



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας
Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας (ΔΙΠ)

Διπλωματική Εργασία

"Αξιολόγηση και Βελτίωση του δείκτη απόδοσης σε βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων μέσω της μεθόδου Six Sigma: Περίπτωση μελέτης ελληνικής επιχείρησης"

Κωνσταντίνος Γεωργακόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής : Παναγιώτης Τσαρούχας

ΠΑΤΡΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η 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/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την αξιολόγηση και τη βελτίωση των δεικτών απόδοσης σε μια ελληνική βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων με τη χρήση της μεθοδολογίας Six Sigma και του πλαισίου DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Το πρόβλημα που εξετάζεται αφορά την έντονη μεταβλητότητα που εμφανίζεται στη γραμμή παραγωγής, η οποία οδηγεί συστηματικά σε σπατάλη πρώτων υλών μέσω της συστηματικής υπερπλήρωσης των φιαλών πουρέ.

Μέσα από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Minitab διαπιστώθηκε ότι η διαδικασία δεν είναι ικανή να παράγει το τελικό προϊόν εντός των προδιαγραφών που έχουν οριστεί από τον κλάδο συσκευασμένων τροφίμων. Η ανάλυση των ριζικών αιτιών μέσω του διαγράμματος Ishikawa και της τεχνικής των 5 Γιατί έδειξε πως η υπερπλήρωση οφείλεται στην λανθασμένη ρύθμιση του μηχανήματος πλήρωσης προς το ανώτερο όριο των προδιαγραφών αλλά και στις μεταβολές από παρτίδα σε παρτίδα της πρώτης ύλης λόγω των φυσικών χαρακτηριστικών της.

Η έρευνα καταλήγει κάνοντας συγκεκριμένες προτάσεις ώστε να βελτιωθεί η διαδικασία στο εργοστάσιο. Οι προτάσεις αυτές περιλαμβάνουν αυτόματους ζυγούς ακριβείας, ψηφιακό στατιστικό έλεγχο διαδικασίας και τακτική βαθμονόμηση των οργάνων. Στόχος είναι ο άμεσος περιορισμός της σπατάλης και η μακροπρόθεσμη διαφύλαξη των βελτιώσεων.

Λέξεις – κλειδιά

Six Sigma, DMAIC, βιομηχανία τροφίμων, πουρές φρούτων, δείκτης ικανότητας διαδικασίας, μείωση μεταβλητότητας

Abstract

This thesis aims to evaluate and improve the performance indicators of a Greek fruit puree production industry using the Six Sigma methodology and the DMAIC framework (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). The problem under investigation concerns the significant variability occurring in the production line which systematically results in raw material waste through the systematic overfilling of puree bottles.

Through statistical analysis performed using Minitab software, it was found that the process is not capable of producing the final product within specifications set by the packaged food industry sector. Root cause analysis via the Ishikawa diagram and the 5 Whys technique revealed that overfilling is due to the incorrect adjustment of the filling machine towards the upper specification limit, as well as batch – to batch variations in the raw material due to its natural characteristics.

The research concludes by making specific proposal to improve the process at the plant. These proposals include automatic precision scales, digital statistical process control and regular instrument calibration. The goal is the immediate reduction of waste and the long – term preservation of improvements.

Key words

Six Sigma, DMAIC, food industry, fruit puree, process capability index, variability reduction

Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1	Αντικείμενο της εργασίας	6
1.2	Σκοπός και στόχοι της έρευνας	7
1.3	Δομή της εργασίας	9
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	11
2.1	Εισαγωγή στη μεθοδολογία Six Sigma.....	11
2.1.1	Ιστορική εξέλιξη.....	11
2.1.2	Six Sigma.....	13
2.2	Στρατηγικές βελτίωσης απόδοσης στη βιομηχανία τροφίμων	18
2.3	Εφαρμογή της μεθόδου Six Sigma στη βιομηχανία τροφίμων	22
2.4	Η μέθοδος Six Sigma στη βελτίωση του δείκτη απόδοσης	23
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	26
3.1	Προσδιορισμός και μεθοδολογία μέτρησης των δεικτών απόδοσης.....	26
3.1.1	Ορισμός του CTQ δείκτη.....	26
3.1.2	Δείκτες ικανότητας της διαδικασίας.....	27
3.1.3	Μεθοδολογία συλλογής δεδομένων	27
3.1.4	Στατιστικά εργαλεία επεξεργασίας δεδομένων	28
3.2	Το πλαίσιο της μεθόδου Six Sigma (DMAIC)	29
3.3	Στρατηγικές εφαρμογής στην ελληνική βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων	30
4.	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	31
4.1	Φάση καθορισμού (Define)	31
4.1.1	Περιγραφή της επιχείρησης.....	31
4.1.2	Καθορισμός του προβλήματος που εξετάζεται.....	31
4.1.3	Πίνακας project charter	32

4.1.4	Διάγραμμα SIPOC.....	33
4.1.5	Διάγραμμα CTQs	35
4.2	Φάση Μέτρησης (Measure)	35
4.2.1	Συλλογή και οργάνωση των αριθμητικών δεδομένων.....	35
4.2.2	Ανάλυση συστήματος μέτρησης (Gage R&R)	38
4.2.3	Περιγραφικά στατιστικά μεγέθη και Probability Plot for normality test πριν τη βελτίωση	43
4.2.4	Johnson transformation	48
4.2.5	Διαγράμματα ελέγχου πριν τη βελτίωση.....	49
4.2.6	Process capability analysis πριν τη βελτίωση.....	51
4.3	Φάση ανάλυσης (Analyze).....	56
4.3.1	Διάγραμμα Cause and Effect και τα 5 Γιατί.....	56
4.3.2	Συνοπτικός πίνακας επικύρωσης αιτιών και αποτελεσμάτων (Summary table of cause validation plan and result).....	59
4.4	Φάση βελτίωσης (Improve)	63
4.4.1	Επικύρωση ριζικών αιτιών και λύσεις (Validation causes and solutions)	63
4.4.2	Σχεδιασμός πειραμάτων (Design of Experiments)	65
4.4.3	Capability analysis report μετά τη βελτίωση.....	67
4.4.4	Dotplots και Boxplots πριν και μετά τη βελτίωση	68
4.5	Φάση ελέγχου (Control).....	71
4.5.1	Διαγράμματα ελέγχου μετά την βελτίωση	71
4.5.2	Σχέδιο Ελέγχου	73
4.6	Αξιολόγηση της απόδοσης και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής.....	74
4.7	Προτάσεις βελτίωσης και στρατηγικές εξόδου από τη φάση DMAIC	75
4.8	Συνεισφορά της εργασίας.....	76
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	78
5.1	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της μεθόδου	78
5.2	Προτάσεις για την επιχείρηση και τη βιομηχανία.....	80

5.3	Περιορισμοί της έρευνας	82
5.4	Δυνατότητες για μελλοντική έρευνα και περαιτέρω εφαρμογή.....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		90

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:	Διάγραμμα SIPOC της παραγωγικής διαδικασίας της επιχείρησης.....	34
Εικόνα 2:	CTQs βάρους πλήρωσης φιαλών πουρέ	35
Εικόνα 3:	Μετρήσεις βάρους φιαλών πουρέ φρούτων	37
Εικόνα 4:	Δεδομένα στο φύλλο εργασίας Minitab	38
Εικόνα 5:	Γραφική αναφορά της μελέτης Gage R&R (Nested) για το βάρος των φιαλών πουρέ πριν τη βελτίωση.....	42
Εικόνα 6:	Διάγραμμα πιθανότητας (Probability Plot) για τον έλεγχο κανονικότητας των δεδομένων πριν τη βελτίωση	45
Εικόνα 7:	Σύνοψη περιγραφικής στατιστικής και ελέγχου κανονικότητας πριν τη βελτίωση	47
Εικόνα 8:	Ιστόγραμμα για βάρη πριν τη βελτίωση.....	48
Εικόνα 9:	Johnson transformation πριν τη βελτίωση	49
Εικόνα 10:	Control charts πριν τη βελτίωση.....	50
Εικόνα 11:	Αναφορά ικανότητας διαδικασίας (Process Capability Sixpack) του βάρους φιαλών πουρέ φρούτων πριν τη βελτίωση.....	52
Εικόνα 12:	Διάγραμμα Cause & Effect	57
Εικόνα 13:	Gage R&R Study (Nested) για τα βάρη μετά τη βελτίωση	66
Εικόνα 14:	Process capability report μετά τη βελτίωση	67
Εικόνα 15:	Dotplot πριν τη βελτίωση.....	68
Εικόνα 16:	Dotplot μετά τη βελτίωση.....	69
Εικόνα 17:	Boxplot πριν τη βελτίωση	70
Εικόνα 18:	Boxplot μετά τη βελτίωση	71
Εικόνα 19:	X bar chart μετά τη βελτίωση.....	72
Εικόνα 20:	R chart μετά τη βελτίωση.....	73

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση των φάσεων DMAIC	30
Πίνακας 2: Project charter	33
Πίνακας 3: Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA) για τη μελέτη Gage R&R (Nested) του βάρους πλήρωσης πριν τη βελτίωση	39
Πίνακας 4: Ποσοστιαία συμβολή συνιστωσών διακύμανσης στο συνολικό σφάλμα.....	40
Πίνακας 5: Αξιολόγηση του συστήματος μέτρησης (Gage evaluation) πριν τη βελτίωση...	41
Πίνακας 6: Μεγέθη περιγραφικής στατιστικής του βάρους φιαλών πουρέ φρούτων πριν τη βελτίωση (n=200)	44
Πίνακας 7: Σύνοψη δεικτών ικανότητας διαδικασίας πριν τη βελτίωση	53
Πίνακας 8: Συνοπτικός πίνακας επικύρωσης αιτιών και αποτελεσμάτων	62
Πίνακας 9: Επικύρωση ριζικών αιτιών και προτεινόμενες λύσεις	64
Πίνακας 10: Αποτελέσματα Σχεδιασμού Πειραμάτων	65

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία έχει ως αντικείμενο τη συστηματική αξιολόγηση και ταυτόχρονα τη δομημένη βελτίωση των δεικτών απόδοσης (KPIs) σε έναν κρίσιμο τομέα της ελληνικής βιομηχανίας τροφίμων χρησιμοποιώντας για μελέτη περίπτωσης μια επιχείρηση παραγωγής πουρέ φρούτων. Η έρευνα εστιάζει στην ανάλυση της λειτουργίας της επιχείρησης ώστε να εντοπιστούν τα προβλήματα που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας αλλά και την ποιότητα του προϊόντος. Αυτά τα προβλήματα επηρεάζουν άμεσα το ανταγωνιστικό προφίλ της επιχείρησης και ενδεχομένως τη βιωσιμότητά της εάν αφεθούν χωρίς επίλυση.

Το βασικό πρόβλημα που διερευνάται είναι η διαπιστωμένη χαμηλή απόδοση της γραμμής παραγωγής, καθώς εμφανίζεται ένα ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό προϊόντων τα οποία δεν είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Μια εξαιρετικά σημαντική παράμετρος αυτή της αναποτελεσματικότητας είναι η εμφάνιση έντονης μεταβλητότητας στη διαδικασία πλήρωσης των δοχείων πουρέ, η οποία οδηγεί σε μεγάλες αποκλίσεις από το βάρος που έχει τεθεί ως στόχος. αυτές οι αποκλίσεις μπορεί να οφείλονται είτε σε υπερπλήρωση είτε σε υποπλήρωση των δοχείων καθιστώντας τα δοχεία αυτά μη αποδεκτά.

Τα προβλήματα της γραμμής παραγωγής επηρεάζουν την επιχείρηση σε πολλά επίπεδα. Η υπερπλήρωση έχει ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πρώτων υλών και τη μείωση των κερδών της επιχείρησης αφού το πλεόνασμα παρέχεται στους καταναλωτές δωρεάν. Η υποπλήρωση από την άλλη πλευρά ζημιώνει την επιχείρηση καθώς εάν τα προϊόντα γίνουν αντιληπτά δημιουργούν επιπλέον κόστος λόγω της επανεπεξεργασίας που επιβάλλεται ή της απόρριψής τους. Στην περίπτωση που τα προϊόντα δεν γίνουν αντιληπτά και καταλήξουν στους καταναλωτές, κλονίζουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών στην επιχείρηση και ταυτόχρονα δημιουργούν νομικά ζητήματα καθώς δεν συμμορφώνονται με τους σχετικούς κανονισμούς.

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η επιχείρηση είναι αρκετά σύνθετο καθώς τα αίτια του μπορεί να βρίσκονται σε οποιοδήποτε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Για την αντιμετώπισή του η εργασία υιοθετεί την δομημένη μεθοδολογία Six Sigma. Ειδικότερα, εφαρμόζει το πλαίσιο DMAIC, το οποίο αποτελεί μια αυστηρή διαδικασία με πέντε βήματα: Define, Measure, Analyse, Improve, Control. Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τον ορισμό του προβλήματος με ακρίβεια ώστε να καταστεί δυνατό να ποσοτικοποιηθεί σε δεύτερο χρόνο και να περιοριστεί σε συγκεκριμένα στάδια της διαδικασίας προκειμένου να τεθούν ρεαλιστικοί στόχοι βελτίωσης. Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τις απαραίτητες μετρήσεις ώστε να δημιουργηθεί η βασική γραμμή (baseline). Στο βήμα αυτό συλλέγονται τα δεδομένα και βεβαιώνεται η ακρίβεια των οργάνων μέτρησης. Στο επόμενο βήμα αναλύονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν προηγουμένως. Χρησιμοποιούνται γραφικά εργαλεία αλλά και λογισμικά στατιστικής ανάλυσης. Η κατάληξη της ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός των ριζικών αιτιών που προκαλούν τη μειωμένη απόδοση στη λειτουργία της επιχείρησης. Το τέταρτο βήμα περιλαμβάνει την δημιουργία, αξιολόγηση και εφαρμογή λύσεων που θα εφαρμοστούν με σκοπό να προκύψουν στατιστικά σημαντικές βελτιώσεις. Το πέμπτο και τελευταίο βήμα περιλαμβάνει τις απαραίτητες ενέργειες για την υιοθέτηση των λύσεων που επέφεραν θετικά αποτελέσματα και την μόνιμη ενσωμάτωσή τους στη λειτουργία της επιχείρησης.

Η δομημένη προσέγγιση έχει ως στόχο όχι μόνο να εντοπίσει τα σφάλματα της παραγωγικής διαδικασίας αλλά και την εγκαθίδρυση ενός νέου συστήματος λειτουργίας και ελέγχου που θα εξασφαλίζει την μονιμότητα των βελτιώσεων.

1.2 Σκοπός και στόχοι της έρευνας

Το επίκεντρο της ΜΔΕ είναι η συστηματική αξιολόγηση της γραμμής παραγωγής πουρέ φρούτων μιας ελληνικής βιομηχανίας ώστε η αξιολόγηση αυτή να αποδώσει τη λειτουργική αναβάθμιση της παραγωγικής διαδικασίας. Ο βασικός σκοπός της ΜΔΕ είναι να επιτευχθεί μια μετρήσιμη βελτίωση των δεικτών απόδοσης, η οποία βελτίωση να είναι ταυτόχρονα βιώσιμη

μακροπρόθεσμα. Η βελτίωση των δεικτών επιτυγχάνεται κυρίως με τη μείωση των παρατηρούμενων αποκλίσεων και αστοχιών της παραγωγικής διαδικασίας αναφορικά με την πλήρωση των φιαλών πουρέ.

Με την εφαρμογή των πέντε σταδίων DMAIC του μεθοδολογικού εργαλείου Six Sigma η έρευνα επιχειρεί να περάσει από την αποσπασματική αντιμετώπιση των προβλημάτων, που χαρακτηρίζει την λειτουργία της επιχείρησης, στην δομημένη λήψη αποφάσεων βάσει των δεδομένων που προκύπτουν από την ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό η εργασία προσπαθεί να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα και την κερδοφορία της επιχείρησης ενισχύοντας τη συμμόρφωσή της με τις απαιτήσεις ποιότητας και τα κανονιστικά πρότυπα, όπως το ISO 22000, που οφείλει να ακολουθεί.

Για να υλοποιήσει η ΜΔΕ τον κύριο σκοπό της θα πρέπει να θέσει επιμέρους στόχους, που θα βοηθήσουν την τελική επιτυχή έκβαση. Βασική επιδίωξη είναι η σταθεροποίηση της ποσότητας πουρέ ανά φιάλη, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται κατά το δυνατόν φαινόμενο πλεονάσματος προϊόντος (υπερπλήρωση) ή ελλείματος (υποπλήρωση). Η βελτιστοποίηση της ακρίβειας στην ποσότητα ανά φιάλη στοχεύει άμεσα στην μείωση της σπατάλης πρώτων υλών, τη διασφάλιση του προϊόντος με τις απαιτούμενες προδιαγραφές αλλά και την προστασία της εμπιστοσύνης του καταναλωτικού κοινού στην επιχείρηση.

Ένας ακόμα στόχος που θα βοηθήσει στον τελικό σκοπό της ΜΔΕ είναι η διάγνωση και η εξάλειψη των ριζικών αιτιών που δημιουργούν τα προβλήματα. Η ΜΔΕ μελετά τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί ώστε να εντοπίσει εκείνους τους παράγοντες που έχουν ευθύνη για τη μεταβλητότητα του τελικού προϊόντος από τη γραμμή παραγωγής. Για να εντοπιστούν οι ριζικές αιτίες ελέγχονται: το προϊόν – φυσικές ιδιότητες του πουρέ όπως το ιξώδες και η θερμοκρασία, τα μηχανήματα – ρυθμίσεις, κατάσταση, κλπ., καθώς και οι ανθρώπινοι χειρισμοί κατά την παραγωγική διαδικασία. Γίνεται αντιληπτό ότι η έρευνα προσπαθεί να εξορθολογήσει τη διαχείριση των πόρων διασφαλίζοντας ότι δεν θα υπάρχουν απώλειες και αστοχίες με πηγές τον ανθρώπινο παράγοντα ή τον μηχανολογικό εξοπλισμό.

Ένας ακόμα από τους επιμέρους στόχους της έρευνας είναι να προστατεύσει την μελλοντική λειτουργία της επιχείρησης εφαρμόζοντας αλλαγές που θα επιφέρουν βελτιώσεις ανθεκτικές στον χρόνο. Αυτό συμβαίνει μέσω της ανάπτυξη Τυποποιημένων Διαδικασιών Λειτουργίας (SOPs) και της καθιέρωσης συστημάτων ελέγχου, που θα είναι σε θέση να εντοπίσουν άμεσα τις οποιοσδήποτε αποκλίσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις αλλαγών μεγάλο ρόλο παίζει και η εκπαίδευση του προσωπικού στις νέες διαδικασίες, ώστε οι αλλαγές να γίνουν αναπόσπαστο κομμάτι της εταιρικής κουλτούρας.

Τέλος, η εργασία στοχεύει να γεφυρώσει την θεωρία και την πράξη, αξιολογώντας την μεθοδολογία Six Sigma μέσω της εφαρμογής της σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας βιομηχανίας τροφίμων.

1.3 Δομή της εργασίας

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία είναι δομημένη σε πέντε κεφάλαιο και ακολουθεί την τυπική διάρθρωση μιας επιστημονικής εργασίας που περιέχει βιβλιογραφική ανασκόπηση αλλά και μελέτη περίπτωσης.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η ΜΔΕ και αναλύονται ο σκοπός και οι στόχοι της έρευνας. Παρουσιάζεται το αντικείμενο για το πρακτικό μέρος της μελέτης, που είναι η βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας σε μια ελληνική βιομηχανία πουρέ φρούτων. Προσδιορίζεται ότι το πρόβλημα που υφίσταται είναι η έντονη μεταβλητότητα στο βάρος πλήρωσης των προϊόντων. Επιπλέον, παρουσιάζεται η δομή της συνολικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2 – Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η θεωρητική βάση για τη μεθοδολογία Six Sigma. Ξεκινά με την έμφαση που δόθηκε στην ποιότητα με αποτέλεσμα την θεωρία της Διοίκησης Ολικής

ποιότητας και εξηγεί τους λόγους που παρουσιάστηκε η ανάγκη για τη δημιουργία ενός ακόμα εργαλείου, πιο αποδοτικού, που είναι η μεθοδολογία Six Sigma. Αναλύονται οι δείκτες ικανότητας διαδικασίας C_p και C_{pk} και η σύνδεσή τους με τα διεθνή πρότυπα διαχείρισης ποιότητας και ασφάλειας τροφίμων. Έμφαση δίνεται στην ανάγκη για νομοθετική συμμόρφωση σχετικά με το καθαρό βάρος των συσκευασιών.

Κεφάλαιο 3 – Μεθοδολογία έρευνας

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα επιστημονικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν και οι μέθοδοι που πλαισίωσαν την ανάλυση. Δίνεται έμφαση στη μεθοδολογία DMAIC και γίνεται η επεξήγηση της χρήσης του στατιστικού λογισμικού Minitab. Επιπλέον, αναλύεται ο τρόπος συλλογής των δεδομένων από τη γραμμή παραγωγής και η μεθοδολογία για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του συστήματος μέτρησης (Gage R&R).

Κεφάλαιο 4 – Μελέτη περίπτωσης

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί το πρακτικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζονται τα πραγματικά δεδομένα όπως συλλέχθηκαν από την ελληνική βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων που εξετάζεται. Διεξάγεται η στατιστική επεξεργασία και αξιολογείται η απόδοση της γραμμής παραγωγής, όπως διαπιστώνεται ότι λειτουργεί. Μέσω των αποτελεσμάτων της στατιστικής επεξεργασίας εντοπίζονται οι ριζικές αιτίες που προκαλούν τη μεταβλητότητα στην παραγωγή και προτείνονται παρεμβάσεις για τον περιορισμό ελαττωμάτων overfilling και underfilling.

Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στο τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα κύρια ευρήματα της έρευνας και αξιολογείται εάν και κατά πόσο ο αρχικός στόχος πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον, διατυπώνονται προτάσεις προς τη διοίκηση της ελληνικής επιχείρησης που εξετάστηκε με στόχο τη διατήρηση των βελτιώσεων σε βάθος χρόνου. Στο τέλος, αναλύονται οι περιορισμοί της έρευνας και γίνονται προτάσεις για μελλοντικές μελέτες που θα διερευνούν το θέμα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή στη μεθοδολογία Six Sigma

2.1.1 Ιστορική εξέλιξη

Το πιο σημαντικό εργαλείο μιας επιχείρησης για να χτίσει σχέσεις εμπιστοσύνης με το καταναλωτικό κοινό και να ενισχύσει τη φήμη της σε βάθος χρόνου είναι η διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων της. Στο σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον, στο οποίο οι καταναλωτές έχουν άμεση πρόσβαση σε κριτικές και πληθώρα εναλλακτικών λύσεων, η σταθερά υψηλή ποιότητα μπορεί να προσφέρει στις επιχειρήσεις το απαραίτητο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για να ισχυροποιήσουν τη θέση τους στην αγορά. Όπως αναφέρει ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ.) στο διεθνές πρότυπο ISO 9000:2015 η ποιότητα είναι ο βαθμός στον οποίο ένα σύνολο εγγενών χαρακτηριστικών πληροί απαιτήσεις (<https://elot.gr/>, 2025). Τα εγγενή χαρακτηριστικά του προϊόντος είναι το σύνολο των φυσικών και λειτουργικών γνωρισμάτων του. Οι απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το προϊόν αναφέρονται στις ανάγκες των πελατών που πρέπει να ικανοποιούνται αλλά και οι νομοθετικές και κανονιστικές προϋποθέσεις που πρέπει να καλύπτονται τόσο σε ευρύ πλαίσιο συμβάσεων όσο και εντός της ίδιας της επιχείρησης.

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι το αποτέλεσμα όχι μόνο των υλικών αλλά και των διεργασιών και της οργανωσιακής κουλτούρας εντός της επιχείρησης. Κατά συνέπεια η ποιότητα χρειάζεται μια προσέγγιση που θα μελετά και θα βελτιώνει κάθε μέρος της παραγωγικής διαδικασίας. Η λογική αυτή εισάγει τη Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (ΔΟΠ) η οποία ξεκίνησε από τον κλάδο της βιομηχανίας με εμπνευστή τον W. Edward Deming. Η φιλοσοφία της ΔΟΠ στηρίχτηκε στα 14 σημεία του Deming:

- «Δημιουργήστε σταθερότητα στον σκοπό για τη βελτίωση των προϊόντων και των υπηρεσιών.
- Υιοθετήστε τη νέα φιλοσοφία.
- Διακόψτε την εξάρτηση από τον έλεγχο για την επίτευξη ποιότητας.

- Τερματίστε την πρακτική της ανάθεσης εργασιών με βάση μόνο την τιμή. Αντ' αυτού ελαχιστοποιήστε το συνολικό κόστος συνεργαζόμενοι με έναν μοναδικό προμηθευτή.
- Βελτιώνετε συνεχώς και για πάντα κάθε διαδικασία σχεδιασμού, παραγωγής και εξυπηρέτησης.
- Εγκαθιδρύστε εκπαίδευση στην εργασία.
- Υιοθετήστε και εφαρμόστε την ηγεσία.
- Εξαλείψτε τον φόβο.
- Καταργήστε τα εμπόδια μεταξύ των τμημάτων του προσωπικού.
- Καταργήστε τα συνθήματα, τα παρακινητικά μηνύματα και τους στόχους για το εργατικό δυναμικό.
- Καταργήστε τα ποσοστά για το εργατικό δυναμικό και τους αριθμητικούς στόχους για τη διοίκηση.
- Αφαιρέστε τα εμπόδια που στερούν από τους ανθρώπους την περηφάνια για την εργασία τους και καταργήστε το ετήσιο σύστημα αξιολόγησης ή αμοιβών.
- Εγκαθιδρύστε ένα ενεργητικό πρόγραμμα εκπαίδευσης και αυτοβελτίωσης για όλους.
- Βάλτε όλους στην εταιρεία να εργάζονται για την πραγματοποίηση του μετασχηματισμού.» (<https://asq.org/>, 2025)

Η εμφάνιση της ΔΟΠ και η εξέλιξή της από τη δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 1980 άλλαξε τον τρόπο με τον οποίο η βιομηχανία εκτελούσε τις λειτουργίες της και τα αποτελέσματα ήταν πράγματι θετικά. Ωστόσο, υπήρξε απόσταση ανάμεσα στη θεωρία της ΔΟΠ και την εφαρμογή της με αποτέλεσμα η επιτυχία της να μην έχει τις απαιτούμενες και αναμενόμενες διαστάσεις. Οι λόγοι γι' αυτό περιλαμβάνουν την έλλειψη συμμετοχής και δέσμευσης από τα υψηλόβαθμα στελέχη, ανεπαρκή χρήση στατιστικών εργαλείων, γενίκευση αντί για ειδίκευση στόχων αλλά και γενίκευση της εκπαίδευσης αντί για ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνικών ειδικοτήτων (Montgomery & Woodall, 2008). Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην διεύρυνση της ΔΟΠ και την εξέλιξη της μεθοδολογίας Six Sigma, που είναι περισσότερο εστιασμένη στη δημιουργία οικονομικού οφέλους για την επιχείρηση. Η οικονομική ερμηνεία των αποτελεσμάτων προκαλεί

μεγαλύτερη δέσμευση από την διοίκηση που τελικά μεταφράζεται σε πραγματικές και μακρόχρονες βελτιώσεις στην επιχείρηση.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 η διοίκηση της Motorola να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων και ταυτόχρονα να μειώσει τον αριθμό των ελαττωματικών. Ο διευθυντής της επιχείρησης Bob Galvin επέλεξε μια ομάδα ατόμων για να οργανώσουν την προσπάθεια αυτή. το 1986 ο μηχανικός της Motorola Bill Smith παρουσίασε το πρόγραμμα Six Sigma, το οποίο εφαρμόστηκε αρχικά σε μικρό μέρος της επιχείρησης αλλά ήταν τόσο θετικά τα αποτελέσματα που σύντομα ο Bob Galvin αποφάσισε να εφαρμοστεί σε ολόκληρη την επιχείρηση. Υπολογίστηκε ότι το διάστημα ανάμεσα στο 1987 και το 1993 η Motorola μείωσε τα ελαττωματικά προϊόντα της κατά 94% (Montgomery & Woodall, 2008). Η εξοικονόμηση δισεκατομμυρίων δολαρίων από τη Motorola οδήγησε σύντομα κι άλλες επιχειρήσεις, όπως η Toshiba, η Samsung και η Bank of America, να χρησιμοποιήσουν τη μέθοδο.

Η μεθοδολογία Six Sigma βελτιώνει τις διαδικασίες σε μια επιχείρηση και η επιτυχία της εξαρτάται από την μελέτη των δεδομένων που αναγνωρίζει και διορθώνει τις πηγές της διακύμανσης μέσα στις διαδικασίες (Pyzdek & Keller, 2014). Η ονομασία Six Sigma περιγράφει τον στόχο της μεθόδου να μειώσει την μεταβλητότητα κατά τρόπο τέτοιο ώστε τα όρια των προδιαγραφών να βρίσκονται εντός 6 τυπικών αποκλίσεων (6σ) από τον μέσο (Antony et al, 2017). Δεν είναι όμως ένα απλό εργαλείο διόρθωσης ελαττωμάτων αλλά μια ολόκληρη φιλοσοφία που διατρέχει ολόκληρη την επιχείρηση. Είναι μια αυστηρή και εστιασμένη εφαρμογή αρχών και τεχνικών ποιότητας με απτά αποτελέσματα. Στοχεύει σε επιχειρήσεις που παράγουν σχεδόν χωρίς σφάλματα προϊόντα (Pyzdek & Keller, 2014).

2.1.2 Six Sigma

Η Six Sigma χρησιμοποιεί την μεθοδολογία DMAIC (Define – Measure – Analyse – Improve – Control) σε περιπτώσεις που τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις είναι περίπλοκα

και οι ριζικές αιτίες δεν είναι εμφανείς ή, παρά την προφανή λύση, η εφαρμογή των βελτιωτικών κινήσεων είναι υψηλού ρίσκου. Αναλυτικά τα στάδια της DMAIC παρατίθενται ακολούθως.

Define (ορισμός)

Στο βήμα αυτό ο στόχος είναι να οριστεί το πεδίο εργασίας, το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα γίνουν έλεγχοι και αλλαγές καθώς και ο σκοπός που πρέπει να επιτύχει το βελτιωτικό έργο. Στην Six Sigma δεν γίνεται απλή αναγνώριση του προβλήματος αλλά τεκμηριώνεται το γεγονός ότι η επίλυσή του αποτελεί στρατηγική προτεραιότητα για την επιχείρηση. Ο Ορισμός περιλαμβάνει την εύρεση όλων εκείνων των διαδικασιών αλλά και των πελατών (εσωτερικών και εξωτερικών) που επηρεάζονται.

Η κατάληξη του βήματος αυτού είναι να εξασφαλίσει ότι οι προσπάθειες που θα ακολουθήσουν θα μπορούν να μετρηθούν και να συγκριθούν προκειμένου να γίνει φανερή η πορεία των αλλαγών. Μία κύρια ενέργεια που πραγματοποιείται είναι η ανάπτυξη ενός Project Charter, δηλαδή ενός επίσημου εγγράφου το οποίο θα περιγράφει την ευθύνη, τα όρια και τους στόχους του έργου. Στο project charter ενσωματώνεται η φωνή του πελάτη (Voice of Customer – VOC) και μεταφράζεται σε κρίσιμα προς την ποιότητα χαρακτηριστικά (Critical to Quality – CTQs). Ταυτόχρονα, συλλέγοντα όλα εκείνα τα αριθμητικά δεδομένα που θα επιβεβαιώσουν την ύπαρξη του προβλήματος, υπολογίζονται οι ωφέλειες σε οικονομικό ή άλλο επίπεδο και καταρτίζεται ένα διάγραμμα της διαδικασίας. Επιπλέον, δημιουργούνται λεπτομερή σχέδια για το πώς θα προχωρήσει η διαχείριση του έργου, πώς θα μεταδοθεί το μήνυμα των αλλαγών στην επιχείρηση και πώς θα αντιμετωπιστούν οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι.

Οι ενέργειες του πρώτου βήματος υποστηρίζονται από ειδικά εργαλεία, όπως η ανάλυση SIPOC (suppliers – inputs – process – outputs – customers), η χαρτογράφηση ροής αξίας (Value Stream Mapping – VSM), η συστηματική ανάπτυξη του project charter και η ανάλυση VOC για την αξιόπιστη καταγραφή των αναγκών όπως τις εκφράζουν οι πελάτες (Antony et al, 2017).

Measure (μέτρηση)

Η δεύτερη φάση της μεθοδολογίας DMAIC αποτελεί το σημείο εκείνο στο οποίο ποσοτικοποιείται η πραγματικότητα στην επιχείρηση. Εδώ συλλέγονται δεδομένα με συστηματικό τρόπο και αποτυπώνεται με ακρίβεια το επίπεδο απόδοσης της διαδικασίας και καταγράφεται λεπτομερώς ο αντίκτυπος του προβλήματος. Οι υποκειμενικές εντυπώσεις μετατρέπονται σε αντικειμενικά δεδομένα και δημιουργείται μια βασική γραμμή (baseline), που περιλαμβάνει τον αριθμό των ελαττωμάτων ανά εκατομμύριο ευκαιριών (dpmo) και τον δείκτη ικανότητας της διαδικασίας C_{pk} . Η βασική γραμμή θα αποτελέσει το σημείο αναφοράς για τις μελλοντικές συγκρίσεις.

Η δομημένη διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει τη σχεδίαση ενός πλάνου για τη συλλογή δεδομένων, στο οποίο ορίζεται τι, πότε και πώς θα μετράται ένα μέγεθος αλλά και για την επαλήθευση της ακρίβειας των οργάνων μέτρησης μέσω της ανάλυσης του συστήματος μέτρησης. Στο σημείο αυτό καθιερώνεται και ένας λειτουργικός ορισμός για το τι αποτελεί ελάττωμα της διαδικασίας και του προϊόντος (Antony et al, 2017).

Analyze (ανάλυση)

Στο συγκεκριμένο στάδιο η διαδικασία εμβαθύνει από το τι συμβαίνει στο γιατί συμβαίνει κάτι. Σκοπός είναι να διερευνήσει τα δεδομένα, όπως συλλέχθηκαν στο προηγούμενο βήμα, για να ανακαλύψει τις ριζικές αιτίες του προβλήματος. Εστιάζει στην αναγνώριση των μεταβλητών εισόδου X που επηρεάζουν τα κρίσιμα για την ποιότητα χαρακτηριστικά Y αλλά και στον διαχωρισμό των δραστηριοτήτων που προσδίδουν αξία για τον πελάτη από αυτές που αποτελούν σπατάλη ή απώλεια.

Η διερεύνηση περιλαμβάνει την ανάλυση των 7 + 1 μορφών σπατάλης ώστε να εντοπιστούν οι αναποτελεσματικότητες και τη λεπτομερή ροή της διαδικασίας ώστε να εντοπιστούν τα σημεία που παρουσιάζουν πρόβλημα. Επιπλέον, διενεργείται στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται εδώ περιλαμβάνουν την ανάλυση Pareto, το ιστόγραμμα, τους στατιστικούς ελέγχους υποθέσεων, την ανάλυση συσχέτισης και την ανάλυση αιτίου – αποτελέσματος (fishbone). Με τα εργαλεία αυτά εντοπίζονται εκείνες οι αιτίες που

επιρεάζουν περισσότερο τη διαδικασία προκαλώντας ελαττώματα στην παραγωγή (Antony et al, 2017).

Improve (βελτίωση)

Στο βήμα αυτό εκφράζεται η δημιουργικότητα στην εύρεση λύσεων, όπου οι υπεύθυνοι περνούν από τη θεωρητική κατανόηση των αιτιών που προκαλούν ελαττώματα στην εφαρμογή λύσεων. Σκοπός είναι η ανάπτυξη, η δοκιμή και υλοποίηση αλλαγών που έχουν στόχο την οριστική εξάλειψη των ριζικών αιτιών των προβλημάτων. Δίνεται έμφαση τόσο στην εφαρμογή καινοτομιών όσο και στην αξιολόγησή τους μέσω της σύγκρισης των δεδομένων μετά την εφαρμογή των λύσεων με το baseline, όπως ορίστηκε νωρίτερα στη μεθοδολογία.

Η διαδικασία ξεκινά με καταιγισμό ιδεών (brainstorming) και συνεχίζει τοποθετώντας τις λύσεις σε σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το κόστος, την ευκολία εφαρμογής ή τους κινδύνους με τους οποίους σχετίζονται. Η πιλοτική εφαρμογή της λύσης χρησιμοποιεί εργαλεία όπως ο σχεδιασμός πειραμάτων προκειμένου να αξιολογηθεί σε ελεγχόμενο περιβάλλον η αποτελεσματικότητά της (Antony et al, 2017).

Control (έλεγχος)

Η μακροπρόθεσμη επιτυχία των βελτιώσεων εξασφαλίζεται από αυτό το στάδιο. Σκοπός του ελέγχου δεν είναι μόνο να διατηρήσει τις βελτιώσεις που επιτεύχθηκαν αλλά να τις ενσωματώσει στην καθημερινή κουλτούρα του οργανισμού. Η εστίαση του σταδίου είναι να τυποποιήσει τις νέες μεθόδους εργασίας, να εκπαιδεύσει σε αυτές το προσωπικό αλλά και να δημιουργήσει συστήματος συνεχούς ελέγχου ώστε να αποφευχθεί η επιστροφή σε παλαιότερες μειωμένης απόδοσης καταστάσεις και συμπεριφορές.

Η μονιμότητα των βελτιώσεων επιτυγχάνεται με την εφαρμογή συγκεκριμένων ενεργειών. Σε αυτές περιλαμβάνεται η επίσημη τεκμηρίωση των νέων διαδικασιών σε εγχειρίδια λειτουργίας (SOPs), η δημιουργία ενός σχεδίου ελέγχου διαδικασίας (Process Control Plan) με συγκεκριμένους δείκτες και η χρήση χαρτών ελέγχου (Control Charts) για την παρακολούθηση

της σταθερότητας των αποτελεσμάτων. Οι αφηγηματικοί πίνακες (storyboards) ενισχύουν οπτικά την διαδικασία συγκεντρώνοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σε ένα σύντομο οπτικό ερέθισμα όπου γίνεται η αφήγηση της πορείας της προσπάθειας. Η προσπάθεια ενισχύεται από εργαλεία όπως η πρακτική 5S, το οπτικό management, τα συστήματα Kanban και οι τεχνικές Poka – Yoke. Το στάδιο του ελέγχου ολοκληρώνεται με τη χρήση του κύκλου PDCA, ο οποίος λειτουργεί ως συνεχή υπενθύμιση της ανάγκης για βελτίωση (Antony et al, 2017).

Τα στάδια Define, Measure, Analyze και Improve ολοκληρώνονται με τυπική αξιολόγηση (tollgate review). Η αξιολόγηση αυτή, ανάλογα με τα αποτελέσματά της, επιτρέπει την συνέχιση της μεθοδολογίας και το πέρασμα στο επόμενο στάδιο (Antony et al, 2017).

Η επιτυχία της εφαρμογής της μεθόδου Six Sigma εξαρτάται άμεσα από τις γνώσεις των ατόμων που την εφαρμόζουν. Οι πιο αναγνωρισμένοι και διεθνούς κύρους φορείς, που παρέχουν πιστοποιήσεις για την Six Sigma, είναι η American Society for Quality (ASQ) και η IASSC (International Association for Six Sigma Certification). Επίσης, πιστοποιήσεις μπορούν να δώσουν και ορισμένα διεθνούς φήμης πανεπιστήμια, όπως το Georgia Tech ή το Purdue) και άλλοι, αλλά λιγότερο αναγνωρισμένοι, φορείς. Οι πιστοποιήσεις της ASQ και της IASSC δίνουν στους επαγγελματίες της Six Sigma τα απαραίτητα εφόδια για να είναι περιζήτητοι από τις επιχειρήσεις ενώ οι πιστοποιήσεις των πανεπιστημίων απευθύνονται περισσότερο σε άτομα που επιζητούν ακαδημαϊκή καριέρα.

Σύμφωνα με την ASQ υπάρχουν έξι επίπεδα πιστοποίησης στην Six Sigma, τα οποία περιγράφονται ως σύστημα ζωνών (belt system). Το άτομο, που έχει λάβει την πιστοποίηση, έχει διαφορετικό ρόλο ανάλογα με τη ζώνη που κατέχει. Παρατίθεται ο ρόλος του κάθε ατόμου σε σχέση με τη ζώνη, καθώς υπάρχει μεγάλη σύγχυση σχετικά με αυτό, ιδιαίτερα για τα υψηλόβαθμα στελέχη της Six Sigma (Hoerl, 2001).

- Master Black Belt (MBB): παρέχει εκπαίδευση και coaching σε black belts και green belts. Λειτουργεί κυρίως στο επίπεδο κατά το οποίο αναπτύσσονται οι βασικοί δείκτες και ο

στρατηγικός προσανατολισμός της επιχείρησης. Είναι ο εσωτερικός σύμβουλος της επιχείρησης σχετικά με τη Six Sigma.

- Black Belt (BB): ηγείται έργων που επιλύουν προβλήματα και εκπαιδεύει ομάδες έργων.
- Green Belt (GB): βοηθά στη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων που είναι απαραίτητα για black belt έργα ενώ ηγείται έργων ή / και ομάδων green belt.
- Yellow Belt (YB): συμμετέχει ως μέλος σε ομάδες έργων και αναζητεί την εύρεση βελτιώσεων για διαδικασίες που περιέχονται στο έργο.
- White Belt (WB): έχει βασική κατανόηση των εννοιών της Six Sigma και μπορεί να εργαστεί σε τοπικές ομάδες επίλυσης προβλημάτων χωρίς όμως να είναι μέλος ομάδας έργου Six Sigma.
- Brown Belt: δεν χρησιμοποιείται παραδοσιακά στο Six Sigma αλλά από όσους, λίγους, οργανισμούς αναγνωρίζουν την πιστοποίηση, ταξινομείται ως άτομο που έχει green belt, έχει περάσει τις εξετάσεις πιστοποίησης για black belt αλλά έχει μόνο ένα ολοκληρωμένο Six Sigma έργο στο portfolio του (<https://asq.org/>, 2025).

Υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις επιχειρήσεις σχετικά με το ποιας ζώνης επαγγελματία χρειάζονται. Οι μεγάλες επιχειρήσεις έχουν ένα ιδιαίτερα αναπτυγμένο οργανωσιακό δίκτυο κι έχουν ανάγκη από επαγγελματίες με διαφορετικές ζώνες για διαφορετικά επίπεδα παραγωγής. Οι μικρού και μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις όμως έχουν διαφορετικές ανάγκες λόγω μεγέθους και, παρά την απαράβατη εφαρμογή των αρχών της Six Sigma, έχουν τη δυνατότητα να είναι πιο ελαστικές αναφορικά με τους επαγγελματίες που θα χρησιμοποιήσουν (Stankalla et al, 2019).

2.2 Στρατηγικές βελτίωσης απόδοσης στη βιομηχανία τροφίμων

Η βιομηχανία τροφίμων αντιμετωπίζει τη διπλή πρόκληση της διατήρησης υψηλής ποιότητας στα τρόφιμα που παρασκευάζει ενώ ταυτόχρονα επιζητά τη βελτιστοποίηση των παραγωγικών

διαδικασιών (Olagoke- Komolafe & Oyeboade, 2023). Ταυτόχρονα οι ανάγκες των καταναλωτών παρουσιάζουν μεγάλες αλλαγές επιζητώντας πιο υγιεινά συστατικά, προσθήκη πρωτεϊνών ή βιταμινών αλλά και προϊόντα χωρίς αλλεργιογόνα, γλουτένη ή γενετικά τροποποιημένα συστατικά (Aguilar et al, 2019). Συνεπώς, η βιομηχανία τροφίμων βρίσκεται σε στάδιο αναδιάρθρωσης που θα την οδηγήσει σε νέες παραγωγές με βελτιωμένες διαδικασίες. Ωστόσο, η ποιότητα στα τρόφιμα δεν είναι κάτι που ορίζεται μονοδιάστατα και είναι το αποτέλεσμα πολλών παραγόντων. Ξεχωρίζουν δύο κυρίαρχες διαστάσεις της ποιότητας τροφίμων: η υποκειμενική και η αντικειμενική. Στην υποκειμενική διάσταση περιλαμβάνεται η αντίληψη που έχει σχηματίσει ο καταναλωτής για την αξία του προϊόντος. Η αντικειμενική διάσταση είναι περισσότερο μετρήσιμη καθώς περιλαμβάνει την τεχνολογία που εφαρμόζεται στην παραγωγή, τους ελέγχους που διεξάγονται, τις διαδικασίες που ακολουθούνται και όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που είναι δυνατό να ποσοτικοποιηθούν (Olsen, 2002).

Τα τρόφιμα υπόκεινται σε πλήθος κανονισμών, οι οποίοι στοχεύουν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που εμφανίζονται συχνότερα ώστε τελικά να υπάρχει γενικά αποδεκτή τάξη στα τελικά παραγόμενα προϊόντα. Η δραστηριότητα που επιλύει αυτά τα προβλήματα είναι η τυποποίηση. Στην τυποποίηση ανήκουν τα έγγραφα που ορίζονται ως πρότυπα, τεχνικές προδιαγραφές, κώδικες πρακτικής, κανονισμοί και τεχνικοί κανονισμοί. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 45020 ορίζεται ότι «πρότυπο είναι το έγγραφο που έχει καθιερωθεί με συναίνεση και έχει εγκριθεί από έναν αναγνωρισμένο φορέα, το οποίο παρέχει, για κοινή και επαναλαμβανόμενη χρήση, κανόνες, κατευθυντήριες οδηγίες ή χαρακτηριστικά, για δραστηριότητας ή τα αποτελέσματά τους και αποσκοπεί στην επίτευξη του βέλτιστου βαθμού τάξης σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο εφαρμογής. Ως αναγνωρισμένοι φορείς νοούνται οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης. Κάθε πρότυπο είναι προαιρετικής εφαρμογής, εκτός αν νομοθετικές ή άλλες διατάξεις το καθιστούν υποχρεωτικής εφαρμογής» (<https://elot.gr/>, 2025). Στα πρότυπα για την ασφάλεια των τροφίμων ανήκει το HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), το οποίο είναι διεθνές και υποχρεωτικό, και αποτελεί ένα σύστημα πρόληψης για τον εντοπισμό βιολογικών, χημικών και φυσικών κινδύνων (<https://www.fda.gov/>, 2025). Το ISO 9001 είναι ένα ακόμα πρότυπο που αφορά την ασφάλεια των τροφίμων και διασφαλίζει ότι οι διαδικασίες είναι

ελεγχόμενες. Χωρίς να είναι υποχρεωτικό είναι απαιτητό από την αγορά. Αναφορικά με την ετικέτα του προϊόντος έχει θεσπιστεί ο Κανονισμός 1169/2011 της ΕΕ με στόχο να έχει ο καταναλωτής όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, που θα τον οδηγήσουν σε ορθολογικές αποφάσεις σχετικά με τις αγορές του. Οι υποχρεωτικές ενδείξεις στις ετικέτες περιλαμβάνουν την ονομασία του τροφίμου, κατάλογο με τα συστατικά του, οποιοδήποτε συστατικό μπορεί να προκαλέσει αλλεργίες ή δυσανεξίες, η ποσότητα συστατικών ή κατηγοριών συστατικών, η καθαρή ποσότητα του τροφίμου, η ημερομηνία ελάχιστης διατηρησιμότητας ή η ημερομηνία ανάλωσης κατά προτίμηση, τυχόν ειδικές συνθήκες αποθήκευσης ή / και συνθήκες χρήσης, το όνομα και η διεύθυνση του υπεύθυνου της επιχείρησης τροφίμων ή το όνομα του εισαγωγέα, η χώρα ή ο τόπος προέλευσης, οδηγίες χρήσης σε περίπτωση που χωρίς αυτές η κατανάλωση του τροφίμου είναι δύσκολη, ο πραγματικός βαθμός οινοπνεύματος κατ' όγκο για τα ποτά που περιέχουν περισσότερο οινόπνευμα από 1,2% κατ' όγκο και η δήλωση διατροφικής αξίας. Όλες οι οδηγίες που αφορούν τα τρόφιμα βρίσκονται υπό την ομπρέλα του Codex Alimentarius, όπου ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας θέτει τις βάσεις για τις πολιτικές που αναπτύσσονται σχετικά με τα τρόφιμα.

Μια ακόμα στρατηγική βελτίωσης της ποιότητας στη βιομηχανία τροφίμων είναι η εφαρμογή μέτρων για τη συνολική αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού (Overall Equipment Effectiveness – OEE). Η OEE κερδίζει συνεχώς έδαφος στον κλάδο των τροφίμων καθώς θεωρείται ένα σημαντικό εργαλείο για την βιώσιμη παραγωγικότητα. Τα προβλήματα που καλείται η OEE να επιλύσει αφορούν απώλειες στην παραγωγή από βλάβες ή αστοχίες του εξοπλισμού, που καταλήγουν είτε σε απώλεια χρόνου είτε σε ελαττωματικά προϊόντα, απώλειες στην εκκίνηση της παραγωγής μέχρι τη σωστή ρύθμιση του μηχανήματος ή απώλειες που προκαλούνται από μειωμένη ταχύτητα λειτουργίας του μηχανήματος, που καταλήγει σε μειωμένη παραγωγικότητα (Ngadiman et al, 2016). Υπολογίζεται με βάση τρεις συνιστώσες. Πρώτη συνιστώσα είναι ο ρυθμός διαθεσιμότητας (Availability Rate – A) που ορίζεται ως το σύνολο του χρόνου κατά τον οποίο ένα μηχάνημα είναι διαθέσιμο για παραγωγή. Δεύτερη συνιστώσα είναι ο ρυθμός απόδοσης (Performance Rate – P) είναι η αναλογία του χρόνου που θεωρητικά χρειάζεται ένα προϊόν για να παραχθεί προς τον χρόνο που πραγματικά χρειάζεται. Τελευταία συνιστώσα είναι ο ρυθμός ποιότητας (Quality Rate – Q) που δείχνει το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων προς το

σύνολο των προϊόντων. Ο τύπος που υπολογίζει την OEE είναι $OEE = A * P * Q$. Οι περισσότερες βιομηχανίες ξεκινούν με benchmark ένα ποσοστό της τάξης του 60% - 65%. Στην περίπτωση βιομηχανιών με πολύ αυστηρά κριτήρια ποιότητας, όπως οι αυτοκινητοβιομηχανίες ή οι φαρμακοβιομηχανίες, το ποσοστό στόχος αγγίζει το 80% - 85%. Η επιδίωξη της βιομηχανίας τροφίμων είναι να παρουσιάζει αυξητική τάση στην OEE και να χρησιμοποιεί τα ποσοστά ως εργαλείο για να εντοπίσει τα σημεία εκείνα που προκαλούν απώλειες. Ο τελικός στόχος είναι να επιτευχθεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσω αυξημένης παραγωγικότητας, βελτίωση της ποιότητας και μείωση του κόστους παραγωγής (Tsarouhas, 2007).

Η μείωση της σπατάλης πρώτων υλών είναι μια ακόμα επιδίωξη της βιομηχανίας τροφίμων. Είτε πρόκειται για υπερπλήρωση (overfilling) των συσκευασιών είτε για προϊόντα που καταλήγουν να πετιούνται, λόγω μειωμένου προϊόντος στη συσκευασία ή λόγω ελαττώματος, οι επιχειρήσεις καταγράφουν μεγάλες απώλειες σε πρώτες ύλες και κατ' επέκταση αυξημένο κόστος παραγωγής (Ridgway et al, 1999). Επιπλέον, στην περίπτωση του underfilling εάν το προϊόν βρεθεί στα χέρια των καταναλωτών, τότε η επιχείρηση κινδυνεύει με βαριά πρόστιμα καθώς βρίσκεται σε παράβαση του Κανονισμού 1169/2011. Οι αποκλίσεις στην πλήρωση των συσκευασιών ενδέχεται να οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος, εάν η πλήρωση γίνεται με το χέρι, σε ελαττωματική λειτουργία του μηχανήματος πλήρωσης ή σε ελάττωμα της συσκευασίας (Wohner, 2019). Το πιο σημαντικό εργαλείο των βιομηχανιών τροφίμων για την αποφυγή αυτών των απωλειών είναι ο στατιστικός έλεγχος διαδικασίας (Statistical Process Control – SPC). Συνεχείς δειγματοληψίες σε διάφορα στάδια της διαδικασίας επιτρέπουν να παρακολουθείται η διαδικασία σε πραγματικό χρόνο και να εντοπίζονται άμεσα οι αποκλίσεις πριν ξεπεράσουν τα επιτρεπτά όρια. Η μέθοδος αυτή υπερτερεί της μεθόδου κατά την οποία οι μετρήσεις λαμβάνονται στο τέλος, οπότε και είναι πολύ αργά για διορθωτικές κινήσεις. Η μέθοδος SPC κατορθώνει να μειώνει την διακύμανση και κατά συνέπεια την σπατάλη πρώτων υλών (Lim et al, 2014).

2.3 Εφαρμογή της μεθόδου Six Sigma στη βιομηχανία τροφίμων

Η συνεχής βελτίωση στη βιομηχανία τροφίμων στηρίζεται στην συστηματική μέτρηση, ανάλυση και βελτίωση των διαδικασιών ώστε να εντοπιστούν οι κρίσιμες περιοχές που θα αποδώσουν θετικά αποτελέσματα στην ποιότητα του προϊόντος, την ικανοποίηση του πελάτη και την κερδοφορία της επιχείρησης. Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό περιλαμβάνουν την Six Sigma, την HACCP και την ΔΟΠ (Scott et al, 2008). Η Six Sigma έχει τέσσερις βασικές διαστάσεις που εφαρμόζονται σε κάθε έργο στη βιομηχανία τροφίμων. Πρώτη διάσταση είναι η εφαρμογή του μοντέλου DMAIC (Define – Measure – Analyze – Improve – Control). Δεύτερη είναι ο εντοπισμός των επιπτώσεων των αλλαγών στα οικονομικά της επιχείρησης. Τρίτη διάσταση είναι η ανάλυση της διαδικασίας ώστε να βρεθούν εκείνες οι στρατηγικές που θα σταθεροποιήσουν τις αποδοτικές κινήσεις για τη μείωση της διακύμανσης. Τέλος, η τέταρτη διάσταση αναφέρεται στη δημιουργία εντός της επιχείρησης μιας κουλτούρας συνεχούς βελτίωσης, που στηρίζεται στην συνεχή εκπαίδευση στις αρχές της Six Sigma (Antony et al, 2017).

Η εφαρμογή του Six Sigma στη βιομηχανία τροφίμων επικεντρώνεται στον αυστηρό έλεγχο κρίσιμων παραμέτρων ποιότητας (Critical to Quality – CTQ) με στόχο τη μείωση της μεταβλητότητας (Pyzdek & Keller, 2014). Ειδικά στην περίπτωση του βάρους ανά συσκευασία, η μεταβλητότητα είναι το κυριότερο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει καθώς τα τρόφιμα παρουσιάζουν φυσική μεταβλητότητα επηρεάζοντας έτσι τη διαδικασία πλήρωσης. Η διαδικασία ξεκινά από τον έλεγχο της ακρίβειας των ζυγαριών αλλά και των χειριστών. Για τον λόγο αυτό εκτελούνται οι μελέτες Gage R&R (Repeatability and Reproducibility), οι οποίες διασφαλίζουν ότι οι μετρήσεις διακρίνονται από επαναληψιμότητα και αναπαραγωγικότητα. Η ακρίβεια ζυγαριών και χειριστών ελέγχεται προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι εισροές είναι της ίδιας αξίας με τις εκροές και ότι οι ίδιες μετρήσεις θα ληφθούν κάτω από τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας στον ίδιο χρόνο (<https://asq.org/>, 2025).

Η Six Sigma εκτελείται πάνω στις βάσεις που ορίζονται από διεθνή και εθνικά πρότυπα σχετικά με τα τρόφιμα καθώς μετατρέπει τις ποιοτικές απαιτήσεις σε μετρήσιμα και ελέγξιμα

αποτελέσματα. Το ISO 9001 εστιάζει στην ποιότητα και την ικανοποίηση του πελάτη από το προϊόν και η Six Sigma παρέχει τα απαραίτητα στατιστικά εργαλεία ώστε η επιχείρηση να επιτύχει τους στόχους που τίθενται από το πρότυπο μέσω της μείωσης των αστοχιών και των ελαττωμάτων και της συνολικής τυποποίησης της διαδικασίας. Αντίστοιχα, το πλαίσιο που επιβάλλεται από το ISO 22000 δεν αναφέρεται μόνο στην συμμόρφωση του προϊόντος σχετικά με το καθαρό βάρος (net weight) αλλά περιγράφει και την ορθή αναλογία των συστατικών του προϊόντος. Κατά συνέπεια η Six Sigma οδηγεί σε στατιστικά επιβεβαιώσιμα αποτελέσματα, τα οποία αποδεικνύουν ότι η βιομηχανία ελέγχει τις διαδικασίες παραγωγής τροφίμων και παράγει προϊόντα τα οποία είναι ασφαλή για τους καταναλωτές.

2.4 Η μέθοδος Six Sigma στη βελτίωση του δείκτη απόδοσης

Οι δείκτες απόδοσης είναι βασικά εργαλεία που μπορούν να αξιολογήσουν την επιτυχία μιας διαδικασίας ή συνολικά μιας επιχείρησης. Είναι συνδεδεμένοι με τους στόχους που έχει θέσει η επιχείρηση τόσο σε στρατηγικό όσο και σε λειτουργικό επίπεδο κι έχουν την ικανότητα να προσδιορίσουν τις αλλαγές ώστε να εντοπίζονται άμεσα πιθανά προβλήματα λειτουργίας. Εστιάζουν σε σημαντικές δραστηριότητες και διασφαλίζουν την εξορθολογισμένη κατανομή των πόρων.

Για να είναι ένας δείκτης κατάλληλος για χρήση οφείλει να διαθέτει βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία αναφέρονται ως κανόνας SMART.

- S (Specific): ο δείκτης πρέπει να έχει σαφή διατύπωση ώστε να είναι κατανοητός και να προσφέρει συγκεκριμένες απαντήσεις.
- M (Measurable): ο δείκτης πρέπει να είναι μετρήσιμος είτε πρόκειται για ποιοτικό είτε για ποσοτικό χαρακτηριστικό.

- A (Attainable): ο δείκτης πρέπει να είναι εφικτός στο πλαίσιο λειτουργίας της επιχείρησης και του κλάδου στον οποίο αυτή δραστηριοποιείται.
- R (Realistic/Relevant): ο δείκτης πρέπει να είναι ρεαλιστικός, δηλαδή οφείλει να λαμβάνει υπόψη του τη συγκεκριμένη διαδικασία στην οποία εφαρμόζεται και τις δυνατότητες που έχει η επιχείρηση.
- T (Time based): ο δείκτης πρέπει να είναι τοποθετημένος σε συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο, ώστε να επιτρέπει την ανάπτυξη σχεδίου δράσης και να δίνει τη δυνατότητα τακτικού ελέγχου (Shahin & Mahbod, 2006).

Οι βιομηχανίες τροφίμων χρησιμοποιούν τους δείκτες C_{pk} και C_p για την μέτρηση της ικανότητας διαδικασίας (process capability). Ο δείκτης C_{pk} υπολογίζεται από τον τύπο

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (1)$$

όπου USL (upper specification limit) ανώτερο όριο προδιαγραφών, LSL (lower specification limit) κατώτερο όριο προδιαγραφών, μ ο μέσος της διαδικασίας και σ η τυπική απόκλιση της διαδικασίας (Pearn & Chen, 1997). Εάν $C_{pk} < 1.0$ η διαδικασία δεν είναι ικανή και προκύπτουν ελαττώματα ενώ η διακύμανση είναι μεγαλύτερη από τα όρια που επιτρέπει ο πελάτης. Εάν $1.0 < C_{pk} < 1.33$ η διαδικασία είναι οριακά ικανή καθώς είναι εντός των προδιαγραφών αλλά η οποιαδήποτε αλλαγή στη θερμοκρασία ή τη σύσταση του υλικού θα προκαλέσει ελαττώματα. Εάν $C_{pk} > 1.33$ η διαδικασία θεωρείται ικανή και αυτή η τιμή αποτελεί τον στόχο για τις περισσότερες βιομηχανίες καθώς προσφέρει ένα περιθώριο ασφαλείας για μικρές αλλαγές στη διαδικασία. Εάν $C_{pk} > 2$ η διαδικασία είναι ικανή σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μεθόδου Six Sigma.

Ο δείκτης C_p υπολογίζεται από τον τύπο

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2)$$

όπου USL , LSL και σ όπως πριν (Pearn & Chen, 1997). Εάν $C_p > 1$ η διαδικασία παράγει εντός των καθορισμένων ορίων ενώ αν $C_p < 1$ τα παραγόμενα προϊόντα είναι εκτός των ορίων των προδιαγραφών.

Ο δείκτης C_p μετράει το εύρος της διαδικασίας και δείχνει εάν η παραγωγή βρίσκεται εντός των επιτρεπόμενων ορίων αλλά χωρίς να λαμβάνει υπόψη του εάν η παραγωγή βρίσκεται συμμετρικά του μέσου. Συνεπώς, δεν έχει τη δυνατότητα να δώσει πληροφορίες σχετικές με το προς τα πού πρέπει να γίνει ρύθμιση για να μην εμφανιστούν ελαττώματα. Αντίθετα, ο δείκτης C_{pk} δίνει πληροφορίες για την πραγματική απόδοση της διαδικασίας σε σχέση με το κέντρο των ορίων ανοχής. Άρα για $C_p = C_{pk}$ η διαδικασία είναι τοποθετημένη στο κέντρο των ορίων και δουλεύει κανονικά ενώ για $C_p > C_{pk}$ η διαδικασία είναι χαμηλότερης ικανότητας από την απαιτούμενη.

Η Six Sigma είναι η μέθοδος που χρησιμοποιούν οι επιχειρήσεις για να βελτιώσουν την τιμή των δεικτών C_p και C_{pk} (<https://www.sixsigma-institute.org/>, 2025). Η μέθοδος έχει στόχο την μείωση της μεταβλητότητας, άρα την μείωση της τυπικής απόκλισης σ . Όσο μικραίνει το σ , άρα μικραίνει ο παρονομαστής στους τύπους των δεικτών, τόσο μεγαλώνουν οι δείκτες. Οι δείκτες συνδέονται άμεσα με τα ελαττώματα στην παραγωγή. Στόχος της Six Sigma είναι να φτάσει ο δείκτης C_{pk} την τιμή 2, που αντιστοιχεί σε 3,4 dpmo. Εάν ο δείκτης είναι στο 1.33, τιμή που είναι αποδεκτή για τις βιομηχανίες, τότε αντιστοιχεί σε 6.210 dpmo (Şenvar & Tozan, 2025). Συνεπώς, ανάλογα με την τιμή του δείκτη η επιχείρηση λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα διόρθωσης της διαδικασίας.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Προσδιορισμός και μεθοδολογία μέτρησης των δεικτών απόδοσης

3.1.1 Ορισμός του CTQ δείκτη

Για την παρούσα μελέτη ο δείκτης ποιότητας (Critical to Quality – CTQ) που θα ελεγχθεί για την συγκεκριμένη γραμμή παραγωγής είναι το καθαρό βάρος πλήρωσης της φιάλης πουρέ φρούτων. Το βάρος – στόχος της παραγωγής είναι 1,331kg καθαρού προϊόντος πουρέ φρούτων σε κάθε φιάλη. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τα προς πώληση προϊόντα σε συσκευασία έτοιμη και κλειστή εκ των προτέρων υπάρχουν σχετικές οδηγίες τόσο για τις πληροφορίες που αναγράφονται σε κάθε συσκευασία όσο και για το προϊόν που περιέχεται. Σύμφωνα με την Οδηγία 76/211/ΕΟΚ δεν ορίζεται ανώτερο επιτρεπτό όριο αλλά το μέγιστο αρνητικό σφάλμα πλήρωσης είναι ίσο το πολύ με 1,5%. Επιπλέον, κάθε παρτίδα πρέπει να έχει μέσο βάρος περιεχομένου τουλάχιστον ίσο με το ονομαστικό ενώ οι ελαττωματικές συσκευασίες, δηλαδή με βάρος μικρότερο από το ανεκτό όριο, δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 2,5% της παρτίδας.

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου προϊόντος, φιάλη πουρέ φρούτων, το ονομαστικό βάρος της φιάλης είναι 1,331kg. Με ανεκτό όριο αρνητικού σφάλματος μέχρι 1,5% το LSL (Lower Specification Limit) ορίζεται στο 1,315kg ενώ το USL (Upper Specification Limit) ορίζεται στο 1,347kg. Οι αρνητικές αποκλίσεις από το διάστημα (1,315kg, 1,347kg) ενδέχεται να επιφέρουν στην επιχείρηση νομικούς κινδύνους καθώς το προϊόν θα θεωρηθεί λιποβαρές. Αντίστοιχα, οι αποκλίσεις σε βάρος μεγαλύτερο από το ανώτερο επιτρεπτό όριο προκαλούν στην επιχείρηση οικονομικές απώλειες.

3.1.2 Δείκτες ικανότητας της διαδικασίας

Για τη μέτρηση ικανότητας της διαδικασίας θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι δείκτες.

Δείκτες C_p , C_{pk}

Ο δείκτης C_p απαντάει στο ερώτημα εάν η διαδικασία πλήρωσης φιαλών πουρέ φρούτων είναι ικανή να παράγει προϊόντα εντός των προδιαγραφών που έχουν τεθεί υπό την προϋπόθεση να είναι απόλυτα κεντραρισμένη. Συγκρίνει το εύρος της διαδικασίας, δηλαδή το πόσο διασκορπισμένα είναι τα βάρη των φιαλών, με το εύρος των προδιαγραφών του προϊόντος που είναι ίσο με 0,032kg.

Ο δείκτης C_{pk} ελέγχει εάν η παρούσα ρύθμιση της διαδικασίας αποδίδει προϊόντα εντός των επιθυμητών ορίων. Λαμβάνει υπόψη τόσο τη μέση τιμή όσο και τη διασπορά και δείχνει εάν η γραμμή παραγωγής γεμίζει συστηματικά τις φιάλες με λιγότερο ή περισσότερο προϊόν.

Δείκτες P_p , P_{pk}

Σε αντίθεση με τους δείκτες C_p , C_{pk} που μετρούν τη δυνητική ικανότητα της γραμμής παραγωγής, οι δείκτες P_p και P_{pk} μετρούν την πραγματική απόδοση ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας. Ο δείκτης P_p λαμβάνει υπόψη διαχρονικά όλες τις πηγές μεταβλητότητας και συμπεραίνει εάν το εύρος της πραγματικής διαδικασίας είναι εντός των προδιαγραφών. Αντίστοιχα, ο δείκτης P_{pk} μετρά εάν η διαδικασία παράγει σταθερά εντός των ορίων παρά τις φυσικές διακυμάνσεις, που μπορεί να οφείλονται από μεταβολές σε πρώτες ύλες μέχρι τις αλλαγές βάρδιας.

3.1.3 Μεθοδολογία συλλογής δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στη γραμμή παραγωγής από τις 13/10/2025 έως και τις 17/10/2025 τόσο στην πρωινή βάρδια, 6.00 π.μ. – 14.00 μ.μ., όσο και στην απογευματινή, 14.00 μ.μ. – 22.00 μ.μ..

Συλλέχθηκαν συνολικά 200 συνεχόμενες μετρήσεις βάρους, οι οποίες ελήφθησαν στο τέλος της γραμμής πλήρωσης. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας.

Ο έλεγχος εγκυρότητας της μελέτης περιλαμβάνει την εκτέλεση μελέτης Gage R&R πριν την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Η Gage R&R ελέγχει εάν τα αποτελέσματα της ζύγισης είναι αξιόπιστα. Προκειμένου να διασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια των μετρήσεων ενοικιάστηκε πρότυπος ζυγός ακριβείας. Η επιλογή αυτή έγινε για να απομονωθεί ο παράγοντας του σφάλματος που προκύπτει από τους ζυγούς της γραμμής παραγωγής και να γίνει εστίαση στις υπόλοιπες συνθήκες και την καθαρή μεταβλητότητα της διαδικασίας.

3.1.4 Στατιστικά εργαλεία επεξεργασίας δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Minitab.

Τα στατιστικά εργαλεία περιλαμβάνουν:

- Gage R&R (Nested): ελέγχει εάν το σύστημα μέτρησης είναι αξιόπιστο
- Normality Test: το τεστ κανονικότητας ελέγχει εάν τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Gaussian distribution).
- Capability Sixpack: είναι το εργαλείο του Minitab που δείχνει εάν η διαδικασία πλήρωσης των φιαλών πουρέ είναι σταθερή, κανονική και ικανή να παράγει εντός των ορίων που έχουν τεθεί από τη σχετική νομοθεσία.
- Ishikawa diagram: πρόκειται για τη διαγραμματική απεικόνιση, με τη μορφή ψαροκόκαλου, όλων των πιθανών ριζικών αιτιών ενός προβλήματος ποιότητας, όπως είναι η απόκλιση του βάρους των φιαλών πουρέ από το βάρος – στόχο των 1,331kg.

3.2 Το πλαίσιο της μεθόδου Six Sigma (DMAIC)

Το Six Sigma είναι ένα εργαλείο που ξεκίνησε από την Motorola και εξελίχθηκε σε μία ευρέως διαδεδομένη και αποδεκτή επιχειρησιακή στρατηγική. Ο στόχος του είναι να μειωθεί η μεταβλητότητα του παραγόμενου προϊόντος και κατ' επέκταση να βελτιωθεί η ποιότητα και να ενισχυθεί η αξιοπιστία της επιχείρησης. Από τις σχετικές μελέτες της βιβλιογραφίας γίνεται σαφές ότι η εφαρμογή του αποφέρει σημαντικά οφέλη, όπως η μείωση των ελαττωμάτων, η αύξηση του μεριδίου αγοράς της επιχείρησης καθώς και η βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς της (Kumar et al, 2008).

Φάση	Δραστηριότητες / εργαλεία
Καθορισμός (Define)	Περιγραφή της επιχείρησης και του προβλήματος, Project Charter, SIPOC diagram, CTQ diagram
Μέτρηση (Measure)	Συλλογή δεδομένων $n = 200$, ανάλυση συστήματος μέτρησης Gage R&R, περιγραφική στατιστική, έλεγχος κανονικότητας, Johnson transformation, διαγράμματα ελέγχου πριν τη βελτίωση, ανάλυση ικανότητας διαδικασίας πριν τη βελτίωση
Ανάλυση (Analyze)	Διάγραμμα Cause & Effect (Ishikawa), Τεχνική 5 Γιατί, συνοπτικός πίνακας επικύρωσης αιτιών και αποτελεσμάτων
Βελτίωση (Improve)	Επικύρωση ριζικών αιτιών και προτεινόμενες λύσεις, σχεδιασμός πειραμάτων, ανάλυση ικανότητας διαδικασίας μετά τη βελτίωση,

	σύγκριση dotplots και boxplots πριν και μετά τη βελτίωση
Έλεγχος (Control)	Διαγράμματα ελέγχου μετά τη βελτίωση, σχέδιο ελέγχου

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση των φάσεων DMAIC

3.3 Στρατηγικές εφαρμογής στην ελληνική βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma στην ελληνική βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων απαιτεί ειδική προσέγγιση καθώς ο κλάδος χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα και φυσική μεταβλητότητα των πρώτων υλών. Η στρατηγική χρήση της μεθοδολογίας βοηθά την επιχείρηση να ελέγξει παράγοντες, όπως η μεταβολή του Brix, που εξαρτώνται άμεσα από την ποιότητα της πρώτης ύλης. Με το DMAIC προσδιορίζονται εκείνες οι παράμετροι που είναι κρίσιμες για την ποιότητα με τελικό στόχο την προσαρμογή της γραμμής παραγωγής ώστε να γίνει βελτιστοποιημένη της.

Ακόμα, είναι σημαντικό για τις βιομηχανίες παραγωγής πουρέ φρούτων στην Ελλάδα να συμμορφώνονται με το κανονιστικό πλαίσιο, όπως αυτό ορίζεται από την εθνική νομοθεσία αλλά και από τις οδηγίες, όπως η 76/211/EOK, της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με τη χρήση της μεθοδολογίας η βιομηχανία προσπαθεί να προσεγγίσει το απαιτητό ονομαστικό βάρος του προϊόντος χωρίς όμως να παρουσιάζει αποκλίσεις προς το κάτω όριο, για να μη βρεθεί έκθετη σε κυρώσεις, αλλά ούτε και προς το άνω για να μην έχει οικονομικές απώλειες.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της βιομηχανίας πουρέ φρούτων στην Ελλάδα είναι η κυριαρχία μικρομεσαίων επιχειρήσεων στον κλάδο. Για τις επιχειρήσεις αυτού του μεγέθους η μείωση του λειτουργικού κόστους είναι ύψιστης σημασίας όχι απλά για την κερδοφορία αλλά και για τη βιωσιμότητά τους. Ο περιορισμός της σπατάλης της πρώτης ύλης, που είναι ο πουρές, έχει μεγάλο αντίκτυπο στον προϋπολογισμό της επιχείρησης και η χρήση της μεθοδολογίας είναι προτεραιότητα στρατηγικής σημασίας.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

4.1 Φάση καθορισμού (Define)

4.1.1 Περιγραφή της επιχείρησης

Η ελληνική επιχείρηση που θα μελετηθεί είναι μία από τις μακροβιότερες παραγωγικές επιχειρήσεις στον κλάδο των πρώτων υλών για ποτά και αναψυκτικά. Ιδρύθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 στην Πελοπόννησο, όπου διατηρεί την έδρα και τις εγκαταστάσεις παραγωγής της. Πρόκειται για μία μικρομεσαία επιχείρηση που συνδυάζει την οικογενειακή παράδοση με την τεχνογνωσία. Το όραμα της επιχείρησης είναι να συνεχίσει να οικοδομεί ισχυρές και μακροχρόνιες σχέσεις με τους πελάτες της και να διατηρήσει την εικόνα που έχει αναπτύξει στις δεκαετίες λειτουργίας της με τους προμηθευτές, τους πελάτες και τους εργαζομένους της ως μια επιχείρηση αριστείας. Στόχος της είναι να υπερβαίνει τις προσδοκίες των πελατών της μέσω της συνεχούς αυτοβελτίωσης και της καινοτομίας ώστε να διατηρήσει την πίστη τους στα υψηλής ποιότητας προϊόντα και υπηρεσίες της.

Η επιχείρηση δραστηριοποιείται στην παραγωγή γαλακτωμάτων, βάσεων και συμπυκνωμάτων που προορίζονται για τη βιομηχανία ποτών ενώ παράλληλα δραστηριοποιείται και στη διανομή πρώτων υλών. Έχει συνάψει συμφωνίες διανομής με ευρωπαϊκές επιχειρήσεις αλλά και επιχειρήσεις στη Μέση Ανατολή ενώ ταυτόχρονα έχει αναπτύξει στρατηγικές συνεργασίες με αναγνωρισμένες επιχειρήσεις του κλάδου στην Ελλάδα.

4.1.2 Καθορισμός του προβλήματος που εξετάζεται

Από την προκαταρκτική ανάλυση της γραμμής παραγωγής πλήρωσης φιαλών πουρέ φρούτων της επιχείρησης διαπιστώθηκε ότι εμφανίζεται έντονη μεταβλητότητα στο βάρος του πουρέ φρούτων που περιέχεται στις φιάλες. Η μεταβλητότητα αυτή είχε ως συνέπεια τόσο υποπλήρωση των φιαλών, αφήνοντας έκθετη την επιχείρηση σε σχέση με τη νομοθεσία αλλά και τους καταναλωτές, όσο και υπερπλήρωση των φιαλών, που οδηγεί σε give away μεγάλου όγκου προϊόντος, αύξηση του κόστους παραγωγής και μείωση του κέρδους της επιχείρησης.

Η παρούσα μελέτη διερευνά τα αίτια της μεταβλητότητας που παρατηρήθηκε και επιχειρεί την βελτίωση της διαδικασίας πλήρωσης των φιαλών με την εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma και του πλαισίου DMAIC. Η έρευνα επικεντρώνεται αποκλειστικά στην γραμμή παραγωγής φιαλών πουρέ φρούτων και στους παράγοντες που επηρεάζουν το βάρος πλήρωσης.

4.1.3 Πίνακας project charter

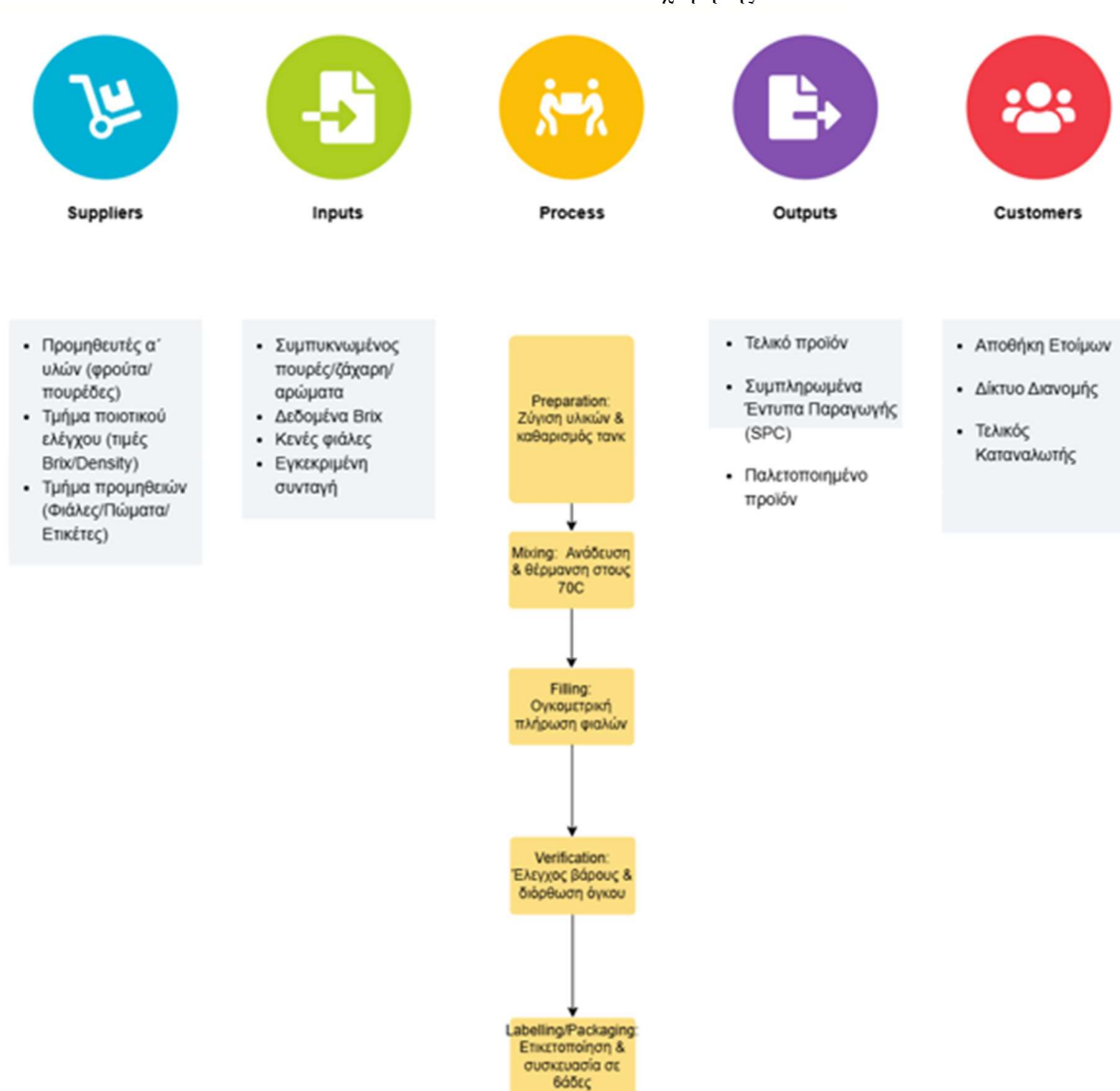
Βελτίωση της ικανότητας της διαδικασίας πλήρωσης φιαλών πουρέ φρούτων	
Background and reasons for selecting the project	Η μελέτη αφορά την πλήρωση φιαλών πουρέ φρούτων. Κάθε φιάλη έχει ονομαστικό βάρος ίσο με 1,331kg αλλά κατά την παραγωγική διαδικασία παρατηρούνται έντονες αποκλίσεις, κυρίως υπερβαίνοντας κατά πολύ το άνω όριο. Η υπερπλήρωση των φιαλών οδηγεί σε give away πρώτης ύλης και αύξηση του κόστους παραγωγής.
Aim of the project	Βελτίωση της ικανότητας διαδικασίας πλήρωσης με αύξηση του δείκτη P_{pk} και μείωση του δείκτη PPM Total.
Project champion	Γενικός διευθυντής
Project leader	Υπεύθυνος ποιοτικού ελέγχου
Team members	Υπεύθυνος παραγωγής, τεχνικός υπεύθυνος, χειριστής πρωινής βάρδιας, χειριστής απογευματινής βάρδιας, ερευνητής
Characteristics of product/process output and its measure	CTQ: καθαρό βάρος πλήρωσης φιάλης πουρέ φρούτων (kg)

	Specification: LSL = 1,315kg, USL=1,347kg, Target = 1,331kg
Defect definition	Underfilling: Βάρος < 1,315kg, Overfilling: Βάρος > 1,347kg
Expected benefits	Μείωση σπατάλης πρώτης ύλης, μείωση κόστους παραγωγής, συμμόρφωση με ευρωπαϊκές και εθνικές οδηγίες, αύξηση ικανοποίηση πελατών, βελτίωση της φήμης της επιχείρησης
Schedule	Define: 2 εβδομάδες Measure: 3 εβδομάδες Analyze: 4 εβδομάδες Improve: 3 εβδομάδες Control: 4 εβδομάδες

Πίνακας 2: Project charter

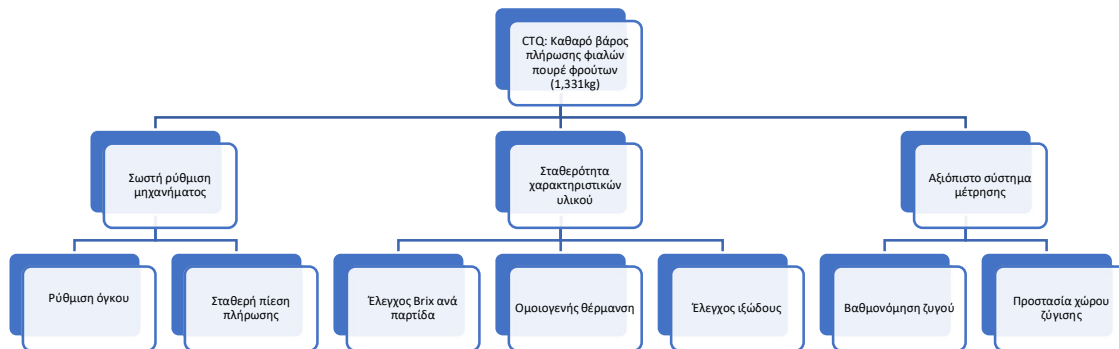
4.1.4 Διάγραμμα SIPOC

Για την ανάλυση σε βάθος της λειτουργίας της μονάδας αλλά και τον προσδιορισμό των ορίων της παρούσας μελέτης, δημιουργήθηκε το διάγραμμα SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers). Το εργαλείο αυτό επιτρέπει την οπτική απεικόνιση της ροής της διαδικασίας από την παράδοση των πρώτων υλών έως και την παράδοση του τελικού συσκευασμένου προϊόντος στον πελάτη. Το διάγραμμα SIPOC επιτρέπει τον εντοπισμό των κρίσιμων μεταβλητών που επηρεάζουν το τελικό βάρος πλήρωσης των φιαλών πουρέ.



Εικόνα 1: Διάγραμμα SIPOC της παραγωγικής διαδικασίας της επιχείρησης

4.1.5 Διάγραμμα CTQs



Εικόνα 2: CTQs βάρους πλήρωσης φιαλών πουρέ

4.2 Φάση Μέτρησης (Measure)

4.2.1 Συλλογή και οργάνωση των αριθμητικών δεδομένων

Στη φάση της Μέτρησης συλλέγονται τα δεδομένα που προκύπτουν από τη ζύγιση των φιαλών πουρέ φρούτων. Η ζύγιση των φιαλών αυτών είναι ο ελεγκτής της ακρίβειας της διαδικασίας καθώς το γεμιστικό μηχάνημα δουλεύει ογκομετρικά και όχι με βάρος. Αυτό σημαίνει ότι στο μηχάνημα ορίζεται μια τιμή όγκου αλλά είναι απαραίτητο να επιβεβαιωθεί ότι ο όγκος αυτός αντιστοιχεί στο επιθυμητό βάρος του προϊόντος μέσα στη φιάλη. Το αναμενόμενο βάρος κάθε φιάλης εξαρτάται άμεσα από τις τιμές του Brix, το οποίο εκφράζει τη συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών και σακχάρων μέσα στο υγρό. Ουσιαστικά το Brix δείχνει πόσο πυκνό είναι το προϊόν αφού όσο υψηλότερη τιμή έχει τόσο μεγαλύτερο βάρος αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ποσότητα υγρού.

Με βάση τη μέτρηση και τη βοήθεια ειδικών πινάκων που μεταφράζουν το Brix σε πυκνότητα ο χειριστής γνωρίζει πόσο βάρος πρέπει να δείξει η ζυγαριά. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής λαμβάνονται δείγματα από τις γεμισμένες φιάλες και ζυγίζονται για να επαληθευτεί το αποτέλεσμα. Αν παρατηρηθεί οποιαδήποτε απόκλιση τότε από την οθόνη αφής του γεμιστικού μηχανήματος γίνονται μικρές διορθώσεις στον όγκο πλήρωσης.

Τα δεδομένα από την παραγωγική διαδικασία για το βάρος των φιαλών πουρέ φρούτων συλλέχθηκαν σε διάστημα πέντε ημερών τόσο από την πρωινή όσο και από την απογευματινή βάρδια της μονάδας παραγωγής. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 200 μετρήσεις βάρους και τα δεδομένα οργανώθηκαν σε φύλλο excel, όπως φαίνονται ακολούθως.

Αριθμός Δειγμάτων	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέτρηση 4	Μέτρηση 5	ΒΑΡΔΙΕΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
1	1,347	1,349	1,349	1,352	1,348	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Α	13/10/2025
2	1,349	1,352	1,337	1,358	1,353	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Β	
3	1,338	1,34	1,33	1,329	1,337	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Γ	
4	1,34	1,329	1,341	1,345	1,343	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Δ	
5	1,337	1,357	1,353	1,349	1,349	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Α	
6	1,349	1,347	1,334	1,271	1,339	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Β	
7	1,332	1,332	1,335	1,334	1,325	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Γ	
8	1,348	1,354	1,331	1,334	1,344	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Δ	
9	1,349	1,367	1,364	1,368	1,334	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Α	14/10/2025
10	1,349	1,328	1,339	1,349	1,349	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Β	
11	1,351	1,349	1,314	1,352	1,334	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Γ	
12	1,334	1,342	1,341	1,349	1,329	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Δ	
13	1,262	1,396	1,328	1,339	1,405	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Α	
14	1,348	1,349	1,352	1,354	1,348	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Β	
15	1,325	1,336	1,339	1,326	1,337	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Γ	
16	1,345	1,352	1,347	1,321	1,332	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Δ	
17	1,338	1,35	1,324	1,372	1,354	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Α	15/10/2025
18	1,349	1,355	1,349	1,353	1,352	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Β	
19	1,356	1,35	1,348	1,352	1,334	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Γ	
20	1,324	1,332	1,335	1,329	1,356	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Δ	
21	1,342	1,349	1,348	1,349	1,349	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Α	
22	1,356	1,349	1,346	1,348	1,335	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Β	
23	1,342	1,346	1,335	1,342	1,333	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Γ	
24	1,32	1,335	1,342	1,328	1,352	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Δ	
25	1,351	1,352	1,347	1,344	1,352	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Α	16/10/2025
26	1,352	1,335	1,349	1,346	1,349	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Β	
27	1,343	1,346	1,341	1,335	1,342	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Γ	
28	1,342	1,342	1,446	1,352	1,334	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Δ	
29	1,345	1,348	1,348	1,349	1,355	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Α	
30	1,352	1,355	1,349	1,348	1,357	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Β	
31	1,314	1,335	1,345	1,334	1,336	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Γ	
32	1,325	1,327	1,338	1,334	1,332	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Δ	
33	1,334	1,331	1,348	1,349	1,348	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Α	17/10/2025
34	1,355	1,352	1,348	1,354	1,339	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Β	
35	1,348	1,356	1,324	1,338	1,339	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Γ	
36	1,348	1,334	1,339	1,336	1,324	ΒΑΡΔΙΑ 06:0-14:00 Δ	
37	1,354	1,348	1,335	1,349	1,341	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Α	
38	1,396	1,367	1,364	1,365	1,353	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Β	
39	1,334	1,336	1,325	1,354	1,342	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Γ	
40	1,338	1,335	1,339	1,346	1,345	ΒΑΡΔΙΑ 14:00-22:00 Δ	

Εικόνα 3: Μετρήσεις βάρους φιαλών πουρέ φρούτων

Προκειμένου να γίνει η επεξεργασία των δεδομένων από το στατιστικό λογισμικό Minitab έπρεπε να αλλάξει η μορφή τους. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν σε worksheet του Minitab τρεις στήλες. Στην πρώτη στήλη καταχωρήθηκε ο αριθμός του δείγματος (1 μέχρι και 40), στην δεύτερη στήλη καταχωρήθηκε ο χειριστής (Πρωινή_βάρδια, Απογευματινή_βάρδια) ενώ στην τρίτη και τέταρτη στήλη είναι τα βάρη των φιαλών. Μέρος του φύλλου εργασίας παρουσιάζεται στην εικόνα 3.

↓	C1	C2-T	C3	C4
	Δείγμα	Χειριστής	Βάρος	Βάρη
1	1	Πρωινή_βάρδια	1347	1,347
2	1	Πρωινή_βάρδια	1349	1,349
3	1	Πρωινή_βάρδια	1349	1,349
4	1	Πρωινή_βάρδια	1352	1,352
5	1	Πρωινή_βάρδια	1348	1,348
6	2	Πρωινή_βάρδια	1349	1,349
7	2	Πρωινή_βάρδια	1352	1,352
8	2	Πρωινή_βάρδια	1337	1,337
9	2	Πρωινή_βάρδια	1358	1,358
10	2	Πρωινή_βάρδια	1353	1,353
11	3	Πρωινή_βάρδια	1338	1,338
12	3	Πρωινή_βάρδια	1340	1,340
13	3	Πρωινή_βάρδια	1330	1,330
14	3	Πρωινή_βάρδια	1329	1,329
15	3	Πρωινή_βάρδια	1337	1,337
16	4	Πρωινή_βάρδια	1340	1,340
17	4	Πρωινή_βάρδια	1329	1,329
18	4	Πρωινή_βάρδια	1341	1,341
19	4	Πρωινή_βάρδια	1345	1,345
20	4	Πρωινή_βάρδια	1343	1,343
21	5	Απογευματινή_βάρδια	1337	1,337

Εικόνα 4: Δεδομένα στο φύλλο εργασίας Minitab

Η αλλαγή αυτή επιτρέπει την επεξεργασία των δεδομένων από το Minitab, που απαιτεί τα δεδομένα να βρίσκονται σε στήλες προκειμένου να εκτελέσει την μελέτη Gage R&R και να προσδιορίσει την αναπαραγωγιμότητα (Reproducibility) της διαδικασίας.

4.2.2 Ανάλυση συστήματος μέτρησης (Gage R&R)

Πριν προχωρήσει η μελέτη στην ανάλυση ικανότητας της διαδικασίας απαιτείται να πραγματοποιηθεί έλεγχος για την αξιοπιστία των μετρήσεων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ενοικιαζόμενου ζυγού ακριβείας, το οποίο κρίθηκε από τον ερευνητή απαραίτητο

προκειμένου να εξακριβωθεί εάν όντως υπάρχουν αποκλίσεις από το βάρος – στόχο χωρίς να επηρεάζεται η μελέτη από τα όργανα ζύγισης της επιχείρησης.

Η μελέτη Gage R&R χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογηθεί εάν η μεταβλητότητα του δείγματος οφείλεται σε σφάλμα μέτρησης ή όχι. Επιλέχθηκε η μέθοδος Gage R&R (nested) διότι στην παραγωγή φιαλών πουρέ φρούτων κάθε φιάλη αποτελεί ξεχωριστό στοιχείο που παράγεται σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Συνεπώς, δεν είναι δυνατή η ακριβής αναπαραγωγή των συνθηκών για το ίδιο δείγμα από διαφορετικό χειριστή, το οποίο θα απαιτούσε Gage R&R (Crossed). Επιπλέον, στο μοντέλο Nested κάθε δείγμα αντιστοιχεί σε έναν μοναδικό χειριστή κι αυτό αναπαριστά με ακρίβεια τις συνθήκες παραγωγής των φιαλών στο εργοστάσιο.

Για να αναλυθεί η μεταβλητότητα του συστήματος μέτρησης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Ανάλυσης Διακύμανσης (ANOVA).

Source	DF	SS	MS	F	P
Χειριστής	1	0,0004033	0,0004033	1,11053	0,299
Δείγμα (Χειριστής)	38	0,0137994	0,0003631	1,52402	0,039
Repeatability	160	0,0381248	0,0002383		
Total	199	0,0523275			

Πίνακας 3: Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA) για τη μελέτη Gage R&R (Nested) του βάρους πλήρωσης πριν τη βελτίωση

Η τιμή P για τον παράγοντα «Χειριστής» είναι ίση με $P = 0,299$ και είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Άρα δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις βάρδιες και οι χειριστές εκτελούν τη διαδικασία με τον ίδιο τρόπο. Από αυτό συνεπάγεται ότι η μεταβλητότητα του δείγματος δεν οφείλεται σε αυτούς.

Η τιμή P για τον παράγοντα «Δείγμα (Χειριστής)» είναι ίση με 0,039 και είναι μικρότερη από το επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Άρα οι διαφορές που παρατηρούνται στο βάρος των δειγμάτων είναι στατιστικά σημαντικές.

Από τον πίνακα επίσης προκύπτει ότι μεγάλο μέρος της διακύμανσης (Sum of Squares – SS) συγκεντρώνεται στο σφάλμα επαναληψιμότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το σφάλμα δεν εντοπίζεται στον ανθρώπινο παράγοντα αλλά ότι το συνολικό σύστημα δεν μπορεί να δώσει τις ίδιες μετρήσεις.

Ο πίνακας συνιστωσών διακύμανσης (Variance Components) της μελέτης Gage R&R (Nested) καταδεικνύει τις πηγές της μεταβλητότητας του βάρους των δειγμάτων.

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0002387	90,53
Repeatability	0,0002383	90,38
Reproducibility	0,0000004	0,15
Part-To-Part	0,0000250	9,47
Total Variation	0,0002637	100,00

Πίνακας 4: Ποσοστιαία συμβολή συνιστωσών διακύμανσης στο συνολικό σφάλμα

Παρά τη χρήση ενοικιαζόμενου ζυγού ακριβείας το ποσοστό Total Gage R&R είναι ίσο με 90,53%. Το ποσοστό αυτό είναι εξαιρετικά υψηλό καθώς το αποδεκτό όριο αποδοχής της μελέτης είναι μικρότερο από 10%. Αυτό υποδηλώνει ότι η διακύμανση του δείγματος οφείλεται κατά κύριο λόγο στο σύστημα μέτρησης.

Από τον πίνακα επιβεβαιώνεται ότι το πρόβλημα του δείγματος επικεντρώνεται στην επαναληψιμότητα καθώς το ποσοστό Repeatability αγγίζει το 90,38%. Σε συνδυασμό με το προηγούμενο ποσοστό είναι ασφαλές να συμπεράνει κανείς ότι η φύση του προϊόντος, που είναι ζεστός πουρές φρούτων, επηρεάζει την ακρίβεια στη μέτρηση του βάρους των φιαλών.

Και σε αυτή την περίπτωση επιβεβαιώνεται ότι οι χειριστές, δηλαδή η πρωινή και η απογευματινή βάρδια, δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης καθώς το ποσοστό Reproducibility είναι μόλις 0,15%. Συνεπώς και οι δύο βάρδιες πραγματοποιούν τις μετρήσεις βάρους με τον ίδιο τρόπο.

Τέλος, το ποσοστό Part – to – Part δείχνει τη διαφορά μεταξύ των φιαλών. Παρά το γεγονός ότι είναι πολύ χαμηλό, μόλις 9,47%, από τη συνολική ανάλυση προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι περισσότερο πιθανό να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το σφάλμα του συστήματος μέτρησης παρά να είναι αντιπροσωπευτικό της πραγματικής εικόνας των φιαλών.

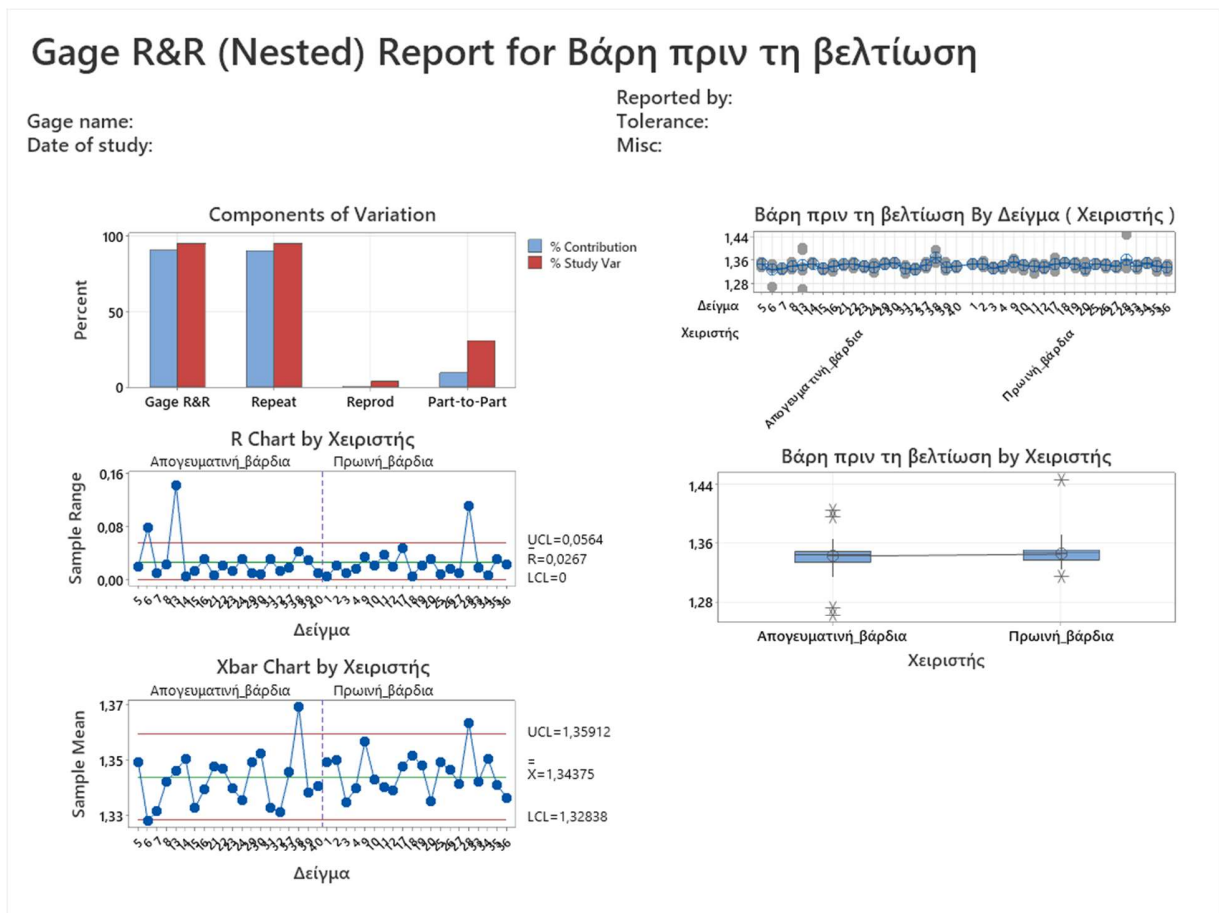
Ο ακόλουθος πίνακας Gage evaluation αποτελεί το τελικό κριτήριο της μελέτης για την καταλληλότητα του συστήματος μέτρησης του βάρους των φιαλών.

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0154493	0,0926959	95,15
Repeatability	0,0154363	0,0926179	95,07
Reproducibility	0,0006335	0,0038012	3,90
Part-To-Part	0,0049973	0,0299835	30,78
Total Variation	0,0162374	0,0974245	100,00

Πίνακας 5: Αξιολόγηση του συστήματος μέτρησης (Gage evaluation) πριν τη βελτίωση

Η πάρα πολύ υψηλή τιμή % Study Variation, που είναι ίση με 95,15%, καθιστά το σύστημα μέτρησης μη αποδεκτό καθώς τα πρότυπα του Six Sigma ορίζουν ότι ένα σύστημα μέτρησης είναι αποδεκτό ότι το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο του 10% και οριακό όταν είναι μέχρι 30%. Αντίστοιχα, πολύ υψηλό είναι το σφάλμα επαναληψιμότητας, που είναι ίσο με 95,07%, το οποίο επιβεβαιώνει ότι δεν είναι δυνατό να ληφθεί σταθερή ένδειξη για το ίδιο δείγμα φιάλης πουρέ από τον ίδιο ζυγό. Ωστόσο, το σφάλμα δεν οφείλεται σε κακή χρήση των ζυγών, αφού το ποσοστό Reproducibility είναι μόλις 3,9%, ή σε ελαττωματικό εξοπλισμό, αφού χρησιμοποιήθηκε πρότυπος ζυγός ο οποίος ενοικιάστηκε ακριβώς για αυτή τη μελέτη.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ολόκληρη η μελέτη Gage R&R (Nested) επιβεβαιώνοντας και γραφικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τους πίνακες που σχολιάστηκαν ανωτέρω.



Εικόνα 5: Γραφική αναφορά της μελέτης Gage R&R (Nested) για το βάρος των φιαλών πουρέ πριν τη βελτίωση

Η γραφική σύνοψη των ευρημάτων της μελέτης Gage R&R (Nested) καθιστά σαφές ότι το σύστημα μέτρησης του βάρους των φιαλών πουρέ φρούτων παρουσιάζει πολύ υψηλή μεταβλητότητα, η οποία αγγίζει το ποσοστό 95,15%. Η μεταβλητότητα αυτή όμως δεν οφείλεται στον εξοπλισμό ή τους χειριστές αφού επιβεβαιώνεται και γραφικά ότι η διακύμανση ανάμεσα στην πρωινή και την απογευματινή βάρδια είναι σχεδόν μηδενική. Αυτό σημαίνει ότι η τυποποίηση των εργασιών στη γραμμή παραγωγής είναι υψηλού επιπέδου και δεν αποδίδει στατιστικά σημαντικά σφάλματα. Αντίθετα, το υψηλό σφάλμα επαναληψιμότητας μπορεί να

αποδοθεί στη φύση του υλικού και τους παράγοντες που την επηρεάζουν, όπως είναι η υψηλή θερμοκρασία στην οποία θερμαίνεται, η διαφορετική πυκνότητα και άλλα εγγενή χαρακτηριστικά.

Παρά το γεγονός ότι το σύστημα μέτρησης κρίνεται από τα πρότυπα του Six Sigma μη αποδεκτό, η έρευνα προχωρά στην στατιστική ανάλυση με αμείωτο ενδιαφέρον. Καταρχάς, για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε πρότυπος εξοπλισμός, ώστε να διασφαλιστεί ότι θα συλλεχθούν δεδομένα όσο το δυνατόν πιο πιστά στις πραγματικές τιμές βάρους των φιαλών. Άρα έχει εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή ποιότητα μέτρησης. Επιπλέον, ο πουρές φρούτων είναι μία πρώτη ύλη η οποία έχει μεταβαλλόμενη συμπεριφορά λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών της. Πρακτικά λοιπόν οι μετρήσεις επηρεάζονται από αυτό το γεγονός σε αντίθεση με την μελέτη ενός άλλου προϊόντος, για παράδειγμα βίδες, που θα διατηρούσε συνεχώς τα ίδια χαρακτηριστικά. Αυτό μάλιστα ισχύει για πολλά από τα προϊόντα της βιομηχανίας συσκευασμένων τροφίμων. Τέλος, ο κύριος στόχος της μελέτης αλλά και της μεθοδολογίας Six Sigma είναι να εντοπίσει τα αίτια των αποκλίσεων της παραγωγής και να προτείνει τις σχετικές διορθώσεις. Παρά λοιπόν το γεγονός ότι τα αποτελέσματα θα επηρεαστούν από το σύστημα μέτρησης, οι παρατηρήσεις θα είναι πολύ κοντά στην πραγματικότητα και η γενική κατεύθυνση για τη βελτίωση θα είναι έγκυρη.

4.2.3 Περιγραφικά στατιστικά μεγέθη και Probability Plot for normality test πριν τη βελτίωση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά μεγέθη (Πίνακας 4) που προκύπτουν για το πλήθος $n = 200$ των δεδομένων της μελέτης περίπτωσης.

Variable	Βάρη
N	200
N*	0
Mean	1,34375
SE Mean	0,0011466
StDev	0,0162158
Variance	0,0002630
Minimum	1,262
Q1	1,335
Median	1,346
Q3	1,349
Maximum	1,446

Πίνακας 6: Μεγέθη περιγραφικής στατιστικής του βάρους φιαλών πουρέ φρούτων πριν τη βελτίωση (n=200)

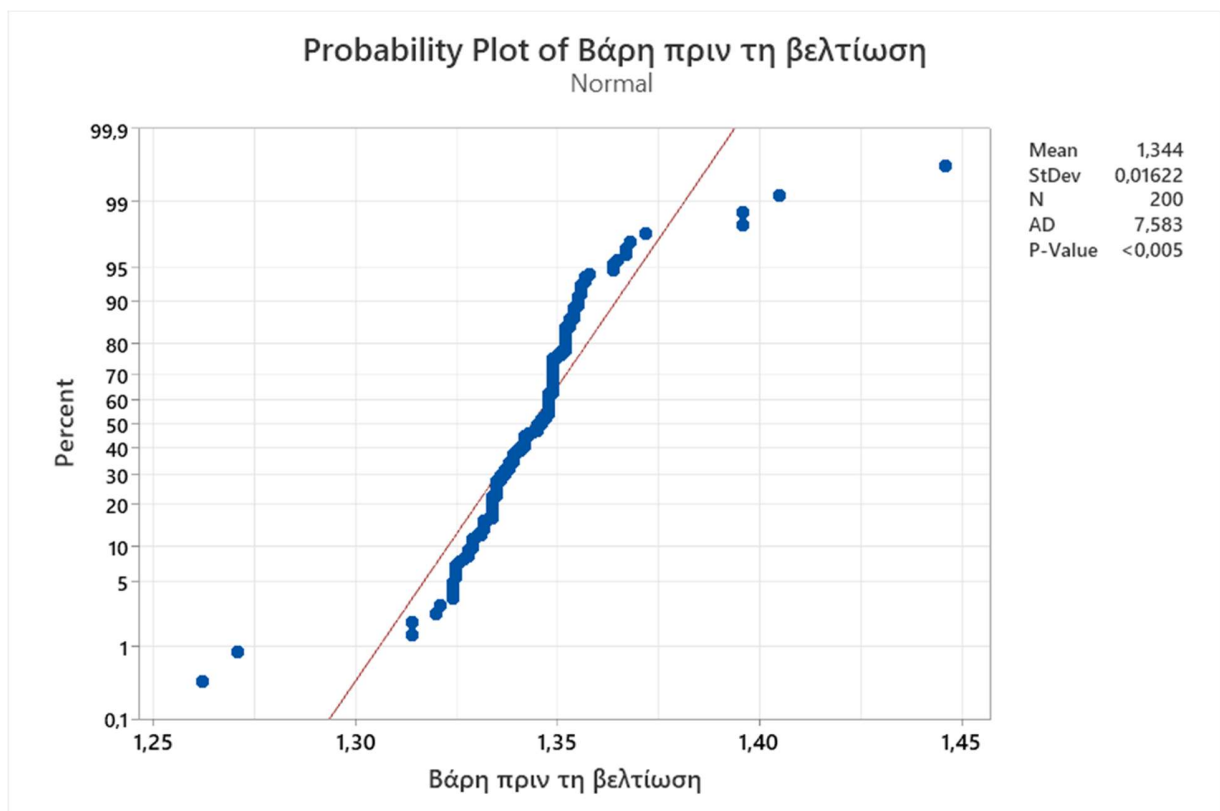
Η πρώτη παρατήρηση από τη μελέτη των περιγραφικών στατιστικών του βάρους των φιαλών είναι πως η μέση τιμή, ίση με 1,34375kg, είναι κατά πολύ υψηλότερη από το βάρος στόχο, που είναι ίσος με 1,331kg ανά φιάλη πουρέ φρούτων. Ταυτόχρονα, η διάμεσος των τιμών είναι ακόμα υψηλότερη και ίση με 1,346kg ανά φιάλη. Έχει ήδη γίνει προφανές από αυτά τα μεγέθη ότι η επιχείρηση υπερπληρώνει τις φιάλες, δηλαδή κάθε φιάλη περιέχει περισσότερο προϊόν από αυτό που θα έπρεπε. Αυτό σημαίνει πως το προϊόν αυτό ουσιαστικά διατίθεται δωρεάν, το οποίο συνεπάγεται μεγάλες οικονομικές ζημίες που απειλούν την κερδοφορία της επιχείρησης.

Το εύρος των τιμών που έχουν μετρηθεί, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στη χαμηλότερη τιμή 1,262kg και την υψηλότερη 1,446kg, είναι ίσο με 184 γραμμάρια. Το εύρος που είναι αποδεκτό όμως για την επιχείρηση είναι μόλις 32 γραμμάρια ανά φιάλη πουρέ φρούτων. Η απόκλιση που παρατηρείται είναι πολύ μεγάλη για μια επιχείρηση βιομηχανικής τυποποίησης προϊόντων.

Υποδηλώνεται εδώ πως υπάρχει μεγάλο πρόβλημα στη μηχανή πλήρωσης των φιαλών αναφορικά τόσο με τη ρύθμισή της όσο και με τον έλεγχό της.

Τέλος, η τυπική απόκλιση των δεδομένων είναι ίση με 0,0162kg και θα χρησιμοποιηθεί αργότερα για τον υπολογισμό των δεικτών ικανότητας της διαδικασίας. Συνδυάζοντας τις τιμές της τυπικής απόκλισης με τη μέση τιμή και την διάμεσο γίνεται σαφές ότι δύσκολα η κατανομή των δεδομένων θα ακολουθεί την Gaussian distribution.

Πράγματι, τα ίδια συμπεράσματα αποδίδει και ο έλεγχος κανονικότητας (Normality Test) των δεδομένων. Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται ο έλεγχος κανονικότητας με τη χρήση της στατιστικής δοκιμασίας Anderson – Darling.



Εικόνα 6: Διάγραμμα πιθανότητας (Probability Plot) για τον έλεγχο κανονικότητας των δεδομένων πριν τη βελτίωση

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν αυτό που είχε φανεί ήδη από την μεγάλη απόκλιση της διαμέσου από τη μέση τιμή του βάρους των φιαλών πουρέ φρούτων. Η p – value είναι μικρότερη του 0,005,

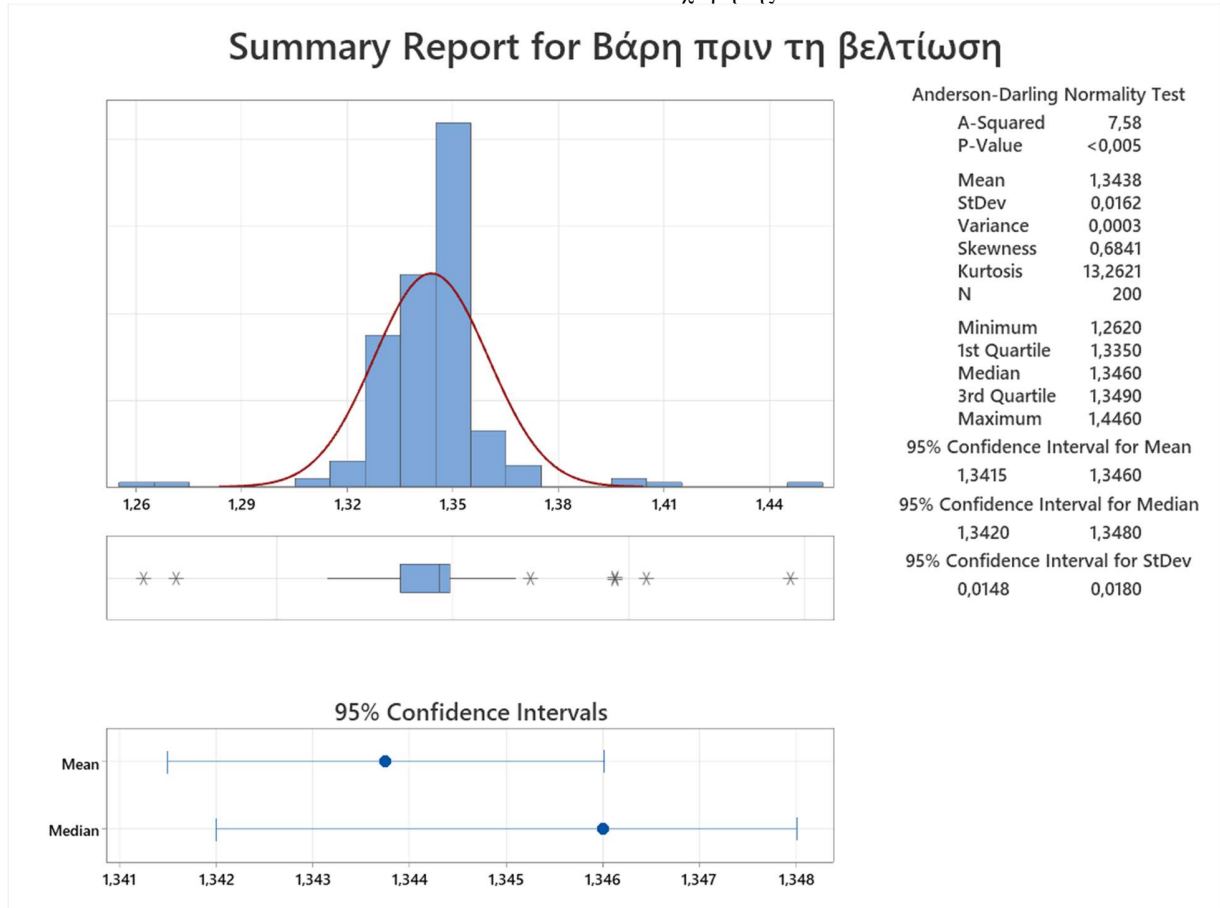
το οποίο μας οδηγεί να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση, δηλαδή ότι τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή (Gaussian distribution).

Το Anderson – Darling τεστ που διεξήχθη από το Minitab ανήκει στην κατηγορία των ελέγχων καλής προσαρμογής και αποφαινεται εάν το σύνολο των δεδομένων προέρχεται από μια συγκεκριμένη κατανομή, συνήθως την κανονική κατανομή. Χρησιμοποιείται διότι είναι περισσότερο ευαίσθητο από άλλα τεστ στον εντοπισμό των αποκλίσεων από την κανονικότητα στα άκρα της κατανομής (Nelson, 1998). Στην συγκεκριμένη περίπτωση βρέθηκε AD statistic ίσο με 7,583 όταν σε ένα τέλεια κανονικό δείγμα η τιμή αυτή είναι ίση με τη μονάδα ή μικρότερη. Σε συνδυασμό με το p – value συμπεραίνουμε ότι το δείγμα των δεδομένων δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή και η μηδενική υπόθεση του τεστ (H_0 : τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή) απορρίπτεται.

Η πολύ υψηλή τιμή του AD statistic μπορεί να οφείλεται σε ακραίες τιμές, λοξότητα ή κύρτωση των δεδομένων (Nelson, 1998). Το διάγραμμα πιθανότητας επιτρέπει να εντοπίσουμε την αιτία της υψηλής τιμής στις ακραίες παρατηρήσεις του δείγματος (outliers). Τόσο στο κάτω άκρο όσο και στο άνω του εύρους των παρατηρήσεων εμφανίζονται τιμές που βρίσκονται αρκετά μακριά από την ευθεία. Μάλιστα, είναι φανερό ότι το πλήθος των outliers που βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των μικρότερων τιμών. Αυτό επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα από τα περιγραφικά στατιστικά μεγέθη, δηλαδή ότι η επιχείρηση αντιμετωπίζει κυρίως το πρόβλημα της υπερπλήρωσης φιαλών πουρέ φρούτων.

Η έλλειψη της κανονικότητας των δεδομένων είναι ένα σημαντικό εύρημα για την παρούσα μελέτη. Υποδηλώνει ότι η μεταβλητότητα της διαδικασίας πλήρωσης των φιαλών επηρεάζεται κυρίως από ειδικές αιτίες και γι' αυτό δεν λειτουργεί σε συνθήκες στατιστικού ελέγχου. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η διασπορά της μηχανής πλήρωσης δεν παρουσιάζει τυχαία διασπορά αλλά επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από άλλους παράγοντες, όπως για παράδειγμα οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του προϊόντος ή οι αλλαγές στην πίεση της δεξαμενής. Η διαπίστωση αυτή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ακόλουθη ανάλυση των δεικτών ικανότητας της διαδικασίας.

Η σύνοψη των προηγούμενων παριστάνεται γραφικά στην εικόνα 6.



Εικόνα 7: Σύνοψη περιγραφικής στατιστικής και ελέγχου κανονικότητας πριν τη βελτίωση

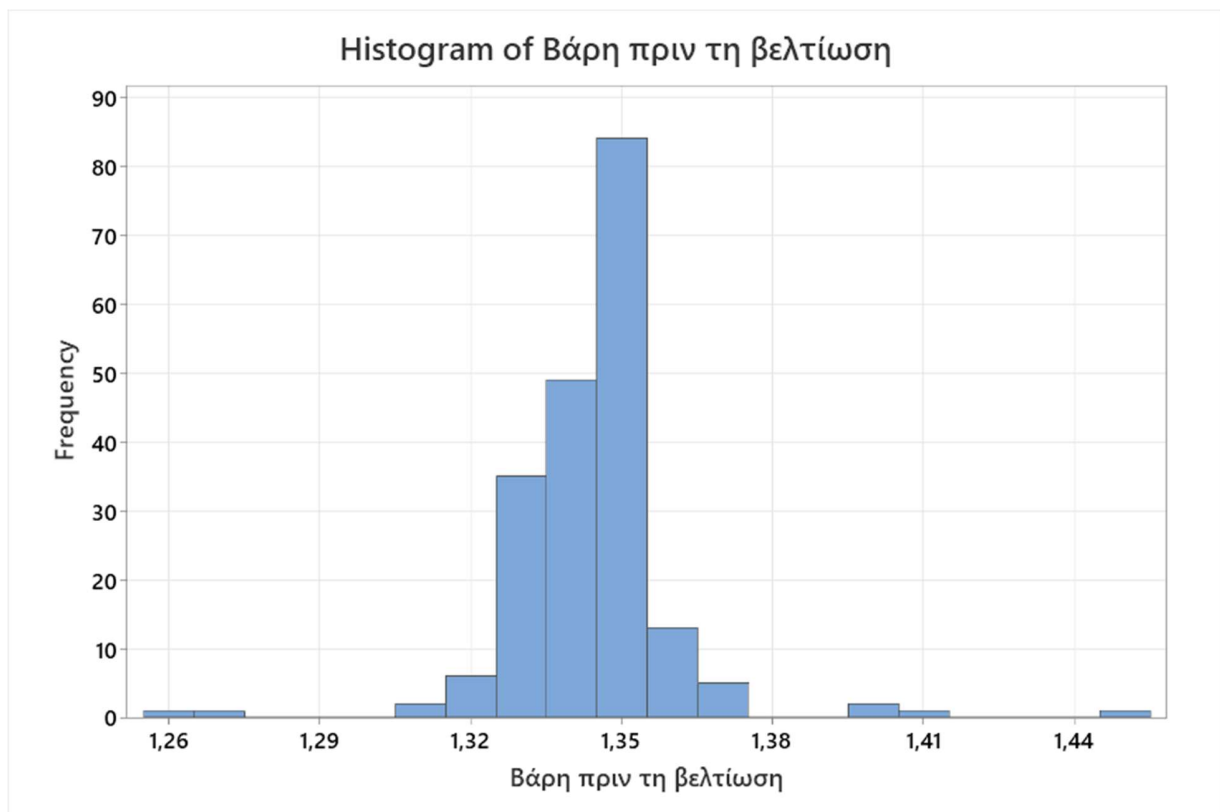
Από το ιστόγραμμα γίνεται σαφές ότι η κατανομή έχει πολύ υψηλή κορυφή, δηλαδή μεγάλη συγκέντρωση τιμών, το οποίο επιβεβαιώνεται από την τιμή Kurtosis 13,26. Ωστόσο, η συγκέντρωση των τιμών επηρεάζεται από την ύπαρξη των outliers.

Επιπλέον, υπολογίστηκε Skewness ίση με 0,68, που σημαίνει ότι η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία, δηλαδή μεγαλύτερη ουρά προς τα δεξιά. Αυτό επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα από το Probability Plot σχετικά με την ύπαρξη μεγαλύτερου πλήθους ακραίων τιμών με βάρος πολύ μεγαλύτερο από το βάρος – στόχο της παραγωγής.

Στο Βοχplot γίνεται εμφανής η παρουσία των ακραίων τιμών, που συμβολίζονται από το Minitab με αστεράκια. Οι τιμές αυτές είναι στην ουσία ο λόγος για την αποτυχία του Anderson – Darling Normality Test.

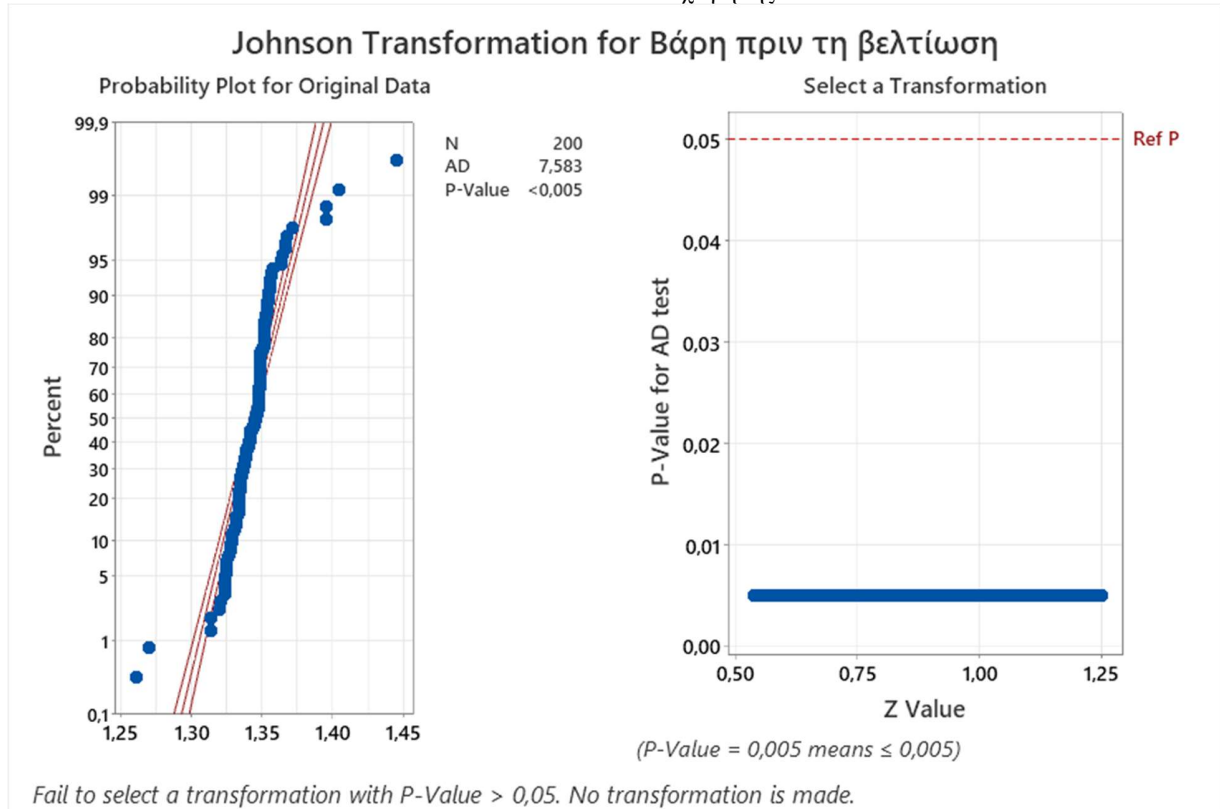
4.2.4 Johnson transformation

Ελέγχεται και οπτικά η κανονικότητα των δεδομένων.



Εικόνα 8: Ιστόγραμμα για βάρη πριν τη βελτίωση

Καθώς τα δεδομένα δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή επιχειρείται η αναζήτηση του μετασχηματισμού που θα επιφέρει κανονικότητα.

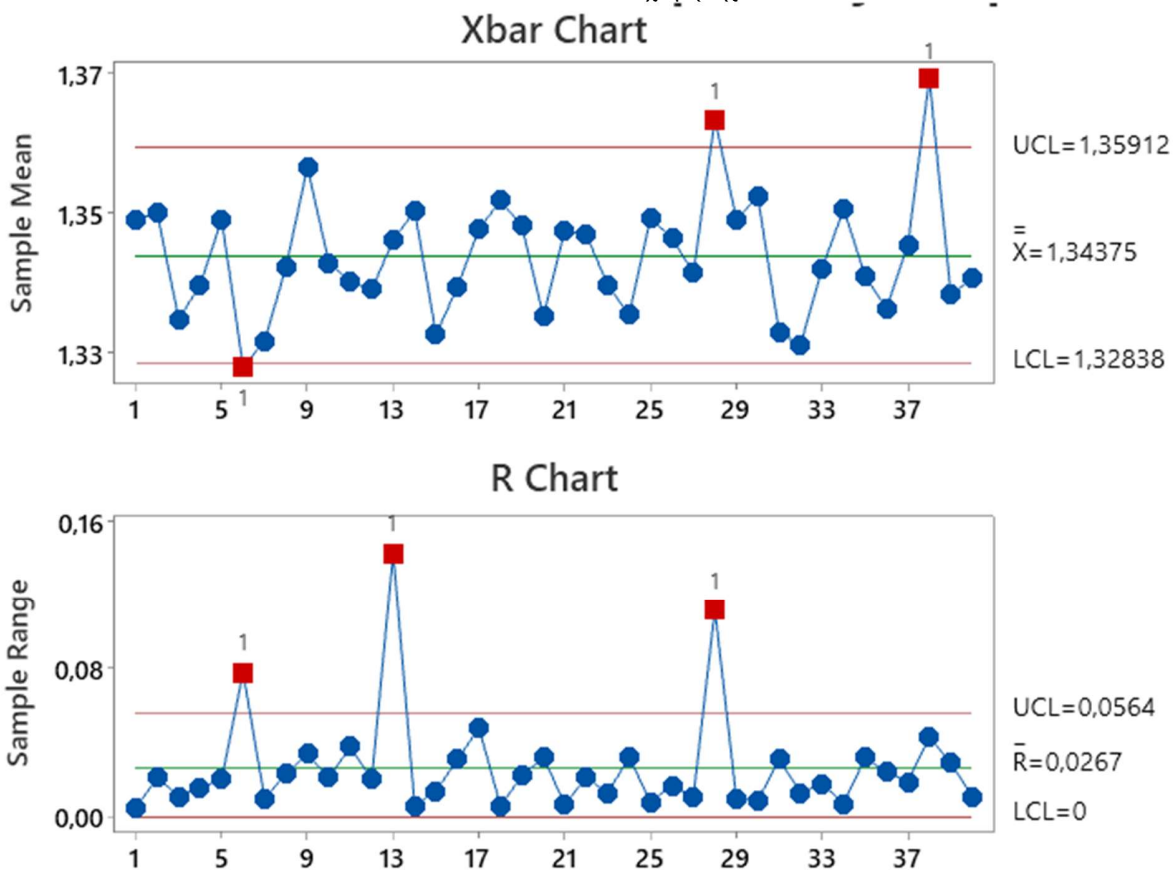


Εικόνα 9: Johnson transformation πριν τη βελτίωση

Επιχειρώντας να εκτελεστεί ο μετασχηματισμός Johnson το Minitab στατιστικό εργαλείο καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατή η επιλογή αυτή καθώς δεν υπάρχει p value μεγαλύτερο του 0,05.

4.2.5 Διαγράμματα ελέγχου πριν τη βελτίωση

Προκειμένου να σχηματιστεί μια σφαιρική εικόνα για την πραγματική κατάσταση της γραμμής παραγωγής, εκτελέστηκε στο Minitab η εντολή για το Process Capability Sixpack. Το Process Capability Sixpack είναι το πιο ισχυρό διαγνωστικό εργαλείο της μεθοδολογίας Six Sigma.



Εικόνα 10: Control charts πριν τη βελτίωση

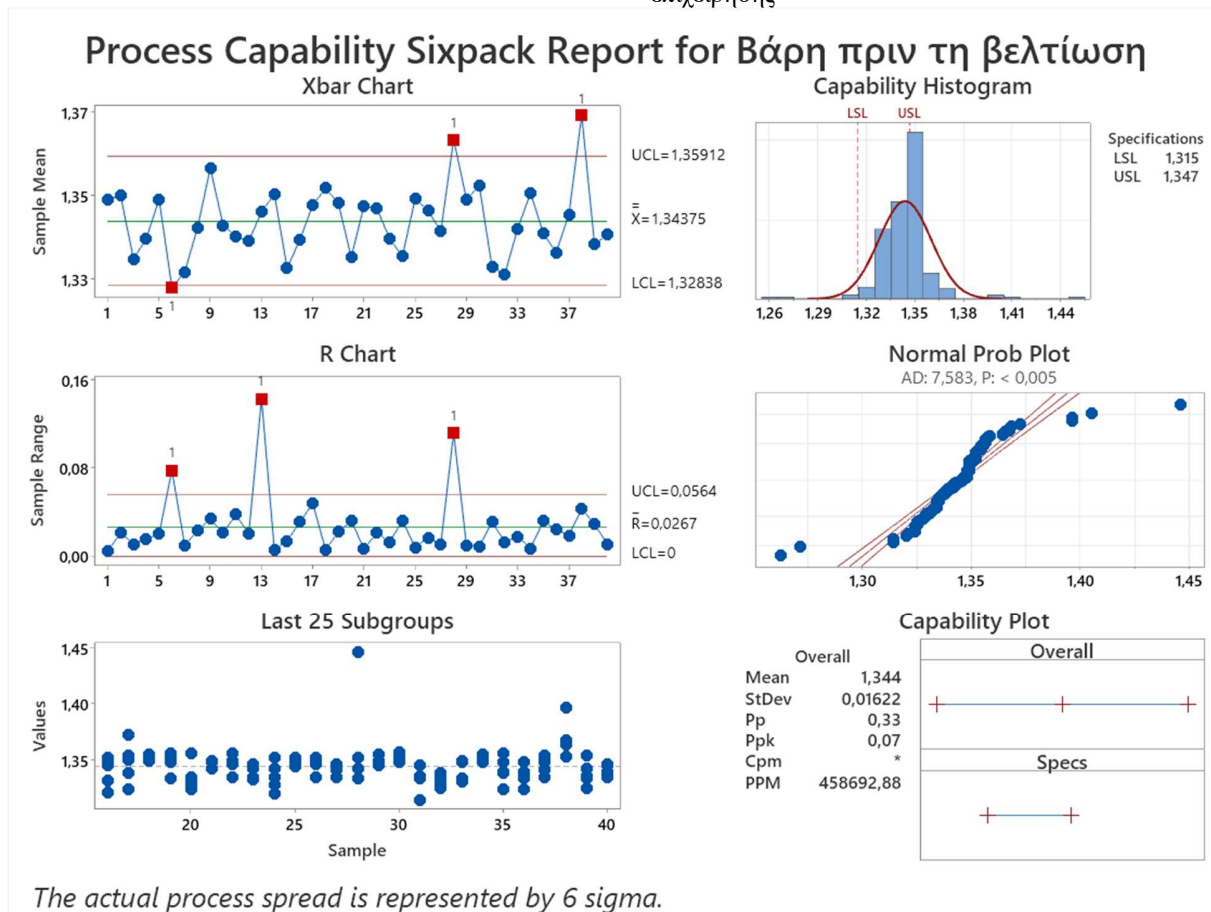
Στα διαγράμματα ελέγχου Xbar και R Chart φαίνεται ότι η παραγωγή δεν είναι σταθερή. Το διάγραμμα Xbar πραγματοποιεί τον έλεγχο εστιάζοντας στον μέσο όρο των υποομάδων και συγκρίνει τη μέση τιμή κάθε δείγματος με τον μέσο όρο της παραγωγής συνολικά. Εμφανίζονται πολλαπλά κόκκινα σημεία, που παριστάνουν δεδομένα βάρους, πάνω από το άνω όριο ελέγχου $UCL = 1,35912$. Αυτό δείχνει ότι ο μέσος όρος βάρους των φιαλών ξεφεύγει συστηματικά προς τα πάνω και κατά συνέπεια η διαδικασία δεν είναι σταθερή ως προς το κέντρο της. Τα σημεία και για τις δύο βάρδιες παρουσιάζονται χωρίς να διαχωρίζονται σαφώς, από το οποίο προκύπτει ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο βάρδιες. Αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα της μελέτης Gage R&R, από την οποία προέκυψε για τον παράγοντα «Χειριστής» τιμή $p = 0,299 > 0,05$. Επιπλέον, η κεντρική γραμμή του διαγράμματος βρίσκεται σημαντικά πιο

ψηλά (1,34375kg) από το βάρος στόχο των 1,331kg, κάτι το οποίο επιβεβαιώνει τη συστηματική υπερπλήρωση των φιαλών.

Ταυτόχρονα, το διάγραμμα Range Chart αξιολογεί τη διασπορά των μετρήσεων υπολογίζοντας των εύρος των παρατηρήσεων σε κάθε υποομάδα. Δείχνει εάν η μηχανή έχει επαναληψιμότητα και συμπληρώνει το Xbar Chart που δείχνει εάν η παραγωγή είναι εντός στόχου. Από το σχήμα φαίνεται ότι υπάρχουν σημεία που υπερβαίνουν το όριο των 0,037kg. Αυτό σημαίνει πως η διακύμανση της μηχανής δεν ακολουθεί συγκεκριμένο μοτίβο αλλά είναι απρόβλεπτη καθώς σε άλλο σημείο οι μετρήσεις είναι πολύ κοντά και σε άλλο εμφανίζονται υπερβολικές αποκλίσεις. Οι παρατηρήσεις από τα δύο διαγράμματα επιβεβαιώνουν το προηγούμενο συμπέρασμα για επηρεασμό της διαδικασίας από ειδικές αιτίες, οι οποίες πρέπει μέσω της μεθοδολογίας Six Sigma να εντοπιστούν ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την εξάλειψή τους.

4.2.6 Process capability analysis πριν τη βελτίωση

Η ανάλυση ικανότητας της διαδικασίας (Process capability) πραγματοποιήθηκε με την εντολή για το Process Capability Sixpack του Minitab. Συνδυάζει έξι διαγράμματα, μαζί με τα control charts που παρουσιάστηκαν νωρίτερα. Επιτρέπει όχι μόνο να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν αποκλίσεις στην παραγωγική διαδικασία αλλά και να αξιολογηθεί η σταθερότητα της διαδικασίας, η κατανομή των τελευταίων μετρήσεων καθώς και η ικανότητα του εξοπλισμού να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ποιότητας του συγκεκριμένου προϊόντος. Αποτελεί την τελική φάση της Μέτρησης (Measure) και θέτει τις βάσεις για την διερεύνηση των ριζικών αιτιών για τις αποκλίσεις.



Εικόνα 11: Αναφορά ικανότητας διαδικασίας (Process Capability Sixpack) του βάρους φιαλών πουρέ φρούτων πριν τη βελτίωση

Σύμφωνα με την Οδηγία 76/211/ΕΟΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης για συσκευασμένα προϊόντα σε κλειστή, έτοιμη συσκευασία το μέγιστο αρνητικό σφάλμα στο βάρος δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το 1,5% του ονομαστικού βάρους του προϊόντος. Άρα τα όρια των προδιαγραφών είναι $LSL = 1,315\text{kg}$, $USL = 1,347\text{kg}$ και Εύρος προδιαγραφών = $USL - LSL = 0,032\text{kg}$. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικοί δείκτες ικανότητας της διαδικασίας.

Δείκτης	Τιμή	Ερμηνεία
Μέση τιμή (Mean)	1,34375kg	Πολύ υψηλότερη από τον στόχο των 1,331kg

Τυπική απόκλιση (StDev)	0,0162158kg	Υψηλή διασπορά σε σχέση με το εύρος των προδιαγραφών
C_{pk}	0,27	Πολύ χαμηλή δυνητική ικανότητα
P_{pk}	0,07	Περιγράφει την πραγματική απόδοση και αποφαίνεται ότι η διαδικασία δεν είναι ικανή
PPM Total	458.692,88	Περίπου το 46% των παραγόμενων φιαλών βρίσκονται εκτός των προδιαγραφών

Πίνακας 7: Σύνοψη δεικτών ικανότητας διαδικασίας πριν τη βελτίωση

Το επόμενο σχήμα της αναφοράς είναι το Ιστόγραμμα Ικανότητας (Capability Histogram). Το διάγραμμα αυτό είναι η οπτική απεικόνιση της σχέσης ανάμεσα στη Φωνή της Διαδικασίας (VoP) και τη Φωνή του Πελάτη (VoC). Η VoP περιγράφει την πραγματικότητα στον τρόπο με τον οποίο παράγει η μηχανή ενώ η VoC παριστάνει τα όρια των προδιαγραφών που έχουν τεθεί από τον πελάτη για το προϊόν (Aggarwal, 2021). Στο σχήμα τα όρια αυτά παριστάνονται από τις κατακόρυφες ευθείες LSL (Lower Specification Limit), που είναι το ελάχιστο αποδεκτό βάρος, και USL (Upper Specification Limit), που είναι το μέγιστο αποδεκτό βάρος. Η καμπύλη του ιστογράμματος αντιπροσωπεύει την εικόνα της κατανομής. Στην παρούσα μελέτη το άνω όριο προδιαγραφών είναι $USL = 1,347\text{kg}$ αλλά ολόκληρη η καμπύλη της παραγωγής παρουσιάζει έντονη μετατόπιση προς τα δεξιά. Η μέση τιμή είναι ίση με $1,34375\text{ kg}$ και βρίσκεται πολύ κοντά στο άνω όριο των προδιαγραφών. Αυτό συνεπάγεται ένα πολύ μεγάλο μέρος των παρατηρήσεων βάρους να βρίσκονται εκτός του άνω ορίου USL. Το γεγονός αυτό είναι μία ακόμα απόδειξη για το ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα της επιχείρησης είναι η υπερπλήρωση των φιαλών και η συστηματική απώλεια δωρεάν προϊόντος. Η διαδικασία δεν λειτουργεί γύρω από το κέντρο των $1,331\text{ kg}$ αλλά σε υψηλότερο βάρος με αποτέλεσμα να αυξάνονται το κόστος της παραγωγής και η οικονομικές απώλειες για την επιχείρηση. Τέλος, η μορφή του ιστογράμματος συμφωνεί με την υψηλή τιμή Kurtosis = 13,26 που καταδεικνύει την προσπάθεια της μηχανής πλήρωσης να παράγει

σε ένα συγκεκριμένο σημείο βάρους και την αποτυχία της, όπως φαίνεται από την ύπαρξη των ακραίων τιμών. Μάλιστα, εμφανίζεται τιμή βάρους ίση με 1,446 kg που απέχει δραματικά από το USL, επιβεβαιώνοντας ότι η διαδικασία παραγωγής βρίσκεται εντελώς εκτός ελέγχου.

Το Last 25 Subgroups διάγραμμα αποτελεί την απεικόνιση της συμπεριφοράς της διαδικασίας παραγωγής κατά το τελευταίο στάδιο της συλλογής των δεδομένων. Η επιλογή των 25 υποομάδων διασφαλίζει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων για την σταθερότητα της διαδικασίας. Σε ένα Last 25 Subgroups διάγραμμα ελέγχουμε για σημεία εκτός ορίων ελέγχου UCL και LCL, για συνεχόμενες 7 ράχες (7 – point run), δηλαδή 7 συνεχόμενα σημεία πάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή του μέσου όρου, για τάσεις, δηλαδή 7 σημεία που σταθερά ανεβαίνουν ή κατεβαίνουν ή για κυκλικά μοτίβα, τα οποία μπορεί να δείχνουν περιοδική φθορά (Alwan et al, 2020). Στο διάγραμμα που παρήγαγε το Minitab καθιστά σαφές ότι η συγκεκριμένη διαδικασία βρίσκεται εκτός ελέγχου. Οι τελείες στην κάθε ομάδα, που θα έπρεπε να βρίσκονται πάνω στη γραμμή του μέσου όρου, παρουσιάζουν μεγάλη εξάπλωση και συχνά βγαίνουν εκτός των ορίων. Σημαντική εδώ είναι η διαπίστωση ότι οι ομάδες των παρατηρήσεων βρίσκονται συστηματικά στο πάνω μέρος του διαγράμματος. Αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα της υπερπλήρωσης των φιαλών πουρέ δεν ήταν ένα τυχαίο γεγονός μέσα στη διαδικασία αλλά την χαρακτηρίζει μέχρι και το τέλος της. Επιπλέον, η μεγάλη διασπορά των παρατηρήσεων μέσα στις υποομάδες δείχνει πως η μηχανή πλήρωσης δεν μπορεί να κρατήσει σταθερή τη δόση γεμίσματος.

Το τελευταίο σχήμα του Capability Sixpack του Minitab είναι το Capability Plot, στο οποίο παρουσιάζονται οι δείκτες ικανότητας της διαδικασίας. Το διάγραμμα συγκρίνει το εύρος των προδιαγραφών που έχουν τεθεί με το εύρος που έχει στην πραγματικότητα η παραγωγή. Επιπλέον, υπολογίζει και παρουσιάζει τους δείκτες C_{pk} και P_{pk} , που παριστάνουν την ικανότητα της μηχανής και την ικανότητα της διαδικασίας αντίστοιχα (Stoumbos, 2007). Το αποτέλεσμα της παρούσας έρευνας είναι πως ο δείκτης συνολικής ικανότητας της διαδικασίας είναι ίσος με $P_{pk} = 0,07$, το οποίο είναι πάρα πολύ χαμηλό κι έχει μεγάλη απόσταση από το όριο του 1,33 από τα πρότυπα ποιότητας. Ταυτόχρονα, ο δείκτης C_{pk} είναι ίσος με 0,27 και απέχει πολύ από τον P_{pk} . Η απόκλιση αυτή επιβεβαιώνει ότι η διαδικασία μας αφενός δεν είναι ικανή να παράγει εντός των προδιαγραφών και αφετέρου παράγει δίνοντας απρόβλεπτα αποτελέσματα. Το PPM Total (Part

per million) είναι ίσο με 458.692,88, που σημαίνει ότι σε ένα εκατομμύριο μονάδων προϊόντων τα 458.692,88 θα είναι ελαττωματικά. Αυτό σημαίνει πως η συνεχιζόμενη λειτουργία της διαδικασίας στις ίδιες συνθήκες θα δίνει ελαττωματικό σχεδόν το 50% των προϊόντων, οδηγώντας σε νομικούς κινδύνους, λόγω υποπλήρωσης, και σε μεγάλες οικονομικές απώλειες, λόγω υπερπλήρωσης που είναι το κύριο πρόβλημα της επιχείρησης.

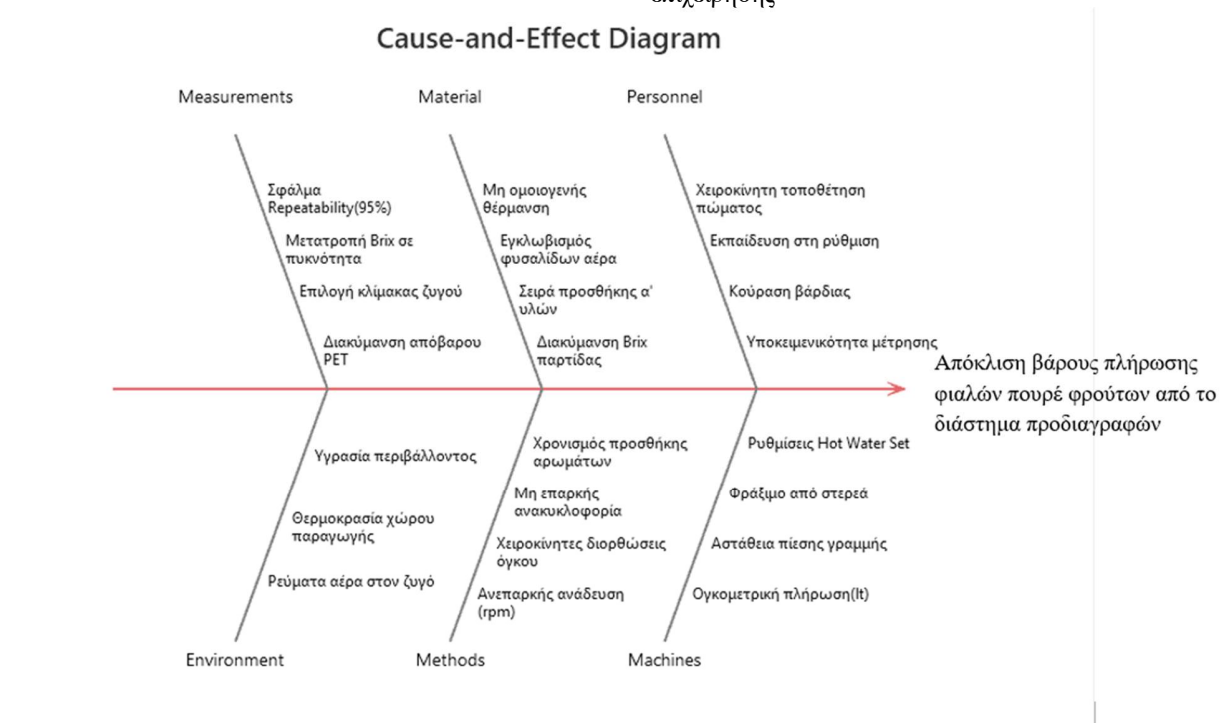
Στο σημείο αυτό, που έχει ολοκληρωθεί η στατιστική ανάλυση, είναι χρήσιμο να απαντηθεί το ερώτημα κατά πόσο τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής είναι αξιόπιστα δεδομένου ότι η μελέτη Gage R&R (Nested) έδειξε πολύ υψηλό ποσοστό σφάλματος. Καταρχάς, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το μέγεθος της απόκλισης είναι τόσο μεγάλο που υπερκαλύπτει το σφάλμα της μέτρησης. Πρακτικά δηλαδή η διαδικασία είναι τόσο πολύ εκτός ελέγχου που και απόλυτα ορθές μετρήσεις θα έδειχναν ότι υπάρχει πρόβλημα. Επιπλέον, παρά τον προβληματισμό που προκύπτει από την Gage R&R (Nested) μελέτη, τα ευρήματα από όλα τα τεστ που διεξήχθησαν καθώς και από τις γραφικές αναπαραστάσεις των δεδομένων δείχνουν συνέπεια και σύγκλιση προς τα ίδια συμπεράσματα. Αυτό σημαίνει πως πραγματικά υπάρχει πρόβλημα στη γραμμή παραγωγής και δεν πρόκειται για σφάλμα μέτρησης. Κάτι ακόμα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η πάρα πολύ χαμηλή τιμή του P_{pk} . Ακόμα κι αν οι μετρήσεις περιέχουν σφάλματα, ο δείκτης αυτός είναι τόσο πολύ χαμηλός που πάλι η διαδικασία θα ήταν εκτός ορίων ακόμα κι αν οι μετρήσεις ήταν ακριβείς. Τέλος, θα ήταν λάθος να αναγνωστούν τα συμπεράσματα της μελέτης Gage R&R (Nested) ως αποτυχία της μελέτης. Αντίθετα, αποτελούν το πρώτο σημαντικό εύρημα καθώς υποδεικνύουν ότι τα σφάλματα της παραγωγής ξεκινούν ήδη από τις μεθόδους ελέγχου στο εργοστάσιο και συγκεκριμένα από τις μετρήσεις των φιαλών πουρέ που επηρεάζονται εύκολα από διάφορους παράγοντες. Συνεπώς, στη φάση της Ανάλυσης που ακολουθεί θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην εύρεση αυτών των ειδικών αιτιών που επηρεάζουν την αξιοπιστία της γραμμής παραγωγής από την πλήρωση των φιαλών έως και τη ζύγισή τους.

4.3 Φάση ανάλυσης (Analyze)

4.3.1 Διάγραμμα Cause and Effect και τα 5 Γιατί

Η ολοκλήρωση της επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την γραμμή παραγωγής σχετικά με το βάρος των φιαλών πουρέ φρούτων έδειξε στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις ανάμεσα στα βάρη των φιαλών και γενικότερα την έλλειψη ικανότητας της διαδικασίας για παραγωγή εντός των καθορισμένων ορίων. Ο στόχος του σταδίου της Ανάλυσης είναι να εντοπίσει τις ριζικές αιτίες που προκαλούν αυτές τις αποκλίσεις. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε το διάγραμμα Αιτίας – Αποτελέσματος Ishikawa, το οποίο οργανώνει τις πιθανές αιτίες σε έξι κύριες κατηγορίες: Machines (Μηχανήματα), Methods (Μέθοδοι), Material (Υλικά), Personnel (Προσωπικό), Measurements (Μετρήσεις) και Environment (Περιβάλλον), όπως φαίνεται στην εικόνα 8. Το διάγραμμα Ishikawa αποτυπώνει τη συλλογική γνώση για ένα πρόβλημα και βοηθάει τα στελέχη να προσδιορίσουν εκείνα τα σημεία που αποτελούν τις πηγές και όχι τα συμπτώματα του προβλήματος (<https://asq.org/>, 2026).

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι οι Μετρήσεις (Measurements) είναι ένα εξαιρετικά προβληματικό σημείο της διαδικασίας αφού το σφάλμα επαναληψιμότητας αγγίζει το 95%. Αυτό συνεπάγεται ότι το σύστημα μέτρησης δεν είναι αξιόπιστο και θα πρέπει να διορθωθεί άμεσα. Περισσότερα προβλήματα προσθέτει η δυσκολία μετατροπής του Brix σε πυκνότητα για τον υπολογισμό του τελικού βάρους ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η διακύμανση του απόβαρου της φιάλης PET που προσθέτει σφάλματα στη μέτρηση του βάρους του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 12: Διάγραμμα Cause & Effect

Αναφορικά με τα Υλικά (Material) ο πουρές είναι ένα υλικό που παρουσιάζει προκλήσεις καθώς δεν είναι πάντα σταθερό. Το Βrix είναι πολύ πιθανό να αλλάζει σε κάθε παρτίδα επηρεάζοντας την πυκνότητα και τους υπολογισμούς για το βάρος της φιάλης. Επιπλέον, ο εγκλωβισμός φυσαλίδων αέρα στο υλικό αλλάζει τον όγκο χωρίς όμως να αντιστοιχεί σε βάρος και έτσι το αποτέλεσμα είναι ασταθές. Ακόμα, η μη ομοιογενής θέρμανση, δηλαδή όταν η θερμοκρασία του πουρέ στα τοιχώματα έχει φτάσει τους επιθυμητούς 70°C αλλά στο εσωτερικό είναι χαμηλότερη, καθώς και οι αλλαγές στη σειρά προσθήκης των πρώτων υλών εκτός από τον πουρέ μπορούν να αλλάξουν την σύσταση του τελικού μείγματος.

Τα Μηχανήματα (Machines) εξηγούν μεγάλο μέρος της διακύμανσης. Η αστάθεια της πίεσης που παρατηρείται στη γραμμή πλήρωσης των φιαλών αλλά και το γεγονός ότι οι φιάλες γεμίζονται με ογκομετρική μέθοδο εντείνουν τη δυσκολία διατήρησης σταθερού του βάρους του τελικού προϊόντος. Ακόμα, το φράξιμο των μηχανημάτων από στερεά, ίνες φρούτου ή κουκούτσια, αλλά και οι ρυθμίσεις του Hot Water Set μπορούν να επηρεάσουν τη ροή του προϊόντος.

Εξετάζοντας τις Μεθόδους (Methods) γίνεται σαφές ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός επηρεασμού από χειροκίνητες πρακτικές. Οι διορθώσεις όγκου γίνονται από τους χειριστές με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα σφάλματος. Επιπλέον, η ανεπαρκής ανάδευση (rpm), η μη επαρκής ανακυκλοφορία του υλικού ή ο χρονισμός προσθήκης αρωμάτων μπορεί να προκαλέσουν την ανομοιομορφία του προϊόντος πριν το γέμισμα στις φιάλες.

Σχετικά με το Προσωπικό (Personnel) η ανάλυση έδειξε ότι ο ρόλος του ανθρώπινου παράγοντα στο τελικό σφάλμα είναι μικρότερος από τον ρόλο των υπολοίπων παραγόντων. Ωστόσο, η κούραση της βάρδιας ή η υποκειμενικότητα στις μετρήσεις μπορούν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα. Επιπλέον, η χειροκίνητη τοποθέτηση του πώματος ενδέχεται να καθυστερήσει τη παραγωγική ροή.

Τέλος, το Περιβάλλον (Environment) παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Η θερμοκρασία του χώρου παραγωγής καθώς και η υγρασία, που οφείλεται στη θέρμανση του προϊόντος, επηρεάζουν το πόσο ρευστή είναι η πρώτη ύλη του πουρέ. Επίσης, αν ο χώρος δεν είναι προστατευμένος ακόμα και τα ρεύματα αέρα μπορούν να επηρεάσουν τις ζυγίσεις, αφού είναι απαραίτητο να υπάρχει ακρίβεια γραμμαρίου.

Το διάγραμμα Ishikawa βοήθησε σημαντικά στην χαρτογράφηση των αιτιών που προκαλούν προβλήματα στην παραγωγική διαδικασία. Ωστόσο, δεν μπορεί να δείξει ποιες είναι εκείνες οι αιτίες που έχουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην εμφάνιση των αποκλίσεων και της μεγάλης διασποράς της παραγωγής. Η ανάλυση θα προχωρήσει με την τεχνική των 5 Γιατί (5 Whys) (Ōno, 1988). Με την χρήση της τεχνικής αυτής θα καταλήξουμε στην ριζική αιτία μέσα από πέντε απλές αλλά σημαντικές ερωτήσεις.

Το πρόβλημα: συστηματική υπερπλήρωση των φιαλών πουρέ φρούτων.

Γιατί εμφανίζεται συστηματική υπερπλήρωση; Επειδή το μηχάνημα πλήρωσης είναι ρυθμισμένο στα 1,343kg που είναι πολύ κοντά στο ανώτερο επιτρεπτό όριο των προδιαγραφών.

Γιατί το μηχάνημα είναι ρυθμισμένο τόσο ψηλά; Επειδή υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στο βάρος του υλικού και οι χειριστές προσπαθούν να αποφύγουν τις φιάλες με βάρος χαμηλότερο από το επιτρεπτό κατώτερο όριο.

Γιατί υπάρχει τόσο μεγάλη μεταβλητότητα στο βάρος του υλικού; Επειδή σε κάθε γέμισμα απελευθερώνεται σε σταθερό όγκο διαφορετική μάζα προϊόντος.

Γιατί αλλάζει η μάζα σε σταθερό όγκο; Επειδή αλλάζει το Brix και η πίεση της ροής του πουρέ φρούτων κατά τη διάρκεια παραγωγής.

Γιατί το Brix και η πίεση της ροής επηρεάζουν το τελικό προϊόν; Επειδή δεν υπάρχει σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου που να ζυγίζει το προϊόν και να ρυθμίζει τη μηχανή πλήρωσης βάσει δεδομένων για τις μεταβολές του υλικού σε πραγματικό χρόνο.

Με την τεχνική των 5 Γιατί έγινε εμφανές ότι το πρόβλημα της επιχείρησης δεν βρίσκεται στον ανθρώπινο παράγοντα αλλά στην έλλειψη αυτοματοποιημένου συστήματος ελέγχου της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο.

4.3.2 Συνοπτικός πίνακας επικύρωσης αιτιών και αποτελεσμάτων (Summary table of cause validation plan and result)

Μετά την ολοκλήρωση του διαγράμματος Ishikawa και την εφαρμογή της τεχνικής των 5 Γιατί, που ανέδειξαν πιθανές ριζικές αιτίες, ακολουθεί η επικύρωση των αιτιών αυτών. Η διαδικασία της επικύρωσης (cause validation) είναι σημαντική για την Ανάλυση της DMAIC αφού επιτρέπει τον διαχωρισμό των πραγματικών ριζικών αιτιών από συσχετίσεις ή υποθέσεις που δεν έχουν πραγματικό αντίκρισμα. Για την επικύρωση των αιτιών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ποσοτικής ανάλυσης, για τις αιτίες που σχετίζονται με μετρήσιμα δεδομένα τα οποία επεξεργάστηκαν με το Minitab, και η μέθοδος της ποιοτικής ανάλυσης (GEMBA), για αιτίες που δεν ήταν δυνατό να ποσοτικοποιηθούν και χρειάστηκαν επιτόπια παρατήρηση και συλλογή ποιοτικών δεδομένων (Womack, 2011).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά το σχέδιο επικύρωσης των αιτιών και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Κατηγορία	Πιθανή αιτία	Τύπος ανάλυσης	Παρατήρηση	Συμπέρασμα
Measurements	Σφάλμα επαναληψιμότητας λόγω θερμοκρασίας	Ποσοτική (Gage R&R)	Total Gage R&R 95,15% Repeatability 95,07%	Επικυρώθηκε
Measurements	Μετατροπή Brix σε πυκνότητα	Ποιοτική (GEMBA)	Απαιτείται μετατροπή μέσω πινάκων και εισάγει μεταβλητότητα	Δεν επικυρώθηκε
Measurements	Επιλογή κλίμακας ζυγού	Ποιοτική (GEMBA)	Επιλογή ζυγού από μενού	Δεν επικυρώθηκε
Measurements	Διακύμανση απόβαρου PET	Ποιοτική (GEMBA)	Δεν υπάρχει διαδικασία ελέγχου απόβαρου ανά παρτίδα	Επικυρώθηκε
Material	Μη ομοιογενής θέρμανση	Ποιοτική (GEMBA)	Δεν υπάρχουν αισθητήρες θερμοκρασίας σε πολλαπλά σημεία της δεξαμενής	Επικυρώθηκε
Material	Εγκλωβισμός φυσαλίδων αέρα	Ποιοτική (GEMBA)	Η μη τήρηση της διαδικασίας μπορεί να προκαλέσει φυσαλίδες	Δεν επικυρώθηκε
Material	Σειρά προσθήκης πρώτων υλών	Ποιοτική (GEMBA)	Τυποποίηση σειράς προσθήκης	Δεν επικυρώθηκε

Material	Διακύμανση παρτίδας Brix	Ποσοτική (ανάλυση δεδομένων)	Ο δείκτης P_{pk} επιβεβαιώνει ότι η διαδικασία δεν εξομαλύνει τις μεταβολές	Επικυρώθηκε
Methods	Χειροκίνητες διορθώσεις όγκου	Ποσοτική (ανάλυση δεδομένων)	Η μέση τιμή είναι ρυθμισμένη προς το USL	Επικυρώθηκε
Methods	Ανεπαρκής ανάδευση (rpm)	Ποιοτική (GEMBA)	Τυποποιημένες ρυθμίσεις ανάδευσης	Δεν επικυρώθηκε
Methods	Μη επαρκής ανακυκλοφορία	Ποιοτική (GEMBA)	Τυποποίηση ανακυκλοφορίας	Δεν επικυρώθηκε
Methods	Χρονισμός προσθήκης αρωμάτων	Ποιοτική (GEMBA)	Το άρωμα προστίθεται στους 65° μετρούμενο σε δείγμα	Δεν επικυρώθηκε
Machines	Ρυθμίσεις Hot Water Set	Ποιοτική (GEMBA)	Τυποποίηση ρυθμίσεων	Δεν επικυρώθηκε
Machines	Φράξιμο από στερεά	Ποιοτική (GEMBA)	Απαιτείται άνοιγμα και καθάρισμα της γραμμής παραγωγής	Δεν επικυρώθηκε
Machines	Αστάθεια πίεσης γραμμής	Ποιοτική (GEMBA)	Δεν υπάρχει σύστημα καταγραφής της πίεσης	Επικυρώθηκε
Machines	Ογκομετρική πλήρωση (lt)	Ποσοτική (ανάλυση δεδομένων)	Το μηχάνημα πλήρωσης είναι ογκομετρικό	Επικυρώθηκε

Personnel	Χειροκίνητη τοποθέτηση πώματος	Ποιοτική (GEMBA)	Δεν επηρεάζει το βάρος πλήρωσης	Δεν επικυρώθηκε
Personnel	Εκπαίδευση στη ρύθμιση	Ποσοτική (Gage R&R)	Οι χειριστές έχουν παρόμοια συμπεριφορά	Δεν επικυρώθηκε
Personnel	Κούραση βάρδιας	Ποιοτική (GEMBA)	Δεν υπάρχει καταγραφή λαθών σχετική με την ώρα της βάρδιας	Δεν επικυρώθηκε
Personnel	Υποκειμενικότητα μέτρησης	Ποσοτική (Gage R&R)	Reproducibility 3,90%	Δεν επικυρώθηκε
Environment	Υγρασία περιβάλλοντος	Ποιοτική (GEMBA)	Οι υδρατμοί από τη θέρμανση επηρεάζουν την περιοχή ζύγισης	Επικυρώθηκε
Environment	Θερμοκρασία χώρου παραγωγής	Ποιοτική (GEMBA)	Η θερμοκρασία επηρεάζει το ιξώδες και την ψύξη του προϊόντος	Επικυρώθηκε
Environment	Ρεύματα αέρα στον ζυγό	Ποιοτική (GEMBA)	Επηρεάζουν τη σταθερότητα του ζυγού	Επικυρώθηκε

Πίνακας 8: Συνοπτικός πίνακας επικύρωσης αιτιών και αποτελεσμάτων

Η μελέτη Gage R&R ανέδειξε εξαιρετικά υψηλό σφάλμα επαναληψιμότητας, το οποίο ξεπερνά το 95%. Αποδίδεται κυρίως στις περιβαλλοντικές συνθήκες της γραμμής πλήρωσης φιαλών, δηλαδή σε υγρασία και ρεύματα αέρα, καθώς και στη φύση του προϊόντος, δηλαδή στις διαφορές στη θερμοκρασία και την μεταβολή του Brix. Επιπλέον, το γεγονός ότι δεν υπάρχει διαδικασία ελέγχου του βάρους των φιαλών, επιβαρύνει με πρόσθετη μεταβλητότητα τις τελικές μετρήσεις. Η διακύμανση του Brix ανάμεσα στις διαφορετικές παρτίδες πρώτης ύλης είναι η βασικότερη αιτία

μεταβλητότητας που προκαλείται από τη φύση του προϊόντος. Επίσης, η μη ομοιογενής θέρμανση του πουρέ, το οποίο αναγνωρίζεται από την ίδια την επιχείρηση, οδηγεί σε διακυμάνσεις του ιξώδους και κατά συνέπεια της μάζας πουρέ που εμφιαλώνεται. Η ογκομετρική μέθοδος πλήρωσης είναι ένα ακόμα ριζικό πρόβλημα διότι, ενώ η ζητούμενη μονάδα μέτρησης είναι το βάρος, το μηχάνημα μετρά σε όγκο. Ακόμα, η αστάθεια της πίεσης στη γραμμή πλήρωσης επιτείνει το πρόβλημα καθώς δεν υπάρχει σύστημα για την καταγραφή και τη σταθεροποίησή της. Τέλος, οι διορθώσεις που γίνονται χειροκίνητα από τους χειριστές, όταν κριθεί απαραίτητο από τις ζυγίσεις, πραγματοποιούνται συντηρητικά και προς το ανώτερο όριο των προδιαγραφών, με αποτέλεσμα την υπερπλήρωση. Οι συνθήκες του περιβάλλοντος της γραμμής παραγωγής – υγρασία, θερμοκρασία, ρεύματα αέρα – επηρεάζουν τόσο το ίδιο το προϊόν όσο και την ακρίβεια του συστήματος μέτρησης. Η παρουσία των υδρατμών, που προκαλούνται από τη θέρμανση του προϊόντος στους 70°C, δημιουργεί μικροκλίμα το οποίο επηρεάζει τον ζυγό.

Ως μη ριζικές κρίθηκαν όλες εκείνες οι αιτίες που σχετίζονται με τμήματα της διαδικασίας που ακολουθούν τυποποίηση, όπως η σειρά προσθήκης πρώτων υλών ή οι ρυθμίσεις του Hot Water Set. Μη ριζικές ήταν επίσης οι αιτίες που σχετίζονται με το προσωπικό, καθώς η μελέτη Gage R&R έδειξε πως δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις βάρδιες. Κατά συνέπεια ο ανθρώπινος παράγοντας δεν ανήκει στις ριζικές αιτίες που προκαλούν τη μεταβλητότητα.

4.4 Φάση βελτίωσης (Improve)

4.4.1 Επικύρωση ριζικών αιτιών και λύσεις (Validation causes and solutions)

Στη φάση της Ανάλυσης προσδιορίστηκαν οι ριζικές αιτίες στις οποίες οφείλεται η μεταβλητότητα στη διαδικασία πλήρωσης φιαλών πουρέ φρούτων. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες αιτίες με τις λύσεις που προτείνονται για την αντιμετώπισή τους.

Κατηγορία	Ριζική αιτία	Προτεινόμενη λύση
Measurements	Σφάλμα επαναληψιμότητας	Εγκατάσταση αυτόματου ζυγού σε προστατευμένο περιβάλλον, διακρίβωση και ρύθμιση των ζυγών
Measurements	Διακύμανση απόβαρου φιάλης PET	Καθιέρωση δειγματοληπτικού ελέγχου φιαλών ανά παρτίδα
Measurements	Μη ομοιογενής θέρμανση	Τοποθέτηση αισθητήρων θερμοκρασίας σε πολλαπλά σημεία της δεξαμενής και σύνδεση με το σύστημα ελέγχου για διασφάλιση ομοιογενούς θέρμανσης του υλικού
Material	Διακύμανση Brix παρτίδας	Εφαρμογή στατιστικού ελέγχου για την παρακολούθηση του Brix και την προσαρμογή των ρυθμίσεων πλήρωσης
Methods	Χειροκίνητες διορθώσεις όγκου	Αντικατάσταση με αυτόματο σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου
Machines	Αστάθεια πίεσης γραμμής	Εγκατάσταση αισθητήρα πίεσης και βαλβίδας ελέγχου για παρακολούθηση και σταθεροποίηση της πίεσης στην κεφαλή πλήρωσης
Machines	Ογκομετρική πλήρωση	Αντικατάσταση με σύστημα πλήρωσης με παράμετρο το βάρος ή ενσωμάτωση ζυγού για πλήρωση βάσει βάρους
Environment	Υγρασία, θερμοκρασία, ρεύματα αέρα	Δημιουργία ελεγχόμενου περιβάλλοντος για τη ζύγιση και προστασία από την υγρασία και τα ρεύματα αέρα

Πίνακας 9: Επικύρωση ριζικών αιτιών και προτεινόμενες λύσεις

Η επιχείρηση επέλεξε να υιοθετήσει αρχικά μια πιο συντηρητική προσέγγιση στις αλλαγές που θα πραγματοποιήσει. Προχώρησε άμεσα σε διακρίβωση εκ νέου των ζυγών και πραγματοποίησε τις απαραίτητες ρυθμίσεις που χρειαζόνταν. Επιπλέον, προχώρησε στην αγορά νέας μονάδας ογκομέτρησης για το γεμιστικό μηχάνημα. Η μονάδα αυτή είναι τελευταίας τεχνολογίας.

4.4.2 Σχεδιασμός πειραμάτων (Design of Experiments)

Παράλληλα με τις αλλαγές και βελτιώσεις σχετικά με τους ζυγούς και την μονάδα ογκομέτρησης, εφαρμόστηκε και η μεθοδολογία του Σχεδιασμού πειραμάτων. Η μεθοδολογία αυτή είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που επιτρέπει να προσδιοριστούν εκείνοι οι παράγοντες που επηρεάζουν μια διαδικασία καθώς και να βρεθεί η καλύτερη δυνατή ρύθμισή τους με τον ελάχιστο αριθμό πειραματικών δοκιμών (Antony et al, 2024).

Για την συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης το πείραμα σχεδιάστηκε με στόχο να διερευνηθεί η επίδραση της ρύθμισης του ογκομετρικού μηχανήματος πλήρωσης των φιαλών στο τελικό περιεχόμενο βάρος. Εφόσον το μηχάνημα χρησιμοποιεί μονάδες μέτρησης όγκου (σε ml), δοκιμάστηκαν επτά διαφορετικές τιμές ρύθμισης, που αντιστοιχούν σε διαφορετικό όγκο. Για κάθε ρύθμιση ζυγίστηκαν 15 διαδοχικές φιάλες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

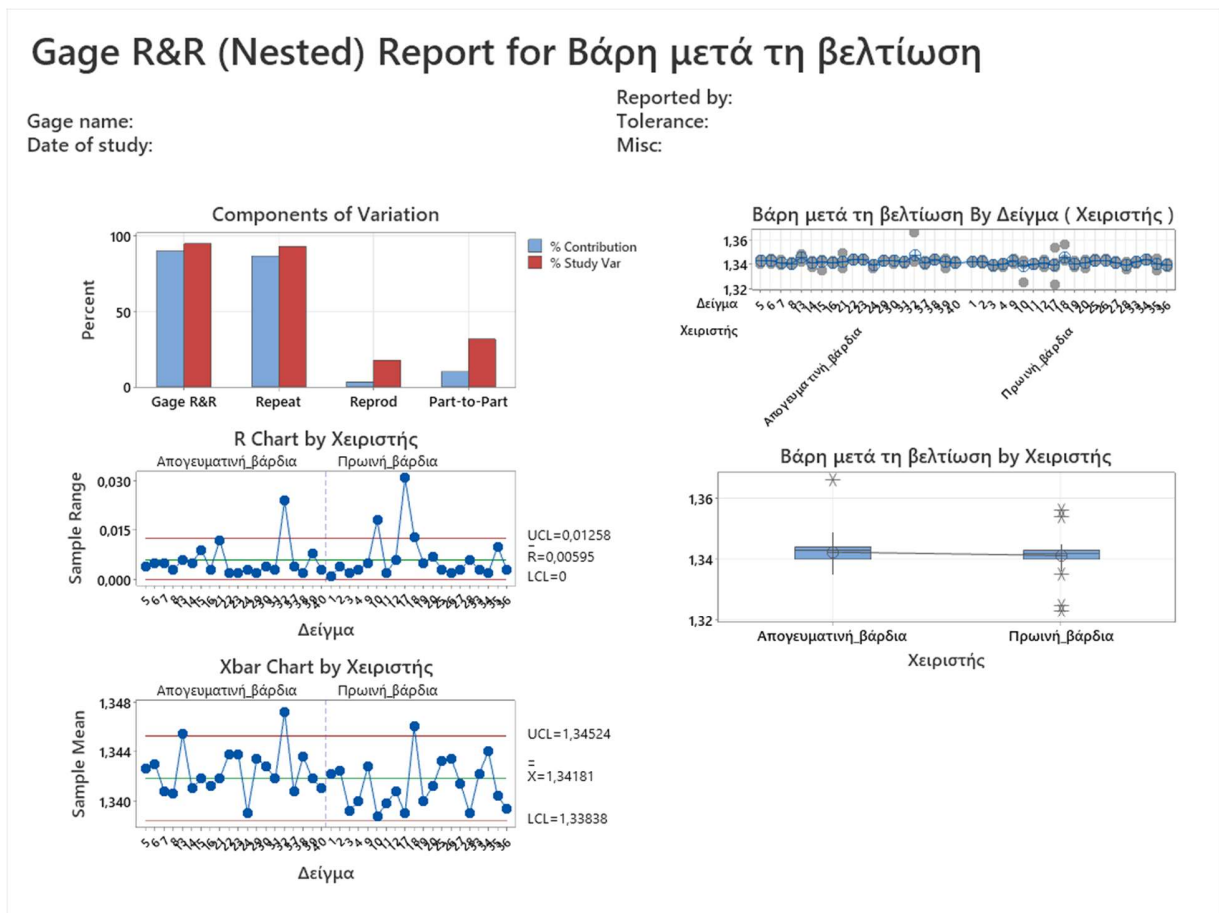
Ρύθμιση	Πλήθος φιαλών	Μέση τιμή (kg)	Τυπική απόκλιση (kg)	CV (%)	Minimum (kg)	Maximum (kg)	Εύρος (kg)
P1	15	1,356	0,0058	0,43	1,347	1,368	0,021
P2	15	1,351	0,0052	0,38	1,342	1,362	0,020
P3	15	1,346	0,0045	0,33	1,337	1,355	0,018
P4	15	1,342	0,0038	0,28	1,335	1,349	0,014
P5	15	1,338	0,0042	0,31	1,329	1,347	0,018
P6	15	1,334	0,0051	0,38	1,324	1,345	0,021
P7	15	1,330	0,0062	0,47	1,319	1,342	0,023

Πίνακας 10: Αποτελέσματα Σχεδιασμού Πειραμάτων

Από τον πίνακα προκύπτει ότι η ρύθμιση P4 είναι εκείνη που παρουσιάζει τη μικρότερη μεταβλητότητα καθώς εμφανίζει τη μικρότερη τυπική απόκλιση και το μικρότερο εύρος τιμών. Θα προτιμηθεί παρά το γεγονός ότι δεν εμφανίζει την πλησιέστερη στο βάρος στόχο μέση τιμή καθώς ο σκοπός είναι η μείωση της μεταβλητότητας. Παρατηρούμε μάλιστα πως οι ρυθμίσεις που

είναι πιο κοντά στον στόχο των 1,331kg παρουσιάζουν τόσο μεγαλύτερη μεταβλητότητα όσο τον πλησιάζουν.

Εκτελείται εκ νέου Gage R&R study για να εξακριβωθεί εάν οι βελτιώσεις δίνουν πιο αξιόπιστα δεδομένα.

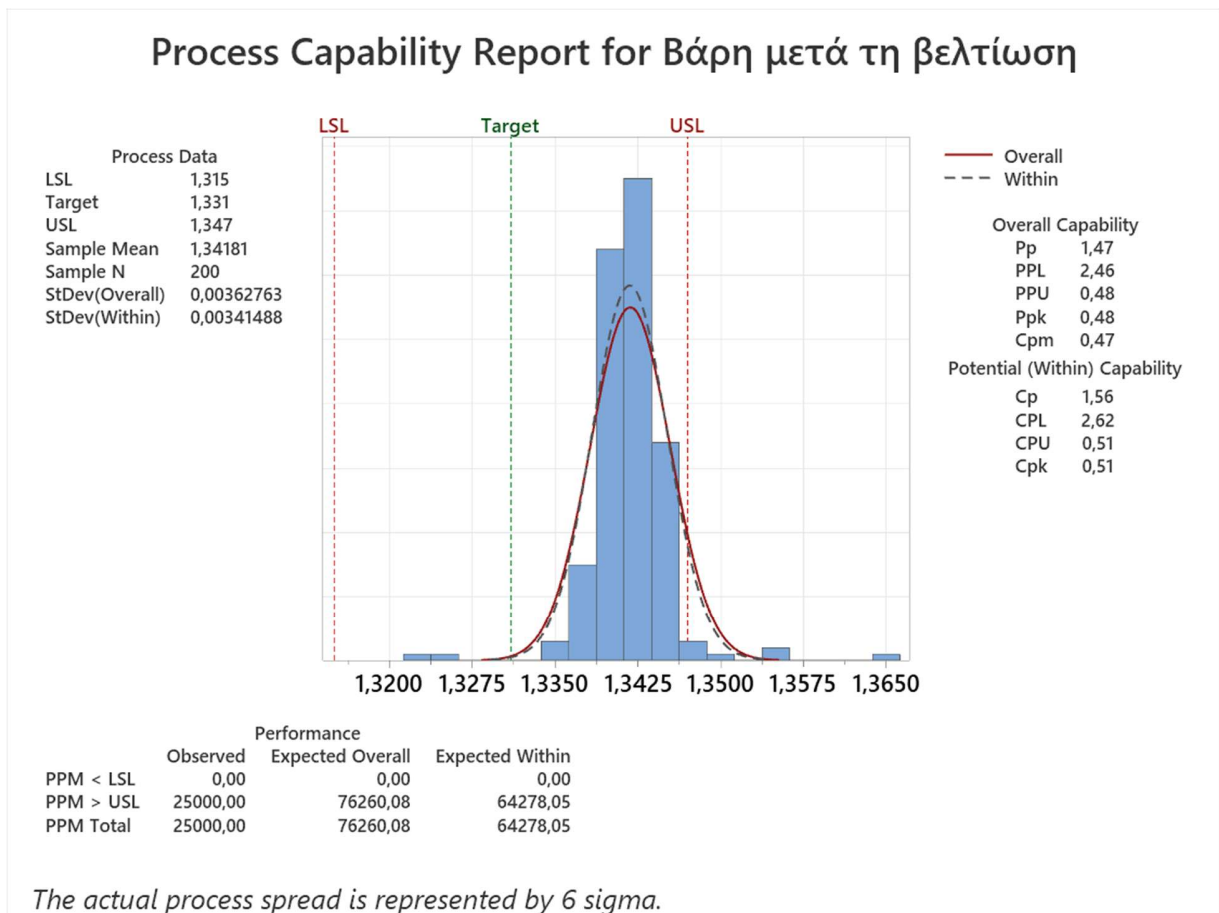


Εικόνα 13: Gage R&R Study (Nested) για τα βάρη μετά τη βελτίωση

Παρά την συντηρητική φύση των αλλαγών η στοχευμένη προσέγγιση της επιχείρησης βελτίωσε την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μέτρησης. Η διακρίβωση εκ νέου των ζυγών εξάλειψε το συστηματικό σφάλμα μειώνοντας το Gage R&R % σε αποδεκτά επίπεδα. Επιπλέον, η νέα μονάδα ογκομέτρησης περιορίσε της μηχανικές αστάθειες της γεμιστικής μηχανής.

4.4.3 Capability analysis report μετά τη βελτίωση

Εκτελούμε την ανάλυση ικανότητας διαδικασίας (capability analysis) για τα δεδομένα μετά την βελτίωση της διαδικασίας.



Εικόνα 14: Process capability report μετά τη βελτίωση

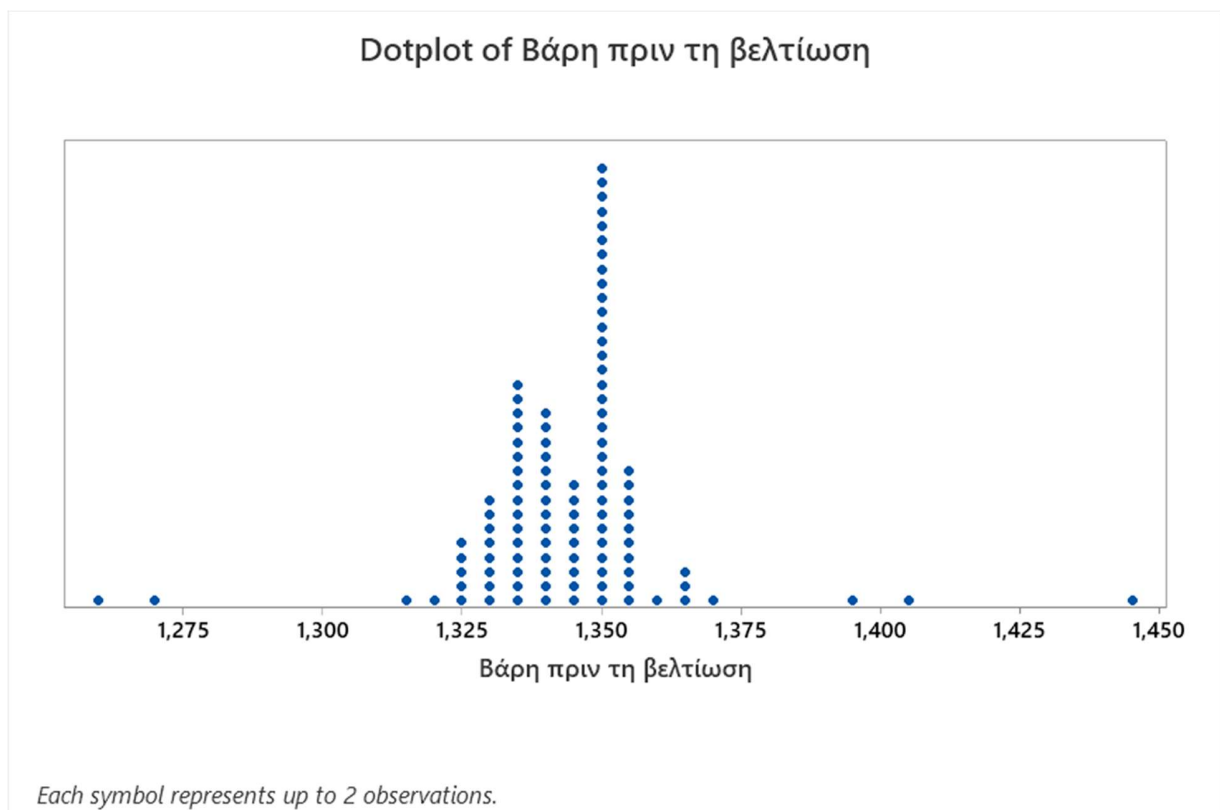
Αν και έχει βελτιωθεί σημαντικά η εικόνα της διαδικασίας, η συνολική της απόδοση παραμένει χαμηλότερη από το επιθυμητό όριο του 1,33 ($P_{pk} = 0,48$). Αντίστοιχα χαμηλή είναι και η δυνητική ικανότητα, που βρίσκεται πλέον στο $C_{pk} = 0,51$. Καθώς το P_p είναι ίσο με 1,47 συμπεραίνουμε ότι εάν ήταν κεντραρισμένη η διαδικασία θα ήταν ικανοποιητική.

Οι δείκτες Pp1 και Cp1 έχουν αντίστοιχα τιμές 2,46 και 2,62, το οποίο σημαίνει ότι η διαδικασία δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα υποπλήρωσης των φιαλών. Ωστόσο, οι δείκτες Ppu και Cpu έχουν τιμές 0,48 και 0,51 αντίστοιχα, το οποίο επιβεβαιώνει το πρόβλημα της επιχείρησης που είναι η υπερπλήρωση.

Το PPM Total έχει μειωθεί στις 76.260,08 από 458.692,88 που ήταν πριν τη βελτίωση. Άρα τα ελαττωματικά προϊόντα ανά εκατομμύριο μειώθηκαν στο 7,6%, το οποίο αποτελεί θεαματική βελτίωση καθώς πριν τις αλλαγές στη διαδικασία ήταν σχεδόν το 50% της παραγωγής.

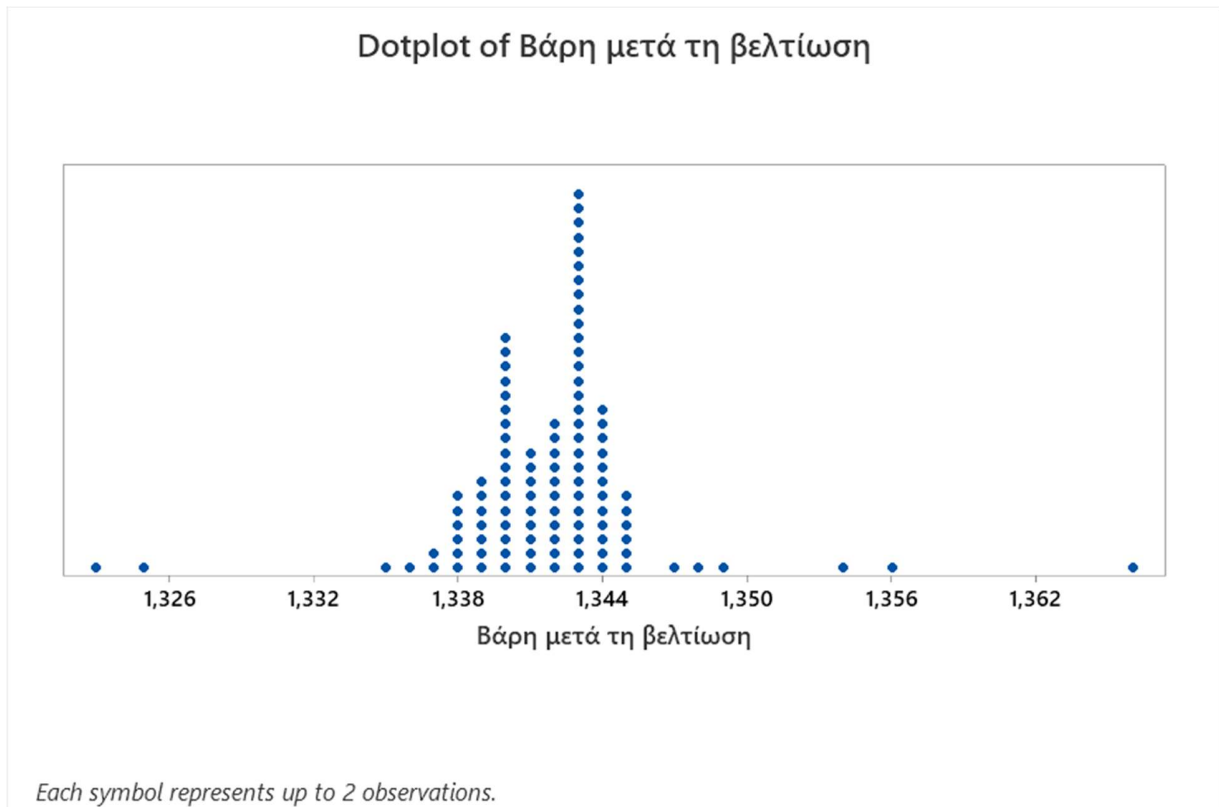
4.4.4 Dotplots και Boxplots πριν και μετά τη βελτίωση

Τα Dotplots αποδίδουν την πραγματική εικόνα των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί πριν και μετά τη βελτίωση της διαδικασίας.



Εικόνα 15: Dotplot πριν τη βελτίωση

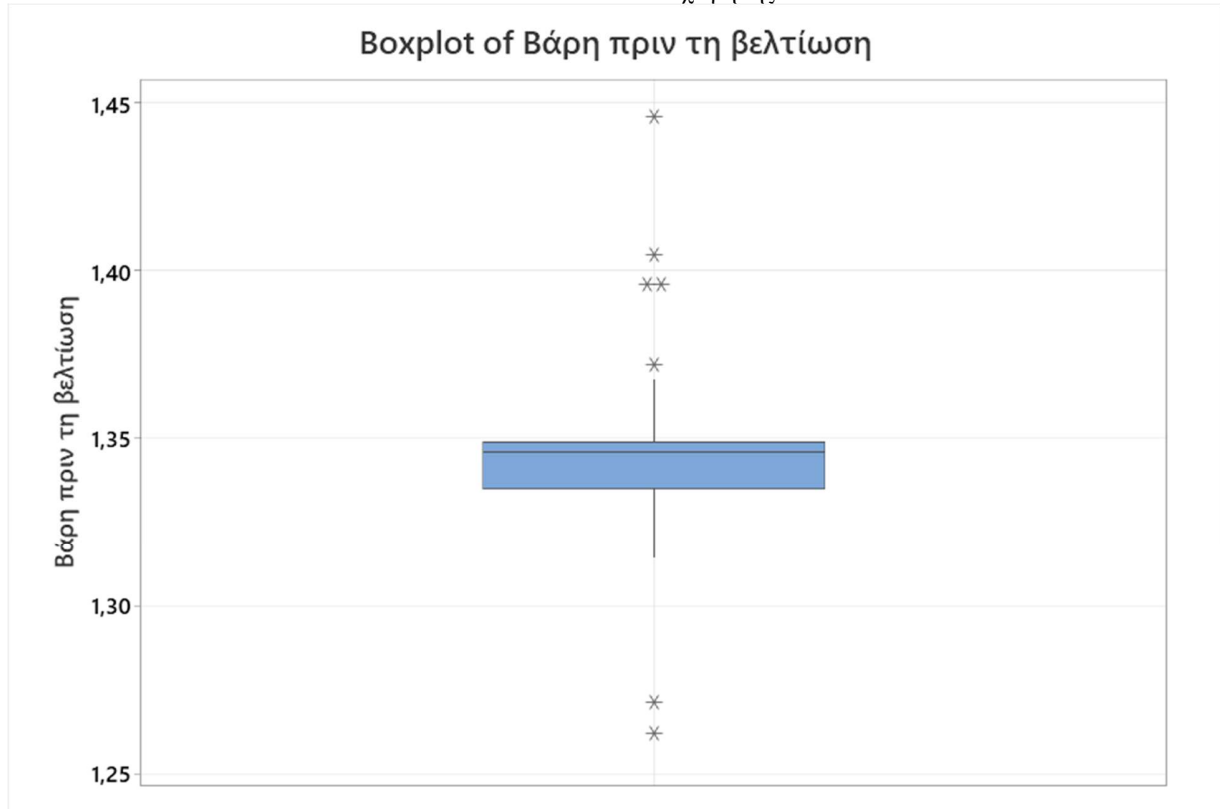
Παρατηρούμε ότι πριν τη βελτίωση ο μεγαλύτερος αριθμός των παρατηρήσεων συγκεντρώνεται γύρω από την τιμή 1,350kg που είναι πολύ υψηλότερη από το βάρος των 1,331kg που είναι ο στόχος της εμφιάλωσης.



Εικόνα 16: Dotplot μετά τη βελτίωση

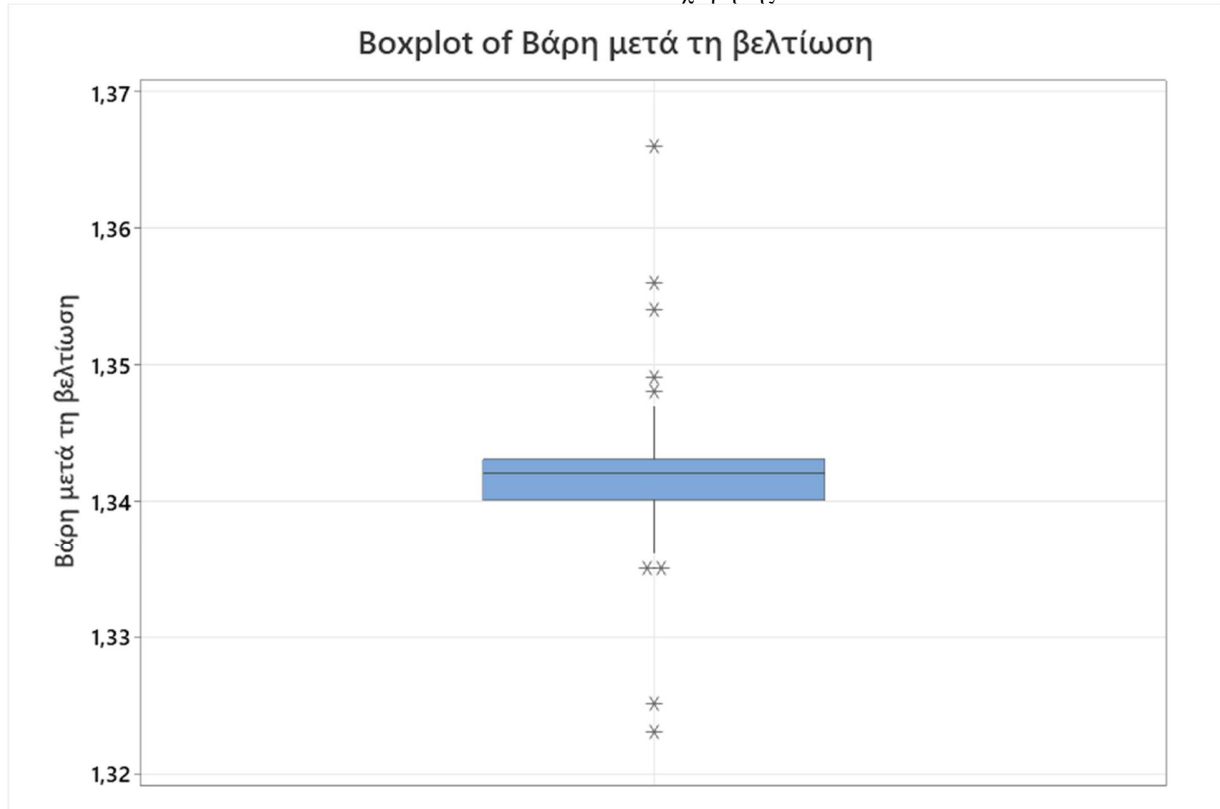
Μετά τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας η βελτίωση είναι σαφής. Τα δεδομένα μετακινήθηκαν μαζικά προς τα αριστερά και πλέον βρίσκονται πιο κοντά στα 1,331kg.

Τα boxplots χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν τη στατιστική δομή των δεδομένων. Από το ακόλουθο boxplots, που αφορά τις τιμές του βάρους των φιαλών πριν τη βελτίωση, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι οι παρατηρήσεις βρίσκονται πολύ υψηλότερα από τα 1,331kg. Αυτό επιβεβαιώνει το συμπέρασμα για συστηματική υπερπλήρωση των φιαλών και την απώλεια πρώτων υλών για την επιχείρηση.



Εικόνα 17: Boxplot πριν τη βελτίωση

Η διόρθωση στην παραγωγική διαδικασία επέφερε βελτίωση και στο boxplot που αφορά τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μετά. Το κουτί μετακινήθηκε προς τα κάτω, άρα η διάμεσος των νέων βαρών είναι πιο κοντά στο βάρος στόχο, ενώ ταυτόχρονα μειώθηκε και το μήκος του, που σημαίνει ότι μειώθηκε η διασπορά. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι δεν μειώθηκε ο αριθμός των outliers και για αυτό θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω οι αιτίες απόκλισης.

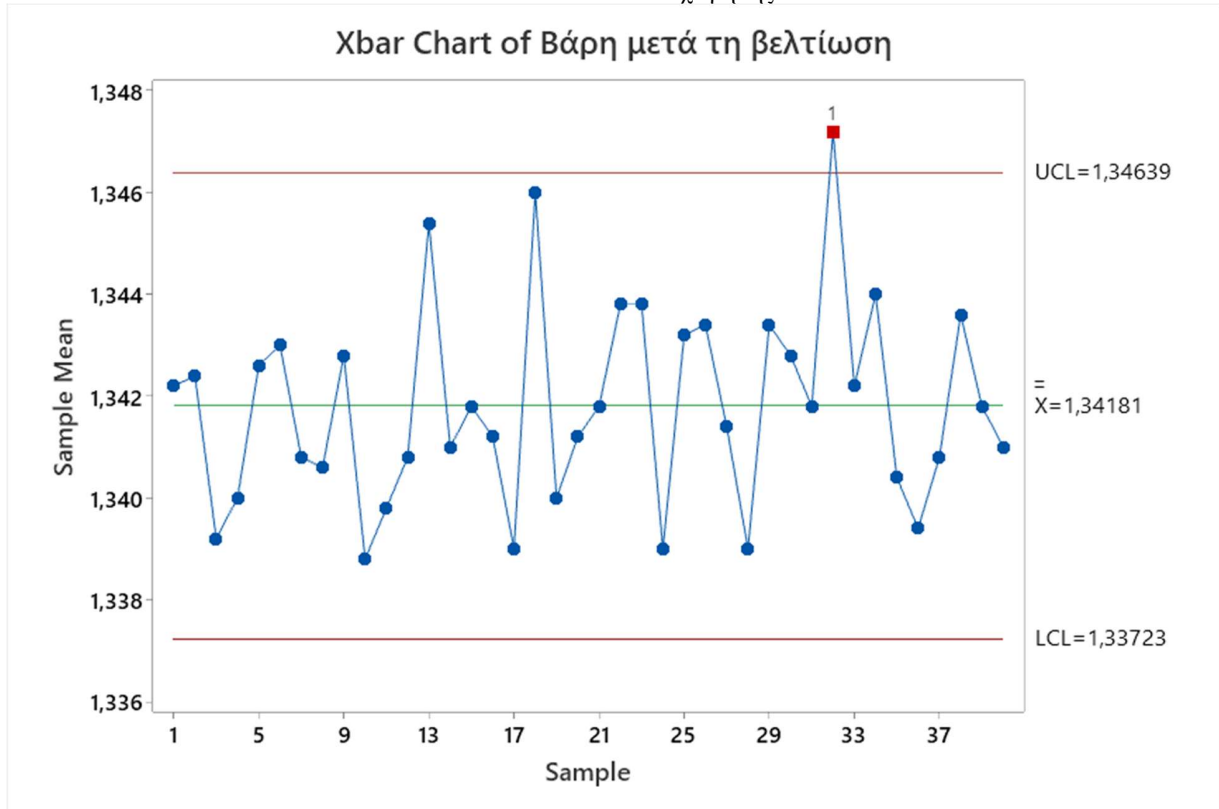


Εικόνα 18: Boxplot μετά τη βελτίωση

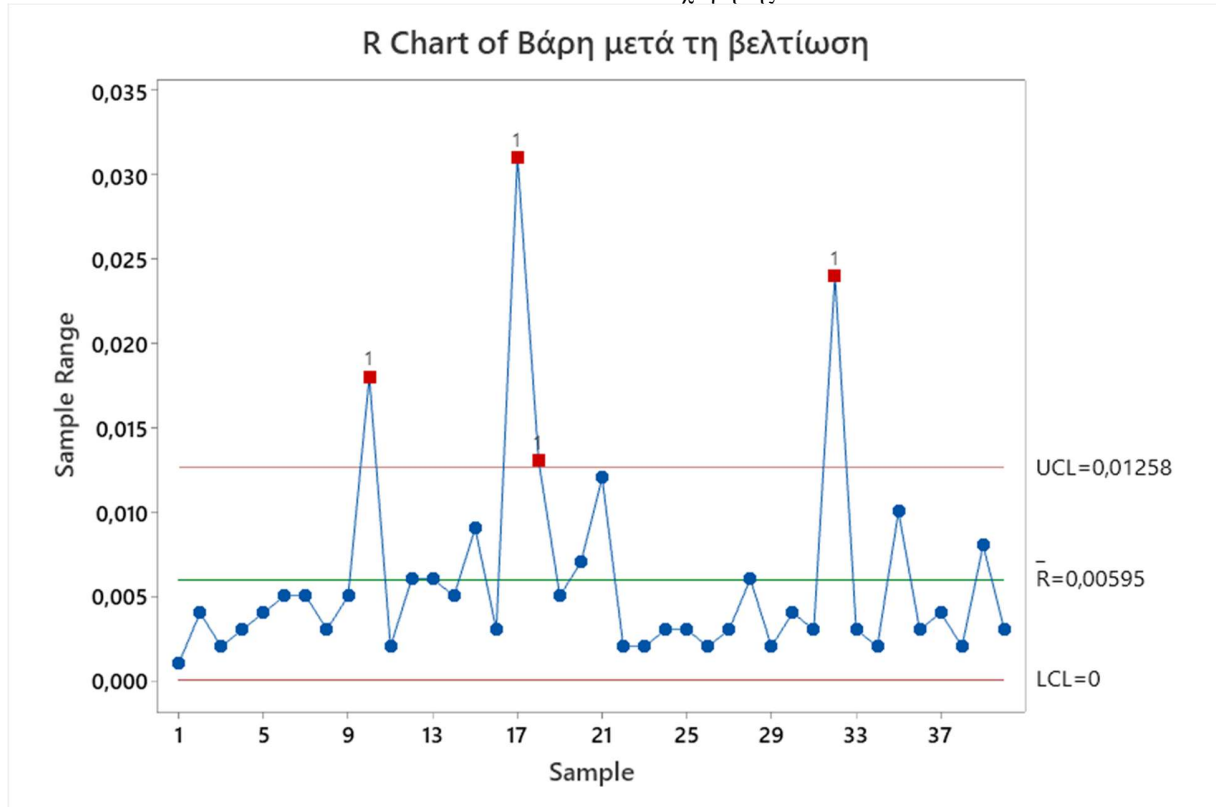
4.5 Φάση ελέγχου (Control)

4.5.1 Διαγράμματα ελέγχου μετά την βελτίωση

Με τη χρήση του Minitab κατασκευάστηκαν εκ νέου τα διαγράμματα ελέγχου (control charts) για τα βάρη των φιαλών πουρέ φρούτων. Η βελτίωση είναι εμφανής καθώς στο X bar chart μόνο μία τιμή βρίσκεται πάνω από ανώτερο αποδεκτό όριο ενώ δεν υπάρχουν τιμές μικρότερες από το κατώτερο αποδεκτό όριο.



Εικόνα 19: X bar chart μετά τη βελτίωση



Εικόνα 20: R chart μετά τη βελτίωση

Παρά την βελτίωση υπάρχουν, όπως προκύπτει από το R chart, υποομάδες που βρίσκονται πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο. Αυτό σημαίνει πως η διασπορά ενώ βελτιώθηκε δεν έχει ακόμα μειωθεί στα επιθυμητά επίπεδα. Για το γεγονός αυτό θα πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση των αιτιών και να ληφθούν πρόσθετα διορθωτικά μέτρα.

4.5.2 Σχέδιο Ελέγχου

Για να διασφαλιστεί ότι οι βελτιώσεις που προέκυψαν θα είναι μόνιμες, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα σχέδιο τακτικού ελέγχου της διαδικασίας. Καταρχάς, η ρύθμιση που προέκυψε από τον Σχεδιασμό πειραμάτων (DoE) θα πρέπει πλέον να είναι η βασική λειτουργία της γραμμής παραγωγής. Αυτή η ρύθμιση θα παραμείνει ενεργή μέχρι να πραγματοποιηθούν περαιτέρω

βελτιωτικές κινήσεις και να γίνει εκ νέου Σχεδιασμός πειραμάτων για την εξεύρεση νέας βέλτιστης ρύθμισης της μηχανής.

Επιπλέον, θα πρέπει να καθιερωθεί συγκεκριμένη διαδικασία για την αντιμετώπιση των αποκλίσεων. Σε περίπτωση που εμφανιστούν βάρη εκτός των ορίων ελέγχου τότε η παραγωγή θα πρέπει να σταματήσει άμεσα και να ελεγχθεί η ρύθμιση του μηχανήματος. Η παραγωγή θα εκκινήσει μόνο εάν το ρυθμισμένο μηχάνημα παράξει δείγμα εντός των προδιαγραφών.

Η επιχείρηση θα πρέπει να διασφαλίζει σε τακτά διαστήματα την ακρίβεια των ζυγών και να παρακολουθεί τους δείκτες C_{pk} , P_{pk} και PPM ώστε να αξιολογείται συνεχώς η διαδικασία για να μην βγει πάλι εκτός ελέγχου.

4.6 Αξιολόγηση της απόδοσης και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής

Από την ανάλυση των μετρήσεων που προηγήθηκε καθίσταται σαφές ότι η γραμμής παραγωγής της επιχείρησης παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα. Η γραμμή βάσης (baseline) που ορίστηκε στην αρχή δείχνει πως δεν εμφανίζονται απλά μικρές αποκλίσεις από τον στόχο αλλά ολόκληρη η διαδικασία είναι εκτός κέντρου και εκτός ελέγχου.

Η απουσία ελέγχου έγινε σαφής από τα \bar{X} και R διαγράμματα, όπου όλη η παραγωγή είναι μετατοπισμένη προς τα υψηλότερα βάρη πλήρωσης. Είναι φανερό ότι το μηχάνημα πλήρωσης των φιαλών δυσκολεύεται να επιτύχει το σωστό βάρος στις φιάλες ενώ επίσης η ανάλυση δείχνει ότι η διακύμανση οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες και για τον λόγο αυτό είναι απρόβλεπτη. Εάν το μηχάνημα δεν επηρεαζόταν από αυτούς τους παράγοντες θα κατόρθωνε να γεμίζει παρουσιάζοντας φυσιολογική διακύμανση και τα βάρη θα βρίσκονταν εντός των ορίων.

Ο δείκτης P_{pk} , ο οποίος είναι ίσος με 0,07, είναι πάρα πολύ χαμηλός και σχηματίζει μια καθόλου ευνοϊκή εικόνα για την ικανότητα της διαδικασίας. Ενώ ο αποδεκτός στόχος για τις βιομηχανικές διαδικασίες ορίζεται στο 1,33, ο δείκτης που προέκυψε από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων των βαρών απέχει πάρα πολύ από το να θεωρηθεί έστω αποδεκτός. Πρακτικά αυτό

σημαίνει ότι η παραγωγή εκτείνεται σε πολύ μεγαλύτερο εύρος από αυτό που είναι αποδεκτό από τις προδιαγραφές του προϊόντος. Μάλιστα το σχεδόν 50% PPM ελαττωματικών προϊόντων καταδεικνύει πως όταν σχεδόν μία στις δύο φιάλες που παράγονται είναι εκτός προδιαγραφών, το κόστος που καλείται να επωμιστεί η επιχείρηση είναι τεράστιο.

Από το ιστόγραμμα ξεχωρίζει πού οφείλεται το επιπλέον κόστος της επιχείρησης. Είναι φανερό από το σχήμα ότι όλη η παραγωγή είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά. Αυτό συνεπάγεται πως οι φιάλες περιέχουν περισσότερο προϊόν πουρέ από αυτό που προβλέπεται από τις προδιαγραφές. Με μέση τιμή στα 1,34375kg ενώ το άνω όριο είναι 1,347kg η επιχείρηση ουσιαστικά χαρίζει σε κάθε φιάλη προϊόν πουρέ. Το συστηματικό αυτό give – away προϊόντος λόγω της μη κεντραρισμένης διαδικασίας φέρνει οικονομικά την επιχείρηση σε δύσκολη θέση καθώς έχει αντίκρισμα στην κερδοφορία της.

Συνολικά, η αξιολόγηση που προηγήθηκε δείχνει ότι η γραμμή παραγωγής λειτουργεί οριακά, το οποίο σημαίνει ότι είναι θέμα χρόνου μέχρι το δωρεάν προϊόν που δίνει να απειλήσει άμεσα τη βιωσιμότητά της. Ωστόσο, ο στόχος της μεθοδολογίας Six Sigma δεν είναι μόνο να ελέγξει την ικανότητα της διαδικασίας αλλά να προσδιορίσει και τους λόγους των αποκλίσεων ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα που θα βελτιώσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής και θα θωρακίσουν την μελλοντική λειτουργία της επιχείρησης.

4.7 Προτάσεις βελτίωσης και στρατηγικές εξόδου από τη φάση DMAIC

Μετά τα στάδια της Μέτρησης και της Ανάλυσης όπου καθορίζονται τα προβλήματα και εντοπίζονται οι αιτίες τους, η μεθοδολογία Six Sigma συνεχίζει με τα στάδια της Βελτίωσης (Improve) και του Ελέγχου (Control). Στην φάση αυτή η μεθοδολογία προσπαθεί να βρει τις λύσεις που θα απευθύνονται ακριβώς στις ριζικές αιτίες που έχουν ήδη εντοπιστεί. Η έξοδος από τη μεθοδολογία απαιτεί την ύπαρξη ενός μακροπρόθεσμου πλάνου που θα μετατρέψει τη στατιστική ανάλυση σε γνώση και πράξη για την επιχείρηση.

Οι βελτιώσεις που πρέπει να πραγματοποιήσει η επιχείρηση πρέπει να ξεκινήσουν από την αντιμετώπιση της υπερπλήρωσης των φιαλών και την μείωση της ζημιάς. Η μελέτη των δεδομένων

κατέδειξε ότι η γραμμή παραγωγής στην ουσία χαρίζει προϊόν επειδή η ρύθμιση του μηχανήματος είναι πολύ υψηλά. Συνεπώς, θα πρέπει να γίνει εκ νέου ρύθμιση της μηχανής και ορισμός του στόχου στα 1,331kg. Επιπλέον, θα πρέπει να ενισχυθεί το σύστημα ελέγχου, δηλαδή η ζύγιση. Η επιχείρηση θα πρέπει να επενδύσει σε έναν αυτόματο ζυγό ακριβείας που θα ελέγχει το βάρος της κάθε φιάλης και θα στέλνει την πληροφορία στη μηχανή πλήρωσης των φιαλών. Έτσι, εάν υπάρχει απόκλιση η μηχανή πλήρωσης θα διορθώνει μόνη της τον όγκο σε πραγματικό χρόνο. Αυτό θα αφαιρέσει από τη διαδικασία τις χειροκίνητες ρυθμίσεις που εκ των πραγμάτων χρειάζονται περισσότερο χρόνο και ενδέχεται να προκαλέσουν λάθη στη διαδικασία.

Προκειμένου να μην επιστρέψει η παραγωγική διαδικασία στην προηγούμενη κατάσταση είναι σημαντικό να καθιερωθεί Στατιστικός Έλεγχος της Διαδικασίας. Θα πρέπει ο κάθε ζυγός να συνδεθεί με το αντίστοιχο λογισμικό που θα συλλέγει τα δεδομένα των μετρήσεων και θα τα παρουσιάζει σε ένα διάγραμμα. Η δημιουργία των ψηφιακών διαγραμμάτων ελέγχου θα επιτρέπουν στους χειριστές να διαπιστώνουν εάν υπάρχουν τάσεις που ενδέχεται να καταλήξουν σε αποκλίσεις.

Τέλος, δεν πρέπει η επιχείρηση να παραβλέψει την διακύμανση που οφείλεται στο σύστημα ζύγισης. Για τον λόγο αυτό απαιτείται τακτικός έλεγχος και βαθμονόμηση των ζυγών ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των μετρήσεων με βάση τις οποίες θα γίνονται οι διορθώσεις.

4.8 Συνεισφορά της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία συμβάλει στην εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma και του πλαισίου DMAIC σε έναν τομέα που παρουσιάζει πολλές ιδιαιτερότητες, όπως αυτός της συσκευασίας πουρέ φρούτων. Η συμβολή διακρίνεται τόσο στο θεωρητικό όσο και στο πρακτικό επίπεδο.

Θεωρητικά, η έρευνα προωθεί τη συστηματική εφαρμογή της μεθοδολογίας σε έναν κλάδο που δεν έχει εφαρμοστεί ξανά σε αυτό το μέγεθος. Αναδεικνύει τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει ο πουρές φρούτων λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών του, όπως το ιξώδες και το Brix, τα οποία αυξάνουν τη μεταβλητότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον, η έρευνα μέσω της μελέτης

Gage R&R ανέδειξε τη μεγάλη σημασία που έχει το σύστημα μέτρησης. Η βιομηχανία τροφίμων έχει ανάγκη από διαδικασίες που χαρακτηρίζονται από επαναληψιμότητα και αναπαραγωγιμότητα ενώ επηρεάζονται άμεσα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις πρώτες ύλες. Κατά συνέπεια, κάθε έργο βελτίωσης στον κλάδο θα πρέπει να ξεκινά από την ανάλυση του συστήματος μέτρησης. Τέλος, γίνεται σύνδεση των δεικτών της ανάλυσης ικανότητας διαδικασίας με την υπερπλήρωση των προϊόντων. Με τον τρόπο αυτό τεκμηριώνεται η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ποιότητα της διαδικασίας και την οικονομική κατάσταση της επιχείρησης. Από την έρευνα έγινε σαφές ότι η βελτίωση της ποιότητας της παραγωγικής διαδικασίας έχει άμεσο οικονομικό όφελος.

Σε πρακτικό επίπεδο η παρούσα εργασία προσέφερε χρήσιμα συμπεράσματα και λύσεις για την επιχείρηση που εξετάστηκε. Με την στατιστική ανάλυση προέκυψαν οι ριζικές αιτίες για τις αποκλίσεις, όπως το σφάλμα επαναληψιμότητας και οι χειροκίνητες ρυθμίσεις προς το ανώτερο όριο των προδιαγραφών. Ακόμα προτάθηκαν, με βάση την ανάλυση αυτή, συγκεκριμένες παρεμβάσεις, που σε συνδυασμό με τις διορθωτικές κινήσεις που ήδη έγιναν θα επιφέρουν μεγαλύτερες βελτιώσεις. Η αποδοτικότητα της εφαρμογής της μεθοδολογίας Six Sigma επιβεβαιώθηκε από την ανάλυση των δεδομένων μετά από την διακρίβωση και ρύθμιση των ζυγών και την εγκατάσταση της νέας μονάδας ογκομέτρησης τελευταίας τεχνολογίας στο γεμιστικό μηχάνημα. Οι δείκτες που υπολογίστηκαν τεκμηρίωσαν ποσοτικά τις βελτιώσεις. Σημαντικό όφελος για την επιχείρηση από την παρούσα διπλωματική εργασία είναι η δημιουργία κουλτούρας συνεχούς βελτίωσης. Τα στοιχεία που προέκυψαν έκαναν σαφές ότι οι αποφάσεις οφείλουν να βασίζονται σε δεδομένα και πως η επίλυση των προβλημάτων στη διαχείριση ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιήσουν εργαλεία, όπως η μεθοδολογία Six Sigma. Τέλος, οι βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ήδη έχουν οικονομικό αντίκτυπο για την επιχείρηση αφού μείωσαν σημαντικά τα give away προϊόντος. Η συστηματική υπερπλήρωση περιορίστηκε με οφέλη σε πρώτες ύλες, οι οποίες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους παραγωγής της επιχείρησης.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της μεθόδου

Η μεθοδολογία Six Sigma χρησιμοποιείται ολοένα και πιο συχνά από τις επιχειρήσεις που θέλουν να εντοπίσουν και να διορθώσουν τα σφάλματα στην παραγωγική τους διαδικασία. Ο κλάδος των τροφίμων παρουσιάζει ιδιαιτερότητες λόγω της φύσης των πρώτων υλών, που παρουσιάζουν μοναδικά χαρακτηριστικά και αυστηρές απαιτήσεις για ποιότητα και ασφάλεια. Δεν μπορεί να εξομοιωθεί για παράδειγμα με τη βαριά βιομηχανία ή με την παραγωγή αντικειμένων με σταθερά φυσικά χαρακτηριστικά. Η παρούσα μελέτη ανέδειξε την πολυπαραγοντική φύση των αιτιών που μπορούν να προκαλέσουν αποκλίσεις από την παραγωγή. Για τον λόγο αυτό απαιτείται μια ολιστική προσέγγιση για να μειωθούν η μεταβλητότητα και η σπατάλη των πρώτων υλών και να διευκολυνθεί η στατιστική ανάλυση των δεδομένων (Message Costa et al, 2021).

Πριν ακόμα ξεκινήσει η διαδικασία εφαρμογής των βημάτων της μεθοδολογίας Six Sigma αναδείχθηκε το ιδιαίτερα κρίσιμο ζήτημα της αξιοπιστίας των μετρήσεων. Η αποτυχία της μελέτης Gage R&R έδειξε ότι ένα μέρος της μεταβλητότητας δεν οφειλόταν στις αποκλίσεις του προϊόντος αλλά στην προβληματική μέτρηση. Στις βασικές έννοιες της Measurement System Analysis ανήκουν η διακριτική ικανότητα του οργάνου, η σταθερότητα του συστήματος μέτρησης, η μεροληψία του συστήματος, η γραμμικότητα, η επαναληψιμότητα και η αναπαραγωγιμότητα. Η παρούσα έρευνα έδειξε πως ενώ η αναπαραγωγιμότητα ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική, καθώς δεν υπήρχε διακύμανση λόγω της αλλαγής της βάρδιας, η επαναληψιμότητα ήταν σε ποσοστό 95% με αποδεκτό όριο μικρότερο του 10%. Συνεπώς, ο «θόρυβος» που προκαλούσε το σύστημα μέτρησης ήταν πολύ μεγάλος. Για την παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε ενοικιαζόμενος πρότυπος ζυγός ακριβείας ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα της μέτρησης. Ωστόσο, έγινε σαφές ότι ο «θόρυβος» της μέτρησης δεν οφείλεται μόνο στα όργανα μέτρησης αλλά και σε εξωτερικούς παράγοντες. Η μέτρηση είναι το πρώτο σημείο που θα πρέπει να διορθωθεί καθώς οποιαδήποτε διορθωτική κίνηση που βασίζεται σε λάθος μετρήσεις εκ των πραγμάτων θα έχει μικρές πιθανότητες επιτυχίας (Wheeler & Lyday, 1989).

Ο δείκτης ικανότητας διαδικασίας P_{pk} δείχνει την πραγματική απόδοση της γραμμής παραγωγής. Ένας δείκτης πάνω από 1,33 θεωρεί την διαδικασία ικανή και αποτελεί τον στόχο για τις περισσότερες βιομηχανίες. Πάνω από 1,67 η διαδικασία είναι ιδανική και ο στόχος αυτός απασχολεί μόνο βιομηχανίες με υψηλές απαιτήσεις ασφαλείας. Με P_{pk} ίσο με 1 η διαδικασία είναι οριακή ενώ για τιμές μικρότερες του 1 η διαδικασία καταχωρείται ως ανίκανη (Montgomery & Woodall, 2008). Η τιμή P_{pk} στην παρούσα παραγωγική διαδικασία είναι εξαιρετικά ανησυχητική. Το προϊόν παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω της φύσης της πρώτης ύλης που εμφανίζει αστάθεια λόγω παραγόντων όπως το Brix ή το ιξώδες. Εξαιτίας αυτού η βιομηχανία τροφίμων είναι λίγο πιο ελαστική στις απαιτήσεις της αναφορικά με τον δείκτη ικανότητας της διαδικασίας (Sukar & Weddig, 2007). Ωστόσο, η πολύ χαμηλή τιμή του δείκτη στην οποία κατέληξε η παρούσα μελέτη υπερβαίνει κάθε όριο εξαντλώντας όλη την ελαστικότητα που δείχνει η βιομηχανία τροφίμων. Ακόμα και αφαιρώντας τον «θόρυβο» που έχει προκληθεί από το σύστημα μέτρησης, με την συγκεκριμένη τιμή η διαδικασία δεν έχει τη δυνατότητα να ανταποκριθεί στις προδιαγραφές που έχουν τεθεί για το προϊόν (Pzydek & Keller, 2014). Παρά το γεγονός ότι η επιχείρηση είναι ασφαλής όπως φαίνεται από φαινόμενα υποπλήρωσης των φιαλών, που θα την εξέθετε σε νομικούς κινδύνους, είναι σαφές ότι η συστηματική παραγωγή ελαττωματικών υπερπληρωμένων φιαλών είναι ο κανόνας στη λειτουργία της.

Η συντηρητική προσέγγιση της διαδικασίας πλήρωσης με ορισμό του στόχου πάνω από το επιθυμητό βάρος των 1,331kg δείχνει πως το σύστημα αδυνατεί να απορροφήσει τις φυσικές μεταβολές του πουρέ φρούτων και να προσαρμόσει ανάλογα τη λειτουργία και γι' αυτό η ρύθμιση στην πλήρωση βρίσκεται πολύ κοντά στο άνω όριο των προδιαγραφών. Ενώ με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται, όπως αναφέραμε, οι νομικές κυρώσεις που προβλέπονται για ελλιποβαρή προϊόντα από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την εθνική νομοθεσία, οι οικονομικές απώλειες για την επιχείρηση είναι τεράστιες. Με στόχο 1,331kg αλλά μέση τιμή 1,343kg η επιχείρηση προσφέρει ανά φιάλη το 0,9% του προϊόντος δωρεάν. Το νούμερο αυτό μπορεί να φαίνεται μικρό αλλά στη βιομηχανία τροφίμων αποτελεί τεράστια σπατάλη πόρων. Αν υποθέσουμε ότι παράγει 1.000.000 φιάλες πουρέ ανά έτος, τότε με 0,9% επιπλέον προϊόν ανά φιάλη χαρίζει ουσιαστικά 9.000 φιάλες πουρέ φρούτων, δηλαδή περίπου 12 τόνους προϊόντος.

Το χαμένο προϊόν έχει άμεση επίδραση στο κόστος πωληθέντων της επιχείρησης. Το κόστος πωληθέντων (Cost of Goods Sold - COGS) είναι ίσο με το αρχικό απόθεμα συν τις αγορές μείον το τελικό απόθεμα της επιχείρησης. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στη βιομηχανία τροφίμων το μεγαλύτερο ποσοστό από το συνολικό κόστος της επιχείρησης οφείλεται στις πρώτες ύλες. Συνεπώς, η απώλεια πρώτων υλών μέσω give – away αμέσως αυξάνει το COGS αφού μειώνει το απόθεμα. Κατ' επέκταση μειώνεται αντίστοιχα το μικτό περιθώριο κέρδους της επιχείρησης (Gross Profit Margin), το οποίο επιβάλλει την άμεση μείωση της σπατάλης για την βελτίωση των συγκεκριμένων οικονομικών δεικτών (Dimitrantzou et al, 2024).

Η ανάλυση στην παρούσα εργασία έδειξε ότι η μεθοδολογία Six Sigma βοηθά την επιχείρηση να περάσει από την εμπειρική διοίκηση της παραγωγής σε data – driven διοίκηση. Σε μια επιχείρηση που δραστηριοποιείται στον κλάδο των τροφίμων είναι σημαντικό όχι μόνο να συμμορφώνονται οι διαδικασίες με τα πρότυπα ασφαλείας αλλά και να διατηρείται ελεγχόμενη η μεταβλητότητα της παραγωγής (Antony et al, 2017). Στην συγκεκριμένη περίπτωση χωρίς την στατιστική γνώση και τη συνολική εικόνα που προσφέρει το πλαίσιο του DMAIC οι διορθωτικές κινήσεις της διοίκησης θα ήταν αποσπασματικές και χωρίς εγγύηση για ουσιαστικές αλλαγές. Το συμπέρασμα της ανάλυσης για την ριζική αιτία της μεταβλητότητας δείχνει συνέργεια ανάμεσα στην ογκομετρική μέθοδο πλήρωσης των φιαλών και τα φυσικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, που συνεπάγεται την ανάγκη για επίλυση του προβλήματος σε πολλαπλά μέτωπα.

5.2 Προτάσεις για την επιχείρηση και τη βιομηχανία

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της παρούσας έρευνας για την επιχείρηση της μελέτης περίπτωσης οδηγούν σε γενικότερες προτάσεις για την επιχείρηση, όχι μόνο για την έξοδο από τη φάση DMAIC αλλά γενικά για τη λειτουργία της σε βάθος χρόνου.

Αρχικά η επιχείρηση πρέπει να αναθεωρήσει ολόκληρη τη μέθοδο για Measurement System Analysis. Οι ζυγοί θα πρέπει να βαθμονομούνται και να επαληθεύονται οι μετρήσεις σε χρονοδιάγραμμα που θα τηρείται αυστηρά. Αυτό είναι το πρώτο βήμα για την εξάλειψη του «θορύβου» που προκαλείται από το σύστημα μέτρησης. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να ελεγχθεί το

περιβάλλον στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις έτσι ώστε ο εξωτερικός χώρος να μην επηρεάζει τα αποτελέσματα. Έτσι, η επιχείρηση θα μπορεί να διασφαλίσει την αξιοπιστία των μετρήσεων και να διατηρεί το αποτέλεσμα της μελέτης Gage R&R να διατηρείται μικρότερο του 10%.

Επιπλέον, θα πρέπει να αντικατασταθούν όλες οι χειρόγραφες καταγραφές της απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας με λογισμικό που θα παρακολουθεί τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η εργασία των χειριστών πρέπει να είναι όχι η εισαγωγή δεδομένων αλλά η παρακολούθηση σε οθόνες των ψηφιακών διαγραμμάτων ελέγχου. Έτσι, θα εντοπίζουν άμεσα τάσεις για υπερπλήρωση ή υποπλήρωση στην παραγωγή και θα κάνουν τα βήματα για τις απαραίτητες διορθώσεις χωρίς να χάνεται πολύτιμος χρόνος.

Είναι πολύ σημαντικό να επενδύσει η επιχείρηση σε ένα αυτόματο σύστημα το οποίο θα συνδέει τον ζυγό στο τέλος της γραμμής παραγωγής με την κεφαλή πλήρωσης. Ο ζυγός θα στέλνει δεδομένα στην κεφαλή, οπότε εάν εμφανίζονται αποκλίσεις η κεφαλή θα κάνει τις κατάλληλες διορθώσεις. Ουσιαστικά πρόκειται για δικλείδα ασφαλείας που εξαλείφει το ανθρώπινο σφάλμα από τη χειροκίνητη ρύθμιση της κεφαλής.

Οι προτάσεις για την επιχείρηση μπορούν να εφαρμοστούν γενικά στη βιομηχανία του κλάδου παραγωγής συσκευασμένων τροφίμων. Η βιομηχανία πρέπει να κάνει το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των διαδικασιών της και να υιοθετήσει το IoT στις γραμμές παραγωγής της. Η ψηφιοποίηση και ο συνεχής έλεγχος προσφέρει τη δυνατότητα της εποπτικής παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο όλων εκείνων των παραμέτρων που λανθάνουν της ανθρώπινης προσοχής όταν το σύστημα λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες παραγωγής.

Ο κλάδος θα πρέπει να υιοθετήσει τη μεθοδολογία Six Sigma ως πρότυπο ποιότητας και βελτιστοποίησης και όχι μόνο ως εργαλείο εύρεσης προβλημάτων. Με τον τρόπο αυτό δεν θα περιορίζεται στην εφαρμογή των συστημάτων ασφαλείας HACCP/ISO αλλά θα προσπαθεί ενεργά να μειώσει το λειτουργικό κόστος και την σπατάλη των πρώτων υλών χωρίς να κάνει συμβιβασμούς στην ποιότητα.

Ένα σημαντικό βήμα για τον περιορισμό της μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών θα ήταν η τυποποίηση από την πηγή. Η συνεργασία μεταξύ της βιομηχανίας και των

παραγωγών μπορεί να μειώσει τη διακύμανση που παρουσιάζεται στα τρόφιμα πριν ακόμα ξεκινήσει η επεξεργασία τους στη γραμμή παραγωγής. Αυτή η κίνηση θα βελτιώσει κατ' επέκταση και την ποιότητα του τελικού προϊόντος αφού θα υπάρχει εξαρχής έλεγχος για ελαττωματικές πρώτες ύλες.

Η μείωση της σπατάλης πρώτων υλών στον κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων δεν είναι μόνο ένας τρόπος μείωσης του λειτουργικού κόστους αλλά έχει άμεσο αντίκτυπο στη βιώσιμη λειτουργία του. Η εξοικονόμηση τόνων τροφίμων για την ίδια ποσότητα τελικών πωληθέντων προϊόντων συνεπάγεται μικρότερες απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας και πρώτων υλών με αποτέλεσμα την προστασία του περιβάλλοντος και τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της εποχής.

5.3 Περιορισμοί της έρευνας

Η παρούσα έρευνα ακολούθησε πιστά τη μεθοδολογία του πλαισίου Six Sigma αλλά παρόλα αυτά υπήρχαν συγκεκριμένοι περιορισμοί, οι οποίοι ελήφθησαν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ο κυριότερος περιορισμός ήταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η φύση του προϊόντος καθαυτού. Οι φιάλες γεμίζονται από πουρέ φρούτων ο οποίος βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία των 70°C. Αυτό συνεπάγεται την παρουσία υδρατμών στο περιβάλλον της παραγωγής, κάτι το οποίο επηρεάζει την επαναληψιμότητα των μετρήσεων. Οι συνέπειες έγιναν σαφείς και στη μελέτη Gage R&R. Παρά την ακρίβεια του πρότυπου ζυγού ήταν δύσκολη η απομόνωση των σφαλμάτων που οφείλονταν στον εξοπλισμό από τις διακυμάνσεις του προϊόντος.

Ένας ακόμα περιορισμός της έρευνας ήταν ο χρόνος δειγματοληψίας. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε διάστημα πέντε ημερών (13/10/2025 – 17/10/2025) και ελήφθησαν συνολικά 200 μετρήσεις βάρους. Το δείγμα αυτό είναι ένα στατιστικά επαρκές δείγμα και ικανό να αποδώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για το πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ωστόσο, μία μακροχρόνια μελέτη θα μπορούσε να αναδείξει εποχιακές διακυμάνσεις εάν υπάρχουν ή ακόμα και την επίδραση της φθοράς των μηχανημάτων της γραμμής παραγωγής στο βάρος των φιαλών.

Ένας ακόμα περιορισμός ήταν η πρόσβαση σε τεχνικά δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια της γραμμής παραγωγής. Οι μετρήσεις επικεντρώθηκαν στην έξοδο της γραμμής, δηλαδή στο βάρος των φιαλών. Ωστόσο, και τα δεδομένα εισόδου, όπως η πίεση της κεφαλής πλήρωσης ή η διακύμανση του ιξώδους του πουρέ ανά παρτίδα, θα ήταν ενδιαφέρον να ληφθούν υπόψη καθώς παίζουν ρόλο στο τελικό προϊόν. Η έλλειψη όμως ψηφιακών αισθητήρων σε όλα τα στάδια της παραγωγής δεν βοήθησε στη συλλογή των επιπλέον δεδομένων.

Τέλος, σε κάθε έρευνα ρόλο παίζει και ο ανθρώπινος παράγοντας. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε κατά τις κανονικές ώρες λειτουργίας του εργοστασίου και η συνεργασία των χειριστών ήταν πλήρης. Όμως η παρουσία του ερευνητή ενδέχεται να επηρέασε τη συμπεριφορά των εργαζομένων. Σύμφωνα με το φαινόμενο Hawthorne οι άνθρωποι τείνουν να αλλάζουν τη συμπεριφορά τους όταν γνωρίζουν πως κάποιος τους παρατηρεί (Vannan, 2021). Συνεπώς, οι εργαζόμενοι μπορεί να ήταν πιο προσεκτικοί στην εργασία τους αλλά μπορεί η παρουσία του ερευνητή να τους έκανε νευρικούς και απρόσεκτους στη λεπτομέρεια. Αυτό όμως είναι κάτι που δεν είναι δυνατό να μετρηθεί, τουλάχιστον όχι στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

5.4 Δυνατότητες για μελλοντική έρευνα και περαιτέρω εφαρμογή

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ένα πολύ σημαντικό βήμα στην εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma στη βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων. Η συνεισφορά της εκτείνεται και στην ανάδειξη νέων κατευθύνσεων έρευνας με στόχο τη μελλοντική βελτίωση της ποιότητας στον κλάδο.

Η σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να βοηθήσει την βιομηχανία παραγωγής πουρέ φρούτων και υιοθέτηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλέστερη, βιώσιμη και πιο αποδοτική επεξεργασία των τροφίμων. Η ενσωμάτωση του IoT στην διαδικασία παραγωγής προσφέρει παρακολούθηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και διευκολύνει την ανάλυσή τους, που είναι το πρώτο βήμα για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών (Arya et al, 2025). Η εγκατάσταση αισθητήρων στη γραμμή παραγωγής εμφιαλωμένου πουρέ φρούτων μπορεί να δώσει δεδομένα για τη θερμοκρασία, το ιξώδες και την πίεση του υλικού

δημιουργώντας δυναμικά διαγράμματα ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό η επιχείρηση μπορεί να προλάβει αποκλίσεις πριν δημιουργηθούν ελαττωματικά προϊόντα. Κατά συνέπεια μια σχετική έρευνα θα μπορούσε να πιστοποιήσει τη χρησιμότητα της εφαρμογής του IoT στην παραγωγή πουρέ φρούτων.

Μια ιδιαίτερα χρήσιμη μελλοντική έρευνα θα ήταν η εφαρμογή της μεθόδου σχεδιασμού πειραμάτων. Η μέθοδος περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την διεξαγωγή, την ανάλυση και την ερμηνεία ελεγχόμενων πειραμάτων προκειμένου να εξαχθούν έγκυρα συμπεράσματα (Antony et al, 2024). Είναι ήδη γνωστό πως το αποτέλεσμα του τελικού προϊόντος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, τόσο σε σχέση με τη φύση του προϊόντος όσο και σε σχέση με τον εξοπλισμό και τη ρύθμισή του. Με τον σχεδιασμό πειραμάτων είναι δυνατή η δημιουργία προγραμματισμένων δοκιμών ώστε να ελεγχθεί ο τρόπος με τον οποίο όλοι αυτοί οι παράγοντες δρουν ταυτόχρονα. Για παράδειγμα η ρύθμιση της μηχανής πλήρωσης είναι για υλικό θερμασμένο στους 70°C. Ωστόσο, εάν η θερμοκρασία του προϊόντος παρουσιάζει κάποιους βαθμούς απόκλιση, τότε ενδέχεται η μηχανή να χρειάζεται άλλη ρύθμιση. Ο στόχος του πειράματος είναι να βρεθεί η βέλτιστη λειτουργία της μηχανής προσαρμοσμένη σε κάθε περίπτωση. Μια τέτοια έρευνα θα έδινε τα απαραίτητα συμπεράσματα για την προσαρμογή της γραμμής παραγωγής έτσι ώστε να λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της παρά τις αλλαγές στο περιβάλλον.

Η έρευνα μπορεί να επεκταθεί και σε άλλους τομείς της γραμμής παραγωγής. Η μεθοδολογία Six Sigma έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει κι άλλα σημαντικά στοιχεία της λειτουργίας του εργοστασίου. Για παράδειγμα, μπορούν να μελετηθούν οι χρόνοι που χρειάζεται η επιχείρηση όταν αλλάζει το υλικό από πουρέ ακτινίδιο σε πουρέ μήλου και σταματά τη διαδικασία παραγωγής προκειμένου να καθαρίσει τα μηχανήματα από οργανικά υπολείμματα. Οι χρόνοι αυτοί είναι ουσιαστικά νεκροί και ζημιώνουν την επιχείρηση οικονομικά. Με τη χρήση της Six Sigma είναι δυνατό να εντοπιστούν εκείνα τα σημεία που μπορούν να βελτιωθούν μειώνοντας τους χρόνους αλλαγής και ουσιαστικά να αυξηθεί η αποδοτικότητα του εργοστασίου περιορίζοντας τις οικονομικές απώλειες.

Η παρούσα έρευνα επικεντρώθηκε στην διαπίστωση της ύπαρξης αποκλίσεων και στον εντοπισμό των ριζικών αιτιών τους. Μια μελλοντική έρευνα μπορεί να συνδέσει απευθείας τις αποκλίσεις

στην παραγωγή του προϊόντος με την οικονομική κατάσταση της επιχείρησης. Είναι πολύ σημαντικό για την επιχείρηση να γνωρίζει πώς η υποπλήρωση και η υπερπλήρωση των φιαλών, δηλαδή οι αστοχίες της παραγωγής, επηρεάζουν την κερδοφορία και τη βιωσιμότητά της. Συνεπώς, μια μελέτη που θα αξιολογεί την οικονομική διάσταση της ποιότητας και των αποκλίσεων από τα ζητούμενα θα βοηθούσε την επιχείρηση να έχει πιο καθαρή εικόνα του αντίκτυπου των αποκλίσεων στον προϋπολογισμό της.

Τέλος, μια μελλοντική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στον ανθρώπινο παράγοντα μόνο. Η μελέτη αυτή μπορεί να διενεργηθεί στο πλαίσιο της διοίκησης ανθρώπινου δυναμικού, που έχει εξελιχθεί σε έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες λειτουργίας των επιχειρήσεων (Bauwens et al, 2025). Η στρατηγική χρήση της διοίκησης ανθρώπινου δυναμικού σε συνδυασμό με τις αρχές της μεθοδολογίας Six Sigma είναι δυνατό να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των επιχειρήσεων και αυτό θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί ως ερευνητικό ερώτημα σε μια μελλοντική έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aggarwal, A. (2021). Recipe for a Great Customer Experience: The Three Voices – Voice of Customer (VoC), Voice of Employee (VoE) and Voice of Process (VoP). *Emerald Publishing Limited EBooks*, 65–90. <https://doi.org/10.1108/978-1-83909-710-220211005>
2. Aguilar, C. N., Ruiz, H. A., Rubio Rios, A., Chávez-González, M., Sepúlveda, L., Rodríguez-Jasso, R. M., Loredó-Treviño, A., Flores-Gallegos, A. C., Govea-Salas, M., & Ascacio-Valdes, J. A. (2019). Emerging strategies for the development of food industries. *Bioengineered*, 10(1), 522–537. <https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1682109>
3. Alwan, L. C., Craig, B. A., McCabe, G. P., & Moore, D. S. (2020). *The practice of statistics for business and economics*. W. H. Freeman And Company.
4. Antony, J., Bhat, S., Mittal, A., Jayaraman, R., E.V. Gijo, & Cudney, E. A. (2024). Application of Taguchi design of experiments in the food industry: a systematic literature review. *Total Quality Management and Business Excellence/Total Quality Management & Business Excellence*, 1–26. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2331758>
5. Antony, J., S. Vinodh, & E.V. Gijo. (2017). *Lean Six Sigma for Small and Medium Sized Enterprises*. <https://doi.org/10.1201/9781315372174>
6. Arya, A. A., Parthasarathy, V., Babu, A. S., & Sankarganesh, P. (2025). Application of industrial internet of things (IIoT) in food processing industries. *Trends in Food Science & Technology*, 165, 105324. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105324>
7. Bauwens, R., Van, K., Sanne Ghielen, Kilroy, S., Li, M., Suhail, A., Meulenaere, K. D., Rawan Ghazzawi, Sahakian, T., Dorien Kooij, & Van Beurden, J. (2025). Multilevel theorizing in strategic human resource management research: A systematic and critical review. *Human Relations*. <https://doi.org/10.1177/00187267251392079>
8. Dimitrantzou, C., Psomas, E., & Vouzas, F. (2023). The influence of competitive strategy and organizational structure on the cost of quality in food and beverage (F&B) companies. *The Tqm Journal*. <https://doi.org/10.1108/tqm-01-2023-0031>
9. Hoerl, R. W. (2001). Six Sigma Black Belts: What Do They Need to Know? *Journal of Quality Technology*, 33(4), 391–406. <https://doi.org/10.1080/00224065.2001.11980094>

10. Lim, S. A. H., Antony, J., & Albliwi, S. (2014). Statistical Process Control (SPC) in the food industry – A systematic review and future research agenda. *Trends in Food Science & Technology*, 37(2), 137–151.
11. McCommon, S. (2024, October 22). *How to control food costs in a restaurant: 4 key steps*. Yelp for Business. <https://business.yelp.com/resources/articles/how-to-control-food-cost-in-restaurant/?domain=restaurants#ally-skip-link-content>
12. Message Costa, L. B., Filho, M. G., Fredendall, L. D., & Devós Ganga, G. M. (2020). Lean six sigma in the food industry: Construct development and measurement validation. *International Journal of Production Economics*, 231, 107843. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107843>
13. Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An Overview of Six Sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329–346. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>
14. Nelson, L. S. (1998). The Anderson-Darling Test for Normality. *Journal of Quality Technology*, 30(3), 298–299. <https://doi.org/10.1080/00224065.1998.11979858>
15. Ngadiman, Y., Tun, U., Onn, H., Pahat, M., Hussin, B., Aziati, N., Hamid, A., Ramlan, R., Boon, L., Onn Malaysia, H., Raja, P., & Pahat, B. (2016). *Relationship between Human Errors in Maintenance and Overall Equipment Effectiveness in Food Industries*. https://ieomsociety.org/ieom_2016/pdfs/668.pdf
16. Olagoke-Komolafe, O., & Oyeboade, J. (2023). Applying Lean Six Sigma Methodologies to Enhance Food Safety and Operational Efficiency. *International Journal of Multidisciplinary Evolutionary Research*, 4(1), 50–60. <https://doi.org/10.54660/ijmer.2023.4.1.50-60>
17. Olsen, S. O. (2002). Comparative Evaluation and the Relationship between Quality, Satisfaction, and Repurchase Loyalty. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 30(3), 240–249. <https://doi.org/10.1177/0092070302303005>
18. ŌnoT., & Internet Archive. (1988). Toyota production system : beyond large-scale production. In *Internet Archive*. Cambridge, Mass. : Productivity Press. <https://archive.org/details/toyotaproduction0000onot>

19. Pearn, W. L., & Chen, K. S. (1997). A PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE PROCESS CAPABILITY INDEX Cpk. *Quality Engineering*, 9(4), 721–737. <https://doi.org/10.1080/08982119708919094>
20. Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). *The six sigma handbook*. https://www.researchgate.net/publication/322930018_The_six_sigma_handbook
21. Ridgway, J. S., Henthorn, K. S., & Hull, J. B. (1999). Controlling of overfilling in food processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93, 360–367. [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(99\)00114-4](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(99)00114-4)
22. Scott, B. S., Wilcock, A. E., & Kanetkar, V. (2009). A survey of structured continuous improvement programs in the Canadian food sector. *Food Control*, 20(3), 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.04.008>
23. Senvar, O., & Toz, H. (2010). Process Capability and Six Sigma Methodology Including Fuzzy and Lean Approaches. *Products and Services; from R&D to Final Solutions*. <https://doi.org/10.5772/10389>
24. Shahin, A., & Mahbod, M. A. (2007). Prioritization of key performance indicators. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 56(3), 226–240. <https://doi.org/10.1108/17410400710731437>
25. Stankalla, R., Chromjakova, F., & Koval, O. (2019). A review of the Six Sigma belt system for manufacturing small and medium-sized enterprises. *Quality Management Journal*, 26(2), 100–117. <https://doi.org/10.1080/10686967.2019.1580119>
26. Stoumbos, Z. G. (2002). Process capability indices: overview and extensions. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 3(2), 191–210. [https://doi.org/10.1016/s1468-1218\(01\)00022-0](https://doi.org/10.1016/s1468-1218(01)00022-0)
27. Surak, J. G., & Weddig, L. M. (2007). *The Quality Toolbox for the Food Industry*. American Society for Quality (ASQ) Quality Press.
28. Tsarouhas, P. (2007). Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(1), 5–18. <https://doi.org/10.1108/13552510710735087>

29. Vannan, K. (2021). History of the Hawthorne Effect. *The Encyclopedia of Research Methods in Criminology and Criminal Justice*, 1, 246–248.
<https://doi.org/10.1002/9781119111931.ch47>
30. Wheeler, D., & Lyday, R. (1989). *Evaluating the measurement process*. SPC Press.
31. Wohner, B., Pauer, E., Heinrich, V., & Tacker, M. (2019). Packaging-Related Food Losses and Waste: An Overview of Drivers and Issues. *Sustainability*, 11(1), 264.
<https://doi.org/10.3390/su11010264>

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

32. Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης <https://elot.gr/>
33. Οδηγία 76/211/ΕΟΚ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:31976L0211>
34. American Society for Quality <https://asq.org/>
35. SixSigma Institute <https://www.sixsigma-institute.org/>
36. U.S. Food and Drug Administration <https://www.fda.gov/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εντολή Minitab για Gage R&R (nested)

* +	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	Δείγμα	Χειριστής	Βάρος	Βάρη							
1	1	Πρωινή_βάρδια	1347	1,347							
2	1	Πρωινή_βάρδια	1349	1,349							
3	1	Πρωινή_βάρδια	1349	1,349							
4	1	Πρωινή_βάρδια	1352	1,352							
5	1	Πρωινή_βάρδια									
6	2	Πρωινή_βάρδια									
7	2	Πρωινή_βάρδια									
8	2	Πρωινή_βάρδια									
9	2	Πρωινή_βάρδια									
10	2	Πρωινή_βάρδια									
11	3	Πρωινή_βάρδια									
12	3	Πρωινή_βάρδια									
13	3	Πρωινή_βάρδια									
14	3	Πρωινή_βάρδια									
15	3	Πρωινή_βάρδια	1337	1,337							
16	4	Πρωινή_βάρδια	1340	1,340							
17	4	Πρωινή_βάρδια	1329	1,329							
18	4	Πρωινή_βάρδια	1341	1,341							
19	4	Πρωινή_βάρδια	1345	1,345							

Gage R&R Study (Crossed)

Part numbers: Δείγμα

Operators: Χειριστής

Measurement data: Βάρη

Method of Analysis

ANOVA

Xbar and R

Select

Help

Gage Info...

Options...

Conf Int...

Storage...

OK

Cancel

Εντολή Minitab για Descriptive statistics

	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Δείγμα	Χειριστής	Βάρος	Βάρη					
1	1	Πρωινή_βάρδια	1347	1,347					
2	1	Πρωινή_βάρδια							
3	1	Πρωινή_βάρδια							
4	1	Πρωινή_βάρδια							
5	1	Πρωινή_βάρδια							
6	2	Πρωινή_βάρδια							
7	2	Πρωινή_βάρδια							
8	2	Πρωινή_βάρδια							
9	2	Πρωινή_βάρδια							
10	2	Πρωινή_βάρδια							
11	3	Πρωινή_βάρδια							
12	3	Πρωινή_βάρδια							
13	3	Πρωινή_βάρδια							
14	3	Πρωινή_βάρδια							
15	3	Πρωινή_βάρδια							
16	4	Πρωινή_βάρδια							
17	4	Πρωινή_βάρδια	1329	1,329					
18	4	Πρωινή_βάρδια	1341	1,341					

Display Descriptive Statistics

Variables:

Bάρη

By variables (optional):

Select Statistics... Graphs... Help OK Cancel

Εντολή Minitab για Normality test

+	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Δείγμα	Χειριστής	Βάρος	Βάρη					
1	1	Πρωινή_βάρδια	1347	1,347					
2	1	Πρωινή_βάρδια	1349	1,349					
3	1	Πρωινή_βάρδια							
4	1	Πρωινή_βάρδια							
5	1	Πρωινή_βάρδια							
6	2	Πρωινή_βάρδια							
7	2	Πρωινή_βάρδια							
8	2	Πρωινή_βάρδια							
9	2	Πρωινή_βάρδια							
10	2	Πρωινή_βάρδια							
11	3	Πρωινή_βάρδια							
12	3	Πρωινή_βάρδια							
13	3	Πρωινή_βάρδια							
14	3	Πρωινή_βάρδια							
15	3	Πρωινή_βάρδια							
16	4	Πρωινή_βάρδια							
17	4	Πρωινή_βάρδια	1329	1,329					
18	4	Πρωινή_βάρδια	1341	1,341					
19	4	Πρωινή_βάρδια	1345	1,345					

Normality Test ✕

Variable:

Percentile Lines

None

At Y values:

At data values:

Tests for Normality

Anderson-Darling

Ryan-Joiner (Similar to Shapiro-Wilk)

Kolmogorov-Smirnov

Title:

Εντολή Minitab για Graphical summary

+	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Δείγμα	Χειριστής	Βάρος	Βάρη					
1	1	Πρωινή_βάρδια	1347	1,347					
2	1	Πρωινή_βάρδια	1340	1,340					
3	1	Πρωινή_βάρδια							
4	1	Πρωινή_βάρδια							
5	1	Πρωινή_βάρδια							
6	2	Πρωινή_βάρδια							
7	2	Πρωινή_βάρδια							
8	2	Πρωινή_βάρδια							
9	2	Πρωινή_βάρδια							
10	2	Πρωινή_βάρδια							
11	3	Πρωινή_βάρδια							
12	3	Πρωινή_βάρδια							
13	3	Πρωινή_βάρδια							
14	3	Πρωινή_βάρδια							
15	3	Πρωινή_βάρδια							
16	4	Πρωινή_βάρδια							
17	4	Πρωινή_βάρδια	1329	1,329					
18	4	Πρωινή_βάρδια	1341	1,341					
19	4	Πρωινή_βάρδια	1345	1,345					

Graphical Summary ×

Variables:

C1 Δείγμα
C3 Βάρος
C4 Βάρη

By variables (optional):

Confidence level:

Εντολή Minitab για Capability sixpack

	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Δείγμα	Χειριστής	Βάρος	Βάρη					
1	1	Πρωινή_βάρδια	1347	1,347					
2	1	Πρωινή_βάρδια							
3	1	Πρωινή_βάρδια							
4	1	Πρωινή_βάρδια							
5	1	Πρωινή_βάρδια							
6	2	Πρωινή_βάρδια							
7	2	Πρωινή_βάρδια							
8	2	Πρωινή_βάρδια							
9	2	Πρωινή_βάρδια							
10	2	Πρωινή_βάρδια							
11	3	Πρωινή_βάρδια							
12	3	Πρωινή_βάρδια							
13	3	Πρωινή_βάρδια							
14	3	Πρωινή_βάρδια							
15	3	Πρωινή_βάρδια							
16	4	Πρωινή_βάρδια							
17	4	Πρωινή_βάρδια							
18	4	Πρωινή_βάρδια	1341	1,341					
19	4	Πρωινή_βάρδια	1345	1,345					
20	4	Πρωινή_βάρδια	1343	1,343					

Capability Sixpack (Normal Distribution) ✕

Data are arranged as

Single column:

Subgroup size:
(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec:

Upper spec:

Historical mean: (optional)

Historical standard deviation: (optional)

Εντολή Minitab για Ishikawa diagram

* +	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	Δείγμα	Χειριστής	Βάρος	Βάρη						
1	1		1347	1,347						
2	1									
3	1									
4	1									
5	1									
6	2									
7	2									
8	2									
9	2									
10	2									
11	3									
12	3									
13	3									
14	3									
15	3									
16	4									
17	4	Πρωινή_παρτία	1329	1,329						
18	4	Πρωινή_βάρδια	1341	1,341						
19	4	Πρωινή_βάρδια	1345	1,345						
20	4	Πρωινή_βάρδια	1343	1,343						

Cause-and-Effect Diagram

Branch	Causes	Label	
1	In column 2	Man	Personnel Sub..
2	In column 2	Machine	Machines Sub..
3	In column 2	Material	Material Sub..
4	In column 2	Method	Methods Sub..
5	In column 2	Measurement	Measurment Sub..
6	In column 2	Environment	Environme Sub..
7	In column 2		Sub..
8	In column 2		Sub..
9	In column 2		Sub..
10	In column 2		Sub..

Effect:

Title:

Do not label the branches

Do not display empty branches

Buttons: Select, Help, OK, Cancel

