



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*«Έλεγχος Αποθεμάτων με Αβέβαιη Ζήτηση & Μελέτη της Περίπτωσης  
Επιστροφής Προϊόντων από Αλυσίδα Καταστημάτων Λιανικής Πώλησης»*

**ΜΑΡΙΑ-ΜΑΡΚΕΛΛΑ ΔΑΛΑΒΑΓΚΑ**

**Τριμελής Επιτροπή**

Καρώνη Χ., Καθηγήτρια ΕΜΠ  
Κοκκίνης Β., Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ  
Κολέτσος Ι., Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ (Επιβλέπων)

**Αθήνα, Οκτώβριος 2018**



---

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος των τυπικών απαιτήσεων για την απόκτηση του πτυχίου από τη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών (ΣΕΜΦΕ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Για την ακρίβεια, πρόκειται για την πιο πλήρη εργασία που έχω κληθεί να κάνω στα πλαίσια της σχολής αλλά και για την εργασία που έρχεται να επισφραγίσει την πορεία μου σε αυτή. Για την ολοκλήρωσή της, ήταν απαραίτητη και πολύτιμη η συμβολή ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους οφείλω και επιθυμώ να ευχαριστήσω.

Θα ήθελα λοιπόν, να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής αυτής εργασίας, κύριο Ιωάννη Κολέτσο, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο και για την ουσιαστική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής. Ακόμα, ευχαριστώ θερμά τους Διευθυντές του Τμήματος Logistics της Εταιρίας METRO ΑΕΒΕ, κυρίους Αντώνη Πρέκα και Λευτέρη Ζησιμάτο, που με εμπιστεύθηκαν για την ολοκλήρωση του Project αυτού.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κύριο Βασίλειο Κοκκίνη, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ, για την υποστήριξή του στην εκπόνηση της εργασίας, και την κυρία Χρυσήδα Καρώνη, Καθηγήτρια ΕΜΠ, για την ουσιαστική συμβολή της στην τυπική ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, συμφοιτητές και μη, εσωτερικού και εξωτερικού, που με ενθάρρυναν σε αυτή την προσπάθεια. Κυρίως όμως, θέλω ολόψυχα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου (τους γονείς μου, την Άννα και την Ολυμπία), που με στήριξε με αγάπη, ουσιαστικά και διαχρονικά, σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2018,  
Μαρία Δαλαβάγκα

---

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Ο Έλεγχος Αποθεμάτων αποτελεί μια πολύ σημαντική λειτουργία για τις σύγχρονες επιχειρήσεις, καθοριστική για την επιτυχία τους. Ο συγκεκριμένος κλάδος ασχολείται με την διαχείριση αποθεμάτων ενός ή περισσότερων ειδών, με στόχο τη συνεχή και ομαλή ικανοποίηση της ζήτησης και την ταυτόχρονη κάλυψη του χαμηλότερου δυνατού κόστους. Το βασικότερο πρόβλημα της Θεωρίας Αποθεμάτων είναι ο ακριβής καθορισμός του ύψους των παραγγελιών και ο έγκαιρος χρονοπρογραμματισμός τους. Δηλαδή ο εντοπισμός της ποσότητας και του χρόνου που πρέπει να παραγγελθούν τα διάφορα προϊόντα, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται υψηλά επίπεδα εξυπηρέτησης των πελατών και ταυτόχρονη μείωση των δαπανών της επιχείρησης. Επιπροσθέτως, οι διάφορες ελλείψεις και τα σημεία στα οποία τοποθετείται μία νέα παραγγελία για την ομαλή αντικατάσταση των ελλείψεων εντοπίζονται τις περισσότερες φορές με τρόπο επιστημονικό.

Για να γίνει αυτό, κρίνεται απαραίτητη η συμβολή της επιστήμης των Μαθηματικών γενικά, και της Επιχειρησιακής Έρευνας ειδικότερα, καθώς, χωρίς τη χρήση μαθηματικών μοντέλων βελτιστοποίησης, μαθηματικού προγραμματισμού, μαθηματικών αλγορίθμων, στατιστικών προβλέψεων της ζήτησης κλπ, θα ήταν αδύνατη η διαδικασία διαχείρισης των αποθεμάτων. Τεράστια συμβολή στο συγκεκριμένο πρόβλημα προσφέρει επίσης και η επιστήμη της Πληροφορικής, μέσω πληροφοριακών συστημάτων και διαφόρων λογισμικών, που συντελούν στην απλοποίηση των πολύπλοκων συνθηκών λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος.

Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν πολλές εφαρμογές για τη μελέτη προβλημάτων διαχείρισης αποθεμάτων που διαφέρουν ανάλογα με τη δομή και τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε συστήματος αποθεμάτων. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην επισκόπηση της περιοχής αυτής, τη μελέτη, περιγραφή και ανάλυση των μαθηματικών τεχνικών και μοντέλων που χρησιμοποιούνται.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζεται η επιστήμη της Επιχειρησιακής Έρευνας μέσα από μια σύντομη ιστορική αναδρομή και περιγράφεται η μεθοδολογία στην οποία βασίζεται. Στο δεύτερο κεφάλαιο, εισάγεται η έννοια του Ελέγχου Αποθεμάτων που είναι ένα από τα κεντρικά θέματα με τα οποία ασχολείται η Επιχειρησιακή Έρευνα. Δίνονται βασικοί ορισμοί, και παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες αποθεμάτων. Ακόμα, καταδεικνύεται η σημασία του, δεδομένων των πλεονεκτημάτων της σωστής διαχείρισης των αποθεμάτων από τη μεριά της κάθε επιχείρησης, αλλά και των μειονεκτημάτων που προκύπτουν όταν δεν υπάρχει οργανωμένη στρατηγική σε αυτό το κομμάτι.

Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βασικά μοντέλα αποθεμάτων που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Περιγράφεται η μέθοδος Βέλτιστης Ποσότητας Παραγγελίας (EOQ). Ξεκινώντας με απλές, μη ρεαλιστικές υποθέσεις, παρουσιάζεται πληθώρα ντετερμινιστικών μοντέλων, που προσεγγίζουν όλο και περισσότερο την πραγματικότητα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται Στοχαστικά Μοντέλα Ελέγχου Αποθεμάτων που αφορούν συστήματα με αβεβαιότητα ως προς τη ζήτηση. Τέλος, παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης (case study), στην οποία αναπτύσσεται σε βάθος η εφαρμογή, για την εταιρία METRO AEBE, πληθώρας μοντέλων ελέγχου αποθεμάτων που εξετάζονται στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο.

Αθήνα, Οκτώβριος 2018  
Μαρία Δαλαβάγκα

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

|   |    |
|---|----|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ</b> .....                   | 6  |
| <b>1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ</b> .....  | 6  |
| <b>1.2 Η ΦΥΣΗ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ</b> .....                | 8  |
| <b>1.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ</b> .....                                     | 11 |
| 1.3.1 Μοντέλα Βελτιστοποίησης (Optimization Models).....                      | 11 |
| 1.3.2 Μοντελοποίηση Επτά Βημάτων (The Seven-Step Model-Building Process)..... | 12 |
| <b>1.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....   | 15 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ</b> .....                      | 16 |
| <b>2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....   | 16 |
| <b>2.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ</b> .....                           | 16 |
| 2.2.1 Σκοπός Διατήρησης Αποθεμάτων.....                                       | 17 |
| 2.2.2 Στοιχεία Κόστους Αποθεμάτων .....                                       | 17 |
| <b>2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ</b> .....  | 18 |
| 2.3.1 Βασικοί Τύποι Αποθεμάτων.....   | 18 |
| 2.3.2 Μέθοδοι Μείωσης Παραγγελιών .....                                       | 19 |
| <b>2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ</b> .....                    | 19 |
| <b>2.5 ABC ΑΝΑΛΥΣΗ (ABC ANALYSIS)</b> .....                                   | 21 |
| 2.5.1 Παρουσίαση της Μεθόδου .....  | 21 |
| 2.5.2 Εφαρμογή της Μεθόδου.....   | 23 |
| 2.5.3 Προβλήματα της Μεθόδου.....   | 23 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ</b> .....          | 25 |
| <b>3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....   | 25 |
| <b>3.2 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ</b> .....                                | 25 |
| <b>3.3 ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ</b> .....   | 26 |
| 3.3.1 Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis).....                         | 28 |
| <b>3.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ ΜΕ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ</b> .....         | 28 |
| <b>3.5 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ ΜΕ ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ</b> .....                 | 29 |
| <b>3.6 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ</b> .....                   | 30 |
| 3.6.1 Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis).....                         | 33 |
| <b>3.7 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ ΜΕ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ (ΕΚΠΤΩΣΕΙΣ)</b> .....              | 33 |
| 3.7.1 Just In Time Systems.....   | 34 |
| <b>3.8 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ</b> .....               | 35 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ</b> .....       | 36 |
| <b>4.1 ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ</b> .....                      | 36 |
| 4.1.1 Εισαγωγή .....  | 36 |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 4.1.2  | Η πολιτική ( $R, Q$ ) .....  | 37        |
| <b>4.2</b>   | <b>ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ</b> .....             | <b>39</b> |
| 4.2.1  | Εισαγωγή .....   | 39        |
| 4.2.2  | Υποθέσεις του Μοντέλου .....                                       | 39        |
| 4.2.3  | Ανάλυση του Μοντέλου .....   | 40        |
| 4.2.4  | Μοντέλο μιας Περιόδου Με Αρχικό Απόθεμα .....                      | 41        |
| 4.2.5  | Μοντέλο μιας Περιόδου με Μη Γραμμικά Κόστη .....                   | 42        |
| 4.2.6  | Μοντέλο μιας Περιόδου με Κόστος Αποθήκευσης (Setup Cost).....      | 43        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:</b>   | <b>ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ (CASE STUDY) – ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ</b> |           |
| <b>ΕΤΑΙΡΙΑ «METRO ΑΕΒΕ»</b>                                  | <b>.....</b>   | <b>45</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....  | <b>45</b> |
| 5.1.1  | Η Αλυσίδα «METRO ΑΕΒΕ».....  | 45        |
| 5.1.2  | Κέντρα Διανομής METRO (Distribution Centers) .....                 | 46        |
| 5.1.3  | Ανάθεση Project .....  | 47        |
| <b>5.2</b>   | <b>ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ PROJECT</b> .....                                     | <b>47</b> |
| 5.2.1  | Access & SQL Projects .....  | 47        |
| 5.2.2  | Excel Projects & Results .....                                     | 48        |
| 5.2.3  | Ανάλυση Διασποράς κατά έναν παράγοντα (One-Way ANOVA).....         | 50        |
| 5.2.4  | Minitab & Excel – ANOVA Results .....                              | 52        |
| 5.2.5  | Kruskal–Wallis Test.....   | 59        |
| 5.2.6  | Minitab & Excel – Kruskal–Wallis Test.....                         | 60        |
| <b>5.3</b>   | <b>ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b> .....                              | <b>63</b> |
| <b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>  | <b>.....</b>   | <b>64</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>   | <b>.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α’ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ</b>                    | <b>.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β’ – Microsoft Access (Κώδικας σε SQL)</b>      | <b>.....</b>   | <b>71</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ’ – Microsoft Excel (Pivot Tables, Charts)</b> | <b>.....</b>   | <b>72</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>  | <b>.....</b>   | <b>79</b> |

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

---

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η εμφάνιση της βιομηχανικής επανάστασης (στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα) έφερε μια αξιοσημείωτη ανάπτυξη στο μέγεθος και την πολυπλοκότητα των επιχειρήσεων και των οργανισμών. Τα μικρά καταστήματα των τεχνιτών μιας παλαιότερης εποχής εξελίχθηκαν στις σημερινές εταιρίες συγκέντρωσης μεγάλων κεφαλαίων. Με την επαναστατική αυτή αλλαγή, αυξήθηκε εντυπωσιακά η κατανομή της εργασίας και ο καταμερισμός των διοικητικών ευθυνών σε αυτούς τους οργανισμούς.

Ωστόσο, αυτή η αύξηση της εξειδίκευσης δημιούργησε νέα προβλήματα, που εξακολουθούν να απασχολούν τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς μέχρι και σήμερα. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι μια τάση που αποκτούν ορισμένοι τομείς να αναπτύσσονται αυτόνομα σε σχέση με άλλους μέσα στην επιχείρηση, αναπτύσσοντας τους δικούς τους στόχους, χάνοντας τον τρόπο με τον οποίο οι δραστηριότητες και οι στόχοι τους συνδέονται με τους στόχους του συνόλου του οργανισμού. Έτσι, για παράδειγμα, εξειδικευμένοι εργάτες, υπάλληλοι και επιστήμονες μπορεί να έχουν βαθιά γνώση κι εμπειρία του αντικειμένου με το οποίο ασχολούνται, αλλά ελάχιστη γνώση της εργασίας των άλλων ειδικοτήτων και το πώς αυτές επηρεάζουν την επιχείρηση. Είναι επίσης σύνηθες, οι επιδιώξεις και οι στόχοι κάποιων επιμέρους μερών του οργανισμού να έρχονται σε αντίθεση με εκείνους άλλων, δηλαδή, κάποια ενέργεια που μπορεί να είναι κερδοφόρα για τον έναν τομέα, να είναι ταυτόχρονα επιζήμια για κάποιον άλλον. Ένα ακόμα μείζον ζήτημα που επέφερε η πολυπλοκότητα και η εξειδίκευση είναι η δυσκολία που αντιμετωπίζει μια επιχείρηση στο να καταναείμει τους διαθέσιμους πόρους της στις διάφορες δραστηριότητές της, με τρόπο τέτοιο, ώστε να είναι πιο αποτελεσματικός για την επιχείρηση.

Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν στην ανάγκη μιας επιστήμης, η οποία δε θα ασχολούταν μόνο με την εύρεση του καλύτερου δυνατού τρόπου επίλυσης αυτών και άλλων παρόμοιων προβλημάτων, αλλά παράλληλα, θα προσέγγιζε επιστημονικά τη διοίκηση των οργανισμών. Παρουσιάστηκε λοιπόν η ανάγκη δημιουργίας της Επιχειρησιακής Έρευνας (ΕΕ).

Το έτος γέννησης της ΕΕ θεωρείται από πολλούς το 1940, όμως οι ρίζες της μπορούν να αναζητηθούν πολλές δεκαετίες πριν. “Πατέρας της ΕΕ” χαρακτηρίστηκε ο Charles Babbage (1791-1871), επειδή η έρευνά του για το κόστος μεταφοράς και το κόστος για την ταξινόμηση της αλληλογραφίας οδήγησε στη δημιουργία του αγγλικού “Ταχυδρομείου της Πένας” (Uniform Penny Post) το 1840. Άλλοι επιστήμονες που ασχολήθηκαν με την ΕΕ, ήταν το 1917 ο Agner Krarup Erlang (1878-1929), που μελετούσε προβλήματα σχετικά με τον χρόνο απασχόλησης των τηλεφωνικών κέντρων, και το 1920 ο Horace Levinson, που ασχολήθηκε με τη μελέτη προβλημάτων πωλήσεων και εμπορίου.

Τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι και πριν το 1940, που θεωρείται έτος αφετηρίας, εφαρμοζόταν η ΕΕ. Όμως, η χρονολογία αυτή θεσπίστηκε ως η επίσημη αρχή του κλάδου, διότι τότε ξέσπασε ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος (Σεπτέμβριος 1939). Η αρχή λοιπόν της δραστηριότητας της ΕΕ αποδίδεται στις Στρατιωτικές Υπηρεσίες στις αρχές του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Λόγω του πολέμου, υπήρξε επιτακτική ανάγκη διάθεσης πόρων στις διάφορες στρατιωτικές επιχειρήσεις. Για την τελική έκβαση του πολέμου, επιστρατεύθηκαν όλες οι διαθέσιμες δυνάμεις της κοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων επιστημόνων, όπως μαθηματικών, φυσικών, στατιστικών, μηχανικών, βιολόγων, ψυχιάτρων, ώστε να εφαρμόσουν μια επιστημονική προσέγγιση σε προβλήματα τακτικής και στρατηγικής. Στην πραγματικότητα, τους ζητήθηκε να κάνουν έρευνα σχετικά με τις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Αυτές οι ομάδες επιστημόνων ήταν οι πρώτες ομάδες ΕΕ. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, επιστήμονες όπως ο Cecil Gordon, ο Conrad Hal Waddington (1905-1975), ο Owen Wansbrough-Jones (1906-1983) και ο Frank Yates (1902-1994), αλλά και στις ΗΠΑ ο George Dantzig (1914-2005),

έψαχναν τρόπους ώστε να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις σε περιοχές όπως τα προγράμματα διοικητικής μέριμνας και τα προγράμματα εκπαίδευσης.

Πιο συγκεκριμένα, οι διοικητές των Ενόπλων Δυνάμεων της Μεγάλης Βρετανίας χρειάζονταν βοήθεια για τη μελέτη της νέας τεχνολογίας των ραντάρ και την εξεύρεση των πιο αποτελεσματικών μεθόδων για τον εντοπισμό εχθρικών αεροσκαφών. Έτσι, το Υπουργείο British Air ίδρυσε το ερευνητικό κέντρο Bawdsey Manor Research Station στο Suffolk, με διευθυντή για τα πρώτα χρόνια τον ως τότε υπεύθυνο του Τμήματος Ραδιοκυμάτων του Βρετανικού Εθνικού Εργαστηρίου, Robert Watson-Watt (1892-1973) και στη συνέχεια τον Albert P. Rowe (1873-1948).

Οι τρεις πρώτες επίσημες ασκήσεις με χρήση ραντάρ είχαν θετικά αποτελέσματα όσον αφορά στην έγκαιρη προειδοποίηση (early warning), αλλά απογοητευτικά στις πληροφορίες εντοπισμού (tracking information), μετά το φιλτράρισμα και τη μετάδοση των στοιχείων από το δίκτυο. Όταν πραγματοποιήθηκε καινούρια άσκηση και προστέθηκαν τέσσερις σταθμοί ραντάρ, δημιουργήθηκε νέο πρόβλημα, αυτό του συντονισμού και συνδυασμού συχνά αντικρουόμενων πληροφοριών από τους διαφορετικούς σταθμούς. Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι τα συστήματα ραντάρ λειτουργούσαν αποτελεσματικά στο τεχνικό κομμάτι, υπήρχε όμως πρόβλημα στο λειτουργικό (operational), οπότε αποφασίστηκε έρευνα (research) προς την κατεύθυνση αυτή. Το 1939, ιδρύεται το Stanmore Research Section (SRS) και το 1941 το Operational Research Section της Royal Air Force (RAF). Οι αποφάσεις που πάρθηκαν από τις οργανώσεις αυτές τελικά αποδείχθηκαν βαρύνουσας σημασίας για την επιτυχημένη απόκρουση των Γερμανικών Δυνάμεων στη μάχη της Βρετανίας.

Ως εκ τούτου, οι επιστήμονες που κλήθηκαν αρχικά από τη Βρετανική στρατιωτική διαχείριση – κι ύστερα από τη στρατιωτική διαχείριση των ΗΠΑ – ανέπτυξαν αποτελεσματικές μεθόδους για τη χρήση του νέου αυτού τύπου ραντάρ κι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη νίκη της Αεροπορικής Μάχης της Βρετανίας. Ακόμα, μέσω της έρευνάς τους για τον βέλτιστο τρόπο διαχείρισης της συνοδείας και των υποβρύχιων επιχειρήσεων (antisubmarine), έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη νίκη της μάχης του Βόρειου Ατλαντικού. Παρόμοιες προσπάθειες βοήθησαν και στην εκστρατεία του Νησιού στον Ειρηνικό.

Συνοπτικά, το 1942, ο P.M.S. Blackett (1897-1974) συνέταξε ένα σχέδιο για τη δημιουργία του US Navy Antisubmarine Warfare Operations Research Group (ASWORG). Οι εργασίες αυτής της ομάδας (αποκαλούμενης “Blackett Circus”) σημείωσαν σημαντικά αποτελέσματα, με κυριότερο τον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους νηοπομπών (πλήθος φορτηγών πλοίων συνοδευόμενων από πολεμικά). Η νίκη της μάχης του Ατλαντικού ουσιαστικά καθορίστηκε από την αύξηση του μεγέθους των νηοπομπών. Τον Οκτώβριο του 1942, φτάνει στη Βρετανία από τις ΗΠΑ, η πρώτη ομάδα Επιχειρησιακών Ερευνητών, για να συνεργαστεί με την 8η Μονάδα Βομβαρδιστικών με στόχο τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας πλήξης στόχων. Η ομάδα, βασισμένη σε μελέτη των προτύπων ρίψης βομβών και ύστερα από επιτόπου παρατήρηση, πρότεινε τις εξής εναλλακτικές:

- i. να ρίχνει πρώτο τις βόμβες του το αποτελεσματικότερο πλήρωμα
- ii. να ρίχνονται όλες οι βόμβες ταυτόχρονα (in salvo)
- iii. όλα τα αεροσκάφη να πετούν σε σχηματισμούς ακριβείας, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη μεγάλη διασπορά των βομβών

Με την εφαρμογή των παραπάνω προτάσεων, η αποτελεσματικότητα πλήξης στόχων βελτιώθηκε κατά 1000%. Η νίκη της μάχης του Ατλαντικού και της μάχης της Βρετανίας είναι δύο μόνο από τις σημαντικές εφαρμογές της ΕΕ κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου.

Όταν έληξε ο πόλεμος, η επιτυχία που σημείωσε η ΕΕ στην πολεμική προσπάθεια, καθώς και η ανάγκη για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων, ώθησαν στην εφαρμογή της ΕΕ και εκτός στρατού. Ταυτόχρονα, η ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη δημιούργησε ποικίλα προβλήματα, λόγω της πολυπλοκότητας στους οργανισμούς και της εξειδίκευσης που επήλθε. Μια μεγάλη μερίδα ανθρώπων, συμπεριλαμβανομένων συμβούλων επιχειρήσεων, επιστημόνων και ερευνητών ΕΕ που είχαν εργαστεί κατά τη διάρκεια του πολέμου, αντιλήφθηκαν γρήγορα ότι τα προβλήματα αυτά είχαν ουσιαστικά την ίδια βάση με εκείνα που αντιμετώπισαν στον στρατό.

Στις αρχές της δεκαετίας του '50, τα άτομα αυτά είχαν εισαγάγει τη χρήση της ΕΕ σε πολλούς οργανισμούς, σε τομείς των επιχειρήσεων, της βιομηχανίας, αλλά και της κυβέρνησης. Από το σημείο αυτό και μετά, παρατηρήθηκε ταχεία εξάπλωση του νέου αυτού κλάδου, της ΕΕ. Συγκεκριμένα, ιδρύεται στις ΗΠΑ το Operations Evaluation Group (OEG) σε συνεργασία με το MIT (Massachusetts Institute of Technology). Στη Μεγάλη Βρετανία από την άλλη, η ΕΕ είχε επικρατήσει μέχρι το 1951 και το 1957



ιδρύεται η Διεθνής Συνομοσπονδία Εταιριών ΕΕ, ονομαζόμενη διεθνώς “IFORS” (International Federation of Operations Research Societies), η οποία υπάρχει μέχρι και σήμερα.

Αν σκεφτεί κανείς ότι η ΕΕ γεννήθηκε κατά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο και αναπτύχθηκε διεθνώς τη δεκαετία του '60, η εμφάνισή της στην Ελλάδα γίνεται πολύ σύντομα. Έτσι, ένας νέος τρόπος σκέψης, πέρα από τους κλασικούς και καθιερωμένους στον χώρο του management, κάνει τα πρώτα του βήματα και στη χώρα μας. Το 1963 ιδρύεται από μία ομάδα πρωτοπόρων επιστημόνων, η “Ελληνική Εταιρία Επιχειρησιακών Ερευνών” (ΕΕΕΕ). Η ΕΕΕΕ είναι στην ουσία μια επιστημονική, μη κερδοσκοπική εταιρία που στοχεύει στη διάδοση της ΕΕ στην Ελλάδα.

Στο σημείο αυτό, θα μπορούσαν να προσδιοριστούν δύο παράγοντες, που έπαιξαν βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και εξέλιξη της ΕΕ κατά τη δεκαετία του '50. Ο πρώτος αφορά στην ουσιαστική πρόοδο και βελτίωση των τεχνικών της ΕΕ. Εξαιρετικό παράδειγμα είναι η Μέθοδος Simplex, που αναπτύχθηκε από τον George Dantzig το 1947 και αποσκοπούσε στην επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού. Ακόμα, πολλά από τα τυποποιημένα εργαλεία της ΕΕ, όπως ο Γραμμικός Προγραμματισμός, ο Δυναμικός Προγραμματισμός, η Θεωρία των Ουρών Αναμονής και η Θεωρία των Αποθεμάτων, ήταν σχετικά καλά αναπτυγμένα πριν τα τέλη της δεκαετίας του '50.

Ένας δεύτερος παράγοντας που έδωσε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη του κλάδου ήταν η πρόοδος της τεχνολογίας των Η/Υ. Για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση περίπλοκων επιχειρησιακών προβλημάτων, απαιτείται συνήθως μεγάλος αριθμός υπολογισμών. Αυτοί θα ήταν αδύνατοι χωρίς τη χρήση Η/Υ, οι οποίοι μπορούν να παράσχουν πληθώρα ενημερωμένων πληροφοριών, χρήσιμες για τα στελέχη της διοίκησης των επιχειρήσεων. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη Η/Υ, με την ικανότητά τους να εκτελούν αριθμητικούς υπολογισμούς χιλιάδες ή και εκατομμύρια φορές πιο γρήγορα από ό,τι μπορεί ένας άνθρωπος, ήταν ένα τεράστιο όφελος για την ΕΕ. Μια περαιτέρω ώθηση ήρθε τη δεκαετία του '80, με την ανάπτυξη ολοένα ισχυρότερων Η/Υ, συνοδευόμενων από εύχρηστα, αξιόπιστα και αποτελεσματικά πακέτα λογισμικού, που χρησιμοποιούσε η ΕΕ, για την επίλυση επιχειρησιακών προβλημάτων. Έτσι, πολύ μεγαλύτερος αριθμός ανθρώπων είχε ευκολότερη πρόσβαση στο λογισμικό της ΕΕ.

Κατά συνέπεια, η ανάγκη για ταχεία και αποτελεσματική αντιμετώπιση των περίπλοκων επιχειρησιακών προβλημάτων και η εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησαν σε μια σταδιακή εμφάνιση και αξιοποίηση της ΕΕ στο χώρο της βιομηχανίας, καθώς και στους τομείς παροχής υπηρεσιών, προγραμματισμού, κ.

## 1.2 Η ΦΥΣΗ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η Επιχειρησιακή Έρευνα είναι μια επιστημονική προσέγγιση για τη λήψη αποφάσεων που επιδιώκει τον καλύτερο σχεδιασμό και λειτουργία ενός συστήματος, συνήθως κάτω από προϋποθέσεις που απαιτούν την κατανομή ανεπαρκών πόρων. Με τον όρο “σύστημα” εννοούμε ένα σύνολο αλληλεξαρτώμενων συνιστωσών που συνεργάζονται για την επίτευξη του στόχου του οργανισμού. Για παράδειγμα, η Ford Motor Company είναι ένα σύστημα του οποίου στόχος είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους που μπορεί να προκύψει από την παραγωγή ποιοτικών οχημάτων.

Το όνομά της προέρχεται από τον αγγλικό όρο “Operational Research” ή, όπως συνηθίζεται στην Αμερική, “Operations Research” και σημαίνει “Έρευνα στις Επιχειρήσεις”. Η απόδοση αυτή του όρου στα ελληνικά μας δίνει πληροφορίες τόσο για την προσέγγιση όσο και για το πεδίο εφαρμογής του τομέα.

Το δεύτερο μέρος του ονόματός της (Research) υποδηλώνει ότι η ΕΕ προσεγγίζει τον τρόπο με τον οποίο μια έρευνα διεξάγεται σε καθιερωμένους επιστημονικούς τομείς. Σε μια σημαντική επέκταση, η επιστημονική μέθοδος χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση του προβλήματος που μας απασχολεί. Η έρευνα αυτή, στηρίζεται στην λεπτομερή παρακολούθηση και καταγραφή του προβλήματος, καθώς και στην κατασκευή επιστημονικού μοντέλου, ώστε να αποσπάσει την ουσία του προβλήματος. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται επαρκώς η ακριβής αναπαράσταση του προβλήματος και έτσι διαμορφώνονται οι λύσεις που προσομοιώνουν στο πραγματικό πρόβλημα.

Ουσιαστικά, η ΕΕ είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με την εύρεση βέλτιστων – ως προς κάποια μετρήσιμα κριτήρια – λύσεων για τη σχεδίαση της καλύτερης στρατηγικής πάνω σε πολύπλοκα προβλήματα που ανακύπτουν στη διεύθυνση και διοίκηση μεγάλων συστημάτων, αποτελούμενων από ανθρώπους, μηχανές, υλικά και κεφάλαια, τις επιχειρήσεις. Αποτελεί βασικό

εργαλείο για την άσκηση της διοίκησης και την επίλυση επιτελικών και επιχειρησιακών προβλημάτων απόφασης σε όλο το φάσμα λειτουργίας των επιχειρήσεων και των οργανισμών, μιας και, μέσα από ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες βασίζονται σε μαθηματικά μοντέλα, δημιουργείται μια ορθολογιστική βάση για την επίλυση προβλημάτων.

Κατά καιρούς, έχουν δοθεί πολλοί ορισμοί σε διάφορα επιστημονικά βιβλία, οι οποίοι δε διαφέρουν σε πολλά σημεία μεταξύ τους. Ιδιαίτερος κατατοπιστικός, απλός και περιεκτικός είναι ο ορισμός που διατυπώνεται από την Εταιρία ΕΕ της Μεγάλης Βρετανίας (Operational Research Society), και έχει ως εξής:

*“Επιχειρησιακή Έρευνα είναι η εφαρμογή της σύγχρονης επιστήμης πάνω σε πολύπλοκα προβλήματα τα οποία ανακύπτουν στη διεύθυνση και τη διοίκηση μεγάλων συστημάτων, αποτελούμενων από ανθρώπους, μηχανές, υλικά και κεφάλαια, στη Βιομηχανία, τις Επιχειρήσεις, τις Κυβερνητικές Υπηρεσίες και την Άμυνα.*

*Η χαρακτηριστική της μεθοδολογία συνίσταται στην ανάπτυξη επιστημονικού μοντέλου του υπό μελέτη συστήματος που περιλαμβάνει μετρήσεις τυχαίων παραγόντων και με το οποίο προβλέπει και συγκρίνει τα αποτελέσματα εναλλακτικών αποφάσεων, στρατηγικών και ελέγχων. Σκοπός της είναι να βοηθήσει τη διοίκηση να καθορίσει την πολιτική και τις ενέργειές της επιστημονικά (κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο).”*

Η ΕΕ θεωρείται συχνά ως η επιστήμη της λήψης αποφάσεων (συχνά αναφέρεται και ως “Επιστήμη Αποφάσεων” – Decision Science). Στην πραγματικότητα, ο όρος “Διοικητική Επιστήμη” (Management Science) χρησιμοποιείται μερικές φορές ως συνώνυμο της ΕΕ. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται διεθνώς και οι εναλλακτικές ονομασίες “Ανάλυση Συστημάτων” (Systems Analysis) ή η συνδυαστική ονομασία “Operations Research & Management Science” (OR/MS), για να υποδηλώσει ότι οι δύο όροι σημαίνουν περίπου το ίδιο.

Περιλαμβάνει πολλούς επιστημονικούς κλάδους, όπως τα μαθηματικά, τη στατιστική, την επιστήμη των υπολογιστών, τη φυσική, τη μηχανική, τα οικονομικά και τις κοινωνικές επιστήμες, και ήταν επιτυχής στην παροχή μιας συστηματικής προσέγγισης σε πολύπλοκες αποφάσεις στον κατασκευαστικό, υπηρεσιακό, στρατιωτικό και οικονομικό τομέα.

Η επιστημονική προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων συνήθως περιλαμβάνει τη χρήση ενός ή περισσοτέρων μαθηματικών μοντέλων. Ένα μαθηματικό μοντέλο είναι μια μαθηματική αναπαράσταση μιας πραγματικής κατάστασης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λήψη καλύτερων αποφάσεων ή απλώς για την καλύτερη κατανόηση της πραγματικής κατάστασης.

Πιο συγκεκριμένα, το κομμάτι της έρευνας ξεκινά με την προσεκτική παρατήρηση και διατύπωση του προβλήματος, συμπεριλαμβάνοντας τη συλλογή όλων των σχετικών δεδομένων. Το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή ενός επιστημονικού – τυπικά μαθηματικού – μοντέλου που επιχειρεί να συνοψίσει την ουσία του πραγματικού προβλήματος. Τότε, υποθέτοντας ότι το παραχθέν αυτό μοντέλο είναι μια αρκετά ακριβής αναπαράσταση των βασικών χαρακτηριστικών της κατάστασης του υπάρχοντος προβλήματος, διεξάγονται κατάλληλα πειράματα για να δοκιμαστεί αυτή η υπόθεση, να τροποποιηθεί όπου χρειάζεται, να επαληθευτεί κάποια μορφή της υπόθεσης (αυτό το βήμα συχνά αναφέρεται ως “επικύρωση του μοντέλου”) και τελικά να κατασκευαστεί το τελικό μαθηματικό μοντέλο. Έτσι, παρατηρούμε ότι η ΕΕ περιλαμβάνει κατά κάποιον τρόπο τη δημιουργική επιστημονική ενασχόληση με τις θεμελιώδεις ιδιότητες κάθε επιχείρησης. Συγκεκριμένα, η ΕΕ ασχολείται με την πρακτική διαχείριση (management) του οργανισμού. Ως εκ τούτου, για να είναι επιτυχής, πρέπει επίσης να παρέχει θετικά, κατανοητά συμπεράσματα για τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων, όταν αυτά ζητούνται.

Γενικά, η ΕΕ προτιμάται λόγω του εύρους της οπτικής γωνίας όσον αφορά στα προβλήματα που αντιμετωπίζει. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της ΕΕ είναι η οργανωτική δομή. Όπως υποδηλώνεται στο προηγούμενο τμήμα, η ΕΕ υιοθετεί μια ευρεία οργανωτική άποψη. Προσπαθεί να επιλύσει τις συγκρούσεις συμφερόντων μεταξύ των συνιστωσών του οργανισμού – ανάμεσα στα συνθετικά μέρη μιας επιχείρησης – κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να είναι ο καλύτερος για τον οργανισμό ως σύνολο. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι για την επίλυση κάποιου προβλήματος δίνεται κατά βάση προτεραιότητα σε όλες τις πτυχές ενός οργανισμού, αλλά ότι οι επιδιωκόμενοι στόχοι πρέπει να είναι συνεπείς με αυτούς της επιχείρησης.

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της ΕΕ είναι ότι προσπαθεί συχνά να βρει μία (αναφερόμενη συχνά ως “βέλτιστη”) καλύτερη λύση – “μία” καλύτερη λύση, διότι μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές λύσεις ως καλύτερες – για το υπό εξέταση πρόβλημα. Εκτός από τη βελτίωση του status quo (της

ισχύουσας κατάστασης), ο στόχος είναι να προσδιοριστεί η καλύτερη δυνατή πορεία δράσης. Αν και πρέπει να ερμηνεύεται προσεκτικά από την άποψη των πρακτικών αναγκών της διοίκησης, αυτή η "αναζήτηση της βέλτιστης λύσης" είναι ένα σημαντικό – αν όχι το σημαντικότερο – ζήτημα της ΕΕ.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά της ΕΕ οδηγούν φυσικά σε ακόμη ένα: είναι προφανές ότι από κανένα μεμονωμένο άτομο δε θα πρέπει να αναμένεται να είναι ειδικό σε όλες τις πτυχές της ΕΕ ή στα προβλήματα που συνήθως εξετάζονται. Ως εκ τούτου, κάθε ολοκληρωμένη μελέτη της ΕΕ σε κάποιο νέο πρόβλημα απαιτεί μια ομαδική προσέγγιση, δηλαδή μια ομάδα από ανθρώπους που έχουν διαφορετικές γνώσεις, δεξιότητες και υπόβαθρο. Μια τέτοια ομάδα ΕΕ συνήθως πρέπει να περιλαμβάνει άτομα τα οποία έχουν υψηλή κατάρτιση στα Μαθηματικά, τη Στατιστική και τη Θεωρία Πιθανοτήτων, τα Οικονομικά, τη Διοίκηση Επιχειρήσεων, την Επιστήμη Υπολογιστών, τη Μηχανική και τις Φυσικές Επιστήμες, τις Επιστήμες Συμπεριφοράς και τις Ειδικές Τεχνικές της ΕΕ. Η ομάδα πρέπει επίσης να έχει την απαραίτητη εμπειρία για να δώσει την κατάλληλη προσοχή στις συνέπειες του προβλήματος σε ολόκληρο τον οργανισμό.

Τα οφέλη της ΕΕ είναι σημαντικά. Στόχος δεν είναι η πρόσκαιρη βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης αλλά η εξεύρεση της καλύτερης πορείας δράσης. Προφανώς, στην πρώτη γραμμή των οφελών είναι τα οικονομικά – πρωταρχικός σκοπός μιας επιχείρησης είναι να είναι κερδοφόρα – εξίσου σημαντικά όμως μπορούν να χαρακτηριστούν για την μετέπειτα πορεία της επιχείρησης οι βελτιωμένες υπηρεσίες προς τους πελάτες και η καλύτερη άσκηση του διαχειριστικού ελέγχου.

Ένας από τους λόγους για την τόσο ραγδαία και εκτενή εξάπλωση και επιτυχία της ΕΕ είναι ότι βασίζεται σε βασικές μαθηματικές αρχές και τις χρησιμοποιεί με έξυπνους και καινοτόμους τρόπους για την επίλυση όλων των ειδών πραγματικών προβλημάτων. Πολλές από τις εφαρμογές κάνουν χρήση εύχρηστων αναλυτικών αποτελεσμάτων και παραγώγων από μοντέλα συστημάτων, και μπορούν να αποκαλύψουν πώς η λειτουργία του συστήματος ποικίλλει ανάλογα με τις παραμέτρους του μοντέλου.

Η ΕΕ εφαρμόζεται σε προβλήματα που αφορούν τον τρόπο διεξαγωγής, την καθοδήγηση και τον συντονισμό των δραστηριοτήτων μέσα σε ένα τομέα μίας επιχείρησης ή γενικότερα σε μία επιχείρηση ως σύνολο. Η φύση του επιχείρησης είναι ουσιαστικά ασήμαντη, αφού όπως προαναφέρθηκε, η ΕΕ έχει εφαρμοστεί εκτεταμένα σε τόσο διαφορετικούς τομείς, όπως ο στρατός, οι δημόσιες υπηρεσίες, η κατασκευή, οι τηλεπικοινωνίες, ο οικονομικός σχεδιασμός, η υγειονομική περίθαλψη και η μεταποίηση. Ως εκ τούτου, το εύρος της εφαρμογής της είναι ασυνήθιστα μεγάλο.

Επίσης, η ΕΕ είχε εντυπωσιακό αντίκτυπο στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας πολλών οργανισμών σε όλο τον κόσμο. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ΕΕ βρίσκει εφαρμογή σε επιχειρήσεις, οι οποίες έχουν βραβευτεί για την καινοτομία τους, όπως σε τομείς Information Technology της Hewlett-Packard ή της IBM, σε αεροπορικές εταιρίες (United Airlines, Delta Airlines) και άλλες διαφορετικού ενδιαφέροντος (Taco Bell, The Netherlands Rijksoverheid). Συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της παραγωγικότητας των οικονομιών αρκετών χωρών. Άλλωστε, υπάρχει και ο αντίστοιχος διεθνής φορέας ΕΕ Διεθνούς Ομοσπονδίας Επιχειρησιακής Έρευνας «IFORS» (International Federation of Operational Research Societies), όπου τα κράτη-μέλη, τόσο σε Ευρώπη όσο σε Ασία και Αμερική, συντονίζουν συνεδριάσεις και εκδίδουν διεθνώς άρθρα και επιστημονικά περιοδικά. Η ΕΕ είναι ένας τομέας ταχύτατα αναπτυσσόμενος, γεγονός που αποδεικνύεται και από μελέτη του Αμερικάνικου Γραφείου Στατιστικών Εργασιών (US Bureau of Labour Statistics), σύμφωνα με την οποία η ΕΕ αποτελεί δημοφιλή επιλογή επαγγελματικού προσανατολισμού των αποφοίτων των αμερικάνικων πανεπιστημίων.

Η υλοποίηση των προβλημάτων και η διεξαγωγή συμπερασμάτων στον τομέα της ΕΕ, απαιτεί τη χρήση μαθηματικών πακέτων και αλγορίθμων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο χρήστης επικεντρώνεται στο να κατανοήσει τη λογική του προβλήματος, καταστρώνει ένα πλάνο δράσης και προσπαθεί να αποσπάσει τα αποτελέσματα, ενώ ο ηλεκτρονικός υπολογιστής πραγματοποιεί τους μαθηματικούς υπολογισμούς. Η πιο διαδεδομένη γλώσσα μοντελοποίησης και διαχείρισης των προβλημάτων της ΕΕ είναι η LINDO, ενώ για την υλοποίηση μεγάλων και απαιτητικών προβλημάτων προτιμάται το πακέτο λογισμικού CPLEX, πακέτο που χρησιμοποιείται και από το σύστημα MPL. Τέλος, όσον αφορά σε μικρά προβλήματα ΕΕ, το πακέτο Microsoft Excel τα μοντελοποιεί επιτυχώς, παρέχοντας φύλλα εργασίας και με το πρόγραμμα Excel Solver αποσπάται η βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Μερικοί από τους αλγορίθμους που αναπτύσσονται σε προγραμματιστικά περιβάλλοντα (είτε τα προαναφερθέντα, είτε άλλα) τείνουν να είναι εκπληκτικά αποδοτικοί και συνήθως

χρησιμοποιούνται σε προβλήματα που αφορούν εκατοντάδες ή χιλιάδες μεταβλητές. Στην πράξη, οι αλγόριθμοι κανονικά εκτελούνται από εμπορικά πακέτα λογισμικού.

## 1.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

### 1.3.1 Μοντέλα Βελτιστοποίησης (Optimization Models)

Τα περισσότερα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ είναι μοντέλα βελτιστοποίησης. Ένα πρότυπο μοντέλο "συνταγογραφεί" τη συμπεριφορά ενός οργανισμού, εκείνη δηλαδή που θα του επιτρέψει να επιτύχει τους στόχους του με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Τα συστατικά ενός τέτοιου μοντέλου είναι:

- Αντικειμενική Συνάρτηση (Objective Function)
- Μεταβλητές Απόφασης (Decision Variables)
- Περιορισμοί (Constraints)

Εν ολίγοις, ένα μοντέλο βελτιστοποίησης επιδιώκει να βρει εκείνες τις τιμές των μεταβλητών απόφασης (τη λεγόμενη "βέλτιστη λύση"), που βελτιστοποιούν (μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν) την αντικειμενική συνάρτηση, ανάμεσα σε ένα σύνολο πιθανών τιμών των μεταβλητών απόφασης, που ικανοποιούν τους δοθέντες περιορισμούς.

#### Αντικειμενική Συνάρτηση (Objective Function)

Στα περισσότερα μοντέλα, θα υπάρχει μια συνάρτηση που θα θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε ή να ελαχιστοποιήσουμε. Αυτή η συνάρτηση ονομάζεται "Αντικειμενική Συνάρτηση" του μοντέλου. Φυσικά, για να μεγιστοποιήσουμε πχ. την απόδοση της συνάρτησης, πρέπει να βρούμε τις τιμές των μεταβλητών που την κάνουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Σε πολλές περιπτώσεις, ένας οργανισμός μπορεί να έχει περισσότερους από έναν στόχους, και κατά συνέπεια, περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις.

#### Μεταβλητές Απόφασης (Decision Variables)

Οι μεταβλητές των οποίων οι τιμές είναι υπό τον έλεγχό μας και επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος ονομάζονται "Μεταβλητές Απόφασης". Το μεγαλύτερο μέρος των προβλημάτων με τα οποία ασχολείται η ΕΕ έχει να κάνει με τον τρόπο προσδιορισμού της τιμής των μεταβλητών απόφασης που μεγιστοποιούν (ή ελαχιστοποιούν) μια αντικειμενική συνάρτηση.

#### Περιορισμοί (Constraints)

Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι δυνατές μόνο ορισμένες τιμές των μεταβλητών απόφασης. Για παράδειγμα, ορισμένοι συνδυασμοί του προβλήματος που έχουμε να επιλύσουμε, ενδέχεται να μην είναι ασφαλείς ή εφικτοί, οπότε θέτουμε κάποια όρια. Τα όρια στα οποία κινούνται οι τιμές των μεταβλητών απόφασης ονομάζονται "Περιορισμοί".

#### Ολοκληρωμένο Μοντέλο Βελτιστοποίησης (Complete Optimization Model)

Οποιαδήποτε τιμή των μεταβλητών απόφασης που ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς του μοντέλου λέγεται ότι βρίσκεται στην "Εφικτή Περιοχή" (Feasible Region). Μια βέλτιστη λύση σε ένα μοντέλο βελτιστοποίησης είναι κάθε σημείο της εφικτής περιοχής που βελτιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση.

#### Στατικά και Δυναμικά Μοντέλα (Static and Dynamic Models)

"Στατικό" είναι ένα μοντέλο στο οποίο οι μεταβλητές απόφασης δεν περιλαμβάνουν ακολουθίες αποφάσεων σε πολλαπλές χρονικές περιόδους – ουσιαστικά οι τιμές των μεταβλητών απόφασης ορίζονται στην αρχή και παραμένουν αναλλοίωτες. Σε ένα "Δυναμικό" μοντέλο, από την άλλη, οι μεταβλητές απόφασης περιλαμβάνουν αλληλουχίες αποφάσεων σε πολλαπλές χρονικές περιόδους. Βασικά, σε ένα στατικό μοντέλο έχουμε να λύσουμε ένα πρόβλημα "one-shot", του οποίου οι λύσεις καθορίζουν τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης σε όλα τα χρονικά σημεία.

## **Ακέραια και Μη-Ακέραια Μοντέλα (Integer and Non integer Models)**

Εάν μία ή περισσότερες μεταβλητές απόφασης είναι ακέραιοι αριθμοί, τότε λέμε ότι ένα μοντέλο βελτιστοποίησης είναι ένα “Ακέραιο Μοντέλο”. Εάν όλες οι μεταβλητές απόφασης είναι ελεύθερες να λάβουν κλασματικές τιμές, τότε το μοντέλο βελτιστοποίησης είναι ένα “Μη-Ακέραιο Μοντέλο”. Σημειώνεται ότι τα Ακέραια Μοντέλα είναι πολύ πιο δύσκολο να επιλυθούν από τα Μη-Ακέραια.

## **Ντετερμινιστικά και Στοχαστικά Μοντέλα (Deterministic and Stochastic Models)**

Υποθέτοντας ότι η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι γνωστή με βεβαιότητα, για οποιαδήποτε τιμή των μεταβλητών απόφασης και ενώ οι περιορισμοί ικανοποιούνται, τότε έχουμε να επιλύσουμε ένα “Ντετερμινιστικό Μοντέλο”. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, τότε έχουμε ένα “Στοχαστικό Μοντέλο”. Πολλές φορές, σε ένα ντετερμινιστικό μοντέλο, κάνουμε την – μη ρεαλιστική – παραδοχή ότι για δεδομένες τιμές των μεταβλητών, η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης θα είναι πάντα η ίδια. Αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο. Εξετάζοντας τη μέση απόδοση της συνάρτησης για δεδομένες τιμές των μεταβλητών απόφασης, στοχεύουμε στην εύρεση τιμών των μεταβλητών απόφασης που τη μεγιστοποιούν. Μπορούμε συχνά να αποκτήσουμε χρήσιμες γνώσεις σχετικά με τις βέλτιστες αποφάσεις χρησιμοποιώντας ένα ντετερμινιστικό μοντέλο, σε μια κατάσταση όπου ένα στοχαστικό μοντέλο είναι πιο κατάλληλο.

### **1.3.2 Μοντελοποίηση Επτά Βημάτων (The Seven-Step Model-Building Process)**

Οι μαθηματικές τεχνικές αποτελούν ένα βασικό εργαλείο για την επίλυση των προβλημάτων της ΕΕ, βρίσκονται όμως στο τέλος της μελέτης του προβλήματος. Συχνά προαπαιτείται μία ολόκληρη διαδικασία – αλληλουχία βημάτων – για κάθε πρόβλημα ΕΕ, ώστε να φτάσουμε στον κατάλληλο μαθηματικό τύπο και να προχωρήσουμε στην επίλυση του.

Η επιστημονική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην ΕΕ είναι σχεδόν πάντα η ίδια, ανεξάρτητα του προβλήματος που εξετάζεται, του πεδίου εφαρμογής της ή του μοντέλου που χρησιμοποιείται. Συνοπτικά, τα συνήθη βήματα μίας τέτοιας μελέτης δίνονται παρακάτω:

#### **1. Καθορισμός του Προβλήματος και Διατύπωση Στόχων**

Καθορίζεται αρχικά το πρόβλημα του οργανισμού. Ο καθορισμός του προβλήματος περιλαμβάνει τον καθορισμό των στόχων του οργανισμού και των τμημάτων του οργανισμού που πρέπει να μελετηθούν πριν λυθεί το πρόβλημα. Καταρχάς, είναι απαραίτητη η μελέτη του σχετικού συστήματος και η ανάπτυξη μιας καλά καθορισμένης μορφής του προβλήματος. Αυτό έχει ως προϋπόθεση τον ορισμό κατάλληλων στόχων και μεταβλητών, των περιορισμών σε αυτά που μπορούν να γίνουν, τον προσδιορισμό των αλληλεξαρτήσεων που πιθανόν να υπάρχουν ανάμεσα στους διάφορους τομείς μίας επιχείρησης, το χρονικό περιθώριο για την λήψη αποφάσεων, τις εναλλακτικές λύσεις και τις συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Απαραίτητη είναι η λεπτομερής τεχνική ανάλυση του προβλήματος από μια συμβουλευτική ομάδα, η οποία παρουσιάζεται στον Τομέα Διαχείρισης (Management) της εκάστοτε επιχείρησης. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται μια πιθανή αποτελεσματική λύση από την οπτική γωνία ενός άλλου τομέα. Άλλωστε, η ΕΕ έχει ως στόχο να βελτιώσει την απόδοση μιας επιχείρησης συνολικά, και όχι μόνο ενός τομέα. Η διαδικασία προσδιορισμού του προβλήματος είναι εξαιρετικά σημαντική γιατί επηρεάζει το πόσο σχετικό θα είναι το συμπέρασμα με το αρχικό πρόβλημα.

Στο σημείο αυτό λοιπόν, θέτουμε τους στόχους που θα θέλαμε να πετύχουμε σε έναν οργανισμό, όπως η μεγιστοποίηση του κέρδους, η ελαχιστοποίηση του κόστους, η βελτίωση της παραγωγικότητας, κα. Εδώ πραγματοποιείται η αποσαφήνιση της ανάγκης για τη λύση και τη φύση του προβλήματος. Η διατύπωση των στόχων ουσιαστικά οδηγεί στην επιτυχία (ή μη) και την εφαρμογή της λύσης στην οποία θα καταλήξουμε. Πολύ σημαντικό σημείο και καθοριστικό για τη συνέχεια. Πρέπει να διατυπωθούν με σαφήνεια και να ιεραρχηθούν οι στόχοι μας βάσει των προτεραιοτήτων τη δεδομένη χρονική στιγμή, κάτι που πολλές φορές είναι ιδιαίτερα δύσκολο, μιας και μπορεί να είναι πολλοί και αντικρουόμενοι.

#### **2. Ανάλυση του Συστήματος και Συλλογή Δεδομένων**

Με τον όρο “σύστημα” εννοούμε “μια ομάδα αντικειμένων που αποτελούν μια ολότητα και συχνά αλληλοεπιδρούν ή αλληλεξαρτώνται”, όπως διατυπώνεται και στην ηλεκτρονική έκδοση του λεξικού “Merriam-Webster”. Στην περίπτωση μας, το σύστημα μπορεί να είναι μια επιχείρηση, ένας οργανισμός, κλπ. Καλούμαστε λοιπόν, να προσδιορίσουμε τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας του υπό μελέτη συστήματος, να το αναλύσουμε σε υποσυστήματα – πολλές φορές, η επίλυση μικρότερων υποπροβλημάτων είναι ευκολότερη από την επίλυση ενός μεγάλου και κατ’ επέκταση πιο περίπλοκου προβλήματος – και να εντοπίσουμε σε ποια σημεία και με ποιους τρόπους (στρατηγικές) θα μπορούσαμε να το επηρεάσουμε. Συγκεντρώνουμε λοιπόν ικανοποιητική πληροφορία για περαιτέρω διερεύνηση. Με αυτόν τον τρόπο, αποκτούμε μια πιο ξεκάθαρη εικόνα του προβλήματος που έχουμε να αντιμετωπίσουμε, αναγνωρίζουμε τις μεταβλητές, καθώς και τους περιορισμούς του προς λύση προβλήματος.

Στη συνέχεια, ο ερευνητής ή η ομάδα ΕΕ συλλέγει δεδομένα για να εκτιμήσει την τιμή των παραμέτρων που επηρεάζουν το πρόβλημα του οργανισμού. Αυτές οι εκτιμήσεις χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη (στο Βήμα 3) και την αξιολόγηση (στο Βήμα 7) ενός μαθηματικού μοντέλου για την επίλυση του προβλήματος του οργανισμού.

### 3. Διατύπωση ενός Μαθηματικού Μοντέλου

Ο καταλληλότερος τρόπος για να μελετηθεί το εκάστοτε πρόβλημα είναι να αναδιατυπωθεί και να αντικατασταθεί με μαθηματικές σχέσεις, οι οποίες εκφράζουν τους στόχους και τους περιορισμούς του προβλήματος. Έτσι, αναπτύσσεται ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο αποτελείται από ένα σύστημα συναφών μαθηματικών εξισώσεων, που παρουσιάζει την ουσία του προβλήματος. Θα ήταν καλό, το πρόβλημα να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερες σχέσεις ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος της επίλυσής του και επιπλέον, μετά την κατασκευή του μοντέλου, να κάνουμε μια επαλήθευσή του δοκιμάζοντάς το σε ένα “απλό” πρόβλημα, προς αποφυγή μελλοντικών λαθών εξ’ αιτίας κάποιου λάθους που έγινε στο στάδιο της διατύπωσης.

Το μαθηματικό μοντέλο ενός επιχειρησιακού προβλήματος δεν είναι τίποτε άλλο από ένα σύστημα εξισώσεων και άλλων σχετικών μαθηματικών εκφράσεων που εκπροσωπούν το πρόβλημα. Έτσι, εάν υπάρχουν  $m$  ποσοτικές αποφάσεις που πρέπει να παρθούν, παριστάνονται ως “Μεταβλητές Απόφασης” (έστω  $x_1, x_2, \dots, x_m$ ) των οποίων οι τιμές είναι και οι ζητούμενες. Έπειτα, η κατάλληλη μέτρηση της απόδοσης (πχ. το κέρδος) εκφράζεται ως μία μαθηματική συνάρτηση των μεταβλητών απόφασης (πχ.  $P = 5x_1 + 11x_2 + \dots + 3x_m$ ). Αυτή η συνάρτηση είναι, αυτό που εξηγήθηκε και παραπάνω, η “Αντικειμενική Συνάρτηση”. Οι όποιοι περιορισμοί των τιμών που μπορούν να πάρουν αυτές οι μεταβλητές απόφασης επίσης εκφράζονται με μαθηματικό τρόπο κυρίως με την βοήθεια εξισώσεων ή ανισοτήτων (πχ.  $7x_1 + x_2 \leq 13$ ) και είναι οι γνωστοί μας “Περιορισμοί”. Οι σταθερές στους περιορισμούς και στην αντικειμενική συνάρτηση ονομάζονται “Παράμετροι” του μοντέλου. Τελικά το πρόβλημα υπόκειται στην επιλογή των κατάλληλων τιμών για τις μεταβλητές απόφασης έτσι ώστε αυτές να βελτιστοποιούν (να μεγιστοποιούν ή να ελαχιστοποιούν) την αντικειμενική συνάρτηση.

Είναι προφανής η υπερίσχυση της μοντελοποίησης του προβλήματος σε σχέση με την λεκτική περιγραφή του, καθώς αποδίδεται συνοπτικά και με σχέσεις αλληλεπιδράσεων.

### 4. Επίλυση και Επαλήθευση του Μοντέλου

Στο βήμα αυτό, διερευνάται εάν το μαθηματικό μοντέλο, που αναπτύχθηκε στο Βήμα 3, είναι μια ακριβής αναπαράσταση της πραγματικότητας. Μερικές φορές, για να επικυρώσουμε το μοντέλο μας, θα πρέπει να ελέγξουμε αν αυτό αντιπροσωπεύει με ακρίβεια την συνάρτηση για τις τιμές των μεταβλητών απόφασης.

Η επίλυση του μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα τεχνικών για τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης του προβλήματος, δηλαδή της στρατηγικής που θα ακολουθήσουμε. Οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εδώ στηρίζονται σε Ανώτερα Μαθηματικά (Διαφορικό και Ολοκληρωτικό Λογισμό, Αριθμητική Ανάλυση, Γραμμική Άλγεβρα, Κλασικές Μεθόδους Βελτιστοποίησης, Λογισμό Μεταβολών), στη Θεωρία Πιθανοτήτων (Κατανομές Πιθανοτήτων, Μαρκοβιανές Αλυσίδες) και τη Στατιστική (Περιγραφική Στατιστική, Στατιστική Συμπερασματολογία, Εκτίμηση Παραμέτρων, Ανάλυση Παλινδρόμησης, Αλληλοσυσχέτιση, Ανάλυση Μεταβλητότητας, Παραγοντική Ανάλυση, Χρονοσειρές) ή σε Θεωρίες και Τεχνικές της ΕΕ. Οι τελευταίες είναι οι πιο εύκολες, εύχρηστες και συχνά χρησιμοποιούμενες, αφού είναι κατά κανόνα αριθμητικές, επαναληπτικές μέθοδοι και βασίζονται στη χρήση αλγορίθμων που υλοποιούνται σε υπολογιστή.

Η δημοφιλέστερη και συχνότερη τεχνική της ΕΕ είναι ο Γραμμικός Προγραμματισμός (Linear Programming), ο οποίος σχεδιάστηκε για μοντέλα με αυστηρά γραμμικούς περιορισμούς. Άλλες τεχνικές είναι ο Ακέραιος Προγραμματισμός (Integer Programming), ο Μη Γραμμικός προγραμματισμός (Non Linear Programming) και ο Δυναμικός Προγραμματισμός (Dynamic Programming), όπου τα προβλήματα διαιρούνται σε μικρότερα υποπροβλήματα. Μερικά μόνο από τα πολλά διαθέσιμα εργαλεία της ΕΕ είναι κάποιες αρκετά χρήσιμες μέθοδοι, όπως ο Προγραμματισμός Δικτύων (Network Programming), τα Δένδρα Αποφάσεων (Decision Trees), η Διαχείριση Αποθεμάτων (Inventory Control), η Θεωρία Ουρών Αναμονής (Queueing Theory) και η Θεωρία Παιγνίων (Game Theory).

Η τελική επιλογή της κατάλληλης μεθόδου της ΕΕ εξαρτάται από τον τύπο και την πολυπλοκότητα του μαθηματικού μοντέλου. Αν το μοντέλο ταιριάζει με κάποιο από τα γνωστά μαθηματικά μοντέλα, είμαστε σε θέση τις περισσότερες φορές να βρούμε μια εφικτή λύση, με τη χρήση αλγορίθμων. Διαφορετικά, αν οι μαθηματικές σχέσεις είναι εξαιρετικά περίπλοκες και δεν επιτρέπουν την εύρεση μιας αναλυτικής λύσης, τότε οι ομάδες της ΕΕ απλοποιούν το μοντέλο και χρησιμοποιούν κάποιες ευριστικές τεχνικές (Heuristics Technics) ή μεθόδους προσομοίωσης (Simulation Methods). Συχνά, απαιτείται ακόμα και ο συνδυασμός των μεθόδων αυτών.

Οι λύσεις του προβλήματος απορρέουν αυτόματα από αλγόριθμους συγκεκριμένων λογισμικών πακέτων του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Έτσι, παρουσιάζονται οι βέλτιστες λύσεις, οι οποίες προσομοιώνουν το πραγματικό πρόβλημα. Πολλές φορές όμως, κανείς δεν μπορεί να εγγυηθεί πως αυτή η βέλτιστη λύση θα είναι και η καλύτερη δυνατή. Για αυτόν το λόγο, προτιμάται μια ικανοποιητική λύση όσο αφορά τους περιορισμούς των πραγματικών προβλημάτων, και ταυτόχρονα βέλτιστη για τα αποτελέσματα του μαθηματικού πακέτου. Η βέλτιστη λύση του μαθηματικού μοντέλου επιτυγχάνεται και από την ακριβή επιλογή των ευαίσθητων παραμέτρων (sensitive parameters), η τιμή των οποίων εισάγεται με μεγάλη προσοχή προς αποφυγή λάθους έκβασης του αποτελέσματος.

## **5. Δοκιμή του Μοντέλου και Ανάλυση Ευαισθησίας**

Η πρώτη εκδοχή του μοντέλου είναι πολύ πιθανό να περιέχει αρκετές ατέλειες, διότι τις περισσότερες φορές οι αλληλεπιδράσεις των σχέσεων δεν έχουν εισαχθεί επιτυχώς στο μοντέλο και κατά συνέπεια τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά από τα προσδοκώμενα. Τότε, η ομάδα ΕΕ, καλείται να εξετάσει διεξοδικά το πρόγραμμα ώστε να ανιχνευτούν αυτά τα λάθη ή παραλείψεις. Η διαδικασία αυτή της δοκιμής και βελτίωσης ενός μοντέλου ώστε να αυξηθεί η εγκυρότητά του αναφέρεται ως "Επικύρωση του Μοντέλου" (Model Validation). Επίσης, μια πιο συστηματική προσέγγιση για να δοκιμαστεί το μοντέλο είναι να γίνει χρήση μιας αναδρομικής δοκιμής. Δηλαδή, να γίνει χρήση ιστορικών δεδομένων για την ανακατασκευή του παρελθόντος, ώστε να προσδιοριστεί κατά πόσο το αποτέλεσμα που προκύπτει εάν εφαρμοζόταν θα ήταν επιτυχές.

Μερικές φορές, για να επικυρώσουμε το μοντέλο μας, θα πρέπει να ελέγξουμε αν αυτό αντιπροσωπεύει με ακρίβεια την συνάρτηση για τις τιμές των μεταβλητών απόφασης. Ακόμα κι αν ένα μοντέλο είναι έγκυρο για την τρέχουσα κατάσταση, πρέπει να αποφεύγουμε την τυφλή εφαρμογή του.

Σημειώνεται ότι η λύση που προκύπτει από το μοντέλο ισχύει στην πραγματικότητα για τις παραμέτρους που ορίσαμε αρχικά. Πολλές φορές όμως, ενδιαφερόμαστε για την επίπτωση που θα είχε στη στρατηγική μας – που στην προκειμένη θεωρήθηκε άριστη, αφού βρέθηκε βέλτιστη λύση – μια τυχούσα αλλαγή στο περιβάλλον, και κατ' επέκταση οποιαδήποτε μεταβολή των παραμέτρων του μοντέλου. Η ανάλυση αυτή της λύσης ονομάζεται "Ανάλυση Ευαισθησίας". Είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της έρευνας, διότι μπορεί να μας πληροφορήσει για την ευαισθησία της λύσης όταν υπάρχουν φαινομενικά ανεπαίσθητες αλλαγές στις παραμέτρους και με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επηρεαστεί βαθιά η στρατηγική που ακολουθήσουμε.

## **6. Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων και Ολοκλήρωση της Μελέτης**

Σε αυτό το βήμα, ο ερευνητής ή η ομάδα της ΕΕ παρουσιάζει στην επιχείρηση – συνήθως στον Υπεύθυνο του Τομέα Διαχείρισης (Management Department) – το μοντέλο και την πρότασή του, από το Βήμα 5. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να παρουσιαστούν διάφορες εναλλακτικές λύσεις και να είναι στην ευχέρεια της επιχείρησης να επιλέξει ποια ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες της. Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, ο αναλυτής μπορεί να διαπιστώσει ότι ο οργανισμός δεν εγκρίνει την πρότασή του. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε εσφαλμένο ορισμό των προβλημάτων του οργανισμού ή στη μη εμπλοκή του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων από την αρχή της μελέτης. Σε αυτή την περίπτωση, ο ερευνητής θα πρέπει να επιστρέψει στο βήμα 1, 2 ή 3.

## 7. Εφαρμογή και Αξιολόγηση του Μοντέλου

Εάν ο οργανισμός έχει αποδεχθεί τη μελέτη, τότε ο αναλυτής βοηθά στην εφαρμογή των προτάσεων, δηλαδή στην προσομοίωση του μαθηματικού μοντέλου στο πραγματικό τρέχον πρόβλημα. Το σύστημα πρέπει να είναι συνεχώς παρακολουθούμενο – και ενημερωμένο δυναμικά με τις αλλαγές του περιβάλλοντος – για να διασφαλίσουμε ότι οι προτάσεις επιτρέπουν στον οργανισμό να επιτύχει τους στόχους του. Πρέπει λοιπόν να εγκατασταθεί ένα καλά τεκμηριωμένο σύστημα για την εφαρμογή του μοντέλου, όπως ορίζεται από τον Τομέα της Διαχείρισης. Το σύστημα αυτό θα περιλαμβάνει το μοντέλο, τη διαδικασία λύσης και τις λειτουργικές διαδικασίες για την εκτέλεσή του. Το σύστημα που παρέχει τις αριθμητικές λύσεις εκτελείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ τα δεδομένα παρέχονται από τον Τομέα των Βάσεων Δεδομένων και Συστημάτων Διαχείρισης Πληροφοριών (Databases and Management Information Systems). Μετά την εξαγωγή λύσης του προβλήματος, ακολουθούν περαιτέρω διαδικασίες βελτιστοποίησης των αποτελεσμάτων (Decision Support System, Generate Managerial Reports).

Αφού λοιπόν, μελετήσαμε το πρόβλημα και βρήκαμε τη βέλτιστη λύση του – επιλέξαμε δηλαδή τη στρατηγική που θα ακολουθήσουμε – δε μένει παρά να την υλοποιήσουμε. Το στάδιο αυτό είναι συχνά το δυσκολότερο. Απαιτείται να είμαστε σε θέση να μετατρέψουμε τα αποτελέσματά μας σε λειτουργικές οδηγίες, έτσι ώστε η βελτίωση που επιτεύχθηκε να εφαρμοστεί στο πραγματικό σύστημα. Με προσεκτική και σωστή εκτέλεση ενός προβλήματος ως μαθηματικό μοντέλο, το νέο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χρόνια.

### 1.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρούμε λοιπόν, πως η ΕΕ ασχολείται με προβλήματα που προκύπτουν σε διάφορους τομείς των επιχειρήσεων και των οργανισμών, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα, από την παραγωγή, τη διακίνηση και τη διαφήμιση των προϊόντων έως τη διαχείριση των οικονομικών της επιχείρησης, αλλά και τη Διαχείριση του Ανθρώπινου Δυναμικού (Human Resources). Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι η ΕΕ είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη χρήση υπολογιστών. Υπάρχει πληθώρα υπολογιστικών πακέτων που βοηθούν στην επίλυση επιχειρησιακών προβλημάτων.

Η κατασκευή και η επίλυση των μαθηματικών μοντέλων ήταν το κύριο θέμα της παραγράφου αυτής, και φαίνεται ότι αυτό αποτελεί μόνο ένα μέρος της συνολικής διαδικασίας που εμπλέκεται στη διεξαγωγή μιας τυπικής μελέτης ΕΕ. Τόσο η μοντελοποίηση, όσο και οι άλλες φάσεις που περιγράφηκαν εδώ, είναι εξίσου σημαντικές για την επιτυχία της μελέτης.

Κατά την ολοκλήρωση αυτής της παρουσίασης των κύριων βημάτων μιας μελέτης ΕΕ, θα πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν πολλές εξαιρέσεις από τους "κανόνες" που παραβλέπονται στο παρόν κεφάλαιο. Από τη φύση της, η ΕΕ απαιτεί εφευρετικότητα και καινοτομία, οπότε είναι αδύνατο να διατυπωθεί οποιαδήποτε τυποποιημένη διαδικασία που θα πρέπει πάντα να ακολουθείται από τις ομάδες ΕΕ. Αντίθετα, τα βήματα που αναλύθηκαν παραπάνω μπορούν να θεωρηθούν ως ένα μοντέλο που αντιπροσωπεύει κατά προσέγγιση τις επιτυχημένες μελέτες ΕΕ που διεξάγονται.

Στη συνέχεια της εργασίας, θα μελετήσουμε ένα πολύ συγκεκριμένο πρόβλημα της Επιχειρησιακής Έρευνας, το οποίο αφορά μία πολύ σημαντική λειτουργία κάθε σύγχρονης επιχείρησης. Το πρόβλημα αυτό είναι ο "Έλεγχος και η Διαχείριση των Αποθεμάτων" της επιχείρησης (Inventory Control) και αποτελεί σημαντική ευθύνη στη διοίκηση του παραγωγικού συστήματος.



---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

---

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα βασικό πεδίο στο οποίο υπεισέρχεται η Επιχειρησιακή Έρευνα και αποτελεί συνδυαστικό κρίκο ανάμεσα στη διαδικασία της παραγωγής και στη διακίνηση των προϊόντων μιας επιχείρησης, είναι ο **Έλεγχος των Αποθεμάτων (Inventory Control)**.

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί μια σημαντική ευθύνη για τη διοίκηση ενός παραγωγικού συστήματος. Ως **απόθεμα** θεωρείται η ποσότητα οποιουδήποτε οικονομικού αγαθού - υλικού ή μη - που εισάγεται στο σύστημα και υπερβαίνει την ποσότητα του αγαθού αυτού που εξάγεται από το σύστημα. Η δημιουργία αποθεμάτων μπορεί είτε να είναι σχεδιασμένη, με σκοπό να εξομαλύνει τις επερχόμενες διαφορές μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης του αγαθού, είτε να είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων, όπως κακός προγραμματισμός ή άλλα έκτακτα φαινόμενα. Η αναγκαιότητα ύπαρξης του αποθέματος οφείλεται κυρίως στην αβεβαιότητα αναφορικά με την προσφορά και τη ζήτηση του αγαθού για την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών.

Ο Έλεγχος των Αποθεμάτων είναι ουσιαστικά μια τεχνική με επιστημονικές βάσεις που σκοπό έχει να παρακολουθεί την αποθηκευμένη ποσότητα του αγαθού και να λαμβάνει τις σχετικές αποφάσεις, όπως πότε και σε τι ποσότητα θα πρέπει να παραγγελθεί το υλικό κλπ. Ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων θεωρείται το σύνολο των κανονισμών και ελέγχων που καθορίζουν το ύψος των αποθεμάτων, **πότε** θα πρέπει τα αποθέματα να ανανεώνονται και **πόσο** μεγάλες θα πρέπει να είναι οι παραγγελίες. Σε ένα παραγωγικό σύστημα, τα αποθέματα διακρίνονται σε πρώτες ύλες, τελικά προϊόντα, ενδιάμεσα προϊόντα και εφόδια. Αποθέματα μπορούν να δημιουργηθούν και στις υπηρεσίες με την έννοια των υλικών αγαθών και προμηθειών που υποστηρίζουν την υπηρεσία αυτή.

Βασικός σκοπός ενός συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων είναι να καθορίζει αρχικά πότε θα πρέπει να παραγγελθούν τα αγαθά και ύστερα πόσο μεγάλη θα πρέπει να είναι η παραγγελία. Ορισμένες επιχειρήσεις προτιμούν να διατηρούν μακροχρόνιες σχέσεις με τους προμηθευτές τους για την ικανοποίηση των αναγκών τους για σχεδόν έναν ολόκληρο χρόνο. Στην περίπτωση αυτή ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων θα καθορίζει πότε και τι ποσότητα θα διανέμεται. Ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων, εξοικονομεί πόρους για την επιχείρηση, ελαχιστοποιώντας το κόστος.

Η έννοια του αποθέματος είναι γενική και δεν περιορίζεται στην περίπτωση των πρώτων υλών, των προϊόντων και εμπορευμάτων αλλά καλύπτει ένα ευρύ φάσμα οικονομικών φαινομένων. Ανεξάρτητα από τη γενικότητα του όρου, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποθεμάτων είναι πολύ σημαντικό για όλες τις επιχειρήσεις καθώς τα αποθέματα τους δεσμεύουν συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό του κεφαλαίου τους κι έχουν σημαντικό κόστος διατήρησης. Υπάρχουν κατηγορίες επιχειρήσεων, όπως τα Super Market, όπου τα αποθέματα τους καλύπτουν περίπου το 50% του ενεργητικού τους.

Το πρόβλημα ελέγχου των αποθεμάτων έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό - ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια - την βιβλιογραφία κι έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια ανάλυσης και εμβάθυνσης του προβλήματος. Στη θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος, έχει δημοσιευτεί πλήθος επιστημονικών μελετών, έχουν γίνει πολλές και πολύπλοκες μαθηματικές αναλύσεις κι έχουν διατυπωθεί πολλές θεωρίες και μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων. Όμως, από πρακτικής απόψεως, μόνο ένα μικρό μέρος των θεωριών έχουν εφαρμοστεί σε πραγματικό επιχειρησιακό περιβάλλον.

### 2.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Ως πρόβλημα διαχείρισης αποθεμάτων ορίζεται γενικά το πρόβλημα εξισορρόπησης μεταξύ του κόστους έλλειψης και του κόστους πλεονάσματος αποθέματος ενός παραγωγικού προϊόντος. Ένας

σωστός σχεδιασμός διαχείρισης αποθεμάτων αποσυνδέει το παραγωγικό σύστημα από τις διακυμάνσεις της ζήτησης και διατηρεί ομαλή ροή στην παραγωγή, ανεξάρτητη από τη λειτουργία της παραγωγικής στάθμης, αυξάνει το ρυθμό παραγωγής και ελαττώνει το κόστος.

### 2.2.1 Σκοπός Διατήρησης Αποθεμάτων

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες σε ένα παραγωγικό σύστημα για ποικίλους λόγους. Αν η ζήτηση ενός προϊόντος ήταν γνωστή, τότε η επιχείρηση θα μπορούσε να παράγει το προϊόν αυτό σε τέτοια ποσότητα έτσι ώστε να αντιστοιχεί ακριβώς στη ζήτηση. Επειδή όμως στην πραγματικότητα η ζήτηση σπάνια είναι γνωστή, με τη διατήρηση τελικών αποθεμάτων, δίνεται η δυνατότητα στην επιχείρηση να αποσυνδέσει το παραγωγικό σύστημα από τη ζήτηση και να αντιμετωπίσει τυχόν μεταβολές της.

Συνεπώς, η δημιουργία αποθεμάτων συμβάλει στην επιτάχυνση και βελτίωση της έγκαιρης παράδοσης των προϊόντων, μειώνοντας ταυτόχρονα τις πιθανότητες μη εκπλήρωσης μίας παραγγελίας ή καθυστερημένης παράδοσης. Η ύπαρξη αποθεμάτων, πρώτων υλών και ενδιάμεσων προϊόντων εξασφαλίζει τη συνεχή τροφοδοσία του παραγωγικού συστήματος και την ομαλή ροή της παραγωγής, χωρίς να επηρεάζεται από καθυστερήσεις των προμηθευτών. Επίσης εξασφαλίζει την ανεξάρτητη λειτουργία των παραγωγικών σταδίων, την αύξηση του ρυθμού παραγωγής και τη μείωση του κόστους παραγωγής. Για παράδειγμα, με την διατήρηση αποθεμάτων, μειώνεται το κόστος αλλαγής μιας μηχανής, από την παραγωγή ενός προϊόντος στην παραγωγή ενός άλλου.

Κάθε καινούργια παραγγελία συνεπάγεται κόστος για την επιχείρηση το οποίο δεν εξαρτάται από την ποσότητα της παραγγελίας. Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η παραγγελία, τόσο μικρότερος θα είναι ο συνολικός αριθμός των παραγγελιών και συνεπώς τόσο μικρότερο το κόστος αυτών. Τέλος, μια επιχείρηση με τη διατήρηση αποθεμάτων έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις πληρωμές της σε προμηθευτές, κάνοντας μεγαλύτερες παραγγελίες σε περιόδους που οι τιμές των προμηθευτών είναι χαμηλές.

### 2.2.2 Στοιχεία Κόστους Αποθεμάτων

Για την λήψη αποφάσεων σχετικά με το ύψος των αποθεμάτων, η επιχείρηση θα πρέπει να λάβει υπόψιν τα ακόλουθα κόστη:

#### α) Κόστος Παραγγελίας (Ordering Cost)

Συμβολίζεται με  $K$  και αποτελείται από δύο συνιστώσες που διαμορφώνουν το συνολικό κόστος για την τοποθέτηση μιας παραγγελίας στους προμηθευτές της επιχείρησης, ένα σταθερό και ένα μεταβλητό κόστος. Το σταθερό κόστος είναι ανεξάρτητο από την ποσότητα που παραγγέλλεται και περιλαμβάνει τα διοικητικά και διαχειριστικά έξοδα (χρόνος υπαλλήλων που θα ασχοληθούν με την παραγγελία, υπογραφή εγγράφων, δαπάνες για την έναρξη του παραγωγικού κύκλου ή την έκδοση μιας παραγγελίας), το κόστος των προκαταρκτικών εργασιών (χρόνος σύνταξης της παραγγελίας, προετοιμασία αποθήκης για την παραλαβή), τα έξοδα παραλαβής των υλικών. Το μεταβλητό κόστος είναι το κόστος αγοράς του αποθέματος από τους προμηθευτές και είναι πάντα ανάλογο προς την ποσότητα που παραγγέλλεται. Στην περίπτωση που η επιχείρηση δεν προμηθεύεται τα σχετικά προϊόντα αλλά τα παράγει χρησιμοποιώντας δικές της εγκαταστάσεις, το σταθερό κόστος παραγωγής αφορά στο κόστος προετοιμασίας της παραγωγικής διαδικασίας (setup), ενώ το μεταβλητό κόστος αφορά στο κόστος παραγωγής.

#### β) Κόστος Διατήρησης Αποθεμάτων (Holding Cost)

Πρόκειται για το κόστος που καταβάλλεται για τη διατήρηση του προϊόντος ως απόθεμα στην πορεία του χρόνου και μεταβάλλεται ανάλογα με την ποσότητα του αποθέματος και τη χρονική διάρκεια αποθεματοποίησης. Περιλαμβάνει ορισμένα επιμέρους κόστη, όπως το κόστος αποθήκευσης  $K_c$  (Carrying Cost, πχ. ενοίκιο αποθήκης, έξοδα συντήρησης, κόστος φύλακα), το κόστος δεσμευμένου κεφαλαίου, το κόστος ασφάλισης αποθέματος, το κόστος απόσβεσης αποθέματος (λόγω παλαιώσης ή αλλοίωσης των προϊόντων, κυρίως εποχιακών) και το κόστος του χειρισμού του (handling) κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά του. Πιο συγκεκριμένα, το κόστος δεσμευμένου κεφαλαίου (ή κόστος ευκαιρίας) πηγάζει από την ανάγκη της επιχείρησης να επενδύσει τα κεφαλαία της για την διατήρηση

αποθεμάτων έναντι των άλλων εναλλακτικών χρήσεων των κεφαλαίων της. Το κόστος του δεσμευμένου κεφαλαίου είναι πάντα ίσο ή μεγαλύτερο της απόδοσης που θα είχε η επιχείρηση εάν είχε επενδύσει τα κεφάλαιά της σε χρηματοοικονομικά προϊόντα πολύ χαμηλού κινδύνου.

### **γ) Κόστος Έλλειψης (Shortage Cost)**

Εμφανίζεται όταν η ζήτηση για ένα προϊόν υπερτερεί του αποθέματος της επιχείρησης για το συγκεκριμένο προϊόν, με αποτέλεσμα να καθυστερήσει ή να ακυρωθεί η παραγγελία. Αυτό έχει ως συνέπεια για την επιχείρηση την απώλεια κερδών, λόγω των χαμένων πωλήσεων, αλλά και την απώλεια αξιοπιστίας. Πιο συγκεκριμένα, αφορά σε διαφυγόντα κέρδη (σε περίπτωση εξαντλήσεως των αποθεμάτων και αδυναμίας ικανοποίησης της ζήτησης) και στο κόστος από την απώλεια εμπιστοσύνης των πελατών, η οποία βραχυπρόθεσμα συνεπάγεται χαμένη πώληση, μακροπρόθεσμα όμως μπορεί να μεταφραστεί σε χαμένο πελάτη. Το κόστος έλλειψης είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί με ορισμένα περιστασιακά μέτρα. Κάτι τέτοιο όμως, έχει ως συνέπεια μεγαλύτερο κόστος προπαρασκευής, κόστος έκτακτης εργασίας, αυξημένο διαχειριστικό κόστος, περισσότερες δαπάνες μεταφοράς, καθώς και κόστος από την μεταβολή των προγραμμάτων παραγωγής. Το κόστος έλλειψης είναι ανάλογο προς την ποσότητα και τη χρονική διάρκεια της έλλειψης, όταν στο σύστημα αποθεμάτων δεν επιτρέπονται οι απώλειες παραγγελιών, και ανάλογο προς την ποσότητα έλλειψης, όταν επιτρέπονται οι απώλειες.

## **2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ**

### **2.3.1 Βασικοί Τύποι Αποθεμάτων**

Τα αποθέματα μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες αναλύονται παρακάτω. Τα διαφορετικά αυτά είδη αποθεμάτων δεν διακρίνονται σε φυσική μορφή αλλά με βάση την αιτία της δημιουργίας τους.

#### **Απόθεμα Ασφαλείας (Safety Stock Inventory)**

Για να αποφύγουν προβλήματα εξυπηρέτησης των πελατών και μη διαθεσιμότητας εξαρτημάτων, οι εταιρείες συχνά διατηρούν ένα απόθεμα ασφαλείας. Τα αποθέματα ασφαλείας είναι χρήσιμα όταν οι προμηθευτές δεν παραδίδουν την απαιτούμενη ποσότητα στην προκαθορισμένη ημερομηνία σε αποδεκτή ποιότητα ή όταν τα παρασκευασμένα αντικείμενα έχουν υποστεί ζημιές ή απαιτούν περαιτέρω διορθώσεις. Η διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας σε περίπτωση τέτοιων προβλημάτων. Για τη διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας, μία επιχείρηση κάνει μία παραγγελία νωρίτερα απ' ότι τη χρειάζεται πραγματικά είτε σε μεγαλύτερη ποσότητα.

#### **Απόθεμα Αναμονής (Anticipation Inventory)**

Ως απόθεμα αναμονής καθορίζεται το απόθεμα που χρησιμοποιείται για να απορροφήσει ανόμοια ζήτηση σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Για παράδειγμα, το 90% της ετήσιας ζήτησης του πετρελαίου θέρμανσης εμφανίζεται μέσα σε τέσσερις μήνες στο χρόνο. Με τη διατήρηση αποθεμάτων αναμονής, οι επιχειρήσεις δεν είναι υποχρεωμένες να προβαίνουν σε σημαντικές αυξομειώσεις της παραγωγής που συνεπάγονται κόστος. Τα αποθέματα αναμονής χρησιμοποιούνται επίσης και σε περιπτώσεις αβεβαιότητας σχετικά με την προσφορά ενός προϊόντος.

#### **Κυκλικό Απόθεμα (Cycle Inventory)**

Το κυκλικό απόθεμα είναι το τμήμα του συνολικού αποθέματος που καθορίζεται άμεσα από το μέγεθος της παραγγελίας. Το ύψος του κυκλικού αποθέματος εξαρτάται από τον χρόνο ανάμεσα σε δυο παραγγελίες. Για παράδειγμα, αν γίνεται μια παραγγελία κάθε μήνα, το ύψος του αποθέματος θα πρέπει να ισούται με τη μηνιαία ζήτηση. Όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική περίοδος ανάμεσα σε δυο παραγγελίες τόσο μεγαλύτερο θα είναι το κυκλικό απόθεμα.

#### **Απόθεμα σε Κίνηση (Pipeline Inventory)**

Τα αποθέματα που κινούνται από το ένα σημείο του συστήματος ροής υλικών στο άλλο καλούνται αποθέματα σε κίνηση. Τα αποθέματα αυτά αποτελούν παραγγελίες που έχουν γίνει αλλά δεν

έχουν παραληφθεί ακόμα.

### 2.3.2 Μέθοδοι Μείωσης Παραγγελιών

Πολλές φορές, λόγω των διαφορετικών αναγκών που προκύπτουν αλλά και εκείνων που εξυπηρετούνται, οι επιχειρήσεις χρειάζεται να μειώσουν τα αποθέματά τους. Ανάλογα με την κατηγορία του αποθέματος, μπορούν να καθοριστούν οι κατάλληλες τακτικές για τη μείωση του. Οι τακτικές αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνουν την ενέργεια για τη μείωση του αποθέματος αλλά και τακτικές για τη μείωση του κόστους εξ' αιτίας της έλλειψης αποθεμάτων.

Η βασική στρατηγική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του **αποθέματος ασφαλείας** είναι η τοποθέτηση των παραγγελιών πιο κοντά στο χρόνο που πρέπει να γίνει η παραλαβή. Λόγω της αβεβαιότητας σχετικά με τη ζήτηση, τις προμήθειες και τους χρόνους αποστολής, η τακτική αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μη αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης πελατών. Οι πιθανές αρνητικές συνέπειες μπορούν να αποφευχθούν αν παράλληλα η επιχείρηση βελτιώσει τις προβλέψεις ζήτησης, μειώσει το χρόνο ανάμεσα σε δυο παραλαβές και δώσει μεγαλύτερη έμφαση σε εργασία και μηχανές, τα μόνα συστατικά στοιχεία της παραγωγής που δεν αποθηκεύονται.

Για την μείωση των **αποθεμάτων αναμονής**, μια επιχείρηση μπορεί να εξισώσει το ρυθμό παραγωγής της με τον ρυθμό ζήτησης. Παράλληλα θα πρέπει να προσπαθήσει να εξισορροπήσει τη ζήτηση δημιουργώντας νέα προϊόντα με διαφορετικούς κύκλους ζήτησης, με διαφήμιση προϊόντων εκτός εποχής και με εκπτώσεις στα προϊόντα αυτά.

Για τη μείωση του **κυκλικού αποθέματος**, η εταιρία μπορεί απλά να μειώσει το μέγεθος της παραγγελίας. Παράλληλα, όμως, για την αποφυγή της αύξησης του κόστους έναρξης νέας λειτουργίας και την αύξηση του συνολικού κόστους παραγγελίας, λόγω αύξησης του αριθμού των παραγγελιών, θα πρέπει η επιχείρηση να βελτιστοποιήσει τις διαδικασίες παραγγελίας και προετοιμασίας για νέες λειτουργίες. Επίσης, μπορεί να αυξήσει το βαθμό στον οποίο η ίδια εργασία μπορεί να επαναληφθεί χωρίς να χρειάζονται αλλαγές με εξειδίκευση, αφιέρωση πόρων για την παραγωγή ενός μόνο προϊόντος και τη χρησιμοποίηση του ίδιου εξαρτήματος για διαφορετικά προϊόντα.

Τέλος, μια επιχείρηση για να ελέγξει τα **αποθέματα σε κίνηση**, έχει τη δυνατότητα να μειώσει τη διάρκεια αναμονής των αποθεμάτων, όχι όμως και τη ζήτηση. Για να το πετύχει αυτό, μπορεί να επιλέξει τους κατάλληλους προμηθευτές και εταιρίες μεταφορών, να βελτιώσει τη διαχείριση των υλικών εντός του εργοστασίου και να μειώσει την ποσότητα της παραγγελίας στις περιπτώσεις που ο χρόνος αναμονής εξαρτάται από την ποσότητα παραγγελίας.

Το πρόβλημα που προκύπτει και χρήζει επίλυσης είναι να βρεθεί μια εξισορρόπηση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος λειτουργίας της επιχείρησης, μειώνοντας τα διάφορα ενδιάμεσα κόστη που συμμετέχουν στις διαδικασίες, ενώ ταυτόχρονα να είναι τα προϊόντα διαθέσιμα ανά πάσα στιγμή που θα ζητηθούν.

Έτσι, ορισμένοι παράγοντες που αποτελούν μορφές πίεσης για υψηλά επίπεδα αποθέματος είναι τα κόστη μεταφοράς (transportation cost) και παραγγελίας (ordering cost), οι εκπτώσεις σε περιπτώσεις μεγάλων παραγγελιών και οι μηχανισμοί εξυπηρέτησης πελατών.

Πέρα από τους προαναφερθέντες παράγοντες για υψηλά επίπεδα αποθεμάτων, υπάρχουν και άλλοι που πιέζουν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Επιγραμματικά, το κόστος διατήρησης, το κόστος ευκαιρίας και το κόστος αποθήκευσης αποθεμάτων, οι φόροι, η ασφάλιση, αλλά και οι κίνδυνοι μείωσης αποθεμάτων, εξαιτίας εξωτερικών παραγόντων (πχ. κλοπή, φυσικές καταστροφές, κλπ).

## 2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Πολύ σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία μιας επιχείρησης, παίζει η μελέτη διαφόρων παραμέτρων που σχετίζονται με τον Έλεγχο Αποθεμάτων. Οι κυριότερες έννοιες που συναντώνται σε ένα σύστημα αποθεμάτων είναι οι εξής:

### Είδος των Αποθεμάτων

- Οι πρώτες ύλες, που θα χρησιμοποιηθούν ως βασικές εισροές στην παραγωγική διαδικασία

- Τα εφόδια, δηλαδή τα είδη που θα καταναλωθούν κατά την καθημερινή λειτουργία του συστήματος, χωρίς να αποτελέσουν μέρος του τελικού προϊόντος (καύσιμα, κοπτικά εργαλεία, κλπ)
- Τα ενδιάμεσα (υπό επεξεργασία) προϊόντα αποτελούν εκροές ενδιάμεσων φάσεων της παραγωγικής διαδικασίας που θα αποτελέσουν εισροές σε επόμενες φάσεις της
- Τα τελικά προϊόντα προορίζονται για τον τελικό καταναλωτή χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Τελικά προϊόντα μιας επιχείρησης μπορούν αν θεωρούνται ενδιάμεσα προϊόντα μιας άλλης.

### **Ζήτηση (Demand)**

Ζήτηση για ένα προϊόν είναι η σχέση που δείχνει την ποσότητα του προϊόντος που οι καταναλωτές επιθυμούν να αγοράσουν σε κάθε επίπεδο της τιμής του. Συνεπώς, η απλή επιθυμία ενός καταναλωτή για ένα προϊόν δεν αποτελεί ζήτηση. Πρέπει να διαθέτει την αγοραστική δύναμη που απαιτείται για την αγορά του.

Το μέγεθος της ζήτησης, για μια ορισμένη μελλοντική χρονική περίοδο, είναι δυνατό να είναι εκ των προτέρων γνωστό. Τότε, τα συστήματα αυτά των αποθεμάτων ονομάζονται ντετερμινιστικά. Στις περιπτώσεις αυτές, αναφερόμαστε σε **ντετερμινιστική** ζήτηση (Deterministic Demand) και το μέγεθός της μπορεί να είναι σταθερό για ίσα χρονικά διαστήματα (**στατική** ζήτηση) ή να είναι γνωστός ο τρόπος μεταβολής του (**δυναμική** ζήτηση). Σε πολλά συστήματα αποθεμάτων, είναι αδύνατο να προσδιοριστεί εκ των προτέρων το μέγεθος της ζήτησης, αλλά να γνωρίζουμε την κατανομή των αποθεμάτων της. Η κατανομή αυτή μπορεί να είναι **ασυνεχής** (Non-Stationary) ή **συνεχής** (Stationary). Η ζήτηση τότε ονομάζεται **στοχαστική** (Stochastic Demand).

Καθοριστικός είναι ο διαχωρισμός για τη ζήτηση, που γίνεται ανάλογα με το είδος των αγαθών. Έτσι, η ζήτηση μπορεί να χαρακτηριστεί **ανεξάρτητη** (Independent Demand), όταν πρόκειται για τα τελικά προϊόντα μια επιχείρησης, δηλαδή όταν τα αντικείμενα που παράγει μια παραγωγική μονάδα δεν σχετίζονται μεταξύ τους, αλλά αντιμετωπίζουν κάποια εξωτερική ζήτηση. **Εξαρτημένη** (Dependent Demand) είναι η ζήτηση που αφορά σε εξαρτήματα και πρώτες ύλες που συμμετέχουν στην παραγωγική διαδικασία άλλων (τελικών) προϊόντων. Στην περίπτωση της εξαρτημένης ζήτησης, η ανάγκη για ένα αντικείμενο είναι αποτέλεσμα της ανάγκης για κάποιο άλλο, συνήθως σε υψηλότερο επίπεδο της παραγωγικής διαδικασίας. Η εξαρτημένη ζήτηση είναι σχετικά εύκολο να προσδιοριστεί με βάση τη ζητούμενη ποσότητα του αντικειμένου από το οποίο εξαρτάται.

### **Πηγή Προμήθειας**

Η παραγγελία του εκάστοτε προϊόντος τοποθετείται σε εξωτερικό προμηθευτή (δηλαδή πρώτες ύλες ή εφόδια) ή παράγεται από την ίδια την επιχείρηση (ενδιάμεσα ή τελικά προϊόντα).

### **Αναπλήρωση ή Εφοδιασμός (Replenishment)**

Με τον όρο αναπλήρωση (ή εφοδιασμό) εννοούμε την ποσότητα ενός προϊόντος που προκύπτει είτε από την παραγωγή είτε από την αγορά του και προστίθεται στα αποθέματα. Την ποσότητα αυτή την συμβολίζουμε με  $Q$ . Το μέγεθός της μπορεί να είναι σταθερό ή να μεταβάλλεται και αφορά μία παραγγελία, που τοποθετείται είτε μία φορά (μεμονωμένη), είτε επαναλαμβάνεται τακτικά (επαναλαμβανόμενη).

### **Χρόνος Αναπλήρωσης ή Εφοδιασμού (Replenishment Lead Time)**

Είναι η χρονική περίοδος μεταξύ της έκδοσης μιας παραγγελίας, για την αναπλήρωση (ή εφοδιασμό) ενός προϊόντος, και της εκτέλεσής της, δηλαδή την είσοδο του προϊόντος αυτού στην αποθήκη. Ο χρόνος αναπλήρωσης μπορεί να είναι σταθερός ή και να μεταβάλλεται, και συμβολίζεται με  $L$ .

### **Χρονική Στιγμή Εφοδιασμού (Συχνότητα)**

Οι δύο παραπάνω μεταβλητές μας δηλώνουν **πότε** και **πόσο** συχνά πρέπει να γίνεται η αναπλήρωση. Εκείνος που παίρνει τις αποφάσεις για την τύχη μας επιχείρησης, μπορεί να ελέγχει και τις δύο αυτές μεταβλητές συγχρόνως ή μόνο την μία πχ. δεν ελέγχουμε την συχνότητα επισκέψεων ενός πελάτη, αλλά την ποσότητα των προϊόντων που αφήνει. Όταν ένα προϊόν παράγεται κατά μερίδες, δεν ελέγχουμε την ποσότητα, αλλά την συχνότητα παραγωγής.

## Κύκλος Παραγγελίας (Ordering Cycle)

Πρόκειται για το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαχρονικών παραγωγών ή δύο διαχρονικών παραγγελιών.

## Πολιτική Διαχείρισης Αποθεμάτων

Με τον όρο πολιτική διαχείρισης αποθεμάτων εννοούμε μία σειρά κανόνων, με βάση τους οποίους αποφασίζεται πότε και με ποια ποσότητα πρέπει να αναπληρωθεί το απόθεμα. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πολιτική διαχείρισης είναι η πολιτική  $(S_1, S_2)$ . Με βάση την πολιτική αυτή, όταν το επίπεδο του αποθέματος βρίσκεται στο  $S_1$ , τότε γίνεται αναπλήρωση μέχρις ότου το επίπεδο του αποθέματος φτάσει στο  $S_2$ . Επομένως, η ποσότητα  $Q$  που αναπληρώνεται, είναι ίση με  $S_2 - S_1$ .

## Οικονομικές Παράμετροι

Ορισμένες οικονομικές παράμετροι που παίζουν σημαντικό ρόλο στη μελέτη του Ελέγχου Αποθεμάτων έχουν αναλυθεί παραπάνω και είναι ενδεικτικά:

- I. Κόστος Παραγγελίας
- II. Κόστος Διατήρησης Αποθεμάτων
- III. Κόστος Έλλειψης
- IV. Τιμή Αγοράς και Πώλησης Προϊόντος, δηλαδή η τιμή στην οποία η επιχείρηση αγοράζει ή πουλάει τη μία μονάδα του προϊόντος αντίστοιχα.

## 2.5 ABC ΑΝΑΛΥΣΗ (ABC ANALYSIS)

Η διαχείριση των αποθεμάτων (καταμετρήσεις, τοποθέτηση παραγγελιών, παραλαβή αποθεμάτων, κτλ.) κοστίζει σε χρόνο προσωπικού και σε χρήματα. Έτσι, βάσει του περιορισμού των πόρων, η επιχείρηση θα πρέπει να χρησιμοποιήσει τους διαθέσιμους πόρους της με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, δηλαδή να επικεντρώνεται στα πιο σημαντικά αντικείμενα στο απόθεμά της. Ένα σύστημα διαχείρισης αποθέματος καθορίζει πότε θα πρέπει να γίνει μια παραγγελία για ένα προϊόν και τι ποσότητα θα πρέπει να παραγγελθεί.

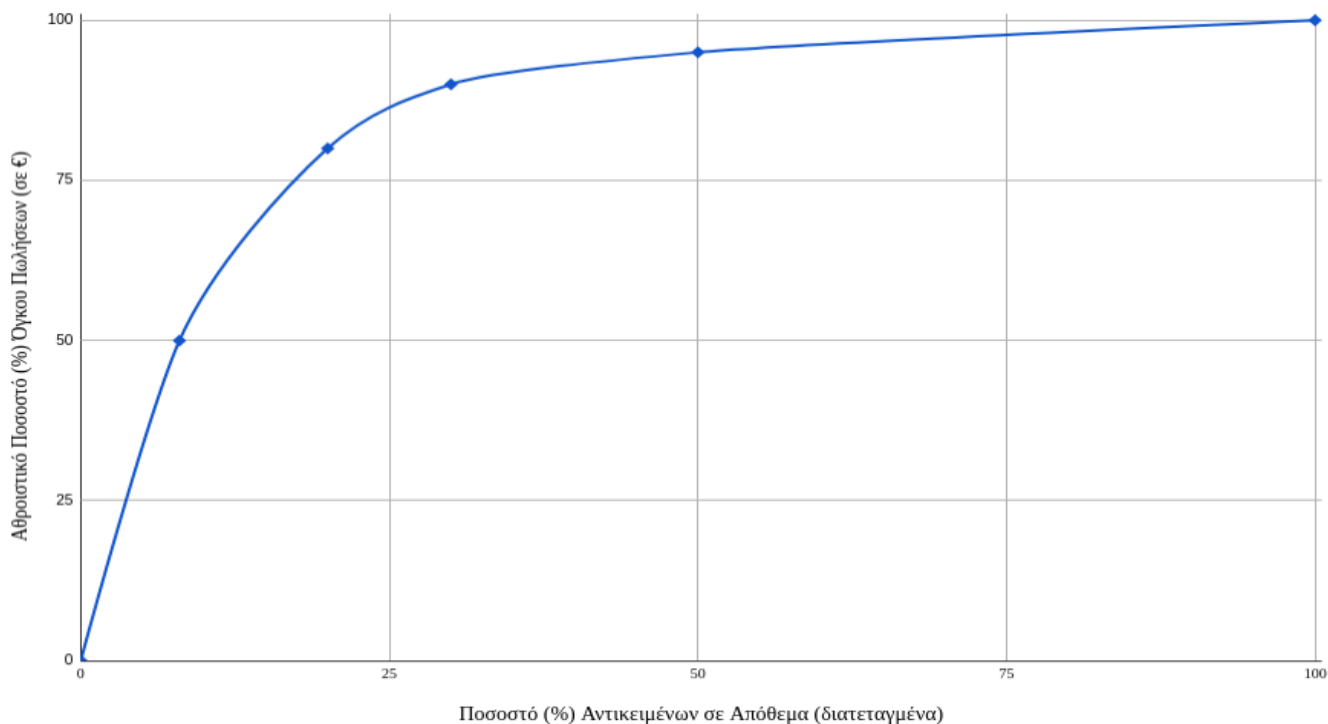
Καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις ελέγχου των αποθεμάτων περιλαμβάνονται αρκετά διαφορετικά μεταξύ τους αντικείμενα, συνήθως είναι δύσκολο για την επιχείρηση να κάνει διαφορετικό προγραμματισμό για τα αποθέματα του καθενός. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, χρησιμοποιείται η ταξινόμηση **ABC**, η οποία σχεδιάστηκε από την General Electric τη δεκαετία του '50. Σκοπός της είναι να διαχωρίσει το απόθεμα σε τρεις (ορισμένες φορές και σε τέσσερις - A, B, C, D) κατηγορίες, βασισμένη στο γεγονός ότι ένας σχετικά μικρός αριθμός προϊόντων (ένα τυχαίο δείγμα από 100 περίπου προϊόντα είναι συχνά ο ευκολότερος τρόπος να χρησιμοποιηθεί μία ABC ανάλυση), εξαρτημάτων ή υλικών, αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της συνολικά δεσμευμένης σε αποθέματα αξίας.

### 2.5.1 Παρουσίαση της Μεθόδου

Κάθε διαφορετικό είδος στο απόθεμα μιας εταιρίας χρειάζεται το δικό του έλεγχο και τη δική του βέλτιστη πολιτική παραγγελιών, ανεξάρτητα από τα αντίστοιχα αποθέματα των άλλων προϊόντων. Όμως, μπορεί κανείς να αναγνωρίσει ότι δεν είναι όλοι οι τύποι προϊόντων ενός αποθέματος το ίδιο σημαντικοί για την εταιρία. Η ABC ανάλυση είναι ένας τρόπος να κατατάσσουμε τα προϊόντα κατά ιεραρχία σημαντικότητας. Χρησιμοποιείται προκειμένου να καθοριστεί αν αξίζει να εφαρμοστεί μία περαιτέρω λεπτομερειακή ανάλυση ή κατά πόσο μία μεγάλου κόστους βελτίωση της ακρίβειας της ανάλυσης δεν ενδέχεται να αποφέρει σημαντικά κέρδη.

Σαν μέτρο σημαντικότητας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον όγκο των πωλήσεων, τη χρηματική αξία των πωλήσεων ή την κερδοφορία από την πώληση ενός τύπου προϊόντος. Στο **Σχήμα 2.1** φαίνεται μία τυπική ABC καμπύλη, που έχει δημιουργηθεί από την κατάταξη των προϊόντων ενός αποθέματος, σύμφωνα με την αξία των πωλήσεών τους σε €, κατά φθίνουσα σειρά. Στο σχήμα φαίνεται ο γνωστός κανόνας 80/20 (Αρχή του Pareto), όπου το 80% των αποτελεσμάτων (στην προκειμένη περίπτωση η αξία των πωλήσεων) προκύπτουν από 20% των μέσων ή αιτίων (δηλαδή των σημαντικότερων προϊόντων).

Πιο αναλυτικά, η κατηγορία **A** αντιστοιχεί σε ένα μικρό σχετικά ποσοστό των ειδών αποθέματος, μεγάλης όμως αξίας, δηλαδή περίπου στο 15-20% του συνόλου των διαφόρων ειδών αποθεμάτων που αντιστοιχούν σε περίπου 50-65% της συνολικής αξίας των αποθεμάτων. Η κατηγορία **B** περιλαμβάνει υλικά μικρότερης αξίας και σημασίας. Αντιστοιχούν περίπου στο 20-25% του συνόλου των ειδών και στο 20-25% της συνολικής αξίας των αποθεμάτων. Η κατηγορία **C** περιλαμβάνει τα υπόλοιπα μικρότερης αξίας αγαθά, περίπου 10-15% της συνολικής αξίας των αποθεμάτων, που αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των υλικών που αποθεματοποιούνται. Στόχος της ταξινόμησης ABC είναι ο καθορισμός του βαθμού ελέγχου και παρακολούθησης των αποθεμάτων.



**Σχήμα 2.1: Γράφημα ABC Ανάλυσης**

Είναι σαφές ότι το τυπικό προϊόν της κατηγορίας A είναι σημαντικά σπουδαιότερο της κατηγορίας B, κι αυτό με τη σειρά του είναι πολύ πιο σημαντικό από το τυπικό προϊόν της κατηγορίας C. Για λόγους πολιτικής, τα προϊόντα τύπου A πρέπει να τύχουν της μέγιστης δυνατής φροντίδας, ανάλυσης και παρακολούθησης, επειδή είναι τα πιο σημαντικά για την εταιρία. Τα προϊόντα τύπου B πρέπει να λάβουν μία λογική φροντίδα, αλλά σίγουρα μικρότερη από αυτά τύπου A. Από την άλλη, τα προϊόντα τύπου C αντιστοιχούν σε πολλά διαφορετικά αντικείμενα, αλλά κάθε ανεξάρτητο προϊόν C πετυχαίνει τόσες λίγες πωλήσεις, ώστε μπορεί να αναλύεται περιστασιακά εφόσον δεν εμπλέκονται σημαντικά χρηματικά ποσά.

Συνεπώς, σε περιοδική βάση, τα υλικά της πρώτης κατηγορίας μπορούν να ελέγχονται πιο αποτελεσματικά με εβδομαδιαίες παραγγελίες, τα υλικά της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να παραγγέλλονται κάθε δύο εβδομάδες και τα υλικά της τρίτης κατηγορίας μπορούν να προμηθεύονται μηνιαία ή ακόμα και κάθε δύο μήνες. Για τα αποθέματα της πρώτης κατηγορίας, το σύστημα διαχείρισής τους θα πρέπει να βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση του αποθέματος του κάθε υλικού και θα πρέπει πάντα να τηρείται επαρκές απόθεμα ασφαλείας. Στα αποθέματα της δεύτερης κατηγορίας δεν απαιτείται τόσο αυστηρός έλεγχος και η επανεξέταση των παραμέτρων του αποθέματος, όπως το επίπεδο ανάλωσης ή ο χρόνος εκτέλεσης της παραγγελίας, θα πρέπει να γίνεται τακτικά αλλά σε μεγαλύτερες περιόδους απ' ό,τι τα αποθέματα της πρώτης κατηγορίας. Τέλος, για τη διαχείριση των αποθεμάτων της τρίτης κατηγορίας, ο έλεγχος των παραμέτρων του συστήματος διαχείρισης μπορεί να γίνεται ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθώς δεν υπάρχει υψηλό κόστος έλλειψης των αποθεμάτων αυτών.

Αποδεικνύεται στην πράξη ότι οι τεχνικές του ελέγχου αποθεμάτων πρέπει να εφαρμόζονται σε μία εταιρία και να εστιάζουν σε προϊόντα τύπου A, αφού κάθε βελτίωση σε αυτά, μπορεί να αποφέρει

το μεγαλύτερο δυνατό όφελος για την εταιρία.

### 2.5.2 Εφαρμογή της Μεθόδου

Η υλοποίηση μιας ABC ανάλυσης προϋποθέτει την αποδοχή ενός μέτρου σημαντικότητας και την κατάταξη σύμφωνα με αυτό όλων των αντικειμένων ενός αποθέματος. Είναι σημαντικό για την ανάλυση, το δείγμα να επιλεγεί τυχαία, ώστε να είναι σχεδόν βέβαιο ότι το αποτέλεσμα θα είναι αντιπροσωπευτικό για όλο το απόθεμα. Στο σημείο αυτό, περιγράφονται συνοπτικά τα βήματα της μεθόδου ABC:

1. Δημιουργούμε μια λίστα με τα στοιχεία και τον σημαντικό παράγοντα που θέλουμε να αναλύσουμε, ως πούμε των ειδών με τις πωλήσεις τους.
2. Ταξινομούμε την λίστα ως προς τον παράγοντα με φθίνουσα σειρά, δηλαδή τα είδη με τις υψηλότερες πωλήσεις πρώτα και αυτά με τις χαμηλότερες τελευταία.
3. Υπολογίζουμε το πλήθος των στοιχείων και το άθροισμα του παράγοντα της λίστας, δηλαδή πόσα είδη έχουμε και το άθροισμα των πωλήσεών τους.
4. Δημιουργούμε στην λίστα μία νέα στήλη με την προοδευτική τιμή του παράγοντα (στην περίπτωση μας των πωλήσεων), έτσι ώστε οι πωλήσεις της νέας στήλης για κάθε είδος να περιλαμβάνουν και τις πωλήσεις των ειδών που βρίσκονται υψηλότερα στη λίστα από αυτό.
5. Δημιουργούμε στην λίστα μία νέα στήλη με το ποσοστό (%) της προηγούμενης στήλης ως προς το άθροισμα του παράγοντα της λίστας, δηλαδή το ποσοστό των προοδευτικών επί των συνολικών πωλήσεων για κάθε είδος.
6. Δημιουργούμε στην λίστα μία νέα στήλη για την κατηγορία και την συμπληρώνουμε ως εξής: ξεκινάμε από πάνω προς τα κάτω και θέτουμε «Α» μέχρι το στοιχείο που συμπληρώνεται το ποσοστό της κατηγορίας «Α» και στην συνέχεια «Β» μέχρι το στοιχείο που συμπληρώνεται το ποσοστό της κατηγορίας «Α»+«Β», και τέλος «C» σε όλα τα υπόλοιπα.
7. Δημιουργούμε στην λίστα μία νέα στήλη με το ποσοστό (%) του A/A της θέσης του στοιχείου της λίστας ως προς το πλήθος τους, δηλαδή του A/A του κάθε είδους ως προς το σύνολο των ειδών.
8. Τέλος, δημιουργούμε ένα διάγραμμα (διάγραμμα Pareto), όπου ο άξονας X αντιπροσωπεύει το ποσοστό του βήματος 5 και ο άξονας Y το ποσοστό του βήματος 7.

Αν το διάγραμμά μας εμφανίζει την καμπύλη του θεωρητικού διαγράμματος (Σχήμα 1), τότε οι πωλήσεις των ειδών μας ακολουθούν τον κανόνα 80/20 και εμφανίζουν μια «αναμενόμενη» τυπική κατανομή. Οποιαδήποτε καμπύλη πάνω αυτή, απεικονίζει «χειρότερη» κατάσταση, διότι πολύ λίγα είδη κάνουν σχεδόν το σύνολο των πωλήσεων, οπότε μάλλον θα πρέπει να καταργήσουμε έναν σημαντικό αριθμό ειδών της κατηγορίας «C», γιατί απλά αυτά αυξάνουν το λειτουργικό κόστος χωρίς να «προσφέρουν» σε πωλήσεις. Οποιαδήποτε καμπύλη κάτω από αυτή, απεικονίζει «καλύτερη» κατάσταση, διότι περισσότερα είδη μας συμμετέχουν στις πωλήσεις με την ίδια βαρύτητα, και το πλήθος των ειδών με χαμηλή σημασία είναι μικρό. Αυτός θα πρέπει να είναι και ο στόχος μας.

### 2.5.3 Προβλήματα της Μεθόδου

Στην πράξη, τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα και οι αποφάσεις απαιτούν να ληφθούν υπόψη και άλλες παράμετροι. Υπάρχουν δύο θέματα που θα έπρεπε να μας απασχολούν όταν εφαρμόζουμε μια ABC ανάλυση. Αρχικά, πολλές φορές επιλέγεται ως μέτρο σημαντικότητας ο όγκος των πωλήσεων σε €, ενώ ίσως θα ήταν πιο ορθολογικό να χρησιμοποιείται ένα μέτρο κερδοφορίας.

Δεύτερον, συχνά ορισμένα αντικείμενα, λόγω του μικρού κόστους τους και κατ' επέκταση του μικρού όγκου πωλήσεών τους, κατατάσσονται στην κατηγορία C, τη στιγμή που μπορεί να είναι εξαιρετικής σημασίας για τους πελάτες της εταιρίας.

Για παράδειγμα, θα πρέπει να εξαιρέσουμε τις περιπτώσεις ειδών που ανήκουν στην κατηγορία «C» και είναι «συνδεδεμένα» με αυτά της κατηγορίας «Α». Αν τα καταργήσουμε, τότε το αποτέλεσμα θα είναι να «πέσουν» και οι πωλήσεις των «Α». Επίσης, θα πρέπει να εξαιρέσουμε τις περιπτώσεις ειδών που ανήκουν στην κατηγορία «C» και αποτελούν «νέα» είδη που δεν έχουν προλάβει ακόμα να δείξουν την δυναμική των πωλήσεών τους. Με άλλα λόγια, δε θα πρέπει να μπερδευτούμε στην περίπτωση που



τα είδη «Α» πωλούνται, γιατί υπάρχουν κάποια «C» και στην περίπτωση που υπάρχουν στην «C» νέα είδη και δεν έχουν προλάβει να δείξουν τις πραγματικές πωλήσεις που μπορούν να κάνουν.

Αν και αυτές είναι μόνο δύο από τις περιπτώσεις που πρέπει να λάβουμε υπόψη, στην ορθή ερμηνεία ενός διαγράμματος Pareto, η οποία θα μας οδηγήσει και στις σωστές αποφάσεις, ο κανόνας σχεδόν πάντοτε υπερσχύει και μάλιστα κατά κράτος. Αν για παράδειγμα στην κατηγορία «C» εμπίπτουν το 80% (ή περισσότερο) των ειδών μας, τότε έχουμε πρόβλημα και πρέπει να καταργήσουμε κάποια από αυτά. Επειδή, όμως, ποτέ δεν ανήκουν όλα τα είδη της «C» στις περιπτώσεις των εξαιρέσεων, πρέπει να επιλέξουμε τα «σωστά» είδη προς κατάργηση και σε αυτό – δυστυχώς – δεν μπορεί να μας βοηθήσει ο Pareto.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

---

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αποθέματα, όπως είδαμε, είναι πρώτες ύλες, αγαθά που βρίσκονται στο στάδιο της επεξεργασίας και τελικά προϊόντα, και αποτελούν το τμήμα των περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης που είναι ή θα είναι έτοιμα προς πώληση. Η διαμόρφωση ενός κατάλληλου μοντέλου ελέγχου αποθεμάτων είναι ένα από τα σημαντικότερα καθήκοντα μιας βιομηχανίας. Οι πρώτες επιστημονικές έρευνες διαχείρισης αποθεμάτων χρονολογούνται τη δεύτερη δεκαετία του περασμένου αιώνα, αλλά το ενδιαφέρον σε αυτόν τον επιστημονικό τομέα εξακολουθεί να είναι μεγάλο.

Κατά κανόνα, δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη λύση, καθώς οι συνθήκες σε κάθε εταιρία είναι μοναδικές και περιλαμβάνουν πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά και περιορισμούς. Έτσι, με τη μαθηματική μοντελοποίηση και την εύρεση της βέλτιστης στρατηγικής ελέγχου αποθεμάτων, οι λύσεις που προκύπτουν, υλοποιούνται σε μια ταχέως μεταβαλλόμενη κατάσταση, όπου μπορεί οι συνθήκες να αλλάζουν καθημερινά. Συνεπώς, υπάρχει η ανάγκη για νέες και αποτελεσματικές μεθόδους μοντελοποίησης που σχετίζονται με τη διαχείριση αποθεμάτων, ενόψει της αβεβαιότητας.

Τα αποθέματα δημιουργούνται με σκοπό την εκτέλεση ορισμένων δραστηριοτήτων της εταιρείας. Ο σωστός και έγκαιρος προσδιορισμός της βέλτιστης πολιτικής ελέγχου των αποθεμάτων επιτρέπει την απελευθέρωση ενός σημαντικού αριθμού περιουσιακών στοιχείων, που είναι αποθηκευμένα υπό μορφή αποθεμάτων, και τελικά αυξάνει την αποτελεσματικότητα της χρήσης των πόρων. Παρόλο που υπάρχουν κυριολεκτικά εκατομμύρια διαφορετικών τύπων προϊόντων που κατασκευάζονται στην κοινωνία μας, υπάρχουν μόνο δύο θεμελιώδεις αποφάσεις που πρέπει να λάβουμε όταν ελέγχουμε το απόθεμα:

1. Πόσο μεγάλη θα είναι μια παραγγελία αναπλήρωσης αποθέματος.
2. Πότε πρέπει να τοποθετηθεί μια παραγγελία αναπλήρωσης αποθέματος.

Πίσω από αυτά τα ερωτήματα, κρύβονται οι πιέσεις που δέχεται η επιχείρηση για ικανοποίηση της επερχόμενης ζήτησης με το μικρότερο δυνατό κόστος διατήρησης αποθεμάτων. Για να καλυφθεί η ζήτηση, πολλές φορές οδηγούμαστε σε αλόγιστες ποσότητες αποθεμάτων, με μεγάλα κόστη αποθήκευσης, ενώ στις περιπτώσεις των αγαθών που λήγουν ή φθείρονται με την πάροδο του χρόνου, υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να χαθεί το επενδυμένο κεφάλαιο της επιχείρησης. Στην αντίθετη κατεύθυνση, για να διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα τα κόστη που προκύπτουν από τα αποθέματα, μπορεί τελικά να σταθούμε ανεπαρκείς στη ζήτηση των καταναλωτών.

Η κατηγοριοποίηση των προβλημάτων Ελέγχου Αποθεμάτων γίνεται βάσει της ζήτησης, κατά συνέπεια μπορούν να είναι ντετερμινιστικά ή στοχαστικά. Περαιτέρω διαχωρισμός της ζήτησης γίνεται σε στατική ή δυναμική στην περίπτωση της ντετερμινιστικής ζήτησης. Στη συνέχεια, τα μοντέλα εξετάζονται αν είναι συνεχούς ή περιοδικής επιθεώρησης, δηλαδή αν το απόθεμα ελέγχεται και ανανεώνεται συνεχώς, με την αφορμή κάθε νέας κίνησης στην αποθήκη ή αν ελέγχεται και ανανεώνεται αναλόγως σε συγκεκριμένες, προκαθορισμένες χρονικές στιγμές. Τέλος, τα μοντέλα επηρεάζονται από το αν η ζήτηση παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ή αν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις.

Κάνοντας κάποιες απλές παραδοχές που αφορούν αρχικά μη-ρεαλιστικές περιπτώσεις, θα περάσουμε σε πιο σύνθετες παραδοχές και υποθέσεις, με σκοπό να καταλήξουμε σε μια όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική αναπαράσταση της πραγματικότητας.

### 3.2 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ

Μια μέθοδος εξισορρόπησης της προσπάθειας διατήρησης των αποθεμάτων σε χαμηλά επίπεδα και της έγκαιρης ικανοποίησης της πιθανής ζήτησης, αποτελεί η εύρεση της Βέλτιστης Ποσότητας Παραγγελίας (Economic Order Quantity – EOQ). Η EOQ είναι η βέλτιστη ποσότητα που πρέπει να παραγγελθεί για να ανανεωθεί το απόθεμα και βασίζεται στη σχέση αποθέματος και κόστους παραγγελίας.

Το βασικό μοντέλο ΕΟQ είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο μοντέλο στον Έλεγχο Αποθεμάτων και ουσιαστικά δεν είναι τίποτε άλλο από μια εξίσωση που ελαχιστοποιεί το άθροισμα του κόστους αποθήκευσης και του κόστους παραγγελίας. Παρουσιάστηκε πρώτη φορά από τον Ford W. Harris σε μια δημοσίευση το 1913 στο περιοδικό “The Magazine of Management”.

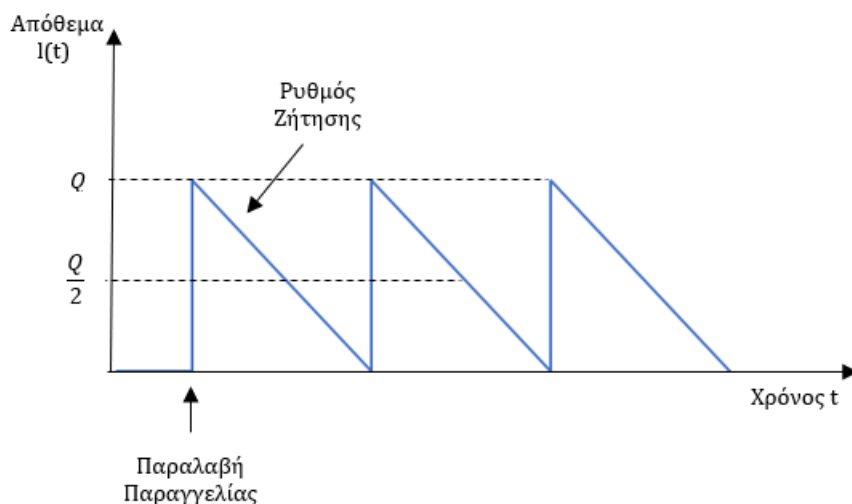
Το συγκεκριμένο μοντέλο βασίζεται σε πολύ απλές υποθέσεις και κατά συνέπεια, πολύ σπάνια ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Αποτελεί όμως ένα λογικό σημείο έναρξης των υπολογισμών. Ξεκινώντας από αυτό, θα γίνει μια προσπάθεια να προσεγγιστεί όλο και πιο ρεαλιστικά η πραγματικότητα, κάνοντας κλιμακωτές αλλαγές στις αρχικές παραδοχές του μοντέλου και προσθέτοντας νέα δεδομένα κάθε φορά, αφού και σε μια επιχείρηση, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλές παράμετροι για να παρθούν οι σωστές αποφάσεις και να σχεδιαστεί μια στρατηγική για τον έλεγχο των αποθεμάτων.

### 3.3 ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ

Το Βασικό ΕΟQ Μοντέλο προκύπτει από μια σειρά περιοριστικών παραδοχών, ως εξής:

- Η ζήτηση  $D$  είναι γνωστή και έχει σταθερό ρυθμό.
- Σε κάθε παραγγελία, προκύπτει ένα σταθερό κόστος παραγγελίας  $K$  (setup cost).
- Δεν επιτρέπονται οι ελλείψεις.
- Οι ποσότητες των παραγγελιών είναι ίσες.
- Η παραγγελία παραλαμβάνεται ολόκληρη σε μία παράδοση.
- Κάθε παραγγελία παραδίδεται αμέσως, δηλαδή ο χρόνος ανάμεσα στην τοποθέτηση και την παραλαβή της παραγγελίας είναι ίσος με μηδέν.
- Για κάθε παραγγελία, υπάρχει ένα σταθερό κόστος αγοράς ή παραγωγής της κάθε μονάδας προϊόντος, ανεξάρτητο από το μέγεθος της παραγγελίας.

Το μοντέλο αυτό (*Basic EOQ Model*) υποδεικνύει ότι κάθε νέα παραγγελία θα πρέπει να γίνεται όταν το απόθεμα, που συμβολίζεται με  $I(t)$ , γίνεται ίσο με μηδέν. Με αυτόν τον τρόπο, δε θα υπάρξει έλλειψη στην αποθήκη. Από την άλλη, αν παραγγελθεί νωρίτερα προϊόν, η επιχείρηση θα επιβαρυνθεί με επιπλέον κόστος αποθήκευσης.



**Σχήμα 3.1: Βασικό Μοντέλο ΕΟQ**

Η απλή υποθετική περίπτωση που εξετάζεται στο μοντέλο αυτό, προϋποθέτει την ακαριαία παράδοση της παραγγελίας, αμέσως μόλις τοποθετηθεί. Στο Σχήμα 3.1, περιγράφεται το επίπεδο του αποθέματος συναρτήσει του χρόνου στο ΕΟQ μοντέλο. Έτσι, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι τη στιγμή κάθε νέας παραγγελίας, το απόθεμα φτάνει στο μέγιστό του, δηλαδή  $Q$ , ενώ αυτό μειώνεται με σταθερό ρυθμό  $D$ , μέχρι να φτάσει στο μηδέν, τις χρονικές στιγμές  $\frac{Q}{D}$ ,  $\frac{2Q}{D}$ ,  $\frac{3Q}{D}$ , ..., και να ξαναγίνει μια παραγγελία. Ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών ανανεώσεων της ποσότητας που βρίσκεται στην αποθήκη είναι ο λεγόμενος **κύκλος παραγγελίας (order cycle ή cycle length)**.

Το μέσο απόθεμα θα είναι  $\frac{Q}{2}$  και είναι αυτό που διαμορφώνει το **κόστος αποθήκευσης** της εταιρίας (**Carrying Cost**), που συμβολίζεται με  $CC$ . Ακόμα, υπάρχει το **κόστος παραγγελιών** (**Ordering Cost**) για την επιχείρηση για μία χρονική περίοδο, το οποίο συμβολίζεται με  $OC$ . Τέλος, το **συνολικό κόστος** (**Total Cost**) για την επιχείρηση για μια περίοδο συμβολίζεται με  $TC$  και είναι ίσο με το άθροισμα του κόστους παραγγελιών της περιόδου ( $OC$ ) συν το κόστος αποθήκευσης των αποθεμάτων της περιόδου ( $CC$ ), δηλαδή ισχύει:

$$TC = OC + CC$$

Η περίοδος στην οποία αναφερόμαστε, συνήθως είναι το ένα έτος. Θέτουμε:

$K$  = κόστος για να τοποθετηθεί μια επιπλέον παραγγελία

$K_c$  = ετήσιο κόστος αποθήκευσης μιας μονάδας προϊόντος

$D$  = συνολική ετήσια ζήτηση σε μονάδες

$Q$  = βέλτιστο μέγεθος παραγγελίας

Όταν η ζήτηση  $D$  είναι γραμμική, όπως στην περίπτωση μας, αν διαιρεθεί με το μέγεθος  $Q$  της κάθε παραγγελίας, θα προκύψει ο ετήσιος αριθμός παραγγελιών που θα πρέπει να τοποθετήσει η επιχείρηση και ισούται με  $\frac{D}{Q}$ .

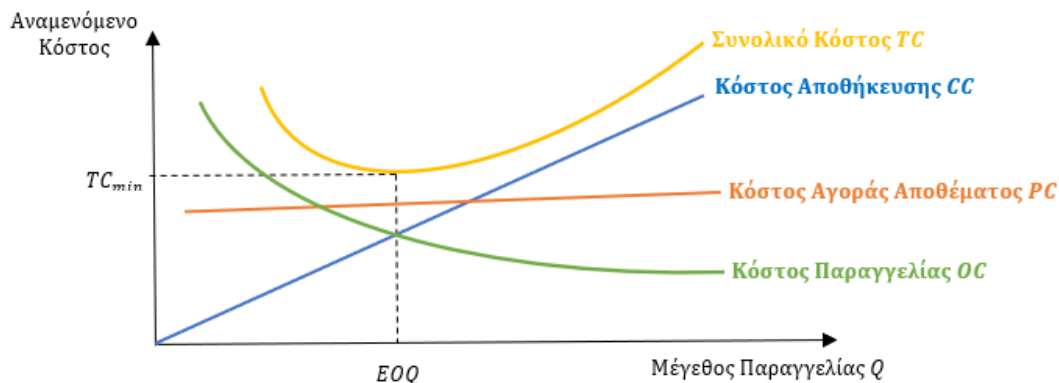
Γενικά θα ισχύει:

$$OC = \frac{D}{Q}K \text{ και } CC = \frac{Q}{2}K_c$$

Παρατηρείται ότι το κόστος αποθήκευσης  $CC$  αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με την ποσότητα της παραγγελίας  $Q$ , ενώ το κόστος παραγγελίας  $OC$  μειώνεται εκθετικά όσο αυξάνεται η παραγγελία, γεγονός που φαίνεται ξεκάθαρα και στο Σχήμα 3.2.

Συνεπώς, για το ετήσιο συνολικό κόστος έχουμε:

$$TC = OC + CC = \frac{D}{Q}K + \frac{Q}{2}K_c \quad (1.1)$$



**Σχήμα 3.2: Σχέση του ετήσιου συνολικού κόστους με την ποσότητα παραγγελίας**

Στο Σχήμα 3.2 διαφαίνεται ότι το ελάχιστο συνολικό κόστος για την επιχείρηση παρουσιάζεται στο σημείο όπου τέμνονται οι καμπύλες των κοστών αποθήκευσης και παραγγελίας, δηλαδή όταν οι κλίσεις των δύο συνιστωσών είναι ίσες κατά μέτρο κι έχουν αντίθετο πρόσημο. Τότε, το **βέλτιστο μέγεθος παραγγελίας** (**Economic Order Quantity - EOQ**) μπορεί να υπολογιστεί αλγεβρικά εξισώνοντας τις ποσότητες  $OC$  και  $CC$  και λύνοντας ως προς  $Q$ :

$$\begin{aligned} OC = CC &\Rightarrow \frac{D}{Q}K = \frac{Q}{2}K_c \Rightarrow Q^2 = \frac{2KD}{K_c} \\ &\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2KD}{K_c}} = EOQ \quad (1.2) \end{aligned}$$

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του  $EOQ$ , που δίνει προφανώς το ίδιο αποτέλεσμα, είναι - γνωρίζοντας ότι η συνάρτηση του  $TC$  είναι συνεχής και παραγωγίσιμη - να βρούμε τα υποψήφια ακρότατά της ως τις ρίζες της πρώτης παραγώγου της, δηλαδή:

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = 0 \Rightarrow -\frac{D}{Q^2}K + \frac{1}{2}K_c = 0 \Rightarrow \frac{D}{Q^2}K = \frac{1}{2}K_c \Rightarrow Q^2 = \frac{2KD}{K_c}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2KD}{K_c}} = EOQ$$

Υπολογίζοντας τη δεύτερη παράγωγο του TC ως προς Q, έχουμε:

$$\frac{\partial^2 TC}{\partial Q^2} = \frac{2KD}{Q^3}$$

που είναι θετική για  $Q = EOQ$ , επομένως η συνάρτηση του TC παρουσιάζει ελάχιστο για ποσότητα παραγγελίας  $Q = EOQ$ .

### 3.3.1 Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

Ο χρόνος του κύκλου παραγγελίας (Cycle Time) που αντιστοιχεί στη βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας EOQ, δίνεται από τη σχέση:

$$t^* = \frac{EOQ}{D} = \frac{\sqrt{2KD/K_c}}{D} = \sqrt{\frac{2K}{K_c D}}$$

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε πως τα μεγέθη  $Q$  (EOQ) και  $t^*$  διαφοροποιούνται κάθε φορά που αλλάζει κάποια από τις ποσότητες  $K_c, K, D$ . Καθώς το κόστος παραγγελίας  $K$  αυξάνεται, οι δύο ποσότητες  $Q$  και  $t^*$  αυξάνονται (πραγματοποιούνται λιγότερες παραγγελίες). Όταν το κόστος αποθήκευσης  $OC$  αυξάνεται, αντίστοιχα μειώνονται και οι δύο ποσότητες  $Q$  και  $t^*$ , καθώς δημιουργούνται μικρότερα επίπεδα αποθέματος.

Ακόμα, καθώς η ετήσια ζήτηση  $D$  αυξάνεται, η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας EOQ αντίστοιχα αυξάνεται καθώς απαιτούνται μεγαλύτερες παρτίδες, αλλά ο χρόνος  $t^*$  του κύκλου παραγγελίας για την ποσότητα EOQ μειώνεται εκθετικά, καθώς απαιτούνται πιο συχνές τοποθετήσεις παραγγελίας, ώστε να καλυφθεί έγκαιρα η μεγαλύτερη ετήσια ζήτηση.

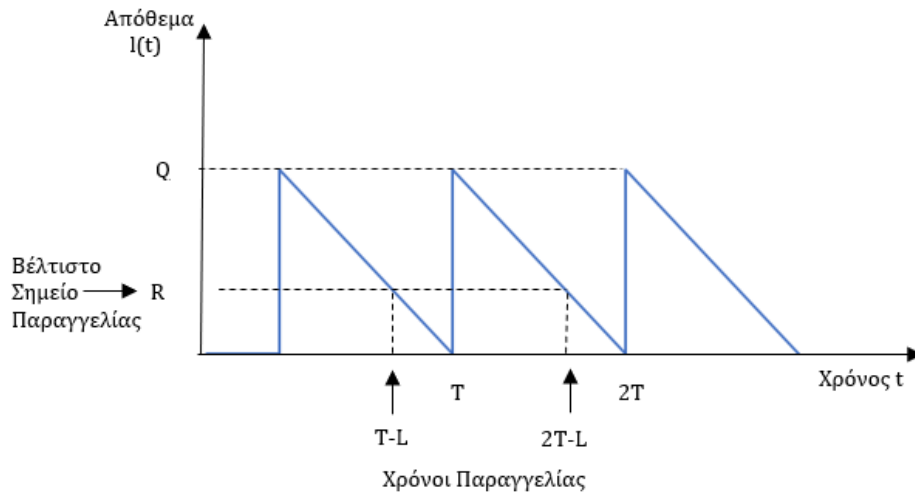
Τέλος, για το συνολικό ετήσιο κόστος TC διαπιστώνουμε ότι δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σε μικρές αλλαγές (ή πιθανά λάθη υπολογισμού) των ποσοτήτων  $K_c, K, D$  που το προσδιορίζουν. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην τετραγωνική ρίζα που μειώνει τις επιπτώσεις στον καθορισμό του EOQ. Αυτό μπορεί να επαληθευτεί και από το Σχήμα 3.2, στο οποίο για ποσότητες παραγγελίας κοντά στο βέλτιστο μέγεθος αυτής (EOQ), η καμπύλη συνολικού κόστους TC δεν παρουσιάζει μεγάλη μεταβολή, είναι σχεδόν επίπεδη. Επομένως, υπάρχει ένα περιθώριο ευελιξίας σχετικά με το μέγεθος της παραγγελίας, χωρίς να επηρεαστεί το συνολικό κόστος.

## 3.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ ΜΕ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ

Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί μια παραλλαγή του Απλού Βασικού Μοντέλου EOQ που εξετάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Η μόνη διαφορά έγκειται στην αναίρεση της αρχικής συνθήκης ότι ο χρόνος αναμονής από τη στιγμή της παραγγελίας μέχρι την παράδοσή της είναι ίσος με το μηδέν.

Σε αυτή την περίπτωση, υποθέτουμε ότι υπάρχει **καθυστέρηση (Lead Time) L** ημερών στην παράδοση του προϊόντος, δηλαδή κάποιος μη-μηδενικός και σταθερός χρόνος αναπλήρωσης (ή εφοδιασμού). Άρα η παραγγελία πρέπει να τοποθετείται κάθε φορά ημέρες νωρίτερα ώστε το νέο εμπόρευμα να φτάνει στην αποθήκη, όταν το υπάρχον απόθεμα μηδενίζεται.

Η αναίρεση του μηδενικού χρόνου αναμονής οδηγεί σιγά σιγά σε πιο ρεαλιστικά σενάρια, καθώς είναι αδύνατο να παραδίνονται τα προϊόντα ακριβώς τη στιγμή που παραγγέλλονται. Προφανώς χρειάζεται κάποιος χρόνος για να μεταφερθούν, και σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμα και να παραχθούν. Το μοντέλο αυτό γραφικά παριστάνεται παρακάτω:



**Σχήμα 3.3: Μοντέλο EOQ με Καθυστέρηση στην Παράδοση Παραγγελίας**

Στο Σχήμα 3.3, με  $T$  συμβολίζεται ο **κύκλος παραγγελίας (Ordering Cycle)**,  $R$  είναι το **βέλτιστο σημείο παραγγελίας (Reorder Point)**, το σημείο δηλαδή στο οποίο όταν βρίσκεται το απόθεμα, πρέπει να τοποθετηθεί νέα παραγγελία ώστε η άφιξη της παραγγελίας αυτής να γίνει στον μηδενισμό του αποθέματος. Το βέλτιστο σημείο παραγγελίας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R = d \cdot L$$

όπου  $d$  είναι ο ρυθμός ζήτησης των προϊόντων από τους καταναλωτές, δηλαδή η ζήτηση  $D$  διαιρεμένη με τις ημέρες λειτουργίας, και  $L$  το χρονικό διάστημα της καθυστέρησης.

Τώρα, οι παραγγελίες τοποθετούνται στις χρονικές στιγμές  $T - L, T - 2L, \dots$ , δεδομένου ότι  $L < T$ . Η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας  $EOQ$  υπολογίζεται και πάλι από τον τύπο (1.2) που χρησιμοποιούμε και στο Βασικό Μοντέλο  $EOQ$ , δηλαδή:

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{K_c}}$$

Τέλος, παρατηρείται ότι τα κόστη παραγγελιών  $OC$  και αποθήκευσης  $CC$  της περιόδου παραμένουν αναλλοίωτα (ακριβώς όπως παρουσιάστηκαν στο Βασικό Μοντέλο  $EOQ$ ), συνεπώς το συνολικό κόστος της επιχείρησης  $TC$ , υπολογίζεται κατά τα γνωστά, βάσει του τύπου (1.1).

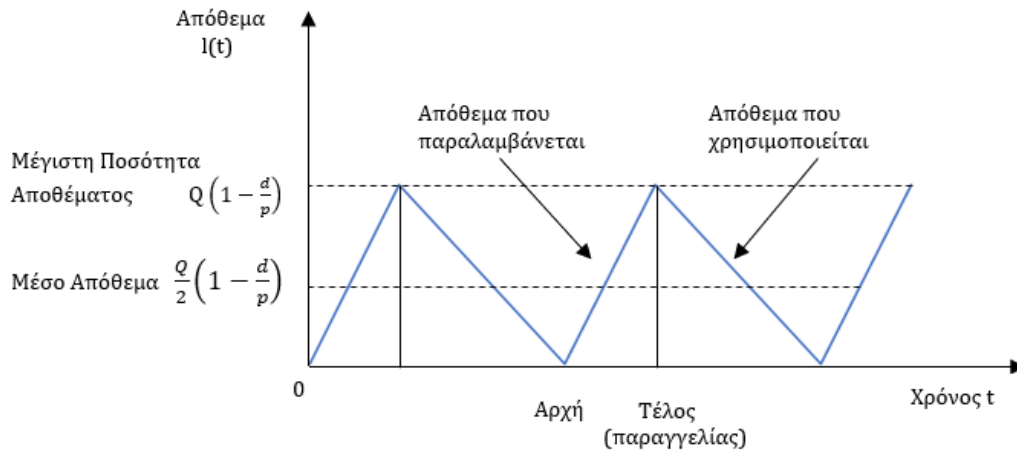
### 3.5 ΜΟΝΤΕΛΟ EOQ ΜΕ ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ

Όπως είδαμε και προηγουμένως, τις περισσότερες φορές, η παράδοση του προϊόντος δεν γίνεται ακαριαία, δηλαδή αμέσως μετά την παραγγελία του. Στο μοντέλο αυτό (*EOQ Model with a Nonzero Lead Time*), θα εξεταστεί η περίπτωση κατά την οποία η παράδοση γίνεται σταδιακά. Στα ίδια συμπεράσματα θα καταλήγαμε και στην περίπτωση που το προϊόν παραγόταν στην επιχείρηση και δεν το αγόραζε από εξωτερικούς προμηθευτές.

Όταν είναι δύσκολο να αγοραστεί ή να παραχθεί όλο το εμπόρευμα την ίδια στιγμή – πχ. στις αυτοκινητοβιομηχανίες, που απαιτείται πληθώρα εξαρτημάτων και το τελικό προϊόν είναι μεγάλου όγκου – θεωρούμε ότι από τη στιγμή της τοποθέτησης της παραγγελίας, το εμπόρευμα παραδίδεται με ρυθμό  $p$ , ενώ παράλληλα, αφαιρείται από την αποθήκη με ρυθμό  $d$  προς ικανοποίηση της ζήτησης.

Συνεπώς, η παραλαβή ολόκληρης της παραγγελίας γίνεται σε χρόνο  $\frac{Q}{p}$  (ποσότητα παραγγελίας διαιρεμένη με το ρυθμό παράδοσης) και η ποσότητα του εμπορεύματος που πωλήθηκε κατά τη διάρκεια της παραλαβής είναι ίση με  $\frac{Q}{p}d$  (χρόνος πολλαπλασιασμένος επί το ρυθμό ζήτησης). Συμπερασματικά, η μέγιστη ποσότητα αποθέματος που μπορεί να υπάρξει στην αποθήκη είναι  $Q(1 - \frac{d}{p})$ , ενώ η μέση ποσότητα αποθέματος είναι  $\frac{Q}{2}(1 - \frac{d}{p})$ .

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4, κατά το χρονικό διάστημα παραλαβής της παραγγελίας  $\frac{Q}{p}$ , υπάρχει ταυτόχρονη προσθήκη αλλά και αφαίρεση εμπορεύματος από την αποθήκη. Αντίθετα, από το χρονικό σημείο που επιτυγχάνουμε τη μέγιστη ποσότητα αποθέματος στην αποθήκη, δηλαδή την ποσότητα  $Q(1 - \frac{d}{p})$  και μέχρι να μηδενιστεί το απόθεμα οπότε και ξεκινάει ο νέος κύκλος παραγγελιών, έχουμε μόνο χρησιμοποίηση - αφαίρεση - του αποθέματος για την ικανοποίηση της ζήτησης.



**Σχήμα 3.4: Μοντέλο ΕΟQ με σταδιακή παράδοση παραγγελίας**

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, το κόστος αποθήκευσης  $CC$  διαφοροποιείται ελαφρώς από τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, καθώς έξοδα αποθήκευσης έχουμε μόνο για τις  $\frac{Q}{2}(1 - \frac{d}{p})$  μονάδες προϊόντος. Έτσι:

$$CC = \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right) K_c$$

Επομένως, για το συνολικό κόστος θα ισχύει:

$$TC = OC + CC = \frac{D}{Q} K + \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right) K_c \quad (1.3)$$

Ο υπολογισμός της Βέλτιστης Ποσότητας Παραγγελίας  $EOQ$  γίνεται όπως και στο Βασικό Μοντέλο, ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος  $TC$ , δηλαδή εξισώνοντας τα επιμέρους κόστη:

$$OC = CC \Rightarrow \frac{D}{Q} K = \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right) K_c \Rightarrow Q^2 = \frac{2KD}{\left(1 - \frac{d}{p}\right) K_c}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2KD}{\left(1 - \frac{d}{p}\right) K_c}} \quad (1.4)$$

Στην περίπτωση παραγωγής του προϊόντος από την ίδια την εταιρία, ο τύπος (1.4) ισχύει για την αντίστοιχη Βέλτιστη Ποσότητα Παραγωγής (**Economic Production Quantity – EPQ**), όπου το  $p$  συμβολίζει τον ρυθμό παραγωγής κατά τη διάρκεια ενός κύκλου παραγωγής.

### 3.6 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ

Ένα από τα εμπόδια που θα αναγκαστεί να ξεπεράσει ο υπεύθυνος του Ελέγχου Αποθεμάτων είναι η εμφάνιση ελλείψεων  $S$  (stockout) σε ορισμένα από τα προϊόντα της επιχείρησης. Όταν λοιπόν παρουσιάζονται ελλείψεις, η ζήτηση δεν ικανοποιείται, λόγω εξαντλήσεως των αποθεμάτων (backorder). Αυτό μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα, όπως η αντιμετώπιση δυσαρεστημένων πελατών, οι χαμένες πωλήσεις, τα κόστη από την τοποθέτηση επιπλέον παραγγελιών, και η οργάνωση - κυρίως γραφειοκρατική - της κάλυψης της μελλοντικής ζήτησης, όταν το απόθεμα ανανεωθεί.

Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες προγραμματίζονται σκόπιμα ελλείψεις σε κάποια προϊόντα από τον εκάστοτε μάνατζερ. Η πιο σημαντική προϋπόθεση είναι οι πελάτες να είναι πρόθυμοι να αποδεχτούν τη δικαιολογημένη καθυστέρηση της ικανοποίησης της ζήτησής τους. Είναι προφανές ότι το προϊόν για το οποίο θα προγραμματιστούν ελλείψεις, δεν μπορεί να είναι πρώτης ανάγκης (πχ. τρόφιμα, φάρμακα, είδη υγιεινής, κλπ).

Έτσι, υποθέτουμε ότι η καθυστερημένη ικανοποίηση της ζήτησης (*backlogged demand*), δεν αποφέρει απώλεια πωλήσεων. Αυτό, συνήθως συμβαίνει όταν τα διάφορα κόστη αποθήκευσης είναι σχεδόν ισοδύναμα με τα κόστη που θα προκύψουν από ενδεχόμενη μη ικανοποίηση της ζήτησης. Η ζήτηση των πελατών ικανοποιείται αμέσως μόλις γίνει παραλαβή προϊόντων από την επιχείρηση. Δεδομένης λοιπόν αυτής της βασικής προϋπόθεσης, υπεισέρχεται τώρα στις εξισώσεις μας ένα κόστος έλλειψης  $UC$  (*Stockout/Understock Cost*), το οποίο περιμένουμε να μην είναι υπερβολικά μεγάλο. Αν το κόστος αποθήκευσης  $CC$  είναι υψηλό σε σχέση με το κόστος έλλειψης  $UC$ , μπορούν να προγραμματιστούν συχνότερες και μικρότερες ελλείψεις.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο (*EOQ Model with Planned Shortages*), η ζήτηση είναι – όπως και στα προηγούμενα – ντετερμινιστική (δηλαδή σταθερή και γνωστή), το απόθεμα όμως τώρα μπορεί να είναι πάρει αρνητικές τιμές ( $Q < 0$ ) – καθότι μιλάμε για έλλειμα. Οι ελλείψεις  $S$  του αποθέματος αναπληρώνονται όταν παραλαμβάνεται μία παραγγελία, άρα το μέγιστο απόθεμα στην αποθήκη θα είναι ίσο με  $Q - S$ . Η ποσότητα αυτή μειώνεται, όταν η ποσότητα των ελλείψεων  $S$  αυξάνεται, και αντίστροφα. Αντίστοιχα, το κόστος έλλειψης  $UC$  είναι αντιστρόφως ανάλογο του κόστους αποθήκευσης (Σχήμα 3.5).

Για την περαιτέρω ανάλυση του παραπάνω προβλήματος, θέτουμε:

$h$  = κόστος έλλειψης μίας μονάδας προϊόντος

$S$  = επίπεδο αποθέματος μετά την παραλαβή  $Q$  μονάδων από την αποθήκη

$Q - S$  = μέγιστο απόθεμα (έλλειψη ακριβώς πριν την παραλαβή  $Q$  μονάδων)

Πιο συγκεκριμένα, το κόστος ανά κύκλο παραγωγής ή παραγγελίας δίνεται από τον τύπο:

$$OC = K + cQ$$

όπου  $c$  το κόστος αγοράς κάθε μονάδας προϊόντος.

Ακόμα, σε κάθε κύκλο παραγγελίας (ή παραγωγής), στην αποθήκη θα υπάρχουν συνολικά  $S$  μονάδες προϊόντος, που καταναλώνονται με ρυθμό  $D$ . Συνεπώς, ο χρόνος για τον οποίο υπάρχει απόθεμα στην αποθήκη, και άρα απαιτείται από την επιχείρηση να πληρώνει για την αποθήκευσή του, είναι  $\frac{S}{D}$ . Κατά το χρονικό διάστημα αυτό, το μέσο απόθεμα είναι ίσο με  $\frac{S}{2}$ , με αντίστοιχο κόστος αποθήκευσης ίσο με  $K_c \frac{S}{2}$ . Επομένως, το κόστος αποθήκευσης σε κάθε κύκλο είναι:

$$CC = K_c \cdot \frac{S}{2} \cdot \frac{S}{D} = \frac{K_c S^2}{2D}$$

Με το ίδιο σκεπτικό, οι ελλείψεις εμφανίζονται στην αποθήκη για χρόνο  $\frac{Q-S}{D}$ , με μέση ποσότητα ελλείψεων αποθέματος  $\frac{Q-S}{2}$  και αντίστοιχου κόστους ελλείψεων  $h \frac{Q-S}{2}$ . Άρα, το κόστος που δημιουργείται από τις ελλείψεις σε κάθε κύκλο παραγγελίας ισούται με:

$$UC = h \cdot \frac{Q-S}{2} \cdot \frac{Q-S}{D} = \frac{h(Q-S)^2}{2D}$$

Τελικά, το συνολικό κόστος ενός κύκλου παραγγελίας ισούται με το άθροισμα των τριών επιμέρους κοστών, δηλαδή:

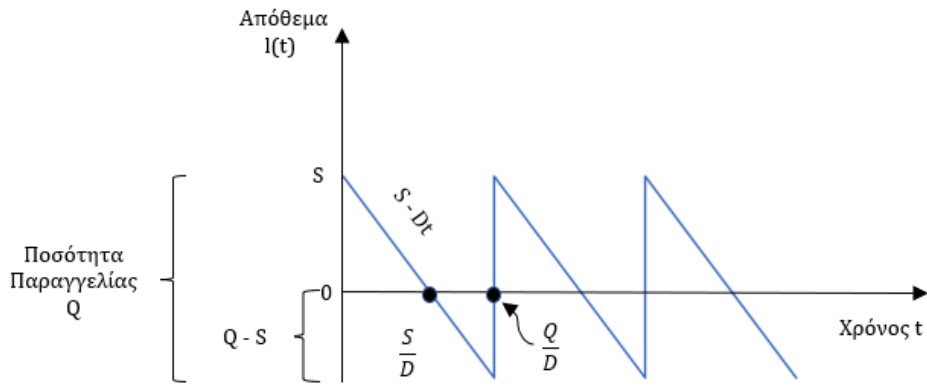
$$TC = OC + CC + UC = (K + cQ) + \frac{K_c S^2}{2D} + \frac{h(Q-S)^2}{2D}$$

Επομένως, το **συνολικό ετήσιο κόστος** θα προκύψει αν πολλαπλασιάσουμε το συνολικό κόστος ενός κύκλου παραγγελίας που βρήκαμε προηγουμένως επί τον ετήσιο αριθμό παραγγελιών  $\frac{D}{Q}$ , άρα:

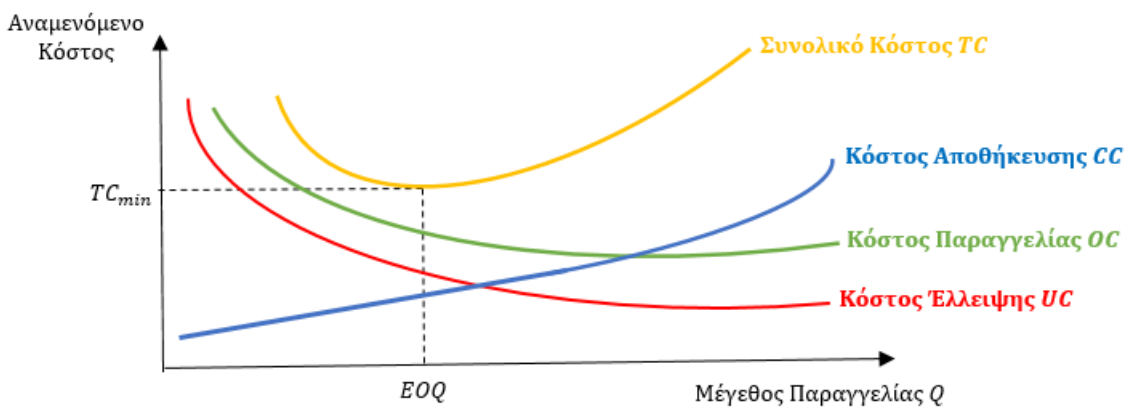
$$TC = \left( K + cQ + \frac{K_c S^2}{2D} + \frac{h(Q-S)^2}{2D} \right) \cdot \frac{D}{Q} = \frac{K + cQ + \frac{K_c S^2}{2D} + \frac{h(Q-S)^2}{2D}}{\frac{Q}{D}}$$

$$\Rightarrow TC = \frac{DK}{Q} + cD + \frac{K_c S^2}{2Q} + \frac{h(Q-S)^2}{2Q} \quad (1.4)$$





Σχήμα 3.5: Μοντέλο ΕΟQ με Προγραμματισμένες Ελλείψεις



Σχήμα 3.6: Γραφική Παράσταση των Κοστών

Από το Σχήμα 3.6, παρατηρείται ότι τα 3 επιμέρους κόστη δεν τέμνονται σε κοινό σημείο, όπως συμβαίνει στο Βασικό ΕΟQ Μοντέλο. Έτσι, οι βέλτιστες τιμές για τα μεγέθη  $S$  και  $Q$  προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης  $TC(Q, S)$  και υπολογίζονται αλγεβρικά, μηδενίζοντας τις πρώτες μερικές παραγώγους  $\frac{\partial TC}{\partial S}$ ,  $\frac{\partial TC}{\partial Q}$ , δηλαδή:

$$\begin{aligned} \frac{\partial TC}{\partial S} = 0 &\Rightarrow \frac{\partial \left( \frac{DK}{Q} + cD + \frac{K_c S^2}{2Q} + \frac{h(Q-S)^2}{2Q} \right)}{\partial S} = 0 \\ &\Rightarrow \frac{K_c S}{Q} - \frac{2h(Q-S)}{2Q} = 0 \Rightarrow K_c S - h(Q-S) = 0 \\ &\Rightarrow S = \frac{h}{K_c + h} Q \quad (1.5) \end{aligned}$$

και

$$\begin{aligned} \frac{\partial TC}{\partial Q} = 0 &\Rightarrow \frac{\partial \left( \frac{DK}{Q} + cD + \frac{K_c S^2}{2Q} + \frac{h(Q-S)^2}{2Q} \right)}{\partial Q} = 0 \\ &\Rightarrow -\frac{DK}{Q^2} - \frac{K_c S^2}{2Q^2} + \frac{2h(Q-S)2Q + 2h(Q-S)^2}{4Q^2} = 0 \\ &\Rightarrow \frac{-4DK - 2K_c S^2 + 2hQ^2 - 2hS^2}{4Q^2} = 0 \\ &\Rightarrow -4DK - 2K_c S^2 + 2hQ^2 - 2hS^2 = 0 \Rightarrow Q^2 = \frac{2hS^2 + 2K_c S^2 + 4DK}{2h} \\ &\Rightarrow Q^2 = \frac{hS^2 + K_c S^2 + 2DK}{h} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{(h + K_c)S^2 + 2DK}{h}} \quad (1.6)$$

Αντικαθιστώντας τον τύπο (1.5) στον (1.6), οδηγούμαστε στις βέλτιστες τιμές των  $S$  και  $Q$ :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KD}{K_c}} \sqrt{\frac{K_c + h}{h}} \quad (1.7)$$

$$S^* = \sqrt{\frac{2KD}{K_c}} \sqrt{\frac{h}{K_c + h}} \quad (1.8)$$

Ανάλογα διαμορφώνεται και η βέλτιστη διάρκεια ενός κύκλου παραγγελίας:

$$t^* = \frac{Q^*}{D} = \frac{\sqrt{\frac{2KD}{K_c}} \sqrt{\frac{K_c + h}{h}}}{D}$$

$$\Rightarrow t^* = \sqrt{\frac{2K}{K_c D}} \sqrt{\frac{K_c + h}{h}} \quad (1.9)$$

Η μέγιστη ποσότητα έλλειψης είναι:

$$Q^* - S^* = \sqrt{\frac{2KD}{K_c}} \sqrt{\frac{K_c + h}{h}} - \sqrt{\frac{2KD}{K_c}} \sqrt{\frac{h}{K_c + h}}$$

$$\Rightarrow Q^* - S^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \sqrt{\frac{K_c}{K_c + h}} \quad (1.10)$$

Τέλος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5, το χρονικό διάστημα στο οποίο δεν έχουμε ελλείματα είναι:

$$\frac{S^*/D}{Q^*/D} = \frac{h}{K_c + h}$$

και είναι ανεξάρτητο του  $K$ .

### 3.6.1 Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

Όταν είτε το  $K_c$  είτε το  $h$  είναι το ένα πολύ μεγαλύτερο του άλλου, οι παραπάνω ποσότητες συμπεριφέρονται διαισθητικά. Συγκεκριμένα, αν  $K_c \rightarrow \infty$ , με το  $h$  να παραμένει σταθερό (οπότε το κόστος έλλειψης  $UC$  επικρατεί του κόστους αποθήκευσης  $CC$ ), τότε το μέγιστο ύψος έλλειψης  $Q^* - S^* \rightarrow 0$ , και τόσο το  $Q^*$  όσο και το  $t^*$  συγκλίνουν στις τιμές τους για το Βασικό  $EOQ$  Μοντέλο. Παρόλο που το παρόν μοντέλο επιτρέπει προγραμματισμένες ελλείψεις, που σημαίνει ότι εμείς επιλέγουμε να τις έχουμε, το ότι  $K_c \rightarrow \infty$ , υποδεικνύει ότι το να τις έχουμε, θα μας ζημιώσει τελικά. Αυτό είναι λογικό, αφού αν το  $K_c$  είναι μεγάλο, το κόστος έλλειψης  $UC$  γίνεται απαγορευτικό, και θα περιμέναμε τη βέλτιστη πολιτική παραγγελιών να προκύψει με πολύ λίγες - αν όχι και καθόλου - ελλείψεις. Με άλλα λόγια, αν το  $K_c$  είναι πολύ μεγάλο, θα αντιμετωπίσουμε την απλή περίπτωση του Βασικού  $EOQ$  Μοντέλου.

Από την άλλη μεριά, όταν  $h \rightarrow \infty$ , με το  $K_c$  να παραμένει σταθερό (άρα το κόστος αποθήκευσης  $CC$  τώρα υπερिशύει του κόστους έλλειψης  $UC$ ), τότε  $S^* \rightarrow 0$ . Συνεπώς, το να έχουμε  $h \rightarrow \infty$ , υποδεικνύει μη-οικονομικό το να υπάρχουν θετικά αποθέματα, οπότε κάθε νέα παραλαβή  $Q^*$  μονάδων προϊόντος, απλά θα αναιρέσει τις υπάρχουσες ελλείψεις στην αποθήκη.

### 3.7 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΟQ ΜΕ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ (ΕΚΠΤΩΣΕΙΣ)

Έως τώρα, για τον προσδιορισμό των διάφορων κοστών, θεωρούσαμε ότι το κόστος αγοράς μιας μονάδας προϊόντος  $PC$  (*Purchasing Cost*) παραμένει σταθερό, ανεξάρτητα από το μέγεθος της παραγγελίας. Επομένως, ο υπολογισμός της βέλτιστης ποσότητας παραγγελίας  $EOQ$  - που ελαχιστοποιούσε το συνολικό ετήσιο κόστος  $TC$  - γινόταν χωρίς να συνυπολογίζεται το ετήσιο κόστος μιας μονάδας προϊόντος. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι ρεαλιστικό.

Στην πραγματικότητα, είναι συχνό φαινόμενο οι προμηθευτές να προσφέρουν καλύτερες τιμές (εκπτώσεις) στις επιχειρήσεις, όταν η παραγγελία είναι μεγαλύτερη από μια καθορισμένη ποσότητα. Από τη μία, αυτό αποτελεί κίνητρο για την επιχείρηση να τοποθετήσει μεγαλύτερες παραγγελίες, από την άλλη, αυξάνεται αισθητά το συνολικό κόστος αποθήκευσης  $CC$ , αφού έχει να διαχειριστεί μεγαλύτερο όγκο αποθεμάτων.

Στο σημείο αυτό λοιπόν, η εταιρία καλείται να αποφασίσει αν τη συμφέρει να αγοράσει τη συγκεκριμένη ποσότητα με την αντίστοιχη έκπτωση. Έτσι, καλό θα ήταν να εξεταστεί το όφελος της έκπτωσης στο κόστος αγοράς  $PC$ , η αύξηση του κόστους αποθήκευσης  $CC$  λόγω αύξησης του μεγέθους κάθε παραγγελίας, καθώς και το όφελος στο κόστος παραγγελίας  $OC$  λόγω μείωσης του πλήθους παραγγελιών.

Στο συγκεκριμένο  $EOQ$  μοντέλο ( $EOQ$  Model with Quantity Discounts), ουσιαστικά προστίθεται στις αρχικές μας συνθήκες, η υπόθεση πως το κόστος της κάθε μονάδας εξαρτάται από την ποσότητα της παραγγελίας. Έτσι, το κόστος αγοράς  $PC$  μιας μονάδας προϊόντος και το μέγεθος παραγγελίας  $Q$  θα συμπεριφέρονται αντιστρόφως ανάλογα μεταξύ τους, άρα όσο μεγαλώνει η παραγγελία, τόσο θα μικραίνει το κόστος της κάθε μονάδας. Επιπλέον, θεωρούμε πως το κόστος αποθήκευσης  $K_c$  είναι ανεξάρτητο του κόστους της κάθε μονάδας.

Έστω  $Q$  η ποσότητα παραγγελίας και  $b_i$  τα σημεία όπου αλλάζει το κόστος της μονάδας (price break points). Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Αν  $Q < b_1$ , τότε κάθε μονάδα κοστίζει  $p_1$  €
- Αν  $b_1 \leq Q < b_2$ , τότε κάθε μονάδα κοστίζει  $p_2$  €
- ...
- Αν  $b_{i-2} \leq Q < b_{i-1}$ , τότε κάθε μονάδα κοστίζει  $p_{i-1}$  €
- Αν  $b_{i-1} \leq Q < b_i$ , τότε κάθε μονάδα κοστίζει  $p_i$  €

Εφόσον για μεγαλύτερες παραγγελίες έχουμε μικρότερες τιμές, θα ισχύει:

$$p_i < p_{i-1} < \dots < p_2 < p_1$$

Τα βήματα της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται για την εύρεση της βέλτιστης ποσότητας παραγγελίας  $EOQ$  περιγράφονται ως εξής:

- Αρχικά, με τη μέθοδο  $EOQ$ , υπολογίζεται η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας  $Q_j^*$ , δηλαδή:

$$EOQ_j = Q_j^* = \sqrt{\frac{2KD}{K_c}}$$

για  $j = 1, \dots, n$ , όπου  $n$  το σύνολο των διαφορετικών διαθέσιμων επιλογών μεγέθους παραγγελίας.

- Προσδιορίζεται σε όλες τις περιπτώσεις το συνολικό κόστος  $TC_j$ , όπου:

$$TC_j = OC + CC + D \cdot p_j = \frac{D}{Q}K + \frac{Q}{2}K_c + D \cdot p_j$$

- Τέλος, συγκρίνονται τα  $TC_j$  όλων των περιπτώσεων των  $p_j$  και επιλέγεται το μικρότερο (βέλτιστο). Έπειτα, καταλήγουμε στην ποσότητα παραγγελίας  $Q_j^*$  που δίνει αυτό το ελάχιστο  $TC_j$ .

### 3.7.1 Just In Time Systems

Σε πολλές περιπτώσεις, με τα μοντέλα που μελετήθηκαν και ιδιαίτερα με το Βασικό  $EOQ$  Μοντέλο, παρατηρούνται μεγάλες ποσότητες αποθεμάτων και κατ' επέκταση υψηλά κόστη αποθήκευσης  $CC$ . Η μέθοδος **just-in-time (JIT)** είναι μια αρκετά ανεπτυγμένη θεωρία που αφορά στον έλεγχο αποθεμάτων. Ένα JIT σύστημα αποθεμάτων εστιάζει κυρίως στην ελαχιστοποίηση των αποθεμάτων, με το να προσφέρει τα προϊόντα ακριβώς τη στιγμή που ζητούνται.

Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία και χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από την Toyota Company με επιτυχία, στα τέλη της δεκαετίας του '50. Ενώ στην αρχή υπήρχαν αμφιβολίες για το πώς θα μπορέσει να λειτουργήσει συνδυαστικά με το  $EOQ$  Μοντέλο, αφού το δεύτερο δίνει μεγάλη βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας  $EOQ$  όταν το κόστος παραγγελίας  $K$  είναι μεγάλο. Τελικά, οι δύο μέθοδοι αποδείχτηκαν απόλυτα συμβατές.

Γενικά, ένα JIT σύστημα προσπαθεί να βρει τρόπους να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγγελίας ώστε η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας  $EOQ$  να είναι μικρή. Επίσης, θέλει να μειώσει το

χρόνο αναμονής (lead time) μιας παραγγελίας, αφού αυτό θα μείωνε την αβεβαιότητα του αριθμού των μονάδων που θα χρειάζονταν όταν μια παραγγελία θα παραδιδόταν.

Τέλος, δεδομένου ότι βασίζεται στο ελάχιστο απόθεμα, το συγκεκριμένο σύστημα προσπαθεί να βρει τρόπο να οργανώσει καλύτερα τη γραμμή παραγωγής και τους προμηθευτές, οι οποίοι θα πρέπει να πληρούν πολύ συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση που ελαχιστοποιεί τις καθυστερήσεις κατά τη μεταφορά, να δεσμεύονται ότι κανένα από τα αγαθά που θα παραδίδουν δεν θα είναι ελαττωματικό και να υπάρχει εναλλακτικό πλάνο σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, όπως μια απεργία, έντονα καιρικά φαινόμενα, κλπ.

### 3.8 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ

Στο Βασικό *EOQ* Μοντέλο, αλλά και στις διαφοροποιήσεις που έχουν εξεταστεί μέχρι στιγμής, η ζήτηση ήταν σταθερή και συνεχής. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως – κυρίως όταν πρόκειται για εποχιακά προϊόντα – η ζήτηση μπορεί να είναι διαφορετική από περίοδο σε περίοδο. Στην περίπτωση αυτή, τα μοντέλα *EOQ* δεν εξασφαλίζουν τη βέλτιστη λύση με το χαμηλότερο κόστος.

Στο Ντετερμινιστικό Μοντέλο Περιοδικής Επιθεώρησης (Deterministic Periodic-Review Model), εξετάζονται  $n$  περίοδοι και υπολογίζεται η ποσότητα αποθέματος που θα πρέπει να παραχθεί ή να αγοραστεί, ώστε να αναπληρωθεί τυχόν κενό στην αποθήκη. Σε καθεμιά από τις περιόδους αυτές, η ζήτηση διαφέρει, αλλά συνεχίζει να είναι γνωστή εκ των προτέρων. Καθώς δεν υπάρχει αρχικό απόθεμα, στην περίοδο 1, θα θεωρήσουμε ότι υπάρχει διαθέσιμος χρόνος, ώστε να καλυφθεί η ζήτηση.

Η ζήτηση της  $i$ -περιόδου συμβολίζεται με  $D_i$ , για  $i = 1, \dots, n$ . Για τα κόστη, θα έχουμε τα ακόλουθα (όμοια με το Βασικό *EOQ* Μοντέλο):

- $K$ : κόστος για να γίνει η παραγωγή ή αγορά μονάδων προϊόντος στην αρχή της περιόδου
- $K_c$ : κόστος αποθήκευσης κάθε μονάδας προϊόντος στο τέλος της περιόδου

Να σημειωθεί εδώ ότι τα υπόλοιπα κόστη που υπολογίζονταν στα προηγούμενα μοντέλα, εφόσον είναι συγκεκριμένα – σταθερά – δεν επηρεάζονται από την πολιτική ελέγχου αποθεμάτων που θα μελετήσουμε τώρα, οπότε δε λαμβάνονται υπόψιν.

Συνεπώς, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής πολιτικής – και κατ' επέκταση ενός αλγορίθμου που θα ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος – προϋποθέτει το επίπεδο του αποθέματος να πέφτει στο μηδέν. Τότε θα είναι η βέλτιστη στιγμή (χρόνος) για να παραχθούν ή να αγοραστούν μονάδες του προϊόντος.

Για την εύρεση της βέλτιστης πολιτικής που θα ακολουθηθεί, χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο αλγόριθμο:

Θέτουμε  $C_i$  το συνολικό κόστος της ιδανικής πολιτικής για τις περιόδους  $i, i + 1, \dots, n$ , όπου η περίοδος  $i$  ξεκινάει με μηδενικό απόθεμα, για  $i = 1, \dots, n$ . Με τη βοήθεια των μεθόδων Δυναμικού Προγραμματισμού και λύνοντας προς τα πίσω περίοδο προς περίοδο, υπολογίζουμε την αναδρομική σχέση για το  $C_i$ :

$$C_i = \min_{j=i, i+1, \dots, n} \{C_{j+1} + K + K_c[D_{i+1} + 2D_{i+2} + 3D_{i+3} + \dots + (j-1)D_j]\} \quad (1.12)$$

Στο διάστημα των περιόδων  $i$  έως  $j$ , ο όρος με συντελεστή  $K_c$  αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος αποθήκευσης. Το  $j$  είναι ο δείκτης του τέλους της περιόδου, όταν το απόθεμα μηδενίζεται για πρώτη φορά μετά την παραγωγή στην αρχή της περιόδου  $i$ , ενώ για  $j = n$ , έχουμε  $C_{n+1} = 0$ .

Προφανώς, η παραπάνω σχέση δείχνει ότι αν το επίπεδο του αποθέματος μηδενιστεί μόλις εισέλθουμε στην περίοδο  $i$ , τότε η παραγωγή αυτής της περιόδου θα πρέπει να καλύψει όλη τη ζήτηση μέχρι την περίοδο  $j$ .

Ο αλγόριθμος λοιπόν που «λύνει» το μοντέλο, βασίζεται στην εύρεση των ολικών κοστών των διαφόρων περιόδων  $C_n, C_{n-1}, \dots, C_1$ . Αν  $i = 1$ , η παραγωγή στην περίοδο 1 θα πρέπει να καλύψει τη ζήτηση μέχρι την περίοδο  $j$ , ώστε η επόμενη – η 2<sup>η</sup> παραγωγή – να γίνει κατά την περίοδο για  $j + 1$ .

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

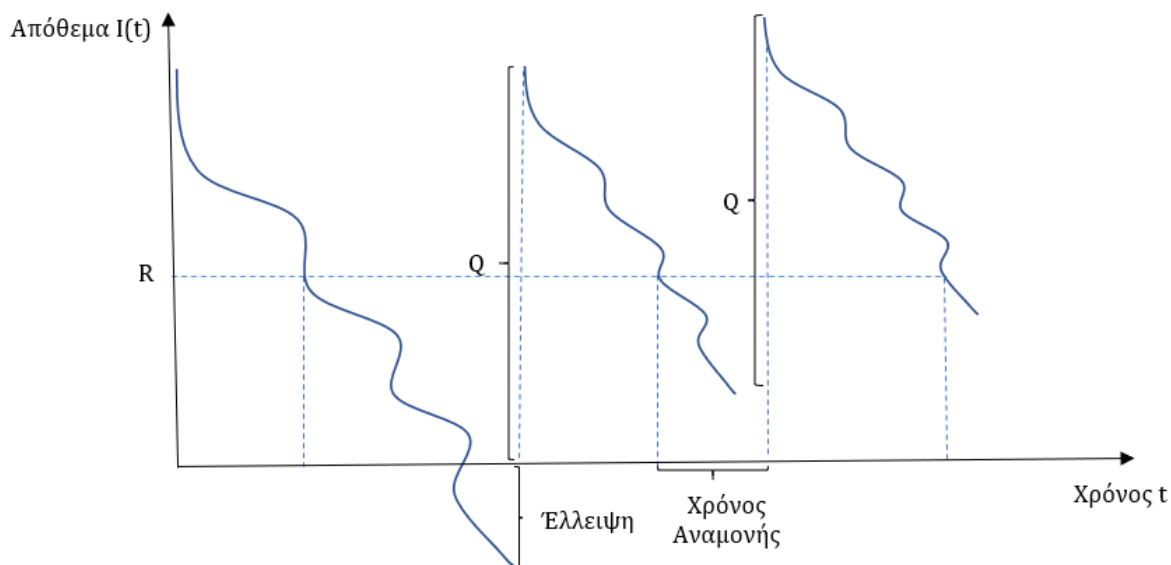
---

### 4.1 ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ

Όλα τα μοντέλα που έχουν μέχρι τώρα αναλυθεί, αφορούσαν περιπτώσεις στις οποίες η ζήτηση  $D$  σε οποιαδήποτε στιγμή ήταν γνωστή με βεβαιότητα. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, κάνοντας μια πιο ρεαλιστική υπόθεση, η ζήτηση δε θα θεωρείται πλέον γνωστή και σταθερή και μάλιστα θα υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα για το πώς θα εξελιχθεί μελλοντικά. Αυτού του είδους τη ζήτηση, που θα θεωρείται ανεξάρτητη τυχαία μεταβλητή, προσπαθούμε να προσεγγίσουμε μέσα από την – γνωστή – κατανομή της πιθανότητάς της.

#### 4.1.1 Εισαγωγή

Στο **Στοχαστικό Μοντέλο Συνεχούς Επιθεώρησης (Stochastic Continuous – Review Model)** που πραγματευόμαστε, το επίπεδο του αποθέματος παρακολουθείται αδιαλείπτως. Κάθε νέα παραγγελία τοποθετείται αμέσως μόλις το απόθεμα πέσει στο επίπεδο που έχει προκαθοριστεί ως **Σημείο Αναπαραγγελίας (Reorder Point –  $R$ )**. Στο σημείο αυτό υπάρχει πάντα η πιθανότητα να εξαντληθεί το απόθεμα κι επομένως να βρεθούμε αντιμέτωποι με ένα επιπλέον κόστος, το **Κόστος Έλλειψης Αποθέματος (Stockout Cost/Cost of Understock –  $e$ )**. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει το ενδεχόμενο να περισσέψουν κάποιες μονάδες προϊόντος, για τις οποίες θα υποθέσουμε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την επόμενη περίοδο.



Σχήμα 4.1 – Ύψος Αποθεμάτων με Αβέβαιη Ζήτηση

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιούταν παραδοσιακά σε Μοντέλα Συνεχούς Επιθεώρησης ήταν η **Μέθοδος των Δύο Καλαθιών (Two-Bin System)**. Όπως δηλώνει και το όνομά της, όλες οι μονάδες ενός συγκεκριμένου προϊόντος μοιράζονταν σε δύο καλάθια – μέρη. Χρησιμοποιούνται αρχικά τα προϊόντα από το ένα καλάθι για να ικανοποιήσουμε τη ζήτηση. Μόλις το καλάθι αυτό αδειάσει, πρέπει να τοποθετηθεί μια νέα παραγγελία. Η χωρητικότητα όμως του δεύτερου καλαθιού είναι ίση με το σημείο αναπαραγγελίας  $R$ . Επομένως, είναι επαρκή μέχρι να φτάσει η νέα παραγγελία.

Στο εξελισσόμενο επιχειρησιακό περιβάλλον, τέτοιου είδους συστήματα έχουν αντικατασταθεί από τα πιο σύγχρονα συστήματα μηχανοργάνωσης με χρήση υπολογιστών. Κάθε προσθήκη

αποθέματος και κάθε πώληση που προκαλεί μείωση του αποθέματος, καταγράφονται ηλεκτρονικά, με αποτέλεσμα το επίπεδο του αποθέματος να είναι ενημερωμένο σε ίδιο χρόνο στον υπολογιστή. Έτσι, ο υπολογιστής θα θέσει μια νέα παραγγελία όταν το επίπεδο του αποθέματος πέσει κάτω από το σημείο αναπαραγγελίας  $R$ . Συνεπώς, είναι προφανές πως σε ένα Σύστημα Συνεχούς Επιθεώρησης, δύο είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες:

- ✓ το σημείο στο οποίο πρέπει να τοποθετήσουμε μία νέα παραγγελία ( $R$ )
- ✓ το μέγεθος της παραγγελίας ( $Q$ )

Η πολιτική που βασίζεται στους δύο αυτούς παράγοντες και καλούμαστε να αναλύσουμε και τελικά να ακολουθήσουμε, ονομάζεται **( $R, Q$ ) – πολιτική**, είναι απλή και συνοψίζεται στο εξής:

*“Όποτεδήποτε το επίπεδο του αποθέματος γίνεται  $R$ ,  
θα πρέπει να τοποθετούμε μια παραγγελία ύψους  $Q$ .”*

Σε ένα τέτοιο μοντέλο, έχουμε κάνει τις εξής υποθέσεις:

- Το προϊόν που εξετάζεται είναι μοναδικό.
- Το επίπεδο του αποθέματος είναι ανά πάσα στιγμή γνωστό, εφόσον γίνεται συνεχής επιθεώρηση της αποθήκης.
- Αφού χρησιμοποιούμε μια  $(R, Q)$  – πολιτική, οι μόνες παράμετροι που καλούμαστε να επιλέξουμε είναι το σημείο επανατοποθέτησης παραγγελίας  $R$  και το μέγεθος  $Q$  που θα πρέπει αυτή η παραγγελία να έχει.
- Ο χρόνος  $L$  (*Lead Time*), που μεσολαβεί ανάμεσα στην τοποθέτηση της παραγγελίας και την παραλαβή της, μπορεί να είναι συγκεκριμένος ή να διαφέρει, είναι όμως πάντα γνωστός.
- Κατά το χρόνο  $L$ , η ζήτηση  $D$  των προϊόντων του αποθέματος είναι αβέβαιη, ενώ η κατανομή της πιθανότητας είναι γνωστή ή μπορεί να εκτιμηθεί.
- Σε περίπτωση που τελειώσουν τα προϊόντα πριν φτάσει η παραγγελία, η παραπάνω ζήτηση μπαίνει σε σειρά προτεραιότητας ώστε να καλυφθεί αμέσως μόλις φτάσει η παραγγελία.
- Υπάρχει ένα επιπλέον κόστος έλλειψης  $e$ , με το οποίο επιβαρυνόμαστε και αφορά κάθε μονάδα προϊόντος για την οποία υπάρχει ζήτηση ενώ είναι σε έλλειψη μέχρι να ικανοποιηθεί η ζήτηση αυτή. Το κόστος έλλειψης είναι ανεξάρτητο από τη διάρκεια που η επιχείρηση βρίσκεται με μηδενικό απόθεμα.
- Υπάρχει ένα προκαθορισμένο κόστος  $K$  που αφορά την τοποθέτηση της παραγγελίας και το οποίο χρεωνόμαστε κάθε φορά που παραγγέλνουμε.
- Το κόστος της κάθε παραγγελίας είναι ανάλογο και του μεγέθους της, δηλαδή της ποσότητας  $Q$  που έχουμε ορίσει.
- Υπάρχει ένα προκαθορισμένο κόστος αποθήκευσης  $K_c$  για κάθε μονάδα προϊόντος που αποθηκεύουμε, στη μονάδα του χρόνου.

Παρατηρώντας προσεκτικά τις παραπάνω υποθέσεις του μοντέλου αυτού, διαπιστώνουμε τη μεγάλη του ομοιότητα με το **Μοντέλο  $EOQ$  με Προγραμματισμένες Ελλείψεις** (§3.6). Η βασική τους διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ενώ στο τωρινό μας μοντέλο υποθέτουμε αβέβαιη ζήτηση, στο μοντέλο  $EOQ$  με προγραμματισμένες ελλείψεις, είχαμε υποθέσει γνωστή και σταθερή ζήτηση.

Δεδομένης λοιπόν, αυτής της αβεβαιότητας της ζήτησης, στο μοντέλο που μελετάμε τώρα, χρειάζεται να υπολογίσουμε και κάποιο **Απόθεμα Ασφαλείας (*Safety Stock*)** καθώς θα επιλέγουμε το σημείο  $R$ , για να μπορέσουμε να αντιμετωπίσουμε την περίπτωση να υπάρξει έντονη ζήτηση κατά το χρόνο  $L$ . Κατά τα λοιπά όμως, πρόκειται για δύο πολύ παρόμοια μοντέλα τα οποία και αναμένουμε να μας δώσουν πολύ παρόμοια αποτελέσματα.

#### 4.1.2 Η πολιτική $(R, Q)$

##### Καθορισμός της Ποσότητας Παραγγελίας $Q$

Δεν υπάρχει κάποιος καινούριος τύπος που να υπολογίζει την ακριβή τιμή του  $Q$ . Για τον υπολογισμό μιας καλής προσέγγισής του, θα χρησιμοποιηθεί ο αντίστοιχος τύπος που παρουσιάστηκε στο **Μοντέλο  $EOQ$  με Προγραμματισμένες Ελλείψεις**. Έτσι:

$$Q = \sqrt{\frac{2AK}{K_c}} \sqrt{\frac{h + K_c}{h}}$$

ο ίδιος τύπος δηλαδή με μόνη διαφορά ότι η ζήτηση  $D$  έχει αντικατασταθεί με την ποσότητα  $A$ , που αφορά τη μέση ζήτηση ανά μονάδα χρόνου.

### Υπολογισμός του Σημείου Αναπαραγγελίας $R$

Η πιο συνηθισμένη προσέγγιση του σημείου επανατοποθέτησης παραγγελίας  $R$ , εξαρτάται άμεσα από το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών της εταιρίας, το οποίο πρέπει και να προσδιοριστεί πρώτο.

### Τρόποι μέτρησης του επιπέδου εξυπηρέτησης

Το **επίπεδο εξυπηρέτησης (Service Level)** των πελατών μιας εταιρίας μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους/μέτρα (**Service Level Measures – SLM**). Ενδεικτικοί είναι οι παρακάτω:

1. Η πιθανότητα να μην υπάρξει εξάντληση του αποθέματος στο μεσοδιάστημα μεταξύ της τοποθέτησης και της παραλαβής της παραγγελίας.
2. Ο μέσος όρος των φαινομένων εξάντλησης του αποθέματος (σε ένα έτος).
3. Το μέσο ποσοστό ετήσιας ζήτησης  $D$  που μπορεί να ικανοποιηθεί αμέσως, χωρίς να υπάρξει εξάντληση αποθέματος.
4. Η μέση καθυστέρηση ικανοποίησης παραγγελιών σε αναμονή (*backorders*) όταν προκύπτει εξάντληση αποθέματος (*stockout*).
5. Η συνολική μέση καθυστέρηση κάλυψης των παραγγελιών, υπολογίζοντας ως μηδενική την καθυστέρηση χωρίς εξάντληση αποθέματος.

Εύκολα διαπιστώνει κανείς τις ομοιότητες που παρουσιάζουν τα παραπάνω μέτρα. Ενδεικτικά, τα μέτρα 1 και 2 είναι παρεμφερή. Επίσης, μεγάλη συνάφεια εμφανίζουν τα μέτρα 2 και 3. Κι αυτό γιατί αν πολύ απλά σκεφτούμε ότι μπορεί σε μια εταιρία να έχουμε  $X$  φορές το χρόνο φαινόμενο εξάντλησης αποθέματος με μέση διάρκεια  $Y$  ημέρες, η αποθήκη θα μείνει άδεια ( $X \times Y$ ) ημέρες το χρόνο, έστω  $E\%$  του χρόνου. Συνεπώς, το μέσο ποσοστό της ετήσιας ζήτησης που μπορεί να ικανοποιηθεί χωρίς καθυστέρηση είναι ίσο με το  $(100 - E)\%$ .

Επιπλέον, τα μέτρα 3, 4 και 5 συνδέονται μεταξύ τους. Αν πάλι υποθέσουμε ότι το μέσο ποσοστό ετήσιας ζήτησης που μπορεί να ικανοποιηθεί είναι  $(100 - E)\%$  και η μέση καθυστέρηση ικανοποίησης παραγγελιών σε αναμονή όταν προκύπτει εξάντληση αποθέματος είναι  $Y$  ημέρες, τότε μόνο το  $E\%$  των πελατών θα επιβαρυνθούν με την καθυστέρηση και η συνολική καθυστέρηση ικανοποίησης παραγγελιών σε αναμονή θα είναι  $(E \times Y)$  ημέρες ανά παραγγελία.

Άρα, αρκεί να αποφασίσουμε σε ποια επίπεδα θέλουμε να κινηθεί έστω ένα από τα προαναφερθέντα μέτρα. Ο πρώτος τρόπος μέτρησης (η πιθανότητα να μην εξαντληθεί το απόθεμα κατά το χρόνο  $L$ ), είναι ο πιο εύχρηστος, επομένως θα εστιάσουμε σε αυτόν, συμβολίζοντας την πιθανότητα εκείνη με  $\ell$ .

Έστω  $P$  η ιδανική – για την εκάστοτε πολιτική κάθε εταιρίας – πιθανότητα, σύμφωνα με την οποία δε θα υπάρξει εξάντληση αποθέματος στο διάστημα  $L$ . Η εκτιμώμενη κατανομή πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής  $D$  εκφράζει τη ζήτηση κατά το διάστημα που περιμένουμε να ικανοποιηθεί μια παραγγελία.

Σύμφωνα με την ιδανική πολιτική, κατά την οποία δε θα έχουμε εξάντληση αποθέματος στο διάστημα ανάμεσα στην τοποθέτηση και την παραλαβή της παραγγελίας, ισχύει ότι η ζήτηση  $D$  θα παραμείνει σε επίπεδο μικρότερο του σημείου αναπαραγγελίας  $R$ , δηλαδή θα ισχύει ότι:

$$P(D \leq R) = F(R) = \int_{-\infty}^R f(u) du$$

Έστω ότι η κατανομή της ζήτησης περιγράφεται από την Ομοιόμορφη Κατανομή (*Uniform Distribution*) στο διάστημα  $(a, b)$ , δηλαδή έστω ότι  $D \sim U(a, b)$ . Τότε ο υπολογισμός του βέλτιστου επιπέδου παραγγελίας  $R$ , προκύπτει ως εξής:

$$P(D \leq R) = F(R) = \frac{R - a}{b - a}$$

Τότε, για συγκεκριμένο επιθυμητό μέγεθος πιθανότητας  $\ell$  μη-εξάντλησης του αποθέματος, ισχύει ότι  $P(D \leq R) = \ell$ . Συνεπώς, το βέλτιστο επίπεδο αποθέματος  $R$ , δίνεται από τον τύπο:

$$R = a + \ell(b - a) = (1 - \ell)a + \ell b$$

Η μέση τιμή της ζήτησης υπολογίζεται από τον τύπο της μέσης τιμής της Ομοιόμορφης Κατανομής, δηλαδή:

$$E(D) = \frac{a+b}{2}$$

Τελικά, για το απόθεμα ασφαλείας ισχύει:

$$\begin{aligned} \text{Απόθεμα ασφαλείας} &= R - E(D) = a + \ell(b - a) - \frac{a+b}{2} \\ &\Rightarrow \text{Απόθεμα ασφαλείας} = \left(\ell - \frac{1}{2}\right)(b - a) \end{aligned}$$

Στην περίπτωση κάθε άλλης κατανομής που ενδεχομένως ακολουθεί η ζήτηση  $D$ , η διαδικασία επιλογής του βέλτιστου επιπέδου αποθέματος  $R$  είναι παρόμοια.

### Μεθοδολογία Επιλογής του $R$ βάσει του Μέτρου 1

Αρχικά, επιλέγουμε την τιμή του  $\ell$ . Έπειτα, λύνουμε ως προς  $R$  - όπως και πριν - ώστε να ικανοποιείται η σχέση:

$$P(D \leq R) = \ell$$

Έστω τώρα ότι η ζήτηση  $D$  ακολουθεί την Κανονική Κατανομή (*Normal Distribution*) με μέση τιμή  $\mu$  και διασπορά  $\sigma^2$ , δηλαδή  $D \sim N(\mu, \sigma^2)$ . Με τη βοήθεια γνωστού Θεωρήματος των Πιθανοτήτων, παρατηρούμε ότι αν η τυχαία μεταβλητή  $D \sim N(\mu, \sigma^2)$ , τότε η νέα τυχαία μεταβλητή  $Z = \frac{D-\mu}{\sigma}$  ακολουθεί την Τυποποιημένη Κανονική Κατανομή, δηλαδή  $Z \sim N(0,1)$ .

Συνεπώς, κάνοντας τη μετατροπή, έχουμε:

$$P\left(\frac{D-\mu}{\sigma} \leq \frac{R-\mu}{\sigma}\right) = \ell$$

Αν συμβολίσουμε με  $K_{1-\ell} = \frac{R-\mu}{\sigma}$  το ποσοστιαίο σημείο της Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής, έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} P\left(\frac{D-\mu}{\sigma} \leq K_{1-\ell}\right) &= \ell \\ \Rightarrow P(Z \leq K_{1-\ell}) &= \Phi(K_{1-\ell}) = \ell \end{aligned}$$

Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω ανάλυση, η ζητούμενη τιμή για το επίπεδο του αποθέματος  $R$ , προκύπτει από τον τύπο:

$$R = \mu + K_{1-\ell}\sigma$$

Επιλέγοντας μία τυχαία τιμή για την πιθανότητα  $\ell$ , έστω  $\ell = 0.95$ , χρησιμοποιώντας τον πίνακα της Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής του Παραρτήματος, θα βρούμε την αντίστοιχη τιμή για το ποσοστιαίο σημείο  $K_{1-\ell} = K_{1-0.95} = K_{0.05}$ .

Σε περίπτωση που η τιμή της πιθανότητας δεν περιέχεται στον πίνακα της Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής, καταφεύγουμε σε γνωστό Θεώρημα των Πιθανοτήτων - Μέθοδος Γραμμικής Παρεμβολής - χρησιμοποιώντας δύο τιμές εκατέρωθεν της ζητούμενης πιθανότητας που έχουμε στη διάθεσή μας.

## 4.2 ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ

### 4.2.1 Εισαγωγή

Στο **Στοχαστικό Μοντέλο Περιοδικής Επιθεώρησης** (*Stochastic Periodic - Review Model*), το επίπεδο του αποθέματος παρακολουθείται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχει αρχικό απόθεμα, οπότε το μόνο με το οποίο ασχολούμαστε είναι ποιο θα είναι το μέγεθος της παραγγελίας. Η ζήτηση για ακόμα μία φορά - καθώς πρόκειται για στοχαστικό μοντέλο - θεωρείται τυχαία μεταβλητή με γνωστή συνάρτηση πιθανότητας κατά τη διάρκεια του χρόνου αναμονής μέχρι την παράδοση της επόμενης παραγγελίας.

### 4.2.2 Υποθέσεις του Μοντέλου

Συνοπτικά, για τη μελέτη και την ανάλυση του συγκεκριμένου μοντέλου, κάνουμε κάποιες υποθέσεις:



- I. Κάθε φορά, εξετάζεται ένα συγκεκριμένο αγαθό το οποίο αφορά μια δεδομένη χρονική περίοδο.
- II. Παρόλο που στο τέλος κάποιας περιόδου μπορεί να περισσέψουν κάποια τεμάχια, τα οποία μάλιστα μπορεί να έχουν και κάποια **υπολειμματική αξία** (*salvage value*), δεν υπάρχει αρχικό απόθεμα.
- III. Η μόνη απόφαση που πρέπει να ληφθεί είναι το μέγεθος του ποσότητας που θα παραγγείλουμε για να αποθηκεύσουμε από την αρχή της περιόδου, η οποία θα συμβολίζεται με  $x$ .
- IV. Η ζήτηση  $D$  είναι τυχαία μεταβλητή, με γνωστή (ή εύκολα εκτιμώμενη) κατανομή πιθανότητας.
- V. Τέλος, αγνοώντας τα έσοδα σε περίπτωση που ικανοποιηθεί η ζήτηση (τη στιγμή που είναι ανεξάρτητα από την ποσότητα  $x$ ), ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος το οποίο χωρίζεται στα ακόλουθα επιμέρους κόστη:
  - $k$ : κόστος αγοράς ή παραγωγής κάθε μονάδας προϊόντος.
  - $K_c$ : κόστος αποθήκευσης κάθε μονάδας προϊόντος που περισσεύει στο τέλος της περιόδου και είναι το κόστος της παραμονής της μονάδας αυτής στην αποθήκη μείον την υπολειμματική της αξία.
  - $e$ : κόστος έλλειψης ανά μονάδα προϊόντος λόγω μη ικανοποιημένης ζήτησης, συμπεριλαμβανομένων:
    - i. των χαμένων εσόδων σε περίπτωση που είχε πωληθεί
    - ii. του κόστους λόγω της δυσαρέσκειας των πελατών που ήθελαν να αγοράσουν και δεν κατέστη εφικτό
  - $K_{under}$ : κόστος που δημιουργείται σε περίπτωση που παραγγείλουμε **λιγότερα** τεμάχια από αυτά που θα χρειαστούμε
  - $K_{over}$ : κόστος που δημιουργείται σε περίπτωση που παραγγείλουμε **περισσότερα** τεμάχια από αυτά που τελικά θα ζητηθούν

#### 4.2.3 Ανάλυση του Μοντέλου

Το ζητούμενο στο συγκεκριμένο μοντέλο είναι, όπως προαναφέρθηκε, να αποφασιστεί το μέγεθος  $x$  της παραγγελίας που θα τοποθετηθεί. Η απόφαση αυτή εξαρτάται άμεσα από την κατανομή της πιθανότητας της ζήτησης  $D$  και πρέπει να βρεθεί η χρυσή τομή ανάμεσα στο ενδεχόμενο να παραγγελθούν περισσότερες μονάδες προϊόντος από όσες θα χρειαστούμε και να περισσέψει απόθεμα, αλλά και στο ενδεχόμενο να παραγγελθούν λιγότερες μονάδες προϊόντος από όσες θα ζητηθούν, με τα αντίστοιχα διαφυγόντα κέρδη. Η ποσότητα που θα πωληθεί δίνεται από τη σχέση:

$$\min\{D, x\} = \begin{cases} D, & \text{αν } D < x \\ x, & \text{αν } D \geq x \end{cases}$$

Επομένως, το αναμενόμενο κόστος  $TC_{exp}$  για μια υποθετική τιμή ζήτησης  $D = d$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TC_{exp}(D = d, x) = kx + e \max\{0, D - x\} + K_c \max\{0, x - D\}$$

Δεδομένου ότι η ζήτηση είναι τυχαία μεταβλητή – με κατανομή πιθανότητας  $P_D(d)$  – συνεπάγεται ότι και το αναμενόμενο κόστος είναι επίσης τυχαία μεταβλητή, η οποία ακολουθεί κάποια κατανομή πιθανότητας. Το αναμενόμενο κόστος δίνεται από τον τύπο:

$$\begin{aligned} TC_{exp}(x) &= E[TC_{exp}(D = d, x)] = \sum_{d=0}^{\infty} [TC_{exp}(D = d, x) \cdot P_D(d)] \\ &= \sum_{d=0}^{\infty} (kx + e \max\{0, D - x\} + K_c \max\{0, x - D\}) P_D(d) \\ \Rightarrow TC_{exp}(x) &= kx + \sum_{d=0}^{\infty} e(d - x) P_D(d) + \sum_{d=0}^{\infty} K_c(x - d) P_D(d) \quad (4.1) \end{aligned}$$

Η συνάρτηση  $TC_{exp}(x)$  εξαρτάται από την κατανομή πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής  $D$  και πολλές φορές είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Τότε, προσεγγίζουμε αυτή τη διακριτή τυχαία μεταβλητή σαν να είναι συνεχής. Ακόμα, όταν η ζήτηση εκτείνεται σε μεγάλο εύρος πιθανών τιμών, μπορεί να γίνει μια αρκετά ακριβής προσέγγιση της βέλτιστης ποσότητας προϊόντων στην αποθήκη.

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή  $D$  είναι συνεχής, ισχύει:

$$f_D(\xi) = \text{συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της } D \text{ στη θέση } \xi$$

$F_D(\alpha) =$  αθροιστική συνάρτηση κατανομής της  $D$  στη θέση  $\alpha$

Επιπλέον:

$$F_D(\alpha) = P(D \leq \alpha) = \int_{-\infty}^{\alpha} f_D(\xi) d\xi = \int_0^{\alpha} f_D(\xi) d\xi \quad (\text{για } D > 0)$$

Για κάθε ποσότητα παραγγελίας  $x$  που επιλέγεται, η ποσότητα  $F_D(x)$ , που εκφράζει την πιθανότητα να μην υπάρξει έλλειψη πριν το τέλος της περιόδου (δηλαδή η ζήτηση να παραμείνει μικρότερη ή ίση της ποσότητας παραγγελίας  $x$ ). Το αντίστοιχο αναμενόμενο κόστος είναι:

$$\begin{aligned} TC_{exp}(x) &= E[TC_{exp}(D, x)] \\ &= \int_0^{\infty} TC_{exp}(\xi, x) f_D(\xi) d\xi = \int_0^x (kx + e \max\{0, \xi - x\} + K_c \max\{0, x - \xi\}) f_D(\xi) d\xi \\ &= kx + \int_x^{\infty} e(\xi - x) f_D(\xi) d\xi + \int_0^x K_c(x - \xi) f_D(\xi) d\xi \\ &\Rightarrow TC_{exp}(x) = kx + N(x) \end{aligned}$$

όπου  $N(x)$  η συνάρτηση που μετράει την αναμενόμενη έλλειψη (μετρημένη σε μονάδες προϊόντος) συν το κόστος αποθήκευσης.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να υπολογίσουμε εκείνη την τιμή του  $x$  (την οποία συμβολίζουμε με  $x^0$ ) για την οποία ελαχιστοποιείται το κόστος  $TC_{exp}(x)$ , δηλαδή:

$$TC_{exp}(x^0) = \min_x \{TC_{exp}(x)\}$$

Την τιμή αυτή μπορούμε να την υπολογίσουμε με δύο τρόπους:

- Γραφικά, μέσα από την αθροιστική συνάρτηση κατανομής
- Αλγεβρικά, μέσα από τον τύπο:

$$F_D(x^0) = \frac{e - k}{e + K_c} \quad (4.2)$$

Αναλυτικά λοιπόν, ο αριθμητής  $e - k$  εκφράζει το μοναδιαίο κόστος  $K_{under}$ , δηλαδή το κατά πόσο θα είναι μειωμένο το κέρδος μας για κάθε μονάδα προϊόντος που θα μας ζητείται και δε θα την έχουμε να τη διαθέσουμε. Αντίστοιχα, για το ανά μονάδα προϊόντος κόστος  $K_{over}$  ισχύει:

$$K_{under} + K_{over} = (e - k) + (k + K_c) = e + K_c$$

Τελικά, το **ιδανικό επίπεδο εξυπηρέτησης (Optimal Service Level)** ισοδυναμεί με το λόγο:

$$F_D(x^0) = \frac{K_{under}}{K_{under} + K_{over}}$$

Εάν η ζήτηση  $D$  είναι διακριτή τυχαία μεταβλητή με αθροιστική συνάρτηση κατανομής  $F_D(m) = \sum_{d=0}^m P_D(d)$ , η ιδανική ποσότητα παραγγελίας  $x^0$  είναι ο μικρότερος ακέραιος αριθμός που ικανοποιεί τη σχέση:

$$F_D(x^0) \geq \frac{e - k}{e + K_c}$$

#### 4.2.4 Μοντέλο μιας Περιόδου Με Αρχικό Απόθεμα

Στο παραπάνω μοντέλο, υποθέσαμε ότι δεν υπήρχαν αρχικά καθόλου προϊόντα στην αποθήκη. Η παραδοχή αυτή τώρα αναιρείται. Έστω ότι υπάρχει αρχικό απόθεμα (**Initial Stock**). Θα ελεγχθεί το πώς θα επηρεάσει η αλλαγή αυτή τη βέλτιστη πολιτική ελέγχου των αποθεμάτων της αποθήκης.

Έστω  $a$  το αρχικό στοκ και  $x$  (όπως και προηγουμένως) το επίπεδο αποθέματος μετά τον ανεφοδιασμό, την παραγγελία δηλαδή, επιπλέον μονάδων. Θα παραγγείλουμε λοιπόν,  $x - a$  μονάδες, έτσι ώστε:

$$\begin{aligned} (\text{Διαθέσιμη Ποσότητα}) &= (\text{Αρχικό Απόθεμα}) + (\text{Ποσότητα Παραγγελίας}) \\ &\Rightarrow x = a + (x - a) \end{aligned}$$

Κατ' αντιστοιχία με τα προηγούμενα και βάσει της σχέσης (4.1), για το αναμενόμενο κόστος  $TC_{exp}$  θα ισχύει:

$$TC_{exp}(x) = k(x - \alpha) + \int_x^{\infty} e(\xi - x)f_D(\xi)d\xi + \int_0^x K_c(x - \xi) f_D(\xi)d\xi \quad (4.3)$$

ενώ το ζητούμενό μας είναι να ελαχιστοποιηθεί η παραπάνω συνάρτηση για  $y \geq \alpha$ , το οποίο αποτελεί αυτονόητο περιορισμό, μιας και μετά τον ανεφοδιασμό, το απόθεμα δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το αρχικό.

Σχετικά με τη βέλτιστη πολιτική για το απόθεμα, έχουμε:

- Αν  $\alpha < x^0$ , θα παραγγείλουμε  $(x^0 - \alpha)$  μονάδες ώστε το απόθεμα να γίνει  $x^0$  μονάδες
- Αν  $\alpha \geq x^0$ , δε θα παραγγείλουμε

Όπως και πριν, η ποσότητα  $x^0$  πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$F_D(x^0) = \frac{e - k}{e + K_c}$$

#### Απόδειξη του τύπου (4.3) για τη βέλτιστη πολιτική

Ξεκινάμε υποθέτοντας μηδενικό αρχικό απόθεμα. Για τυχαίες θετικές σταθερές ποσότητες  $k_1, k_2$ , ορίζουμε τη συνάρτηση  $h(\xi, x)$  ως εξής:

$$h(\xi, x) = \begin{cases} k_1(x - \xi), & \text{αν } x > \xi \\ k_2(\xi - x), & \text{αν } x \leq \xi \end{cases}$$

Έστω:

$$H(x) = \int_0^{\infty} h(\xi, x)f_D(\xi)d\xi + kx \quad (\text{για } k > 0)$$

Σε αυτή την περίπτωση, η συνάρτηση  $H(y)$  μηδενίζεται για την τιμή  $x = x^0$ , όπου:

$$F_D(x^0) = \frac{k_2 - k}{k_2 + k_1}$$

Αυτό συμβαίνει επειδή εξ' ορισμού ισχύει ότι:

$$H(x) = k_1 \int_0^x (x - \xi)f_D(\xi)d\xi + k_2 \int_x^{\infty} (\xi - x)f_D(\xi)d\xi + kx$$

Για να υπολογίσουμε την ελάχιστη τιμή, παραγωγίζουμε την παραπάνω σχέση και την εξισώνουμε με το μηδέν:

$$\begin{aligned} \frac{dH(x)}{dx} &= k_1 \int_0^x f_D(\xi)d\xi + k_2 \int_x^{\infty} f_D(\xi)d\xi + k = 0 \\ &\Rightarrow k_1 F_D(x) - k_2 (1 - F_D(x)) + k = 0 \\ &\Rightarrow k_1 F_D(x) - k_2 + k_2 F_D(x) + k = 0 \\ &\Rightarrow (k_1 + k_2) F_D(x) = k_2 - k \\ &\Rightarrow F_D(x) = \frac{k_2 - k}{k_1 + k_2} \end{aligned}$$

Η λύση της παραπάνω εξίσωσης ελαχιστοποιεί και τη συνάρτηση  $H(x)$ , καθώς:

$$\frac{d^2H(x)}{dx^2} = (k_1 + k_2)f_D(x) \geq 0, \text{ για κάθε } x$$

Η συνάρτηση  $TC_{exp}(x)$  έχει ακριβώς την ίδια δομή με τη συνάρτηση  $H(x)$ . Με όμοιο τρόπο αποδεικνύεται και η αντίστοιχη σχέση με την περίπτωση όπου υπάρχει αρχικό απόθεμα στην αποθήκη.

#### 4.2.5 Μοντέλο μιας Περιόδου με Μη Γραμμικά Κόστη

Αν υποθέσουμε ότι το κόστος αποθήκευσης (holding cost) και το κόστος έλλειψης (shortage cost) δεν είναι γραμμικά, θεωρώντας τις - όχι απαραίτητα γραμμικές - συναρτήσεις  $K_c[\cdot]$  και  $e[\cdot]$  και αντίστοιχα, τα αποτελέσματα που θα πάρουμε, κατά τη μελέτη του μοντέλου, θα είναι πολύ παρόμοια με τα προηγούμενα.

Έχουμε λοιπόν, για το κόστος αποθήκευσης:

$$K_c = \begin{cases} K_c(x - D), & \text{αν } x \geq D \\ 0, & \text{αν } x < D \end{cases}$$

Αντίστοιχα για το κόστος έλλειψης:

$$e = \begin{cases} e(D - x), & \text{αν } D \geq x \\ 0, & \text{αν } D < x \end{cases}$$

Τότε, για το αναμενόμενο κόστος  $K_{exp}(x)$  ισχύει:

$$TC_{exp}(x) = k(x - \alpha) + \int_x^{\infty} e(\xi - x)f_D(\xi)d\xi + \int_0^x K_c(x - \xi)f_D(\xi)d\xi$$

Αν συμβολίσουμε με  $N(x)$  το άθροισμα του αναμενόμενου κόστους έλλειψης συν το κόστος αποθήκευσης, έχουμε:

$$N(x) = \int_x^{\infty} e(\xi - x)f_D(\xi)d\xi + \int_0^x K_c(x - \xi)f_D(\xi)d\xi$$

Το συνολικό αναμενόμενο κόστος (**Total Expected Cost**) θα είναι:

$$TC_{exp}(x) = k(x - \alpha) + N(x)$$

Σκοπός είναι να εξασφαλιστεί η βέλτιστη πολιτική, γεγονός που θα επιτευχθεί με την ελαχιστοποίηση του παραπάνω κόστους υπό τον περιορισμό  $x \geq \alpha$ . Αν το  $N(x)$  είναι αυστηρά κυρτή συνάρτηση, δηλαδή αν τα κόσθη έλλειψης και αποθήκευσης είναι κυρτές συναρτήσεις και  $f_D(\xi) > 0$ , η βέλτιστη πολιτική που θα πρέπει να ακολουθήσουμε είναι:

- Αν  $\alpha < x^0$ , θα παραγγείλουμε  $(x^0 - \alpha)$  μονάδες ώστε το απόθεμα να γίνει  $x^0$  μονάδες
- Αν  $\alpha \geq x^0$ , δε θα παραγγείλουμε

Το  $x^0$  ικανοποιεί την εξίσωση  $\frac{dN(x)}{dy} + k = 0$

#### 4.2.6 Μοντέλο μιας Περιόδου με Κόστος Αποθήκευσης (Setup Cost)

Οι παραπάνω ισχυρισμοί μπορούν εύκολα να ανατραπούν, αν υποθέσουμε ότι υπάρχει ένα επιπλέον κόστος  $K$  για την τοποθέτηση μιας ειδικής παραγγελίας. Μια τέτοια περίπτωση συναντάται συχνά στη βιομηχανία. Έπειτα, θα αναλυθεί η **πολιτική** ( $s, S$ ) για τον έλεγχο των αποθεμάτων που ακολουθείται σε παρόμοιες περιπτώσεις.

Έστω λοιπόν ότι τοποθετείται αυτή η ειδική παραγγελία με κάποιο κόστος  $K$ . Τώρα, αυτό θα πρέπει να συνυπολογιστεί κατά τη μελέτη του μοντέλου. Σε γενικές γραμμές, η ενσωμάτωση του κόστους αυτού στη συνάρτησή μας, προκαλεί μεγάλες μετατροπές στα αποτελέσματα.

Τα κόσθη έλλειψης και αποθήκευσης θεωρούνται γραμμικά και ίσα με:

$$N(x) = e \int_x^{\infty} (\xi - x)f_D(\xi)d\xi + K_c \int_0^x (x - \xi)f_D(\xi)d\xi$$

Συνεπώς, το συνολικό αναμενόμενο κόστος μέχρι το απόθεμα να γίνει ίσο με  $x$  είναι:

$$TC_{exp}(x) = \begin{cases} K + k(x - \alpha) + N(x), & \text{αν } x > \alpha \\ N(x), & \text{αν } x = \alpha \end{cases}$$

Συμβολίζουμε με  $S$  την τιμή του  $x$  που ελαχιστοποιεί την ποσότητα  $kx + N(x)$ :

$$kS + N(S) = \min_x \{kx + N(x)\}$$

Ακόμα συμβολίζουμε με  $s$  την ελάχιστη τιμή του  $x$  ώστε:

$$ks + N(s) = K + ks + N(s)$$

Τότε θα ισχύουν τα εξής:

- Αν  $\alpha > S$ , τότε:

$$K + kx + N(x) > ka + N(a), \text{ για κάθε } x > \alpha$$

και συνεπώς:

$$K + k(x - \alpha) + N(x) > N(a)$$

Το αριστερό μέλος της τελευταίας ανισότητας εκφράζει το συνολικό αναμενόμενο κόστος παραγγελίας  $(x - \alpha)$  μονάδων προϊόντος ώστε το ύψος του αποθέματος να γίνει  $x$ , ενώ το δεξί μέλος ισοδυναμεί με το συνολικό αναμενόμενο κόστος, αν δε χρειάζεται να παραγγείλουμε τίποτα. Επομένως, η βέλτιστη πολιτική είναι να μην παραγγείλουμε.

- Αν  $s \leq \alpha \leq S$ , τότε:

$$K + kx + N(x) \geq ka + N(a), \text{ για κάθε } x > \alpha$$

ώστε:

$$K + k(x - \alpha) + N(x) \geq N(\alpha)$$

Και πάλι, το να μην παραγγείλουμε καθόλου είναι φθηνότερο από το να παραγγείλουμε.

- Αν  $\alpha < s$ , τότε:

$$\begin{aligned} \min_{x \geq \alpha} \{K + kx + N(x)\} &= K + kS + N(S) < k\alpha + N(\alpha) \\ \Rightarrow \min_{x \geq \alpha} \{K + k(x - \alpha) + N(x)\} &= K + k(S - \alpha) + N(S) < N(\alpha) \end{aligned}$$

Το ελάχιστο κόστος προκύπτει για επίπεδο αποθέματος ίσο με  $S$  και η βέλτιστη πολιτική που μπορούμε να ακολουθήσουμε είναι:

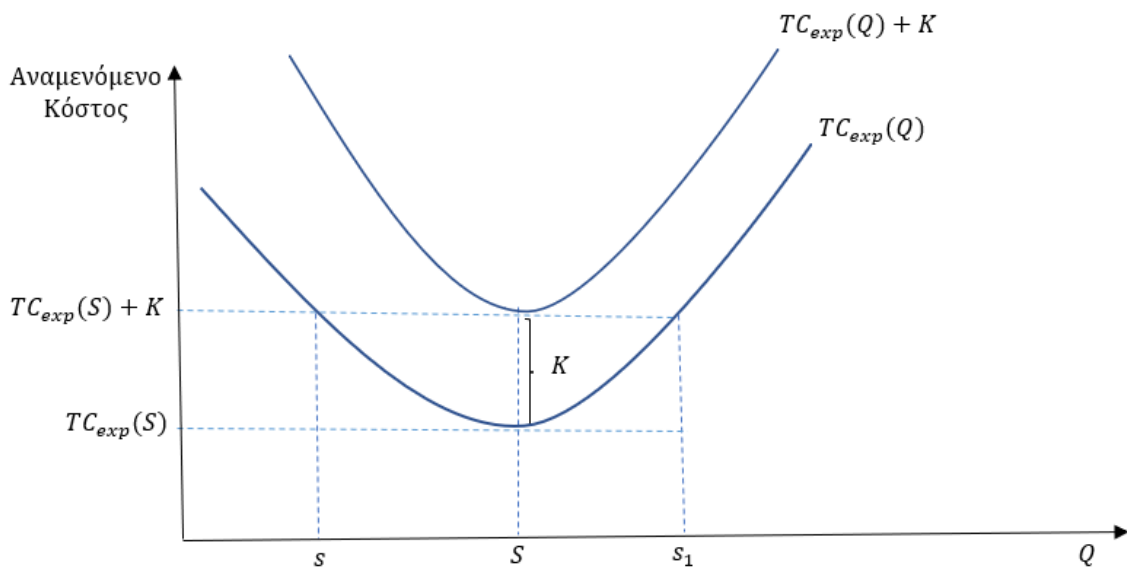
- Αν  $\alpha < s$ , θα παραγγείλουμε  $(s - \alpha)$  μονάδες ώστε το απόθεμα να γίνει  $x^0$  μονάδες
- Αν  $\alpha \geq s$ , δε θα παραγγείλουμε

Ενώ για το  $S$ , όπως προηγουμένως, ισχύει:

$$F(S) = \frac{e - k}{e + K_c}$$

με το  $s$  να είναι η ελάχιστη τιμή που ικανοποιεί τη σχέση:

$$ks + N(s) = K + kS + N(S)$$



**Σχήμα 4.2 - Βέλτιστη  $(s, S)$  πολιτική παραγγελίας σε Μοντέλο μίας περιόδου με Setup Cost  $K$**

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ (CASE STUDY) – ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΙΑ «METRO ΑΕΒΕ»**

---

### **5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο τελευταίο κεφάλαιο της συγκεκριμένης εργασίας, γίνεται μια Μελέτη Περίπτωσης (Case Study), που αφορά σε προϊόντα της εταιρίας «METRO ΑΕΒΕ». Το πρώτο που μας ενδιέφερε να δούμε ήταν ποια προϊόντα είχαν τις περισσότερες επιστροφές και πώς αυτές κατανέμονται στα διάφορα καταστήματα, ώστε να εντοπιστούν εκείνα που έχουν ουσιαστικά το μεγαλύτερο πρόβλημα.

Όπως έχει αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, βασικός στόχος μιας επιχείρησης είναι να μειώσει τα λειτουργικά της κόστη, αυξάνοντας έτσι τα κέρδη της. Έτσι, όποια κόστη αφορούν σε αποθέματα, με την ελαχιστοποίηση των αποθεμάτων που κρατά μια εταιρία, μπορούν να μειωθούν.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι ο εντοπισμός των καταστημάτων, αλλά και των προϊόντων με τις μεγαλύτερες επιστροφές, η ανάλυσή τους, η εύρεση πιθανής αλληλεπίδρασης τους με άλλα, καθώς και ο σχεδιασμός κατάλληλης μελλοντικής στρατηγικής μέσω της βέλτιστης ποσότητας παραγγελίας (EOQ).

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για να υλοποιηθεί με ακρίβεια το κάθε βήμα της έρευνας είναι τα Microsoft Access, Microsoft Excel και το στατιστικό πακέτο Minitab. Βασική προϋπόθεση ήταν η γνώση σύνταξης σε SQL, αλλά και προχωρημένη Στατιστική.

#### **5.1.1 Η Αλυσίδα «METRO ΑΕΒΕ»**

Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1976 με την επωνυμία «METRO Ανώνυμη Εμπορική και Βιομηχανική Εταιρεία Ειδών Διατροφής και Οικιακής Χρήσεως» και το διακριτικό τίτλο «METRO». Προήλθε από το συνεταιρισμό οκτώ παντοπωλών, ενώ ήταν από την αρχή και παραμένει απόλυτα ελληνικών συμφερόντων, με οικογενειακή μετοχική σύνθεση και αυστηρά τεχνοκρατικό τρόπο οργάνωσης. Το αντικείμενο δραστηριότητας της εταιρείας είναι η εμπορία ειδών διατροφής και οικιακής χρήσης, Super Market και Cash & Carry.

Το 1976 έγιναν τα εγκαίνια του πρώτου καταστήματος Cash & Carry στην Αθήνα. Το 1977 τα κεντρικά γραφεία της εταιρείας μεταφέρθηκαν στη Λεωφόρο Συγγρού και εγκαινιάστηκε το πρώτο Super Market METRO στον Κορυδαλλό, ενώ το 1979, δύο μόλις χρόνια αργότερα, το προσωπικό της αριθμούσε 100 άτομα.

Τέσσερα χρόνια μετά, τα κεντρικά γραφεία και οι κεντρικές αποθήκες μεταφέρθηκαν σε ιδιόκτητο κτίριο στη Μεταμόρφωση, ενώ το 1984 εγκαινιάστηκε το 10ο κατάστημα της αλυσίδας στην οδό Πειραιώς, στο Μοσχάτο. Τρία χρόνια αργότερα, η METRO ΑΕΒΕ έγινε η πρώτη εταιρεία που εγκατέστησε φορητά τερματικά στα καταστήματά της, ενώ το 1990 ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση scanning στα καταστήματα χονδρικής. Επίσης, την ίδια χρονιά, εγκαινιάστηκε το πρώτο κατάστημα εκτός Αθηνών, στη Ρόδο και το 20ο κατάστημα στην Ηλιούπολη, ενώ τέσσερα χρόνια μετά, έγινε νέα επέκταση των κεντρικών γραφείων και το προσωπικό ξεπέρασε τα 1.000 άτομα.

Το 1995 τα καταστήματά της έφτασαν τα 30 και το 1996 τοποθετήθηκε σύστημα σάρωσης (scanning) και στα Super Market της εταιρείας. Την επόμενη χρονιά, δημιουργήθηκε Κέντρο Ψυχαγωγίας και Μόρφωσης στη Μεταμόρφωση, και εγκαινιάστηκε το 40ο κατάστημα στην Κέρκυρα. Το 1998, η METRO κέρδισε το Α΄ βραβείο Δημιουργίας από το Κέντρο Πληροφοριών του ΟΗΕ για τη συμμετοχή της στο Διαγωνισμό Φυλλαδίου, με την ευκαιρία της 50ης επετείου της Οικουμενικής Διακήρυξης των Ανθρωπίνων Δικαιωμάτων. Τον επόμενο χρόνο, ανέλαβε την προεδρία του ΣΕΣΜΕ (Σύνδεσμος Επιχειρήσεων Σούπερ Μάρκετ Ελλάδος) ο πρόεδρος της εταιρείας, κ. Παντελής Παντελιάδης, επεκτάθηκαν οι κεντρικές αποθήκες της αλυσίδας και εγκαινιάστηκε το 50ο κατάστημά στις Σέρρες. Το 2002 τα καταστήματά έφτασαν τα 60, με την προσθήκη ενός ακόμη στο Μαραθώνα.

Από το 2004 έως το 2007 πραγματοποιήθηκε αγορά έκτασης 100.000 τ.μ, στα Οινόφυτα Βοιωτίας, με σκοπό τη δημιουργία νέου Κέντρου Διανομής (Distribution Center) της εταιρείας, διευκολύνοντας έτσι στο μέγιστο βαθμό τη διανομή των αγαθών σε πανελλαδικό επίπεδο και για τα δύο δίκτυα πωλήσεων. Παράλληλα, τα καταστήματα έφτασαν τα 71 με τα εγκαίνια ενός νέου My

Market στα Ιωάννινα, ενώ το 2007 τα καταστήματα γίνονται συνολικά 74, με την ίδρυση ενός Cash & Carry στην Ξάνθη και 2 My Market στο Λέχαιο Κορινθίας και στο Ρέντη.

Το 2008, μαζί με τα έναρξη εργασιών του Κέντρου Διανομής Οиноφύτων, εγκαινιάζεται το 45ο κατάστημα My market στο Σχηματάρι ενώ, μέσα στο 2009 γίνονται τα εγκαίνια τεσσάρων ακόμη Cash & Carry στην Πρέβεζα, Κόρινθο, Λιβαδειά και Χανιά με τα καταστήματα METRO Cash & Carry να φτάνουν τα 34. Το 2010 εγκαινιάστηκαν 4 νέα καταστήματα, 2 My Market στο Αλιβέρι και στο Ξυλόκαστρο και 2 METRO Cash & Carry στην Καρδίτσα και στην Σπάρτη. Επιπλέον, το 2011 δύο νέα My Market εγκαινιάστηκαν, στη Θήβα και στο Κιάτο.

Το 2016 η METRO αποκτά τον αποκλειστικό έλεγχο των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων της μεγάλης εταιρείας «Βερόπουλος» στην Ελλάδα, αυξάνει σημαντικά το δίκτυο της στη λιανική πώληση και εξαπλώνεται σε στρατηγικά σημεία σε όλη την ελληνική επικράτεια.

Σήμερα, η εταιρεία διαθέτει δύο αλυσίδες καταστημάτων: τα καταστήματα χονδρικής «METRO Cash & Carry», με 49 σημεία σε στρατηγικά σημεία τόσο στις ηπειρωτικές όσο και στις νησιωτικές περιοχές της χώρας, και τα καταστήματα λιανικής «My market», με 224 σημεία, τα οποία βρίσκονται, όπως και τα CC, σε στρατηγικά σημεία τόσο στις ηπειρωτικές όσο και στις νησιωτικές περιοχές της χώρας.

Η METRO απασχολεί πάνω από 10.500 εργαζόμενους, γεγονός που την καθιστά ως έναν από τους μεγαλύτερους εργοδότες στην Ελλάδα. Τα METRO Cash & Carry στεγάζονται σε χώρους έκτασης από 1.500τ.μ. έως 3.000τ.μ. και βρίσκονται σε όλη την Ελλάδα, αποτελώντας την αλυσίδα με το μεγαλύτερο δίκτυο καταστημάτων χονδρικής στη χώρα, όπου είναι συγκεντρωμένη μία μεγάλη ποικιλία ειδών, με περισσότερες από 20.000 επιλογές. Τα My Market είναι καταστήματα με χώρους πώλησης 800-1.700τ.μ., τα οποία βρίσκονται σε συνέχεια της ενοποίησης με την «Βερόπουλος» σε όλη την Ελλάδα.

Ένα εξωτερικό αποδεικτικό της σταθερής πορείας της εταιρίας και της συγκροτημένης πολιτικής που ακολουθείται είναι τα βραβεία που κατακτούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια σε διαφορετικούς τομείς. Τα βραβεία αυτά αποτελούν επίσης το σημαντικό αποτέλεσμα ομαδικής συνεργασίας πολλών τμημάτων μεταξύ τους και μία επάξια επιβράβευση για τους εργαζόμενους.

Ενδεικτικά, κατά το διάστημα 2010-2015, η εταιρία τιμήθηκε με βραβεία όπως η Βράβευση της Γενικής Διεύθυνσης Ανθρώπινου Δυναμικού από την KPMG (για τα έτη 2015 και 2012), Manager of the Year 2015 από την ΕΕΔΕ (Ελληνική Εταιρία Διοικήσεως Επιχειρήσεων) για τον Αριστοτέλη Παντελιάδη (Διευθύνων Σύμβουλος), Energy Mastering Awards 2015 (ένα χρυσό, δύο ασημένια, δύο χάλκινα βραβεία), HR Excellence Awards της ΕΕΔΕ στην κατηγορία «Ηγεσία-Εκπαίδευση και Ανάπτυξη» (2014), Βραβείο Εφοδιαστικής Αλυσίδας από την ΕΒΕΑ (Εμπορικό και Βιομηχανικό Επιμελητήριο Αθηνών) 2014, Βραβείο Transport & Logistics 2014, Βραβεία Excellence Awards - 2014 (3 βραβεία στις κατηγορίες: «Συνεργασία στη Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας», «Κοινές Ενέργειες CSR», «Private Label»).

### 5.1.2 Κέντρα Διανομής METRO (Distribution Centers)

Το 2008 πραγματοποιήθηκε μία πολύ μεγάλη επένδυση, ύψους 35εκ. € στα Οινόφυτα Βοιωτίας, όπου και εγκαταστάθηκε ένα υπερσύγχρονο Κέντρο Διανομής, από τα μεγαλύτερα στην Ελλάδα, διευκολύνοντας έτσι στο μέγιστο βαθμό τη διανομή των αγαθών σε πανελλαδικό επίπεδο και για τις δύο αλυσίδες. Μετά το Κέντρο Διανομής στα Οινόφυτα Βοιωτίας, αλλά και το Κέντρο Διανομής Μάνδρας, που ανήκε στην εταιρεία «Βερόπουλος», η εταιρία αριθμεί ένα επιπλέον Κέντρο Διανομής στην περιοχή της Γέφυρας Θεσσαλονίκης, στοχεύοντας στην ακόμη ταχύτερη και αρτιότερη κάλυψη των σημείων πώλησης σε κάθε γωνιά της χώρας.

Μέσα από το κεντροποιημένο σύστημα διακίνησης τροφίμων που εφαρμόζεται, δηλαδή τη διαδικασία της παραγγελίας στον προμηθευτή του συνόλου των προϊόντων του και της παράδοσης στην κεντρική αποθήκη, έχουν επιτευχθεί τα εξής αποτελέσματα:

- Ελαχιστοποίηση των δρομολογίων των φορτηγών για την εξυπηρέτηση των αναγκών των καταστημάτων
- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων (εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα)
- Μείωση της ηχορύπανσης και της κυκλοφορίας στις περιοχές γύρω από τα καταστήματα
- Το ποσοστό της κεντροποίησης εμπορευμάτων στα Κέντρα Διανομής αγγίζει κατά μέσο όρο το 75% των ενεργών προμηθευτών.

Το Κέντρο Διανομής Οиноφύτων (ΚΔΟ), βρίσκεται σε ιδιόκτητη έκταση μεγέθους 100 στρεμμάτων, συνολικού εμβαδού μεγαλύτερου από 41.000τμ, λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο, κατευθύνοντας τον ιδιόκτητο στόλο των 40 φορτηγών, τα οποία καλύπτοντας καθημερινά πάνω από 13.000 χιλιόμετρα, διακινούν περίπου 100.000 κιβώτια αγαθών σε ολόκληρη την Ελλάδα. Το ΚΔΟ απασχολεί 360 εργαζόμενους.

### 5.1.3 Ανάθεση Project

Τον Οκτώβριο του 2017 ξεκίνησαν οι πρώτες συζητήσεις που εξελίχθηκαν σε μια άκρως επικοινωνιακή συνεργασία με τον Διευθυντή Αποθηκών και Τμήματος Εξυπηρέτησης, κ. Αντώνη Πρέκα. Μετά από συχνές συναντήσεις στα γραφεία των Οиноφύτων, ξενάγηση στο Κέντρο Διανομής εκεί, παρουσιάσεις και συζητήσεις, με εμπιστεύθηκε για την υλοποίηση του Project «Επιχειρησιακή Έρευνα πάνω στον τρόπο παραγγελίας των καταστημάτων και το πώς επηρεάζει τις ελλείψεις και τις επιστροφές προς τα Κέντρα Διανομής στο σύνολό τους».

Συγκεκριμένα, μου παρείχε τα απαραίτητα στοιχεία για να προχωρήσω στην έρευνα, και με βοήθησε να αντιληφθώ πώς γίνεται στην πράξη η διακίνηση των προϊόντων από και προς την αποθήκη. Τα στοιχεία αυτά αφορούν σε παραγγελίες των Super Market και τις μετέπειτα επιστροφές των προϊόντων στο ΚΔΟ για το έτος 2016. Με την καθοδήγησή του και τις συχνές συμβουλές και παρατηρήσεις του, καταλήξαμε στην Ανάλυση των δεδομένων αυτών, η οποία θα παρουσιαστεί παρακάτω. Τα δεδομένα που μου δόθηκαν για επεξεργασία είναι κωδικοποιημένα.

## 5.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ PROJECT

### 5.2.1 Access & SQL Projects

Τα αρχικά αρχεία που μου δόθηκαν (“Orders.mdb”, “Returns.mdb”) ήταν σε μορφή Microsoft Access. Εκεί, στις δύο βάσεις δεδομένων (databases) που είχα να διαχειριστώ, έτρεξα κάποια queries, έκανα ορισμένα joins ώστε να συγχωνεύσω (merge) παραγγελίες και επιστροφές σε ένα αρχείο, που θα είναι περισσότερο διαχειρίσιμο. Τις ενέργειες αυτές τις συντάξα σε SQL, που είναι ήδη ενσωματωμένη στην Access.

Περίληπτικά, να σημειωθεί εδώ ότι τόσο οι ποσότητες (QTY) των παραγγελιών, όσο και αυτές των επιστροφών, μου έχουν δοθεί αθροιστικά για κάθε μήνα (από το εκάστοτε κατάστημα, για τον κάθε μήνα παραγγελίας ή επιστροφής αντίστοιχα). Ακόμα, οι κωδικοί των προϊόντων είναι “Master Item”, το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι σε έναν κωδικό περιλαμβάνονται και προϊόντα (της ίδιας προφανώς οικογένειας) που πωλούνται, για παράδειγμα, 1+1 δώρο, +30% επιπλέον προϊόν, -0.65€, κλπ.

Μετά τη βαθιά μελέτη και ενασχόλησή μου και με τα δύο αρχεία, κατέληξα στο ότι υπάρχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον στο κομμάτι των επιστροφών. Με γνώμονα και βασικό στόχο της επιχείρησης την ελαχιστοποίησή τους, μπορεί να αυξηθεί κατακόρυφα το κέρδος της, δεδομένης της μείωσης των κοστών που εμπλέκονται με τα αποθέματα στις αποθήκες (τα οποία προκαλούνται από τις επιστροφές).

Για αρχή, δημιούργησα δύο queries (και συγκεκριμένα “Crosstab Queries”) και κατέταξα τα προϊόντα (ως αθροιστικές ποσότητες παραγγελιών και επιστροφών) ανά μήνα (Orders\_Crosstab, Returns\_Crosstab). Στο επόμενο βήμα, αφού επέλεξα τα 50 προϊόντα με τις μεγαλύτερες ποσότητες παραγγελίας και τα 50 με τις μεγαλύτερες ποσότητες επιστροφής (Top50Orders, Top50Returns), έτρεξα ένα “Inner Join” (Inner50) και έβγαλα τις ποσότητες παραγγελίας και επιστροφής για 9 προϊόντα (όσα ήταν κοινά στα queries Top50Orders, Top50Returns που σημαίνει ότι αυτά τα προϊόντα έχουν πολύ μεγάλες ποσότητες παραγγελίας και επιστροφής).

Ακόμα, επειδή με ενδιαφέρει το πώς κατανέμονται οι επιστροφές στα διάφορα καταστήματα, δημιούργησα ένα query (RetSMCross), στο οποίο κατέταξα τα προϊόντα και τις αντίστοιχες ποσότητες επιστροφής ανά κατάστημα. Στη συνέχεια, δημιούργησα δύο Inner Crosstabs με στήλες ProductID, Order QTY, Return QTY (InnerCrossOrders, InnerCrossReturns), το πρώτο σε φθίνουσα σειρά ποσοτήτων παραγγελίας και το δεύτερο σε φθίνουσα σειρά ποσοτήτων επιστροφής.



Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η ποσότητα που πωλήθηκε (QTY Sold), που ορίζεται ως η διαφορά της ποσότητας παραγγελίας μείον την ποσότητα επιστροφής, λαμβάνει για πολλά προϊόντα αρνητικές τιμές (συγκεκριμένα 33 στα 50 προϊόντα στο query InnerCrossReturns έχουν αρνητικές πωλήσεις). Κάτι τέτοιο συμβαίνει όταν η ποσότητα επιστροφής υπερβαίνει την ποσότητα παραγγελίας για ορισμένα προϊόντα. Αυτό εξηγείται εύκολα από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις, οι παραγγελίες και οι επιστροφές δε γίνονται από το ίδιο κατάστημα ή από το ότι μπορεί να τοποθετείται μια παραγγελία στο τέλος του έτους και οι επιστροφές να φαίνονται στο επόμενο.

Όλα τα queries που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο αυτό, είναι γραμμένα σε SQL και βρίσκονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β', όπως και οι πίνακες που εξάχθηκαν από τους κώδικες αυτούς.

## 5.2.2 Excel Projects & Results

Σε δεύτερη φάση, τα αρχεία που δημιουργήθηκαν στην Access, χρησιμοποιήθηκαν (εξάχθηκαν - extract) στο Excel. Ακόμα, με τη βοήθεια των Pivot Tables, έφτιαξα μερικά επιπλέον αρχεία, από τα οποία εξήγαγα πολύτιμα αποτελέσματα.

Αρχικά, το αρχείο "Orders.xlsx" αποτελείται από 415,310 εγγραφές (γραμμές - rows) σε έξι στήλες (columns), με ονόματα SMID (Super Market Identity - Κωδικός Καταστήματος), OrderMonth (μήνας που τοποθετήθηκε η παραγγελία), ProductID (Κωδικός Προϊόντος), QTY (Quantity - Ποσότητα Παραγγελίας), Expire (αν λήγει ή όχι το προϊόν - Yes, No) και ABC (το επίπεδο σημαντικότητας του Προϊόντος), όπως φαίνεται στο Παράρτημα Γ'. Τονίζεται εδώ ότι η συνολική ποσότητα παραγγελιών ήταν 16,528,757 τεμάχια (από 8,766 διαφορετικά προϊόντα).

Το αρχείο "Returns.xlsx" περιλαμβάνει 21,999 εγγραφές (γραμμές - rows, που πρακτικά σημαίνει ότι έγιναν 21,999 μηνιαίες επιστροφές από όλα τα καταστήματα) σε τέσσερις στήλες (columns), με ονόματα SMID (Super Market Identity - Κωδικός Καταστήματος), ReturnMonth (μήνας που επιστράφηκε η παραγγελία), ProductID (Κωδικός Προϊόντος) και QTY (Quantity - Ποσότητα Παραγγελίας). Να σημειωθεί ότι η συνολική ποσότητα επιστροφών ήταν 1,596,020 τεμάχια (από 4,275 προϊόντα).

Το πρώτο ζήτημα που μελέτησα, ήταν οι παραγγελίες και οι επιστροφές στο σύνολό τους ανά κατάστημα (QTY Sold SM Total). Θεώρησα ότι η διαφορά τους είναι η ποσότητα που πωλήθηκε και παρατήρησα ότι για όλα τα καταστήματα, η ποσότητα αυτή ήταν θετική. Τα κατέταξα σε φθίνουσα σειρά και ουσιαστικά βρήκα ποια καταστήματα είχαν τις μεγαλύτερες πωλήσεις (θεωρητικά και τα περισσότερα κέρδη). Τα τρία «καλύτερα» ήταν τα 14, 1 και 11, τα οποία έχουν πωλήσεις περίπου στο 30% του συνόλου της εταιρίας. Να σημειωθεί εδώ ότι και τα τρία αυτά καταστήματα βρίσκονται στην Αττική και είναι μεγάλου μεγέθους, κάτι το οποίο δικαιολογεί εν μέρει τις υψηλές πωλήσεις.

Στη συνέχεια, ασχολήθηκα με τις επιστροφές (Returns), που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον ανάλογα με το προϊόν ή/και το κατάστημα στο οποίο εξετάζονται. Με βάση την ανάλυση που έγινε στην SQL, κατηγοριοποιήθηκαν τα διάφορα προϊόντα (ProductID) ανάλογα με τα καταστήματα (SMID). Παρατηρήθηκε ότι στα πρώτα τρία καταστήματα (από τα 19 συνολικά, δηλαδή περίπου το 1/6) με τις περισσότερες επιστροφές (SM11, 8, 16) συγκεντρώνεται το 36.98% (πάνω από το 1/3) όλων των επιστροφών (ποσότητες επιστροφής προϊόντων από όλα τα καταστήματα). Παράλληλα, αν προστεθούν και οι ποσότητες επιστροφών των δύο επόμενων καταστημάτων με τις περισσότερες επιστροφές (SM14, 17), το ποσοστό επιστροφών αγγίζει το 55.32% του συνόλου - πρακτικά περισσότερες από τις μισές επιστροφές της εταιρίας προέρχονται από το 1/4 των καταστημάτων.

Στο ίδιο μήκος κύματος, έκανα μια ακόμα πιο βαθιά ανάλυση των παραπάνω (Top5 SM) και κατέληξα στο πώς κατανέμονται οι ποσότητες επιστροφών στα πέντε καταστήματα με τις μεγαλύτερες επιστροφές (SM11, 8, 16, 17, 14) για τα πέντε προϊόντα που έχουν επιστραφεί περισσότερο από καθένα από τα καταστήματα αυτά. Με μια πρώτη ματιά, παρατηρείται ότι τα προϊόντα είναι διαφορετικά σε κάθε κατάστημα, το οποίο δηλώνει ότι δεν «φταίει» το προϊόν, αλλά υπάρχει κάποιο θέμα στο εκάστοτε κατάστημα και στις παραγγελίες που τοποθετεί. Ένα άλλο σημείο που αξίζει να σταθούμε και να σχολιάσουμε είναι ότι για κάθε κατάστημα (που επιστρέφει περίπου 1,000 διαφορετικά προϊόντα/κωδικούς ετησίως), αυτά τα πέντε με τις περισσότερες επιστροφές, φτάνουν μέχρι και το 60% των συνολικών τους επιστροφών (συγκεκριμένα στο SM11). Αυτό σημαίνει ότι μικρές αλλαγές στην πολιτική παραγγελιών των συγκεκριμένων προϊόντων, μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ μεγάλα κέρδη για την επιχείρηση.

Έναν άλλο συσχετισμό που ήθελα να εξετάσω ήταν αυτός μεταξύ προϊόντων και μήνα επιστροφής (ReturnMonth). Έτσι, όπως και στην Access, σε ένα νέο worksheet (ProdMonth), ομαδοποίησα τα δεδομένα για τις ποσότητες επιστροφών (ProductID, QTY) των προϊόντων, ανάλογα με το μήνα επιστροφής (ReturnMonth). Τα συμπεράσματα ήταν αρκετά αναμενόμενα, αν κανείς λάβει υπόψιν ότι το έτος νοητά χωρίζεται σε τρεις περιόδους, βάσει τριών εορτών: Χριστούγεννα, Πάσχα, Δεκαπεντάυγουστος. Συνεπώς, οι μήνες Απρίλιος, Δεκέμβριος και Σεπτέμβριος συγκέντρωσαν τις μεγαλύτερες ποσότητες επιστροφών, που ανέρχονται στο 42.61% των συνολικών επιστροφών της εταιρίας (668,523 τεμάχια).

Με τη βοήθεια ενός Pivot Table αυτή τη φορά, με κατάλληλα φίλτρα (Filters), επέλεξα τα 30 προϊόντα (Top30ProdSM) και παρατήρησα πώς κατανέμονται στα καταστήματα, σε φθίνουσα σειρά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι αυτά τα 30 προϊόντα (0.7% των προϊόντων που επιστράφηκαν συνολικά – 4,275) αποτελούν το 51.04% των συνολικών επιστροφών. Ακόμα, το SM5, το οποίο είναι δεύτερο σε επιστροφές αν περιοριστούμε σε 30 προϊόντα, στην κατάταξη με όλα τα προϊόντα, έρχεται έκτο (με 7.90% των συνολικών επιστροφών της εταιρίας), το οποίο σημαίνει ότι τα προϊόντα που επιστρέφονται από το συγκεκριμένο κατάστημα, βρίσκονται στα Top30. Με την προσθήκη ενός “Slicer” για τους μήνες επιστροφής, έχει πολύ ενδιαφέρον να δει κανείς πώς μεταβάλλονται οι τιμές των επιστροφών στις εκάστοτε αλλαγές του μήνα (πχ. αν επιλέξουμε τους μήνες που είδαμε ότι έχουμε τις περισσότερες επιστροφές – Απρίλιος, Δεκέμβριος, Σεπτέμβριος, βλέπουμε ότι εκεί είναι κυρίως συγκεντρωμένες οι επιστροφές, ενώ αντίστοιχα, αν τους αποκλείσουμε, φαίνεται ξεκάθαρα η μείωση στις ποσότητες).

Κάτι αντίστοιχο, πάλι με τη βοήθεια ενός Pivot Table (Top10 Prod), έφτιαξα για τα 10 προϊόντα με τις περισσότερες επιστροφές (34.55% του συνόλου), στα διάφορα καταστήματα. Αυτή τη φορά προσέθεσα δύο Slicers, ένα για το μήνα κι ένα για το κατάστημα και με την ίδια λογική, καθορίζοντας κάθε φορά το μήνα ή/και το κατάστημα, παρατηρούμε πώς κυμαίνονται τα προϊόντα στα καταστήματα. Σημειώνεται εδώ ότι το πρώτο σε επιστροφές προϊόν υπάρχει μόνο σε δύο καταστήματα (στο ένα μάλιστα – SM11 – σε πολύ μεγάλη ποσότητα), όπως και το δεύτερο (από το SM5 έχει επιστραφεί κατά 99.41%), ενώ το τρίτο προϊόν έχει μεγαλύτερη διακύμανση στα καταστήματα (επιστράφηκε από επτά καταστήματα). Το εύρημα αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι στα δύο πρώτα προϊόντα, υπήρξε λανθασμένη κρίση από τους παραγγελιοδόχους των καταστημάτων, ενώ στο τρίτο προϊόν, ίσως να ήταν το προϊόν που δεν προτιμήθηκε γενικότερα από τους πελάτες.

Σε επόμενο σενάριο, αφού είχα πληροφορίες για τα 30 πρώτα σε επιστροφές προϊόντα (που όπως είδαμε αποτελούν το 51.04% των συνολικών επιστροφών και μόλις το 0.7% του συνόλου των προϊόντων), θέλησα να δω στο σύνολό τους τα προϊόντα (αθροιστικά) πώς κατανέμονται με βάση τις συνολικές επιστροφές. Με άλλα λόγια, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα αλλά και στο Παράρτημα Γ’ (ABC), αποδεικνύεται η Αρχή του Pareto, που ουσιαστικά λέει ότι το 15-20% του συνόλου των διάφορων ειδών αντιστοιχούν σε περίπου 50-65% της συνολικής ποσότητας επιστροφής, το επόμενο 20-25% των ειδών αντιστοιχεί σε 20-25% και το υπόλοιπο, στο 10-15%. Αυτό επαληθεύεται από το διάγραμμα (όχι με τόση ακρίβεια βέβαια), διότι το 6.5% των προϊόντων (277 από τα 4,275) προκαλούν το 80% των επιστροφών, ενώ το 20% των προϊόντων (855 από τα 4,275) προκαλούν το 91.95% των επιστροφών.

Έχοντας βρει τα 30 προϊόντα με τις περισσότερες επιστροφές ανά κατάστημα (30Prod by SM), εστίασα την έρευνα στα προϊόντα που έχουν επιστροφές από τουλάχιστον το 50% των καταστημάτων (ώστε να υπάρχει μια σχετική διασπορά). Έτσι, κατέληξα σε 10 προϊόντα, τα οποία όμως στην πραγματικότητα δεν είναι τα “Top 10”, αλλά βρίσκονται στο “Top 30”. Έπειτα, εισήγαγα ένα “Clustered Column Chart” (SM by Top10Prod) ώστε να απεικονιστεί και να φανεί ευκολότερα η κατανομή του κάθε προϊόντος στα καταστήματα στα οποία είχε επιστροφές.

Εστιάζοντας τώρα στα καταστήματα, και θέλοντας να δω τι συμβαίνει στο 50% των ποσοτήτων επιστροφών, φίλτραρα εννιά καταστήματα, που είχαν σύνολο επιστροφών 765,015 τεμάχια (48.76% του συνόλου που είναι 1,569,020 τεμάχια). Από εκεί, κατέληξα στα καταστήματα με τις περισσότερες επιστροφές στα 10 αυτά προϊόντα, που εξετάστηκαν και προηγουμένως (6 καταστήματα, που είναι το 70.58% του συνόλου των επιστρεφόντων ποσοτήτων – 99,138 στα 140,468 τεμάχια).

Μια περαιτέρω προσέγγιση που υλοποιήθηκε ήταν η Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance) των δύο παραπάνω ομαδοποιημένων στοιχείων (προϊόντα ανά καταστήματα και καταστήματα ανά προϊόντα), η οποία περιγράφεται λεπτομερώς στην §5.2.4, κατά την οποία

εξετάστηκε αν έχουν ή όχι κάποιου είδους αλληλεπίδραση οι επιστροφές των καταστημάτων μεταξύ τους, αλλά και αν συνδέονται τα προϊόντα που επιστράφηκαν μεταξύ τους (έπρεπε δηλαδή να βρω πιθανές σχέσεις).

Όλα τα Excel αρχεία, με τα Pivot Tables και τα διαγράμματα που χρησιμοποίησα, βρίσκονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ', στο τέλος της εργασίας, με παραποιημένους κωδικούς.

### 5.2.3 Ανάλυση Διασποράς κατά έναν παράγοντα (One-Way ANOVA)

Όταν θέλουμε να ελέγξουμε αν η μέση τιμή μιας ποσοτικής μεταβλητής διαφέρει ανάμεσα σε δύο ανεξάρτητα δείγματα, χρησιμοποιούμε το t-test. Στην περίπτωση όμως που η ποιοτική μεταβλητή έχει περισσότερες από δύο κατηγορίες (στάθμες), δεν εφαρμόζουμε το t-test. Εξετάζεται λοιπόν το πώς επηρεάζει ένας παράγοντας μια ποσοτική μεταβλητή, συγκρίνοντας πολλά δείγματα και βρίσκοντας τη σχέση μεταξύ μια ποσοτικής (εξαρτημένη) και μια κατηγορικής (ανεξάρτητη) μεταβλητής.

Προκειμένου να ελέγξουμε το αν διαφέρουν οι μέσες τιμές μιας ποσοτικής μεταβλητής ανάμεσα στις κατηγορίες μιας ποιοτικής, όταν αυτή έχει περισσότερες από δύο κατηγορίες (έστω  $p$ ), χρησιμοποιούμε την Ανάλυση Διασποράς μιας κατεύθυνσης (One-Way ANOVA). Η Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance – ANOVA) είναι μέθοδος στατιστικού ελέγχου υποθέσεων που αναφέρονται σε περισσότερους από δύο πληθυσμούς.

#### Προϋποθέσεις:

- Η ποσοτική μεταβλητή να κατανέμεται κανονικά, σε κάθε κατηγορία της ποιοτικής.
- Οι διασπορές της ποσοτικής μεταβλητής, σε κάθε κατηγορία της ποιοτικής, να είναι ίσες.
- Οι  $p$  - ομάδες ατόμων ( $p$  - δείγματα) να είναι ανεξάρτητες.

Αν οι προϋποθέσεις αυτές δεν ισχύουν, τότε ανατρέχουμε σε μη παραμετρικό τεστ. Ένας άλλος τρόπος να συγκρίνουμε περισσότερα από 2 δείγματα, θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε πολλά t-test. Με τον τρόπο αυτό όμως, η πιθανότητα σφάλματος αυξάνεται κατακόρυφα. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε 3 δείγματα (1, 2, 3). Θα πραγματοποιηθούν 3 t-test για τους συνδυασμούς 1-2, 1-3, 2-3 με  $\sigma.σ.=0.05$  για το καθένα. Η συνολική πιθανότητα να μην έχει γίνει λάθος σε κανένα test είναι  $(0.95)^3=0.857$ . Άρα η πιθανότητα να έχει γίνει λάθος σε ένα τουλάχιστον test είναι  $1-0.857=0.143>0.05$  και παρατηρείται διόγκωση του σφάλματος. Επομένως, η πιθανότητα σφάλματος αυξάνεται δραματικά με τον αριθμό των συγκρίσεων (πχ. για 5 δείγματα (10 συγκρίσεις) έχουμε πιθανότητα ενός τουλάχιστον σφάλματος  $1- (0.95)^{10}=0.40$ ).

Ας περάσουμε στο τι ακριβώς ελέγχει η ANOVA. Η ANOVA ελέγχει την υπόθεση ότι όλες οι μέσες τιμές των ομάδων που ελέγχουμε είναι ίσες. Χρησιμοποιεί το F-statistic (F-ratio) για «ομαδικό» έλεγχο ύπαρξης διαφοράς. Το μειονέκτημά της είναι ότι δεν μπορεί να μας πει ποιες ακριβώς ομάδες διαφέρουν. Η ύπαρξη έστω και μιας διαφοράς ερμηνεύεται ότι ο παράγοντας (κατηγορική μεταβλητή) επηρεάζει σημαντικά την ποσοτική μεταβλητή. Αν η επίδραση του παράγοντα δεν είναι σημαντική, τότε η μεταβλητότητα μπορεί να εξηγηθεί μόνο από το γενικό μέσο όρο (grand mean). Αν η επίδραση του παράγοντα είναι σημαντική, τότε οι διαφορές των μέσων τιμών των ομάδων (group means) από το γενικό μέσο όρο (grand mean) πρέπει να είναι μεγάλες. Ουσιαστικά, υποθέτουμε ότι η επίδραση του παράγοντα είναι μετρήσιμη και μπορεί να μοντελοποιηθεί.

#### Έλεγχος της επίδρασης του παράγοντα

Έστω ότι έχουμε τις παρατηρήσεις που φαίνονται στον πίνακα:

|               | 1              | 2              | ... | $i$            | ... | $p$                           |
|---------------|----------------|----------------|-----|----------------|-----|-------------------------------|
|               | $Y_{11}$       | $Y_{21}$       | ... | $Y_{i1}$       | ... | $Y_{p1}$                      |
|               | $Y_{12}$       | $Y_{22}$       | ... | $Y_{i2}$       | ... | $Y_{p2}$                      |
|               | $Y_{13}$       | $Y_{23}$       | ... | $Y_{i3}$       | ... | $Y_{12}$                      |
|               | ...            | ...            | ... | ...            | ... | ...                           |
|               | $Y_{1n_1}$     | $Y_{2n_2}$     | ... | $Y_{in_i}$     | ... | $Y_{pn_p}$                    |
| <b>Σύνολα</b> | $\bar{Y}_{1.}$ | $\bar{Y}_{2.}$ | ... | $\bar{Y}_{i.}$ | ... | $\bar{Y}_{p.}$ $\bar{Y}_{..}$ |
| <b>Μέσοι</b>  | $\bar{Y}_{1.}$ | $\bar{Y}_{2.}$ | ... | $\bar{Y}_{i.}$ | ... | $\bar{Y}_{p.}$ $\bar{Y}_{..}$ |

**Μοντέλο:**

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{ij}: \eta \ j \text{σπη} \ \text{παρατήρηση στην } i \ \text{κατηγορία} \ (i = 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, n_i) \\ \mu: \text{σταθερά} \\ \alpha_i: \text{επίδραση της κατηγορίας } i \ \text{στο } Y \\ \varepsilon_{ij}: \text{τυχαίο σφάλμα} \end{array} \right\}$$

**Υπόθεση:**

$$\sum_j \varepsilon_{1j} = \sum_j \varepsilon_{2j} = \dots = \sum_j \varepsilon_{pj} = 0$$

Μηδενική Υπόθεση  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p \ (\sum_{i=1}^p \alpha_i = 0)$

Εναλλακτική Υπόθεση  $H_1: \mu_i \neq \mu_j, i, j = 1, 2, \dots, p$  (τουλάχιστον δύο να διαφέρουν)

(τουλάχιστον ένα  $\alpha_i \neq 0$ )

|  |   |
|--|---|
| $Y_{i.} = \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$<br>(άθροισμα στην $i$ κατηγορία)  | $Y_{..} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$<br>(συνολικό άθροισμα)  |
| $\bar{Y}_{i.} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$<br>(μέσο άθροισμα στην $i$ κατηγορία)   | $\bar{Y}_{..} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$<br>(γενικός μέσος όρος)   |
| $SSE = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \sum_{j=1}^{n_i} \frac{\bar{Y}_{i.}^2}{n_i}$<br>(άθροισμα τετραγώνων των αποκλίσεων από το μέσο κάθε κατηγορίας) |   |
| $SSA = \sum_{i=1}^p n_i (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^p \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{n}$<br>(άθροισμα τετραγώνων των αποκλίσεων που οφείλεται στον παράγοντα)                                     |   |
| $SST = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{n}$<br>(συνολικό άθροισμα τετραγώνων αποκλίσεων)   |   |
| $SST = SSA + SSE$  |   |
| Αν $\bar{Y}_{i.} = \bar{Y}_{..}, \forall i$ τότε $SSA = 0$ και $SST = SSE$<br>(όλη η διασπορά οφείλεται σε καθαρά σφάλματα μετρήσεων, επομένως οι κατηγορίες του παράγοντα A δεν έχουν καμία σημασία)                      | Αν $Y_{ij} = \bar{Y}_{i.}, \forall i, j$ τότε $SSE = 0$ και $SST = SSA$<br>(όλη η διασπορά οφείλεται στις κατηγορίες του παράγοντα A, επομένως αυτές είναι πολύ σημαντικές) |

**Πίνακας ANOVA**

Εδώ παρουσιάζονται συνοπτικά οι Βαθμοί Ελευθερίας (Degrees of Freedom), τα Αθροίσματα Τετραγώνων (Sum of Squares), τα Μέσα Τετράγωνα (Mean Square), το Κριτήριο F-Statistic και η Περιοχή Απόρριψης (Rejection/Critical Region) για τον Παράγοντα A (Επεμβάσεις/Treatments, Factor Between Groups), τα Υπόλοιπα/Σφάλματα (Errors Within Groups) και το Σύνολο.

Σημειώνεται ότι το  $SSA$  παριστά τη συστηματική διασπορά που οφείλεται στην παράγοντα ενώ το  $SSE$  την τυχαία (μη-συστηματική). Αν το  $F$  είναι μεγάλο, τότε έχουμε ένδειξη επίδρασης του παράγοντα (πρέπει  $p - value < 0.05$ ). Το  $F - test$  μας υποδεικνύει το αν υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις στάθμες ενός παράγοντα, αλλά όχι ποιες διαφέρουν.

| Πηγή Μεταβλητότητας          | ΒΕ      | Άθροισμα Τετραγώνων | Μέσο Τετράγωνο            | Κριτήριο $F$          | Περιοχή Απόρριψης          |
|------------------------------|---------|---------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Παράγοντας Α (μεταξύ ομάδων) | $p - 1$ | $SSA$               | $MSA = \frac{SSA}{p - 1}$ | $F = \frac{MSA}{MSE}$ | $F > F_{p-1, n-p, \alpha}$ |
| Υπόλοιπα (εντός των ομάδων)  | $n - p$ | $SSE$               | $MSE = \frac{SSE}{n - p}$ |                       |                            |
| Σύνολο                       | $n - 1$ | $SST$               |                           |                       |                            |

#### 5.2.4 Minitab & Excel - ANOVA Results

Για να μπορέσω να έχω μια πιο σφαιρική εικόνα για τα στοιχεία μου και να βγάλω ορθότερα συμπεράσματα, θεώρησα καλό να κάνω μια στατιστική ανάλυση στις επιστροφές. Συγκεκριμένα, στο στατιστικό πακέτο "Minitab", εισήγαγα τα δεδομένα που είχα από το "Top6SM by Top10Prod" για τα πέντε πρώτα προϊόντα, στα έξι καταστήματα από τα οποία επιστράφηκαν περισσότερα. Αυτό που εξετάζεται εδώ ουσιαστικά είναι αν τα προϊόντα αυτά έχουν κάποια συσχέτιση μεταξύ τους ως προς τις ποσότητες επιστροφών ανά κατάσταση. Το συγκεκριμένο σενάριο το έτρεξα στο Minitab και στο Excel, προφανώς με τα ίδια αποτελέσματα.

Στο Minitab, έγινε με δύο τρόπους: αρχικά από το κεντρικό μενού, επέλεξα *Stat* → *ANOVA* → *One - Way* → *Response: QTY*, *Factor: ProductID*, αλλά και με την ένταξη ψευδομεταβλητών (*Calc* → *Make Indicator Variables* → *Responses: Y*, *Factor: Product*). Όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά και παραπάνω, αυτό που ήθελα να ερευνήσω ήταν αν ο παράγοντας "ProductID", δηλαδή τα προϊόντα, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τις ποσότητες επιστροφής (QTY), κι αν ναι, κατά πόσο.

| ProductID | 352012 | 324915 | 324913 | 341980 | 798688 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | 3,024  | 12,816 | 11,328 | 2,308  | 435    |
|           | 8,369  | 504    | 361    | 1,447  | 2,635  |
|           | 3,360  | 1,800  | 2,928  | 1,440  | 2,109  |
|           | 4,178  | 2,428  | 2,928  | 962    | 1,306  |
|           | 5,424  | 288    | 768    | 1,164  | 902    |
|           | 2,640  | 1,344  | 48     | 1,352  | 1,204  |

| Y     | Product | Product_P1 | Product_P2 | Product_P3 | Product_P4 | Product_P5 |
|-------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 3024  | P1      | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 8369  | P1      | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 3360  | P1      | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 4178  | P1      | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 5424  | P1      | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 2640  | P1      | 1          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 12816 | P2      | 0          | 1          | 0          | 0          | 0          |
| 504   | P2      | 0          | 1          | 0          | 0          | 0          |
| 1800  | P2      | 0          | 1          | 0          | 0          | 0          |
| 2428  | P2      | 0          | 1          | 0          | 0          | 0          |
| 288   | P2      | 0          | 1          | 0          | 0          | 0          |
| 1344  | P2      | 0          | 1          | 0          | 0          | 0          |
| 11328 | P3      | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          |
| 361   | P3      | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          |
| 2928  | P3      | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          |
| 2928  | P3      | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          |
| 768   | P3      | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          |
| 48    | P3      | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          |
| 2308  | P4      | 0          | 0          | 0          | 1          | 0          |
| 1447  | P4      | 0          | 0          | 0          | 1          | 0          |
| 1440  | P4      | 0          | 0          | 0          | 1          | 0          |
| 962   | P4      | 0          | 0          | 0          | 1          | 0          |
| 1164  | P4      | 0          | 0          | 0          | 1          | 0          |
| 1352  | P4      | 0          | 0          | 0          | 1          | 0          |
| 435   | P5      | 0          | 0          | 0          | 0          | 1          |
| 2635  | P5      | 0          | 0          | 0          | 0          | 1          |
| 2109  | P5      | 0          | 0          | 0          | 0          | 1          |
| 1306  | P5      | 0          | 0          | 0          | 0          | 1          |
| 902   | P5      | 0          | 0          | 0          | 0          | 1          |
| 1204  | P5      | 0          | 0          | 0          | 0          | 1          |

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα που πήρα από το Minitab. Αρχικά, περιγράφεται η μέθοδος – με αρχική υπόθεση ότι όλοι οι μέσοι είναι ίσοι, εναλλακτική υπόθεση ότι δεν είναι και επίπεδο σημαντικότητας 0.05 – και δίνονται πληροφορίες για τον Παράγοντα – Factor (στην περίπτωσή μας για τα ProductID ότι έχουν 5 επίπεδα – levels με τιμές 352012, 324915, 324913, 341980, 798688). Αμέσως μετά, δίνεται η Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance), όπως ακριβώς έχει αναλυθεί παραπάνω στον Πίνακα ANOVA, αλλά και η Περίληψη του Μοντέλου (Model Summary).

Από την Ανάλυση Διασποράς, παρατηρούμε ότι η  $p - value = 0.378 > 0.05$  (επίπεδο σημαντικότητας), συνεπώς δεν μπορούμε να απορρίψουμε την αρχική υπόθεση ότι όλοι οι μέσοι είναι ίδιοι. Επομένως, ο παράγοντας ProductID δεν είναι στατιστικά σημαντικός για τις επιστροφές.

Στην Περίληψη του Μοντέλου, έχουμε μικρές τιμές όλων των R-sq (R squared – Συντελεστής Προσδιορισμού), κάτι που θα μπορούσε να είναι ανησυχητικό. Όμως, ενώ το R-sq παρέχει μια εκτίμηση της ισχύος της σχέσης μεταξύ μοντέλου και μεταβλητής απόκρισης, δεν παρέχει κάποια επίσημη υπόθεση για αυτή τη σχέση. Το συνολικό F-test καθορίζει αν η σχέση αυτή είναι στατιστικά σημαντική, το οποίο δίνει  $F - value = 1.10 < F_{crit} = F(4, 25) = 2.76$ , άρα δεν μπορούμε να απορρίψουμε την αρχική υπόθεση.

# One-way ANOVA: 352012, 324915, 324913, 341980, 798688

## Method

Null hypothesis All means are equal  
 Alternative hypothesis Not all means are equal  
 Significance level  $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

## Factor Information

| Factor | Levels | Values                                 |
|--------|--------|--|
| Factor | 5      | 352012, 324915, 324913, 341980, 798688 |

## Analysis of Variance

| Source | DF | Adj SS    | Adj MS   | F-Value | P-Value |
|--------|----|-----------|----------|---------|---------|
| Factor | 4  | 40751159  | 10187790 | 1.10    | 0.378   |
| Error  | 25 | 231399345 | 9255974  |         |         |
| Total  | 29 | 272150505 |          |         |         |

## Model Summary

| S       | R-sq   | R-sq(adj) | R-sq(pred) |
|---------|--------|-----------|------------|
| 3042.36 | 14.97% | 1.37%     | 0.00%      |

## Means

| Factor | N | Mean | StDev | 95% CI        |
|--------|---|------|-------|---------------|
| 352012 | 6 | 4499 | 2138  | (1941, 7057)  |
| 324915 | 6 | 3197 | 4779  | (639, 5755)   |
| 324913 | 6 | 3060 | 4243  | (502, 5618)   |
| 341980 | 6 | 1446 | 462   | (-1113, 4004) |
| 798688 | 6 | 1432 | 806   | (-1126, 3990) |

Pooled StDev = 3042.36

## Interval Plot of 352012, 324915, ...

## Residual Histogram for 352012, 324915, ...

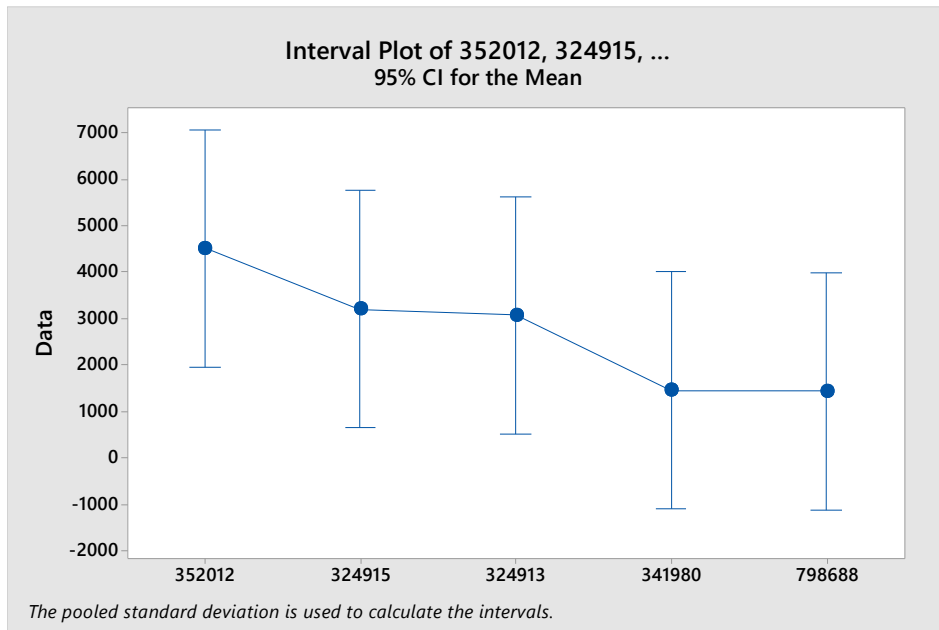
### Anova: Single Factor

#### SUMMARY

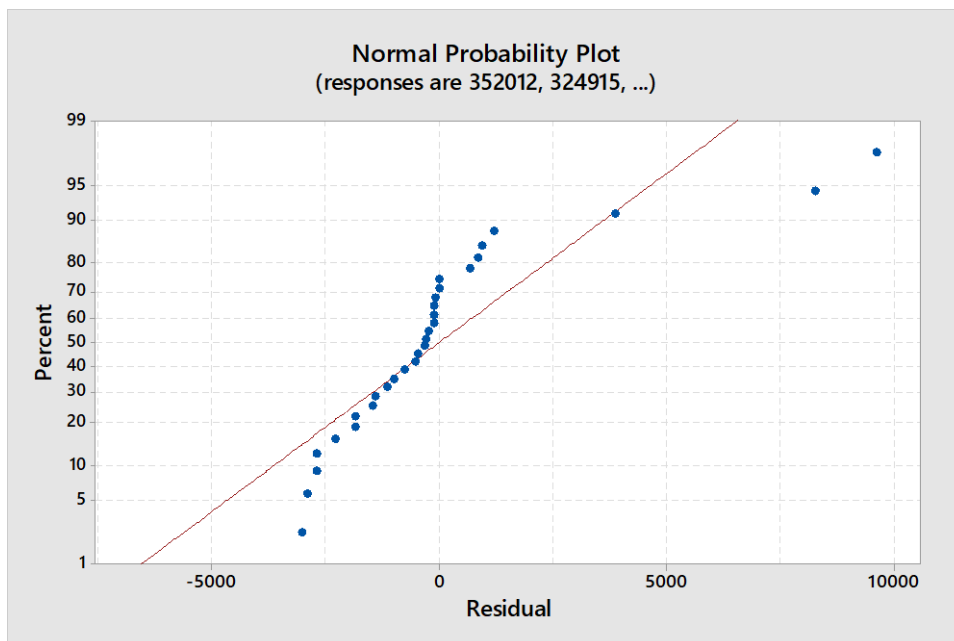
| Groups | Count | Sum    | Average   | Variance       |
|--------|-------|--------|-----------|----------------|
| 352012 | 6     | 26,995 | 4,499.167 | 4,572,878.567  |
| 324915 | 6     | 19,180 | 3,196.667 | 22,843,253.867 |
| 324913 | 6     | 18,361 | 3,060.167 | 18,000,936.167 |
| 341980 | 6     | 8,673  | 1,445.500 | 213,139.100    |
| 798688 | 6     | 8,591  | 1,431.833 | 649,661.367    |

### ANOVA

| Source of Variation | SS             | df | MS            | F           | P-value     | F crit     |
|---------------------|----------------|----|---------------|-------------|-------------|------------|
| Between Groups      | 40,751,159.33  | 4  | 10,187,789.83 | 1.100671851 | 0.378054436 | 2.75871047 |
| Within Groups       | 231,399,345.33 | 25 | 9,255,973.81  |             |             |            |
| Total               | 272,150,504.67 | 29 |               |             |             |            |



Πέρα από τις πληροφορίες για το Μοντέλο της ANOVA, το Minitab εμφανίζει ορισμένα γραφήματα, που μας βοηθούν να αντιληφθούμε καλύτερα τα αποτελέσματα. Ένα «οπτικό» κριτήριο για το αν διαφέρουν ή όχι οι παρατηρήσεις σε κάθε στάθμη είναι και αυτό της αλληλοκαλύψεως όλων των ΔΕ των Υπολοίπων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, βλέπουμε ότι όλα τα ΔΕ τέμνονται (αλληλοκαλύπτονται) μεταξύ τους, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις ομάδες.



Συνήθως το Minitab, πέρα από το διάγραμμα για τα ΔΕ, δίνει και ένα Ιστόγραμμα για τα Υπόλοιπα (Residuals), το οποίο δείχνει την κατανομή των υπολοίπων για όλες τις παρατηρήσεις. Όταν όμως το πλήθος των παρατηρήσεων είναι μικρό (όπως συμβαίνει εδώ), είναι προτιμότερο να επιλέξουμε να μας εμφανίσει ένα "Normal Probability Plot". Όπως φαίνεται παραπάνω, υπάρχουν ορισμένα σημεία τα οποία ξεφεύγουν από την ευθεία, το οποίο συνεπάγεται κατανομή με ακραίες τιμές.



Κινούμενη σε παρόμοια πλαίσια, από τα στοιχεία του “SM by Top10Prod” για τα έξι καταστήματα με τις περισσότερες επιστροφές, εξέτασα τα δέκα πρώτα προϊόντα. Πρακτικά, αυτό που ήθελα να εξάγω είναι αν τα καταστήματα αυτά έχουν κάποια συσχέτιση μεταξύ τους ως προς τις ποσότητες επιστροφών ανά προϊόν. Το συγκεκριμένο σενάριο το έτρεξα και στο Minitab και στο Excel, με τα αποτελέσματα να φαίνονται στη συνέχεια.

| 14     | 11    | 17    | 16    | 1     | 18    |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3,024  | 8,369 | 3,360 | 4,178 | 5,424 | 2,640 |
| 12,816 | 504   | 1,800 | 2,428 | 288   | 1,344 |
| 11,328 | 361   | 2,928 | 2,928 | 768   | 48    |
| 40     | 3,596 | 46    | 0     | 0     | 990   |
| 2,308  | 1,447 | 1,440 | 962   | 1,164 | 1,352 |
| 435    | 2,635 | 2,109 | 1,306 | 902   | 1,204 |
| 0      | 5     | 962   | 0     | 168   | 448   |
| 17     | 583   | 780   | 290   | 1,926 | 962   |
| 384    | 0     | 1,560 | 0     | 1,372 | 0     |
| 3      | 990   | 0     | 750   | 344   | 1,122 |

Αρχικά, από τα αποτελέσματα που έδωσε το Minitab, μπορούμε να δούμε και πάλι, τη Μέθοδο, τις πληροφορίες για τον Παράγοντα (στην περίπτωση μας για τα SMID ότι έχουν 6 επίπεδα, και συγκεκριμένα τα 14,11,17,16,1,18), την Ανάλυση Διασποράς και την Περίληψη του Μοντέλου.

Από την Ανάλυση Διασποράς, έχουμε ότι η  $p - value = 0.504 > 0.05$  (επίπεδο σημαντικότητας), συνεπώς δεν μπορούμε να απορρίψουμε την αρχική υπόθεση. Επομένως, ο παράγοντας SMID δεν είναι στατιστικά σημαντικός για τις επιστροφές.

Στην Περίληψη του Μοντέλου, βλέπουμε και πάλι μικρές τιμές όλων των R-sq, όμως επειδή είναι  $F - value = 0.88 < F_{crit} = F(5, 54) = 2.39$ , δεν απορρίπτουμε την αρχική υπόθεση.

| Anova: Single Factor |       |        |          |               |
|----------------------|-------|--------|----------|---------------|
| SUMMARY              |       |        |          |               |
| Groups               | Count | Sum    | Average  | Variance      |
| 14                   | 10    | 30,355 | 3,035.50 | 23,915,650.72 |
| 11                   | 10    | 18,490 | 1,849.00 | 6,613,861.33  |
| 17                   | 10    | 14,985 | 1,498.50 | 1,237,644.72  |
| 16                   | 10    | 12,842 | 1,284.20 | 2,078,892.84  |
| 1                    | 10    | 12,356 | 1,235.60 | 2,525,821.16  |
| 18                   | 10    | 10,110 | 1,011.00 | 577,742.44    |

| ANOVA               |                |    |              |             |             |             |
|---------------------|----------------|----|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Source of Variation | SS             | df | MS           | F           | P-value     | F crit      |
| Between Groups      | 26,959,897.60  | 5  | 5,391,979.52 | 0.875567409 | 0.503721175 | 2.386069862 |
| Within Groups       | 332,546,519.00 | 54 | 6,158,268.87 |             |             |             |
| Total               | 359,506,416.60 | 59 |              |             |             |             |

## One-way ANOVA: 14, 11, 17, 16, 1, 18

### Method

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Null hypothesis        | All means are equal     |
| Alternative hypothesis | Not all means are equal |
| Significance level     | $\alpha = 0.05$         |

*Equal variances were assumed for the analysis.*

### Factor Information

| Factor | Levels | Values                |
|--------|--------|-----------------------|
| Factor | 6      | 14, 11, 17, 16, 1, 18 |

### Analysis of Variance

| Source | DF | Adj SS    | Adj MS  | F-Value | P-Value |
|--------|----|-----------|---------|---------|---------|
| Factor | 5  | 26959898  | 5391980 | 0.88    | 0.504   |
| Error  | 54 | 332546519 | 6158269 |         |         |
| Total  | 59 | 359506417 |         |         |         |

### Model Summary

| S       | R-sq  | R-sq(adj) | R-sq(pred) |
|---------|-------|-----------|------------|
| 2481.59 | 7.50% | 0.00%     | 0.00%      |

### Means

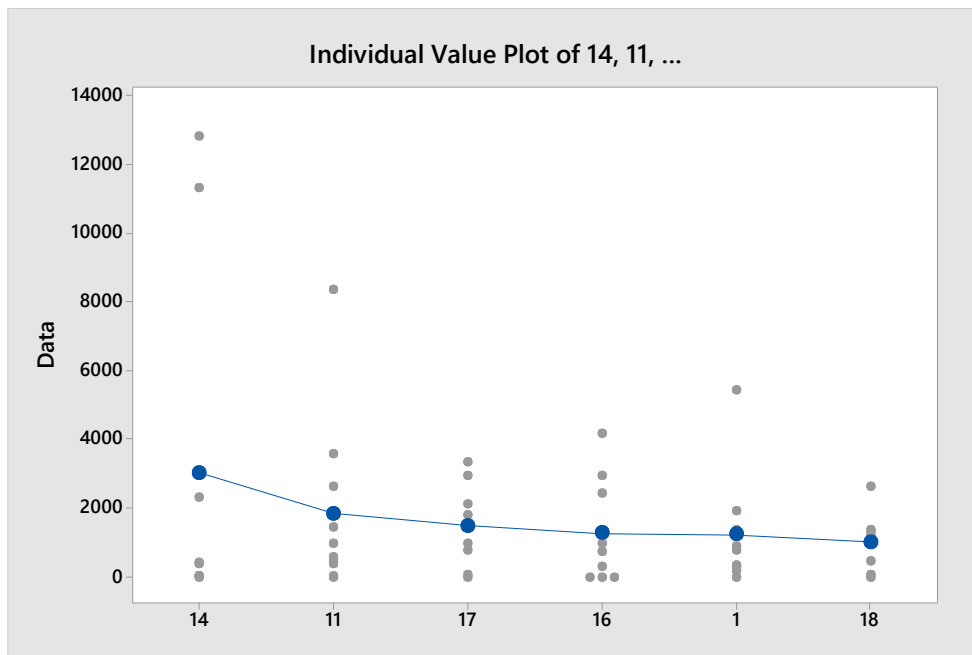
| Factor | N  | Mean | StDev | 95% CI       |
|--------|----|------|-------|--------------|
| 14     | 10 | 3036 | 4890  | (1462, 4609) |
| 11     | 10 | 1849 | 2572  | (276, 3422)  |
| 17     | 10 | 1499 | 1112  | (-75, 3072)  |
| 16     | 10 | 1284 | 1442  | (-289, 2858) |
| 1      | 10 | 1236 | 1589  | (-338, 2809) |
| 18     | 10 | 1011 | 760   | (-562, 2584) |

*Pooled StDev = 2481.59*

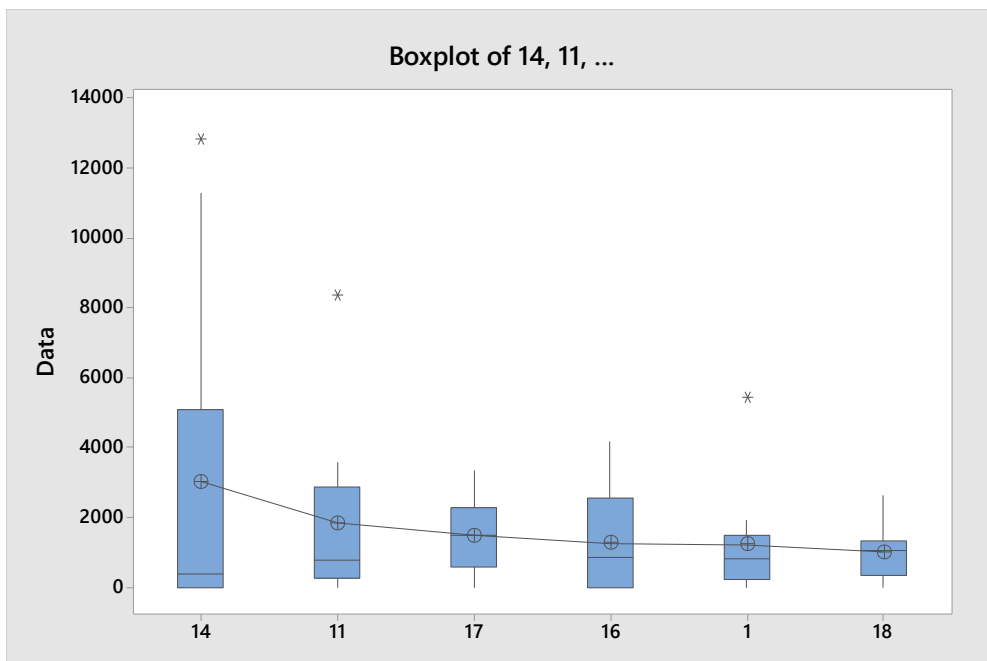
[Individual Value Plot of 14, 11, ...](#)

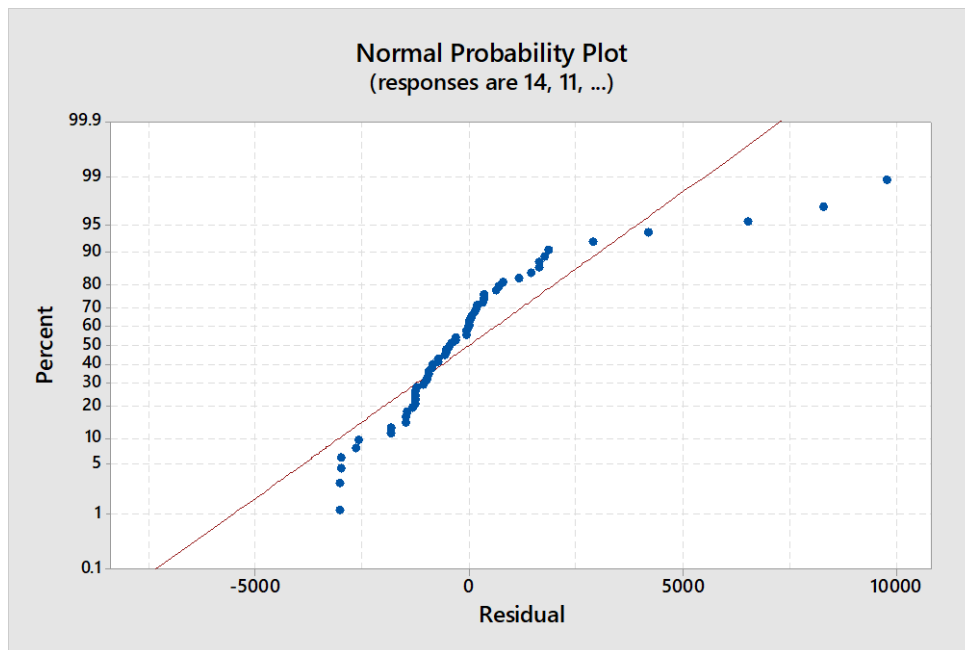
[Boxplot of 14, 11, ...](#)

[Normplot of Residuals for 14, 11, ...](#)



Και στα δύο διαγράμματα που φαίνονται εδώ (Individual Value Plot, Boxplot), παρουσιάζονται οι τιμές όλων των παρατηρήσεων (ποσότητες επιστροφών) ανά παράγοντα (κατάστημα). Εντοπίζονται εύκολα οι ακραίες τιμές (ιδιαίτερα στα SM14, 11, 1). Μια ακόμα επισημάνση μπορεί να γίνει για το ύψος των μέσων τιμών (κάτι που πρόβλεψε και η ANOVA), που κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα για όλους τους παράγοντες (εκτός του SM14 που είναι αρκετά υψηλότερα).





Ακριβώς όπως και πριν, έτσι κι εδώ, υπάρχουν κάποια σημεία τα οποία είναι απομακρυσμένα από την ευθεία, που υποδεικνύει μια κατανομή (υπολοίπων) με ακραίες τιμές.

### 5.2.5 Kruskal–Wallis Test

Ο έλεγχος Kruskal–Wallis (που πήρε το όνομά του από τους William Kruskal και W. Allen Wallis) είναι μία μη παραμετρική μέθοδος Ανάλυσης Διασποράς με έναν παράγοντα, που χρησιμοποιείται για την σύγκριση τριών ή περισσότερων ανεξάρτητων δειγμάτων – ίσων ή διαφορετικών μεγεθών – της ίδιας μεταβλητής, στην περίπτωση που οι τιμές της μεταβλητής δεν ακολουθούν την Κανονική Κατανομή. Κατά βάση μπορεί να θεωρηθεί ως μια επέκταση των κριτηρίων Wilcoxon και Mann–Whitney, για περισσότερα από 2 ανεξάρτητα δείγματα. Το παραμετρικό ισοδύναμο της δοκιμής Kruskal–Wallis είναι η Ανάλυση της Διασποράς (ANOVA) κατά έναν παράγοντα.

Πρόκειται για μια σημαντική μέθοδο και υποδεικνύει αν τουλάχιστον ένα δείγμα κυριαρχεί στοχαστικά σε ένα άλλο δείγμα. Ο έλεγχος δεν εντοπίζει πού προκύπτει αυτή η στοχαστική κυριαρχία ή πόσα ζευγάρια ομαδοποιούνται στην στοχαστική κυριαρχία. Για την ανάλυση των συγκεκριμένων ζευγών δειγμάτων για στοχαστική κυριαρχία θα πρέπει να γίνουν επιπλέον δοκιμές, (πχ. Dunn, Mann–Whitney, Bonferroni ή η πιο ισχυρή αλλά λιγότερο γνωστή μέθοδος Conover – Iman).

Δεδομένου ότι πρόκειται για μια μη παραμετρική μέθοδο, ο έλεγχος Kruskal–Wallis δεν υποθέτει Κανονική Κατανομή των υπολοίπων, σε αντίθεση με την ανάλογη Ανάλυση της Διασποράς. Εάν ο ερευνητής μπορεί να κάνει τις λιγότερο αυστηρές υποθέσεις μιας ίδιας διαμόρφωσης και κλίμακας διανομής για όλες τις ομάδες (δείγματα), εκτός από οποιαδήποτε διαφορά σε διάμεσο, τότε η μηδενική υπόθεση είναι ότι οι διάμεσοι όλων των ομάδων είναι ίσες και η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι τουλάχιστον μία διάμεσος ενός πληθυσμού μιας ομάδας είναι διαφορετική από τη διάμεσο πληθυσμού τουλάχιστον μιας άλλης ομάδας.

Έστω λοιπόν ότι διαθέτουμε  $k$  ανεξάρτητα δείγματα,  $X_j = (X_{j1}, \dots, X_{jn_j})^T, j = 1, \dots, k$ , προερχόμενα από πληθυσμούς με συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας  $F_j$ , αντίστοιχα. Θέλουμε να ελέγξουμε τη μηδενική υπόθεση  $H_0: F_1 = F_2 = \dots = F_k$  με εναλλακτική ότι τουλάχιστον μία από τις ισότητες δεν ισχύει.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Ενοποιούμε τα  $k$  δείγματα σε ένα και διατάσσουμε τις παρατηρήσεις. Έστω ότι οι παρατηρήσεις μεταξύ τους είναι διαφορετικές και δεν υπάρχουν δεσμοί (ties). Καλούμε  $R_j$  το άθροισμα των βαθμών των παρατηρήσεων που προέρχονται από το  $j$  δείγμα και υπολογίζουμε το στατιστικό:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)$$

όπου  $n_j$  το μέγεθος  $j$  δείγματος και  $n$  ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων.

Για μεγάλα δείγματα, το στατιστικό  $H$ , κάτω από τη μηδενική υπόθεση, ακολουθεί προσεγγιστικά την  $X_{k-1,\alpha}^2$ , οπότε σε ε.σ.  $\alpha$  απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση αν  $H > X_{k-1,\alpha}^2$ . Για  $k = 3$  και μεγέθη δειγμάτων μικρότερα ή ίσα του 5, η παραπάνω προσέγγιση δεν είναι ικανοποιητική. Κρίσιμες τιμές του παραπάνω στατιστικού στην περίπτωση αυτή δίνονται από τον αντίστοιχο στατιστικό πίνακα.

Σε περίπτωση που υπάρχουν δεσμοί, τότε το στατιστικό  $H$  πρέπει να τροποποιηθεί ως ακολούθως:

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)}{C}, \text{ με } C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^G (t_i^3 - t_i)^3}{N^3 - N}$$

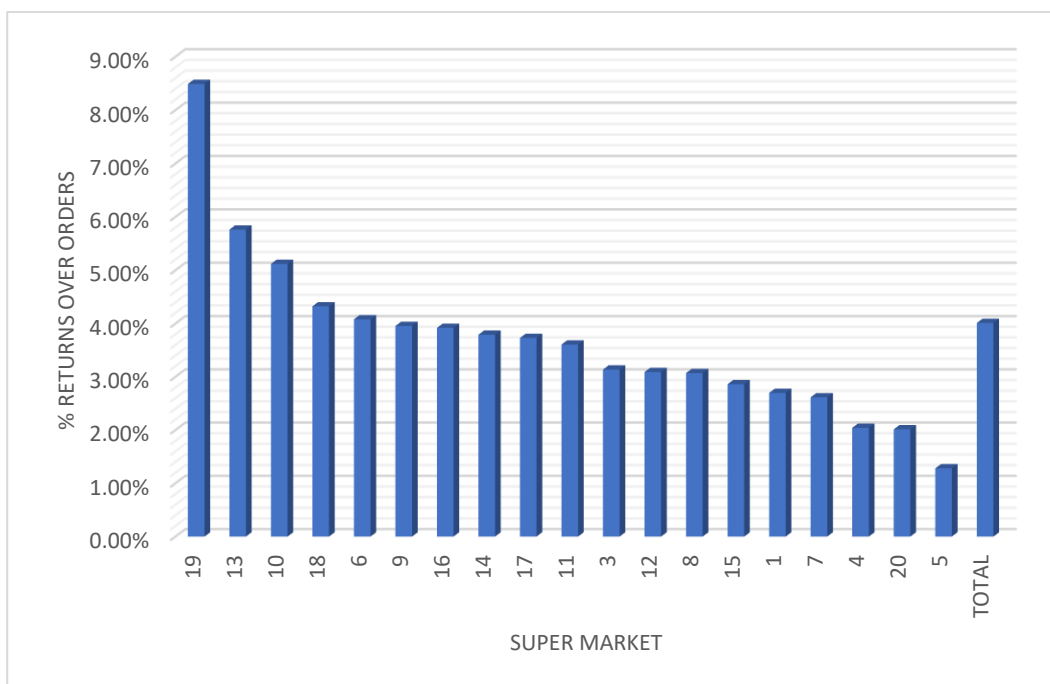
όπου έχουμε υποθέσει ότι έχουμε  $m$  διαφορετικές τιμές που η καθεμιά επαναλαμβάνεται  $t_i$  φορές,  $i = 1, \dots, n$ .

Τελικά, η  $p$  - value προσδιορίζεται από  $Pr(X_{k-1}^2 \geq H)$ . Αν κάποια  $n_i$  είναι μικρά (πχ. κάτω από 5), η κατανομή πιθανότητας του  $H$  μπορεί να διαφέρει από την  $X^2$ . Αν ο πίνακας της  $X^2$  είναι διαθέσιμος, η κρίσιμη τιμή του  $X^2$ ,  $X_{k-1,\alpha}^2$ , μπορεί να βρεθεί από τον πίνακα για  $k-1$  βαθμούς ελευθερίας, κάτω από το επιθυμητό επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$ .

Αν ο στατιστικός έλεγχος δεν είναι σημαντικός, τότε δεν υπάρχουν ενδείξεις για στοχαστική κυριαρχία μεταξύ των δειγμάτων. Ωστόσο, εάν η δοκιμή είναι σημαντική, τότε τουλάχιστον ένα δείγμα κυριαρχεί στοχαστικά σε άλλο δείγμα.

### 5.2.6 Minitab & Excel - Kruskal-Wallis Test

Η μέθοδος Kruskal-Wallis είναι η καταλληλότερη μέθοδος για την ανάλυση των δεδομένων μου, καθώς η ANOVA δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, λόγω του μικρού αριθμού δείγματος και του ότι οι παρατηρήσεις δεν ακολουθούσαν Κανονική Κατανομή. Έτσι, αφού έγινε μια προεργασία στο Power BI, αλλά και στο Excel (με Pivot Tables για τις παραγγελίες και τις επιστροφές), εισήγαγα στο Minitab τα ποσοστά των επιστροφών επί των παραγγελιών για όλα τα προϊόντα και για τα 19 καταστήματα (ήταν διαφορετικού μεγέθους, όπως φαίνεται και στον πίνακα του Minitab).



| SMID         | Sum of OrderQTY  | Sum of RetQTY  | Ret%Ord       | Count Prod |
|--------------|------------------|----------------|---------------|------------|
| 19           | 99,794           | 8,472          | 0.0849        | 815        |
| 13           | 313,594          | 18,067         | 0.0576        | 2,740      |
| 10           | 136,941          | 7,010          | 0.0512        | 1,019      |
| 18           | 970,249          | 41,948         | 0.0432        | 5,911      |
| 6            | 886,478          | 36,155         | 0.0408        | 6,532      |
| 9            | 849,045          | 33,577         | 0.0395        | 6,771      |
| 16           | 1,235,486        | 48,426         | 0.0392        | 5,821      |
| 14           | 1,667,216        | 63,189         | 0.0379        | 8,054      |
| 17           | 1,217,252        | 45,412         | 0.0373        | 6,030      |
| 11           | 1,554,176        | 56,030         | 0.0361        | 6,708      |
| 3            | 1,204,747        | 37,793         | 0.0314        | 7,622      |
| 12           | 387,747          | 11,982         | 0.0309        | 4,819      |
| 8            | 1,357,197        | 41,659         | 0.0307        | 6,751      |
| 15           | 1,190,696        | 34,079         | 0.0286        | 5,749      |
| 1            | 1,577,907        | 42,567         | 0.0270        | 7,213      |
| 7            | 462,902          | 12,105         | 0.0262        | 4,731      |
| 4            | 226,109          | 4,617          | 0.0204        | 2,959      |
| 20           | 61,805           | 1,245          | 0.0201        | 492        |
| 5            | 943,640          | 12,097         | 0.0128        | 6,048      |
| <b>TOTAL</b> | <b>8,930,231</b> | <b>358,286</b> | <b>0.0401</b> |            |

| 19     | 9      | 17     | 6      | 10     | 8      | 15     | 18     | 14     | 16     | 11     | 7      | 20     | 12     | 3      | 13     | 1      | 4      | 5      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.9675 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9600 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7500 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 0.8750 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8333 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 0.8333 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8125 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3750 | 1.0000 | 1.0000 | 0.5926 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9067 |
| 0.6667 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3750 | 1.0000 | 1.0000 | 0.4912 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8333 |
| 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7500 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3750 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8333 |
| 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7143 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.2444 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3636 | 1.0000 | 0.9333 | 0.8276 |
| 0.4500 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.6875 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.2333 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3571 | 1.0000 | 0.8889 | 0.8133 |
| 0.4375 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.6750 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9275 | 0.1250 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3500 | 1.0000 | 0.8750 | 0.7500 |
| 0.4103 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.6250 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9167 | 0.1111 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3333 | 1.0000 | 0.8333 | 0.6923 |
| 0.4000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.5957 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8824 | 0.0833 | 1.0000 | 1.0000 | 0.3125 | 1.0000 | 0.8333 | 0.6689 |
| 0.4000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.5833 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8400 | 0.0826 | 0.9333 | 1.0000 | 0.2083 | 1.0000 | 0.8269 | 0.6400 |
| 0.3800 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.5714 | 0.9444 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7778 | 0.0385 | 0.9250 | 1.0000 | 0.1922 | 1.0000 | 0.7083 | 0.5500 |
| 0.3426 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.5714 | 0.9444 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7742 | 0.0357 | 0.9167 | 1.0000 | 0.1852 | 1.0000 | 0.6667 | 0.5333 |
| 0.3333 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.5417 | 0.9429 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7500 | 0.0250 | 0.9000 | 1.0000 | 0.1667 | 1.0000 | 0.6667 | 0.5313 |
| ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    | ...    |

Με μια γρήγορη ματιά, εξαιρώντας τα ποσοστά που ξεπερνούσαν το 100% (δηλαδή τις περιπτώσεις που οι επιστροφές υπερέβαιναν τις παραγγελίες, που μπορεί να οφείλεται σε περίσσειμα αποθέματος από άλλη χρονιά), παρατήρησα ότι οι Παραγγελίες ήταν 16,342,981 τεμάχια, ενώ οι Επιστροφές (που αντιστοιχούσαν στις παραγγελίες αυτές και δεν τις υπερέβαιναν – γενικά ήταν 1,569,020 τεμάχια και αντιστοιχούν στο 9.49% των παραγγελιών σαν σύνολο) ήταν 556,430 τεμάχια. Επομένως, το συνολικό ποσοστό των επιστροφών επί των παραγγελιών είναι 3.40%.

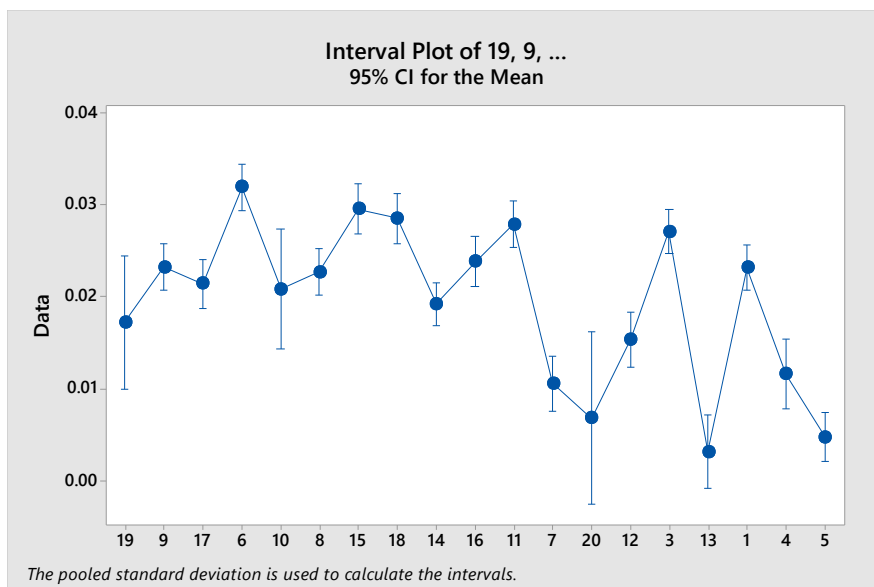
## Kruskal-Wallis Test: Ret%Ord versus SM

### Descriptive Statistics

| SM      | N     | Median | Mean Rank | Z-Value |
|---------|-------|--------|-----------|---------|
| 1       | 7213  | 0      | 49211.2   | 2.59    |
| 3       | 7622  | 0      | 49627.5   | 4.02    |
| 4       | 2959  | 0      | 46402.0   | -3.94   |
| 5       | 6048  | 0      | 45883.1   | -7.22   |
| 6       | 6532  | 0      | 48721.3   | 0.98    |
| 7       | 4731  | 0      | 46349.3   | -5.16   |
| 8       | 6751  | 0      | 49316.3   | 2.82    |
| 9       | 6771  | 0      | 47992.3   | -1.22   |
| 10      | 1019  | 0      | 47681.1   | -0.82   |
| 11      | 6708  | 0      | 50141.6   | 5.31    |
| 12      | 4819  | 0      | 47164.7   | -3.13   |
| 13      | 2740  | 0      | 45692.3   | -5.13   |
| 14      | 8054  | 0      | 48609.6   | 0.73    |
| 15      | 5749  | 0      | 49019.0   | 1.75    |
| 16      | 5821  | 0      | 48940.5   | 1.54    |
| 17      | 6030  | 0      | 47693.5   | -2.01   |
| 18      | 5911  | 0      | 50024.7   | 4.63    |
| 19      | 815   | 0      | 47724.3   | -0.69   |
| 20      | 492   | 0      | 45682.6   | -2.16   |
| Overall | 96785 |        | 48393.0   |         |

### Test

|                        |  |
|------------------------|--|
| Null hypothesis        | $H_0$ : All medians are equal            |
| Alternative hypothesis | $H_1$ : At least one median is different |
| Method                 | DF H-Value P-Value                       |
| Not adjusted for ties  | 18 216.37 0.000                          |
| Adjusted for ties      | 18 873.19 0.000                          |



Από τα αποτελέσματα που έδωσε το Minitab για το μη-παραμετρικό Kruskal Wallis Test (με Response: Ret%Ord – το ποσοστό των επιστροφών επί των παραγγελιών – και Factor: SM – τα καταστήματα), καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα καταστήματα είναι **στατιστικά σημαντικός** παράγοντας όσον αφορά στο ποσοστό των επιστροφών επί των παραγγελιών.

Αυτό προκύπτει από το ότι η  $p - value < \alpha = 0.05$  (επίπεδο σημαντικότητας) και η  $H - value > X_{18,0.05}^2 = 9.39$ , που μας υποδηλώνει ότι θα πρέπει να **απορρίψουμε** την αρχική υπόθεση ότι όλες οι διάμεσοι είναι ίσες, άρα υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ομάδων του τεστ, επομένως τουλάχιστον δύο από τα 19 δείγματα προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς.

Ακόμα, από το διάγραμμα για τα ΔΕ των μέσων, παρατηρούμε ότι υπάρχουν εμφανείς διαφορές στους μέσους κάθε δείγματος, κάτι που επαληθεύει την απόρριψη της αρχικής υπόθεσης.

### 5.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά από μια ενδελεχή ανάλυση των στοιχείων που μου δόθηκαν προς επεξεργασία, έχουν αποσαφηνιστεί σε μεγάλο βαθμό πολλά πεδία εξερεύνησης και βελτίωσης, με κατεύθυνση την εύρωστη λειτουργία της εταιρίας.

Αρχικά, εστιάζοντας πρώτα στα καταστήματα, εντοπίστηκαν αυτά από τα οποία προήλθαν στο σύνολό τους οι μεγαλύτερες επιστροφές (SM11, 8, 16). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασαν πέντε καταστήματα – και με αυτά ασχολήθηκα περαιτέρω – τα SM11, 8, 16, 17, 14, των οποίων οι επιστροφές στα “top” πέντε προϊόντα τους (διαφορετικά για το καθένα) αποτελούν το 25.77% των συνολικών επιστροφών όλων των καταστημάτων προς το Κέντρο Διανομής Οινοφύτων (όπως έχουν προηγουμένως καταγραφεί στην §5.2.2, αλλά και σχηματικά σε διαγράμματα που έγιναν στο Excel, στο Παράρτημα Γ’).

Έπειτα, οργανώνοντας τα δεδομένα μου με τρόπο ώστε να βρω τα προϊόντα εκείνα με τις μεγαλύτερες ποσότητες επιστροφών, κατατάχθηκαν τα τριάντα με τις περισσότερες επιστροφές ανά κατάσταση, των οποίων οι ποσότητες επιστροφών αποτελούν το 51.04% των συνολικών επιστροφών της εταιρίας. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ναι μεν μπορεί η εταιρία να εστιάσει στην πολιτική παραγγελιών αυτών των προϊόντων από τα συγκεκριμένα καταστήματα, και να πετύχει σε πρώτη φάση πολύ χαμηλότερες επιστροφές, επομένως λιγότερα κόστη (αποθήκευσης, μεταφοράς), από την άλλη όμως, παίζουν ρόλο κι άλλοι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να υπεισέρθουν στην έρευνά μας, όπως η εποχικότητα, η εντοπιότητα, ο ανθρώπινος παράγοντας (είτε στην τοποθέτηση των παραγγελιών είτε στην αγοραστική του δύναμη).

Σε δεύτερη φάση, στην προσπάθεια ερμηνείας των παραπάνω, έγιναν δύο αναλύσεις διασποράς (ANOVA), οι οποίες με βοήθησαν να δω ότι τελικά ούτε τα (συγκεκριμένα έξι) καταστήματα ούτε τα (πέντε) προϊόντα είναι στατιστικά σημαντικοί παράγοντες για τις επιστροφές. Να σημειωθεί όμως ότι το δείγμα που εισήγαγα, μετά από πολλά φιλτραρίσματα που εφάρμοσα, ήταν μικρό ( $n = 6$ ), οπότε εγκυμονεί ο κίνδυνος να μην είναι απολύτως αποδεκτό το αποτέλεσμα και να χρειάζεται περαιτέρω εξέταση, με άλλου είδους μη παραμετρικά test. Έτσι, πραγματοποιήθηκε ένα Kruskal-Wallis τεστ και αποδείχθηκε ότι τελικά τα καταστήματα είναι στατιστικά σημαντικοί παράγοντες για τις επιστροφές.

Γενικά, όλες οι σύγχρονες επιχειρήσεις ασχολούνται με το forecasting, είτε με ένα απλό excel είτε με πλατφόρμες BI. Τα προγράμματα αυτά, όσο περίπλοκα κι αν είναι, βασίζονται στα μοντέλα που αναλύσαμε και διαρκώς εξελίσσονται.

Κλείνοντας, θα ήθελα να σημειώσω ότι για το συγκεκριμένο πολυπαραμετρικό πρόβλημα που μου δόθηκε από τη METRO, έγινε μια ουσιαστική προσέγγιση στο κομμάτι των επιστροφών, που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε τέτοιου είδους πρόβλημα. Λόγω της πολυπλοκότητας και του τεράστιου όγκου δεδομένων, προφανώς μπορούν να βρεθούν κι άλλες λύσεις. Επίσης, λόγω ασφάλειας δεδομένων, δεν είχα πρόσβαση σε στοιχεία κόστους, με τα οποία θα μπορούσα να βρω EOQ. Παρ’όλ’αυτά, τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν από την εταιρία για να βελτιστοποιήσει τη σχέση παραγγελιών-επιστροφών.



---

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

---

Η ορθολογική διαχείριση των αποθεμάτων μιας επιχείρησης συμβάλλει στην ομαλή λειτουργία της, εξασφαλίζοντας την έγκαιρη παράδοση των προϊόντων, με αποτέλεσμα την ικανοποίηση των πελατών της. Όσον αφορά σε αποθέματα που είναι πρώτες ύλες, αυτά μπορούν να πετύχουν τη συνεχή τροφοδοσία της παραγωγικής διαδικασίας.

Η ύπαρξη αποθεμάτων, όπως έχουμε αναλύσει, ενεργοποιεί δύο αντίθετες δυνάμεις, τις οποίες θα πρέπει με σωστό τρόπο να εξισορροπήσουμε. Από τη μία, θέλουμε τα διάφορα επιμέρους κόστη που προκύπτουν να μειωθούν, άρα χαμηλό επίπεδο αποθεμάτων, αλλά από την άλλη, θέλουμε πάντα να ικανοποιείται η ζήτηση, οπότε ανά πάσα στιγμή, ετοιμοπαράδοτα προϊόντα.

Με τη βοήθεια της Θεωρίας του Ελέγχου Αποθεμάτων, η επιχείρηση μπορεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά ζητήματα που αφορούν τη σωστή διαχείριση των αποθεμάτων της, όπως είναι το απόθεμα ασφαλείας, το μέγιστο επίπεδο αποθέματος που δικαιολογεί η ζήτηση, η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας και ο χρόνος τοποθέτησης αυτής.

Με τον Έλεγχο Αποθεμάτων, εξασφαλίζεται η επιλογή και η εφαρμογή της βέλτιστης πολιτικής, καθώς και η μέτρηση και ο έλεγχος των παραμέτρων εκείνων, με τις οποίες εξασφαλίζεται η λειτουργία των παραγωγικών σταδίων, η αύξηση του ρυθμού παραγωγής και η μείωση του κόστους παραγωγής.

Στις προηγούμενες παραγράφους, παρουσιάστηκαν τα πιο βασικά είδη μοντέλων ελέγχου αποθεμάτων. Τα περισσότερα απ' αυτά χρησιμοποιούνται με μεγάλη συχνότητα σε προβλήματα ρεαλιστικών συνθηκών και αποδεικνύονται ιδιαίτερος χρήσιμα. Τα μοντέλα που παρουσιάσαμε αποτελούν συνολικά μια εξαιρετική εισαγωγή στη Θεωρία Ελέγχου Αποθεμάτων και ήταν σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετά πολύπλοκα στην κατανόηση και την εφαρμογή, καθώς απαιτούν γνώσεις ανώτερων Μαθηματικών και στοχαστικών διαδικασιών.

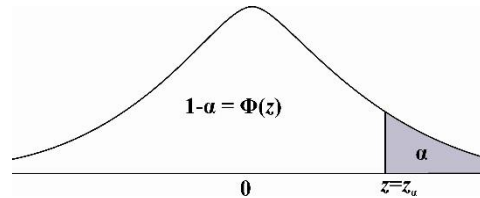
Για την αντιμετώπιση των επιπρόσθετων ρεαλιστικών καθημερινών αναγκών και απαιτήσεων που δημιουργούνται στις σύγχρονες επιχειρήσεις λόγω της πολυπλοκότητάς τους, έχουμε και την αντίστοιχη ανάπτυξη του επιστημονικού υποβάθρου, που χρησιμοποιείται για την περιγραφή και τη μηχανοργάνωση των δεδομένων των επιχειρήσεων, με απώτερο στόχο τη δημιουργία ολοένα και πιο εξειδικευμένων μοντέλων που θα ανταποκρίνονται επακριβώς στο εκάστοτε πρόβλημα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ

#### ΠΙΝΑΚΑΣ Α1

Τιμές των πιθανοτήτων  $\Phi(z) = P(Z \leq z) = P(Z < z)$  της Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής  $N(0,1)$  για  $z \geq 0$ . Για  $z < 0$  ισχύει  $\Phi(z) = 1 - \Phi(-z)$ .

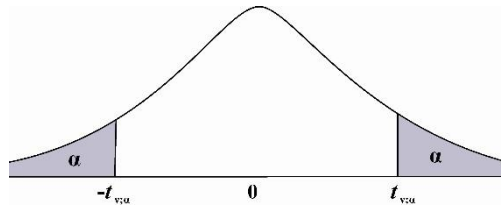


| <b>z</b>   | <b>0.00</b> | <b>0.01</b> | <b>0.02</b> | <b>0.03</b> | <b>0.04</b> | <b>0.05</b> | <b>0.06</b> | <b>0.07</b> | <b>0.08</b> | <b>0.09</b> |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>0.0</b> | 0.50000     | 0.50399     | 0.50798     | 0.51197     | 0.51595     | 0.51994     | 0.52392     | 0.52790     | 0.53188     | 0.53586     |
| <b>0.1</b> | 0.53983     | 0.54380     | 0.54776     | 0.55172     | 0.55567     | 0.55962     | 0.56356     | 0.56749     | 0.57142     | 0.57535     |
| <b>0.2</b> | 0.57926     | 0.58317     | 0.58706     | 0.59095     | 0.59483     | 0.59871     | 0.60257     | 0.60642     | 0.61026     | 0.61409     |
| <b>0.3</b> | 0.61791     | 0.62172     | 0.62552     | 0.62930     | 0.63307     | 0.63683     | 0.64058     | 0.64431     | 0.64803     | 0.65173     |
| <b>0.4</b> | 0.65542     | 0.65910     | 0.66276     | 0.66640     | 0.67003     | 0.67364     | 0.67724     | 0.68082     | 0.68439     | 0.68793     |
| <b>0.5</b> | 0.69146     | 0.69497     | 0.69847     | 0.70194     | 0.70540     | 0.70884     | 0.71226     | 0.71566     | 0.71904     | 0.72240     |
| <b>0.6</b> | 0.72575     | 0.72907     | 0.73237     | 0.73565     | 0.73891     | 0.74215     | 0.74537     | 0.74857     | 0.75175     | 0.75490     |
| <b>0.7</b> | 0.75804     | 0.76115     | 0.76424     | 0.76730     | 0.77035     | 0.77337     | 0.77637     | 0.77935     | 0.78230     | 0.78524     |
| <b>0.8</b> | 0.78814     | 0.79103     | 0.79389     | 0.79673     | 0.79955     | 0.80234     | 0.80511     | 0.80785     | 0.81057     | 0.81327     |
| <b>0.9</b> | 0.81594     | 0.81859     | 0.82121     | 0.82381     | 0.82639     | 0.82894     | 0.83147     | 0.83398     | 0.83646     | 0.83891     |
| <b>1.0</b> | 0.84134     | 0.84375     | 0.84614     | 0.84850     | 0.85083     | 0.85314     | 0.85543     | 0.85769     | 0.85993     | 0.86214     |
| <b>1.1</b> | 0.86433     | 0.86650     | 0.86864     | 0.87076     | 0.87286     | 0.87493     | 0.87698     | 0.87900     | 0.88100     | 0.88298     |
| <b>1.2</b> | 0.88493     | 0.88686     | 0.88877     | 0.89065     | 0.89251     | 0.89435     | 0.89617     | 0.89796     | 0.89973     | 0.90147     |
| <b>1.3</b> | 0.90320     | 0.90490     | 0.90658     | 0.90824     | 0.90988     | 0.91149     | 0.91309     | 0.91466     | 0.91621     | 0.91774     |
| <b>1.4</b> | 0.91924     | 0.92073     | 0.92220     | 0.92364     | 0.92507     | 0.92647     | 0.92786     | 0.92922     | 0.93056     | 0.93189     |
| <b>1.5</b> | 0.93319     | 0.93448     | 0.93574     | 0.93699     | 0.93822     | 0.93943     | 0.94062     | 0.94179     | 0.94295     | 0.94408     |
| <b>1.6</b> | 0.94520     | 0.94630     | 0.94738     | 0.94845     | 0.94950     | 0.95053     | 0.95154     | 0.95254     | 0.95352     | 0.95449     |
| <b>1.7</b> | 0.95543     | 0.95637     | 0.95728     | 0.95818     | 0.95907     | 0.95994     | 0.96080     | 0.96164     | 0.96246     | 0.96327     |
| <b>1.8</b> | 0.96407     | 0.96485     | 0.96562     | 0.96638     | 0.96712     | 0.96784     | 0.96856     | 0.96926     | 0.96995     | 0.97062     |
| <b>1.9</b> | 0.97128     | 0.97193     | 0.97257     | 0.97320     | 0.97381     | 0.97441     | 0.97500     | 0.97558     | 0.97615     | 0.97670     |
| <b>2.0</b> | 0.97725     | 0.97778     | 0.97831     | 0.97882     | 0.97932     | 0.97982     | 0.98030     | 0.98077     | 0.98124     | 0.98169     |
| <b>2.1</b> | 0.98214     | 0.98257     | 0.98300     | 0.98341     | 0.98382     | 0.98422     | 0.98461     | 0.98500     | 0.98537     | 0.98574     |
| <b>2.2</b> | 0.98610     | 0.98645     | 0.98679     | 0.98713     | 0.98745     | 0.98778     | 0.98809     | 0.98840     | 0.98870     | 0.98899     |
| <b>2.3</b> | 0.98928     | 0.98956     | 0.98983     | 0.99010     | 0.99036     | 0.99061     | 0.99086     | 0.99111     | 0.99134     | 0.99158     |
| <b>2.4</b> | 0.99180     | 0.99202     | 0.99224     | 0.99245     | 0.99266     | 0.99286     | 0.99305     | 0.99324     | 0.99343     | 0.99361     |
| <b>2.5</b> | 0.99379     | 0.99396     | 0.99413     | 0.99430     | 0.99446     | 0.99461     | 0.99477     | 0.99492     | 0.99506     | 0.99520     |
| <b>2.6</b> | 0.99534     | 0.99547     | 0.99560     | 0.99573     | 0.99585     | 0.99598     | 0.99609     | 0.99621     | 0.99632     | 0.99643     |
| <b>2.7</b> | 0.99653     | 0.99664     | 0.99674     | 0.99683     | 0.99693     | 0.99702     | 0.99711     | 0.99720     | 0.99728     | 0.99736     |
| <b>2.8</b> | 0.99744     | 0.99752     | 0.99760     | 0.99767     | 0.99774     | 0.99781     | 0.99788     | 0.99795     | 0.99801     | 0.99807     |
| <b>2.9</b> | 0.99813     | 0.99819     | 0.99825     | 0.99831     | 0.99836     | 0.99841     | 0.99846     | 0.99851     | 0.99856     | 0.99861     |
| <b>3.0</b> | 0.99865     | 0.99869     | 0.99874     | 0.99878     | 0.99882     | 0.99886     | 0.99889     | 0.99893     | 0.99897     | 0.99900     |

| <b>α</b>             | <b>0.0005</b> | <b>0.001</b> | <b>0.005</b> | <b>0.01</b>  | <b>0.025</b> | <b>0.05</b>  | <b>0.10</b>  |
|----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>z<sub>α</sub></b> | <b>3.29</b>   | <b>3.09</b>  | <b>2.576</b> | <b>2.326</b> | <b>1.960</b> | <b>1.645</b> | <b>1.282</b> |

## ΠΙΝΑΚΑΣ Α2

Τιμές  $t_{\nu; \alpha}$  της  $t_{\nu}$  - Κατανομής ώστε  $P(T_{\nu} > t_{\nu; \alpha}) = P(T_{\nu} \geq t_{\nu; \alpha}) = \alpha$

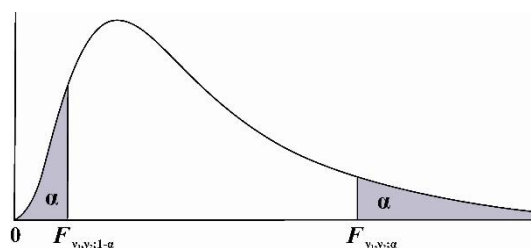


| $\nu$    | $\alpha = 0.10$ | $\alpha = 0.05$ | $\alpha = 0.025$ | $\alpha = 0.01$ | $\alpha = 0.005$ |
|----------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1        | 3.078           | 6.314           | 12.706           | 31.821          | 63.657           |
| 2        | 1.886           | 2.920           | 4.303            | 6.965           | 9.925            |
| 3        | 1.638           | 2.353           | 3.182            | 4.541           | 5.841            |
| 4        | 1.533           | 2.132           | 2.776            | 3.747           | 4.604            |
| 5        | 1.476           | 2.015           | 2.571            | 3.365           | 4.032            |
| 6        | 1.440           | 1.943           | 2.447            | 3.143           | 3.707            |
| 7        | 1.415           | 1.895           | 2.365            | 2.998           | 3.499            |
| 8        | 1.397           | 1.860           | 2.306            | 2.896           | 3.355            |
| 9        | 1.383           | 1.833           | 2.262            | 2.821           | 3.250            |
| 10       | 1.372           | 1.812           | 2.228            | 2.764           | 3.169            |
| 11       | 1.363           | 1.796           | 2.201            | 2.718           | 3.106            |
| 12       | 1.356           | 1.782           | 2.179            | 2.681           | 3.055            |
| 13       | 1.350           | 1.771           | 2.160            | 2.650           | 3.012            |
| 14       | 1.345           | 1.761           | 2.145            | 2.624           | 2.977            |
| 15       | 1.341           | 1.753           | 2.131            | 2.602           | 2.947            |
| 16       | 1.337           | 1.746           | 2.120            | 2.583           | 2.921            |
| 17       | 1.333           | 1.740           | 2.110            | 2.567           | 2.898            |
| 18       | 1.330           | 1.734           | 2.101            | 2.552           | 2.878            |
| 19       | 1.328           | 1.729           | 2.093            | 2.539           | 2.861            |
| 20       | 1.325           | 1.725           | 2.086            | 2.528           | 2.845            |
| 21       | 1.323           | 1.721           | 2.080            | 2.518           | 2.831            |
| 22       | 1.321           | 1.717           | 2.074            | 2.508           | 2.819            |
| 23       | 1.319           | 1.714           | 2.069            | 2.500           | 2.807            |
| 24       | 1.318           | 1.711           | 2.064            | 2.492           | 2.797            |
| 25       | 1.316           | 1.708           | 2.060            | 2.485           | 2.787            |
| 26       | 1.315           | 1.706           | 2.056            | 2.479           | 2.779            |
| 27       | 1.314           | 1.703           | 2.052            | 2.473           | 2.771            |
| 28       | 1.313           | 1.701           | 2.048            | 2.467           | 2.763            |
| 29       | 1.311           | 1.699           | 2.045            | 2.462           | 2.756            |
| $\infty$ | 1.282           | 1.645           | 1.960            | 2.326           | 2.576            |

### ΠΙΝΑΚΑΣ Α4

Τιμές  $F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}$  της  $F$  Κατανομής για τις οποίες  $P(X > F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}) = P(X \geq F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}) = \alpha$  ( $\alpha = 0.01$ )

Για τα  $\alpha$  - κάτω ποσοστιαία σημεία  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-\alpha}$  ισχύει η σχέση  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-\alpha} = 1/F_{\nu_2, \nu_1; \alpha}$

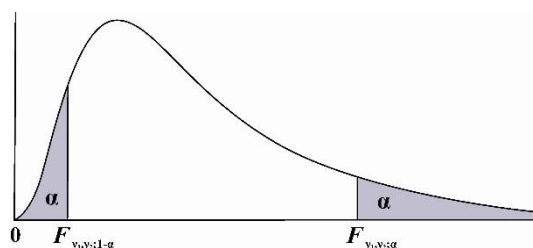


| $\nu_1 \backslash \nu_2$ | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|--------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                        | 4052  | 4999.5 | 5403  | 5625  | 5764  | 5859  | 5928  | 5982  | 6022  |
| 2                        | 98.50 | 99.00  | 99.17 | 99.25 | 99.30 | 99.33 | 99.36 | 99.37 | 99.39 |
| 3                        | 34.12 | 30.82  | 29.46 | 28.71 | 28.24 | 27.91 | 27.67 | 27.49 | 27.35 |
| 4                        | 21.20 | 18.00  | 16.69 | 15.98 | 15.52 | 15.21 | 14.98 | 14.80 | 14.66 |
| 5                        | 16.26 | 13.27  | 12.06 | 11.39 | 10.97 | 10.67 | 10.46 | 10.29 | 10.16 |
| 6                        | 13.75 | 10.92  | 9.78  | 9.15  | 8.75  | 8.47  | 8.26  | 8.10  | 7.98  |
| 7                        | 12.25 | 9.55   | 8.45  | 7.85  | 7.46  | 7.19  | 6.99  | 6.84  | 6.72  |
| 8                        | 11.26 | 8.65   | 7.59  | 7.01  | 6.63  | 6.37  | 6.18  | 6.03  | 5.91  |
| 9                        | 10.56 | 8.02   | 6.99  | 6.42  | 6.06  | 5.80  | 5.61  | 5.47  | 5.35  |
| 10                       | 10.04 | 7.56   | 6.55  | 5.99  | 5.64  | 5.39  | 5.20  | 5.06  | 4.94  |
| 11                       | 9.65  | 7.21   | 6.22  | 5.67  | 5.32  | 5.07  | 4.89  | 4.74  | 4.63  |
| 12                       | 9.33  | 6.93   | 5.95  | 5.41  | 5.06  | 4.82  | 4.64  | 4.50  | 4.39  |
| 13                       | 9.07  | 6.70   | 5.74  | 5.21  | 4.86  | 4.62  | 4.44  | 4.30  | 4.19  |
| 14                       | 8.86  | 6.51   | 5.56  | 5.04  | 4.69  | 4.46  | 4.28  | 4.14  | 4.03  |
| 15                       | 8.68  | 6.36   | 5.42  | 4.89  | 4.56  | 4.32  | 4.14  | 4.00  | 3.89  |
| 16                       | 8.53  | 6.23   | 5.29  | 4.77  | 4.44  | 4.20  | 4.03  | 3.89  | 3.78  |
| 17                       | 8.40  | 6.11   | 5.18  | 4.67  | 4.34  | 4.10  | 3.93  | 3.79  | 3.68  |
| 18                       | 8.29  | 6.01   | 5.09  | 4.58  | 4.25  | 4.01  | 3.84  | 3.71  | 3.60  |
| 19                       | 8.18  | 5.93   | 5.01  | 4.50  | 4.17  | 3.94  | 3.77  | 3.63  | 3.52  |
| 20                       | 8.10  | 5.85   | 4.94  | 4.43  | 4.10  | 3.87  | 3.70  | 3.56  | 3.46  |
| 21                       | 8.02  | 5.78   | 4.87  | 4.37  | 4.04  | 3.81  | 3.64  | 3.51  | 3.40  |
| 22                       | 7.95  | 5.72   | 4.82  | 4.31  | 3.99  | 3.76  | 3.59  | 3.45  | 3.35  |
| 23                       | 7.88  | 5.66   | 4.76  | 4.26  | 3.94  | 3.71  | 3.54  | 3.41  | 3.30  |
| 24                       | 7.82  | 5.61   | 4.72  | 4.22  | 3.90  | 3.67  | 3.50  | 3.36  | 3.26  |
| 25                       | 7.77  | 5.57   | 4.68  | 4.18  | 3.85  | 3.63  | 3.46  | 3.32  | 3.22  |
| 26                       | 7.72  | 5.53   | 4.64  | 4.14  | 3.82  | 3.59  | 3.42  | 3.29  | 3.18  |
| 27                       | 7.68  | 5.49   | 4.60  | 4.11  | 3.78  | 3.56  | 3.39  | 3.26  | 3.15  |
| 28                       | 7.64  | 5.45   | 4.57  | 4.07  | 3.75  | 3.53  | 3.36  | 3.23  | 3.12  |
| 29                       | 7.60  | 5.42   | 4.54  | 4.04  | 3.73  | 3.50  | 3.33  | 3.20  | 3.09  |
| 30                       | 7.56  | 5.39   | 4.51  | 4.02  | 3.70  | 3.47  | 3.30  | 3.17  | 3.07  |
| 40                       | 7.31  | 5.18   | 4.31  | 3.83  | 3.51  | 3.29  | 3.12  | 2.99  | 2.89  |
| 60                       | 7.08  | 4.98   | 4.13  | 3.65  | 3.34  | 3.12  | 2.95  | 2.82  | 2.72  |
| 120                      | 6.85  | 4.79   | 3.95  | 3.48  | 3.17  | 2.96  | 2.79  | 2.66  | 2.56  |
| $\infty$                 | 6.63  | 4.61   | 3.78  | 3.32  | 3.02  | 2.80  | 2.64  | 2.51  | 2.41  |

### ΠΙΝΑΚΑΣ Α4 (συνέχεια)

Τιμές  $F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}$  της  $F$  κατανομής για τις οποίες  $P(X > F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}) = P(X \geq F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}) = \alpha$  ( $\alpha = 0.01$ )

Για τα  $\alpha$ -κάτω ποσοστιαία σημεία  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-\alpha}$  ισχύει η σχέση  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-\alpha} = 1/F_{\nu_2, \nu_1; \alpha}$ .

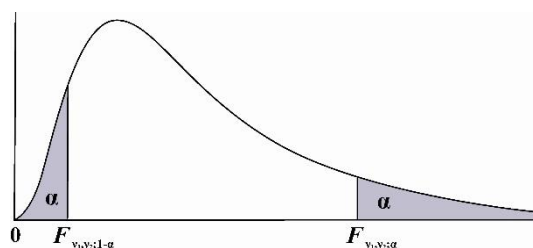


| $\nu_1 \backslash \nu_2$ | 10    | 12    | 15    | 20    | 24    | 30    | 40    | 60    | 120   | $\infty$ |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1                        | 6056  | 6106  | 6157  | 6209  | 6235  | 6261  | 6287  | 6313  | 6339  | 6366     |
| 2                        | 99.40 | 99.42 | 99.43 | 99.45 | 99.46 | 99.47 | 99.47 | 99.48 | 99.49 | 99.50    |
| 3                        | 27.23 | 27.05 | 26.87 | 26.69 | 26.60 | 26.50 | 26.41 | 26.32 | 26.22 | 26.13    |
| 4                        | 14.55 | 14.37 | 14.20 | 14.02 | 13.93 | 13.84 | 13.75 | 13.65 | 13.56 | 13.46    |
| 5                        | 10.05 | 9.89  | 9.72  | 9.55  | 9.47  | 9.38  | 9.29  | 9.20  | 9.11  | 9.02     |
| 6                        | 7.87  | 7.72  | 7.56  | 7.40  | 7.31  | 7.23  | 7.14  | 7.06  | 6.97  | 6.88     |
| 7                        | 6.62  | 6.47  | 6.31  | 6.16  | 6.07  | 5.99  | 5.91  | 5.82  | 5.74  | 5.65     |
| 8                        | 5.81  | 5.67  | 5.52  | 5.36  | 5.28  | 5.20  | 5.12  | 5.03  | 4.95  | 4.86     |
| 9                        | 5.26  | 5.11  | 4.96  | 4.81  | 4.73  | 4.65  | 4.57  | 4.48  | 4.40  | 4.31     |
| 10                       | 4.85  | 4.71  | 4.56  | 4.41  | 4.33  | 4.25  | 4.17  | 4.08  | 4.00  | 3.91     |
| 11                       | 4.54  | 4.40  | 4.25  | 4.10  | 4.02  | 3.94  | 3.86  | 3.78  | 3.69  | 3.60     |
| 12                       | 4.30  | 4.16  | 4.01  | 3.86  | 3.78  | 3.70  | 3.62  | 3.54  | 3.45  | 3.36     |
| 13                       | 4.10  | 3.96  | 3.82  | 3.66  | 3.59  | 3.51  | 3.43  | 3.34  | 3.25  | 3.17     |
| 14                       | 3.94  | 3.80  | 3.66  | 3.51  | 3.43  | 3.35  | 3.27  | 3.18  | 3.09  | 3.00     |
| 15                       | 3.80  | 3.67  | 3.52  | 3.37  | 3.29  | 3.21  | 3.13  | 3.05  | 2.96  | 2.87     |
| 16                       | 3.69  | 3.55  | 3.41  | 3.26  | 3.18  | 3.10  | 3.02  | 2.93  | 2.84  | 2.75     |
| 17                       | 3.59  | 3.46  | 3.31  | 3.16  | 3.08  | 3.00  | 2.92  | 2.83  | 2.75  | 2.65     |
| 18                       | 3.51  | 3.37  | 3.23  | 3.08  | 3.00  | 2.92  | 2.84  | 2.75  | 2.66  | 2.57     |
| 19                       | 3.43  | 3.30  | 3.15  | 3.00  | 2.92  | 2.84  | 2.76  | 2.67  | 2.58  | 2.49     |
| 20                       | 3.37  | 3.23  | 3.09  | 2.94  | 2.86  | 2.78  | 2.69  | 2.61  | 2.52  | 2.42     |
| 21                       | 3.31  | 3.17  | 3.03  | 2.88  | 2.80  | 2.72  | 2.64  | 2.55  | 2.46  | 2.36     |
| 22                       | 3.26  | 3.12  | 2.98  | 2.83  | 2.75  | 2.67  | 2.58  | 2.50  | 2.40  | 2.31     |
| 23                       | 3.21  | 3.07  | 2.93  | 2.78  | 2.70  | 2.62  | 2.54  | 2.45  | 2.35  | 2.26     |
| 24                       | 3.17  | 3.03  | 2.89  | 2.74  | 2.66  | 2.58  | 2.49  | 2.40  | 2.31  | 2.21     |
| 25                       | 3.13  | 2.99  | 2.85  | 2.70  | 2.62  | 2.54  | 2.45  | 2.36  | 2.27  | 2.17     |
| 26                       | 3.09  | 2.96  | 2.81  | 2.66  | 2.58  | 2.50  | 2.42  | 2.33  | 2.23  | 2.13     |
| 27                       | 3.06  | 2.93  | 2.78  | 2.63  | 2.55  | 2.47  | 2.38  | 2.29  | 2.20  | 2.10     |
| 28                       | 3.03  | 2.90  | 2.75  | 2.60  | 2.52  | 2.44  | 2.35  | 2.26  | 2.17  | 2.06     |
| 29                       | 3.00  | 2.87  | 2.73  | 2.57  | 2.49  | 2.41  | 2.33  | 2.23  | 2.14  | 2.03     |
| 30                       | 2.98  | 2.84  | 2.70  | 2.55  | 2.47  | 2.39  | 2.30  | 2.21  | 2.11  | 2.01     |
| 40                       | 2.80  | 2.66  | 2.52  | 2.37  | 2.29  | 2.20  | 2.11  | 2.02  | 1.92  | 1.80     |
| 60                       | 2.63  | 2.50  | 2.35  | 2.20  | 2.12  | 2.03  | 1.94  | 1.84  | 1.73  | 1.60     |
| 120                      | 2.47  | 2.34  | 2.19  | 2.03  | 1.95  | 1.86  | 1.76  | 1.66  | 1.53  | 1.38     |
| $\infty$                 | 2.32  | 2.18  | 2.04  | 1.88  | 1.79  | 1.70  | 1.59  | 1.47  | 1.32  | 1.00     |

### ΠΙΝΑΚΑΣ Α4 (συνέχεια)

Τιμές  $F_{\nu_1, \nu_2; a}$  της  $F$  κατανομής για τις οποίες  $P(X > F_{\nu_1, \nu_2; a}) = P(X \geq F_{\nu_1, \nu_2; a}) = a$  ( $a = 0.05$ )

Για τα  $a$  - κάτω ποσοστιαία σημεία  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-a}$  ισχύει η σχέση  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-a} = 1/F_{\nu_2, \nu_1; a}$ .

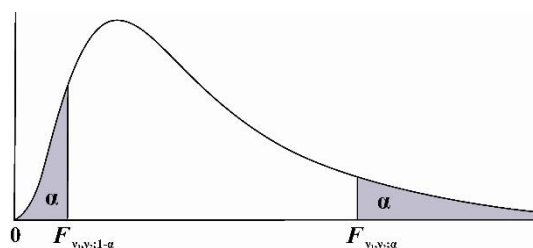


| $\nu_1 \backslash \nu_2$ | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                        | 161.4 | 199.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 236.8 | 238.9 | 240.5 |
| 2                        | 18.51 | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 |
| 3                        | 10.13 | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.89  | 8.85  | 8.81  |
| 4                        | 7.71  | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.09  | 6.04  | 6.00  |
| 5                        | 6.61  | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.88  | 4.82  | 4.77  |
| 6                        | 5.99  | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.21  | 4.15  | 4.10  |
| 7                        | 5.59  | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.79  | 3.73  | 3.68  |
| 8                        | 5.32  | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.50  | 3.44  | 3.39  |
| 9                        | 5.12  | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.18  |
| 10                       | 4.96  | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.14  | 3.07  | 3.02  |
| 11                       | 4.84  | 3.98  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 3.01  | 2.95  | 2.90  |
| 12                       | 4.75  | 3.89  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.85  | 2.80  |
| 13                       | 4.67  | 3.81  | 3.41  | 3.18  | 3.03  | 2.92  | 2.83  | 2.77  | 2.71  |
| 14                       | 4.60  | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.70  | 2.65  |
| 15                       | 4.54  | 3.68  | 3.29  | 3.06  | 2.90  | 2.79  | 2.71  | 2.64  | 2.59  |
| 16                       | 4.49  | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.66  | 2.59  | 2.54  |
| 17                       | 4.45  | 3.59  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.61  | 2.55  | 2.49  |
| 18                       | 4.41  | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.58  | 2.51  | 2.46  |
| 19                       | 4.38  | 3.52  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.54  | 2.48  | 2.42  |
| 20                       | 4.35  | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.51  | 2.45  | 2.39  |
| 21                       | 4.32  | 3.47  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.49  | 2.42  | 2.37  |
| 22                       | 4.30  | 3.44  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.46  | 2.40  | 2.34  |
| 23                       | 4.28  | 3.42  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.44  | 2.37  | 2.32  |
| 24                       | 4.26  | 3.40  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.42  | 2.36  | 2.30  |
| 25                       | 4.24  | 3.39  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.40  | 2.34  | 2.28  |
| 26                       | 4.23  | 3.37  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.39  | 2.32  | 2.27  |
| 27                       | 4.21  | 3.35  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.37  | 2.31  | 2.25  |
| 28                       | 4.20  | 3.34  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.45  | 2.36  | 2.29  | 2.24  |
| 29                       | 4.18  | 3.33  | 2.93  | 2.70  | 2.55  | 2.43  | 2.35  | 2.28  | 2.22  |
| 30                       | 4.17  | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.33  | 2.27  | 2.21  |
| 40                       | 4.08  | 3.23  | 2.84  | 2.61  | 2.45  | 2.34  | 2.25  | 2.18  | 2.12  |
| 60                       | 4.00  | 3.15  | 2.76  | 2.53  | 2.37  | 2.25  | 2.17  | 2.10  | 2.04  |
| 120                      | 3.92  | 3.07  | 2.68  | 2.45  | 2.29  | 2.17  | 2.09  | 2.02  | 1.96  |
| $\infty$                 | 3.84  | 3.00  | 2.60  | 2.37  | 2.21  | 2.10  | 2.01  | 1.94  | 1.88  |

### ΠΙΝΑΚΑΣ Α4 (συνέχεια)

Τιμές  $F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}$  της  $F$  κατανομής για τις οποίες  $P(X > F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}) = P(X \geq F_{\nu_1, \nu_2; \alpha}) = \alpha$  ( $\alpha = 0.05$ )

Για τα  $\alpha$ -κάτω ποσοστιαία σημεία  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-\alpha}$  ισχύει η σχέση  $F_{\nu_1, \nu_2; 1-\alpha} = 1/F_{\nu_2, \nu_1; \alpha}$ .



| $\nu_1 \backslash \nu_2$ | 10    | 12    | 15    | 20    | 24    | 30    | 40    | 60    | 120   | $\infty$ |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1                        | 241.9 | 243.9 | 245.9 | 248.0 | 249.1 | 250.1 | 251.1 | 252.2 | 253.3 | 254.3    |
| 2                        | 19.40 | 19.41 | 19.43 | 19.45 | 19.45 | 19.46 | 19.47 | 19.48 | 19.49 | 19.50    |
| 3                        | 8.79  | 8.74  | 8.70  | 8.66  | 8.64  | 8.62  | 8.59  | 8.57  | 8.55  | 8.53     |
| 4                        | 5.96  | 5.91  | 5.86  | 5.80  | 5.77  | 5.75  | 5.72  | 5.69  | 5.66  | 5.63     |
| 5                        | 4.74  | 4.68  | 4.62  | 4.56  | 4.53  | 4.50  | 4.46  | 4.43  | 4.40  | 4.36     |
| 6                        | 4.06  | 4.00  | 3.94  | 3.87  | 3.84  | 3.81  | 3.77  | 3.74  | 3.70  | 3.67     |
| 7                        | 3.64  | 3.57  | 3.51  | 3.44  | 3.41  | 3.38  | 3.34  | 3.30  | 3.27  | 3.23     |
| 8                        | 3.35  | 3.28  | 3.22  | 3.15  | 3.12  | 3.08  | 3.04  | 3.01  | 2.97  | 2.93     |
| 9                        | 3.14  | 3.07  | 3.01  | 2.94  | 2.90  | 2.86  | 2.83  | 2.79  | 2.75  | 2.71     |
| 10                       | 2.98  | 2.91  | 2.85  | 2.77  | 2.74  | 2.70  | 2.66  | 2.62  | 2.58  | 2.54     |
| 11                       | 2.85  | 2.79  | 2.72  | 2.65  | 2.61  | 2.57  | 2.53  | 2.49  | 2.45  | 2.40     |
| 12                       | 2.75  | 2.69  | 2.62  | 2.54  | 2.51  | 2.47  | 2.43  | 2.38  | 2.34  | 2.30     |
| 13                       | 2.67  | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.42  | 2.38  | 2.34  | 2.30  | 2.25  | 2.21     |
| 14                       | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.39  | 2.35  | 2.31  | 2.27  | 2.22  | 2.18  | 2.13     |
| 15                       | 2.54  | 2.48  | 2.40  | 2.33  | 2.29  | 2.25  | 2.20  | 2.16  | 2.11  | 2.07     |
| 16                       | 2.49  | 2.42  | 2.35  | 2.28  | 2.24  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.01     |
| 17                       | 2.45  | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.19  | 2.15  | 2.10  | 2.06  | 2.01  | 1.96     |
| 18                       | 2.41  | 2.34  | 2.27  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.02  | 1.97  | 1.92     |
| 19                       | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.16  | 2.11  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.93  | 1.88     |
| 20                       | 2.35  | 2.28  | 2.20  | 2.12  | 2.08  | 2.04  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.84     |
| 21                       | 2.32  | 2.25  | 2.18  | 2.10  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.81     |
| 22                       | 2.30  | 2.23  | 2.15  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.78     |
| 23                       | 2.27  | 2.20  | 2.13  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.91  | 1.86  | 1.81  | 1.76     |
| 24                       | 2.25  | 2.18  | 2.11  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.73     |
| 25                       | 2.24  | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71     |
| 26                       | 2.22  | 2.15  | 2.07  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.85  | 1.80  | 1.75  | 1.69     |
| 27                       | 2.20  | 2.13  | 2.06  | 1.97  | 1.93  | 1.88  | 1.84  | 1.79  | 1.73  | 1.67     |
| 28                       | 2.19  | 2.12  | 2.04  | 1.96  | 1.91  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71  | 1.65     |
| 29                       | 2.18  | 2.10  | 2.03  | 1.94  | 1.90  | 1.85  | 1.81  | 1.75  | 1.70  | 1.64     |
| 30                       | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.93  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.68  | 1.62     |
| 40                       | 2.08  | 2.00  | 1.92  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.69  | 1.64  | 1.58  | 1.51     |
| 60                       | 1.99  | 1.92  | 1.84  | 1.75  | 1.70  | 1.65  | 1.59  | 1.53  | 1.47  | 1.39     |
| 120                      | 1.91  | 1.83  | 1.75  | 1.66  | 1.61  | 1.55  | 1.50  | 1.43  | 1.35  | 1.25     |
| $\infty$                 | 1.83  | 1.75  | 1.67  | 1.57  | 1.52  | 1.46  | 1.39  | 1.32  | 1.22  | 1.00     |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' – Microsoft Access (Κώδικας σε SQL)

### Orders Crosstab (8766 rows)

```
TRANSFORM Sum(Orders.QTY) AS SumOfQTY
SELECT Orders.ProductID, Sum(Orders.QTY) AS [Total of QTY]
FROM Orders
GROUP BY Orders.ProductID
PIVOT Orders.OrderMonth;
```

### Returns Crosstab (4274 rows)

```
TRANSFORM Sum([Returns].QTY) AS SumOfQTY
SELECT [Returns].ProductID, Sum([Returns].QTY) AS [Total of QTY]
FROM Returns
GROUP BY [Returns].ProductID
PIVOT [Returns].ReverseMonth;
```

### ReturnsSM Crosstab (4274 rows)

```
TRANSFORM Sum>Returns.[QTY]) AS SumOfQTY
SELECT Returns.[ProductID], Sum>Returns.[QTY]) AS [Total of QTY]
FROM Returns
GROUP BY Returns.[ProductID]
PIVOT Returns.[SMID];
```

### Top50Orders (50 rows)

```
SELECT TOP 50 Orders_Crosstab.*
FROM Orders_Crosstab
ORDER BY [Total of QTY] DESC;
```

### Top50Returns (50 rows)

```
SELECT TOP 50 Returns_Crosstab.*
FROM Returns_Crosstab
ORDER BY [Total of QTY] DESC;
```

### Inner50 (9 rows)

```
SELECT Top50Orders.ProductID, Top50Orders.[Total of QTY],
Top50Returns.[Total of QTY]
FROM Top50Orders INNER JOIN Top50Returns ON
Top50Orders.ProductID=Top50Returns.ProductID;
```

### InnerCrossOrders (3214 rows)

```
SELECT Orders_Crosstab.ProductID, Orders_Crosstab.[Total of QTY],
>Returns_Crosstab].[Total of QTY]
FROM Orders_Crosstab INNER JOIN Returns_Crosstab ON
Orders_Crosstab.ProductID=[Returns_Crosstab].ProductID;
```

### InnerCrossReturns (3214 rows)

```
SELECT Returns_Crosstab.ProductID, Orders_Crosstab.[Total of QTY],
>Returns_Crosstab].[Total of QTY]
FROM Returns_Crosstab INNER JOIN Orders_Crosstab ON
Orders_Crosstab.ProductID=[Returns_Crosstab].ProductID;
```



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ' – Microsoft Excel (Pivot Tables, Charts)

Orders.xlsx

|   | A           | B                 | C                | D          | E             | F          |
|---|-------------|-------------------|------------------|------------|---------------|------------|
| 1 | <b>SMID</b> | <b>OrderMonth</b> | <b>ProductID</b> | <b>QTY</b> | <b>Expire</b> | <b>ABC</b> |
| 2 | 10          | 10                | 750497           | 36,495     | Y             | C11        |
| 3 | 19          | 10                | 750497           | 12,165     | Y             | C11        |
| 4 | 17          | 10                | 750497           | 12,165     | Y             | C11        |
| 5 | 6           | 4                 | 750497           | 12,165     | Y             | C11        |
| 6 | 18          | 4                 | 154188           | 8,000      | N             | C14        |
| 7 | 5           | 11                | 348942           | 7,700      | N             | C12        |

Returns.xlsx

|   | A           | B                  | C                | D          |
|---|-------------|--------------------|------------------|------------|
| 1 | <b>SMID</b> | <b>ReturnMonth</b> | <b>ProductID</b> | <b>QTY</b> |
| 2 | 11          | 04                 | 215170           | 100,565    |
| 3 | 5           | 09                 | 214190           | 96,832     |
| 4 | 8           | 03                 | 239414           | 46,731     |
| 5 | 8           | 04                 | 217215           | 29,436     |
| 6 | 16          | 01                 | 215374           | 29,284     |
| 7 | 1           | 10                 | 215235           | 27,393     |

| SMID               | Sum of QTY       | % of Grand Total | % Running |
|--------------------|------------------|------------------|-----------|
| 11                 | 254,220          | 16.20%           | 16.20%    |
| 8                  | 163,877          | 10.44%           | 26.65%    |
| 16                 | 162,177          | 10.34%           | 36.98%    |
| 14                 | 153,208          | 9.76%            | 46.75%    |
| 17                 | 134,517          | 8.57%            | 55.32%    |
| 5                  | 123,963          | 7.90%            | 63.22%    |
| 1                  | 118,393          | 7.55%            | 70.77%    |
| 6                  | 114,425          | 7.29%            | 78.06%    |
| 18                 | 90,848           | 5.79%            | 83.85%    |
| 3                  | 60,830           | 3.88%            | 87.73%    |
| 15                 | 59,219           | 3.77%            | 91.50%    |
| 9                  | 51,394           | 3.28%            | 94.78%    |
| 12                 | 19,459           | 1.24%            | 96.02%    |
| 13                 | 18,287           | 1.17%            | 97.18%    |
| 7                  | 18,097           | 1.15%            | 98.34%    |
| 19                 | 10,245           | 0.65%            | 98.99%    |
| 10                 | 7,417            | 0.47%            | 99.46%    |
| 4                  | 7,139            | 0.45%            | 99.92%    |
| 20                 | 1,305            | 0.08%            | 100.00%   |
| <b>Grand Total</b> | <b>1,569,020</b> | <b>100.00%</b>   |           |

| ReturnMonth |    |    |
|-------------|----|----|
| 01          | 02 | 03 |
| 04          | 05 | 06 |
| 07          | 08 | 09 |
| 10          | 11 | 12 |

### QTY Sold SM Total

| SMID               | Order QTY         | % Order Total  | Return QTY       | % Return Total | QTY Sold          | % Sales Total  | Category | SM Location       |
|--------------------|-------------------|----------------|------------------|----------------|-------------------|----------------|----------|-------------------|
| 14                 | 1,701,515         | 10.29%         | 153,208          | 9.76%          | 1,548,307         | 10.35%         | B        | Αττική - ΒΠ 3     |
| 1                  | 1,587,124         | 9.60%          | 118,393          | 7.55%          | 1,468,731         | 9.82%          | Γ        | Αττική - ΒΠ 1     |
| 11                 | 1,570,510         | 9.50%          | 254,220          | 16.20%         | 1,316,290         | 8.80%          | Γ        | Αττική - ΑΠ 1     |
| 8                  | 1,367,047         | 8.27%          | 163,877          | 10.44%         | 1,203,170         | 8.04%          | Γ        | Νομός Κορινθίας 2 |
| 3                  | 1,211,969         | 7.33%          | 60,830           | 3.88%          | 1,151,139         | 7.69%          | B        | Αττική - ΒΠ 4     |
| 15                 | 1,196,292         | 7.24%          | 59,219           | 3.77%          | 1,137,073         | 7.60%          | Δ        | Αττική - ΑΠ 2     |
| 17                 | 1,233,466         | 7.46%          | 134,517          | 8.57%          | 1,098,949         | 7.35%          | Δ        | Αττική - Κέντρο 1 |
| 16                 | 1,254,878         | 7.59%          | 162,177          | 10.34%         | 1,092,701         | 7.30%          | Δ        | Αττική - ΝΠ 1     |
| 18                 | 982,798           | 5.95%          | 90,848           | 5.79%          | 891,950           | 5.96%          | Δ        | Αττική - Κέντρο 2 |
| 5                  | 951,403           | 5.76%          | 123,963          | 7.90%          | 827,440           | 5.53%          | Γ        | Κυκλάδες 2        |
| 9                  | 858,653           | 5.19%          | 51,394           | 3.28%          | 807,259           | 5.40%          | B        | Πελοπόννησος 5    |
| 6                  | 918,835           | 5.56%          | 114,425          | 7.29%          | 804,410           | 5.38%          | B        | Νομός Κορινθίας 1 |
| 7                  | 465,172           | 2.81%          | 18,097           | 1.15%          | 447,075           | 2.99%          | B        | Πελοπόννησος 4    |
| 12                 | 389,039           | 2.35%          | 19,459           | 1.24%          | 369,580           | 2.47%          | B        | Πελοπόννησος 1    |
| 13                 | 313,684           | 1.90%          | 18,287           | 1.17%          | 295,397           | 1.97%          | EASY     | Κυκλάδες 1        |
| 4                  | 227,130           | 1.37%          | 7,139            | 0.45%          | 219,991           | 1.47%          | E        | Πελοπόννησος 3    |
| 10                 | 137,267           | 0.83%          | 7,417            | 0.47%          | 129,850           | 0.87%          | B        | Αττική - ΒΠ 2     |
| 19                 | 100,140           | 0.61%          | 10,245           | 0.65%          | 89,895            | 0.60%          | Δ        | Αττική - ΝΠ 2     |
| 20                 | 61,835            | 0.37%          | 1,305            | 0.08%          | 60,530            | 0.40%          | EASY     | Αττική - ΝΠ 3     |
| <b>Grand Total</b> | <b>16,528,757</b> | <b>100.00%</b> | <b>1,569,020</b> | <b>100.00%</b> | <b>14,959,737</b> | <b>100.00%</b> |          |                   |

### Top5 SM

| ReturnMonth (All) |                |               |
|-------------------|----------------|---------------|
| Row Labels        | Sum of QTY     |               |
| <b>SM11</b>       | <b>150,062</b> | <b>16.20%</b> |
| 215170            | 100,565        | 59.03%        |
| 235522            | 19,301         |               |
| 239412            | 12,098         |               |
| 217215            | 9,729          |               |
| 352012            | 8,369          |               |
| <b>SM8</b>        | <b>94,350</b>  | <b>10.44%</b> |
| 239414            | 46,731         | 57.58%        |
| 217215            | 29,436         |               |
| 239410            | 7,566          |               |
| 341126            | 5,565          |               |
| 239412            | 5,052          |               |
| <b>SM16</b>       | <b>58,149</b>  | <b>10.34%</b> |
| 215374            | 29,284         | 35.86%        |
| 239413            | 13,614         |               |
| 511483            | 7,344          |               |
| 352012            | 4,178          |               |
| 214107            | 3,729          |               |

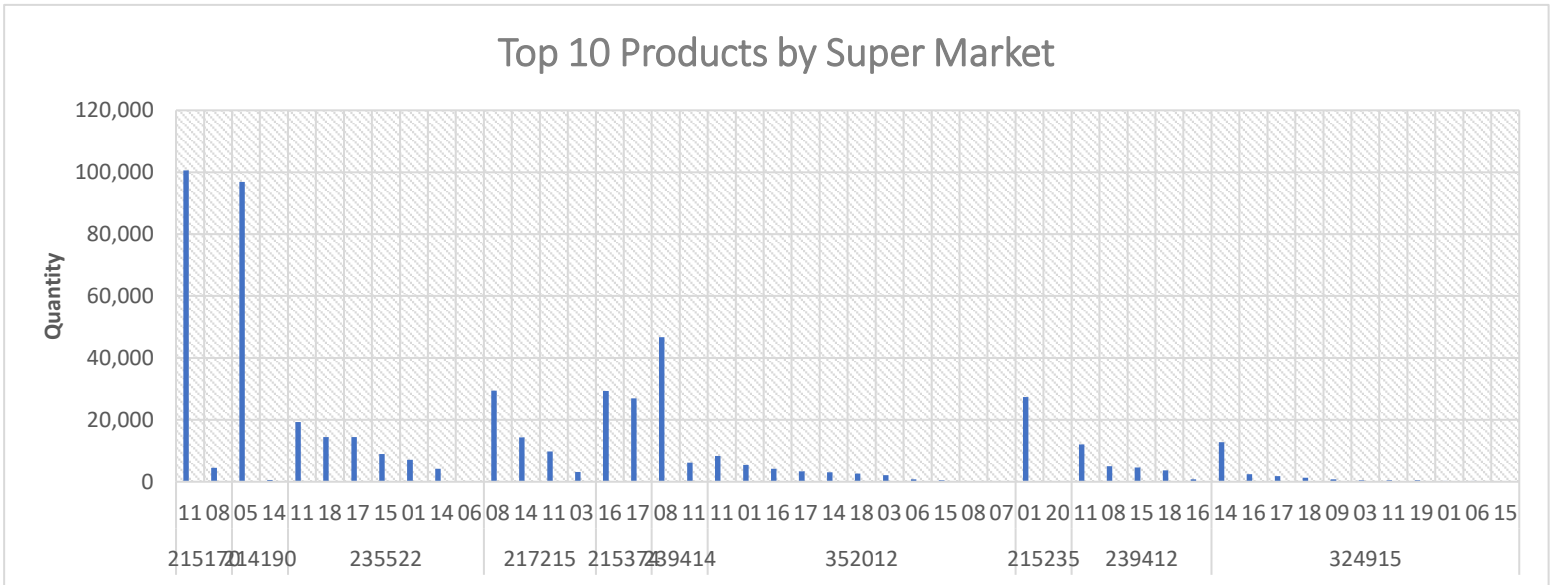
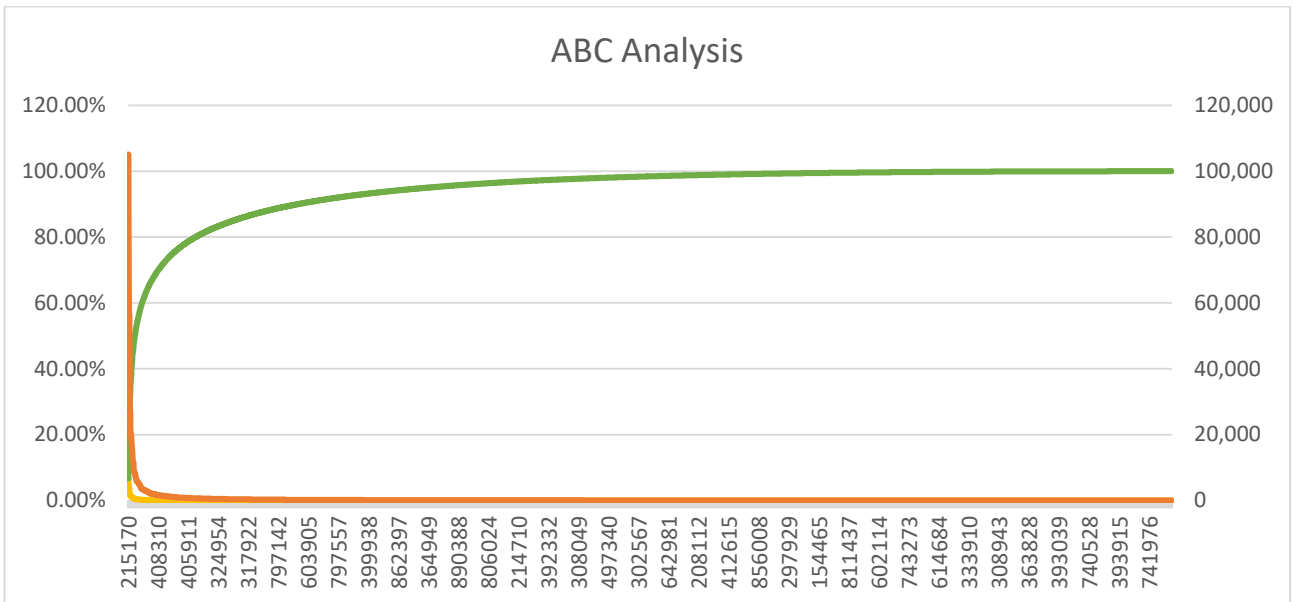
|                    |                  |              |
|--------------------|------------------|--------------|
| <b>SM17</b>        | <b>53,057</b>    | <b>8.57%</b> |
| 215374             | 26,933           | 39.45%       |
| 235522             | 14,416           |              |
| 219084             | 5,054            |              |
| 352012             | 3,360            |              |
| 750450             | 3,294            |              |
| <b>SM14</b>        | <b>48,785</b>    | <b>9.76%</b> |
| 217215             | 14,318           | 31.85%       |
| 324915             | 12,816           |              |
| 324913             | 11,328           |              |
| 317425             | 6,146            |              |
| 235522             | 4,177            |              |
| <b>Grand Total</b> | <b>404,403</b>   |              |
|                    | <b>25.77%</b>    |              |
| <b>TOTAL</b>       | <b>1,569,020</b> |              |

ProdSM

| Sum of QTY<br>ProductID | ReturnMonth    |                |                |                |                |     | Grand Total      |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|------------------|
|                         | 11             | 08             | 16             | 14             | 17             | ... |                  |
| 215170                  | 100,565        | 4,532          | 0              | 0              | 0              | ... | 105,097          |
| 214190                  | 0              | 0              | 0              | 570            | 0              | ... | 97,402           |
| 235522                  | 19,301         | 0              | 0              | 4,177          | 14,416         | ... | 68,434           |
| 217215                  | 9,729          | 29,436         | 0              | 14,318         | 0              | ... | 56,596           |
| 215374                  | 0              | 0              | 29,284         | 0              | 26,933         | ... | 56,217           |
| 239414                  | 6,128          | 46,731         | 0              | 0              | 0              | ... | 52,859           |
| 352012                  | 8,369          | 102            | 4,178          | 3,024          | 3,360          | ... | 30,542           |
| 215235                  | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | ... | 27,413           |
| 239412                  | 12,098         | 5,052          | 741            | 0              | 0              | ... | 26,121           |
| 324915                  | 504            | 0              | 2,428          | 12,816         | 1,800          | ... | 21,404           |
| 421420                  | 18             | 0              | 0              | 749            | 0              | ... | 20,875           |
| ...                     | ...            | ...            | ...            | ...            | ...            | ... | ...              |
| <b>Grand Total</b>      | <b>254,220</b> | <b>163,877</b> | <b>162,177</b> | <b>153,208</b> | <b>134,517</b> | ... | <b>1,569,020</b> |

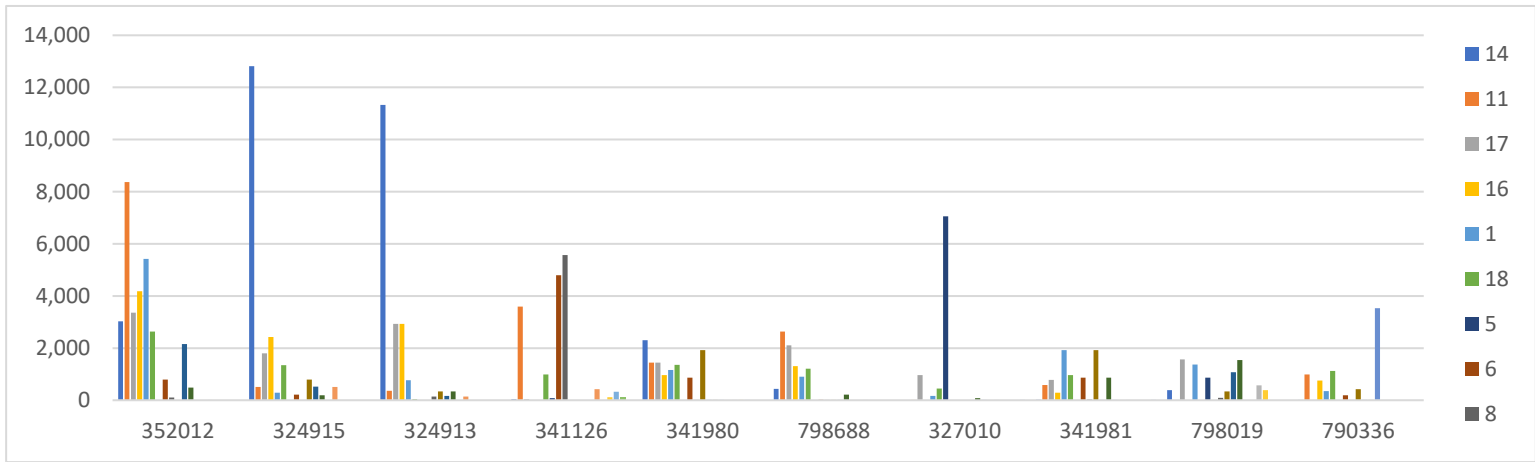
Top30ProdSM

| Sum of QTY         | SMID           |                |                |               |               |               |               |               |               |            | Grand Total    |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|----------------|
| ProductID          | 11             | 05             | 08             | 16            | 01            | 17            | 06            | 14            | 18            | ...        | Grand Total    |
| 215170             | 100,565        | 0              | 4,532          | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | ...        | 105,097        |
| 214190             | 0              | 96,832         | 0              | 0             | 0             | 0             | 0             | 570           | 0             | ...        | 97,402         |
| 235522             | 19,301         | 0              | 0              | 0             | 7,099         | 14,416        | 30            | 4,177         | 14,436        | ...        | 68,434         |
| 217215             | 9,729          | 0              | 29,436         | 0             | 0             | 0             | 0             | 14,318        | 0             | ...        | 56,596         |
| 215374             | 0              | 0              | 0              | 29,284        | 0             | 26,933        | 0             | 0             | 0             | ...        | 56,217         |
| 239414             | 6,128          | 0              | 46,731         | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | ...        | 52,859         |
| 352012             | 8,369          | 0              | 102            | 4,178         | 5,424         | 3,360         | 792           | 3,024         | 2,640         | ...        | 30,542         |
| 215235             | 0              | 0              | 0              | 0             | 27,393        | 0             | 0             | 0             | 0             | ...        | 27,413         |
| 239412             | 12,098         | 0              | 5,052          | 741           | 0             | 0             | 0             | 0             | 3,634         | ...        | 26,121         |
| 324915             | 504            | 0              | 0              | 2,428         | 288           | 1,800         | 216           | 12,816        | 1,344         | ...        | 21,404         |
| 421420             | 18             | 0              | 0              | 0             | 1,624         | 0             | 18,448        | 749           | 36            | ...        | 20,875         |
| 421972             | 55             | 0              | 10             | 15            | 1,068         | 0             | 10,766        | 0             | 0             | ...        | 19,886         |
| 324913             | 361            | 0              | 144            | 2,928         | 768           | 2,928         | 0             | 11,328        | 48            | ...        | 19,489         |
| 239413             | 4,136          | 0              | 0              | 13,614        | 0             | 0             | 0             | 0             | 1,170         | ...        | 18,920         |
| 293731             | 0              | 0              | 0              | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | ...        | 16,884         |
| 341126             | 3,596          | 78             | 5,565          | 0             | 0             | 46            | 4,800         | 40            | 990           | ...        | 16,091         |
| 511483             | 0              | 0              | 4,756          | 7,344         | 2,928         | 0             | 0             | 0             | 0             | ...        | 15,046         |
| 154522             | 0              | 0              | 0              | 0             | 0             | 0             | 15,000        | 0             | 0             | ...        | 15,000         |
| ...                | ...            | ...            | ...            | ...           | ...           | ...           | ...           | ...           | ...           | ...        | ...            |
| <b>Grand Total</b> | <b>185,690</b> | <b>107,230</b> | <b>106,826</b> | <b>64,434</b> | <b>61,690</b> | <b>60,110</b> | <b>53,113</b> | <b>51,326</b> | <b>34,166</b> | <b>...</b> | <b>800,817</b> |



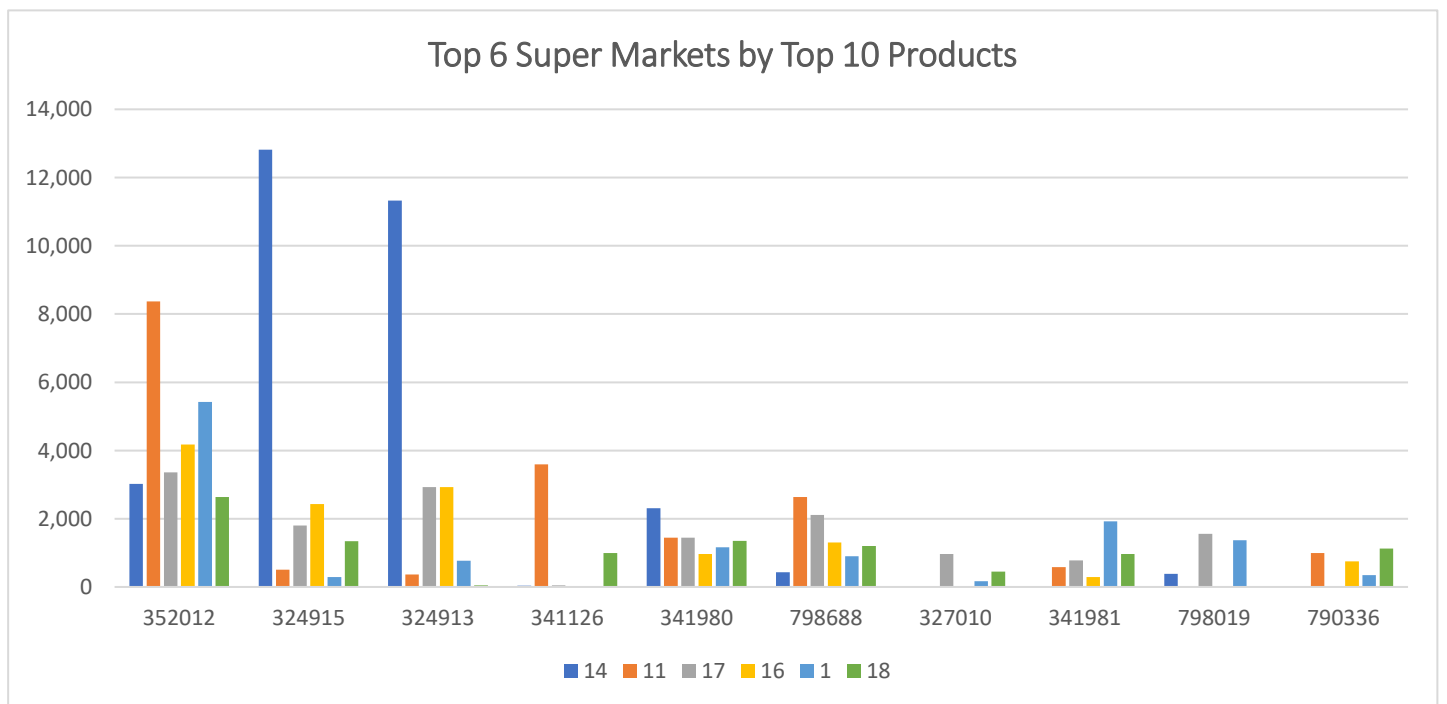
SM by Top10Prod

| Sum of QTY         | SMID          |               |               |               |               |               |     | Grand Total    |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|----------------|
| ProductID          | 14            | 11            | 17            | 16            | 1             | 18            | ... |                |
| 352012             | 3,024         | 8,369         | 3,360         | 4,178         | 5,424         | 2,640         | ... | 30,542         |
| 324915             | 12,816        | 504           | 1,800         | 2,428         | 288           | 1,344         | ... | 21,404         |
| 324913             | 11,328        | 361           | 2,928         | 2,928         | 768           | 48            | ... | 19,489         |
| 341126             | 40            | 3,596         | 46            | 0             | 0             | 990           | ... | 16,091         |
| 341980             | 2,308         | 1,447         | 1,440         | 962           | 1,164         | 1,352         | ... | 11,503         |
| ...                | ...           | ...           | ...           | ...           | ...           | ...           | ... |                |
| <b>Grand Total</b> | <b>30,355</b> | <b>18,490</b> | <b>14,985</b> | <b>12,842</b> | <b>12,356</b> | <b>10,110</b> | ... | <b>140,468</b> |

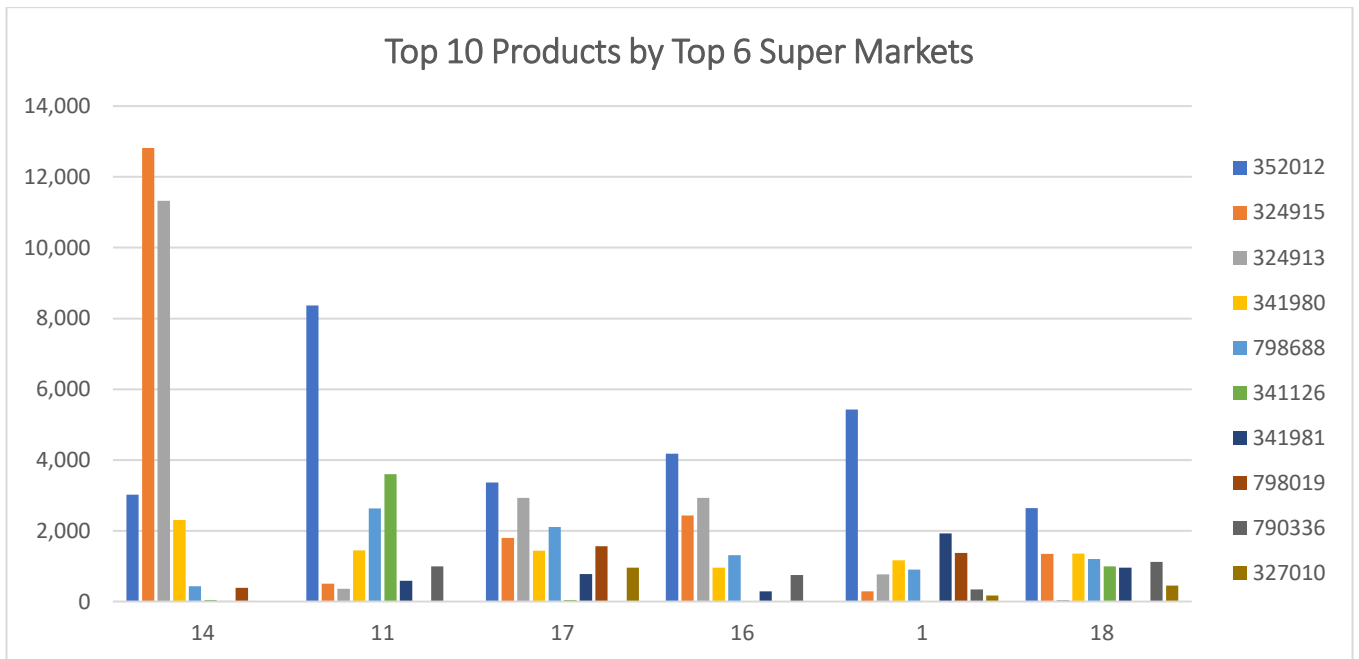


Top6SM by Top10Prod

| Sum of QTY<br>SMID | ProductID     |               |               |              |              |              |              |              |              |              | Grand Total   |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                    | 352012        | 324915        | 324913        | 341980       | 798688       | 341126       | 341981       | 798019       | 790336       | 327010       |               |
| 14                 | 3,024         | 12,816        | 11,328        | 2,308        | 435          | 40           | 17           | 384          | 3            | 0            | 30,355        |
| 11                 | 8,369         | 504           | 361           | 1,447        | 2,635        | 3,596        | 583          | 0            | 990          | 5            | 18,490        |
| 17                 | 3,360         | 1,800         | 2,928         | 1,440        | 2,109        | 46           | 780          | 1,560        | 0            | 962          | 14,985        |
| 16                 | 4,178         | 2,428         | 2,928         | 962          | 1,306        | 0            | 290          | 0            | 750          | 0            | 12,842        |
| 1                  | 5,424         | 288           | 768           | 1,164        | 902          | 0            | 1,926        | 1,372        | 344          | 168          | 12,356        |
| 18                 | 2,640         | 1,344         | 48            | 1,352        | 1,204        | 990          | 962          | 0            | 1,122        | 448          | 10,110        |
| <b>Grand Total</b> | <b>26,995</b> | <b>19,180</b> | <b>18,361</b> | <b>8,673</b> | <b>8,591</b> | <b>4,672</b> | <b>4,558</b> | <b>3,316</b> | <b>3,209</b> | <b>1,583</b> | <b>99,138</b> |



| ProductID by SM | 14     | 11    | 17    | 16    | 1     | 18    |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 352012          | 3,024  | 8,369 | 3,360 | 4,178 | 5,424 | 2,640 |
| 324915          | 12,816 | 504   | 1,800 | 2,428 | 288   | 1,344 |
| 324913          | 11,328 | 361   | 2,928 | 2,928 | 768   | 48    |
| 341126          | 40     | 3,596 | 46    | 0     | 0     | 990   |
| 341980          | 2,308  | 1,447 | 1,440 | 962   | 1,164 | 1,352 |
| 798688          | 435    | 2,635 | 2,109 | 1,306 | 902   | 1,204 |
| 327010          | 0      | 5     | 962   | 0     | 168   | 448   |
| 341981          | 17     | 583   | 780   | 290   | 1,926 | 962   |
| 798019          | 384    | 0     | 1,560 | 0     | 1,372 | 0     |
| 790336          | 3      | 990   | 0     | 750   | 344   | 1,122 |



---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

### Ξένη Βιβλιογραφία

1. Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. (2005). Introduction to Operations Research (9<sup>th</sup> Edition). Holden-Day, San Francisco, CA.
2. Blumenfeld, D. (2009). Operations Research Calculations Handbook (2<sup>nd</sup> Edition). CRC Press, FL.
3. Winston, W.L. (2004). Operations Research: Applications and Algorithms (4<sup>th</sup> Edition), PWS-Kent Pub. Co., NY.
4. Hadley, G. and Whitin, T. M. (1963). Analysis of Inventory Systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
5. Hillier, F. S., M. S. Hillier, and G. J. Lieberman (2000). Introduction to Management Science: A Modeling and Case Studies Approach with Spreadsheets, McGraw-Hill/Irwin, NY.
6. Hanssmann, F. (1962). Operations Research in Production and Inventory Control. Wiley, NY.
7. Hax, C. and Candea, D. (1984). Production and Inventory Management. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
8. Silver, E. A., Pyke, D. F., and Peterson, R. (1998). Inventory Management and Production Planning and Scheduling (3rd edition). Wiley, NY.
9. Taha, H., A. (2010). Operations Research, an introduction (9<sup>th</sup> Edition), Prentice Hall, NJ.
10. Levin, R., Rubin, D.S., Stinson, J.P., Garder, E.S. (1989). Quantitative approaches to management (7<sup>th</sup> Edition), McGraw-Hill, NY.

### Ελληνική Βιβλιογραφία

11. Κολέτσος, Ι., Στογιάννης, Δ. (2015). Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα (2<sup>η</sup> Έκδοση), Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
12. Οικονόμου Π., Καρώνη Χ. (2010). Στατιστικά Μοντέλα Παλινδρόμησης. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
13. Κοκολάκης Γ., Φουσκάκης Δ. (2009). Στατιστική – Θεωρία & Εφαρμογές. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
14. Κολυβά Φ., Μπόρα Ε. (1998). Στατιστική – Θεωρία, Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
15. Τσάντας Ν., Μωυσιάδης Χ., Μπαγιάτης Ν., Χατζηπαντελής Θ. (1999). Ανάλυση Δεδομένων με τη Βοήθεια Στατιστικών Πακέτων. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
16. Γεωργίου, Α., Οικονόμου, Γ. (2002). Ποσοτικές Μέθοδοι, Τόμος Γ', Επιχειρησιακή Έρευνα, ΕΑΠ, Πάτρα.
17. Κοκολάκης, Γ., Σπηλιώτης, Ι. (2002). Εισαγωγή στις Πιθανότητες, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
18. Ζάχος, Σ. (2005). Αλγόριθμοι και πολυπλοκότητα. Εκδόσεις ΕΜΠ. Αθήνα.
19. Κιόχος, Π., Θάνος, Γ., Σαλαμούρης, Δ., Κιόχος, Α. (2002). Επιχειρησιακή Έρευνα, Μέθοδοι και τεχνικές λήψης επιχειρηματικών αποφάσεων. Σύγχρονη Εκδοτική. Αθήνα.