



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας
Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**«ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ P ΓΙΑ ΤΗ
ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΞΗΡΩΝ
ΚΑΡΠΩΝ**

Παπάζογλου Γεώργιος

Αλεβιζάκος Βασίλειος

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταμόρφωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ P ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΞΗΡΩΝ ΚΑΡΠΩΝ**

Παπάζογλου Γεώργιος

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βασίλειος Αλεβιζάκος

Διδάκτωρ της Σχολής Εφαρμοσμένων
Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Σωτήρης Μπερσίμης

Καθηγητής του Τμήματος Οργάνωσης
και Διοίκησης Επιχειρήσεων του
Πανεπιστημίου Πειραιώς

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την εφαρμογή του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών (Statistical Process Control – SPC) σε μονάδα συσκευασίας ξηρών καρπών, με κύριο εργαλείο το διάγραμμα ελέγχου ιδιοτήτων τύπο p (p -chart). Σκοπός της μελέτης είναι να διερευνηθεί η σταθερότητα και η αξιοπιστία της παραγωγικής διαδικασίας, να εντοπιστούν τυχόν αποκλίσεις από τις προδιαγραφές ποιότητας και να διευκολυνθεί η λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση της της διαδικασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των βασικών εννοιών της ποιότητας, οι διαστάσεις που την συνθέτουν και ο ρόλος του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών (ΣΕΔ) στη διασφάλιση και συνεχή βελτίωση των βιομηχανικών διαδικασιών. Παράλληλα, αναλύονται οι θεμελιώδεις αρχές του στατιστικού ελέγχου και επισημαίνεται ο ρόλος της συνεχούς παρακολούθησης των διεργασιών για τον έγκαιρο εντοπισμό και την αποκλίσεων από τις καθορισμένες προδιαγραφές. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται η θεωρητική προσέγγιση των διαγραμμάτων ελέγχου ιδιοτήτων, με έμφαση στο διάγραμμα p , στη μαθηματική του βάση και στον τρόπο ερμηνείας των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του. Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει τη δομή και τη λειτουργία της παραγωγικής μονάδας, τον εξοπλισμό συσκευασίας και τους παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση ελαττωμάτων στα τελικά προϊόντα. Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση των δεδομένων, εφαρμόζεται το διάγραμμα p και γίνεται ερμηνεία των αποτελεσμάτων με στόχο τον εντοπισμό πιθανών αποκλίσεων και την κατηγοριοποίηση των ελαττωματικών μονάδων. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ερμηνεία και αξιολόγηση της παραγωγικής διεργασίας, καθώς και η σύγκριση θεωρητικών αρχών του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών και τρόποι βελτίωσης της παραγωγικής διεργασίας. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης, καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή του διαγράμματος p . Επιπλέον, διατυπώνονται προτάσεις για την βελτίωση των διεργασιών και την αποτελεσματικότερη παρακολούθηση της ποιότητας μέσω σύγχρονων εργαλείων ψηφιακής διαχείρισης παραγωγής.

Abstract

This thesis examines the application of Statistical Process Control (SPC) in a nut packaging facility, using the p-chart as the primary tool. The purpose of the study is to investigate the stability and reliability of the production process, to identify any deviations from quality specifications, and to facilitate decision-making for process improvement.

The first chapter introduces the basic concepts of quality, its constituent dimensions, and the role of Statistical Process Control (SPC) in ensuring and continuously improving industrial processes. At the same time, the fundamental principles of statistical control are analyzed, and the role of continuous process monitoring for the timely detection of deviations from established specifications is highlighted. The second chapter examines the theoretical approach to attribute control charts, with an emphasis on the p-chart, its mathematical basis, and how to interpret the results obtained from its application. The third chapter describes the structure and operation of the production facility, the packaging equipment, and the factors that influence the occurrence of defects in the final products. The fourth chapter, presents the analysis of the collected data, and the results are interpreted with the aim of identifying potential deviations and categorizing defective units. The fifth chapter presents an analysis and evaluation of the production process, as well as comparison of the theoretical principles of Statistical Process Control and methods for improving the production process. Finally, the sixth chapter presents the main conclusions of the study, as well as the benefits resulting from the application of the p-chart. Furthermore, recommendations are made for process improvement and more effective quality monitoring through modern digital production management tools.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract	v
Κατάλογος Εικόνων/Σχημάτων	ix
Κατάλογος Πινάκων	x
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xi
Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
1.1 Η έννοια της Ποιότητας και οι Διαστάσεις της	1
1.2 Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας	2
1.2.1 Ιστορική Αναδρομή	3
1.3 Συνιστώσες του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας	4
1.3.1 Δράση και Διαδικασία του ΣΕΔ	5
1.4 Όρια Ελέγχου	8
1.4.1 Φάσεις I και II	10
2. Το Διάγραμμα P	12
2.1 Εισαγωγή στο διάγραμμα P	12
2.2 Σύγκριση του Διαγράμματος p με άλλα Διαγράμματα Ελέγχου	14
2.2.1 Σύγκριση p -chart και np -chart	15
2.2.2 Σύγκριση p -chart και EWMA	17
2.2.3 Σύγκριση p -chart και Laney p'	19
2.3 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί του διαγράμματος p	20
2.3.1 Τα Πλεονεκτήματα του διαγράμματος p	21
2.3.2 Οι Περιορισμοί του διαγράμματος p	22
2.4 Εφαρμογή διαγράμματος p στην βιομηχανία τροφίμων	23
3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	25
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ	25
3.2 Συλλογή δεδομένων για τον ποιοτικό έλεγχο	30
3.2.1 Ρόλος και λειτουργία του τμήματος ποιοτικού ελέγχου	32
4. Ανάλυση διεργασίας με χρήση διαγράμματος ελέγχου p	35
4.1 Εισαγωγή στα δεδομένα	35

4.2 Κατασκευή διαγράμματος ελέγχου p	38
4.2.1 Υπολογισμός κεντρικής γραμμής (CL).....	39
4.2.2 Υπολογισμός ορίων ελέγχου (UCL, LCL) με κανόνα 3σ	40
4.2.3 Μέτρο απόδοσης διαγραμμάτων ελέγχου (ARL).....	42
4.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων	43
4.4 Προτάσεις βελτίωσης της διεργασίας	59
4.5 Σύγκριση διαγραμμάτων ελέγχου p και EWMA.....	61
5. Ερμηνεία και αξιολόγηση της παραγωγικής διεργασίας.....	70
5.1 Σύγκριση θεωρητικών αρχών Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών	70
5.2 Επιπτώσεις στη συνολική ποιότητα και αξιοπιστία παραγωγής	72
6 Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας.....	75
6.1 Κύρια Συμπεράσματα	75
6.2 Οφέλη από την εφαρμογή του διαγράμματος p	76
6.3 Σύστημα ψηφιακής παρακολούθησης παραγωγής Enocon.....	78
6.3.1 Μέθοδοι βελτίωσης της παραγωγικής διεργασίας.....	83
6.3.2 Σύνδεση του συστήματος Enocon με τα διαγράμματα ελέγχου	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89
Παράρτημα Α: Συντελεστές για τα Διαγράμματα Ελέγχου (Montgomery, 2013).....	93
Παράρτημα Β: Έλεγχος Κανονικότητας.....	94

Κατάλογος Εικόνων/Σχημάτων

Εικόνα 1 Οι βασικές διαστάσεις της ποιότητας

Εικόνα 2 Οι Φάσεις της Διαδικασίας Παραγωγής

Εικόνα 3 Ενδεικτικό διάγραμμα ελέγχου τύπου

Εικόνα 4 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο1

Εικόνα 5 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο2

Εικόνα 6 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο3

Εικόνα 7 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο4

Εικόνα 8 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο5

Εικόνα 9 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο6

Εικόνα 10 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο7

Εικόνα 11 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο1

Εικόνα 12 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο2

Εικόνα 13 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο3

Εικόνα 14 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο4

Εικόνα 15 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο5

Εικόνα 16 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο6

Εικόνα 17 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο7

Εικόνα 18 Σύστημα Evocon

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Υπολογισμός Ορίων Ελέγχου

Πίνακας 2 Όρια Ελέγχου np chart

Πίνακας 3 Όρια Ελέγχου διαγράμματος EWMA

Πίνακας 4 Συσκευαστική μηχανή Νο1

Πίνακας 5 Συσκευαστική μηχανή Νο2

Πίνακας 6 Συσκευαστική μηχανή Νο3

Πίνακας 7 Συσκευαστική μηχανή Νο4

Πίνακας 8 Συσκευαστική μηχανή Νο5

Πίνακας 9 Συσκευαστική μηχανή Νο6

Πίνακας 10 Συσκευαστική μηχανή Νο7

Πίνακας 11 Παράμετροι σχεδιασμού EWMA και τιμές ARL_0

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

AOE Άνω Όριο Ελέγχου

UCL Upper Control Limit

KOE Κάτω Όριο Ελέγχου

LCL Lower Control Limit

CL Κεντρική Γραμμή

ERP Enterprise Resource Planning

EWMA Exponentially Weighted Moving Range

PDCA Plan-Do-Check-Act

ΣΕΠ Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας

SPC Statistical Process Control

ΣΕΔ Στατιστικός Έλεγχος διεργασιών

ERP Enterprise Resource Planning

ARL Average Run Length

OEE Overall Equipment Effectiveness

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Η έννοια της Ποιότητας και οι Διαστάσεις της

Ο όρος της ποιότητας είναι μια έννοια με πολλές διαστάσεις, η οποία έχει απασχολήσει σε βάθος τις επιχειρήσεις, τον ακαδημαϊκό χώρο και τους καταναλωτές. Στον τομέα των τροφίμων, η ποιότητα έχει άμεση σχέση με το σύνολο των χαρακτηριστικών που αξιολογούν οι βιομηχανίες και οι καταναλωτές επηρεάζοντας όχι μόνο τη γεύση και την εμφάνιση, αλλά και την αξία του προϊόντος σε όλα τα στάδια παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης. Παρ' όλα αυτά, η ποιότητα δεν περιορίζεται στα χαρακτηριστικά που αντιλαμβάνονται με τις ανθρώπινες αισθήσεις, περιλαμβάνει όμως μικροβιολογικούς, φυσικούς και χημικούς παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα, τη διάρκεια ζωής και τη συμμόρφωση του τροφίμου με τη νομοθεσία. Η αντίληψη της ποιότητας έχει εξελιχθεί παράλληλα με τις βιομηχανικές και τεχνολογικές εξελίξεις. Στη σύγχρονη εποχή, αποτελεί το αποτέλεσμα μιας οργανωμένης σειράς ενεργειών που ξεκινούν από την κατάλληλη επιλογή πρώτων υλών και συνεχίζουν σε κάθε στάδιο παραγωγής, συσκευασίας και αποθήκευσης. Η ποιότητα δεν εξαρτάται μόνο από χημικές και φυσικές ιδιότητες, αλλά και από τον τρόπο οργάνωσης της παραγωγής, τις μεθόδους ελέγχου που εφαρμόζονται και την εκπαίδευση του προσωπικού. Συμπερασματικά, η διασφάλιση της ποιότητας απαιτεί σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές και κατάρτιση προσωπικού, ενώ επηρεάζει άμεσα την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων, την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και την συμμόρφωση με τα πρότυπα ποιότητας (Yang, Zhao, & He, 2019).

Η ποιότητα επίσης περιλαμβάνει κάποιες επιμέρους διαστάσεις που την συνθέτουν. Σύμφωνα με το άρθρο του (Fasko, 2023), παρουσιάζονται οι 8 βασικές διαστάσεις της ποιότητας που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Απόδοση	Το προϊόν εκτελεί τη βασική λειτουργία για την οποία προορίζεται, δηλαδή λειτουργεί με αποτελεσματικό και σωστό τρόπο.
Χαρακτηριστικά	Είναι συμπληρωματικό με το στάδιο της απόδοσης καθώς περιλαμβάνει πρόσθετες λειτουργίες, οι οποίες αναβαθμίζουν την αξία που προσφέρει ένα προϊόν ή μια υπηρεσία.
Αξιοπιστία	Αποδεικνύει αν το προϊόν εμφανίσει κάποια βλάβη κατά την λειτουργία του ή σταματήσει να λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο διάστημα.
Συμμόρφωση	Εξετάζει αν το προϊόν πληροί τις προδιαγραφές που ορίζει η νομοθεσία.
Διάρκεια	Παρουσιάζει στο προϊόν πόσο λειτουργικό χρόνο του απομένει μέχρι να χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση του.
Επισκευή	Αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να αποκατασταθεί μια βλάβη σε ένα προϊόν.
Αισθητική	Αφορά τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει τον καταναλωτή (π.χ. χρώμα, σχήμα) και παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή των προϊόντων.
Αντιλαμβανόμενη ποιότητα	Η συνολική εικόνα που αποκτά ο καταναλωτής για ένα προϊόν, η οποία επηρεάζεται από υποκειμενικούς παράγοντες (φήμη επιχείρησης).

Εικόνα 1 Οι βασικές διαστάσεις της ποιότητας

1.2 Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας

Ο Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας (ΣΕΠ) αποτελεί ένα οργανωμένο πλαίσιο τεχνικών και στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί, να βελτιωθεί και να παρακολουθηθεί η ποιότητα των παραγωγικών διαδικασιών. Η κεντρική του ιδέα στηρίζεται στη συστηματική συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τη διαδικασία παραγωγής, με κύριο στόχο την αποτροπή εμφάνισης ελαττωματικών προϊόντων, την αναγνώριση αποκλίσεων από τις προδιαγραφές, τον

προσδιορισμό αιτιών μεταβλητότητας και τη συνεχή αναβάθμιση της αποδοτικότητας της παραγωγής. Ο ΣΕΠ δεν περιορίζεται μόνο στην τελική επιθεώρηση του προϊόντος, αλλά εφαρμόζεται σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας που τον διέπουν. Με αυτόν τον τρόπο, διευκολύνεται ο έγκαιρος εντοπισμός προβλημάτων και η λήψη διορθωτικών μέτρων πριν παραχθούν ελαττωματικά προϊόντα ή υπηρεσίες (Siegel, 2012).

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ιδέα της ποιότητας υπήρχε ήδη από τις πρώτες μορφές χειροποίητης παραγωγής, όπου ο τεχνίτης είχε άμεση ευθύνη για το αποτέλεσμα της δουλειάς του (Montgomery & Runger, 2020). Με τη Βιομηχανική Επανάσταση (τέλη 18^{ου} – αρχές 19^{ου} αιώνα), η παραγωγή άρχισε να εξελίσσεται σε ευρεία κλίμακα, με αποτέλεσμα ο έλεγχος της ποιότητας να μετατοπιστεί από το άτομο στα οργανωμένα συστήματα παραγωγής. Σε αυτό το νέο περιβάλλον, οι παραδοσιακοί τρόποι επιθεώρησης δεν ήταν πλέον αρκετοί (Ziegel, 1990). Έτσι προέκυψε η ανάγκη για πιο αντικειμενικές, ποσοτικά μετρήσιμες και προβλέψιμες προσεγγίσεις. Με αυτόν τον τρόπο, τέθηκαν τα θεμέλια για τον στατιστικό έλεγχο ποιότητας.

Ένα καθοριστικό σημείο στην εξέλιξη της ποιότητας σημειώθηκε το 1924, όταν ο Walter A. Shewhart, μηχανικός στα Bell Telephone Laboratories, εισήγαγε το πρώτο διάγραμμα ελέγχου (control chart). Το διάγραμμα αυτό δεν ήταν απλώς μια γραφική παρουσίαση μετρήσεων, αλλά ένα εργαλείο βασισμένο στη θεωρία των πιθανοτήτων, που ξεχώριζε δύο μορφές μεταβλητότητας στην παραγωγή:

- Common-cause variation: φυσική ή τυχαία μεταβολή
- Special-cause variation: μεταβολή που προκαλείται από συγκεκριμένες αιτίες ή δυσλειτουργίες

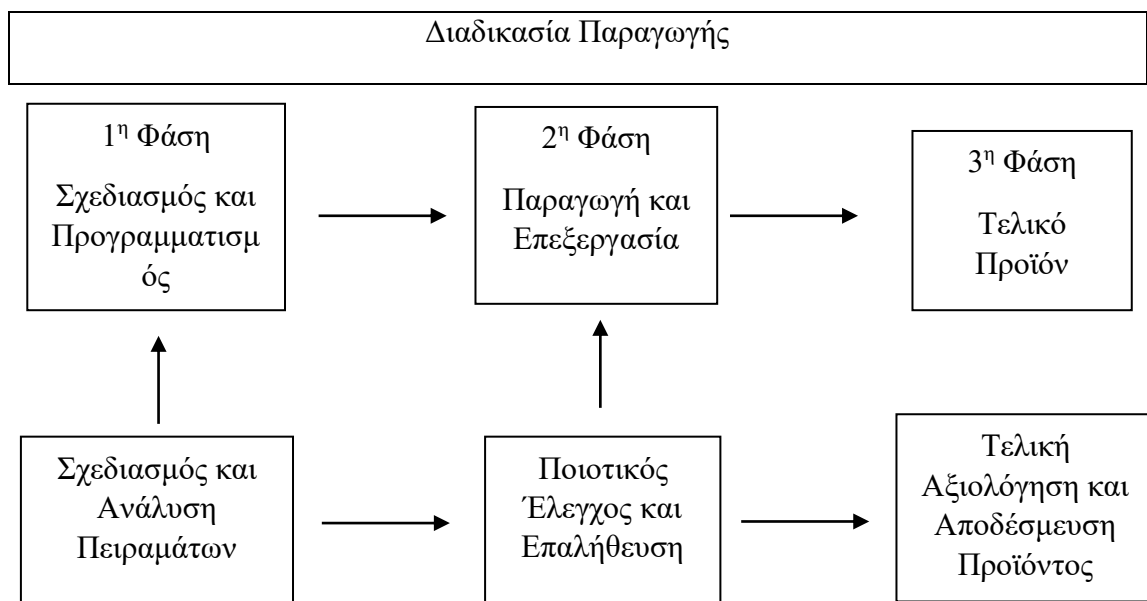
Σύμφωνα με τον Bradford & Miranti (2019), ο Shewhart δεν αντιμετώπιζε το διάγραμμα ελέγχου μόνο ως στατιστική μέθοδο, αλλά ως έναν νέο τρόπο σκέψης για τη διαχείριση και τον έλεγχο των βιομηχανικών διαδικασιών. Επηρεάστηκε από τη βιομηχανική κουλτούρα της εποχής και την αναπτυσσόμενη επιστήμη της πληροφορίας. Η δουλειά του ολοκληρώθηκε με την έκδοση του βιβλίου

<<“*Economic Control of Quality of Manufactured Product*”>> (1931), το οποίο θεωρείται βασικό έργο για την ιστορία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας.

1.3 Συνιστώσες του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας

Ο Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας αποτελείται από ένα σύνολο στατιστικών μεθόδων για την ανάλυση δεδομένων. Το σύνολο αυτό μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές κατηγορίες, καθεμιά από τις οποίες περιλαμβάνει εργαλεία που εφαρμόζονται σε διαφορετικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (Montgomery & Runger, 2020). Οι τρεις αυτές κατηγορίες είναι:

- Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών (Statistical Process Control)
- Σχεδιασμός και Ανάλυση Πειραμάτων (Design of Experiments)
- Δειγματοληψία Αποδοχής (Acceptance Sampling)



Εικόνα 2 Οι Φάσεις της Διαδικασίας Παραγωγής

Η παραγωγική διαδικασία μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά στάδια: τον σχεδιασμό και προγραμματισμό του προϊόντος, την ίδια την παραγωγή και

επεξεργασία και το τελικό αποτέλεσμα. Στο αρχικό στάδιο, κατά τον σχεδιασμό και προγραμματισμό, αξιοποιούνται μεθοδολογίες που βοηθούν στη διερεύνηση των παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν τα κρίσιμα χαρακτηριστικά του προϊόντος. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, καθίσταται δυνατή η βελτίωση τόσο του προϊόντος όσο και της ίδιας της παραγωγικής διαδικασίας. Στα επόμενα στάδια, όπου πραγματοποιείται η παραγωγή και ο έλεγχος ποιότητας, σημαντικό ρόλο έχει ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών (Αντζουλάκος, 2009).

Ο ΣΕΔ αποτελεί ένα σύνολο εργαλείων και τεχνικών που στοχεύουν στον έλεγχο, στην παρακολούθηση, και τη σταθεροποίηση μίας παραγωγικής λειτουργίας. Χάρη στον ΣΕΔ, είναι εφικτό να αναγνωρίζονται έγκαιρα ειδικές αιτίες μεταβλητότητας, δηλαδή μη φυσιολογικές αποκλίσεις από την κανονική λειτουργία, ώστε να εφαρμοστούν άμεσα διορθωτικές ενέργειες πριν αυτές επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Montgomery & Runger, 2020).

Επιπλέον ένα βασικό στοιχείο του ΣΕΔ είναι τα επτά θεμελιώδη εργαλεία ποιότητας που περιλαμβάνει τα οποία είναι:

1. Το Διάγραμμα Pareto
2. Το Διάγραμμα Αιτίου-Αποτελέσματος
3. Το Ιστόγραμμα
4. Το Διάγραμμα Ελέγχου
5. Το Διάγραμμα Διασποράς
6. Το Φύλλο Ελέγχου
7. Το Διάγραμμα Διασποράς

Τα εργαλεία αυτά χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των δεδομένων, τον εντοπισμό προβλημάτων και τη λήψη αποφάσεων βελτίωσης (George et al., 2018).

1.3.1 Δράση και Διαδικασία του ΣΕΔ

Ο ΣΕΔ αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές του ΣΕΠ, καθώς έχει εφαρμογή στον τομέα της μεταποίησης. Χρησιμοποιείται με σκοπό την αύξηση του κέρδους μιας επιχείρησης, διότι μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία και τη ποιότητα

των προϊόντων σε μια γραμμή παραγωγής. Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται είναι ότι κάθε διεργασία παρουσιάζει ένα βαθμό φυσικής μεταβλητότητας. Η μεταβλητότητα αυτή μπορεί να καταγραφεί, να αναλυθεί και να ελεγχθεί μέσω στατιστικών εργαλείων, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο σε μια επιχείρηση να κατανοήσει με πιο αποτελεσματικό τρόπο τη συμπεριφορά της διαδικασίας και να περιορίσει τις ανεπιθύμητες αποκλίσεις. Με τη συστηματική συγκέντρωση και ανάλυση πληροφοριών, ο ΣΕΔ επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό τάσεων ή αποκλίσεων που μπορεί να σηματοδοτούν την εμφάνιση προβλημάτων. Αυτό οδηγεί σε περιορισμό των ελαττωματικών προϊόντων και παράλληλα σε μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής. Η εφαρμογή του ΣΕΔ δεν αφορά μόνο τη χρήση ορισμένων στατιστικών εργαλείων, αλλά αποτελεί μια δομημένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση που απαιτεί συνεργασία, σωστό συντονισμό, ενεργή συμμετοχή του προσωπικού και διαρκή εκπαίδευση (Purba et al., 2021).

Η διαδικασία του ΣΕΔ μπορεί να οργανωθεί σε πέντε βασικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, κρίνεται αναγκαίο να προσδιοριστούν τα κύρια χαρακτηριστικά της παραγωγικής διαδικασίας, και να γίνει κατανόηση στο προσωπικό για τις βασικές αρχές του ΣΕΔ με αποτέλεσμα η ποιότητα του τελικού προϊόντος να βασίζεται σε έγκυρα δεδομένα και όχι υποθέσεις. Για παράδειγμα, σε μια μονάδα εμφιάλωσης ποτών, κρίσιμες παράμετροι μπορεί να είναι το βάρος ή ο όγκος. Η επιλογή αυτών των μεταβλητών πρέπει να ευθυγραμμίζεται με τις απαιτήσεις των πελατών και τις τεχνικές προδιαγραφές του προϊόντος (Does et al., 1997).

Το δεύτερο στάδιο αποτελεί τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, οι οποίες είναι απαραίτητο να είναι έγκυρες και αντιπροσωπευτικές με την διεργασία. Η ακρίβεια των συμπερασμάτων εξαρτάται άμεσα από την ορθότητα της δειγματοληψίας, γι' αυτό εφαρμόζονται μέθοδοι που διασφαλίζουν την στατιστική αξιοπιστία των δειγμάτων. Τα δεδομένα μπορεί να έχουν μορφή συνεχών τιμών (π.χ. βάρος, μέγεθος) ή διακριτών κατηγοριών (π.χ. αποδεκτό/μη αποδεκτό προϊόν). Η στατιστική επεξεργασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό μέτρων κεντρικής τάσης και διακύμανσης, τα δεδομένα που θα συλλεχθούν και τη διαδικασία, η οποία αποτελεί τη βάση για την κατασκευή διαγραμμάτων ελέγχου (de Toledo et al., 2016).

Στο τρίτο στάδιο γίνεται η επιλογή του κατάλληλου διαγράμματος. Σε αυτό το σημείο, γίνεται η επιλογή του πιο κατάλληλου διαγράμματος ελέγχου (control charts), ανάλογα με τη φύση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί. Στην περίπτωση συνεχών δεδομένων εφαρμόζονται τα διαγράμματα:

- $\bar{X} - R$ και $\bar{X} - S$ charts που χρησιμοποιούνται για συνεχή δεδομένα.
- Τα p και np charts που εφαρμόζονται όταν εξετάζονται ποσοστά ή αριθμός ελαττωματικών μονάδων.
- Τα c και u charts που επιλέγονται για την καταγραφή του πλήθους ελαττωμάτων ανά μονάδα προϊόντος.

Η σωστή επιλογή του κατάλληλου διαγράμματος είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς καθορίζει την ικανότητα του συστήματος να ανιχνεύει εγκαίρως μη φυσιολογικές αποκλίσεις στην παραγωγική διεργασία. Στα σύγχρονα, αυτοματοποιημένα και ψηφιακά περιβάλλοντα παραγωγής, η παρακολούθηση γίνεται μέσω «SPC dashboards», τα οποία συλλέγουν και προβάλλουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας την έγκαιρη λήψη αποφάσεων (Martino & Drei, 2019).

Το τέταρτο στάδιο περιλαμβάνει την ανάλυση και την ερμηνεία των διαγραμμάτων. Σε αυτό το στάδιο εξετάζεται η λειτουργία της διεργασίας με βάση τα καθορισμένα όρια ελέγχου. Μια διεργασία θεωρείται ότι βρίσκεται υπό έλεγχο (under control) όταν οι τιμές των μετρήσεων παραμένουν εντός των ορίων ελέγχου ($UCL - LCL$) και δεν παρουσιάζουν συστηματικές τάσεις ή ασυνήθιστες μεταβολές όπως είναι:

- Επαναλαμβανόμενες μορφές ή κυκλικές συμπεριφορές.
- Συνεχώς αυξανόμενη ή μειούμενη τάση.
- Πολλές διαδοχικές τιμές συγκεντρωμένες πάνω ή κάτω από τον μέσο όρο.

Εάν εντοπιστούν τέτοια μοτίβα, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν οι πιθανές ειδικές αιτίες που προκαλούν την απόκλιση, ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα (de Toledo et al., 2016).

Το πέμπτο και τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την αντίδραση και τη συνεχή βελτίωση. Ο ΣΕΔ σε αυτό το στάδιο δεν περιορίζεται στην ανίχνευση προβλημάτων,

αλλά επικεντρώνεται στη λήψη διορθωτικών ενεργειών και στη συνεχή βελτίωση της διεργασίας. Όταν εμφανιστεί μια απόκλιση από τα φυσιολογικά όρια, η ομάδα ποιότητας πρέπει να:

- Προσδιορίσει την αιτία του προβλήματος, είτε αυτό προκύπτει από ανθρώπινο λάθος είτε από περιβαλλοντικό παράγοντα.
- Εφαρμόσει τις απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες για την αποκατάσταση της σταθερότητας.
- Επαναξιολογήσει τη διεργασία μετά την εφαρμογή των αλλαγών, ώστε να επαληθεύσει ότι οι αλλαγές ήταν αποτελεσματικές.

Σύμφωνα με τον (Deming, 1986) αυτό το στάδιο σχετίζεται άμεσα με τη φιλοσοφία PDCA (Plan-Do-Check-Act), επισημαίνοντας ότι ο ΣΕΠ δεν είναι στατιστικό εργαλείο, αλλά ένα δυναμικό σύστημα συνεχούς μάθησης και βελτίωσης.

1.4 Όρια Ελέγχου

Τα όρια ελέγχου (control limits) αποτελούν ένα από τα βασικότερα μέσα του ΣΕΔ, καθώς επιτρέπουν την αξιολόγηση του κατά πόσο μια διαδικασία λειτουργεί με σταθερό και προβλέψιμο τρόπο ή αν έχει επηρεαστεί από ασυνήθιστες μεταβολές. Ουσιαστικά, τα όρια αυτά αντιπροσωπεύουν περιοχές εμπιστοσύνης μέσα στις οποίες αναμένεται να κυμαίνονται οι τιμές των μετρήσεων μιας διεργασίας που βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο, λαμβάνοντας υπόψη το φυσικό επίπεδο μεταβλητότητας της. Όταν οι καταγραφές παραμένουν εντός αυτού του εύρους, η διεργασία θεωρείται στατιστικά ελεγχόμενη. Αντιθέτως, τιμές που υπερβαίνουν τα καθορισμένα όρια συνήθως υποδηλώνουν την ύπαρξη ειδικών αιτιών μεταβλητότητας, οι οποίες απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Επομένως, τα όρια ελέγχου λειτουργούν ως μηχανισμός έγκαιρου εντοπισμού και πρόληψης σφαλμάτων, καθώς εντοπίζουν τις πιθανές αποκλίσεις πριν αυτές εξελιχθούν σε προβλήματα ποιότητας. Ο υπολογισμός των ορίων ελέγχου στηρίζεται στη στατιστική συμπεριφορά των δεδομένων που προέρχονται από τη διεργασία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα όρια αυτά

υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο ($\bar{X}$) και την τυπική απόκλιση (σ) της υπό παρακολούθηση μεταβλητής, σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$UCL = \bar{X} + 3\sigma \quad [1]$$

$$LCL = \bar{X} - 3\sigma \quad [2]$$

Σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα αφορούν ποσοστά μη συμμορφούμενων ή ελαττωματικών προϊόντων, ο προσδιορισμός των ορίων ελέγχου βασίζεται στη μέση αναλογία ελαττωματικών ($\bar{p}$) και στο μέγεθος του δείγματος (n). Το p -διάγραμμα στηρίζεται θεωρητικά στη διωνυμική κατανομή, η οποία για μεγάλα μεγέθη δειγμάτων μπορεί να προσεγγιστεί με την κανονική κατανομή. Υπό αυτή τη θεωρία, τα όρια ελέγχου υπολογίζονται σύμφωνα με τις καθιερωμένες εξισώσεις που προτείνουν οι (Cheng & Wang, 2023):

$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
$CL = \bar{p}$
$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$

Πίνακας 1 Πίνακας Ορίων Ελέγχου

Εάν το LCL υπολογιστεί αρνητικό, τίθεται ίσο με 0, σύμφωνα με τον κανόνα των p -charts. Η επιλογή του διαστήματος ± 3 τυπικών αποκλίσεων δεν είναι τυχαία σε δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή, ποσοστό περίπου 99,73% των παρατηρήσεων αναμένεται να βρίσκεται εντός αυτού του εύρους. Συνεπώς, τιμές εκτός των ορίων θεωρούνται στατιστικά ασυνήθιστες ή αποτέλεσμα ειδικών αιτιών μεταβλητότητας (Tegegne et al., 2022).

Ωστόσο, όπως αναφέρει ο (Etgar, 2013) επισημαίνεται ότι σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, τα δεδομένα συχνά στρογγυλοποιούνται λόγω περιορισμών μέτρησης ή τεχνολογικών ιδιαιτεροτήτων των συσκευών, γεγονός που μπορεί να αλλοιώσει τη μορφή της κατανομής και να μειώσει την ακρίβεια των ορίων ελέγχου. Για τον λόγο

αυτό, προτείνει μια διορθωτική προσέγγιση για τον υπολογισμό των ορίων, με στόχο τη διατήρηση της ευαισθησίας του διαγράμματος Shewhart.

Παράλληλα οι (Chen et al., 2023) μελέτησαν τον τρόπο εκτίμησης των ορίων ελέγχου κατά την Φάση I, δηλαδή στο στάδιο της αρχικής συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, εφόσον το διαθέσιμο δείγμα είναι περιορισμένο ή όταν παρατηρείται υπερδιάχυση. Η έρευνα τους επικεντρώνεται στο διάγραμμα «Laney p' », το οποίο αποτελεί μια εξελιγμένη εκδοχή του κλασικού p -chart, στην οποία ενσωματώνονται διορθώσεις για μεταβαλλόμενα μεγέθη δειγμάτων και αποκλίσεις στη διασπορά. Το διάγραμμα αυτό διορθώνει τα όρια ελέγχου όταν υπάρχει υπερδιασπορά στα δεδομένα, με αποτέλεσμα να αποτυπώνουν πιο ρεαλιστικά όρια και μειωμένη πιθανότητα εμφάνισης ψευδών συναγερμών.

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Sałaciński (2023) επισημαίνεται ότι σε δυναμικά και αυτοματοποιημένα περιβάλλοντα παραγωγής, τα σταθερά όρια ελέγχου δεν επαρκούν. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η χρήση διαγραμμάτων με μεταβαλλόμενες παραμέτρους, όπου τα όρια προσαρμόζονται δυναμικά σε πραγματικό χρόνο, ανάλογα με τη μεταβλητότητα μιας παραγωγικής διαδικασίας και το μέγεθος του δείγματος. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την ανταπόκριση του ΣΕΔ σε μεταβαλλόμενες συνθήκες και βελτιώνει την ακρίβεια της παρακολούθησης.

1.4.1 Φάσεις I και II

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αφού γίνει ο υπολογισμός των ορίων ελέγχου, χωρίζεται έπειτα η εφαρμογή του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών σε δύο διακριτά στάδια, γνωστά ως Φάση I και Φάση II. Στην Φάση I, ο κύριος σκοπός είναι η ανάλυση προκαταρκτικών ή ιστορικών δεδομένων, προκειμένου να καθοριστούν οι βασικές στατιστικές παράμετροι της διεργασίας, όπως είναι ο μέσος όρος και η διακύμανση. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης πραγματοποιείται ο εντοπισμός πιθανών σημείων εκτός ελέγχου και η εκκαθάριση των δεδομένων από σφάλματα. Τα όρια ελέγχου που προκύπτουν από την Φάση I αξιοποιούνται στη Φάση II όπου πραγματοποιείται συνεχής παρακολούθηση της διεργασίας σε πραγματικό χρόνο. Εάν κάποια παρατήρηση υπερβεί τα όρια ελέγχου, τότε απαιτείται διερεύνηση των αιτιών

και λήψη διορθωτικών ενεργειών, με κύριο σκοπό την αποκατάσταση της σταθερότητας στην παραγωγική διεργασία (Jones-Farmer et al., 2014).

Η Φάση I έχει αναδρομικό χαρακτήρα και στοχεύει στην αξιολόγηση της σταθερότητας της διεργασίας, ενώ η Φάση II είναι προληπτική και εστιάζει στη συνεχή εποπτεία και διατήρηση του ελέγχου. Όπως επισημαίνει ο (Chakraborti, 2008) η ακρίβεια των ορίων που υπολογίζονται στη πρώτη φάση επηρεάζουν άμεσα την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της δεύτερης, καθώς λανθασμένες αρχικές εκτιμήσεις ενδέχεται να οδηγήσουν σε ψεύτικες ενδείξεις εκτός ελέγχου. Τέλος, οι αποκλίσεις που εντοπίζονται κατά την Φάση II παρέχουν ανατροφοδότηση προς τη Φάση I, επιτρέποντας την επανεκτίμηση των ορίων και τη βελτίωση της διεργασίας στο πλαίσιο ενός κυκλικού μηχανισμού διαρκούς αναβάθμισης της ποιότητας.

2. Το Διάγραμμα P

2.1 Εισαγωγή στο διάγραμμα P

Το διάγραμμα p (p chart) αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία του ΣΕΔ και εντάσσεται στην κατηγορία των διαγραμμάτων ελέγχου για ποιοτικά χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το εξεταζόμενο χαρακτηριστικό είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθεί δυαδικά, δηλαδή κάθε μονάδα παραγωγής χαρακτηρίζεται είτε ως συμμορφούμενη (καλή) είτε ως μη συμμορφούμενη (ελαττωματική). Η κεντρική αρχή του διαγράμματος p βασίζεται στην παρακολούθηση της αναλογίας των μη συμμορφούμενων προϊόντων σε διαδοχικά δείγματα της παραγωγικής διαδικασίας. Όπως επισημαίνουν οι Montgomery & Runger, 2020, η χρήση των διαγραμμάτων p επιτρέπει στους μηχανικούς ποιότητας να εντοπίζουν εγκαίρως αν η παραγωγική διεργασία παρεκκλίνει από τη στατιστική της σταθερότητα, διευκολύνοντας έτσι την άμεση ανίχνευση και αντιμετώπιση προβλημάτων.

Η θεωρητική θεμελίωση του διαγράμματος p έχει ως βάση τη διωνυμική κατανομή, καθώς κάθε μονάδα που παρατηρείται μπορεί να θεωρηθεί ως ανεξάρτητη δοκιμή τύπου Bernoulli, με πιθανότητα αποτυχίας p, δηλαδή πιθανότητα η μονάδα να είναι μη συμμορφούμενη. Για παράδειγμα, αν σε ένα δείγμα μεγέθους n, εντοπιστούν d μη συμμορφούμενες μονάδες, τότε η εκτιμώμενη πιθανότητα μη συμμόρφωσης υπολογίζεται ως:

$$\hat{p} = \frac{d}{n} [3]$$

δεδομένου ότι ο αριθμός των ελαττωματικών μονάδων (d) ακολουθεί διωνυμική κατανομή. Η μέση τιμή και η διασπορά της εκτιμήτριας $\hat{p}$ περιγράφονται από τις σχέσεις:

$$E(\hat{p}) = p, \text{Var}(\hat{p}) = \frac{p(1-p)}{n} [4]$$

Όταν το μέγεθος του δείγματος είναι επαρκώς μεγάλο (συνήθως $n > 30$), η διωνυμική κατανομή δύναται να προσεγγιστεί αποτελεσματικά από την κανονική κατανομή. Με βάση την προσέγγιση αυτή, καθίσταται εφικτή η εφαρμογή του κανόνα των ± 3 τυπικών αποκλίσεων (σ) για τον προσδιορισμό των ορίων ελέγχου στο διάγραμμα p . Ωστόσο, δεδομένου ότι η πραγματική τιμή της παραμέτρου p δεν είναι προκαθορισμένη, απαιτείται η εκτίμησή της μέσω ιστορικών δεδομένων που προέρχονται από τη λειτουργία της διεργασίας. Εάν υπάρχουν m δείγματα (ή υποομάδες), καθεμία από τις οποίες έχει μέγεθος n_i και περιλαμβάνει d_i ελαττωματικές μονάδες, τότε η εκτιμώμενη συνολική πιθανότητα μη συμμόρφωσης προκύπτει από τη σχέση:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sum_{i=1}^m n_i} [5]$$

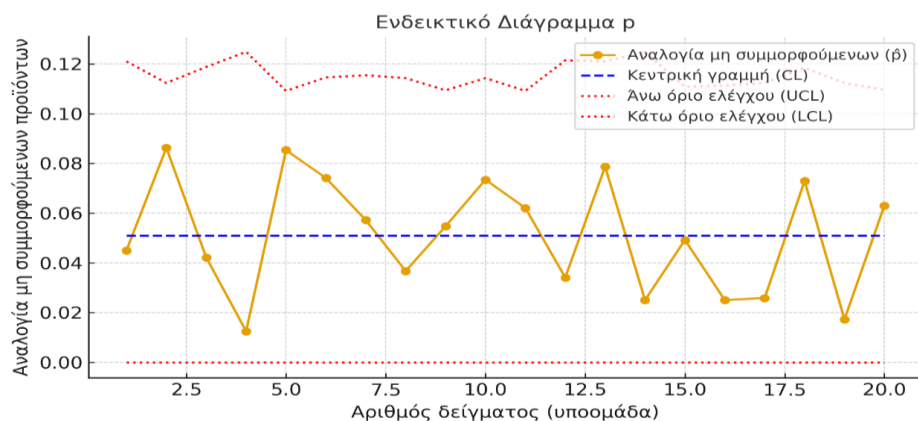
Με βάση αυτή την εκτίμηση, τα όρια ελέγχου για κάθε δείγμα i μεγέθους n_i προσδιορίζονται ως εξής:

$$UCL_i = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} [6]$$

$$CL = \bar{p} [7]$$

$$LCL_i = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} [8]$$

Εάν η τιμή του κατώτερου ορίου ελέγχου (LCL) υπολογιστεί ως αρνητική, τότε τίθεται ίση με μηδέν, δεδομένου ότι η αναλογία ελαττωματικών μονάδων δεν μπορεί να λάβει αρνητική τιμή. Για την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής των εξισώσεων που αναφέρθηκαν, στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα ελέγχου τύπου p – chart. Το συγκεκριμένο διάγραμμα απεικονίζει τη μεταβολή της αναλογίας μη συμμορφούμενων προϊόντων ($\hat{p}$) σε διαδοχικά δείγματα της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς και τις αντίστοιχες γραμμές ελέγχου, όπου είναι η Κεντρική γραμμή (CL), το Άνω Όριο Ελέγχου (UCL), και το Κάτω Όριο Ελέγχου (LCL) όπως προκύπτουν από τους τύπους που παρουσιάστηκαν (Ryan, 2011).



Εικόνα 4 Ενδεικτικό διάγραμμα ελέγχου τύπου

2.2 Σύγκριση του Διαγράμματος p με άλλα Διαγράμματα Ελέγχου

Ο Στατιστικός Έλεγχος Διεργασιών έχει γνωρίσει σημαντική εξέλιξη τα τελευταία χρόνια παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα διαγραμμάτων ελέγχου, τα οποία προσαρμόζονται στο είδος των δεδομένων, στα χαρακτηριστικά της διεργασίας και στο επιθυμητό επίπεδο ακριβείας. Γενικά τα διαγράμματα ελέγχου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Διαγράμματα για μεταβλητές (variables charts), που εφαρμόζονται σε ποσοτικά δεδομένα και αφορούν μετρήσιμα χαρακτηριστικά όπως το μήκος, το βάρος και η θερμοκρασία
- Διαγράμματα για χαρακτηριστικά (attribute charts), τα οποία χρησιμοποιούνται όταν το αποτέλεσμα της μέτρησης μπορεί να ταξινομηθεί δυαδικά, δηλαδή ως «συμμορφούμενο» ή «μη συμμορφούμενο» προϊόν (Montgomery & Runger, 2020)

Το διάγραμμα p εντάσσεται στη δεύτερη κατηγορία και θεωρείται ένα από τα πιο ευέλικτα και ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία για την παρακολούθηση της αναλογίας μη συμμορφούμενων μονάδων σε μια παραγωγική μονάδα. Η ευρεία αποδοχή του οφείλεται στην απλότητα των υπολογισμών, στη δυνατότητα εφαρμογής τού σε δείγματα διαφορετικού μεγέθους, καθώς και στη σαφήνεια της ερμηνείας του από τους χρήστες στους χώρους της βιομηχανίας (Woodall et al., 2014).

Αν και το p – chart αποτελεί το κατεξοχήν αντιπροσωπευτικό διάγραμμα της κατηγορίας των χαρακτηριστικών διαγραμμάτων, στην πράξη έχουν αναπτυχθεί πολλές άλλες παραλλαγές, όπως το np , καθώς και πιο προηγμένες μορφές όπως το Laney p' και το EWMA διάγραμμα. Το EWMA διάγραμμα έχει μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα, διότι κατέχει πιο αποτελεσματικό εντοπισμό μικρών ή σταδιακών αποκλίσεων υπό συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (Montgomery & Runger, 2020).

2.2.1 Σύγκριση p -chart και np -chart

Σύμφωνα με τους Wu et al. 2009, το διάγραμμα ελέγχου τύπου np μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διάγραμμα <<attribute>> για την παρακολούθηση της μέσης τιμής μιας συνεχούς μεταβλητής, όταν η μέτρηση μεταβλητών θεωρείται δαπανηρή ή δύσκολη. Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι η υπό μελέτη μεταβλητή X ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή εντός ελέγχου μ_0 και τυπική απόκλιση σ . Στο πλαίσιο του διαγράμματος, θα καθοριστούν δύο όρια προειδοποίησης (warning limits), συμμετρικά γύρω από τη μέση τιμή:

$UWL = \mu_0 + k\sigma$
$LWL = \mu_0 - k\sigma$

Πίνακας 2 Όρια Ελέγχου np chart

όπου k είναι σταθερά που ορίζει πόσο «μακριά» από τη μέση τιμή τοποθετούνται τα όρια προειδοποίησης. Στη συνέχεια επιλέγεται ένα δείγμα σταθερού μεγέθους n και για κάθε παρατήρηση εξετάζεται αν βρίσκεται εκτός των ορίων προειδοποίησης, δηλαδή αν η τιμή της είναι μικρότερη από το κατώτερο όριο προειδοποίησης (LWL) ή μεγαλύτερη από το ανώτερο όριο προειδοποίησης (UWL). Ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων του δείγματος που βρίσκεται εκτός των ορίων προειδοποίησης συμβολίζεται με Y . Το μέγεθος αυτό αποτελεί το στατιστικό που απεικονίζεται στο διάγραμμα τύπου np , καθώς εκφράζει τον αριθμό των μη συμμορφούμενων μονάδων

ανά δείγμα. Η πιθανότητα μια τυχαία παρατήρηση να βρίσκεται εκτός των ορίων προειδοποίησης, όταν η διεργασία είναι εντός ελέγχου, δίνεται από τη σχέση:

$$p = P(X < LWL \text{ ή } X > UWL) [9]$$

Αν σε κάποιο δείγμα μεγέθους n , υπολογίζονται πόσες ποσότητες είναι εκτός ελέγχου, το Y ακολουθεί διωνυμική κατανομή με παραμέτρους n και p :

$$Y \sim \text{Binomial}(n, p)$$

Με βάση τα παραπάνω, η κεντρική γραμμή του διαγράμματος (CL) αντιστοιχεί στην αναμενόμενη τιμή του Y και δίνεται από:

$$CL = np [10]$$

Το διάγραμμα np χρησιμοποιεί μόνο Ανώτερο Όριο Ελέγχου (UCL), διότι το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην αύξηση του αριθμού των παρατηρήσεων που υπερβαίνουν τα όρια ελέγχου και δίνεται από τη σχέση:

$$UCL = np + 3 * \sqrt{np * (1 - p)} [11]$$

Τα διαγράμματα p -chart και np -chart είναι ευρέως γνωστά, διότι χρησιμοποιούνται συχνά για την παρακολούθηση δυαδικών δεδομένων ελέγχοντας τον αριθμό των συμμορφούμενων και μη συμμορφούμενων μονάδων σε δείγμα μεγέθους n . Για να δημιουργηθεί ένα διάγραμμα np -chart χρειάζονται τέσσερις βασικοί παράγοντες:

- Το μέγεθος δείγματος n_{np}
- Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο δειγματοληψιών h_{np}
- Το Άνω Όριο Ελέγχου (AOE)
- Τα δύο όρια προειδοποίησης w_l και w_u

Ένα διάγραμμα np -chart δεν απαιτεί να περιέχει το Κάτω Όριο Ελέγχου (KOE), σε αντίθεση με ένα διάγραμμα p που το προϋποθέτει. Αυτό γίνεται διότι, η λογική που βασίζεται στην κατασκευή του διαγράμματος np είναι ότι χρησιμοποιεί όρια προειδοποίησης που βρίσκονται σε ίση απόσταση γύρω από τα όρια της μέσης τιμής. Το διάγραμμα np προϋποθέτει ότι το μέγεθος δείγματος n κρίνεται απαραίτητο να είναι σταθερό, καθώς αν έχουμε μεταβλητό μέγεθος δείγματος το np -chart θα παρουσιάσει σημαντικά μειονεκτήματα και θα αυξήσει τον κίνδυνο σε ψευδές

παρατηρήσεις. Αντίθετα, ένα διάγραμμα p είναι πιο αξιόπιστο στατιστικά όταν υπάρχει μεταβλητό μέγεθος δείγματος, λόγω λειτουργικών περιορισμών των επιθεωρήσεων ή της παραγωγικής διαδικασίας. Με αυτόν τον τρόπο, η εφαρμογή του np -chart σε περιπτώσεις μεταβλητού μεγέθους μπορεί να μειώσει την ικανότητα εντοπισμού πραγματικών μεταβολών της διεργασίας, καθώς μπορεί να αλλοιώσει την αξιοπιστία του διαγράμματος ελέγχου. Επιπλέον, σύμφωνα με τους (Wu et al., 2009), ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα που παρουσιάζει το διάγραμμα np είναι ότι, παρόλο που βασίζεται σε επιθεώρηση χαρακτηριστικών, εμφανίζει πιο χαμηλή ευαισθησία στον εντοπισμό μικρών μετατοπίσεων της μέσης τιμής μιας συνεχούς μεταβλητής, σε σύγκριση με τα διαγράμματα μεταβλητών, όπως είναι το διάγραμμα $\bar{X}$. Όταν το μέγεθος του δείγματος παραμένει σταθερό, τα διαγράμματα ελέγχου p και np είναι στατιστικά ισοδύναμα, καθώς το ένα μπορεί να θεωρηθεί ως αναλογική εκδοχή του άλλου. Επομένως, η επιλογή μεταξύ διαγράμματος p και np δεν βασίζεται αποκλειστικά στη στατιστική τους απόδοση, αλλά επηρεάζεται από παραμέτρους, όπως είναι το κόστος, ο χρόνος επιθεώρησης, η σταθερότητα του μεγέθους δείγματος, καθώς και η πρακτική εφαρμοστικότητα σε μια παραγωγική διαδικασία. Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι τα διαγράμματα p και np λειτουργούν συμπληρωματικά στον στατιστικό έλεγχο διεργασιών, με το καθένα να έχει ξεχωριστές συνθήκες χρήσης.

2.2.2 Σύγκριση p -chart και EWMA

Το διάγραμμα p -chart, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αποτελεί ένα κύριο εργαλείο με σκοπό τη συστηματική παρακολούθηση της συμπεριφοράς σε μια παραγωγική διαδικασία και τον άμεσο εντοπισμό αποκλίσεων από την κατάσταση στατιστικού ελέγχου. Ωστόσο, η ανάγκη για πιο αποτελεσματική ανίχνευση μικρών μεταβολών στην απόδοση της διαδικασίας οδήγησε στην διαμόρφωση νέων προσεγγίσεων, όπως το διάγραμμα EWMA. Το διάγραμμα p έχει ως βάση τον υπολογισμό ελαττωματικών μονάδων σε κάθε δείγμα και κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματικό για την ανίχνευση απότομων αλλαγών στη μέση τιμή της αναλογίας p , κυρίως σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα είναι τύπου χαρακτηριστικών

(αποδεκτό/ελαττωματικό). Το διάγραμμα EWMA στηρίζεται κατά βάση σε μια στατιστική ποσότητα με εκθετική στάθμιση, η οποία συνδυάζει την τρέχουσα τιμή του δείγματος με δεδομένα που προέρχονται από προηγούμενες χρονικές στιγμές. Έστω ότι σε κάθε δείγμα μεγέθους n παρατηρείται η αναλογία μη συμμορφούμενων

$$p_t = \frac{d_t}{n} \quad [12]$$

όπου d_t ο αριθμός μη συμμορφούμενων μονάδων στο δείγμα t . Το στατιστικό μέγεθος που απεικονίζεται στο διάγραμμα EWMA p δεν είναι το ίδιο το p_t , αλλά ένας εκθετικά σταθμισμένος κινητός μέσος, όπου υπολογίζεται από:

$$Z_t = \lambda p_t + (1 - \lambda) * Z_{t-1} \quad [13]$$

όπου:

- Z_t είναι η τιμή EWMA στο δείγμα t ,
- λ είναι ο συντελεστής στάθμισης, με $0 < \lambda \leq 1$
- $Z_0 = \bar{p}$, η εντός ελέγχου μέση αναλογία των μη συμμορφούμενων μονάδων

Η κεντρική γραμμή (CL) του διαγράμματος δίνεται από:

$$CL = \bar{p} \quad [14]$$

Τα όρια ελέγχου του EWMA p -chart, εξαρτώνται από τη διακύμανση του EWMA στατιστικού και δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

$UCL_t = \bar{p} + L * \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} * \frac{\bar{p} * (1 - \bar{p})}{n} [1 - (1 - \lambda)^{2t}]}$
$LCL_t = \bar{p} - L * \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} * \frac{\bar{p} * (1 - \bar{p})}{n} [1 - (1 - \lambda)^{2t}]}$

Πίνακας 3 Όρια Ελέγχου διαγράμματος EWMA

Με αυτόν τον τρόπο, το διάγραμμα καταφέρνει να διατηρήσει «μνήμη» των προηγούμενων αποκλίσεων και τις συνυπολογίζει στη διαμόρφωση της τρέχουσας διεργασίας. Σύμφωνα με αυτό το χαρακτηριστικό, το EWMA παρουσιάζει σημαντικό πλεονέκτημα στην αναγνώριση μικρών μετατοπίσεων της μέσης τιμής μιας

παραμέτρου, όπως της αναλογίας p , οι οποίες υπάρχει περίπτωση να μην ανιχνευθούν σε ένα κλασικό διάγραμμα p -chart. Επιπλέον, το διάγραμμα EWMA μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιβάλλοντα με μεταβαλλόμενα μεγέθη δειγμάτων. Συμπερασματικά, το p -chart είναι αποτελεσματικό στην κατασκευή και εντοπίζει γρήγορα μεγάλες μεταβολές, ενώ το EWMA είναι πιο πολύπλοκο, αλλά ικανό στην ανίχνευση μικρών και μεσαίων μετατοπίσεων (Knoth & Steinmetz, 2012, Montgomery, 2020).

2.2.3 Σύγκριση p -chart και Laney p'

Τα διαγράμματα ελέγχου όπως το p -chart είναι ευρέως διαδεδομένα ότι χρησιμοποιούνται για την επίβλεψη των προϊόντων σε μια παραγωγική διαδικασία, με σκοπό να εντοπίζουν τυχόν αποκλίσεις από τις προδιαγραφές. Το κλασικό διάγραμμα p , στηρίζεται στη θεωρητική υπόθεση ότι η πιθανότητα εμφάνισης ελαττωματικότητας παραμένει αμετάβλητη και ότι η διακύμανση των παρατηρήσεων προέρχεται αποκλειστικά από το ενδεχόμενο της δειγματοληπτικής διαδικασίας. Η αναλογία μη συμμορφούμενων μονάδων σε κάθε δείγμα δίνεται από:

$$p = \frac{d}{n} \quad [15]$$

όπου d ο αριθμός μη συμμορφούμενων προϊόντων και n το μέγεθος του δείγματος. Η κεντρική του διαγράμματος ορίζεται ως:

$$CL = \bar{p} \quad [16]$$

ενώ τα όρια ελέγχου δεν υπολογίζονται μόνο από τη θεωρητική διακύμανση της διωνυμικής κατανομής. Εισάγεται ένας παράγοντας προσαρμογής της διασποράς σ_z , ο οποίος εκτιμά τη συνολική παρατηρούμενη μεταβλητότητα των δεδομένων. Τα όρια ελέγχου διαμορφώνονται από:

$$UCL = \bar{p} + 3\sigma_z * \sqrt{\frac{\bar{p} * (1 - \bar{p})}{n}} \quad [17]$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sigma_z * \sqrt{\frac{\bar{p} * (1 - \bar{p})}{n}} \quad [18]$$

Ωστόσο, σύμφωνα με τους (Ahsan et al., 2017), η χρήση του p chart σε βιομηχανικά σύνολα δεδομένων παρουσιάζει αδυναμίες, ειδικά όταν το μέγεθος του δείγματος είναι αρκετά υψηλό. Ως αποτέλεσμα τα όρια ελέγχου που υπολογίζει το διάγραμμα p , να είναι υπερβολικά περιορισμένα και να καταγράφεται αυξημένος αριθμός παρατηρήσεων εκτός των ορίων. Η κατάσταση αυτή μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η διεργασία δεν βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο, ενώ στην πραγματικότητα η παραγωγική διαδικασία μπορεί να είναι εντός των προδιαγραφών. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται ουσιαστικά με την υπερδιασπορά, δηλαδή με περιπτώσεις όπου η παρατηρούμενη τιμή της διακύμανσης των δεδομένων ξεπερνά τα θεωρητικά προβλεπόμενα όρια. Για να αντιμετωπιστούν οι παραπάνω περιορισμοί, κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα Laney p' ως μια προσαρμοσμένη εκδοχή του p -chart. Το διάγραμμα αυτό, σχεδιάστηκε με σκοπό να καταγράφει πλήρως τη συνολική μεταβλητότητα των δεδομένων, περιλαμβάνοντας τόσο τις διακυμάνσεις εντός των δειγμάτων, όσο και εκείνες που εμφανίζονται στις παρτίδες παραγωγής. Επίσης, το Laney p' έχει την ιδιότητα να συνυπολογίζει και την πραγματική διακύμανση που καταγράφεται στα δεδομένα με αποτέλεσμα τα όρια ελέγχου που υπολογίζει να τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση από την κεντρική γραμμή σε σύγκριση με εκείνα του διαγράμματος p , αποδίδοντας μεγαλύτερη αξιοπιστία στο στατιστικό έλεγχο. Πιο συγκεκριμένα, το Laney p' μειώνει σε σημαντικό βαθμό την πιθανότητα ψευδών συναγερμών, χωρίς να επηρεάζει αρνητικά τον εντοπισμό πραγματικών αλλαγών στη διεργασία. Συμπερασματικά, το διάγραμμα p είναι πιο αποτελεσματικό σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, στα οποία το ποσοστό μη συμμόρφωσης προκύπτει αποκλειστικά στην τυχαία φύση της δειγματοληψίας. Αντίθετα, το Laney p' προσαρμόζεται με πιο εύκολο τρόπο σε περιβάλλοντα τα οποία επηρεάζονται από πολλούς μεταβαλλόμενους παράγοντες.

2.3 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί του διαγράμματος p

Το διάγραμμα p αποτελεί ένα πρακτικό μέσο ελέγχου στο στατιστικό έλεγχο της ποιότητας και εφαρμόζεται σε παραγωγικά συστήματα όπου η εκτίμηση των προϊόντων στηρίζεται στην τήρηση συγκεκριμένων προδιαγραφών και όχι στη διαρκή μέτρηση φυσικών μεγεθών. Η χρήση του στηρίζεται σε περιβάλλοντα όπου τα

δεδομένα αντλούνται από δειγματοληπτικούς ελέγχους παρτίδων και εκφράζονται ως ποσοστιαία κατανομή μεταξύ αποδεκτών και μη αποδεκτών προϊόντων. Επίσης είναι σημαντικό, να διαθέτει πρόσβαση σε διαδικασίες και μορφές εξοπλισμού, με σκοπό να μπορεί να εντοπίσει τις αναγκαίες παρεμβάσεις για τη διασφάλιση της ποιότητας στα επιθυμητά επίπεδα, με στόχο την διαμόρφωση των αρχών που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των πελατών. Στο πλαίσιο αυτό, το p -chart αξιοποιείται ως μέσο συνεχούς επιτήρησης μιας παραγωγικής διεργασίας, διευκολύνοντας την αξιολόγηση της συμπεριφοράς της στον χρόνο και αναγνώριση πιθανών αποκλίσεων από τη στατιστική σταθερότητα.

2.3.1 Τα Πλεονεκτήματα του διαγράμματος p

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα που έχει το διάγραμμα p είναι ότι οφείλεται στη λειτουργική του απλότητα τόσο ως προς την κατασκευή όσο και ως προς την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του. Το διάγραμμα βασίζεται σε θεμελιώδεις υπολογιστικές αρχές που προκύπτουν από τη διωνυμική κατανομή, μέσω των οποίων υπολογίζονται τα όρια ελέγχου, γεγονός που το καθιστά πρακτικό στη χρήση και άμεσα αξιοποιήσιμο στις βιομηχανίες τροφίμων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το προσωπικό της παραγωγής να αναγνωρίζει έγκαιρα τις αποκλίσεις της διεργασίας από τα όρια ελέγχου που έχουν καθοριστεί, να αξιολογεί τη σταθερότητα της παραγωγικής διαδικασίας και να εντοπίζει πιθανά προβλήματα λειτουργίας, χωρίς να είναι απαραίτητο να υπάρχει εξειδικευμένη στατιστική κατάρτιση ή προηγμένη αναλυτική εκπαίδευση (Nagar et al., 2022).

Το διάγραμμα p αποτελεί διάγραμμα ελέγχου τύπου Shewhart και κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην ανίχνευση σημαντικών μετατοπίσεων στη στάθμη της διεργασίας όταν αλλάζει αισθητά η αναλογία των μη συμμορφούμενων προϊόντων. Επιπλέον, ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης μεγάλων αποκλίσεων των ορίων ελέγχου, γεγονός που επιτρέπει την άμεση παρέμβαση και διόρθωση στη διαδικασία παραγωγής. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή του διαγράμματος ελέγχου p το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές όπου η ακριβής

ποσοτική μέτρηση ενός χαρακτηριστικού του προϊόντος δεν είναι λειτουργική ή εφικτή, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις όπου η επιθεώρηση πραγματοποιείται μέσω χειροκίνητων ελέγχων, αλλά ο έλεγχος βασίζεται σε αποτελέσματα τύπου αποδεκτό/μη αποδεκτό. Για τον λόγο αυτό, μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και σε περιβάλλοντα όπου οι συνεχείς μετρήσεις μπορεί να είναι δαπανηρές ή χρονοβόρες, με αποτέλεσμα να μην χάνεται η ικανότητα ανίχνευσης μεγάλων αποκλίσεων στη διαδικασία παραγωγής, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε προβλήματα ποιότητας. Επιπλέον, μια εξίσου σημαντική ιδιότητα είναι η ευρεία γνώση και χρήση τους στη βιομηχανία φαρμάκων και καταναλωτικών προϊόντων, όπου οι διαδικασίες καθορίζονται σε αριθμητικά αποτελέσματα συμμόρφωσης. Τέλος, το p -chart θεωρείται ένα απλό εργαλείο στη χρήση και ξεκάθαρο στην ερμηνεία, κάτι το οποίο διευκολύνει την παρουσίαση του σε εκθέσεις ποιότητας (Joeke et al., 2013).

2.3.2 Οι Περιορισμοί του διαγράμματος p

Η εφαρμογή του p -chart παρουσιάζει μερικούς σημαντικούς περιορισμούς. Ένα βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζει το διάγραμμα p είναι ότι, παρότι μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις μεταβλητού μεγέθους δείγματος, η μεταβλητότητα αυτή είναι ικανή να επηρεάσει τη σταθερότητα των ορίων ελέγχου, επηρεάζοντας αρνητικά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και αυξάνοντας την πιθανότητα εμφάνισης περισσότερων ψευδών ενδείξεων εκτός ελέγχου από τα προκαθορισμένα όρια προδιαγραφών. (Ahsan et al., 2017).

Επιπλέον, ένας άλλος περιορισμός που κατέχει το διάγραμμα p , είναι όταν παρατηρείται υπερδιασπορά, δηλαδή όταν η διακύμανση των δεδομένων είναι μεγαλύτερη από αυτή που προβλέπει η θεωρία της διωνυμικής κατανομής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το p -chart παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ενδείξεων ότι η διεργασία είναι εκτός ελέγχου (Σφάλμα Τύπου Ι). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μειωθεί η αξιοπιστία του στην παρακολούθηση διαδικασιών. Επιπλέον, το διάγραμμα p δεν εμπεριέχει πληροφορίες για το είδος της απόκλισης ή την αιτία της αλλαγής, αλλά παρατηρεί και εξετάζει

μόνο συνολικά την αναλογία των μη συμμορφούμενων μονάδων, γεγονός που μειώνει την ικανότητα εντοπισμού λεπτομερών προβλημάτων της διεργασίας χωρίς περαιτέρω ανάλυση. Η γνώση των περιορισμών και των πλεονεκτημάτων του διαγράμματος p κρίνεται σημαντικό να γνωρίζεται για τη σωστή εφαρμογή του σε βιομηχανικά περιβάλλοντα (Chen et al., 2023).

Ένας ακόμη περιορισμός του διαγράμματος p , βασίζεται στην υπόθεση ότι κάθε παρατήρηση δεν επηρεάζεται από τις υπόλοιπες. Πρακτικά όμως, σε αρκετά βιομηχανικά περιβάλλοντα παραγωγής η υπόθεση αυτή δεν τηρείται πάντοτε. Αρκετά συχνά, οι διαδοχικές μετρήσεις παρουσιάζουν μεταξύ τους συσχέτιση και πιο συγκεκριμένα σε συνεχείς διεργασίες, όπου η μια παρατήρηση επηρεάζει αποτελεσματικά την επόμενη. Η συγκεκριμένη εξάρτηση, γνωστή και ως αυτοσυσχέτιση, παραβιάζει μια βασική παραδοχή του διαγράμματος p και μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή όρια ελέγχου και σε λανθασμένα αποτελέσματα για τη σταθερότητα της διεργασίας (Montgomery & Runger, 2020).

2.4 Εφαρμογή διαγράμματος p στην βιομηχανία τροφίμων

Η βιομηχανία τροφίμων παρουσιάζει υψηλό ποσοστό πολυπλοκότητας, καθώς επηρεάζεται από παράγοντες όπως η εποχική διαθεσιμότητα των πρώτων υλών και η ευαισθησία πολλών τροφίμων σε αλλοιώσεις και φθορές που αντιμετωπίζουν. Για τον λόγο αυτό, η υιοθέτηση τεχνικών του στατιστικού ελέγχου διεργασιών αποτελεί βασικό παράγοντα, καθώς μπορεί να οδηγήσει στον γρήγορο εντοπισμό τυχών αποκλίσεων και στη μείωση της πιθανότητας παραγωγής μη συμμορφούμενων παρτίδων, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε ανάκληση προϊόντος και σε πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια των τροφίμων. Αυτό το οποίο εξετάζει το διάγραμμα p και είναι εξίσου σημαντικό σε μία παραγωγική μονάδα, είναι ότι μπορεί να μελετήσει ελαττώματα που τυχόν θα εμφανιστούν στη συσκευασία (διαρροή, κακή σφράγιση), αποκλίσεις από προδιαγραφές ελέγχου, αποτελέσματα από μικροβιολογικούς ελέγχους και οπτικά ελαττώματα (π.χ. λάθος σχήμα). Η εφαρμογή του ακολουθεί μία συγκεκριμένη ακολουθία βημάτων, με αποτέλεσμα το διάγραμμα να μην λειτουργεί

μόνο ως “απεικόνιση” των ελαττωματικών μονάδων, αλλά ως εργαλείο εντοπισμού διορθωτικών ενεργειών. Αρχικά, καθίσταται αναγκαίο να καθοριστεί η σημασία του ελαττωματικού προϊόντος (αστοχία σφράγισης), έτσι ώστε κάθε μονάδα να κατανέμεται σε αποδεκτό/μη αποδεκτό προϊόν. Έπειτα, προγραμματίζεται η δειγματοληψία ανά χρονική περίοδο ή παρτίδα και σε κάθε έλεγχο καταγράφεται το μέγεθος του δείγματος, το οποίο μπορεί να μεταβάλλεται, καθώς και ο αριθμός των ελαττωματικών συσκευασιών. Τέλος, υπολογίζεται το $\bar{p}$ (μέση αναλογία ελαττωματικών), το AOE και το KOE, ώστε να αποδειχθεί αν η διεργασία βρίσκεται εντός ή εκτός των προδιαγραφών (Rique et al., 2021).

Στην βιομηχανία ξηρών καρπών, το διάγραμμα p επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση της διεργασίας, ειδικά σε περιβάλλοντα με υψηλή ταχύτητα παραγωγής και μπορεί να προσδιορίσει ελαττώματα στη συσκευασία των τροφίμων (αστοχία σφράγισης στις άνω ή κάτω ραφές, λανθασμένη ευθυγράμμιση της ραφής, έλεγχος διαρροής αερίου, εκτύπωση ημερομηνίας λήξης, σωστό καθαρό βάρος) και να προτείνει διορθωτικά μέτρα, όπως ο έλεγχος της ποιότητας του φιλμ, η ρύθμιση της πίεσης και της θερμοκρασίας σφράγισης, καθώς και η ρύθμιση των ζυγιστικών οργάνων. Συμπερασματικά, το διάγραμμα p αποτελεί πρακτικό εργαλείο για τη βιομηχανία ξηρών καρπών, διότι έχει άμεση σύνδεση με δεδομένα συμμόρφωσης και εφαρμόζεται με εύκολο τρόπο σε γραμμές συσκευασίας, καθώς βοηθάει στη διατήρηση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων (Ozdemir et al., 1997).

3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη λειτουργία μιας σύγχρονης μονάδας επεξεργασίας και συσκευασίας ξηρών καρπών η οποία για τις ανάγκες της εργασίας, θα αποκαλείται «Βιομηχανία Ξηρών Καρπών Α.Ε». Η βιομηχανία δραστηριοποιείται στον τομέα της τυποποίησης, της διαλογής, της επεξεργασίας και της συσκευασίας ξηρών καρπών, καλύπτοντας τις ανάγκες που έχει τόσο η εγχώρια αγορά όσο και οι πελάτες του εξωτερικού, οι οποίοι απαιτούν αυξημένες προδιαγραφές ως προς την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων. Η καθημερινή λειτουργία της μονάδας έχει ως βάση ένα δομημένο σύστημα διαχείρισης ποιότητας και ασφάλειας τροφίμων, το οποίο περιλαμβάνει καταγεγραμμένες και τεκμηριωμένες διαδικασίες ελέγχου σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, ξεκινώντας από την παραλαβή των πρώτων υλών και φτάνοντας μέχρι και την παραγωγή του τελικού συσκευασμένου προϊόντος, τηρώντας όλα τα πρότυπα ποιότητας ISO και HACCP (Hazard Analysis & Critical Control Point). Τα πρότυπα αυτά αποτελούν ένα παγκοσμίως καθιερωμένο πλαίσιο που εγγυάται την ασφάλεια και την υγιεινή των τροφίμων. Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στην εξασφάλιση της ιχνηλασιμότητας, στην τήρηση των αρχείων και στα συστήματα ERP και WMS που χρησιμοποιούνται. Το ERP είναι ένα πληροφοριακό σύστημα που υποστηρίζει τον συντονισμό και τη λειτουργία επιχειρησιακών πόρων και το WMS αποτελεί ένα σύστημα το οποίο καλύπτει την οργάνωση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών αποθήκευσης. Η παραγωγική διαδικασία ξεκινάει από την παραλαβή των πρώτων υλών. Κατά την παραλαβή, πραγματοποιείται καταγραφή στο πληροφοριακό σύστημα ERP της επιχείρησης, με σκοπό να τεκμηριώνεται και να οργανώνεται πλήρως η διαχείριση των υλικών. Είναι αναγκαίο να γίνει σωστός έλεγχος στα έγγραφα κατά την παραλαβή της ά ύλης και να αποθηκευτούν πληροφορίες στα συστήματα όπως:

- Η ποσότητα πρώτης ύλης (σε κιλά)
- Το είδος του προϊόντος

- Η χώρα προέλευσης
- Ο προμηθευτής
- Η ημερομηνία παραγωγής
- Το lot του προμηθευτή, ώστε να γίνεται πιο εύκολα η ιχνηλασιμότητα

Ο αριθμός παρτίδας (lot) του προμηθευτή συνιστά έναν μοναδικό αναγνωριστικό κωδικό που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ποσότητα προϊόντος, η οποία έχει παραχθεί ή συσκευαστεί στο πλαίσιο των ίδιων λειτουργικών συνθηκών. Ο κωδικός lot διασφαλίζει την πλήρη ιχνηλασιμότητα της πρώτης ύλης, καθώς καθιστά δυνατή την ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με την ημερομηνία παραγωγής, τις συνθήκες επεξεργασίας, καθώς και την πορεία διακίνησης του προϊόντος, ειδικά σε διαδικασίες ανάκλησης προϊόντος. Παράλληλα, αφού γίνει ο δειγματοληπτικός ποιοτικός έλεγχος, εξεταστούν ενδεχόμενες αλλοιώσεις ή ελαττώματα από το τμήμα ποιότητας και αποδειχθεί ότι τηρούνται οι προδιαγραφές της νομοθεσίας και ότι τα ελαττώματα δεν είναι εκτός των προδιαγραφών, το προϊόν οδηγείται στα επόμενα στάδια της παραγωγής έως την ολοκλήρωση της τελικής συσκευασίας. Έπειτα, οι ξηροί καρποί οδηγούνται σε ειδικούς φούρνους θερμικής επεξεργασίας, όπου ψήνονται σε ελεγχόμενες θερμοκρασίες και χρόνους, ανάλογα με το είδος του κάθε προϊόντος. Αφού γίνει η διαδικασία του ψησίματος, πραγματοποιούνται μετρήσεις της υγρασίας και της ενεργότητας νερού (aw), οι οποίες συνιστούν κρίσιμους παράγοντες για την εξασφάλιση της μικροβιολογικής σταθερότητας. Η ενεργότητα νερού (aw) συνιστά φυσικοχημική παράμετρο που εκφράζει το ποσοστό του ελεύθερου διαθέσιμου νερού σε ένα τρόφιμο και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της μικροβιολογικής του σταθερότητας, δεδομένου ότι επηρεάζει άμεσα την ικανότητα ανάπτυξης και πολλαπλασιασμού μικροοργανισμών. Στα προϊόντα που προορίζονται για ιδιαίτερες απαιτητικές αγορές του εξωτερικού και έχουν αυστηρές προδιαγραφές εφαρμόζεται ένα πρόσθετο στάδιο διαλογής, το οποίο πραγματοποιείται από τα άτομα του ποιοτικού ελέγχου, με σκοπό να διαπιστωθεί αν τηρούνται οι προδιαγραφές που έχουν θεσπίσει οι πελάτες και να εξεταστεί αν υπάρχουν τυχόν αποκλίσεις. Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιούνται τα ίδια κριτήρια που εφαρμόζονται κατά την παραλαβή των πρώτων υλών. Στην συνέχεια, τα προϊόντα διέρχονται από συστήματα ανίχνευσης X-ray, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την

απομάκρυνση τυχόν ξένων ή ανεπιθύμητων υλικών. Αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος του ανιχνευτή X-ray και διαπιστωθεί η σωστή λειτουργία του, τα προϊόντα συλλέγονται και τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένους κάδους προσωρινής αποθήκευσης, όπου παραμένουν μέχρι να μεταφερθούν στο τμήμα της συσκευασίας για την τελική επεξεργασία.

Μετά την ολοκλήρωση της θερμικής επεξεργασίας και των αρχικών ελέγχων ανίχνευσης ξένων σωμάτων, τα προϊόντα μεταφέρονται προς τις συσκευαστικές μηχανές, όπου θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικότερα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας στη βιομηχανία ξηρών καρπών. Στο συγκεκριμένο στάδιο η συσκευασία δεν επιτελεί μόνο ρόλο φυσικής προστασίας του προϊόντος, αλλά και τη συμμόρφωση του με τις νομοθετικές απαιτήσεις, τις προδιαγραφές των πελατών και τα συστήματα διαχείρισης ποιότητας και ασφάλειας τροφίμων. Η συσκευασία πραγματοποιείται σε αυτοματοποιημένες γραμμές, όπου τα προϊόντα τοποθετούνται σε κατάλληλα υλικά συσκευασίας για τρόφιμα. Κατά τη διάρκεια της συσκευασίας εφαρμόζονται τακτικοί και επαναλαμβανόμενοι έλεγχοι, με αποτέλεσμα την έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων και τη διακρίβωση της σταθερότητας της διαδικασίας. Ένας από τους βασικότερους ελέγχους που διενεργούνται, αφορά την ακεραιότητα της συσκευασίας. Με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων ελέγχου εξετάζεται αν η συσκευασία είναι σωστά σφραγισμένη ή εμφανίζει τυχόν προβλήματα. Στα προϊόντα που παράγει η επιχείρηση χρησιμοποιείται τροποποιημένη ατμόσφαιρα, με προσθήκη αζώτου, με σκοπό τον περιορισμό φαινομένων οξείδωσης και τη διατήρηση του προϊόντος κατά τη διάρκεια της συσκευασίας. Σύμφωνα με την νομοθεσία και τις προδιαγραφές των πελατών, το ποσοστό του αζώτου στη συσκευασία ελέγχεται ώστε να βρίσκεται εντός των προβλεπόμενων ορίων. Οι παράμετροι αυτοί ελέγχονται τακτικά σύμφωνα με τα πρότυπα ISO και τις νομοθετικές απαιτήσεις, ενώ η επαλήθευση της σωστής εφαρμογής τους πραγματοποιείται μέσω κατάλληλων μεθόδων μέτρησης με εξειδικευμένο εξοπλισμό, όπου και τεκμηριώνονται στο καθημερινό πλαίσιο των διαδικασιών ποιοτικού ελέγχου. Επίσης, ελέγχεται η ορθότητα στη μακέτα και στις πληροφορίες εκτύπωσης που αναγράφονται αναλυτικά στην συσκευασία. Επιπλέον, τα άτομα της διασφάλισης ποιότητας είναι υπεύθυνα για την έκδοση και επαλήθευση των ετικετών κιβωτίου σε κάθε κωδικό προϊόντος. Οι ετικέτες αυτές περιλαμβάνουν

βασικές πληροφορίες ιχνηλασιμότητας, όπως την περιγραφή του προϊόντος, την ημερομηνία λήξης, τον αριθμό παρτίδας και τον κωδικό αναγνώρισης του προϊόντος (barcode). Σύμφωνα με αυτόν τον έλεγχο, επιβεβαιώνεται ότι αναγράφονται σωστά όλες οι υποχρεωτικές πληροφορίες για κάθε συγκεκριμένο κωδικό παραγωγής, όπως η ονομασία του προϊόντος, τα συστατικά που περιέχει, τα αλλεργιογόνα (με κεφαλαία γράμματα), οι διατροφικές δηλώσεις, ο αριθμός παρτίδας (lot) και η ημερομηνία λήξης, η οποία αποτελεί κρίσιμο σημείο ελέγχου για την ασφάλεια του καταναλωτή. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται συνεχής έλεγχος του βάρους της συσκευασίας και καταγράφεται σε συγκεκριμένο έντυπο. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί απόκλιση εκτός των επιτρεπόμενων ορίων, το προϊόν απομακρύνεται και απορρίπτεται αυτόματα από τη γραμμή παραγωγής. Η συγκεκριμένη διαδικασία συμβάλλει καθοριστικά στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τη σχετική νομοθεσία περί καθαρού βάρους, ενώ ταυτόχρονα προστατεύει τα δικαιώματα του καταναλωτή και περιορίζει τον κίνδυνο οικονομικών ή νομικών επιπτώσεων προς την επιχείρηση. Όλοι οι έλεγχοι που αναφέρθηκαν, διενεργούνται σε προκαθορισμένα και επαναλαμβανόμενα χρονικά διαστήματα, κατά κανόνα ανά μια ώρα, σύμφωνα με το εγκεκριμένο πρόγραμμα ποιοτικού ελέγχου της επιχείρησης. Η συχνότητα αυτή των ελέγχων διευκολύνει το γρήγορο εντοπισμό ενδεχόμενων αποκλίσεων και επιτρέπει την άμεση εφαρμογή διορθωτικών μέτρων, πριν παραχθούν σημαντικές ποσότητες ελαττωματικών προϊόντων.

Ακόμη, καθοριστική σημασία αποδίδεται στο συστηματικό και σχολαστικό έλεγχο της υγιεινής τόσο του προσωπικού όσο και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε όλες τις γραμμές συσκευασίας, λόγω της διαχείρισης ξηρών καρπών που περιέχουν αλλεργιογόνες ουσίες. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόζονται καθορισμένες διαδικασίες καθαρισμού με τη χρήση πιστοποιημένων και εγκεκριμένων απολυμαντικών μέσων. Μετά την ολοκλήρωση του πλυσίματος, πραγματοποιείται επαλήθευση της αποτελεσματικότητας του μέσω swab test, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πιθανών υπολειμμάτων αλλεργιογόνων ουσιών ή χημικών απορρυπαντικών στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το προϊόν. Τα αποτελέσματα αυτών των ελέγχων καταγράφονται αναλυτικά, εξετάζονται και

αξιολογούνται από το τμήμα ποιότητας, ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις ασφάλειας τροφίμων.

Επιπρόσθετα, στο πλαίσιο της εφαρμογής της ιχνηλασιμότητας, η επιχείρηση διατηρεί αντιδείγματα από κάθε παρτίδα και κάθε κωδικός παραγωγής. Τα δείγματα αυτά διατηρούνται υπό ελεγχόμενες συνθήκες έως και την ημερομηνία λήξης των αντίστοιχων προϊόντων. Η ύπαρξη τους καθιστά εφικτή την άμεση εξέταση πιθανών παραπόνων ή αποκλίσεων, ενώ λειτουργούν ως βασικό εργαλείο για τη μεταγενέστερη αξιολόγηση και τεκμηρίωση της ποιότητας και της ασφάλειας των παραγόμενων προϊόντων. Επιπλέον, διεξάγεται συστηματικός και συνεχής έλεγχος των στοιχείων της κάθε παρτίδας (lot) μέσω του πληροφοριακού συστήματος ERP (Enterprise Resource Planning – Σύστημα Σχεδιασμού Επιχειρησιακών Πόρων), το οποίο παρέχει ένα ενοποιημένο περιβάλλον διαχείρισης των επιχειρησιακών λειτουργιών και δεδομένων. Μέσω αυτού διασφαλίζεται ο έλεγχος και η διασύνδεση κρίσιμων πληροφοριών, όπως οι παρτίδες των πρώτων υλών, οι κωδικού παραγωγής και τα στοιχεία ιχνηλασιμότητας. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης διαδικασίας, συμβάλλει καθοριστικά στη σωστή αναγνώριση των παρτίδων, κατά το στάδιο της συσκευασίας, διασφαλίζοντας ότι όλα τα προϊόντα συνοδεύονται από τα προβλεπόμενα στοιχεία. Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση αποδίδεται στην ορθή, πλήρη και συνεπή συμπλήρωση των ημερήσιων εντύπων ελέγχου, τα οποία αφορούν τις διαδικασίες χειροδιαλογής και τη λειτουργία των συσκευαστικών μηχανών. Στα έντυπα αυτά αποτυπώνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα κρίσιμων ελέγχων, όπως ο έλεγχος του βάρους, τα επίπεδα αζώτου, ο έλεγχος μέσω συστήματος X-Ray, καθώς και η κατάσταση καθαριότητας του εξοπλισμού και του χώρου. Η ακριβής αποτύπωση των συγκεκριμένων δεδομένων λειτουργούν ως βασικό εργαλείο τεκμηρίωσης, καθώς ενισχύουν την αποτελεσματική εφαρμογή των εσωτερικών διαδικασιών ελέγχου. Ταυτόχρονα, παρέχουν την αναγκαία αποδεικτική βάση, με σκοπό να διευκολύνεται η διενέργεια εξωτερικών επιθεωρήσεων, όπως εκείνων που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο συμμόρφωσης με διεθνή πρότυπα ποιότητας (ISO) και απαιτήσεις πιστοποιήσεων ασφάλειας τροφίμων, ενισχύοντας την αξιοπιστία και διασφαλίζοντας την ομαλή και αποτελεσματική εφαρμογή των διαδικασιών.

3.2 Συλλογή δεδομένων για τον ποιοτικό έλεγχο

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πλαίσιο του καθημερινού ποιοτικού ελέγχου με σκοπό να αναλυθούν τα ελαττωματικά προϊόντα κατά την παραγωγική διαδικασία καταγράφηκαν και οργανώθηκαν συστηματικά σε ηλεκτρονική μορφή, με τη χρήση λογιστικών φύλλων του προγράμματος Microsoft Excel, το οποίο επιλέχθηκε λόγω της λειτουργικότητάς του στη διαχείριση εκτεταμένων συνόλων δεδομένων. Επιπλέον, το συγκεκριμένο εργαλείο προσφέρει αυξημένες δυνατότητες φιλτραρίσματος, ταξινόμησης και ομαδοποίησης πληροφοριών, διευκολύνοντας την προκαταρκτική ανάλυση και την προετοιμασία των δεδομένων. Βασικό κριτήριο επιλογής αποτέλεσε επίσης η υψηλή συμβατότητα του με εξειδικευμένα στατιστικά προγράμματα, όπως το Minitab, το οποίο αξιοποιήθηκε σε επόμενο στάδιο για τη στατιστική επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων που παρέχει. Η διαδικασία της συλλογής δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε χρονικό διάστημα τριάντα οκτώ διαδοχικών εβδομάδων, καλύπτοντας ένα ευρύ και συνεχές φάσμα της παραγωγικής διεργασίας. Το συγκεκριμένο χρονικό εύρος κρίνεται αντιπροσωπευτικό και επαρκές, καθώς δίνει τη δυνατότητα εντοπισμού μακροχρόνιων τάσεων, μεταβολών και επαναλαμβανόμενων προτύπων, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση αξιόπιστων και τεκμηριωμένων συμπερασμάτων σχετικά με τη λειτουργική συμπεριφορά και τη σταθερότητα της διαδικασίας συσκευασίας. Για κάθε βδομάδα πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή καταγραφή των δεδομένων που αντιστοιχούσαν στις επτά συσκευαστικές μηχανές της παραγωγικής γραμμής. Με σκοπό την ευκολότερη παρουσίαση και ερμηνεία των δεδομένων, οι μηχανές της παραγωγικής διαδικασίας θα αναφερθούν ως Μηχανή No1, Μηχανή No2, Μηχανή No3, Μηχανή No4, Μηχανή No5, Μηχανή No6, Μηχανή No7. Για κάθε συσκευαστική μηχανή πραγματοποιήθηκε ανεξάρτητη και διακριτή καταγραφή των δεδομένων, με στόχο την αντικειμενική αποτύπωση της παραγωγικής της απόδοσης και τη δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης μεταξύ των διαφορετικών μηχανών. Για παράδειγμα, κάθε γραμμή του αρχείου αντιστοιχούσε σε μια εβδομάδα παραγωγής, ενώ στις αντίστοιχες στήλες καταχωρούνταν βασικοί δείκτες απόδοσης, όπως είναι ο συνολικός αριθμός των παραγόμενων τεμαχίων που πραγματοποιήθηκε και ο αριθμός των ελαττωματικών τεμαχίων που εντοπίστηκαν σε

κάθε συσκευαστική μηχανή. Η υιοθέτηση της συγκεκριμένης διαδικασίας επέτρεψε τη συστηματική συλλογή, ομαδοποίηση και ταξινόμηση των δεδομένων τόσο σε εβδομαδιαία φάση όσο και ανά μηχανή, διευκολύνοντας τη περαιτέρω στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Ο έλεγχος και η ανάλυση της παραγωγικής διαδικασίας στηρίχτηκαν σε δεδομένα που δεν παρουσίαζαν σταθερό πλήθος παρατηρήσεων, καθώς το μέγεθος του δείγματος (N) μεταβαλλόταν τόσο από εβδομάδα σε εβδομάδα όσο και μεταξύ των διαφορετικών συσκευαστικών μηχανών. Η διαφοροποίηση αυτή οφειλόταν στο γεγονός ότι ο συνολικός αριθμός των παραγόμενων τεμαχίων δεν παρέμενε σταθερός σε όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, αλλά μεταβαλλόταν ανάλογα με παράγοντες όπως ο προγραμματισμός της παραγωγής και η αποδοτικότητα του εξοπλισμού. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε η χρήση του διαγράμματος p , το οποίο είναι κατάλληλο και αποτελεσματικό για την παρακολούθηση του ποσοστού ελαττωματικών παρτίδων όταν το μέγεθος του δείγματος δεν είναι σταθερό. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου διαγράμματος ελέγχου επέτρεψε την αξιόπιστη παρουσίαση και σύγκριση της συμπεριφοράς της διεργασίας διαχρονικά, εξασφαλίζοντας ότι η μεταβλητότητα του δείγματος δεν επηρέασε την εγκυρότητα των συμπερασμάτων.

Παράλληλα, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη συστηματική, ομοιόμορφη και ακριβή καταγραφή των ελαττωματικών τεμαχίων, καθώς τα δεδομένα αυτά αποτελούν τη βασική προϋπόθεση για την ορθή εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων ελέγχου ποιότητας. Κάθε τεμάχιο που χαρακτηριζόταν ως ελαττωματικό κατά τη διάρκεια των καθημερινών ελέγχων ποιότητας ενσωματωνόταν στο συνολικό πλήθος των ελαττωματικών της αντίστοιχης εβδομάδας και της συγκεκριμένης συσκευαστικής μηχανής. Με την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας εξασφαλίστηκε ότι τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης δεν επηρεάστηκαν αρνητικά από σφάλματα καταγραφής, όπως η ελλιπής καταμέτρηση των ελαττωματικών προϊόντων. Επιπλέον, τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν αποτύπωσαν με ακρίβεια και αντικειμενικότητα την πραγματική κατάσταση της παραγωγικής διαδικασίας, επιτρέποντας τη δυνατότητα για έγκυρη και τεκμηριωμένη αξιολόγηση της λειτουργίας και της συνολικής αποδοτικότητας κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

Στο πλαίσιο της παρούσας συγκέντρωσης των δεδομένων, ως ελαττωματικό χαρακτηρίστηκε κάθε παραγόμενο τεμάχιο το οποίο κατά τη διαδικασία του ποιοτικού ελέγχου, παρουσίαζε απόκλιση από τις προκαθορισμένες απαιτήσεις και τα τεχνικά κριτήρια της διαδικασίας συσκευασίας του προϊόντος. Η αξιολόγηση των προϊόντων βασίστηκε σε συγκεκριμένα πρότυπα, τα οποία έχουν καθοριστεί με σκοπό τη διατήρηση υψηλού επιπέδου ποιότητας και τη διασφάλιση της ασφάλειας του τελικού προϊόντος. Τα ελαττώματα που έχουν καταγραφεί αφορούν κυρίως αστοχίες που έχουν σχέση άμεσα με τη συσκευασία, όπως η στεγανότητα της συσκευασίας, το προβλεπόμενο καθαρό βάρος, το επίπεδο αζώτου και η λανθασμένη ή δυσανάγνωστη αναγραφή κρίσιμων πληροφοριών. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η αντικειμενικότητα και συνέπεια της διαδικασίας καταγραφής, η αναγνώριση και η καταμέτρηση των ελαττωματικών παρτίδων πραγματοποιήθηκε με βάση προκαθορισμένα κριτήρια για το σύνολο των συσκευαστικών μηχανών. Παράλληλα, η εβδομαδιαία ομαδοποίηση των δεδομένων συνέβαλε στην πιο ολοκληρωμένη και αξιόπιστη απεικόνιση της συνολικής εξέλιξης και της λειτουργικής συμπεριφοράς της διεργασίας συσκευασίας σε βάθος χρόνου.

3.2.1 Ρόλος και λειτουργία του τμήματος ποιοτικού ελέγχου

Το τμήμα του ποιοτικού ελέγχου στη βιομηχανία ξηρών καρπών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα τόσο για τη διασφάλιση της ποιότητας όσο και για την ασφάλεια των παραγόμενων προϊόντων. Στην ουσία, επιτελεί ρόλο ελεγκτικού και υποστηρικτικού μηχανισμού, ο οποίος εξετάζει συχνά αν τα προϊόντα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των πελατών, στις τεχνικές προδιαγραφές και στους κανόνες νομοθεσίας τροφίμων. Ο ρόλος του αποκτά ιδιαίτερη σημασία καθώς οι πρώτες ύλες που ελέγχονται μπορεί να παρουσιάσουν ελαττώματα ή αλλοιώσεις ως προς το μέγεθος, το σχήμα, το χρώμα και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Επιπλέον, τα προϊόντα ξηρών καρπών ενδέχεται να παρουσιάσουν κινδύνους, όπως η επιμόλυνση από αλλεργιογόνα ή η ύπαρξη ξένων σωμάτων, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την εφαρμογή αυστηρών διαδικασιών ελέγχου, πρόληψης και επαλήθευσης.

Επίσης, ο ποιοτικός έλεγχος ενσωματώνεται σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και λειτουργεί με προληπτικό και συστηματικό τρόπο. Μέσω οργανωμένων δειγματοληψιών, εργαστηριακών αναλύσεων και κρίσιμων παραμέτρων (π.χ. ομοιομορφία συσκευασίας), παρακολουθεί τη σταθερότητα της διεργασίας και καταγράφει τα αποτελέσματα σε τεκμηριωμένα αρχεία. Με τον τρόπο αυτόν, καθίσταται δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός αποκλίσεων, με σκοπό να αποφευχθούν σοβαρά ζητήματα ποιότητας και πιθανές ανακλήσεις προϊόντων.

Ταυτόχρονα, το τμήμα ποιοτικού ελέγχου αναλαμβάνει βασικό ρόλο στον συντονισμό παραγωγής και διοίκησης παρέχοντας στο τμήμα παραγωγής σαφείς οδηγίες σχετικά με τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης παρτίδων. Επιπλέον, συγκεντρώνει και αναλύει δεδομένα που αποτυπώνουν την απόδοση των διεργασιών και το επίπεδο ποιότητας των τελικών προϊόντων, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιστοποίηση διαδικασιών, αναθεώρηση προδιαγραφών, επανεκτίμηση συνεργασιών με προμηθευτές και σχεδιασμό διορθωτικών ενεργειών.

Σε κάθε βιομηχανική μονάδα τροφίμων, ακόμη και όταν τηρούνται αυστηρά πρότυπα ποιότητας, ενδέχεται να παρουσιαστούν μη συμμορφώσεις. Η επιχείρηση υιοθετεί και υλοποιεί πρακτικές που αποσκοπούν στον έγκαιρο εντοπισμό, στην ορθή ταξινόμηση και αξιολόγηση καθώς και στην εφαρμογή κατάλληλων διορθωτικών μέτρων. Μια μη συμμόρφωση είναι δυνατόν να εμφανιστεί σε οποιοδήποτε σημείο της παραγωγικής διαδικασίας (παραλαβή πρώτων υλών) ή κατά την συσκευασία (μειωμένο βάρος). Αφού διαπιστωθεί απόκλιση, εφαρμόζεται άμεση δέσμευση και απομόνωση του προϊόντος, ώστε να αποτραπεί η περαιτέρω διακίνηση παρτίδων που δεν ικανοποιούν τις προδιαγραφές. Στη συνέχεια πραγματοποιείται έλεγχος και αξιολόγηση, με σκοπό να ληφθεί απόφαση σχετικά με τη διαχείριση του προϊόντος, δηλαδή αν μπορεί να αποκατασταθεί (μέσω επανελέγχου ή επανασυσκευασίας). Δίνεται επίσης ιδιαίτερη έμφαση στην εξέταση των λόγων που οδήγησαν στη μη συμμόρφωση. Η συστηματική ανάλυση και καταγραφή των αιτιών συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση της πιθανότητας ελαττωματικών προϊόντων και στη διασφάλιση υψηλού επιπέδου ποιότητας. Μέσω της συστηματικής καταγραφής και αξιολόγησης των αποκλίσεων, είναι δυνατόν να εντοπιστούν επαναλαμβανόμενα πρότυπα και να γίνει αναθεώρηση διαδικασιών ή ενίσχυση της προληπτικής

συντήρησης. Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα ποιότητας δεν περιορίζεται σε διορθωτικές παρεμβάσεις, αλλά διαμορφώνεται ως ένα δυναμικό πλαίσιο συνεχούς βελτίωσης, που λειτουργεί με στόχο την αναβάθμιση της απόδοσης.

4. Ανάλυση διεργασίας με χρήση διαγράμματος ελέγχου p

4.1 Εισαγωγή στα δεδομένα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθούν τα στατιστικά δεδομένα ποιοτικού ελέγχου που προκύπτουν από τη βιομηχανική διαδικασία επεξεργασίας και συσκευασίας ξηρών καρπών. Η ανάλυση της διαδικασίας αποσκοπεί στον έλεγχο της σταθερότητας της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς και στη διερεύνηση του κατά πόσο η λειτουργία της βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται στηρίζεται στον Στατιστικό Έλεγχο Διεργασιών (Statistical Process Control – SPC), με έμφαση στο διάγραμμα ελέγχου τύπου p. Το διάγραμμα p θεωρείται κατάλληλο για δεδομένα χαρακτηριστικών (attribute data), δηλαδή για στοιχεία που χαρακτηρίζονται ως «αποδεκτά» ή μη «αποδεκτά», επιτρέποντας την παρακολούθηση του ποσοστού μη συμμορφώσεων μέσα στον χρόνο. Η επιλογή του σταδίου της συσκευασίας ως αντικείμενο μελέτης κρίνεται σημαντική, δεδομένου ότι αποτελεί ένα από τα βασικότερα σημεία της παραγωγικής διαδικασίας, ιδιαίτερα σε προϊόντα όπως οι ξηροί καρποί. Το στάδιο αυτό επηρεάζει άμεσα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και την ασφάλεια του τελικού προϊόντος πριν φτάσει στον καταναλωτή. Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν και καταγράφηκαν κατά το στάδιο της τελικής συσκευασίας (έλεγχος στεγανότητας, ημερομηνία λήξης, έλεγχος αζώτου, έλεγχος X-Ray, έλεγχος βάρους) παρέχουν σημαντικό όγκο τεκμηριωμένων δεδομένων και προσφέρουν μια σταθερή βάση για την αξιοποίηση εργαλείων του ΣΕΔ, καθώς επιτρέπουν συστηματική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγικής διαδικασίας.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη αντλήθηκαν από δειγματοληπτικούς ελέγχους που πραγματοποίησε η ομάδα ποιότητας, οι οποίοι διενεργούνται στη φάση της παραγωγής και της συσκευασίας. Η καταγραφή των δειγμάτων έγινε σε προκαθορισμένα όρια (ανά μια ώρα για κάθε συσκευαστική μηχανή), βάσει των εσωτερικών πρωτοκόλλων που εφαρμόζονται στην βιομηχανία τροφίμων. Σε κάθε χρονικό σημείο επιλέχτηκε μια υποομάδα προϊόντων, στην οποία πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένες δοκιμές και έγινε καταχώρηση των ευρημάτων.

Κάθε υποομάδα συνδέεται με μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή της παραγωγικής διαδικασίας ή με μια διακριτή παρτίδα (batch). Για τον λόγο αυτό, τα δεδομένα δεν αποτελούν ανεξάρτητες και μεμονωμένες μετρήσεις, αλλά διαδοχικές καταγραφές που αναδεικνύουν την εξέλιξη της διεργασίας μέσα στον χρόνο. Αυτή η χρονική σειρά είναι κρίσιμη στην εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου, διότι σκοπός τους δεν είναι μόνο η αποτύπωση της ποιότητας σε μια συγκεκριμένη στιγμή, αλλά κυρίως η ανίχνευση μετατοπίσεων ή αποκλίσεων που φανερώνουν πιθανές αλλαγές στη λειτουργία της διεργασίας. Για κάθε δείγμα καταγράφηκαν δύο κύριες παράμετροι:

- Το μέγεθος δείγματος n_i , ο συνολικός αριθμός τεμαχίων (N) που εξετάστηκαν κατά τη χρονική περίοδο i
- Ο αριθμός μη συμμορφούμενων μονάδων d_i , το πλήθος των τεμαχίων που διαπιστώθηκε ότι δεν πληρούν τις καθορισμένες προδιαγραφές

Τα δεδομένα αυτά αποτυπώθηκαν είτε σε έντυπα καταγραφής είτε σε ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων και αποτέλεσαν την αρχική μορφή πληροφορίας που είναι αναγκαία για την κατασκευή και ανάλυση του διαγράμματος p .

Για να είναι σωστή η εφαρμογή ενός διαγράμματος ελέγχου p , κρίνεται απαραίτητο να προσδιοριστεί με ακρίβεια τι εννοούμε ως μη συμμορφούμενη μονάδα στο πλαίσιο της παραγωγικής διαδικασίας. Στον κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων, η σημασία της μη συμμόρφωσης δεν περιορίζεται σε ένα μόνο είδος απόκλισης. Δηλαδή, μπορεί να έχει σχέση με ζητήματα που επηρεάζουν άμεσα την ασφάλεια του καταναλωτή, αλλά και θέματα που σχετίζονται με τη νομοθεσία τροφίμων ή την ποιοτική αποδοχή του προϊόντος στην αγορά. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης, μια συσκευαστική μονάδα καταγράφεται ως μη συμμορφούμενη όταν εντοπιστεί απόκλιση σε έναν ή περισσότερους από τους καθιερωμένους ελέγχους συσκευασίας. Πιο συγκεκριμένα, ως μη συμμορφούμενα θεωρούνται τα προϊόντα που παρουσιάζουν:

- Προβλήματα στη διαδικασία σφράγισης, τα οποία είναι πιθανόν να προκαλέσουν διαρροή στη συσκευασία
- Λανθασμένη ή δυσανάγνωστη εκτύπωση βασικών στοιχείων, όπως ο αριθμός παρτίδας (lot) ή η ημερομηνία λήξης

- Ελλιπή ή ανακριβή αναγραφή αλλεργιογόνων και λοιπών υποχρεωτικών ενδείξεων
- Απόκλιση του καθαρού βάρους από τα προβλεπόμενα όρια που ορίζονται από τις προδιαγραφές του κάθε προϊόντος
- Απόρριψη κατά τον έλεγχο με ανιχνευτή ξένων σωμάτων (σύστημα X-Ray), όταν ανιχνεύεται παρουσία ανεπιθύμητου ή επικίνδυνου υλικού.

Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά στο πλαίσιο του p-chart για την παρακολούθηση και τον στατιστικό έλεγχο της διεργασίας.

Τα στοιχεία που αναλύονται και εξετάζονται ανήκουν στην κατηγορία των δεδομένων χαρακτηριστικών, δηλαδή σε δεδομένα που καταγράφουν αν ένα προϊόν πληροί ή δεν πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές. Όταν εξετάζεται ένα δείγμα μεγέθους n_i , ο αριθμός των μη συμμορφούμενων μονάδων μέσα σε αυτό, που συμβολίζεται ως d_i , μπορεί να θεωρηθεί τυχαία μεταβλητή η οποία ακολουθεί διωνυμική κατανομή:

$$d_i \sim \text{Binomial}(n_i, p)$$

όπου p είναι η εμφάνιση μη συμμόρφωσης σε μια μονάδα, υπό την προϋπόθεση ότι η διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο.

Αυτό υποδηλώνει ότι η πιθανότητα μια μονάδα να εμφανίσει μη συμμόρφωση είναι ίση με p και αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι ο συνολικός αριθμός ελαττωματικών στο δείγμα εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος και από αυτή τη σταθερή πιθανότητα. Η παραδοχή της διωνυμικής κατανομής στηρίζεται σε ορισμένες βασικές προϋποθέσεις:

- Οι παρατηρήσεις πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους
- Όλες οι μονάδες του δείγματος έχουν την ίδια πιθανότητα να χαρακτηριστούν ως μη συμμορφούμενες
- Η πιθανότητα μη συμμόρφωσης p παραμένει σταθερή διαχρονικά, εφόσον η διεργασία βρίσκεται σε κατάσταση στατιστικής σταθερότητας

Για τον λόγο αυτό, η χρήση του p -chart δεν αποτελεί απλώς μια μαθηματική εφαρμογή της διωνυμικής κατανομής. Αντίθετα, λειτουργεί ως πρακτικό εργαλείο παρακολούθησης της διεργασίας, επιτρέποντας τον εντοπισμό ενδείξεων ότι η σταθερότητα της διεργασίας παρουσιάζει αποκλίσεις.

4.2 Κατασκευή διαγράμματος ελέγχου p

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η μεθοδολογία κατασκευής του διαγράμματος ελέγχου τύπου p (p -chart), το οποίο εφαρμόστηκε στα δεδομένα ποιοτικού ελέγχου που συλλέχθηκαν κατά τη διαδικασία της συσκευασίας των προϊόντων. Το συγκεκριμένο εργαλείο ΣΕΔ χρησιμοποιείται για τη διαρκή παρακολούθηση, εκτίμηση και ανάλυση της αναλογίας των προϊόντων με σκοπό να διαπιστωθεί αν πληρούνται οι προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Μέσω της εφαρμογής του, καθίσταται δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός πιθανών αποκλίσεων κατά τη διαδικασία της παραγωγής. Το p -chart αξιοποιείται όταν είναι να εξεταστεί και να ελεγχθεί το ποσοστό (ή το κλάσμα) των μη συμμορφούμενων μονάδων σε κάθε δείγμα. Αντίθετα, διαγράμματα όπως το np -chart παρακολουθούν τον απόλυτο αριθμό ελαττωματικών μονάδων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, η επιλογή του p -chart κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, διότι τα μεγέθη των δειγμάτων (n_i) δεν διατηρούνται σταθερά από εβδομάδα σε εβδομάδα. Αν για παράδειγμα το πλήθος των ελεγχόμενων τεμαχίων μεταβληθεί, η χρήση του απόλυτου αριθμού ελαττωματικών μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα, καθώς ένας μεγαλύτερος αριθμός ελαττωμάτων μπορεί να οφείλεται σε μεγαλύτερο δείγμα. Για αυτόν τον λόγο, η χρήση του p -chart επιτρέπει την πιο σωστή και αξιόπιστη σύγκριση ποιότητας μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων, ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις στο πλήθος των τεμαχίων που έχουν ελεγχθεί.

Σε κάθε χρονική περίοδο παρατήρησης, όπως για παράδειγμα μία εβδομάδα ή μια συγκεκριμένη υποομάδα ελέγχου που συμβολίζεται με i , πραγματοποιήθηκε συστηματική καταγραφή ορισμένων βασικών μεγεθών που έχουν σχέση με την ποιότητα των προϊόντων που έγινε ο έλεγχος. Αρχικά ορίστηκε το μέγεθος του δείγματος της περιόδου i , το οποίο συμβολίζεται με n_i . Το μέγεθος αυτό αντιπροσωπεύει το συνολικό πλήθος των συσκευασιών ή μονάδων προϊόντων που

ελέγχθηκαν και εξετάστηκαν κατά τη συγκεκριμένη περίοδο. Στη συνέχεια, καταγράφηκε ο αριθμός των μονάδων που δεν πληρούσαν τις προδιαγραφές ποιότητας. Το μέγεθος αυτό συμβολίζεται με d_i που αντιστοιχεί στον αριθμό των ελαττωματικών μονάδων που εντοπίστηκαν μέσα στο δείγμα της περιόδου i . Με βάση τα δύο παραπάνω μεγέθη, υπολογίστηκε για κάθε χρονική περίοδο η αναλογία των μη συμμορφούμενων προϊόντων. Η αναλογία αυτή συμβολίζεται με p_i και προκύπτει ως το πηλίκο του αριθμού των ελαττωματικών μονάδων προς το συνολικό μέγεθος του δείγματος και εκφράζεται ως:

$$p_i = \frac{d_i}{n_i} [19]$$

Η τιμή p_i εκφράζει δηλαδή το ποσοστό των ελαττωματικών μονάδων στο συγκεκριμένο δείγμα και αποτελεί το σημείο δεδομένων που απεικονίζεται στο διάγραμμα ελέγχου για τη χρονική περίοδο i . Μέσω αυτής της απεικόνισης είναι δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ποιότητας της παραγωγικής διαδικασίας στον χρόνο και η ανίχνευση πιθανών αποκλίσεων από τα αποδεκτά όρια ελέγχου.

4.2.1 Υπολογισμός κεντρικής γραμμής (CL)

Η κεντρική γραμμή ενός διαγράμματος ελέγχου τύπου p (p -chart) εκφράζει την εκτιμώμενη τιμή της μέσης αναλογίας μη συμμορφούμενων μονάδων, εφόσον η παραγωγική διεργασία λειτουργήσει σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου. Δηλαδή η τιμή αυτή αποτελεί την καλύτερη εκτίμηση του μακροχρόνιου ποσοστού ελαττωματικών τεμαχίων που αναμένεται να παρατηρηθεί όταν δεν υπάρχουν ειδικές αιτίες μεταβλητότητας στη διεργασία. Στην περίπτωση όπου τα μεγέθη των δειγμάτων δεν είναι σταθερά αλλά διαφοροποιούνται ανά χρονική περίοδο, η εκτίμηση της μέσης αναλογίας δεν θα πρέπει να βασιστεί στον απλό αριθμητικό μέσο των επιμέρους αναλογιών. Αντίθετα, είναι πιο αποτελεσματικό ο υπολογισμός της συνολικής αναλογίας ελαττωματικών μονάδων στο σύνολο των παρατηρήσεων. Η μέση αναλογία των μη συμμορφούμενων προϊόντων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sum_{i=1}^m n_i} [20]$$

όπου:

- m είναι ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων ή των χρονικών περιόδων που εξετάζονται
- d_i είναι ο αριθμός των ελαττωματικών προϊόντων στο i δείγμα
- n_i είναι το μέγεθος του δείγματος i

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, οι χρονικές περίοδοι αντιστοιχούν στις εβδομάδες καταγραφής των δεδομένων για κάθε μηχανή παραγωγής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το πλήθος των προϊόντων που ελέγχονται σε κάθε εβδομάδα να διαφέρει, γεγονός που αποτελεί συνηθισμένο χαρακτηριστικό βιομηχανικών δεδομένων. Αν τα μεγέθη των δειγμάτων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των χρονικών περιόδων, η χρήση του απλού αριθμητικού μέσου των επιμέρους αναλογιών ενδέχεται να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα. Αυτό γίνεται διότι τα μικρότερα δείγματα μπορούν να επηρεάσουν τη συνολική εκτίμηση, με αποτέλεσμα να μειωθεί η αξιοπιστία της συμπεριφοράς της διεργασίας. Για τον λόγο αυτό, στο διάγραμμα ελέγχου τύπου p η κεντρική γραμμή του διαγράμματος δίνεται από τη σχέση:

$$CL = \bar{p}$$

όπου η ποσότητα $\bar{p}$ εκφράζει τη μέση αναλογία των ελαττωματικών προϊόντων, όπως αυτή υπολογίζεται από το σύνολο των διαθέσιμων παρατηρήσεων.

4.2.2 Υπολογισμός ορίων ελέγχου (UCL, LCL) με κανόνα 3σ

Στο διάγραμμα ελέγχου τύπου p -chart, τα όρια ελέγχου υπολογίζονται με βάση την τυπική απόκλιση της εκτιμώμενης αναλογίας των ελαττωματικών προϊόντων. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι ο αριθμός των ελαττωματικών αντικειμένων σε κάθε δείγμα, που συμβολίζεται ως d_i , θεωρείται ότι ακολουθεί διωνυμική κατανομή, καθώς κάθε μονάδα ενός δείγματος είναι ικανή να χαρακτηριστεί είτε ως αποδεκτή είτε ως μη αποδεκτή. Η αναλογία των ελαττωματικών προϊόντων στο δείγμα i , που συμβολίζεται ως p_i , αποτελεί εκτίμηση της πραγματικής πιθανότητας εμφάνισης ελαττωματικού προϊόντος στη διαδικασία

παραγωγής. Η διακύμανση της δειγματικής αναλογίας μπορεί να προσεγγιστεί από τη σχέση:

$$\text{Var}(p_i) = \frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i} \quad [21]$$

όπου $\bar{p}$ είναι η μέση αναλογία ελαττωματικών που υπολογίζεται από όλα τα δείγματα και n_i είναι το μέγεθος του δείγματος i . Η αντίστοιχη τυπική απόκλιση της αναλογίας προκύπτει ως η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης και δίνεται από:

$$\sigma_{p_i} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad [22]$$

Στα διαγράμματα στατιστικού ελέγχου διεργασιών τύπου Shewhart, τα όρια ελέγχου τοποθετούνται συνήθως σε απόσταση ίση με τρεις αποκλίσεις από την κεντρική γραμμή του διαγράμματος. Η κεντρική γραμμή εκφράζει τη μέση τιμή της αναλογίας των ελαττωματικών προϊόντων. Με βάση αυτή την τιμή, υπολογίζονται τα όρια ελέγχου που προσδιορίζουν το εύρος της φυσιολογικής μεταβλητότητας της διαδικασίας. Πιο ειδικά, τα ανώτερα και κατώτερα όρια ελέγχου υπολογίζονται αντίστοιχα ως:

$$\text{UCL}_i = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad [23]$$

$$\text{LCL}_i = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad [24]$$

Επειδή το μέγεθος δείγματος διαφέρει μεταξύ των δειγμάτων, τα όρια ελέγχου μεταβάλλονται αντίστοιχα για κάθε παρατήρηση. Για τον λόγο αυτό στο διάγραμμα ελέγχου τα όρια εμφανίζονται ως μεταβαλλόμενες γραμμές και όχι ως σταθερές τιμές. Ωστόσο, επειδή η αναλογία ελαττωματικών δεν μπορεί να λάβει αρνητικές τιμές, είναι πιθανό σε ορισμένες περιπτώσεις ο υπολογισμός του κατώτερου ελέγχου να δώσει αρνητικό αποτέλεσμα. Όταν δηλαδή ισχύσει:

$$\text{LCL}_i < 0$$

τότε, για πιο αποτελεσματικούς λόγους, το κατώτερο όριο ελέγχου τίθεται ίσο με μηδέν:

$$\text{LCL}_i = 0$$

Η συγκεκριμένη προσαρμογή χρησιμοποιείται αρκετά συχνά στα διαγράμματα ελέγχου τύπου p -chart. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν η μέση αναλογία των ελαττωματικών προϊόντων είναι πολύ μικρή ή όταν τα δείγματα που εξετάζονται έχουν σχετικά μικρό μέγεθος. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει πιθανότητα λόγω της στατιστικής μεταβλητότητας της αναλογίας των ελαττωματικών κατά τον υπολογισμό των ορίων ελέγχου να προκύψει ένα αρνητικό κατώτερο όριο ελέγχου. Ωστόσο, μια αρνητική τιμή δεν έχει πρακτική ερμηνεία, δεδομένου ότι η αναλογία ελαττωματικών προϊόντων δεν είναι δυνατόν να είναι μικρότερη από το μηδέν. Για αυτόν τον λόγο, στην πράξη το κατώτερο όριο ελέγχου προσαρμόζεται και λαμβάνεται ίσο με μηδέν, έτσι ώστε το διάγραμμα να μπορεί να ερμηνευτεί με λογικό και ρεαλιστικό τρόπο.

4.2.3 Μέτρο απόδοσης διαγραμμάτων ελέγχου (ARL)

Στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαγραμμάτων ελέγχου χρησιμοποιείται συχνά το μέτρο Average Run Length (ARL), το οποίο εκφράζει τον μέσο αριθμό δειγμάτων ή παρατηρήσεων που πρέπει να ληφθούν μέχρι το διάγραμμα ελέγχου να εμφανίσει ένα σήμα ότι η διεργασία έχει βγει εκτός των προκαθορισμένων ορίων ελέγχου. Δηλαδή, το ARL δείχνει πόση γρήγορα ή πόσο αργά ένα διάγραμμα ελέγχου αντιλαμβάνεται και επισημαίνει μια πιθανή μεταβολή ή απόκλιση στη λειτουργία της διεργασίας. Στο πλαίσιο της θεωρίας του ΣΕΔ, διακρίνονται δύο σημαντικές κατηγορίες του δείκτη αυτού, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κατανόηση της συμπεριφοράς ενός διαγράμματος ελέγχου σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Η πρώτη κατηγορία είναι το ARL_0 (in-control Average Run Length). Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στον μέσο αριθμό δειγμάτων που αναμένεται να συλλεχθούν μέχρι να εμφανιστεί ένα σήμα εκτός ελέγχου, ενώ στην πραγματικότητα η διεργασία λειτουργεί κανονικά και βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Η δεύτερη κατηγορία είναι το ARL_1 (out-of-control Average Run Length). Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στον μέσο αριθμό δειγμάτων που απαιτούνται μέχρι το διάγραμμα ελέγχου να εντοπίσει μια πραγματική μεταβολή ή απόκλιση στην παραγωγική διαδικασία, όταν αυτή έχει ήδη βγει εκτός στατιστικού ελέγχου. Η τιμή του δείκτη ARL έχει άμεση σχέση με την πιθανότητα εμφάνισης σφάλματος τύπου I, δηλαδή την

πιθανότητα να δοθεί ένα σήμα εκτός ορίων ελέγχου ενώ η διεργασία λειτουργεί κανονικά. Αν ορίσουμε αυτή την πιθανότητα με α , τότε εκφράζει την πιθανότητα ένα σημείο του διαγράμματος να δοθεί εκτός των ορίων ελέγχου παρόλο που η διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Σε αυτήν την περίπτωση, ο μέσος αριθμός δειγμάτων που αναμένονται μέχρι να εμφανιστεί ένα τέτοιο ψευδές στοιχείο δίνεται από τον τύπο:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} [25]$$

Στα κλασσικά διαγράμματα ελέγχου Shewhart, τα όρια ελέγχου τοποθετούνται συνήθως σε απόσταση τριών τυπικών αποκλίσεων (3σ) από την κεντρική γραμμή του διαγράμματος. Με αυτή τη διάταξη, η πιθανότητα να εμφανιστεί ένα σημείο εκτός των ορίων ελέγχου, ενώ η διεργασία βρίσκεται σε κανονική λειτουργία, είναι περίπου:

$$\alpha = 0,0027$$

Αν κάνουμε αντικατάσταση αυτή την τιμή στον παραπάνω τύπο, προκύπτει ότι:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \approx 370$$

Η τιμή αυτή σημαίνει ότι όταν η διεργασία βρίσκεται σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου, αναμένεται κατά μέσο όρο να εμφανίζεται ένα ψευδές σήμα εκτός ελέγχου περίπου κάθε 370 δείγματα. Δηλαδή, το διάγραμμα ελέγχου θα δώσει μια λανθασμένη ένδειξη προβλήματος σχετικά σπάνια, γεγονός που αποδεικνύει ότι τα όρια ελέγχου είναι αρκετά αξιόπιστα για την παρακολούθηση της διεργασίας (Montgomery & Runger, 2020).

4.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση της σταθερότητας της παραγωγικής διαδικασίας της πρώτης συσκευαστικής μηχανής, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα ελέγχου τύπου p . Τα δεδομένα που αναλύθηκαν προέκυψαν από 38 διαφορετικές εβδομάδες. Για κάθε εβδομάδα καταγράφηκε ο αριθμός των μη συμμορφούμενων προϊόντων X_i , όσο και το μέγεθος του αντίστοιχου δείγματος n_i , τα οποία αποτέλεσαν την βάση για την

κατασκευή και την ανάλυση του διαγράμματος ελέγχου. Η αναλογία μη συμμορφούμενων προϊόντων υπολογίστηκε με βάση τον τύπο:

$$p_i = \frac{X_i}{n_i} [26]$$

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα ελαττωματικά τεμάχια της πρώτης συσκευαστικής μηχανής και ο αριθμός δείγματος N ανά εβδομάδα.

Εβδομάδα	X_i	N_i	Εβδομάδα	X_i	N_i
1	2	200	20	2	169
2	4	202	21	2	201
3	2	266	22	0	130
4	1	263	23	4	221
5	2	264	24	5	160
6	5	188	25	2	132
7	3	203	26	1	127
8	2	200	27	5	260
9	4	204	28	4	205
10	4	180	29	0	217
11	3	200	30	0	217
12	5	278	31	2	309
13	0	125	32	0	159
14	0	219	33	5	258
15	3	218	34	1	243
16	4	200	35	0	262
17	0	100	36	0	262
18	0	147	37	0	209
19	3	200	38	0	200

Πίνακας 4 Συσκευαστική μηχανή Νο1

Στην πρώτη εβδομάδα καταγράφηκαν $X_1 = 11$ ελαττωματικά προϊόντα σε συνολικό δείγμα $n_1 = 94$ τεμάχια. Επομένως η αναλογία μη συμμορφούμενων προϊόντων προκύπτει:

$$p_1 = \frac{2}{200} = 0,01$$

Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε σε όλα τα δείγματα της παραγωγικής διαδικασίας, ώστε να υπολογιστεί η αναλογία μη συμμορφούμενων προϊόντων για κάθε χρονική περίοδο. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η μέση αναλογία μη συμμορφούμενων προϊόντων της διεργασίας, η οποία αποτελεί την κεντρική γραμμή του διαγράμματος ελέγχου. Η τιμή αυτή συμβολίζεται με $\bar{p}$ και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{p} = \frac{\sum X_i}{\sum N_i} [27]$$

Με βάση τα δεδομένα της συγκεκριμένης μηχανής, το συνολικό άθροισμα των ελαττωματικών προϊόντων είναι:

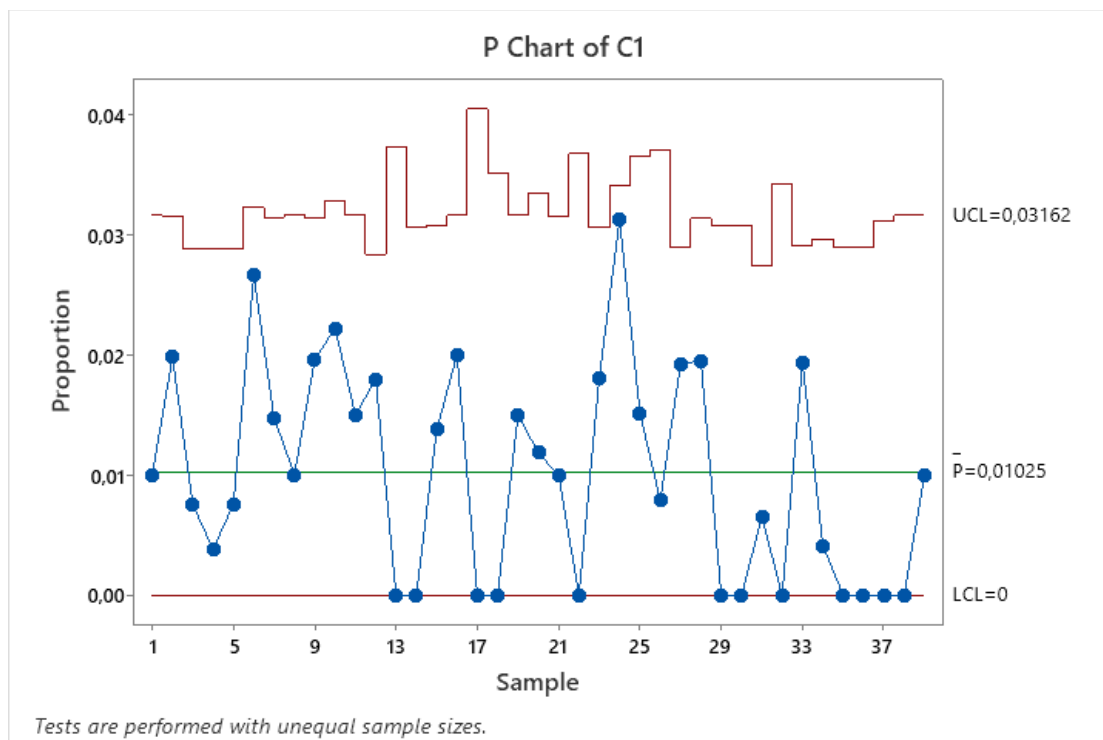
$$\sum X_i = 80 \text{ και } \sum n_i = 7798$$

οπότε, η μέση αναλογία μη συμμορφούμενων ισούται με $\bar{p} = \frac{80}{7798} = 0,1025$. Δηλαδή, αντιστοιχεί περίπου στο 2,24%. Τα όρια ελέγχου υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους τύπους:

$$UCL_i = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} [28]$$

$$LCL_i = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} [29]$$

Επειδή για τα συγκεκριμένα δεδομένα το κατώτερο όριο προέκυψε αρνητικό, θεωρήθηκε ίσο με μηδέν. Στην συνέχεια κατασκευάστηκε το διάγραμμα p για την πρώτη συσκευαστική μηχανή το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο1

Για το διάγραμμα ελέγχου τύπου p υπολογίστηκε η μέση αναλογία μη συμμορφούμενων προϊόντων ίση με $\bar{p} = 0,01025$. Τα όρια ελέγχου καθορίστηκαν στις τρεις τυπικές αποκλίσεις από την κεντρική γραμμή (3σ). Για τον υπολογισμό του (ARL_0) απαιτείται η εκτίμηση της πιθανότητας ψευδούς συναγερμού. Στα διαγράμματα p με άνισα μεγέθη δειγμάτων, τα όρια ελέγχου μεταβάλλονται ανά δείγμα, γεγονός που καθιστά τον ακριβή υπολογισμό πιο σύνθετο. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται μία αντιπροσωπευτική τιμή του άνω ορίου ελέγχου (UCL), ώστε να εκτιμηθεί ένα ισοδύναμο μέγεθος δείγματος n:

$$n \approx \frac{9\bar{p}(1-\bar{p})}{(UCL-\bar{p})^2} [30]$$

οπότε αντικαθιστώντας σύμφωνα με τα δεδομένα προκύπτει $n \approx \frac{9 * 0,01025(1 - 0,01025)}{(0,03162 - 0,01025)^2}$

$\Leftrightarrow n \approx 200$. Σύμφωνα με τη θεωρία των διαγραμμάτων ελέγχου (Montgomery & Runger, 2020) η πιθανότητα εμφάνισης σήματος εκτός ελέγχου σε p διαγράμματα βασίζεται στη διωνυμική κατανομή. Η συνθήκη για την εμφάνιση σήματος είναι:

$$k = [n * UCL] + 1 [31]$$

Αντικαθιστώντας σύμφωνα με την σχέση 31 προκύπτει: $k = [200 * 0,03162] + 1 = 7$.

Οπότε η πιθανότητα ψευδούς συναγερμού υπολογίζεται από:

$$\alpha = P(X \geq k), X \sim \text{Bin}(n, \bar{p}) \quad [32]$$

όπου $\alpha \approx 0,0490$.

Σύμφωνα με την σχέση [25] το τελικό ARL_o για το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής No 1 είναι: $ARL_o = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,0490} \approx 204$ και αυτό υποδηλώνει ότι το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 1 θα δώσει έναν ψευδή συναγερμό κατά μέσο όρο κάθε 204 δείγματα. Από την εξέταση του διαγράμματος παρατηρείται ότι όλα τα σημεία βρίσκονται μέσα στα καθορισμένα όρια ελέγχου. Η κατανομή των σημείων γύρω από την κεντρική γραμμή δείχνει ότι η διεργασία παρουσιάζει σχετικά σταθερή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της περιόδου παρακολούθησης. Οι περισσότερες παρατηρήσεις βρίσκονται κοντά στην μέση τιμή και δεν εμφανίζονται σημεία που να υπερβαίνουν τα όρια ελέγχου. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η μεταβλητότητα που παρατηρείται στη διεργασία μπορεί να αποδοθεί κυρίως στη φυσιολογική τυχαία μεταβλητότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Παράλληλα, σε συγκεκριμένα δείγματα παρατηρούνται τιμές ίσες με μηδέν, γεγονός που σημαίνει ότι κατά τις συγκεκριμένες χρονικές περιόδους δεν καταγράφηκαν ελαττωματικά τεμάχια. Η εμφάνιση τέτοιων τιμών είναι αναμενόμενη σε διαγράμματα p όταν το ποσοστό ελαττωματικών προϊόντων είναι χαμηλό. Επομένως, η διεργασία φαίνεται να λειτουργεί υπό στατιστικό έλεγχο και το ποσοστό των μη συμμορφούμενων προϊόντων παραμένει σε χαμηλά επίπεδα.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα ελαττωματικά τεμάχια της δεύτερης συσκευαστικής μηχανής και ο αριθμός δείγματος N ανά εβδομάδα.

Εβδομάδα	X_i	N_i
1	10	266
2	8	200
3	8	224
4	11	220
5	5	175
6	11	211

Εβδομάδα	X_i	N_i
20	1	131
21	4	300
22	7	310
23	9	265
24	8	260
25	9	265

7	10	202
8	13	245
9	9	250
10	10	214
11	9	220
12	2	250
13	8	224
14	3	270
15	3	250
16	4	180
17	4	280
18	0	118
19	0	120

26	8	260
27	8	280
28	7	300
29	9	180
30	4	247
31	8	250
32	8	280
33	8	280
34	0	124
35	7	310
36	7	322
37	0	303
38	2	180

Πίνακας 5 Συσκευαστική μηχανή Νο2

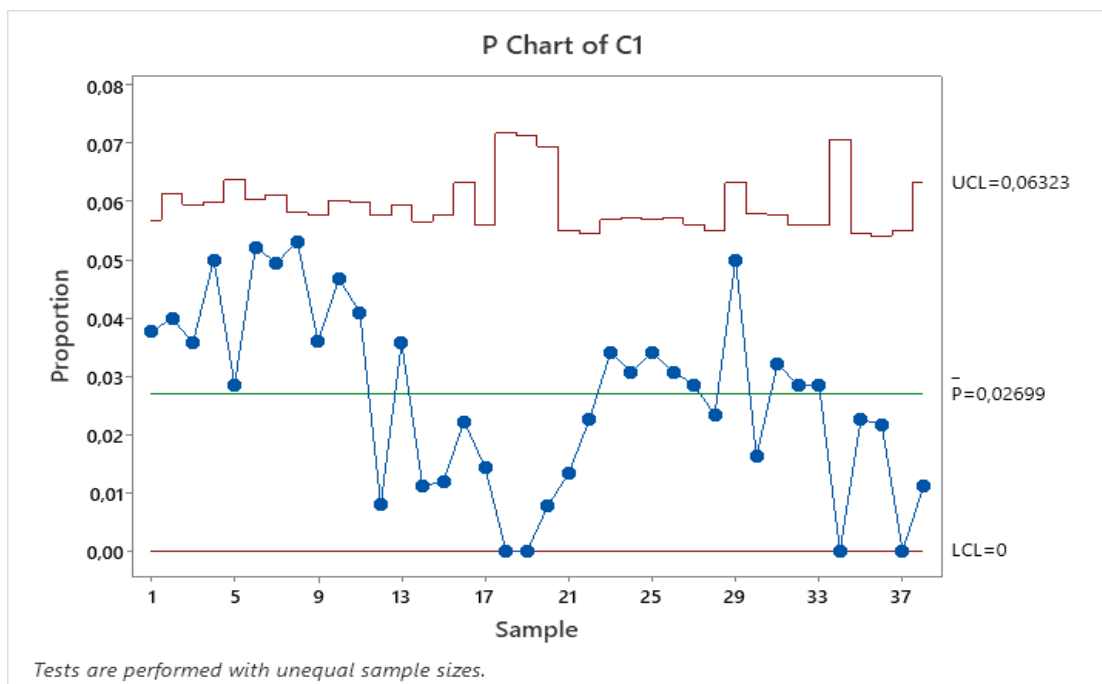
Η ίδια διαδικασία που εφαρμόστηκε για την κατασκευή διαγράμματος ελέγχου p στην πρώτη συσκευαστική μηχανή, εφαρμόστηκε και στις υπόλοιπες 6. Οπότε στη δεύτερη συσκευαστική μηχανή έχουμε:

$$\sum X_i = 242 \text{ και } \sum n_i = 8966$$

$$\text{οπότε: } \bar{p} = \frac{242}{8966} = 0,02699$$

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα p για την δεύτερη συσκευαστική μηχανή προκύπτει ότι όλες οι τιμές της αναλογίας ελαττωματικών προϊόντων βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου. Αυτό αποδεικνύει ότι η διεργασία λειτουργεί υπό στατιστικό έλεγχο και ότι οι διακυμάνσεις που εμφανίζονται οφείλονται σε φυσιολογικές τυχαίες μεταβολές της παραγωγικής διαδικασίας. Σύμφωνα με τους τύπους από τις σχέσεις [30], [31] και [32] θα υπολογιστεί αντίστοιχα το ARL για το διάγραμμα ελέγχου της συσκευαστικής μηχανής 2. Σύμφωνα με την σχέση [30] προκύπτει $n = \frac{9 * 0,02699 * (1 - 0,02699)}{(0,06323 - 0,02699)^2} \approx 180$. Αντίστοιχα υπολογίζουμε το k και α από

τις σχέσεις [31] όπου $k = \lceil 180 * 0,06323 \rceil + 1 = 12$ και από τη σχέση [32] προκύπτει $\alpha = P(X \geq 12)$, $X \sim \text{Bin}(180, 0,02699) \Leftrightarrow \alpha \approx 0,00382$. Οπότε το τελικό ARL_o για το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 2 είναι: $ARL_o = \frac{1}{0,00382} \approx 262$ και αυτό υποδηλώνει ότι το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 2 θα δώσει έναν ψευδή συναγερμό κατά μέσο όρο κάθε 262 δείγματα.



Εικόνα 5 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο2

Για την τρίτη συσκευαστική μηχανή έχουμε:

Εβδομάδα	X_i	N_i
1	9	329
2	7	347
3	5	423
4	9	405
5	7	223
6	5	180
7	2	228

Εβδομάδα	X_i	N_i
20	1	161
21	5	385
22	5	304
23	9	257
24	7	265
25	9	229
26	9	301

8	1	100
9	0	343
10	4	322
11	5	300
12	2	310
13	7	249
14	7	250
15	0	300
16	4	222
17	3	130
18	0	263
19	4	230

27	0	130
28	1	339
29	2	350
30	3	300
31	1	315
32	5	295
33	1	250
34	5	300
35	7	304
36	3	258
37	4	304
38	2	250

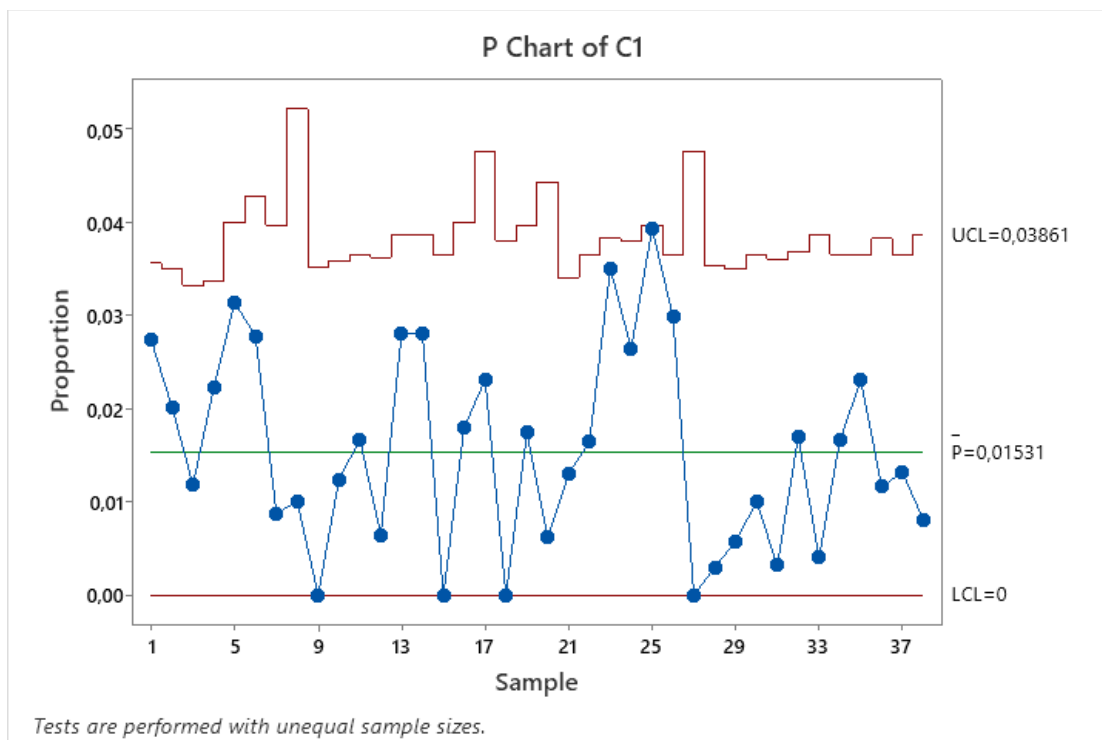
Πίνακας 6 Συσκευαστική μηχανή Νο3

και προκύπτει ότι:

$$\sum X_i = 160 \text{ και } \sum n_i = 10.451$$

$$\text{οπότε: } \bar{p} = \frac{160}{10451} = 0,01531$$

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και στο παρακάτω διάγραμμα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όλες οι τιμές της αναλογίας των ελαττωματικών προϊόντων βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου. Δεν εμφανίζονται σημεία που να υπερβαίνουν το ανώτερο όριο ελέγχου ούτε σημεία κάτω από το κατώτερο όριο. Σύμφωνα με την σχέση [30] προκύπτει $n \approx \frac{9 * 0,01531(1 - 0,01531)}{(0,03861 - 0,01531)^2} \approx 250$. Αντίστοιχα υπολογίζουμε το k και α από τις σχέσεις [31] όπου $k = \lfloor 250 * 0,03861 \rfloor + 1 = 10$ και από τη σχέση [32] προκύπτει $\alpha = P(X \geq 10)$, $X \sim \text{Bin}(250, 0,01531) \Leftrightarrow \alpha \approx 0,00567$. Οπότε το τελικό ARL_o για το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 3 είναι: $ARL_o = \frac{1}{0,00567} \approx 176$ και αυτό υποδηλώνει ότι το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 3 θα δώσει έναν ψευδή συναγερμό κατά μέσο όρο κάθε 176 δείγματα.



Εικόνα 6 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο3

Για την τέταρτη συσκευαστική μηχανή έχουμε:

Εβδομάδα	X_i	N_i
1	10	149
2	11	116
3	1	80
4	6	168
5	8	118
6	11	111
7	12	121
8	4	104
9	8	88
10	10	202
11	4	108
12	8	132

Εβδομάδα	X_i	N_i
20	7	187
21	8	220
22	7	200
23	3	83
24	5	102
25	9	136
26	1	54
27	6	116
28	10	149
29	8	97
30	7	151
31	0	113

13	10	102
14	9	140
15	9	151
16	9	121
17	3	47
18	7	147
19	10	159

32	0	70
33	3	123
34	2	125
35	8	106
36	6	91
37	9	113
38	4	100

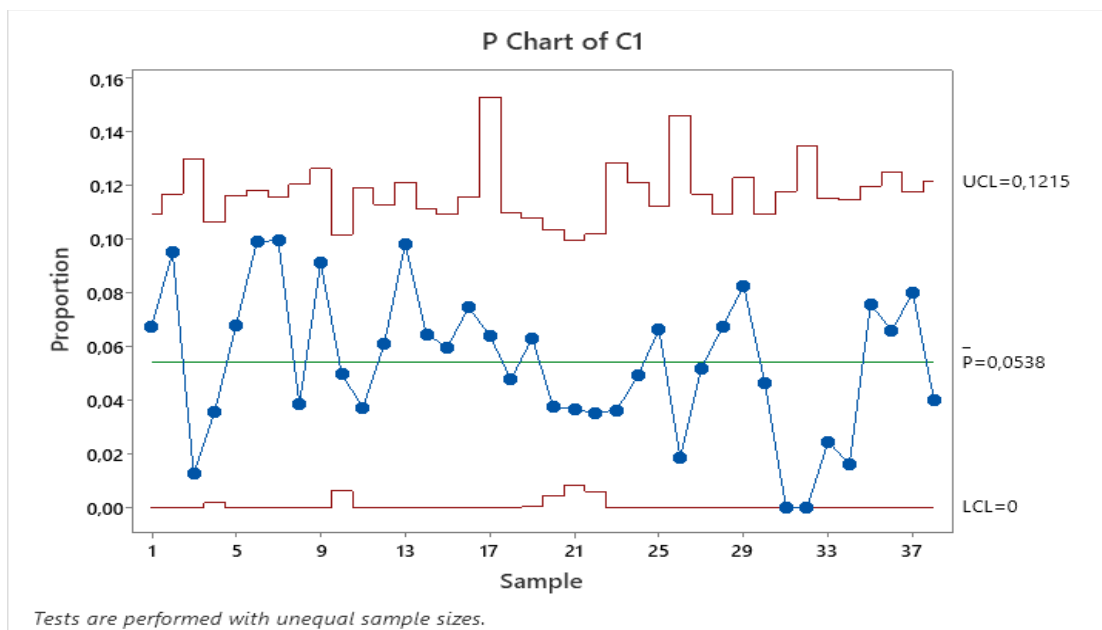
Πίνακας 7 Συσκευαστική μηχανή Νο4

και προκύπτει ότι:

$$\sum X_i = 253 \text{ και } \sum n_i = 4700$$

$$\text{οπότε: } \bar{p} = \frac{253}{4700} = 0,0538$$

Σύμφωνα με το διάγραμμα p που παρουσιάζεται παρακάτω, προκύπτει ότι όλες οι τιμές της αναλογίας μη συμμορφούμενων μονάδων βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου και δεν εμφανίζονται σημεία εκτός των καθορισμένων ορίων. Οπότε, η διεργασία λειτουργεί υπό στατιστικό έλεγχο. Σύμφωνα με την σχέση [30] προκύπτει $n \approx \frac{9 * 0,05383(1 - 0,05383)}{(0,1215 - 0,05383)^2} \approx 100$. Αντίστοιχα υπολογίζουμε το k και α από τις σχέσεις [31] όπου $k = [100 * 0,1215] + 1 = 13$ και από τη σχέση [32] προκύπτει $\alpha = P(X \geq 13)$, $X \sim \text{Bin}(100, 0,05383) \Leftrightarrow \alpha \approx 0,00278$. Οπότε το τελικό ARL_o για το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 4 είναι: $ARL_o = \frac{1}{0,00378} \approx 360$ και αυτό υποδηλώνει ότι το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 4 θα δώσει έναν ψευδή συναγερμό κατά μέσο όρο κάθε 360 δείγματα.



Εικόνα 7 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο4

Για την πέμπτη συσκευαστική μηχανή έχουμε:

Εβδομάδα	X_i	N_i
1	8	340
2	5	225
3	8	280
4	7	227
5	3	202
6	8	320
7	0	170
8	5	255
9	8	288
10	7	368
11	4	253
12	2	217
13	3	278

Εβδομάδα	X_i	N_i
20	3	300
21	7	400
22	0	180
23	5	355
24	7	327
25	6	337
26	3	324
27	5	405
28	3	333
29	1	250
30	3	280
31	4	247
32	3	259

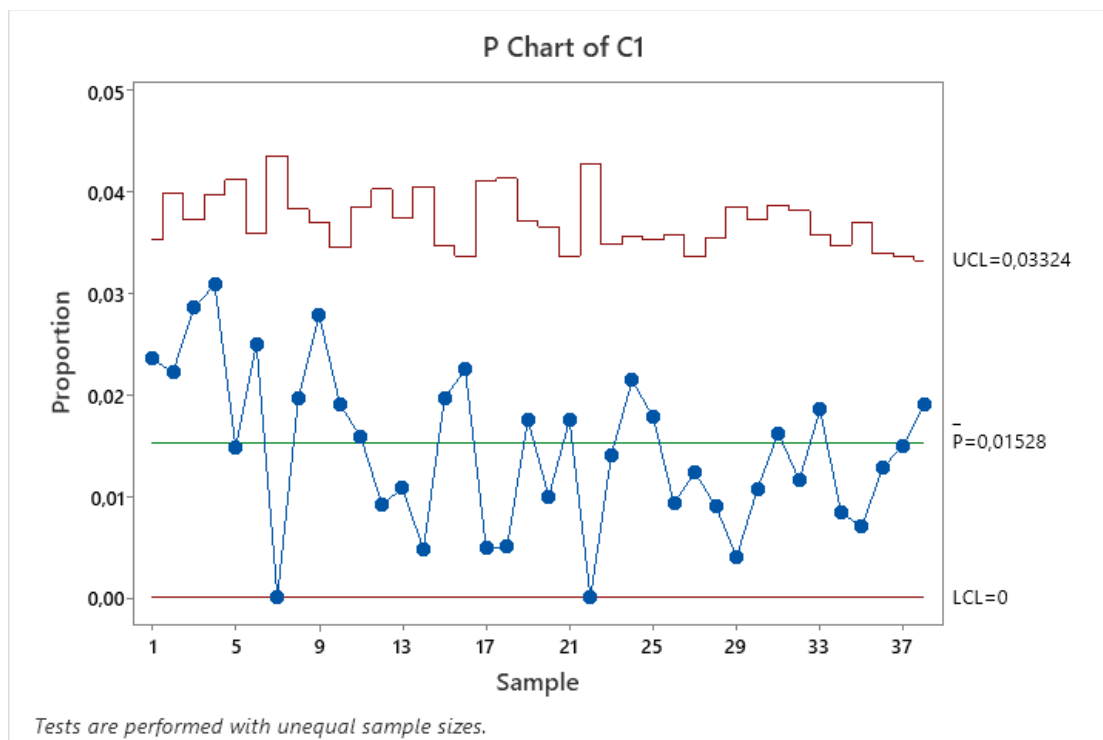
14	1	213	33	6	324
15	7	357	34	3	357
16	9	400	35	2	287
17	1	204	36	5	389
18	1	200	37	6	401
19	5	285	38	8	420

Πίνακας 8 Συσκευαστική μηχανή Νο5

$$\sum X_i = 172 \text{ και } \sum n_i = 11257$$

$$\text{οπότε: } \bar{p} = \frac{172}{11257} = 0,01528$$

Σύμφωνα με το διάγραμμα p που παρουσιάζεται παρακάτω, προκύπτει ότι όλες οι τιμές της αναλογίας μη συμμορφούμενων μονάδων βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου και επομένως η διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Σύμφωνα με την σχέση [30] προκύπτει $n \approx \frac{9 * 0,01528(1 - 0,01528)}{(0,03324 - 0,01528)^2} \approx 420$. Αντίστοιχα υπολογίζουμε το k και α από τις σχέσεις [31] όπου $k = [420 * 0,03324] + 1 = 14$ και από τη σχέση [32] προκύπτει $\alpha = P(X \geq 14)$, $X \sim \text{Bin}(420, 0,01528) \Leftrightarrow \alpha \approx 0,00599$. Οπότε το τελικό ARL_o για το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 5 είναι: $ARL_o = \frac{1}{0,00599} \approx 167$ και αυτό υποδηλώνει ότι το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 5 θα δώσει έναν ψευδή συναγερμό κατά μέσο όρο κάθε 167 δείγματα.



Εικόνα 8 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο5

Για την έκτη συσκευαστική μηχανή έχουμε:

Εβδομάδα	X_i	N_i
1	0	200
2	5	255
3	0	140
4	0	160
5	8	453
6	4	254
7	5	255
8	1	200
9	2	205
10	1	200
11	0	180

Εβδομάδα	X_i	N_i
20	0	100
21	0	150
22	1	200
23	0	200
24	0	180
25	0	218
26	0	117
27	3	333
28	0	165
29	6	546
30	5	557

12	0	160
13	0	90
14	2	220
15	5	320
16	2	262
17	1	260
18	7	400
19	1	200

31	1	355
32	0	180
33	1	220
34	0	200
35	1	280
36	1	290
37	0	240
38	0	221

Πίνακας 9 Συσκευαστική μηχανή Νο6

$$\sum X_i = 172 \text{ και } \sum n_i = 11257$$

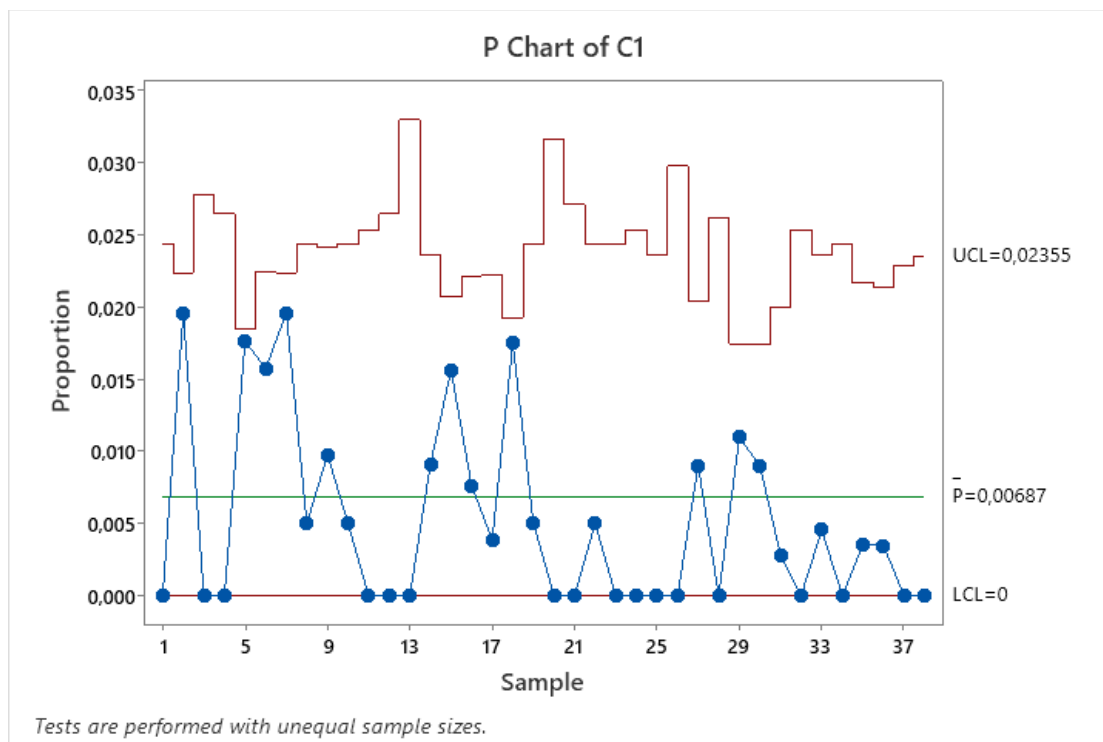
$$\text{οπότε: } \bar{p} = \frac{63}{9166} = 0,00687$$

Σύμφωνα με το διάγραμμα p που παρουσιάζεται παρακάτω, προκύπτει ότι όλες οι τιμές της αναλογίας μη συμμορφούμενων μονάδων βρίσκονται εντός των καθορισμένων ορίων ελέγχου και επομένως η διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Σύμφωνα με την σχέση [30] προκύπτει $n \approx \frac{9 * 0,0687 * (1 - 0,0687)}{(0,02355 - 0,0687)^2} \approx 221$.

Αντίστοιχα υπολογίζουμε το k και α από τις σχέσεις [31] όπου $k = [221 * 0,02355] + 1 = 6$ και από τη σχέση [32] προκύπτει $\alpha = P(X \geq 6)$, $X \sim \text{Bin}(221, 0,00687) \Leftrightarrow \alpha \approx 0,00454$. Οπότε το τελικό ARL_0 για το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 6 είναι:

$$ARL_0 = \frac{1}{0,00454} \approx 220 \text{ και αυτό υποδηλώνει ότι το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 6}$$

θα δώσει έναν ψευδή συναγερμό κατά μέσο όρο κάθε 220 δείγματα.



Εικόνα 9 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο6

Για την έβδομη συσκευαστική μηχανή έχουμε:

Εβδομάδα	X_i	N_i
1	0	200
2	3	190
3	4	220
4	1	241
5	6	188
6	5	320
7	8	400
8	2	450
9	3	247
10	0	210
11	0	204

Εβδομάδα	X_i	N_i
20	0	220
21	0	214
22	0	210
23	3	230
24	4	241
25	3	248
26	5	250
27	3	235
28	4	260
29	0	200
30	0	189

12	0	260
13	0	200
14	0	190
15	0	170
16	0	240
17	0	200
18	0	178
19	0	196

31	0	179
32	0	300
33	0	225
34	0	220
35	1	204
36	5	258
37	1	204
38	5	265

Πίνακας 10 Συσκευαστική μηχανή Νο7

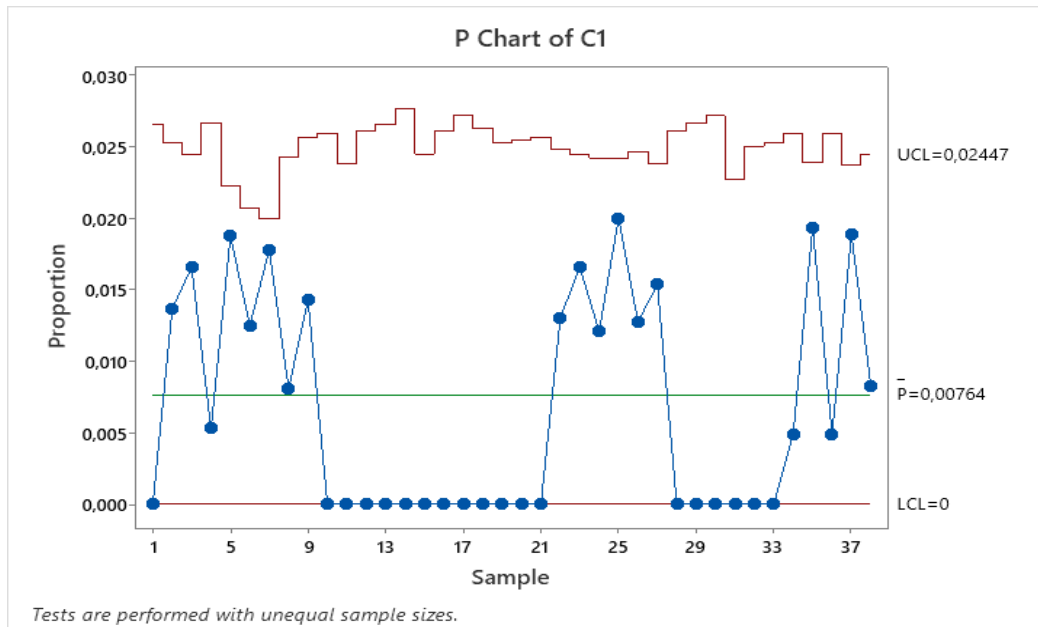
$$\sum X_i = 172 \text{ και } \sum n_i = 11257$$

$$\text{οπότε: } \bar{p} = \frac{68}{8897} = 0,00764$$

Σύμφωνα με το διάγραμμα ελέγχου p που παρουσιάζεται παρακάτω, παρατηρείται ότι όλες καμία τιμή της αναλογίας των προβληματικών τεμαχίων δεν υπερβαίνει το Ανώτερο Όριο Ελέγχου. Δηλαδή, όλες οι παρατηρήσεις βρίσκονται κάτω από το ΑΟΕ και δεν εμφανίζονται ενδείξεις που να υποδηλώνουν την ύπαρξη ειδικών αιτιών μεταβλητότητας. Με βάση τα παραπάνω, η διεργασία φαίνεται να βρίσκεται σε κατάσταση στατιστικής σταθερότητας, ενώ οι μεταβολές που παρατηρούνται οφείλονται κυρίως στη φυσιολογική τυχαία μεταβλητότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Σύμφωνα με την σχέση [30] προκύπτει $n \approx \frac{9 * 0,00764 * (1 - 0,00764)}{(0,02447 - 0,00764)^2} \approx 241$.

Αντίστοιχα υπολογίζουμε το k και α από τις σχέσεις [31] όπου $k = [241 * 0,00764] + 1 = 6$ και από τη σχέση [32] προκύπτει $\alpha = P(X \geq 6)$, $X \sim \text{Bin}(241, 0,00764) \Leftrightarrow \alpha \approx 0.01117$. Οπότε το τελικό ARL_0 για το διάγραμμα ελέγχου της μηχανής 7 είναι: $ARL_0 = \frac{1}{0,01117} \approx 89$. Η τιμή αυτή είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με τη θεωρητική τιμή $ARL_0 \approx 370$ των διαγραμμάτων 3σ, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης ψευδών συναγερμών. Συνεπώς, το συγκεκριμένο διάγραμμα εμφανίζεται ιδιαίτερα ευαίσθητο αλλά λιγότερο σταθερό, ενώ γενικά επιθυμητές είναι μεγαλύτερες τιμές του ARL_0 , οι οποίες υποδηλώνουν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Η τιμή του ARL_0 επηρεάζεται από τα όρια ελέγχου, καθώς η αύξηση των ορίων (π.χ. 3.5σ ή

4σ αντί για 3σ) οδηγεί σε αύξηση του ARL_0 και μείωση της πιθανότητας ψευδούς συναγερμού.



Εικόνα 10 Διάγραμμα ελέγχου p συσκευαστικής μηχανής Νο7

Συνοψίζοντας, η ανάλυση των διαγραμμάτων ελέγχου τύπου p έδειξε ότι η διαδικασία συσκευασίας των προϊόντων παρουσιάζει γενικά σταθερή και ελεγχόμενη συμπεριφορά. Σε όλα τα διαγράμματα που εξετάστηκαν, οι τιμές της αναλογίας μη συμμορφούμενων μονάδων βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου, γεγονός που υποδηλώνει ότι η διεργασία λειτουργεί υπό στατιστικό έλεγχο. Συνεπώς, δεν προκύπτουν ενδείξεις παρουσίας ειδικών αιτιών μεταβλητότητας που να επηρεάζουν σημαντικά τη σταθερότητα της διαδικασίας συσκευασίας.

4.4 Προτάσεις βελτίωσης της διεργασίας

Η διερεύνηση των διαγραμμάτων ελέγχου τύπου p που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο έδωσε τη δυνατότητα να εξεταστεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το επίπεδο σταθερότητας και ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί η παραγωγική διαδικασία που αφορά τη συσκευασία των προϊόντων. Από την

επεξεργασία και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε ότι οι περισσότερες συσκευαστικές μηχανές λειτουργούν γενικά με σταθερό και ελεγχόμενο τρόπο. Παρόλο που τα ευρήματα δείχνουν ότι η συνολική απόδοση της διαδικασίας συσκευασίας μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, εξακολουθεί να υπάρχει περιθώριο βελτίωσης. Η υιοθέτηση οργανωμένων πρακτικών συνεχούς βελτίωσης, όπως η συστηματική παρακολούθηση των δεδομένων παραγωγής και η εφαρμογή προληπτικών ενεργειών, μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση της μεταβλητότητας. Μια ιδιαίτερα αποτελεσματική πρακτική βελτίωσης είναι η εφαρμογή αυτόματων συστημάτων ελέγχου βάρους, όπως οι συσκευές checkweigher (ή e-checker). Τα συστήματα αυτά τοποθετούνται απευθείας στη γραμμή παραγωγής και αφού γίνουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις πραγματοποιούν αυτόματη ζύγιση σε κάθε προϊόν που περνά από τη διαδικασία συσκευασίας. Αν κάποιο προϊόν δεν βρεθεί μέσα στα προκαθορισμένα όρια βάρους, το σύστημα το ανιχνεύει και το απορρίπτει αυτόματα από τη γραμμή παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό, οι συσκευές checkweigher μπορούν ελέγχουν το σύνολο των προϊόντων σε πραγματικό χρόνο και να ξεχωρίζουν ή να απορρίπτουν όσα δεν ανταποκρίνονται στις απαιτούμενες προδιαγραφές του βάρους. Έτσι διασφαλίζεται η τήρηση της νομοθεσίας σχετικά με το καθαρό βάρος των προϊόντων, ενώ παράλληλα περιορίζεται σημαντικά ο κίνδυνος εμφάνισης μη συμμορφώσεων στη διαδικασία συσκευασίας. Παράλληλα, τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από τα συστήματα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για τη συνεχή εποπτεία της παραγωγικής διαδικασίας μέσω εργαλείων ΣΕΔ.

Μια δεύτερη ουσιαστική προσέγγιση για τη βελτίωση της συγκεκριμένης διεργασίας αφορά την περαιτέρω ανάπτυξη και ενίσχυση της αυτοματοποίησης, καθώς και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων για την παρακολούθηση της διαδικασίας συσκευασίας. Η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών αυτοματισμού, σε συνδυασμό με τη χρήση εξειδικευμένων αισθητήρων στη βιομηχανία των τροφίμων, δίνει τη δυνατότητα για πιο ακριβή, συνεχή και αξιόπιστη παρακολούθηση βασικών παραμέτρων της παραγωγικής διεργασίας. Τέτοιες παράμετροι περιλαμβάνουν τον ακριβή έλεγχο του βάρους των προϊόντων, τη διασφάλιση της σωστής στεγανότητας της συσκευασίας, καθώς και την αποτελεσματική και ομαλή λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η

ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων γραμμών συσκευασίας συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των λαθών που μπορεί να προκύψουν από την ανθρώπινη παρέμβαση, καθώς πολλές από τις διαδικασίες θα εκτελούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια από τα μηχανικά συστήματα.

Μια τρίτη βασική προσέγγιση για τη βελτίωση της διεργασίας αφορά την εφαρμογή προληπτικής συντήρησης του εξοπλισμού παραγωγής. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη συσκευασία των προϊόντων αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς επηρεάζει άμεσα την ποιότητα και την ομαλή ροή της παραγωγής. Σε περίπτωση που προκύψουν τεχνικά προβλήματα, φθορές ή δυσλειτουργίες στις συσκευαστικές μηχανές, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να παραχθούν προϊόντα που δεν πληρούν τις προδιαγραφές ποιότητας, γεγονός που μπορεί να έχει αποτέλεσμα περισσότερων ελαττωματικών τεμαχίων και καθυστέρηση της παραγωγής. Για να αποφευχθεί αυτό, είναι αναγκαίο να υιοθετηθεί ένα πρόγραμμα που περιλαμβάνει μια σειρά από προγραμματισμένες ενέργειες, όπως περιοδικούς τεχνικούς ελέγχους του εξοπλισμού και συστηματικό καθαρισμό των μηχανών. Με αυτές τις ενέργειες, θα είναι δυνατή η έγκαιρη ανίχνευση πιθανών προβλημάτων, που θα μπορούσαν να εξελιχθούν σε βλάβες και να οδηγούσαν στη διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας. Τέλος, η σωστή συντήρηση βοηθάει στη μείωση της φθοράς του μηχανολογικού εξοπλισμού και στη διατήρηση της σταθερής και αξιόπιστης λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας.

4.5 Σύγκριση διαγραμμάτων ελέγχου p και EWMA

Το EWMA διάγραμμα βασίζεται στη στατιστική:

$$Z_t = \lambda p_t + (1 - \lambda) Z_{t-1} \quad [33]$$

όπου:

- p_t : το ποσοστό ελαττωματικών στο δείγμα t
- λ : παράμετρος εξομάλυνσης $0 < \lambda < 1$

- $Z_0 = p_0$

Η παράμετρος λ καθορίζει πόσο βάρος δίνεται στην πιο πρόσφατη παρατήρηση. Μικρές τιμές λ μπορούν να δώσουν μεγαλύτερη βαρύτητα στο ιστορικό της διεργασίας και καθιστούν το EWMA πιο ευαίσθητο σε μικρές μετατοπίσεις. Για μεγάλο αριθμό δειγμάτων τα όρια ελέγχου δίνονται σύμφωνα με τον τύπο:

$$UCL = p_0 + L \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2t}] \frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad [34]$$

$$LCL = p_0 - L \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2t}] \frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad [35]$$

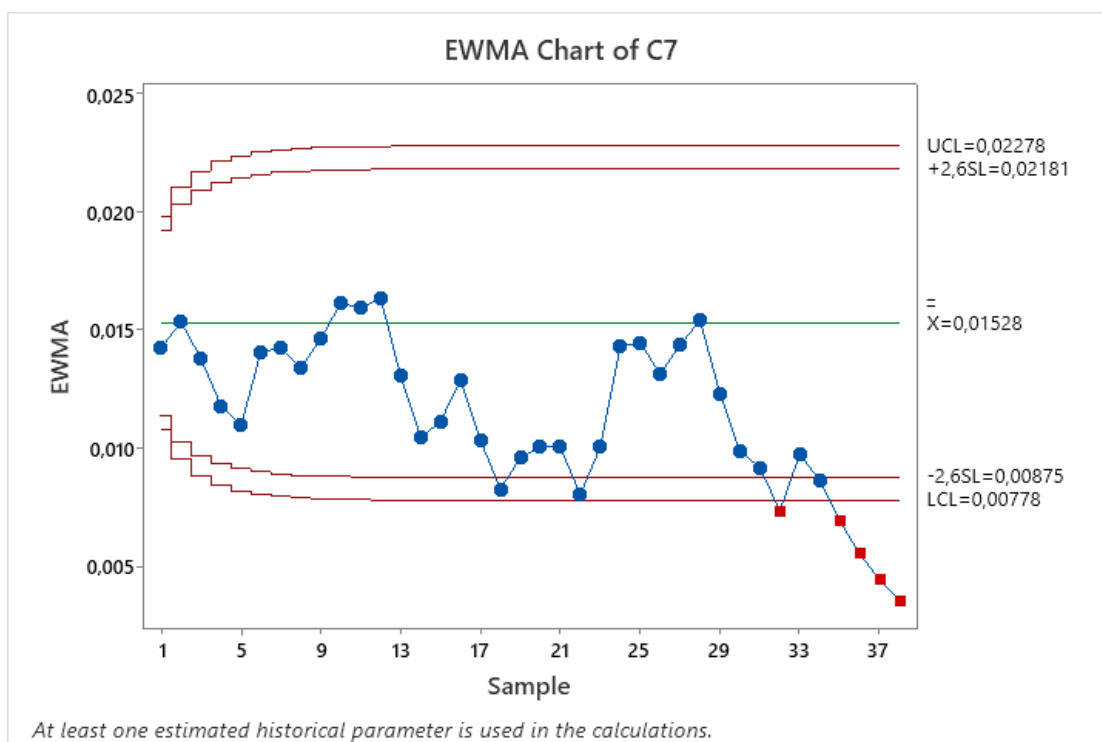
Αν η τιμή του LCL είναι αρνητική, τίθεται $LCL = 0$. Για να είναι συγκρίσιμα τα EWMA διαγράμματα με τα p διαγράμματα, επιλέχθηκε κοινή τιμή $\lambda = 0,20$ και στη συνέχεια η τιμή του L προσαρμόστηκε έτσι ώστε το ARL_0 του EWMA να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο ARL_0 του αντίστοιχου p διαγράμματος. Έπειτα δημιουργήθηκαν διαγράμματα ελέγχου EWMA, με σκοπό να συγκριθούν με τα αντίστοιχα διαγράμματα ελέγχου p . Τα διαγράμματα EWMA ρυθμίστηκαν έτσι ώστε να έχουν περίπου το ίδιο μήκος ροής σε κατάσταση ελέγχου (ARL_0) με το αντίστοιχο p διάγραμμα. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίστηκε ότι και οι δύο προσεγγίσεις λειτουργούν σε παρόμοιες συνθήκες, όσον αφορά τη συχνότητα εμφάνισης ψευδών συναγερμών. Για να είναι συγκρίσιμα τα EWMA διαγράμματα με τα p διαγράμματα, επιλέχθηκε κοινή τιμή $\lambda = 0.20$ και στη συνέχεια η τιμή του L προσαρμόστηκε έτσι ώστε το ARL_0 του EWMA να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο ARL_0 του αντίστοιχου p διαγράμματος. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου (L) που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του EWMA διαγραμμάτων, καθώς και τα αντίστοιχα ARL_0 , ώστε να είναι συγκρίσιμα με τα p διαγράμματα.

Μηχανή	L	ARL_0 EWMA
1	2,65	≈ 199
2	2,75	≈ 263
3	2,61	≈ 178

4	2,87	≈ 356
5	2,59	≈ 175
6	2,72	≈ 219
7	2,33	≈ 91

Πίνακας 11 Παράμετροι σχεδιασμού EWMA και τιμές ARL_0

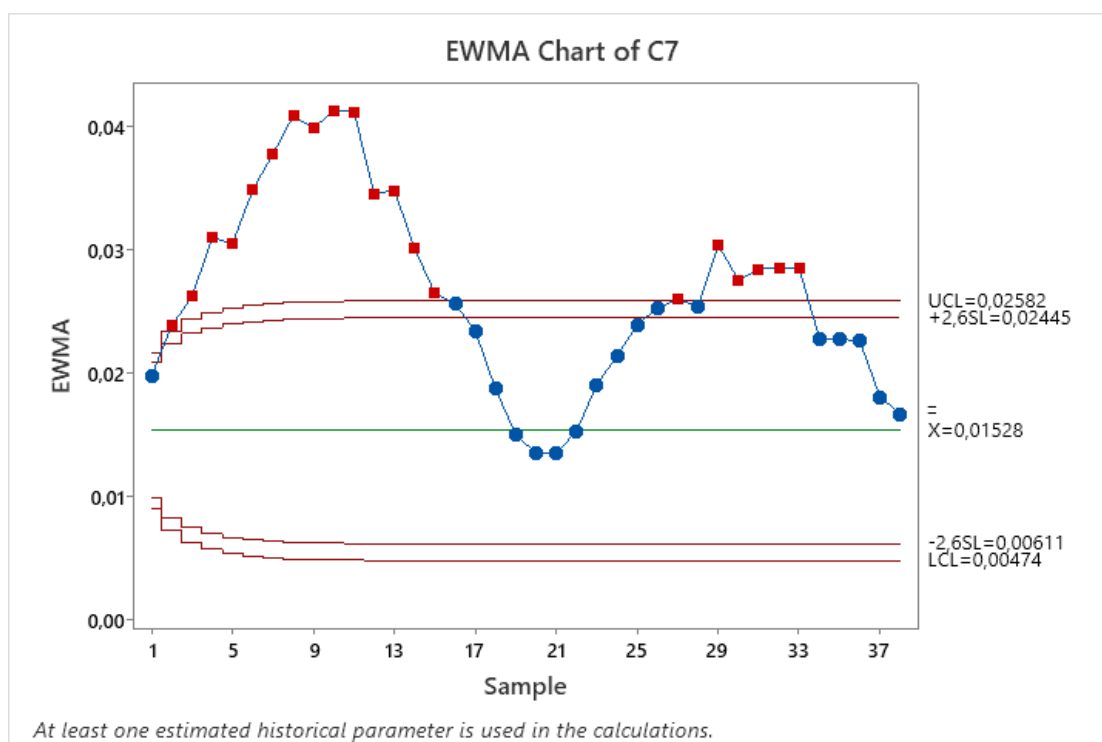
Παρατηρείται ότι τα EWMA διαγράμματα έχουν ρυθμιστεί έτσι ώστε το (ARL_0) να είναι συγκρίσιμο με το αντίστοιχο των p διαγραμμάτων. Υπό αυτές τις συνθήκες, το EWMA εμφανίζει μεγαλύτερη ικανότητα ανίχνευσης μικρών και σταδιακών μετατοπίσεων της διεργασίας, καθώς λαμβάνει υπόψη και προηγούμενες παρατηρήσεις. Αντίθετα, τα διαγράμματα τύπου Shewhart (p charts) είναι λιγότερο ευαίσθητα σε μικρές μεταβολές και ανταποκρίνονται κυρίως σε πιο έντονες αποκλίσεις.



Εικόνα 11 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο1

Για τη συσκευαστική μηχανή 1 έγινε σύγκριση του διαγράμματος ελέγχου p με το αντίστοιχο διάγραμμα EWMA, τα οποία έχουν διαμορφωθεί με σκοπό να εμφανίζουν

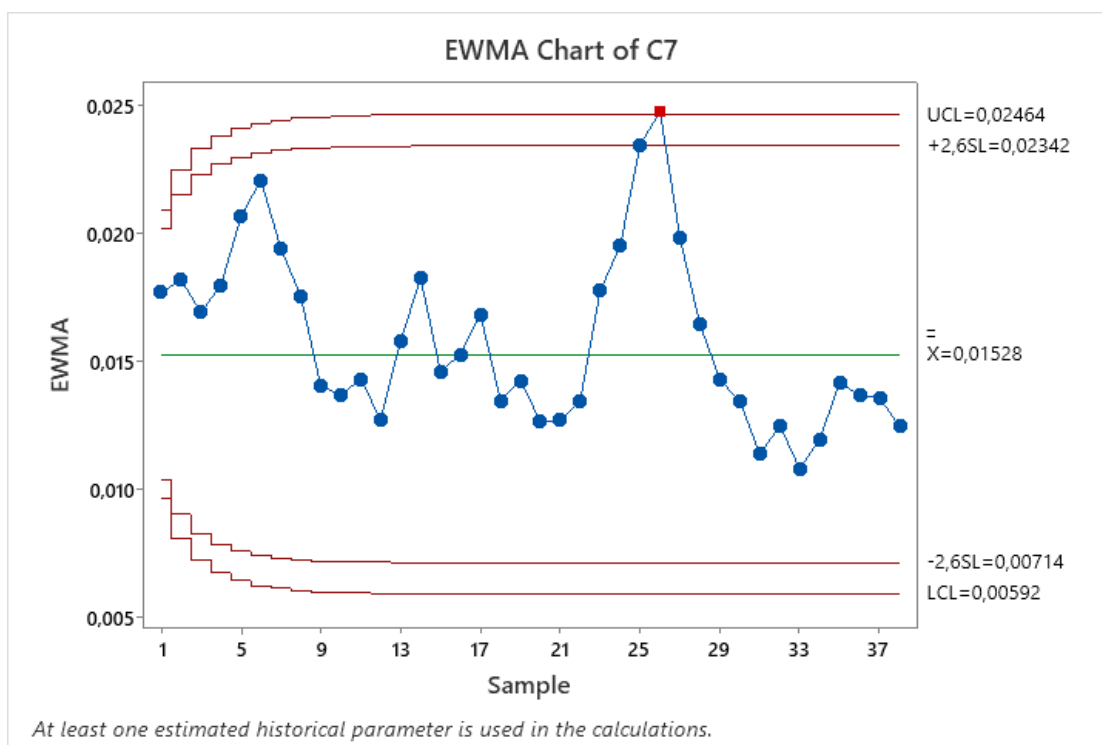
παρόμοιο μέσο μήκος ροής όταν η διεργασία είναι σε κανονική λειτουργία (ARL_0). Παρατηρώντας την εικόνα 4 για το p διάγραμμα διαπιστώνεται ότι όλα τα σημεία παραμένουν μέσα στα όρια ελέγχου, κάτι που δείχνει πως η διεργασία λειτουργεί σταθερά, χωρίς εμφανείς ενδείξεις απόκλισης ή διαταραχής. Από την άλλη πλευρά, το διάγραμμα EWMA φανερώνει μια ξεκάθαρη πτωτική πορεία προς το τέλος της περιόδου παρατήρησης, με αρκετές τιμές να πέφτουν κάτω από το κατώτερο όριο ελέγχου. Αυτό υποδεικνύει ότι έχει προκύψει μεταβολή στη διεργασία, η οποία δεν γίνεται αντιληπτή από το p διάγραμμα. Η διαφοροποίηση αυτή εξηγείται από τα χαρακτηριστικά του EWMA, το οποίο ενσωματώνει πληροφορίες από προηγούμενες μετρήσεις και παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία σε μικρές, σταδιακές αλλαγές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η μεταβολή σχετίζεται με μείωση του ποσοστού ελαττωματικών, γεγονός που ενδέχεται να υποδεικνύει βελτίωση της διεργασίας. Συμπερασματικά, το διάγραμμα EWMA προσφέρει πιο άμεση και αναλυτική αποτύπωση της πορείας της ποιότητας σε σύγκριση με το p διάγραμμα.



Εικόνα 12 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο2

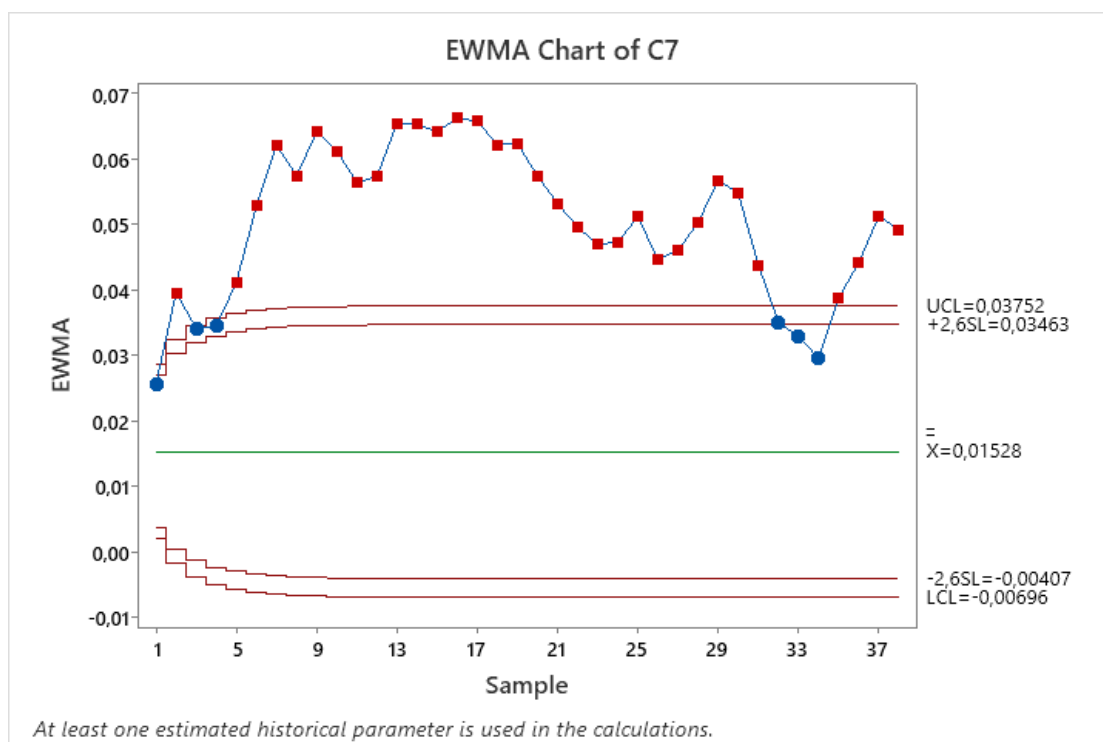
Σύμφωνα με το διάγραμμα ελέγχου p της εικόνας 5, διαπιστώνεται ότι καμία τιμή δεν ξεπερνά τα καθορισμένα όρια ελέγχου και ότι η συσκευαστική μηχανή 2 λειτουργεί

εντός των προκαθορισμένων ορίων. Αντίθετα, το διάγραμμα EWMA δείχνει ξεκάθαρα μια αλλαγή στη συμπεριφορά της διεργασίας, καθώς αρκετά σημεία στην αρχική φάση υπερβαίνουν το ανώτατο όριο ελέγχου. Αυτό υποδεικνύει υψηλότερο ποσοστό ελαττωματικών και ενδεχόμενη αστάθεια της διεργασίας σε εκείνη την περίοδο. Στη συνέχεια, καταγράφεται αισθητή πτώση στις τιμές, κάτι που φανερώνει ότι η διεργασία παρουσιάζει βελτίωση.



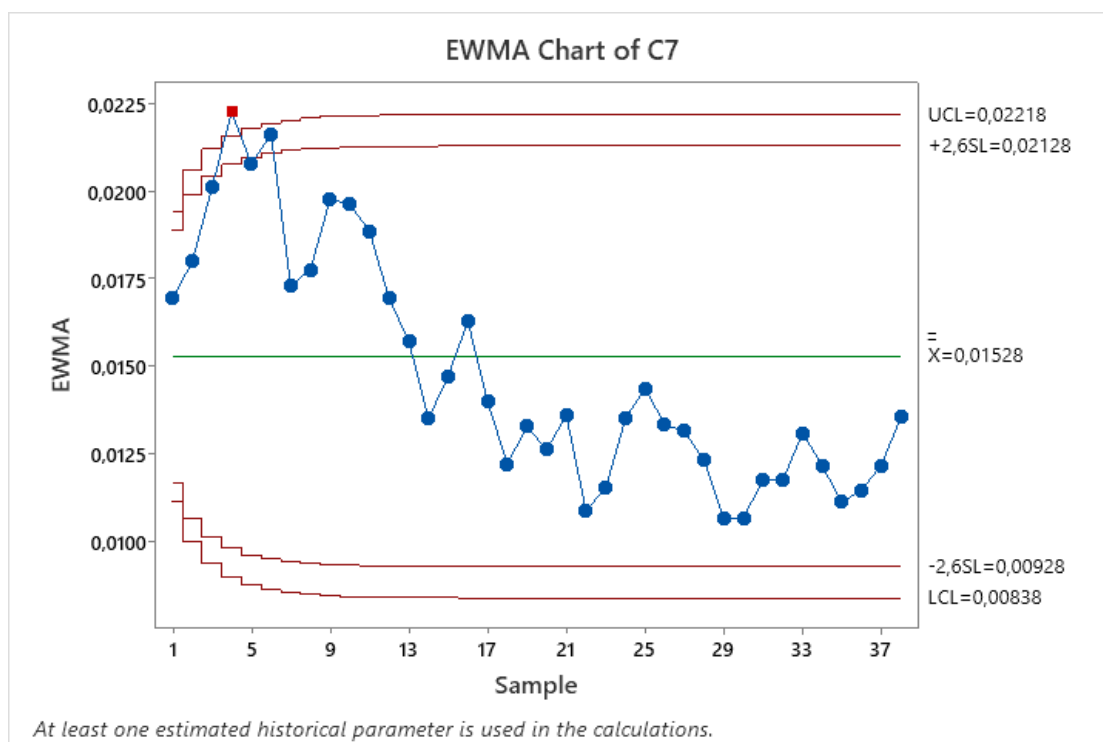
Εικόνα 13 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο3

Σύμφωνα με το διάγραμμα ελέγχου p της εικόνας 6, φαίνεται πως τα σημεία παραμένουν μέσα στα καθορισμένα όρια ελέγχου, κάτι που δείχνει ότι η συσκευαστική μηχανή 3 δεν εμφανίζει αποκλίσεις. Αντίθετα, το διάγραμμα EWMA φανερώνει πιο διακριτικές αλλαγές όπως στην αρχή εντοπίζονται τιμές που προσεγγίζουν ή και υπερβαίνουν το ανώτερο όριο ελέγχου. Αυτό υποδηλώνει υψηλότερο ποσοστό ελαττωματικών και ενδεχόμενη αστάθεια στη διεργασία. Στη συνέχεια, οι τιμές παρουσιάζουν πτωτική πορεία και καταλήγουν να σταθεροποιούνται σε χαμηλότερα επίπεδα, κάτι που δείχνει ότι η διεργασία βελτιώνεται και αποκτά μεγαλύτερη σταθερότητα με την εξέλιξη του χρόνου.



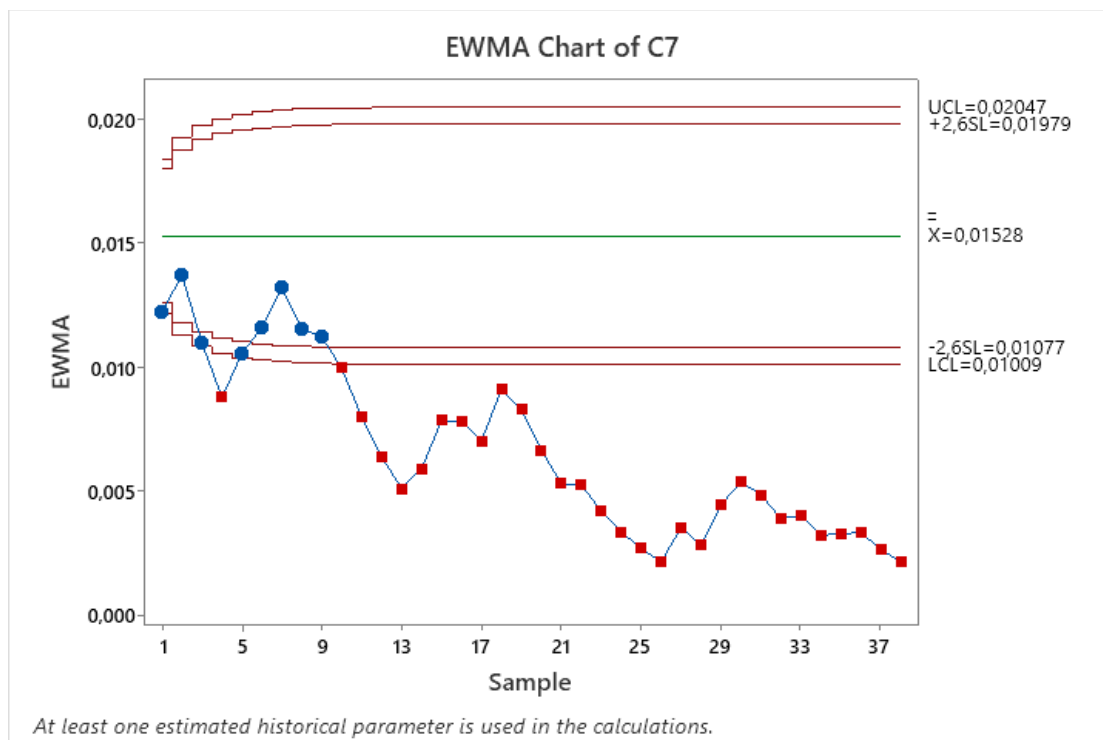
Εικόνα 14 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο4

Σύμφωνα με το διάγραμμα ελέγχου p της εικόνας 7, φαίνεται ότι η συσκευαστική μηχανή 4 λειτουργεί εντός ελέγχου, καθώς στο διάγραμμα p όλα τα σημεία βρίσκονται μέσα στα όρια ελέγχου και δεν παρατηρούνται ενδείξεις εκτός ελέγχου. Συνολικά, η μηχανή 4 δεν μπορεί να χαρακτηριστεί απολύτως σταθερή, αφού εμφανίζει διακυμάνσεις στη λειτουργία της, με περιόδους όπου η απόδοση βελτιώνεται και άλλες όπου χειροτερεύει. Αν και το p-chart δεν αποκαλύπτει εμφανή ζητήματα, το EWMA δείχνει ότι υπάρχει κρυφή μεταβλητότητα, κάτι που καθιστά απαραίτητη την περαιτέρω ανάλυση για τον εντοπισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη λειτουργική απόδοση της διεργασίας.



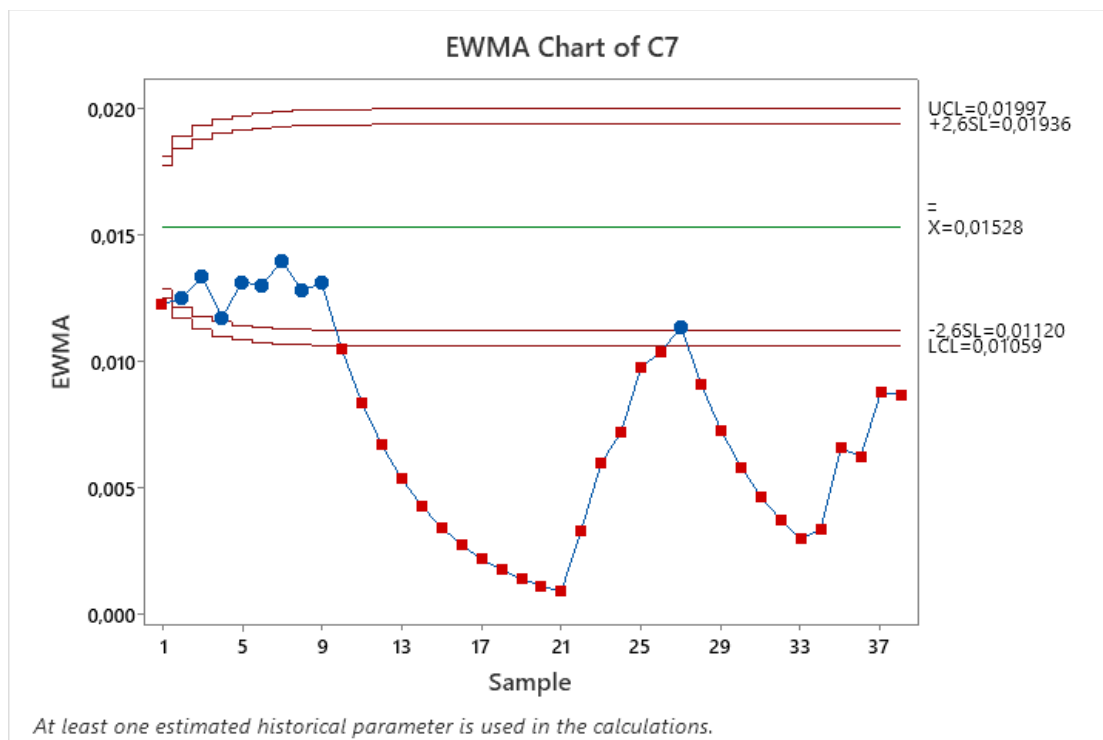
Εικόνα 15 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο5

Σύμφωνα με το διάγραμμα ελέγχου p της εικόνας 8, φαίνεται ότι η συσκευαστική μηχανή 5 λειτουργεί χωρίς να εμφανίζει σοβαρά σημάδια αστάθειας. Το p-chart δεν δείχνει τιμές που ξεπερνούν τα όρια ελέγχου, κάτι που υποδηλώνει ότι η διαδικασία βρίσκεται υπό στατιστική παρακολούθηση και έλεγχο. Παρ' όλα αυτά, το διάγραμμα EWMA φανερώνει μικρές μεταβολές και μια ελαφρά τάση αλλαγής στην απόδοση με την πάροδο του χρόνου. Αυτό δείχνει ότι, παρότι δεν υπάρχουν άμεσα προβλήματα, ενδέχεται να υφίσταται υποκείμενη μεταβλητότητα, η οποία θα ήταν σκόπιμο να διερευνηθεί περαιτέρω για να εξασφαλιστεί η διαχρονική σταθερότητα της διαδικασίας.



Εικόνα 16 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο6

Σύμφωνα με το διάγραμμα ελέγχου p της εικόνας 9, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όλες οι τιμές παραμένουν εντός των ορίων ελέγχου, χωρίς εμφανή σημεία εκτός ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι, η διεργασία λειτουργεί σταθερά και δεν παρουσιάζει έντονες αποκλίσεις ή αιφνίδιες ανωμαλίες. Ωστόσο, το EWMA διάγραμμα αποκαλύπτει μια πιο λεπτομερή εικόνα: παρατηρείται σταδιακή πτωτική τάση στις τιμές με την πάροδο των δειγμάτων. Παρότι τα σημεία δεν υπερβαίνουν τα όρια ελέγχου, η συνεχόμενη αυτή μείωση υποδηλώνει μια συστηματική μεταβολή στη συμπεριφορά της διεργασίας.



Εικόνα 17 Διάγραμμα ελέγχου EWMA συσκευαστικής μηχανής Νο7

Σύμφωνα με το διάγραμμα ελέγχου p της εικόνας 10, φαίνεται ότι όλες οι τιμές παραμένουν εντός των ορίων ελέγχου, χωρίς εμφανείς υπερβάσεις. Το διάγραμμα EWMA αποκαλύπτει μια πιο λεπτομερή και ευαίσθητη απεικόνιση της συμπεριφοράς της διεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μια σταδιακή πτωτική πορεία των τιμών σε διαδοχικά δείγματα. Παρότι κανένα σημείο δεν υπερβαίνει τα όρια ελέγχου, αυτή η συνεχής καθοδική τάση υποδηλώνει την πιθανότητα εμφάνισης μιας συστηματικής μεταβολής στη λειτουργία της διεργασίας.

5. Ερμηνεία και αξιολόγηση της παραγωγικής διεργασίας

5.1 Σύγκριση θεωρητικών αρχών Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο προσεγγίζεται μια διεξοδική και ουσιαστική σύγκριση ανάμεσα στις βασικές θεωρητικές αρχές του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών (ΣΕΔ) και στα εμπειρικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου στην παραγωγική διαδικασία της επιχείρησης. Ο κύριος σκοπός της προσέγγισης αυτής είναι να διαπιστωθεί αν η διαδικασία λειτουργεί υπό στατιστικό έλεγχο ή αν παρουσιάζονται πολλά ελαττώματα που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Με βάση τη θεωρία, μια παραγωγική διεργασία χαρακτηρίζεται ως στατιστικά ελεγχόμενη όταν τα δεδομένα που παράγονται από αυτήν κατανέμονται τυχαία γύρω από τη μέση τιμή, χωρίς να παρουσιάζουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα. Παράλληλα, βασική προϋπόθεση για να διαπιστωθεί ότι η διεργασία βρίσκεται υπό έλεγχο είναι οι τιμές των μετρήσεων να παραμένουν εντός των προκαθορισμένων ορίων ελέγχου. Η διατήρηση αυτών των ορίων αποδεικνύει ότι η διαδικασία δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν απόκλιση από την κανονική λειτουργία. Η επεξεργασία και η μελέτη των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι το ποσοστό των μη συμμορφούμενων προϊόντων παρέμεινε σταθερά εντός των ορίων ελέγχου σε όλη τη διάρκεια της παρακολούθησης. Αυτό, υποδηλώνει ότι η παραγωγική διαδικασία παρουσιάζει ομοιομορφία και δεν επηρεάζεται από έντονες διακυμάνσεις. Επιπλέον, η κατανομή των σημείων στα διαγράμματα δεν ανέδειξε συγκεκριμένες τάσεις, όπως συνεχείς αυξήσεις ή μειώσεις, ούτε εμφάνισε επαναλαμβανόμενα σχήματα που θα μπορούσαν να υποδεικνύουν την ύπαρξη συστηματικών δυσλειτουργιών. Τα αποτελέσματα αυτά, βρίσκονται σε συμφωνία με τις θεμελιώδεις αρχές του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών, σύμφωνα με τις οποίες η απουσία μη τυχαίων προτύπων αποτελεί ένδειξη ότι η μεταβλητότητα που παρατηρείται στη διαδικασία οφείλεται κυρίως σε φυσικούς και αναμενόμενους παράγοντες. Η σύγκριση ανάμεσα στη θεωρητική προσέγγιση και την πρακτική εφαρμογή δεν περιορίζεται απλώς στην επαλήθευση των βασικών θεωρητικών αρχών, αλλά διευρύνεται ώστε να εξεταστεί και το κατά

πόσο αυτές οι αρχές μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία σε πραγματικά βιομηχανικά περιβάλλοντα. Στη συγκεκριμένη έρευνα, η αξιοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχου κατέδειξε με ευκρίνεια τη σημασία της σωστής, οργανωμένης και συνεχούς συλλογής δεδομένων. Η ορθότητα των αποτελεσμάτων και η αξιοπιστία των συμπερασμάτων βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ακρίβεια με την οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις, στη συνέπεια και την οργάνωση της διαδικασίας δειγματοληψίας, καθώς και στη διασφάλιση σταθερών και ελεγχόμενων συνθηκών σε όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Τα δεδομένα της έρευνας που καταγράφηκαν όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, αφορούσαν αφενός τον αριθμό των προϊόντων που χαρακτηρίστηκαν ως μη συμμορφούμενα σε κάθε δείγμα και αφετέρου το συνολικό πλήθος των μονάδων που περιλάμβανε το κάθε ξεχωριστό δείγμα, το οποίο εξεταζόταν σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Έπειτα, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί ώστε να προσδιοριστεί το ποσοστό ή η αναλογία των ελαττωματικών προϊόντων που εμφανίστηκαν στην παραγωγή. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία διαγραμμάτων ελέγχου τύπου p. Ένα διάγραμμα ελέγχου αποτυπώνει μια διεργασία ως εντός ελέγχου όταν τα σημεία που αντιστοιχούν στις παρατηρήσεις εμφανίζονται κατανεμημένα με τυχαίο τρόπο γύρω από την κεντρική γραμμή του διαγράμματος. Η κεντρική αυτή γραμμή αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της διεργασίας, ενώ η απουσία εμφανών τάσεων ή επαναλαμβανόμενων σχηματισμών στα σημεία του διαγράμματος αποτελεί ένδειξη ότι η διαδικασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Όσον αφορά την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου στην παρούσα μελέτη, η ανάλυση των διαγραμμάτων ελέγχου έδειξε ότι οι τιμές της αναλογίας των μη συμμορφούμενων προϊόντων παρουσιάζουν σχετικά μικρές μεταβολές γύρω από την κεντρική γραμμή. Οι διακυμάνσεις αυτές φαίνεται να είναι ελάχιστες και δεν ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, ούτε εμφανίζουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν την ύπαρξη κάποιας σημαντικής μεταβολής στη λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας.

Πιο συγκεκριμένα, για να εφαρμοστεί αξιόπιστα η μέθοδος των διαγραμμάτων ελέγχου, κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιείται σωστή και συστηματική καταγραφή των μετρήσεων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής

διαδικασίας. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους δείγματος, καθώς αυτό επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια και την αξιοπιστία των συμπερασμάτων, με σκοπό να εντοπίζονται εγκαίρως τα προβληματικά τεμάχια. Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη σύγκριση μεταξύ θεωρίας και πρακτικής είναι ο καθοριστικός ρόλος της συνεργασίας μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων που εμπλέκονται στην παραγωγική διαδικασία, ιδιαίτερα μεταξύ του τμήματος παραγωγής και του τμήματος του ποιοτικού ελέγχου. Οι υπεύθυνοι παραγωγής, οι τεχνικοί συντήρησης καθώς και το προσωπικό που ασχολείται με τον ποιοτικό έλεγχο χρειάζεται να επικοινωνούν και να συνεργάζονται σωστά, ώστε να εντοπίζουν γρήγορα τα προβλήματα που αφορούν τη λειτουργία της διεργασίας και να αποφασίζουν τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα για τη διασφάλιση και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων. Συνολικά, η σύγκριση μεταξύ θεωρητικού και πρακτικού αποτελέσματος δείχνει ότι τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν ένα ιδιαίτερο χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση και τη βελτίωση της ποιότητας στη βιομηχανική παραγωγή.

5.2 Επιπτώσεις στη συνολική ποιότητα και αξιοπιστία παραγωγής

Η αξιοποίηση των μεθόδων του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών στη βιομηχανική παραγωγή αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο για τη βελτίωση και διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων που παράγει η επιχείρηση, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων. Μέσω της οργανωμένης και συνεχούς παρακολούθησης των δεδομένων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής, οι επιχειρήσεις μπορούν να αναλύουν σε βάθος τη λειτουργία των διαδικασιών τους και να αποκτούν μια ολοκληρωμένη εικόνα για τον τρόπο με τον οποίο αυτές εξελίσσονται. Η ποιότητα ενός προϊόντος δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει το τελικό στάδιο της παραγωγής του, αλλά συνδέεται άμεσα με τη σταθερότητα της διαδικασίας που οδηγεί στη δημιουργία του. Εφόσον μια παραγωγική διαδικασία λειτουργεί με συνέπεια και χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις, οι πιθανότητες να προκύψουν ελαττωματικά ή μη συμμορφούμενα τεμάχια μειώνεται αισθητά. Σε αντίθεση, αν μια διεργασία παρουσιάσει έντονες

μεταβολές, αστάθειες ή απρόβλεπτες αποκλίσεις, αυξάνεται σημαντικά ο κίνδυνος παραγωγής προϊόντων που δεν πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές ποιότητας. Αυτό, μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα τόσο κατά τη διάρκεια της παραγωγής όσο και στη σχέση της επιχείρησης με τους πελάτες της, καθώς η μειωμένη ποιότητα επηρεάζει άμεσα την ικανοποίηση των καταναλωτών. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου είναι η σημαντική ενίσχυση της παραγωγικής διαδικασίας. Μέσω της συστηματικής συλλογής, καταγραφής και επεξεργασίας των δεδομένων παραγωγής, οι επιχειρήσεις μπορούν να αντιλαμβάνονται τα σημεία της διαδικασίας όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις ή μεταβολές. Παράλληλα, μπορούν να εξετάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι μεταβολές αυτές επηρεάζουν την ποιότητα των προϊόντων που παράγονται, με αποτέλεσμα οι υπεύθυνοι παραγωγής να λαμβάνουν αποφάσεις που βασίζονται σε αντικειμενικά στοιχεία και σε πραγματικά δεδομένα, αντί να στηρίζονται αποκλειστικά στην εμπειρία που ήδη διαθέτουν.

Επιπλέον, η εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων στη διαχείριση της παραγωγής συμβάλλει σημαντικά και στη μείωση του κόστους που συνδέεται με την παραγωγή ελαττωματικών υλικών συσκευασίας. Για παράδειγμα, όταν μια βιομηχανία τροφίμων διαθέτει τα απαραίτητα εργαλεία για να εντοπίζει έγκαιρα τις αποκλίσεις που εμφανίζονται στη διαδικασία παραγωγής, μπορεί να παρέμβει άμεσα και να διορθώσει τα προβλήματα πριν αυτά οδηγήσουν σε κρίσιμες απώλειες πρώτων υλών ή επανακατεργασίας των προϊόντων. Ένα ακόμη σημαντικό αποτέλεσμα της εφαρμογής των στατιστικών εργαλείων είναι η ενίσχυση και η ανάπτυξη μιας ισχυρής κουλτούρας ποιότητας στο εσωτερικό της επιχείρησης. Όταν οι εργαζόμενοι συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία παρακολούθησης και ελέγχου της παραγωγής, αποκτούν μεγαλύτερη επίγνωση της σημασίας που έχει η ποιότητα σε κάθε στάδιο της διαδικασίας.

Επιπρόσθετα, η διατήρηση ενός σταθερού και υψηλού επιπέδου ποιότητας συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση της φήμης της επιχείρησης στην αγορά. Οι καταναλωτές συνήθως δείχνουν μεγαλύτερη προτίμηση και εμπιστοσύνη σε προϊόντα που διατηρούν σταθερά υψηλό επίπεδο ποιότητας και παρουσιάζουν εμπιστοσύνη με την πάροδο του χρόνου. Εφόσον ένα προϊόν αποδεικνύεται επανειλημμένα ότι

ανταποκρίνεται στις προσδοκίες τους και δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στην ποιότητα του, οι καταναλωτές είναι πιο βέβαιοι και ασφαλείς να το επιλέξουν ξανά μελλοντικά. Αυτή η αίσθηση εμπιστοσύνης ενισχύει τη θετική εικόνα που διαμορφώνεται στο προϊόν που παράγει η επιχείρηση.

6 Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας

6.1 Κύρια Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία είχε ως κύριο σκοπό την αξιοποίηση και εφαρμογή τεχνικών του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών σε πραγματικά δεδομένα που προέρχονται από περιβάλλον βιομηχανικής παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, αναλύθηκε αν η διαδικασία συσκευασίας των προϊόντων λειτουργεί με σταθερό και ελεγχόμενο τρόπο, καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το επίπεδο ποιότητας που επιτυγχάνεται κατά την παραγωγή. Για την επίτευξη αυτού του στόχου πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων από τις συσκευαστικές μηχανές της εκάστοτε παραγωγικής γραμμής. Μέσω της μελέτης αυτών των δεδομένων ήταν δυνατό να εξεταστεί η λειτουργία της διεργασίας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και να εντοπιστούν πιθανά πρότυπα συμπεριφοράς ή μεταβολές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Στο πλαίσιο της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα ελέγχου τύπου p , τα οποία αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία του ΣΕΔ. Η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου p , αποτέλεσε μια οργανωμένη και τεκμηριωμένη προσέγγιση για την παρακολούθηση της ποιότητας των προϊόντων και την ανίχνευση ενδεχόμενων προβλημάτων που μπορεί να προέκυπτε κατά τη συσκευασία τους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξαν ότι η παραγωγική διαδικασία εμφανίζει σταθερή και ελεγχόμενη συμπεριφορά. Οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν στα δεδομένα φαίνονται να ανήκουν στο πλαίσιο της φυσιολογικής μεταβλητότητας που χαρακτηρίζει τις περισσότερες βιομηχανίες τροφίμων και δεν υποδηλώνουν την ύπαρξη σοβαρών προβλημάτων στη λειτουργία της διαδικασίας συσκευασίας. Συνοψίζοντας, τα ευρήματα της μελέτης αποδεικνύουν ότι η συστηματική εφαρμογή των εργαλείων του ΣΕΔ, μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση και τον αποτελεσματικό έλεγχο των βιομηχανικών διαδικασιών.

6.2 Οφέλη από την εφαρμογή του διαγράμματος p

Η διασφάλιση της ποιότητας αποτελεί έναν από τους κυριότερους στόχους σε κάθε σύγχρονη παραγωγική διαδικασία. Στο πλαίσιο αυτό, ο ΣΕΔ παρέχει ένα σύνολο εργαλείων και τεχνικών που επιτρέπουν την αξιολόγηση και τη βελτίωση της λειτουργίας των παραγωγικών συστημάτων. Για αυτόν τον λόγο, το διάγραμμα p σχεδιάστηκε με σκοπό την παρακολούθηση των ελαττωματικών τεμαχίων. Το διάγραμμα p εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις όπου το χαρακτηριστικό που εξετάζεται είναι ποιοτικής φύσης και μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες, όπως για παράδειγμα αποδεκτό ή ελαττωματικό προϊόν. Με τη χρήση των διαγραμμάτων αυτών καθίσταται δυνατή η καταγραφή και η ανάλυση του ποσοστού των προϊόντων που παρουσιάζουν αποκλίσεις από τις προδιαγραφές ποιότητας σε διαδοχικά δείγματα της παραγωγής. Ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης των διαγραμμάτων ελέγχου p είναι η δυνατότητα συνεχούς και δυναμικής παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας. Σε αντίθεση με τις προσεγγίσεις ποιοτικού ελέγχου, οι οποίες επικεντρώνονται κυρίως στον έλεγχο των τελικών προϊόντων μετά την ολοκλήρωση της παραγωγής τους, τα διαγράμματα ελέγχου επιτρέπουν την αξιολόγηση της διεργασίας καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός πιθανών προβληματικών που ενδέχεται να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της συσκευασίας. Επιπλέον, μέσα από τη συστηματική ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν από τα δείγματα παραγωγής, είναι πιο εύκολο να εντοπιστούν τα στάδια της διαδικασίας στα οποία παρατηρούνται αυξημένες διακυμάνσεις ή μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων. Η αναγνώριση αυτών των κρίσιμων σημείων επιτρέπει την εφαρμογή κατάλληλων παρεμβάσεων, όπως η ρύθμιση του μηχανολογικού εξοπλισμού, η βελτίωση των συνθηκών λειτουργίας ή η αλλαγή συγκεκριμένων διαδικασιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μειωθεί η πιθανότητα παραγωγής ελαττωματικών τεμαχίων και να περιοριστούν οι απώλειες που έχουν σχέση με επανεπεξεργασία ή την επιστροφή των προϊόντων από τους καταναλωτές.

Επιπλέον, ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα που προκύπτει από την εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου είναι η καλύτερη κατανόηση της μεταβλητότητας που χαρακτηρίζει κάθε παραγωγική διαδικασία. Σε κάθε βιομηχανικό περιβάλλον, παρατηρούνται φυσιολογικές διακυμάνσεις, όπου μπορεί να οφείλονται σε πολλούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία ή η υγρασία του χώρου παραγωγής. Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων που πραγματοποιήθηκαν στα διαγράμματα ελέγχου που εξετάστηκαν, ενισχύθηκε η δυνατότητα κατανόησης της συμπεριφοράς της παραγωγικής διαδικασίας και κατέστη εφικτός ο εντοπισμός των αποκλίσεων που παρουσιάστηκαν κατά τη λειτουργία της. Επίσης, ένα ακόμα πλεονέκτημα της εφαρμογής του διαγράμματος είναι η απλή εφαρμογή και ερμηνεία τους. Η κατασκευή τους βασίζεται σε στατιστικές αρχές που είναι εύκολα κατανοητές και δεν απαιτούν ιδιαίτερα πολύπλοκες μαθηματικές διαδικασίες. Ακόμη, η χρήση σύγχρονων εργαλείων και λογισμικών στατιστικής ανάλυσης καθιστά ιδιαίτερα εύκολη τη δημιουργία και την επεξεργασία των διαγραμμάτων αυτών.

Τέλος, η εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου στο πλαίσιο του ΣΕΔ, συμβάλλει στην υιοθέτηση μιας πιο συστηματικής και οργανωμένης προσέγγισης της ποιότητας. Μέσω της συνεχούς ανάλυσης και συλλογής δεδομένων παραγωγής, οι βιομηχανίες αποκτούν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ολοκληρωμένα συστήματα παρακολούθησης της λειτουργίας των διεργασιών τους. Τα συστήματα αυτά, διευκολύνουν τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων που αποσκοπούν στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των παραγωγικών σχεδιασμών. Παρόλο που τα διαγράμματα ελέγχου τύπου p προσφέρουν σημαντικά οφέλη, αξίζει να σημειωθεί ότι εμφανίζουν και ορισμένες αδυναμίες. Πιο συγκεκριμένα, δεν εντοπίζουν εύκολα σταδιακές αλλαγές στη διεργασία, κάτι που μπορεί να καθυστερήσει την γρήγορη αναγνώριση αποκλίσεων που επηρεάζουν την ποιότητα. Επιπλέον, όταν το μέγεθος του δείγματος διαφοροποιείται σημαντικά, η ανάλυση και κατανόηση των αποτελεσμάτων γίνεται πιο περίπλοκη. Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί, έχουν αναπτυχθεί πιο σύγχρονες στατιστικές τεχνικές, όπως τα διαγράμματα ελέγχου EWMA και CUSUM (αθροιστικό άθροισμα), τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε μικρές μεταβολές και συμβάλλουν στον ταχύτερο εντοπισμό αλλαγών στη συμπεριφορά της διεργασίας.

6.3 Σύστημα ψηφιακής παρακολούθησης παραγωγής Enocon

Στη σύγχρονη βιομηχανική παραγωγή, η συνεχής παρακολούθηση της λειτουργίας των μηχανών και η αξιολόγηση της απόδοσης των γραμμών παραγωγής αποτελούν βασικούς παράγοντες για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και τη διασφάλιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον βιομηχανικό τομέα, διαχειρίζονται μεγάλους όγκους δεδομένων που προκύπτουν από τη λειτουργία του εξοπλισμού τους, γεγονός που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη εξειδικευμένων ψηφιακών συστημάτων διαχείρισης και ανάλυσης παραγωγικών δεδομένων. Τα συστήματα αυτά βοηθούν στη συλλογή δεδομένων από τον παραγωγικό εξοπλισμό σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας τη δυνατότητα στους υπεύθυνους παραγωγής να παρακολουθούν τη λειτουργία των μηχανών, να αξιολογούν την αποδοτικότητα των παραγωγικών διαδικασιών και να εντοπίζουν δυσλειτουργίες ή πιθανά προβλήματα που επηρεάζουν την παραγωγική απόδοση. Μέσω της ανάλυσης των δεδομένων που καταγράφονται, οι βιομηχανίες μπορεί να εντοπίσουν σημεία όπου παρουσιάζονται καθυστερήσεις, απώλειες παραγωγικότητας ή συχνές διακοπές λειτουργίας, γεγονός που συμβάλλει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τη βελτίωση της λειτουργίας των γραμμών παραγωγής. Ένα από τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα παρακολούθησης της παραγωγής σε βιομηχανική περιβάλλοντα είναι το Enocon. Πρόκειται δηλαδή, για μια ψηφιακή πλατφόρμα παραγωγικής παρακολούθησης, η οποία έχει σχεδιαστεί με σκοπό να υποστηρίζει τις βιομηχανικές επιχειρήσεις στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των παραγωγικών διαδικασιών. Το σύστημα αυτό επιτρέπει τη συλλογή, την επεξεργασία και την οπτικοποίηση δεδομένων που προέρχονται από τις μηχανές παραγωγής, παρέχοντας στους χρήστες μια ολοκληρωμένη εικόνα λειτουργίας του εξοπλισμού και της συνολικής παραγωγικής δραστηριότητας. Κύριος στόχος του είναι η βελτίωση της αποδοτικότητας των παραγωγικών διαδικασιών μέσω της συστηματικής ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται από τις μηχανές. Μέσα από την επεξεργασία αυτών των δεδομένων, το σύστημα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες που συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του εξοπλισμού και στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων που επηρεάζουν την παραγωγικότητα. Πιο

συγκεκριμένα, το Enocap δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να παρακολουθούν και να αξιολογούν διάφορες βασικές παραμέτρους της παραγωγής όπως:

- Τη λειτουργία και τη διαθεσιμότητα των μηχανών
- Την ταχύτητα παραγωγής των μηχανών
- Τον συνολικό χρόνο παραγωγής
- Τις διακοπές λειτουργίας των συσκευαστικών μηχανών και τις αιτίες που το προκαλούν
- Την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων
- Τη συνολική αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού

Με τη χρήση του Enocap, οι υπεύθυνοι παραγωγής μπορούν να αποκτήσουν μια σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργίας των μηχανών και των γραμμών παραγωγής. Παράλληλα, το σύστημα συμβάλλει στον έγκαιρο εντοπισμό προβλημάτων και δυσλειτουργιών, επιτρέποντας την άμεση λήψη διορθωτικών ενεργειών με στόχο τη βελτίωση της παραγωγικότητας και τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας.

Η λειτουργία του συστήματος Enocap βασίζεται στη συνεχή συλλογή και επεξεργασία δεδομένων που προέρχονται από τον παραγωγικό εξοπλισμό. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω αισθητήρων και συστημάτων αυτοματισμού που είναι εγκατεστημένα στις μηχανές παραγωγής. Οι αισθητήρες αυτοί είναι συνδεδεμένοι με τα μηχανήματα και έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες που σχετίζονται με την κατάσταση λειτουργίας τους και την παραγωγική διαδικασία. Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται μεταφέρονται σε μια κεντρική πλατφόρμα λογισμικού, όπου αποθηκεύονται και επεξεργάζονται. Η πλατφόρμα αυτή διευκολύνει την οργάνωση και την ανάλυση των πληροφοριών, παρέχοντας στους υπεύθυνους τη δυνατότητα να παρακολουθούν τη πορεία της παραγωγής σε καθημερινή βάση. Μέσω του συστήματος γίνεται άμεση ενημέρωση για τη λειτουργική κατάσταση των μηχανών, καθώς και η αναγνώριση πιθανών προβλημάτων που μπορεί να επηρεάζουν τη συνολική αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Αφού γίνει η συλλογή των δεδομένων, μεταφέρονται και αποθηκεύονται σε μια κεντρική βάση δεδομένων. Η αποθήκευση αυτή βοηθάει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ιστορικού της παραγωγικής διαδικασίας. Η ύπαρξη

ιστορικών δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επιτρέπει τη σύγκριση της απόδοσης των μηχανών σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και τη μελέτη της εξέλιξης της παραγωγικής διαδικασίας. Επίσης, τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση και για τη λήψη αποφάσεων που αποσκοπούν στη βελτίωση της παραγωγικότητας.

Έπειτα πραγματοποιείται η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από την παραγωγή. Το σύστημα Enocap χρησιμοποιεί διάφορους δείκτες απόδοσης, οι οποίοι επιτρέπουν την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγικής διαδικασίας. Ένας από τους βασικότερους δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι ο δείκτης OEE (Overall Equipment Effectiveness). Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για τη μέτρηση της συνολικής αποδοτικότητας του παραγωγικού εξοπλισμού. Ο OEE αποτελείται από τρεις βασικές παραμέτρους:

- Την απόδοση της παραγωγής
- Τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού
- Την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων

Μέσω της ανάλυσης των παραπάνω στοιχείων είναι δυνατός ο εντοπισμός των παραγόντων που μειώνουν την αποδοτικότητα των μηχανών και η εφαρμογή κατάλληλων ενεργειών βελτίωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων, γραφημάτων και αναφορών μέσα από την πλατφόρμα του συστήματος. Η οπτικοποίηση των δεδομένων διευκολύνει την κατανόηση της κατάστασης της παραγωγικής διαδικασίας και επιτρέπει στο προσωπικό να αναγνωρίζει έγκαιρα πιθανά προβλήματα ή αποκλίσεις. Με την παρουσίαση των πληροφοριών σε οπτική μορφή, οι υπεύθυνοι παραγωγής μπορούν να αποφασίσουν πιο άμεσα και τεκμηριωμένα αποφάσεις για τη βελτίωση της λειτουργίας των μηχανών και της συνολικής παραγωγικής διαδικασίας.

Στη βιομηχανία ξηρών καρπών, η διαδικασία της συσκευασίας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Οι συσκευαστικές μηχανές χρησιμοποιούνται για τη ζύγιση, τη σφράγιση και τη συσκευασία των προϊόντων, με σκοπό αυτά να είναι έτοιμα για διάθεση στην αγορά. Η αξιοποίηση του συστήματος Enocap στις συσκευαστικές μηχανές δίνει τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης

της λειτουργίας τους και επιτρέπει την αξιολόγηση της αποδοτικότητάς τους. Για παράδειγμα, μια συσκευαστική μηχανή μπορεί να παρουσιάζει συχνές διακοπές λειτουργίας λόγω μηχανικών βλαβών ή καθυστερήσεων στην τροφοδοσία των προϊόντων.

Η εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης παραγωγής σύμφωνα με το σύστημα Evocon προσφέρει σημαντικά οφέλη για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων και ιδιαίτερα για τις γραμμές παραγωγής και συσκευασίας. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι:

- Μείωση του χρόνου αδράνειας των μηχανών (downtime)
- Αναβάθμιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων
- Υποστήριξη και βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων
- Δυνατότητα επεξεργασίας και μελέτης παλαιότερων δεδομένων παραγωγής
- Συνεχής έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο
- Αυτόματη καταγραφή και συγκέντρωση στοιχείων από τον παραγωγικό εξοπλισμό
- Άμεση αναγνώριση βλαβών και διακοπών στη λειτουργία της παραγωγής
- Ενίσχυση της συνολικής αποδοτικότητας του εξοπλισμού
- Αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων παραγωγικών πόρων

Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων συμβάλλει ουσιαστικά στον ψηφιακό μετασχηματισμό της βιομηχανίας (Industry 4,0), εφόσον δίνει την δυνατότητα στις επιχειρήσεις να λειτουργούν με μεγαλύτερη αποδοτικότητα, ακρίβεια και έλεγχο των διαδικασιών τους.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ψηφιακού πίνακα παρακολούθησης παραγωγής (dashboard) από το σύστημα Evocon.



Εικόνα 18 Σύστημα Evocon

Στο επάνω μέρος της εικόνας παρουσιάζεται ο βασικός δείκτης της γραμμής παραγωγής, ο οποίος αποτυπώνεται με τιμή 73%. Η συγκεκριμένη τιμή αντιστοιχεί στον δείκτη OEE (Overall Equipment Effectiveness), έναν από τους σημαντικότερους δείκτες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για την αξιολόγηση της πραγματικής απόδοσης και αποτελεσματικότητας του παραγωγικού εξοπλισμού. Ο δείκτης OEE αποτυπώνει το ποσοστό του συνολικού διαθέσιμου χρόνου παραγωγής που αξιοποιείται ουσιαστικά για την παραγωγή προϊόντων τα οποία πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές ποιότητας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού, η ταχύτητα λειτουργίας των μηχανών και η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Όταν η τιμή του δείκτη κυμαίνεται μεταξύ 70% και 75%, θεωρείται ότι η παραγωγική διαδικασία λειτουργεί σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο αποδοτικότητας. Όμως, το επίπεδο αυτό υποδηλώνει ότι μπορεί να υπάρχουν απώλειες παραγωγικότητας, οι οποίες είναι πιθανόν να προκύψουν από διάφορους παράγοντες, όπως καθυστερήσεις της παραγωγικής διαδικασίας, μειωμένη ταχύτητα λειτουργίας των μηχανών ή μικρές παύσεις της γραμμής παραγωγής. Στο κεντρικό μέρος της εικόνας παρουσιάζεται ένα αναλυτικό χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των μηχανών, το οποίο απεικονίζει την πορεία της παραγωγικής διαδικασίας κατά τη

διάρκεια της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής. Στην απεικόνιση αυτή χρησιμοποιείται ένα σύστημα χρωματικής κωδικοποίησης, μέσω του οποίου φαίνονται με σαφή τρόπο οι διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας των μηχανών και της παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, τα τμήματα που εμφανίζονται με πράσινο χρώμα δείχνουν χρονικά διαστήματα κατά τα οποία οι μηχανές λειτουργούν κανονικά και η παραγωγική διαδικασία εξελίσσεται με ομαλό τρόπο, χωρίς να παρατηρούνται διακοπές ή τεχνικά προβλήματα. Τα κόκκινα τμήματα αντιπροσωπεύουν χρονικές περιόδους κατά τις οποίες η παραγωγική διαδικασία σταματά, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε μηχανικές βλάβες, τεχνικές αστοχίες ή άλλους παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργία της γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, τα κίτρινα τμήματα δηλώνουν σύντομες καθυστερήσεις ή προσωρινές διαφοροποιήσεις στη διαδικασία παραγωγής, όπως ρυθμίσεις του εξοπλισμού, αλλαγές προϊόντων ή άλλες παρεμβάσεις που χρειάζονται περιορισμένο χρόνο διακοπής της κανονικής λειτουργίας. Η απεικόνιση αυτή δίνει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους παραγωγής να αναγνωρίζουν άμεσα τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία εμφανίζονται δυσλειτουργίες στη λειτουργία των μηχανών. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εφικτή η διερεύνηση των παραγόντων που προκαλούν απώλειες στην παραγωγικότητα, καθώς και η εφαρμογή κατάλληλων διορθωτικών παρεμβάσεων με στόχο την ενίσχυση της αποδοτικότητας της παραγωγικής διαδικασίας. Επίσης, τα δεδομένα που παρέχει το σύστημα συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του συστήματος, γεγονός που διευκολύνει την περαιτέρω επεξεργασία και διερεύνηση της παραγωγικής διεργασίας σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Snatkin et al., 2015).

6.3.1 Μέθοδοι βελτίωσης της παραγωγικής διεργασίας

Μια ακόμη ιδιαίτερα σημαντική πρακτική για τη βελτίωση και τη σωστή οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας είναι η υιοθέτηση συστημάτων προληπτικής συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού (Predictive Maintenance). Στις σύγχρονες βιομηχανίες, κρίνεται απαραίτητο η συντήρηση των μηχανημάτων να μην γίνεται μόνο σε περίπτωση που μια μηχανή παρουσιάσει κάποια βλάβη, αλλά να συλλέγονται και να καταγράφονται δεδομένα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των

μηχανών. Η προληπτική συντήρηση έχει ως βάση τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή σημαντικών λειτουργικών παραμέτρων του εξοπλισμού, όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας ή η θερμοκρασία λειτουργίας. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται με σκοπό να εντοπιστούν έγκαιρα πιθανά σημάδια φθοράς ή ενδείξεις που μπορεί να υποδηλώνουν μελλοντική βλάβη. Με τη χρήση της μεθόδου αυτής, οι τεχνικοί είναι σε θέση να προγραμματίσουν γρήγορα τις απαραίτητες εργασίες συντήρησης πριν παρουσιαστεί σοβαρό πρόβλημα στον εξοπλισμό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να αποφεύγονται απρόβλεπτες βλάβες ή διακοπές της παραγωγικής διαδικασίας, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντικές καθυστερήσεις και αυξημένο κόστος για την επιχείρηση. Ως συνέπεια αυτού, αυξάνεται η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και διασφαλίζεται μια πιο σταθερή και ποιοτική παραγωγή προϊόντων (Lucito et al., 2024).

Μια επίσης σημαντική μέθοδος βελτίωσης της αποδοτικότητας και της ποιότητας στις σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι η υιοθέτηση της φιλοσοφίας Lean Manufacturing. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία έκανε την πρώτη της εμφάνιση στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας της Toyota, όπου διαμορφώθηκε ως ένα οργανωμένο και ολοκληρωμένο μοντέλο διαχείρισης της παραγωγικής διαδικασίας. Με την εξέλιξη του χρόνου, οι βασικές αρχές της φιλοσοφίας Lean άρχισαν να υιοθετούνται και από διάφορους τομείς της βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, έγινε η εφαρμογή σε κλάδους όπως η παραγωγή τροφίμων, η βιομηχανία συσκευασίας και η φαρμακοβιομηχανία, συμβάλλοντας σημαντικά στην αποτελεσματικότερη οργάνωση της παραγωγής και στον περιορισμό των προβλημάτων που εμφανίζονταν στη λειτουργία των παραγωγικών διαδικασιών. Η φιλοσοφία αυτής της μεθόδου επικεντρώνεται κυρίως στον εντοπισμό και στη μείωση των περιττών ενεργειών και απωλειών που μπορεί να εμφανιστούν σε διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Βασικός της σκοπός είναι η οργάνωση ενός συστήματος παραγωγής που λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά, αξιοποιώντας αποτελεσματικά όλους τους διαθέσιμους πόρους, όπως τον χρόνο, το ανθρώπινο δυναμικό και τα υλικά. Σύμφωνα με τις αρχές του Lean, όλες οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται κατά την παραγωγή θα πρέπει να συμβάλλουν ουσιαστικά στη δημιουργία αξίας για το τελικό προϊόν. Σε αντίθεση, ενέργειες που δεν βελτιώνουν ή δεν προσθέτουν αξία στο

προϊόν θεωρούνται περιττές και αντιμετωπίζονται ως μορφές σπατάλης, οι οποίες είναι αναγκαίο να περιοριστούν σε μεγάλο βαθμό ή να εξαλειφθούν πλήρως από την παραγωγική διαδικασία. Σύμφωνα με τον Bhamu και Sangwan (2014), η υιοθέτηση της φιλοσοφίας Lean μπορεί να φέρει σημαντικά οφέλη στις επιχειρήσεις. Ειδικότερα, η εφαρμογή των αρχών της συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας, στη μείωση του συνολικού χρόνου που χρειάζεται για την ολοκλήρωση της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Ταυτόχρονα, η έρευνα αυτή επισημαίνει ότι οι επιχειρήσεις που εφαρμόζουν Lean Manufacturing καταφέρνουν να αξιοποιούν πιο αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους τους και να επιτυγχάνουν υψηλότερα επίπεδα αποδοτικότητας σε σύγκριση με οργανισμούς που δεν χρησιμοποιούν παρόμοιες μεθόδους βελτίωσης της παραγωγής.

Η φιλοσοφία της Lean Manufacturing έχει άμεση σύνδεση με τις τεχνικές του Στατιστικού Ελέγχου Διεργασιών (ΣΕΔ), οι οποίες αποτελούν βασικά εργαλεία για την αξιολόγηση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο των παραγωγικών διαδικασιών. Για να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική εφαρμογή της, είναι απαραίτητη η χρήση αξιόπιστων δεδομένων που προκύπτουν από την ίδια τη λειτουργία της παραγωγής. Στο πλαίσιο αυτό, σημαντικό ρόλο αποτελούν τα στατιστικά εργαλεία παρακολούθησης της ποιότητας, τα οποία επιτρέπουν την αντικειμενική αξιολόγηση της απόδοσης μια παραγωγικής διεργασίας. Μεταξύ αυτών των εργαλείων, τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς και της σταθερότητας μια διαδικασίας στον χρόνο. Τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί εάν μια παραγωγική διεργασία λειτουργεί υπό συνθήκες στατιστικού ελέγχου ή εάν παρουσιάζονται αποκλίσεις που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων που παράγονται. Μέσω της απεικόνισης των δεδομένων παραγωγής σε διαδοχικά χρονικά διαστήματα, καθίσταται δυνατή η αναγνώριση πιθανών μεταβολών στη διαδικασία, καθώς και η γρήγορη ανίχνευση προβλημάτων που ενδέχεται να οδηγήσουν σε αύξηση των ελαττωματικών προϊόντων. Το διάγραμμα ελέγχου τύπου p που αναλύθηκε είναι το καταλληλότερο διάγραμμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των μη συμμορφούμενων προϊόντων σε μια παρτίδα

παραγωγής. Με τη συστηματική ανάλυση και καταγραφή των δεδομένων στα διαδοχικά χρονικά διαστήματα, το διάγραμμα p επέτρεψε την παρακολούθηση της εξέλιξης του ποσοστού των ελαττωματικών τεμαχίων και βοήθησε στην αξιολόγηση του βαθμού σταθερότητας της διαδικασίας και στον εντοπισμό πιθανών διακυμάνσεων στη λειτουργία της. Η αξιοποίηση των πληροφοριών που προκύπτουν από τα διαγράμματα ελέγχου τύπου p, μπορεί να ενισχύσει ουσιαστικά την εφαρμογή των αρχών του Lean Manufacturing. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση των δεδομένων σχετικά με την αναλογία των μη συμμορφούμενων προϊόντων επιτρέπει την αναγνώριση χρονικών περιόδων κατά τις οποίες η παραγωγική διαδικασία παρουσιάζει αυξημένη μεταβλητότητα ή εμφανίζονται προβλήματα που επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του προϊόντος. Η εντόπιση αυτών των χρονικών περιόδων προσφέρει σημαντικές πληροφορίες που διευκολύνουν την διερεύνηση των παραγόντων οι οποίοι συμβάλλουν στη μείωση της παραγωγικής απόδοσης και στην αύξηση του ποσοστού των προβληματικών τεμαχίων.

Για παράδειγμα, αν από την ανάλυση των δεδομένων διαπιστωθεί ότι σε ορισμένα χρονικά διαστήματα αυξάνεται το ποσοστό των ελαττωματικών τεμαχίων, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί περαιτέρω διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη διαδικασία παραγωγής. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να έχουν σχέση με μεταβολές στις ρυθμίσεις των μηχανημάτων, με πιθανές δυσλειτουργίες του εξοπλισμού, με διαφοροποιήσεις στις συνθήκες λειτουργίας της παραγωγής ή ακόμη και με μεταβολές στην ποιότητα των πρώτων υλών. Μέσω της συστηματικής ανάλυσης των παραγόντων αυτών, οι επιχειρήσεις μπορούν να εντοπίσουν τις κύριες αιτίες των προβλημάτων και να εφαρμόσουν στοχευμένες διορθωτικές ενέργειες. Η εφαρμογή των διορθωτικών ενεργειών συμβάλλει στην ελάττωση των απωλειών που προκύπτουν από τα μη συμμορφούμενα προϊόντα, καθώς και στη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον, ο συνδυασμός των εργαλείων της Lean φιλοσοφίας με στατιστικές μεθόδους ελέγχου της ποιότητας βοηθάει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ποιότητας. Από τη μια πλευρά, η Lean προσέγγιση παρέχει τις μεθόδους και τις πρακτικές που έχουν στόχο τη μείωση της σπατάλης και τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής ροής. Από την άλλη πλευρά, τα στατιστικά διαγράμματα ελέγχου παρέχουν τα ποσοτικά

δεδομένα που επιτρέπουν την αντικειμενική εκτίμηση του βαθμού αποτελεσματικότητας των ενεργειών βελτίωσης που εφαρμόζονται. Συνολικά, η ενσωμάτωση των διαγραμμάτων ελέγχου τύπου p στο πλαίσιο της Lean προσέγγισης είναι ικανή να συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Η οργανωμένη παρακολούθηση της ποιότητας και η έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων στη διαδικασία παραγωγής αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη βελτίωση της παραγωγικής αποδοτικότητας, τον περιορισμό των απωλειών και τη διασφάλιση υψηλών προδιαγραφών ποιότητας στα τελικά προϊόντα.

6.3.2 Σύνδεση του συστήματος Enocap με τα διαγράμματα ελέγχου

Η αξιοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχου σε συνδυασμό με ένα ψηφιακό σύστημα παρακολούθησης της παραγωγής, όπως το Enocap, δίνει μια πιο ολοκληρωμένη αποτύπωση της παραγωγικής λειτουργίας. Αυτά τα δύο μέσα δεν εστιάζουν στην ίδια πτυχή της παραγωγής, αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά. Τα διαγράμματα ελέγχου εφαρμόζονται για να διαπιστωθεί αν η διεργασία παραμένει σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου, δηλαδή αν οι αποκλίσεις που εμφανίζονται στα δεδομένα οφείλονται από τη φυσιολογική τυχαία διακύμανση της διαδικασίας. Από την άλλη πλευρά, το Enocap δίνει έμφαση περισσότερο στην επιχειρησιακή αποδοτικότητα του εξοπλισμού, παρουσιάζοντας στοιχεία σχετικά με τη διαθεσιμότητα των μηχανών, τον ρυθμό παραγωγής, τις διακοπές λειτουργίας και τη συνολική αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού μέσα από δείκτες όπως ο OEE. Για παράδειγμα, ένα διάγραμμα ελέγχου μπορεί να καταγράψει ότι όλα τα σημεία βρίσκονται μέσα στα προκαθορισμένα όρια ελέγχου, κάτι που φανερώνει ότι η διεργασία είναι στατιστικά ελεγχόμενη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα Enocap να εμφανίσει δείκτη OEE ή συνολικής παραγωγικότητας ίσο με 73%, όπως παρουσιάστηκε στην εικόνα 12. Επομένως, το γεγονός ότι οι παρατηρήσεις παραμένουν εντός των ορίων ελέγχου δεν αποτελεί ένδειξη άριστης ποιότητας, αλλά δείχνει ότι η διεργασία παρουσιάζει στατιστική σταθερότητα.

Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη ανέλυσε τη σημασία της συστηματικής παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας ως βασικό παράγοντα για τη διατήρηση υψηλών προδιαγραφών ποιότητας και αξιοπιστίας στα παραγόμενα

προϊόντα. Η συνεχής παρακολούθηση της λειτουργίας των επιμέρους σταδίων παραγωγής διευκόλυνε την έγκαιρη αναγνώριση πιθανών αποκλίσεων από τις επιθυμητές προδιαγραφές και συνέβαλε στη διατήρηση της σταθερότητας της παραγωγής. Μέσα από την συλλογή και τη μελέτη των δεδομένων που αναλύθηκαν κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας καθίσταται εφικτή η πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς της διεργασίας και η παρακολούθηση της εξέλιξης της σε βάθος χρόνου. Στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών παρακολούθησης και ανάλυσης δεδομένων αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών. Η δυνατότητα συλλογής μεγάλου όγκου πληροφοριών απευθείας από τις γραμμές παραγωγής και η επεξεργασία του με κατάλληλες μεθόδους ανάλυσης επιτρέπουν στις βιομηχανίες να αποκτούν αξιόπιστη εικόνα για την πραγματική απόδοση του εξοπλισμού τους. Μέσω αυτής της διαδικασίας, οι υπεύθυνοι μπορούν να εντοπίσουν εγκαίρως τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την παραγωγική διαδικασία. Επιπλέον, η συστηματική αξιοποίηση των δεδομένων παραγωγής ενισχύει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, καθώς παρέχει τεκμηριωμένα στοιχεία για την αξιολόγηση της λειτουργίας των παραγωγικών συστημάτων. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών, τη βελτίωση των διαδικασιών και την αποτελεσματικότερη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. Με τον τρόπο αυτό, οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν σημαντικά τις απώλειες που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της συσκευασίας του προϊόντος. Οι βλάβες του εξοπλισμού και η παραγωγή ελαττωματικών τεμαχίων, αποτελούν βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν σε αρνητικό βαθμό την παραγωγικότητα και αυξάνουν το λειτουργικό κόστος μιας επιχείρησης. Η συνεχή εποπτεία της παραγωγικής διαδικασίας σε συνδυασμό με την αξιοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται από τα επιμέρους στάδια της παραγωγής, δίνει τη δυνατότητα να εντοπιστούν οι πιθανές αποκλίσεις στη λειτουργία του συστήματος. Τέλος, μέσω της συστηματικής ανάλυσης των πληροφοριών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4, αποδείχτηκε ότι όλες οι μετρήσεις βρίσκονταν εντός των καθορισμένων ορίων ελέγχου. Το αποτέλεσμα αυτό, έδειξε ότι η παραγωγική διαδικασία λειτουργεί με σταθερότητα και χωρίς σημαντικές αποκλίσεις, διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του συστήματος και τη διασφάλιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντζουλάκος Δ. (2009) “Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας” Β΄ Έκδοση. Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- Ahsan, M., Mashuri, M., & Khusna, H. (2017). Evaluation of Laney p' chart performance. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol 12(24), pp 14208–14217, DOI: https://www.researchgate.net/publication/324925171_Evaluation_of_laney_p'_chart_performance
- Bhamu, J., Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International journal of Operations & Production Management*, Vol 34(7), pp 876-940. DOI: <http://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Bradford, J., & Miranti, P. (2019). *Information in an industrial culture: Walter A. Shewhart and the evolution of the control chart (1917–1954)*. DOI: https://www.researchgate.net/publication/334143828_Information_in_an_Industrial_Culture_Walter_A_Shewhart_and_the_Evolution_of_the_Control_Chart_1917-1954
- Chakraborti, S., Human, S.W. & Graham, M.A. (2008) Phase I statistical process control charts: An overview and some results. *Quality Engineering*, 20(4), pp. 406–422, DOI: <https://doi.org/10.1080/08982110802445561>
- Chen, P.-W., Cheng, C.-S. & Wang, C.-W. (2023) *A study on the Laney p' control chart with parameters estimated from Phase I data*. *Mathematics*, Vol 11(15), DOI: <https://doi.org/10.3390/math11153411>
- Does, R.J.M.M., Schippers, W.A.J. & Trip, A. (1997) *A framework for implementation of statistical process control*. *International Journal of Quality Science*, 2(3), pp. 181–198, DOI: <https://doi.org/10.1108/13598539710170821>
- de Toledo, J.C., Lizarelli, F.L. & Santana Junior, M.B. (2017) *Success factors in the implementation of statistical process control: Action research in a chemical plant*. *Production*, 27, DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.220816>
- Deming, W.E. (1986) *Out of the crisis*. Cambridge, MA: MIT Press

Etgar, R. & Freund, S. (2023) *Setting process control chart limits for rounded-off measurements*. *Heliyon*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13655>

Fasko, S. A. (2023). *Garvin's eight dimensions of quality and DoD acquisition*. *Defense Acquisition Magazine*, 32(6), 24–27, DOI: https://www.dau.edu/sites/default/files/2023-10/Fasko_NovDec2023.pdf

George, J., Singh, A., & Bhaisare, A. K. (2018). *A study of basic 7 quality control tools & techniques for continuous improvement*. *Journal of Engineering & Technology*, Vol. 5(1), DOI: https://www.researchgate.net/publication/334056570_A_Study_of_Basic_7_Quality_Control_Tools_Techniques_for_Continuous_Improvement

Isniah, S., Purba, H.H. (2021) *The application of using statistical process control (SPC) method: Literature review and research issues*. *Spektrum Industry*, 19(2), pp. 125-133. DOI: <https://doi.org/10.12928/si.v19i2.19035>

Joekes, S., Barbosa, E. P. (2013). An improved attribute control chart for monitoring non-proportions in high quality processes. *Control Engineering Practice*, 21, pp 407–412, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2012.12.005>

Jones-Farmer, A.L., Woodall, W.H., Steiner, S.H. & Champ, C.W. (2014) *An overview of Phase I analysis for process improvement and monitoring*. *Journal of Quality Technology*, Vol 46(3), pp. 265-280, DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.2014.11917969>

Knoth, S., Steinmetz, S. (2012). EWMA p charts under sampling by variables. *International Journal of Production Research*, Advance online publication, pp 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.746799>

Lucito, T., Herlianti, R., Mayanti, M., Kusumah, L. H. (2024). Implementation of predictive maintenance in various industry: A review. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains Teknologi dan informatiks*, Vol 12(1), pp. 133-144. DOI: <http://doi.org/10.37373/tekno.v12i1.1338>

Martino, D.P. & Drei, S.M. (2019) *Using control charts $\bar{X}$ -bar and R to analyze the quality of a restaurant at a federal university*. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, DOI:

https://www.researchgate.net/publication/337397471_Using_control_charts_X-bar_and_R_to_analyze_the_quality_of_a_restaurant_at_a_federal_university

Montgomery, D. C. & Runger (2020). *Introduction to statistical quality control*, John Wiley and Sons.

Nagar, H., & Gahlot, A. (2022). A review on statistical quality control. *Neuro Quantology*, Vol 20(9), pp 637–642, DOI: https://www.researchgate.net/publication/363668331_A_Review_on_Statistical_Quality_Control

Ozdemir, M., & Özilgen, M. (1997). Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with different sizing and cracking systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol 67(3), pp 219–227, DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0163>

Rique Junior, J. F., Peruchi, R. S., Rotella Junior, P., & Pereira, R. B. D. (2021). Statistical process control of the vertical form, fill and seal packaging machine in food industry. *Journal of Food Process Engineering*, Vol 44(2), DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13614>

Ryan, T.P. (2011) *Statistical methods for quality improvement* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Sałaciński, T., Kowal, J. & Krawczyk, J. (2023) *Statistical process control using control charts with variable parameters*. *Processes*, Vol 11(9), DOI: <http://doi.org/10.3390/pr11092744>

Siegel, A. F. (2012). Quality control: Recognizing and managing variation. In *Practical business statistics* (6η έκδοση), pp 523–543).

Snatkin, A., Eiskop, T., Karjust, K., & Majak, J. (2015). *Production monitoring system development and modification*. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 64(4S), 567–580. DOI: <http://doi.org/10.3176/proc.2015.4s.04>

Tegegne, D.A., Kitaw, D. & Berhan, E. (2022) *Advances in statistical quality control chart techniques and their limitations to cement industry*. *Cogent Engineering*, DOI: <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2088463>

Yang, T., Zhao, B., & He, L. (2019). Raman instruments for food quality evaluation. In *Evaluation Technologies for Food Quality*. Woodhead Publishing, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00008-1>

Ziegel, E. (1990). *Juran's Quality Control Handbook (4th ed.)*. Technometrics, 32(1), 108–109, DOI: <https://doi.org/10.1080/00401706.1990.10484602>

Woodall, W.H. & Montgomery, D.C. (2014). *Some current directions in the theory and application of statistical process monitoring*. *Journal of Quality Technology*, 46(1), pp. 78-94. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.2014.11917955>

Wu, Z., Khoo, M. B. C., Shu, L., & Jiang, W. (2009). *An np control chart for monitoring the mean of a variable based on an attribute inspection*. *International Journal of Production Economics*, 121, pp. 141–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.04.021>

Παράρτημα Α: Συντελεστές για τα Διαγράμματα Ελέγχου (Montgomery, 2013)

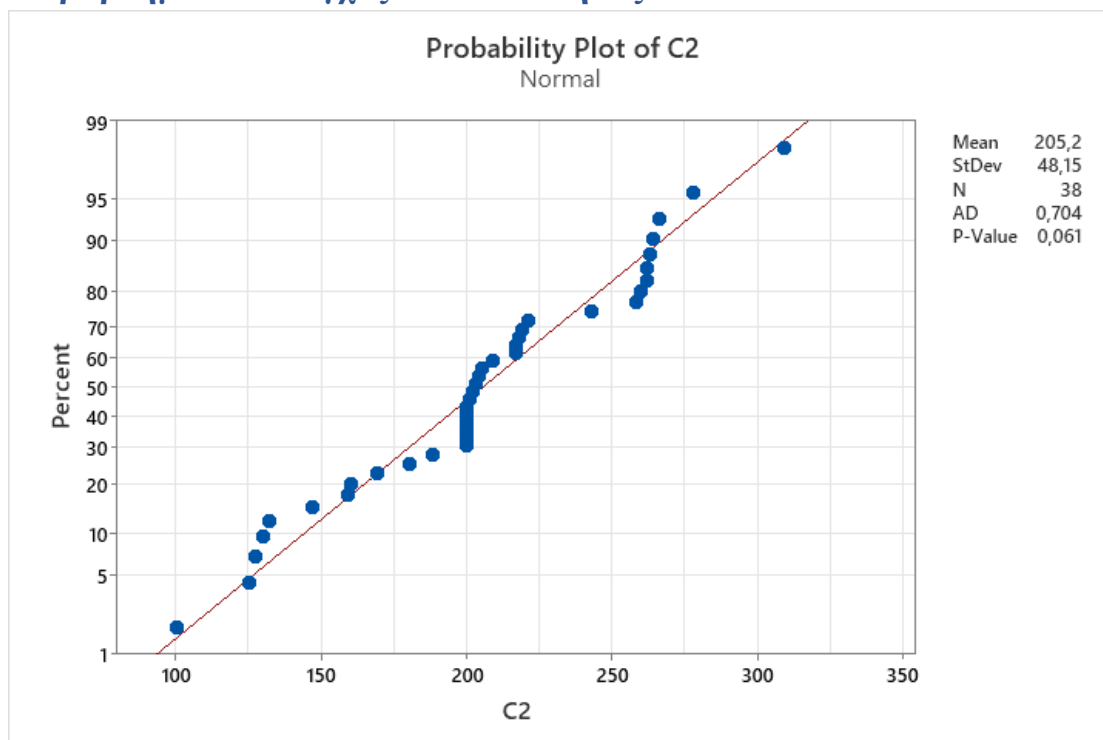
Factors for Constructing Variables Control Charts

Observations in Sample, n	Chart for Averages					Chart for Standard Deviations					Chart for Ranges					
	Factors for Control Limits			Factors for Center Line		Factors for Control Limits				Factors for Center Line		Factors for Control Limits				
	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$											
	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

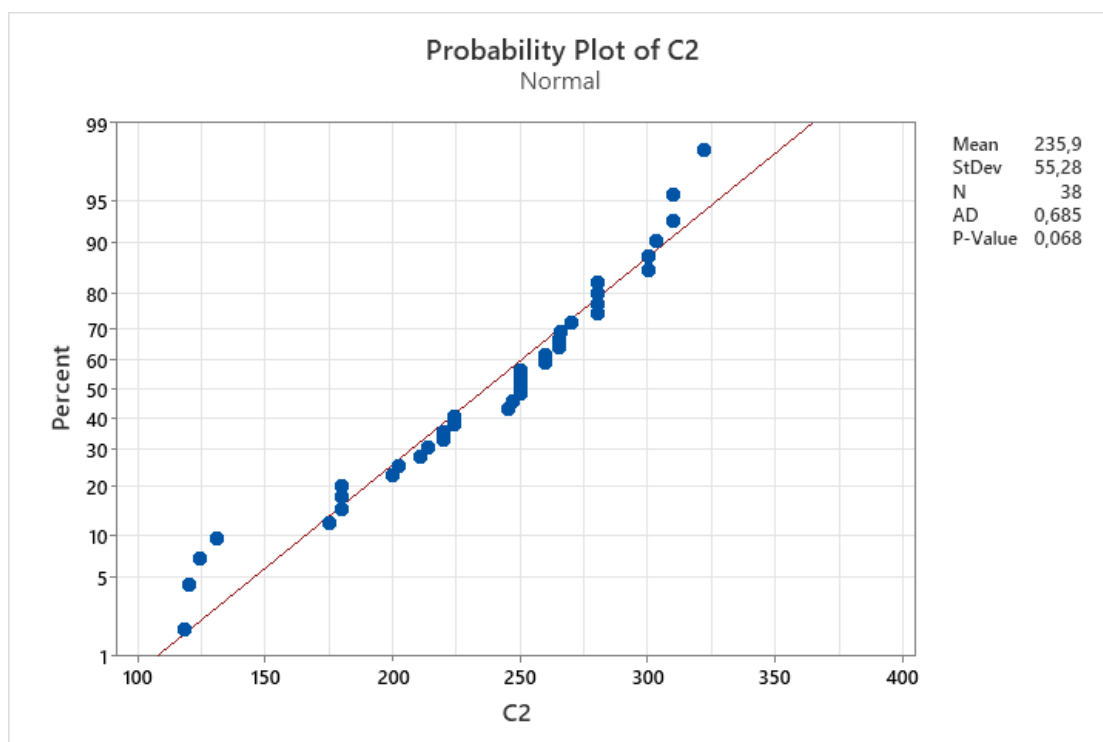
For $n > 25$,

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{3}{\sqrt{n}} & A_3 &= \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} & c_4 &\equiv \frac{4(n-1)}{4n-3} \\
 B_3 &= 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} & B_4 &= 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \\
 B_5 &= c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} & B_6 &= c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}
 \end{aligned}$$

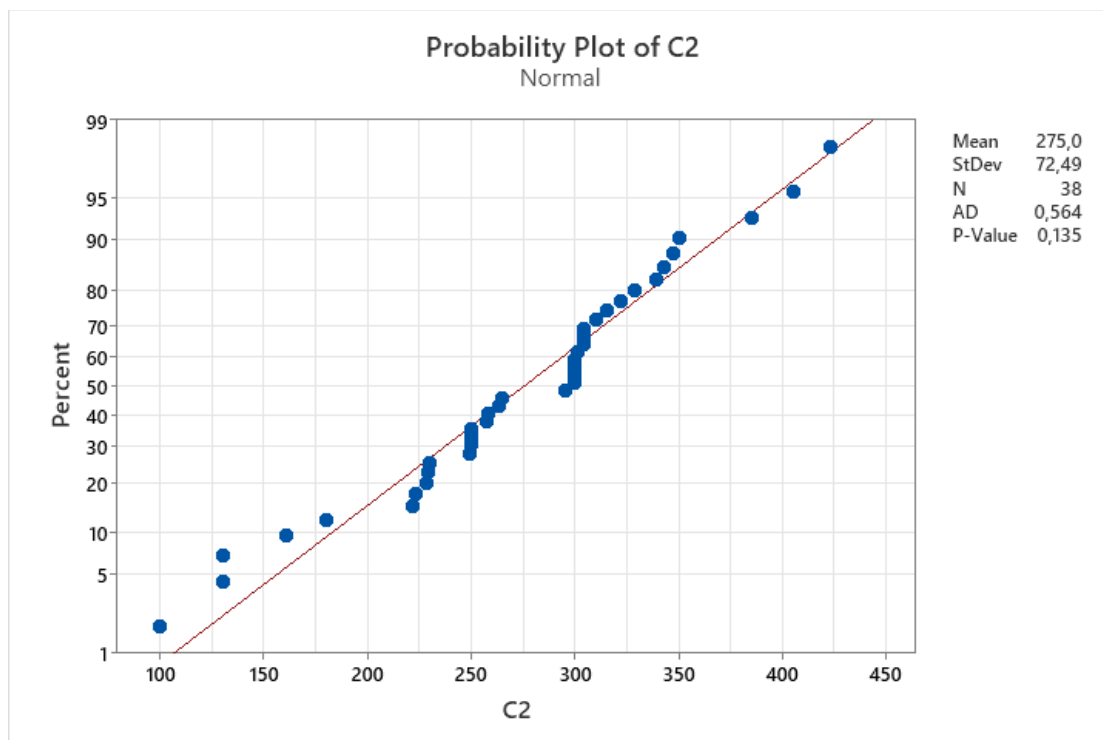
Παράρτημα Β: Έλεγχος Κανονικότητας



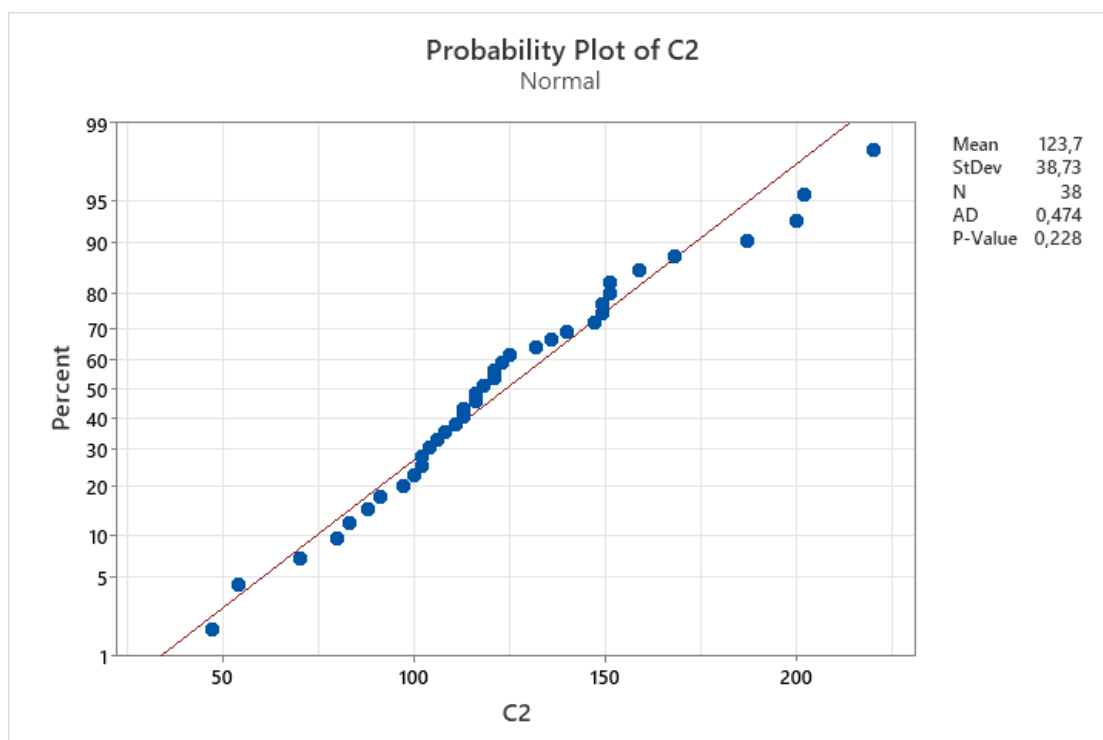
Συσκευαστική Μηχανή Νο1



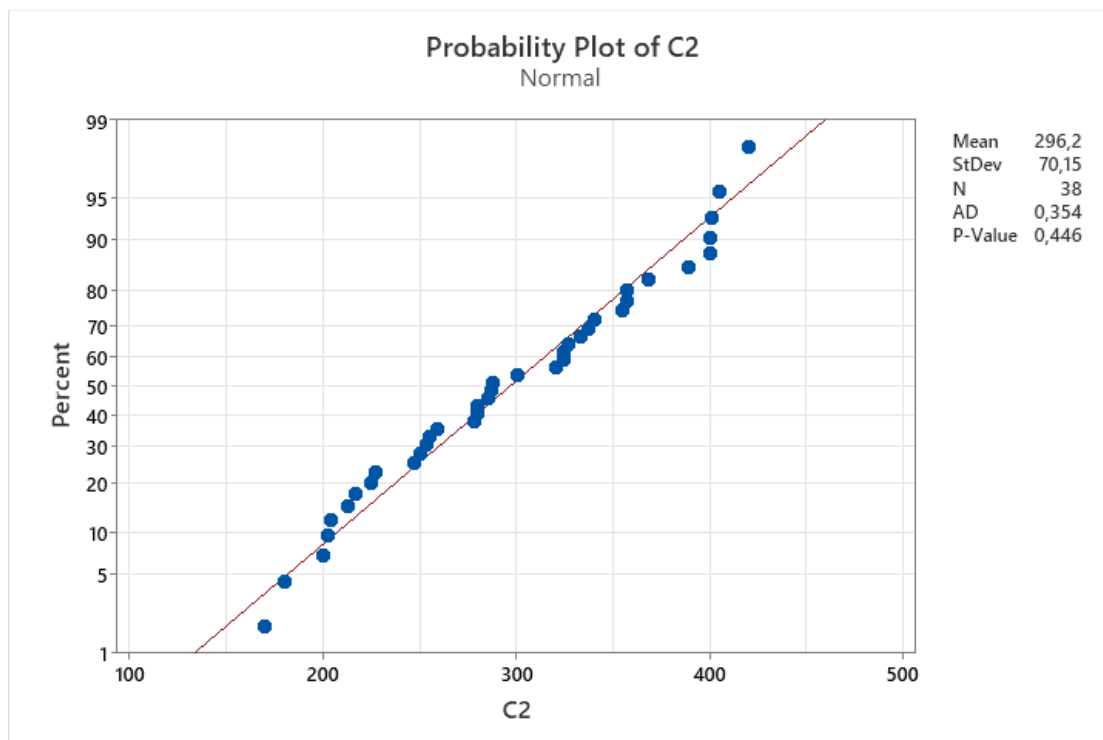
Συσκευαστική Μηχανή Νο2



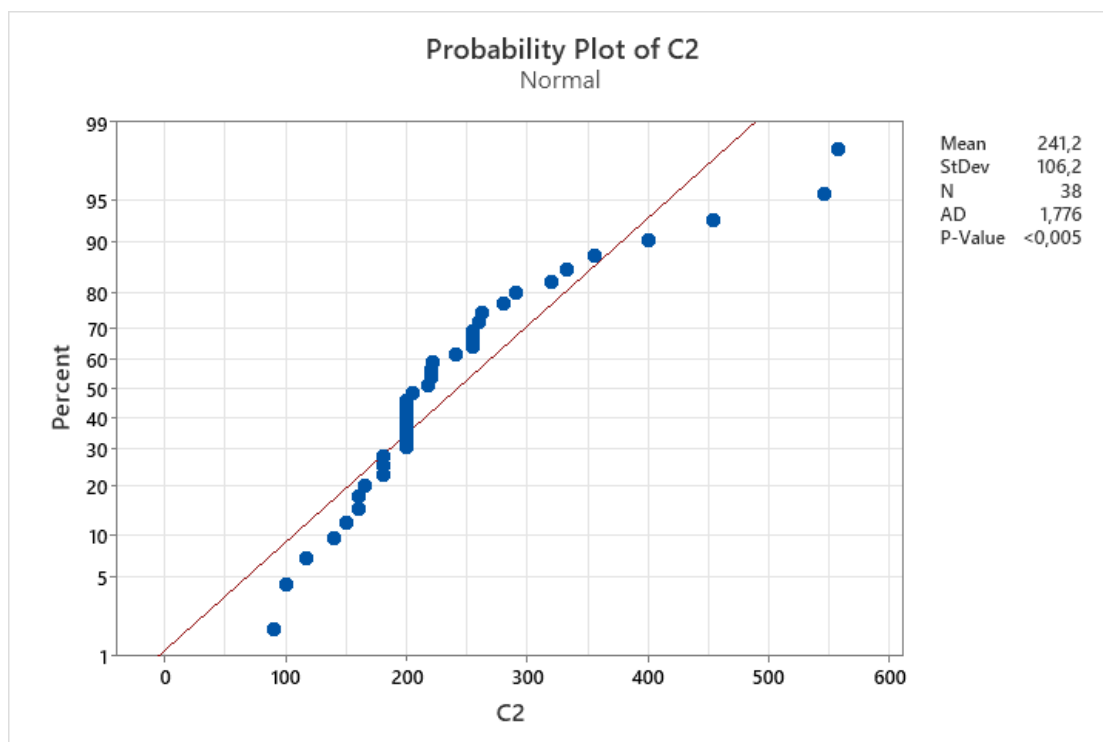
Συσκευαστική Μηχανή Νο3



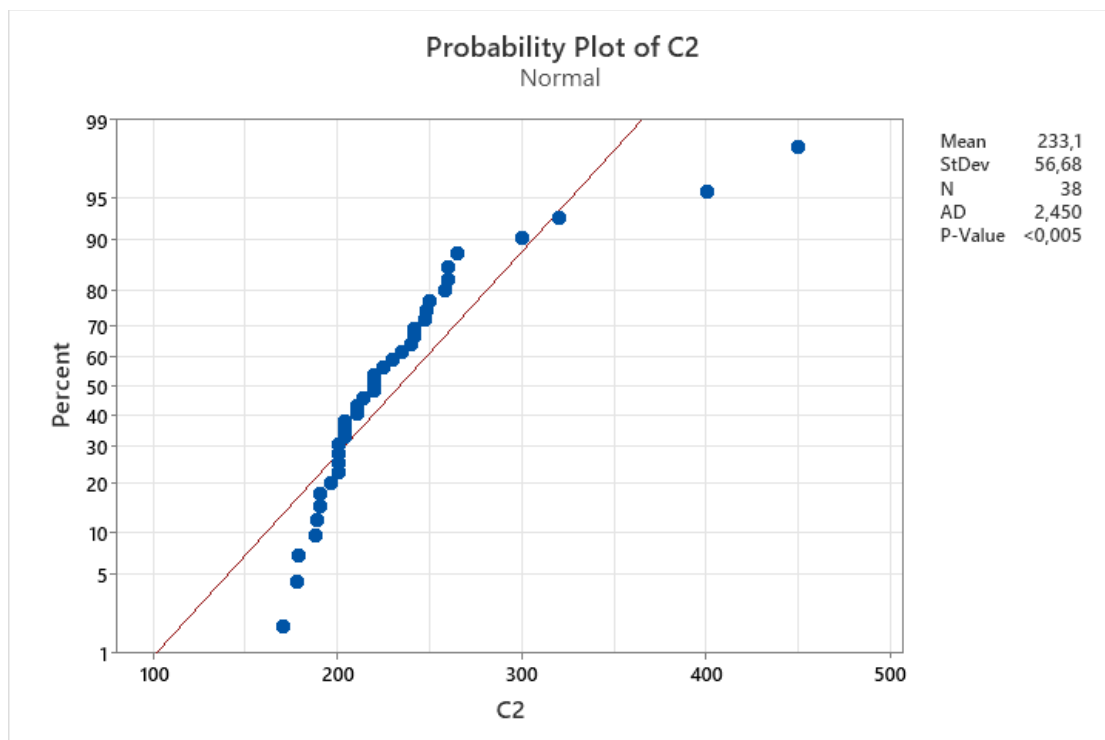
Συσκευαστική Μηχανή Νο4



Συσκευαστική Μηχανή Νο5



Συσκευαστική Μηχανή Νο6



Συσκευαστική Μηχανή Νο7