4.4) τη σχέση (4.3) έχουμε:

$$Y_t = [(\widehat{D}_t^L + z\widehat{\sigma}_t^L) - (\widehat{D}_{t-1}^L + z\widehat{\sigma}_{t-1}^L)] + D_t$$

$$Y_t = (\widehat{D}_t^L - \widehat{D}_{t-1}^L) + (z\widehat{\sigma}_t^L - z\widehat{\sigma}_{t-1}^L) + D_t$$

Σύμφωνα με τον ZhangX. (2006) ισχύει ότι  $\widehat{\sigma}_t^L = \widehat{\sigma}_{t-1}^L$  επομένως η παραπάνω σχέση παίρνει τη μορφή:

$$Y_t = (\widehat{D}_t^L - \widehat{D}_{t-1}^L) + D_t \quad (4.7)$$

Στη σχέση (4.7) αντικαθιστούμε τη σχέση (4.1) και την αντίστοιχη εκτίμηση  $\widehat{D}_{t-1}^L$  οπότε:

$$\begin{aligned}
Y_t &= \frac{\tau}{1-\rho} \left( L - \sum_{j=1}^L \rho^j \right) + \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_t - \left[ \frac{\tau}{1-\rho} \left( L - \sum_{j=1}^L \rho^j \right) + \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_{t-1} \right] + D_t \\
&= \left[ \frac{\tau}{1-\rho} L + \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} \left( D_t + \frac{\tau}{1-\rho} \right) - \frac{\tau}{1-\rho} L \right. \\
&\quad \left. - \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} \left( D_{t-1} + \frac{\tau}{1-\rho} \right) \right] + D_t \\
&= \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} \left( D_t + \frac{\tau}{1-\rho} - D_{t-1} - \frac{\tau}{1-\rho} \right) + D_t \\
&= \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_t - \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_{t-1} + D_t \\
&= \left( 1 + \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_t \right) - \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} D_{t-1} = \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_t + \frac{\rho-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_{t-1}
\end{aligned}$$

Επομένως έχουμε ότι :

$$Y_t = \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_t + \frac{\rho-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_{t-1} \quad (4.8)$$

αντικαθιστώντας τώρα στη σχέση (4.8) τη σχέση (3.1) παίρνουμε:

$$\begin{aligned}
Y_t &= \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} (\tau + \rho D_{t-1} + e_t) + \frac{\rho-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_{t-1} \\
&= \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} \tau + \rho \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_{t-1} + \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} e_t - \frac{\rho-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_{t-1} \\
&= \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} \tau + \left( \frac{\rho-\rho^{L+2}}{1-\rho} - \frac{\rho-\rho^{L+1}}{1-\rho} \right) D_{t-1} + \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} e_t \\
&= \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} \tau + \frac{\rho-\rho^{L+2}-\rho+\rho^{L+1}}{1-\rho} D_{t-1} + \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} e_t
\end{aligned}$$

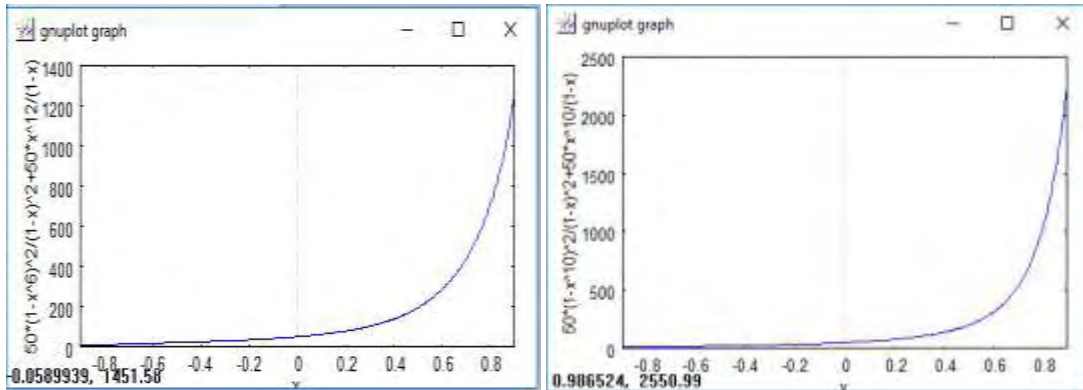
$$Y_t = \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} \tau + \frac{\rho^{L+1}(1-\rho)}{1-\rho} D_{t-1} + \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} e_t \quad (4.9)$$

Σύμφωνα με τους ZhangX. (2006) γνωρίζουμε ότι τα  $e_t$  και  $D_{t-1}$  είναι ανεξάρτητα. Συνεπώς εύκολα προκύπτει ότι η διακύμανση της παραγγελίας που δίνει προς εκτέλεση ο έμπορος λιανικής όταν αντιμετωπίζει μια διαδικασία ζήτησης AR(1) δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$Var(Y_t) = \left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right)^2 \sigma^2 + \frac{\rho^{2(L+1)}}{1-\rho} \sigma^2 \tag{4.10}$$

**Σχήμα (4.3) Γραφική παράσταση διακύμανσης της παραγγελίας:  $Var(\widehat{Y}_t)$**

$L = 5$  και  $-1 < \rho < 1$  και  $\sigma^2 = 50$  &  $L = 10$  και  $-1 < \rho < 1$  και  $\sigma^2 = 50$

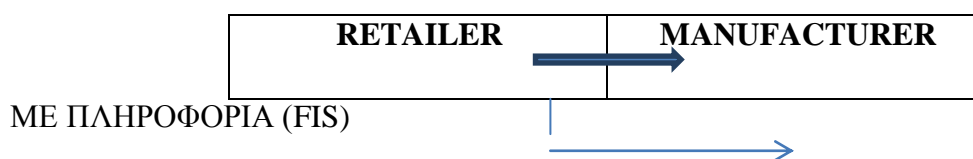


Από το σχήμα (4.3) παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης αυξάνεται ταυτόχρονα και η διακύμανση της παραγγελίας.

### 4.3.2 Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας $Q_t$ από τον προμηθευτή όταν η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής είναι AR(1)

Γνωρίζουμε επίσης ότι μία AR(1) διαδικασία στον έμπορα λιανικής μεταφράζεται σε μια ARMA(1,1) διαδικασία ζήτησης στον προμηθευτή σύμφωνα με τη σχέση (4.9) (Alwan L. et al. 2003; Zhang 2004) εάν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος πρόβλεψης μέσου ελάχιστου τετραγώνου σφάλματος και επιπλέον μια ΟΥΤαποθεματική πολιτική.

Η απόφαση της παραγγελίας του προμηθευτή από την άλλη πλευρά εξαρτάται από το είδος σχέσης που έχει δημιουργηθεί στην εφοδιαστική αλυσίδα σε σχέση με τον διαμοιρασμό της πληροφορίας.



Σε αυτή τη περίπτωση με διάδοση της πληροφορίας της προβλεπόμενης ζήτησης – ForecastInformationSharing (FIS) ο έμπορος λιανικής μεταδίδει τη πληροφορία ζήτησης στον προμηθευτή και το ύψος της παραγγελίας  $Y_t$ . Υποθέτουμε πως ο προμηθευτής έχει ένα σύστημα περιοδικής επικοινωνίας και λαμβάνει μέσω αυτού τις ενημερώσεις του έμπορα λιανικής (Chen, Chi, Wolfe 2011) με αποτέλεσμα να γνωρίζει και το σφάλμα της πρόβλεψης  $e_t$  του έμπορα λιανικής.

Ο προμηθευτής επομένως θα παρατηρεί μια ζήτηση διαδικασίας ARMA(1,1) για τον οποίο αυτή η ζήτηση θα τον βοηθήσει να τοποθετήσει και τη δική του παραγγελία ύψους  $Q_t$ . Η ζήτηση επομένως που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής θα έχει τη παρακάτω μορφή:

$$Y_t = \frac{\rho(1 - \rho^L)}{1 - \rho} D_t - \frac{\rho(1 - \rho^L)}{1 - \rho} D_{t-1} + D_t \text{ για κάθε } t \in Z \quad (4.11)$$

$$\text{Υποθέτουμε } k = \frac{\rho(1 - \rho^L)}{1 - \rho}$$

Επομένως η σχέση (4.11) παίρνει τη παρακάτω μορφή με χρήση της (3.1):

$$\begin{aligned} Y_t &= D_t + kD_t - kD_{t-1} = (1 + k)D_t - kD_{t-1} \\ &= (1 + k)(\tau + \rho D_{t-1} + e_t) - k(\tau + \rho D_{t-2} + e_{t-1}) \\ &= \tau + \rho(1 + k)D_{t-1} - \rho k D_{t-2} - k e_{t-1} + (1 + k)e_t \end{aligned}$$

$$\text{Άρα } Y_t = \tau + \rho(1 + k)D_{t-1} - \rho k D_{t-2} - k e_{t-1} + (1 + k)e_t \quad (4.12)$$

Επομένως χωρίς βλάβη της γενικότητας μπορούμε να υποθέσουμε ότι:

$$Y_{t-1} = (1 + k)D_{t-1} - kD_{t-2}$$

Πολλαπλασιάζοντας και τα δύο μέλη της παραπάνω σχέσης με  $\rho$  έχουμε:

$$\rho Y_{t-1} = \rho(1 + k)D_{t-1} - \rho k D_{t-2} \quad (4.13)$$

αντικαθιστώντας τη σχέση (4.12) στη σχέση (4.13) παίρνουμε:

$$Y_t = \tau + \rho Y_{t-1} - k e_{t-1} + (1 + k)e_t \quad (4.14)$$

Ας υποθέσουμε πως:

$$\alpha_t = (k + 1)e_t = \left[ \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} + 1 \right] e_t = \frac{(1-\rho^{L+1})}{1-\rho} e_t \quad (4.15)$$

Και από αυτή τη σχέση αναδρομικά θα υπολογίσουμε το  $\alpha_{t-1}$ , όπου:

$$\alpha_{t-1} = (k + 1)e_{t-1} \Rightarrow e_{t-1} = \frac{1}{k + 1} \alpha_{t-1}$$

Επομένως:

$$k e_{t-1} = \frac{k}{k+1} \alpha_{t-1} = \frac{\frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho}}{\frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho} + 1} \alpha_{t-1} = \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho^{L+1}} \alpha_{t-1} = \theta \alpha_{t-1} \quad (4.16)$$

$$\text{Με } \theta = \frac{\rho(1-\rho^L)}{1-\rho^{L+1}}$$

Με αποτέλεσμα η τελική μορφή της (4.12) λόγω των σχέσεων (4.14) και (4.16) να παίρνει τη μορφή:

$$Y_t = \tau + \rho Y_{t-1} + \alpha_t - \theta \alpha_{t-1}, (4.17)$$

Όπου η σχέση (4.17) υποδηλώνει μια στάσιμη διαδικασία ARMA(1,1).

Με τις εξής προϋποθέσεις όπως τις έχουμε προτείνει στο κεφάλαιο 2:

- $|\theta| < 1$  για να ισχύει η αντιστρεψιμότητα
- $\alpha_t \sim N(0, \sigma^2)$ : Μια διαδικασία λευκού θορύβου είναι μια ακολουθία  $\{\alpha_t\}_{-\infty}^{\infty}$  όπου:  $E(\alpha_t) = 0$ ,  $\text{Var}(\alpha_t^2) = \sigma^2$  και  $E(\alpha_i \alpha_j) = 0$  για κάθε  $i \neq j$ .
- $\tau > 0$ : θετική σταθερά
- $|\rho| < 1$  για να υπάρχει στασιμότητα

Η σχέση (4.15) αναδρομικά μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$Y_t = \tau + \rho(\tau + \rho Y_{t-2} + \alpha_t - \theta \alpha_{t-2}) + \alpha_t - \theta \alpha_{t-1}$$

$$Y_t = \tau + \rho + \rho^2 Y_{t-2} + \rho \alpha_{t-1} - \rho \theta \alpha_{t-2} + \alpha_t - \theta \alpha_{t-1}$$

$$Y_t = \tau + \rho + \rho^2(\tau + \rho Y_{t-3} + \alpha_{t-2} - \theta \alpha_{t-3}) + \rho \alpha_{t-1} - \rho \theta \alpha_{t-2} + \alpha_t - \theta \alpha_{t-1}$$

$$Y_t = \tau + \rho + \rho^2 \tau + \rho Y_{t-3} + \rho^2 \alpha_{t-2} - \rho^2 \theta \alpha_{t-3} + \rho \alpha_{t-1} - \rho \theta \alpha_{t-2} + \alpha_t - \theta \alpha_{t-1}$$

.....

$$Y_t = \sum_{i=0}^{\infty} \tau \rho^i \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) \alpha_{t-i-1} + \alpha_t$$

$$Y_t = \tau \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) \alpha_{t-i-1} + \alpha_t$$

Με το άθροισμα  $\sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta)$  να συγκλίνει πράγμα που σημαίνει όπως και στην περίπτωση της αυτοπαλίνδρομης διαδικασίας ότι:  $|\rho| < 1$ . Επομένως όταν η σειρά είναι στάσιμη η  $Y_t$  γράφεται ως εξής:

$$Y_t = \frac{\tau}{1-\rho} + \alpha_t + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) \alpha_{t-i-1} \quad (4.18)$$

Από τη σχέση (4.18) θα υπολογίσουμε το μέσο και τη διακύμανση.

- $E(Y_t) = E\left(\frac{\tau}{1-\rho} + \alpha_t + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) \alpha_{t-i-1}\right) = E\left(\frac{\tau}{1-\rho}\right) + E(\alpha_t) + E\left(\sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) \alpha_{t-i-1}\right)$

Επομένως:

$$E(Y_t) = \frac{\tau}{1-\rho}$$

Ενώ για τη διακύμανση έχουμε σύμφωνα με τον AlwanL. etal. (2003)

- $Var(Y_t) = E[(Y_t - E(Y_t))^2]$

$$= E\left[\frac{\tau}{1-\rho} + \alpha_t + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) \alpha_{t-i-1} - \frac{\tau}{1-\rho}\right]$$

$$E\left[\alpha_t + \sum_{i=0}^{\infty} \rho^i (\rho - \theta) \alpha_{t-i-1}\right] = \sigma^2 \frac{1 - \theta^2 - 2\rho\theta}{1 - \rho^2}$$

Αντίστοιχα λοιπόν η συνολική παρατηρούμενη ζήτηση που υποθέτει ο προμηθευτής πως θα έχει έως το δικό του χρόνο παράδοσης  $L_1$  θα δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\sum_{i=1}^{L_1} Y_{t+i} = Y_{t+1} + Y_{t+2} + Y_{t+3} + \dots + Y_{t+L_1}$$

Για λόγους ευκολίας υπολογισμό του παραπάνω αθροίσματος θα κάνουμε αναδρομική εφαρμογή της σχέσης (4.15) στο παραπάνω άθροισμα.

Επομένως η συνολική ζήτηση που πιστεύει ο προμηθευτής πως θα αντιμετωπίσει έως το χρόνο  $K$  παράδοσης δίνεται από τη σχέση (MohammadM.BoylanJ.etal. 2012):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{L_1} Y_{t+i} &= \frac{\tau}{1-\rho} \left[ (L_1) - \rho \frac{1-\rho^{L_1}}{1-\rho} \right] + \rho Y_t \left[ \frac{1-\rho^{L_1}}{1-\rho} \right] - \theta \alpha_t \left[ \frac{1-\rho^{L_1}}{1-\rho} \right] \\ &+ \sum_{j=1}^{L_1} \left\{ \left[ 1 + \frac{(\rho-\theta)(1-\rho^{L_1-j})}{1-\rho} \right] \alpha_{t+j} \right\} + \alpha_{t+L_1} \end{aligned}$$

Όμως οι πραγματικές πωλήσεις τις χρονικές περιόδους έως το χρόνο παράδοσης είναι άγνωστες. Συνεπώς δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη ζήτηση  $Y_t$  για να προβλέψουμε τη ζήτηση μετά από  $L_1$  χρονικές περιόδους. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τη μαθηματική ελπίδα (ή αλλιώς τη προσδοκώμενη τιμή) γνωρίζοντας φυσικά τη ζήτηση  $Y_t$  στο τέλος της χρονικής περιόδου  $t$ .

Αντίστοιχα η μέση εκτιμώμενη ζήτηση έως το χρόνο παράδοσης θα έχει τη μορφή:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{L_1} \widehat{Y}_{t+i} &= E \left( \sum_{i=1}^{L_1} Y_{t+i} | Y_t \right) = \frac{\tau}{1-\rho} \left[ (L_1) - \rho \frac{1-\rho^{L_1}}{1-\rho} \right] \\ &+ \rho Y_t \left[ \frac{1-\rho^{L_1}}{1-\rho} \right] - \theta \alpha_t \left[ \frac{1-\rho^{L_1}}{1-\rho} \right] \end{aligned} \quad (4.19)$$

Η διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\text{Var}(\text{Forecast error}) = \text{Var} \left[ \sum_{i=1}^{L_1} Y_{t+i} - E \left( \sum_{i=1}^{L_1} Y_{t+i} | Y_t \right) \right]$$

Η απόδειξη της παραπάνω σχέσης δίνεται στο παράρτημα 4.



Επομένως, έχοντας κάνει όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς μπορούμε να προχωρήσουμε στην ποσότητα της παραγγελίας την οποία θα τοποθετήσει ο προμηθευτής στο επόμενο μέλος της αλυσίδας, δηλαδή στον κατασκευαστή.

Υποθέτουμε ακόμα σύμφωνα και με (MohammadM.BoylanJ.etal. 2012) πως ο προμηθευτής ακολουθεί το ίδιο μοντέλο ΟΥΤαποθεματικής πολιτικής όπως και ο έμπορος λιανικής.

Έστω λοιπόν πως ο προμηθευτής τοποθετεί μια παραγγελία ύψους  $Q_t$  στον κατασκευαστή, αφού πρώτα έχει στείλει τη παραγγελία στον έμπορο λιανικής, η οποία δίνεται από τη σχέση (4.5) όπως την έχουμε αναπτύξει πιο πριν.

$$Q_t = (\widehat{Y}_t^{L_1} - \widehat{Y}_{t-1}^{L_1}) + Y_t \quad (4.20)$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση (4.20) τις σχέσεις (4.18) και (4.19) έχουμε σύμφωνα με τους AgrawalS. etal. (2007):

$$\begin{aligned} Q_t = & \left(1 + \rho \frac{1 - \rho^{L_1}}{1 - \rho}\right) Y_t + \rho \frac{1 - \rho^{L_1}}{1 - \rho} Y_{t-1} + \rho \frac{1 - \rho^{L_1}}{1 - \rho} \\ & - \theta \frac{1 - \rho^{L_1}}{1 - \rho} (\alpha_t \\ & - \alpha_{t-1}) \end{aligned} \quad (4.21)$$

Η σχέση (4.18) αναπαριστά μία διαδικασία ARMA(1,1).Εύκολα μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε πως όταν η ζήτηση στον προμηθευτή ακολουθεί μια ARMA(1,1) διαδικασία τότε όπως αποδείξαμε και στην ενότητα (4.3.1) και η ζήτηση που θα αντιμετωπίζει το επόμενο μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας, θα είναι μια ARMA(1,1) διαδικασία.

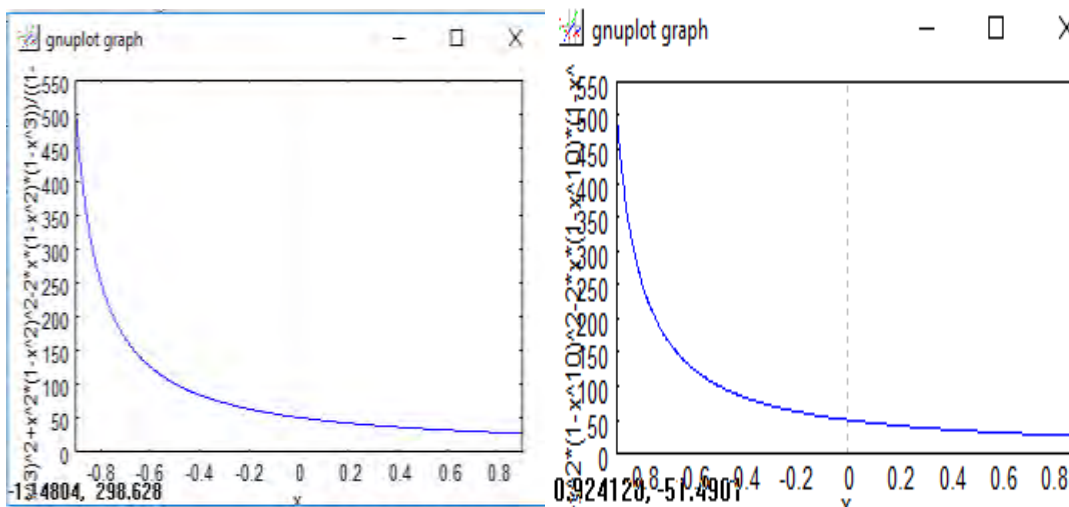
Τη διακύμανση της παραπάνω παραγγελίας μας τη δίνουν οι AgrawalS. etal. (2007)και Raghunathan (2003) και έχει τη παρακάτω μορφή, θεωρώντας γνωστά τα  $\alpha_t$  και  $\alpha_{t-1}$  όπως τα έχουμε ορίσει πιο πάνω.

$$\begin{aligned} & Var(Q_t) \\ = & \frac{(1 - \rho^{L+L_1+1})^2 + \rho^2(1 - \rho^{L+L_1})^2 - 2\rho^2(1 - \rho^{L+L_1+1})(1 - \rho^{L+L_1})}{(1 - \rho)^2(1 - \rho^2)} \sigma^2 \end{aligned} \quad (4.22)$$

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τη σχέση (4.19) η επίδραση του φαινομένου Bullwhip στον προμηθευτή εξαρτάται άμεσα τόσο από τη τιμή της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου όσο και από του χρόνους παράδοσης  $L$  και  $L_1$  των εμπορευμάτων αντίστοιχα.

**Σχήμα (4.4)** Γραφική παράσταση της  $Var(Q_t)$  όπου  $-1 < \rho < 1$  και  $\sigma^2 = 50$

$$L = L_1 = 5 \text{ \& } L = L_1 = 10$$



### 4.3 Πρόβλεψη ζήτησης έμπορου λιανικής έως το χρόνο παράδοσης από MA(1) διαδικασία

Χρησιμοποιώντας το κριτήριο MMSE ο καλύτερος εκτιμητής για την άγνωστη τυχαία μεταβλητή  $\sum_{i=1}^{L+1} D_{t+i}$  δεδομένης της ζήτησης  $D_t$  τη χρονική περίοδο  $t$  δίνεται από τον υπό όρους μέσο του  $\sum_{i=1}^{L+1} D_{t+i}$  δεδομένου του  $D_t$  (Mohammad M. Boylan J. Etal. (2012).

$$\begin{aligned}\widehat{D}_t &= E\left(\sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t\right) = E(D_{t+1} + D_{t+2} + D_{t+3} + \dots + D_{t+L+1} \mid D_t) \\ &= E[(L)\tau + e_{t+1} + e_{t+2} + \dots + e_{t+L+1} - \theta e_{t+1} - \theta e_{t+2} - \theta e_{t+3} - \dots \\ &\quad - \theta e_{t+L} \mid D_t] = E\left[(L) + (1 - \theta) \sum_{i=1}^L e_{t+i} - \theta e_t + e_{t+L+1} \mid D_t\right] = \tau(L) - \theta e_t\end{aligned}$$

Επομένως ισχύει ότι :

$$\widehat{D}_t = \tau L - \theta e_t \quad (4.23)$$

Η διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

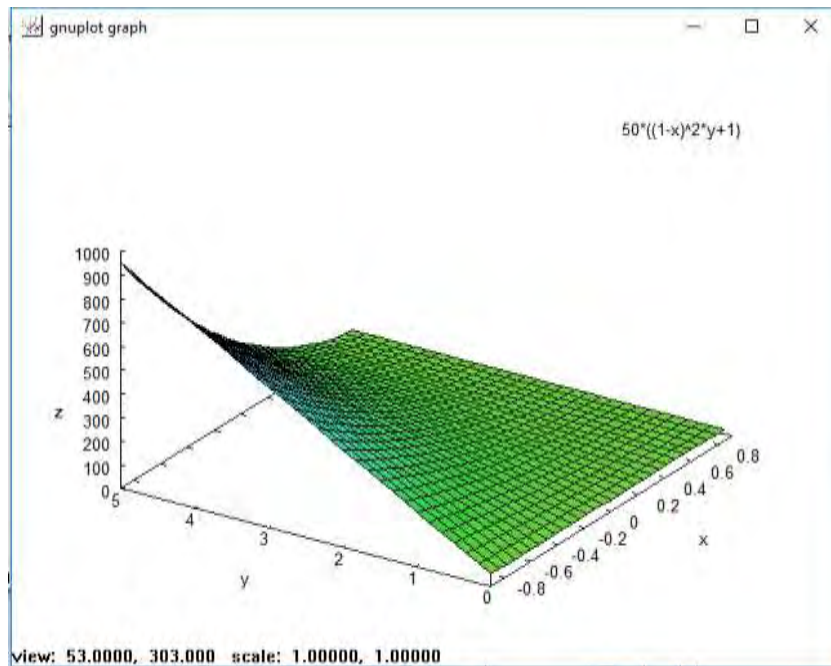
$$\begin{aligned}\text{Vary}(\text{Forecast Error}) &= \text{Var}\left(\sum_{i=1}^{L+1} D_{t+i} - E\left(\sum_{i=1}^{L+1} D_{t+i} \mid D_t\right)\right) = \text{Var}[\tau(L+1) + (1 - \theta) \sum_{i=1}^L e_{t+i} - \theta e_t + e_{t+L+1} - \tau(L+1) + \theta e_t] \\ &= \text{Var}(\text{Forecast Error}) = \text{Var}[(1 - \theta) \sum_{i=1}^L e_{t+i} + e_{t+L+1}] = \text{Var}[(1 - \theta) \sum_{i=1}^L e_{t+i}] + \text{Var}(e_{t+L+1}) = (1 - \theta)^2 \sigma^2 L + \sigma^2 = \sigma^2 [1 + (1 - \theta)^2 L]\end{aligned}$$

Επομένως ισχύει ότι:

$$\text{Var}(\text{Forecast Error}) = \sigma^2 [1 + (1 - \theta)^2 L] \quad (4.24)$$

Από το σχήμα (4.24) σχέση μπορούμε να συμπεράνουμε ότι : καθώς το  $L$  αυξάνεται τότε και ο όρος  $1 + (1 - \theta)^2 L$  αυξάνεται με αποτέλεσμα και η  $\text{Var}$  να αυξάνεται. Επίσης όσο η διακύμανση  $\sigma^2$  αυξάνεται τόσο η πρόβλεψη είναι λιγότερο έγκυρη με αυξανόμενο το εύρος της τυπικής απόκλισης. Σε αυτή τη περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι η πρόβλεψη είναι λιγότερο έγκυρη.

**Σχήμα 4.5** Γραφική παράσταση  $Var(ForrecastError)$ ,  $\sigma^2 = 50 - 1 < \theta < 1$



Από το σχήμα (4.5) μπορούμε να δούμε με ευκολία πως καθώς ο χρόνος παράδοσης αυξάνεται ταυτόχρονα αυξάνεται και η διακύμανση του σφάλματος της πρόβλεψης.

#### **4.4.1 Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας Υ<sub>t</sub> από τον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση του ακολουθεί μια διαδικασία MA(1)**

Στο τέλος της περιόδου  $t$  (όταν η ζήτηση  $D_t$  είναι ήδη γνωστή) ο έμπορος λιανικής ελέγχει το ύψος των αποθεμάτων του και ορίζει μια παραγγελία ύψους  $Y_t$  στον κατασκευαστή, προκειμένου να αναπληρώσει τη στάθμη του αποθέματος του. Ο έμπορος θα παραλάβει αυτή τη παραγγελία του στην αρχή της περιόδου  $t+L$  (MohammadM. BoylanJ. Etal. 2012). Από τη πλευρά του ο προμηθευτής παραλαμβάνει και αποστέλλει την παραγγελία  $Y_t$  στο τέλος της περιόδου  $t$ .

Το ύψος της συγκεκριμένης παραγγελία υπολογίζεται εύκολα κάνοντας χρήση της σχέσης (4.5). Επομένως εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η ποσότητα που θα

δώσει ο έμπορος λιανικής στον προμηθευτή για παραγγελία ισούται μεσίμωνα με τον ZhangX. (2006) :

$$Y_t = (\widehat{D}_t^L - \widehat{D}_{t-1}^L) + D_t$$

Αντικαθιστώντας στη παραπάνω σχέση τις (3.5) και (4.23) προκύπτει ότι:

$$Y_t = (\tau L - \theta e_t) - (\tau L - \theta e_{t-1}) + \tau L + e_t - \theta e_{t-1} = \tau + e_t - \theta e_t$$

Συμπερασματικά καταλήγουμε στην ποσότητα παραγγελία  $Y_t$  που θα δώσει ο έμπορος λιανικής στον προμηθευτή.

$$Y_t = \tau + (1 - \theta)e_t \quad (4.25)$$

Από τη παραπάνω σχέση προκύπτουν εύκολα ότι μέση τιμή της παραγγελίας και η διακύμανση .

- $E(Y_t) = E(\tau + e_t - \theta e_t) = E(\tau) + E(e_t) - E(\theta e_t) = \tau$
- $Var(Y_t) = Var(\tau + e_t - \theta e_t) = Var(\tau) + Var(e_t) + Var(\theta e_t) + 2Cov(\tau, e_t) - 2Cov(\tau, \theta e_t) - 2Cov(e_t, \theta e_t) = \sigma^2(1 + \theta^2)$

Επομένως η διακύμανση της παραγγελίας που θα δώσει ο έμπορος λιανικής στον προμηθευτή δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

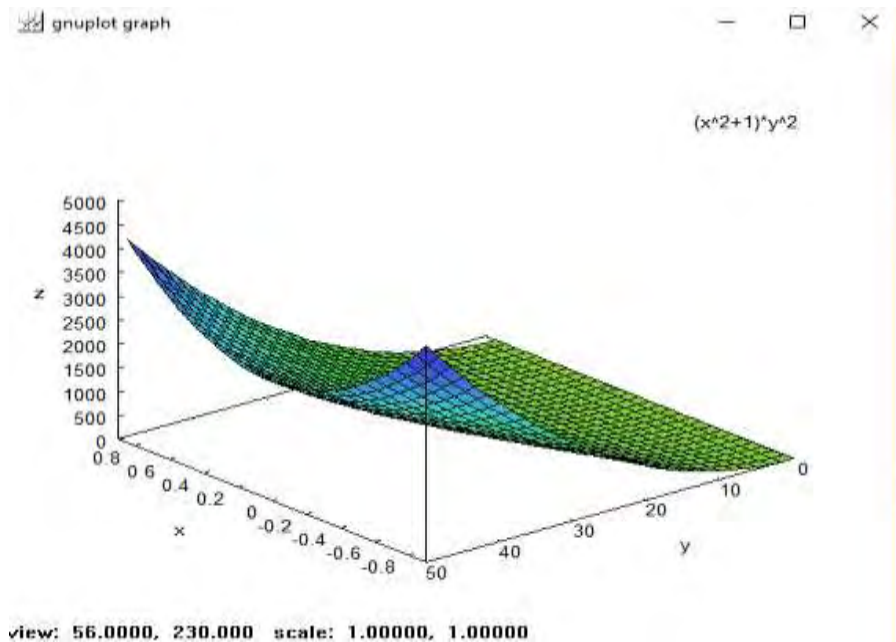
$$Var(Y_t) = \sigma^2(1 + \theta^2) \quad (4.26)$$

Από την σχέση (4.26) και το σχήμα (4.6) παρατηρούμε με ευκολία ότι μία MA(1) διαδικασία ζήτησης στον έμπορα λιανικής μεταφράζεται σε τυχαίο θόρυβο στην ποσότητα της παραγγελίας εάν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος πρόβλεψης μέσου ελάχιστου τετραγώνου σφάλματος και επιπλέον μια ΟΥΤαποθεματική πολιτική. Η σχέση (4.25) σύμφωνα με τον (MohammadM.Boylan J.etal. 2012) μπορεί να γραφεί με τον ακόλουθο τρόπο:

$$Y_t = \tau + \alpha_t \quad (4.27)$$

Όπου  $:(1 - \theta)e_t = \alpha_t$

**Σχήμα 4.6** Γραφική παράσταση  $Var(ForrecastError)$  ,  $\sigma^2 > 50 - 1 < \theta < 1$



Στο παραπάνω σχήμα (4.6) βλέπουμε πως όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης τόσο θα αυξάνεται και η διακύμανση του σφάλματος της πρόβλεψης ανεξάρτητα τη τιμής  $\theta$ .

**4.4.2 Η διαδικασία παραγγελίας  $Q_i$  από τον προμηθευτή όταν η ζήτηση του εμπόρου λιανικής ακολουθεί μια MA(1)**



Σε αυτή τη περίπτωση FIS ο έμπορος λιανικής δίνει στον προμηθευτή τη πληροφορία σε σχέση με τη ζήτηση την οποία ακολουθεί .

Σε αντίθεση με τον έμπορα λιανικής ο οποίος αντιμετωπίζει μια στάσιμη διαδικασία MA(1) , ο προμηθευτής θα παρατηρεί μια ζήτηση διαδικασίας τυχαίου θορύβου η οποία θα έχει τη μορφή της σχέσης (4.26):

Για ευκολία πράξεων θα στηριχτούμε στο μοντέλο ζήτησης όπως την έχουν περιγράψει οι (MohammadM.Boylan J.etal. 2012). Η οποία δίνεται από τη σχέση (4.27):

$$Y_t = \tau + a_t$$

Με τις εξής προϋποθέσεις όπως αυτές έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2:

- $\tau > 0$
- $a_t$  με  $a_t \sim WN(0, \sigma^2)$ : Μια διαδικασία λευκού θορύβου είναι μια ακολουθία  $\{a_t\}_{-\infty}^{\infty}$  όπου:  $E(a_t) = 0$ ,  $Var(a_t^2) = \xi^2$  και  $E(a_i a_j) = 0$  για κάθε  $i \neq j$ .

Συνεπώς η συνολική ζήτηση που θα παρατηρεί ο προμηθευτής, έως το χρόνο παράδοσης που αντιμετωπίζει  $K$ , θα δίνεται από τον παρακάτω άθροισμα :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^K Y_{t+i} &= Y_{t+1} + Y_{t+2} + Y_{t+3} + \dots + Y_{t+K} \\ &= (\tau + a_{t+1}) + (\tau + a_{t+2}) + (\tau + a_{t+3}) + \dots + (\tau + a_{t+K}) = (K)\tau \\ &\quad + (a_{t+1} + a_{t+2} + a_{t+3} + a_{t+L+1}) \\ &= K\tau + \sum_{i=1}^K a_{t+i} \end{aligned} \tag{4.28}$$

Υπολογίζουμε τις προσδοκώμενες τιμές:

$$\begin{aligned} E\left(\sum_{i=1}^K Y_{t+i} | Y_t\right) &= E[(K)\tau + (a_{t+1} + a_{t+2} + a_{t+3} + a_{t+K}) | Y_t] \\ &= K\tau \end{aligned} \tag{4.29}$$

Η διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

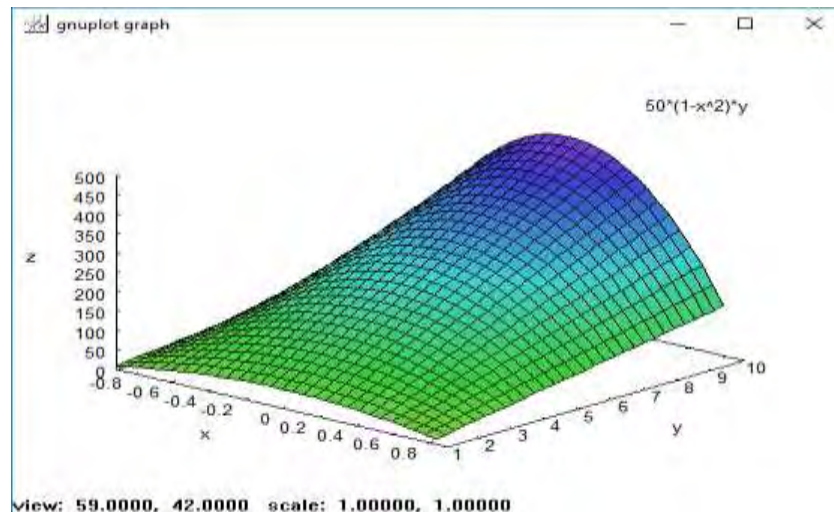
$$\begin{aligned} Var(\text{Forecast Error}) &= Var\left(\sum_{i=1}^K Y_{t+i} - E\left(\sum_{i=1}^K Y_{t+i} | Y_t\right)\right) \\ &= Var[(K)\tau + (a_{t+1} + a_{t+2} + a_{t+3} + a_{t+K}) - (K)\tau] \\ &= Var(a_{t+1} + a_{t+2} + a_{t+3} + a_{t+K}) = \xi^2 + \xi^2 + \xi^2 + \dots + \xi^2 = K\xi^2 \\ &= K(1 - \theta)^2 \sigma^2 \end{aligned}$$

Επομένως έχουμε:

$$\text{Var}(\text{ForecastError}) = K\xi^2 \tag{4.30}$$

**Σχήμα 4.7** Γραφική παράσταση  $\text{Var}(\text{ForecastError})$ ,  $\sigma^2 = 50 - 1 < \theta < 1$

**Και  $K=0,1,2,\dots$**



Υποθέτουμε ακόμα σύμφωνα και με ( MohammadM.BoylanJ.etal. 2012) πως ο προμηθευτής ακολουθεί το ίδιο μοντέλο ΟΥΤαποθεματικής πολιτικής όπως και ο έμπορος λιανικής.

Έστω λοιπόν πως ο προμηθευτής τοποθετεί μια παραγγελία ύψους  $Q_t$  στον κατασκευαστή η οποία δίνεται από τη σχέση (4.5) όπως την έχουμε αναπτύξει πιο πριν.

$$Q_t = (\widehat{Y}_t^{L_1} - \widehat{Y}_{t-1}^{L_1}) + Y_t$$

Η σχέση (4.5) μετασχηματίζεται στη παρακάτω μορφή:

$$Q_t = \tau + (1 - \theta)e_t + (K\tau - K\tau) = \tau + (1 - \theta)e_t = Y_t \tag{4.31}$$

Από τη παραπάνω σχέση (4.31) μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε πως η ποσότητα παραγγελίας  $Q_t$  που θα δώσει ο προμηθευτής για εκτέλεση στον κατασκευαστή είναι ίση με τη ποσότητα παραγγελίας που έχει δώσει ο έμπορος λιανικής  $Y_t$  στον προμηθευτή.

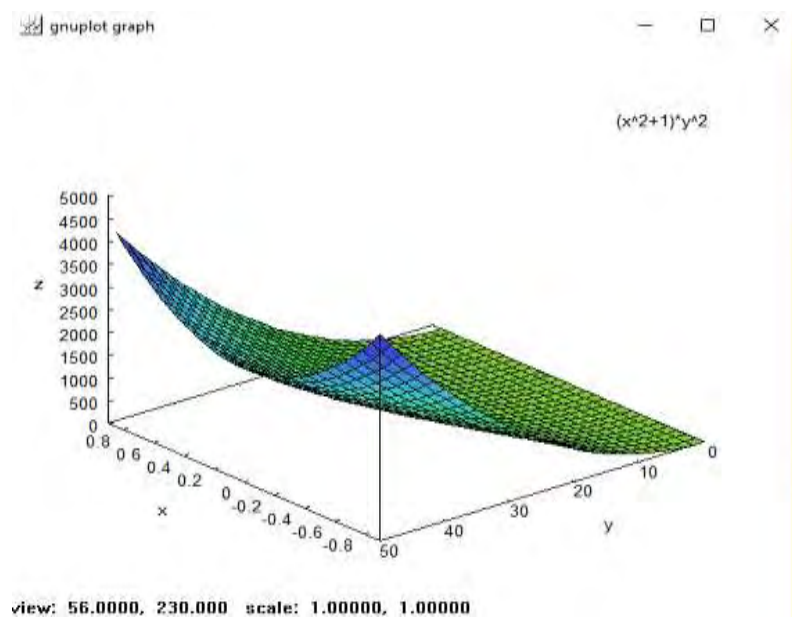
Επομένως λόγω των σχέσεων (4.31) και (4.26) ισχύει ότι:



$$\text{Var}(Q_t) = \text{Var}(Y_t) = \sigma^2(1 + \theta^2) \quad (4.32)$$

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πώς όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μια MA(1) διαδικασία τότε η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής θα είναι μια διαδικασία λευκού θορύβου.

**Σχήμα 4.8** Γραφική  $\text{Var}(Q_t)$ ,  $\sigma^2 > 0 - 1 < \theta < 1$  και  $K=0,1,2,\dots$



#### 4.4 Πρόβλεψη ζήτησης εμπόρου λιανικής έως το χρόνο παράδοσης από ARMA(1,1) διαδικασία

Χρησιμοποιώντας το κριτήριο MMSE ο καλύτερος εκτιμητής για την άγνωστη τυχαία μεταβλητή  $\sum_{i=1}^L \mathbf{D}_{t+i}$  δεδομένης της ζήτησης  $D_t$  τη χρονική περίοδο τδίνεται από τον υπό όρους μέσο του  $\sum_{i=1}^{L+1} \mathbf{D}_{t+i}$  δεδομένου του  $D_t$ .

$$\begin{aligned}\widehat{D}_t &= \sum_{i=1}^L (D_{t+i}|D_t) = E\left(\sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t\right) = E(D_{t+1} + D_{t+2} + \dots + D_{t+L}|D_t) \\ &= E\left(\frac{1}{1-\rho}\left[(L) - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] + \rho D_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] - \theta e_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] \right. \\ &\quad \left. + (\rho - \theta) \sum_{j=1}^{L-1} \sum_{i=1}^j \rho^{j-i} + \sum_{i=1}^L e_{t+i} \mid D_t\right) \\ &= \frac{1}{1-\rho}\left[(L) - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] + \rho D_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] - \theta e_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right]\end{aligned}$$

Επομένως ισχύει ότι:

$$\widehat{D}_t = \sum_{i=1}^L E(D_{t+i}|D_t) = \frac{1}{1-\rho}\left[(L) - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] + \rho D_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] - \theta e_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] \quad (4.33)$$

Η διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned}Var(\text{Forecast Error}) &= Var\left[\left(\sum_{i=1}^L D_{t+i} - E\left(\sum_{i=1}^L D_{t+i} \mid D_t\right)\right)\right] = \\ &Var\left[\left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] + (\rho - \theta) \sum_{j=1}^{L-1} \sum_{i=1}^j \rho^{j-i} + \sum_{i=1}^L e_{t+i} \right. \\ &\quad \left. - \left[\frac{1}{1-\rho}\left[(L) - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] + \rho D_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right] - \theta e_t \left[\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right]\right]\right] \\ &= Var\left[(\rho - \theta) \sum_{j=1}^{L-1} \sum_{i=1}^j e_{t+i} \rho^{j-i} + \sum_{i=1}^L e_{t+i}\right] \\ &= \left\{\sum_{j=1}^L \left(1 + \frac{(\rho - \theta)(1 - \rho^{L-j+1})}{1 - \rho}\right)^2 + 1\right\} \sigma^2\end{aligned}$$

Επομένως έχουμε:

$$\text{Var}(\text{Forecast Error}) = \left\{ \sum_{j=1}^L \left( 1 + \frac{(\rho - \theta)(1 - \rho^{L-j+1})}{1 - \rho} \right)^2 + 1 \right\} \sigma^2$$

#### 4.5.1 Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας Υπό τον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση ακολουθεί διαδικασία ARMA(1,1)

Υποθέτουμε όπως έχουμε αρχικά διατυπώσει πως ο έμπορος λιανικής μοιράζεται τις πληροφορίες ζήτησης με τον προμηθευτή. Όπως έχουμε αναφέρει και στο κεφάλαιο 2 θεωρούμε τόσο ότι η μέση ζήτηση όσο και η διακύμανση της είναι άγνωστες τυχαίες μεταβλητές τις οποίες θα εκτιμήσουμε.

Σύμφωνα με τον ZhangX. (2006) ισχύει ότι  $\widehat{\sigma}_t^L = \widehat{\sigma}_{t-1}^L$  ποσότητα της παραγγελίας που δίνει ο έμπορος λιανικής Υ στον προμηθευτή θα δίνεται από τη σχέση (4.5).

Αντικαθιστώντας στη σχέση (4.5) έχουμε τη ποσότητα  $Y_t$  παραγγελίας που θα τοποθετήσει ο έμπορος λιανικής στον προμηθευτή του.

$$Y_t = (\widehat{D}_t^L - \widehat{D}_{t-1}^L) + D_t$$

$Y_t$

$$\begin{aligned} &= \tau + \rho D_{t-1} + e_t - \theta e_{t-1} + \frac{1}{1-\rho} \left[ (L) - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \right] + \rho D_t \left[ \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \right] - \theta e_t \left[ \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \right] \\ &- \frac{1}{1-\rho} \left[ (L) - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \right] - \rho D_{t-1} \left[ \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \right] \\ &+ \theta e_{t-1} \left[ \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \right] \end{aligned} \quad (4.34)$$

Με απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς στη σχέση (4.34) εύκολα καταλήγουμε στην ποσότητα της παραγγελίας  $Y_t$  που θα δώσει ο έμπορος λιανικής στον προμηθευτή, η οποία θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned}
Y_t = & \\
& \frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_t - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho} D_{t-1} - \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \theta e_t + \\
& \theta \frac{1-\rho^L}{1-\rho} e_{t-1}
\end{aligned} \tag{4.35}$$

Παρατηρούμε πως η σχέση (4.35) ,δηλαδή η ποσότητα παραγγελίας του έμπορα λιανικής , αντιπροσωπεύετε από μια διαδικασία ARMA(1,1)Η διακύμανση της παραγγελίας  $Y_t$ , σύμφωνα με τους Duc , Hienetal. (2008) δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned}
Var(Y_t) = & Var\left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho} D_t - \rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho} D_{t-1} - \frac{1-\rho^L}{1-\rho} \theta e_t + \theta \frac{1-\rho^L}{1-\rho} e_{t-1}\right) \\
= & \left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right)^2 Var(D_t) + \left(\rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right)^2 Var(D_{t-1}) + 2\theta^2 \left(\frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right)^2 \sigma^2 \\
& - 2\left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right) \left(\rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right) Cov(D_t, D_{t-1}) \\
& - 2\left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right) \left(\theta \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right) Cov(D_t, e_t) \\
& + 2\left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right) \left(\theta \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right) Cov(D_t, e_{t-1}) \\
& + 2\left(\rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right) \left(\frac{1-\rho^L}{1-\rho} \theta\right) Cov(D_{t-1}, e_t) \\
& - 2\left(\rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right) \left(\theta \frac{1-\rho^L}{1-\rho}\right) Cov(D_{t-1}, e_{t-1})
\end{aligned} \tag{4.36}$$

Όπως έχουμε αποδείξει και στο κεφάλαιο 2 για τη διαδικασία ζήτησης  $D_t$  η οποία είναι της μορφής ARMA(1,1) ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- $Var(D_t, D_{t-1}) = \frac{1+\theta^2-2\rho\theta}{1-\rho^2} \sigma^2 = (\sigma_D)^2$
- $Cov(D_t, D_{t-1}) = \frac{(1-\rho\theta)(\rho-\theta)}{1-\rho^2} \sigma^2$
- $Cov(D_t, e_t) = \sigma^2$
- $Cov(D_t, e_{t-1}) = (\rho - \theta)\sigma^2$
- $Cov(D_{t-1}, e_t) = 0$

Επομένως η διακύμανση της παραγγελίας του έμπορα λιανικής δίνεται από τη παρακάτω σχέση σύμφωνα με τους DucT. etal (2008):

$$Var(Y_t) = 1 + \frac{2(\rho - \theta)(1 - \rho^L)[1 - \rho^{L+1} - \rho\theta(1 - \rho^{L-1})]}{(1 - \rho)(1 + \theta^2 - 2\rho\theta)} \sigma_D^2 \quad (4.37)$$

#### 4.5.2 Η διαδικασία παραγγελίας ποσότητας $Q_t$ από τον προμηθευτή όταν η ζήτηση του εμπόρου λιανικής ακολουθεί ARMA(1,1)

Γνωρίζουμε επίσης ότι μία ARMA(1,1) διαδικασία στον έμπορα λιανικής μεταφράζεται σε ARMA(1,1) διαδικασία ζήτησης στον προμηθευτή αν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος πρόβλεψης μέσου ελάχιστου τετραγώνου σφάλματος και επιπλέον μια ΟΥΤαποθεματική πολιτική όπως αποδείξαμε λίγο πιο πάνω.

Η απόφαση της παραγγελίας του προμηθευτή εξαρτάται από το είδος σχέσης που έχει δημιουργηθεί στην εφοδιαστική αλυσίδα σε σχέση με τον διαμοιρασμό της πληροφορίας. Υποθέτουμε λοιπόν πως ο προμηθευτής γνωρίζει του έμπορα λιανικής τη διαδικασία ζήτησης καθώς και τις προβλέψεις ζήτησης που έχει κάνει.



Η ζήτηση λοιπόν που θα αντιμετωπίζει ο προμηθευτής στο τέλος της περιόδου  $t$  θα δίνεται από τη σχέση (4.35) όπως αναπτύξαμε στη προηγούμενη υποενότητα και παρουσιάζεται παρακάτω για διευκόλυνση των πράξεων.

$$Y_t = \frac{1 - \rho^{L+1}}{1 - \rho} D_t - \rho \frac{1 - \rho^L}{1 - \rho} D_{t-1} - \frac{1 - \rho^L}{1 - \rho} \theta e_t + \theta \frac{1 - \rho^L}{1 - \rho} e_{t-1}$$

Ωστόσο για να μπορέσει από μέρους του ο προμηθευτής να τοποθετήσει τη δική του παραγγελία στον κατασκευαστή θα πρέπει πρώτα να προχωρήσει σε πρόβλεψη της ζήτησης που θα αντιμετωπίσει ο ίδιος έως το χρόνο παράδοσης που έχει δηλαδή έως  $L_1$ .

Με γνωστή τη διαδικασία της ζήτησης και τη πρόβλεψη της εκτιμώμενης ζήτησης σύμφωνα με τον WangC. (2010) η ποσότητα  $Q_t$  που δίνει ο προμηθευτής προς εκτέλεση στον κατασκευαστή δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$Q_t = (\widehat{D}_t^L - \widehat{D}_{t-1}^L) + (\widehat{D}_t^{L_1} - \widehat{D}_{t-1}^{L_1}) + D_t$$

Η διακύμανση της ποσότητας παραγγελίας  $Q_t$  είναι η εξής σύμφωνα με τον WangV. et al. (2010):

$$\begin{aligned} Var(Q_t) = & \left[ 1 + \frac{(\rho - \theta)^2}{1 - \rho^2} + \frac{2(1 - \rho^L - \rho^{L_1})}{1 - \rho} (\rho - \theta) \right. \\ & \left. + \frac{2(2 - \rho^L - \rho^{L_1})(1 + \rho - \rho^L - \rho^{L_1})}{(1 - \rho^2)(1 - \rho)} (\rho - \theta)^2 \right] \sigma^2 \end{aligned} \quad (4.38)$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

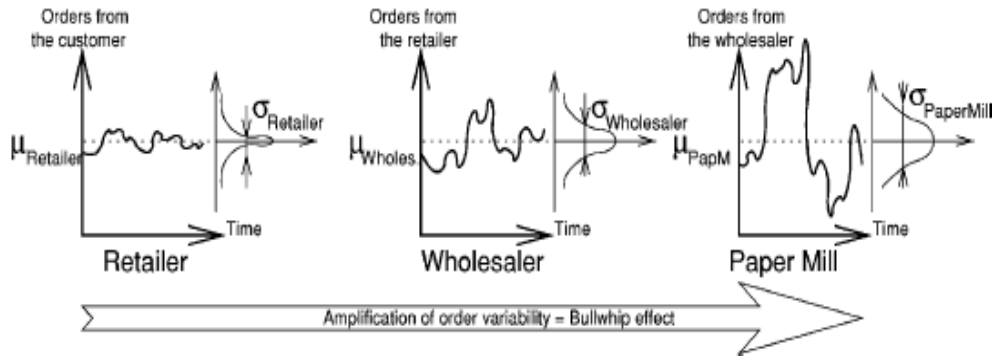
### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ BULLWHIP ΣΤΑ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΜΕ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΜΟ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της επίδρασης του φαινομένου Bullwhipθα κάνουμε χρήση της σχέσης όπως την όρισαν οι:Disney ,StefenandTowill (2003)καιRupeshPetal. (2010).

$$(BM) = \frac{\frac{Var(Orders)}{E(Orders)}}{\frac{Var(Demands)}{E(Demands)}} = \frac{Var(Orders)}{Var(Demands)} \quad (5.1)$$

Υποθέτουμε φυσικά πως τόσο ο έμπορος λιανικής όσο και ο προμηθευτής χρησιμοποιούν την MMSEμέθοδο προκειμένου να προβλέψουν της ζήτηση έως το χρόνο παράδοσης καθώς πως και τα δύο αυτά επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας χρησιμοποιούν την ίδια μέθοδο αποθεματικής πολιτικής..

**Σχήμα5.1: Αναπαράσταση της αυξητικής τάσης της διακύμανσης ζήτησης καθώς ανεβαίνουμε προς τα πάνω επίπεδα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.**



Πηγή: Moyauxetal. (2007)

### 5.1Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip στον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση AR(1) διαδικασία

Για τον υπολογισμό του παρακάτω λόγου θα κάνουμε χρήση των σχέσεων (3.4) και (4.10) τις οποίες θα τις αντικαταστήσουμε στη σχέση (5.1).Επομένως ο λόγος του μέτρου της επίδρασηςBullwhip παίρνει τη παρακάτω μορφή:

$$(BM) = \frac{\left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right)^2 \sigma^2 + \frac{\rho^{2(L+1)}}{1-\rho} \sigma^2}{\frac{\sigma^2}{1-\rho^2}}$$

$$(BM) = \frac{\left[\left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right)^2 + \frac{\rho^{2(L+1)}}{1-\rho}\right] \sigma^2}{\frac{1}{1-\rho^2} \sigma^2} = \frac{\left(\frac{1-\rho^{L+1}}{1-\rho}\right)^2}{\frac{1}{1-\rho^2}} + \frac{\frac{\rho^{2(L+1)}}{1-\rho}}{\frac{1}{1-\rho^2}} = \frac{(1-\rho^{L+1})^2 (1-\rho^2)}{(1-\rho)^2} + \rho^{2(L+1)} =$$

$$\frac{(1-\rho^{L+1})^2 (1-\rho^2) + \rho^{2(L+1)} (1-\rho)}{(1-\rho)^2} = \frac{[1-2\rho^{L+1} + \rho^{2(L+1)}](1-\rho) + \rho^{2(L+1)} - \rho^{2L+3}}{1-\rho} =$$

$$\frac{1+\rho-2\rho^{L+1}-2\rho^{L+2} + \rho^{2(L+1)} + \rho^{2L+3} + \rho^{2(L+1)} - \rho^{2L+3}}{1-\rho} = \frac{1-\rho}{1-\rho} + \frac{2\rho-2\rho^{L+1}-2\rho^{L+2} + 2\rho^{2(L+1)}}{1-\rho} = 1 +$$

$$\frac{2\rho(1-\rho^L - \rho^{L+1}) + 2\rho^{2(L+1)}}{1-\rho} = 1 + \frac{2\rho(1-\rho^L) - \rho^{L+1}(1-\rho^L)}{1-\rho} = 1 + \frac{2\rho(1-\rho^L)(1-\rho^{L+1})}{1-\rho}$$

Καταλήγουμε λοιπόν σύμφωνα με τους Leetal. (2000) και τον ZhangX. (2006) στο κοινό συμπέρασμα πως η επίδραση του φαινομένου Bullwhip , για μία στάσιμη διαδικασία ζήτησης AR(1) , δίνεται από τον παρακάτω λόγο:



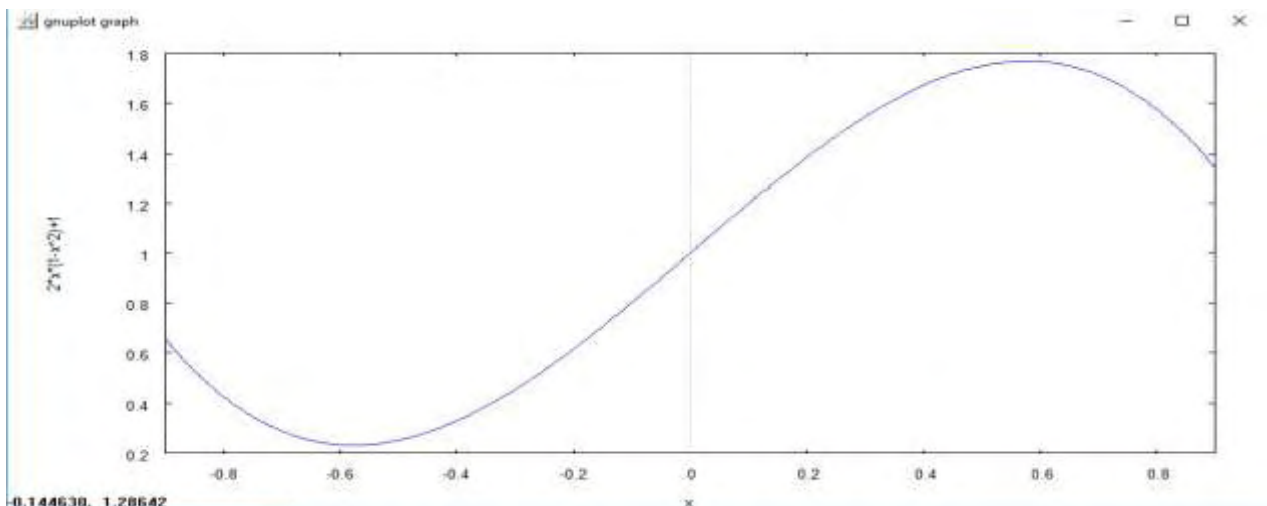
$$BM(L, \rho) = 1 + \frac{2\rho(1-\rho^L)(1-\rho^{L+1})}{1-\rho} \quad (5.2)$$

Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί πως η επίδραση του φαινομένου του Bullwhipόπως αναπαρίσταται στη σχέση (5.2) είναι ακριβώς η ίδια με την σχέση που δίνουν οι AlwanLaythetal. (2003) και Zhang (2004).Ωστόσο υπάρχουν και συγγραφείς που αποτυπώνουν το μέτρο της επίδρασης του φαινομένου με διαφορετικό τρόπο από αυτόν της σχέσης (5.2).Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί συγγραφείς όπως οι Leeetal. (1997) και SoZheng (2003) θεωρούν διαφορετικό χρόνο παράδοσης της παραγγελίας  $Y_t$  και πιο συγκεκριμένα στο τέλος της περιόδου  $t$  με αποτέλεσμα η εκτιμώμενη ζήτηση να υπολογίζεται για περίοδο  $t+L+1$ .

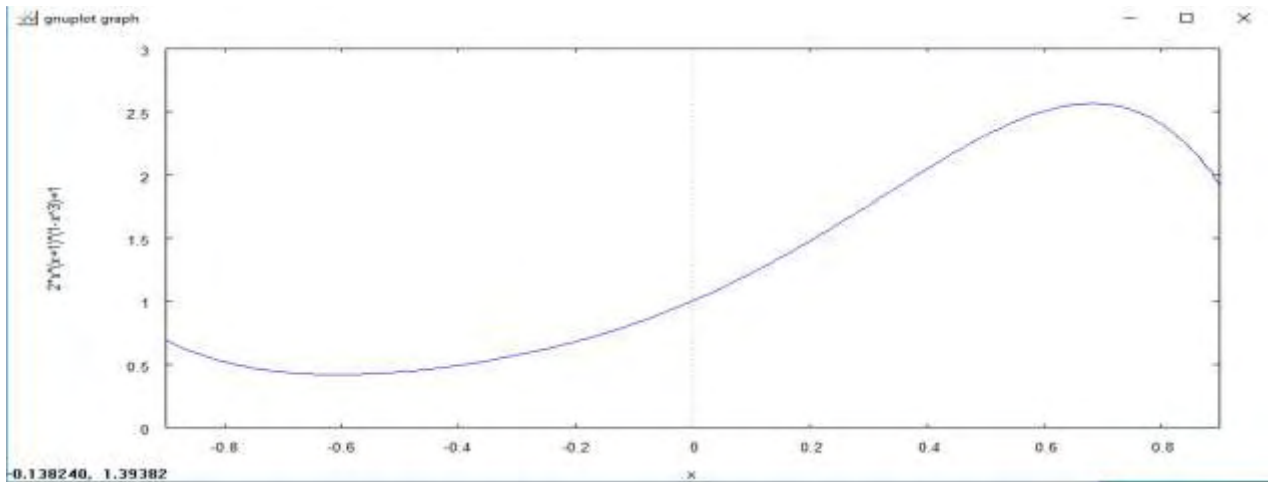
Όπως λοιπόν παρατηρούμε και από τη σχέση (5.2) η επίδραση του φαινομένου εξαρτάται άμεσα τόσο από το χρόνο παράδοσης  $L$  όσο όμως και από την παράμετρο  $\rho$  της αυτοπαλίνδρομης διαδικασίας  $1^{ης}$  τάξεως.

Παρακάτω δίνονται οι γραφικές παράστασης του BullwhipMeasure (BM)για διάφορες τιμές του  $\rho$  και του  $L$  με τη χρήση της μεθόδου MinimumMeanSquaredError(MMSE).

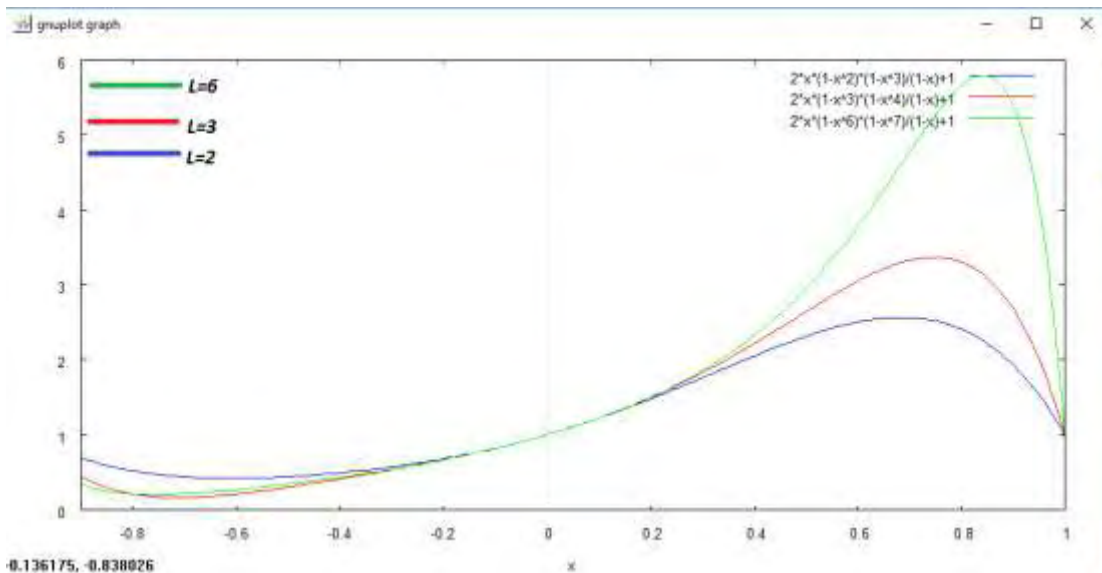
**Σχήμα 5.2Επίδραση Bullwhipμε MMSEΓια  $L=1$  και  $-0,9 < \rho < 0,9$**



**Σχήμα 5.3Bullwhipμε MMSEΓια  $L=2$  και  $-0,9 < \rho < 0,9$**



Σχήμα 5.4 Bullwhip με MMSE Για  $L=2,3,6$  και  $-0,9 < \rho < 0,9$



Τα παραπάνω σχήματα (5.1) , (5.2) και (5.3)προσομοιώνουν την έκφραση του Bullwhip υπό τη μέθοδο πρόβλεψης MMSE και απεικονίζουν τις επιπτώσεις των παραμέτρων στην επίδραση του φαινομένου για διάφορες τιμές της αυτοπαλίνδρομης σταθεράς  $\rho$  και του χρόνου παράδοσης  $L$ . Πιο συγκεκριμένα ο κάθετος άξονας αναπαριστά το μέτρο του Bullwhip και ο οριζόντιος άξονας τις τιμές του  $\rho$ .

Σύμφωνα με τους Lee et al. (2000), Hussain et al. (2012) και Pati et al. (2010) καθώς και με τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις συμπεραίνουμε ότι:

1. Το φαινόμενο Bullwhip εμφανίζεται αν και μόνο αν  $\rho > 0$

2. Για  $\rho > 0$  όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παράδοσης  $L$  τόσο πιο σημαντική θα είναι και η επίδραση του φαινομένου. Ειδικότερα όταν  $0.3 < \rho < 0.9$  ο χρόνος παράδοσης  $L$  έχει μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο Bullwhip.
3. Παρατηρούμε επίσης πως όταν  $\rho \leq 0$  δηλαδή όταν ισχύει  $Var(Y_t) < Var(D_t)$  τότε κάνει την εμφάνισή του το φαινόμενο Anti-Bullwhip ή αλλιώς το De-Whip Effect, το οποίο σημαίνει πως η παραγγελία έχει εξομαλυνθεί σε σχέση με τη ζήτηση (BouteR. etal. 2010).
4. Αν  $0 < \rho < 1$  καθώς το  $\rho$  αυξάνεται, αυξάνεται και η επίδραση του φαινομένου ταυτόχρονα αγγίζοντας τη μέγιστη τιμή του και έπειτα αρχίζει ξανά να μειώνεται. Η μέγιστη τιμή του μέτρου Bullwhip παρουσιάζεται όταν το  $\rho = 0.8$  όπως παρατηρούμε καλύτερα από το σχήμα (5.3).
5. Αν  $\rho \leq 0.3$  παρατηρούμε μικρότερη αύξηση στα ποσοστά των παραγγελιών και μία αύξηση στο χρόνο παράδοσης  $L$  δε δημιουργεί μεγάλη ενίσχυση στη ζήτηση.
6. Επιπλέον εύκολα μπορούμε να καταλάβουμε πως αν το  $\rho=1$  τότε έχουμε μια iid ζήτηση καταναλωτή με αποτέλεσμα η ποσότητα της παραγγελίας να ισούται με τη παρατηρούμενη ζήτηση.
7. Επιπλέον για  $L > 0$  μπορούμε να πούμε πως το φαινόμενο Bullwhip είναι πιο σημαντικό όταν το  $\rho \geq 0,5$

Οι παραπάνω διαπιστώσεις μας οδηγούν στο συμπέρασμα πως αν καταφέρουμε και μειώσουμε το χρόνο παράδοσης  $L$  αυτό θα έχει μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο Bullwhip σε συνδυασμό με την αυτοπαλίνδρομη παράμετρο να είναι θετική και μακριά τόσο από τη μονάδα όσο και από το μηδέν (SunX. RenT. 2005).

### **5.1.1 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μία AR(1) διαδικασία**

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 3, όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μια AR(1) διαδικασία (Hosoda and Disney 2004; Pati et al. 2010 σε μια ΟΥΤαποθεματική πολιτική

και με μέθοδο πρόβλεψης MMSE η ζήτηση για τον προμηθευτή θα μετατραπεί σε ARMA(1,1) διαδικασία ζήτησης όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:

**Σχήμα 5.5 :Μετατροπή της διαδικασίας ζήτησης στα επόμενα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας**



**Πηγή: Hosoda , Disney (2004)**

Έχοντας λοιπόν υπόψη την παραπάνω παραδοχή το μέτρο υπολογισμού του φαινομένου του Bullwhip , στηριζόμενοι στη σχέση (5.2) και αντικαθιστώντας τις σχέσεις (3.4) και (4.22) η (5.2) θα πάρει την ακόλουθη μορφή:

$$BM = \frac{\frac{(1-\rho^{L+L_1+1})^2 + \rho^2(1-\rho^{L+L_1})^2 - 2\rho^2(1-\rho^{L+L_1+1})(1-\rho^{L+L_1})}{(1-\rho)^2(1-\rho^2)} \sigma^2}{\frac{1}{1-\rho^2} \sigma^2}$$

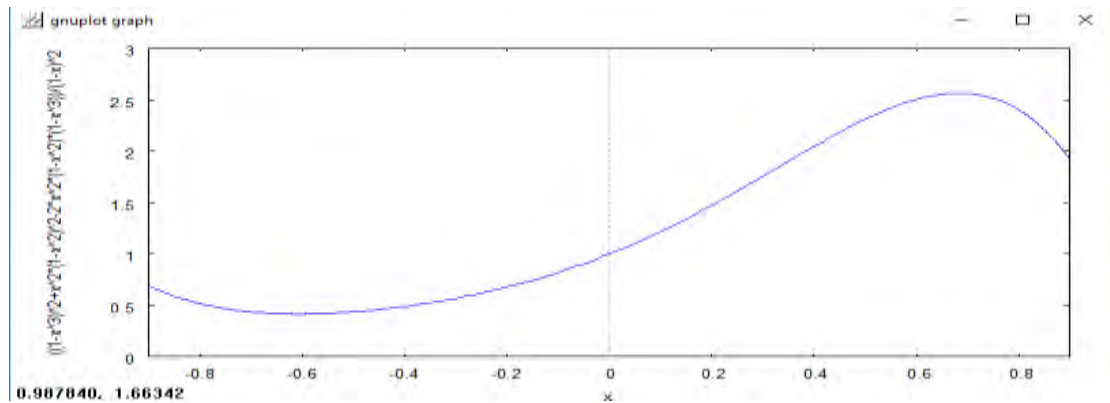
Επομένως , με απλές μαθηματικές πράξεις καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μέτρο της επίδρασης δίνεται στη παρακάτω πιο απλουστευμένη μορφή.Καταλήγουμε λοιπόν σύμφωνα με τους Leeetal. (2000) , τον ZhangX. (2006) και τους Hosoda,Disney (2004)στο κοινό συμπέρασμα πως η επίδραση του φαινομένου Bullwhip , για μία στάσιμη διαδικασία ζήτησης ARMA(1,1) , δίνεται από τον παρακάτω λόγο:

$$BM(\rho, L, L_1) = \frac{(1 - \rho^{L+L_1+1})^2 + \rho^2(1 - \rho^{L+L_1})^2 - 2\rho^2(1 - \rho^{L+L_1+1})(1 - \rho^{L+L_1})}{(1 - \rho)^2} \quad (5.3)$$

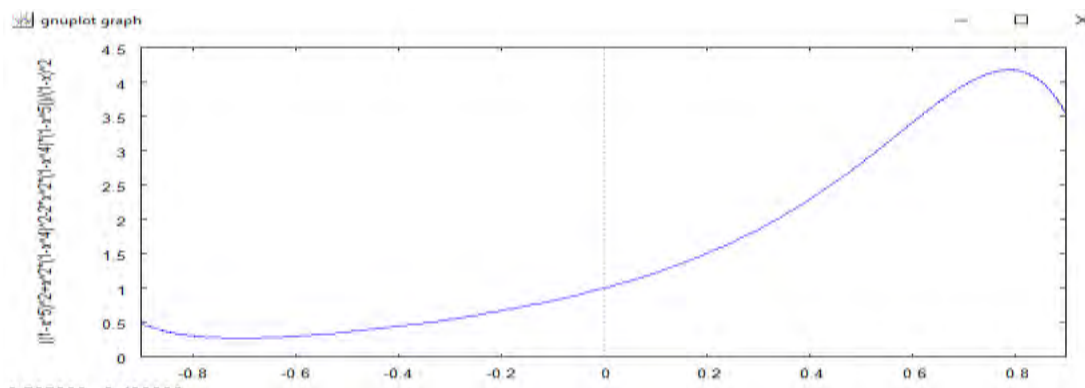
Είναι φανερό πως από τη παραπάνω σχέση (5.3) η επίδραση του φαινομένου για τον προμηθευτή εξαρτάται άμεσα τόσο από την τιμή της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου ρ όσο και από τους χρόνους παράδοσης L και L<sub>1</sub> που αντιμετωπίζουν αντίστοιχα ο έμπορος λιανικής και ο προμηθευτής..

Παρακάτω δίνονται οι γραφικές παράστασης του BMγια διάφορες τιμές του ρ και του L και του L<sub>1</sub> με τη χρήση της μεθόδου MMSE.

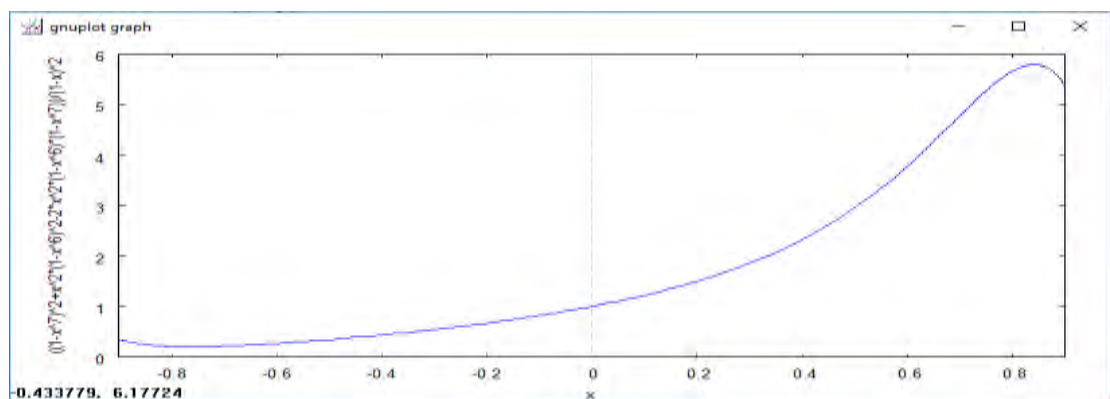
Σχήμα 5.6 Για  $L_1=2$  και  $-0,9 < \rho < 0,9$



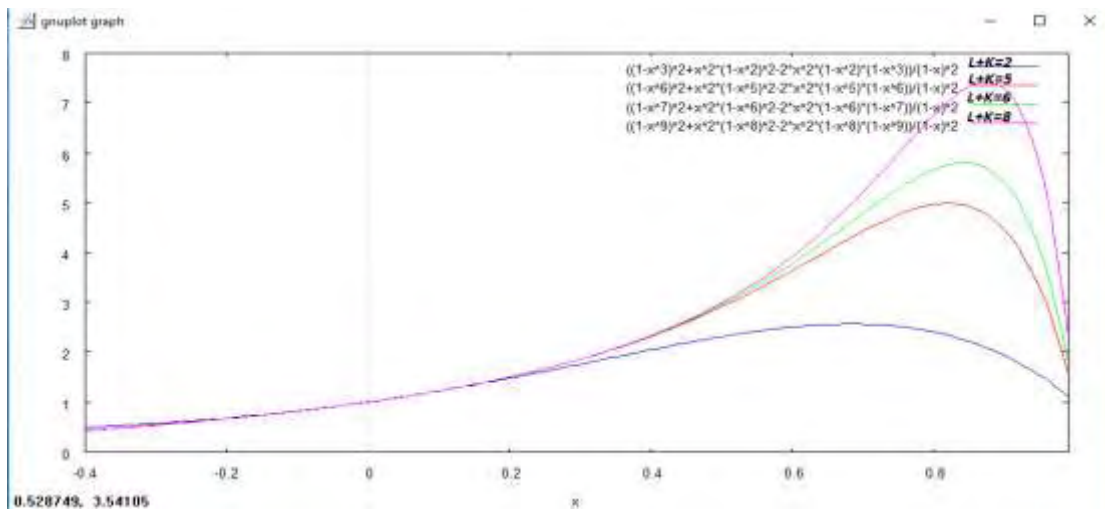
Σχήμα 5.7 Για  $L_1=4$  και  $-0,9 < \rho < 0,9$



Σχήμα 5.8 Για  $L_1=6$  και  $-0,9 < \rho < 0,9$



Σχήμα 5.9 Για  $L_1$  &  $L$  συγκεκριμένες τιμές και  $-0,9 < \rho < 0,9$



Τα παραπάνω σχήματα (5.6) έως (5.9) προσομοιώνουν την έκφραση του Bullwhip υπό τη μέθοδο πρόβλεψης MMSE και απεικονίζουν τις επιπτώσεις της παραμέτρου  $\rho$  στην επίδραση του φαινομένου.

Παρατηρούμε πως, για χαμηλές τιμές του  $L$  (σχήματα (5.6), (5.7), (5.8) και (5.9) καθώς το  $\rho$  αυξάνεται ( $0 < \rho < 0,9$ ) η επίδραση του φαινομένου αρχικά αυξάνεται φτάνοντας στη μέγιστη τιμή της και έπειτα μειώνεται.

Αντίστοιχα μπορούμε να πούμε πως για υψηλότερη τιμή του  $L$  (σχήμα (5.9)) το μέτρο του Bullwhip αυξάνεται με πιο έντονο ρυθμό καθώς η τιμή της παραμέτρου  $\rho$  αυξάνεται.

Με μια γενίκευση των παραπάνω σχολίων μπορούμε να εστιάσουμε στις παρακάτω προτάσεις:

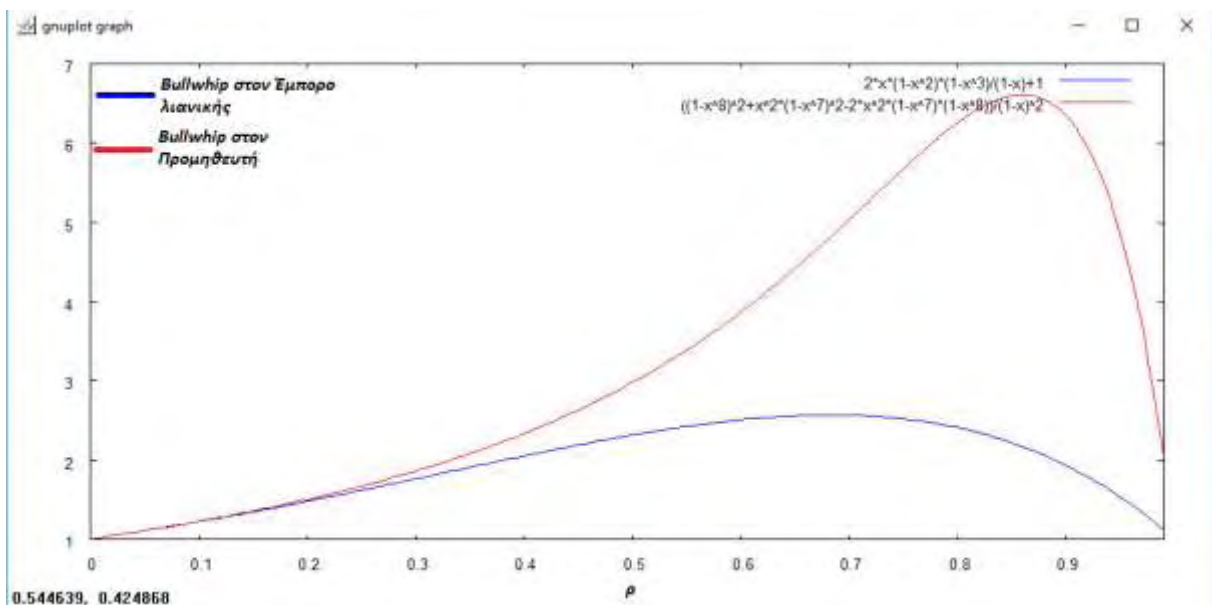
- Όταν έχουμε αρνητική συσχετιζόμενη ζήτηση με το  $\rho$  να κυμαίνεται από  $(-1,0)$  και ειδικότερα όταν το  $\rho \rightarrow -0,9$ , η επίδραση του φαινομένου είναι μικρή ακόμα και όταν οι χρόνοι παράδοσης  $L$  και  $L_1$  αντίστοιχα είναι σχετικά περιορισμένοι. Σε αυτή τη περίπτωση όπως έχουμε αναφέρει και στο κεφάλαιο 2 κάνει την εμφάνιση του το φαινόμενο Anti-Bullwhip. Αυτό σημαίνει πιθανόν πως οι παραγγελίες έχουν υποστεί εξομάλυνση σε σχέση με την ζήτηση.
- Όταν όμως έχουμε θετικά συσχετιζόμενη ζήτηση με το  $\rho$  να κυμαίνεται από  $(0,1)$  και ειδικότερα καθώς το  $\rho \rightarrow +0,9$  οι χρόνοι παράδοσης  $L$  και  $L_1$  θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότεροι με σκοπό να επιτύχουμε την ελαχιστοποίηση της επίδρασης του φαινομένου (Agrawal et al. 2009). Σε αυτή τη περίπτωση θα συμβουλευάμε τον

προμηθευτή να παραδώσει τα εμπορεύματα όσο το δυνατόν πιο γρήγορα στον έμπορο λιανικής καθώς και ο ίδιος ο προμηθευτής να προμηθευτεί με τη δική του σειρά αντίστοιχα όσο το δυνατόν γρηγορότερα τα εμπορεύματα του.

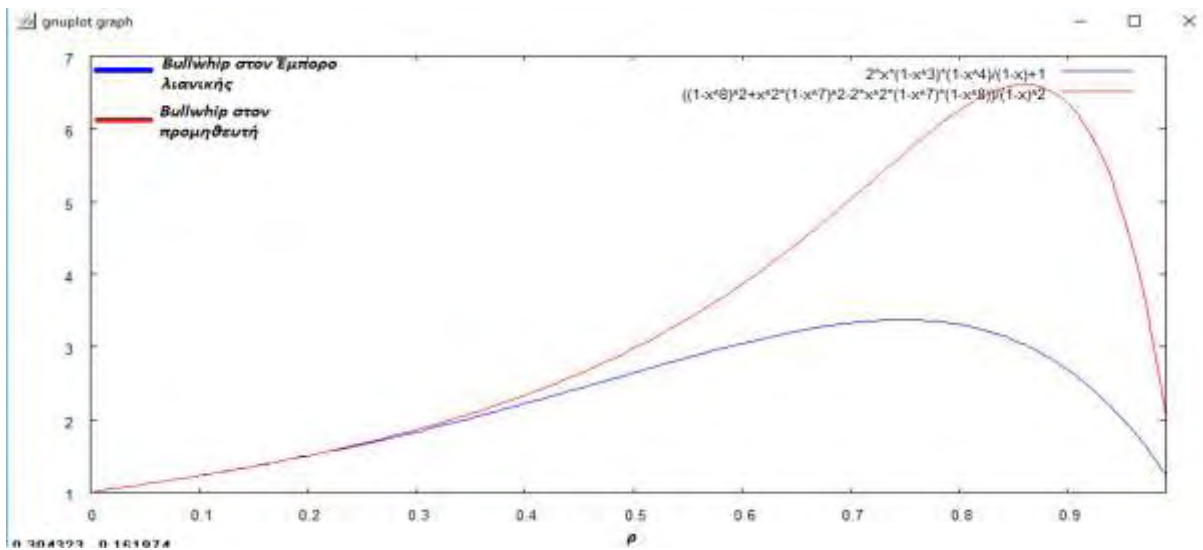
- Αντίθετα όταν το  $\rho$  πάρει τη τιμή μηδέν τότε αναπόφευκτα η επίδραση του Bullwhip παύει να υφίσταται οι διακυμάνσεις των παραγγελιών και της ζήτησης θα είναι μεταξύ τους ίσες.

Ας δούμε τώρα μία γραφική παράσταση στην οποία θα αποτυπώνονται ταυτόχρονα οι υπολογισμοί της επίδρασης του φαινομένου Bullwhip ταυτόχρονα και στα δύο επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή τόσο στο κατώτερο στρώμα (έμπορο λιανικής) όσο και στο ανώτερο στρώμα (προμηθευτή). Υποθέτουμε πως ο συνολικός χρόνος  $L + L_1 = \text{σταθερός}$ .

**Σχήμα 5.10 : Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip καθώς κινούμαστε ανοδικά από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή με  $L = 2$  και  $L_1 = 5$**



**Σχήμα 5.11 : Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip καθώς κινούμαστε ανοδικά από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή με  $L = 3$  και  $L_1 = 4$**



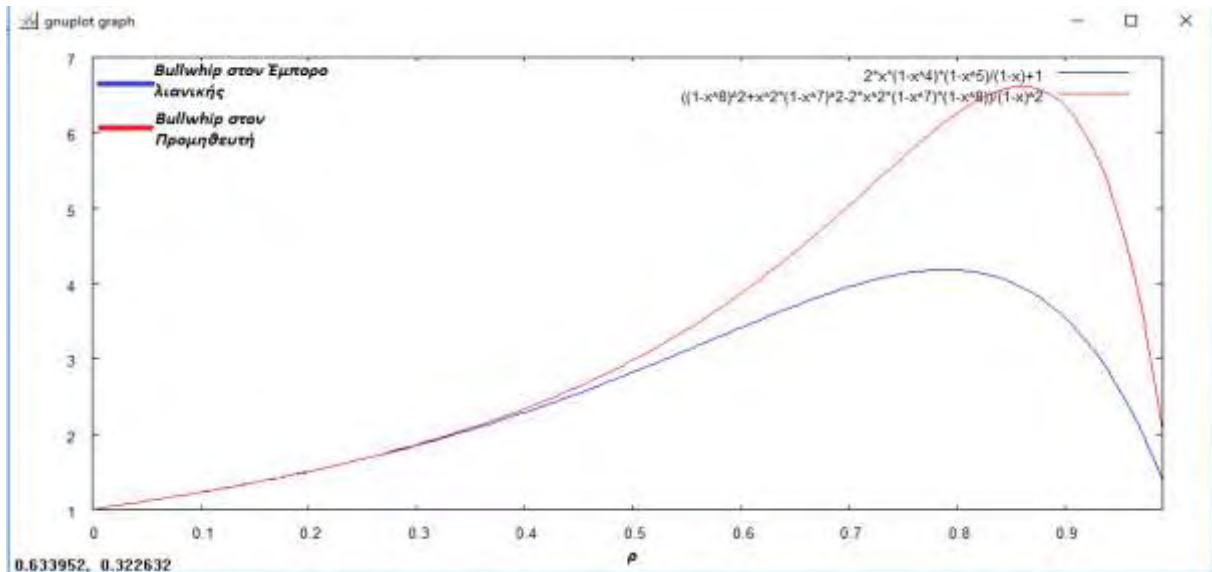
Από τα δύο παραπάνω σχήματα (5.10) και (5.11) εύκολα προκύπτει πως όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης  $L$  και μειώνεται ο  $L_1$  αντίστοιχα καθώς και η τιμή της αυτοπαλίνδρομης σταθεράς  $\rho$  αυξάνεται, τόσο θα αυξάνεται και η επίδραση του φαινομένου στο επόμενο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ας δούμε τώρα τι πρόκειται να συμβεί αν ο χρόνος παράδοσης που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής μειώνεται ενώ ο χρόνος παράδοσης που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής αυξάνεται.

**Σχήμα 5.12. : Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip καθώς κινούμαστε ανοδικά από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή με  $L = 5$  και  $L_1 = 2$ .**







Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν και από τις τέσσερις παραπάνω γραφικές παραστάσεις στην περίπτωση όπου το  $\rho > 0$  είναι τα εξής:

- Και οι δύο μετρήσεις των BM για τα δύο επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας έχουν σχεδόν την ίδια τιμή όταν το  $\rho$  είναι σχετικά μικρό ( $\rho < 0.2$ ).
- Όσο αυξάνονται οι χρόνοι παράδοσης τόσο ενισχύεται και η επίδραση του φαινομένου στο επόμενο επίπεδο της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Επομένως προκύπτει ότι:

$$Var(D_t) \leq Var(Q_t) \text{ με την ισότητα να ισχύει όταν } \rho = 0.$$

Δηλαδή ισχύει ότι:

$$BM_{\text{Εμπόρου λιανικής}} \leq BM_{\text{Προμηθευτή}} \text{ με την ισότητα να ισχύει όταν } \rho = 0.$$

## 5.2Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip στον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση MA(1) διαδικασία

Η συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχει μελετηθεί από συγγραφείς και είναι απόλυτα λογικό αν αναλογιστούμε το γεγονός πως τόσο η μέση τιμή της ζήτησης  $E(D_t) = \tau = \text{σταθερή}$  όσο και η διακύμανση της ζήτησης  $Var(D_t) = \sigma^2(1 + \theta^2)$  [σχέση (4.20)] όπως έχουμε αποδείξει στο κεφάλαιο 3.

Συμπερασματικά λοιπόν μπορούμε να πούμε πως καθώς η διαδικασία της ζήτησης είναι μια i.i.d. διαδικασία, τότε το επίπεδο OOT,  $S_t$  θα είναι σταθερό για όλες τις περιόδους  $L$  με αποτέλεσμα η ποσότητα της παραγγελίας που δίνει προς εκτελέσει ο έμπορος λιανικής, να ισούται με τη ζήτηση. Άρα για τις αντίστοιχες διακυμάνσεις ισχύει ότι:

$$Var(D_t) = Var(Y_t) = \sigma^2(1 + \theta^2)$$

Συνεπώς σύμφωνα με τη σχέση (5.2) και αντικαθιστώντας σε αυτή τις σχέσεις (3.6) και (4.26) και έχουμε:

$$(BM) = \frac{Var(Orders)}{Var(Demands)} = \frac{\sigma^2(1 + \theta^2)}{\sigma^2(1 + \theta^2)} = 1 \quad (5.4)$$

Με ιδιαίτερη ευκολία παρατηρούμε πως όταν η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής ακολουθεί MA(1) διαδικασία τότε δεν παρατηρείται το φαινόμενο του Bullwhip.

### **5.3.1 Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μία MA(1) διαδικασία**

Σε αυτή τη περίπτωση υποθέτουμε πως η ζήτηση  $Y_t$  που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής ακολουθεί όπως έχουμε αποδείξει και στο κεφάλαιο 3 μια διαδικασία λευκού θορύβου. Επομένως η συνολική ποσότητα παραγγελίας την οποία θα τοποθετήσει ο προμηθευτής στον κατασκευαστή θα ισούται με τη παραγγελία που τοποθετεί ο έμπορος λιανικής στον προμηθευτή.

Εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε πως και σε αυτή τη περίπτωση, με διαμοιρασμό φυσικά της πληροφορίας πρόβλεψης της ζήτησης, δεν παρατηρείται επίδραση του φαινομένου του Bullwhip.

Στην πραγματικότητα αρκεί να πάρουμε τη σχέση (5.2) και να αντικαταστήσουμε σε αυτή τις σχέσεις (3.6) και (4.32):

$$\begin{aligned} (BM) &= \frac{Var(Orders)}{Var(Demands)} = \frac{\sigma^2(1 + \theta^2)}{\sigma^2(1 + \theta^2)} \\ &= 1 \end{aligned} \quad (5.5)$$

### 5.3Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip στον έμπορο λιανικής όταν η ζήτηση ARMA(1,1) διαδικασία

Καταλήγουμε λοιπόν σύμφωνα με τους Leeetal. (2000), Ducetal. (2008) και τον ZhangX. (2006) για τη στάσιμη διαδικασία ζήτησης η οποία είναι της μορφής ARMA(1,1) πως η μέτρηση της επίδρασης του φαινομένου Bullwhip που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής δίνεται από τον παρακάτω λόγο, οποίος προκύπτει αν στη σχέση (5.2) αντικαταστήσουμε τις σχέσεις (3.9) και (4.37):

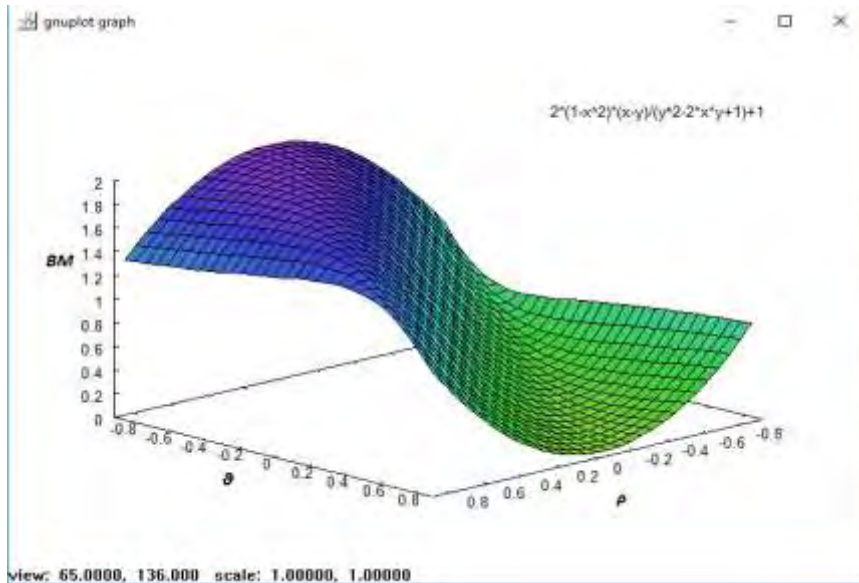
$$BM(\rho, \theta, L, L_1) = 1 + \frac{2(\rho - \theta)(1 - \rho^L)[1 - \rho^{L+1} - \rho\theta(1 - \rho^{L-1})]}{(1 - \rho)(1 + \theta^2 - 2\rho\theta)} \quad (5.6)$$

Όπως λοιπόν παρατηρούμε και από τη παραπάνω σχέση (5.6) η επίδραση του φαινομένου εξαρτάται άμεσα τόσο από το χρόνο παράδοσης  $L$  όσο όμως και από την παράμετρο  $\rho$  και  $\theta$  αντίστοιχα της αυτοπαλίνδρομης διαδικασίας 1<sup>ης</sup> τάξεως και της διαδικασίας 1<sup>ης</sup> τάξης κινητών μέσων. Παρακάτω δίνονται οι γραφικές παράστασης του BM για διάφορες τιμές του  $\rho$  και του  $\theta$  όπως αυτές έχουν ορισθεί στο κεφάλαιο 2 καθώς και για συγκεκριμένες τιμές του χρόνου παράδοσης που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής,  $L$  είναι περιττός αριθμός είτε είναι άρτιος, με τη χρήση της μεθόδου MMSE

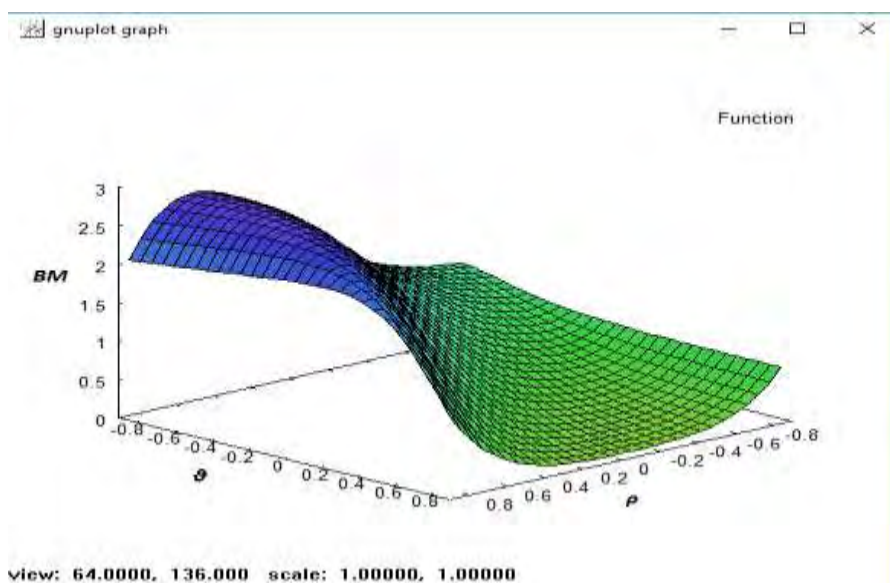
Γενικότερα στηριζόμενοι στα σχήματα (5.14) έως (5.17), με τον κάθετο άξονα να αντιπροσωπεύει το μέτρο του Bullwhip, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το φαινόμενο κάνει

την εμφάνισή του αν και μόνο αν το άθροισμα των  $\rho$  και  $\theta$  είναι θετικό και δεν αυξάνεται πάντα καθώς ο χρόνος Λαυξάνεται(Ducetal 2008).

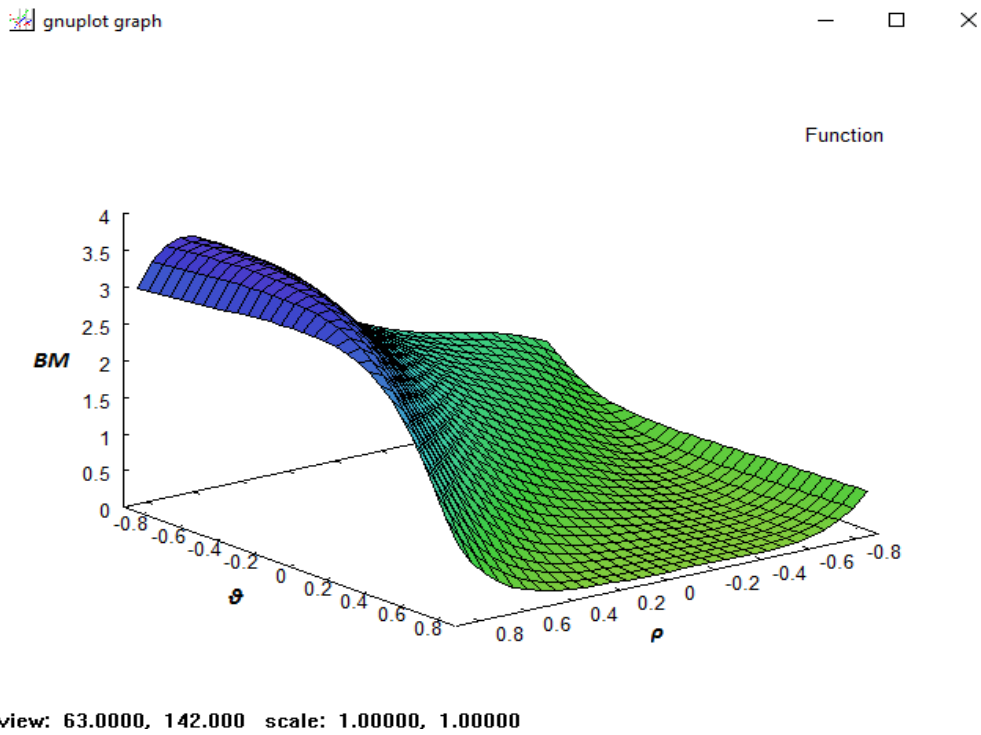
**Σχήμα 5.14** Για  $L=1$  ,  $-0,9 < \rho < 0,9$  και  $-0,9 < \theta < 0,9$



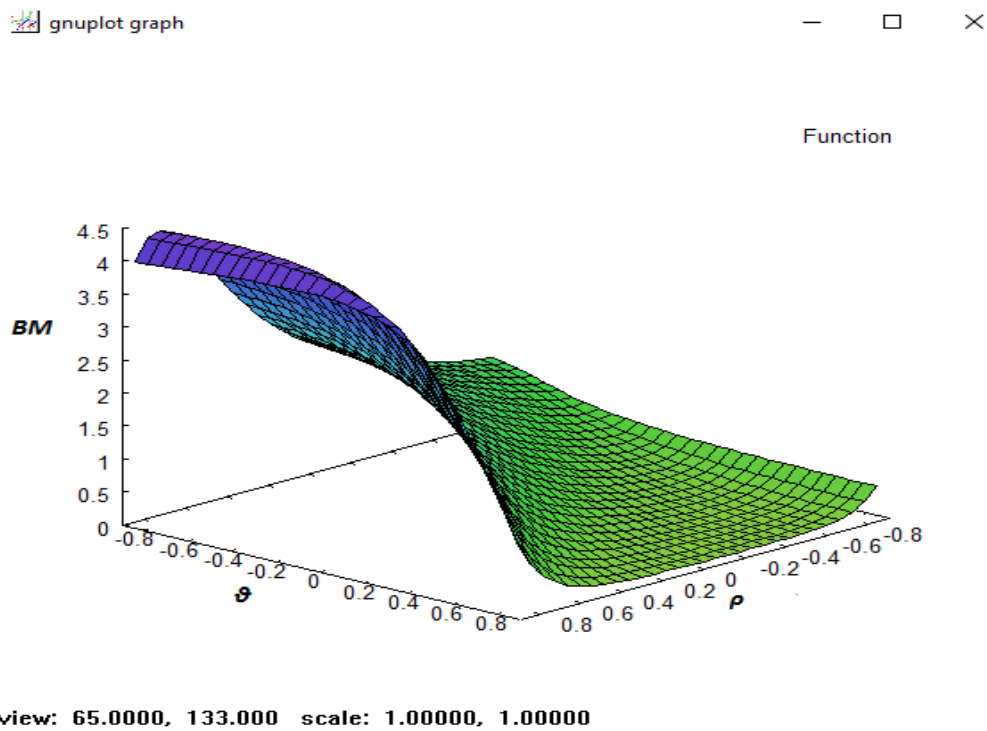
**Σχήμα 5.15** Για  $L=2$  ,  $-0,9 < \rho < 0,9$  και  $-0,9 < \theta < 0,9$



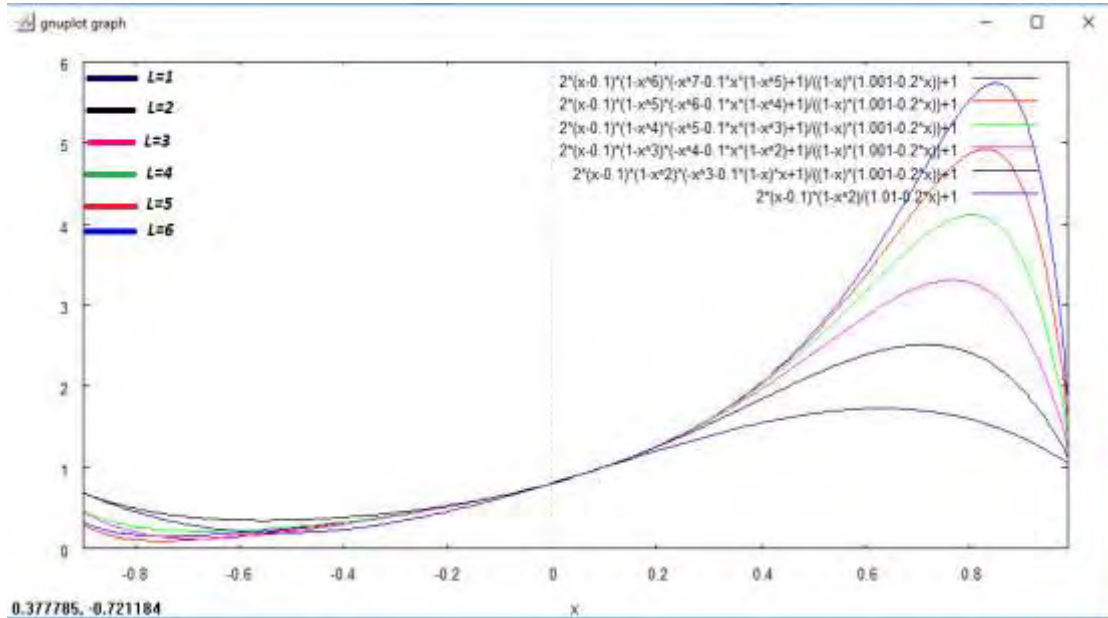
**Σχήμα 5.16** Για  $L=3$  ,  $-0,9 < \rho < 0,9$  και  $-0,9 < \theta < 0,9$



Σχήμα 5.17 Για  $L=4$ ,  $-0,9 < \rho < 0,9$  και  $-0,9 < \theta < 0,9$

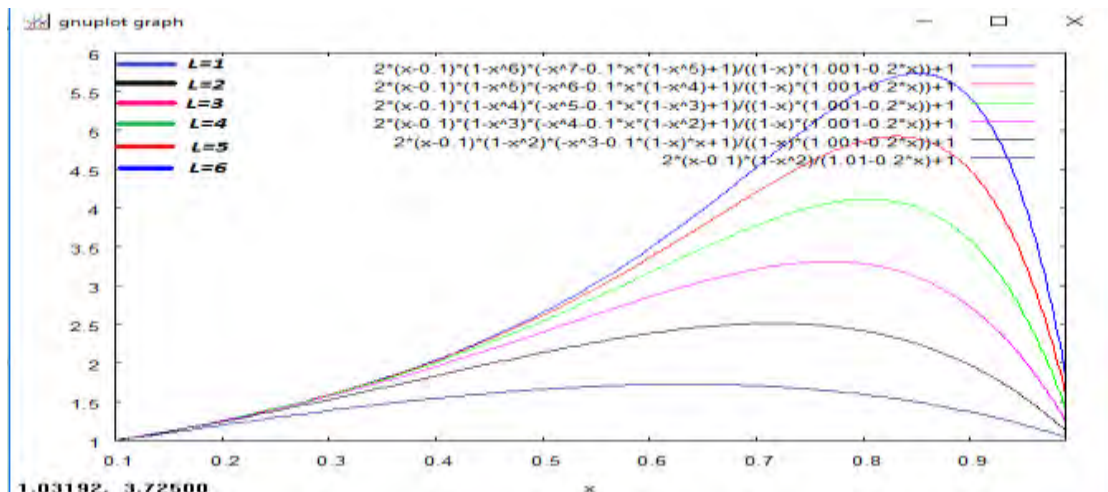


**Σχήμα 5.18** Επίδραση της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου  $\rho$  στο ΒΜστη περίπτωση όπου  $\theta = 0.1$  με τον άξονα  $\chi$  να αντιπροσωπεύει το  $\rho$



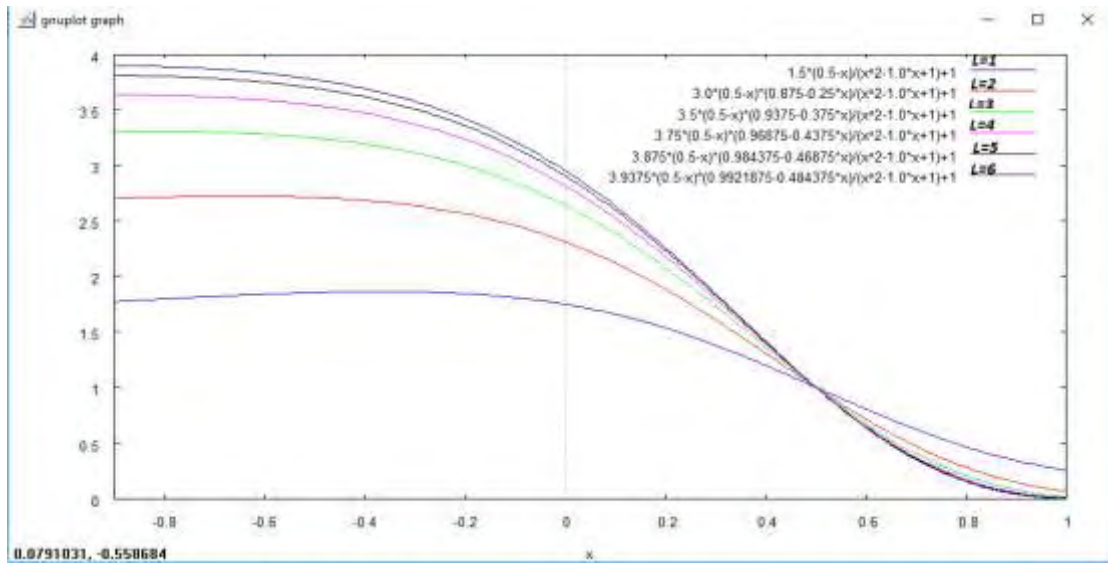
Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από το σχήμα (5.16) το φαινόμενο Bullwhip κάνει την εμφάνιση του όταν η τιμή της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου  $\rho$  είναι θετική.

**Σχήμα 5.19** : Επίδραση της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου  $\rho$  στο ΒΜστη περίπτωση που  $\theta = 0.1$  όπου ο άξονας  $\chi$  αντιπροσωπεύει το  $\rho$

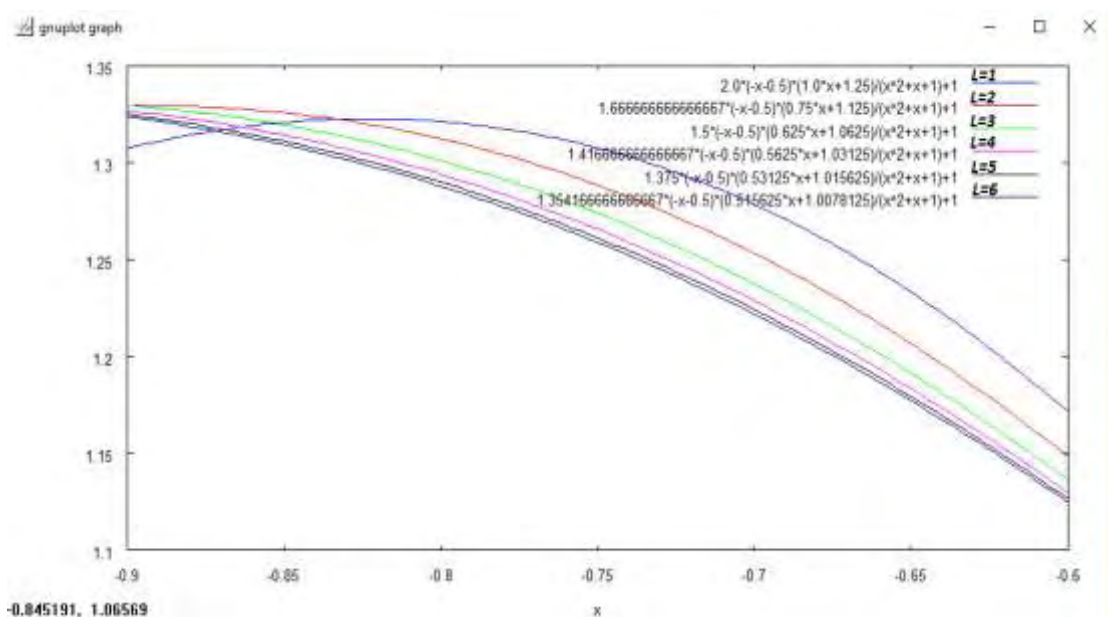


Όπως βλέπουμε και από το σχήμα 5.19 όταν το  $\rho$  είναι θετικό με σταθερό το  $\theta = 0.1$  και καθώς ο χρόνος παράδοσης  $L$  αυξάνεται τόσο πιο αυξητική τάση έχει και η επίδραση του φαινομένου Bullwhip η οποία πάνε μια μέγιστη τιμή κοντά στο  $\rho = 0.8$  και στη συνέχεια μειώνεται και πάλι.

**Σχήμα 5.20 : Επίδραση της παραμέτρου  $\theta$  στο ΒΜστη περίπτωση που  $\rho = 0.5$  όπου ο άξονας  $\chi$  αντιπροσωπεύει το  $\theta$ .**



**Σχήμα 5.21 : Επίδραση της παραμέτρου  $\theta$  στο ΒΜστη περίπτωση που  $\rho = -0.5$  όπου ο άξονας  $\chi$  αντιπροσωπεύει το  $\theta$ .**





Στηριζόμενοι στο σχήμα (5.21) μπορούμε να πούμε πως όταν  $\rho < 0$  οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές του BM λαμβάνουν χώρα όταν  $L = 1$  &  $L = 2$  αντίστοιχα. Επιπλέον καθώς ο χρόνος παράδοσης αυξάνεται η επίδραση του φαινομένου μειώνεται.

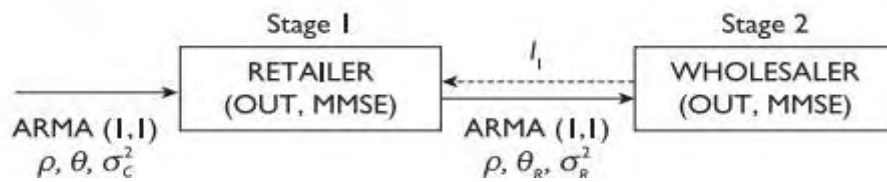
.Ειδικότερα μπορούμε να συμπεράνουμε στηριζόμενοι και στα ευρήματα της έρευνας των Ducketal. (2008) και WangC. (2010) πως:

- Εάν το  $\rho$  είναι θετικός τότε η επίδραση του φαινομένου αυξάνεται καθώς αυξάνεται και ο χρόνο παράδοσης  $L$  (σχήμα 5.20).
- Η επίδραση του φαινομένου είναι ιδιαίτερα αισθητή όταν  $\rho > \theta$  (σχήμα 5.20).
- Όταν  $\rho \geq \theta > 0$  και συγκεκριμένα με  $\rho > 0$  παρατηρούμε πως η επίδραση του φαινομένου όταν ο χρόνος παράδοσης  $L$  είναι περιττός και αυξάνεται τόσο η επίδραση του φαινομένου μειώνεται αριθμός Ducketal. (2008).
- Αντίστοιχα όταν  $\rho \geq \theta > 0$  και με το χρόνο παράδοσης να είναι άρτιος αριθμός παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης τόσο αυξάνεται και η επίδραση του φαινομένου Ducketal. (2008).
- Όταν  $\rho < \theta$  με  $\theta \in (-1,1)$  τότε η επίδραση του φαινομένου παύει να ισχυρεί και κάνει σε αυτή τη περίπτωση την εμφάνιση του το φαινόμενο Anti-Bullwhip.

### **5.3.1Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μία ARMA(1,1) διαδικασία**

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 3 , όταν η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μια ARMA(1,1) διαδικασία τότε η αντίστοιχα η ζήτηση που θα προκύψει για τον προμηθευτή θα ακολουθεί και αυτή μια ARMA(1,1) διαδικασία.όπως μας ενημερώνουν οι Pati, RupeshKumar (2014) , WangC. (2010)και WangandDisney (2016).

**Σχήμα 5.23 :Μετατροπή ζήτησης ARMA(1,1) στο επόμενο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας**



**Πηγή: Pati,RupeshKumar (2014)**

Έχοντας λοιπόν υπόψη την παραπάνω παραδοχή το μέτρο υπολογισμού του φαινομένου του Bullwhip , στηριζόμενοι στη σχέση (5.2) και αντικαθιστώντας τις σχέσεις (4.38) και (3.9) η (5.2) θα πάρει την ακόλουθη μορφήσύμφωνα με τον WangC. (2010):

$$BM(\rho, \theta, L, L_1) = \frac{\left[1 + \frac{(\rho-\theta)^2}{1-\rho^2} + \frac{2(2-\rho^L-\rho^{L_1})}{1-\rho}(\rho-\theta) + \frac{2(2-\rho^L-\rho^{L_1})(1+\rho-\rho^L-\rho^{L_1})}{(1-\rho^2)(1-\rho)}(\rho-\theta)^2\right] \sigma^2}{\frac{(1+\theta^2-2\rho\theta)}{1-\rho^2} \sigma^2}$$

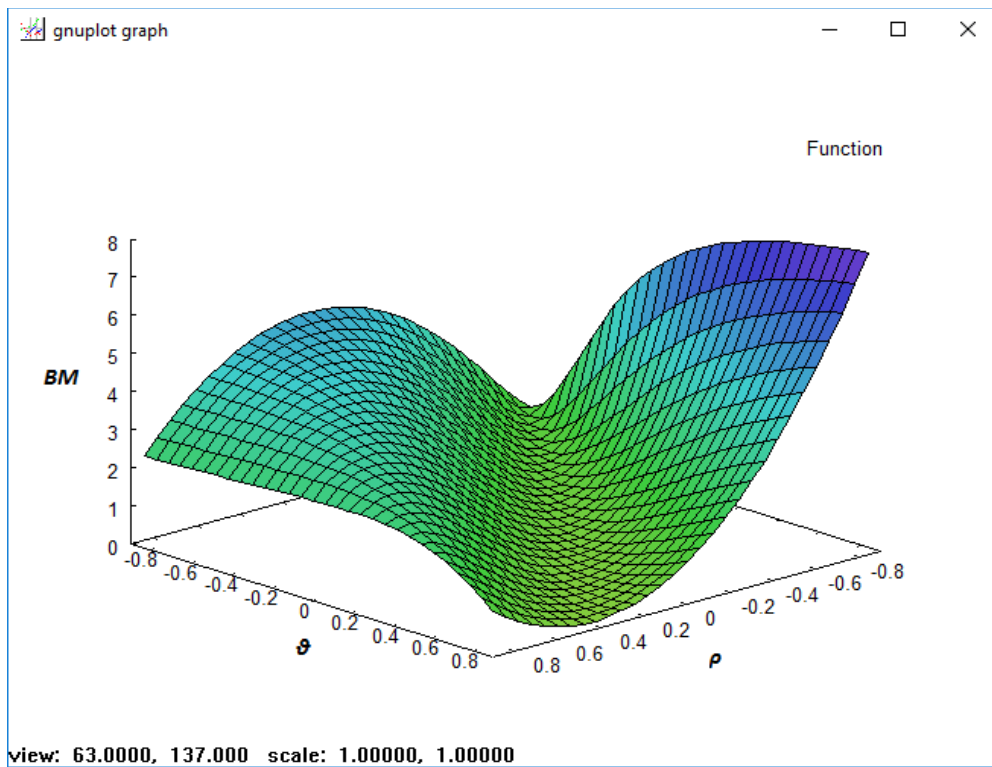
Έπειτα από απλές μαθηματικές πράξεις σε σκοπό να γίνουν πιο εύκολα οι υπολογισμοί και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις καταλήγουμε πως:

$$BM(\rho, \theta, L, L_1) = 1 + \frac{2(2-\rho^L-\rho^{L_1})(\rho-\theta)[1-\rho^2+(1+\rho-\rho^L-\rho^{L_1})(\rho-\theta)]}{(1-\rho)(1+\theta^2-2\rho\theta)} \quad (5.7)$$

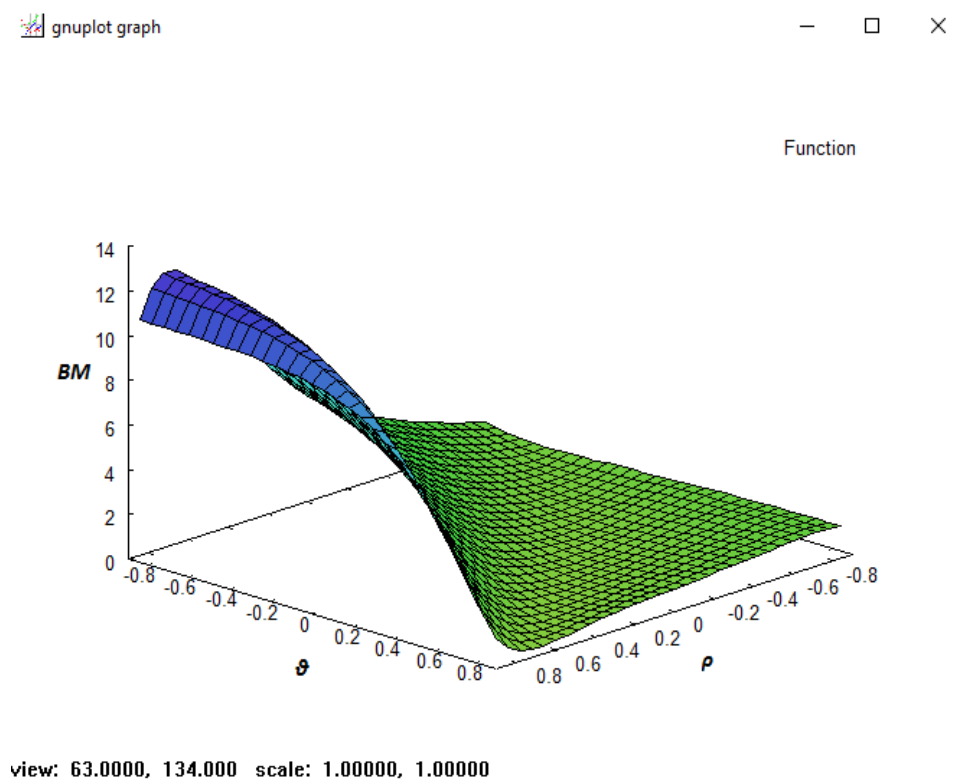
Από τη παραπάνω σχέση (5.7) εύκολα προκύπτει αν αντικαταστήσουμε όπου  $\rho = \theta = 0$  πως το μέτρο του Bullwhipισούται με τη μονάδαανεξαρτήτως των χρόνων παράδοσης Lκαι  $L_1$ .Κάτι τέτοιο όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο μας υποδεικνύει πως η διακύμανση των παραγγελιών ισούται με την διακύμανση της αρχικής ζήτησης .

Στο παρακάτω σχήμα (5.24) γίνεται παρουσιάζουμε σε τρισδιάστατη γραφική παράσταση την επίδραση των παραμέτρων  $\rho$  και  $\theta$  με σταθερούς τους χρόνους παράδοσης Lκαι  $L_1$  στο μέτρο του Bullwhip.

**Σχήμα 5.24 Για  $L=1$  και  $L_1 = 1$  ,  $-0,9 < \rho < 0,9$  και  $-0,9 < \theta < 0,9$**

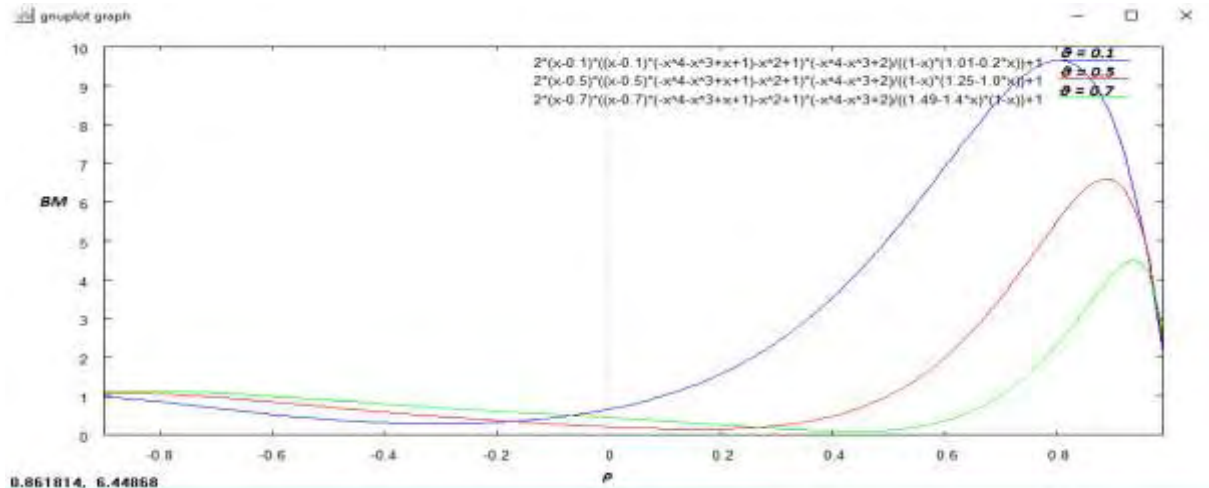


Σχήμα 5.25 Για  $L=3$  και  $L_1 = 4$ ,  $-0,9 < \rho < 0,9$  και  $-0,9 < \theta < 0,9$



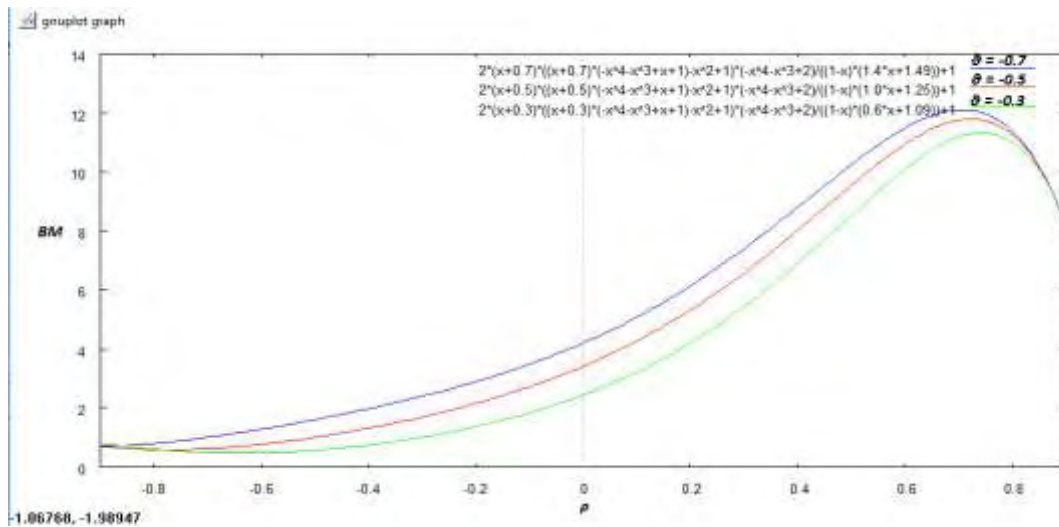
**Σχήμα 5.26 : Επίδραση της παραμέτρου  $\rho$  στο ΒΜστη περίπτωση που**

$$\theta > 0 \text{ και } L = 3, L_1 = 4.$$



**Σχήμα 5.27 : Επίδραση της παραμέτρου  $\rho$  στο ΒΜ στη περίπτωση που  $\theta <$**

$$0 \text{ και } L = 3, L_1 = 4.$$

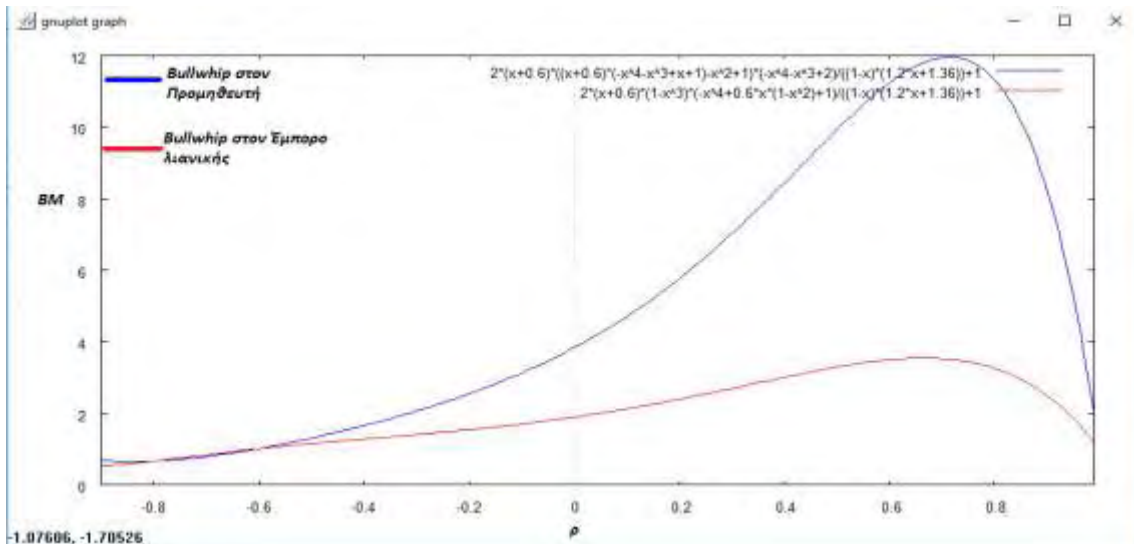


Από το σχήμα (5.26) εύκολα παρατηρούμε πώς στη περίπτωση όπου  $\theta > 0$  με σταθερούς τους χρόνους παράδοσης  $L$  και  $L_1$  αντίστοιχαισχύουν τα παρακάτω:

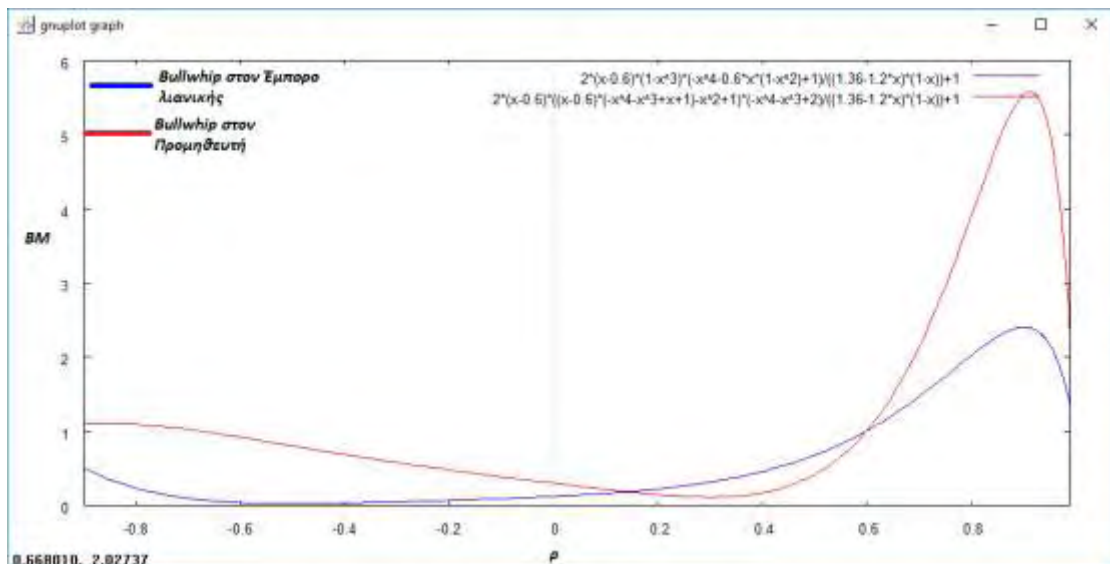
1. Η επίδραση του φαινομένου είναι φανερή στη περίπτωση όπου  $\rho \geq \theta$  και πió συγκεκριμένα όσο το  $\theta$  αυξάνεται τόσο μικρότερο θα είναι το ΒΜ.
2. Αντίστοιχα μπορούμε να πούμε πως όταν το  $\theta > \rho$  τότε κάνει την εμφάνισή του το φαινόμενο Anti-Bullwhip.

Ας δούμε τώρα τι πρόκειται να συμβεί αν ο χρόνος παράδοσης που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής είναι μικρότερος από τον χρόνο παράδοσης του προμηθευτή.

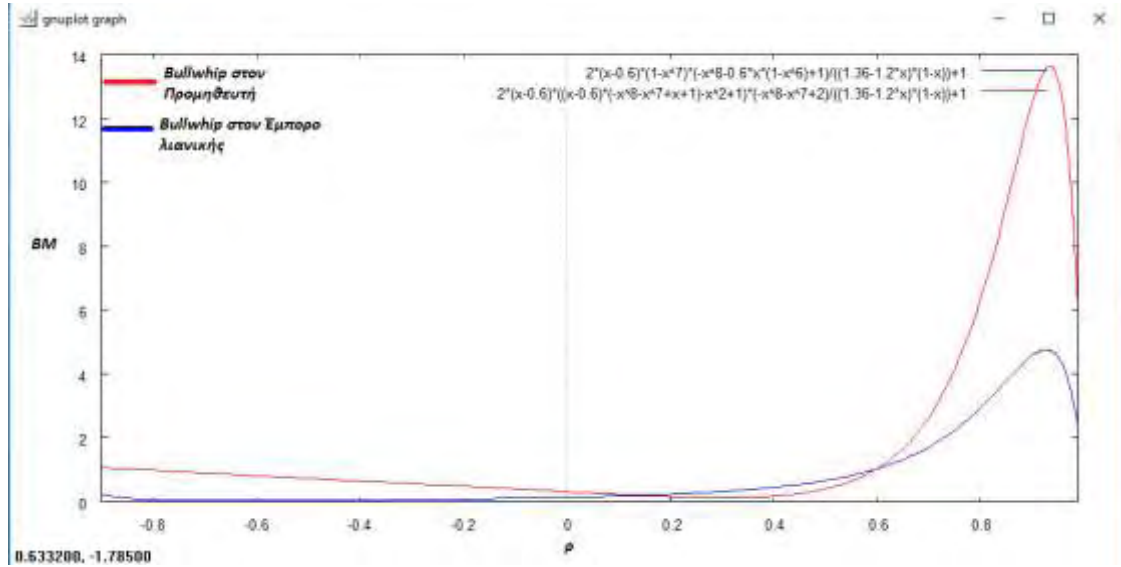
**Σχήμα 5.27. :** Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip καθώς κινούμαστε ανοδικά από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή με  $L = 3$  και  $L_1 = 4$  και  $\theta = -0.6$ .



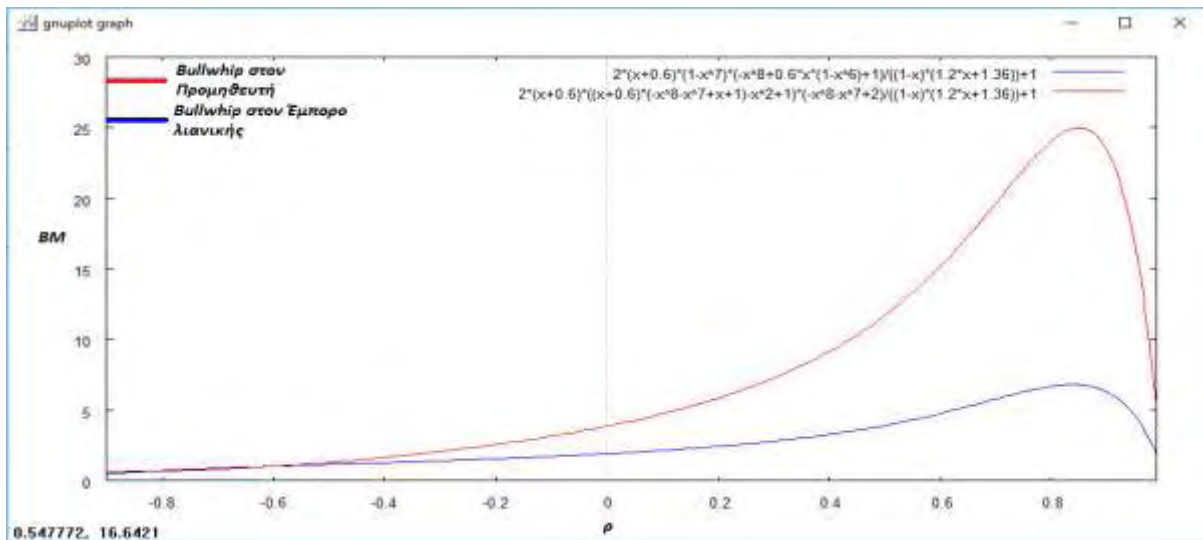
**Σχήμα 5.28. :** Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip καθώς κινούμαστε ανοδικά από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή με  $L = 3$  και  $L_1 = 4$  και  $\theta = 0.6$ .



**Σχήμα 5.29. :** Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip καθώς κινούμαστε ανοδικά από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή με  $L = 7$  και  $L_1 = 6$  και  $\theta = 0.6$ .



**Σχήμα 5.30. :** Η επίδραση του φαινομένου Bullwhip καθώς κινούμαστε ανοδικά από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή με  $L = 7$  και  $L_1 = 6$  και  $\theta = -0.6$ .



Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν και από τις τέσσερις παραπάνω γραφικές παραστάσεις στην περίπτωση όπου το  $\rho \geq \theta$  είναι τα εξής σύμφωνα με τους Hosoda, Disney (2006) και KumarRupesh (2014):

- Για διάφορες τιμές των  $L$  και  $L_1$  ισχύει ότι:  $Var(D_t) \leq Var(Q_t)$  με την ισότητα να ισχύει όταν  $\rho = 0$ . Δηλαδή ισχύει ότι:  $BM_{Εμπόρουλιανικής} \leq BM_{Προμηθευτή}$  με την ισότητα να ισχύει όταν  $\rho = \theta = 0$ .
- Μία αύξηση στην αυτοπαλίνδρομη παράμετρο  $\rho$  αυξάνει την επίδραση του φαινομένου ενώ μία αύξηση στη τιμή της παραμέτρου  $\theta$  μειώνει την επίδραση του Bullwhip (σχήμα 5.26).
- Η παράμετρος  $\rho$  επηρεάζει πιο έντονα το φαινόμενο Bullwhip σε σχέση με τη τιμή της παραμέτρου  $\theta$ .
- Αντίστοιχα όταν η τιμή του  $\rho$  ταυτίζεται με τη τιμή του  $\theta$  το φαινόμενο Bullwhip τείνει να εξαλειφθεί.
- Το εύρος της παραμέτρου  $\rho$  για την ίδια τιμή του  $BM$  είναι μεγαλύτερο όταν οι χρόνοι παράδοσης είναι  $L = 7, L_1 = 6$  σε σχέση με  $L = 3, L_1 = 4$  για δοσμένη τιμή του  $\theta$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στη παρούσα εργασία ερευνήσαμε μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων, η οποία αποτελείται στο κατώτερο στρώμα από έναν έμπορο λιανικής και στο ανώτερο στρώμα από έναν προμηθευτή. Η εκτιμώμενη ζήτηση έως τον αναμενόμενο χρόνο παράδοσης που αντιμετωπίζει κάθε μέλος της εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο `MinimumMeanSquaredError` (MMSE). Υποθέσαμε πως η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο έμπορος λιανικής ακολουθεί τρεις διαφορετικές στάσιμες διαδικασίες:  $AR(1)$ ,  $MA(1)$ ,  $ARMA(1,1)$  οι οποίες μεταφράζονται αυτόματα στον προμηθευτή σε  $ARMA(1,1)$ ,  $MA(1)$ ,  $ARMA(1,1)$  αντίστοιχα καθώς και πως το κάθε μέλος ακολουθεί την αποθεματική πολιτική `OUT`. Αποδείξαμε πως η έκφραση του φαινομένου του `Bullwhip` και για τα δύο επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας υπάρχει και μεταδίδεται αυξητικά καθώς κινούμαστε από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή παρόλο που τα δύο επίπεδα μας έχουν υιοθέτηση τη πολιτική ανταλλαγής της πληροφόρησης τόσο της ζήτησης που αντιμετωπίζουν όσο και της εκτιμώμενης τους ζήτησης. Στη μοναδική περίπτωση που η δεν υπάρχει επίδραση του φαινομένου ήταν όταν η ζήτηση ακολουθούσε μια  $MA(1)$  διαδικασία. Ταυτόχρονα μελετήσαμε τις επιδράσεις όχι μόνο διάφορες τιμές των παραμέτρων των διαδικασιών αλλά και του χρόνου παράδοσης και πως αυτά συνδιαστικά επηρεάζουν το φαινόμενο `Bullwhip`.

Πιο συγκεκριμένα όπως αποδείξαμε και στο κεφάλαιο 4 όταν ο έμπορος λιανικής αντιμετωπίζει μια στάσιμη διαδικασία ζήτησης  $AR(1)$  τότε αυτή αυτόματα μεταφράζεται σε στάσιμη διαδικασία ζήτησης για τον προμηθευτή  $ARMA(1,1)$  η οποία διατηρεί τη τιμή της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου  $\rho$ , ενώ η παράμετρος του κινητού μέσου  $\theta$  αποδείξαμε πως είναι συνάρτηση τόσο της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου  $\rho$ , όσο και του χρόνου παράδοσης  $L$ . Τα αποτελέσματα της εμπειρικής έρευνας στο κεφάλαιο 5, μας έδειξαν πως για τον έμπορο λιανικής η επίδραση του φαινομένου `Bullwhip` εξαρτάται τόσο από τη τιμή της αυτοπαλίνδρομης σταθεράς  $\rho$  όσο και από το χρόνο παράδοσης που αντιμετωπίζει. Με  $\rho > 0$  όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παράδοσης τόσο μεγαλύτερη είναι και η επίδραση του φαινομένου ενώ όταν  $0.3 < \rho < 0.9$  ο χρόνος παράδοσης έχει ακόμα μεγαλύτερη επίδραση



με μεγιστοποίηση της επίδρασης να γίνεται στη τιμή  $\rho = 0.8$ . Στην περίπτωση όπου το  $\rho \leq 0$  η επίδραση του φαινομένου παύει να ισχύει και εμφανίζεται το φαινόμενο Anti-Bullwhip. Αντίστοιχα ο προμηθευτής όπως αναφέραμε πιο πάνω αντιμετωπίζει μια διαδικασία ζήτησης ARMA(1,1). Παρατηρήσαμε πως στο συγκεκριμένο επίπεδο της εφοδιαστικής αλυσίδας το φαινόμενο για θετικές τιμές του  $\rho$  αρχικά αυξάνεται αγγίζοντας τη μέγιστη τιμή του και έπειτα αρχίζει φθίνουσα πορεία. Αντίστοιχα μπορούμε να πούμε πως για υψηλότερους χρόνους παράδοσης η επίδραση του φαινομένου αυξάνεται με γρηγορότερο ρυθμό. Όταν το  $\rho$  παίρνει αρνητικές τιμές τότε και πάλι κάνει την εμφάνιση του το φαινόμενο Anti-Bullwhip. Στα σχήματα (5.10) και (5.11) παρουσιάζεται ξεκάθαρα η αυξητική τάση του φαινομένου ξεκινώντας από τον έμπορο λιανικής και καταλήγοντας στον προμηθευτή. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούμε στους Lee, So και Tang (2000) καθώς και στον Raghunathan (2001) οι οποίοι μας ενημερώνουν πως ο διαμοιρασμός της πληροφόρησης της ζήτησης στα διάφορα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν είναι από μόνος του ικανός να εξαλείψει την επίδραση του φαινομένου.

Αντίστοιχα όταν ο έμπορος λιανικής αντιμετωπίζει μια στάσιμη διαδικασία MA(1) τότε το μέτρο του Bullwhip είναι ίσο με τη μονάδα. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στο επόμενο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή στον προμηθευτή. Συνεπώς όπως καταλαβαίνουμε οι διακυμάνσεις των παραγγελιών είναι ίσες με τις διακυμάνσεις της ζήτησης.

Στο τελευταίο μέρος της έρευνάς μας, ασχοληθήκαμε με τη περίπτωση κατά την οποία η ζήτηση του έμπορα λιανικής ακολουθεί μια στάσιμη διαδικασία ζήτησης ARMA(1,1). Όσο αφορά τον έμπορο λιανικής στο κεφάλαιο 5 αποδείξαμε ότι η επίδραση του φαινομένου ενεργοποιείται αν και μόνο αν η τιμή της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου  $\rho$  είναι μεγαλύτερη από τη παράμετρο κινητών μέσων  $\theta$ . Ωστόσο όπως έχουν τονίσει οι Ducetal. (2008) η επίδραση του φαινομένου δεν αυξάνεται πάντα καθώς ο χρόνος αυξάνεται. Στη πραγματικότητα απέδειξαν πως όταν ο χρόνος παράδοσης είναι περιττός αριθμός η επίδραση του φαινομένου μειώνεται καθώς ο χρόνος παράδοσης αυξάνεται ενώ όταν ο χρόνος παράδοσης είναι άρτιος αριθμός όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης τόσο αυξάνεται και η επίδραση του φαινομένου. Αντίστοιχα όπως έχουμε αποδείξει και όπως μας ενημερώνουν οι Lee, So and Tang (2000) και ο Raghunathan (2001) η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο προμηθευτής είναι μια στάσιμη διαδικασία ARMA(1,1). Για να είναι η επίδραση του φαινομένου ορατή

αρκεί να ισχύει ότι:  $\rho \geq \theta$ . Σε διαφορετική περίπτωση θα κάνει την εμφάνιση του το φαινόμενο Anti-Bullwhip.

Συνδυάστηκα λοιπόν αποδείξαμε πως η επίδραση του φαινομένου παρατηρείται όταν η αυτοπαλίνδρομη παράμετρος  $\rho$  είναι θετική συνδυαστικά με την προϋπόθεση πως το άθροισμα της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου  $\rho$  και της παραμέτρου κινητών μέσω  $\theta$  είναι θετικό. Σε αυτή ακριβώς τη περίπτωση παρατηρείται αυξητική τάση του ΒΜ καθώς κινούμαστε από τον έμπορο λιανικής προς τον προμηθευτή όπως μούμε να παρατηρήσουμε και από τα σχήματα (5.29) και (5.30).

Από τα αποτελέσματα της έρευνας μας καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως ο διαμοιρασμός της πληροφορίας της ζήτησης στο επόμενο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας ουσιαστικά δεν απέτρεψε την επίδραση του φαινομένου του Bullwhip όπως μας ενημέρωσαν και οι Disney and Towil (2003).

Αξίζει να πούμε πως η ποσοτικοποίηση της επίδρασης του φαινομένου Bullwhip και η διερεύνηση της συμπεριφοράς του μας έδωσε χρήσιμες πληροφορίες για μελλοντική ελαχιστοποίηση του φαινομένου. Τα αποτελέσματα της έρευνας μας σκοπό έχουν να ανοίξουν νέους δρόμους για ανάπτυξη πιο ρεαλιστικών μοντέλων ζήτησης. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να ασχοληθούν με διαδικασίες ζήτησης μεγαλύτερης τάξης από αυτές που χρησιμοποιήσαμε εμείς στη παρούσα εργασία ίσως και πιο ικανές στην καλύτερη αποτύπωση της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν εφοδιαστικές αλυσίδες με περισσότερα επίπεδα, προϊόντα και γιατί όχι και άλλες παραμέτρους που επηρεάζουν το φαινόμενο όπως η διακύμανση των τιμών .

## Βιβλιογραφία

Agrawal, Sunil, Raghu NandanSengupta, and KripaShanker. "Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory." *European Journal of Operational Research* 193.2 (2009): 576-594.

Mohammad M.Boylan J., Mohammad M., John E. Boylan, and Aris A. Syntetos. "Forecast errors and inventory performance under forecast information sharing." *International Journal of Forecasting* 28.4 (2012): 830-841.

Alwan, Layth C., John J. Liu, and Dong-Qing Yao. "Stochastic characterization of upstream demand processes in a supply chain." *IIE Transactions* 35.3 (2003): 207-219.

Arthur D. Little, Inc. (1991). Logistics in Service Industries. Prepared by Arthur D. Little and The Pennsylvania State University for the Council of Logistics Management, 2803 Butterfield Road #380, Oak Brook, IL 60521:10–32

Baihaqi, Imam, and Nicholas Beaumont. *Information sharing in supply chains: a literature review and research agenda*. Department of Management, Monash University, 2006.

Balasubramanian, Sivakumar, et al. "Causes and remedies of bullwhip effect in supply chains." *10th Annual Industrial Engineering Research Conference, Dallas, TX, May*. 2001.

Bendre, Abhijit B., and Anders Thorstenson. "Evaluation of performance approximations for (r, q) inventory policies in a lost-sales setting." *Proceedings international conference on flexible supply chains in a global economy, Molde University College*. 2008

Berry, William L., Terry J. Hill, and Jay E. Klompmaker. "Customer-driven manufacturing." *International Journal of Operations & Production Management* 15.3 (1995): 4-15.

Bischak, Diane P., et al. "Analysis and Management of Periodic Review, Order- Up- To Level Inventory Systems with Order Crossover." *Production and Operations Management* 24.5 (2014): 762-773.

Boute, Robert N., et al. "Coordinating lead-time and safety stock decisions in a two-echelon supply chain with autocorrelated consumer demand." (2010).

Boute, Robert N., and Marc R. Lambrecht. "Exploring the bullwhip effect by means of spreadsheet simulation." *INFORMS Transactions on Education* 10.1 (2009): 1-9.

Cachon, Gérard P., and Marshall Fisher. "Supply chain inventory management and the value of shared information." *Management science* 46.8 (2000): 1032-1048.

Cachon, Gérard P., Taylor Randall, and Glen M. Schmidt. "In search of the bullwhip effect." *Manufacturing & Service Operations Management* 9.4 (2007): 457-479.

Chatfield, Dean C., et al. "The bullwhip effect—impact of stochastic lead time, information quMohammadM.BoylanJ.ty, and information sharing: a simulation study." *Production and Operations Management* 14.4 (2004): 340-354.

Chatfield, Dean C., and Alan M. Pritchard. "Returns and the bullwhip effect." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 49.1 (2013): 159-175.

Chen, Frank, et al. "Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information." *Management science* 46.3 (2000): 436-444.

Chen, Frank, et al. "The bullwhip effect: Managerial insights on the impact of forecasting and information on variability in a supply chain." *Quantitative models for supply chain management*. Springer US, 1999. 417-439.

Chen, Li, and Hau L. Lee. "Modeling and measuring the bullwhip effect." *Handbook of Information Exchange in Supply Chain Management*. Springer International Publishing, 2017. 3-25.

Chen, Pei-Chi, and Philip M. Wolfe. "A data quMohammadM.BoylanJ.ty model of information-sharing in a two-level supply chain." *International Journal of Electronic Business Management* 9.1 (2011): 70.

Chen, Y. F., and Stephen Michael Disney. "The order-up-to policy" sweet spot": using

proportional controllers to eliminate the bullwhip problem." (2003): 551-560.

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.

Choi, Hyun-cheol Paul. "Information sharing in supply chain management: a literature review on analytical research." *MohammadM.BoylanJ.fornia Journal of Operations Management* 8.1 (2010): 110-116.

Chopra, S., & Meindl, P. (2001). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. Upper Saddle

Christopher, Martin L. (1992), *Logistics and Supply Chain Management*, London: Pitman Publishing

Costantino, Francesco, et al. "SPC forecasting system to mitigate the bullwhip effect and inventory variance in supply chains." *Expert Systems with Applications* 43.3 (2015): 1773-1787.

Croson, Rachel, and Karen Donohue. "Upstream versus downstream information and its impact on the bullwhip effect." *System Dynamics Review* 21.3 (2005): 249-260.

Croom, Simon, Pietro Romano, and MihMohammadM.Boylan J.s Giannakis. "Supply chain management: an analytical framework for critical literature review." *European journal of purchasing & supply management* 6.1 (2000): 67-84.

Dejonckheere, Jeroen, et al. "Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach." *European Journal of Operational Research* 147.3 (2003): 567-590.

Disney, Stephen M., and Denis R. Towill. "On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy." *Omega* 31.3 (2003): 157-167.

Disney, Stephen M., et al. "The value of coordination in a two echelon supply chain: Sharing information, policies and parameters." (2007).

Duc, Truong Ton Hien, Huynh TrungLuong, and Yeong-Dae Kim. "A measure of bullwhip effect in supply chains with a mixed autoregressive-moving average demand process." *European Journal of Operational Research* 187.1 (2008): 243-256.

Ertek, Gürdal, and EmreEryilmaz. *THE BULLWHIP EFFECT IN SUPPLY CHAIN Reflections after a Decade*. Working Paper, CELS 2008, 2008.

Geary, S., Stephen M. Disney, and Dennis R. Towill. "On bullwhip in supply chains—historical review, present practice and expected future impact." *International Journal of Production Economics* 101.1 (2006): 2-18.

Gilbert, Kenneth. "An ARIMA supply chain model." *Management Science* 51.2 (2005): 305-310.

Graves, Stephen C. "A single-item inventory model for a nonstationary demand process." *Manufacturing & Service Operations Management* 1.1 (1999): 50-61.

Handfield, Robert B., and Ernest L. Nichols. *Supply chain redesign: Transforming supply chains into integrated value systems*. FT Press, 2003.

Hosoda, Takamichi, and Stephen M. Disney. "On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting." *Omega* 35.4 (2006): 344-358.

Huang, G. Q., J. S. K. Lau, et al. (2003). "The Impact of Sharing Production Information on Supply

Hussain, Matloub, AnamitraShome, and Dong Myung Lee. "Impact of forecasting methods on variance ratio in order-up-to level policy." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 59.1 (2012): 413-420

Jones, Thomas and Daniel W. Riley (1985), "Using Inventory for Competitive Advantage through Supply Chain Management," *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 15, No. 5, pp. 16-26.

Kelle, Peter, and Mohammad M.BoylanJ.stair Milne. "The effect of (s, S) ordering policy on the supply chain." *International Journal of Production Economics* 59.1 (1999): 113-123.

Keskinocak, Pinar, and ShidharTayur. "Quantitative analysis for Internet-enabled supply chains." *Interfaces* 31.2 (2001): 70-89.

Kilger, Christoph, Herbert Meyr, and HartmutStadtler. *Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software, and case studies*. Springer, 2015.

Lambert, Douglas M., and Martha C. Cooper. "Issues in supply chain management." *Industrial marketing management* 29.1 (2000): 65-84.

Larson, Paul D., and Dale S. Rogers. "Supply chain management: definition, growth and approaches." *Journal of Marketing Theory and Practice* 6.4 (1998): 1-5.

Lee, Hau L., and Corey Billington. "Material management in decentrMohammadM.BoylanJ.zed supply chains." *Operations research* 41.5 (1993): 835-847.

Lee, Hau L., VenkataPadmanabhan, and SeungjinWhang. "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect." *Management science* 44.4 (1997): 546-558.

Lee, Hau L., VenkataPadmanabhan, and SeungjinWhang. "The bullwhip effect in supply chains." *Sloan management review* 38.3 (1997): 94.

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.

Lotfi, Zahra, et al. "Information sharing in supply chain management." *Procedia Technology* 11 (2013): 298-305.

Luong, Huynh Trung. "Measure of bullwhip effect in supply chains with autoregressive demand process." *European Journal of Operational Research* 180.3 (2007): 1086-1097.

Ma, Yungao, et al. "The bullwhip effect under different information-sharing settings: a perspective on price-sensitive demand that incorporates price dynamics." *International Journal of Production Research* 51.10 (2013): 3085-3116.

Marchena, Marlene Silva. "Measuring and implementing the bullwhip effect under a

generalized demand process." (2010).

Mentzer, John T., et al. "Defining supply chain management." *Journal of Business Logistics* 23.2 (2001): 1-25.

Metters, Richard. "Quantifying the bullwhip effect in supply chains." *Journal of operations management* 15.2 (1997): 89-100.

Michna, Zbigniew, Peter Nielsen, and IzabelaEwa Nielsen. "The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect." *arXiv preprint arXiv:1411.4289* (2014).

Min, Hokey, and Gengui Zhou. "Supply chain modeling: past, present and future." *Computers & industrial engineering* 44.1 (2002): 231-249.

Monczka, Robert, Robert Trent, and Robert Handfield (1998), *Purchasing and Supply Chain Management*, Cincinnati, OH: South-Western College Publishing, Chapter 8.

Moyaux, Thierry, BrahimChaib-draa, and Sophie D'Amours. "Information sharing as a coordination mechanism for reducing the bullwhip effect in a supply chain." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 37.3 (2007): 396-409.

Naish, Howard F. "Production smoothing in the linear quadratic inventory model." *The Economic Journal* (1994): 864-875.

New, Stephen J. "The scope of supply chain management research." *Supply Chain Management: An International Journal* 3.1 (1997): 15-23.

Pati, Rupesh Kumar. "Modelling Bullwhip Effect in a Closed Loop Supply Chain with ARMA Demand." *IIM Kozhikode Society & Management Review* 4.2 (2014): 149-165.

Schisgall, O. (1981). *Eyesontomorrow: the evolution of Procter & Gamble*. New York: J.G. Ferguson

So, Kut C., and XiaonaZheng. "Impact of supplier's lead time and forecast demand updating on retailer's order quantity variability in a two-level supply chain." *International Journal of*



*Production Economics* 86.2 (2003): 169-179.

Sun, H. X., and Y. T. Ren. "The impact of forecasting methods on bullwhip effect in supply chain management." *Engineering Management Conference, 2005. Proceedings. 2005 IEEE International*. Vol. 1. IEEE, 2005.

Sterman, John D. "Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment." *Management science* 35.3 (1989): 321-339.

Stevens, Graham C. (1989), "Integrating the Supply Chains," *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 8, No. 8, pp. 3-8.

Stock, James R., and Stefanie L. Boyer. "Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 39.8 (2009): 690-711.

Stock, James R., Stefanie L. Boyer, and Tracy Harmon. "Research opportunities in supply chain management." *Journal of the Academy of Marketing Science* 38.1 (2010): 32-41.

Tabar, B. Rostami, et al. "The Impact of Temporal Aggregation on Demand Forecasting of ARMA (1, 1) Process: Theoretical Analysis." *IFAC Proceedings Volumes* 46.9 (2013): 1696-1701.

Tan, KeahChoon. "A framework of supply chain management literature." *European Journal of Purchasing & Supply Management* 7.1 (2001): 39-48.

Tedeschi, B. "Compressed data; big companies go slowly in devising net strategy." *New York Times* 27 (2000).

Wang, Chuanxu. "Analyzing the Bullwhip Effect in a Supply Chain with ARMA (1, 1) Demand Using MMSE Forecasting." *AISS* 3.1 (2010): 57-70.

Wang, Jui-Lin, et al. "A comparison of bullwhip effect in a single-stage supply chain for autocorrelated demands when using Correct, MA, and EWMA methods." *Expert Systems with Applications* 37.7 (2010): 4726-4736

Wang, Xun, and Stephen M. Disney. "The bullwhip effect: Progress, trends and directions." *European Journal of Operational Research* 250.3 (2016): 691-701.

Zhang, Xiaolong. "The impact of forecasting methods on the bullwhip effect." *International journal of production economics* 88.1 (2004): 15-27.

Zhang, Xiaolong. "Delayed demand information and dampened bullwhip effect." *Operations Research Letters* 34.3 (2005): 289-295.

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.

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