

Π.Μ.Σ. Εφαρμοσμένης Οικονομικής

Τμήμα Οικονομικών Επιστημών

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Διπλωματική Εργασία

**ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ  
ΖΗΤΗΣΗΣ AR(1) ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ BULLWHIP**

**Παπαδήμας Δημήτρης**

Επιβλέπων Καθηγητής : **Ηλίας Κεβόρκ**

**Βόλος, Φεβρουάριος 2018**



## Υπεύθυνη Δήλωση

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

Παπαδήμας Δημήτρης

Βόλος, Ιανουάριος 2018

## Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Ηλία Κεβόρκ. Η πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας κατέστη δυνατή χάρη στην πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε σε επιστημονικά και διαδικαστικά ζητήματα αλλά και την ηθική του υποστήριξη. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την διαχρονική τους υποστήριξη, που για μένα είναι ανεκτίμητη.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract .....	6
1. Η Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	8
1.1 Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management).....	8
1.1.1 Ιστορική Αναδρομή .....	8
1.2 Η Μέθοδος Αποθεματικής Πολιτικής Order-Up-To (OUT) (R,S) .....	14
1.3 Το Φαινόμενο Bullwhip (Bullwhip Effect) .....	17
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	20
2.1 Αναγνωρίζοντας το Φαινόμενο Bullwhip .....	20
2.2 Η Αξία της Πληροφόρησης .....	22
2.3 Η πολιτική Order-Up-To και το Φαινόμενο Bullwhip.....	25
2.4 Διεύρυνση της Έρευνας.....	30
3. Εκτίμηση Προβλεπόμενης Ζήτησης και Αποθεματικής Πολιτικής Έως τον Χρόνο Παράδοσης με AR(1) .....	35
3.1 Μέθοδοι Πρόβλεψης .....	35
3.1.1 Χρονολογικές Σειρές.....	35
3.1.2 Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα Πρώτης Τάξης [AR(1)].....	37
3.2 Προσδιορισμός της Ποσότητας Παραγγελίας.....	40
3.3 Η Επίδραση του Φαινομένου Bullwhip.....	43
3.4 Αποδείξεις Τύπων Πρόβλεψης Ποσότητας Παραγγελίας και Bullwhip.....	47
4. Παραγωγή Σειρών Προσομοίωσης σε Περιβάλλον Excel και EViews. Υπολογισμός Φαινομένου Bullwhip.....	50
4.1 Περιγραφή Διαδικασίας.....	50
4.2 Εφαρμογή Μεθόδου Υπολογισμού Φαινομένου Bullwhip με Πρόβλεψη της Ζήτησης.....	53
4.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων .....	56
5. Σύνοψη Εργασίας και Περιθώρια Περαιτέρω Έρευνας .....	64
Βιβλιογραφία .....	67



## Περίληψη

Η διοίκηση και διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας αποτέλεσε τις τελευταίες δεκαετίες κυρίαρχο αντικείμενο έρευνας στα Logistics. Η περιγραφή του φαινομένου Bullwhip και η προσπάθεια για την αντιμετώπισή του έθεσαν τις βάσεις για τα χαρακτηριστικά της ορθής λειτουργίας μιας αλυσίδας. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η περίπτωση αλυσίδας δύο επιπέδων όταν η πολιτική διαχείρισης αποθεμάτων που εφαρμόζεται είναι Order-Up-To Level. Θεωρώντας πως η ζήτηση περιγράφεται από το αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα πρώτου βαθμού [AR(1)] δημιουργήθηκαν μαθηματικές εκφράσεις της ποσότητας παραγγελίας και της έντασης του φαινομένου Bullwhip όπου ταυτόχρονα υπάρχουν οι ιδιότητες της αποθεματικής πολιτικής. Με χρήση προσομοίωσης στο Eviews διενεργήθηκαν εκτιμήσεις πρόβλεψης για τις τιμές παραμέτρων και την ένταση του φαινομένου. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως μεταβάλλεται η ένταση του Bullwhip όταν αλλάζει ο βαθμός αυτοσυσχέτισης της ζήτησης και ο χρόνος παράδοσης της παραγγελίας. Τελικά, αξιολογούνται οι εκτιμήσεις που διενεργούνται για κάθε περίπτωση από τις προσομοιώσεις και η απόκλισή τους από τις τιμές που πραγματοποιήθηκαν.

## Abstract

During last decades Supply Chain Management has been a primary objective in Logistics research. The Bullwhip Effect description as well as the effort to reduce it, led to the characteristics of the proper Supply Chain function. A two-echelon Supply Chain is examined in this thesis when an Order-Up-To Level policy is applied. Considering that demand is best described by a first order auto regression model [AR(1)], mathematical expressions of Order Quantity and Bullwhip Effect intensity are being established, the replenishment model properties are preserved. Estimations of model parameters and Bullwhip intensity are made through simulations using Eviews. The final results demonstrate the impact of demand correlation and lead time diversification on the Effect. Ultimately, forecasting referring to each case as well as deviation is evaluated.





## 1. Η Εφοδιαστική Αλυσίδα

### 1.1 Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management)

Αν θεωρήσουμε τη διαδικασία παραγωγής ενός προϊόντος ή παροχής μιας υπηρεσίας ως μια σειρά ενεργειών από το πρώτο στάδιο παραγωγής έως το σημείο που φτάνει στον πελάτη, αυτό το πλέγμα αποτελεί την εφοδιαστική αλυσίδα. Η μορφή της, τα μέλη που την απαρτίζουν και ο τρόπος με τον οποίο αυτή λειτουργεί έχουν αποτελέσει αντικείμενο μελέτης της επιστημονικής κοινότητας. Ως εκ τούτου, είναι πολυάριθμες οι απόπειρες που έχουν καταγραφεί ώστε να περιγράψουν τον ορισμό, την αντίληψη που τη διέπει και τη λειτουργία της.

#### 1.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Από τα μέσα της δεκαετίας του '50 οι μεγάλες εταιρίες άρχισαν να επεκτείνουν τη λογική της μηχανικής τελειοποίησης, που αφορούσε την αποθήκευση και φόρτωση – εκφόρτωση, σε ανάπτυξη μεθόδων management των μεταφορών (transportation management). Τη δεκαετία του '60 η αντίληψη άρχισε να βγαίνει από τα στενά όρια του βιομηχανικού σχεδιασμού. Στις Ηνωμένες Πολιτείες δημιουργήθηκε το λεγόμενο Εθνικό Συμβούλιο Διαχείρισης Φυσικής Διανομής (National Council of Physical Distribution Management) και ταυτόχρονα με την ακαδημαϊκή έρευνα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί υπολογιστές για τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.

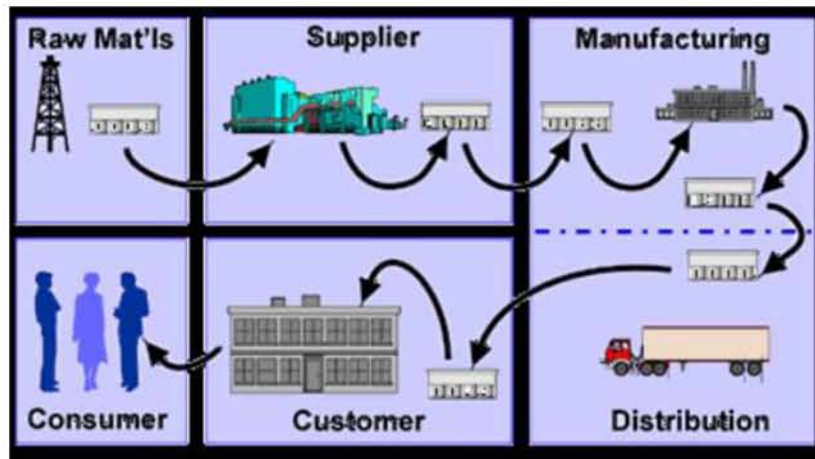
Η πρόοδος της τεχνολογίας επιτάχυνε την εξέλιξη και έβαλε στο ρεπερτόριο των επιχειρήσεων τις επόμενες δεκαετίες την έννοια των Logistics. Το 1985 το National Council of Physical Distribution Management μετονομάστηκε σε Council of Logistics Management. Την ίδια περίοδο εισήχθη από τον Keith Oliver ο όρος Εφοδιαστική Αλυσίδα ( Handfield, Nichols 1999), ωστόσο θα χρειαζόταν να περάσουν τουλάχιστον δέκα χρόνια για να αναγνωριστεί η σημαντικότητα της διαχείρισής της. Από τη δεκαετία του '90 και έπειτα η επιστημονική κοινότητα και οι επιχειρηματικοί κολοσσοί έχουν αφιερώσει αρκετό χρόνο

και χρήματα στην έρευνα του θέματος, αναφερόμενοι πλέον σε αυτό ως Supply Chain Management (SCM).

### 1.1.2 Ορισμοί

Μία πηγή ορίζει την εφοδιαστική αλυσίδα ως ένα δίκτυο ενοτήτων μέσω του οποίου πραγματοποιείται ροή υλικών. Αυτές οι ενότητες μπορεί να περιλαμβάνουν προμηθευτές, μεταφορείς, σημεία κατασκευής, κέντρα διανομής, λιανοπωλητές και πελάτες (Lummus and Alber, 1997). Το Συμβούλιο Εφοδιαστικής Αλυσίδας (1997) χρησιμοποιεί τον ορισμό: «Η Εφοδιαστική Αλυσίδα- ένας όρος αυξανόμενα χρησιμοποιούμενος από επαγγελματίες στα Logistics- περικλείει κάθε προσπάθεια που εμπλέκεται στην παραγωγή και διανομή ενός τελικού προϊόντος, από τον προμηθευτή του προμηθευτή έως τον πελάτη του πελάτη. Τέσσερις βασικές διαδικασίες –σχεδιασμός, εύρεση πηγής, υλοποίηση, διανομή- ορίζουν γενικά τις προσπάθειες που περιλαμβάνουν τη διαχείριση της παροχής και ζήτησης, εύρεσης πρώτων υλών και εξαρτημάτων, κατασκευής και συναρμολόγησης, αποθήκευσης και παρακολούθησης αποθεμάτων, καταχώρησης και διαχείρισης παραγγελιών , διανομής μέσω όλων των καναλιών και παράδοσης στον πελάτη.»

Ο Quinn (1997) περιγράφει την Εφοδιαστική Αλυσίδα ως «όλες τις ενέργειες που σχετίζονται με τη μεταφορά αγαθών από το στάδιο πρώτης ύλης μέχρι το τελικό καταναλωτή. Αυτό περιλαμβάνει εύρεση πηγής και ανεφοδιασμό, προγραμματισμό παραγωγής, πραγματοποίηση παραγγελιών, διαχείριση αποθέματος, μεταφορά, αποθήκευση και εξυπηρέτηση πελατών. Επιπροσθέτως, ενσωματώνει τα συστήματα πληροφόρησης που είναι τόσο σημαντικά για την παρακολούθηση όλων των ενεργειών.»



Εικόνα 1.1 Απεικόνιση μιας Τυπικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Κατά προέκταση, αρκετοί συγγραφείς αποσαφήνισαν τη φιλοσοφία της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Όπως ορίζουν οι Ellram και Cooper (1993), η διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι «μια ολοκληρωμένη φιλοσοφία για τη διαχείριση της συνολικής ροής ενός καναλιού διανομής από τον προμηθευτή στον έσχατο πελάτη». Κατά τους Monczka και Morgan (1997), η ολοκληρωμένη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας αφορά τη διαδρομή από τον εξωτερικό πελάτη και έπειτα τη ρύθμιση όλων των διαδικασιών που χρειάζονται για να παρέχεται στον πελάτη αξία με οριζόντιο τρόπο». Κατά την άποψή τους, οι Εφοδιαστικές Αλυσίδες, και όχι οι εταιρίες, ανταγωνίζονται μεταξύ τους και οι πιο δυνατοί είναι αυτοί «που μπορούν να ασκήσουν διαχείριση και ηγεσία στην πλήρως ολοκληρωμένη Εφοδιαστική Αλυσίδα, η οποία περιέχει εξωτερικούς πελάτες και πρωτεύοντες προμηθευτές, τους προμηθευτές αυτών και τους προμηθευτές των προμηθευτών τους».

Η σημασία της Διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, συνεπώς επικεντρώνεται στην ολοκλήρωση και καθοδήγηση όλων των δραστηριοτήτων σε μία αδιάκοπη και αρραγή διαδικασία. Συνδέει όλους τους συμπαίκτες αλλά και τμήματα ενός οργανισμού με εξωτερικούς συνεργάτες συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών, μεταφορέων, «τρίτων» εταιριών και παρόχων συστημάτων πληροφόρησης.



### 1.1.3 Δραστηριότητες και Χαρακτηριστικά Λειτουργίας Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Το γεγονός ότι συναντάμε πληθώρα ορισμών για την Εφοδιαστική Αλυσίδα οφείλεται κυρίως στο ότι η κάθε περίπτωση αλυσίδας μπορεί να έχει άλλα χαρακτηριστικά και δικές της ιδιαιτερότητες. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες γενικές αρχές που θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι κοινός τόπος και διέπουν κάθε αλυσίδα εφοδιασμού.

Οι δραστηριότητες (Mentzer et al. 2001) που μπορούμε να απαριθμήσουμε σε ένα γενικό πλαίσιο είναι:

- Ολοκληρωμένη Συμπεριφορά
- Αμοιβαία Ανταλλαγή Πληροφοριών
- Αμοιβαία Διαχείριση Κινδύνων και Ανταμοιβών
- Συνεργασία
- Κοινοί Στόχοι με Σκοπό την Εξυπηρέτηση των Πελατών
- Ολοκλήρωση των Διαδικασιών
- Εταίροι με Στόχο να Δημιουργήσουν και να Διατηρήσουν Μακροπρόθεσμες Σχέσεις.

Ο Keah Choon Tan (2001) κάνει μια απόπειρα συγκεντρωμένης καταγραφής των λειτουργιών της αλυσίδας σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία και αναφέρει τις εξής:

- Ολοκληρωμένο Σχεδιασμό Προσφοράς και Ζήτησης
- Εκπλήρωση Παραγγελιών και Παροχή Υπηρεσιών στον Πελάτη
- Προμήθειες
- Προβλέψεις
- Διοίκηση Αποθεμάτων
- Logistics
- Δίκτυο Διανομής
- Μεταφορά και Αποστολή Αποθεμάτων.

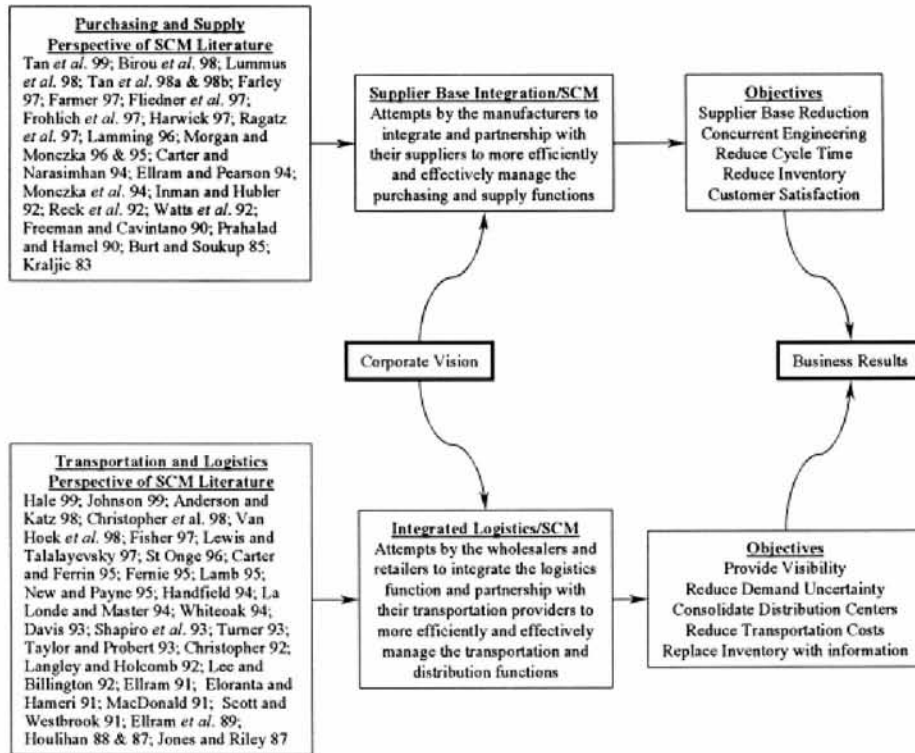


Fig. 3. A framework of supply chain management literature.

### Εικόνα 1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση SCM (Keah Choon Tan, 2001)

Οι λειτουργίες μεταφορών και Logistics του χονδρικού εμπορίου και της λιανικής αγοράς επικεντρώνονται στο κομμάτι της αλυσίδας εφοδιασμού που αφορά πιο συχνά την τοποθέτηση και τα ζητήματα αποθεματοποίησης από ότι τυχόν μετατροπές στις διαδικασίες μιας επιχείρησης. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι πλέον η επικέντρωση στα Logistics ενσωματώνονται στις επιχειρηματικές αποφάσεις που αφορούν τη στρατηγική (Hale, 1999; Houlihan, 1988). Το πάλαι ποτέ φτωχό σκεπτικό των Logistics γίνεται ένα αντιληπτό πεδίο σκέψης που εξαπλώνεται σε όλη την αλυσίδα αξίας από τους προμηθευτές έως τους πελάτες.

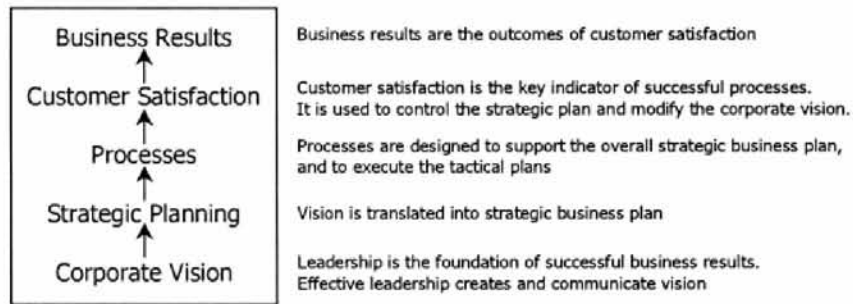


Fig. 2. Strategic vision of supply chain management.

Εικόνα 1.3 Στρατηγική SCM (Keah Choon Tan, 2001)

Εφ' όσον αναγνωρίσουμε την στρατηγική σημασία της διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας μπορούμε να συνοψίσουμε τους στόχους που έχει η λειτουργία της:

- Προσανατολίζει Στρατηγικά τις Προσπάθειες Συνεργασίας για τον Συγχρονισμό όλων των Επιπέδων της Αλυσίδας
- Προβάλλει την Αλυσίδα ως Σύνολο με τον Τρόπο που Διαχειρίζεται τη Ροή Αγαθών από τον Πρώτο Κατασκευαστή έως τον Τελευταίο Καταναλωτή
- Εστιάζει στον Πελάτη για τη Δημιουργία Πηγών Ικανοποίησής του
- Μειώνει το Κόστος Αποθεμάτων μέσω Μείωσης του Κύκλου Παραγωγής και Παράδοσης αλλά και Γενικότερου Συντονισμού Παραγωγής και Ζήτησης
- Ενθαρρύνει την Ανταλλαγή Πληροφορίας με σκοπό τη Μείωση Συνολικού Κόστους.

## 1.2 Η Μέθοδος Αποθεματικής Πολιτικής Order-Up-To (OUT) (R,S)

Σε κάθε επίπεδο μιας Εφοδιαστικής Αλυσίδας, το κάθε μέλος προμηθεύεται υλικά από τον συνεργάτη που βρίσκεται στον προηγούμενο κρίκο και κατόπιν ένα μέρος το αποθηκεύει ούτως ώστε να είναι σε θέση να διατηρεί τις δραστηριότητές του σε συνεχή λειτουργία. Η προσέγγιση που επιλέγεται για τον τρόπο κάλυψης της ζήτησης που θα προκύψει, καθώς και οι ιδιαιτερότητες του πεδίου στο οποίο δραστηριοποιείται η κάθε εταιρία καθορίζουν την στρατηγική που θα υλοποιηθεί στη διαχείριση των αποθεμάτων.

Μερικές από τις βασικές πολιτικές αναπλήρωσης είναι αυτές της συνεχούς επιθεώρησης (s,S και s,Q) και της περιοδικής επιθεώρησης (R,D και r,q). Στην παρούσα εργασία θα επιλέξουμε την πολιτική αναπλήρωσης αποθεμάτων περιοδικής επιθεώρησης Order-Up-To Level (R,S).

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να διατυπωθούν οι ορισμοί που αφορούν τα αποθέματα (Cachon, Terwiesch 2011) :

- **Φυσικό Απόθεμα (On-hand inventory):** ο αριθμός των μονάδων που υπάρχουν στην αποθήκη και είναι έτοιμες να καλύψουν άμεσα τη ζήτηση.
- **Παραγγελίες σε Εκκρεμότητα (Backorders):** η ζήτηση που δεν έχει ικανοποιηθεί, χωρίς να χάνονται πωλήσεις
- **Επίπεδο Αποθέματος (Net Stock):** On-hand inventory – Backorders
- **Απόθεμα σε Παραγγελία (On-order inventory / pipeline inventory):** Ο αριθμός μονάδων που έχουν παραγγελθεί αλλά δεν έχουν παραληφθεί.
- **Θέση/Στάθμη Αποθέματος (Inventory Level ή Inventory Position):** : On-order inventory+ Inventory level.
- **Order up-to level S ( $S_t$ ):** Η μέγιστη Στάθμη Αποθέματος που επιθυμούμε, αποκαλείται και **Base Stock Level**, στην πραγματικότητα είναι ο στόχος μας για τη στάθμη αποθέματος κάθε περίοδο, πριν αρχίσουμε να αντιμετωπίζουμε τη ζήτηση κάθε περιόδου.

Στη συγκεκριμένη πολιτική αποθεματοποίησης, ο χρόνος διαιρείται σε ισομεγέθεις χρονικές περιόδους και πραγματοποιείται έλεγχος του αποθέματος R κάθε εβδομάδα ή



κάθε μήνα κ.ο.κ. Κατόπιν, πραγματοποιείται παραγγελία ποσότητας  $Y_t$  κάθε φορά που παρατηρείται πως η στάθμη του αποθέματος βρίσκεται κάτω από το όριο  $S_t$ .

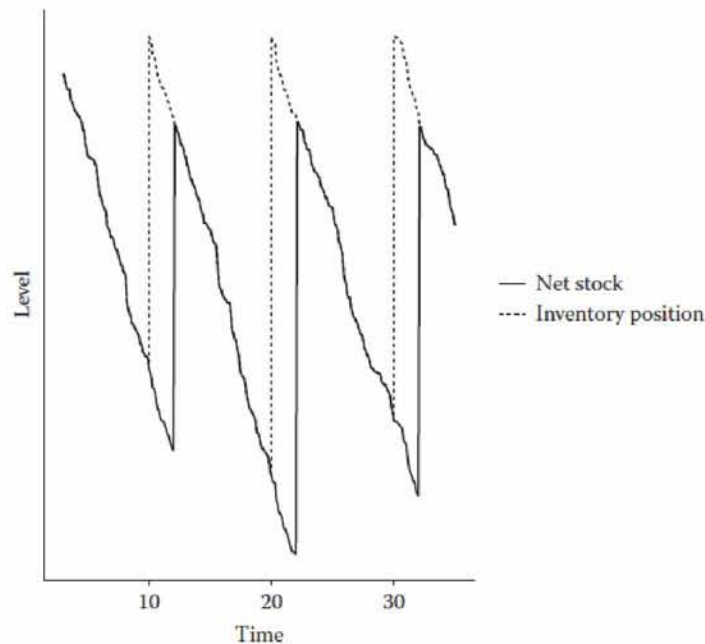


Figure 6.2 The  $(R, S)$  system. Orders placed every 10 periods. Lead time of 2 periods.

Εικόνα 1.4 Απεικόνιση Επιπέδου και Στάθμης Αποθέματος για OOT (Silver 2017)

Το  $S_t$  αποτελεί το ανώτατο όριο αποθέματος και ο σκοπός είναι κάθε φορά που πραγματοποιείται παραγγελία να φτάνει το ύψος αποθέματος στο επιθυμητό επίπεδο .

Η ποσότητα της παραγγελίας δίνεται στο τέλος της περιόδου  $t$  από τη μαθηματική σχέση :

$$Y_t = S_t - \text{Επίπεδο Αποθέματος}$$

Το επιθυμητό επίπεδο OOT καθορίζεται από τη σχέση:

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

Όπου το  $k$  αντιπροσωπεύει έναν παράγοντα ασφαλείας και  $\widehat{D}_t^L$  είναι η εκτίμηση της μέσης ζήτησης για την περίοδο  $L$ , ενώ  $\widehat{\sigma}_L$  είναι η τυπική απόκλιση της ζήτησης για  $L$  περιόδους (Dejoncheere et al. 2003). Η ποσότητα της παραγγελίας δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

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



Εξαιτίας της φύσης της Order-Up-To πολιτικής, αυτή προτιμάται για το συντονισμό ανανεώσεων αντικειμένων που συσχετίζονται μεταξύ τους. Αρκετές επιχειρήσεις παγκοσμίως, ειδικά στον τομέα των υπολογιστών και προχωρημένης πληροφορικής, την έχουν υιοθετήσει. Παραδείγματος χάρη, για υπερπόντιες αποστολές πολλές φορές χρειάζεται να συμπληρωθεί το φορτίο (κοντέινερ) ούτως ώστε να διατηρούνται τα έξοδα αποστολής υπό έλεγχο. Ο συντονισμός μιας περιοδικής επιθεώρησης παρέχει σημαντική εξοικονόμηση και το σύστημα (R,S) δίνει τη δυνατότητα να ρυθμιστεί το επίπεδο S, μία επιθυμητή ρύθμιση όταν η ζήτηση μεταβάλλεται με το χρόνο. Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι οι ποσότητες ανανέωσης ποικίλουν και τα έξοδα χρηματοδότησης είναι υψηλότερα σε σχέση με την συνεχή επιθεώρηση (Silver et al. 2017).

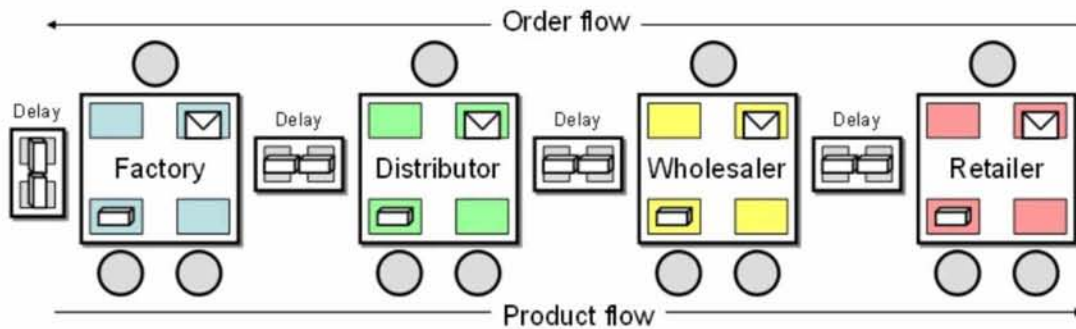
Η OUT μέθοδος μας εξασφαλίζει ότι η διακύμανση των αποθεμάτων ισούται με τη διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης στο χρόνο παράδοσης L (Hosoda et al. 2006).

### 1.3 Το Φαινόμενο Bullwhip (Bullwhip Effect)

Στο ξεκίνημα της δεκαετίας του '90 τα διοικητικά στελέχη της εταιρίας Procter & Gamble εξέτασαν το μοτίβο που ακολουθούν οι παραγγελίες για ένα από τα πιο ευπώλητα προϊόντα τους, τα Pampers. Ενώ οι πωλήσεις στα καταστήματα λιανικής είχαν ελεγχόμενη διακύμανση, όταν εξέτασαν τις παραγγελίες των προμηθευτών παρατήρησαν υπέρμετρες αυξομειώσεις. Τη στιγμή που η κατανάλωση ακολουθούσε σταθερό ρυθμό, η διακύμανση στις παραγγελίες όσο ανέβαιναν στα επίπεδα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είχε εντυπωσιακή αύξηση. Αυτό το φαινόμενο, η P&G το ονόμασε Bullwhip Effect (Lee et al. 1997).

Σε αντίστοιχα συμπεράσματα οδηγήθηκαν και στελέχη της Hewlett-Packard όταν ερεύνησαν τις πωλήσεις ενός εκτυπωτή. Συνειδητοποίησαν πως όσο καιρό βάσιζαν την παραγωγή τους στην εικόνα που είχε ο έμπορος λιανικής για τις πωλήσεις, και κατά συνέπεια στις προβλέψεις που έκανε προκειμένου να προχωρήσει στις παραγγελίες, η πληροφόρηση αλλοιωνόταν στη διαδρομή προς τα πάνω επίπεδα της αλυσίδας και οδηγούσε σε ολοένα μεγαλύτερες ταλαντεύσεις στη ζήτηση και τις παραγγελίες που πραγματοποιούνταν εντός της αλυσίδας (Lee et al. 1997).

Ωστόσο δεν ήταν οι πρώτοι που εντόπισαν αυτές τις στρεβλώσεις. Ήδη από τη δεκαετία του '60 μία ομάδα καθηγητών στο MIT δημιούργησε το Παιχνίδι Διανομής Μπύρας (Beer Distribution Game). Πρόκειται για μία προσομοίωση μίας αλυσίδας μερικών επιπέδων (τεσσάρων το λιγότερο) όπου οι παίκτες καλούνται να τοποθετούν παραγγελίες για να καλύπτουν τη ζήτηση σε συνθήκες μηδενικής συνεργασίας και ανταλλαγής πληροφόρησης με τα υπόλοιπα επίπεδα. Αν και ο στόχος του παιχνιδιού, αρχικά, ήταν να αναδείξει το πως οι δομές στα δυναμικά συστήματα παράγουν συμπεριφορές, στην πορεία καθιερώθηκε ως ένα πολύ καλό εργαλείο αποτύπωσης του φαινομένου Bullwhip αλλά και της σημασίας της ανταλλαγής πληροφόρησης και συνεργασίας στη διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας.



Εικόνα 1.5 Τα Επίπεδα στην Αλυσίδα του Beer Distribution Game,

Πηγή: [www.beergame.org](http://www.beergame.org)

Οι επιπτώσεις, χαρακτηριστικά γνωρίσματα του φαινομένου, στην αλυσίδα αλλά και στις επιχειρήσεις ως μονάδες πολύ συχνά είναι (Lee et al. 1997) :

- Υπέρμετρη Αποθεματοποίηση ή Έλλειψη Στοκ
- Αδυναμία Πρόβλεψης της Ζήτησης
- Ανεπαρκείς ή Υπερβολικές Λειτουργίες
- Χαμηλής Ποιότητας Εξυπηρέτηση του Πελάτη
- Ασαφής Σχεδιασμός Παραγωγής
- Υψηλό Κόστος Διορθωτικών Κινήσεων (π.χ. Επιταχυμένες Αποστολές ή Καθυστερήσεις στην Παράδοση)

Οι αιτίες που προκαλούν το φαινόμενο υπήρξαν αντικείμενο ευρείας μελέτης και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι κυριότερες είναι οι ακόλουθες:

1. Αναπροσαρμογές στην Πρόβλεψη της Ζήτησης: Όταν οι προβλέψεις είναι ανακριβείς, μία μεταβολή στην παραγγελία οδηγεί σε ολοένα αυξανόμενες μεταβολές στην πρόβλεψη της ζήτησης το επόμενο μέλος της αλυσίδας εφοδιασμού (Lee et al. 1997) .
2. Ομαδοποίηση των Παραγγελιών ή Order Batching: Συχνά, οι παραγγελίες πραγματοποιούνται πιο αραιά από όσο υποδεικνύει η τρέχουσα ζήτηση, για παράδειγμα εβδομαδιαίες παραγγελίες για κάλυψη καθημερινής ζήτησης.
3. Αυξομειώσεις των Τιμών (Price Fluctuation): Εξ' αιτίας προσφορών ή εκπτώσεων παρατηρείται αύξηση των πωλήσεων δημιουργώντας κατά κάποιο τρόπο πλασματική ζήτηση. Όταν οι τιμές επανέρχονται σε κανονικά επίπεδα εντείνεται η

μεταβολή στη ζήτηση με αποτέλεσμα η προβλέψεις να γίνονται πιο δυσχερείς. (Disney and Towill 2003).

4. Πλεονασμός ή Έλλειψη Αποθεμάτων
5. Χρόνος Παράδοσης (Lead Time): Στις περιπτώσεις που αυτό το μέγεθος είναι μεγάλο, το επίπεδο αποθέματος θα πρέπει να είναι ικανό να στηρίξει τη ζήτηση που θα προκύψει έως ότου γίνει η επόμενη παραλαβή. Αυτό όμως, εκτός από την επιβάρυνση στο κόστος αποθήκευσης, προκαλεί μεγαλύτερη μεταβλητότητα στις παραγγελίες (Chen et al. 1999).
6. Παρερμίνευση Πληροφόρησης: Όταν δηλαδή ένας κρίκος αργεί να αντιληφθεί τη μεταβολή στη ζήτηση κάνοντας άστοχες παραγγελίες ή όταν υπεραντιδρά σε μικρές μεταβολές.
7. Τοπική Βελτίωση Χωρίς Σφαιρική Όραση: Η τάση των επιχειρήσεων για μεγιστοποίηση του κέρδους τις κάνει να προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο Bullwhip ως μονάδες και όχι σαν μέλη μιας αλυσίδας συλλογικά Αυτό είναι ικανό να δώσει αντίθετα αποτελέσματα και να εντείνει το φαινόμενο καθώς δημιουργεί ασυμμετρίες στη συμπεριφορά των εταιριών και δε βοηθάει το συντονισμό των κρίκων.
8. Ελλιπής Επικοινωνία και Πληροφόρηση μεταξύ Συνεργατών.

Η βαθιά κατανόηση των αιτιών παρουσίασης του φαινομένου είναι το πρώτο βήμα για την εύρεση τρόπων να περιοριστεί ή να εξαλειφθεί. Στο επόμενο κεφάλαιο παρατίθενται επιστημονικές έρευνες που ασχολήθηκαν με το φαινόμενο και προσπάθησαν να εφαρμόσουν την πολιτική ΟΥΤ, χρησιμοποιώντας αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα ή άλλους τρόπους πρόβλεψης της ζήτησης.

## 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Από τα μέσα της δεκαετίας του '90 μέχρι σήμερα έχει μελετηθεί σε μεγάλη έκταση η διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Πολλοί ερευνητές άγγιξαν τα θέματα που θίγει και η παρούσα εργασία, ο καθένας μέσα από το δικό του πρίσμα. Το φαινόμενο Bullwhip έδωσε ένα πεδίο πάνω στο οποίο μπορούν να γίνουν βελτιώσεις και σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται τι παρουσιάζει η μέχρι σήμερα βιβλιογραφία.

### 2.1 Αναγνωρίζοντας το Φαινόμενο Bullwhip

Το φαινόμενο του Bullwhip είναι η εμφάνιση αυξανόμενης διακύμανσης στη ζήτηση κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας από τα τελικά σημεία (λιανοπωλητής) προς τα αρχικά (κατασκευαστής). Σύμφωνα με τους G.P. Cachon et al. (2007) η ετερογένεια που παρατηρείται στο βαθμό που μια επιχείρηση βιώνει το φαινόμενο συνδέεται με τη φύση και τις ιδιαιτερότητές της όπως για παράδειγμα την εποχικότητα της ζήτησης. Κατά τη γνώμη του οι εταιρίες με εποχικότητα είναι σε θέση να εξομαλύνουν περισσότερο τη διακύμανση τη ζήτηση σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Οι Disney και Towill (2003) παρουσιάζουν ένα γενικό μοντέλο ανανέωσης αποθεμάτων από όπου εξάγεται μία μαθηματική αποτύπωση του φαινομένου, η οποία δείχνει ότι οι επιπτώσεις μπορούν να περιοριστούν αν επιλεγθεί το κλάσμα του σφάλματος στο σημείο αποθέματος και στο σημείο παροχής, αντί να υπολογισθούν όλα τα σφάλματα κάθε φορά που λαμβάνεται απόφαση για παραγγελία. Επιπλέον, εισάγεται τύπος για τη διακύμανση της στάθμης αποθέματος που σε συνδυασμό με τον τύπο που αναφέρθηκε προηγουμένως αναδεικνύουν κατάλληλα συστήματα ελέγχου παραγγελίας για τη μείωση του φαινομένου. Σύμφωνα με τους συγγραφείς τα αποτελέσματα είναι στην κατεύθυνση της εξισορρόπησης της εφοδιαστικής αλυσίδας και δίνει μια γενική λύση με χρήση μαθηματικών τύπων.

Μία αύξηση των πωλήσεων της τάξης του 10% στον τελικό αγοραστή είναι ικανή να επιφέρει έως και 40% αύξηση στην παραγωγή (McCullen, Towill 2002).

Η Philips είναι ακόμα μια εταιρία η οποία αντιλήφθηκε τις επιπτώσεις του φαινομένου. Το 1999 η Philips Semiconductors ξεκίνησε έναν σχεδιασμό με σκοπό να μειώσει την έκταση του Bullwhip το οποίο προέβλεπε αναβάθμιση της εξυπηρέτησης πελατών με βελτίωση της λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας κα προγραμματισμό που υποστηρίζει εβδομαδιαία συνεργασία με έναν από τους πελάτες της , την Philips Optical Storage. Το σχέδιο απέδωσε σημαντικά οφέλη από μειώσεις κόστους, με μια συντηρητική εκτίμηση να τα αποτιμά σε 5 εκατομμύρια δολάρια από τα 300 εκατομμύρια του κύκλου εργασιών. Ταυτόχρονα, η Philips Optical Storage απέκτησε έναν πιο ευέλικτο και αξιόπιστο προμηθευτή που μπορεί να εγγυηθεί ουσιαστικά τις ποσότητες και το χρόνο παράδοσης (Fred Janssen et al. 2005).

Χρησιμοποιώντας παραμέτρους από συστήματα δεδομένων σουπερμάρκετ, οι Hamister και Suresh (2008) αμφισβητούν την υπόθεση ότι η μεταβλητότητα των τιμών είναι παράγοντας που ευνοεί το Bullwhip και δείχνουν πως η συνεχώς ομαλή τιμολόγηση αντί της δυναμικής μπορεί να μειώσει την κερδοφορία και να εντείνει την αστάθεια της ζήτησης. Παράλληλα, επιβεβαιώνεται η υπόθεση ότι η πεσμένη ζήτηση μπορεί να οδηγήσει σε εκπτωτική τιμολόγηση.

Λαμβάνοντας υπ' όψη το σφάλμα στην πρόβλεψη της ζήτησης και την εποχικότητα, ο Metters (1997) ταυτοποιεί το μέγεθος του προβλήματος που προκαλεί το φαινόμενο στη δυνατότητα κερδοφορίας ενός προϊόντος. Τα αποτελέσματα της έρευνάς του δείχνουν τη σημασία του περιβάλλοντος της επιχείρησης καταλήγοντας στον ισχυρισμό ότι η εξάλειψη του φαινομένου αυξάνει το κέρδος 10-30%.

Υπό το ίδιο πρίσμα, οι Luong και Phien (2007) επιχειρούν μέτρηση του φαινομένου όταν η πρόβλεψη της ζήτησης ακολουθεί αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα (AR) και εξετάζουν τον τρόπο που το επηρεάζει ο συντελεστής της παλινδρόμησης και ο χρόνος παράδοσης. Ωστόσο, επισημαίνουν πως το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας έχει γίνει για τα υποδείγματα πρώτης τάξης, ενώ σε μερικές πρακτικές περιπτώσεις είναι πιο αντιπροσωπευτικά τα υποδείγματα μεγαλύτερης τάξης. Για το λόγο αυτό προχώρησαν την έρευνα τους και στα AR(2) και AR(p).



## 2.2 Η Αξία της Πληροφόρησης

Σε πειράματα που βασίστηκαν στο γνωστό παιχνίδι διανομής μύρας που δημιουργήθηκε από το MIT τη δεκαετία του '60, φάνηκε ότι η ροή πληροφορίας για τη ζήτηση που έχει κατεύθυνση από τον τελικό καταναλωτή και προς τα πίσω, κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας είχε ευεργετικά αποτελέσματα για τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στα αρχικά στάδια παραγωγής και μείωσε σημαντικά τις ταλαντεύσεις στις παραγγελίες (Croson, Donohue 2005).

Μία ακόμα προσέγγιση που καταγράφεται αφορά τη συγχρονισμένη εφοδιαστική αλυσίδα (SSC). Πρώτοι οι Anderson και Lee (1999) ανέπτυξαν τη θεωρία μιας κεντρικής εποπτείας των αποθεμάτων των κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας συνεργαζόμενων μελών που αντικαθιστά τις επί μέρους διαδοχικές αποφάσεις για παραγγελία από τον καθένα ξεχωριστά. Τα τρία σημεία που επισήμαναν είναι:

1. Οι επιχειρήσεις θα συνεργαστούν με τους «συνεργάτες» τους στην αλυσίδα και θα συγχρονίζουν τις ενέργειές τους.
2. Η τεχνολογία και το παγκόσμιο δίκτυο θα είναι ρυθμιστές της καινοτομίας στην στρατηγική της εφοδιαστικής αλυσίδας.
3. Οι συμβαλλόμενοι οργανισμοί θα πρέπει να περάσουν από στάδιο αναδιάρθρωσης και επανεκπαίδευσης για να μπορέσουν να επωφεληθούν από τον συγχρονισμό.

Παρ' όλα αυτά, η ιδέα του συγχρονισμού δεν έχει ακόμα καρποφορήσει όσο αναμενόταν είτε λόγω ελλιπούς κατανόησης από όσους κλήθηκαν να την υλοποιήσουν, είτε επειδή πολύ λίγα άρθρα μέχρι στιγμής έχουν περιγράψει με ποιο τρόπο καθίσταται δυνατό να γίνει. Οι Ciancimino et al. (2012) παρουσίασαν ένα υπόδειγμα πάνω σε αυτή τη λογική για τεστάρουν το πως ανταποκρίνεται ο συγχρονισμός με Order-Up-To πολιτική και διαπίστωσαν πως μια SSC επιλύει το φαινόμενο Bullwhip όταν παρουσιάζονται βίαιες αλλαγές στη ζήτηση και προσφέρει σταθερότητα στο ύψος των αποθεμάτων κάτω από διαφορετικές παραμέτρους. Επιπροσθέτως, επισήμαναν πως οι μεγάλοι χρόνοι στην παραγωγή και τη διανομή επηρεάζουν σημαντικά το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών.

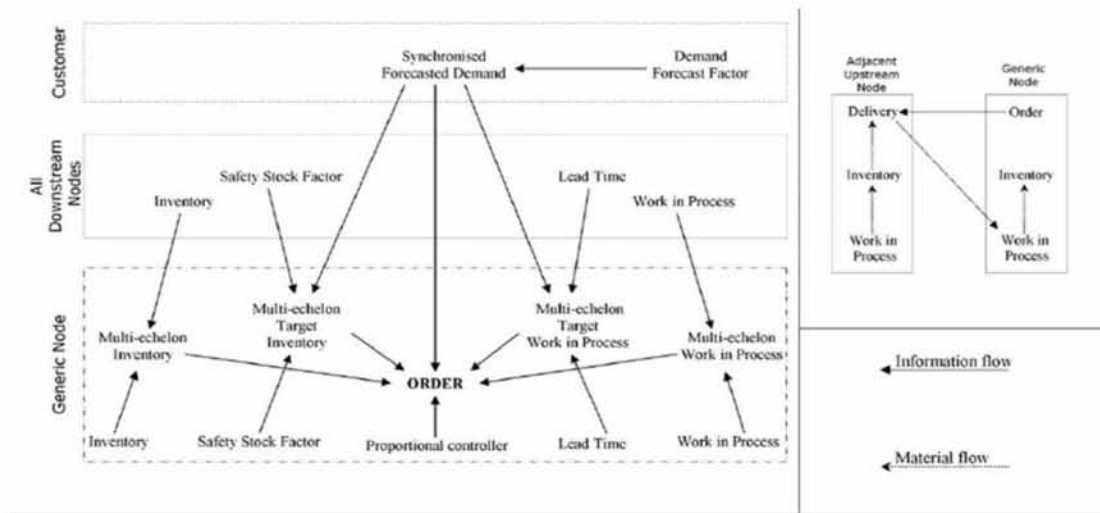


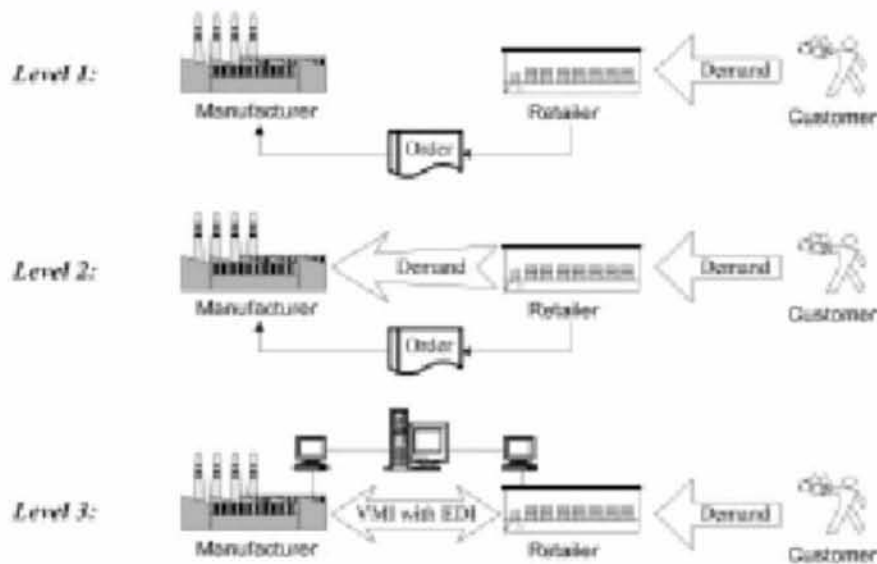
Fig. 1. SSC orders and material flow regulation.



Fig. 2. Serial supply chain material flow.

Εικόνα 2.1 Η Συγχρονισμένη Εφοδιαστική Αλυσίδα (Ciancimino et al. 2012)

**Figure 1**  
Three information sharing levels





**Table 1**  
Results

Information sharing levels	Average order-up-to level		Average inventory level		Expected inventory cost	
	R	M	R	M	R	M
Level 1	-	-	-	-	-	-
Level 2	-	↓	-	↓	-	↓
Level 3	↓	↓↓	↓	↓↓	↓	↓↓

**Notes:** R = retailer; M = manufacturer; - = the value equals that of Level 1; ↓ = the value is less than "-"; ↓↓ = the value is less than "↓↓"

Εικόνες 2.2 και 2.3 Τα Τρία Επίπεδα Ανταλλαγής Πληροφόρησης (Ciancimino et al. 2012)

Οι Chen, Drezner, Ryan και Simchi-Levi (2000) ποσοτικοποίησαν το φαινόμενο Bullwhip για εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων, ένα λιανοπωλητή και ένα κατασκευαστή, εξετάζοντας δύο από τους παράγοντες που προκαλούν το φαινόμενο: την πρόβλεψη της ζήτησης και το τους χρόνους παράδοσης της παραγγελίας. Επεκτείνοντας τα αποτελέσματα σε περισσότερα επίπεδα αλυσίδας υποδεικνύουν πως το φαινόμενο μπορεί να μειωθεί - αλλά όχι να εξαλειφθεί- με ανταλλαγή της πληροφόρησης για τη ζήτηση σε κάθε επίπεδο.

Σύμφωνα με τους Croson και Donohue (2005) ακόμα κι όταν παράγοντες όπως η διακύμανση των τιμών και η πρόβλεψη της ζήτησης απουσιάζουν, το φαινόμενο του Bullwhip συνεχίζει να παρατηρείται. Μία από τις ερμηνείες που μπορούν να δοθούν είναι πως οι μάνατζερ πολύ συχνά δε δίνουν ιδιαίτερο βάρος στη λειτουργία της εφοδιαστικής γραμμής όταν καλούνται να αποφασίσουν για κάποια παραγγελία. Η κοινή χρήση της πληροφόρησης για τα αποθέματα, ωστόσο λειτουργεί ανακουφιστικά στο φαινόμενο και ευνοεί κυρίως τα μέλη στην αρχή της αλυσίδας καθώς προετοιμάζονται καλύτερα για τις αυξομειώσεις στη ζήτηση των επόμενων μελών της αλυσίδας.

Από την άλλη υπάρχουν περιπτώσεις όπου ερευνητές ισχυρίζονται πως η αξία της πληροφόρησης δεν είναι πάντα η ίδια. Συγκεκριμένα, οι Babai, Syntetos et al. (2016) έδειξαν πως υπάρχει μέγιστη τιμή στις παραμέτρους του αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος για τις οποίες το φαινόμενο Bullwhip μπορεί να μειώνεται όσο ανεβαίνουμε επίπεδα, διότι το ποσοστό μείωσης αποθεμάτων εξαιτίας της πληροφόρησης κάποια στιγμή μηδενίζεται. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως η ανταλλαγή πληροφόρησης δεν είναι ίδιας σημαντικότητας όταν έχουμε να κάνουμε με μονάδες αποθήκευσης (SKUs) με υψηλά θετική αυτοσυσχετιζόμενη ζήτηση.

## 2.3 Η πολιτική Order-Up-To και το Φαινόμενο Bullwhip

Από τους πρώτους που διερεύνησαν την χρήση της πολιτικής Order-Up-To ήταν ο S. Axsäter (1993) . Στην έρευνα που έκανε υπέθεσε μία αποθήκη και N λιανοπωλητές και στην περίπτωση ελλείψεων στην αποθήκη οι μεμονωμένες παραγγελίες συμπληρώνονται με την ίδια σειρά που γίνεται και στο λιανοπωλητή σύμφωνα με ένα σύστημα εικονικής ταξινόμησης. Έτσι, κατόρθωσε να δώσει μια απλή επαναλαμβανόμενη διαδικασία για ακριβέστερη αξιολόγηση του κόστους έλλειψης και αποθεματοποίησης.

Οι Disney και Farasyn et al. (2006) μελέτησαν μία γενική μορφή Order-Up-To ποσοτικοποιώντας τη διακύμανση στην ανανέωση του αποθέματος με χρήση στοχαστικών μοντέλων ζήτησης (AR, MA, ARMA). Η έρευνα που κάνουν δείχνει πως με αυτή την πολιτική διαχείρισης αποθέματος σε συνθήκες πληρότητας και ομαλές ανανεώσεις το κόστος δεν ανεβαίνει σημαντικά και σε μερικές περιπτώσεις υποδείγματος ARMA απλώς αυξάνεται ελαφρώς το στοκ ασφαλείας ενώ στις άλλες περιπτώσεις το ύψος αποθέματος μειώνεται.

Στην ίδια κατεύθυνση με τον Zhang, οι Sun και Ren (2005) μελετώντας μια εφοδιαστική αλυσίδα δύο επιπέδων, ενός κατασκευαστή και ενός εμπόρου λιανικής, προϋποθέτοντας την Order-Up-To πολιτική στο απόθεμα προχωρούν σε μια συγκριτική ανάλυση τριών μεθόδων πρόβλεψης της ζήτησης ως προς τα αποτελέσματα που επιφέρουν σε σχέση με το φαινόμενο Bullwhip.

Τα διαγράμματα που προκύπτουν είναι ενδεικτικά για το ποια μέθοδος πρόβλεψης είναι η προτιμότερη σε διάφορες περιπτώσεις και δείχνουν πως πρέπει να κινηθεί ο μάνατζερ για να βελτιστοποιήσει το όφελος.

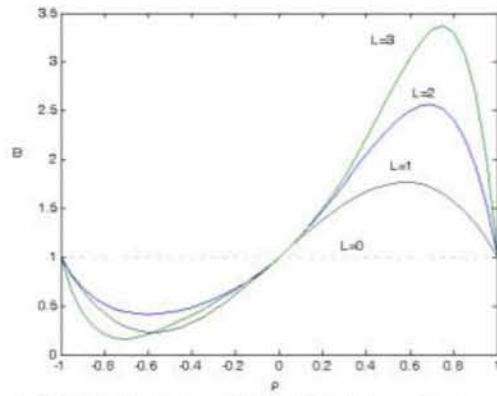


Fig. 1. Relationship between B(MMSE) and demand autocorrelation

Εικόνα 2.4 Σχέση MMSE και Αυτοσυσχετίσης (Sun, Ren 2005)

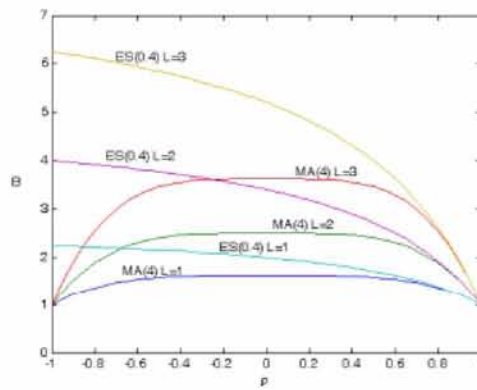


Fig. 2. Comparison of B(MA) and B(ES) with equal average data age when  $p=4$

Εικόνα 2.5 Σύγκριση MA με ES (Sun, Ren 2005)

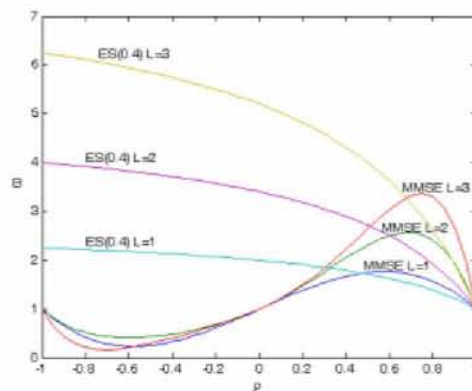


Fig. 3. Comparison of B(MMSE) and B(ES)

Εικόνα 2.6 Σύγκριση MMSE με ES (Sun, Ren 2005)

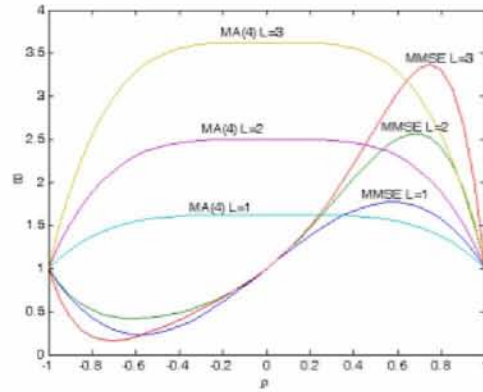


Fig. 4. Comparison of B(MMSE) and B(MA) for  $p=4$

Εικόνα 2.7 Σύγκριση MMSE με MA για  $p=4$  (Sun, Ren 2005)

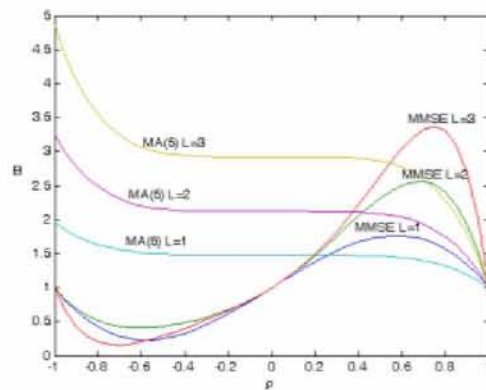


Fig. 5. Comparison of B(MMSE) and B(MA) for  $p=5$

Εικόνα 2.8 Σύγκριση MMSE με MA για  $p=5$  (Sun, Ren 2005)

Αξίζει να σημειωθεί πως από έρευνα που διενεργήθηκε σε 1200 και πλέον επιχειρήσεις από το 2002 έως το 2009 στην Κίνα, πάνω από τα δύο τρίτα βίωναν το φαινόμενο Bullwhip ωστόσο η έντασή του εμφάνισε μείωση κατά την περίοδο της έρευνας (J. Shan, S. Yang 2013).

Στην αξία της πληροφόρησης στέκονται και οι J. Dejonckheere, S.M. Disney et al. (2004) Σε μελέτη που δημοσίευσαν το 2004 συνέκριναν την εφοδιαστική αλυσίδα στην κλασική μορφή της, δηλαδή όταν μόνο ο τελευταίος κρίκος έχει σαφή εικόνα για την τελική ζήτηση και τα υπόλοιπα μέλη βασίζονται στις προβλέψεις τους εκεί, με μία αλυσίδα όπου υπάρχει εμπλουτισμός δεδομένων και η πληροφόρηση διαμοιράζεται. Όσο αφορά την πολιτική Order-Up-To το εύρημα είναι ότι η κοινή χρήση της πληροφορίας βοηθά στη μείωση του φαινομένου Bullwhip, ειδικά στα πρώτα τμήματα τα αλυσίδας, ωστόσο δεν το εξαλείφει και όσο ανεβαίνουμε στα επίπεδα (upstream) η παρουσία του είναι πιο έντονη.

Οι Chandra και Grabis (2005) σε μια απόπειρα να ποσοτικοποιήσουν το φαινόμενο στην περίπτωση συσχετιζόμενης ζήτησης με αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα για πρόβλεψη, διάλεξαν την προσέγγιση MRP (Materials Requirements Planning) για τη διαχείριση των αποθεμάτων. Η προσομοίωση φανερώνει πως τα αποτελέσματα βάσει αυτής της προσέγγισης είναι εφάμιλλα με αυτά της πολιτικής Order-Up-To, ενώ τα αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα ευνοούν την αντιμετώπιση του Bullwhip σε σχέση με άλλες μεθόδους πρόβλεψης βελτιστοποιώντας τα αποθέματα.

Μία παράμετρος που εισάγεται από τους Bischak, Robb, et al. (2014) όταν πάμε να ερευνήσουμε μία περιοδική Order-Up-To πολιτική (R,S) είναι η διασταύρωση παραγγελιών. Σύμφωνα με αυτούς οι περισσότερες μελέτες υποθέτουν πως δεν περιπλέκεται η σειρά των παραγγελιών με αποτέλεσμα να υπερεκτιμούν την τυπική απόκλιση της κατανομής του πραγματοποιούμενου χρόνου παράδοσης Αυτό με τη σειρά του προκαλεί λανθασμένες αποφάσεις αποθεματοποίησης και αύξηση του κόστους.

Αυτό που δοκίμασαν ήταν να πειραματιστούν με νέες, χαμηλότερες εκτιμήσεις για την τυπική απόκλιση του χρόνου παράδοσης. Τα αποτελέσματα του υποδείγματος συγκλίνουν αρκετά με το πραγματικό αναμενόμενο κόστος και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των R,S που παρέχουν κόστη όσο πιο κοντά στο ελάχιστο.

Η μεθοδολογία που ακολούθησαν βασίζεται σε μηχανική συστημάτων ελέγχου με τρόπο που αναδεικνύεται η δυναμική φύση των κανόνων ανανέωσης. Αυτό που προτείνουν είναι ένα μετρητή βασισμένο στη μηχανική για να προσδιοριστεί η αύξηση (Bullwhip) ή η μείωση της διακύμανσης.

Κάτι που δεν έχει ληφθεί υπ' όψη σε προηγούμενη έρευνα είναι η επίδραση της ομαδοποίησης κινδύνου (Risk Pooling) όταν μελετάμε το σύστημα μιας αλυσίδας. Στις περιπτώσεις όπου παρουσιάζεται ένας μοναδικός λιανοπωλητής και ένας μοναδικός κατασκευαστής, η ομαδοποίηση κινδύνου παραβλέπεται. Τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης γίνονται αισθητά όταν οι παραγγελίες που πραγματοποιούνται είναι στατιστικά συσχετισμένες με συντελεστή συσχέτισης μικρότερο της μονάδας. Σύμφωνα με τον E. Sucky (2009), η ομαδοποίηση κινδύνου πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη διότι όποια μέθοδο πρόβλεψης και να χρησιμοποιήσουμε σε πολιτική αποθεματοποίησης (OUT) το φαινόμενο Bullwhip θα συνεχίσει να υπάρχει.

Οι Teunter, Syntetos et al. (2010) πρότειναν μια νέα μέθοδο για τον προσδιορισμό των επιπέδων Order-Up-To όταν έχουμε σποραδική ζήτηση χρησιμοποιώντας δεδομένα της Royal Air Force (RAF). Στο υπόδειγμα που πρότειναν θεώρησαν τη ζήτηση κατά το χρόνο παράδοσης ως σύνθετη διωνυμική διαδικασία και έδειξαν ότι αυτός ο τρόπος πετυχαίνει καλύτερα να προσδιορίσει το επίπεδο εξυπηρέτησης στο οποίο στοχεύουμε και μαζί βελτιώνει την απόδοση του αποθέματος. Κατά την άποψη των ερευνητών πρόκειται για μία εύκολη μέθοδο που μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε συστήματα που βασίζονται στο κόστος όσο και σε υπηρεσίες.



## 2.4 Διεύρυνση της Έρευνας

Πηγαίνοντας ένα βήμα πιο πέρα, η μελέτη των Wang, Huang et al. (2010) επικεντρώθηκε στο παγκόσμιο εφοδιαστικό σύστημα τεχνολογικής εταιρίας από την Ταϊβάν που κατασκευάζει οθόνες υγρών κρυστάλλων (TFT-LCD). Οι δείκτες τους ήταν το κόστος αποθέματος, οι πωλήσεις αποθεμάτων και το φαινόμενο Bullwhip, ενώ οι παράγοντες του πειράματος ήταν τέσσερις πολιτικές ανανέωσης αποθέματος, τέσσερις μέθοδοι πρόβλεψης ζήτησης και συστήματα αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) ή μη. Τα καλύτερα αποτελέσματα τα έδωσε ο συνδυασμός πολιτικής ανανέωσης αποθεμάτων (s,Q) με πρόβλεψη ζήτησης βάσει υποδειγμάτων ARIMA και χρήση συστημάτων RFID. Πιο συγκεκριμένα, το κόστος αποθέματος εμφάνισε μείωση κατά 35,43% ενώ ο ρυθμός πώλησης των αποθεμάτων αυξήθηκε 61,36% σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας.

Κάποιες από τις πιο επιτυχημένες εταιρίες παγκοσμίως έχουν υιοθετήσει μοντέλα αποθεματοποίησης τα οποία διαχειρίζονται οι προμηθευτές (Vendors) και ονομάζονται Vendor Management Inventory (VMI). Σε μια σύγκριση αυτού του μοντέλου με την παραδοσιακή εφοδιαστική αλυσίδα, από τις τέσσερις βασικές αιτίες του φαινομένου Bullwhip οι δύο μπορούν να εξαλειφθούν με το VMI ενώ αντιδρά καλύτερα σε απρόβλεπτες αλλαγές της ζήτησης εξαιτίας της προώθησης ή της τιμολογιακά προκαλούμενης διακύμανσης (Disney, Towill 2003)

Στο ίδιο μήκος κύματος οι Yu, Yan et al (2001) τονίζουν τη σημασία της συνεργασίας τρέχοντας πειράματα κάτω από περιπτώσεις διαφορετικού επιπέδου κοινόχρηστης πληροφόρησης και δείχνουν ότι η «αποκέντρωση» στην πληροφορία οδηγεί στο κατά Παρέτο βέλτιστο κατά μήκος της αλυσίδας τόσο στο ύψος αποθέματος όσο και στην ελάττωση του κόστους.

Για τους Chen και Disney (2007) η λύση δίνεται εν μέρει με την ενσωμάτωση ενός αναλογικού ρυθμιστή στο βρόγχο ανατροφοδότησης του ύψους του αποθέματος. Με αυτή την τεχνική, η διακύμανση των παραγγελιών εξομοιώνεται με αυτή της ζήτησης. Ωστόσο, η περίπτωση αυτή μας αφορά όταν το κόστος παραγγελίας αυξάνεται αναλογικά με το μέγεθος και αριθμητικά παραδείγματα δείχνουν ότι το όφελος μπορεί να είναι σημαντικό.

Γενικότερα, η αναλογική προσέγγιση στη διαχείριση του αποθέματος σε σύγκριση με αυτή της ανατροφοδότησης (full-state-feedback) αποδεικνύεται υποδεέστερη από πολλές απόψεις, καθώς αδυνατεί να ελέγξει ταυτόχρονα το ύψος αποθέματος και τη διακύμανση της ζήτησης για όλες τις τιμές παραμέτρων του υποδείγματος ARMA (G.Gaalman 2006).

Με χρήση δυναμικής διατάξεων (System Dynamics) οι Barlas και Gunduz (2011) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μία μεγάλη δομική αιτία του φαινομένου Bullwhip βρίσκεται στην απομόνωση της διενέργειας πρόβλεψης της ζήτησης σε κάθε επίπεδο της αλυσίδας ξεχωριστά και ανέδειξαν το σημαντικό ρόλο του να μοιράζεται η πληροφορία τόσο στη ζήτηση, όσο και την πρόβλεψη.

Σε άρθρο των J.Dejonckheere, S.M.Disney, et al. (2003) εξετάζεται ο τρόπος που επηρεάζουν το φαινόμενο διαφορετικές μέθοδοι πρόβλεψης της ζήτησης σε Order-Up-To πολιτικές αποθεματοποίησης και ποσοτικοποιείται η αύξηση της διακύμανσης για να αποδειχθεί ότι το φαινόμενο Bullwhip υπάρχει ανεξαρτήτως του τρόπου πρόβλεψης που θα επιλεγεί. Για το λόγο αυτό, όταν η παραγωγή δε συναντά ευελιξία και γεννώνται σημαντικά κόστη από τη συχνή αυξομείωση των ποσοτήτων που παράγονται, οι Order-Up-To πολιτικές καθίστανται από ανεπιθύμητες έως ανέφικτες. Η λύση που προτείνεται για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι ένα ηπιότερο μοτίβο παραγγελιών ακόμα κι όταν η ζήτηση πρέπει να προβλεφθεί και βασίζεται σε σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου ώστε να γίνει βαθύτερα αντιληπτή η δυναμική συμπεριφορά της ανανέωσης αποθεμάτων.

Χρησιμοποιώντας τα ευρήματα τόσο της τελευταίας έρευνας όσο και εκείνης του Chen (2000), οι Chatfield, Kim et al. (2004) δημιούργησαν μοντέλα προσομοίωσης (SISCO) για συστήματα Order-Up-To με περιοδική επιθεώρηση.



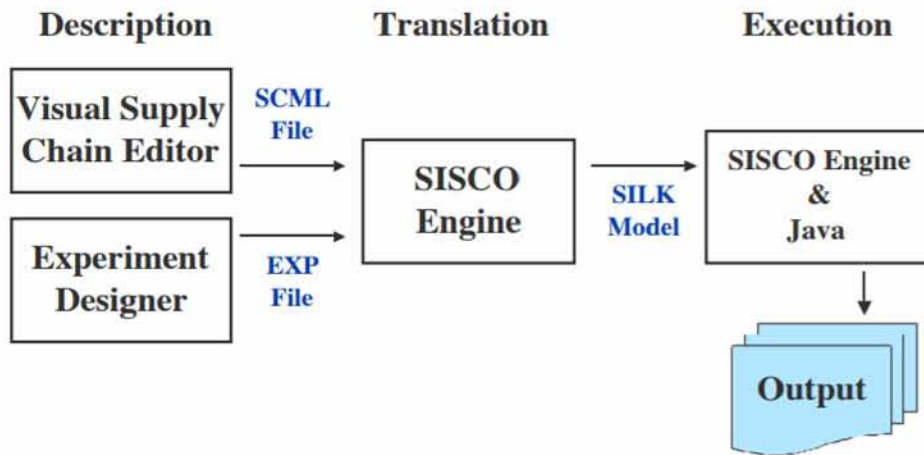


Figure 1. SISCO System Overview

Εικόνα 2.9 Το μοντέλο SISCO (Chatfield, Kim et al. 2004)

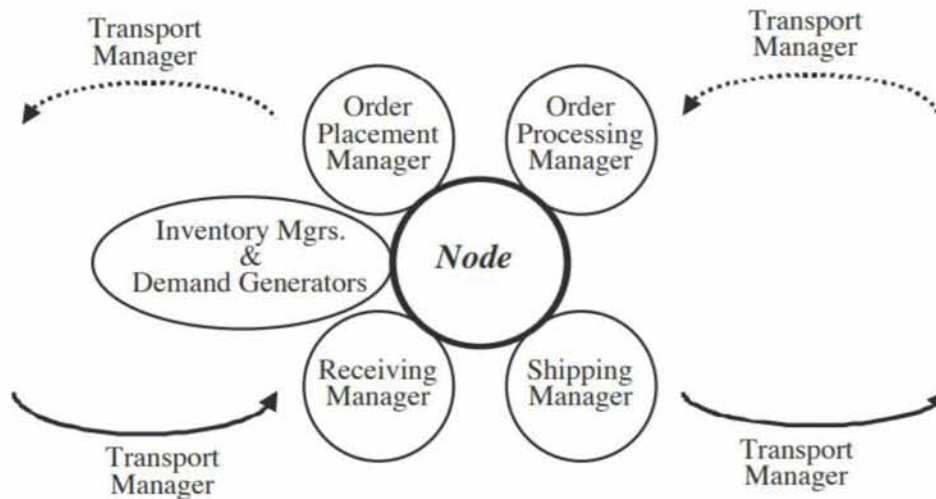
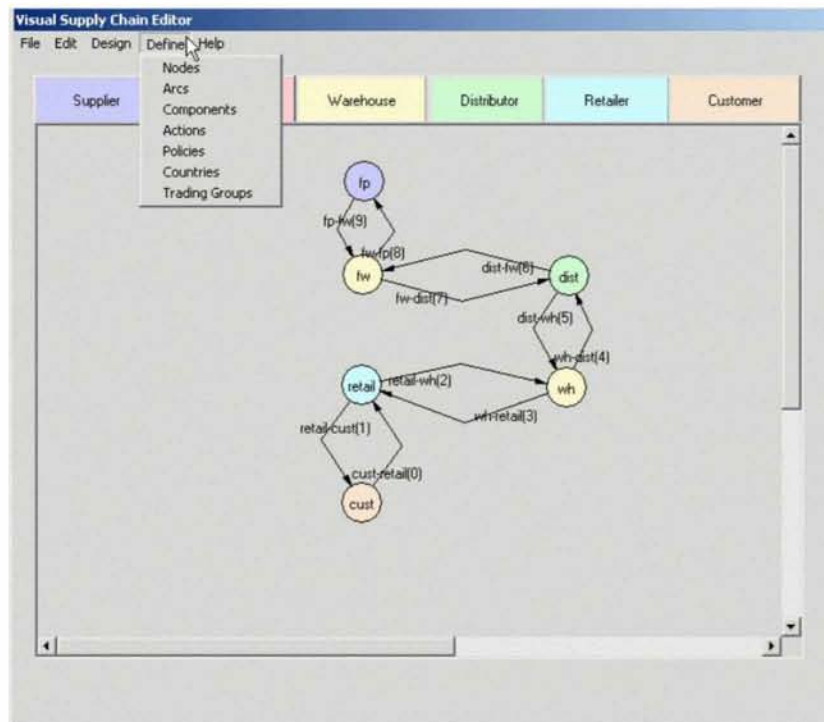


Figure 2. Owner-Manager-Actor Modeling Architecture

Εικόνα 2.10 Η Αρχιτεκτονική του μοντέλου SISCO (Chatfield, Kim et al. 2004)

Εκεί διαπιστώθηκε πως η μεταβλητότητα στο χρόνο παράδοσης οδηγεί σε όξυνση τη διακύμανση κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, αναδεικνύοντας έτσι τη σημασία της ανταλλαγής ποιοτικής πληροφόρησης. Συγκεκριμένα, σε δοκιμαστικό πείραμα για αλυσίδα που περιλαμβάνει πελάτη-λιανοπωλητή-χονδρέμπορο-διανομέα-εργοστάσιο παρατηρήθηκε μείωση στη διακύμανση σχεδόν 50% εξαιτίας της κοινής χρήσης πληροφορίας.



**Figure A1: Visual Supply Chain Editor**  
 Shown: “Design” form used to specify supply chain Nodes and Arcs  
 (Note menu selection showing construct categories to be further defined)

Εικόνα 2.11 Mockup του μοντέλου SISCO (Chatfield, Kim et al. 2004)

Οι ολοένα αυξανόμενες ηλεκτρονικές συναλλαγές αποτελούν έναν ακόμη παράγοντα ο οποίος θα επηρεάσει τη συλλογή δεδομένων που αφορούν τη ζήτηση κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ουσιαστικά πρόκειται για έναν τρόπο επιθεώρησης και αποθήκευσης πληροφορίας για κόστη, πωλήσεις και παραγγελίες. Οι Machuca και Barajas (2001) με χρήση εξομοίωσης ανέδειξαν τα οφέλη του Electronic Data Interchange (EDI) μετρώντας τα μέσα κόστη αποθήκευσης, τις παραγγελίες που τοποθετήθηκαν, τα σωρευτικά κόστη και το καθαρό απόθεμα. Σε όλες τις περιπτώσεις συνάντησαν στατιστικά

αξιοσημείωτες μειώσεις στις μεταβλητές που ρυθμίζουν τα κόστη και ευκαιρίες για βελτίωση στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας .

Το EDI δεν πρέπει να θεωρείται απλά ένα ηλεκτρονικό σύστημα παραγγελιών: μπορεί να ενοποιήσει την αποθεματοποίηση, τα Logistics, τα υλικά, τις εξαγορές, την αποστολή και άλλες λειτουργίες δημιουργώντας ένα πιο προνοητικό και αποτελεσματικό στυλ εταιρικής διοίκησης και ανταπόκρισης στον πελάτη (Mische, 1992).

### 3. Εκτίμηση Προβλεπόμενης Ζήτησης και Αποθεματικής Πολιτικής Έως τον Χρόνο Παράδοσης με AR(1)

#### 3.1 Μέθοδοι Πρόβλεψης

Στη βιβλιογραφία που αναφέρθηκε προηγουμένως, ένας από τους σημαντικούς παράγοντες για την προσέγγιση της ζήτησης είναι ο τρόπος πρόβλεψης. Μέθοδοι όπως του Ελάχιστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (MMSE forecast), Εκθετικής Εξομάλυνσης (Exponential Smoothing) ή του Υποδείγματος Κινητών Μέσων (Moving Average) αποτέλεσαν χρήσιμα εργαλεία για την έρευνα. Στην παρούσα εργασία θα επικεντρωθούμε στη μέθοδο MMSE forecast, ωστόσο είναι χρήσιμο να τεθεί προηγουμένως το πλαίσιο στο οποίο προσεγγίζουμε τα μεγέθη που θα μας απασχολήσουν.

##### 3.1.1 Χρονολογικές Σειρές

Μια από τις βασικότερες μορφές δεδομένων για διάφορες οικονομικές μεταβλητές ενός οικονομετρικού υποδείγματος είναι τα στοιχεία των χρονολογικών σειρών. Ένα δείγμα  $y_1, y_2, \dots, y_T$ , όπου ο χρόνος έχει διαιρεθεί σε ισαπέχοντα σημεία ή διαστήματα και αντιπροσωπεύονται από τον δείκτη (μέρες, έτη κ.ο.κ.). Οι παρατηρήσεις  $y_1, y_2, \dots, y_T$  είναι η πραγματοποίηση των τυχαίων μεταβλητών  $Y_1, Y_2, \dots, Y_T$ , οι οποίες με τη σειρά τους είναι μέρος μιας άπειρης σειράς (ακολουθίας) τυχαίων μεταβλητών. Η άπειρη αυτή ακολουθία των τυχαίων μεταβλητών ονομάζεται στοχαστική ή τυχαία διαδικασία ή στοχαστική ανέλιξη.

Μια ακολουθία,  $\{Y_t\}$ , ονομάζεται Ασθενώς Στάσιμη (Weakly Stationary) ή Δεύτερης Τάξης Στάσιμη (Second Order Stationary) ή Στάσιμη ως προς τη Συνδιακύμανση (Covariance Stationary) όταν ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$E(Y_1) = E(Y_2) = \dots = E(Y_T) = E(Y_t) = \mu \quad (1)$$

$$\text{Var}(Y_t) = \gamma_0 \quad (2)$$

$$\text{Cov}(Y_t, Y_{t+s}) = \text{Cov}(Y_{t+m}, Y_{t+m+s}) = \gamma_s \quad (3)$$

Επειδή  $Y_t$  και  $Y_{t+s}$  είναι παρατηρήσεις της ίδιας μεταβλητής που απέχουν χρονικά μεταξύ τους κατά  $s$ , η συνδιακύμανση  $Cov(Y_t, Y_{t+s})$  αναφέρεται και ως αυτοσυνδιακύμανση.

Όταν το  $s=0$  ισχύει:  $\gamma_0 = Var(Y_t) = \sigma^2$ .

Ο συντελεστής συσχέτισης δύο μεταβλητών είναι ο λόγος της συνδιακύμανσης προς το γινόμενο των τετραγωνικών ριζών των διακυμάνσεών τους. Εφ' όσον στην περίπτωση των χρονολογικών σειρών αφορά την ίδια μεταβλητή, ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στην  $Y_t$  και την  $Y_{t+s}$  ονομάζεται συντελεστής αυτοσυσχέτισης :

$$\rho_s = \frac{Cov(Y_t, Y_{t+s})}{\sqrt{Var(Y_t)Var(Y_{t+s})}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_0}$$

Όπως αναφέρει το θεώρημα διαχωρισμού του Wold (Wold Decomposition Theorem) όταν μια стоχαστική διαδικασία είναι στάσιμη μπορεί να εκφραστεί ως γραμμικός συνδυασμός ή γραμμικό φίλτρο μιας ακολουθίας ασυσχέτιστων τυχαίων μεταβλητών. Θεωρούμε μια τέτοια ακολουθία ως διαδικασία  $\{\varepsilon_t\}$  με τις σχέσεις:

$$y_t = Y_T - \mu = \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \varepsilon_{t-j}$$

Όταν

$$\psi_0 = 1$$

και

$$\sum_{j=0}^{\infty} |\psi_j| < \infty$$

Για  $t=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  αν υποθέσουμε ότι για μια ακολουθία ασυσχέτιστων τυχαίων μεταβλητών ισχύει:

- i.  $E(\varepsilon_t) = \mu = 0$
- ii.  $Var(\varepsilon_t) = \sigma^2$
- iii.  $Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t+s}) = 0$  για κάθε  $s \neq 0$

Η ακολουθία αυτή ονομάζεται Διαδικασία Λευκού Θορύβου (White Noise).

### 3.1.2 Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα Πρώτης Τάξης [AR(1)]

Τα Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα [AR] αποτελούν μία από τις τρεις βασικές κατηγορίες στοχαστικών υποδειγμάτων χρονολογικών σειρών. Η γενική τους μορφή είναι η εξής:

$$Y_t = \delta + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \varphi_3 Y_{t-3} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

Όπου  $\{\varepsilon_t\}$  είναι Λευκός Θόρυβος και  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

Για το υπόδειγμα πρώτης τάξης η μαθηματική έκφραση που προκύπτει είναι:

$$Y_t = \delta + \varphi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Όπου:

$Y_t$  είναι η ζήτηση τη χρονική στιγμή  $t$

$\delta$  είναι ο μέσος της διαδικασίας

$\varphi$  είναι η παράμετρος της παλινδρόμησης και ισχύει  $|\varphi| < 1$

$Y_{t-1}$  είναι η ζήτηση τη χρονική στιγμή  $t - 1$

$\varepsilon_t$  είναι τα τυχαία σφάλματα, τα οποία είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους.

Αν αρχίσουμε να αντικαθιστούμε για τις τιμές του  $t$  έχουμε:

Για  $t = 1$ :

$$Y_1 = \delta + \varphi Y_0 + \varepsilon_1$$

Για  $t = 2$ :

$$Y_2 = \delta + \varphi Y_1 + \varepsilon_2 = \delta + \varphi(\delta + \varphi Y_0 + \varepsilon_1) + \varepsilon_2 = \delta + \varphi\delta + \varphi^2 Y_0 + \varphi\varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

Για  $t = 3$ :

$$\begin{aligned} Y_3 &= \delta + \varphi Y_2 + \varepsilon_3 = \delta + \varphi(\delta + \varphi\delta + \varphi^2 Y_0 + \varphi\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + \varepsilon_3 \\ &= \delta + \varphi\delta + \varphi^2\delta + \varphi^3 Y_0 + \varphi^2\varepsilon_1 + \varphi\varepsilon_2 + \varepsilon_3 \end{aligned}$$

Από τα προηγούμενα εξάγεται η γενική μορφή:

$$Y_t = \delta + \varphi\delta + \varphi^2\delta + \dots + \delta\varphi^{t-1} + \varphi^t\gamma_0 + \varphi^{t-1}\varepsilon_1 + \varphi^{t-2}\varepsilon_2 + \dots + \varphi\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Από τις ιδιότητες της γεωμετρικής προόδου, όμως ισχύει ότι:

$$S = 1 + \varphi + \varphi^2 + \dots + \varphi^{t-1} \quad (i)$$

$$\varphi S = \varphi + \varphi^2 + \varphi^3 + \dots + \varphi^t \quad (ii)$$

Αφαιρώντας κατά μέλη τις (i) και (ii) :

$$S - \varphi S = 1 - \varphi^t \leftrightarrow S(1 - \varphi) = 1 - \varphi^t \leftrightarrow S = \frac{(1 - \varphi^t)}{(1 - \varphi)}$$

Επανερχόμαστε στη σχέση (4) και συγκεκριμένα στο πρώτο τμήμα της όπου βγάζουμε κοινό παράγοντα το  $\delta$ :

$$\delta + \varphi\delta + \varphi^2\delta + \dots + \delta\varphi^{t-1} = \delta(1 + \varphi + \varphi^2 + \dots + \varphi^{t-1}) = \delta \frac{(1 - \varphi^t)}{(1 - \varphi)}$$

Αντικαθιστώντας στη γενική μορφή παίρνουμε τον τελικό τύπο:

$$Y_t = \frac{\delta(1 - \varphi^t)}{1 - \varphi} + \varphi^t\gamma_0 + \sum_{j=0}^{t-1} \varphi^j \varepsilon_{t-j} \quad (5)$$

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για τις στάσιμες χρονολογικές σειρές ισχύει  $|\varphi| < 1$ . Αν θεωρήσουμε ότι η διαδικασία έχει ξεκινήσει σε κάποιο χρονικό σημείο στο πολύ απομακρυσμένο παρελθόν ισχύει ότι, όταν το  $t$  τείνει στο άπειρο, τότε το  $\varphi^t$  τείνει στο 0.

Όταν το AR(p) είναι στάσιμο ισχύουν οι σχέσεις :

$$\gamma_0 = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j^2$$

$$\gamma_s = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \psi_{j+s}$$

$$\rho_s = \frac{\text{Cov}(Y_t, Y_{t+s})}{\text{Var}(Y_t)} = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \psi_{j+s}}{\sum_{j=0}^{\infty} \psi_j^2}$$

Έτσι τα κύρια μεγέθη λαμβάνουν τις εξής τιμές :

Μέσος:  $E(Y_t) = \mu = \frac{\delta}{1-\varphi}$  (6)

Διακύμανση:  $\text{Var}(Y_t) = \gamma_0 = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j^2 = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \varphi^{2j} = \sigma^2 (1 + \varphi^2 + \varphi^4 + \varphi^6 + \dots)$   
 $= \frac{\sigma^2}{1-\varphi^2}$  (7)

Συνδιακύμανση:  $\text{Cov}(Y_t, Y_{t+s}) = \gamma_s = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \psi_{j+s} = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \varphi^j \varphi^{j+s} = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \varphi^{2j} \varphi^s = \varphi^s \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \varphi^{2j} = \varphi^s \gamma_0 = \varphi^s \frac{\sigma^2}{1-\varphi^2}$  (8)

Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης:  $\rho_s = \frac{\text{Cov}(Y_t, Y_{t+s})}{\text{Var}(Y_t)} = \varphi^s$ . (9)



### 3.2 Προσδιορισμός της Ποσότητας Παραγγελίας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν διάφορες προσεγγίσεις ερευνητών για το ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος διαχείρισης του αποθέματος ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις του φαινομένου Bullwhip. Στο άρθρο του Zhang X. "The Impact of Forecasting Methods on the Bullwhip Effect" (2004) επιχειρείται μια ποσοτικοποιημένη συγκριτική ανάλυση ούτως ώστε να γίνει αντιληπτό το ποιες είναι οι διαφορετικές ιδιότητες κάθε μεθόδου πρόβλεψης σε σχέση με το χρόνο παράδοσης (Lead Time) και τις βασικές παραμέτρους του αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος. Πάνω σε αυτό θα επιχειρήσουμε την απόδειξη της ορθότητας των τύπων, με βάση τις υποθέσεις του Zhang, που αφορούν την πρόβλεψη στην ποσότητα παραγγελίας  $\hat{q}_t$  και το μέγεθος έντασης  $M^2$  του φαινομένου Bullwhip.

Ο Zhang υποθέτει ένα OUT μοντέλο αποθεματοποίησης περιοδικής επιθεώρησης (R,S) ενώ η ζήτηση του εμπόρου λιανικής περιγράφεται από αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα πρώτου βαθμού [AR(1)] και έχει τη μορφή:  $d_t = \mu + \rho d_{t-1} + \varepsilon_t$ ,  $|\rho| < 1$ ,

Όπου  $d_t$  είναι η ζήτηση κατά τη διάρκεια της περιόδου  $t$ ,  $\mu$  είναι η σταθερά που προσδιορίζει τον μέσο της ζήτησης και  $\varepsilon_t$  είναι τυχαίο σφάλμα, μια ασυσχέτιστη, τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή με μέσο 0 και διακύμανση  $\sigma^2$ . Το  $\rho$  συμβολίζει το συντελεστή της παλινδρόμησης πρώτης τάξης και η υπόθεση ότι  $|\rho| < 1$  διασφαλίζει ότι η διαδικασία είναι στάσιμη ως προς τη συνδιακύμανση.

Ο όρος  $H_t$  αντιπροσωπεύει την ιστορία της ζήτησης που παρατηρήθηκε μέχρι την περίοδο  $t$ ,

$$H_t = \{d_t, d_{t-1}, d_{t-2}, \dots\}.$$

Ο υπό προϋποθέσεις μέσος και διακύμανση του  $d_t$ , δοθέντος του ιστορικού ζήτησης που προηγήθηκε είναι:

$$E(d_t | H_{t-1}) = \mu + \rho d_{t-1},$$

$$V(d_t | H_{t-1}) = E([d_t - E(d_t | H_{t-1})]^2 | H_{t-1}) = \sigma^2$$

Ο άνευ όρων μέσος και η διακύμανση της ζήτησης είναι:

$$\mu_d = E(d_t) = \mu / (1 - \rho)$$

$$\sigma_d^2 = V(d_t) = \sigma^2 / (1 - \rho)$$

Συνεπώς το AR(1) μπορεί να εκφραστεί και ως εξής:

$$d_t - \mu_d = \rho (d_{t-1} - \mu_d) + \varepsilon_t, \quad |\rho| < 1.$$

Το απόθεμα επιθεωρείται και καταγράφεται η στάθμη του αποθέματος που μεταφέρθηκε από την τελευταία περίοδο. Η ζήτηση μειώνει το απόθεμα και παίρνεται η απόφαση για παραγγελία ποσότητας  $q_t$  την περίοδο  $t$ , η οποία διαμορφώνει τη νέα στάθμη αποθέματος ( $y_t$ ). Η παραγγελία παραδίδεται την περίοδο  $t+L$ , όπου  $L$  είναι ο προκαθορισμένος χρόνος παράδοσης. Η ποσότητα παραγγελίας δίνεται από τον τύπο:

$$q_t = y_t - y_{t-1} + d_t. \quad (10)$$

Από τη στιγμή που γίνεται η παραγγελία μέχρι να εκπληρωθεί από τον προμηθευτή/κατασκευαστή προκύπτει η ζήτηση κατά το χρόνο παράδοσης

$$D_t^L = \sum_{\tau=1}^L d_{t+\tau}.$$

Η πρόβλεψη της ζήτησης δοθέντος του  $H_t$  συμβολίζεται με  $D_{t|H_t}^L$  και το σφάλμα πρόβλεψης

$$\text{έχει τυπική απόκλιση } \sigma_{t|H_t}^L = \sqrt{V(D_t^L - D_{t|H_t}^L)}.$$

Εδώ το επίπεδο εξυπηρέτησης ορίζεται ως η πιθανότητα να προκύψει ζήτηση κατά το χρόνο παράδοσης που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το φυσικό απόθεμα, επομένως το επιθυμητό επίπεδο που ορίζει την παραγγελία είναι:

$$y_t = D_{t|H_t}^L + z\sigma_{t|H_t}^L,$$

δηλαδή το άθροισμα της ζήτησης και του στοκ ασφαλείας ( $z\sigma_{t|H_t}^L$ ). Αντικαθιστώντας στον τύπο της παραγγελίας προκύπτει:

$$q_t = (D_{t|H_t}^L - D_{t|H_{t-1}}^L) + z(\sigma_{t|H_t}^L - \sigma_{t|H_{t-1}}^L) + d_t. \quad (11)$$

Στο πρώτο μέρος αποτυπώνεται η αλλαγή στην πρόβλεψη της ζήτησης κατά το χρόνο παράδοσης από τη χρονική στιγμή  $t-1$  ως τη χρονική στιγμή  $t$  και στο δεύτερο η αλλαγή που προκλήθηκε στο στοκ ασφαλείας εξαιτίας της αλλαγής της τυπικής απόκλισης του σφάλματος στην πρόβλεψη της ζήτησης κατά το χρόνο παράδοσης.

Παρακάτω αποδεικνύουμε πως η τυπική απόκλιση του σφάλματος παραμένει σταθερή στο χρόνο, δηλαδή  $\sigma_{\epsilon|H_t}^L = \sigma_{\epsilon|H_{t-1}}^L$ , οπότε ο τύπος της παραγγελίας γίνεται τελικά:

$$q_t = (D_{\epsilon|H_t}^L - D_{\epsilon|H_{t-1}}^L) + d_t. \quad (12)$$

Η πολιτική Order-Up-To, όπως απεικονίζεται στις παραπάνω εξισώσεις, είναι βέλτιστη για περιπτώσεις που δεν υπάρχει σταθερό κόστος παραγγελίας και τα κόστη αποθήκευσης και έλλειψης αποθέματος θεωρείται ότι αυξάνονται αναλογικά

### 3.3 Η Επίδραση του Φαινομένου Bullwhip

Οι παραγγελίες του λιανοπωλητή είναι η ζήτηση που αντιμετωπίζει ο κατασκευαστής. Με αυτή τη λογική, το φαινόμενο Bullwhip μπορεί να μετρηθεί από το λόγο της απόλυτης διακύμανσης της ζήτησης που αντιμετωπίζει ο κατασκευαστής και της απόλυτης διακύμανσης της ζήτησης που αντιμετωπίζει ο λιανοπωλητής. Υπολογίζεται με τον τύπο:

$$M^2 = \frac{Var(q_t)}{\sigma_d^2}. \quad (13)$$

Ο δείκτης  $M^2$  αντιπροσωπεύει τον αριθμό των φορών που η διακύμανση της ζήτησης μεγεθύνεται όσο κάποιος ανεβαίνει στην Εφοδιαστική Αλυσίδα. Όταν  $M^2 > 1$  λέμε ότι παρατηρούμε το φαινόμενο Bullwhip.

Στο άρθρο του ο Zhang επιχειρεί την ποσοτική καταμέτρηση του φαινομένου χρησιμοποιώντας γραμμικές μεθόδους πρόβλεψης της μελλοντικής ζήτησης, όταν συνδυάζονται γραμμικά παρατηρήσεις της ζήτησης που προηγήθηκε. Με αυτή τη λογική εξάγονται χρήσιμοι τύποι για την μέθοδο Ελάχιστου Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (MMSE forecast) φροντίζοντας ταυτόχρονα να διατηρούνται οι ιδιότητές της.

Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, η μέθοδος MMSE είναι η βέλτιστη όταν το βασικό μας πρόβλημα είναι το κόστος αποθεματοποίησης.

Αν συμβολίσουμε  $\hat{d}_{t+\tau|H_t}$ ,  $\tau=1,2,3,\dots$ , την πρόβλεψη της ζήτησης  $d_{t+\tau}$  για  $\tau$  περιόδους μπροστά, γνωρίζοντας το  $H_t$  και  $\hat{e}_{t+\tau|t} = d_{t+\tau} - \hat{d}_{t+\tau|H_t}$  το συσχετιζόμενο σφάλμα, η μορφή που παράγεται για διαδικασία ζήτησης που ακολουθεί [AR(1)] θα είναι:

$$\hat{d}_{t+\tau|H_t} = \mu_d + \rho^\tau (d_t - \mu_d), \quad (14)$$

$$\hat{e}_{t+\tau|H_t} = \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j \varepsilon_{t+\tau-j}. \quad (15)$$

Αν υποθέσουμε ότι ο χρόνος παράδοσης αποτελείται από  $L$  χρονικές περιόδους  $\tau$ , χρησιμοποιώντας την εξίσωση (14) για την πρόβλεψη φτάνουμε στον τύπο πρόβλεψης της ζήτησης που θα προκύψει κατά το χρόνο παράδοσης:

$$\widehat{D}_{t|H_t}^L = \sum_{\tau=1}^L \hat{d}_{t+\tau|H_t} = \sum_{\tau=1}^L [\mu_d + \rho^\tau (d_t - \mu_d)] = \sum_{\tau=1}^L \mu_d + (d_t - \mu_d) \sum_{\tau=1}^L [\rho^\tau]$$

Από τις ιδιότητες της γεωμετρικής προόδου, όπως αποδείχθηκε στην αρχή του κεφαλαίου ισχύει ότι:

$$\sum_{\tau=1}^L \rho^\tau = \rho \frac{1 - \rho^L}{1 - \rho} = \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}$$

Επομένως:  $\widehat{D}_{t|H_t}^L = L\mu_d + \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho} (d_t - \mu_d)$  . (16)

Η διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης εφ' όσον οι όροι στον τύπο του είναι ασυσχέτιστες και τυχαίες μεταβλητές, υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} Var((D_t^L - \widehat{D}_{t|H_t}^L)) &= Var\left(\sum_{\tau=1}^L \hat{\varepsilon}_{t+\tau|H_t}\right) \\ &= Var\left(\sum_{\tau=1}^L \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j \varepsilon_{t+\tau-j}\right) \end{aligned}$$

Ας υποθέσουμε ότι  $L=5$ :

$$\begin{aligned}
& \sum_{\tau=1}^5 \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j \varepsilon_{t+\tau-j} \\
&= \sum_{j=0}^0 \rho^j \varepsilon_{t+1-j} + \sum_{j=0}^1 \rho^j \varepsilon_{t+2-j} + \sum_{j=0}^2 \rho^j \varepsilon_{t+3-j} + \sum_{j=0}^3 \rho^j \varepsilon_{t+4-j} \\
&\quad + \sum_{j=0}^4 \rho^j \varepsilon_{t+5-j} \\
&= \{\varepsilon_{t+1} + (\varepsilon_{t+2} + \rho\varepsilon_{t+1}) + (\varepsilon_{t+3} + \rho\varepsilon_{t+2} + \rho^2\varepsilon_{t+1}) \\
&\quad + (\varepsilon_{t+4} + \rho\varepsilon_{t+3} + \rho^2\varepsilon_{t+2} + \rho^3\varepsilon_{t+1}) \\
&\quad + (\varepsilon_{t+5} + \rho\varepsilon_{t+4} + \rho^2\varepsilon_{t+3} + \rho^3\varepsilon_{t+2} + \rho^4\varepsilon_{t+1}) \\
&= \varepsilon_{t+1} + \varepsilon_{t+2} + \varepsilon_{t+3} + \varepsilon_{t+4} + \varepsilon_{t+5} + \rho\varepsilon_{t+1} + \rho\varepsilon_{t+2} + \rho\varepsilon_{t+3} + \rho\varepsilon_{t+4} \\
&\quad + \rho^2\varepsilon_{t+1} + \rho^2\varepsilon_{t+2} + \rho^2\varepsilon_{t+3} + \rho^3\varepsilon_{t+1} + \rho^3\varepsilon_{t+2} + \rho^4\varepsilon_{t+1} \\
&= \varepsilon_{t+1} \sum_{j=0}^{5-1} \rho^j + \varepsilon_{t+2} \sum_{j=0}^{5-2} \rho^j + \varepsilon_{t+3} \sum_{j=0}^{5-3} \rho^j + \varepsilon_{t+4} \sum_{j=0}^{5-4} \rho^j + \varepsilon_{t+5} \sum_{j=0}^{5-5} \rho^j
\end{aligned}$$

Γενικότερα:

$$\begin{aligned}
\sum_{\tau=1}^L \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j \varepsilon_{t+\tau-j} &= \varepsilon_{t+1} \sum_{j=0}^{L-1} \rho^j + \varepsilon_{t+2} \sum_{j=0}^{L-2} \rho^j + \varepsilon_{t+3} \sum_{j=0}^{L-3} \rho^j + \dots + \varepsilon_{t+L-1} (1-\rho) + \varepsilon_{t+L} \\
&= \varepsilon_{t+1} \frac{1-\rho^L}{1-\rho} + \varepsilon_{t+2} \frac{1-\rho^{L-1}}{1-\rho} + \varepsilon_{t+3} \frac{1-\rho^{L-2}}{1-\rho} + \dots + \varepsilon_{t+L-1} \frac{1-\rho^2}{1-\rho} \\
&\quad + \varepsilon_{t+L} \frac{1-\rho}{1-\rho}
\end{aligned}$$

Άρα:

$$\text{Var} \left( \sum_{\tau=1}^L \sum_{j=0}^{\tau-1} \rho^j \varepsilon_{t+\tau-j} \right) = \frac{\sigma^2}{(1-\rho)^2} \sum_{\tau=1}^L (1-\rho^j)^2$$

Επιμέρους έχουμε:

$$\begin{aligned}
\frac{\sigma^2}{(1-\rho)^2} &= \frac{\sigma^2}{(1-\rho)(1-\rho)} = \frac{\sigma^2(1+\rho)}{(1-\rho)(1+\rho)} = \frac{\sigma^2}{1-\rho^2} \frac{(1+\rho)}{(1-\rho)} \\
\sum_{\tau=1}^L (1-\rho^j)^2 &= \sum_{\tau=1}^L (1-2\rho^j + \rho^{2j}) = L-2 \sum_{\tau=1}^L \rho^j + \sum_{\tau=1}^L \rho^{2j} \\
&= L-2\rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho} + \frac{\rho^2(1-\rho^{2L})}{1-\rho^2}
\end{aligned}$$



Τελικά:

$$(\hat{\sigma}_{t|Ht}^L)^2 = \text{Var}((D_t^L - \hat{D}_{t|Ht}^L)) = \sigma_d^2 \frac{(1+\rho)}{(1-\rho)} \left\{ L - 2\rho \frac{1-\rho^L}{1-\rho} + \frac{\rho^2(1-\rho^{2L})}{1-\rho^2} \right\}. \quad (17)$$

Με αυτό τον τρόπο αποδεικνύεται ότι υπάρχει ανεξαρτησία χρόνου στη διακύμανση του σφάλματος στην πρόβλεψη της ζήτησης κατά τον χρόνο παράδοσης.

### 3.4 Αποδείξεις Τύπων Πρόβλεψης Ποσότητας Παραγγελίας και Bullwhip

Από τον τύπο (12) δίνεται η ποσότητα παραγγελίας:  $q_t = (D_{t|H_t}^L - D_{t-1|H_{t-1}}^L) + d_t$  όπου αντικαθιστώντας τη ζήτηση  $D_{t|H_t}^L, D_{t-1|H_{t-1}}^L$  με τις προβλέψεις  $\widehat{D}_{t|H_t}^L, \widehat{D}_{t-1|H_{t-1}}^L$  παράγεται ο τύπος της πρόβλεψης για την ποσότητα παραγγελίας:

$$\hat{q}_t = (\widehat{D}_{t|H_t}^L - \widehat{D}_{t-1|H_{t-1}}^L) + d_t$$

$$\text{Με } \widehat{D}_{t|H_t}^L = L\mu_d + \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}(d_t - \mu_d) \text{ και } \widehat{D}_{t-1|H_{t-1}}^L = L\mu_d + \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}(d_{t-1} - \mu_d)$$

$$\begin{aligned} \hat{q}_t &= L\mu_d + \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}(d_t - \mu_d) - L\mu_d + \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}(d_{t-1} - \mu_d) + d_t \\ &= \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}d_t - \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}d_{t-1} + d_t \left[ \text{ή } \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}(d_t - d_{t-1}) + d_t \text{ (18)} \right] \\ &= \left( \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho} + 1 \right) d_t - \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho} d_{t-1} \\ &= \left( \frac{1 - \rho^{L+1}}{1 - \rho} + 1 \right) d_t - \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho} d_{t-1} \quad (19) \end{aligned}$$

Επίσης, διατυπώθηκε ο τύπος (13) που δίνει το μέτρο του φαινομένου Bullwhip :

$$M^2 = \frac{Var(q_t)}{\sigma_d^2}$$

Αν αντικαταστήσουμε στον τύπο την διακύμανση  $V(q_t)$  με αυτή της πρόβλεψης  $V(\hat{q}_t)$  έχουμε:

$$\widehat{M}^2 = \frac{Var(\hat{q}_t)}{\sigma_d^2} \quad \text{ή} \quad \widehat{M}^2 = \frac{Var(\hat{q}_t)}{Var(\hat{d}_t)}$$

Από τον τύπο (18) ισχύει :

$$Var(\hat{q}_t) = Var(d_t) + \left(\frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}\right)^2 Var(d_t - d_{t-1}) + 2 \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho} Cov(d_t, d_t - d_{t-1})$$

Όπου:

$$Var(d_t) = \sigma_d^2$$

$$Var(d_t - d_{t-1}) = 2\sigma_d^2(1 - \rho)$$

$$Cov(d_t, d_t - d_{t-1}) = \sigma_d^2(1 - \rho)$$

Συνεπώς:

$$\begin{aligned} Var(\hat{q}_t) &= \sigma_d^2 + \left\{ \left(\frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho}\right)^2 2\sigma_d^2(1 - \rho) \right\} + \left\{ 2 \frac{\rho - \rho^{L+1}}{1 - \rho} \sigma_d^2(1 - \rho) \right\} \\ &= \sigma_d^2 + \frac{(\rho - \rho^{L+1})^2 2\sigma_d^2}{1 - \rho} + \frac{2(\rho - \rho^{L+1})\sigma_d^2(1 - \rho)}{1 - \rho} \\ &= \sigma_d^2 \left( 1 + \frac{2(\rho - \rho^{L+1})^2}{1 - \rho} + \frac{2(\rho - \rho^{L+1})(1 - \rho)}{1 - \rho} \right) \\ &= \sigma_d^2 \left( 1 + \frac{2(\rho - \rho^{L+1})(\rho - \rho^{L+1}) + 2(\rho - \rho^{L+1})(1 - \rho)}{1 - \rho} \right) \\ &= \sigma_d^2 \left( 1 + \frac{2(\rho - \rho^{L+1})(\rho - \rho^{L+1} + 1 - \rho)}{1 - \rho} \right) \\ &= \sigma_d^2 \left( 1 + \frac{2(\rho - \rho^{L+1})(1 - \rho^{L+1})}{1 - \rho} \right) \\ &= \sigma_d^2 \left( 1 + \frac{2\rho(1 - \rho^L)(1 - \rho^{L+1})}{1 - \rho} \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Αντικαθιστούμε:

$$\hat{M}^2 = \frac{Var(\hat{q}_t)}{\sigma_d^2} = \frac{\sigma_d^2 \left( 1 + \frac{2\rho(1 - \rho^L)(1 - \rho^{L+1})}{1 - \rho} \right)}{\sigma_d^2}$$

$$\hat{M}^2 = 1 + \frac{2\rho(1 - \rho^L)(1 - \rho^{L+1})}{1 - \rho} . \quad (21)$$

Αποδεικνύεται με αυτό τον τρόπο πως η πρόβλεψη ποσότητας παραγγελίας και το φαινόμενο Bullwhip είναι λειτουργίες με ανεξαρτησία χρόνου και εξαρτώνται από τις παραμέτρους παλινδρόμησης, τον χρόνο παράδοσης και τη ζήτηση.

Σε αυτή τη λογική ο Zhang, εξάγει κάποια συμπεράσματα θέτοντας πειραματικές τιμές στο  $L$  σε αντιπαράβολή με την περίπτωση μηδενικού χρόνου παράδοσης ( $L=0$ ) όπου το Bullwhip Effect απουσιάζει.

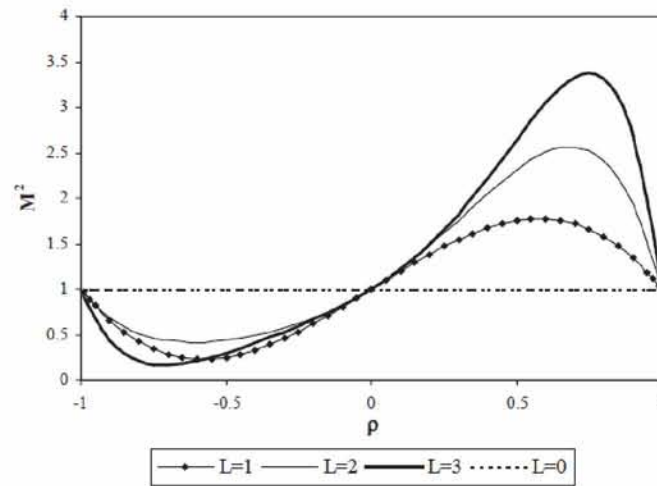


Fig. 1. Relationship between  $\hat{M}^2$  and demand autocorrelation.

Εικόνα 3.1 Σχέση  $\hat{M}^2$  με Αυτοσυσχέτιση Ζήτησης για διαφορετικά  $L$  (Zhang 2004)

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, όταν  $\rho \leq 0$  δεν υπάρχει φαινόμενο Bullwhip ενώ όταν  $\rho > 0$  όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παράδοσης τόσο μεγαλύτερη είναι και η ένταση του φαινομένου. Γενικότερα για όλα τα  $L > 0$  το φαινόμενο είναι ισχυρότερο όταν  $\rho \geq 0.5$ , κάτι που επαληθεύεται κι από την εξίσωση (21) και δείχνουν πως το να μειωθεί ο χρόνος παράδοσης όταν η αυτοσυσχέτιση της ζήτησης είναι αρκετά μεγαλύτερη του μηδενός έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο Bullwhip.

## 4. Παραγωγή Σειρών Προσομοίωσης σε Περιβάλλον Excel και EViews. Υπολογισμός Φαινομένου Bullwhip

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε και οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση των προσομοιώσεων. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η μέθοδος μέτρησης της έντασης του φαινομένου Bullwhip, όπως αποδείχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για τις διάφορες εκτιμήσεις του συντελεστή αυτοσυσχέτισης που προκύπτουν από τη Μέθοδο Μεγίστης Πιθανοφάνειας. Κατόπιν, επιχειρείται συγκριτική ανάλυση ανάμεσα στις τιμές που προέκυψαν από την πρόβλεψη της ζήτησης και στις αντίστοιχες πραγματοποιηθείσες για διαφορετικούς χρόνους παράδοσης της παραγγελίας. Οι αποκλίσεις παρατίθενται σε πίνακες απεικονίζονται σε διαγράμματα ως εκτίμηση κινδύνου.

### 4.1 Περιγραφή Διαδικασίας

Για την παραγωγή των σειρών προσομοίωσης που μας οδήγησε στους τελικούς πίνακες αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα Excel και το οικονομετρικό/στατιστικό πρόγραμμα Eviews. Ακολουθεί η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε.

Αρχικά, με χρήση της γεννήτριας τυχαίων αριθμών (Number Generator) στο Excel προέκυψαν 1000 επαναλήψεις στο μέγιστο δείγμα των 100 παρατηρήσεων που δίνουν τα τυχαία σφάλματα της διαδικασίας. Στη ρύθμιση των παραμέτρων θεωρήθηκε ότι τα σφάλματα ακολουθούν κανονική κατανομή με  $\varepsilon \sim N(0,9)$ .

Από εκεί, παρήχθησαν 1000 σειρές του [AR(1)], όπου κάθε σειρά έχει στάσιμο μέσο  $\mu = \frac{\delta}{1-\varphi}$  και διακύμανση  $\gamma_0 = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1-\varphi}$ .

Τέθηκε  $\delta = 10$  και επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις συντελεστή αυτοσυσχέτισης για να επιτευχθούν διαφορετικοί βαθμοί αυτοσυσχέτισης:

1. Για  $\varphi=0,2$  του υποδείγματος  $Y_t = 10 + 0.2Y_{t-1} + \varepsilon_t$ , ο μέσος της διαδικασίας είναι:

$$\mu = E(Y_t) = \frac{\delta}{1-\varphi} = \frac{10}{1-0.2} = 12,5$$

$$\text{και η διακύμανση: } \gamma_0 = \text{Var}(Y_t) = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1-\varphi} = \frac{3^2}{1-0.2^2} = 9,375.$$

Η συγκεκριμένη προσομοίωση αντιπροσωπεύει περιπτώσεις με χαμηλή αυτοσυσχέτιση.

2. Για  $\varphi=0,5$  του υποδείγματος  $Y_t = 10 + 0.5Y_{t-1} + \varepsilon_t$ , ο μέσος της διαδικασίας είναι:

$$\mu = E(Y_t) = \frac{\delta}{1-\varphi} = \frac{10}{1-0.5} = 20$$

$$\text{και η διακύμανση: } \gamma_0 = \text{Var}(Y_t) = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1-\varphi} = \frac{3^2}{1-0.5^2} = 12.$$

Η συγκεκριμένη προσομοίωση αντιπροσωπεύει περιπτώσεις με μεσαία αυτοσυσχέτιση.

3. Για  $\varphi=0,8$  του υποδείγματος  $Y_t = 10 + 0.8Y_{t-1} + \varepsilon_t$ , ο μέσος της διαδικασίας είναι:

$$\mu = E(Y_t) = \frac{\delta}{1-\varphi} = \frac{10}{1-0.8} = 50$$

$$\text{και η διακύμανση: } \gamma_0 = \text{Var}(Y_t) = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1-\varphi} = \frac{3^2}{1-0.8^2} = 25.$$

Η συγκεκριμένη προσομοίωση αντιπροσωπεύει περιπτώσεις με υψηλή αυτοσυσχέτιση.

Προκειμένου να διασφαλίσουμε την στασιμότητα της κάθε σειράς, θεωρούμε την πρώτη παρατήρηση που δημιουργείται ως μια τυχαία μεταβλητή, η οποία ακολουθεί την κανονική κατανομή  $Y_1 \sim N\left(\frac{\delta}{1-\varphi}, \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1-\varphi^2}\right)$ .

Όλες οι υπόλοιπες παρατηρήσεις ακολουθούν με βάση τη σχέση  $Y_t = 10 + \varphi Y_{t-1} + \varepsilon_t$ .

	A1	φ = 0,2															
	t	ser01	ser02	ser03	ser04	ser05	ser06	ser07	ser08	ser09	ser10	ser11	ser12	ser13	ser14	ser15	ser16
1	0	10.32413	12.08828	11.88108	6.266009	10.11993	11.97595	12.10009	14.13341	14.1915	15.43462	9.629984	9.071516	12.2922	14.96528	11.53111	15.39922
2	1	10.1659	9.888078	6.588774	11.69624	13.2441	12.91518	15.32051	14.23963	15.54695	8.481624	14.40549	11.07562	4.874782	16.65632	14.52108	10.70979
3	2	12.67313	10.93713	12.24104	8.381978	11.54621	15.11622	12.59669	9.141723	12.15936	8.76639	10.85914	11.9542	10.36432	10.8836	7.895046	17.17817
4	3	16.99825	9.917648	16.93839	13.1367	11.30791	10.99177	7.394562	9.388671	6.101679	10.5384	13.14723	16.78219	10.04486	7.16755	12.10529	10.36726
5	4	8.68311	8.434638	10.34781	9.364755	9.264737	16.74417	10.3736	12.28415	16.06342	9.637535	12.15088	11.50633	7.176826	13.67771	9.197572	13.77884
6	5	10.48253	12.8033	10.69114	14.99132	4.47469	13.72192	13.62875	20.27536	10.29935	7.965305	13.26506	15.0425	11.02594	14.31694	10.50836	11.85843
7	6	12.02088	12.54127	14.81495	11.56451	11.26109	15.81625	15.50942	11.62561	14.81752	6.338164	13.65046	12.11764	10.24615	13.81149	15.94461	11.73925
8	7	11.82701	16.69494	19.16904	10.11519	11.74294	14.45224	16.36862	15.7575	14.33734	10.11823	15.12973	12.19691	14.79744	17.78354	12.36738	16.15714
9	8	9.97957	15.6084	17.74123	9.863266	8.619139	13.44822	12.38431	12.93846	14.53737	14.6789	13.46017	9.461004	12.05063	13.45674	15.02374	14.40135
10	9	9.411305	11.64699	11.70369	10.1505	13.54819	9.363309	13.15584	14.28662	15.90848	13.0957	8.871925	12.61386	13.42117	15.29706	12.27694	15.39091
11	10	9.222586	11.41909	11.38491	12.61475	10.16793	14.42853	13.62813	13.56482	15.39053	11.43086	15.62306	8.433526	11.71584	11.48171	13.93458	17.52452
12	11	14.89437	12.38562	10.32107	10.91883	10.65159	12.50313	7.644725	7.919877	18.14176	4.474414	13.16764	14.90121	10.75518	14.75812	12.27787	17.57045
13	12	9.524763	11.97343	16.8813	13.92	8.214309	12.48169	10.21373	10.04095	15.3055	13.14819	12.02828	12.27675	16.03818	15.92137	16.08093	11.98441
14	13	15.51937	10.67741	16.39473	9.564601	8.018944	14.05117	13.0368	13.79432	12.57602	15.3775	8.554367	12.41094	13.35583	13.86882	9.272025	11.78976
15	14	13.96814	11.8123	11.02685	10.83702	7.847348	12.96831	12.98808	12.27518	17.31736	10.06881	7.572268	14.54174	12.53629	11.57493	10.55987	19.54009
16	15	10.90954	7.531993	15.72623	14.46416	12.29799	9.819163	8.846701	12.20172	18.66391	9.80854	9.484714	17.46942	11.78489	13.53759	13.51288	13.76395
17	16	10.10051	16.81426	16.18856	9.76539	13.95254	10.0548	14.0846	12.83634	15.21794	8.422503	9.246773	15.67602	13.09282	9.506427	14.29982	21.82184

Εικόνα 4.1 Προσομοιωμένες Τιμές της Ζήτησης ( $Y_t$ ) για δεδομένη τιμή  $\varphi$  (Excel)



Η εκτίμηση σε κάθε replication έγινε με τη Μέθοδο Μεγίστης Πιθανοφάνειας και από κάθε σειρά αντλήσαμε τις πραγματικές εκτιμήσεις της διακύμανσης  $\sigma_\varepsilon$  των σφαλμάτων, του σταθερού όρου  $\delta$  και του συντελεστή αυτοσυσχέτισης  $\varphi$ . Σε κάθε σειρά λήφθηκαν υπόψη τρία μεγέθη δείγματος ( $n = 25$ ,  $n = 50$  και  $n = 100$  παρατηρήσεις) με σκοπό να εξεταστεί αφενός το πως μεταβάλλεται η ευστάθεια των παραμέτρων και αφετέρου η εκτίμηση για τα μεγέθη που μας απασχολούν.

Έτσι, προέκυψαν για κάθε σειρά οι εκτιμήσεις των  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ ,  $\hat{\delta}$  και  $\hat{\varphi}$  άρα κατά προέκταση ο καινούριος μέσος, καθώς  $\hat{\mu} = \frac{\hat{\delta}}{1-\hat{\varphi}}$  για κάθε μέγεθος δείγματος ξεχωριστά.

T5	f <sub>ε</sub>															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	sample size = 25			sample size = 50			sample size = 100									
2	Replication	$\mu$	$\varphi$	$\sigma_\varepsilon$ -sq	Replication	$\mu$	$\varphi$	$\sigma_\varepsilon$ -sq	Replication	$\mu$	$\varphi$	$\sigma_\varepsilon$ -sq	Replication	$\mu$	$\varphi$	$\sigma_\varepsilon$ -sq
3	1	11.74779	-0.19428	6.965606	1	12.1766	0.068393	8.240987	1	12.50618	0.142772	8.134866	1	12.50618	0.142772	8.134866
4	2	11.80525	0.214269	6.250137	2	12.76861	0.399291	6.148529	2	13.07911	0.409884	7.028189	2	13.07911	0.409884	7.028189
5	3	12.98045	0.00774	10.14532	3	13.18139	0.002204	10.72821	3	12.81708	-0.03609	9.228565	3	12.81708	-0.03609	9.228565
6	4	12.02307	-0.02525	6.851365	4	11.80389	0.017108	10.59572	4	11.86907	-0.01147	9.763754	4	11.86907	-0.01147	9.763754
7	5	11.63641	0.398042	8.993659	5	12.13344	0.388566	6.626859	5	12.32663	0.201356	8.478835	5	12.32663	0.201356	8.478835
8	6	12.70347	0.247918	6.123456	6	12.80166	0.285564	8.626348	6	13.45931	0.286784	9.222782	6	13.45931	0.286784	9.222782
9	7	12.13699	0.181605	6.217094	7	12.55626	0.126486	8.208019	7	12.27265	0.217769	9.516709	7	12.27265	0.217769	9.516709
10	8	12.32914	0.018349	6.007064	8	12.2191	0.116448	6.133409	8	12.15764	0.222792	7.789802	8	12.15764	0.222792	7.789802
11	9	13.72723	-0.02464	9.59867	9	13.26995	-0.00633	8.520348	9	12.5478	-0.08222	9.84289	9	12.5478	-0.08222	9.84289
12	10	10.96492	0.296081	7.149418	10	11.94153	0.151915	11.04676	10	12.50889	0.203782	8.747875	10	12.50889	0.203782	8.747875
13	11	12.09901	0.173602	4.676184	11	12.22112	0.062781	6.927421	11	12.24311	0.196854	9.403279	11	12.24311	0.196854	9.403279
14	12	13.00491	0.038071	5.194009	12	12.25098	0.093362	7.638961	12	12.4488	0.251465	7.318152	12	12.4488	0.251465	7.318152
15	13	11.92848	0.364689	9.205988	13	12.03715	0.308581	9.468327	13	12.77426	0.17652	11.77344	13	12.77426	0.17652	11.77344
16	14	13.03605	0.191123	10.48793	14	13.42402	0.159716	8.431374	14	12.91977	0.228453	8.564034	14	12.91977	0.228453	8.564034
17	15	12.85015	-0.10105	4.67811	15	12.50854	0.263824	6.833296	15	12.59507	0.177742	8.490178	15	12.59507	0.177742	8.490178
18	16	14.04956	0.116409	11.76246	16	13.08444	0.124118	11.07318	16	12.68456	0.245342	9.551239	16	12.68456	0.245342	9.551239
19	17	13.16825	-0.10246	7.037319	17	12.61511	0.166652	10.03636	17	12.56663	0.249675	10.06517	17	12.56663	0.249675	10.06517
20	18	13.39361	-0.02372	15.03121	18	13.51228	0.149837	12.1256	18	13.10661	0.277539	9.238365	18	13.10661	0.277539	9.238365
21	19	13.179	0.395728	8.434932	19	12.91073	0.351196	8.452763	19	12.56598	0.128058	11.09467	19	12.56598	0.128058	11.09467
22	20	12.17848	0.113625	6.272644	20	11.88823	0.217767	8.389278	20	12.09282	0.229673	10.2874	20	12.09282	0.229673	10.2874
23	21	12.46277	0.504962	9.117322	21	12.0931	0.430734	7.786406	21	12.60376	0.283172	9.224242	21	12.60376	0.283172	9.224242
24	22	12.32113	-0.2444	8.250245	22	12.66383	0.019884	11.37122	22	12.83612	0.164835	10.1418	22	12.83612	0.164835	10.1418
25	23	13.27206	-0.08433	12.21985	23	12.20206	-0.00567	10.638	23	12.56247	0.068848	11.17605	23	12.56247	0.068848	11.17605
26	24	11.853	0.097339	5.879077	24	12.00831	0.459369	7.857703	24	12.48974	0.34722	9.139289	24	12.48974	0.34722	9.139289
27	25	14.43371	0.12	15.35423	25	12.94046	0.181874	18.40596	25	12.72665	0.193798	14.7598	25	12.72665	0.193798	14.7598
28	26	11.96188	0.415481	9.917317	26	12.65433	0.469625	9.871026	26	13.05292	0.377747	9.220994	26	13.05292	0.377747	9.220994
29	27	11.32468	0.187402	5.423208	27	12.46493	0.157229	7.676936	27	12.5149	0.149683	9.372407	27	12.5149	0.149683	9.372407
30	28	12.38728	0.181084	9.392685	28	13.37812	0.32884	9.411397	28	12.51694	0.256629	10.57073	28	12.51694	0.256629	10.57073
31	29	13.21673	-0.13407	6.952665	29	13.13013	0.25438	7.394352	29	12.72688	0.206261	7.573112	29	12.72688	0.206261	7.573112
32	30	12.05436	0.351702	7.837142	30	11.47316	0.433346	8.808968	30	11.94189	0.260574	8.846122	30	11.94189	0.260574	8.846122

Εικόνα 4.2 Τμήμα Φύλλου Excel - Ενδεικτικές Τιμές  $\hat{\mu}$ ,  $\hat{\varphi}$  και  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$  για τρία μεγέθη δείγματος και δεδομένη τιμή  $\varphi$

## 4.2 Εφαρμογή Μεθόδου Υπολογισμού Φαινομένου Bullwhip με Πρόβλεψη της Ζήτησης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αποδείχθηκε ότι ο τύπος υπολογισμού της έντασης του Φαινομένου Bullwhip έχει τη μορφή:

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

Στη συνέχεια πραγματοποιούνται δύο τρόποι υπολογισμού του, ο ένας με τις δεδομένες τιμές παραμέτρων που δόθηκαν, συγκεκριμένα στο συντελεστή  $\varphi$ , και ο άλλος με τις εκτιμήσεις που προέκυψαν έπειτα από τη διαδικασία της παλινδρόμησης.

Η άλλη παράμετρος που διαφοροποιείται είναι ο χρόνος παράδοσης τα παραγγελίας ( $L$ ), ένα μέγεθος που όπως αναλύθηκε και στα πρώτα κεφάλαια παίζει σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο Bullwhip. Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέξαμε να μελετήσουμε τις περιπτώσεις όπου  $L = 2, 4, 6$  και  $8$  ημέρες αντίστοιχα μέχρι να παραδοθεί μια παραγγελία. Ταυτόχρονα, θεωρείται πως όταν  $L = 0$ , δηλαδή η παραγγελία παραδίδεται άμεσα, δεν παρατηρείται το φαινόμενο και ισχύει  $\widehat{M}^2 = 1$ .

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τις τιμές παραμέτρων που δόθηκαν υπολογίστηκε το  $M^2$  για δείγματα  $n = 25, 50$  και  $100$  παρατηρήσεων και:

1)  $\varphi = 0.2, \mu = 12.5, \sigma_\varepsilon = 3$  όταν:

i.  $L = 2$

ii.  $L = 4$

iii.  $L = 6$

iv.  $L = 8$

2)  $\varphi = 0.5, \mu = 20, \sigma_\varepsilon = 3$  όταν:

v.  $L = 2$

vi.  $L = 4$

vii.  $L = 6$

viii.  $L = 8$

3)  $\varphi = 0.8, \mu = 50, \sigma_\varepsilon = 3$  όταν:

ix.  $L = 2$

x.  $L = 4$

xi.  $L = 6$

xii.  $L = 8$

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν τα  $\hat{M}^2$  που προέκυπταν από το Eviews και τις διαφορετικές τιμές του  $\hat{\phi}$ . Από τη στιγμή που για κάθε αναπαραγωγή στη βάση δεδομένων (Replication) προέκυπταν 1000 τιμές του  $\hat{\phi}$ , υπολογίστηκαν 1000 τιμές του  $\hat{M}^2$  αντιστοίχως.

sample size = 25				sample size = 50				sample size = 100						
Replication	$\mu$	$\phi$	$\sigma_{\hat{\phi}}$	estimates M	Replication	$\mu$	$\phi$	$\sigma_{\hat{\phi}}$	estimates M	Replication	$\mu$	$\phi$	$\sigma_{\hat{\phi}}$	estimates M
1	11.74779	-0.19428	6.955606	0.684633774	1	12.1766	0.068393	8.240987	0.853905995	1	12.50618	0.142772	8.134866	1.325362242
2	11.80525	0.214269	6.250137	1.515242213	2	12.76861	0.399291	6.148529	-0.04631016	2	13.07911	0.409884	7.028189	2.076189119
3	12.98045	0.00774	10.14532	1.015599082	3	13.18139	0.002204	10.72821	0.995582499	3	12.81708	-0.03609	9.228565	0.930414201
4	12.02307	-0.02525	6.851365	0.950765823	4	11.80389	0.017108	10.59572	0.965199575	4	11.86907	-0.01147	9.763754	0.977330124
5	11.63641	0.398042	8.993659	2.042771528	5	12.13344	0.388566	6.626859	-0.01579267	5	12.32663	0.201356	8.478835	1.479850785
6	12.70347	0.247918	6.123456	1.609334529	6	12.80166	0.285564	8.626348	0.282876672	6	13.45931	0.286784	9.222782	1.720650123
7	12.13699	0.181605	6.217094	1.426600978	7	12.55626	0.126486	8.208019	0.715806679	7	12.27265	0.217769	9.516709	1.524907773
8	12.32914	0.018349	10.007064	1.037371426	8	12.2191	0.116448	6.133409	0.740393155	8	12.15764	0.222792	7.789802	1.538831782
9	13.72723	-0.02464	9.59867	0.951940325	9	13.26995	-0.00633	8.520348	1.0125736	9	12.5478	-0.08222	9.84289	0.848952865
10	10.96492	0.296081	7.149418	1.747569708	10	11.94153	0.151915	11.04676	0.651239679	10	12.50889	0.203782	8.747875	1.486465883
11	12.09901	0.173602	4.676184	1.405348127	11	12.22112	0.062781	6.927421	0.866587715	11	12.24311	0.196854	9.403279	1.467616748
12	13.00491	0.038071	5.194009	1.079036723	12	12.25098	0.093362	7.638961	0.796009255	12	12.4488	0.251465	7.318152	1.619391134
13	11.92848	0.364689	9.205988	1.947095125	13	12.03715	0.308581	9.468327	0.216124248	13	12.77426	0.17652	11.77344	1.413073381
14	13.03605	0.191123	10.48793	1.45212343	14	13.42402	0.159716	8.431374	0.631058478	14	12.91977	0.228453	8.564034	1.554594526
15	12.85015	-0.10105	4.67811	0.818132816	15	12.50854	0.263824	6.833296	0.345392215	15	12.59507	0.177742	8.490178	1.416316278
16	14.04956	0.116409	11.76246	1.259509314	16	13.08444	0.124118	11.07318	0.72148577	16	12.68456	0.245342	9.551239	1.602044433
17	13.16825	-0.10246	7.037319	0.815880956	17	12.61511	0.166652	10.03636	0.612949458	17	12.56663	0.249675	10.06517	1.614312446
18	13.39361	-0.02372	15.03121	0.953685418	18	13.51228	0.149837	12.1256	0.656583872	18	13.10661	0.277539	9.238365	1.693972995
19	13.179	0.395728	8.434932	2.03620141	19	12.91073	0.351196	8.452763	0.092041927	19	12.56598	0.128058	11.09467	1.28830627
20	12.17848	0.113625	6.272644	1.252699775	20	11.88823	0.217767	8.389278	0.475098796	20	12.09282	0.229673	10.2874	1.558002695

Εικόνα 4.3 Τμήμα Φύλλου Excel -Εκτίμηση  $\hat{M}^2$  για διαφορετικά  $n$  και δεδομένη τιμή  $\phi$

Η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις περιπτώσεις των  $\phi, n$  και  $L$ . Κατόπιν, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των χιλίων  $\hat{M}^2$  της κάθε περίπτωσης και τέθηκε σε σύγκριση με το αντίστοιχο  $M^2$  που είχε υπολογιστεί, όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν.

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ $M^2$ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ $\phi, L$						
Μέγεθος Δείγματος $n=25$	Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης	Χρόνος Παράδοσης (L)				
		L=0	L=2	L=4	L=6	L=8
		$\phi=0.2$	1	1.355698	1.430353	1.450037
Πραγματικό M ( $\phi=0.2$ )	1	1.47616	1.49904	1.499962	1.499998	
$\phi=0.5$	1	1.986443	2.398094	2.566025	2.641827	
Πραγματικό M ( $\phi=0.5$ )	1	2.3125	2.816406	2.953369	2.988297	
$\phi=0.8$	1	2.33612	3.497578	4.324013	4.902678	
Πραγματικό M ( $\phi=0.8$ )	1	2.40544	4.175502	5.664931	6.764225	

Πίνακας 4.1 Τιμές του  $M^2$  για Διαφορετικά  $\phi$  και  $L$ , όταν  $n = 25$



ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ $M$ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ $\phi, L$						
Μέγεθος Δείγματος $n=50$	Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης	Χρόνος Παράδοσης (L)				
		L=0	L=2	L=4	L=6	L=8
	$\phi=0.2$	1	1.428799	1.485142	1.49563	1.498705
	Πραγματικό M ( $\phi=0.2$ )	1	1.47616	1.49904	1.499962	1.499998
	$\phi=0.5$	1	2.156072	2.621908	2.789458	2.854983
	Πραγματικό M ( $\phi=0.5$ )	1	2.3125	2.816406	2.953369	2.988297
	$\phi=0.8$	1	2.41716	3.866195	4.961667	5.740516
	Πραγματικό M ( $\phi=0.8$ )	1	2.40544	4.175502	5.664931	6.764225

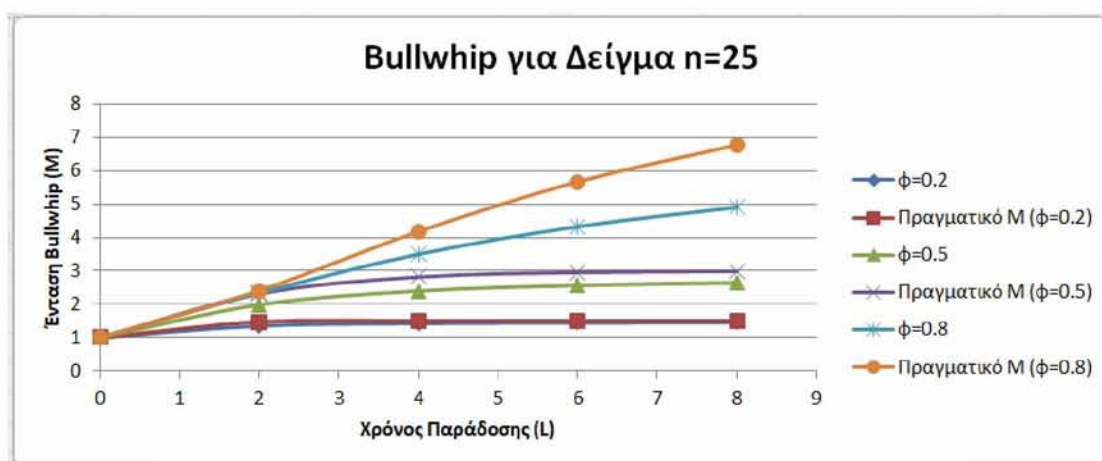
Πίνακας 4.2 Τιμές του  $M^2$  για Διαφορετικά  $\phi$  και  $L$ , όταν  $n = 50$

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ $M^2$ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ $\phi, L$						
Μέγεθος Δείγματος $n=100$	Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης	Χρόνος Παράδοσης (L)				
		L=0	L=2	L=4	L=6	L=8
	$\phi=0.2$	1	1.44276	1.478652	1.482247	1.482739
	Πραγματικό M ( $\phi=0.2$ )	1	1.47616	1.49904	1.499962	1.499998
	$\phi=0.5$	1	2.228569	2.704513	2.853713	2.902173
	Πραγματικό M ( $\phi=0.5$ )	1	2.3125	2.816406	2.953369	2.988297
	$\phi=0.8$	1	2.426336	4.027802	5.290216	6.19778
	Πραγματικό M ( $\phi=0.8$ )	1	2.40544	4.175502	5.664931	6.764225

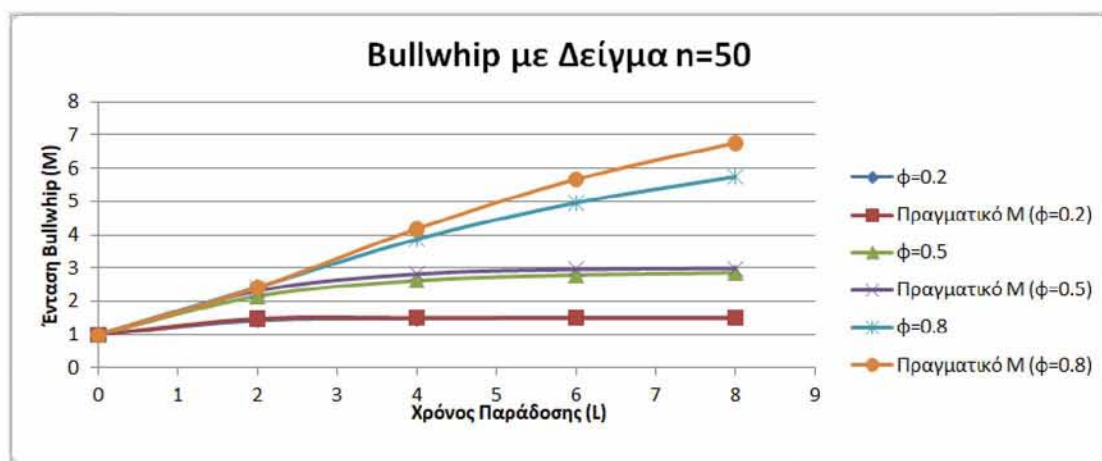
Πίνακας 4.3 Τιμές του  $M^2$  για Διαφορετικά  $\phi$  και  $L$ , όταν  $n = 100$

### 4.3 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

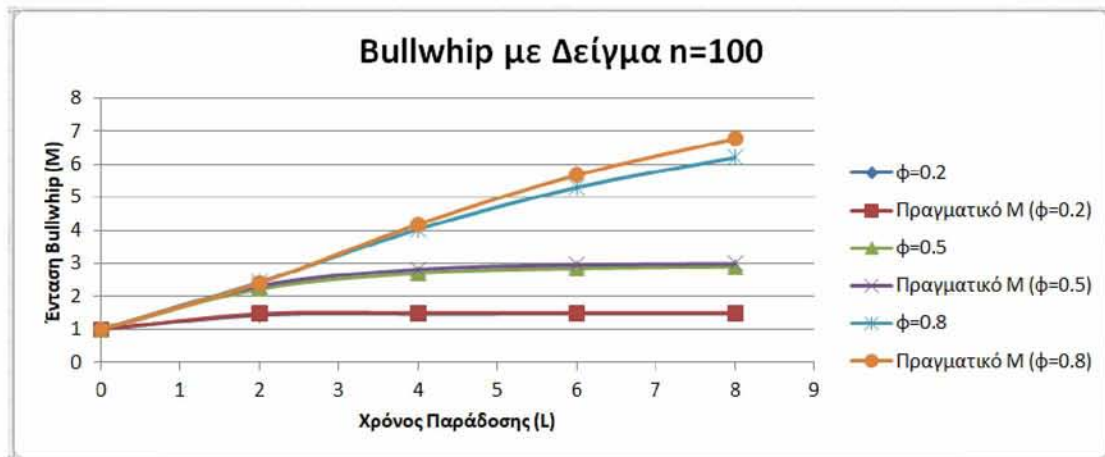
Για να οπτικοποιηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα, αντλήθηκαν τα στοιχεία από τους ανωτέρω Πίνακες και κατασκευάστηκαν τα επόμενα διαγράμματα. Σε αυτά απεικονίζεται ο τρόπος που μεταβάλλεται η ένταση του φαινομένου Bullwhip ανάλογα με το βαθμό αυτοσυσχέτισης και το χρόνο παράδοσης μιας παραγγελίας.



Διάγραμμα 4.1 Η Ένταση Φαινομένου Bullwhip για Διαφορετικά  $\phi$  και  $L$ , όταν  $n = 25$



Διάγραμμα 4.2 Η Ένταση Φαινομένου Bullwhip για Διαφορετικά  $\phi$  και  $L$ , όταν  $n = 50$



Διάγραμμα 4.3 Η Ένταση Φαινομένου Bullwhip για Διαφορετικά  $\varphi$  και  $L$ , όταν  $n = 100$

Η ανάγνωση των διαγραμμάτων μας επιτρέπει να διατυπώσουμε κάποια συμπεράσματα. Συγκεκριμένα:

- Εύκολα διακρίνουμε πως όσο το δείγμα των παρατηρήσεων αυξάνεται, η απόκλιση ανάμεσα στις εκτιμήσεις που κάνουμε και το τι συμβαίνει στην πραγματικότητα ελαχιστοποιείται.
- Όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός αυτοσυσχέτισης στη ζήτηση, το φαινόμενο Bullwhip γίνεται εντονότερο.
- Για τις περιπτώσεις που έχουμε χαμηλή αυτοσυσχέτιση ( $\varphi=0.2$ ) ο χρόνος παράδοσης μιας παραγγελίας ( $L$ ) δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο καθώς το φαινόμενο είναι αρκετά χαμηλής έντασης, είτε αυτό αφορά την πραγματική τιμή είτε τις εκτιμήσεις που σχεδόν ταυτίζονται. Όταν η αυτοσυσχέτιση είναι μεσαία ( $\varphi=0.5$ ) το φαινόμενο δείχνει αυξητικές τάσεις μέχρι την τέταρτη μέρα και στη συνέχεια σταθεροποιείται ομαλά, ωστόσο η έντασή του είναι σχεδόν διπλάσια από την προηγούμενη περίπτωση. Για υψηλή αυτοσυσχέτιση, ο χρόνος παράδοσης λειτουργεί ενισχυτικά στο Bullwhip Effect και όσο το  $L$  μεγαλώνει, το φαινόμενο αυξάνεται. Οι τιμές στην τελευταία περίπτωση είναι αξιοσημείωτα υψηλότερες από τις προηγούμενες.

Για να αξιολογηθούν καλύτερα οι εκτιμήσεις που πραγματοποιήσαμε, προχωρήσαμε σε διερεύνηση της εκτίμησης κινδύνου των αποτελεσμάτων. Η διαφορά που προκύπτει ανάμεσα στην εκτίμηση που έγινε και των τιμών που παίρνει όντως το  $M^2$  μετατράπηκαν σε



ποσοστά με τον τύπο:  $\frac{E(\hat{M}^2)-M^2}{M^2}$  βγάζοντας τον μέσο όρο χιλίων  $\hat{M}^2$  για κάθε σειρά ξεχωριστά.

Ακολούθως παρουσιάζονται τρεις πίνακες, αναφορικά με το βαθμό που επηρεάζεται η εκτίμηση κινδύνου, στις προβλέψεις που επιχειρήσαμε, ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος που εξετάζεται και τι ρόλο παίζει ο χρόνος παράδοσης της παραγγελίας σε αυτό.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ n,L					
Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης $\varphi=0.2$	Μέγεθος Δείγματος	Χρονος Παράδοσης (L)			
		L=2	L=4	L=6	L=8
	n=25		-8.16%	-4.58%	-3.33%
n=50		-3.21%	-0.93%	-0.29%	-0.09%
n=100		-2.26%	-1.36%	-1.18%	-1.15%

Πίνακας 4.4 Estimation Risk για  $\varphi = 0.2$

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ n,L					
Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης $\varphi=0.5$	Μέγεθος Δείγματος	Χρονος Παράδοσης (L)			
		L=2	L=4	L=6	L=8
	n=25		-14.10%	-14.85%	-13.12%
n=50		-6.76%	-6.91%	-5.55%	-4.46%
n=100		-3.63%	-3.97%	-3.37%	-2.88%

Πίνακας 4.5 Estimation Risk για  $\varphi = 0.5$

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ n,L					
Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης $\varphi=0.8$	Μέγεθος Δείγματος	Χρονος Παράδοσης (L)			
		L=2	L=4	L=6	L=8
	n=25		-2.88%	-16.24%	-23.67%
n=50		0.49%	-7.41%	-12.41%	-15.13%
n=100		0.87%	-3.54%	-6.61%	-8.37%

Πίνακας 4.6 Estimation Risk για  $\varphi = 0.8$

Όπως θα δούμε και στα παρακάτω διαγράμματα, παρατηρείται αρκετή διαφοροποίηση στις εκτιμήσεις που επιχειρούνται αναλόγως με το βαθμό αυτοσυσχέτισης της ζήτησης και τις ημέρες παράδοσης που απαιτούνται. Πιο συγκεκριμένα:

- Όταν η αυτοσυσχέτιση είναι χαμηλή ( $\phi=0.2$ ), οι εκτιμήσεις που κάνουμε έχουν μεγαλύτερη απόκλιση όταν ο χρόνος παράδοσης είναι μικρός. Όπως είναι φυσικό, όταν το δείγμα μας είναι μικρό ( $n=25$ ) μπορεί να παρατηρηθεί έως και 8% απόκλιση με αυτό που πραγματοποιείται, ενώ όσο το δείγμα αυξάνεται τα αποτελέσματα βελτιώνονται αισθητά. Παρ' όλα αυτά, επειδή οι τιμές που παίρνει το M σε αυτή την περίπτωση κινούνται κατά κύριο λόγο κοντά στο 1,5 οι ποσοστιαίες αποκλίσεις μας μεταφράζονται σε μικρές αριθμητικές τιμές.

Όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα που περιμένουμε την παραγγελία η εκτίμηση για την ένταση του φαινομένου Bullwhip αγγίζει την πραγματικότητα.



Διάγραμμα 4.4 Εκτίμηση Κινδύνου για φαινόμενο Bullwhip όταν  $\phi=0.2$

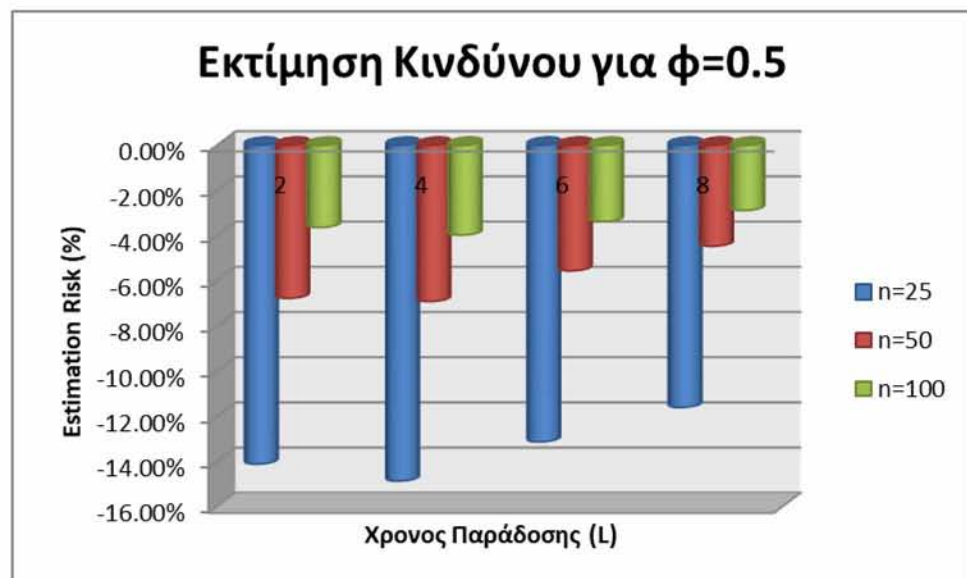
Παρατηρούμε πως τα ποσοστά που εμφανίζονται είναι αρνητικά, γεγονός που μας δείχνει ότι οι προσεγγίσεις που γίνονται υποεκτιμούν το φαινόμενο και στην πραγματικότητα είναι πιο αισθητό από όσο προβλέφθηκε. Σε κάθε περίπτωση, τα ποσοστά λάθους παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα ενώ η μεροληψία του δείγματος είναι αποδεκτή, όσο

μεγαλώνει το  $n$  εκείνη πλησιάζει στο μηδέν και κινείται σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης $\varphi=0.2$	Μέγεθος Δείγματος	Μεροληψία	
		$\hat{\varphi}$	$\hat{\sigma}_\varepsilon$
	n=25	-0.0681	-0.09986
	n=50	-0.0272	-0.03317
	n=100	-0.0170	-0.01034

Πίνακας 4.7 Μεροληψία  $\hat{\varphi}$  και  $\hat{\sigma}_\varepsilon$  για  $\varphi=0.2$

- Στην περίπτωση που υπάρχει μεσαία αυτοσυσχέτιση ( $\varphi=0.5$ ), παρατηρούμε πως το Estimation Risk δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τον χρόνο που χρειάζεται για να παραδοθεί μια παραγγελία και όσο αυτός αυξάνεται η εκτίμηση υφίσταται ελαφρές αυξομειώσεις παραμένοντας στα ίδια περίπου επίπεδα. Τα ποσοστά είναι μεγαλύτερα σε απόλυτο αριθμό από την προηγούμενη περίπτωση που αναφέρθηκε και ο μόνος παράγοντας που βελτιώνει την ακρίβειά μας είναι η αύξηση του μεγέθους του δείγματος.



Διάγραμμα 4.5 Εκτίμηση Κινδύνου για φαινόμενο Bullwhip όταν  $\varphi=0.5$

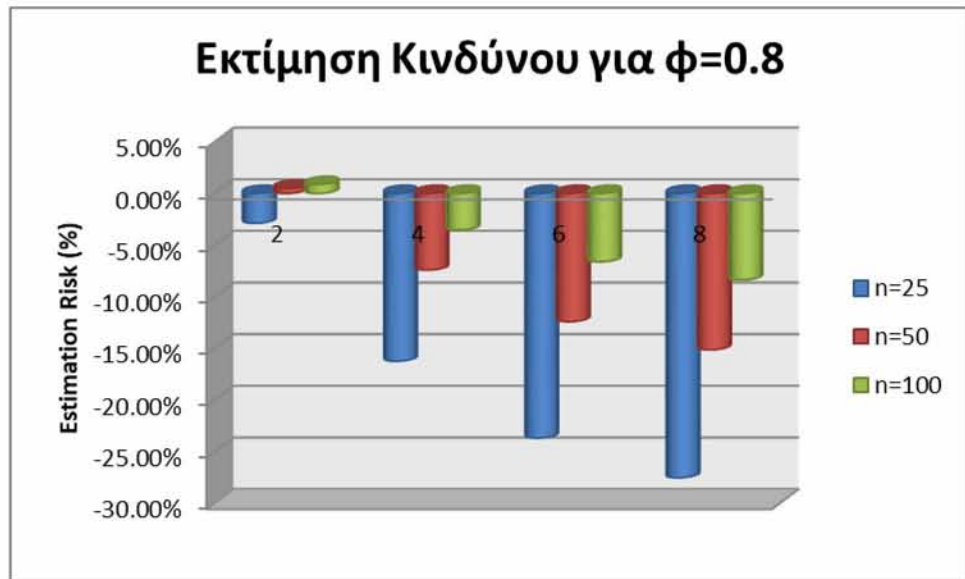
Αν ληφθεί υπόψη ότι η ένταση  $M$  του φαινομένου είναι μεγαλύτερη από πριν, η αύξηση στις αποκλίσεις είναι σχετικά αναμενόμενη. Και σε αυτή την περίπτωση, φαίνεται πως υπάρχει υποεκτίμηση του φαινομένου Bullwhip

διότι οι εκτιμήσεις μας κινούνται χαμηλότερα από την πραγματικότητα όπως υποδεικνύει το αρνητικό πρόσημο. Σε ό,τι αφορά την αξιοπιστία του δείγματος είναι και πάλι ικανοποιητική, ενώ όσο πιο μεγάλο είναι το δείγμα που λαμβάνεται τόσο μικραίνει η μεροληψία σε απόλυτους αριθμούς.

Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης $\varphi=0.5$	Μέγεθος Δείγματος	Μεροληψία	
		$\hat{\varphi}$	$\hat{\sigma}_\varepsilon$
	n=25	-0.1047	-0.10747
	n=50	-0.0449	-0.03699
	n=100	-0.0247	-0.01296

Πίνακας 4.8 Μεροληψία  $\hat{\varphi}$  και  $\hat{\sigma}_\varepsilon$  για  $\varphi=0.5$

- Για συνθήκες όπου η αυτοσυσχέτιση είναι υψηλή ( $\varphi=0.8$ ), τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται από τις προηγούμενες δύο περιπτώσεις που ερευνηθήκαν. Ειδικότερα, όπως γίνεται αντιληπτό κι από το διάγραμμα, ο χρόνος παράδοσης της παραγγελίας λειτουργεί επιβαρυντικά σε αυτή την περίπτωση. Παρά το γεγονός ότι ακόμα και με μικρό δείγμα ( $n=25$ ) στις δυο ημέρες ( $L=2$ ) οι εκτιμήσεις μας είναι αρκετά ικανοποιητικές, στη συνέχεια οι αποκλίσεις με την πραγματικότητα αυξάνονται εμφανώς και όσο μεγαλώνει ο χρόνος παράδοσης η απόκλιση διευρύνεται. Γνωρίζοντας ότι η ένταση του φαινομένου για  $\varphi=0.8$  είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο περιπτώσεις αναμένεται μεγαλύτερη δυσκολία στη διενέργεια πρόβλεψης, η οποία αγγίζει το 27,5% σε απόκλιση για μικρό δείγμα στις 8 ημέρες παράδοσης. Αυξάνοντας το δείγμα, ωστόσο βλέπουμε ότι οι αποκλίσεις εξομαλύνονται και σχεδόν υποδιπλασιάζονται.



Διάγραμμα 4.6 Εκτίμηση Κινδύνου για φαινόμενο Bullwhip όταν  $\phi=0.8$

Παρά τα υψηλά ποσοστά στην εκτίμηση κινδύνου, σημειώνεται πως μόνο σε αυτή την περίπτωση παρουσιάστηκαν θετικά ποσοστά που δείχνουν πως το φαινόμενο δεν υποεκτιμάται (μόνο για  $L=2$ ). Η πιθανοφάνεια του δείγματος είναι ικανοποιητική καθώς η μεροληψία είναι μικρή και όσο αυξάνεται το δείγμα αυτή προσεγγίζει το μηδέν.

Συντελεστής Αυτοσυσχέτισης $\phi=0.8$	Μέγεθος Δείγματος	Μεροληψία	
		$\hat{\phi}$	$\hat{\sigma}_\epsilon$
	n=25	-0.1454	-0.11273
	n=50	-0.0674	-0.03976
	n=100	-0.0344	-0.01546

Πίνακας 4.9 Μεροληψία  $\hat{\phi}$  και  $\hat{\sigma}_\epsilon$  για  $\phi=0.8$

Συνοψίζοντας, από τα προηγούμενα διαγράμματα και την κατηγοριοποίηση που επιλέχθηκε για την παρουσίαση των ευρημάτων διακρίνεται το μοτίβο που ακολουθούν το φαινόμενο Bullwhip και οι εκτιμήσεις μας στην κάθε περίπτωση.

Αξίζει να σταθούμε στην τάση που έχει το φαινόμενο να είναι πιο αισθητό, όσο αυξάνεται η αυτοσυσχέτιση στη ζήτηση. Επίσης, είναι εμφανής η τάση εξομάλυνσης των εκτιμήσεων που γίνονται όσο αυξάνεται το δείγμα που λαμβάνουμε υπόψη.

Ο χρόνος παράδοσης της παραγγελίας, παρά το γεγονός ότι δεν εμφανίζεται ως περιοριστικός παράγοντας του φαινομένου σε κάποια από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, δεν επηρεάζει κάθε φορά με τον ίδιο τρόπο τις εκτιμήσεις μας. Αν συναρτηθεί με το συντελεστή αυτοσυσχέτισης στην πραγματικότητα αυξάνει το φαινόμενο, ωστόσο για χαμηλές τιμές του  $\phi$  που η ένταση είναι από μόνη της χαμηλή ο χρόνος  $L$  επεμβαίνει θετικά στις εκτιμήσεις.

Οι μεροληψίες των  $\hat{\phi}$  και  $\hat{\sigma}_\varepsilon$  λήφθηκαν υπόψη για λόγους αξιοπιστίας του δείγματος και της διαδικασίας και υπολογίστηκαν με την αφαίρεση των  $\phi$  και  $\sigma_\varepsilon$  αντίστοιχα από το μέσο όρο των εκτιμήσεών τους:

- $E(\hat{\phi}) - \phi$
- $E(\hat{\sigma}_\varepsilon) - \sigma_\varepsilon$

Η γενική εικόνα των ευρημάτων συγκλίνει σε μεγάλο βαθμό με τα συμπεράσματα που εξάγει ο Zhang στη δική του έρευνα και επαληθεύει την πρόταση πως το να μειωθεί ο χρόνος παράδοσης είναι σημαντικότερο όταν ο βαθμός αυτοσυσχέτισης γίνεται μεγαλύτερος ή ίσος του 0.5. Από τη στιγμή που έχει υιοθετηθεί η πολιτική ΟΥΤ και τα κόστη παραγγελίας δεν επηρεάζουν τη διαδικασία, η αύξηση της συχνότητας παράδοσης –οπότε και παραγγελίας– είναι θεμιτή σε αυτές τις περιπτώσεις.



## 5. Σύνοψη Εργασίας και Περιθώρια Περαιτέρω Έρευνας

Στην οικονομία οι επιχειρήσεις, εκτός από μονάδες που έχουν δικούς τους στόχους, αποτελούν μέλη συστημάτων που αλληλεπιδρούν, συνεργάζονται με άλλες μονάδες αποτελώντας κρίκους της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Ο τρόπος που λειτουργεί η αλυσίδα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία της ίδιας της επιχείρησης.

Η πρόβλεψη της ζήτησης μέσα σε ένα τέτοιο σύστημα είναι ρυθμιστικός παράγοντας και αποτελεί πεδίο ευρύτατης έρευνας. Η ζήτηση μας οδηγεί σε έναν επίσης σημαντικό παράγοντα της αλυσίδας, την Πολιτική Αποθεματοποίησης που επιλέγεται για την εξυπηρέτηση των πελατών κάθε επιπέδου. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το παράδειγμα αλυσίδας δύο επιπέδων και θεωρήθηκε ότι η ζήτηση ακολουθεί αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα πρώτου βαθμού [AR(1)]. Για τη διαχείριση των αποθεμάτων εφαρμόστηκε η πολιτική Order-Up-To Level και υπό αυτό το πρίσμα αποδείχθηκαν μαθηματικοί τύποι που εμφανίζονται σε έρευνα του Zhang (2004), οι οποίοι προσδιορίζουν την ποσότητα παραγγελίας και την ένταση του φαινομένου Bullwhip στο σύστημα δύο επιπέδων.

Εφ' όσον τα μεγέθη που ερευνώνται εκφράζονται σε απλοποιημένη αλγεβρικά μορφή, συναρτήσει του συντελεστή αυτοσυσχέτισης και του χρόνου παράδοσης μιας παραγγελίας διενεργήθηκαν προσομοιώσεις με σκοπό την αξιολόγηση του ρόλου κάθε παράγοντα της διαδικασίας στις εκτιμήσεις που επιχειρήσαμε, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ανακεφαλαιώνοντας τα ευρήματα, βλέπουμε πόσο διαφορετικά ανταποκρίνεται ένα σύστημα αλυσίδας εφοδιασμού δύο επιπέδων ανάλογα με το βαθμό αυτοσυσχέτισης της ζήτησης. Σε συνθήκες τυχαίας ζήτησης όταν η αυτοσυσχέτιση είναι χαμηλή, φαίνεται πως το σύστημα ανταποκρίνεται επιθυμητά και η διακύμανση στη ζήτηση είναι περιορισμένη με αποτέλεσμα να διατηρείται το φαινόμενο Bullwhip σε ύφεση.

Δεν συμβαίνει το ίδιο για τις περιπτώσεις που η αυτοσυσχέτιση μεγαλώνει. Εκεί το σύστημα δεν προσαρμόζεται το ίδιο καλά, με αποτέλεσμα το φαινόμενο να είναι έντονα αισθητό.

Ένα άλλο βασικό εύρημα των δοκιμών, είναι το πόσο διαφορετικό ρόλο παίζει ο χρόνος αναμονής μιας παραγγελίας. Από ότι φάνηκε, στις περιπτώσεις χαμηλής αυτοσυσχέτισης όπου το φαινόμενο είναι ασθενές, θα λέγαμε πως ο χρόνος παράδοσης δρα ελαφρώς εξισορροπητικά. Σε γενικές γραμμές, δεν επηρεάζει ούτε το Bullwhip ούτε τις εκτιμήσεις μας. Αντιθέτως, όσο μεγαλώνει η αυτοσυσχέτιση και κατά συνέπεια η ένταση του φαινομένου, οι εκτιμήσεις δυσχεραίνουν όσο αυξάνεται ο χρόνος παράδοσης. Από τη στιγμή που οι ιδιότητες της ΟΥΤ πολιτικής το επιτρέπουν από άποψη κόστους, η λύση βρίσκεται στην αύξηση της συχνότητας παραγγελιών-παραδόσεων.

Σε κάθε περίπτωση, όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα ( $n$ ) τόσο εξομαλύνονται οι αποκλίσεις στις εκτιμήσεις μας. Σχεδόν σε όλες τις δοκιμές κάθε φορά που διπλασιάζεται το δείγμα, οι αποκλίσεις μειώνονται κοντά στο μισό. Ωστόσο, μόνο σε μία περίπτωση εμφανίζεται θετικό ποσοστό στην εκτίμηση κινδύνου. Αυτό σημαίνει πως η μεθοδολογία προσέγγισης του ζητήματος, παρά την ευστοχία της σε πολλά σημεία, σε γενικές γραμμές υποεκτιμά ως ένα βαθμό το Bullwhip Effect.

Όσον αφορά τις τεχνικές παραμέτρους του μοντέλου, σημειώνεται πως το δείγμα που λήφθηκε υπόψη στα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν εμφανίζει μικρή μεροληψία, γεγονός που το καθιστά αξιόπιστο και μας επιτρέπει να εξάγουμε ασφαλή αποτελέσματα. Οι τιμές της είναι αρνητικές, γεγονός που οδηγεί σε περαιτέρω υποεκτίμηση.

Από εκεί και πέρα, είναι στο χέρι του αναγνώστη αν θελήσει να εφαρμόσει τη συγκεκριμένη μεθοδολογία να αποφασίσει ποια περίπτωση αποθεματοποίησης, ζήτησης ή ποιο χρόνο παράδοσης καλείται να αντιμετωπίσει για να προσαρμόσει τις δικές του εκτιμήσεις.

Όπως είναι φυσικό, δεν υπάρχει μοντέλο που να περιγράφει αλάνθαστα όλα τα παραδείγματα ζήτησης στην πραγματική οικονομία, ούτε η ίδια προτεινόμενη πολιτική αποθεματοποίησης για όλες τις περιπτώσεις. Στην έρευνά μας κάναμε κάποιες παραδοχές που αντιπροσωπεύουν συστήματα με συγκεκριμένες προδιαγραφές. Στις περιπτώσεις που οι εκτιμήσεις δεν κρίνονται ικανοποιητικές θα μπορούσε να ερευνηθεί η εφαρμογή κάποιας άλλης πολιτικής διαχείρισης αποθεμάτων που να προσαρμόζεται ομαλότερα στην αντιμετώπιση της ζήτησης.

Αν πάμε ακόμα ένα βήμα πιο πίσω, θα μπορούσε σε περαιτέρω έρευνα να θεωρηθεί πως η ζήτηση ακολουθεί υπόδειγμα κινητού μέσου (Moving Average ή MA), ή

συνδυασμό αυτοπαλίνδρομου και κινητού μέσου (ARMA, ARIMA). Επίσης, σε άλλες περιπτώσεις ενδείκνυνται διαφορετικές πολιτικές διαχείρισης αποθεμάτων, ανάλογα με τον τρόπο που διαμορφώνονται τα σταθερά αλλά και τα μεταβλητά κόστη λειτουργίας. Η μελέτη συστημάτων πολλών επιπέδων (multi-echelon) αν και πολύπλοκη, αποτελεί το ζητούμενο της εξέλιξης της έρευνας.

## Βιβλιογραφία

1. Ali M.M., Syntetos A. et al. "Forecast errors and inventory performance under forecast information sharing." *International Journal of Forecasting* (2011).
2. Anderson D. H. Lee, "Synchronized Supply Chains: The New Frontier," in *Achieving Supply Chain Excellence through Technology*, Vol. 1, edited by D. Anderson, Montgomery Research, Inc., 12.20 (1999).
3. Axsäter S. "Inventory Control." *International Series in Operations Research & Management Science* 225, Third Edition (2015).
4. Axsäter S. "Optimization of order-up-to-s policies in two-echelon inventory systems with periodic review." *Naval Research Logistics* 40-2 (1993): 245–253.
5. Babai M.Z. , J.E.Boylan , A.A.Syntetos et al. "Reduction of the value of information sharing as demand becomes strongly auto-correlated." *International Journal of Production Economics* 181 (2016): 130–135.
6. Babai M.Z. et al. "Forecasting and inventory performance in a two-stage supply chain with ARIMA (0,1,1) demand: Theory and empirical analysis." *International Journal of Production Economics* 143 (2013): 463–471.
7. Barlas Y. , B. Gunduz. "Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and the bullwhip effect in supply chains." *Journal of the Operational Research Society* 62.3 (2011): 458–473.
8. Bischak D.P. , D.J. Robb, et al. "Analysis and Management of Periodic Review, Order-Up-To Level Inventory Systems with Order Crossover." *Production and Operations Management* 23.5 (2014): 762–772.
9. Cachon G.P. , Christian Terwiesch. "Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management." McGraw Hill, 2011.
10. Cachon G.P. et al. "In Search of the Bullwhip Effect." *Manufacturing and Service Operations Management* 9-6 (2007): 457-479.
11. Chandra C., J.Grabis. "Application of multi-steps forecasting for restraining the bullwhip effect and improving inventory performance under autoregressive demand." *European Journal of Operational Research* 166.2 (2005) : 337-350.

12. Chatfield D.C., J.G. Kim, et al. "The Bullwhip Effect—Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality, and Information Sharing: A Simulation Study." *Production and Operations Management* 13.4 (2004): 340-353.
13. Chatfield D.C., T.P. Harrison et al. "SISCO: a supply chain simulation tool utilizing Silk/sup TM/ and XML." *Simulation Conference*, 2001. *Proceedings of the Winter* (2001).
14. Chen F. 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.
15. Chen F., Z. Drezner, et al. "Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information." *Management Science* 46.3 (2000): 436-443.
16. Chen Y.F. , S.M. Disney. "The myopic Order-Up-To policy with a proportional feedback controller." *International Journal of Production Research* 45.2 (2007): 351-368.
17. Ciancimino E., S.Cannella et al. "On the Bullwhip Avoidance Phase: The Synchronized Supply Chain." *European Journal of Operational Research* 221.1 (2012): 49-63.
18. Croson R. , K. Donohue. "Behavioral Causes of the Bullwhip Effect and the Observed Value of Inventory Information." *Management Science* 52-3 (2006) : 323-336.
19. Croson R., Karen Donohue. "Upstream versus downstream information and its impact on the bullwhip effect." *System Dynamics Review* 21-3 (2005): 249-260.
20. Dejonckheere J. , S.M. Disney et al. "The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective." *European Journal of Operational Research* 153.3 (2004): 727-750.
21. Dejonckheere J. , S.M.Disney, et al. "Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach." *European Journal of Operational Research* 147.3 (2003): 567-590.
22. Disney S.M. , D.R. Towill. "Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain." *International Journal of Operations & Production Management* 23.6 (2003): 625-651.
23. Disney S.M. , D.R.Towill. "On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy." *Omega* 31-3 (2003): 157-167.

24. Disney S.M., I.Farasyn et al. "Taming the bullwhip effect whilst watching customer service in a single supply chain echelon." *European Journal of Operational Research* 173-1 (2006) : 151-172.
25. Ellram L. , M. Cooper "Characteristics of supply chain management and the implications for purchasing and logistics strategy", *International Journal of Logistics Management* 4.2(1993): 1-10.
26. Gaalman G. "Bullwhip reduction for ARMA demand: The proportional order-up-to policy versus the full-state-feedback policy." *Automatica* 42.8 (2006): 1283-1290.
27. Hale, B.J., 1999. "Logistics perspectives for the new millennium." *Journal of Business Logistics* 20 (1), 5}7.
28. Hamister J.W., N.C.Suresh. "The impact of pricing policy on sales variability in a supermarket retail context." *International Journal of Production Economics* 111.2 (2008): 441-455.
29. Handfield R.B. , Ernest L. Nichols (1999). "Introduction to Supply Chain Management. New York: Prentice-Hall. p. 2.
30. Harvey A. C. "Time Series Models." MIT Press (1993)
31. Hosoda T., S. M. Disney. " On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting." *OMEGA: The International Journal of Management Science* 34 (2006): 344–358.
32. Houlihan J.B., 1988. "International supply chains: a new approach. *Management Decision:*" *Quarterly Review of Management Technology* 26 (3), 13}19.
33. Janssen F. et al. "Philips Electronics Synchronizes Its Supply Chain to End the Bullwhip Effect." *Interfaces* 35.1 (2005): 37-48.
34. Keah Choon Tan, 2001. " A framework of supply chain management literature." *European Journal of Purchasing & Supply Management* 7 (2001) 39-48
35. Kevork I.S. "Estimating the optimal order quantity and the maximum expected profit for single-period inventory decisions." *Omega* 38 (2010): 218–227.
36. Lee H.L., V Padmanabhan; Seungjin Whang . " The bullwhip effect in supply chains." *MIT Sloan Management Review*, 38.3 (1997): 93.
37. Lummus R.R. , Robert J. Vokurka. "Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines." *Industrial Management & Data Systems* 99.1 (1999): 11-17.



38. Lummus, R.R., Alber, K.L., "Supply Chain Management: Balancing the Supply Chain with Customer Demand", The Educational and Resource Foundation of APICS, Falls Church, VA (1997).
39. Luong H.T. . "Measure of bullwhip effect in supply chains with autoregressive demand process." *European Journal of Operational Research* 180.3 (2007): 1086-1097.
40. Luong H.T. , N.H. Phien. "Measure of bullwhip effect in supply chains: The case of high order autoregressive demand process." *European Journal of Operational Research* 183.1 (2007): 197-209.
41. Machuca J. , R. Barajas. "The impacts of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 40.3 (2001): 209-228.
42. Makridakis S. G. "Forecasting Methods and Applications." *Wiley Series in Probability and Statistics* (1997).
43. McCullen P., Denis Towill. "Diagnosis and reduction of bullwhip in supply chains." *Supply Chain Management: An International Journal* 7-3 (2002) : 164-179.
44. Metters R. . "Quantifying the bullwhip effect in supply chains." *Science Direct* 15.2 (1997): 89-100.
45. Mische M., 1992. EDI in the EC: easier said than done. *The Journal of European Business* 4 (2), 19}22
46. Monczka R.M., J. Morgan."What's wrong with supply chain management?", *Purchasing* 122.1 (1997): 69-73.
47. Montgomery D.C. et al. "Introduction to Time Series Analysis and Forecasting" *Wiley Series in Probability and Statistics, Second Edition* (2015).
48. Quinn, F.J., 1997, "What's the buzz?", *Logistics Management* 36.2 (1997): 43-7.
49. Shan J., S.Yang, et al. "An Empirical Study of the Bullwhip Effect in China." *Production And Operations Mangement* 23.4 (2013): 537-551.
50. Silver et al. " *Inventory and Production Management in Supply Chains. Fourth Edition*" *CRC Press* 2017.
51. Sucky E. "The bullwhip effect in supply chains—An overestimated problem?". *International Journal of Production Economics* 118.1 (2009): 311-322.
52. Sun HX. , YT Ren. "The Impact of Forecasting Methods on Bullwhip Effect in Supply Chain Management." *Engineering Management Conference*, 2005.

53. Syntetos A.A. , R.H.Teunter et al. “ Determining order-up-to levels under periodic review for compound binomial (intermittent) demand.” *European Journal of Operational Research* 203.3 (2010): 619-624.
54. The Supply Chain Council, 1997, <http://www.supply-chain.com/info/faq.html>.
55. Wang S.J., C.T. Huang et al. “Incorporating ARIMA forecasting and service-level based replenishment in RFID-enabled supply chain.” *International Journal of Production Research* 48.9 (2010): 2655-2677.
56. Yu Z. , Yan H. et al. “Benefits of information sharing with supply chain partnerships.” *Industrial Management & Data Systems* 101.3 (2001): 114-119.
57. Zhang X. “The impact of forecasting methods on the bullwhip effect.” *International Journal of Production Economics* 88 (2004): 15-27